

# 现代信息网

刘少亭 卢建军 李国民 编著

人民邮电出版社

# 前 言

20 世纪 90 年代以来,电信网络技术和计算机网络技术的迅猛发展和相互结合,已对人类社会现代化和信息化过程起到极其重要的推动作用,尤其是 IP 网络的广泛应用和发展更促进了电话网、数据网和电视网等网络的优势互补和相互渗透,为最终实现 B-ISDN 的基本理论和实践技术做必要的准备。本书是为了适应现代网络技术发展的需要而编写的,首先对电话通信网、数据通信网、计算机通信网(包括 Internet 网)和综合业务数字网等几类典型网络作了详细的介绍,让读者掌握各个网络的基本概念、结构原理、相关的协议和信令以及发展动向等基本内容;最后对宽带 IP 网的基本概念从 IP 传输、IP 交换和高速 IP 协议等三个方面进行了系统的介绍,让读者联系 ATM 技术、SDH 技术、DWDM 技术和 IP 技术等网络的基本要素及其相互结合,对下一代 IP 协议 IPv6、服务质量(QoS)、RSVP 协议和 ST2+ 协议等应用有一个基本的了解,能真正深入地理解以 IP 为基础的三网融合,及其用以构筑未来 B-ISDN 的基本含义。

全书共分 10 章:第一章介绍现代信息网的基本概念及其发展的趋向;第二章到第四章讨论了以话音为主的电话通信网的基本结构、规划设计、No.7 信令及信令网、电信管理网络、移动业务通信网;第五章介绍了专用通信网的网络结构、组网方式和集群通信网;第六章在讨论分组交换数据网基本概念的基础上,重点介绍了几种典型的高速数据网和通信协议;第七章介绍了局域网、高速局域网和 Internet 的基本概念和基本原理,还对网络安全及防火墙作了扼要的介绍;第八章和第九章分别介绍了 N-ISDN 和 B-ISDN 的网络结构、接口、ATM 交换原理及宽带接入技术;第十章介绍了宽带 IP 网的基本概念,并着重讨论了宽带 IP 交换、宽带 IP 传输、高速 IP 网络协议的基本原理。

本书可以作为高等院校通信类、信息类及其相近专业本科高年级学生用教材或参考书,建议学时数为 48~64,其具体安排如下:

通信类专业 基本内容:第一~六章、第八章、第九章(部分) (48 学时)

扩宽内容:第一~十章 (64 学时)

信息类专业 基本内容:第一、二、四章,第六~九章 (48 学时)

扩宽内容:第一、二、三、四章,第六~十章 (64 学时)

本书由刘少亭、卢建军、李国民主持编写。第一、三、四、六、十章由刘少亭编写,第二(2.1~2.3)、七章由卢建军编写,第九章由李国民编写,第八章由李白萍编写,第 2.4 节和第五章由韩晓冰编写。本书的部分插图由王建新、李远征完成,全书由刘少亭统稿。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请广大读者指正。

作 者

2000 年 6 月

全书分为 10 章,基本内容包括电话通信网、数据通信网、计算机通信网、综合业务数字网和宽带 IP 网等五大内容板块。书中对各类通信网的基本概念、结构原理、相关的协议和信令、工程应用及发展等进行了较全面的论述,并以体现现代信息网最新发展的宽带 IP 网为主线,对话音网、数据网和电视网趋向融合的发展方向进行了分析,其中联系了 ATM 技术、SDH 技术、DWDM 技术和 IP 技术等网络的基本要素,对下一代 IP 协议 IPv6、服务质量 (QoS)、RSVP 协议和 ST2+协议等宽带协议进行了扼要的叙述。

本书内容较充实、新颖、图文并茂,既注意加强基本原理和基本概念的阐述,又用较大篇幅力图反映出现代信息网络的一些最新技术和未来的发展,同时也注重工程应用和一些必要的理论分析。

本书可作为高等院校信息工程类、通信工程类本科高年级学生用教材或教学参考书,也可供从事通信、计算机网络工作的工程技术人员学习参考。

现代信息网

- ◆ 编 著 刘少亭 卢建军 李国民  
责任编辑 陈万寿
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@pptph.com.cn  
网址 <http://www.pptph.com.cn>  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京 印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张:  
字数: 800 千字 2000 年 9 月第 1 版  
印数: 1-0 000 册 2000 年 9 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-115-08771-7/TN · 1635

定价: 元

第一章 概论 . . . . . 1

1.1 现代信息网概论.....1

1.1.1 从电路交换和分组交换方式来看信息网的发展 .....2

1.1.2 从面向连接和无连接的服务方式看信息网的发展.....3

1.1.3 信息网发展的趋向是以三网合一为基础的 B—ISDN.....3

1.2 电话通信网、数据通信网和计算机通信网 .....4

1.2.1 电话通信网.....4

1.2.2 计算机通信网.....6

1.2.3 数据通信网.....8

1.3 网络互连 .....8

1.3.1 网络互连的基本概念 .....8

1.3.2 网络互连的基本方式 .....9

1.4 综合通信网络.....10

1.4.1 综合网络 .....10

1.4.2 综合业务数字网 .....11

1.4.3 高速计算机互联网络—Internet II .....12

1.5 网络发展的趋势—三网合一 .....12

1.5.1 三网融合的大趋势 .....13

1.5.2 三网融合技术的发展 .....14

第二章 电话通信网 . . . . . 17

2.1 通信网的基本构成.....17

2.1.1 电话通信网的一般构成.....17

2.1.2 我国电话网的分级结构.....18

2.1.3 通信网的构成要素 .....20

2.2 通信技术及其发展 .....20

2.2.1 电话业务及其发展 .....20

2.2.2 交换技术及其发展 .....27

2.2.3 传输技术及其发展 .....30

2.2.4 信令接口及其发展 .....37

2.3 通信网的发展.....41

2.3.1 通信技术发展的战略方向.....41



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 2.3.2 同步数字系列               | 44  |
| 2.3.3 智能网                  | 48  |
| 2.4 移动电话通信网                | 51  |
| 2.4.1 移动通信概述               | 51  |
| 2.4.2 移动通信系统的组网方式          | 54  |
| 2.4.3 移动通信网                | 58  |
| 第三章 电话通信网的规划设计             | 75  |
| 3.1 电话网设计基础                | 75  |
| 3.1.1 电话业务发展预测             | 75  |
| 3.1.2 话务量                  | 77  |
| 3.1.3 标准话务量计算——呼损公式        | 79  |
| 3.1.4 交换机容量及话务处理能力         | 87  |
| 3.1.5 Internet 拨号接入对电话网的影响 | 90  |
| 3.2 通信网路由规划                | 91  |
| 3.2.1 路由的分类                | 92  |
| 3.2.2 路由选择                 | 92  |
| 3.2.3 高效直达路由的分析与计算         | 94  |
| 3.2.4 高效迂回路由的分析            | 96  |
| 3.3 电话网的传输质量               | 97  |
| 3.3.1 全程参考当量               | 97  |
| 3.3.2 长途网全程参考当量及传输损耗       | 98  |
| 3.3.3 本地网全程参考当量及传输损耗       | 99  |
| 3.4 编号计划                   | 102 |
| 3.4.1 编号的基本原则              | 102 |
| 3.4.2 《国家通信网自动电话编号》规定      | 103 |
| 3.4.3 编号方案                 | 105 |
| 3.4.4 编号容量、期限及升位           | 107 |
| 3.4.5 移动电话用户编号方案           | 108 |
| 3.5 计费方式                   | 108 |
| 3.5.1 自动计费方式简介             | 109 |
| 3.5.2 市话计费方式               | 110 |
| 3.5.3 长话计费方式               | 110 |
| 3.5.4 用户交换机的计费             | 111 |
| 3.6 电信管理网络                 | 111 |
| 3.6.1 网络管理的基本概念            | 111 |
| 3.6.2 电信管理网的功能             | 112 |
| 3.6.3 简单网络管理协议 (SNMP)      | 113 |

第四章 通信网的信令方式 . . . . . 115

4.1 概述..... 115

4.1.1 信令的概念..... 115

4.1.2 信令的分类..... 116

4.1.3 局间数字型线路信令 ..... 118

4.2 No.7 信令..... 121

4.2.1 公共信道信令的优点 ..... 122

4.2.2 No.7 信令的应用 ..... 123

4.3 No.7 信令系统的基本结构..... 123

4.3.1 基本功能结构的划分 ..... 123

4.3.2 消息传递部分（MTP）的功能划分 ..... 124

4.3.3 No.7 信令和 OSI 分层结构的关系 ..... 125

4.4 信令数据链路（第一级） ..... 126

4.4.1 数字的信令数据链路 ..... 126

4.4.2 模拟的信令数据链路 ..... 127

4.5 信令链路功能（第二级） ..... 127

4.5.1 信令链路功能简介 ..... 127

4.5.2 信令单元格式..... 129

4.6 信令网功能（第三级） ..... 131

4.6.1 信令单元格式中信令网功能级的标志..... 131

4.6.2 信令消息处理..... 133

4.6.3 信令网管理..... 134

4.7 电话用户级（第四级） ..... 136

4.7.1 电话信令单元格式 ..... 136

4.7.2 信令过程 ..... 143

4.8 信令网 ..... 145

4.8.1 信令传送方式..... 146

4.8.2 信令网结构..... 146

4.8.3 信令网的编号计划 ..... 150

4.8.4 对本地区信令网中交换机的要求 ..... 151

第五章 专用通信网 . . . . . 153

5.1 专用通信网络..... 153

5.1.1 概述..... 153

5.1.2 专用通信网的网络结构..... 154

5.2 专用网进入本地公用网的组网方式..... 156

5.2.1 专用网进入公用网的基本原则 ..... 156

5.2.2 专用网进入公用网的基本要求 ..... 156

5.2.3 专用网进入公用网的组网方式 ..... 157

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 5.3 专用网以用户交换机进入本地公用网的中继方式.....      | 160     |
| 5.3.1 半自动直拨中继方式 .....               | 160     |
| 5.3.2 全自动直拨中继方式 .....               | 163     |
| 5.3.3 混合中继方式.....                   | 165     |
| 5.3.4 人工中继方式.....                   | 165     |
| 5.4 专用网的编号计划 .....                  | 166     |
| 5.4.1 专用网长途自动电话编号方案 .....           | 166     |
| 5.4.2 专用网程控交换机出入中继的编号方法.....        | 167     |
| 5.5 专用移动通信网 .....                   | 169     |
| 5.5.1 集群通信网概述.....                  | 169     |
| 5.5.2 数字集群通信网 .....                 | 174     |
| <br>第六章 数据通信网 . . . . .             | <br>181 |
| 6.1 数据通信概述.....                     | 181     |
| 6.1.1 数据通信系统的基本构成.....              | 182     |
| 6.1.2 公用电话网中的数据通信 .....             | 183     |
| 6.1.3 数据通信网.....                    | 184     |
| 6.2 数据通信网体系结构 .....                 | 187     |
| 6.2.1 通信协议 .....                    | 187     |
| 6.2.2 高级数据链路控制 (HDLC) 规程.....       | 191     |
| 6.2.3 数据通信接口标准 .....                | 194     |
| 6.2.4 TCP/IP 协议.....                | 203     |
| 6.3 分组交换数据网 .....                   | 211     |
| 6.3.1 数据交换方式.....                   | 211     |
| 6.3.2 分组交换数据网的构成.....               | 217     |
| 6.3.3 分组交换网的路由选择.....               | 219     |
| 6.3.4 分组交换网中的数据流控制.....             | 225     |
| 6.4 分组交换网的互连 .....                  | 230     |
| 6.4.1 网间互连方式.....                   | 231     |
| 6.4.2 公用分组交换网间的互连.....              | 232     |
| 6.4.3 公用分组网与电话网互连.....              | 234     |
| 6.5 中国公用分组交换网 (CHINAPAC) .....      | 235     |
| 6.5.1 中国公用分组交换网 (CHINAPAC) 概况 ..... | 235     |
| 6.5.2 CHINAPAC 提供的业务功能 .....        | 238     |
| 6.5.3 网络用户终端及入网方式.....              | 239     |
| 6.6 数字数据网 (DDN) .....               | 240     |
| 6.6.1 DDN 的组成及特点.....               | 240     |
| 6.6.2 DDN 的业务功能.....                | 243     |
| 6.6.3 DDN 的网络分级结构 .....             | 245     |

|                                          |         |
|------------------------------------------|---------|
| 6.6.4 DDN 的应用 .....                      | 247     |
| 6.6.5 网间互连 .....                         | 248     |
| 6.6.6 DDN 与 PSTN、X.25 的区别 .....          | 248     |
| 6.7 帧中继(FR) .....                        | 249     |
| 6.7.1 从 X.25 分组交换到帧中继 .....              | 249     |
| 6.7.2 帧中继概述 .....                        | 251     |
| 6.7.3 帧中继网技术原理 .....                     | 253     |
| 6.7.4 用户接入帧中继网 .....                     | 257     |
| 6.7.5 帧中继业务应用 .....                      | 259     |
| <br>第七章 计算机通信网 .....                     | <br>261 |
| 7.1 概述 .....                             | 261     |
| 7.1.1 计算机网络的形成与发展 .....                  | 261     |
| 7.1.2 计算机网络的主要功能 .....                   | 262     |
| 7.1.3 计算机通信网的分类 .....                    | 262     |
| 7.1.4 局域网的定义及特性 .....                    | 263     |
| 7.1.5 IEEE 802 标准 .....                  | 264     |
| 7.1.6 局域网数据链路层 .....                     | 266     |
| 7.2 计算机局域网 .....                         | 270     |
| 7.2.1 IEEE 802.3 标准：以太网 (Ethernet) ..... | 270     |
| 7.2.2 IEEE 802.5 标准：令牌环局域网 .....         | 275     |
| 7.2.3 IEEE 802.4 标准：令牌总线局域网 .....        | 279     |
| 7.2.4 总线网与令牌总线网、令牌环网的比较 .....            | 281     |
| 7.3 高速网络技术 .....                         | 281     |
| 7.3.1 快速以太网 .....                        | 282     |
| 7.3.2 光纤分布式数据接口 FDDI .....               | 283     |
| 7.3.3 分布队列双总线 DQDB .....                 | 286     |
| 7.3.4 交换式多兆位数据服务 SMDS .....              | 290     |
| 7.4 网络互联 .....                           | 291     |
| 7.4.1 网络互联概述 .....                       | 291     |
| 7.4.2 网络互联设备 .....                       | 292     |
| 7.4.3 局域网互联 .....                        | 298     |
| 7.5 因特网 (Internet) .....                 | 301     |
| 7.5.1 Internet 概述 .....                  | 301     |
| 7.5.2 Internet 域名与域名系统 .....             | 303     |
| 7.5.3 Internet 上的基本服务 .....              | 305     |
| 7.5.4 环球信息网 WWW .....                    | 310     |
| 7.5.5 Internet 用户接入方式 .....              | 314     |
| 7.5.6 企业内部网 Intranet 简介 .....            | 316     |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 7.5.7 网络安全与防火墙简介.....             | 321 |
| 第八章 综合业务数字网 . . . . .             | 325 |
| 8.1 ISDN 的基本概念.....               | 325 |
| 8.1.1 IDN 和 ISDN.....             | 325 |
| 8.1.2 ISDN 的实现.....               | 327 |
| 8.1.3 ISDN 的国际标准.....             | 329 |
| 8.2 ISDN 的网络结构.....               | 330 |
| 8.3 ISDN 用户/网络接口.....             | 333 |
| 8.3.1 ISDN 用户/网络接口的参考配置.....      | 333 |
| 8.3.2 用户接入网络的通道及接口速率.....         | 334 |
| 8.3.3 通道协议.....                   | 335 |
| 8.3.4 ISDN 用户/网络接口的数字传输技术.....    | 336 |
| 8.4 ISDN 的业务能力.....               | 337 |
| 8.4.1 承载业务.....                   | 338 |
| 8.4.2 用户终端业务.....                 | 341 |
| 8.4.3 补充业务.....                   | 343 |
| 8.5 网间互通.....                     | 343 |
| 8.5.1 ISDN 的编号计划.....             | 345 |
| 8.5.2 路由选择.....                   | 346 |
| 8.5.3 网间互通.....                   | 347 |
| 8.6 ISDN 交换机及终端.....              | 350 |
| 8.6.1 ISDN 交换机.....               | 350 |
| 8.6.2 ISDN 终端.....                | 353 |
| 8.7 ISDN 的实验与发展.....              | 357 |
| 8.7.1 从现有通信网向 ISDN 过渡.....        | 357 |
| 8.7.2 ISDN 的典型应用.....             | 358 |
| 第九章 宽带综合业务数字网(B - ISDN) . . . . . | 363 |
| 9.1 B-ISDN 综述.....                | 363 |
| 9.1.1 从 N-ISDN 到 B-ISDN.....      | 363 |
| 9.1.2 基于 ATM 的 B-ISDN 的特性.....    | 364 |
| 9.1.3 B-ISDN 网络体系结构.....          | 365 |
| 9.1.4 B-ISDN 用户/网络接口参考配置.....     | 368 |
| 9.1.5 B-ISDN 提供的业务.....           | 370 |
| 9.2 B-ISDN/ATM 协议.....            | 372 |
| 9.2.1 B-ISDN/ATM 标准与协议模型.....     | 372 |
| 9.2.2 物理层协议.....                  | 376 |
| 9.2.3 ATM 层协议.....                | 380 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 9.2.4 ATM 适配层 (AAL) 协议.....                | 383 |
| 9.3 宽带 ATM 交换技术.....                       | 393 |
| 9.3.1 ATM 交换的基本原理.....                     | 393 |
| 9.3.2 ATM 交换单元结构.....                      | 394 |
| 9.3.3 ATM 交换网络.....                        | 397 |
| 9.4 流量控制.....                              | 403 |
| 9.4.1 流量控制.....                            | 403 |
| 9.4.2 拥塞控制.....                            | 407 |
| 9.5 宽带接入网技术.....                           | 409 |
| 9.5.1 宽带接入网的体系结构.....                      | 409 |
| 9.5.2 宽带接入网的业务节点接口—V <sub>B5</sub> 接口..... | 412 |
| 9.5.3 宽带用户接入技术.....                        | 420 |
| 第十章 宽带 IP 网 . . . . .                      | 429 |
| 10.1 传统的 IP 网及其面临的问题.....                  | 429 |
| 10.2 高速 IP 传输.....                         | 430 |
| 10.2.1 ATM 与 IP 相结合的两模型.....               | 430 |
| 10.2.2 ATM 与 IP 相结合的高速传输.....              | 431 |
| 10.2.3 基于 SDH 的 IP 传输 (IP Over SDH) .....  | 452 |
| 10.2.4 基于 WDM 的 IP 传输 (IP Over WDM) .....  | 459 |
| 10.2.5 三种宽带 IP 传输方式的总结与比较.....             | 465 |
| 10.3 高速 IP 网络协议.....                       | 465 |
| 10.3.1 资源预留协议 RSVP.....                    | 465 |
| 10.3.2 流协议 ST2+.....                       | 469 |
| 10.3.3 新一代网际协议 IPv6 (IPng) .....           | 471 |
| 10.3.4 实时传输协议 RTP.....                     | 475 |
| 10.4 高速 IP 交换.....                         | 477 |
| 10.4.1 IP 交换.....                          | 478 |
| 10.4.2 标记交换.....                           | 481 |
| 10.4.3 多协议标记交换 (MPLS) .....                | 489 |
| 附录 英文缩写词 . . . . .                         | 495 |
| 主要参考文献 . . . . .                           | 503 |

# 第一章 概 论

## 1.1

通信是现代社会三大基础结构（能源、交通、通信）之一，是社会机体的神经系统。通信产业不仅本身有经济效益，而且有无形的巨大社会效益。据统计，我国火车、航空客运业务中的 30% 左右可以用通信手段代替，从而可节省大量的时间和能源。据测算，如果资金流动加快千分之一到百分之一，国家每年便可增加几亿元到几十亿元的利润，因此发达国家无不具有发达的通信网。

通信的基本形式是在信源与信宿之间建立一个传输（转移）信息的通道（信道），实现信息的传输。现在，通信已成为信息处理、信息查询、科学研究、日常教育以及商务贸易等活动的重要支撑。通信过程的支持平台是信息网络，信息网络可以定义为：“信息网络是由信息网元组成的集合体，用以支持组织之间和组织内部的包括话音、文本、数据或是它们组合体的各种形式的通信要求。”其中信息网元是网络基本组成部件，在不同的网络中其组成部件具有不同形式。

信息网络的基本概念是不断发展的。不同的历史时期由于用户的需求、市场的驱动及人类对网络的研究和实践，导致不同网络诞生、发展和成熟。任何一种网络都在某种意义上满足了人们的需求。随着时间的推移，原有网络产生的条件可能不复存在或不成为主要矛盾，这就导致了新一代信息网络的产生。

在不同应用范围和不同应用目标下，信息网络具有不同的含义，在一般意义上可以将信息网络分成电话通信网、数据通信网和计算机互联网等三种类型。其中以话音为主的电话通信网包括公用电话交换网（PSTN：Public Switched Telephone Network）、专用通信网、移动通信网。数据通信网包括分组交换公用数据网（PSPDN：Packet Switched Public Data Network）、数字数据网（DDN：Digital Data Network）、帧中继网（FRN：Frame Relay Network）。计算机互联网包括局域网（LAN：Local Area Network）、城域网（MAN：Metropolitan Area Network）、广域网（WAN：Wide Area Network）等形式。其中高速局域网有光纤分布式数据接口（FDDI）和吉（千兆）比特以太网，高速城域网有分布式队列双总线（DQDB）和交换式多兆位数据服务（SMDS），广域网有 Internet 等典型网络。计算机互连网络既可以用电信网络作为其信息传输和交换的通道，也可以直接构造满足数据通信的物理网络。

信息网络的发展是和通信设备与终端、电子器件、计算机软件 and 硬件技术的发展紧密相关的，所以说信息网络发展水平是一个国家综合实力的体现。由于信息网络的投资是十分巨大的，成本回收周期比较长，促使人们研究更先进的信息网络理论技术，但是任何一种网络

技术被市场接收的前提是必须有市场潜力非常大的应用需求驱动，并且该应用无法用现存的各种网络很好地支持，此时供应商和运营商才可能采用这种技术构建网络。信息网络目标是实现网络用户之间的信息互通，所以任何新型网络的产生都必须考虑到其用户和其他已有网络的互通，这就进一步增加了网络投资的需求。如果原有网络支持的某种业务并不能被新型网络技术在技术上和应用领域全部覆盖，原有的信息网络必将继续存在。这就是为什么在信息网络领域中各个时期网络常常是并存的。不同类型网络是针对于特定应用而设计的，每一种网络都有其设计的假设前提，都能解决当时网络无法支持某种业务的难题，了解信息网络的发展是整体上学习各种通信网络技术的有效途径。

为了便于了解信息网的发展，下面将从电路交换和分组交换、面向连接和无连接以及三网融合等不同角度看信息网最终向宽带综合业务数字网（B-ISDN）的过渡。

### 1.1.1 从电路交换和分组交换方式来看信息网的发展

- 电路交换

**电路交换（Circuit Switching）**是两计算机或终端相互通信时，使用的同一条实际物理链路，在通信中自始至终使用该线路传输，且不允许其它计算机或终端同时共享该链路。

电路交换目前应用于公用电话网、公用电报网和电路交换的公用数据网（CSPDN）等通信网络中。

电路交换适用于一次接续后传输长报文的通信。其优点是实时性强，延迟很小，一般是一个字符甚至小到一位均可传送，交换设备成本较低；缺点是线路利用率低，尤其是在中继线上。

- **分组交换**

**分组交换 (Packet Switching)** 也叫包交换，它将用户发来的一整份报文分割成若干定长的数据块 (即分组)，让它们以 “存储—转发” 方式在网内传输。每一个分组信息都载有接收地址和发送地址的标识，在传送数据分组之前，必须首先进行路由选择建立虚电路，然后依序传送。

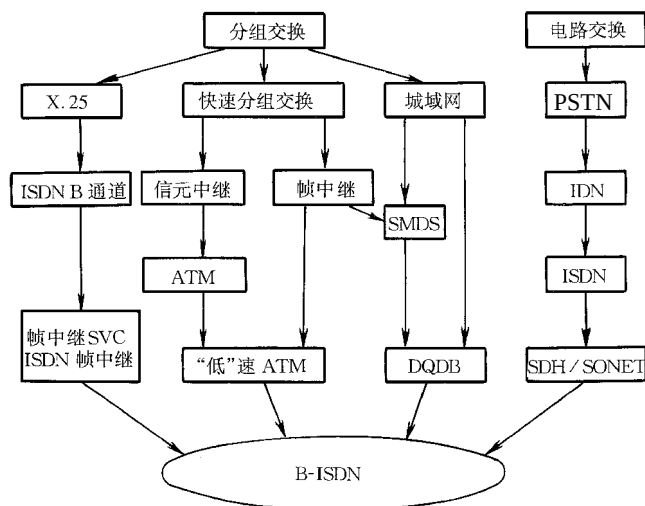


图 1.1 从交换方式看信息网的发展



它适用于公用数据网和对话式计算机通信，如数据库检索、图文信息存取、电子邮件传递和计算机间通信等各方面。

分组交换在线路上采用动态复用的技术传送各个分组，所以线路利用率较高。分组交换兼有电路交换和报文交换的优点，是数据交换方式中一种比较理想的方式。缺点是实现技术复杂，不适宜于实时性要求高、信息量很大的业务使用。

从电路交换和分组交换过渡到 B—ISDN 的示意图如图 1.1 所示。

### 1.1.2 从面向连接和无连接的服务方式看信息网的发展

面向连接服务是在数据交换之前，必须先建立连接。当数据交换结束后，则应终止这个连接，如电话通信模式。在无连接服务的情况下，两个实体之间的通信不需要先建立一个连接，每个报文（信件）带有完整的目的地址，并且每一个报文都独立于其它报文，经由系统选定的路线传递，如邮政系统模式。

从面向连接和无连接的服务方式看信息网的发展如图 1.2 所示。

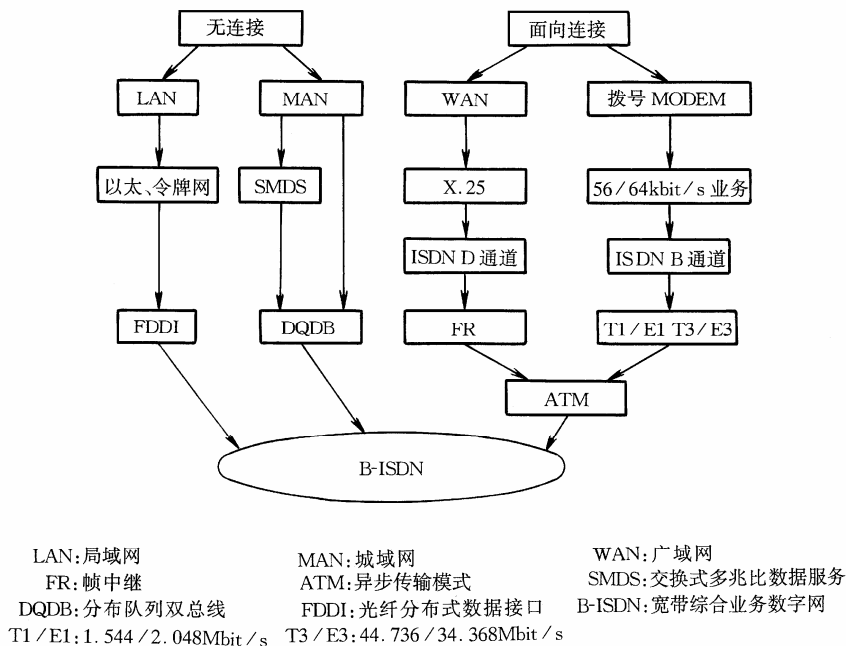


图 1.2 从连接的服务方式看信息网的发展

### 1.1.3 信息网发展的趋向是以三网合一为基础的 B—ISDN

这里所说的“三网”，是指电信网（主要的业务是电话，但也有其它业务，如传真、数据等）、有线电视网（即单向电视节目的传送网）和计算机网络。虽然这三种网络在信息化过程中都起到重要的作用，但其中发展最快并起到核心作用的是计算机网络。所谓“三网合一”是指用一种网络就可以实现三种网络的功能。以“三网合一”为基础的 B—ISDN 如图 1.3 所示。

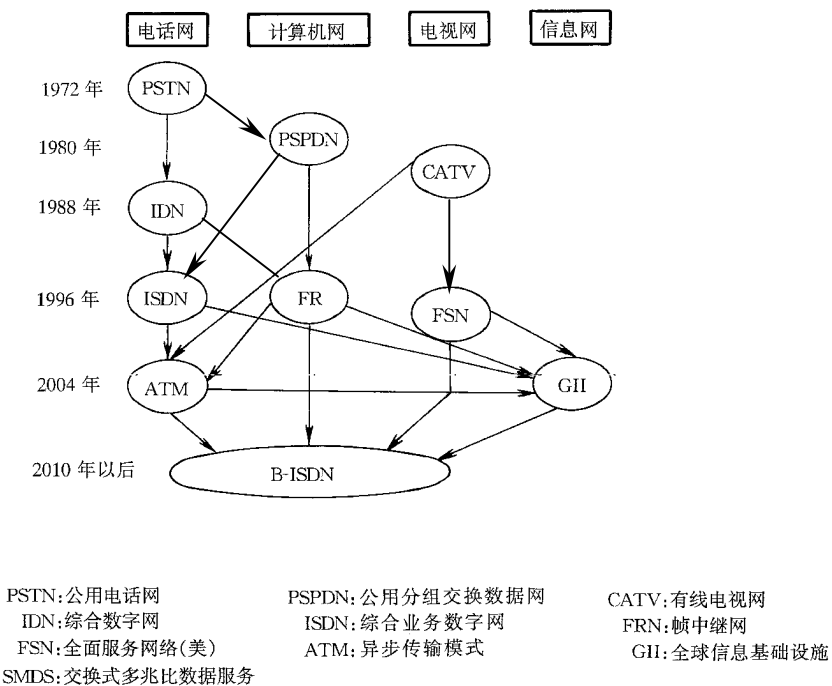


图 1.3 以“三网合一”为基础的 B—ISDN

## 1.2 通信网、 萃

掌握电话通信网、数据通信网和计算机通信网的基本特点和发展是学习现代信息网的基础。

### 1.2.1 电话通信网

电话通信网经历了从模拟到数字、从单一业务到智能业务转换，在接入环路、中继传输、交换接点以及网络控制与管理等方面都有了很大的发展。随着宽带业务的应用，在接入环路方面引入了高速数字用户线（HDSL），利用现有的 2 对双绞铜线可提供全双工的 2Mbit/s 数字连接能力。在中继线路上采用复用技术提高线路的利用率，在两种复用技术（频分复用和时分复用）中，前者适合载波通信、后者适合于 PCM 以及数据通信。交换节点中的交换矩阵单元可采用开关式或缓存转发式，随着计算机硬件和软件能力的提高，后者的应用越来越广泛。通信网络的规模、业务和投资越来越庞大，为了保证网络的高可靠低成本的运行，电信管理网络（TMN）是电信网必不可少的支撑网络，TMN 完成配置管理、性能管理、故障/维护管理、资费管理和安全管理等 5 项基本功能。

我国公用电话网由五级交换中心组成，其中 C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 级为长途交换中心。而本地网可设置汇接局和端局两个等级的交换中心，也可设置 C<sub>5</sub> 级端局一个等级的交换中心（参阅第二章图 2.2）。

采用电路交换的电话网的通信一般包括三个阶段：电路建立、信号传送、电路释放。

电路交换的要求如下：

- 根据用户要求建立/保持和释放呼叫；
- 提供透明的全双工信号传输；
- 呼叫建立时有限的可接受的时延 ( $\leq 0.5s$ )；
- 为话音连接提供满意的质量；
- 有限的拥塞可能性。

随着通信网的发展，电话通信网的结构也逐渐向级数减少的方向演变。

在电话通信网中，为了能提供保证用户迅速接续和清晰地通话的电话业务，除了必须配备一定的设备和完善的技术之外，还要有可靠的支撑网——No.7 号信令的支持。判定电话业务的良好程度可由下述三方面来衡量：

- ① 迅速性——接续质量；
- ② 清晰度——传输质量；
- ③ 可靠性——稳定质量。

接续质量：

接续质量反映电信网是否容易接通和是否好用的程度，通常用接续损失(呼损)和接续时延来度量。对整个电信网路而言与接续损失具有同一含义的量叫做阻塞率。所以，有时也以阻塞率来衡量接续质量。在电话通信网中有

- ① 摘机忙呼损：用户摘机呼叫时由于记发器全部被占用而不能接续造成的呼损；
- ② 接续过程呼损：在接通被叫用户过程中由于中继线或交换设备全部被占用以致不能完成接续而造成的呼损；

③ 拨号音时延：从用户摘机直到听到拨号音这一段时间间隔；

④ 接续时延：从用户拨号完了到听到回铃音这一段时间间隔。

以上四种仅是衡量接续质量中接续呼损和接续时延的部分项目，其余还有被叫用户忙造成的呼损、被叫用户不应答所造成的呼损及其它几种接续时延等，这里不一一列举。

传输质量：

传输质量反映信息传输的准确程度，对不同的电信业务有不同的传输质量标准。例如，对电话通信的传输质量的要求是：

- ① 响度：收听到的语音音量的大小程度；反映通话的音量；
- ② 清晰度：收听到语音的清晰、可懂程度，反映通话的可懂度；
- ③ 逼真度：收听到的语音的音色和特性的不失真程度。

除上述三项由人来进行主观评定的指标外，对电话电路还规定了一些电气特性，如传输损耗、传输频率特性、串音、杂音等多项传输链路指标。

稳定质量：

稳定质量主要反映网路系统的可靠性，它是由系统、设备、部件等的功能在时间方面的稳定性程度来表示的。可靠性指标主要有下面几种：

① 失效率：表示在设备或系统工作  $t$  时间后，单位时间内发生故障的概率，以  $\lambda(t)$  来表示。失效率通常取  $10^{-5}/h$  为单位，对于高可靠性的系统或设备通常采用  $10^{-9}/h$  为单位，这称为一个非特 (Fit)。

② 平均故障间隔时间 (MTBF)，当失效率  $\lambda(t) \equiv \lambda$  (常数) 即失效率与  $t$  无关时，有

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1.1)$$

③ 平均修复时间 (MTTR), 表示发生故障时进行修复的平均处理时长。

④ 可用度 (或有效度) A

$$A = \frac{\text{有效工作时长}}{\text{有效工作时长} + \text{平均失效时长}} \quad (1.2)$$

$$= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

当  $\lambda(t) \equiv \lambda$  时, 即失效率与  $t$  无关, 可有

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

其中  $\mu = \frac{1}{MTTR}$ , 为修复率,

不可用度

$$U = 1 - A$$

$$= \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (1.3)$$

这些可靠性指标的制定当然要考虑到用户的满意程度、社会的要求和可能造成的影响, 还要考虑到技术上、经济上的可实现性等。目前我国尚未明确制定出整个电信网系统的稳定性指标, 但对终端、交换设备及传输链路等各部分都有相应的稳定性指标要求。

## 1.2.2 计算机通信网

### 1. 计算机网络及计算机通信网

计算机网是由不同媒介 (电话线路、同轴电缆、光纤、无线、微波和卫星等) 连接的、物理上互相分开的多台计算机组成的、将所要传输的数据划分成不同长度的分组进行传输和处理的系统。通过发送、接收和处理不同长度的分组实现信息和计算机软硬件资源的共享。

在计算机网络发展过程的不同阶段, 人们对计算机网络提出了不同的定义, 不同的定义反映着当时网络发展的水平及人们对网络的认识程度。从广义的观点定义为计算机通信网, 其特点是借用公用电话通信信道或公用数据通信信道 (或专用信道), 通过资源共享实现信息的传输与处理; 从对用户透明性的观点定义为分布式计算机系统, 其特点是它的操作系统以全局方式管理系统资源, 能自动为用户的需求调度网络资源, 多个互连的计算机系统对用户来说是“透明”的, 是计算机网络技术发展的高级阶段。以资源共享观点定义的计算机网络可以看成是从计算机通信网到分布式计算机系统的过渡, 为分布式系统的研究提供技术和理论基础。

计算机网络要完成数据处理和数据通信两大功能, 在结构上可以分成两部分: 负责数据处理的计算机与终端; 负责数据通信处理的通信控制处理机 (CCP: Communication Control Processor) 与通信线路。从计算机网络组成的角度看, 典型的计算机网络从逻辑功能上可以分为资源子网和通信子网两部分, 其结构如图 1.4 所示。

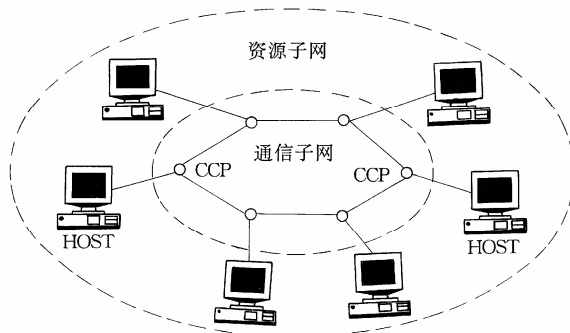


图 1.4 计算机网络

### (1) 资源子网

资源子网由主计算机系统、终端、终端控制器、连网外设、各种软件资源与信息资源组成。资源子网负责全网的数据处理业务，向网络用户提供各种网络资源与网络服务。

网络中主计算机(简称为主机)可以是大型机、中型机、小型机、工作站或微机。主机是资源子网的主要组成单元，它通过高速通信线路与通信子网的通信控制处理机相连接。普通用户终端通过主机连入网内。主机要为本地用户访问网络内其它主机设备与资源提供服务，同时要为网中远程用户共享本地资源提供服务。随着微型机的广泛应用，连入计算机网络的微型机数量日益增多，它可以作为主机的一种类型，直接通过通信控制处理机连入网内，也可以通过连网的大、中、小型计算机系统间接连入网内。

### (2) 通信子网

通信子网由通信控制处理机、通信线路与其它通信设备组成，完成网络数据传输、转发等通信处理任务。

通信控制处理机在网络拓扑结构中被称为网络节点。它一方面作为与资源子网的主机、终端的连接接口，将主机和终端连入网内；另一方面它又作为通信子网中的分组存储转发节点，完成分组的接收、校验、存储、转发等功能，实现将源主机报文准确发送到目的主机的作用。通信线路为通信控制处理机与通信控制处理机、通信控制处理机与主机之间提供通信信道。计算机网络采用了多种通信线路，如电话线、双绞线、同轴电缆、光导纤维电缆（简称光缆）、无线通信信道、微波与卫星通信信道等。

## 2. 计算机网络的特征

① 计算机网络的重要特征是信息按分组方式传输。

② 计算机网络也可以看成是在物理上分布的相互协作的计算机系统。其硬件除了单体计算机和传输媒体外，还有插入计算机中用于收发数据分组的各种通信网卡；把多台计算机连接到一起的集线器（Hub，现逐渐被相应的交换机取代）；扩展带宽和连接多台计算机用的交换机以及负责路径管理、控制网络路由情况的路由器或 ATM 交换机等。

③ 计算机网络中包含有丰富的软件。操作系统核心软件是网络软件的基础，操作系统是多任务的，用于处理来自不同计算机的数据收发任务；通信控制用协议软件是计算机网络软件中最重要、最核心的部分，是网络中通信各部分之间必须遵守的规则集合，决定了计

计算机网络体系结构；管理软件用来管理计算机网络用户与网络的接入、认证，计算机网络的安全以及网络运行状态和负责计费等工作；交换与路由软件负责为通信各部分之间建立和维护传输信息所需的路径；应用软件为用户提供网络服务，实现信息资源的传输和共享。

### 1.2.3 数据通信网

用于计算机之间进行通信的网络称为数据通信网，即计算机网络中的通信子网。数据通信网应具备的特征如下。

#### (1) 适应大容量与突发性通信的要求

计算机数据传输具有“突发性”的特点，可能造成网内负荷的拥塞现象，因此现代数据通信网必须要适应大数据、突发性传输的要求，并能对网络拥塞有良好的控制功能。

#### (2) 适合综合业务服务的要求

随着人们对信息需求的日益增加，一些新业务（如可视电话、传真、文件与图像检索、电子广告、电子商务、电子购物、远程教学与远程医疗等）都将与计算机网络服务融为一体，因此未来的通信网应该是一个全数字化、高宽带、有综合服务能力的高速通信网络。

#### (3) 开放的设备接口与标准化协议

信息高速公路面对用户的各种信息服务设备，这就要求未来的通信网要为用户提供开放的设备接口与标准的通信协议。

#### (4) 完善的通信服务与网络管理

要保证数据通信网能够稳定、安全与高效运行，网络必须具备完善的网络服务和智能化的管理功能。

## 1.3

网络互连是形成信息网络的基本方法。

### 1.3.1 网络互连的基本概念

网络互连是由各种网络参照一定的规范和使用一定的连接设备，构成一个在更大范围内运行的通信网络。网络互连实质上是隐去了特定网络硬件的具体细节，提供了一种高层的通信环境，其最终的目的是实现网络最大限度的互连。一般说，有三个基本的网络概念，即网络连接、网络互连和网络互通来给出互连网络的一个基本概念。

网络连接，这是网络在应用级的互连，主要指的是一对同构或异构的端系统，通过由多个网络或中间系统所提供的接续通路来进行连接。其目的是实现系统之间的端到端的通信。所以，网络连接是适用于不同网络的各种系统之间的互连，它主要强调协议的接续能力，以便完成端到端系统间的数据传递。

网络互连，指的是不同子网间借助于相应的网络设备，如路由器、集线器等来实现各子网间的相互连接。其目的是解决子网间的数据交互，但这种交互尚未扩大到系统与系统之间。同时，网络互连还保持了原有网络各自的独立性，并不是将子网融合成为一个新的网络。在这种情况下可把一个子网看成一条链路，把子网间的连接（中间系统）看作交换接点，从而

形成一个超级网络。网络互连的概念涉及到网络产品、处理过程和技术。

网络互通,指的是网络不依赖于其具体连接形式的一种能力。它不仅是指两个端系统间纯粹的数据转移,还表现出各自业务间相互作用的关系,完成它们间共同任务的互通能力,也即 OSI—RM (开放系统互连参考模型) 与系统间的合作有关,它是系统互连所隐含表现的内容。因此,系统间的直接连接或通过网络的中继连接,其目的是完成网络间的数据传送,而网络互通是各系统在连通条件下,由自身创建支持应用层间相互作用的协议匹配环境。

OSI—RM 是网络互连的理论基础。在 OSI—RM 中指出,通信子网内部执行下三层协议功能,即物理层、链路层和网络层,而传输层以上则为网络终端设备的功能。任何分布在两个不同网络上可以执行相同传输层以上协议功能的终端设备,可以进行通信的前提是相应两个网络可以进行信息传输,根据两个网络的互连层次,可以将网络中继设备分成物理层中继(如转发器)、链路层中继(如网桥)和网络层中继(如路由器)。如果两个终端设备在传输层以上也各不相同,此时这两个网络互通则必须通过更高协议层次中继器(如网关)实现协议的转换。

随着信息产业的发展,新一代的网络将采用分布式处理方式,而且面对的将是集语音、图像和数据为一体的所谓多媒体信息的传输。这些都对网络在带宽、灵活性、网络资源利用率以及为多种协议提供通用子网基础设施的能力提出了更高的要求。而目前共享式网络显得越来越不适应,其主要问题是:

- 带宽瓶颈;
- 网络系统中的时延;
- 对网络的全方位管理。

采用交换技术,实现共享式网络向交换式网络的转变,特别是向 ATM 网络的转变,可以为终端用户提供专用的、端到端的连接,以保证用户通信所需的带宽。另外,交换技术通过虚拟网络技术可以提供强大的网络管理功能。正是由于交换技术在改善网络的性能和最大限度地发挥现行网络设计的潜力方面具有十分重要的作用,因而基于交换的网络互连成为目前网络技术发展的一个重要方向。

### 1.3.2 网络互连的基本方式

网络互连的 4 种基本方式如图 1.5 所示,其中链路层根据 LAN 协议规定分为逻辑链路控制 (LLC) 和媒体接入控制 (MAC) 两个子层。任何层次的中继意味着互连网络在该层(包括该层)以上执行的协议是相同的。

(1) 转发器(中继器)。转发器是最简单的网络连接设备,用于两个网络物理层的连接,以增加其网段的有效长度。转发器的特点是,仅仅在所连接的网段进行信息流的简单复制,不具有过滤功能。在 OSI 的第一层上实现 LAN 的连接。

(2) 网桥。网桥实现链路层上帧的中继。第一个特点是用它具有的过滤功能对输入的数据帧进行分析,并根据信宿的 MAC 地址来决定数据的传送;第二个特点是其高协议的透明性,这是因为它是在数据链路层上进行操作,而无需检查高层的信息。网桥更适于 WAN 的连接,它所支持的连接接口:光纤、FDDI、ISDN、E<sub>1</sub>、T<sub>1</sub>、X.21、RS-499 和 RS-232。

(3) 路由器。路由器是在 OSI 的第三层(网络层)上实现网络的互连,因而,路由器是有赖于网络协议的。在通过路由器实现的互连网络中,路由器对数据包进行检测,以便决定

转发方向。路由器是一种主动的、智能型的网络节点设备，具有连接功能、网络地址判断、最佳路由选择、数据处理和网络管理功能。可提供不同类型（如 LAN 或 WAN）、不同速率的链路或子网接口，如在连接 WAN 时，可提供 X.25、FDDI、帧中继、SMDS 和 ATM 接口。

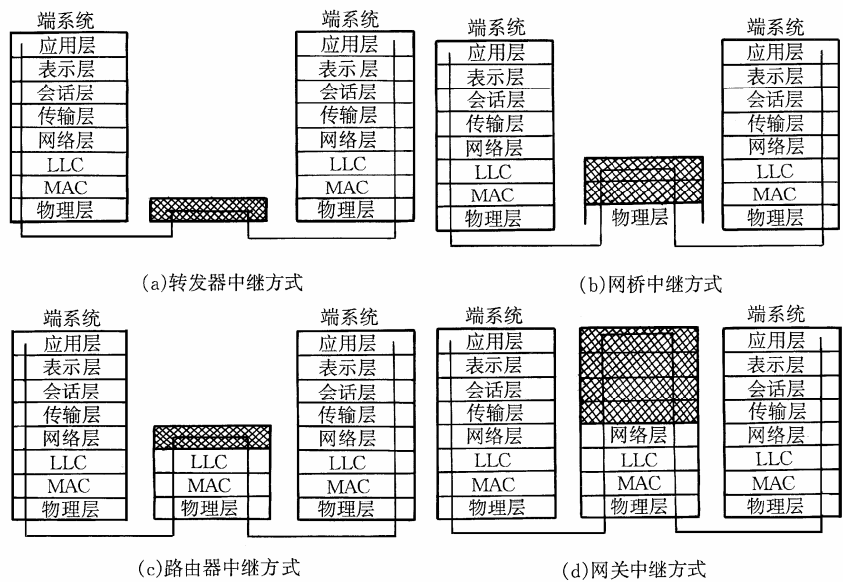


图 1.5 网络互连 4 种基本方式

(4) 网关。网关用于连接具有不同工作协议的主机设备，能通过在各种不同协议间的转换，实现网络间的互连。与其它互连网络设备不同的是，网关只需要在最顶层的协议相同，而无需关心低层协议的相同与否。

# 1.4

## 1.4.1 综合网络

综合网络是指用统一的通信平台支持综合信息的传输。“综合”包括综合接入、综合传输、综合交换和综合管理/控制等四方面的含义。综合网络在理论上目前认为比较完善的有 N—ISDN 和 B—ISDN，在实践上人们在高速 Internet 领域做了相应的工作。

(1) 综合接入是指用户通过单一的传输媒体、有限的用户网络接口（UNI：User Network Interface），获得综合业务的服务。综合接入的关键是采用用户高速接入线路和统一的网络接口。目前可采用的方式有铜线接入方式、光纤和铜线混合接入方式和光纤接入方式。其中铜线接入包括高速数字用户环路（HDSL），提供双向对称 2Mbit/s 的传输能力；不对称数字用户环路（ADSL），提供双向不对称传输能力，端局到用户下行可达 6Mbit/s，用户到端局上行为 768kbit/s；超高速数字用户环路（VDSL），提供 300m 距离内上行 2Mbit/s 和下行 51Mbit/s 传输能力。混合方式有光纤同轴混合网（HFC）。光纤接入方式有光纤接入网络（FITL），FITL 则根据光纤端点放置位置可分为光纤到路边（FTTC）、光纤到大楼（FTTB）和光纤到用户



(FTTH) 等几种方式。

(2) 综合传输是指不同种类的业务共享网络的高速传输链路。综合传输的关键是各种业务共享复用传输信道, 目前多种业务的局间通道都采用了光纤化的同步数字系列 (SDH) 传输系统, 但目前尚未真正做到统计复用。SDH 是由光纤同步网 (SONET) 演变而来, 是新一代传输体制, 其特点:

- 网络节点接口 (NNI) 全世界统一;
- 有一套标准化的信息结构等级: STM—1 (155Mbit/s)、STM—4 (622Mbit/s)、STM—16 (2488Mbit/s);
- 有强大的网管功能;
- 使用大量软件适应联网的要求。

(3) 综合交换是指在单一的交换机上进行多速率、多媒体业务的交换, 为了满足不同媒体的不同的服务质量 (QoS), 需采用 ATM 交换技术。ATM 技术作为 B—ISDN 核心技术, 实现信息的高速传输与交换, 其主要特点:

- 支持多媒体通信;
- 速率: 155 Mbit/s~2.4G Mbit/s;
- 满足局域网和广域网的应用, 可实现广域网和局域网通信的无缝连接。

(4) 综合控制和管理是指采用统一的网络管理软件对网络进行性能监测、故障处理以及操作维护, 采用统一控制软件完成资源分配、通信建立和通信拆除。

#### 1.4.2 综合业务数字网

##### (1) N—ISDN

N—ISDN 是以综合数字网 (IDN) 为基础演变而成的通信网, 能提供端到端的数字连接, 用以支持包括话音和非话音在内的多种电信业务, 用户能够通过有限的一组标准化的多用途用户/网络接口接入网内。要想实现 ISDN 必须同时具备两个条件: 一个是技术的综合, 另一个是业务的综合, 而技术综合是业务综合的基础。

N—ISDN 能提供两种速率的接口标准:

一种是基本速率接口 2B+D, 即在一对电话线上同时提供两个 64kbit/s 的 B 通道和一个 16kbit/s 的 D 通道。64kbit/s 的窄带业务包括数字电话、数据 (电话交换或分组交换)、四类传真、可视图文、64kbit/s 或 128kbit/s 会议电视或可视电话, 以及 ISDN 附加业务, 如主叫识别、呼叫转换、闭合用户群等。

另一种是基群速率接口, 即 1.544Mbit/s (23B+D) 和 2.048Mbit/s (30B+D) 接口, 主要用于连接用户交换机 (PBX)、集中用户交换及计算机等大信息量用户。

##### (2) B—ISDN

B—ISDN 采用类似于 N—ISDN 的网络定义, 但是在交换、传输和接入方面都是以 ATM 技术作为支持, 可接入各种业务并能保证相应的服务质量。由于 B—ISDN 采用一种全新的 ATM 高速交换技术, 其交换结构具有无阻塞特点, 吞吐量大, 可以同时处理各类不同速率的通信业务, 具有很强的网络流量控制、管理和维护功能。

B—ISDN 在用户/网络接口提供 150Mbit/s 以上的应用, 可以向用户提供会话型业务 (宽带可视电话、宽带会议电视、视频/音频信息传输业务、高速数字信息传输业务、高速传真等),

电子信函业务和检索型业务（宽带可视图文、图像检索、数据检索等），分配型业务（高清晰度电视、付费电视、文件分配和图像信息分配等）三大类型。

### (3) N—ISDN 与 B—ISDN 的比较

与 N—ISDN 相比，B—ISDN 有以下三个特点：

- 以光纤为传输媒介；
- 以信元为传输、交换的基本单元；
- 虚信道、虚通道的利用。

N—ISDN 与 B—ISDN 不是相对立的，它们各有各的用处，两者不能相互替代。（N—ISDN 主要用于速率为 2Mbit/s 以下的业务，而 B—ISDN 要在用户/网络接口提供 150Mbit/s 以上的应用。）

## 1.4.3 高速计算机互联网络—Internet II

随着 Internet 的发展，Internet 的用户呈指数形式增加，对 Internet 带宽要求越来越大，对 Internet 现有的传输质量要求也越来越不满意。1996 年 10 月美国政府宣布支持美国大学发展联盟 (UCAID) 关于建立第二代 Internet 网络的要求，建立以 ATM 作为骨干网络，以新一代 TCP/IP 为协议的高速信息公路 (NII)，这标志着 NII 计划将沿着 Internet 网络方向发展。

### 1. 高速 IP 协议

第二代 Internet 网络的目标是解决现有 Internet 存在或将要出现的问题，逐步实现在 IP 协议支持下运行各种业务。现有 Internet 网络存在主要缺点有：现有地址无法满足网络用户接入，无法保证实时业务的 QoS 需求，无法支持点到多点和多点到多点业务。为此人们在协议簇上作了很大改进，主要包括传输层和网络层协议。在传输层提出：

- 高效传输协议 (HIPENT)。HIPENT 是具有并行结构的带外信令方式，是为宽带传输网络设计的传输协议，充分考虑到网络传输的低时延和低错误率的特点，简化相应的处理操作。

- 快速传送协议 (XTP)。XTP 是用以提供高达 Gbit/s 级网络上的传输协议，可以提供 TCP 协议数据传输和实时业务的传送。

- 多媒体传输协议 (TP++)。TP++ 是贝尔实验室提出的高效多媒体传送协议，TP++ 可以传输交互式传输业务、分布式事务处理以及大量数据传输。

- 实时传送协议 (RTP)。RTP 是由 IBM 提出的传输层协议，可以操作在 Gbit/s 级网络上的轻载协议。RTP 支持时钟恢复、丢失监测、安全性及传输信息种类标识。

在网络层增加了资源预留协议 (RSVP)，它是保证网络实时通信的最重要的因素。另一个是流协议 (ST)。

### 2. 宽带 IP 技术

Internet 用户数及业务量增长非常快，特别是随着广域业务量的增长，对网络规模的需求越来越大，对网络链路带宽的要求也越来越多；同时由于 IP 业务量所占的比例越来越高，因此有必要研究开发宽带 IP 技术来优化、完善骨干网络的设计，如 IP Over ATM、多协议标记交换 (MPLS)、IP Over SDH/SONET、IP Over WDM、Internet QoS 以及吉（千兆）比特路由器等技术，它们将会成为宽带 Internet 的主要网络技术。

1.5

近 10 年来，全世界电话用户的增长率平均为 5%~10%左右，然而，由于计算机的广泛应用和普及，数据业务呈现出指数式增长态势，平均年增长率达 25%~40%，远高于电话业务。特别是 IP 业务正呈现爆炸式增长，其规模和业务量已达到了约 6~12 个月左右就翻一番的地步，比著名的大规模集成电路集成度进展的摩尔定律（约 18 个月左右就翻一番）还要快得多。从世界范围看，估计在未来的 10 年内，包括中国电信业在内的世界主要网络的数据业务量都将先后超过电话业务量。最终，网络的业务构成，将发生以数据业务量为主的根本性变化。

进入 21 世纪，人类的活动越来越多地依赖于网络，网络日益成为现代社会的基础结构，人类社会正明显地向网络社会演变。目前，人类拥有的网络都是完成各种各样业务信息传输的通信网，例如，以话音业务为主的电信网、以数据业务为主的计算机网、以图像业务为主的电视网（含有线电视网）等三大网络。但是，这些通信网还存在容量资源有限、转移效率不高、技术上过于个性化等诸多问题，不适应现代信息社会发展的需要。

1.5.1 三网融合的大趋势

前面提到的三种网，即电信网、计算机网和有线电视网等三大网络的规模都很大，它们所使用的技术相差很大，各自都有其优点和不足，因此在短期内要用一种网络替代似乎不太可能。通信技术、计算机技术突飞猛进的发展，加快了信息化的进程，促使这三种网络都在快速演变，力图使自己具有其它网络的优点，因此，就出现了“三网融合”的大趋势。所谓三网融合从概念上讲，至少可以涉及到技术融合、业务融合、终端融合和网络融合，还包括市场融合、行业融合等。表现为技术上趋向一致，在网络层上可以实现互联互通，在业务层上互相渗透和交叉，在应用层上使用统一的 TCP/IP 通信协议，使得各种以 IP 为基础的业务都能在不同的网络上实现互通。图 1.6 中有阴影的部分表示这三种网络各自的优势所在，而箭头表示目前要演变的方向。

| 网络类型<br>网络功能 | 电话网<br>(电话交谈) | 计算机网<br>(数据传送) | 有线电视网<br>(电视传播) |
|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| 智能           |               |                |                 |
| 双向通信         |               |                |                 |
| 信令或协议        |               |                |                 |
| 交换或寻址        |               |                |                 |
| 计费、安全        |               |                |                 |
| 实时性          |               |                |                 |
| 宽带能力         |               |                |                 |

图 1.6 三大网络的优势及其演变的方向

1. 三大网络的特点

电话网具有 100 多年的历史，覆盖面很广，目前全球电话网拥有 7.5 亿用户。电话网采用了电路交换技术，保证了实时通信，有明确的服务质量（QoS），有完善的网络管理机制。

但电话网不能充分有效地利用传输资源,没有充分地利用智能网的业务功能。尤其是电话网中的程控交换机,都是以采用电路交换方式,话路标准速率是以 64kbit/s 这一标准设计的,目前已无法改动。因此以电话网为基础是很难实现宽带化的。

有线电视网目前全世界有 9 亿以上的用户,而且近年来增长速度很快。有线电视网的实时性和带宽能力都很好,但它为了适应电视点对面的广播性质,采用了单向传输技术,不利于实现双向通信。使现有的单向传输电缆改造成具有双向通信功能、交换功能和网络管理功能的宽带网络,则仍需要付出较大的代价。

计算机网络为了适应非实时数据通信的要求,采用了分组交换方式,导致了不能支持实时通信。其次就是带宽特性,虽然主干网可采用波分复用的光纤技术可以满足带宽特性,但用户宽带接入网问题仍需加以解决。再次是网络管理的记费和安全问题。

## 2. 实现三网融合的技术问题

以三网融合为基础的 B—ISDN 若能同时传输语音、视频、数据等各种信息,必须具有很宽的网络带宽、较好的 QoS 和统一的信息表达形式。所以只有同时具备传输、交换和接入的宽带化,并且在网络的各个环节对各种信息进行统一处理,才能构筑三网融合赖以存在的技术前提。

① 骨干网传输的宽带化是三网融合的基础。随着光纤通信技术的发展,以光纤为媒介、以 DWDM+SDH 为主的光纤网成了电信骨干传输网的主流,在普通标准单模光纤上提供  $4 \times 2.4\text{Gbit/s}$  传输能力的 WDM 系统已经商品化,传输能力达 400Gbit/s 的波分复用系统已研制成功,因此以密集波分复用(DWDM)为基础的光通信网络将成为三网融合的基础。但存在的问题是:如何保证音频和视频的 QoS;如何以一种统一的数据格式传输各种信息;如何与传统的公用电话交换网(PSTN)兼容;如何进行复杂、灵活的网络管理。

② 宽带交换是三网融合实现 B—ISDN 的关键。以信元交换、统计复用为特征的异步传输模式(ATM)对语音、图像、数据都有很好的适应能力,可以保证较好的 QoS,交换速率高于 150Mbit/s。另外,新一代的吉位线速路由交换机面世,它采用专用硬件而不是软件来进行包处理,比传统路由器速度快几十倍。但无论 ATM 交换机,还是吉位线速路由交换机,在交换速度、网络吞吐量、QoS 等方面还远不能达到三网融合所需的性能指标。另一个问题是三网融合要求网络交换机对语音、视频、数据以统一的格式进行交换。现在语音交换主要基于 PSTN 的电话交换、数据交换主要基于 TCP/IP 协议的 IP 包交换,而有线电视则采用相对独立的方式,利用光纤同轴混合网(HFC)对电视信号进行分配和传输。如何把这几种相对独立、形式各异的信号予以统一,这是 B—ISDN 的重点,目前学术界尚无统一的认识。

③ 宽带接入网是从用户端到局端或网络节点的所有设备,接入网问题又称为“最后一公里问题”,也是三网融合的主要难点之一。现阶段,接入网技术主要有 HFC 技术和基于铜线的 xDSL(包括 ADSL、HDSL、VDSL 等)技术,由于 HFC 过高的成本和 ADSL 过高的设备价格,绝大多数用户难以接受。

从以上分析可以看出,三网融合的技术条件在现阶段还是不成熟的。在今后很长的一段时间内仍将是三网共存。

### 1.5.2 三网融合技术的发展

技术的发展是三网融合的基本推动力量。首先是数字技术的迅速发展和全面采用,使话

音、图像和数据信号都可以通过统一编码进行传输和交换。其次是光通信技术的发展，为综合传送各种业务信息提供了必要的带宽和传输质量。最后也是最重要的是统一 TCP/IP 协议的普遍采用，使得以 IP 为基础的业务都能在不同的网上实现互通。IP 网络已经从过去单纯的数据载体，逐渐发展成支持话音、图像和数据等多种信息的通信平台。于是，不久的将来，将以宽带 IP 网络为基础对三大网络进行融合，构筑未来的 B—ISDN。

### 1. IP 传输技术

宽带 IP 网络是以 IP 为核心的高速网络，在网络层以上，所有的应用都是以 IP 优化的，建立在 IP 的基础上。在网络层之下，无论是 ATM 还是新一代的光纤传输网络都是为了使 IP 包能够高速度、高质量、实时地传输。

新一代宽带 IP 网络要建立在现有网络技术的基础上，建立在当前最先进的网络传输技术基础上，获得较好的 QoS 和高的传输速率。典型的相关技术有 IP Over ATM、IP Over SDH、IP Over DWDM 等。

#### (1) IP Over ATM

ATM 的特点是速度快、容量大、支持业务能力强；IP 的特点是结构简单、连接灵活、容易扩充。将 IP 数据包在 ATM 层全部封装为 ATM 信元，以 ATM 信元形式在信道中传输。这样将 IP 协议与 ATM 层相结合，把选路和交换融为一体，二者优势互补，达到灵活、高效的目的。不足之处是结构复杂，开销损失大。

#### (2) IP Over SDH

IP Over SDH 以 SDH 网络作为 IP 数据网络的物理传输网络，将 IP 数据通过点对点协议，直接映射进 SDH 的虚容器（VC）中，可简化体系结构，提高传送效率，简化网间互联。特别是随着吉（千兆）比特交换路由器（GSR）的成熟，大大降低了分组的延时（达 ms 级），对于点对点 IP 通信骨干网，是一种理想的解决方案。其缺点是拥塞控制能力较弱。

#### (3) IP Over DWDM

IP Over DWDM 也称为光因特网，它省去了中间层 ATM 和 SDH，在光纤上直接构建 IP 网，即路由设备直接与光纤相连接。其优点是充分利用了光纤的带宽资源，极大地提高了传输速率，并且易于与现有通信网络兼容。但目前，波长还没有实现标准化，还没有形成“光网”。

### 2. 多协议标记交换（MPLS）技术

MPLS 是一种基于网络层选路、适用于多种协议的标记交换，能提高选路的灵活性、扩展网络层选路能力，简化路由器和基于信元交换的集成，提高网络性能。MPLS 既可以作为独立的选路协议兼容，支持 IP 网络的各种操作、管理、维护功能，使 IP 网络通信的 QoS、路由、信令等性能大大提高，达到或接近统计复用定长分组交换（ATM）的水平，而又比 ATM 简单、高效、便宜、适用。

# 第二章 电话通信网

通信的基本形式是在信源与信宿之间建立一个传输（转移）信息的通道（信道），但是，由于通信的信源与信宿之间的不确定性和多元性，一般在它们之间的信息通道不是固定的，这就需要通过向用户提供公用的交换和传输设备。出于技术上和经济上的考虑，通常不可能把所有用户都连接到一个交换中心，而是要连接到若干个交换中心，交换中心之间用传输线路（中继线）和传输设备（例如，为提高线路利用率而设置的复用设备）把它们连接起来，这就构成了一个通信系统（通信网）。简单地讲通信网泛指传送电报、电话、数据、传真及电视等信息的信道。

电话通信网在世界上作为最早的通信网络，同时作为遍布全球的最大的通信网络，无论是研究工作者还是商业厂家都对其投入了极大的人力和财力，进行网络设备投资和网络理论的研究。电话通信网络中许多成果和经验直接或间接影响到其它网络的产生和发展，电话通信网络中包含了通信网络理论的许多基本概念。

本章主要讨论电话通信网的基本构成、通信技术及其发展、通信网的发展和移动电话通信网等基本内容。

## 2.1 网的基本

### 2.1.1 电话通信网的一般构成

通信网不管是如何分类、实现何种业务、服务何种范围，其网络的基本结构形式是一致的，图 2.1 是网络结构的几种基本形式。

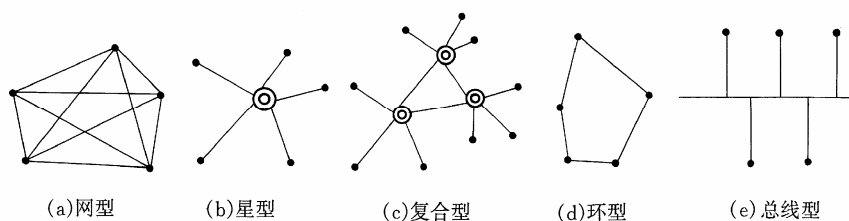


图 2.1 网络基本结构

#### 1. 网状网（全互连网）

图 2.1(a)为网状网，在该网中每一交换局彼此互连，任何两个电话局间都有直达路由，不需经过第三个局，因此接续迅速。另外，如果一旦直达路由发生故障，可经其他局一次转

接，并组织迂回接续。可是这种网络结构局间中继线束数最多，若  $N$  为交换局数，则中继线束数等于  $N(N-1)/2$ ，中继线利用率低。所以这种网只适用于局间话务量较大或分局数量较少的情况。

2. 星形网（辐射网）

图 2.1 (b) 为星形网，在网中的任一交换局均通过一个汇接局  $T_m$  进行交换。全网中继线束数最少，只有  $(N-1)$ ，中继线利用率高。但这种网的安全性最差，如果网内任一路由阻断，就会有一个局与全网失去联系。若汇接局出故障，会影响全网。

3. 复合网

图 2.1(c) 为复合网，由图可见它是网状网和星形网结合起来使用的，这种网络结构安全性最好，线路利用率也高，适合于大城市的电话网。

4. 环形网

图 2.1(d) 为环形网，每个交换局除了自己发送和接收呼叫外，还必须转接其它交换局之间的呼叫，每个交换设备必须能判别呼叫是在此终止还是转接到其它交换局。在这种网中一般传输流通的信息速率较高，它要求各接点或总线终端接点有较强的信息识别和处理能力，一般电话网很少采用这种网，它主要用于计算机通信网中。

2.1.2 我国电话网的分级结构

根据我国国情并参照其他国家的网路结构，我国的电话网确定为五级网路结构，如图 2.2 所示。

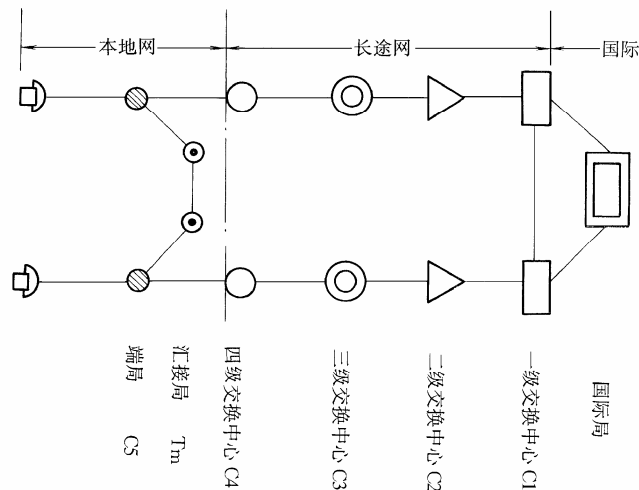


图 2.2 我国电话网的网络分级结构

它包括长途电话网 (Toll Network) 和本地电话网 (Local Network) 两部分。

1. 长途电话网的网络结构

我国长途电话网由一、二、三、四级的长途交换中心组成，为分级汇接网，如图 2.3 所示。图中  $C_1$  为一级长途交换中心，全国共设 8 个。 $C_2$  为二级长途交换中心，设在各省会城市，全国共 31 个。 $C_3$  为三级长途交换中心，设在各地区城市，全国共有 350 多个。 $C_4$  为四级长途交换中心，是长途自动交换网的长途终端，设在全国各县城，全国共有 2200 多个。

C1、C2、C3 各长途交换中心的职能是疏通本地交换中心服务区的长途来话、去话和转话。

C4 长途交换中心通常只疏通本交换中心服务区的长途来话和去话，但在非常规路由时，也可疏通长途转话。

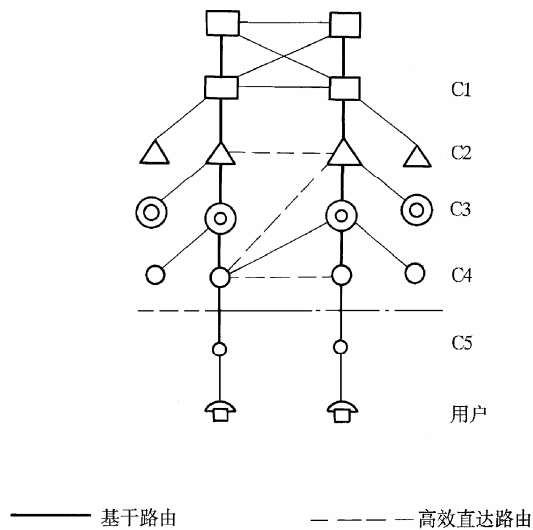


图 2.3 长途电话网的网络结构

2. 本地电话网的网络结构

本地电话网是指在同一个长途编号区内，由若干个端局或者由若干个端局和汇接局及局间中继、长市中继、用户线、话机等所组成的电话网。一个本地电话网属于长途电话网的一个长途编号区，且仅有一个长途区号。本地网用户间的呼叫按本地网的统一编号拨本地号码，而不拨长途区号。

本地电话网为两级基本结构，是由汇接局  $T_m$  和 C5 端局两个等级的交换中心组成，其网络结构如图 2.4。

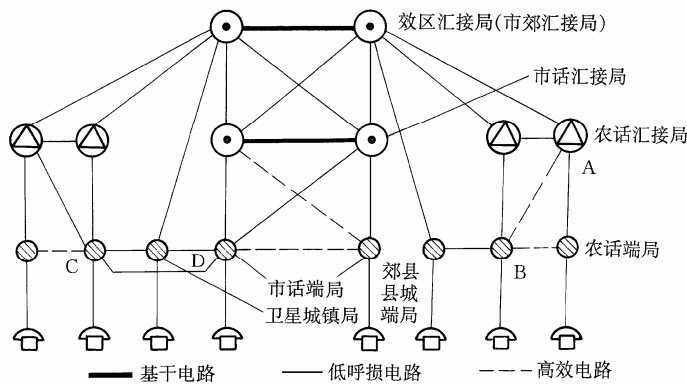


图 2.4 本地电话网的网络结构

在长途接续中，本地汇接局在等级上相当于四级长途交换中心，端局经本地汇接后只能与三级以上的长途交换中心连接。



本地汇接局的职能是汇接在本汇接区内本地端局的来话、去话和转话（市话），也可疏通本汇接区内的长途话务。

C5 端局的职能是疏通本局用户的来话和去话。

本地电话网的服务范围比原市话网大，它包括：市区的市话网及其所管辖的郊区电话，郊县县城和农村电话用户。因此除市话端局、市话汇接局以外，可设农话端局、县城端局、农话汇接局以及郊区汇接局等，组成了一个多级汇接的局部地区自动电话网。划分本地电话网服务范围，主要考虑话务流量、流向和经济效益。本地电话网的最大服务范围一般不超过  $70000\text{km}^2$ ，或者服务最大距离一般不超过  $300\text{km}$ 。

### 2.1.3 通信网的构成要素

通信网一般是由终端设备，传输设备和交换设备等三类设备组成。但只有这些设备往往还不能形成一完善的通信网，还必须包括信令、协议和标准。从某种意义上说，信令是实现网内的相互联络的依据，协议和标准是构成网的准则。因为它们可使用户之间，用户和网资源之间以及各交换设备之间具有共同的“语言”，使设备进网、成网，并能使网合理地运转和正确地控制，达到全网互通的目的，实现任意两个用户之间相互应答和交换信息。

图 2.5 为通信网的构成要素示意图，下面分为电话业务、交换技术、传输技术和信令接口等业务、技术及其发展作简要的说明。

## 2.2

### 2.2.1 电话业务及其发展

通信网作为社会的基础设施，越来越受到各国政府的重视，尤其是通信与计算机技术的密切结合，推动了各种电信新业务及其相应终端设备的迅猛发展。仅在语音方面的新业务就有无线寻呼、移动电话、无绳电话、磁卡电话、可视电话和多功能电话；在程控数字交换机中开发的转移呼叫、三方通话、遇忙等待、叫醒等十多种新业务；在电话网上加挂计算机，有的称之为语音平台，可以开发语音信箱、电话改号通知、电话信用卡等多种新业务；在电话网上叠加智能网，可以开发电话智能网业务，这是在电话网上开发新业务的最理想的手段；IP 电话（IP phone）又称网络电话、电脑电话（CT），它是数据包以分组形式在 Internet 上传送的，不仅可以实现实时话音通信，而且可以实现语音、视频、数据合一的实时多媒体通信。

进入 80 年代以来，由于技术进步和需求的加速，人们对信息的需要逐步从听觉信息（语音）向视觉信息（文字、图形、活动图像）和计算机信息转移，从而出现许多非话新业务。如：数据传输、数据库检索、可视图文、高速数据、电子信箱（E-mail）、电子数据交换（EDI）、传真存储转发、电子查号（DS）、可视电话、会议电视、有线电视等等。在 70 年代中期；数据和传真业务还只占电信业务总量的不足 5%；到 80 年代末，数据业务在电信业务总量中已接近 40%。

下面介绍几种主要的非话新业务。

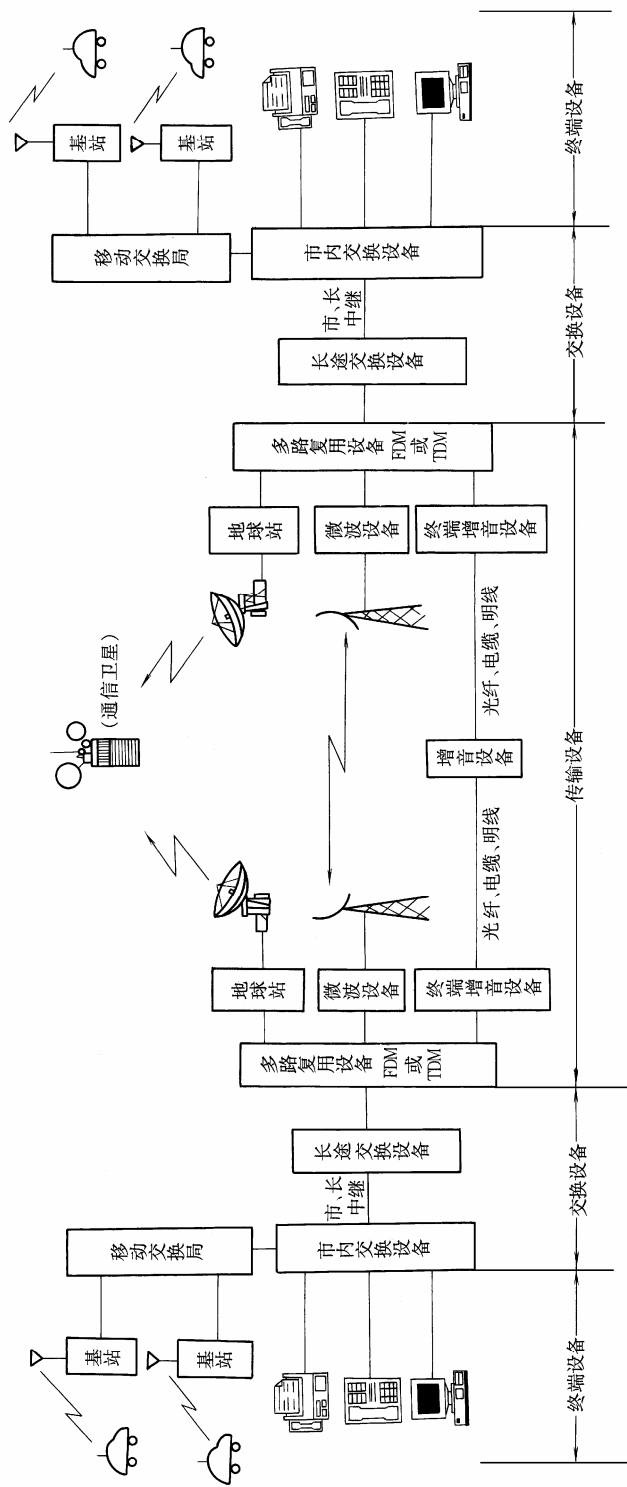


图 2.5 通信网的构成要素示意图

## 1. 可视图文业务

可视图文业务是以现有公用电话网和公众数据分组交换网为依托，利用公用或专用数据库向社会提供服务，是计算机、电话、电报技术三者结合应用的一种新型通信业务。可视图文系统通常是由信息处理中心、数据库、电话网和用户终端设备（如带有适配器的电话机、专用可视图文或个人计算机加调制解调器）组成的。

可视图文分为交互型可视图文（Videotex）和广播型可视图文（Teletext）两种类型。交互型可视图文是一种双向通信业务，它是利用交换网将计算机中心与可视图文终端连接起来，按用户要求提供文字、图形、数据等信息业务。网络连接的数据终端越多，使用的效益就越大。广播型可视图文是一种单向通信业务，它是利用广播电视信号中空隙行传文字或图形信息，通过适配器解码在电视接收机屏幕上显示。图文电视节目可以和正常电视节目同时收看，也可以单独收看。其设备简单，廉价方便。可用于家庭的简单数据检索，如天气预报、文娱消息、商品信息等。

我国可视图文系统的网络是一个广域分布式结构，系统由用户终端、编辑终端、网间接入设备、数据库和业务管理中心组成。图 2.6 是我国可视图文业务网络构成示意图。

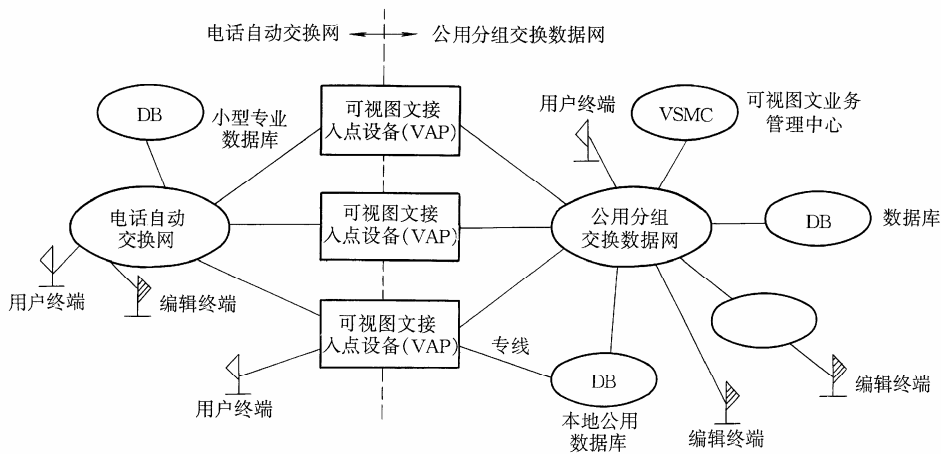


图 2.6 可视图文业务网构成示意图

## 2. 会议电视业务

会议电视是在现有公用数字网上开发的一项增值业务，是一种以视觉为主的通信业务形式。它的基本特征是：可以在两个或多个地区的用户之间实现双向全双工声频、视频的实时通信，并可附加静止图像、可视图文、传真等信号传输。它可将远距离的多个会议室连接起来，使各方与会人员如同在“面对面”进行通信。它将在我国政府级会议、商业活动、办公自动化、矿山紧急救援和现场指挥中有广阔的发展前景。

会议电视系统是为开放会议电视业务而使用的所有设备的总称。它由终端设备、编码设备和包括传输媒介在内的数字网络组成。图 2.7 是会议电视系统的组成框图。

### (1) 终端设备

会议电视系统终端设备由视频、音频输入输出设备，编译码器，附加信息设备以及系统控制复用设备，网络接口和信令等部分组成。终端设备主要完成会议电视信号的发送和接收任务。

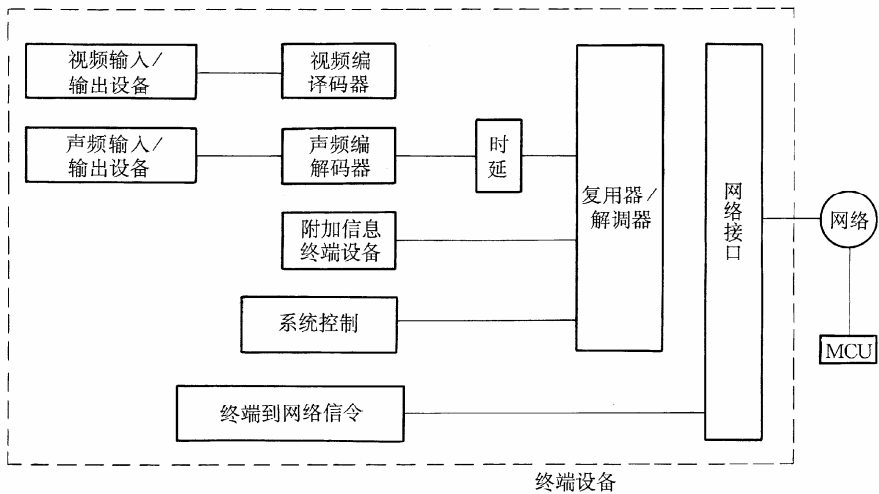


图 2.7 会议电视系统组成框图

(2) 节点交换单元（MCU）

MCU 是位于网络节点上的一种交换设备，它与所有的会议电视终端必须是点对点连接。三个或多个会议电视终端通过一个或多个 MCU 形成会议呼叫，建立通信。按终端业务类型的不同，终端和 MCU 之间的数字信道可以从 64kbit/s 到 2.048Mbit/s。从终端送出的视频、音频、控制和指示信号以及用户数据组成的信息流在 MCU 中完成同一种模式的转换，实现通信。MCU 必须具备模型交换、视频交换、速率转换功能。进行会议电视业务通信，除了终端设备、传输信道外，节点交换单元 MCU 必不可少。MCU 的多少及连接方式又决定了会议电视网的大小。

(3) 会议电视的信号传输

会议电视网是根据业务需要临时组成的。所有长途数字网（光缆、卫星、数字微波）均可成为会议电视网的网络支撑。不开放会议电视时，这些长途电话可作为电话和其它非话业务的传输信道。

(4) 会议电视专用会议室的构成

会议电视终端放在专用会议室，使用专用网来连接会议室和通信机房，电信部门提供的长途干线和节点交换机与终端会议室的连接，如图 2.8 所示。

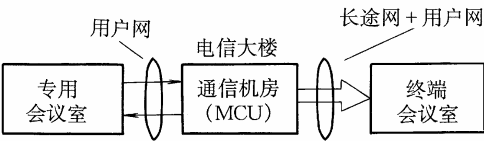


图 2.8 会议电视专用会议室的构成

在国外，日、美、法、德等国近年来研究开发了 64kbit/s 活动图像传送技术。其核心是一种高效能的计算机预测编码技术，将摄取的活动图像信号进行数字压缩，使之在一个普通的 64kbit/s 数字话路上同时进行活动图像与话音的传送。对于活动较少的场面，目前可获得基本满意的活动图像效果，由于这种业务仅占用一条普通数字电路，即可同时传语音及图像，

故这一技术具有重大实用意义。目前一些外国公司已制造出屏幕大至上百英寸，小至十英寸以下的各种可视电话和电视会议设备。美国 AT & T 公司还提供 64kbit/s、384kbit/s、2.544Mbit/s、2.048Mbit/s、以及 34Mbit/s 系列产品。

在我国一些大城市间也具备了开放会议电视的条件。北京、上海都建立了符合国际标准的会议电视室，并且已与美国、日本、韩国、香港开放点对点的会议电视。福建、湖北两省分别使用南京邮电学院和原邮电部五所研制的设备在全省开放会议电视。为了尽快在全国主要城市间开放会议电视业务，各地可建立符合国际标准的 64kbit/s、384kbit/s 和 2Mbit/s 的会议电视系统和设备，以实现全国联网。

3. 有线电视业务

有线电视 (Cable TV,CATV) 是以电缆和光缆等为主要传输媒介，向用户传送本地、远地的卫星及自办节目的电视系统。有线电视以其节目来源丰富、覆盖范围大、传输质量优良等特点在世界各国得到了迅速发展。美国、加拿大的每百户家庭的有线电视拥有率已达 55.1% 和 78.8%，CATV 应用极为普遍。目前我国一些大城市市内通信光缆已有相当规模。电信部门可积极参与有线电视的传输，在地方政府的支持下，加速光缆的建设，迅速向路边、向居民楼延伸。这不仅为国家节约有线电视传输的重复投资，还为电信部门发展宽带业务提供了有利条件，对最终建立综合业务数字网具有战略意义。

有线电视系统一般由接收信号源、前端设备、传输干线和用户分配网络等部分组成。图 2.9 所示是一个有线电视系统的基本组成框图。

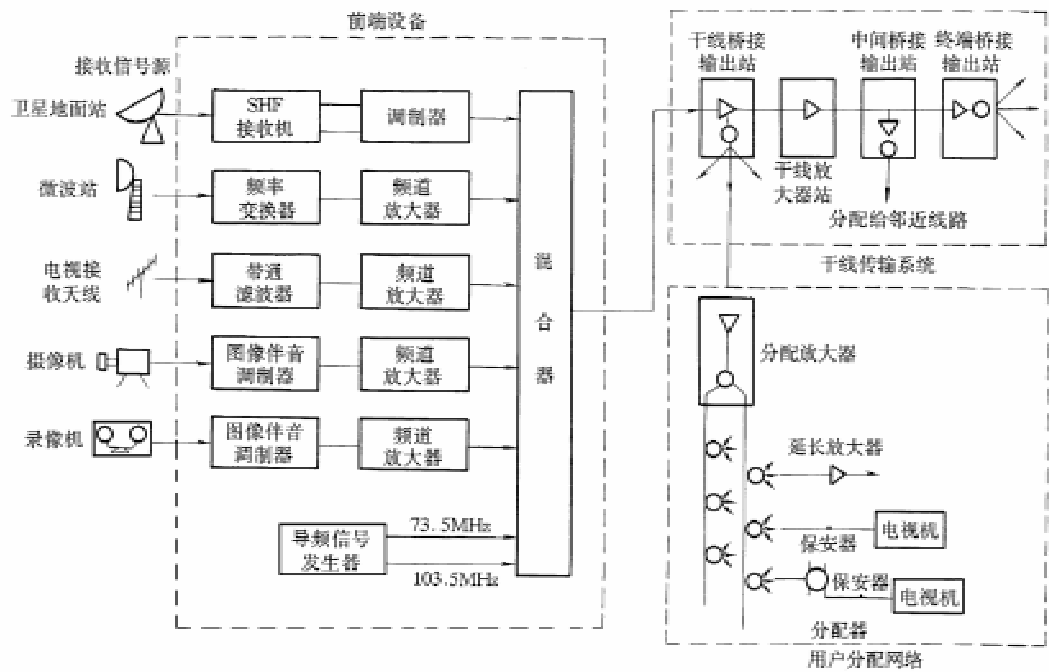


图 2.9 有线电视系统的基本组成框图

(1) 接收信号源

接收信号源部分包括卫星地面站、微波站、电视广播接收天线、电视转播车、演播室和录像机等。有线电视系统中，目前主要的接收信号源是电视接收天线和卫星接收天线。

## (2) 前端设备

前端设备是在接收信号源与电缆传输分配系统之间的设备。它把天线接收的广播电视信号或自办节目设备送来的电视信号进行必要的处理,然后再把全部信号经混合网络送到干线传输分配系统。图 2.9 所示仅是传输几个典型节目的有线电视系统前端设备基本构成。由于传输频道不多,一般信号处理都采用带通滤波器、频率变换器、调制器、频道放大器、导频信号发生器及混合器等简易部件。对于传输节目多、技术性能要求高的大型有线电视系统,由于采用邻频道传输而带来频道间的干扰增大,一般简易部件已不能满足技术要求。目前大都采用技术复杂的信号处理器来实现频率变换、调制、放大等功能。

此外前端设备还可包括系统监视、付费电视、防盗报警等特殊服务的设备。

## (3) 干线传输系统

干线传输系统是把前端接收处理、混合的电视信号传输给用户分配系统的一系列传输设备。主要有各种类型的干线放大器和干线电缆,为高质量地传输电视信号,应当采用优质低耗的同轴电缆或光缆。同时采用自动电平控制 (ALC) 和自动斜率控制 (ASC) 的干线放大器。

根据系统需要选择不同类型的干线放大器和中间桥接、终端桥接等放大器,加上适当的同轴电缆,可构成任何复杂的干线传输系统。

## (4) 用户分配网络

用户分配网络直接把来自于传输系统的信号分配给家庭用户的电视机。用户分配网络包括线路延长分配放大器、分支器、分配器、串接单元支线、用户线以及用户终端盒等,用户分配网络的电缆可以使用芯线较细的电缆。

## 4. 电子邮箱

电子邮箱是一种消息处理系统 MHS (Message Handling System),也称作信息处理系统或报文处理系统。它是 80 年代中后期发展起来的一种全新的信息通信 (Telematic) 技术和业务。MHS 建立在计算机通信网上,可以提供多种业务,包括:电子邮件、文件传送、EDI、传真存储转发、图像、数字语音等。MHS 建立在开放式互连系统模型 (OSI) 第 7 层上,实现了第 7 层的部分功能。它为用户计算机直接提供第 7 层的应用接口和工作平台,因此常称 MHS 为数据通信平台 (或信息通信平台)。这种业务的特点是在通信过程中不要求收信人在场,也不需要每一收到的信息都以拷贝的形式出现,可具有转发和同时向多用户发送消息的能力,可以进行迟延投递、加密处理等。利用电子邮箱避免了用户占线和无人应答而不能通信等问题。

MHS 具体实现方式为:在通信网上加挂一台或几台大容量计算机;在计算机上,用软件的方法实现用户代理 (UA)、报文传输代理 (MTA)、报文存储器 (MS)、访问单元 (AU) 等单元功能以及它们之间的通信规程;用计算机的硬盘作为 MS 的物理存储机构,在硬盘上为每一个用户分配一定的存储空间作为用户的“信箱”;通信在用户信箱之间进行。因此,MHS 系统又称为“信箱系统”。

信箱系统对用户的通信完全是透明的,相当于一个黑匣子。典型的通信过程是 (以电子邮箱 E-mail 为例):用户首先进入自己的信箱,然后通过键入命令的方式 (交互式) 将需要发送的报文发到对方的信箱中。报文在信箱之间进行传递和交换。也可以与另一个信箱进行传送和交换 (MTA 功能)。收方在取信时,也需首先进入自己的信箱。通信过程可由图 2.10 表示。

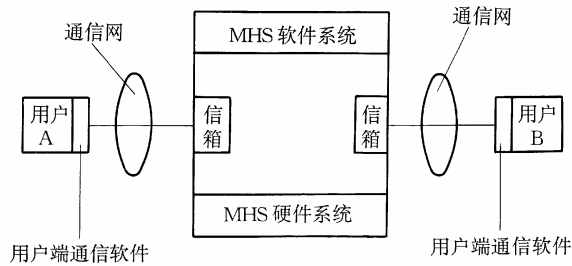


图 2.10 MHS 系统的通过程

## 5. 传真通信业务

传真应用扫描技术，可以传送任意的文字、静止图像，并以硬拷贝形式记录下来，属于以人的视觉为对象的图文通信的一种。如果经扫描把连续的光信号转换成模拟的电信号的传真即为模拟传真。如果把模拟电信号再进行抽样、量化、编码便是数字传真。传送黑白图片上的黑白信息的传真称为文件传真。

公众传真和用户传真是公用电话网上传送文件的两种业务。公众传真是在局间传达文件的传真业务，用户传真是在用户间传送文件的传真业务。CCITT 制定了一类机 (G1)、二类机 (G2)、三类机 (G3) 以及四类机 (G4) 的国际标准。具有自动纠错能力的数字传真机定义为四类传真机 (G4)，它在数字网上传输速率为 64kbit/s，几秒钟 (约 9 秒) 内可传送一个 A4 版面。三类传真机也是数字传真机，可以在模拟网上传送也可以在数字网上传输。其传输率为 4800bit/s 或 9600bit/s。

我国目前的传真通信是采用电路交换方式在公用电话网上进行的，通信是实时通信，传真系统上的功能只能在终端完成。随着计算机技术和通信技术的发展与结合，人们已不满足于实时通信了，要求建立具有存储转发功能的非实时性传真通信。即建立存储转发传真网，提供多种功能，如：图文传真、不同类型传真机之间的互通，提供 ASCII 码终端与传真机的通信及定时投递、传真信箱、重新呼叫、重新发送、传真测试、信息查询、传递成功或未成功通知等功能。建立存储转发的传真通信网，可以进一步促进传真通信业务的更快发展。

## 6. 智能用户电报

目前广泛应用的电报 (Telegraph) 有公众电报和用户电报 (Telex)。在现代通信网中可承载的用户业务包括用户电报、智能用户电报 (Teletex) 及数据等新型业务。

用户电报是将电报或电传终端、线路从传统的电报局延伸至用户，用户借助呼叫器或键盘进行呼叫，经程控交换机相应的接口与交换网络相连，使用户利用各自的终端互通电报。

智能用户电报 (Teletex) 的通信过程与用户电报 (Telex) 不同，它不是双方操作员之间的人工通信，而是双方终端存储器之间的自动通信，是迅速发展起来的信息通信业务之一。智能用户电报终端集通信技术、计算机技术和汉字信息处理于一体，为适应办公室自动化技术的需要而具有文字制作、编辑、通信、打印等功能，已成为自动、高速 (1200~9600bit/s) 传送中、大容量文件的主要通信设施，并可与现有的 Telex 网互通。

## 7. IP 电话

随着 Internet 的日益扩大，基于 IP 技术的各种应用迅速发展，其中 IP phone 就是近几年兴起的、极具挑战性的实用技术。IP 电话可以在 Internet 上实现实时的语音传输服务，和传统的电话业务相比，它具有巨大的优势和广阔的市场前景。

IP 电话与传统的公用电话交换网 PSTN 相比其优点为：(1)采用分组交换技术实现信道的统计复用能更有效地利用网络资源；(2)可以提供更为廉价的服务，可以比传统的电话资费低 40%~70%；(3)和数据业务有更大的兼容性，不仅包含传统的话音业务，还涵盖了视频、数据等多媒体实时通信业务。但 IP 电话正处于发展时期，其话音质量，互通性及网络容量还有待于改进。

IP 电话系统的基本结构如图 2-11 所示。IP 电话系统由终端设备、网关、多点接入控制单元（MCU）和网络管理等四个基本组件构成。其中网关是通过 IP 网络提供话音通信的关键设备，是 IP 网络和公用电话交换网（PSTN）/综合业务数字网（ISDN）/专用小交换机（PBX）互连的接口，完成寻址和呼叫控制；MCU 的功能在于利用 IP 网络实现多点通信，使得 IP 电话能够支持诸如网络会议这样一些多点应用。

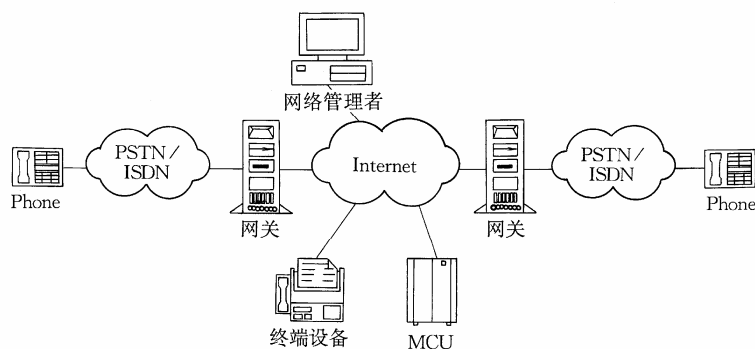


图 2.11 IP 电话系统的基本组成

### 2.2.2 交换技术及其发展

为了进行通信，需要将通信双方的终端用传输信道连接起来。要从点对点的通信系统构成通信网，必须在用户终端之间的适当位置上设立交换局及相应的交换设备。随着社会的进步，科学技术的发展，交换技术已经历几次飞跃，更新了好几代。交换技术的几个主要特性的演变过程如下：

- (1) 接续网络：从金属接点到数字开关（分立元件→集成元件→光子开关）；
- (2) 信息形式：从模拟（电流）到数字（电脉冲-光脉冲）；
- (3) 复用方式：从空分到时分到波分（密集波分）；
- (4) 控制方式：从人工到机电到电子到存储程序控制（SPC）或简称“程序”；
- (5) 信令方式：从信令与呼叫信息交替用同一信道（模拟式）到共路信令，信令在独立的信道上传送（数字式）；
- (6) 接续特征：从电路到信息到分组（或叫信包）；
- (7) 信息带宽：从窄带（音频）到宽带（1MHz-100MHz）。

不难看出，从电子到数字到时分到程控代表着当代电话交换技术发展所达到的水平。目前常用的交换按局内处理信号的方式可分为电路交换、信息交换和分组（包）交换三种方式，新的交换方式有异步转换模式交换（ATM）和光交换。



### 1. 电路交换方式

电路交换是一种应终端设备的要求（呼叫）接续电路、使终端设备相互间进行通信的交换方式。为此，终端设备要首先指定对方终端设备的号码，向交换局发出接续要求（呼叫）。交换机为之完成电路接续后，终端设备便可进行通信。在通信中，通信双方一直占用该电路，直至通信完了，这时终端设备切断电路，解除电路的连接，于是接续就此结束。

电路交换技术包括空分电路交换和同步时分交换。空分电路交换主要是为模拟电话交换而设计的，交换机为通话双方提供物理电路连接，并在整个通话过程中被通话双方独占，在通话结束后释放物理电路，别人才能占用。同步时分交换是为数字电话交换而设计的，它以数字帧结构形式，把每帧中依次、周期性出现的时隙固定地分配给相应的用户，也就相当于为每个用户分配了固定速率的信道（标准通路速率 64kbit/s）。在整个通话过程中，由于使用固定速率的信道，而导致数据传送效率低，不能满足高速率数据的要求。

### 2. 信息交换方式

信息交换方式是终端设备发出的报文，由交换局接收并存储，然后根据该报文报头上的路由指示，等待通往目的地的通路空闲时，再把报文发出去。这种交换方式称为“存储和转发”（storage and forward）方式，公用电报网中的报文交换是信息交换的一个典型的例子。

在“存储和转发”方式中，一对通信用户并不像电路交换那样占用着一条电路。在这条路径上的各个交换局只是分段地将该份报文发出去。交换局在发完一份电报后接着又发下一份电报，而不管上一份电报是否已到达收报人所在的交换局。所以这种交换方式不是为一对用户终端建立一条通道，而是以用户所发送的一份电报作为处理对象。由于当前这种存储转发交换的数据和文件已远远超出电报业务范围，因而在数据通信中把它称为“电文交换”或“信息交换”。

信息交换的主要特征是在各交换局内备有输入信息存储器。信息在交换局内有一定的等待时间。信息交换机具有代码变换、速率变换、检错或纠错、路由选择等功能，以及能在需要时对输入信息进行处理与加工功能。因此，参加信息交换的一对用户终端可以用不同的代码或用不同的速率工作。

由于在信息交换中引入了以计算机为主的程控技术，不仅使电报通信技术得以彻底更新，而且它的处理过程也完全适合于低速、中速以至高速的数据接转，但是信息交换仍有一定的局限性，从而又出现了下面我们要介绍的分组交换方式。

### 3. 分组交换方式

分组交换技术发明于 1964 年，开始只作为计算机之间的通信和资源共享来应用；经过大约十年的试用，才通过市话网作为增值网在数据通信领域内向用户提供分组交换服务；80 年代以来，世界各国的公用和专用分组交换网蓬勃发展，目前已形成全球性分组交换网络。

分组交换和信息交换一样，是采用存储转发交换方式，把较长的报文分解成若干个较短的分组（或称“包”），作为存储转发的单位。每个分组前边都加上固定格式的分组标题，用于指明分组的发端地址、收端地址及分组序号等。分组后的分组报文送于可达到目的地的多个路由上，这些分组可以在网内独立地传输，也可由多个路由传输。到达接收端交换机后，这些分组信息按分组号重新组合并去除所加分组标题即可送至接收端机。

分组交换有许多独特的优越性。例如，采用虚电路复用方式使信道利用率大幅度提高，传输费用显著下降；独特的分组格式有利于纠错和分组重发规程的实现；X.25 分组用户/网络接口协议的重要性能，允许每一个虚电路单独使用流量控制，使网络 and 用户在任何情况下都

能防止阻塞。然而，因分组交换机具有流量控制、差错检验、校正和重发等功能，并采用高级数据链路控制规程（HDLC）来进行状态管理，因而造成软件处理工作量大，处理时间大，不适应传输实时性要求较强的话音业务和电视图像业务，目前分组交换机信息转移能力还远远达不到高速传输的要求。

在向 ISDN 方向发展的过程中，首先出现了建立在 64kbit/s 基础上的窄带 ISDN 交换。随着各种业务发展的需要，当窄带 ISDN 交换向宽带 ISDN 交换过渡时，人们在寻求一种比较理想的交换技术，它可以适应于各种码率和带宽分配，对各种不同的业务采用统一的交换方式，而在交换网路的信息流通量和时延等方面能具有令人满意的指标。异步转移模式（ATM）交换技术就是在这样的要求下发展起来的。

4. ATM 交换方式

异步转移模式（ATM）交换也称为异步时分（ATD）交换或快速分组交换（FPS），是介于电路交换与分组交换之间的一种新的交换技术，它采用统计复用和简化的分组交换，能够实现网络与业务的性质无关，其特点如下：

- (1) 灵活性高，适应性强：可以适应范围宽广的可变码率和灵活的带宽分配，终端产生的数据比特流可以是连续的或突发的，可以适应于各种宽带业务以及原有的窄带业务，也可以适应于今后的未知业务；
- (2) 各种话音/非话业务采用统一的交换技术；
- (3) 简化的分组交换：分组长度趋向于固定，取消了链路级上的流量控制和差错控制，采用虚电路技术和自选路由的交换网络。

信息转移方式可分为同步转移（STM）和异步转移（ATM），如图 2.12 所示。从图看出，STM 来源于同步时分（STD）技术，ATM 来源于异步时分（ATD）技术。同步时分采用固定帧长结构，它根据时隙在帧内的相对位置来识别信道，要求时隙周期性出现，因此需要有同步信号进行时隙定位。目前的数字交换机都采用同步时分复用技术。异步时分不是根据时隙位置来识别信道，而是通过时隙中“标记”信息进行识别，并通过标记进行交换，因此在异步时分技术中不需要同步信号进行时隙定位。

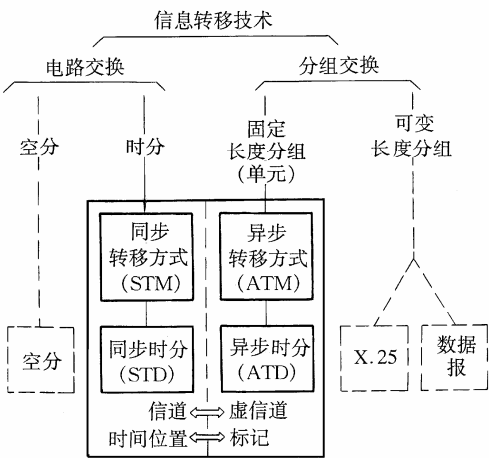


图 2.12 信息转移方式

## 5. 光交换技术

光交换是在 80 年代迅速发展起来的高科技应用研究课题,是为宽带服务的新一代交换系统,目前还处于实验阶段。

光交换是以光的形式直接实现各用户之间的信息交换,这对于提高通信质量和可靠性,减少设备和降低网络成本都有很大的好处。另外,由于被交换信息的载体的根本改变,使光交换具有宽带特性,不受电磁干扰,而且光在与其传播方向垂直的横向扩散极小,即使并行传输也不会产生严重的相互干扰。所以,光交换系统被认为是可以适应高速宽带通信业务的新一代交换系统。实现光交换的主要设备是光交换机,应用光波技术交换的光交换机由传输回路和控制回路两大部分组成。把光波技术引入交换系统的主要课题是如何实现传输回路和控制回路的光化。目前主要围绕光交换网络即传输回路进行研究,从基本原理和结构上看,光交换网络除了有与电子交换网络相似的空分交换、时分交换以外,还有电子交换所没有的波分交换。

波分交换的基本原理是在波分光交换网络中,各信息载于不同波长的光波上,复用信号在交换信号控制下重新安排信号的载波频率,从而输出交换后的信息,图 2.13 为其原理图。通常的波分光交换网络包括波长转换开关、可变波长与固定波长的滤波器等器件。

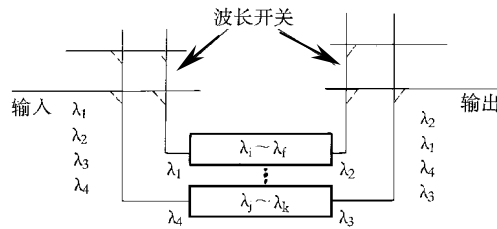


图 2.13 波分交换原理

### 2.2.3 传输技术及其发展

如前图 2.5 所示通信网中的传输设备包括信道、变换器及复用设备。由不同的传输设备组成不同的通信方式。

#### 1. 数字电缆通信

数字电缆通信是指采用电缆时分传输方式的数字电话通信系统,根据调制方式的不同又分为脉码调制 (PCM) 和增量调制 ( $\Delta M$ ) 电话通信系统。目前,我国采用的 PCM 系统是以 A 律 13 折线压扩方式实现的 30 路为一个基群 (或一次群) 的系统,即 PCM30 路系统。这种制式的一次群系统的速率是 2.048Mbit/s,共有 30 个话路。为了提高传输线路的利用率通常还采用数字多路复接的方式把若干个一次群系统复接成一个二次群系统,也还可以把若干个二次群系统复接成一个三次群系统等。

30 个话路的一次群系统,一般是应用于市内电话网局间的中继线路上的电缆数字通信系统。由于市内电话网中的中继线电缆的线径通常为 0.4~0.6mm,一般又是为传输语音信号而设计的。用作 2.048Mbit/s 速率的数字信号传输时的传输衰减和线对间耦合串音影响较大,其传输中继距离通常设计为 1.8km 左右。为此,当两局间的距离较长时两局间要设置适当数量的再生中继站,有关的中继距离的设计可参阅有关资料。

如果两个端局都是数字程控交换机时,采用电缆数字传输时连接方式最为简单,如图

2.14 所示。对这种情况，数字中继接口已经是 30 路一次群速率接口。所以，两局的出、入中继器可直接通过中继电缆相连接，这时的线路速率是 2.048Mbit/s，复用的话路数是 30 路。

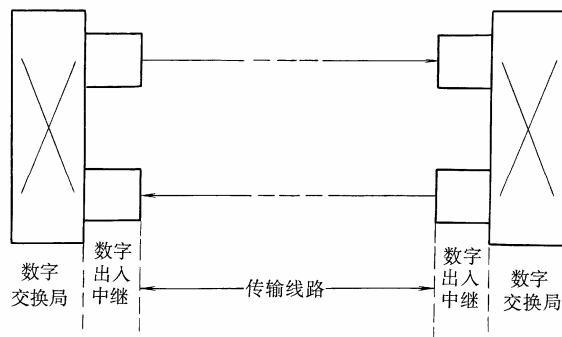


图 2.14 数字电缆通信系统示意图

2. 数字微波通信

微波通信是利用电磁波在对流层的视距范围内，以微波接力形式进行传输的通信方式。微波传输由于其通信容量大、传输效率高、施工简单及成本低等一系列优点，是目前各国普遍采用的传输手段之一。它与有线传输相比很重要的一个特点是在地形复杂的地方建站。因此，目前我国基本上形成了一个范围广泛的微波传输网。

由于数字通信技术的发展，使微波传输的数字化技术也随之相应的发展。数字微波传输就是直接采用经多路复接的数字信号进行中频数字调制，然后再进行微波段的射频调制，最后由天线发送经空间传输。长距离传输时，在适当距离上应加中继站。由于微波波段传输是由电磁波的直射视距传输，考虑到地球表面曲度，在高山或特殊建筑物阻挡的情况下，标准中继距离是 50km。数字微波传输系统框图如图 2.15 所示。从图中可以看出，系统中传输的数字信号都是以 PCM 复用方式为基础，对数字程控交换局的情况只需将数字中继终端的 PCM 母线进行高次群复接和分接，再与微波端机接口。

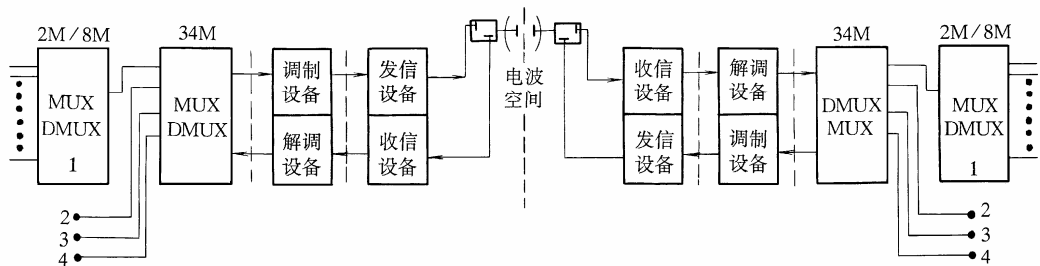


图 2.15 数字微波传输系统示意图

数字微波的关键技术之一是研究宽带高效率的调制解调技术。目前主要的工作是提高调制的状态数。16QAM（16 态正交调幅）、64QAM、140Mbit/s 系统已成熟并商用化，到 2000 年以后 1024QAM 系统可能投入使用。数字微波还在向更高频段方向发展，如 20~30GHz 甚至 40~50GHz。在数字微波调制技术中的一项突破是网格编码调制 (TCM) 技术的应用。TCM 技术是把编码和调制结合在一起，它既可以保持多态调制方式的高频谱效率，又可获得高功率效率，即可获得相当高的编码增益。随着集成电路和数字处理技术的不断发展，数字微波将变得更加经济、可靠。

今后开发数字微波系统关键技术有多状态调制技术、功率放大器的线性化技术、横向均衡器、滚降系数小的滤波器、分集接收技术、TCM 技术、前向纠错、微波数字信号处理技术、多载波传输、交叉极化干扰抵消器、交叉极化隔离度高的天线、发送功率控制、干扰抵消器、微波集成电路、声表面波器件等。

根据我国目前情况，我们应当注意下面几个方面的研究：

(1) 开展更多状态 QAM 调制方式的研究

为了提高频谱效率，扩大通信容量，满足通信发展的需求，在我国已取得的 64QAM 调制技术成果的基础上，进一步开展 256QAM 调制方式的研究，并开展相应配套技术的研究。此外，还要为 TCM 调制方式等的研究做一些准备工作。

(2) 开发更高频段的本地网系统

如前所述，国外已经用到 23、26GHz 等 20GHz 以上的频段，但在我国地面微波通信系统中，尚未用 10GHz 以上的频段。要开拓 10GHz 以上的频段就必须进行相应的设备方面的研究及降雨衰减的研究和抗降雨衰减措施等的研究。

(3) 开展 SDH 数字微波系统的研究

我们应当密切注意 CCIR、ETSI 等国际标准化研究机构及各国有关机构对于同步数字序列 SDH 数字微波系统研究的进展情况，配合光纤 SDH 系统的研究，研制我国的 SDH 数字微波系统，以便与光纤传输链路相配合，作为干线的重要链路传输环节，使有线、无线两种介质的优势相互补充发挥，以确保至关重要的干线传输的高质量与高可靠性。

### 3. 数字光纤通信

光纤通信是以光为载波，以光导纤维为传输媒介的一种通信方式。由于光纤通信具有一系列优异的特性，因此，光纤通信技术近年来发展速度之快、应用面之广是通信史上罕见的。可以说这种新兴技术，是世界新技术革命的重要标志，又是未来信息社会中各种信息网的主要传输工具。

数字光纤通信，就是由数字电端机输出的电信号通过电/光变换的光电调制电路变换为光信号，而后经光导纤维传输到接收端，再经光/电变换的光电检测电路变换为电信号送入数字电端机的信息传输方式。它具有频带宽、容量大、中继距离长、抗干扰性好、保密性强、成本低廉、传输质量高等许多优点。在短短的一、二十年中已从  $0.85\mu\text{m}$  短波长多模光纤发展到  $(1.3\sim 1.55)\mu\text{m}$  的长波长单模光纤，传输方式也已从 PDH 发展到 SDH 同步传输。目前，光纤的传输速率达几十 Gb 以上，光波长在  $1.31\mu\text{m}$  损耗是  $0.5\text{dB/km}$ ，在  $1.55\mu\text{m}$  的损耗是  $0.2\sim 0.3\text{dB/km}$ ，已接近理论极限值。并开发出许多新型光电器件，激光器寿命已达到数十万小时。

光缆时分数字传输系统目前普遍采用 SDH 方式，在发射端将基群电信号复接成 STM-N 的高次群信号，送入光发送端机进行电/光调制变换为光信号在光纤中传输。在光接收端机中将由光纤中接收到的光信号，经光电检测器的光/电变换将光信号变换为电信号，再通过复接设备分接成多个基群信号。

155Mbit/s 的 SDH 光缆数字传输系统的示意图如图 2.16 所示。图中由数字程控交换机数字中继接口接出的 63 个基群信号——支路信号，经过 STM-1 终端复接设备复接成 155Mbit/s 的信号，再进行光调制后耦合入光纤。接收端机把从光纤中接收到的光信号经光电检测器变换为电信号，再经终端复接设备分接为 63 个基群信号接于数字中继接口的入线端。

为适应远距离、高速、宽带光纤通信传输的需要，专用的光纤传输的集成电路和光纤放

大器、光开关、全光中继器、光交换机等的研究都有新的突破。新一代相干光纤通信系统

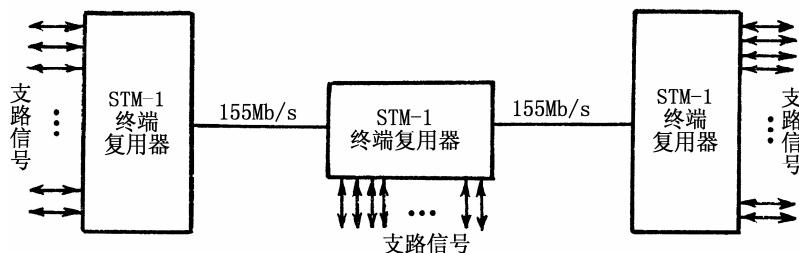


图 2.16 155Mbit/s 光缆数字传输系统示意图

的成功研制将使我们有可能把现有光纤通信容量提高几个数量级，一次传送距离为几百公里的通信系统可望建立；新的红外光纤材料的研究，有可能使光纤的衰减再减少两、三个数量级，这样可使一次传输距离达到成千上万公里；利用波分复用技术扩大容量，目前研究的重点是提高波分复用度和降低光分/合波器的插入损耗，同时研究新型绕射光栅型光分合波器，使波分复用数达到 10~20 个，若每波道传输 5Gbit/s，共可传输 50~100Gbit/s；光孤子通信正在实验开发阶段，日本 NTT 实验室水平为 30Gbit/s，无中继距离为 1000km。

#### 4. 卫星通信

从 1965 年美国发射第一颗商用同步卫星起，卫星通信已经走过了 30 多年的历程，取得了很大的发展。目前在轨道上运行的通信卫星有 130 多颗，全世界商用和专用地球站已超过 100 万个。在国际通信中，卫星通信承担了 70% 以上的业务。卫星通信的特点是覆盖面积大，通信距离长，不受地理环境限制以及投资省、见效快等许多优点。尤其在长距离、多岛屿、移动和灾害等通信中更是非它莫属。在未来的信息社会中，它是一种重要的信息传递方式。

卫星通信是指利用人造地球卫星作中继站转发无线电信号，在多个地球站之间进行的通信，如图 2.17 所示。图中表示在一颗通信卫星天线的波束所覆盖的地球表面区域内的各种地球站，都可以通过卫星中继、转发信号来进行通信。因此可以说，卫星通信是地面微波中继通信的发展，是微波中继通信的一种特殊方式。

目前卫星通信分国际卫星通信、区域卫星通信、国内卫星通信。现在开放的业务是以电报、电话、数据、电视、会议电视、电子邮箱为主，然而从长远看，将来的卫星通信业务是数字综合业务。其特点是，对新业务的加入非常灵活，所需的地球站设备简单，小型化，且能提供高速的数据业务，如计算机通信就是其中的一个例子。这样的地球站终端可以是计算机，也可以是其它终端设备。

卫星通信技术发展的主要变化包括：卫星通信的传输技术从模拟走向数字，数字传输的方式有每转发器单载波和多载波的，也有连续方式和突发方式的；使用更高的频段亦即从 C 频段（6/4GHz）移向 Ku 频段（14/12 或 14/11GHz）和 Ka 频段（30/20GHz）；出现了多种多址技术，包括预分配多址（PAMA）、按需分配多址（DAMA）、频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）以及混合多址技术；星上通信设备和功能日趋完善，主要表现为实现星上交换、星上再生和星际连接等星上处理功能；地球站由大变小，由初期大而昂贵的 30 米天线地球站一直发展到目前不到 1 米天线的廉价小站。卫星通信发展的主要趋势是星体间正在向集传输、交换和信号处理于一体的“空中节点”发展，现已开始应用有较大发展前途的新系统。

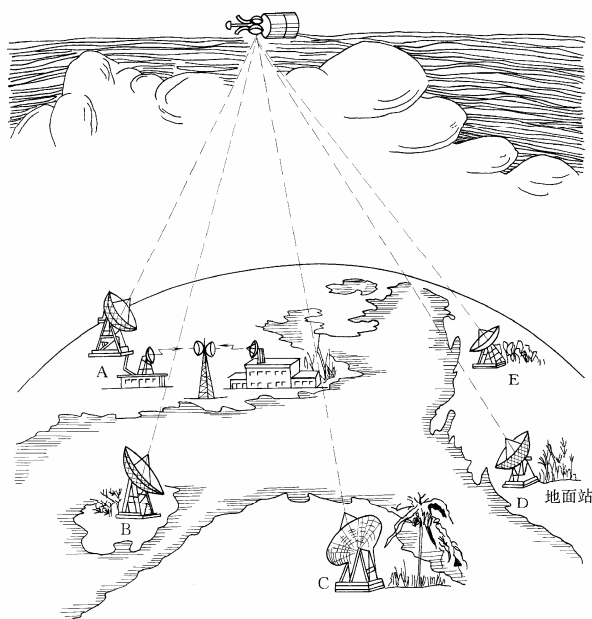


图 2.17 卫星通信示意图

### (1) 甚小天线地球站(VSAT)系统

VSAT 系统是由天线尺寸小于 2.4 米, G/T 值低于 19.7dB/K, 设备紧凑、全固态化、功耗小、价格低廉的卫星用户小站和一个枢纽站组成的通信网, 主要用来进行 2Mbit/s 以下低速数据的双向通信。VSAT 系统中的用户小站对环境条件要求不高, 不需要设在远郊, 可以直接安装在用户屋顶, 不必汇接中转, 由用户直接控制电路, 安装组网方便灵活, 可以构成端对端的独立通信网。

VAST 系统工作在 14/11GHz 的 Ku 频段以及 C 频段。系统中综合了如分组信息传输与交换、多址协议、频谱扩展、大规模集成电路、高效率话音编译码等多种先进技术, 可以进行数据、语音、视频图像、传真、计算机信息等多种信息的传输。

### (2) 移动卫星通信

移动卫星通信是指移动终端卫星通信系统, 即无论在任何地方, 用户都可以使用便携式的移动终端, 通过同步通信卫星和地球站, 并经由通信网中转, 进行全球范围的电话、传真和数据传输。目前, 海事卫星 (INMARSAT) 系统是世界上能对海、陆、空中的移动体提供静止卫星通信的唯一系统。国际电信联盟还把 L 波段中的 1535~1542.5MHz 和 1636.5~1644MHz 作为航海卫星通信业务的专用频率范围。正在运行的 INMARSAT-A 系统的主要任务是对海洋船只和钻井平台提供服务, 系统中已有约万余艘船只装备有船用地球站。通信业务包括低速 2.4kbit/s 和高速 56kbit/s 以下的的数据、话音和紧急服务等。

我国也已开通了北京海事卫星地球站, 属于海事卫星 A 型标准站。目前, 我国的这种系统已为航行在世界各地的中国远洋船队提供全天候的可靠通信。并且已在波音 747 客机中逐渐配置移动终端, 实现国际航线上的移动卫星通信。

### 5. 移动通信

移动通信是指通信的双方, 至少有一方是在移动中进行信息交换的。它主要包括: 蜂窝电话系统、无线寻呼系统、无绳电话系统、集群系统、无中心选址系统、移动数据系统和卫

星移动通信系统等。目前接入公用电话网的移动通信主要有三种：蜂窝状移动电话、无线寻呼、无绳电话。

### (1) 蜂窝移动电话

这种移动电话技术较成熟，是与公用市话网相连的公用移动电话网，它由电信部门建设，大中城市一般为蜂窝小区制，小城市或业务量不大的中等城市常采取大区制。用户有车台和手持台两类。手持台即俗称“大哥大”，我国用户以手持台占多数，在基台的覆盖范围内均可与网内任一移动用户或任何地方的电话用户相通，是使用最广的一种移动电话，预计到 2005 年末，全国移动电话用户数将达到 1.6 亿左右。

根据移动通信所使用的技术方案不同，可分为：

**第一代移动通信系统(以模拟技术为主)。**该系统在网络组网上采用蜂窝小区制，多址方式为频分多址(FDMA)，双工方式为频分双工(FDD)，采用模拟调频调制方式。其典型代表为 AMPS 和 TACS 制式的蜂窝移动通信系统。这一技术到 80 年代中期就已完全成熟，并获得广泛应用。该系统存在以下弊端：频带利用率低；无法承载数字业务，难以与 ISDN 兼容；保密性差、成本高等。随着业务的发展，模拟技术已逐渐被数字技术替代。

**第二代移动通信系统(以窄带数字技术为主)。**多址方式为 TDMA/FDMA 和 CDMA，采用数字调制(如 QPSK、GMSK 等)和话音压缩编码等技术，数字信令系统和网络拓扑更加完善，具备了 N-ISDN 综合数字业务功能。其典型代表为欧洲的 GSM、美国的 IS54-DAMPS 和 IS95-CDMA 系统、日本的 JDC。该方式目前在各国的应用非常广泛。该系统虽然克服了第一代移动通信的缺点，但仍然不能满足业务发展的需求，存在如不同制式不兼容、系统容量小、不能开展宽带业务、不能实现全球无缝覆盖等缺点。

**第三代移动通信系统 IMT2000-宽带移动通信系统。**

国际电联(ITU)于 1985 年在讨论移动通信的 CCIR SG-8 会议上提出了未来公众陆地移动通信系统(FPLMTS)的概念，1992 年，在世界无线电大会上，ITU 在 2G 频段上给 FPLMTS 和卫星业务分配了 230MHz 的带宽，即：1885~2025MHz 和 2110~2200MHz，其中卫星部分分为：1980~2010MHz 和 2170~2200MHz。为统一标准，1994 年国际电联将 FPLMS 正式改名为国际移动通信系统 2000(International Mobile Telecommunication 2000,简称 IMT-2000)，它取意于系统工作于 2000MHz 频段，并于 2000 年左右能提供商用。IMT-2000 的目标为：全球统一频段，统一标准，无缝覆盖；实现高服务质量，高保密性能，高频谱效率；提供多媒体业务，实现高速移动条件下 144kbit/s 速率、低速移动条件下 384kbit/s 速率，相对静止条件下 2Mbit/s 速率的无线多媒体接入通信服务。

我国移动通信在应用上经历了从专用网络到公用网络，从模拟系统到数字系统的发展过程。

1987 年决定以 900MHz 频段 TACS 体制作为我国公众蜂窝移动通信网体制。该年末在广州开通了国内第一个模拟蜂窝移动通信系统，后来陆续建成了以大城市和沿海开放地区为主的模拟移动通信系统。1993 年我国首先在浙江嘉兴建立了 GSM 数字蜂窝移动通信试验系统。随后，陆续在全国建立了 GSM 数字蜂窝移动通信系统，实现了全国联网漫游。1997 年我国建成了北京、广州、上海、西安四个城市的 800MHz CDMA 商用实验网，并实现了四个网的网内漫游。1999 年中国联通正在规划全国性的 CDMA 数字蜂窝移动通信网。我国公众移动通信起步虽晚，但发展迅猛；1988 年移动用户不足 1.2 万，1995 年增至 360 余万，2000 年 5 月底达到 5000 余万。



目前,我国正在参与国际上第三代移动通信系统的标准制定工作,预计在 2003 年 IMT-2000 开始商用。

### (2) 无绳电话

是一种接入市话网的无线话机,它将普通话机上的机座与手持送收话器之间的连接导线绳取消,使二者分离,而代之以用电磁波在二者之间的无线连接,即需在座机和手机上各装上微型无线收发话机,故称无绳电话。座机部分也称为基台(或叫主机),手持部分称为手持台(或称为手机)。它的辐射功率很小,一般只有数个毫瓦(10 毫瓦以内),在指定的几个频率之一上工作。这种话机解除了导线绳的束缚,一般可在 50~200 米的范围内接收或发送电话。它实际上是市话网用户线的无线延伸,所以也有人称之为无线话机,但此名称范围过于广泛,就称无绳电话机为妥。这种无绳电话在国外应用很广,有可能是个人电话发展的基础。

第一代的模拟无绳电话系统容量小、服务范围小,是低密度系统。如英国的 CT1 系统。随着通信技术及通信数字化的发展,无绳电话也朝着数字化方向发展,产生了第二代数字无绳电话系统,该系统具有低成本、高容量、兼容性好、配置灵活、能提供数字综合业务等特点,如已先后投入使用的英国的 CT2 系统、加拿大的 CT2<sup>+</sup>、瑞典的 CT3 系统、日本的 PHS 以及我国的 PCS 系统和 PAS 系统等,数字无绳电话系统采用微蜂窝技术,大大提高了系统的频率复用率,扩大了系统总体容量,降低了手机发射功率,延长了电池使用时间。并采用动态信道分配(DCA)技术,支持手机自动漫游、越区切换,可自动完成鉴权和加密。不仅能传输话音,还可与其他设备(调制解调器和 PC 机)配合进行数据传输或上网浏览。系统充分利用现有公众电话网,为用户提供费用低廉的业务功能。

### (3) 无线寻呼

它是一种单向无线电通信,主要起寻人呼叫的作用,携带有寻呼接收机(或简称寻呼机)的个人,当有人寻找他时,可用电话通过寻呼中心台的操作员,将被寻呼人的寻呼号码由中心台的无线电寻呼发射机发出,只要被寻呼人在该中心台的覆盖范围之内,其所携带的寻呼机接收到信号即发出 BI-BI 响声(因此俗称 BB 机或 BP 机)。此机一般均有液晶显示器,可以显示简短信息;如回电话号码……等,也有的要发出简短的话音语句。此种单向通信,只能通知寻呼人有人找他,速回电话或速去某处等简单信息。虽只是单向信息,但它的价格较为低廉,找人方便,不受地点限制,是市话网的一种很好补充,因此发展很快,许多寻呼网还增加了天气预报、股市信息等特种服务。

移动通信技术的发展是 80 年代建立在模拟技术基础上的,90 年代是模拟与数字移动通信网并存时期,到 21 世纪将是全数字系统。

数字蜂窝移动通信系统在射频调制、多址方式、语音编码、信道编码和数字信号处理、控制信道、保密和确认等 6 个方面采用新的数字技术,从而将有效地克服模拟系统存在的频谱利用率低、容量小、保密性差、不能提供非话业务及制式不统一、联网漫游困难等缺点,提供全面的语言、文字和数据业务功能,并提供一些智能性业务如主叫识别、呼叫转移、多方通话等。目前开发的热点主要集中在三种制式,即欧洲的 GMS 系统、日本的 JDC 系统和美国的 DAMPS 系统,前两种为全数字制式,后一种则为数模兼容的。GMS 系统技术发展较为成熟,已投入商用。

卫星移动通信技术将蜂窝移动通信、VSAT 系统和卫星多波束覆盖、星载处理技术相结合,构成海陆空立体化的移动通信网,通过单向或多向无线通信,提供远距离、大范围内的稀路由移动通信业务,如语言、数据、寻呼和定位系统,代表了通信技术的发展方向。目前

应用的主要有海事卫星通信系统、陆地卫星移动通信系统，航空移动卫星系统已开发成功并步入实用。

### 2.2.4 信令接口及其发展

#### 1. 信令的一般概念

##### (1) 信令的定义

信令一般是指电话网中传递非话音的电信息，依靠它来实现电话网中通信电路的建立、释放和控制。

电话信令有三个基本功能。一是监视功能，它用来反映或改变用户线和中继线的状态。例如用户线的摘机状态和挂机状态，中继线的占用状态和示闲状态等。二是选择功能，这是指要从众多的电话机中选出主叫所指定的被叫话机，显然这是根据被叫号码完成的，电话号码就是选择信令，也称地址信令。对选择信令的传送和执行有二个要求，一是可靠，二是速度要快，不可靠就会错号，导致接错电话，不快就会使用户拨号等待回铃的时间太长。三是管理功能，这是指电话网的管理。例如检测和传送有关网络拥塞的信息；表示某个设备或电路的不可用性，通常叫作闭塞；提供呼叫计费信息；提供交换机维护方面的遥控信息等。

这里应注意区分信号和信令两个名词。严格地说，信号 (signal) 应是指话音信号，而信令 (signalling) 是指控制交换机动作的操作命令。但出于习惯，通常有人也将信令和信号混用。

##### (2) 信令方式

信令的传递要遵守一定的规约和规定，这就是信令方式。它包括信令的结构形式，信令在多段路由上的传送方式及控制方式。选择合适的信令方式，关系到整个通信网通信质量的好坏及投资成本的高低。

通信网中采用何种信令方式，与交换局采用的控制技术密切相关。随着交换技术由步进制、纵横制向程控发展，信令系统也从随路信令向公共信道信令发展。

##### (3) 信令系统

信令系统是指为了完成特定的信令方式，所使用的通信设备的全体。

任何通信网都离不开信令系统，它可以指导终端、交换系统及传输系统协同运行，在指定的终端之间建立临时的通信信道，并维护网络本身正常运行。所以，信令系统是通信网的重要组成部分。

#### 2. 我国目前采用的信令方式及配合

电话信令如果按工作区域可分为用户线信令和局间信令。用户线信令是用户和交换机之间的信令，在用户线上传递，信令少而简单。局间信令是交换机和交换机之间的信令，在局间中继线上传送，信令多而复杂。常用的中继线有实线、频分复用线、时分复用线之分，其相应的信令就是直流信令、音频信令和数字型信令。

按信令信道可分为随路信令和公共信道信令。随路信令 (Channel Associated Signalling 简称 CAS)：在该系统中，信令与话音在同一条通路上传送，信令设备 (包括中继器、发送器、接收器) 与每条中继电路相连接；公共信道信令 (Common Channel Signalling 简称 CCS)：信令与话音的通路分开，而将若干条中继电路的信令共享一条专用于传送信令的通道上传送，此时，信令设备也相对集中，不必与每条中继线接口，公共信道信令简称共路信令。

随路信令从信令功能上又可划分为线路信令 (Line Signalling) 和记发器信令 (Interregister Signalling)，它是为了把话音通路上各中继电路之间的监视信令与控制电路之间的记发器信令加以区别而划分的，而在公共信道信令方式中，这种划分就没有必要了。

由于程控交换技术的应用和发展，提供了从随路信令过渡到共路信令的条件；而随着数字交换和传输逐步取代模拟交换和传输，共路信令也从 6 号迅速发展到了 7 号。可以说，除了少数国家以外，6 号共路信令并未获得广泛应用，而直接进展到适合于数字网的 7 号信令 (No.7)。

CCITT 对 7 号信令技术规程的制订在不断地完善与充实，反映在 1980 年的黄皮书、1984 年的红皮书和 1988 年的蓝皮书中。主要是增加了 ISDN 用户部分 (ISUP)、信号连接控制部分 (SCCP)、事务处理功能，从而可以适应 ISDN 网的应用，可以建立逻辑连接以在相同的用户部分之间传送端到端的信息，可以提供基本电话业务以外的附加业务，可以在局间或交换局与业务控制点、维护管理中心、数据库之间传送有关的功能和程序。

我国在 80 年代中期开始了 No.7 信令系统的研究、实施和应用。1990 年原邮电部正式发布了以 CCITT 蓝皮书建议为基础，结合我国电话网具体情况制订的《中国国内电话网 No.7 信令方式技术规范》(暂行规定)，1993 年 12 月发布了《No.7 信令网技术体制》(暂行规定)，1994 年 5 月又正式发布了《中国国内电话网 No.7 信令方式测试规范和验收方法》(暂行规定)。

由于 No.7 信令网是通信网的一个十分重要的支撑网，通信网上各项新技术、新业务，以及需尽快在全国开放的智能网业务、ISDN 业务、动态无级网等都是以 No.7 信令为基础的，加上目前全国长途数字电话网已基本建成，不再适合使用随路信令，这都迫切要求建立全国 No.7 信令网，使用先进的 No.7 信令方式，加速我国邮电通信事业的发展。

随着具有程控交换机的数字通信网的建立，我国 7 号公共信道信令 (CCS) 系统的应用显得越来越重要。与随路信令系统不同的是 7 号公共信道信令有一个信令网而且是一个独立于信息网 (如电话网、数据网等) 的信令网。

7 号信令网不仅可以满足电话网信令的需要，而且可以满足数据网、网络管理和维护，以及未来 ISDN 业务的需要。在电话业务中，它可以控制国际电话、本地电话和移动电话的接续。

### 3. 终端接口及其配合

通信网中的接口是指通信网中两个系统或设备之间的共同边界或连接电路，也可以说是信息从一个系统到另一个系统的桥梁。为了保证两个系统能够很好地相互配合，必须严格规定接口的电性能，包括电平、阻抗、频率、速率、码型等，如果接口两侧的系统使用的信令不同，还必须考虑信令的转换。此外，还应当规定接口的物理特性，例如插头的类型、尺寸，连接线的编号等。由于通信网是由种类繁多、数量巨大的设备相互连接起来的，各种设备的组合数量更大，因此通信网中接口的种类很多，数量很大。接口电路主要取决于交换机的类型、传输设备的类型和信令的类型。

生产厂家为了扩大其产品的销售市场，通常要为其生产的设备配备各种类型的接口，用户在购置一种设备时要根据自己的使用环境选购需要的接口。在维护使用中，接口又是最容易出问题的地方，因此，学习了解有关接口的知识对于管理、生产和维护使用人员都是很重要的。

数字程控交换机的接口分为数字接口和模拟接口，每一种接口又分为用户线侧和中继线侧两部分。图 2.18 为数字交换机的接口示意图，图中数字交换机的左侧为用户线侧，它接各种用户线；右侧为中继线侧，通过各种传输系统接至其它交换局。

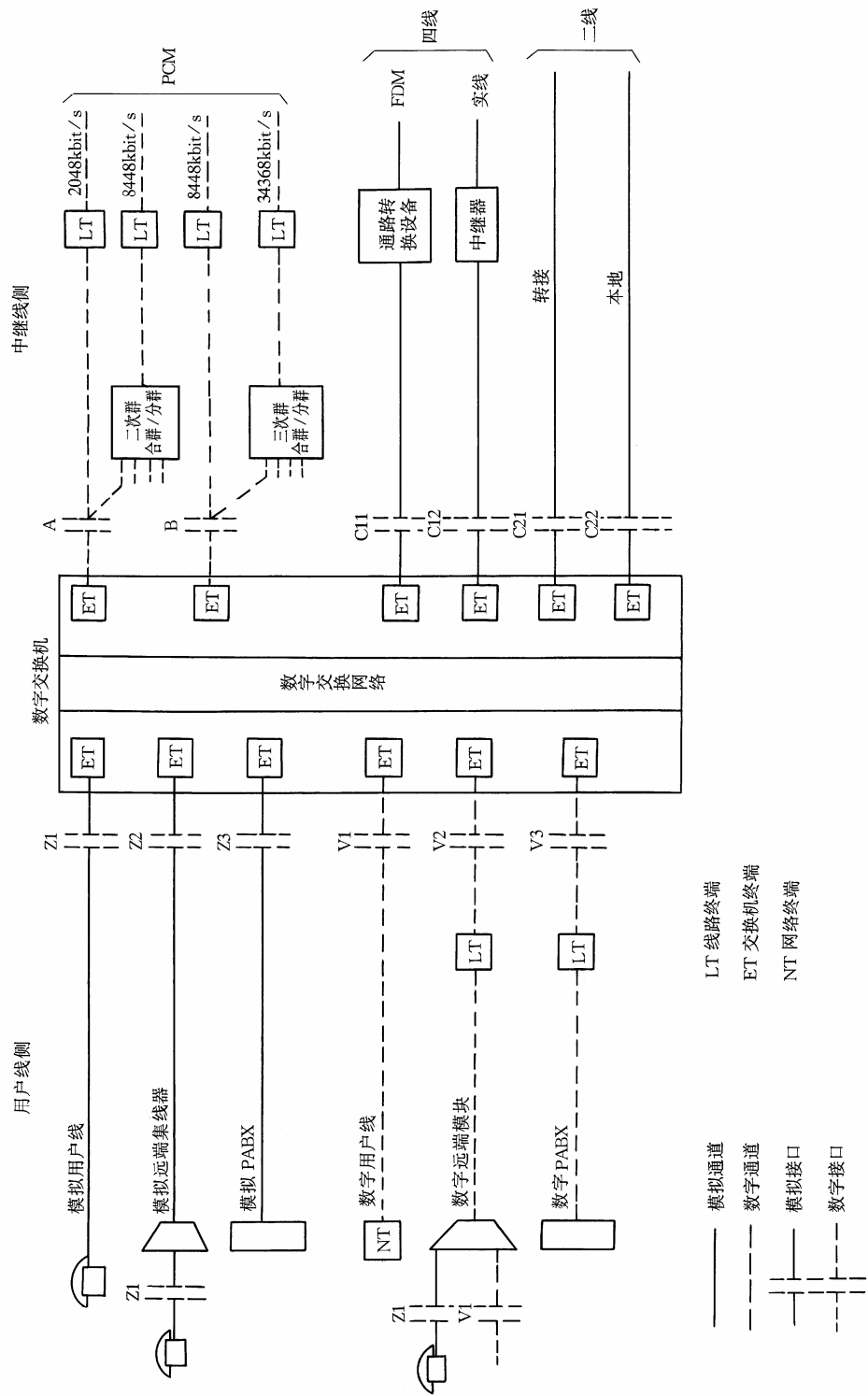


图 2.18 数字交换机接口示意图

数字交换机有下列接口：

(1) 数字接口

① 用户侧数字 V 接口

它是用于连接数字远端交换集中器、远端数字复接设备和数字用户交换机等设备的接口。V 接口的电气特性由 GB7611-87 规定。

V1 接口经过数字用户线连至用户设备。一般速率为 64kbit/s。它可是基本入口 (2B+D) 的 ISDN 终端或者其它的数字终端。不同终端所接的网络终端 NT 亦不相同。V1 接口要满足 CCITT 建议 I.412 的要求。

V2 接口是连接数字远端模块 (数字远端集线器) 的接口, 通过远端模块可以连至相应终端。

V3 接口是连接数字用户交换机 (PABX) 的数字接口, 接口速率为 2048kbit/s。其帧结构和传输特性应符合 32 路 PCM 要求。

② 中继侧数字 A 接口

它是 2048kbit/s 速率的接口。A 接口的电气特性与上面介绍的 V 接口相同, 这里简要地说明它的主要特性。

标称码率: 2048kbit/s;

每个时隙的比特数: 8、编号 1~8;

每帧的时隙数: 32、编号 0~31;

时隙的分配: 0 时隙作为帧同步和告警, 16 时隙主要用于信令。当 16 时隙不传送信令时可用于业务并且可以是交换的;

传输特性: 同 2048kbit/s 基群 PCM 设备;

接口连接: 可选取用同轴线对或平衡线对;

传输码型: HDB<sub>3</sub>。

③ 中继侧数字 B 接口

是 8448kbit/s 速率接口, 其电气特性、帧结构、复帧结构由国标 7611-87 规定, 它的二次群数字复用设备的特性由 CCITT 建议 G744 规定。B 接口的主要特性为:

标称码率: 8448kbit/s;

每帧的时隙数: 132、编号 0~131、每帧 1056bit;

时隙的分配: 采用随路信令方式可提供 120 个话路, 时隙 67~70 传送随路信令; 采用公共信道信令方式可提供 128 个话路, 优先使用时隙 67~70 传送公共信道信令; 传输特性同 8448kbit/s 二次群 PCM 设备;

接口连接: 使用同轴线对;

传输码型: HDB<sub>3</sub>。

(2) 模拟接口

① 该接口用来连接单个用户的用户线, Z2 和 Z3 接口则是用来连接模拟远端集线器和模拟用户交换机 (PABX)。

② 中继侧的模拟 C 接口

C 接口是一个 2 线或 4 线的模拟接口。

C1 为 4 线音频接口: C11 通过通路转换设备接入 FDM 载波设备, C12 则通过中继器接入 4 线模拟实线电路。

C2 为 2 线音频接口：C21 和 C22 分别表示数字转接局和数字本地局的 2 线模拟接口。

## 2.3

### 2.3.1 通信技术发展的战略方向

当前，社会正在走向信息时代，通信作为人类社会的基础之一，不仅是促进或制约国民经济生产的重要因素，而且被视为大型企事业单位的生产要素。通信的作用越来越明显，通信的地位越来越上升，人们对通信的需求也越来越多样化。因此，通信技术的发展必须适应社会需求，向数字化、综合化、宽带化、智能化和个人化的战略方向迈进。

#### 1. 数字化

数字交换与数字传输的结合构成网络的数字化，即综合数字网 (IDN)。数字式的终端设备，如数字电话机，数字传真机等已相继问世。近年来，占通信网三分之一的用户线部分也开始向数字化过渡。用户线路数字化实现了用户与用户的全数字连接。从 80 年代开始，发达国家的通信网开始以较大的步伐全面走向数字化，现在法国、日本等国家已基本实现全网络的数字化。

数字化的进程基本上沿着三条途径发展了各种技术。一是向高速大容量发展，开发了由一次群到五次群的数字复用设备和传输系统，最近还形成了新的高次群数字同步等级系列(详见“宽带化”一节)；二是提高传输效率和减少传输差错，为此发展了各种各样的信源编码、信道编码、数字调制、均衡和纠错以及话音插空等技术；三是提高网络灵活性，为此发展了各种多址接入、数字交叉连接、数字上/下电路复用等技术。所有这些技术使数字通信日新月异，生机勃勃，大大推动了通信事业的发展，也为网络的综合化打下了基础。今后，至少是未来 10 年中，网络数字化程度将进一步提高，数字技术将在网络的演进中发挥更大的作用。

#### 2. 综合化

综合化有双重含义。其一是技术的综合，即无论是传输、交换，还是通信处理功能都采用数字技术，实现网络技术一体化，使网络充分发挥数字技术的优点并带来巨大的经济效益。前面论述的数字化过程也就是实现技术综合的过程。综合化的另一层含义是业务的综合，即把来自各种信息源的通信业务(如电话、电报、传真、数据、图像等)综合在同一个网内运送和处理，并可在不同业务的终端之间实现互通。当然，业务的综合要以技术的综合为基础，两者结合起来就形成了目前众所周知的综合业务数字网 (ISDN)。

ISDN 的实现是在数字网技术的基础上发展的，基本技术环境包括：数字传输、数字交换、共路信令和网同步。通信网向 ISDN 发展，首先要解决的是数字交换机应具有 ISDN 功能。窄带 ISDN 交换机的基本要求是：

ISDN 接口功能：包括基本速率接口 (2B+D) 和基群速率接口 (30B+D) 或 (23D+B)；

信令处理功能：包括处理 D 信道的数字用户线信令 (DSS1)，以及具有综合业务用户部分 (ISUP) 和信号连接控制部分 (SCCP) 的局间 7 号共路信令；

分组交换功能：最小综合——提供与专用分组交换网接口，或者是最大综合——提供分组交换功能；

网间互通功能：包括与公用电话交换网 (PSTN)、电路交换公用数据网 (CSPDN)、分

组交换公用数据网 (PSPDN) 和各种专用网之间的互通;

ISDN 管理功能: 如用户管理、计费等。

实现 ISDN 在技术上主要是解决多种业务综合进网和综合运送的问题。综合进网目前是在现有二线制用户线 (铜线) 上, 利用数字技术实现两个 64kbit/s 信道和一个 16kbit/s 信道 (称 2B+D) 的双向传输来解决的。目前在综合运送中必须解决的交换问题是采用在现有数字程控交换机上增加 ISDN 用户线接口模块和分组交换模块的方法来构成 ISDN 交换机, 使它具有 D 信道处理、64kbit/s 电路交换、分组交换以及与其它网互通的能力。由于从现有的各个专业网 (如电话网、电报网、数据网) 向单一的 ISDN 过渡需要经历一个很长的时期, 亦即 ISDN 要与它们长期共存, 因此 ISDN (尤其在它发展初期) 与其它通信网互通至关重要, 特别是与数据网的互通是决定 ISDN 成败的关键。已有的数字交换系统一般可通过原有系统的扩展, 而具有窄带 ISDN 交换功能。例如, FETEX-150 在原有系统上增设了数字用户接口 (2B+D、23B+D、30B+D), 分组交换子系统 (PSS), 电路交换子系统 (CSS), 消息处理子系统 (MHS), 新的用户集中级 (LS) 及各种专用处理机。PSS、CSS 等都是独立模块, 前者提供 ISDN 内的分组交换和 ISDN 至分组交换数据网 (PSDN) 的接口功能, 后者提供 ISDN 至电路交换数据网 (CSDN) 和用户电报 (TELEX) 的接口功能。MHS 的基本功能是数据业务的通信处理, 如协议转换、格式转换、延迟传递等。新的 LC 除了增设各种数字线接口外, 用户处理机 (LPR) 更新为 32 位处理机, 并增加了信令控制器 (SGC), 以处理 D 信道第 2 层及 No.7 的功能。

### 3. 宽带化

宽带化 (即高速化) 是指以每秒几百兆比特以上的速率高速传输和交换, 实现从话音、数据直至图像等各种信息的通信。具体地说, 宽带化是通过宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 来实现的。B-ISDN 是一个能在同一网络内提供音频、视频和数据通信等多种服务的网络, 显然它是由前述窄带 ISDN 演变而来的。因此, B-ISDN 也要通过标准接口来解决宽带业务综合进网和综合运送的问题。

网络标准、宽带传输、宽带交换和用户环路光纤化是解决 B-ISDN 综合进网和综合运送的四大关键问题。网络标准主要是指制定接口、信道结构、传输速率和信息转移模式等方面的国际标准。目前 CCITT 已制定了适合宽带通信的新的同步数字序列 (SDH) 标准, 规定用户网络接口将在 155Mbit/s 和 622Mbit/s 两个速率上标准化, 还规定了实现 B-ISDN 信息转移模式是异步转移模式 (ATM)。这是两个关于 B-ISDN 的极其重要的规定。

B-ISDN 中的宽带传输将以光纤传输系统为主干, 辅以卫星通信和微波通信。众所周知, 近 10 年来, 光纤通信的发展突飞猛进, 实用化的光纤系统速率已达  $4 \times 2.5\text{Gbit/s}$ 。将来采用相干通信和频分复用技术之后, 则有可能在一根光纤上实现 500Gbit/s 的超高速传输。

B-ISDN 中的宽带交换以异步转移模式 (ATM) 交换为基础, 故称 ATM 交换。CCITT 已在研究制订异步转移模式 (ATM) 的标准, ATM 包括交换和传输, ATM 的交换技术是一种快速分组交换 (FPS)。

FPS 实际上是一种简化了的分组交换, 取消了链路级的差错控制和流量控制, 采用自选路由的交换网络, 因而增加了处理速度, 减少了时延。由于高速率、高可靠性的光纤传输的使用, 使得有可能取消差错控制和流量控制, 对于高可靠性的数据业务, 可以在端到端的较高层进行控制。

FPS 的特点是可以适应各种业务的统一的交换技术, 灵活性高, 适应性强。可以适应于范围宽广的可变码率, 进行动态的带宽分配, 可以适应连续的或突发的数据比特流, 也可以

适应于未来的未知业务。

用户环路光纤化就是要将光纤一直引至用户住宅，即所谓“光纤到家”。因为宽带业务所需的通信容量比通常情况下大几个数量级，故唯有这样才能解决宽带业务进网的问题。德国、法国、英国、意大利、加拿大、日本等国都进行过宽带业务光纤本地网的早期试验，但大部分都采用了多模光纤、模拟传输和空分交换技术，网络结构基本上都采用星形和双星拓扑，故成本高、经济性差成为这些系统不能推广应用的主要问题。目前正在研究采用先进技术的低成本光纤用户环路系统。一种可能的趋势是采用单模光纤和远端波分复用器构成无源光环路。

#### 4. 智能化

智能化指的是在通信网中引进更多的智能，形成所谓的智能网（IN），从而提高网络的业务应变能力，随时提供满足各类用户需要的业务。80年代中期，由美国首先提出智能网（IN），因显示出巨大的优越性，从而成为通信网发展的主要方向之一。

提出智能网概念的基本思路是，改变传统的网络结构，在网络元件之间重新分配网络功能，把大部分功能集中在少数节点上，而不是分配在各个交换局内。实现智能网的基本要素是各类业务可以由一组有限的功能组件所构成。这样每种用户业务可以由若干基本功能单元组配而成，每一功能单元完成不同的网络功能，与所提供的业务没有固定的依附关系，不同业务的区别在于它们所包含的基本功能单元及其内部参数不同和功能单元的排序不同，而功能单元的组配工作则通过操作系统由业务逻辑程序来完成。智能网简化了交换机的功能和软件，一旦用户需要增加新业务或改变业务种类，只要重新组配功能单元，而不需要改造交换机，因此可大大节省时间和费用，同时可减少网络经营者对交换机生产厂家的依赖性。

由于智能网采用开放式结构和标准接口，所以将来能够很方便地在网络中引入诸如语音识别、语音合成、人工智能、神经网络之类的新技术，使网络服务水准更接近于人工网。

智能网以分布式结构、配有先进共路信令系统的数字交换和智能数据库为基础，不仅能传送信息，而且还能存储和处理信息，对网络资源进行动态分配。智能网的概念与 ISDN 相结合将形成智能的 ISDN，而且对今后网络的演进也将起到重大作用。由于智能网投资小、收效大，故在 ISDN 全面使用之前就可引入。

#### 5. 个人化

个人化是指个人通信，即任何人在任何时间可与任何地点的另一个人进行各种业务（语音、数据、视频）的通信。个人通信系统通过个人通信号码（PTN）识别使用通信的人而不是设备，利用完善的智能化通信网络，使得系统内的任何人随时随地的与他所要找的人直接通信而不必先知道对方在何处。

个人通信不仅能提供终端的移动性，而且支持个人的移动性。这种先进的通信方式是建立在通信网络的智能化、蜂窝移动通信技术及全球无线通信技术基础上的。

个人通信是把“服务到家”推向“服务到人”，其最重要的概念变革是割断了终端线路识别与用户识别之间的历史联系，采用与网络无关的唯一的个人通信号码，可以不受地理区域限制地跨过多个网络建立通信连接和计费。也就是说，将来你打电话时利用对方的个人号码一定能叫通你所要的人，同时根据你的个人号码把通信费用记在你的账上，而不管你是在什么地方用哪个终端打的电话。

实现个人通信关键技术主要有：发达的智能网，数字蜂窝移动通信公用无绳电话，“铱”低轨道移动卫星通信系统和超小型终端设备。实现个人通信还要解决许多具体问题，例如用



户位置登记、跟踪交换局、号码转换、计费、安全性、数据库、信令系统等。

个人通信是相当复杂的智能网,要真正实现个人通信还需要很长的历程。但是随着通信和计算机技术的发展,个人通信作为最理想的通信方式一定会得以实现。

### 2.3.2 同步数字系列

同步数字系列 (SDH: Synchronous Digital Hierarchy) 这一术语最早是由美国贝尔通信所提出来的,称为光同步网 (SONET)。1988 年 CCITT 接受了 SONET 这个概念,并改名为同步数字系列 (SDH),从此出现全世界通用的新一代传输体制,建立了统一的世界性标准。

SDH 是用于进行同步信息传输、复用和交叉连接的,具有称为同步传输模块 (STM) 的标准化信息结构。STM 是一种块状帧结构,内部安排丰富的比特开销,便于网络操作、维护和管理。SDH 简化了信号互通及信号传输、复用、交叉连接的变换过程,具有完善的网络智能管理,采用大量软件进行网络配置和控制,便于网络管理、维护和发展。

#### 1. SDH 与 PDH 的比较

SDH 发展的巨大潜力是基于与传统的准同步数字系列 (PDH) 相比较而言的。

##### (1) 准同步数字系列 (PDH) 的局限性

现有的数字网络是由 CCITT G.702 所定义的准同步系列。它保证了电接口标准的实现,并且提供了数字信号传输中解决定时问题的有效方法。应该说,PDH 对数字网的发展起了很大的作用,但随着数字交换的引入,使数字通信的应用从点对点发展为综合数字网,在要求结构灵活,且有智能化的管理系统的现代网络中,PDH 就明显地暴露出它的不足。其表现为:

- PDH 是逐级复用的,当要在传输节点从高速数字流中分出支路信号时,需配备背对背的各级复分器,因此分支/插入电路不灵活;
- PDH 各级信号的帧中预留的开销比特很少,不利于传送操作管理和维护 (OAM) 信息,不适应电信管理网 (TMN) 的需要;
- PDH 中 1.5Mbit/s 与 2Mbit/s 两大系列难以兼容互通;
- 更高次群复用 (技术),如继续采用 PDH 将难以实现;
- PDH 系统在各支路信号同源时仍需塞入脉冲来调整速率,不能在将来网络过渡到同步网中得到好处,也不利于向 B-ISDN 的发展。

##### (2) SDH 的基本特点

SDH 是由一些网络单元 (例如复用、数字交叉连接设备等) 组成的、并在光纤上进行同步信息传输、复用和交叉连接的网络,其基本特点是:

- 具有全世界统一的网络节点接口 (NNI),使世界上两种数字传输体制融合在统一的标准之中。
- 具有一套标准化的信息结构等级,称为同步传送模块 STM-1,STM-4 与 STM-6,大大方便网络的组建。
- 其块状帧结构中具有丰富的用于维护管理的比特,使网络的故障检测、性能管理等大大加强。
- 所有网络单元都有标准光接口,简化了硬件,可以在光路上实现横向兼容。
- 具有一套特殊灵活的复用结构和指针调整技术,能解决节点之间的时钟差异带来的问题。

- 大量采用软件进行网络配置和控制，提高了网络性能。

SDH 的原理与 PDH 完全不同，SDH 采用的是管理式，而 PDH 只是以物理形式控制数据。在 SDH 网内可以实现四维方式工作，即不论在何时（时间作为一维）、何地（空间用三维），只要在 SDH 网内，你就能立即找到所需的信息。

在图 2.19 中给出了从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 支路信号的例子，比较 PDH 与 SDH 的工作过程。由图看出传统准同步系统（PDH）中，为了从 140Mbit/s 码流中分插一个 2Mbit/s 支路信号，需要经过 140/34Mbit/s、34/8Mbit/s、8/2Mbit/s 三次分接后，才能取出一个 2Mbit/s 支路信号，然后再经 2/8Mbit/s、8/34Mbit/s、34/140Mbit/s 三次复接才能得到 140Mbit/s 信号码流，而采用 SDH 分插复用器 ADM 后，可以利用软件一次分插出 2Mbit/s 支路信号，十分简便。

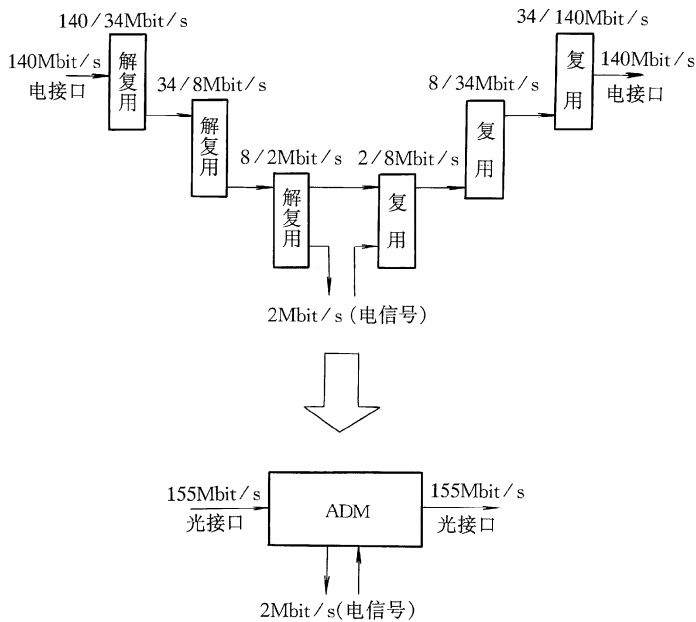


图 2.19 分插信号流图的比较

2. 同步数字系列结构

(1) SDH 的网络节点接口（NNI）

实现 SDH 传输网的关键，是建立一个统一的网络节点接口（NNI），而 NNI 的标准化，则是为了定义一整套共同遵守的标准速率和数据传送格式，从而简化信号的互通及其传输、复用、交换和交叉连接的过程。

网络节点接口（NNI）为网络节点之间的接口，实际上，就是传输链路和网络节点间的接口。一个标准网络节点接口（NNI），应能结合不同的传输设备和网络节点，构成一个统一的传输、复用、交叉连接和交换接口，而不受特定的传输媒质（光缆或无线电）的限制，也不局限于特定的网络节点（64kbit/s 电路交换节点或宽带节点等）。它构成一个统一的电信网的基础设施。简单的网络节点仅有复用功能，而复杂的节点则应具有终结，交叉连接、复用和交换等网络节点的全部功能。因此，NNI 应能适应网络的演变和发展。NNI 在通信网中的位置如图 2.20 所示。

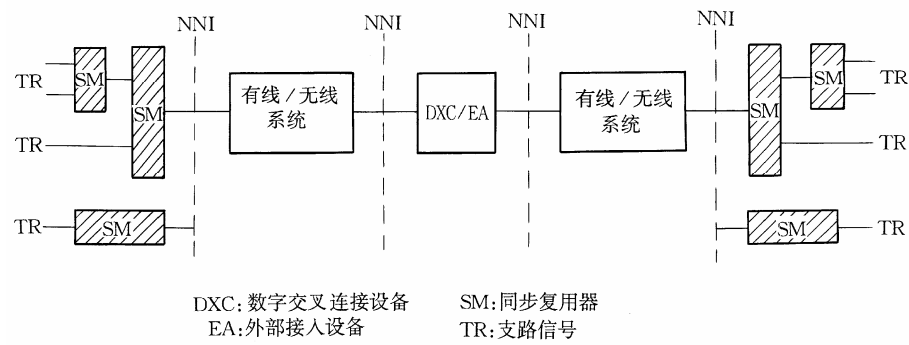


图 2.20 NNI 在通信网中的位置

(2) SDH 的速率

SDH 传输网所传输的信号由不同等级的同步传送模块 (STM-N:Synchronous Transport Module-N Level) 信号组成, 其中 N 为正整数。最基本的同步传送模块是 STM-1, 其信号速率为 155.520Mbit/s, 更高等级的 STM-N 模块是将 N 个 STM-1 以字节交织间插后, 按同步复用获得, 因此 STM-N 信号的速率为 155.520Mbit/s 的 N 倍。目前国际标准化 N 的取值为 N=1, 4, 16, 64。因而同步数字系列信号在网络节点接口处的速率即得以确定, 其规定见表 2.1。

为叙述方便通常使用相应近似数字, 即 155Mbit/s, 622Mbit/s, 2.4 (或 2.5) Gbit/s 和 10Gbit/s。

表 2.1 SDH 速率等级

| 速率等级   | 速率 (Mbit/s) |
|--------|-------------|
| STM-1  | 155.520     |
| STM-4  | 622.080     |
| STM-16 | 2488.320    |
| STM-64 | 9953.280    |

(3) SDH 的帧结构

在同步时分复用系统中数据传输是以帧为单位进行的, 即把时间划分成一个个基本时间单位的片断, 每个片断称为一个帧, 帧的时间长度叫帧周期 (或叫帧长)。每一个帧一般还要再细分为等时间间隔的小段, 这些时间小段的分配决定了帧结构的构成方式。因此对所传输的信号来说, 在其时间轴上可以看作是传输结构完全相同的一个个帧, 这样就不必确定时间的绝对起点, 而只需要确定和区分每一个帧。这一功能由帧同步来完成。

SDH 网应实现的一个关键功能是对 STM-N 信号进行同步的数字复用、交叉连接和交换, 因而要求帧结构必须能适应所有这些功能。为此采用了一种与 PDH 信号的条形帧结构完全不同的矩形块状结构, 如图 2.21 所示。它由横向 270 字节×N 列和纵向 9 行字节 (一字节为 8 比特) 组成。字节的传输是从左到右按行进行的, 首先由图中左上角第一个字节开始, 从左向右, 由上而下按顺序传送, 直到整个 9×270 个字节都传送完毕再转入下一帧, 如此一个帧一个帧的传送。每秒共 8000 帧, 因此对 STM-1 而言, 每秒传送速率为  $9 \times 270 \times 8 \times 8000 = 155.52 \text{ Mbit/s}$ 。

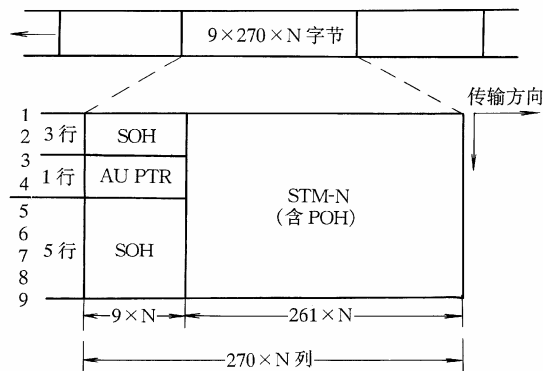


图 2.21 SDH 的帧结构

由图 2.21 可以看出，整个帧结构可分成三个主要区域：

· 段开销

段开销（SOH：Section Overhead）是在 STM-N 帧结构中安排用于保证信息净负荷正常灵活传送所必须的附加字节。它的主要作用是提供帧同步和提供网络运行、管理和维护使用的字节。例如当线路发生故障或传输质量劣化时能进行详尽的检测、控制和保护，同时可以借助网络操作使用的数据通信通道进行高效而全面的网络运行和管理。

· 信息净负荷

信息净负荷（Information Payload）是帧结构中存放各种信息容量的地方，也存放少量用于通道性能监视、管理和控制的通道开销（POH）字节。POH 通常作为信息净负荷的一部分与信息码流一起在网络中传送。

· 管理单元指针

所谓指针就是一种指示符。管理单元指针（AU PTR: Administrative Unit Pointer）主要是用来指示信息净负荷的第 1 个字节在 STM-N 帧内的准确位置，同时利用指针调整技术可以解决网络节点间的时钟偏差，因而在 SDH 系统接收端就能从码流中正确地分离信息净负荷。

3. SDH 复用原理

在 SDH 中采用净负荷指针技术，指针指示了净负荷在 STM-N 帧内第一个字节的位置，净负荷在 STM-N 帧内是浮动的。只需阅读指针值即可知道同步净负荷的相位。

SDH 的复用过程是由一些基本复用单元经过若干中间复用步骤进行的，SDH 复用原理如图 2.22 所示。

在 SDH 传输网中，分支数据放在标准容器 C 中，由标准容器出来的数字流加上通道开销（POH）则形成虚容器 VC。VC 是 SDH 最重要的一种信息结构，主要支持通道层连接。VC 的包封速率与网络同步，而不同的 VC 包封速率是同步的，VC 在 SDH 网中传输时保持完整不变，因而可以作为一个独立实体从通道中任何一点取出或插入，进行同步复用和交叉互连处理。VC 出来的数字流按图中规定的路线进入支路单元（TU）或管理单元（AU）。TU 是一种为低阶信息通道和高阶信息通道提供适配功能的信息结构，由低阶 VC 和支路单元帧位置动态定位（TU PRD）组成。TU PRD 为 VC-1、VC-2、VC-3 在相应 TU 帧内位置进行动态定位。一个或多个在高阶 VC 净负荷中占有固定位置的 TU 组成支路单元组（TUG）。AU 是一种为高阶通道层和复用段层提供适配功能的信息结构，由高阶 VC 和 AU PRT 组成。AU PRT 用来指明高阶 VC 在 STM-N 帧内的位置，一个或多个在 STM 帧内占有固定位置的 AU

组成管理单元组 (AUG)。最后在 N 个 AUG 基础上附加段开销 SOH 后最终形成 STM-N 帧结构。

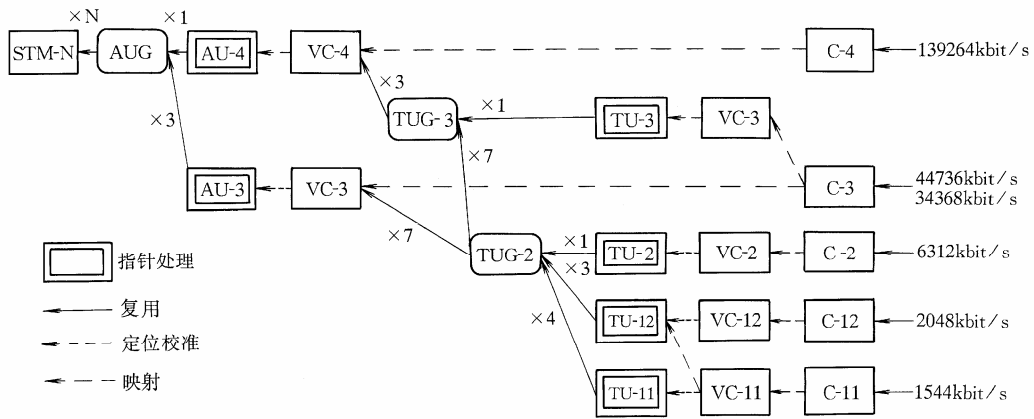


图 2.22 SDH 复用原理

### 2.3.3 智能网

智能网 (IN: Intelligent Network) 是提高网络智能化的最新技术和概念, 它把信息传输和信息处理结合起来, 使通信网具有智能性。用户可以对通信网进行控制, 使网络能按用户的意图, 改变网络的某些功能, 引入新的业务, 以适应用户的需要。

智能网的概念最早是由美国提出来的, 以后 CCITT 在 1992 年公布了 Q.1200 系列建议, 正式命名了智能网, 并且给出了一个技术性很强的定义。根据这个定义, 可以对智能网做这样的描述:

智能网是在原有通信网络基础上为快速、方便、经济、灵活地提供新的电信业务而设置的附加网络结构。它的服务目标是为所有的通信网服务, 既可以为现有的电话网络 (PSTN)、公众分组交换数据网 (PSPDN) 及窄带综合业务数字网 (ISDN) 服务, 也可以为宽带综合业务数字网和移动通信网服务。

#### 1. 智能网的特点

(1) 业务控制与交换机相分离。在增加新业务时只要修改业务控制点 SCP 中的业务逻辑和相关的数据库, 而不用修改交换机的软件。

(2) 集中管理和分布式智能。公用数据库可以集中设在局域、广域和国家级交换中心, 以便对业务集中管理。而用户数据、业务逻辑可分布在网络的任一节点上。

(3) 网络功能模块化。提供与业务无关的模块作为最基本的单元, 可以把它们当成积木式的组件, 构成各种业务, 有利于新业务的设计和规划。

(4) 通过独立于业务的接口, 在各网络功能实体 (即功能部件, SCP, SSP...) 之间实现标准通信。智能网应用协议 (INAP) 已由国际电联 ITU-T 定义, 用于各功能实体之间的通信。这是实现多厂家智能网产品组网互联的基础。

(5) 智能网的结构与现有网络能兼容互通, 协同工作, 不影响现有网络的信号规程、操作和性能, 即是一个附加网络结构概念, 它可以有效地利用现有网络资源, 完成 IN 的目标。

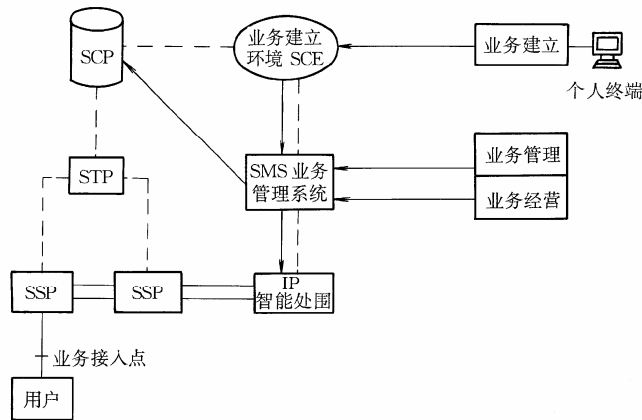
- (6) 业务的提供与网络的发展无关。将来网络结构的变化不影响现有业务的提供，而且开放的网路接口使电话网、专用网、无线移动网、ISDN 可以方便地接入。
- (7) 多方参与业务生成。电信部门、业务提供者甚至用户都可以使用高级用户控制功能来修改和制定新业务。
- (8) 能够快速把新业务引入公用网。采用一系列新的业务设计、生成、提供方法，保证满足商业、公众用户的需求。
- (9) 用户和网络终端（如电话机等）不再有一对一的关系。业务直接提供给用户，只要用户持有信用卡、呼叫卡、个人身份号码和用户号码就可以在网络的任一部电话机上进行通话，不受时间、地点和终端的限制。
- (10) 具有容错运行机制。各个附加网络实体均有多种容错措施，故障时提供告警及最佳路由选择，保证安全可靠运行。

2. 智能网提供的新业务

智能网基于不同的功能组件，产生和提供多种电信业务。目前国外已发展到 60 多种功能组件，由此功能组件的组合，在智能网上已经开放或即将开放的电信业务有：被叫集中付费的 800 号业务，大众呼叫、大众播音和转发信息的 900 号业务，联网的 911 应急业务，可使用呼叫卡或信用卡记帐、或被叫或第三方或主被叫分摊付费的可选记帐业务，虚拟专用网业务，具有自动回叫、自动重叫、选择性呼叫转移、主叫跟踪等功能的用户局域信令业务，通用号码业务，个人号码业务，附加计费业务，移动电话业务，电话选举轮询业务和 ISDN 业务等多项业务。随着智能网研究的进一步深入，功能组件的继续推出，必将出现更多的电信业务。

3. 智能网的结构与功能

智能网由六大部分组成，如图 2.23 所示。它的作用和功能如下：



保持联系；同智能周边系统（IP）协同工作。

业务交换点的入口可以有多种情况。图 2.23 所示 SSP 具有的几种连接,各代表两种入口。一种是电话用户可以是数字用户线,也可以是模拟用户线；另一种是综合业务用户既可通过 7 号信令的电话用户部分接入,也可通过 7 号信令的综合业务用户部分接入。

#### (2) 业务控制点（SCP）

SCP 是智能网的关键部分,它存储用户数据和服务逻辑。其主要功能是接收 SSP 送来的查询信息,经与数据库存储的信息比较、验证后,进行地址翻译,然后向相应的 SSP 发出呼叫处理指令。

由于 SCP 是智能网的核心,工作必须高度可靠。美国贝尔通信研究公司规定:SCP 每年的服务中断时间不得超过 3 分钟,为了提高可靠性 SCP 在网中的配置起码是双份（一主用,一备用),有的甚至采用三份配置。

#### (3) 信号转接点（STP）

STP 沟通 SSP 与 SCP 之间的信号联络,在网中的位置如图 2.23 所示。它实质上是分组数据交换机。为可靠起见,STP 总是成对配置的。

#### (4) 7 号信令网（SS7）

7 号信令网是智能网的命脉,因为它在智能网节点间传送控制指令,使各种智能服务正常进行。

CCITT 于 1980 年提出第一套 7 号信令的技术规范,1988 年增补的事务处理功能应用部分（TCAP）可适应智能网提供各种新业务功能的要求。它包括处理子层、网元子层及 TC 用户 3 个部分。

#### (5) 业务管理系统（SMS）

业务管理系统（SMS）是一个操作、维护、管理及监视系统,它允许用户能够管理自己的数据,生成报表,收集网络管理信息,并执行一些业务逻辑的测试功能。

在整个智能网中,SMS 对于网络的其它部件,如 SCP,IP 和 SSP 等进行管理,通过业务建立环境 SCE,SMS 可以使业务提供者组建、配置并且管理新业务。

#### (6) 智能外围（IP）

IP 是提供一种或多种电信能力的网络元件,它可以允许新技术被引用到网络之中,并允许网络取得高度专门化的、不经常用的那些能力,例如,文字与语音交换、语音识别、传真的存储转发等等,而又不需要在交换系统中做大量工作。智能网装有与 IP 的标准接口。

### 4. 智能网的分层结构

智能网的概念还可以用分层结构形式来描述,如图 2.24 所示。

智能网可以分为两层,即智能层和传输层。其中传输层主要由业务交换点及传输链路组成,它基本上不要求具备什么“智能”。只是简单地提供业务执行所需要的硬件,并为各种业务要求提供接入环境；另一层为智能层,其功能主要是业务和设备控制以及网络管理,其中最重要的网络实体是业务控制点（SCP）和业务管理系统（SMS）。

智能网通过将业务执行所需要的硬件和业务控制所需要的软件分开,大大提高了业务建立的速度。因为在这种结构中,要生成新业务只需改动很少的软件即可。

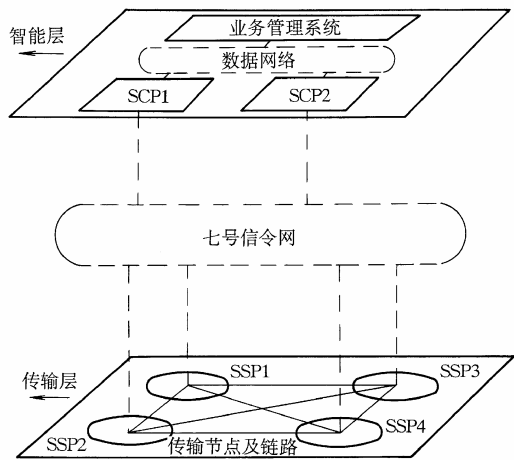


图 2.24 智能网的分层概念

5. 网络智能体

网络智能体 (Agent) 是最近几年发展起来的一种新型智能工具。其目的是代替网络用户完成网上信息搜索、翻译、日程安排、各种资源预定以及其他用户指定的有关工作。网络智能体可以看作用户在计算机中的代理或电子秘书等。

近年来的网络智能体的研究正在和软件构件技术以及主动式网络等新技术相结合。例如，网络端主机上的智能体正在变得越来越智能化，它能根据用户的习惯和要求调用相应的软件构件来编制和形成新的执行程序，并和用户协商与协调用户与网络系统之间的要求和服务。另外，除了端主机上的智能体之外，在网络节点中对网络资源进行管理、协商和维护智能体的研究也已出现。

也就是说，网络智能体的出现使得人工智能技术走上了分布式人工智能与软件构件技术相结合的道路。

2.4 电话通

2.4.1 移动通信概述

随着人类生活范围的逐渐扩大和生活节奏的加快，人们对通信的效率要求越来越高，方便快捷成为首要的选择，移动通信正符合了人们的这一愿望。近十年来移动通信的发展也正验证了这一点。

移动通信是指通信的一方或双方在移动中进行通信的方式。包括移动台之间的通信；移动台与固定台之间的通信；移动台通过基站与有线用户之间的通信等。

1. 移动通信的特点

由于移动通信的传输信道特性与其他通信方式的相比有较大的不同，移动通信具有下列主要特点：

(1) 复杂的信道特性



各种移动通信系统中的移动台经常处于运动中, 信号传播时如果受到建筑物阻挡就会产生阴影效应, 使信号发生慢衰落; 如果受到建筑物反射的影响, 就会形成多径传播会使信号发生快衰落, 即信号幅度出现快速、深度衰落, 致使接收信号场强的瞬时值变化达 30dB 以上。因此, 要保证通信质量, 必须给系统留有抗衰落能力的储备, 才能使移动通信系统正常运行。

#### (2) 多而强的干扰

移动通信系统的通信质量不仅与设备性能有关, 还取决于外部噪声的强弱。外部干扰种类较多, 干扰噪声有天然电噪声、工业噪声等; 干扰信号有由于系统内有多个用户同时工作产生的邻道干扰、互调干扰以及在使用相同频道时产生的共频道干扰; 还有服务区内的移动台分布不均匀且位置随时变化引起的远近效应等, 这是移动通信系统特有的干扰。各种噪声和干扰使得干扰信号的强度可能比有用信号高几十分贝(如 70~80dB)。为保证通信质量, 除选择抗干扰性能强的调制方式外, 设备还必须留有足够的抗噪声的衰落储备。

#### (3) 多普勒效应

由于移动用户的运动, 使得基站接受信号的频率产生频偏, 通常把这种现象称为多普勒效应。在卫星移动通信系统中多普勒效应较为明显, 必须使用采用了“锁相技术”的接收机才可以克服。因而移动通信设备均采用了锁相技术。

#### (4) 灵活的组网方式

移动通信系统组网方式分为大区制和小区制。大区制采用一个基站覆盖整个服务区(如专用网), 区域内所有移动台之间可进行通信, 并通过基站的接口设备与公用电话网(PSTN)相连接, 使无线用户与有线用户之间也可进行通信。小区制在服务区内设有多个基站, 不同的基站分布可组成带状网(如铁路网)或面状的蜂窝网(如公用网)。近几年来移动电话用户的增加十分迅速, 导致服务区和用户密度不断增大。服务区的增大可在原有的基础上通过建立新的基站来扩大, 而用户密度的增加可通过分裂小区增加新的基站来满足需要。此外, 移动通信网必需具有很强的控制功能, 如频道的控制和分配, 用户的登记和定位, 以及越境切换和漫游的控制等, 以满足用户的移动要求。

#### (5) 有限的频率资源

国际电信联盟 ITU 对无线频率的划分使用有严格的规定, 由于移动通信业务的发展极为迅速, 目前所使用的频段已远远满足不了增长的需要。除了开辟新的频段之外, 采用窄化频道间隔技术(频道间隔从 30kHz 减小到 25kHz 后又减小到 12.5kHz)和高效的频率再用技术(如 FDMA、TDMA、CDMA、TD-SCDMA 等方法)来增加系统的容量。

#### (6) 更高的设备要求

移动通信设备要求设备体积小、重量轻、便于携带安装、省电、操作简便等, 还要功能强以满足综合业务(如话音、数据和图像)要求。同时其使用环境也较为恶劣, 如车载、机载、船载等, 要保证在振动、冲击、高低温等环境下正常工作。

### 2. 移动通信的分类

移动通信应用范围很广, 其分类方法有多种, 如按服务对象可分为公用网和专用网; 按组网方式可分为大区制和小区制; 按信号形式可分为模拟和数字; 按多址连接方式, 可分为频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA); 按工作方式, 可分为单工方式、半双工方式和全双工方式。下面简要地讨论移动通信的工作方式。

按工作状态和频率使用, 工作方式可分为单工、半双工和全双工制。

(1) 单工方式

所谓单工制是指电台处于一种工作状态或接收或发射，通信双方交替地进行收信和发信。根据收、发频率的不同，又可分为同频单工和异频单工。单工通信常用于点到点通信，参见图 2.25 所示。

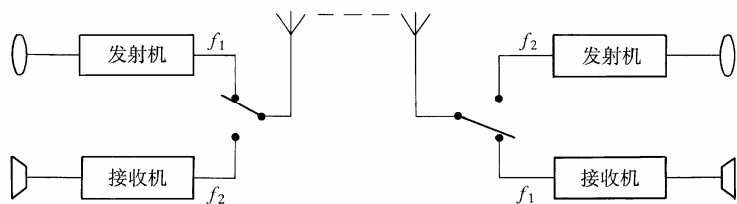


图 2.25 单工通信方式

同频单工是指通信双方使用相同的频率  $f_1$  工作，发送时不接收，接收时不发送。平常双方接收机均处于守候状态——接受状态。当 A 电台要发话时，它就按下其送受话器的按讲开关 (PTT)，一方面关掉接收机，另一方面将天线连接至发射机的输出端，接通发射机开始工作。双方都使用载频  $f_1$ 。同频单工工作方式的收发信机是轮流工作的，这样的工作方式只允许一方发送时另一方进行接收，例如在 A 方发送期间，B 方只能接收而无法应答，这时即使 B 方启动其发射机也无法通知 A 方使其停止发送。任何一方当发话完毕时，必须立即松开其“PTT”开关，否则将收不到对方发来的信号。此外，附近若有相同频率的电台工作，会产生同频干扰。

异频单工通信方式是指收发信机使用两个不同的频率  $f_1$  和  $f_2$  分别进行发送和接收，例如 A 电台的发射频率及 B 电台的接收频率为  $f_1$ ，B 电台的发射频率及 A 电台的接收频率为  $f_2$ 。与同频单工相比不同的是同一部电台的发射机与接收机各用一个频率，构成一对频率。

单工制操作不便，易出现通话断续现象，适用于用户少的专用移动通信系统，如对讲系统。

(2) 半双工方式

半双工通信是指通信双方中有一方（基站）是双工方式，收发信机同时工作，使用一对信道  $f_1$  和  $f_2$  两个频率，即频分双工 (FDD) 工作方式。而另一方（常指移动台）则采用双频单工方式，如图 2.26 所示。图中，基站的发射机和接收机同时工作，接收和发射分别使用一副天线可同时进行工作，而移动台通过双工器共用一副天线。该方式的特点是克服了通话断续现象，但操作仍不方便，适用于专用移动通信系统，如调度通信等。

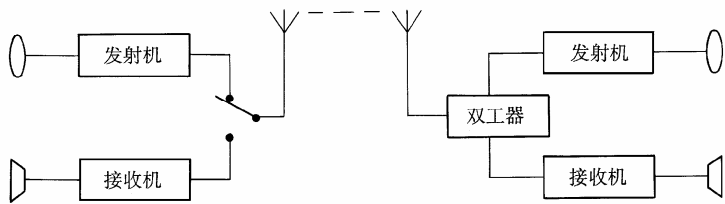


图 2.26 半双工通信方式

(3) 双工方式

所谓双工通信，是指通信双方可同时进行通信的工作方式，如图 2.27 所示。与半双工方

式相比，这种工作方式使用方便，接收和发射可同时进行。但是，在电台的运行过程中，不管是否发话，发射机总是工作的，故电源消耗较大，减少了以电池作电源的移动台的使用时间。为此，在实际应用中，采用 VOX（话音激活）技术使得移动台的发射机仅在发话时才工作，称之为准双工系统。该方式目前应用较为普遍。

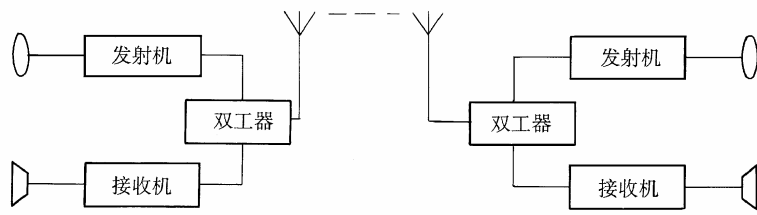


图 2.27 全双工通信方式

2.4.2 移动通信系统的组网方式

1. 移动通信的体制

按移动通信网服务区的覆盖方式可分为：小容量的大区制和大容量的小区制。

(1) 大区制

在一个服务区内只设一个基站，该基站负责服务区内移动台的通信、联络和控制。为了扩大服务区的范围，常用的作法是增高基站天线，加大发射机的功率。但移动台电源容量有限，发射功率较小。距离较远时移动台可收到基站信号，而基站无法收到移动台的信号。为克服这一矛盾，通常采用分集接收技术，即在服务区内的适当位置增设接收站的办法。大区制移动通信系统如图 2.28 所示。

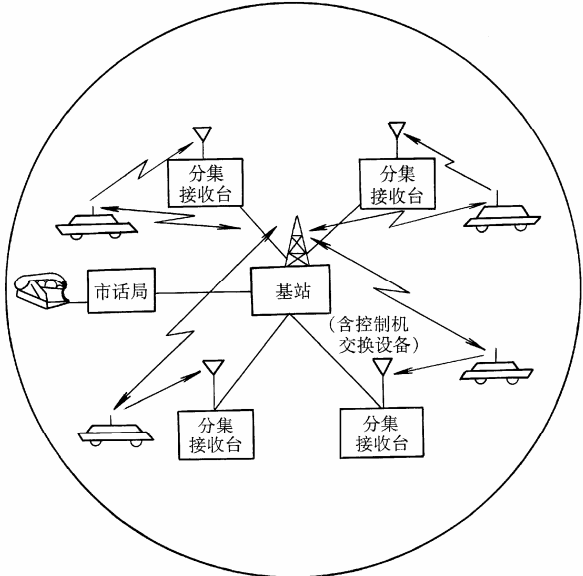


图 2.28 大区制移动通信系统结构示意图

大区制移动通信系统的频率利用率低，系统容量小，但网络结构简单，维护管理方便，

故在用户较少的专用通信网中应用较多。

(2) 小区制

将整个服务区划分为若干小区，在每个小区设置一个基站，负责小区内移动台的通信、联络和控制。同时还要设置一个移动业务交换中心，负责小区间的通信连接及与有线网的连接。由于是多基站系统，当移动用户从一个小区移动到另外一个小区时，需要进行信道切换，对系统的交换控制功能要求更高。小区的大小和设置可根据用户密度的不同来确定。小区制移动通信系统如图 2.29 所示。

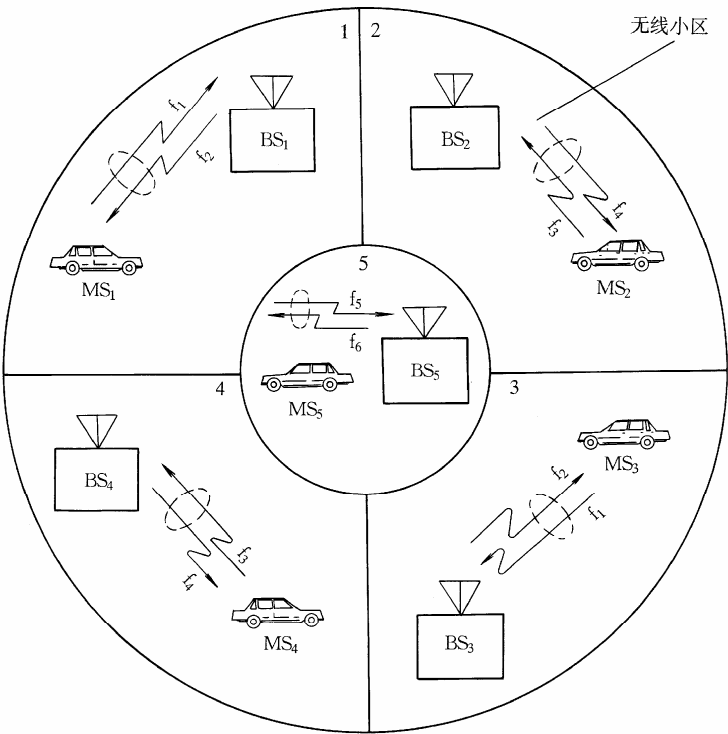


图 2.29 小区制移动通信系统结构示意图

小区制移动通信系统可采用频率再用（频率空分复用）技术，提高了系统的频率利用率和系统容量，但网络结构复杂，投资巨大。尽管如此，为了获得系统的大用户容量，在大容量公用移动通信网普遍采用小区制蜂窝结构。

2. 区域划分与多址技术

在蜂窝移动通信系统中小区的合理划分以及频率的合理分配，均可以提高系统的资源的利用率和投资效益。

(1) 区域的划分

蜂窝系统的区域划分有两种，分为带状服务区 and 面状服务区。

当系统需要覆盖的区域呈条带状时，称为带状服务区，小区沿服务区覆盖走向排列，称“带状网”有时亦称“链状网”。如铁路上使用的移动通信系统。带状服务区如图 2.30 所示。

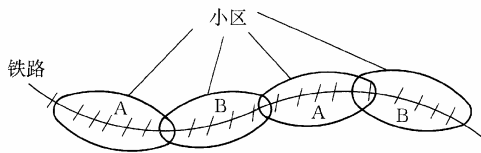


图 2.30 带状服务区示意图

为克服干扰，相邻小区采用不同频率组，频率组的配置方法有双组频率制和多组频率制（常用的为三组频率制）。由于频率资源有限，在带状网中尽可能采用双频制。有时由于地形的影响，需要相隔两个小区才可以使用相同的频率组，这时可采用三频制。从抗干扰上看，使用的频率组越多越好，多频制优于双频制；从资源利用率上看，双频制优于多频制。

公用移动通信网在大多数情况下，其服务区为平面形（如城区），称为面状服务区。这时小区的划分较为复杂，最常用的小区形状为正六边形。与其他形状（三角形、四边形）相比，在服务区面积一定的条件下，正六边形小区所需基站数最少，相邻小区重叠面积最小，是最经济的一种方案。由于正六边形的网络形同蜂窝，故称此种小区形状的移动通信网为蜂窝网。蜂窝状服务区如图 2.31 所示。

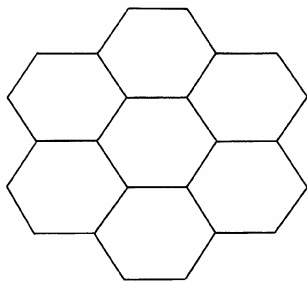


图 2.31 蜂窝状服务区示意图

公用移动通信系统的网络结构一般为蜂窝网结构，由于容量巨大，其频率组的配置常采用多频制，所有采用不同频率组的小区构成一个区群。随着用户容量及密度的增加，可通过设置新的小区或小区分裂来保证服务质量。

(2) 多址技术

蜂窝移动通信系统中，普遍采用空间频率再用——空分复用多址（SDMA）技术来扩大系统容量。目前数字蜂窝移动通信系统中，多址技术除采用 SDMA 外，普遍使用的还有 FDMA、TDMA、CDMA 以及它们的组合方式。如欧洲的 GSM、美国的 DAMPS 和日本的 JDC 系统均采用 FDMA 和 TDMA 的结合方式 TDMS，通常取其主要特征也称为 TDMA 系统。另外还有美国的 IS-95 标准采用 CDMA 方式等。在 3G 系统中，采用宽带 CDMA 方式，推荐的标准有 W-CDMA（FDD）、CDMA2000（FDD、TDD）和 TD-SCDMA（TDD）等。

3. 移动通信网络结构

小区制移动通信网的基本网络结构由移动交换中心(MSC)、基站（BS）和移动台（MS）组成。以完成移动用户之间或移动用户和市话用户之间的通信，通信网络结构不同，所需的交换控制功能及交换控制区域组成亦不同。在小区制移动通信网中，基地站很多，而移动台又没有固定的位置。为了便于控制和交换，移动通信网的结构相对复杂，如图 2.32 所示。

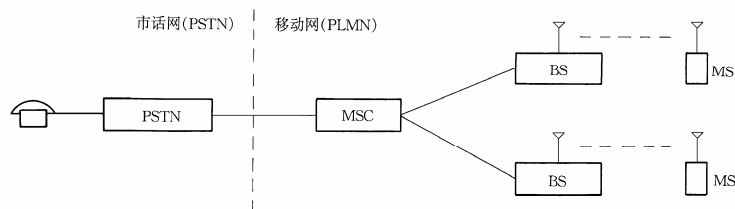


图 2.32 移动通信网络结构示意图

一个服务区由一个或若干个公用陆地移动通信网（PLMN）构成；一个 PLMN 由一个或若干个 MSC 组成；一个 MSC 可由一个或若干个位置区组成；位置区由若干基站组成；一个基站可由一个或若干个无线小区组成。其中 MSC 构成无线系统与市话网(PSTN)之间的接口，以建立固定用户与移动用户的往来呼叫；位置区即移动台位置登记区，它是为了解决在呼叫移动台时，能知道被呼移动台当时所在的位置而设置的。基站(BS)提供无线信道，以建立在 BS 覆盖范围内与移动台(MS)的无线通信。

4. 移动通信网与有线网的连接

对于大容量数字蜂窝移动通信网，移动通信网的信关移动交换中心（GMSC）应当处于地面固定网中一级交换中心的地位，即一级移动交换中心，一级 GMSC 与固定网中一级交换中心连接，同时与下一级 MSC 呈星形连接。对于中等容量的数字蜂窝移动通信网，移动通信网的移动交换中心(MSC)可处于地面固定网中二、三级交换中心的地位，它们与固定网中汇接局相连接。这种方式是将移动通信系统相当于市话网中的汇接局。若在一个服务区内，有多个 MSC，主 MSC 与下一级 MSC 通过局际中继线连接呈星形，并集中接入市话网。如图 2.33 所示。图中固定网络中的一级交换中心之间构成网状网，一级交换中心以下各级交换中心直至端局为星状连接。移动通信网中的信关移动交接中心（GSMC）之间为网状网。GMSC 和 MSC 均要经过两个不同的汇接局或交换中心与固定网相连，以确保网络的可靠性。

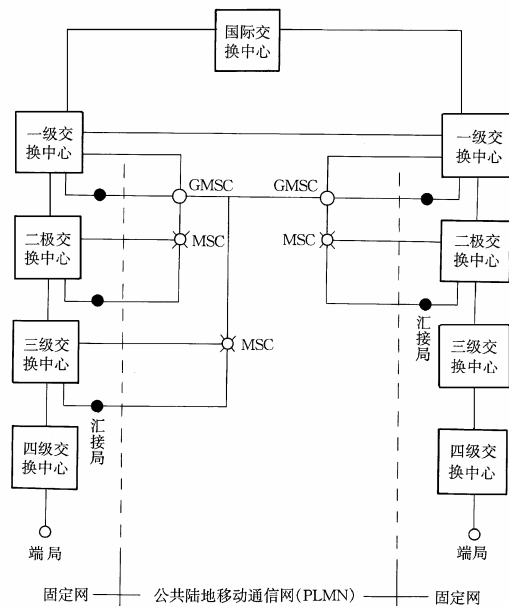


图 2.33 移动通信网与固定网连接示意图

5. 移动通信网的智能化

(1) 移动通信网的智能化

通信网的智能化,使通信网变成智能网 IN。智能网引入了新的网络控制结构,其基本特点是将交换功能与服务功能分开,将网络智能分配到若干服务控制点(SCP)的计算机中,而由软件实现对网络的智能控制。因此,智能网可提供更复杂的服务功能。数字移动通信网的智能化,就是将移动通信网的网络控制按照智能网的结构来处理。

(2) 移动网与 ISDN 的结合

数字移动通信网中广泛采用 ISDN 方法,即数字移动通信网提供与 ISDN 一致的服务;MSC 能提供 ISDN 用户交换功能,采用 ISDN 的 No. 7 信令作为数字移动通信网的信令;除了与移动有关的功能外, MSC 的交换功能应与 ISDN 交换一致,即可直接采用 ISDN 交换设备;数字移动通信网与 ISDN 的某些功能和设备可共用。换句话说,在通常的 ISDN 交换机的存储和处理功能中只要增加与移动有关的功能就可延伸为移动网。可见,移动通信网的智能化是与 ISDN 的智能化相一致的。

2.4.3 移动通信网

目前移动通信系统已广泛应用于各个领域,系统类型也在不断增加。下面将介绍几种典型的并已获得广泛应用的移动通信系统,包括大区制模拟公用移动电话系统,小区制模拟、数字蜂窝网移动电话系统。重点是系统的性能、特点、基本组成及其工作原理等。

1. 大区制模拟移动电话通信网

大区制移动电话系统采用单基站结构,使用大功率发射机、高架天线,服务半径可达 30~50km。基站有多个信道,并采用多频道共用技术,一般可容纳数百用户。由于控制系统比较简单,成本较低,适用于油田、矿区及某些专门业务部门作专业移动电话系统使用,应用较为广泛。下面介绍一种颇具代表性的 IMTS 系统。

(1) IMTS 的组成与工作原理

IMTS(Improved Mobile Telephone Service)是一种自动拨号公共移动电话系统,工作频段分为 150 MHz 和 450 MHz 两种,系统组成如图 2.34 所示。其中,控制终端设备与市话网接口,

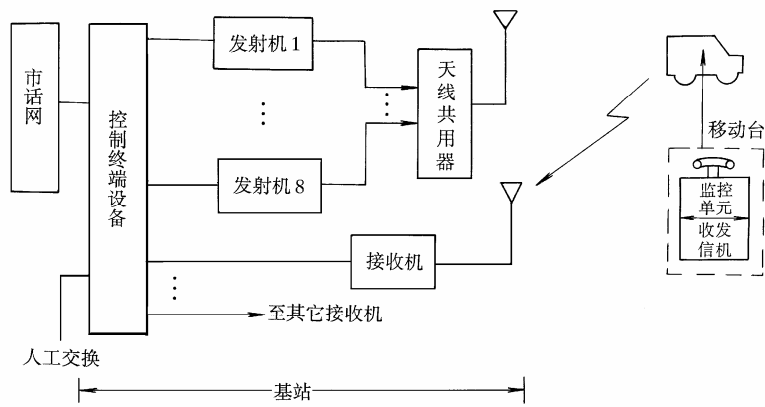


图 2.34 IMTS 移动电话系统组成示意图

完成电路转接、信令交换并实施各种信令控制。基站设置多部发射机、接收机及双工器等。

基站的发射机设有多个信道，每一个信道使用一台发射机，由于覆盖面积较大，而移动台发射功率较小，因此为了保证移动台发出的信号被收到，基站接收机在一定区域内可分散设置，通过有线线路与基站控制设备相连接，由控制终端设备选择接收质量最好的接收机建立通信。移动台除收、发信机，双工器外，还有必不可少的监控单元，以完成频道转换、信令传输及选呼等功能。无线频道的选择方法采用循环定位方式，利用信令信号来完成基站与移动台之间的呼叫、识别和控制功能。

## (2) 系统的工作过程

IMTS 系统的工作过程可分为空闲状态、移动台主呼市话用户、市话用户呼叫移动台及移动台相互之间呼叫等过程。

**空闲状态：**当基站中有一个或多个频道空闲时，控制终端选择某一个频道发出空闲信号，网内所有未通话即处于守候状态的移动台通过循环定位方式进行频道扫描，一旦检测到空闲信号，移动台接收机就锁定在该频道上，等候被呼或在相应的发射频道上发起主呼。假若该频道已被占用，那么基站将在另一个空闲频道发送空闲信号，原来守候在该频道的移动台因收不到空闲信号，重新进行搜索，并停留在新的空闲频道上。

**移动台呼叫有线用户：**①首先移动台经自动搜索均锁定在空闲频道上。②移动台摘机，发送认可信号，若收到基站发出的空闲音，则移动台发送接入音。如果未能连续收到空闲音，则表明该频道已被其它移动台占用了，从而自动关闭发射机，本次呼叫失败。③基站收到接入信号后，停发空闲音，除了被呼移动台外，其余的移动台重新搜索新的空闲频道。如果基站没有收到接入信号，继续发空闲音，移动台呼叫失败。④移动台发接入音后，基站停发空闲音，此时移动台发收妥单音，基站在停发空闲音后发捕获音，通知移动台可发自动识别码。⑤移动台发送自动识别码。⑥基站收到识别码后，若该移动台已经注册登记，则控制终端接通移动台与市话之间的路由，移动台会听到市话送来的拨号音。⑦移动台拨号，基站收到移动台的拨号信号后，由控制终端转换为市话的标准拨号脉冲，以对市话用户振铃和通话。⑧移动台通话完毕挂机，即发拆线信号，接着重新开始搜索新的空闲频道。如果通话结束后，移动台未挂机，控制终端在预先设置的时间后能自动拆线。

**有线用户呼叫移动台：**①移动台开机，经扫描搜索后调谐于空闲频道上；②市话用户摘机，听到拨号音，拨出局号和用户号。市话局识别后，提供线路与 IMTS 的控制终端设备接通，并将被叫移动台的用户号转发给控制终端寄存；③控制终端停发空闲单音，改发捕获单音，所有守候移动台的接收机均可接收捕获单音。此时，如果移动台试图在这个频道摘机呼叫，将收到示忙信号；④控制终端设备发送被呼移动台的号码。各移动台与各自的编程号码作比较：若两者号码相符，则该移动台就是被呼用户，开启发射机，发射一个认可信号(亦称收妥信号)；若两者号码不符，则移动台从该频道释放，重新开始搜索新的空闲频道。如果被呼移动台没有开机或超越本系统的覆盖范围时，基站收不到认可信号，则 3 秒钟后，控制终端放弃本次呼叫，释放该频道，并且给市话用户发录音告知信号。⑤基站收到被呼移动台的认可信号后，即给移动台发振铃信号，移动台收到振铃信号立即开始振铃，被呼指示灯亮，直到摘机。基站控制终端通过编程设定一最长振铃时间，在该时间内，被叫仍不摘机应答，则基站停发振铃信号，并且释放该频道。⑥移动台在振铃时摘机应答，发接入音告知基站，线路已接通。⑦通话。⑧通话结束，移动台挂机，发送拆线信号，基站控制终端收到拆线信号，完成拆线，移动台重新开始搜索新的空闲频道。

**移动台之间相互呼叫：**移动台呼叫另一移动台，也必须通过基站的控制和管理，此时控



制基站进行转发。为了避免干扰，同时只允许一方移动台处于发射状态，即单工通信方式。当移动台讲话时，处于发射状态，接收机的音频电路被断开，一旦停止发话，自动开启音频电路，处于正常接收状态，这种方式通常称为声控发射(VOX)方式。

除上述工作方式之外，IMTS 系统移动台的登记还分属区登记和访问区登记；移动台可以从一个 IMTS 系统覆盖区漫游到另一个兼容的 IMTS 系统覆盖区。

2. 蜂窝式模拟移动电话通信网

蜂窝式模拟移动电话是小区制大容量公用移动电话系统，它的用户量多、覆盖区域广泛、功能齐全，是目前应用的数字移动通信系统的前身。国际上已运行了多种体制，其中主要有美国的 AMPS 系统（频道间隔为 30kHz），英国的 TACS（频道间隔为 25 kHz 的 AMPS）系统，北欧的 NMT-900（频道间隔为 12.5kHz），日本的 NAMTS 系统（频道间隔为 25kHz）。

我国于 1990 年 8 月，国家无线电管理委员会规定的频段为 890~915MHz 与 935~960MHz，基本确定先采用 TACS 标准，后引进了 AMPS 标准的系统，主要使用在西北地区，已成功进行了 TACS 与 AMPS 的连网。

(1) 系统构成和工作原理

蜂窝式模拟移动通信系统结构主要包括三个部分：移动业务交换中心(MSC)；基站(BS)；移动台(MS)和天馈系统。通过基地站、移动业务交换中心就可以实现在整个服务区内任意两个移动用户之间的通信；也可以经过中继线与市话局连接，实现移动用户和市话用户之间的通信，从而构成一个有线、无线相结合的移动通信系统，系统主要功能如下：

- 具有与 PSTN 进行自动交换的能力；
- 双向全自动拨号,全双工通话；
- 具有小区分裂扩充容量的能力；
- 具有过境切换和自动漫游功能。
- 使用频率再用技术；
- 以移动电话业务为主，也可开展电报、传真等非话业务。

系统构成如图 2.35 所示。

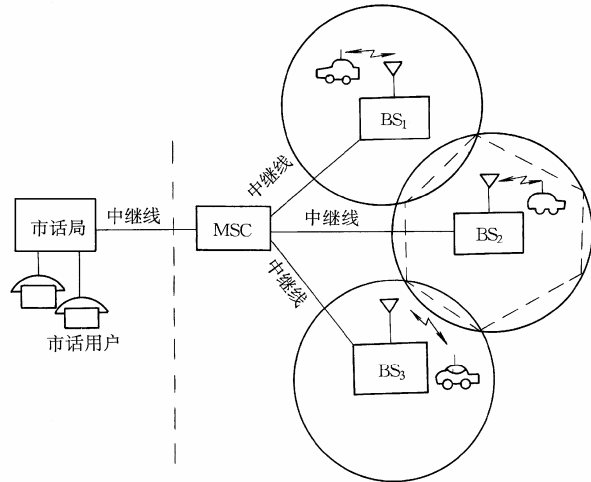


图 2.35 蜂窝移动电话系统组成示意图

① 移动业务交换中心

MSC 是移动系统和公共电话交换网(PSTN)之间的接口,它处理移动用户的主呼及被呼,还具有各种控制功能,完成移动用户与市话用户之间、移动用户相互之间的接续和交换。MSC 是由一部适合移动通信业务的程控电话交换机组成的,它除了具有一般电话交换机的功能外,还具有移动通信交换所特有的功能,如对移动台的位置识别和登记、频道指配和过境切换处理等。因此其软、硬件,特别是软件要比一般程控交换机复杂。

程控交换机由话路接续和程序控制(数据处理)两部分组成。话路接续设备包括用户级(用户处理机等时分控制部分)和选组级(数字空分交换模块)两级。程序控制是由中央处理机(或主处理机)与外围处理机系统、I/O 设备及相应的软件构成,其具体作用如下:

- 微处理机分系统(CPU)为交换机提供各种操作、监视和控制功能。
- 数字交换分系统:包括交换单元、群多路单元、话音群路单元、信令音单元、控制信道处理器、控制信道扩展器。
- 维护和状态分系统。
- 输入/输出(I/O)分系统:包括打印机、磁带驱动器、告警和状态显示板。

交换机的功能如下:

- 输入控制。对输入信号的处理,包括:用户线监视扫描、中继线信号扫描、接收数字信令。
- 分析处理。对输入信息进行分析和处理后作出决断,确定下一步骤应发出何种指令,使哪些模块或系统执行操作。这一个过程是由分析程序来完成的。分析程序包括:去话分析、号码分析、来话分析、计费分析。
- 输出处理。处理中央处理机和外围处理机的输出。它主要包含下列程序:路由选择、设备选择、数码发送程序、计费脉冲发送程序。

为了提高控制系统的可靠性,一般均采用双机热备用工作方式。在 AMPS 系统中,以移动电话交换局(MTSO)取代 MSC,两者没有实质区别。

## ② 基站

基站包括若干个信道单元,每个信道单元有发射机、接收机和控制单元。控制单元通过基站与 MSC 之间的有线信道通信,用来与移动交换中心和移动台进行信令传送。基站一般设有多个话音信道设备,基站与移动台之间采用无线信道通信。基站在 MSC 与移动台之间起中继作用。此外,基站都包含定位接收机,用来监测移动台的位置,为过境切换服务。为了使无线电波能有效覆盖整个服务区域,需要建立若干基站,这样一个区域称作一个移动交换中心业务区。

### a. 基站设备配置

基站设备由多个机架构成,有发信机架、收信机架、控制系统与音频机架和电源机架。收、发信机架由多个话音信道和控制信道构成;电源机架为整个系统供电。设备需要模块化设计,通过组合可形成不同容量的基站。

基站信道机使用的天线分为发射天线和接收天线,且有全向和定向之分,一般可有下列三种配置方式:收、发全向方式;发全向、收定向方式;发、收定向方式。

根据基站的业务量进行天线配置,主要考虑话务量、覆盖区域和地形等因素。在一般情况下,频道数较少的基站(如位于郊区)常采用发全向、收全向方式,而频道数较多的基站采用发全向、收定向方式。在选择天线时还需考虑由于基站发射机的功率大于移动台的发射功率而引起的上、下行信道信号功率的不均衡问题。解决这种功率不均衡有两种方法:一是基

站采用发全向、收定向的天线配置方式；另一种是基站接收机天线采用空间分集方式以获得分集增益,实际的蜂窝式移动通信系统已广泛使用了分集接收技术。全向天线增益均为 10dB； $120^{\circ}$  定向天线的增益为 14dB； $60^{\circ}$  定向天线增益为 17dB。

### b. 主要技术性能

基站的主要技术性能、指标如表 2.2 所示。

表 2.2 基站设备主要技术指标

| 性能          |          | 设 备                              |                         |
|-------------|----------|----------------------------------|-------------------------|
|             |          | MOTOROLA                         | ERICSSON                |
| 频率 (MHz)    |          | 发：935~960<br>收：890~915           | 同前                      |
| 频率稳定度 (PPM) |          | ±0.25/年                          | 同前                      |
| 发<br>射<br>机 | 输出功率 (W) | 20                               | 10/20/40                |
|             | 调 制      | 话音：FM； 信令：FSK                    | 同前                      |
|             | 音节压扩     | 2:1 压缩                           | 同前                      |
|             | 杂散辐射     | >-70dBm(±50kHz)<br>>-90dBm(接收频段) | 同前                      |
|             | 发射机输出    | <-55dBm                          | /                       |
| 接<br>收<br>机 | 灵敏度      | -116dBm(12dB 信纳比)                | 同前                      |
|             | 选择性      | 相邻频道：40dB<br>交替频道：>75dB          | 相邻频道：16dB<br>交替频道：>60dB |
|             | 互调抑制     | 70dB                             | 65dB                    |
|             | 音节压扩     | 1:2 扩展                           | 同前                      |
|             | 噪 声      | -50dB                            | /                       |
|             | 杂散抑制     | 75dB                             | 65dB                    |

### ③ 移动台

移动台有手持机和车载台。它由发射机、接收机、与基站进行信令传输的逻辑单元、按键式拨号电话盘及送受话器等组成。移动台结构如图 2.36 所示。

当移动用户和普通市话用户之间的呼叫已经建立时，话音就在移动台和与该移动台最近的基站之间的无线信道上传输。基站话音信道单元通过有线(或无线)中继与移动交换中心相连，然后与公用电话交换网完成双向通话。同样，任何两个移动用户之间的通话，也是通过移动交换中心建立的。

在通话期间，当移动台远离基站，从而导致话音质量下降时，就需要过区切换，这也要 MSC 控制完成，具体切换方法和过程将在后面叙述。

通常，在一个蜂窝系统中有若干个移动业务交换中心，整个蜂窝系统常称作公共陆地移动电话网(PLMN)。每一个 MSC 均与公共电话交换网(PSTN)和所属基站连接。每个移动台在该用户常驻地的交换中心登记注册，此交换中心称作为归属交换中心，它所管辖的用户称为本地用户。当移动台进入另一个移动业务交换中心的业务区(或称服务区)时，此交换中心称为被访交换中心，用户叫作来访用户(或称漫游用户)。移动台从一个移动交换中心业务区移动到另一个新的移动交换中心业务区的现象称为漫游，为此，一方面，归属交换中心需将用户的类别信息传给被访交换中心，另一方面，被访交换中心，要将漫游用户在新地点的有关数据传给归属交换中心。这就是两个移动交换中心之间进行的漫游信号传递，它要符合国际电报电话咨询委员会第 7 号信令(CCITT No.7)的协议要求，信号可以在两移动交换中心间一

条直达链路上传输，也可以经由公共电话交换网的链路传输。

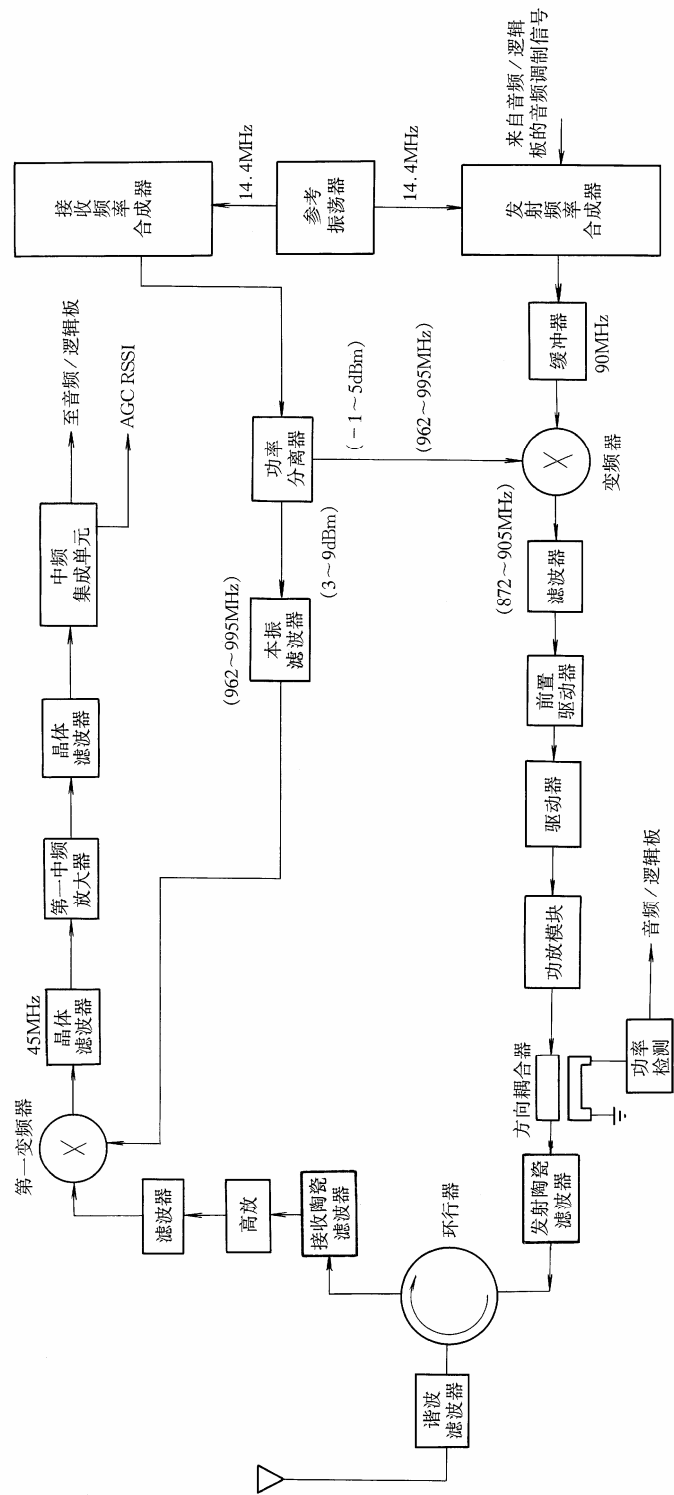


图 2.36 移动台结构示意图

## (2) 系统控制与信令

蜂窝式移动电话系统除了要处理移动用户和固定用户(包括市话用户)的主呼和被呼之外,还必须在通话中进行越区频道自动切换,并且尽可能为漫游用户提供服务,因此控制系统是比较复杂的,信令也是多种多样的。

### ① 系统的控制结构

系统控制是指市话网、移动业务交换中心(MSC)、基站和移动台之间的话音和信令的传输与交换。

根据用途不同信道可分为话音信道和控制信道,话音信道主要用于传送话音,控制信道专门用于传送控制信令,以建立话音信道。根据传输方向不同信道可通常分为前向信道(或下行信道)和反向信道(或上行信道),前向信道是指从基站(BS)至移动台(MS)的传输信道,包括前向话音信道和前向控制信道;反向信道是指从 MS 至 BS 传输的信道,包括反向话音信道和反向控制信道。基站与 MSC 之间采用有线连接,可分为数据线路和话音线路。

BS 既有线信道,又有无线信道,为了适应有线网和无线网之间的传输,必须自动进行有线和无线之间的转接与传输,包括有线和无线之间的信令转换。MS 一开机就在前向控制信道上搜索空闲信令,为接受呼叫或发起主呼作好准备。当 MS 主呼时,在反向控制信道上向 BS 发送本机号码和被呼用户号码;当 MS 被呼时,应答信号和申请分配话音信道的信令也是从反向控制信道发往 BS,并经 BS 转接,传输到 MSC。

### ② 控制信号与功能

监测音 SAT:用于信道分配和对移动用户的通话质量进行监测。

信令音 ST:移动台发出,表明工作状态。

定位与越境切换:确定移动台位置,判断是否切换。

寻呼与接入:寻找被呼移动台、接收移动台呼入。

冲突回避:减少呼叫竞争,提高接入率。

移动台功率等级信号:避免干扰,控制移动台发射功率。

### ③ 数字信令

根据传输要求的不同,信道特性的不同,不同信道传输的数字信令也不同。具体有前向控制信道控制信令,反向控制信道控制信令,前向话音信道控制信令,反向话音信道控制信令和有线数据信道控制信令。

## (3) 系统的工作过程

### ① 初始状态

当移动台开机后,首先对控制信道进行扫描搜索,并锁定在信号最强的信道上,等候被呼或发起主呼。由于移动台不断地移动,上述过程往往需要反复进行,从而保证移动台不断跟踪信号最强的基站。

### ② 移动台被呼

工作过程可分为寻呼、选择基站、响应、分配话音信道和振铃等。

寻呼:MSC 收到被呼的移动用户号码,将它转换成移动台的识别号码,并发出寻呼指令,让本业务区各基站通过前向控制信道选呼该移动台。

响应:若被呼移动台在服务区内并且开机的话,就能收到被呼信号,选择一个信号最强的基站,若有空闲信道则移动台通过反向控制频道,作出应答,表明已收到被呼信号,基站通

过有线数据线路告知 MSC；反之示忙。

指配话音信道：MSC 收到移动台的应答信号后，就给正在服务的基站指配空闲话音信道。移动台在指配的话音信道应答，表明话音频道已接通。

振铃：基站在前向话音信道上发出振铃信号，移动台在接收振铃信号的同时，在反向话音信道上发信令音 ST，表示振铃成功，基站通过 MSC 向主呼用户发出回铃音。

移动台摘机时，信令音 ST 停发，回铃音即断，到此完成了市话用户主呼移动用户的工作过程。

### ③ 移动台主呼

申请话音信道：移动台把所拨号码和移动台的用户识别码通过反向控制信道发往基站，基站通过有线数据线路告知 MSC，并要求分配话音频道。

指配话音频道：和移动台的被呼过程相同。

振铃：MSC 向被呼用户发送标准的拨号音，被叫用户摘机，回铃音断，即可通话。

### ④ 话终拆线

通话终了，一方先挂机时，MSC 收到送来的拆线信号，就把所有与此呼叫有关的交换单元置于空闲。MSC 向工作的 BS 发出频道释放命令，移动台收到释放频道的指令后，关掉发射机，转到控制信道接收。

上面概述了呼叫过程。在蜂窝通信系统中，还有漫游移动用户与本地移动用户或有线用户之间的通信等，这些通信的呼叫过程与上述的呼叫过程基本类似。

## 3. 数字蜂窝移动通信网

由于移动通信业务的激增，模拟蜂窝通信系统面临着容量不足的压力，需要寻求一种频谱效率更高和通信容量更大的新型移动通信系统；同时非话通信业务的需求迅速增多，从而使模拟蜂窝移动通信系统适应不了通信业务发展的需要。于是出现了数字蜂窝移动通信系统。

目前，世界上使用的数字蜂窝移动通信系统有欧洲的 GSM 系统、北美的 IS-54 标准的 ADC(也称 DAMPS)系统、美国的 IS-95 标准的 CDMA 系统和日本的 JDC 系统。我国大部分省市主要采用欧洲的 GSM 系统，并在 4 个城市建立了 CDMA 实验系统。

本部分的主要内容有以下几部分：

- 数字蜂窝移动通信系统的多址技术和系统容量。
- 以 GSM 系统为主介绍 TDMA 数字蜂窝移动通信系统的网络组成、传输方式和网络控制。
- 简单介绍 CDMA 数字蜂窝移动通信系统的技术特征、传输方式和控制功能。

### (1) 数字蜂窝移动通信系统的多址技术和系统容量

多址方式直接影响到通信系统的容量，在蜂窝式移动通信系统中，采用的多址方式有频分多址(FDMA)、时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)。实际中也常用到它们的混合方式，比如，TDMA/FDMA、CDMA/FDMA 等等。GSM、DAMPS 和 JDC 都采用的是 TDMA/FDMA 方式（简称 TDMA 方式），CDMA (IS-95) 采用的是 CDMA/FDMA 方式。

#### ① 多址方式

FDMA：是把通信系统的总频段划分成若干个等间隔的频段（也称频道）分配给不同的用户使用。这些频道互不交叠，其宽度应能传输一路数字话音信息。在两个频段之间留有一段保护频带，其作用是防止同一部电台的发射机对接收机产生干扰。这种通信系统的基站必须同时发射和接收多个不同频率的信号；任意两个移动用户之间进行通信都必须经过基站进

行中转，因而必须同时占用 4 个频道才能实现双工通信。

采用 FDMA 的优点是技术成熟和易于实现数模兼容，缺点是系统中同时存在多个频率的信号，容易形成互调干扰。

**TDMA**：是把时间分割成周期性的时帧，每一时帧再分割成若干个时隙(无论时帧或时隙都是互不重叠的)，然后根据一定的分配原则，使各个移动台在每帧内只能在指定的时隙向基站发送信号。在满足定时和同步的条件下，基站可以分别在各时隙中接收到各移动台的信号而互不混扰。同时，基站发向多个移动台的信号都按顺序安排在预定的时隙中传输，各移动台只要在指定的时隙内接收，就能在合路的信号中把发给它的信号区分出来。图 2.37 是 TDMA 系统的工作示意图。

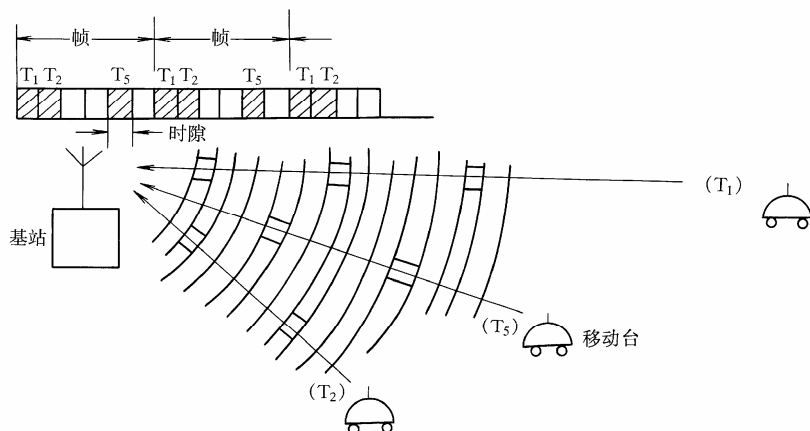


图 2.37 TDMA 系统的工作示意图

TDMA 和 FDMA 相比具有以下主要特点：

- TDMA 系统无互调干扰。
- TDMA 系统对时隙的管理与分配简单，网络的控制功能强。
- TDMA 系统需要精确的定时和同步。

**CDMA**：既不分频段也不分时隙，而是用各不相同的编码序列（地址码）来区分的。如果从频域或时域来观察，多个 CDMA 信号是互相重叠的。接收机用相关器可以在多个 CDMA 信号中选出其中使用预定码型的信号，而其它使用不同码型的信号不能被解调。由于信号在频域和时域上是重叠的，故存在多址干扰，并随用户数的增加而增大。即多址干扰限制了系统的容量。

码分多址蜂窝通信系统的特点：

- CDMA 数字蜂窝系统与 TDMA 数字蜂窝系统相比具有更大的通信容量。
- CDMA 蜂窝通信系统具有“软容量”特性，或者说“软过载”特性。即可以稍微降低系统的误码性能，以适当增多系统的用户数目，即短时间内提供稍多的可用信道数。
- CDMA 蜂窝系统具有“软切换”功能。即在过区切换的起始阶段，由原小区的基站与新小区的基站同时为过区的移动台服务，直到该移动台与新基站之间建立起可靠的通信链路后，原基站才终止它和该移动台的联系。
- CDMA 蜂窝系统可以采用语音激活技术（VOX）来提高系统的通信容量。
- CDMA 蜂窝系统以扩频技术为基础，因而它具有扩频通信系统所固有的优点，如抗

干扰、抗多径衰落和具有保密性等。

② 系统容量

一般说，在有限的频段中，信道数目越多，系统的通信容量也越大。对于蜂窝通信网络而言，通信容量常用每个小区的可用信道数进行衡量。每小区的可用信道数越大，系统的通信容量也越大。

不同的多址方式，其系统容量不同，FDMA、TDMA、CDMA 在一定的条件下（频段总宽度、频道间隔相同），其蜂窝通信系统的通信容量比较如下：

|                      |                                                |
|----------------------|------------------------------------------------|
| 模拟 FDMA 系统<br>(AMPS) | 频段总宽度 1.25MHz                                  |
|                      | 频道间隔 30kHz                                     |
|                      | 信道数目 $1.25\text{MHz}/30\text{kHz}=41.7$        |
|                      | 每区群小区数 7                                       |
| TDMA 系统              | 通信容量 $41.7/7=6(\text{信道/小区})$                  |
|                      | 频段总宽度 1.25MHz                                  |
|                      | 频道间隔 30kHz                                     |
|                      | 每载频时隙数 3                                       |
| CDMA 系统              | 信道数目 $3\times 1.25\text{MHz}/30\text{kHz}=125$ |
|                      | 每区群小区数 4                                       |
|                      | 通信容量 $125/4=31.25(\text{信道/小区})$               |
|                      | 总频段宽度 1.25MHz                                  |
|                      | 基本容量 13(信道/小区)                                 |
|                      | 激活因子 3                                         |
|                      | 扇形分区数 3                                        |
|                      | 通信容量 $13\times 3\times 3=120(\text{信道/小区})$    |

以 M 表示通信容量，三种体制的比较结果如下

$$M_{\text{CDMA}} = 4M_{\text{TDMA}} = 20M_{\text{FDMA}}$$

(2) TDMA 数字蜂窝移动通信系统

数字蜂窝移动通信网络属于第二代移动通信系统，与模拟移动通信系统相比，其提供的业务除话音外，还可提供窄带的数据业务。在网络组成、设备配置、网络功能和工作方式上有相同之处；但由于采用了数字方式，在实现技术等方面有较大的不同。下面概括介绍 GSM 系统的基本组成和基本技术。

第二代移动通信系统中首先出现的是 GSM 数字蜂窝系统。GSM 系统可与 ISDN 互连，开展窄带业务。GSM 标准对该系统的结构、信令和接口等方面有详细的描述。

① GSM 系统的系统构成和网络结构

GSM 数字蜂窝通信系统主要由移动台 (MS)、基站子系统 (BSS) 和网络子系统 (NSS) 构成，如图 2.38 所示。

基站子系统由无线基站(BTS)和基站控制器(BSC)组成；网络子系统由移动交换中心(MSC)、操作维护中心(OMC)以及原籍位置寄存器(HLR)、访问位置寄存器(VLR)等组成。移动台由用户识别卡与用户模块 (SIM) 接口设备和移动通信处理设备构成。各部分的具体构成及作用如下：

- 无线基站(BTS)包括发射机、接收机、天线、连接基站控制器的接口电路以及无线基



站本身所需要的检测和控制装置等。作用是收发信号，及提供与 BSC 的连接。

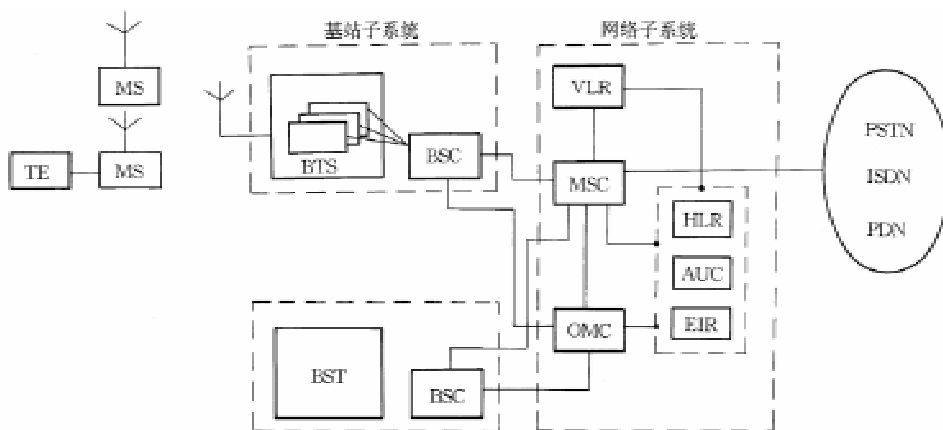


图 2.38 GSM 系统网络结构

- 基站控制器(BSC)处于无线基站和移动交换中心之间。一个基站控制器通常控制几个无线基站，主要功能是进行无线信道管理、实施呼叫和通信链路的建立和拆除，并为本控制区内移动台的过区切换进行控制等。

- 移动交换中心(MSC)是蜂窝通信网络的核心，主要由移动交换机构成，功能是对位于本 MSC 控制区域内的移动用户进行通信控制和管理。包括信道的管理和分配、呼叫的处理和控制、过区切换和漫游的控制、用户位置信息的登记与管理、用户号码的登记和管理、对用户实施鉴权、连接其他 MSC 和连接 PSTN、ISDN、PDN 的接口。

- 操作和维护中心(OMC)由硬件和软件构成。任务是对全网进行监控和操作，如系统的自检、报警、故障诊断与处理、话务量的统计、计费以及各种资料的收集、分析与显示等。

- 移动台(MS)即手机或车载台，也可以配有终端设备(TE)或终端适配器(TA)。是用户终端设备，提供话音和数据业务。

还有其他设备，在此不一一介绍。以上概括地介绍了数字蜂窝系统中各个部分的主要功能。在实际的通信网络中，根据网络规模的不同、运营环境的不同和设备生产厂家的不同，设备有不同的组合方式，但必须严格地符合 CCITT 规定的接口标准。GSM 系统遵循 CCITT 建议的公用陆地移动通信网(PLMN)接口标准，采用 7 号信令支持数据传输。有关接口标准的详细规定可见有关 GSM 标准。

GSM 系统网络结构和模拟蜂窝系统一样，一个服务区由若干个区群构成，每个区群包括若干的小区，小区互相衔接，呈蜂窝状。各小区均分配一组频道，频道组的选择采用无三阶互调频道组，相邻小区不使用相同的频道，但相邻区群允许频道再次使用。

## ② 多址方式与业务类型

### · 多址方式

GSM 系统采用时分多址、频分多址和频分双工(TDMA/FDMA/FDD)制式。有时简称 TDMA 方式。

在整个 25MHz 的频段中共分为 125 个频道，频道间隔 200kHz。每载波含 8 个(或 16 个)时隙，共有物理信道  $125 \times 8 = 1000$  个。其中时隙宽为 0.577ms。8 个时隙构成一个 TDMA 帧，帧长为 4.615ms。一对双工载波各用一个时隙构成一个双向物理信道，采用按需分配方式分

配给用户使用。移动台以猝发方式在特定的频率上和特定的时隙内，向基站传输信息，基站在相应的频率上和相应的时隙内，以时分复用的方式向各个移动台传输信息。

分配给各小区的频道中，其中有一个控制信道(CCH)，用于基站广播控制信息和移动台发送入网申请，其余频道为业务信道(TCH)，用于各类业务信息的传输。移动台在指配的频道和时隙中发送和接收与自己有关的信息，还可以在其它时隙接收周围基站发送的广播信息，用来了解网络的运行状态和周围基站的信号强度，以判断是否需要进行过境切换和向哪一个基站进行过境切换。

为了提高通信系统的抗干扰能力和减少多径衰落对传输的影响，GSM 系统还可以采用跳频技术。

#### · 业务种类

GSM 系统中，业务分为语音业务和数据业务。

**语音业务：**语音编码采用“规则脉冲激励长期预测编码 RPE-LTP”，其中，语音比特占 13kbit/s，差错保护比特占 9.8kbit/s，二者总共为 22.8kbit/s。纠错方式是在 20ms 的语音编码帧中，对差错敏感的(这类比特发生错误将明显影响语音质量)的比特进行码率为 1/2 和约束长度为 5 的卷积编码，对差错不敏感的比特不进行纠错编码。语音编码原理如图 2.39 所示。

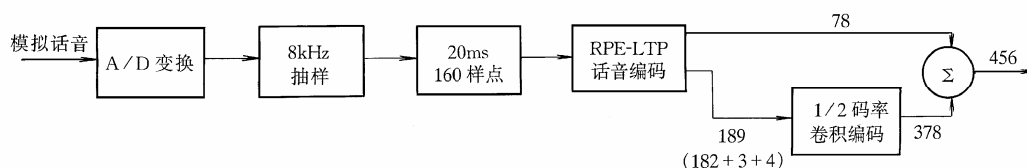


图 2.39 语音编码示意图

为了抗突发性错误，编码的语音比特在传输前还要进行交织。

**数据业务：**可提供 2.4, 4.8 和 9.6kbit/s 的透明数据业务。还可提供 12kbit/s 的非透明数据业务。

#### ③ 信道分类

GSM 数字蜂窝移动通信系统根据要传输信息类型的不同，分为业务信道(TCH)和控制信道(CCH)。

**业务信道(TCH)：**传输语音和数据。

**控制信道(CCH)：**传输各种信令信息。控制信道(CCH)又分为广播信道(BCH)、公共控制信道(CCH)和专用控制信道(DCCH)。

#### ④ 帧结构

GSM 的帧结构分为时隙、帧、复帧、超帧和超高帧。

8 个时隙构成一帧，帧长 4.615ms；由 26 帧组成一个业务复帧或由 51 帧组成一个控制复帧，两种复帧的帧长分别为 120ms 和 235.4ms；由 51 个业务复帧或 26 个控制复帧均可组成一个超帧，超帧长  $51 \times 26 \times 4.615 = 6.12s$ ；由 2048 个超帧组成一个超高帧，超高帧包括  $26 \times 51 \times 2048 = 2715648$  个帧，长 3h28min53.76s。帧结构如图 2.40 所示。

#### ⑤ GSM 系统的设备参数

**工作频段：**      移动台发送频段(上行)    890~915MHz,  
                             基站发送频段(下行)        935~960MHz,

- 收发双工频率间隔45MHz。
- 调制方式：采用高斯滤波的最小频移键控(GMSK)。
- 发射功率：基站：每载波 500W，每时隙平均  $500/8=62.5W$ ，  
移动台：每载波(峰值)为 2.5, 8 和 20W。
- 小区半径：农村：最大半径 35km。  
城市：最小半径 500m。

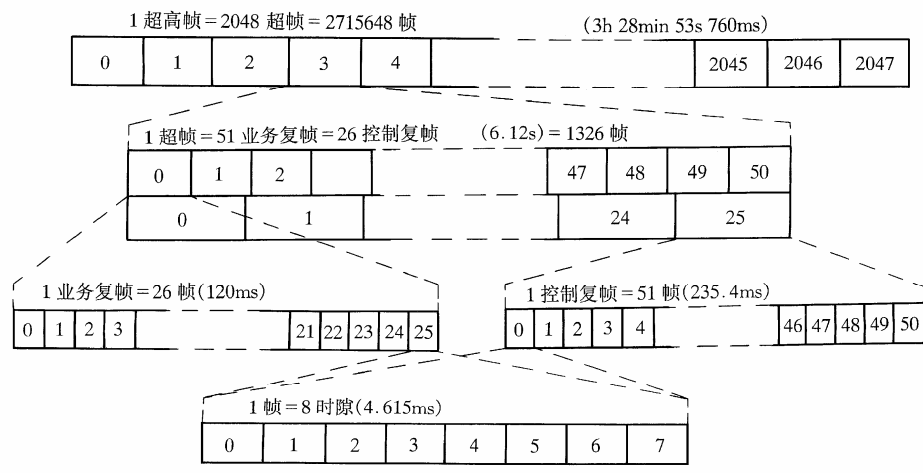


图 2.40 GSM 系统帧结构示意图

⑥ 系统的控制与管理

用户呼叫的建立，通信的完成，即呼叫处理过程以及移动用户越区切换都是在系统的控制与管理下进行的。这些操作涉及到网络的许多功能，这里只概要地介绍几种主要的控制和管理功能，如位置信息登记、呼叫接续和过区切换。

· 位置登记

移动用户的位置登记是通信网络为跟踪移动用户的位置变化，而对其位置信息进行登记、删除和更新的处理过程。

GSM 网络将整个服务区划分为许多位置区，并进行标记。当移动用户第一次进入网络时，它必须通过 MSC 在该地区登记注册，把有关参数（如用户的识别码、移动台的编号等）全都存放于 MSC 的（HLR）位置寄存器中，所在地区即为此移动台的原籍。当移动台不断运动时，其位置信息也不断变化，该变化信息存放于 MSC 的（VLR）位置寄存器中。移动台远离“原籍”进入其他地区访问，该地区的 VLR 对来访用户进行位置登记，并向移动台的 HLR 查询有关参数，目的是为其他移动台呼叫此移动台提供路由信息。一旦移动台离开所访问的地区，该地区 VLR 中有关此移动台的信息即被删除。

· 呼叫接续

以移动用户呼叫固定用户为例说明呼叫的接续过程，如图 2.41 所示。

移动台(MS)在“随机接入信道”上，向基站(BS)发出“信道请求”信息，若 BS 接收成功，就给这个 MS 分配一个“专用控制信道”(DCCH)，在“准许接入信道”上，向 MS 发送“立即指配”信令。MS 在发起呼叫的同时，设置一定时器，在规定的时间内可重复呼叫，如果按预定的次数重复呼叫，仍收不到应答，则放弃这次呼叫。

MS 收到“立即指配”信令后，利用“专用控制信道”(DCCH)和 BS 建立起主信令链路，经 BS 向 MSC 发送“业务请求”信息。MSC 向有关的访问位置寄存器(VLR)发送“开始接入请求”信令。VLR 收到后，经过 MSC 和 BC 向 MS 发出“鉴权请求”，其中包含一随机数，MS 按规定算法对此随机数进行处理后，向 MSC 发回“鉴权”响应信息。若“鉴权”通过，承认此 MS 的合法性，VLR 就经 MSC 向 MS 发送“置密模式”指令。MS 收到后，要向 MSC 发送“置密模式完成”的响应信息。同时 VLR 要向 MSC 发送“开始接入请求”的应答信息，如有必要，VLR 还给 MS 传送预定的“临时移动用户识别码”。

接着，MS 向 MSC 发送“建立呼叫请求”。MSC 收到后，向 VLR 发出指令，要求它传送建立呼叫所需的信息。如果成功，MSC 即向 MS 发送“呼叫开始”的信令，并向 BS 发出分配无线业务信道的“信道指配”指令。

如果 BS 找到可用的业务信道(TCH)，即向 MS 发出“信道指配”指令，当 MS 得到信道时，向 BS 和 MSC 发送“信道指配完成”的信息。

MSC 在无线链路和地面有线链路建立后，把呼叫接续到固定网络，并和被呼叫的固定用户建立连接，然后给 MS 发送回铃音。被呼用户摘机，转入通信状态，完成整个接续过程。

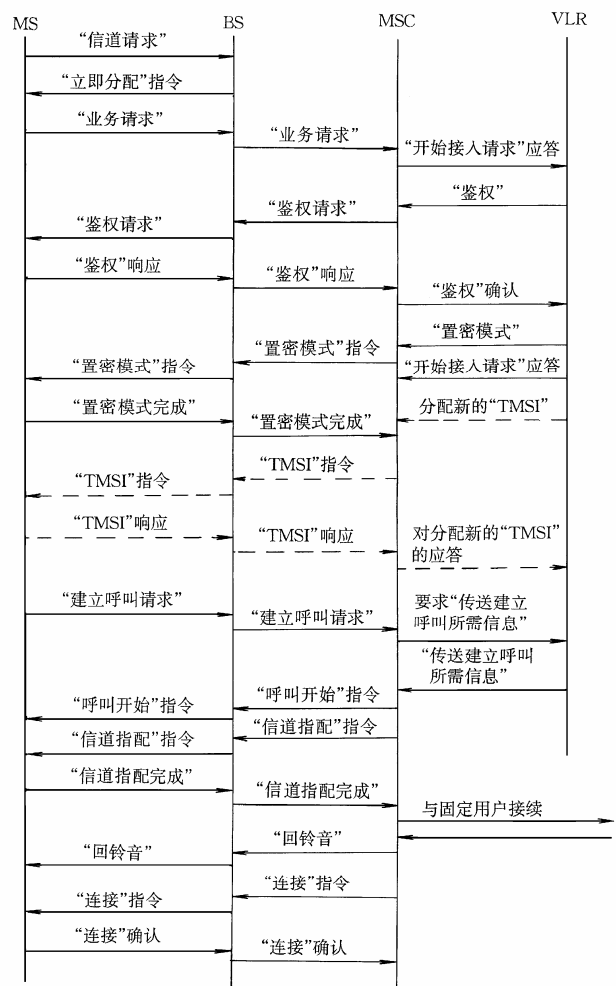


图 2.41 移动用户呼叫固定用户接续过程

### (3) CDMA 数字蜂窝移动通信系统

CDMA 蜂窝通信系统有两种：一种是 Qualcomm 公司的带宽为 1.25MHz 的窄带码分多址(N-CDMA)；另一种是 Interdigital 公司的带宽为 40MHz 的宽带码分多址(B-CDMA)。下面主要介绍 N-CDMA 系统，称之为 CDMA 蜂窝通信系统。

#### ① 系统构成与模式

CDMA 移动通信系统的基本组成与 TDMA 蜂窝移动通信系统相似，均包括移动台、基站、移动交换中心、操作和维护中心以及各种类型的数据库等。CDMA 系统和 TDMA 系统的重要差异在于无线信道的构成，以及与之有关的无线接口和无线设备，当然也包括不同系统独有的特殊控制功能。下面主要介绍 CDMA 系统的传输方式与几种特定的控制功能。

美国 IS-95 标准的 CDMA 数字系统和模拟调频系统的兼容，称为双模式系统。该系统的移动台既能以模拟调频方式工作，又能以扩频码分方式工作。或者说，任意双模式移动台在任何一种蜂窝系统中，均能向其它用户发起呼叫和接收其呼叫，而任意一种蜂窝系统也均能向任意双模式移动台发起呼叫和接收其呼叫。

在双模式数字蜂窝系统的标准中，无论无线设备的参数或者通信处理的程序都必须兼顾现有的模拟蜂窝系统，要保证模拟调频系统和码分数字系统之间能进行模拟信息和数字信息的传输与交换。

#### ② CDMA 蜂窝系统的传输方式

CDMA 信道综合使用频分和码分多址技术。所谓频分是把可供使用的频段分成若干个宽为 1.25MHz 的频道，它是传输扩频调制信号所需的最小带宽。所谓码分是用正交沃尔什函数来区分不同用途的信道，并用一对伪码来区分不同基站发出的信号。

在 CDMA 蜂窝系统中，除去要传输业务信息外，还必须传输各种必需的控制信息。为此，CDMA 蜂窝系统在基站到移动台的传输方向上，设置了导频信道、同步信道、寻呼信道和正向业务信道；在移动台到基站的传输方向上，设置了接入信道和反向业务信道。信道示意图如图 2.42 所示。

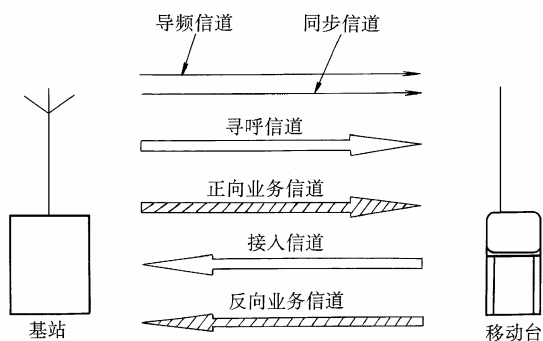


图 2.42 CDMA 系统信道示意图

正向传输逻辑信道含有 1 个导频信道、1 个同步信道、7 个寻呼信道和 55 个业务信道。

- 导频信道。由基站连续地发送导频信号。导频信号是一种无调制的直接序列扩频信号，移动台可迅速而精确地捕获信道的定时信息，并提取相干载波进行信号的解调。移动台通过对不同基站的导频信号进行检测和比较，可以决定什么时候需要进行过境切换。

- 同步信道。主要传输同步信息。在同步期间，移动台利用此同步信息进行同步调整。

一旦同步完成,它就不再使用同步信道,但当设备关机后重新开机时,还需要重新进行同步。此同步信道在业务繁忙时也可临时改作业务信道使用。

- 寻呼信道。在呼叫接续阶段传输寻呼移动台的信息。移动台通常在建立同步后,接着就选择一个寻呼信道(也可以由基站指定)来监听系统发出的寻呼信息和其它指令。在需要时,寻呼信道可以改作业务信道使用,直至全部用完。

- 正向业务信道。共有 4 种传输速率(9600、4800、2400、1200bit/s)。业务速率可以逐帧(20ms)改变,以动态地适应通信者的话音特征。比如,发音时,传输速率提高;停顿时,传输速率降低。这样做,有利于减少 CDMA 系统的多址干扰,以提高系统容量。在业务信道中,还要插入其它的控制信息,如链路功率控制和过区切换指令等。

- 接入信道。当移动台没有使用业务信道时,提供移动台到基站的传输通路,在其中发起呼叫、对寻呼进行响应以及登记注册等短信息。接入信道和正向传输中的寻呼信道相对应,以相互传送指令、应答和其它有关的信息。不过,接入信道是一种分时隙的随机接入信道,允许多个用户同时企图占用同一接入信道。每个寻呼信道所支撑的接入信道数最多可达 32 个。

- 反向业务信道。与正向业务信道相对应。

### ③ CDMA 蜂窝系统的控制功能

CDMA 蜂窝系统的控制和管理功能与其它蜂窝系统相比大部分相似,也有其特殊之处。下面介绍其中的部分控制功能,有登记注册、过区切换和呼叫处理。

#### · 登记注册

登记注册是移动台向基站报告其位置状态、身份标志和其它特征的过程。通过注册,基站可以知道移动台的位置、等级和通信能力,确定移动台在寻呼信道的哪个时隙中监听,并能有效地向移动台发起呼叫等。显然,注册是 CDMA 蜂窝通信系统在控制和操作中不可少的功能。

CDMA 系统支持的注册有开电源注册、断电源注册、周期性注册、参数改变注册、受命注册、默认注册、业务信道注册。前 5 种形式的注册,作为一组,称为自主注册,与移动台的漫游状态有关。

#### · 切换

基站和移动台支持三种切换方式:软切换(移动台开始与新的基站通信但不立即中断它和原来基站通信的一种切换方式)、CDMA 到 CDMA 的硬切换(各基站使用不同的参数设置时基站引导移动台进行的一种切换方式)、CDMA 到模拟系统的切换。

#### · 呼叫处理

分为移动台呼叫处理和基站呼叫处理。

移动台呼叫处理包括移动台的登记、注册、呼叫、通信和切换等功能。

基站呼叫处理有导频和同步信道处理、寻呼信道处理、接入信道处理、业务信道处理等。

# 第三章 电话通信网的规划设计

作为社会发展基础设施之一的通信网的规划建设，应该是立足于现有基础，考虑未来社会发展及技术的进步，紧跟世界发展的水平。本章以电话通信网为主，从电话网设计基础、路由规划、传输质量、编号计划、计费系统和通信网管理等几个方面进行了讨论。另外，对 Internet 拨号接入对电话通信网的影响，以及减小其影响的措施也作了扼要的叙述。

信令方式、接口变换及配合在下一章讲述。

## 3.1

通信网的规模及其相关设备的选用是保证通信质量和获得经济效益的物质保证，通信网或某一方向设备选用及其数量的计算的依据是：

(1) 通信业务发展预测。社会需求调查及业务发展预测，是通信网络规划设计的基础。要用到业务预测的基本方法。

(2) 用户需要传递的信息量（话务量、报务量等）或称通信设备的负荷量。但计算相关设备数量是根据最忙小时的负荷量  $y$  来进行的， $y$  的计量单位是小时呼。要用到负荷量的计算。

(3) 服务于用户的等级和方式。受理用户呼叫的等待时间  $\tau$  是多长？损失标准  $E$ （或  $P$ ）是多少？向用户服务是按次执行委托还是昼夜提供设备专用。要用到排队系统。

(4) 通信网设备制式和结构。服务于用户的设备是全利用度还是部分利用度的？接续是自动的还是人工的。要用到呼损系统。

(5) 忙时呼叫处理能力（BHCA）。在工程设计中除考虑选择交换机的容量和话务量总负荷之外，还必须要求设备满足实际需求 BHCA 的要求，这是一个评价系统的设计水平和服务能力的一个重要指标。

### 3.1.1 电话业务发展预测

所谓预测就是进行现代管理的数学的和统计的方法，对事物未来的可能出现的趋势和可能达到的水平作科学的判断。社会需求调查及业务发展预测是网络规划设计的基础。在进行电信网的规划设计时首先要根据近、中、远期的规划规模、适应范围和发展水平等进行调查和预测，为规划设计提供必要的依据。

预测的方法很多，邮电系统常用的几种预测方法有：经验判断法（包括综合判断法，专

业人员分析法和专家会议法等)、数学模型推算法(包括时间外推法和相关回归法等)、调查统计预测法和模拟比照法(分为类似地区相同的比照、类似产品范围的比照和相似数学模式的比照等)。下面分别讨论调查统计预测法和相似数学模式比照法。

### 1. 调查统计预测法

社会实际调查是预测常用的方法之一,尤其是近期预测,其预测结果更接近实际,例如,对电话需要量增长预测,可向用户直接调查,询问他们三年或五年内需要增加多少电话,然后算出  $T$  年内需要增加多少电话,那么年平均增长速度就可表示为:

$$\omega = \sqrt[T]{\frac{N_0 + N_T}{N_0}} - 1 \quad (3.1)$$

式中:  $\omega$  为年平均增长率;

$T$  为预测的年限;

$N_0$  为现在需要量(或某种产品现销售量);

$N_T$  为  $T$  年内需要增加量。

式(3.1)也可以写成如下的形式:

$$N_{\text{预}T} = N_0(1 + \omega)^T \quad (3.2)$$

由式(3.2)可求出所需预测年度  $T$  的预测装机数  $N_{\text{预}T}$  ( $=N_0+N_T$ )

例如:某市对电话需要量进行预测,对各种用户进行调查,调查了电话 1159 台。这些用户反映 1995 年~2000 年期间共增加电话 625 台,现装 8433 台,预测五年后电话需要多少?

依题意:  $T = 5$  年,  $N_0 = 1159$ ,  $N_T = 625$ , 求  $\omega = ?$

$$\omega = \sqrt[5]{\frac{1159 + 625}{1159}} - 1 = \sqrt[5]{1.539} = 0.090$$

如果  $\omega = 0.09$ , 则 2005 年需要电话数:

$$N_{\text{预}5} = N_{\text{现}}(1 + \omega)^T = 8433(1 + 0.09)^5 = 12975 \text{ 台(净增 4542 台)}$$

### 2. 相似数学模式比照法

在电信技术预测中,有的预测对象无历史数据可查时,可用模拟比照的方法来推算预测值,比照的基础是以相同的发展模式为依据。

世界各国邮电事业发展的情况虽然不同,但电话数量(每百人的电话普及率)与国民经济总产值之间的关系是相似的,如果两个国家的国民经济总产值相近,那么电话机数目也应相差不多,其增长的数学模式是相似的。国际电联 CCITT 对七十个国家和地区进行了调查研究,了解电话普及率和国民经济总产值(或人均收入)的相关性的数学模式是:

$$\text{Lg} Q_t = -3.353 + 1.303 \text{Lg} X_t \quad (3.3)$$

$Q_t$  为电话普及率(部/百人);

$X_t$  为人均国民生产总值或人均收入(美元/年)。

我们可用同样的数学模式来预测,采用式(3.3)中相同增长率 1.303,再根据我国某年的数据代入,求出相应的模式为:

$$\text{Lg} Q_t = -a + 1.303 \text{Lg} X_t \quad (3.4)$$

我国 1979 年的电话普及率为每百人 0.51 部,人均国民生产总值  $X_t = 250$  美元,代入式(3.4)算得  $a = 3.4183$ ,到 2000 年,  $X_t = 1000$  美元,电话普及率:



$$\text{Lg}Q_t = -3.4183 + 1.303 \text{Lg}(1000) = 0.4907$$

$$Q_t = \text{Lg}^{-1}(0.4907) = 3.095 \text{ 部/百人}$$

如果到 2000 年我国人口数为 11.5 亿人。则电话需要总数 (约 3600 万部) ;

$$N = 3.095/100 \times 11.5 \times 10^8 = 3559.3 \text{ 万部}$$

### 3.1.2 话务量

#### 1. 话务量的概念

话务量定义为：在一个平均占用时长内话源发生的平均呼叫数（数学期望）。话务量反应电话用户在电话通信使用上的数量要求,它是由用户进行呼叫并且占用交换设备而形成的。话务量受三种因素的影响：一是考察话务量的时间范围  $T$ ，二是在时间  $T$  内由电话源  $i$  发出的呼叫数  $n_i$ ，三是由话源  $i$  发出的呼叫平均占用时长  $S_i$ 。

在时间  $T$  内由  $N$  个话源流入交换系统的话务量  $A_T$  为

$$A_T = \sum_{i=1}^N n_i s_i \quad (3.5)$$

话务量的计算单位用“小时呼”或“分呼”。

单位时间内流入的话务流量（或话务强度） $A$ ，习惯上，我们把话务流量叫话务量

$$A = \frac{A_T}{T} = \sum_{i=1}^N n_i s_i / T \quad (3.6)$$

如果  $N$  个话源在时间  $T$  内发出的呼叫次数都是  $n$ ，各次呼叫的平均占用时间都是  $S$ ，则

$$A = \left(\frac{n}{T}\right) SN = \lambda SN \quad (3.7)$$

话务量的计量单位用爱尔兰 Erl 表示，简称为“e”或“E”。一个爱尔兰的话务量表示一小时内有两个 30 分钟占用时长的呼叫，或者有 6 个 10 分钟占用时长的呼叫。

北美各国常用每小时百秒 (CCS) 的单位来计量话务流量，与 Erl 的转换关系为：

$$1 \text{ Erl} = 36 \text{ CCS}$$

#### 2. 话务量的特性

对一个电话局来说，在一天之内所承受的话务量是变化的。一般在夜间多数人已经休息，话务量可达到最低值；而在白天，话务量显著增大。而在一天之内的某段时间里话务量达到最高峰。我们把一天之内达到的最大话务量的小时叫作“最繁忙小时”，简称“忙时”。图 3.1 为某电话局在一天之内所观察到的话务量变化。

最繁忙小时的平均话务量叫作“忙时话务量”。它是交换机话路设备计算的依据。

CCITT 建议 Q.80 把一年最忙的 30 天内的忙时话务量平均值定义为平均忙时话务量，把一年最忙的 5 天内的忙时话务量的平均值作为异常忙时话务量。

#### 3. 话务量的统计与计算

话务量是由电话用户呼叫并占用交换设备形成的。但是，每一个呼叫的过程并不完全相同，例如，有些呼叫以完成通话而结束，有些呼叫则因种种原因不能达到通信目的而中途中断，归纳起来可以有以下几种基本情况：

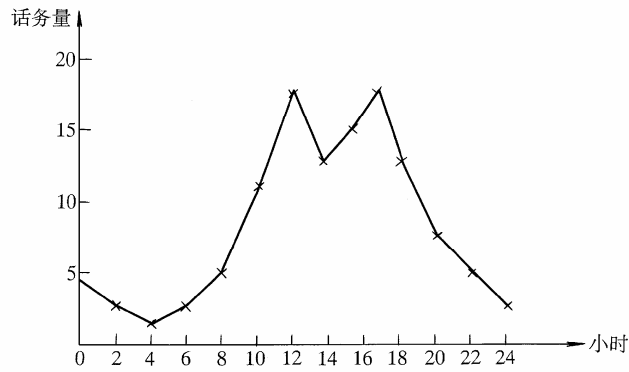


图 3.1 某电话局一天之内话务量变化曲线

- (1) 主、被叫用户接通，实现通话；
- (2) 被叫用户忙，不能通话；
- (3) 被叫用户久不答应，不能通话；
- (4) 由于某种原因（如记错号码）主叫不再继续呼叫，通常称作中途挂机；
- (5) 由于某一部分机忙，呼叫不能实现，不能与被叫用户接通。

在以上五种情况中只有第一种情况完成了通话，其余四种情况都是不成功的，而其中第五种情况是由于设备量的不足而产生的话务量损失，其损失话务量要由相应的指标规定即呼损率来确定，它代表电话局的服务质量。

上述五种情况，不管通话成功与否都要占用交换局的交换设备，也就是说，这五种情况都形成了交换局交换设备的话务量。电话交换工程设计的基本数据是每个电话用户的平均话务量。要计算出每个用户的平均话务量就必须把上述五种情况都考虑进去，因五种情况所占比重各不相同，每种情况所占用的时长也不相同，所以应该分别计算其话务量，即把每一种情况的话务量都按式 (3.5) 计算出来加在一起就可得到每个用户的平均话务量。对已有网络的话务量的统计方法是通过一定长时间对话务流量的统计记录，并采用统计平均计算的方法计算出每个用户的平均话务量。在进行交换网络规划设计时要根据原有网络中用户平均话务量的统计结果，再根据发展趋势进行一定的预测得到规划设计中应取的平均话务量数值。

电话网中的话务量、电报网中的报务量等，都是通信网设备负荷量形成的不同业务种类。为进一步建立设备负荷量（话务量）的概念，为便于理解对其作三种解释：

- (1) 设备占用时间的总和。即设备的负荷量在数量上等于单位小时内这群设备（或中继线）中各种占用时间的总和（多少小时呼）。
- (2) 平均占用时间内的平均占用次数。即以小时呼为单位的设备负荷量，在数值上等于这群设备在一个平均占用时间内，发生的平均占用次数（多少次数）。
- (3) 设备同时被占用的数学期望值。即一群设备的负荷量，在数量上等于该群设备同时占用的平均数。也就是设备同时占用概率的期望值（多少占用）。

负荷量的第 (1) 种解释是人们直接所理解的，第 (2) 种解释是在建立、推导公式时解释许多理论问题所需要的，第 (3) 种解释除在推导公式时要用外，还可用来组织设备负荷量调查和计算负荷量。

## 3.1.3 标准话务量计算——呼损公式

在实际工程应用中，我们往往需要在已知话务量和呼损的情况下计算公用设备（中继线数，交换网络出线数等）数量，或者在已知设备数量和呼损标准情况下来计算某一线群能够承担的话务量，通常使用呼损公式来计算这类问题。各国使用的呼损公式类型很多，各有不同的假设条件，有的公式也很复杂。在介绍该公式之前，先将有关呼损、线群等概念作简单说明。

## 1. 呼损

用户发起呼叫时，若系统中流入的话务有一部分完成接续，而另一部分由于机键忙或出线忙遇到阻塞而不能完成通话，构成损失话务，简称为呼损。呼损用户听到忙音后挂机，等一段时间再呼叫，作为一次新的呼叫对待。我们把这种系统称为呼损系统，也叫做明显损失制交换系统。

呼损率就是损失呼叫和总呼叫次数的比值，简称为呼损。呼损有两种计算方法，一种是按呼叫计算的呼损，另一种是按时间计算的呼损。

按呼叫计算的呼损表示当用户发生呼叫时，交换网络的所有出线全部被占用所遭受损失的概率。它用呼叫损失次数占总呼叫次数的比重来计算，即

$$B = \frac{C_n}{C_0} = \frac{C_0 - C_s}{C_0} \quad (3.8)$$

式中  $B$ ——呼损概率；  
 $C_0$ ——总呼叫次数；  
 $C_n$ ——遭受损失的呼叫次数；  
 $C_s$ ——完成通话的呼叫次数。

这里要特别注意，日常维护管理办法中常用接通率表示电话服务质量，它实际是  $\frac{C_s}{C_0} \times 100\%$ ，而未完成呼叫次数所形成的未接通率却和上述呼损定义有明显区别。未接通呼叫原因包括被叫忙、久叫不应答、用户操作不当、机线障碍和出线阻塞等因素，而呼损只表示交换网络出线阻塞的概率，两者是不能混用的。

按呼叫计算的呼损在计算公式上也可用话务量来表示，即将公式中各呼叫值乘以平均占用时间，得出下式：

$$B = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \quad (3.9)$$

式中  $A_0$ ——送入交换网络各入线上的话务量；  
 $A_s$ ——交换网络出线上承担的话务量，简称为完成话务量；  
 $A_0 - A_s$ ——由于交换网络阻塞损失的话务量。

上式可改写成：

$$A_s = A_0 (1 - B) = A_0 - A_0 B \quad (3.10)$$

上式表明完成话务量等于入线话务量减去损失话务量。

按时间计算的呼损交换网络在一段时间间隔内阻塞的概率，等于交换网络出线全部占用的时间，占总观察时间的比重，即

$$B_T = \frac{t_{\text{全忙}}}{T} \quad (3.11)$$

式中  $t_{\text{全忙}}$  是出线全部被用的时间； $T$  为观察时间。对于全利用度线群，出线全部占用的概率用  $E_n(A)$  表示，而且它就等于按时间计算的呼损，因此对于全利用度线群， $B$  可用  $E_n(A)$  代替。

## 2. 线群

交换系统一般由交换网络和控制系统两大部分组成。交换网络有时也称为组群或线群，它实际上是由许多机键（或接线器）和一些中继链路组成，有时它就是一个可将任一入线和任一出线接通的交换网络，如图 3.2 所示。在图中有  $N$  条入线和  $m$  条出线， $N$  和  $m$  的具体数量根据话务量和话源情况而决定。

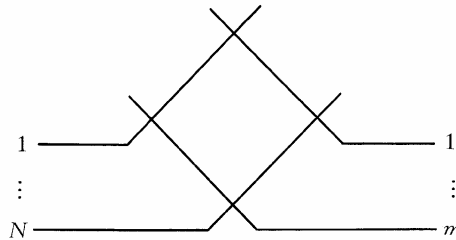


图 3.2 交换网络

### (1) 利用度

利用度就是在一组（群）的“线群”中，任一入线能够选用的出线数。能够选用的出线越多，则利用度越高。在同样条件下，高利用度可以降低呼损。图 3.2 中线群的利用度为  $N$ 。按不同结构线群可以分为全利用度线群和部分利用度线群。

所谓全利用度线群，指的是在某一组线群中，任何一条入线可以选用所有出线中的任意一条。图 3.2 就是全利用度线群。所谓部分利用度线群，指的是在某一组线群中，入线只能选用出线中的一部分。图 3.3 示出了部分利用度线群的一个例子。图中所采用的交换矩阵是  $N \times 10$ ，也就是每个交换矩阵有  $N$  条入线和 10 条出线。这可能是某一种机构，也可能是某一种芯片。要用它来组成有 15 条出线的交换网络（矩阵），于是就采用了这种办法。采用部分利用度线群以后就可以扩大出线容量，但是同时我们又看到，每一条具体入线只能选用部分出线。例如  $1 \sim N$  中任一入线只能选用 15 条出线中的  $1 \sim 10$  条； $N+1 \sim 2N$  中任一入线只能选用  $6 \sim 15$  条出线中的任一条。

### (2) 利用率

利用率就是线群的使用效率。每线的利用率就是每线所负担的话务量。负担的话务量大，表示其利用率高，反之则表示该线的利用率低。

利用率和利用度有关，也和线群容量大小有关。在同样条件下，利用度越高，利用率也高。在相同利用度时，线群容量越大，则利用率越高。在同样话务量和呼损指标下，全利用度可较部分利用度用较少的出线数，因此前者的利用率高。在程控交换机尽量避免使用部分

利用度线群。

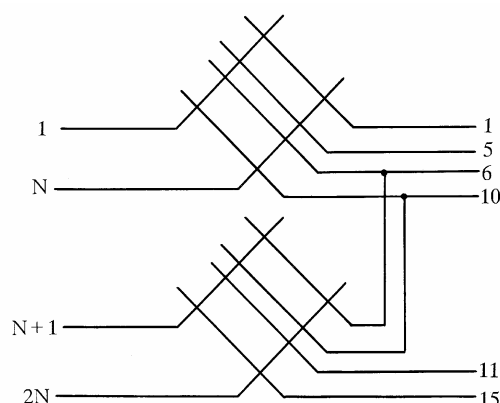


图 3.3 部分利用度线群示意图

### 3. 标准话务计算——呼损公式

引出标准话务量计算公式的目的是在已知忙时话务量情况下，根据设备设定的呼损计算中继线或电路数。这是话务工程中的主要任务。为了引出话务公式，需要先说明在用户呼叫过程中，线群中有多少出线同时占用的概率。

我们知道用户发生呼叫是随机性的，但在一组用户中却不会同时呼叫，所以出线同时被占用是一个随机变量，它的概率分布是话务量和入线数的函数，与线群结构也有密切关系，因此我们将线群中出线同时占用的概率分布称为话务分布函数，适用于全利用度线群的话务分布函数有下列四种：

(1) 贝努里分布函数（或二项式分布）。入线  $N$  和出线  $m$  均有限，且  $N < m$ ， $m$  条出线中有  $n$  个占用的概率服从贝努里分布

$$P_n = C_n^N a^n (1-a)^{N-n} \quad (3.12)$$

式中  $a$ ——一个话源的话务量，即入线被占用的概率，也是每条入线的平均话务量；

$A$ ——送入线群的话务量；

$N$ ——话源数或入线数；

$n$ ——同时占用出线数。

由于用户数  $N$  小于或等于中继线数  $m$ ，所以这种系统没有损失话务量，流入的话务流量  $A$  等于机键的完成话务流量  $A'$ 。

(2) 恩格谢特分布函数。入线  $N$  和出线  $m$  均为有限，且  $N > m$ 。如果损失话务量很小，有  $n$  个出线占用的概率服从恩格谢特分布

$$P_n = \frac{C_n^N \left(\frac{a}{1-a}\right)^n}{\sum_{i=0}^m C_i^N \left(\frac{a}{1-a}\right)^i} \quad (3.13)$$

(3) 爱尔兰分布函数。入线  $N$  无限，出线  $m$  有限， $N \gg m$ ，则有

$$P_n = \frac{A^n / n!}{\sum_{i=0}^m A^i / i!} \tag{3.14}$$

式 (3.14) 称为爱尔兰分布, 所谓  $N$  无限是指用户数足够多, 实际上入线数在 100 条以上就认为是无限了。

(4) 泊松分布函数。入线  $N$  和出线  $m$  均为无限, 则有

$$P_n = \frac{A^n}{n!} e^{-A} \tag{3.15}$$

式 (3.15) 称为泊松分布, 该分布适用于描述大话源、大线束的概率分布。

以上我们介绍了四种常用的话务分布函数, 用它们可以计算出线同时占用概率, 但如果线群中所有出线都被占用时, 以爱尔兰分布为例, 即当  $n = m$  时则上式可写成

$$B_m = \frac{\frac{A^m}{m!}}{1 + A + \frac{A^2}{2} + \dots + \frac{A^m}{m!}} = \frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A^i}{i!}} \tag{3.16}$$

这时  $P_n$  就成为  $B_m$ , 即成为爱尔兰呼损概率公式 (也称爱尔兰 B 公式), 因所有出线全部被占用时再有呼叫发生就会遭受损失。对于全利用度线群呼损概率  $B_m$ , 也可写成  $E_m(A)$ , 于是爱尔兰呼损公式可写成

$$E_m(A) = \frac{\frac{A^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A^i}{i!}} \tag{3.17}$$

这就是经常使用的话务公式, 已知话务量  $A$  和给定呼损率  $E_m(A)$  可计算出线数  $m$ , 反之在已知  $A$  和  $m$  情况下也可算出其呼损率。

用公式 (3.17) 进行呼损计算是很不方便的, 因此为了工程上的应用, 有人将上述公式进行计算以后制成表格, 叫“爱尔兰呼损公式计算表” (见表 3.1)。表中有三个变量;  $A$ 、 $m$ 、 $E = E_m(A)$ 。只要已知这三个变量中的任意二个, 就可以查出第三个变量。

表 3.1 列出了基于爱尔兰 B 公式的指定服务等级 (在忙时遇到阻塞的概率) 为 0.001~0.05 情况下的中继线数的资料。中继线数为 1~150, 话务量单位是 UC 及 TU, UC 是百秒呼, TU 是忙时的爱尔兰值。假定某系统要求的服务等级为 0.001, 能完成的话务量为 16.6Erl, 由查表可得要求的中继线为 30 条。如果在计算中继线时遇到中继线数为非整数的情况, 就取接近且大于它的整数。

表 3.1 爱尔兰呼损表

| 中继线数 | 服务等级<br>1/1000 |       | 服务等级<br>1/500 |       | 服务等级<br>1/200 |       | 服务等级<br>1/100 |      | 服务等级<br>1/50 |      | 服务等级<br>1/20 |      |
|------|----------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|------|--------------|------|--------------|------|
|      |                |       |               |       |               |       |               |      |              |      |              |      |
|      | UC             | TU    | UC            | TU    | UC            | TU    | UC            | TU   | UC           | TU   | UC           | TU   |
| 1    | 0.04           | 0.001 | 0.07          | 0.002 | 0.2           | 0.005 | 0.4           | 0.01 | 0.7          | 0.02 | 1.8          | 0.05 |
| 2    | 1.8            | 0.05  | 2.5           | 0.07  | 4             | 0.11  | 5.4           | 0.15 | 7.9          | 0.22 | 14           | 0.38 |
| 3    | 6.8            | 0.19  | 9             | 0.25  | 13            | 0.35  | 17            | 0.46 | 22           | 0.60 | 32           | 0.90 |

| 4    | 16     | 0.44  | 19    | 0.53  | 25    | 0.70  | 31    | 0.87  | 39   | 1.09  | 55   | 1.52  |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| 续表   |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 中继线数 | 服务等级   |       | 服务等级  |       | 服务等级  |       | 服务等级  |       | 服务等级 |       | 服务等级 |       |
|      | 1/1000 |       | 1/500 |       | 1/200 |       | 1/100 |       | 1/50 |       | 1/20 |       |
|      | UC     | TU    | UC    | TU    | UC    | TU    | UC    | TU    | UC   | TU    | UC   | TU    |
| 5    | 27     | 0.76  | 32    | 0.90  | 41    | 1.13  | 49    | 1.36  | 60   | 1.66  | 80   | 2.22  |
| 6    | 41     | 1.15  | 48    | 1.33  | 58    | 1.62  | 69    | 1.91  | 82   | 2.28  | 107  | 2.96  |
| 7    | 57     | 1.58  | 65    | 1.80  | 78    | 2.16  | 90    | 2.50  | 106  | 2.94  | 135  | 3.74  |
| 8    | 74     | 2.05  | 83    | 2.31  | 98    | 2.73  | 113   | 3.13  | 131  | 3.63  | 163  | 4.54  |
| 9    | 92     | 2.56  | 103   | 2.85  | 120   | 3.33  | 136   | 3.78  | 156  | 4.34  | 193  | 5.37  |
| 10   | 111    | 3.09  | 123   | 3.43  | 143   | 3.96  | 161   | 4.46  | 183  | 5.08  | 224  | 6.22  |
| 11   | 131    | 3.65  | 145   | 4.02  | 166   | 4.61  | 186   | 5.16  | 210  | 5.84  | 255  | 7.08  |
| 12   | 152    | 4.23  | 167   | 4.64  | 190   | 5.28  | 212   | 5.88  | 238  | 6.62  | 286  | 7.95  |
| 13   | 174    | 4.83  | 190   | 5.27  | 215   | 5.96  | 238   | 6.61  | 267  | 7.41  | 318  | 8.83  |
| 14   | 196    | 5.45  | 213   | 5.92  | 240   | 6.66  | 265   | 7.35  | 295  | 8.20  | 350  | 9.73  |
| 15   | 219    | 6.08  | 237   | 6.58  | 266   | 7.38  | 292   | 8.11  | 324  | 9.01  | 383  | 10.63 |
| 16   | 242    | 6.72  | 261   | 7.26  | 292   | 8.10  | 319   | 8.87  | 354  | 9.83  | 415  | 11.54 |
| 17   | 266    | 7.38  | 286   | 7.95  | 318   | 8.83  | 347   | 9.65  | 384  | 10.66 | 449  | 12.46 |
| 18   | 290    | 8.05  | 311   | 8.64  | 345   | 9.58  | 376   | 10.44 | 414  | 11.94 | 482  | 13.38 |
| 19   | 314    | 8.72  | 337   | 9.35  | 372   | 10.33 | 404   | 11.23 | 444  | 12.33 | 515  | 14.31 |
| 20   | 339    | 9.41  | 363   | 10.07 | 399   | 11.09 | 433   | 12.03 | 474  | 13.18 | 549  | 15.25 |
| 防    |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 21   | 364    | 10.11 | 388   | 10.79 | 427   | 11.86 | 462   | 12.84 | 505  | 14.04 | 583  | 16.19 |
| 22   | 389    | 10.81 | 415   | 11.53 | 455   | 12.63 | 491   | 13.65 | 536  | 14.90 | 617  | 17.13 |
| 23   | 415    | 11.52 | 442   | 12.27 | 483   | 13.42 | 521   | 14.47 | 567  | 15.76 | 651  | 18.08 |
| 24   | 441    | 12.24 | 468   | 13.01 | 511   | 14.20 | 550   | 15.29 | 599  | 16.63 | 685  | 19.03 |
| 25   | 467    | 12.97 | 495   | 13.76 | 540   | 15.00 | 580   | 16.12 | 630  | 17.50 | 720  | 19.99 |
| 防    |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 26   | 493    | 13.70 | 523   | 14.52 | 569   | 15.80 | 611   | 16.96 | 662  | 18.38 | 754  | 20.94 |
| 27   | 520    | 14.44 | 550   | 15.28 | 598   | 16.60 | 641   | 17.80 | 693  | 19.26 | 788  | 21.90 |
| 28   | 546    | 15.18 | 578   | 16.05 | 627   | 17.41 | 671   | 18.64 | 725  | 20.15 | 823  | 22.87 |
| 29   | 573    | 15.93 | 606   | 16.83 | 656   | 18.22 | 702   | 19.49 | 757  | 21.04 | 858  | 23.83 |
| 30   | 600    | 16.68 | 634   | 17.61 | 685   | 19.03 | 732   | 20.34 | 789  | 21.93 | 893  | 24.80 |
| 防    |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 31   | 628    | 17.44 | 662   | 18.39 | 715   | 19.85 | 763   | 21.19 | 822  | 22.83 | 928  | 25.77 |
| 32   | 655    | 18.20 | 690   | 19.18 | 744   | 20.68 | 794   | 22.05 | 854  | 23.73 | 963  | 26.75 |
| 33   | 683    | 18.97 | 719   | 19.97 | 774   | 21.51 | 825   | 22.91 | 887  | 24.63 | 998  | 27.72 |
| 34   | 711    | 19.74 | 747   | 20.76 | 804   | 22.34 | 856   | 23.77 | 919  | 25.53 | 1033 | 28.70 |
| 35   | 739    | 20.52 | 776   | 21.56 | 834   | 23.17 | 887   | 24.64 | 951  | 26.43 | 1068 | 29.68 |
| 防    |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 36   | 767    | 21.30 | 805   | 22.36 | 864   | 24.01 | 918   | 25.51 | 984  | 27.34 | 1104 | 30.66 |
| 37   | 795    | 22.03 | 834   | 23.17 | 895   | 24.85 | 950   | 26.38 | 1017 | 28.25 | 1139 | 31.64 |
| 38   | 823    | 22.86 | 863   | 23.97 | 925   | 25.69 | 981   | 27.25 | 1050 | 29.17 | 1175 | 32.63 |
| 39   | 851    | 23.65 | 892   | 24.78 | 955   | 26.53 | 1013  | 28.13 | 1083 | 30.08 | 1210 | 33.61 |
| 40   | 880    | 24.44 | 922   | 25.60 | 986   | 27.38 | 1044  | 29.01 | 1116 | 31.00 | 1246 | 34.60 |
| 防    |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 41   | 909    | 25.24 | 951   | 26.42 | 1016  | 28.23 | 1076  | 29.89 | 1149 | 31.92 | 1281 | 35.59 |
| 42   | 937    | 26.04 | 981   | 27.24 | 1047  | 29.08 | 1108  | 30.77 | 1182 | 32.84 | 1317 | 36.58 |
| 43   | 966    | 26.84 | 1010  | 28.06 | 1078  | 29.94 | 1140  | 31.66 | 1215 | 33.76 | 1353 | 37.57 |
| 44   | 995    | 27.64 | 1040  | 28.88 | 1109  | 30.80 | 1171  | 32.54 | 1248 | 34.68 | 1388 | 38.56 |
| 45   | 1024   | 28.45 | 1070  | 29.71 | 1140  | 31.66 | 1203  | 33.43 | 1282 | 35.61 | 1424 | 39.55 |
| 防    |        |       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |       |
| 46   | 1053   | 29.26 | 1099  | 30.54 | 1171  | 32.52 | 1236  | 34.32 | 1315 | 36.53 | 1459 | 40.54 |
| 47   | 1083   | 30.07 | 1129  | 31.37 | 1202  | 33.38 | 1268  | 35.21 | 1349 | 37.46 | 1495 | 41.54 |
| 48   | 1111   | 30.88 | 1159  | 32.20 | 1233  | 34.25 | 1300  | 36.11 | 1382 | 38.39 | 1531 | 42.54 |
| 49   | 1141   | 31.69 | 1189  | 33.04 | 1264  | 35.11 | 1332  | 37.00 | 1415 | 39.32 | 1567 | 43.54 |

| 现代信息网 |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 50    | 1170   | 32.51 | 1220  | 33.88 | 1295  | 35.98 | 1364  | 37.90 | 1449  | 40.25 | 1603  | 44.53 |
| 续表    |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 中继线数  | 服务等级   |       | 服务等级  |       | 服务等级  |       | 服务等级  |       | 服务等级  |       | 服务等级  |       |
|       | 1/1000 |       | 1/500 |       | 1/200 |       | 1/100 |       | 1/100 |       | 1/100 |       |
|       | UC     | TU    | UC    | TU    | UC    | TU    | UC    | TU    | UC    | TU    | UC    | TU    |
| 51    | 1200   | 33.33 | 1250  | 34.72 | 1327  | 36.85 | 1397  | 38.80 |       |       |       |       |
| 52    | 1229   | 34.15 | 1280  | 35.56 | 1385  | 37.72 | 1429  | 39.70 |       |       |       |       |
| 53    | 1259   | 34.98 | 1310  | 36.40 | 1390  | 38.60 | 1462  | 40.60 |       |       |       |       |
| 54    | 1289   | 35.80 | 1341  | 37.25 | 1421  | 39.47 | 1494  | 41.50 |       |       |       |       |
| 55    | 1319   | 36.63 | 1371  | 38.09 | 1453  | 40.35 | 1527  | 42.41 |       |       |       |       |
| 56    | 1349   | 37.46 | 1402  | 38.94 | 1484  | 41.23 | 1559  | 43.31 |       |       |       |       |
| 57    | 1378   | 38.29 | 1432  | 39.79 | 1516  | 42.11 | 1592  | 44.22 |       |       |       |       |
| 58    | 1408   | 39.12 | 1463  | 40.64 | 1548  | 42.99 | 1625  | 45.13 |       |       |       |       |
| 59    | 1439   | 39.96 | 1494  | 41.50 | 1579  | 43.87 | 1657  | 46.04 |       |       |       |       |
| 60    | 1468   | 40.79 | 1525  | 42.35 | 1611  | 44.76 | 1690  | 46.95 |       |       |       |       |
| 61    | 1499   | 41.63 | 1556  | 43.21 | 1643  | 45.64 | 1723  | 47.86 |       |       |       |       |
| 62    | 1529   | 42.47 | 1587  | 44.07 | 1675  | 46.53 | 1756  | 48.77 |       |       |       |       |
| 63    | 1559   | 43.31 | 1617  | 44.93 | 1707  | 47.42 | 1789  | 49.69 |       |       |       |       |
| 64    | 1590   | 44.16 | 1648  | 45.79 | 1739  | 48.31 | 1822  | 50.60 |       |       |       |       |
| 65    | 1620   | 45.00 | 1679  | 46.65 | 1771  | 49.20 | 1855  | 51.52 |       |       |       |       |
| 66    | 1650   | 45.84 | 1710  | 47.51 | 1803  | 50.09 | 1888  | 52.44 |       |       |       |       |
| 67    | 1681   | 46.69 | 1742  | 48.38 | 1835  | 50.98 | 1921  | 53.35 |       |       |       |       |
| 68    | 1711   | 47.54 | 1773  | 49.24 | 1867  | 51.87 | 1954  | 54.27 |       |       |       |       |
| 69    | 1742   | 48.39 | 1804  | 50.11 | 1900  | 52.77 | 1987  | 55.19 |       |       |       |       |
| 70    | 1773   | 49.24 | 1835  | 50.98 | 1932  | 53.66 | 2020  | 56.11 |       |       |       |       |
| 71    | 1803   | 50.09 | 1867  | 51.85 | 1964  | 54.56 | 2053  | 57.03 |       |       |       |       |
| 72    | 1834   | 50.94 | 1898  | 52.72 | 1996  | 55.45 | 2087  | 57.96 |       |       |       |       |
| 73    | 1865   | 51.80 | 1929  | 53.59 | 2029  | 56.35 | 2120  | 58.88 |       |       |       |       |
| 74    | 1895   | 52.65 | 1960  | 54.46 | 2061  | 57.25 | 2153  | 59.80 |       |       |       |       |
| 75    | 1926   | 53.51 | 1992  | 55.34 | 2093  | 58.15 | 2186  | 60.73 |       |       |       |       |
| 76    | 1957   | 54.37 | 2024  | 56.21 | 2126  | 59.05 | 2219  | 61.65 |       |       |       |       |
| 77    | 1988   | 55.23 | 2055  | 57.09 | 2159  | 59.96 | 2253  | 62.58 |       |       |       |       |
| 78    | 2019   | 56.09 | 2087  | 57.96 | 2191  | 60.86 | 2286  | 63.51 |       |       |       |       |
| 79    | 2050   | 56.95 | 2118  | 58.84 | 2223  | 61.76 | 2319  | 64.43 |       |       |       |       |
| 80    | 2081   | 57.81 | 2150  | 59.72 | 2256  | 62.67 | 2353  | 65.36 |       |       |       |       |
| 81    | 2112   | 58.67 | 2182  | 60.60 | 2289  | 63.57 | 2386  | 66.29 |       |       |       |       |
| 82    | 2143   | 59.54 | 2213  | 61.48 | 2321  | 64.48 | 2420  | 67.22 |       |       |       |       |
| 83    | 2174   | 60.40 | 2245  | 62.36 | 2354  | 65.38 | 2453  | 68.15 |       |       |       |       |
| 84    | 2206   | 61.27 | 2277  | 63.24 | 2386  | 66.29 | 2487  | 69.08 |       |       |       |       |
| 85    | 2237   | 62.14 | 2308  | 64.13 | 2419  | 67.20 | 2521  | 70.02 |       |       |       |       |
| 86    | 2268   | 63.00 | 2340  | 65.01 | 2452  | 68.11 | 2554  | 70.95 |       |       |       |       |
| 87    | 2299   | 63.87 | 2372  | 65.90 | 2485  | 69.02 | 2588  | 71.83 |       |       |       |       |
| 88    | 2330   | 64.74 | 2404  | 66.78 | 2517  | 69.93 | 2621  | 72.81 |       |       |       |       |
| 89    | 2362   | 65.61 | 2436  | 67.67 | 2550  | 70.84 | 2655  | 73.75 |       |       |       |       |
| 90    | 2393   | 66.48 | 2468  | 68.56 | 2583  | 71.76 | 2688  | 74.68 |       |       |       |       |
| 91    | 2425   | 67.36 | 2500  | 69.44 | 2616  | 72.67 | 2722  | 75.62 |       |       |       |       |
| 92    | 2456   | 68.23 | 2532  | 70.33 | 2650  | 73.58 | 2756  | 76.56 |       |       |       |       |
| 93    | 2488   | 69.10 | 2564  | 71.22 | 2682  | 74.49 | 2790  | 77.49 |       |       |       |       |



| 94   | 2519   | 69.98  | 2596  | 72.11  | 2715  | 75.41  | 2823  | 78.43  |
|------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 续表   |        |        |       |        |       |        |       |        |
| 中继线数 | 服务等级   |        | 服务等级  |        | 服务等级  |        | 服务等级  |        |
|      | 1/1000 |        | 1/500 |        | 1/200 |        | 1/100 |        |
|      | UC     | TU     | UC    | TU     | UC    | TU     | UC    | TU     |
| 95   | 2551   | 70.85  | 2628  | 73.00  | 2748  | 76.32  | 2857  | 79.37  |
| 96   | 2582   | 71.73  | 2660  | 73.90  | 2781  | 77.24  | 2891  | 80.31  |
| 97   | 2614   | 72.61  | 2692  | 74.79  | 2814  | 78.16  | 2925  | 81.24  |
| 98   | 2645   | 73.48  | 2724  | 75.68  | 2847  | 79.07  | 2958  | 82.18  |
| 99   | 2677   | 74.36  | 2757  | 76.57  | 2880  | 79.99  | 2992  | 83.12  |
| 100  | 2709   | 75.24  | 2789  | 77.47  | 2913  | 80.91  | 3026  | 84.06  |
| 101  | 2740   | 76.12  | 2821  | 78.36  | 2946  | 81.83  | 3060  | 85.00  |
| 102  | 2772   | 77.00  | 2853  | 79.26  | 2979  | 82.75  | 3094  | 85.95  |
| 103  | 2804   | 77.88  | 2886  | 80.16  | 3012  | 83.67  | 3128  | 86.89  |
| 104  | 2836   | 78.77  | 2918  | 81.05  | 3045  | 84.59  | 3162  | 87.83  |
| 105  | 2867   | 79.65  | 2950  | 81.95  | 3078  | 85.51  | 3196  | 88.77  |
| 106  | 2899   | 80.53  | 2983  | 82.85  | 3111  | 86.43  | 3230  | 89.72  |
| 107  | 2931   | 81.42  | 3015  | 83.75  | 3145  | 87.35  | 3264  | 90.66  |
| 108  | 2963   | 82.30  | 3047  | 84.65  | 3178  | 88.27  | 3298  | 91.60  |
| 109  | 2995   | 83.19  | 3080  | 85.55  | 3211  | 89.20  | 3332  | 92.55  |
| 110  | 3027   | 84.07  | 3112  | 86.45  | 3244  | 90.12  | 3366  | 93.49  |
| 111  | 3059   | 84.96  | 3145  | 87.35  | 3277  | 91.04  | 3400  | 94.44  |
| 112  | 3091   | 85.85  | 3177  | 88.25  | 3311  | 91.97  | 3434  | 95.38  |
| 113  | 3122   | 86.73  | 3209  | 89.15  | 3344  | 92.89  | 3468  | 96.33  |
| 114  | 3154   | 87.62  | 3242  | 90.06  | 3378  | 93.82  | 3502  | 97.28  |
| 115  | 3186   | 88.51  | 3275  | 90.96  | 3411  | 94.74  | 3536  | 98.22  |
| 116  | 3218   | 89.40  | 3307  | 91.86  | 3444  | 95.67  | 3570  | 99.17  |
| 117  | 3250   | 90.29  | 3340  | 92.77  | 3478  | 96.60  | 3604  | 100.12 |
| 118  | 3282   | 91.18  | 3372  | 93.67  | 3511  | 97.53  | 3639  | 101.07 |
| 119  | 3315   | 92.07  | 3405  | 94.58  | 3544  | 98.45  | 3673  | 102.02 |
| 120  | 3347   | 92.96  | 3437  | 95.48  | 3578  | 99.38  | 3707  | 102.96 |
| 121  | 3379   | 93.86  | 3470  | 96.39  | 3611  | 100.31 | 3741  | 103.91 |
| 122  | 3411   | 94.75  | 3503  | 97.30  | 3645  | 101.24 | 3775  | 104.86 |
| 123  | 3443   | 95.64  | 3535  | 98.20  | 3678  | 102.17 | 3809  | 105.81 |
| 124  | 3475   | 96.54  | 3568  | 99.11  | 3712  | 103.10 | 3843  | 106.76 |
| 125  | 3507   | 97.43  | 3601  | 100.02 | 3745  | 104.03 | 3878  | 107.71 |
| 126  | 3540   | 98.33  | 3633  | 100.93 | 3779  | 104.96 | 3912  | 108.66 |
| 127  | 3572   | 99.22  | 3666  | 101.84 | 3812  | 105.89 | 3946  | 109.62 |
| 128  | 3604   | 100.12 | 3699  | 102.75 | 3846  | 106.82 | 3981  | 110.57 |
| 129  | 3636   | 101.01 | 3732  | 103.66 | 3879  | 107.75 | 4015  | 111.52 |
| 130  | 3669   | 101.91 | 3765  | 104.57 | 3912  | 108.68 | 4049  | 112.47 |
| 131  | 3701   | 102.81 | 3797  | 105.48 | 3946  | 109.62 | 4083  | 113.42 |
| 132  | 3733   | 103.70 | 3830  | 106.39 | 3980  | 110.55 | 4118  | 114.38 |
| 133  | 3766   | 104.60 | 3863  | 107.30 | 4013  | 111.48 | 4152  | 115.33 |
| 134  | 3798   | 105.50 | 3896  | 108.22 | 4047  | 112.42 | 4186  | 116.28 |
| 135  | 3830   | 106.40 | 3929  | 109.13 | 4081  | 113.35 | 4221  | 117.24 |
| 136  | 3863   | 107.30 | 3961  | 110.04 | 4114  | 114.28 | 4255  | 118.19 |

| 137  | 3895   | 108.20 | 3994  | 110.95 | 4148  | 115.22 | 4289  | 119.14 |
|------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 续表   |        |        |       |        |       |        |       |        |
| 中继线数 | 服务等级   |        | 服务等级  |        | 服务等级  |        | 服务等级  |        |
|      | 1/1000 |        | 1/500 |        | 1/200 |        | 1/100 |        |
|      | UC     | TU     | UC    | TU     | UC    | TU     | UC    | TU     |
| 138  | 3928   | 109.10 | 4027  | 111.87 | 4181  | 116.15 | 4324  | 120.10 |
| 139  | 3960   | 110.00 | 4060  | 112.78 | 4215  | 117.09 | 4358  | 121.05 |
| 140  | 3992   | 110.90 | 4093  | 113.70 | 4249  | 118.02 | 4392  | 122.01 |
| 141  | 4025   | 111.81 | 4126  | 114.61 | 4283  | 118.96 | 4427  | 122.96 |
| 142  | 4058   | 112.71 | 4159  | 115.53 | 4316  | 119.90 | 4461  | 123.92 |
| 143  | 4090   | 113.61 | 4192  | 116.44 | 4350  | 120.83 | 4496  | 124.88 |
| 144  | 4122   | 114.51 | 4225  | 117.36 | 4384  | 121.77 | 4530  | 125.83 |
| 145  | 4155   | 115.42 | 4258  | 118.28 | 4418  | 122.71 | 4564  | 126.79 |
| 146  | 4188   | 116.32 | 4291  | 119.19 | 4451  | 123.64 | 4599  | 127.74 |
| 147  | 4220   | 117.22 | 4324  | 120.11 | 4485  | 124.58 | 4633  | 128.70 |
| 148  | 4253   | 118.13 | 4357  | 121.03 | 4519  | 125.52 | 4668  | 129.66 |
| 149  | 4285   | 119.03 | 4390  | 121.95 | 4552  | 126.46 | 4702  | 130.62 |
| 150  | 4318   | 119.94 | 4423  | 122.86 | 4586  | 127.40 | 4737  | 131.58 |

下面通过一个简单的例子来说明两个电话局间的中继线数计算方法。

图 3.4 示出了一个用户交换机和市话局间的连接。假定用户交换机接 1000 个用户，平均每用户的发话话务量为 0.1Erl，其中出局话务量占总发话量的 30%。并且假定入局话务量和出局话务量相等。要求计算出中继线和入中继线数（假设出、入中继线分开，如图 3.4(a)）。

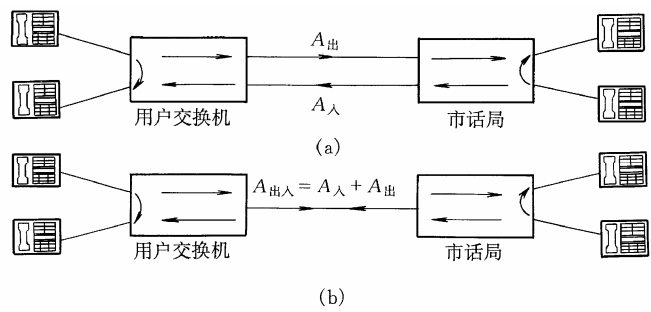


图 3.4 局间中继线计算举例

首先计算用户总的发话话务量为

$$0.1\text{Erl} \times 1000 = 100\text{Erl}$$

出局话务量为总发话话务量的 30%即

$$A_{出} = 100\text{Erl} \times 30\% = 30\text{Erl}$$

由于假定入局话务量和出局话务量相等，因此可得入局话务量为

$$A_{入} = 30\text{Erl}$$

根据原邮电部规定，用户交换机的出、入局呼损均为 0.005。查爱尔兰表可得  $m = 44$  条线。也就是说，出、入中继线各需 44 条。

如果用户交换机采用出、入合用双向中继线，如图 3.4 (b) 所示，即用一束中继线负责

传送出、入局两个方向的局间话务量，则这时的话务量为

$$A_{\text{双}} = A_{\text{出}} + A_{\text{入}} = 60\text{Erl}$$

同样取呼损为 0.005。查爱尔兰表可得  $m = 78$ 。

从以上计算可以看出，采用双向中继线时用 78 条中继线可以负担采用单向中继线时的同样话务量。而这时单向中继线需用  $44 \times 2$  条 = 88 条。说明大容量线群比小容量线群来得经济，同时也说明大容量线群的利用率高于小容量线群的利用率。对于单向中继线每线平均承载话务量（即线群利用率）为

$$\eta_{\text{单}} = 30/44 = 0.68\text{Erl/线}$$

对于双向中继线每线平均承载话务量为

$$\eta_{\text{双}} = 60/78 = 0.77\text{Erl/线}$$

4. 呼损指标

我国规定模拟市内电话网的全程呼损 ≤ 5 %。

数字电话网的全程呼损指标为：

数字长途电话网全程呼损 ≤ 0.098 ；

数字本地电话网全程呼损 ≤ 0.043；

数字市内电话网全程呼损 ≤ 0.021（经一次汇接）；

数字市内电话网全程呼损 ≤ 0.027（经二次汇接）。

数字交换机呼损的分配表 3.2。

表中参考负荷 A 是额定负荷的话务量，参考负荷 B 是高负荷时的话务量， $B=A (1+25\%)$ 。

表 3.2 数字交换机呼损分配

| 连接类型 | 参考负荷 A | 参考负荷 B |
|------|--------|--------|
| 本局呼叫 | 0.01   | 0.04   |
| 出局呼叫 | 0.005  | 0.03   |
| 入局呼叫 | 0.005  | 0.03   |
| 转接呼叫 | 0.001  | 0.01   |

3.1.4 交换机容量及话务处理能力

通信网工程设计中选用程控交换机的话务能力除了上述的话务量之外，还有一个重要指标，就是控制部件的呼叫处理能力。呼叫处理能力以忙时试呼次数——BHCA（Busy Hour Call Attempts）来衡量。这是一个评价系统的设计水平和服务能力的重要指标。

1. 忙时话务量与 BHCA 的关系

BHCA 是程控数字交换机的控制设备在忙时对用户呼叫次数的处理能力的一项指标。对整机而言，其单位为次/忙时，或称 BHCA；对每个用户而言，忙时摘机拨号就要占用处理机，包括用户拨号后接通被叫用户的次数，也包括因中继电路忙、被叫用户忙或设备故障而占线的次数，因此称为平均每户忙时试呼次数，单位为次/忙时户或 BHCA/户。

工程设计中所选择的程控交换设备的处理机的处理速度，必须满足所有用户的各种呼叫

接续，包括本局用户，也包括入局呼叫总和的试呼次数，并且要考虑一定的冗余度。若所选交换机的处理速度满足不了需求的总 BHCA 值，将直接影响该交换机系统完成忙时的话务接续。因此，工程设计中除考虑选择交换机的容量和话务量总负荷之外，还必须要求设备满足实际的 BHCA 要求。所选程控用户交换机的最大处理能力，一般应该以满足该用户交换机终局容量时的要求为依据。

目前我国很多交换局的用户平均每户忙时试呼次数，远大于有效通话次数。这主要是由于电话普及率低、被叫用户忙占比重大，电路配备不合理，故障较多等因素使得接通率低所致。无效呼叫加重了处理机的负荷，若处理机选择不当，可能造成忙时的恶性循环，形成电路阻塞，这是应该极力避免的。因此，在现阶段工程设计中必须注重对程控设备 BHCA 值能否满足需求进行细致核算。

从发展看，随着电话普及率的提高及全程全网通信装备系统配套发展和通信质量的提高，有效话务量与忙时试呼次数会逐渐接近。相应地平均每次通话时长也将增加，起到缓解处理机紧张的作用。

2. 工程设计中实际的 BHCA<sub>s</sub> 的计算

我国程控电话交换机规范书中对用户线和中继线也分别提出了参考负荷，以供工程设计中选用。按原邮电部“自动用户交换机进网要求”，近、中期我国用户交换机话务处理能力取定为

- 高负荷：0.18 ~ 0.20Erl/用户，
- 中负荷：0.16 ~ 0.18Erl/用户，
- 低负荷：0.10 ~ 0.16Erl/用户，
- 来话局间中继电路的话务量：0.6 ~ 0.7Erl/电路。

接续过程中占用处理机的次数主要由三部分话务组成。

- (1) 用户交换机内部分机之间的话务量，以  $B$  表示，如图 3.5 表示。
- (2) 分机用户的出局话务量，即出中继话务量，以  $C$  表示。
- (3) 呼叫用户交换机分机用户的入局中继话务量，以  $D$  表示。

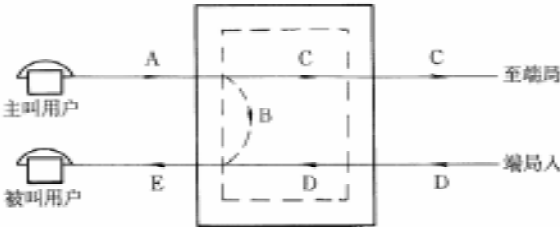


图 3.5 话务流向示意图

若总发话话务量以  $A$  表示，总受话话务量以  $E$  表示，在程控数字用户交换机机内链路呼损忽略不计的前提下，各话务之间的关系就满足下式：

$$A = B + C$$

$$E = B + D$$

而处理机所处理的总话务量是  $B$ 、 $C$ 、 $D$  三部分之和，要折算成处理机忙时处理次数 BHCA<sub>s</sub> 值，应按表 3.3 中各类业务呼叫的平均占用时长值，进行话务量与 BHCA<sub>s</sub> 之间的换算。即

$$\begin{aligned} BHCA_s &= \frac{B}{\text{平均每次本机内呼叫占线时长}} + \frac{C}{\text{平均每次出局呼叫占线时长}} + \frac{D}{\text{平均每次入局呼叫占线时长}} \quad (3.18) \\ &= \frac{B \times 3600 \text{ s}}{40 \text{ s}} + \frac{C \times 3600 \text{ s}}{60 \text{ s}} + \frac{D \times 3600 \text{ s}}{60 \text{ s}} \\ &= 90 B + 60 C + 60 D \end{aligned}$$

平均每户忙时试呼次数（BHCA'）为：

$$BHC A' = \frac{90 B + 60 C + 60 D}{\text{实装用户数}} \text{ (次)} \quad (3.19)$$

表 3.3 平均占用时长

| 呼叫业务类别        |         | 平均占线时长(s)昉 |
|---------------|---------|------------|
| 本机内用户间呼叫      |         | 40 昉       |
| 呼出至本地电话网内呼叫   |         | 60 昉       |
| 呼叫业务类别        |         | 平均占线时长(s)  |
| 呼出至<br>国内长途呼叫 | 全自动接续   | 90 昉       |
|               | 半自动接续   | 140 昉      |
|               | 人工接续    | 200 昉      |
| 呼出至<br>国际长途呼叫 | 全、半自动接续 | 180 昉      |
|               | 人工接续    | 240 昉      |
| 呼叫至本地网各特服业务台  |         | 约 30 昉     |

由于程控用户交换机的使用单位不同，业务种类不同，话务量忙闲情况相差较多。因此，应根据工程设计的单位实际情况确定忙时平均每户的试呼次数 BHCA' 值。

取定了忙时平均每户的 BHCA' 之后，再按用户单位需要的终局设备容量 A 值，可计算出该用户单位终局时实际需要的处理机 BHCA<sub>s</sub> 值，即：

$$BHCA_s = BHCA' \cdot A$$

设计中选择处理机总处理能力时，还应计入话务量超负荷 20% 时，BHCA 值为忙时额定值 BHCA<sub>s</sub> 的 1.5 倍，以及必要的冗余度 1.1 倍系数。另外，还应考虑设备内部开销 BHCA<sub>N</sub> 的富余度（1+20%）。

考虑上述各种因素，所选择处理机的总处理次数 BHCA<sub>Z</sub>' 应为：

$$\begin{aligned} BHCA_Z' &\geq BHCA' \times A \times 1.5 \times 1.1 \times (1+20\%) \\ &\geq BHCA' \times A \times 1.65 \times 1.2 \\ &\geq 1.98 BHCA' \times A \geq 1.98 BHCA_s \end{aligned}$$

BHCA 值计算举例

某单位计划初装程控用户交换机 1000 门，经话务调查分析后，取定平均每户忙时 BHCA' 为 10 次。该用户单位预测的交换机终局容量为 2000 门。估算终局时平均每户忙时 BHCA' 值约 8 次。计算初装及终局时所需的设备处理机的 BHCA' 值。

- a. 初装 1000 门时；  
忙时总试呼次数 BHCA<sub>s</sub> = 10 × 1000 = 10000 次。
- b. 终局 2000 门时：

忙时总试呼次数  $BHCA_s = 8 \times 2000 = 16000$  次。

考虑超负荷运转及其冗余度，所需处理机的处理次数  $BHCA_c = 16000 \times 1.5 \times 1.1 = 26400$  次。

再考虑内部开销，其所选处理机的总处理能力  $BHCA_z$  应满足：

$$BHCA_z \geq BHCA_c (1+20\%) \geq 1.2BHCA_c \geq 31680 \text{ 次}$$

3.1.5 Internet 拨号接入对电话网的影响

90 年代以来，以 Internet 为代表的新一代网络技术迅猛的发展，在使用 Internet 的用户群中，约有 50% ~ 75% 是采用电话拨号上网的，由于 Internet 用户的使用特点，其发展给传统的 PSTN 带来沉重的负荷，严重影响了 PSTN 正常的通信能力。因此，如何减轻 Internet 拨号接入对电话网的影响是需研究解决的问题。

1. 目前 Internet 拨号接入方式

用户与 Internet 的连接，实质上是用户与 ISP/ICP 之间的连接。用户采用拨号方式接入 Internet，实际是通过电话网与 ISP/ICP 连接的。图 3.6 表示拨号用户与 ISP/ICP 不在同一汇接局，但仍在同一本地局的接入方法。

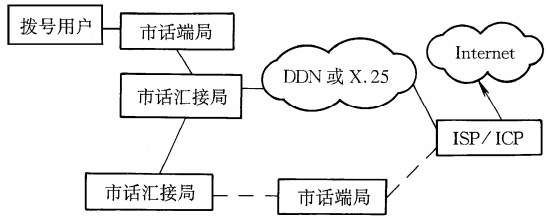


图 3.6 拨号用户与 ISP/ICP 不在同一汇接局的接入

2. Internet 拨号接入对电话网的影响

由于 Internet 业务本身的特点：一是占线时间长，二是独立呼叫，呼叫频率低。Internet 的迅猛发展给市话网络结构带来直接冲击，下面进行扼要的分析。

Internet 拨号接入对电话网的最大影响是使交换网络阻塞。传统的电话网设计一般都遵循平均通话时间 3min，忙时平均通话时间 10min 的原则，但 Internet 拨号用户平均占用时间超过 18min，忙时平均占用时间竟达到 50min 以上。据有关部门资料分析：倘若有 4% 的电话线路被 Internet 用户占用 45min，则普通电话呼叫阻塞率将由 1% 上升到 7%；倘若有 15% 的用户使用 Internet 占线时间为 1 小时，就相当于 100% 的用户在 1 小时内同时使用普通电话业务 9min，按目前的集线比计算将有近 40% 呼损出现。若使呼损降到 1%，则电话网的容量就必须扩大一倍。

目前，一般电话交换机的用户集线比为 1:4~1:15，中继线容量比为 1:10 ~ 1:20，因此一部分用户拨号使用 Internet，而长时间占用线路，线路阻塞是不可避免的。假设有 1000 个用户，每用户话务量为 0.2Erl，则总话务量  $A=20\text{Erl}$ ；若有 5% 的用户拨叫 Internet，每用户的话务量为 1Erl，则总话务量  $A=24\text{Erl}$ 。因而，产生呼损。

另外，一般 ISP/ICP 都是通过 DDN 或 X.25 等数据线路连接到电话汇接局的，但是拨号用户是分散的，不均衡的，这些势必造成汇接局的话务量不平衡，阻塞率增加。

3. 减小 Internet 拨号接入影响几种措施

消除 Internet 拨号接入对目前电话网的影响，最好的方案就是全面改造现有的电话网及用户接入网，使之成为宽带的全数字化网络，但这在目前乃至将来较长时间内是难以实现的，经研究认为，近期可采用如下的几种措施：

- (1) 采用相应的软件，动态监视 Internet 用户的发展，将那些经常长时间占用线路的 Internet 用户调整到用户集线比低的设备上，同时相应增加 ISP/ICP 较多的电话汇接局的入中继线路。
- (2) 在 Internet 用户较多的市话端局后加接入服务器，便能够把 Internet 呼叫旁路到 DDN 及 X.25 线路上，如图 3.7 所示。

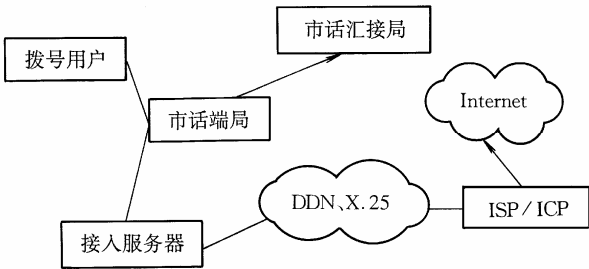


图 3.7 使用接入服务器示意图

- (3) 在 Internet 用户比较多的市话端局前加设滤出设备(如北美的 GR·303)，滤出 Internet 呼叫，使之直接旁路到 DDN 和 X.25 线路上，如图 3.8 所示。

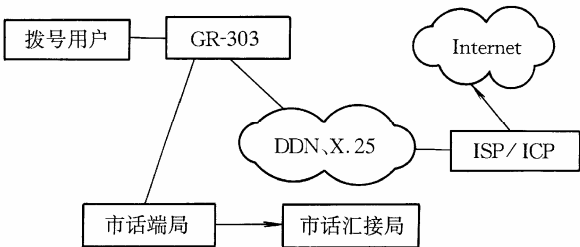


图 3.8 在市话端局前加装滤出设备

- (4) 适当降低 N-ISDN 的使用费用。目前，因 N-ISDN 的使用费用较高，普通用户难以接受，为抢占市场可适当降低 N-ISDN 的使用费用。
- (5) 跟踪 xDSL 技术的发展，适时推出该项技术，也可缓解 Internet 拨号进入对交换网的影响。

3.2

路由规划是通信网络建设的一个重要问题，它包括：在给定交换机之间的话务量后，中继线应如何配置，网络拓扑如何选择；当两台交换机之间的通信存在多条路由时，应按何种

规则选择路由。

所谓路由（以电话网为例）是指在两个交换局之间建立一个呼叫连接或传送消息的途径。它可以由一个电路群组成，也可以由多个电路群经交换局串接而成。路由的特点是：一个路由是由一个全利用度电路群组成，组成一个路由的电路群可以包括各种传输系统所组成的电路群，如两个交换局之间既有微波载波电路，又有电缆载波电路，但如果是组成一个全利用度的电路群，则称为一个路由。

### 3.2.1 路由的分类

#### 1. 基干路由

基干路由是构成网络基干结构的路由（如第二章图 2.3 所示），它是特定的交换中心之间所构成的路由。基干路由上电路群的呼损标准是为保证全网的接续质量而定，它的呼损应 $\leq 1\%$ ，在该路由上的话务量不允许溢出到其它路由上。

例如：一级交换中心  $C_1$  之间；一级交换中心  $C_1$  与它所管辖的二级交换中心  $C_2$  之间；二级交换中心  $C_2$  与它所管辖的三级交换中心  $C_3$  之间；三级交换中心  $C_3$  与它所管辖的四级交换中心  $C_4$  之间等均为基干路由。

#### 2. 高效直达路由

高效直达路由的主要特征是高效与直达。所谓直达，就是两个交换中心之间所建立的路由不经过第三个交换局。所谓高效，就是在该路由上电路群的呼损会超过规定的呼损标准，其话务必然要溢出到其它路由，如图 2.3 中虚线路由所示。

#### 3. 低呼损直达路由

低呼损直达路由，是由任意两个等级交换中心之间设置的电路群，且其呼损不大于所规定标准的路由，可以旁路或部分地旁路基干路由。在该路由上的话务量不允许溢出至其它路由。

#### 4. 迂回路由

由部分基干路由和直达路由等两个以上路由串联而成，可以承担高效直达路由溢出的话务量。迂回路由是与首选路由相对应的，首选路由因为遇忙才会迂回到别的路由。

#### 5. 最终路由

当一个交换中心呼叫另一个交换中心，在选择无溢呼的低呼损电路群建立呼叫连接时，由这些无溢呼的低呼损电路群所组成的路由称为最终路由。最终路由可以由一段低呼损路由组成，也可以由几段低呼损路由串接组成。

### 3.2.2 路由选择

#### 1. 路由选择的规则

(1) 每一个交换中心呼叫某一目标局的路由数最大为三个，也就是两局间最大可能选择的路由个数是三个；

(2) 有高效直达路由时路由选择的顺序是：高效直达路由  $\rightarrow$  迂回路由  $\rightarrow$  基干路由；

(3) 无高效直达路由时路由选择的顺序是：跨级或跨区的路由  $\rightarrow$  基干路由；

(4) 一般发话区的路由选择顺序为自下而上，受话区的路由选择顺序为自上而下；

(5) 为了使得低等级交换中心话务尽可能在低等级交换中心之间沟通，在一般情况下，



各级交换中心要选择高效电路群。在跨区路由时连接该路由两个交换中心的等级差不应超过一级，但在选择跨级路由时，允许连接该路由上的两个交换中心的等级差不超过二级；

(6) 在路由选择中遇低呼损路由不再溢出，路由选择终止。

2. 路由选择的顺序

(1) 从发话区到受话区两局间,若有高效直达路由则选高效直达路由。例如 C4A 欲与 C4B 通信，C4A 首先选择高效直达路由 C4A→C4B，如图 3.9(a)所示。

(2) 若两局没有高效直达路由，可选迂回路由，其选择路由的顺序是按“由远而近”的方案，即任一节点选择下一节点时，总是选择沿基干路由距终局（被叫局）最近的那一个接点。例如，C4A 选择下一站的顺序依次是 C3B、C2B、C1B、C1A（即虚线 1、2、3、4），如图 3.9(b)所示。

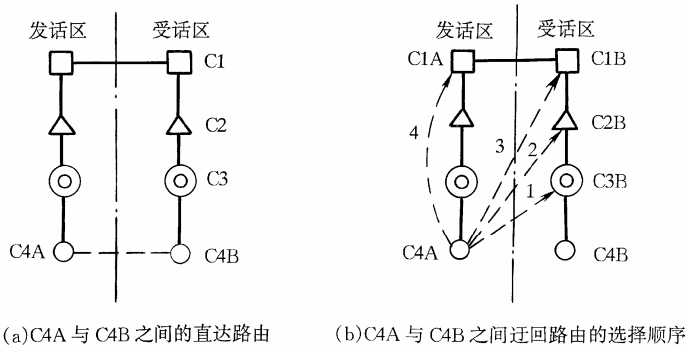


图 3.9 路由选择顺序

3. 路由选择的新方式

近年来，提出了一些新的路由选择方式，如动态无级选路方式（DNHR），剩余容量自适应选路方式，状态相关选路方式（SDR）以及分区网络的选路方式。

使用较多的是动态无级选路方式，这种技术是由美国电报电话公司（AT&T）首先提出来的。DNHR 的特点有两个：一是所有交换中心不分等级，只选择空闲的、费用最省的电路；另一个是路由选择方案不是固定不变的，可利用各交换中心话务负荷忙时不一致性，按预定的选路方案随时进行改变。

与传统的路由选择技术相比，利用 DNHR 技术能够增加选路的灵活性，提高电路的利用率和降低网络的成本。美国已计划用 DNHR 技术改造其长途电话网。

4. 路由选择中的一些规定

前面较全面的介绍了五种路由，但我国自动电话交换网中常用的几种路由是：基干路由、高效直达路由和低呼损直达路由。在原邮电部颁发的《交换网电话自动技术体制》中规定，我国本地网及市内电话网为由一级汇接局和端局组成的二级网络结构。该网络的路由分为高效直达路由、迂回路由及基干路由。路由的选择顺序是按照规定的等级进行的，即先选直达路由再选迂回路由，最后选基干路由。高效路由处理直接的话务和少数迂回话务，高效路由上的溢出呼叫先转移到迂回路由上进行传送，最后基干路由上的过负荷呼叫即为呼叫损失。

《电话自动交换网技术体制》中规定，在大、中城市市话网中汇接局之间设置低呼损电路群，汇接局与本汇接区内端局之间也设置低呼损电路群。为了满足信号和传输的要求，由

端局到端局之间最多经过两个汇接局，中继电路最多不超过三段，汇接局间不允许同级迂回。

市内电话网的局间中继所采用的路由类型可有：汇接路由（T）；高效直达路由（H）；低呼损直达路由（D）。这三种路由的示意表示如图 3.10 所示。D 与 H 的区别在于低呼损路由不允许溢出，而高效直达路由的过负荷话务允许溢出。对汇接路由 T，则是两端局间没有直达路由，其两局间话务全部由汇接局传送。

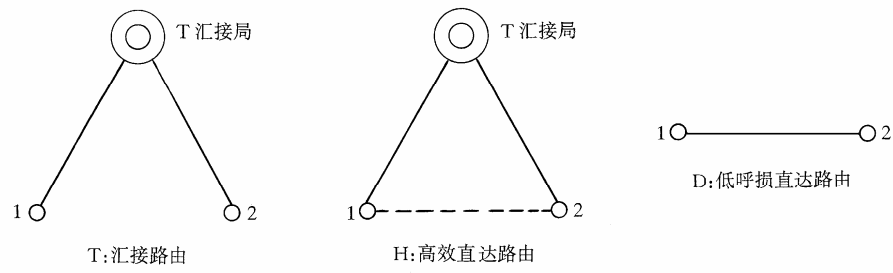


图 3.10 局间中继路由类型

3.2.3 高效直达路由的分析与计算

1. THD 判别图

两个交换局间的中继电路类型（汇接 T、高效 H 或直达 D），主要由两交换局间的话务量 A 以及直达路由费用与汇接路由费用之比确定。

设在图 3.11 中 1 和 2 为两端局，T 为汇接局，则高效直达路由与汇接路由费用比为：

$$\varepsilon = \frac{B}{B_1 + B_2} \tag{3.20}$$

- 式中：
- $B$  是 1~2 间高效直达电路平均每线费用；
  - $B_1$  是 1~T 间汇接电路平均每线费用；
  - $B_2$  是 T~2 间汇接电路平均每线费用。

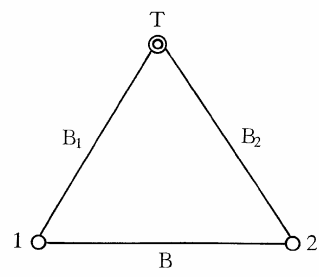


图 3.11 局间中继线路费用

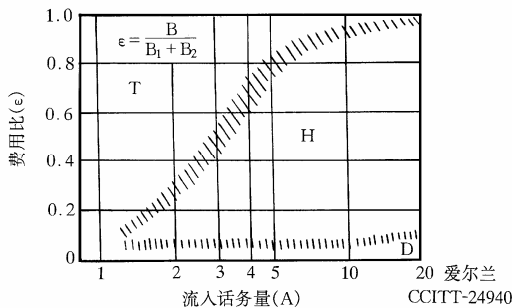


图 3.12 THD 图

一般  $\epsilon$  值总小于 1。图 3.12 为 THD 图，图中纵坐标为费用比  $\epsilon$ ，横坐标为两局间的话务量  $A$ ，两个临界带（阴影部分）把画面分为三个区域：左边和上方为 T，右下边为 D，中间部分适合采用 H。图中说明，在话务量较小时，可有部分的  $\epsilon$  值采用汇接方式；但在  $\epsilon$  太小时，说明汇接路由很不经济，适于采用直达电路；当话务量较大（3~5Erl 以上）时一般可采用高效电路。THD 图又称判别图，用于确定如何划分 T、H、D 电路。

确定局间中继路由类型的方法是根据话务量  $A$  及路由费用比  $\epsilon$  来计算或确定 T、H、D 三种路由的适用范围，以供网络规划设计中选用。

2. 高效直达路由的分析与计算

CCITT 建议中介绍的高效路由中继电路数量的近似计算公式是

$$\begin{aligned} F_n(A) &= A [E_n(A) - E_{n+1}(A)] \\ &= \epsilon [1 - 0.3(1 - \epsilon)^2] \end{aligned} \tag{3.21}$$

式中：

$F_n(A)$  是改善函数，即高效电路从  $n$  条增加到  $n+1$  条时负荷话务量的增加值；

$E_n(A)$  表示流入话务量为  $A$  时  $n$  条电路的阻塞概率（呼损率）；

$\epsilon$  是增加一条直达路由的费用与增加一条汇接路由的费用之比。式 (3.21) 又可改写为

$$E_n(A) - E_{n+1}(A) = \frac{\epsilon [1 - 0.3(1 - \epsilon)^2]}{A} \tag{3.22}$$

假定设置的低呼损直达路由要求的呼损率指标为 1%，并考虑程控交换局对中继线的选择是全利用度的。通过查话务量呼损表，对某一确定  $A$  值时，求  $n$  值使  $E_n(A) > 1\%$ ，而  $E_{n+1}(A) < 1\%$ ，则由式 (3.22) 可求得相对应的  $\epsilon$  临界值  $\epsilon_1$ 。当实际的  $\epsilon$  值小于  $\epsilon_1$  时，就应为  $E_n(A) < 1\%$ ，这时应为低呼损直达路由；当实际的  $\epsilon$  大于  $\epsilon_1$  时，由于  $E_n(A) > 1\%$ ，这时就可选为高效直达路由。

由式 (3.22) 计算出呼损后，再由爱尔兰呼损表可查得高效中继线数量。

3. 数字中继方式路由分析

市话网中的数字程控交换局间的中继方式采用数字中继。当两局间的直达电路数远小于一个 PCM 传输系统（即 30 路系统）时，设置直达中继群就不太经济，应考虑采用汇接方式实现。为此，在划分 THD 选择范围时须考虑允许设置直达电路的最小数量。在《电信工程设计手册-电话交换》中指出，一般认为允许设置的直达电路数最少为 12 条，这样，出、入中继电路合用后中继电路数量之和大于或等于 24，这时采用一个 PCM30 路系统就较为合适。因此，根据式 (3.22)，当  $n = 12$  时，对确定的  $A$  值可求得满足式 (3.23) 时的  $\epsilon$  临界值  $\epsilon_2$ ，

即实际的  $\varepsilon$  值大于  $\varepsilon_2$  时采用汇接路由 T 较为有利；当  $n \geq 12$  及  $\varepsilon < \varepsilon_2$  时则应选用低呼损直达路由 D 或高效直达路由 H。

$$E_n(A) - E_{n+1}(A) \leq \frac{\varepsilon[1 - 0.3(1 - \varepsilon)^2]}{A} \quad (3.23)$$

市话网全数字化后，局间中继路由类型的确定及中继电路数量的计算，与传统的模拟中继电路的计算应有所不同。这是由于数字中继电路采用 PCM 传输系统，其中继电路容量应是 PCM30 路系统的整数倍（30 路为一个基础）。为此，如果按照前述的 THD 方法计算中继电路容量，可能会出现多余的容量；如果按 30 的倍数选取中继电路数，可能会造成中继电路的多余或不足。因此，数字中继方式的路由必须按某一固定模量的倍数来计算，称为模量工程算法。此时，路由类型的选定要采用 THF 曲线图示图略。THF 的含义是：T、H 仍对应于汇接路由和高效直达路由，F 为全提供电路群，属于低呼损直达路由。F 和 H 分别对应于一个 PCM30 路系统的全提供电路群及高效直达电路群。

当所需的局间单向中继电路数不足 12 时，则不提供直达路由，而只能提供汇接路由。当单向中继电路数在 12 个以上时，一般情况下双向合用一个 PCM30 路系统。这时也就可以采用全提供电路群（F）或高效直达电路群（H）。

### 3.2.4 高效迂回路由的分析

若其它路由无话务溢出到长途基干路由（即 C4-C3、C3-C2、C2-C1 和 C1-C1），则该基干电路群电路数可以用通常方法计算，不然则需按迂回电路计算。在这里因迂回电路是基干路由，它必须保证一定的呼损指标。

根据话务理论，呼损率大、线束群大时，线对的平均利用率就高，这样便可节约网络的建设费用，高效中继原理就是据此理论来组建通信网的。

如图 3.13（a）所示，某级交换中心 A 至交换中心 B，通信接续先选高效直达中继电路（1），当该电路群全忙（或故障时）可经中继电路（2）选迂回中继，经汇接局 1 到 B（还可以经汇接局 2 走二次迂回到 B）。电路群（1）是高效直达中继，因呼损率高可得到高利用率，其溢出的流量转到电路群（2）以保证呼损不超过规定指标。电路群（2）是基于迂回中继，该电路群上的负荷量是 A 局至各局向高效直达中继溢出的流量之和。基于迂回中继又是接续通信的第二路由，它提高了 A、B 间通信的可靠性。

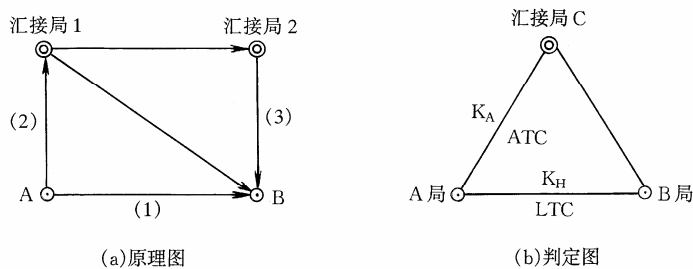


图 3.13 高效迂回中继

高效迂回中继的建立要根据该局在网中的地位及对交换中心的流量大小而定。每条高效

中继电路传递“单位话务量”的成本也不一样，随其数量的多少而变化。相反，基于中继线电路数是比较大的，传递的话务量大致相同（每线 0.75 ~ 0.83Erl），每线传递单位话务量成本也基本一致。因此，在什么情况下设置多少高效直达中继电路才是经济合理呢？要根据 CCITT 橙皮书的提示参阅图 3.10(b)并用下列公式判别。

$$\frac{K}{LTC} \leq \frac{K}{ATC} \quad \text{或} \quad LTC = ATC / K$$

(3.24)

式中  $K_H$  是高效直达中继每条电路成本。  
 $K_A$  是基于迂回中继每条电路成本。  
 $K=K_A/K_H$  为经营成本比，一般  $K>1$ 。  
 $ATC$  是基于中继每增加一条电路时，传递话务量的净增值，单位为爱尔兰（Erl）。  
 $LTC$  是高效直达中继最后一条电路传递的话务量，其表示式如下：

$$LTC = A_i E_{n-1} (A_i) - A_i E_n (A_i)$$

(3.25)

式中  
 $A_i$  为第  $i$  方向高效中继线群加入后的话务量；  
 $E_{n-1} (A_i)$ 、 $E_n (A_i)$  是以话务量为  $A_i$ ，当中继线对分别为  $n-1$  或  $n$  条时，查爱尔兰表得到的呼损值。  
如  $LTC=ATC/K$  时，表明中继电路组织得合理，高效迂回中继配备得当，经济效果好。  
当  $LTC>ATC/K$  时，则表明应增加高效直达中继。  
当  $LTC<ATC/K$  时，则表明应增加迂回中继。  
中继线对经营费用成本比  $K$  值如表 3.4 所示。

表 3.4 中继线对经营费用成本比 K 值

| K 值 | LTC(Erl) |      | 适用范围        |
|-----|----------|------|-------------|
|     | 长途用      | 市内用  |             |
| 1.1 | 0.75     | 0.70 | $K<1.1$     |
| 1.5 | 0.55     | 0.50 | $1.1<K<3.0$ |
| 3.0 | 0.28     | 0.25 | $K\geq 3.0$ |

3.3

衡量电话网主要指标之一是传输链路的传输质量。传输链路的传输质量直接影响着电话网的质量，传输质量反映了信息传输的准确程度，对不同的电信业务有不同的传输质量标准，考虑到目前通信网仍是以传输电话业务为主，所以传输质量主要是以通话质量来度量的，它是制定传输标准的基础。在国家颁布的电话自动交换网技术体制中提出了响度当量和传输损耗两项传输质量指标。

3.3.1 全程参考当量

CCITT 建议用响度当量来度量响度损耗，并用它作为对电话网传输性能和话机性能评定

的主要指标。响度当量是参考当量 (RE)、修正参考当量 (CRE)、 $R_{25}$  当量 ( $R_{25}E$ ) 和响度评定值 (LR) 等的统称。我国在《电话自动交换网技术体制》中提出了各种通话连接的全程参考当量和全程传输损耗分配的指标。

参考当量是用主观评定的方法评定传输质量的一种量度, 全名应叫做响度参考当量。在进行传输质量评定时, 将被测实际传输系统与标准参考系统进行比较, 为使测试者从两个系统听到相同的语声响度, 需在标准参考系统中加入 (或减去) 一定量的衰耗值, 这个衰耗值就是响度参考当量, 其单位为分贝 (dB)。参考当量可以是正值或负值。负值说明被测传输系统比标准参考系统的响度大, 正值说明被测传输系统比标准参考系统的响度小。目前, 国际上采用的基准参考传输系统设置在日内瓦 CCITT 的实验室内, 作为国际响度参考当量基准系统。

一个通话连接的全程参考当量 (ORE) 可简化如图 3.14 所示, 以公式表示为

$$\text{ORE} = \text{SRE} + \text{RRE} + \alpha \quad (\text{dB}) \quad (3.26)$$

式中 ORE: 全程参考当量;

SRE: 发送参考当量。它包括从用户话机到所接交换端局馈电桥路的参考当量, 即用户电话、用户线和馈电桥路等三部分的参考当量;

RRE: 接收参考当量。它包括从被叫用户所在交换局的馈电桥路至被叫用户话机的参考当量;

$\alpha$ : 中继传输参考当量。它包括两交换端局间各段中继电路及汇接局等传输损耗影响的参考当量 (测试条件:  $f=800\text{Hz}$  或  $f=1000\text{Hz}$ )。

考虑到满足国际通话的要求并参考 CCITT 的规定, 我国电话网全程参考当量的限值取定为 33.0dB。

在全程参考当量为 33.0dB 的情况下, 能达到正常通话的用户在 60%以上, 此时用户系统的参考当量为  $\text{SRE} = 12.0\text{dB}$ ,  $\text{RRE} = 3.0\text{dB}$ 。

在一般情况下, 用户系统的参考当量的平均值估算为  $\text{SRE} = 6.0\text{dB}$ ,  $\text{RRE} = -3.0\text{dB}$ , 此时全程参考当量由 33.0dB 降到 21.0dB, 能达到正常通话的用户从 60%提高到 95%以上, 感到满意的用户在 70%以上。

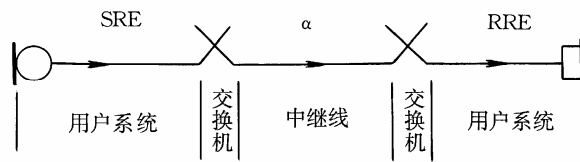


图 3.14 全程参考当量示意图

### 3.3.2 长途网全程参考当量及传输损耗

#### 1. 国内长途模拟网

国内任何两个用户间进行长途电话接续时, 全程参考当量应不大于 33.0dB, 全程传输损耗不大于 33.0dB, 其分配见图 3.15 所示。

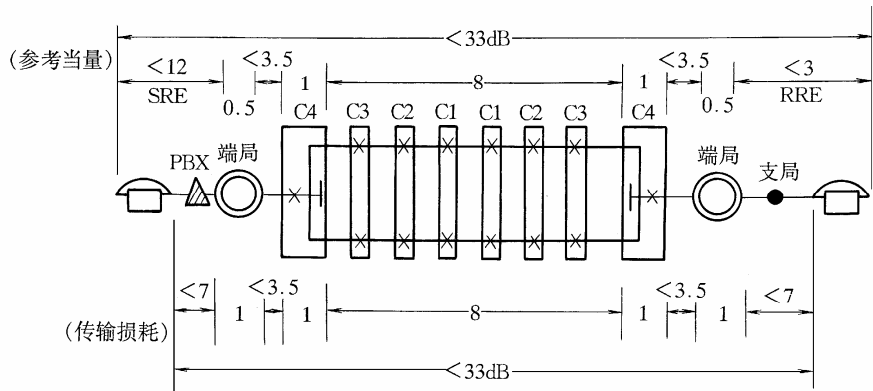


图 3.15 国内长途模拟网全程传输配置示意图

全程参考当量由以下几部分组成：

- (1) 用户系统的发送参考当量  $SRE=12.0\text{dB}$ ；
- (2) 用户系统的接收参考当量  $RRE=3.0\text{dB}$ ；
- (3) 市话局的局内衰减  $0.5\text{dB}$ ；
- (4) 市话局至长途局中继线（简称长市中继线）的传输损耗  $3.5\text{dB}$ ；
- (5) 长途端局的局内衰减  $1.0\text{dB}$ ；
- (6) 长途四线电路中  $800\text{Hz}$  时的传输损耗  $8.0\text{dB}$ 。在四线电路中保留一定衰耗的目的是为了避免引起振鸣和回声，以保持电路的稳定和保证良好的通话质量。

2. 国内长途数字网

国内长途数字网中，任何两个用户之间进行长途通话时，全程参考当量应不大于  $22.0\text{dB}$ ，全程传输损耗应不大于  $22.0\text{dB}$ 。其传输配置如图 3.16 所示。

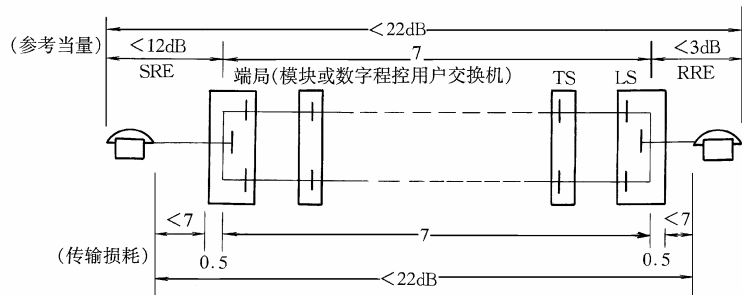


图 3.16 长途数字网全程传输配置示意图

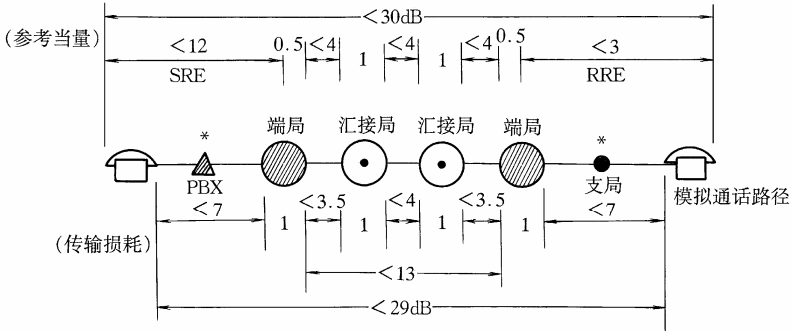
长途经数模混合传输时，其传输损耗应介于数字网与模拟网之间，按不同的通话连接配置不同的损耗值。

3.3.3 本地网全程参考当量及传输损耗

1. 本地模拟网

本地用户之间通话，所经电路为二线交换和模拟传输时，全程参考当量应不大于  $30\text{dB}$ ，

其分配见图 3.17。用户系统的发送参考当量为 12.0dB，接收参考当量为 3.0dB，两市话端局



\*：用户交换机或支局的传输指标，统一计算在用户至接口端局之间，用户线损耗  $\leq 7.0\text{dB}$ 。

图 3.17 本地模拟网传输配置示意图

间 800Hz 时的传输损耗为 14.0dB，它包括各段中继线传输损耗以及经过汇接局的局内衰减，还有两个市话端局的局内衰减各 0.5dB。

在本地电话网中农话用户之间、农话用户与县城用户之间、市话用户与县城用户之间以及农话用户与市话用户之间的全程参考当量也应不大于 30.0dB。

2. 本地数字网

本地网用户之间通话，采用数字交换、数字传输时，全程参考当量不大于 22.0dB（或市内接续 18.0dB）；全程传输损耗不大于 22.0dB（或市内接续 18.5dB）。其传输配置如图 3.18 所示。

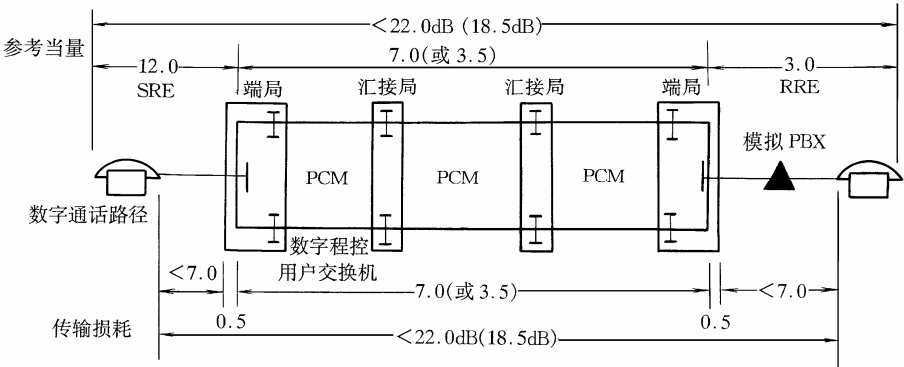


图 3.18 本地数字网传输配置示意图

由发端局至受端局之间四线电路链必须保持一定的净损耗值，以保证通话时电路的稳定及不出现振鸣现象。其所配置的通路净损耗值与发、受话程控数字交换机的功能有关。

当程控数字端局交换机能区别长话、市话通话，具有自动可变损耗功能时，若识别为本地网内通话，此时四线电路发端为 0dB，受端自动调节为 3.5dB（不包括供电桥损耗 0.5dB）；当识别为长途通话时，自动调节为 7.0dB。此时本地网内通话全程传输指标为  $\leq 18.5\text{dB}$ 。

若程控数字交换机不具备自动可调损耗功能，则四线环路净损耗在各种接续时，均固定



调至发话支路 0dB，受话支路 7.0dB（不包括供电桥损耗 0.5dB）。此时本地网内通话的全程传输指标为 $\leq 22.0\text{dB}$ 。

3. 数模混合网

在数模混合网中，本地网内用户之间通话的传输指标配置应介于数字网和模拟网之间，按不同的通话连接配置不同的损耗值。

4. 用户交换机在本地电话网中的传输损耗分配

用户交换机在公用电话网中是本地网的组成部分，在网上不单独作为一个交换等级，而是属于所在接口端局的末端设备，可接入端局用户级电路，也可接入端局选组级中继电路。其传输与接口端局设备制式有关，也与进网中继方式有关。程控数字用户交换机进网的传输损耗配置与端局的用户线损耗限值相同，即从接口端局至分机用户间（含程控用户交换机在内）的传输损耗应小于 7.0dB，且大于 2.0dB。在此限值范围内，按不同进网方式配置损耗值。

(1) 长途四线电路链延伸至程控数字交换机用户电路时，四线环路上传输损耗的配置与图 3.16 中的发、受支路损耗的配置相同。但要求分机用户至用户交换机二线端之间的传输损耗应不大于 7.0dB，且不得小于 2.0dB。若分机用户线路损耗小于 2.0dB 时，需要采用假线补偿至 2~3dB，以保证电路的稳定度要求。参看图 3.19(a)。

(2) 程控数字用户交换机至接口端局之间采用二线传输时，其传输损耗分配如图 3.19 (b) 所示。

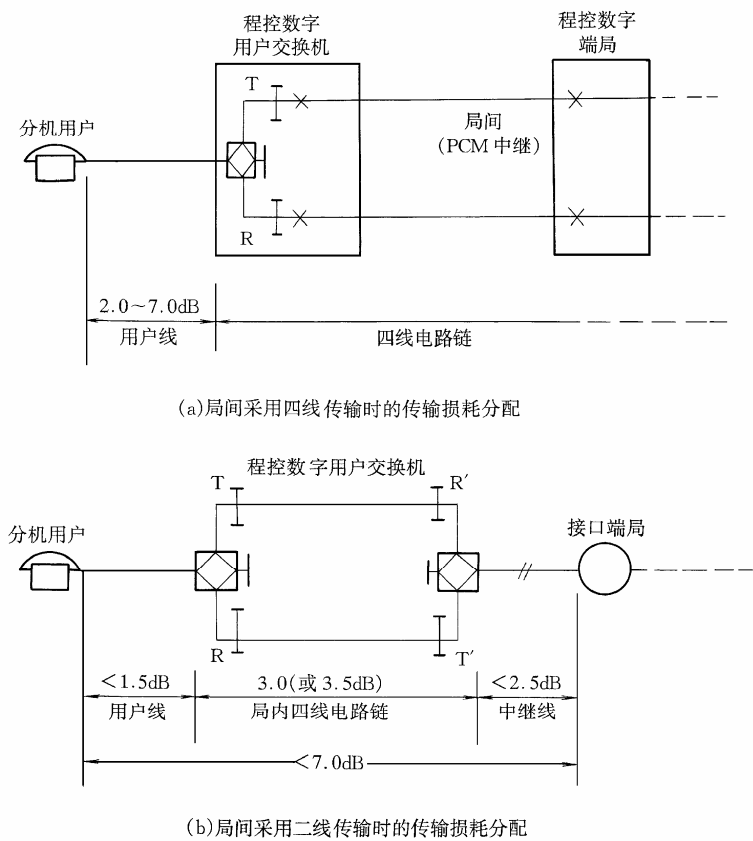


图 3.19 用户交换机不同局间连接传输配置示意图

用户交换机不同局间连接方式的传输损耗分配见表 3-5 所示。

表 3.5 不同局间连接传输损耗

| 接口端局制式         | 中继线损耗<br>(dB)                                                 | 程控用户交换机<br>四线链路净损耗<br>(dB) | 分机用户线损耗<br>(dB) | 分机至接口端<br>总损耗<br>(dB)昉 |
|----------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|
| 模拟端局           | ≤2.5                                                          | 3                          | ≤1.5            | ≤7.0 昉                 |
| 程控数字局          | <1.0                                                          | 3.5                        | ≤2.5            | ≤7.0 昉                 |
|                | 1.0~2.5                                                       | 3                          | 2.5~1.5         | ≤7.0 昉                 |
| 模拟局或者<br>程控数字局 | >2.5 时,应采取程控用户交换机四线延伸至接口<br>端局侧,即加装 PCM 传输设备,四线链路净损耗<br>为 3.5 |                            | ≤3.5            | ≤7.0                   |

总之，用户交换机的传输损耗，应满足网上要求的由分机用户至接口端局（含用户交换机局内损耗）之间总损耗不大于 7.0dB 的规定。具体各段电路损耗的配置，应在工程设计中视具体情况而定。

3.4

所谓编号计划指的是在本地网、国内长途网、国际长途网、特种业务以及一些新业务等各种呼叫中所规定的号码编排和规程。自动电话网中的编号计划是使自动电话网正常运行的一个重要规程。交换设备应能适应上述各项接续的编号要求。电话的编号有两个作用，其一是构成由主叫到被叫的呼叫路由，其二是驱动记费设备进行计费。编号计划是影响电话网设计的一个重要问题。从网络角度来看，编号实际上还代表着网络组织系统和容量；从用户角度来看，编号是用户的直接代号，有一定的社会影响，一经编录就不再轻易更改，尤其不允许在较短的时期内一再改号。所以编号规划很重要，如考虑不周，不仅会给网络发展带来较大困难，而且也会引起社会和用户的不满。

3.4.1 编号的基本原则

号码是一种资源，正确地使用这一资源可使网络取得更好的经济效益，否则将引起资源的浪费，直接影响网络建设费用。因此，编号计划应放在与网络组织同等地位去考虑。考虑的基本原则大致为：

1. 要考虑远近期结合

近远期结合，既要满足近期需要，又要考虑远期的发展，规划期内要留有一定的备用号码，一般情况下，一次编号后不再作变更。

编号计划是以业务预测和网络规划为依据的。业务预测确定了网络的规模容量、各类性质用户的分布情况以及电话站的设置情况，由此可确定号码的位长、容量和站号的数量；网络规划中电话站区的划分又具体地确定了号码的分配方案。特别是在编制号码计划时因网络的发展可能出现一些新业务，如移动通信、非话业务等，应对规划期的容量要有充分的估计，对号码的容量要留有充分的余地。

在近远期关系问题上，当远期需要号码扩容时，要注意近远期的自然过渡，使这种过渡

对已有的网络及号码变动最小。

2. 号码计划要与网络安排统一考虑，做到统一编号

号码计划实际上也是网络组织的一个重要组成部分，因此在确定网络组织方案时必须与编号方案统一考虑。例如在划定了电话站区域范围后，号码怎样分配最有利；又如在一个站区电话网中具有不同制式的交换设备情况下，怎样组织汇接号码，怎样分配号码才能使原有设备变动量最小；再如有时为了便于号码从近期向远期顺利过渡，号码位长也要留有余地，以使号码升位不影响通信。

3. 尽可能避免改号

随着电话网的发展，改号对用户的影响越来越大。在全国实行长途自动化后，尤其是在开发国际自动化电话业务后，这种影响不仅涉及本地电话网用户，而且涉及到全国用户甚至国外用户，因此在今后电话网设计中应把避免改号作为一条重要原则考虑。

从用户的角度看，号码升位也是改号，且影响面较大。因此要把网络全面规划好，该升位的有条件及早升位。此外为了避免改号，近期工程为模块站的用户号码可采用远期该区域的编号，模块站的号码可不同于母站站号。待模块站改为分站时就不需要改号了。

4. 国内电话号码长度

国内号长应符合 CCITT 建议的国际电话号码规定，不要超过限定的 12 位。

5. 本地网编号原则

本地网的编号原则上应为等位编号，在过渡期内允许号长相差一位。

3.4.2 《国家通信网自动电话号码》规定

凡是进入国家通信网的各种长话、市话的交换设备都应满足《国家通信网自动电话号码》一切规定，有关编号原则、编号方式和长途区号安排表介绍如下：

(1) 《国家通信网自动电话号码》的编号原则是：(1) 远近期相结合。在近期编号安排上要适当照顾自然交换区域划分的联系。在远期要留有一定的备用区号，以满足长远发展的需要；(2) 编号方案应符合国际电话电报委员会的 Q11 建议，即国内电话有效号码的总长度不能超过 10 位。同时应尽可能缩短编号号长和具有规律性，以便于用户使用；(3) 长、市号码容量运用充分；(4) 应尽可能使长市自动交换设备简单，以节省投资。

(2) 《国家通信网自动电话号码》的编号方式：

① 在同一闭锁编号区内，采用闭锁编号方式，同一闭锁编号区的用户之间相互呼叫时拨统一的号码，即市话局号加用户号码；

② 长途拨号采用开放编号方式，即在呼叫闭锁编号区以外的用户时，用户需加拨长途字冠“0”和长途区号；

③ 全国编号采用不等位制，不同城市（或县）根据其政治、经济各方面的不同地位给予不同号长的长途区号。不同城市的市话号码长度也可不相等；但每一城市（或县）的长途区号加市话号码的总位数最多不允许超过 10 位（不包括长途自动冠号“0”）。

(3) 《国家通信网自动电话号码》规定的长途自动电话号码见表 3.6。

表 3.6 长途区号编排表

| 现代信息网 |          |                   |                |                   |                      |           |
|-------|----------|-------------------|----------------|-------------------|----------------------|-----------|
| 编号区   | 包括的省、自治区 | 特大城市、大城市<br>长途编号区 |                | 大城市、中等城市<br>长途编号区 | 中、小城市及县<br>长途编号区     | 说 明       |
|       |          | 城市名称              | 编号             | 昉                 |                      |           |
|       |          | 北京<br>上海<br>天津    | 10<br>21<br>22 | 昉<br>昉            |                      | 23, 26 备用 |
| 03    | 河北       | 石家庄               | 311            | 312-310, 335      | 3211-3200, 3411-3450 | 昉         |
|       | 山西       | 太原                | 351            | 352-350           | 3611-3600            | 昉         |
|       | 河南       | 郑州                | 371            | 372-370, 391      | 3811-3800, 3011-3010 | 昉         |
| 04    | 辽宁       | 沈阳                | 24             | 411-410           | 4211-4200            | 昉         |
|       | 吉林       | 长春                | 431            | 432-430           | 4411-4470            | 昉         |
|       | 黑龙江      | 哈尔滨               | 451            | 452-450           | 4611-4680            | 昉         |
|       | 内蒙       | 呼和浩特              | 471            | 472-470           | 4811-4800            | 昉         |
| 05    | 江苏       | 南京                | 25             | 511-510           | 5211-5200            | 昉         |
|       | 山东       | 济南                | 531            | 532-530           | 5411-5400            | 昉         |
|       | 安徽       | 合肥                | 551            | 552-550           | 5611-5600            | 昉         |
|       | 浙江       | 杭州                | 571            | 572-570           | 5811-5800            | 昉         |
|       | 福建       | 福州                | 591            | 592-590           | 5011-5090            | 昉         |
| 06    | 台湾       |                   | 昉              |                   |                      |           |

续表

| 编号区 | 包括的省、自治区 | 特大城市、大城市<br>长途编号区 |     | 大城市、中等城市<br>长途编号区 | 中、小城市及县<br>长途编号区     | 说 明 |
|-----|----------|-------------------|-----|-------------------|----------------------|-----|
| 07  | 湖北       | 武汉                | 27  | 711-710           | 7211-7200            | 昉   |
|     | 湖南       | 长沙                | 731 | 732-730           | 7411-7400            | 昉   |
|     | 广东       | 广州                | 20  | 751-750           | 7611-7600            | 昉   |
|     | 广西       | 南宁                | 771 | 772-770           | 7811-7800            | 昉   |
|     | 江西       | 南昌                | 791 | 792-790           | 7011-7000            | 昉   |
| 08  | 四川       | 成都                | 28  | 812-810           | 8211-8200            | 昉   |
|     |          | 重庆                | 811 | 831-837           | 8411-8400            | 昉   |
|     | 贵州       | 贵阳                | 851 | 852-850           | 8611-8690            | 昉   |
|     | 云南       | 昆明                | 871 | 872-870           | 8811-8800, 8601-8600 | 昉   |
|     | 西藏       | 拉萨                | 891 | 892-895           | 8011-8080            | 昉   |
|     | 海南       | 海口                | 898 | 899-890           | 8091-8000            | 昉   |
| 09  | 陕西       | 西安                | 29  | 911-910           | 9211-9200            | 昉   |
|     | 甘肃       | 兰州                | 931 | 932-930           | 9411-9400            | 昉   |
|     | 宁夏       | 银川                | 951 | 952-954           | 9611-9640            | 昉   |
|     | 青海       | 西宁                | 971 | 972-970           | 9811-9850            | 昉   |
|     | 新疆       | 乌鲁木齐              | 991 | 992-990           | 9011-9000            | 昉昉昉 |

(4) 全国长、市话特种业务号码的编排见表 3.7。

表 3.7

特种业务号码分配表

| 号码  | 名 称昉      | 号码  | 名 称昉          |
|-----|-----------|-----|---------------|
| 111 | 备用昉       | 160 | 电话信息服务台昉      |
| 112 | 市话障碍申告昉   | 171 | 备用昉           |
| 113 | 国内人工长途挂号昉 | 172 | 国内长途全自动障碍申告昉  |
| 114 | 市话查号昉     | 173 | 国内立接制长途半自动挂号昉 |

|         |              |         |                 |
|---------|--------------|---------|-----------------|
| 115     | 国际人工长途挂号     | 174     | 国内长途查号          |
| 116     | 国内人工长途查询     | 175     | 半自动来话台群         |
| 117     | 报时           | 176     | 国内长途半自动查询       |
| 118     | 郊区(农话)人工长途挂号 | 177     | 半自动班长台          |
| 119     | 火警           | 178     | 半自动去话呼叫本端或对端人工台 |
| 110     | 匪警           | 179     | 备用              |
| 121     | 天气预报         | 170     | 国内长途全自动话费查询     |
| 122     | 备用           | 181~180 | 备用              |
| 123     | 备用           | 191~190 | 备用              |
| 124     | 备用           | 101     | 备用              |
| 125     | 国际人工长途查询     | 102     | 国际长途全自动障碍申告     |
| 126     | 寻呼           | 103     | 国际半自动挂号         |
| 127     | 备用           | 104     | 备用              |
| 128     | 郊区(农话)人工长途查询 | 105     | 备用              |
| 129     | 备用           | 106     | 国际半自动查询         |
| 120     | 急救           | 107     | 国际半自动台班长        |
| 131~130 | 备用           | 108     | 直拨受话付费和直拨       |

续表

|         |       |     |             |
|---------|-------|-----|-------------|
| 号码      | 名 称   | 号码  | 名 称         |
| 141~140 | 备用    |     | 话务员受话付费号码   |
| 151~150 | 新业务号码 | 109 | 备用          |
| 161~169 | 备用    | 100 | 国际长途全自动话费查询 |

3.4.3 编号方案

1. 字冠及首位号码的分配

- “0”为国内长途全自动电话冠号；
- “00”为国际全自动电话冠号；
- “1”为长途、本地特种业务号码或话务员座席群号码的首位号码；
- “2-9”为本地电话号码的首位号码。

2. 国内长途电话用户编号方案

国内长途电话用户号码由长途字冠、长途区号和市内电话号码等三部分组成，其编排方法如图 3.20 所示。

长途字冠在全自动接续的情况下用“0”代表、半自动接续的情况下用“17”代表。长途区号的编号方案一般采用固定号码系统，即全国各城市都编成固定的号码。固定编号制度又分为两种，一种是等位编号制，也叫闭锁编号方式，每个城市或地区的长途区号位数都相等，这只适用于中小国家。另一种是不等位编号制，又叫开放编号方案，长途区号可以由一位、二位、三位或四位组成，例如我国的长途区号编号规定：

- (1) 首都北京，区号为两位编号，编为“10”，市话号码最长 8 位。
- (2) 一级交换中心，即省间中心及直辖市，区号为两位编号，编号为“2X”，X 为 0~9 共 10 个号，分配给广州、上海、天津等 10 个大城市。如广州为“20”、上海为“21”等，这

些城市的市话号码最长为 8 位。

(3) 二、三级交换中心，即省中心、省辖市及地区中心，区号为三位，编号为“ $X_1X_2X_3$ ”， $X_1$  为 3~9 共 7 个数；分配给  $X_2$  为奇数，共 5 个数； $X_3$  为 0~9，共 10 个数，所以三位编号的总数为  $7 \times 5 \times 10 = 350$ 。如长沙为“731”、石家庄为“311”等，这些城市的市话号码最长为 7 位。

(4) 四级交换中心，即县中心，区号为四位，编号为“ $X_1X_2X_3X_4$ ”，其  $X_1$  为 3~9 位； $X_2$  为偶数； $X_3$  和  $X_4$  都为 0~9，所以这四位编号可编号码总数为  $7 \times 5 \times 10 \times 10 = 3500$ 。

我国使用的一、二、三、四位不等位区号编号的号码总容量为  $1 + 10 + 350 + 3500 = 3861$ 。3861 个区号编号容量对我国这样一个大国家来说已经足够了。用这样一、二、三、四位的不等位编号，其长途区号的平均长度又不超过三位，因而这种不等位的长途区号编号方案是适合于我国情况的。

我国根据 CCITT 的建议制定的国标 GB3971.1-83 中规定，各编号区内本地网或市内电话网的号码长度可以不相等，但长途区号加市内电话号码的总位数不得超过 10 位（不包括长途字冠“0”）。由于我国城市的市内电话号码位数随城市的大、小而不等，因而采用不等位的长途区号后可使各城市的长途号码位数大致相等，在 8~10 位之间。我国长途区号划分为 7 个编号区，详细编排如表 3.6 所示。

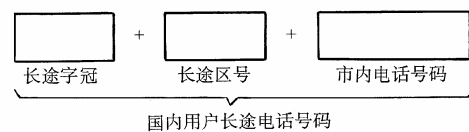


图 3.20 国内长途电话号码编排

3. 本地网及市内电话网的编号方案

大、中城市本地电话网包括市内、郊县及农村范围，它应作为一个统一的编号区。在一个统一的编号区内，郊区各局的编号应与市内各局编号统一考虑。通常在采用郊区汇接方式时，郊区各局的编号可优先采用“9”，而采用市郊汇接方式时，各局则可就近汇接进行编号。市话号码在单局制时，采用 4 位编号，在多局制可采用 5~7 位编号。

按照我国制定的编号计划，本地电话网用户进行各类呼叫拨号程序如下（假定本地电话网采用统一的 6 位编号）：

- (1) 本地电话网一个端局用户呼叫同一个本地电话网另一个端局用户时，拨号为

$$\begin{array}{ccc} P Q & + & A B C D \\ \text{局号} & & \text{用户号码} \end{array}$$

其中，P 为 2~9；Q 为 0~9；A、B、C、D 为 0~9。

- (2) 本地电话网各类端局用户呼叫本地电话网以外的用户，即长途呼叫时拨号为：

$$\begin{array}{ccccccc} O & + & X_1 X_2 \dots & + & P Q & + & A B C D \\ \text{长途全自} & & \text{长途区号} & & \text{端局局号} & & \text{用户号码} \\ \text{动字冠} & & (\text{最大 4 位}) & & & & \end{array}$$

- (3) 本地电话网各类端局用户进行国际呼叫时的拨号为：

$$\begin{array}{ccccccc} O O & + & I_1 I_2 \dots & + & X_1 X_2 \dots & + & P Q + A B C D \\ \text{国际全自} & & \text{国家号码} & & \text{对方国家国内} & & \text{端局号码 用户号码} \end{array}$$

动字冠

长途区号

4. 国际长途电话的编号方案

国际长途电话号码由两部分组成，即：国家号码 + 该国国内号码，国家号码由 1-3 位数字组成。根据 CCITT 建议，世界上各地区分为若干编号区，见表 3.8。

每个编号区分配一位号码，各编号区内的各个国家号码，应以所属编号区号码作为首位。例如美国和加拿大的国家号码为“1”，则法国、英国的国家号码分别为“33”，“44”。中国在编号区 8，国家号码是“86”。

表 3.8 CCITT 建议 E163 世界编号区

| 编 号  | 地 区     |
|------|---------|
| 1    | 北 美     |
| 2    | 非 洲     |
| 3, 4 | 欧 洲     |
| 5    | 南美和中美   |
| 6    | 南 太 平 洋 |
| 7    | 苏 联     |
| 续表   |         |
| 编 号  | 地 区     |
| 8    | 北太平洋和东亚 |
| 9    | 远东和中东   |
| 0    | 备 用     |

我国用户打国际长途电话时，先拨“00”，再拨被叫国家（或地区）号码，最后拨叫用户的国内电话号码。国际长途电话号码的格式如图 3.21 所示。

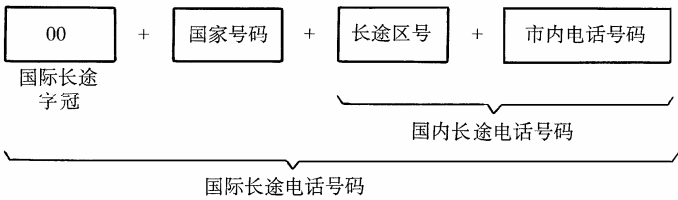


图 3.21 国际长途电话号码编排

国际台话务员国际呼叫采用：“00”-I-L-B-“ST”。其中“00”为字冠，I 为国家号码，L 为语言号码，B 为被叫用户的国内有效号码，“ST”为拨号终了标志，编码为“15”。

L 为 1 位，编码如下：

- 1 – 法语
- 2 – 英语
- 3 – 德语
- 4 – 俄语
- 5 – 西班牙语

6 ~ 8- 双方国家商定的语言

9- 备用

### 5. 特种业务编号方案

我国在国内长途和本地网还统一设置了查号、报时、火警等各种特服业务的编号，其国家标准规定的特服业务编号是：1XX，其 X 的数值范围是 0 ~ 9。我国长、市话特种业务号码参考表 3.7。

#### 3.4.4 编号容量、期限及升位

一定的编号位长规定着一定的容量极限，理论上一个市话网编号位长为  $n$  时，最大的容量限制为  $10^n$ ，但是由于第一位号码的“0”和“1”都不可能作为市话用户的编号，因而实际的容量只有  $8 \times 10^{n-1}$ ，如果郊区占用“9”，则市区号码容量只有  $7 \times 10^{n-1}$ 。

CCITT 建议编号的规划为 40 年左右，但各地发展不平衡，很难硬性做出规定，但应做出发展规划，按规划阶段安排编号，并对号码升位做出考虑。如果一开始就按最大号长安排号码，会造成长时间空占许多号位，也影响拨叫接续时限；反之，如果号码不够，也会频繁升位改号，造成网络的混乱和用户的不满。

常用的改号升位办法有三种：

- (1) 加在原局号前（例如 A 变为 xA）；
- (2) 插在原局号中间（例如 AB 变为 AxB）；
- (3) 加在原局号末尾（例如 AB 变为 ABx）。

究竟采用哪种办法，这就要计算因升位引起的工程造价和工程上的安全问题。在做方案比较时应注意：要使改号的用户最少，用户号码改动的位数最少；要使改号后错接的可能性很小，在发生错叫号码时也能及时通知用户；要充分考虑施工中安全和割接的时间要短。

#### 3.4.5 移动电话用户编号方案

##### 用户交换机的分机呼叫移动电话用户

移动用户号码的前两位采用全国统一的编号“90”。在五位制的本地电话网中，移动用户号码为 90ABC；在六位制的本地网中，移动用户号码为 90ABCD；在七位制的本地电话网中移动用户号码为 90QABCD。

##### (1) 本地网内部呼叫

“0”或“9” + 90 + ABCD  
局 号      移动局号      移动用户号

##### (2) 长途呼叫

“0”或“9”+ “0”+ XX + 90 + ABCD  
长途全自    长途    移动    移动用户号  
动字冠    区号    局号

长途区号加移动局号和移动用户号最长为 10 位。

##### (2) 用户交换机分机用户呼叫无线电寻呼机用户采用特服号“126”，接到无线寻呼台。



### 3.5

一个通信网络建设费用，如线路设备、交换设备、机房和地产费等基建费用，及其日常经营管理费用，如职工工资、设备维修以及电源消耗等，都必须由经营管理部门从用户的纳费中支付。用户承担的费用都应与他提供服务有关的上述各项费用成比例才是合理的。一个好的计费制度是使通信系统的投资得到适时的回收，系统得以正常维护和运行的重要条件。合理的收费可以使系统的用户和经营者同时获益，从而促进通信业务的迅速发展。目前，一般采用的收费方式是：

- (1) 安装用户话机并将其接入网内的初装费用；
- (2) 年租费或月租费；
- (3) 计時計次的通话费用。

用户分担的基建投资费，或者归入初装费，或者归入月租费的一部分。网络即使在空闲时也需要管理费用，这些费用都应包括在租费以内。与话务量成正比的那部分基本建设费用和日常维护管理费用都应从用户的通话费用中收回。

一个通信系统，对应用于不同类型的呼叫业务和不同的入网方式，可采用不同的计费方式。

#### 3.5.1 自动计费方式简介

##### 1. CAMA 方式

CAMA (Centralized Automatic Message Accounting system) 称为集中式自动电话计费方式，一般在用户进行长话通话时由发端长途局进行计费。当用户交换机以全自动直拨入网方式接入公用交换机的选组级时，有权用户呼叫国内、国际长途，并且用户交换机具有向公用交换局（市话局和长途局）发送主叫用户分机号码及主叫类别的功能时，才采用由长途局进行 CAMA 集中计费方式。

当用户交换机某分机用户进行长途呼叫时，接续从市话端局传至发端长途局，然后经收端长途局一直到对方受端市话局。被叫应答和挂机信号（计费开始和结束）从对方受端市话局反向逐段转发到发端长途局，后者收到被叫应答信号后，即可通过 CAMA 计费系统进行长话计费，如图 3.22 所示。

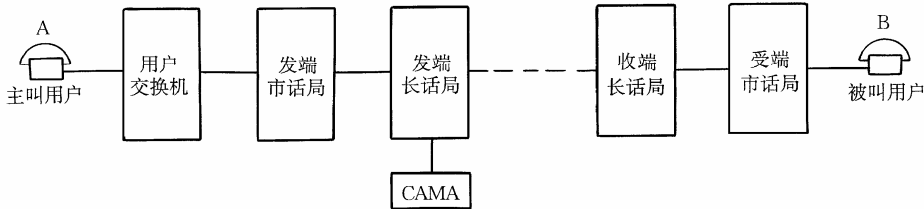


图 3.22 CAMA 计费方式示意图

##### 2. LAMA 方式

LAMA (Local Automatic Message Accounting system) 称为本地自动电话计费方式，一般用在本地网呼叫时进行的计费。对于用户交换机的呼出，由接口局采用按中继线话务量

计费或月租费。采用 LAMA 计时时，市话局不必向长话局发送主叫号码，而长话局应向发端市话局转发被叫应答和挂机信号，由发端市话局进行 LAMA 计费，如图 3.23 所示。

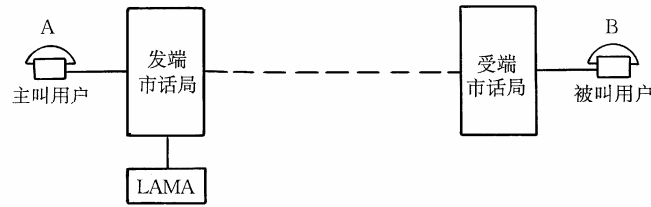


图 3.23 LAMA 计费方式示意图

3. PAMA 方式

PAMA (Private Automatic Message Accouting system) 称为专用自动电话计费方式，也称用户交换机计费方式，一般用在对用户交换机分机用户的计费。用户交换机分机用户进行国内、国际长途呼叫时，进行 PAMA 计费也由受端市话局发出被叫应答信号和挂机号，最后传送至用户交换机 (可以是 a、b 线反极信号，也可以是局间线路信号，由入网方式和信号方式而定)，如图 3.24 所示。

PAMA 计费包括以下内容：

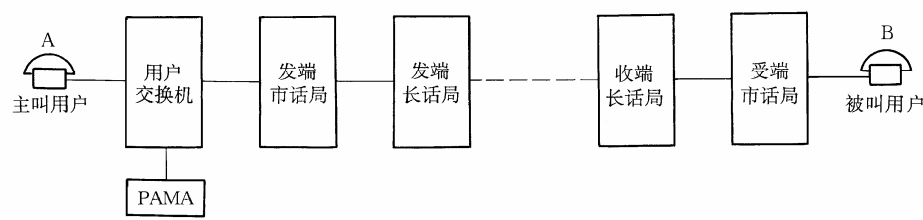


图 3.24 PAMA 计费方式示意图

(1) 对分机用户呼叫作详细记录，记录内容如下：

每次通话起止时间 (××时××分××秒)、日期、主叫类别、主叫用户分机号码、中继线号码、被叫用户号码、国家代码、长途区号、局号和全部用户号码及费率。

- (2) 计费内容可由人机命令或附加的计费计算机自动定时结算，打印输出话费清单。
- (3) 可以按时间关系分为白天全价，夜间半价的方式计费。

3.5.2 市话计费方式

1. 按次收费

按用户的通话次数收费，最简单的办法是在每条用户线上装一只表 (通话计数器)，每当被叫用户应答一次就运转一次，记数结果就作为收费的依据。

2. 复式收费

决定话务量的要素是通话次数及每次通话的持续时间，所以单纯按次计费也不尽合理。通常采用的办法是复式计费方式，其计费方案是按通话持续的时长和通话距离计费，即 LAMA 方式。市话交换机的计时电路就装在监视设备里，它由公用脉冲发生器发出的周期性脉冲来操作，在通话过程中，每隔一定的间隔就在主叫用户计费表中记录一次 (例如，

每 3 分钟记一次), 这样, 通话的次数与每次通话时间的长短均统一由总的累计次数来衡量。

另外, 电信网承担的话务量在一天的 24 小时内并不是均匀的, 而所需要的交换设备和中继设备是由忙时话务量的等级而定的。所以, 在非忙时的设备就显得比较富余。为此, 一方面可以限制高峰时的通话需求, 另一方面可以鼓励非高峰时的通话。所以, 收费率通常是随时刻而改变的, 这可用时钟控制方式改变费率系数。

### 3.5.3 长话计费方式

长途通话的计费视通话距离和通话时间而定, 一般采用以下两种方式:

#### 1. 人工计费

一种是在人工交换台上装有专用数字式电钟, 每次通话在话单上记录开始通话、通话完毕时间, 然后由人工根据时间和距离来计算应付话费。

另一种是在长话人工交换台上每付连接线路上装一个计时器, 在用户开始通话时由话务员人工启动, 话终时自动停止记时, 能用数字把通话时间显示出来, 然后由人工计算话费。

#### 2. 自动计费

国内长途自动电话只对主叫用户计费。长途半自动电话在话务员协助下可以对被叫用户或第三方用户计费。长途计费也按通话距离和通话时长进行计算, 通常可以在发端长话局计费。采用自动计费设备可自动记录与通话有关的详细数据, 如主叫号码、被叫号码、通话日期与通话时长等, 从而开出详细的话单。有关计费数据一般用磁带作为外存来保存。目前长话自动计费有 LAMA 和 CAMA 两种方式。

### 3.5.4 用户交换机的计费

(1) 用户交换机的计费方法分为交换机内部分机间呼叫的计费, 用户分机呼叫本地网用户的计费以及用户分机呼叫国内、国际长途用户的计费。

(2) 有效计费时间的计算是从被叫用户应答开始至主叫分机用户挂机的延续时间为有效时间。若被叫用户先挂机, 而主叫用户久不挂机, 则有效时间是从被叫用户应答开始至被叫挂机后 90 秒自动拆线为止。

(3) 用户交换机分机用户之间内部呼叫及对外采用 DOD1+DID 入网方式时的呼叫需要对分机用户进行收费时, 采用 PAMA 计费方式。

(4) 呼叫本地网内用户的计费由接口端局对用户交换机的中继线采取复式计费方式计费。即按距离、时间原则计费。在没有条件进行复式计次计费的地方, 暂可采用月租费或单式计次方式作为过渡。

(5) 呼叫国内、国际长途用户时由长途局采用 CAMA 方式集中计费。对于用户交换机需对用户分机立即收费的可以采用 PAMA 方式或由公用网长途局立即通知话费方式中的任一种。

当用户交换机无 PAMA 计费功能, 而要求对分机用户进行立即计费时, 可由公用网的长话局立即通知话费方式进行计费。有以下四种方式:

#### (1) 电话打印方式

在用户交换机处设电传打印机, 由长话局的专用线传送信息, 启动电传机打印话单。

#### (2) 脉冲计次方式

在用户交换机备有专用话费计次表时,由长话局计费设备通过原通话电路向计次表送计费脉冲。用户交换机设置脉冲计次表,用以接收由长话局送来的计次脉冲,用户交换机与市话端局采用 PCM 数字中继线时,可以采用 PCM 数字信号送计费脉冲,若采用模拟中继线时,可采用 12kHz 或 16kHz 的计费脉冲。

#### (3) 屏幕显示器显示方式

用户交换机可以采用多功能显示器,用以接收并显示由长话局通过数据链路送过来的话费数据,也可以用打印机打印输出。

#### (4) 长话局人工通知方式

长话局话务员在每一次用户交换机或分机用户长话通话完成后,根据 CAMA 计费或人工台计费结果,用话音通知方法,通知用户交换机话务台的话务员对分机用户收费。

## 3.6 管理

### 3.6.1 网络管理的基本概念

随着网络规模的不断扩大,网络结构也变得越来越复杂。随着科学技术的发展,用户对网络应用的需求不断提高,企业和用户对计算机网络的依赖程度也越来越高。在这种情况下,企业的管理者和用户对网络性能、运行状况以及安全性也越来越重视,因此网络管理已成为现代网络技术中最重要的问题之一,也是网络设计、实现、运行与维护等各个环节中的关键问题之一。一个有效而且实用的网络每时每刻都离不开网络管理。如果在网络系统设计中没有很好地考虑与解决网络管理问题,那么这个设计方案是有严重缺陷的,按这样的设计组建的网络应用系统是十分危险的。一旦因网络性能下降,甚至因故障而造成网络瘫痪,那么这对企业将会造成严重的损失,这种损失有可能远远大于在网络组建时,用于网络软、硬件与系统的投资。因此,我们必须十分重视网络管理技术的研究与应用。

电信网络管理目的是高效利用包括线路、交换节点等在内的网络资源,疏通按预测要求的业务流量,在防止网络出现阻塞前提下应尽可能接入更多的用户。这样电信管理网络必须能够监测网络工作状态,并根据监测结果对网络采取控制措施。ITU-T 定义的电信管理网络(TMN)用于所有电信网络的支撑网络,是一种独立于电信网、而专门进行网络管理的网络。利用一个具备一系列标准接口的统一体系结构,提供一种有组织的网络结构,使各种类型的操作系统(网管系统)与电信设备互连起来以提供各种管理功能,实现电信网的标准化和自动化管理。TMN 的规模可大可小,一般来讲,TMN 总是有许多个不同操作系统,通过与电信网的若干个不同接口,接收来自电信网的信息,转而控制电信网的运行。TMN 也要利用电信网的部分设施来为其提供通信联络,两者的一般关系如图 3.25 所示。

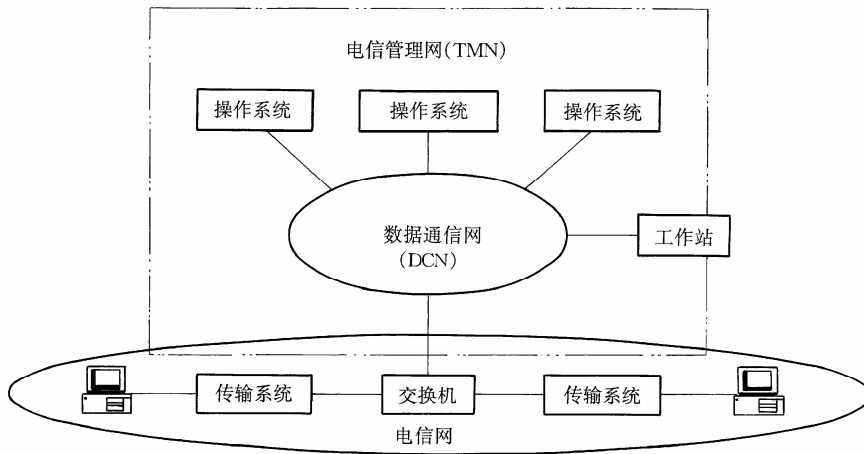


图 3.25 电信管理网络与电信网的关系

### 3.6.2 电信管理网的功能

1988 年，国际标准化组织 ISO 对网络管理功能做了规定。在 ISO/IEC7948-4 文档中，网络管理被定义为五部分；即网络配置管理、网络性能管理、网络故障管理（或称网络失效管理）、网络安全管理和网络资费管理。下面对网络管理的各项功能作扼要介绍。

#### (1) 网络配置管理

网络配置管理实现网络中基本单元的识别并对其进行控制。配置管理包括设备安装、网络配置和状态检验/控制等 3 项具体功能。其中，设备安装指 TMN 在网络设备安装、扩充或减少时和具体设备系统交换初始化数据或其他运行信息；网络配置指 TMN 配置网络中组成单元运行需要的各类数据，如对传输设备的电路调度；状态检验/控制功能是 TMN 为完成某项具体功能和具体网络设备进行交互操作。

#### (2) 网络性能管理

网络性能管理提供评价和报告电信设备运行有效性的各种操作。基本任务是收集有关网络、网络单元或电信设备运行和有效性的统计数据，以便在网络维护、规划和重组中使用。性能管理具体又划分为性能监视、业务量/网络管理和服务质量监测等 3 项具体功能。其中，性能监视是指 TMN 管理系统连续收集网络单元的性能数据，评测监视目标的工作状态，如果网络出现严重错误将由告警模块作出响应；业务量/网络管理收集来自各个网络单元的业务量数据，并定时或在某种条件下通过向网络单元下达控制指令进行重新配置电信网络，保证网络高效且可靠运行；服务质量监测是指 TMN 收集来自网络单元的服务质量的数据并支持电信网提高服务质量，如连接建立延迟、保持时间、连接的质量等参数。

#### (3) 网络故障管理

网络故障管理是用于检测、隔离和纠正电信网络及其环境的异常运行的一组功能。故障管理包括告警监视、故障定位和测试功能 3 项具体功能。其中，告警监视是指 TMN 以实时或准实时方式监视网络单元是否出现故障，当发生故障时，存在故障的网络单元应能给出有效的指示信息，TMN 据此判决故障类型、性质和严重程度；故障定位是在 TMN 利用告警功能不足以判断故障定位时，借助 TMN 内置或外接的测试系统进行附加的故障测试以获得准

确的定位信息；测试功能则是 TMN 指定特定网络单元进行特定电路或设备的分析工作，测试网络单元再将获得的测试数据传送给 TMN，或是 TMN 指定网络单元完成某种连接情况下由管理系统直接进行系统测试。

#### (4) 网络资费管理

网络资费管理是对网络服务的使用情况进行量化，并以此确定服务费用的功能。主要任务是收集计费记录 and 规定不同服务方式的收费参数，从而决定用户需要支付的费用。

#### (5) 网络安全管理

网络中的不安全因素包括多个方面如：网络“黑客”入侵、窃取用户口令、IP 地址盗用、对网络和系统的非法访问、恶意攻击和破坏、病毒感染、系统管理员或用户的疏忽大意造成的文件破坏等。

安全管理是对网络信息访问权限的控制，特别是网络上存在着敏感数据时，必须对上网用户建立访问权限设置。利用设备所具有的网络管理功能，并加以软件加密和认证等技术，如设置“防火墙”、“访问代理”、“一次性口令”、“数字签名”等实现安全管理。

网络安全管理对一个网络的安全运行是至关重要的。网络安全管理不仅对于网络运行本身极为重要，而且对于管理不善可能造成的信息安全和社会安全问题则更为重要。目前，国务院已经颁布了“中华人民共和国计算机信息系统安全保护条例”和“中华人民共和国计算机信息网络国际联网安全保护管理办法”的政府法令，从法律角度对网络系统的安全运行作出了规定。

### 3.6.3 简单网络管理协议 (SNMP)

一个大型网络系统常常是由不同厂家生产的型号各异的计算机和网络设备以及复杂的软件系统及分布式的和异构数据库等不同的操作系统和应用平台构成的，如何进行规范化管理是高效使用网络和维护网络正常运行的关键。可以想像，如果没有一种可靠高效的管理手段和协议，要管理一个大型异构网络，是绝对不可能的。所以，网络管理应必须有网络管理协议，由各个软硬件生产厂商和网络管理人员共同遵守。

目前 ISO 已经颁布的网络管理协议有 ISO/OSI 公用管理信息系统 (CMIS)，其功能较全但比较复杂，使用不便，所以至今没有获得厂商的积极支持。另外一种获得如 Cisco、3COM、HP 等在内的网络设备生产厂商以及其他厂商的积极支持、得到广泛应用的简单网络管理协议 (SNMP: Simple Network Management Protocol)。

SNMP 提供全方位的管理手段，具有统计、配置、测试、差错检测、恢复实时维护等功能。虽然 SNMP 是在 TCP/IP 基础上的网络管理协议，但可以扩展到其它类型的网络设备上。

在 SNMP 网络的管理模型中，有三个基本组成部分：

(1) SNMP 网络管理系统 NMS 和它所寄身的网络管理工作站。NMS 是一个或一组软件程序，它一般运行在网络管理站（或网络管理中心）的主机上，它可以在 SNMP 的支持下命令管理代理执行各种管理操作。

(2) 管理代理。管理代理是一种在被管理的网络设备中运行的软件，它负责执行管理进程的管理操作。管理代理直接操作本地信息库，可以根据要求改变本地信息库或将数据传送到管理进程。

(3) 管理信息库 (MIB)。MIB 是一个概念上的数据库，它是由管理对象组成的，每个管

理代理管理 MIB 中属于本地的管理对象，各管理代理控制的管理对象共同构成全网的管理信息库。

SNMP 的体系结构如图 3.26 所示。

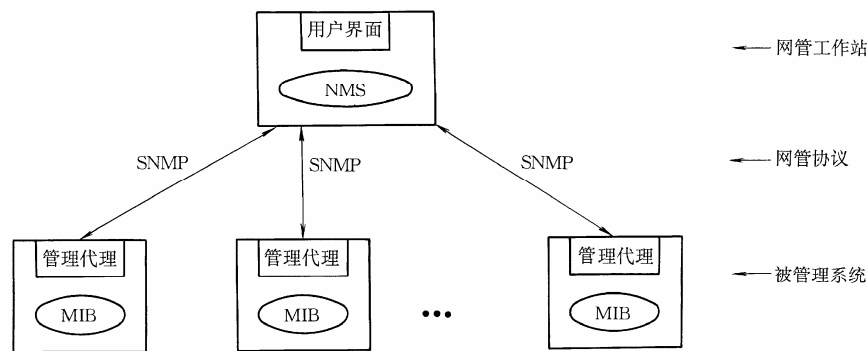


图 3.26 SNMP 的体系结构

由图 3.26 可见，在被管网络设备上存在着一个软件模块（或是一个固定 Firmware），称为该被管设备的“管理代理” (Agent)，该模块可通过软件设置为停顿或激活状态。在其运行时，可以采集它所在被管设备上的多种信息，这些信息通常以一定的格式存放在被管设备上的一个叫做 MIB 的管理信息库中。SNMP 管理协议把这些信息传输到网络管理系统 (NMS)，由 NMS 进行处理。

# 第四章 通信网的信令方式

通信网中一个完善的信令系统，是完成网络中各部分之间信息准确的传递与交换，实现任意两个用户之间可靠通信的重要保障。信令系统是通信网的神经系统，是通信网必不可少、非常重要的组成部分。

在第一章曾对信令的一些概念作了简单的介绍，本章将对局间随路数字型线路信令、共路信令网和 No.7 共路信令系统作较详细的讨论。

## 4.1

### 4.1.1 信令的概念

信令是人们实现信息传输所使用的操作命令，例如在电话通信时控制交换机动作的信号，就是信令。信令的传输要遵守一定的协议和规定，这就是信令方式。电话网中各交换局之间的信令方式主要取决于组网方式、传输方式、交换设备的制式及性能。把为了完成特定的信令方式所使用的有关通信设备的全体称为信令系统。下面以两个用户通过两地交换机进行电话接续的过程为例，说明信令的基本流程，如图 4.1 所示。

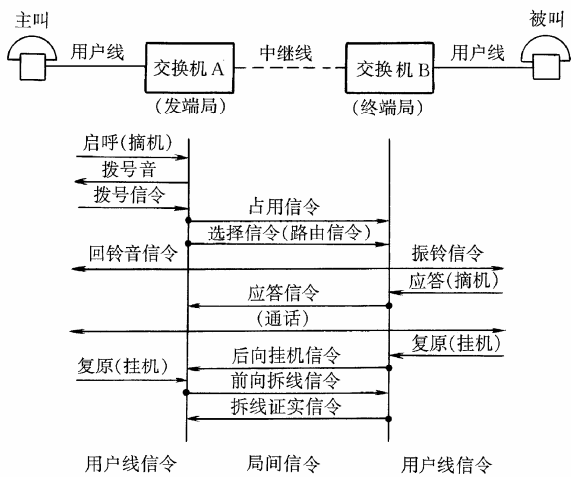


图 4.1 电话接续信令基本流程



为简化讨论，图 4.1 中采用两个长市合一的交换机。这样，用户线可以直接连接到长途中继线上，而一般情况下市话用户要经过市话和长途两个交换机，才能接到长途中继线上。

首先，主叫用户摘机，发端交换机 A 收到主叫用户的摘机信号后，向主叫用户送拨号音，主叫用户听到拨号音后开始拨号，将被叫号码送到发端交换机 A。

发端交换机 A 根据被叫号码来选择局向及中继线，并在选好的中继线上向终端交换机 B 发占用信令，即由发端交换机 A 的出中继占用终端交换机 B 的入中继。然后将选择信令，即把与终端交换机 B 相关的被叫号码送给 B。

终端交换机 B 根据被叫号码，连接被叫用户，向被叫用户送振铃信令，向主叫用户送回铃音。

被叫用户摘机应答，将应答信令送给终端交换机 B，并由终端交换机 B 转发给发端交换机 A。

双方开始通话。通话完毕时，若被叫用户先挂机，则被叫用户向终端交换机 B 送挂机信令（也称复原或后向拆线信令），并由终端交换机 B 将此信令转发给发端交换机 A；若是主叫挂机，A 向 B 发前向拆线信令，B 拆线后向 A 回送拆线证实信令，A 也拆线，一切复原。

#### 4.1.2 信令的分类

##### 1. 按信令的工作区域分类

可分为用户线信令和局间信令，参见图 4.1。

###### (1) 用户线信令

用户线信令是用户和交换机之间的信令，在用户线上传送。主要包括用户向交换机发送的监视信令和选择信令，交换机向用户发送的铃流和忙音等音频信号。其中用户向交换机发送的监视信令指主、被叫的摘、挂机信令；选择信令指主叫所拨的被叫号码，对于脉冲话机，选择信令是用直流脉冲表示的十进制数字；对双音频话机，选择信令是用两个四中取一的不同音频组合表示的数字。用户线信令少而简单，以减少用户设备的复杂程度，降低成本，因为每一条用户线都要配一套用户线信令设备。

###### (2) 局间信令

局间信令是交换机和交换机之间的信令，在局间中继线上传输，用来控制呼叫接续和拆线。局间信令按功能又可分为两类：监视信令（线路信令）和选择信令（路由信令）。

监视信令，也叫线路信令，它主要是用来监视和改变线路上呼叫状态或条件，以控制接续的进行。监视信令的主要功能包括：主叫摘机占线、被叫应答、被叫挂机（后向拆线）和主叫挂机（前向拆线）等四种情况的识别检测，并相应地把线路状态从空闲变为占用或反之。

选择信令又叫路由信令，是传输电话号码和控制接续的信令。它是和呼叫建立过程有关的，是由主叫用户送出的被叫用户地址信息启动和工作，该地址信息的全部或者一部分需在交换机之间传送。除了地址信息之外，这类信令还包括使交换机动作顺利进行的信令，如请求发送号码信令、号码收到信令及证实信令等。

##### 2. 按信令信道分类

根据信令信道与话音通路的关系，局间信令可分为随路信令和公共信道信令。

###### (1) 随路信令（CAS）

所谓随路信令就是在所接续的话路中传递各种所需的功能信令，具体地说随路信令就是

在所接续的话路中传递两局间所需要的占线、应答、拆线等监视信令及控制接续的选择信令和证实信令等。我国目前采用机电制交换机的交换局间和与这些机电制交换局相接的数字程控交换局间都是采用这种随路信令方式。

随路信令具体又分为线路信令和记发器信令。线路信令是在去话中继器和来话中继器之间通过线路信令设备在话路中传送。选择信令采用多频互控信令方式，也是通过去话中继器和来话中继器在话路中传送的。因为选择信令是在两个局的记发器之间传送的，故也叫记发器信令。信令传送完毕后就在这条话路上传送双方通话的语音信号，通话完毕又在这条话路上传送拆线控制信令，直至设备复原。如图 4.2 所示。

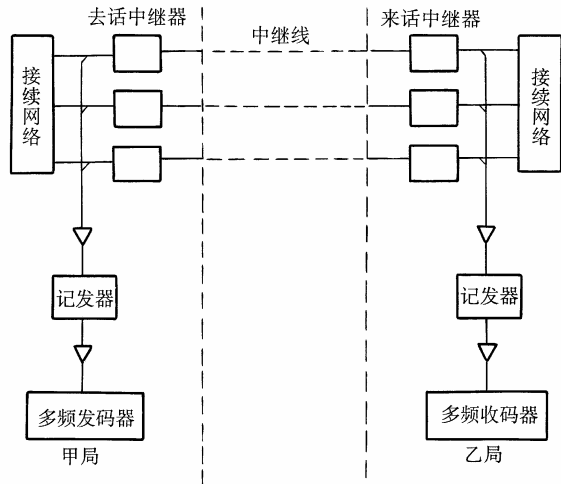


图 4.2 随路信令系统示意图

(2) 公共信道信令（CCS）

公共信道信令是以时分方式在一条高速数据链路上传送一群话路信令的信令方式，一般用于程控交换机组成的通信网。公共信道信令因通常用于局间，故也称为公共信道局间信令方式。

图 4.3 所示为公共信道信令系统，两交换局间的信令均通过一条与话路分开的信令链路传送。

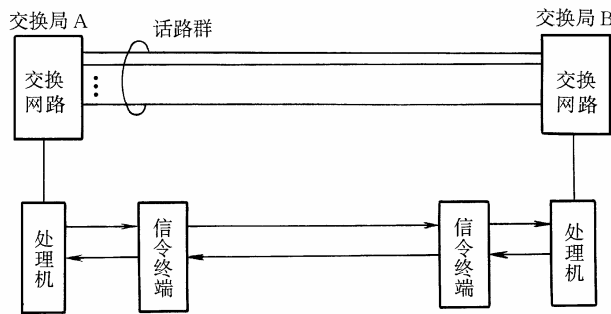


图 4.3 公共信道信令示意图

公共信道信令的优点是：信令传送速度快，具有提供大量信令的潜力，具有改变或增加

信令的灵活性，便于开发新业务，在通话时可随意处理信令，成本低等。因此公共信道信令得到越来越广泛的应用。

为了统一局间信令，CCITT（现为 ITU-T）陆续提出并形成了 CCITT No.1 至 No.7 及 R1、R2 信令系统的建议，其中 CCITT No.1 至 No.5 与 R1、R2 均属随路信令方式，CCITT No.6 与 No.7 为共路信令方式。

CCITT No.1 至 No.3 信令用于国际人工长途、半自动长途电话交换，现在很少采用。随路信令 R1 主要用于北美，R2 主要用于欧洲。CCITT No.6 信令主要为模拟信道应用而设计，但可工作于模拟与数字信道，适用于国际、国内长途与卫星电路。CCITT No.7 信令是 1980 年提出的新型公共信道信令方式。它最适用于程控数字网发展的需要。

我国国家标准(GB3379-82、GB3377-82 等)对局间直流信令和中国 No.1 信令作了规定。中国 No.1 信令是我国规定采用的一种信令方式。它最早是为长途网上使用而设计的，以后逐步推广到本地网。

中国 No.1 信令分为线路信令和记发器信令两部分：

线路信令在线路设备（中继器）之间传送，主要是一些线路监视信令，它反映中继线上的状态，控制接续的进行。由于每条中继线要配备一套线路设备，因此为了降低成本，希望线路信令尽可能简单一些，要传输信令的种类也尽量少一些。中国 No.1 线路信令有三种形式：

- (1) 直流线路信令。它主要用在实线中继线上。
- (2) 带内单频脉冲线路信令。它主要用在载波电路上。
- (3) 数字型线路信令。它主要用在 PCM 时分复用传输线上。

记发器信令是在记发器之间传送。因记发器是公用设备，数量较少，故可以做得复杂一些，传送的信令种类多一些。记发器信令主要是传送各种选择信令和其它一些业务信令。

下面主要介绍局间数字型线路信令。

#### 4.1.3 局间数字型线路信令

当局间中继采用 PCM 传输系统时，局间线路信令应采用数字型，即以 0、1 的组合代码表示不同的线路状态。

##### 1. PCM 帧结构

对于 PCM30/32 路基群系统，一帧有 32 个时隙（TS0-TS31），每个时隙为 8bit，每帧 TS0 传送帧同步信号、帧失步告警信令；TS1-TS15 与 TS17-TS31 传送 30 路话音信息；而 TS16 用于传送各话路相应的随路线路信令。由于每话路的线路信令需占 4bit，因而为提供 30 路线路信令的传送容量，应采用复帧结构。每一复帧由 16 帧组成，分别记作 F0~F15，在第 0 帧（F0）的 TS16 传送复帧同步信号、复帧失步告警信令和备用位，其余 15 帧（F1-F15）的 TS16 以 4bit 为单位，分别传送 30 路各自的线路信令代码。具体分配如图 4.4 所示。

F0 帧的 TS16 用来传送复帧同步信号和复帧失步告警信令；

F1 帧的 TS16 传送第 1 话路和第 16 话路的线路信令；

F2 帧的 TS16 传送第 2 话路和第 17 话路的线路信令；

.....

F15 帧的 TS16 传送第 15 话路和第 30 话路的线路信令。

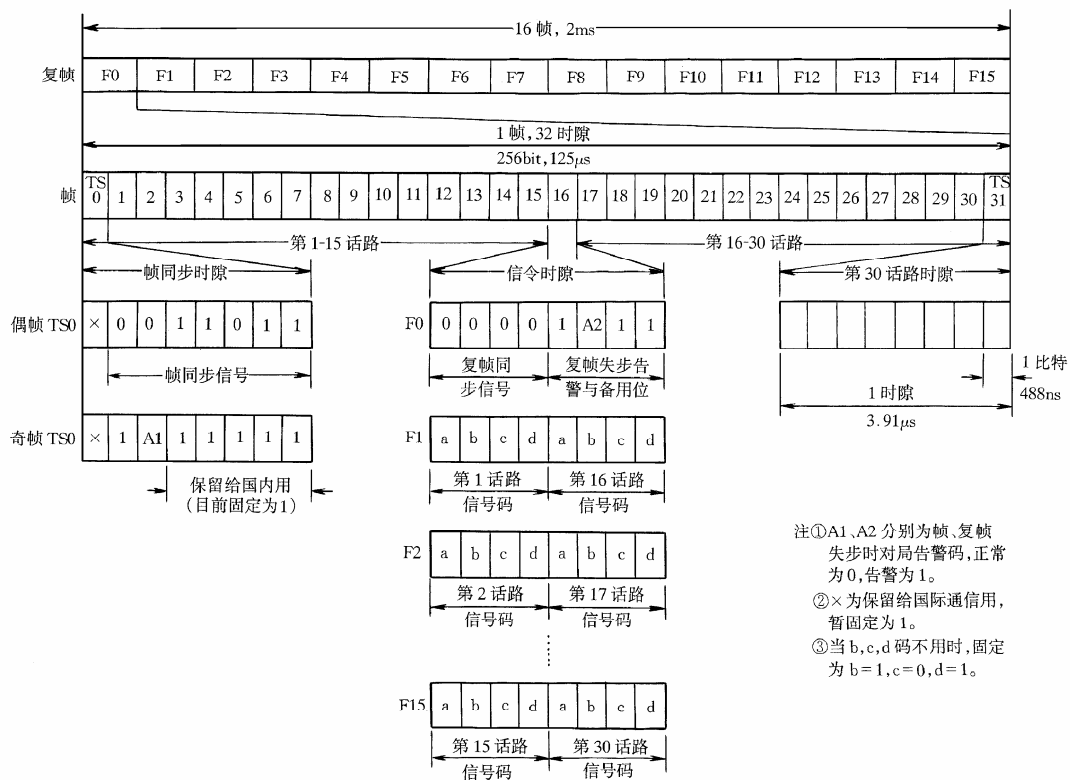


图 4.4 PCM30/32 路帧结构

2. 信令编码

数字型线路信令分为前向信令和后向信令。前向信令为  $a_f$ 、 $b_f$ 、 $c_f$ ，后向信令为  $a_b$ 、 $b_b$  和  $c_b$ ，各信令编码含义如下（详见国标 GB3917.2-83）：

前向信令中的  $a_f$  表示发话交换局状态的前向信令。

- $a_f=0$ ，主叫摘机（占用）状态；
- $a_f=1$ ，主叫挂机（拆线）状态。

$b_f$  码表示故障状态的前向信令：

- $b_f=0$ ，表示正常状态；
- $b_f=1$ ，表示故障状态。

$c_f$  码表示话务员再振铃或强拆信令：

- $c_f=0$ ，表示话务员再振铃或强拆；
- $c_f=1$ ，表示话务员未进行再振铃或强拆。

后向信令中的  $a_b$  码表示被叫挂机状态的后向信令：

- $a_b=0$ ，表示被叫摘机状态；
- $a_b=1$ ，表示被叫挂机（后向拆线）状态。

$b_b$  码表示受话局状态的后向信令：

- $b_b=0$ ，表示示闲状态；
- $b_b=1$ ，表示占线或闭塞状态。

$c_b$  码表示话务员回振铃的后向信令：  
 $c_b=0$ ，表示话务员进行回振铃操作；  
 $c_b=1$ ，表示话务员未进行回振铃操作。

数字型线路信令因应用环境的编码要求不同共有 13 种标志方式。我国关于市话及长话全自动局至用户自动小交换机（PABX）间 PCM 线路信令编码的标志方式如表 4.1 所示。

表 4.1 数字线路信令标志方式

| 接续状态             |                  |       | 编 码 方 式 |       |       |       |       |       |
|------------------|------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |                  |       | 前 向 方 向 |       |       | 后 向   |       |       |
|                  |                  |       | $a_f$   | $b_f$ | $c_f$ | $a_b$ | $b_b$ | $c_b$ |
| 示 闲              |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
| 占 用              |                  |       | 0       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
| 占用证实             |                  |       | 0       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 被叫应答             |                  |       | 0       | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     |
| 复<br>原<br>方<br>式 | 主<br>叫<br>控<br>制 | 被叫先挂机 | 0       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  | 主叫后挂机 | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
|                  |                  | 主叫先挂机 | 1       | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
|                  | 互<br>不<br>控<br>制 | 被叫先挂机 | 0       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
|                  |                  | 主叫先挂机 | 1       | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
|                  | 被<br>叫<br>控<br>制 | 被叫先挂机 | 0       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |
|                  |                  | 主叫先挂机 | 1       | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  | 被叫后挂机 | 1       | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                  |                  |       | 1       | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     |

3. 局间中继信令接口配合方式

当局间中继采用 PCM 传输方式时，若在程控数字交换局之间采用数字线路信令，则接口方式比较简单，通常可利用 PCM 基群线路终端进行连接，借助 TS16 传送前向或后向线路信令。若在程控数字交换局与机电式模拟交换局之间采用数字线路信令，则需要原机电交换机出入中继器与 PCM 复用设备间增加信令转换器，实现模拟信令与数字信令的转换。目前主要使用两种接口配合方式：a、b 线方式与 E、M 线方式。

(1) a、b 线接口方式

a、b 线接口方式是在原机电式交换机出入中继器基础上，在模拟中继器与 PCM 设备间

插入信令转换器。通过 a、b 线实现中继器与信令转换器的连接，将 a、b 线上的直流状态线路信令转换为 PCM TS16 数字信令代码或进行其逆变换，如图 4.5 所示。

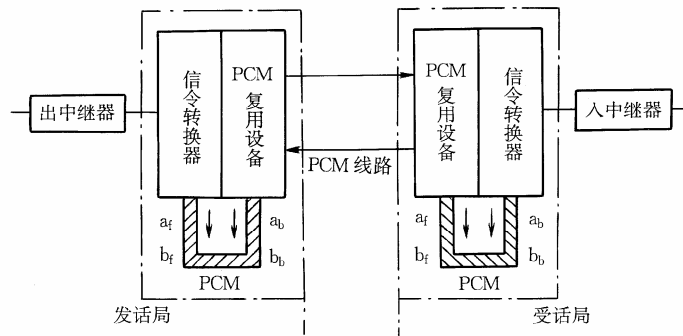


图 4.5 a、b 线接口方式

模拟局内采用 a、b 线接口设备后，原有出、入中继器不作任何改动，只在中继器与 PCM 设备之间加装一个信令转换器，由它完成信令的 A/D 或 D/A 转换。

#### (2) E、M 线接口方式

E、M 线接口方式也要在机电交换机模拟中继器与 PCM 设备间增加信令转换器，但却是通过附加的 E 接收线和 M 发送线实现中继器与信令转换器的连接，将表示线路信令的 E、M 线把状态转换为 PCM TS16 对应的数字信令代码或进行其逆变换。实际上经常需要采用 2~3 对 E、M 线 ( $E_1$ 、 $M_1$ ， $E_2$ 、 $M_2$ ，……) 表示数字信令码，如图 4.6 所示。

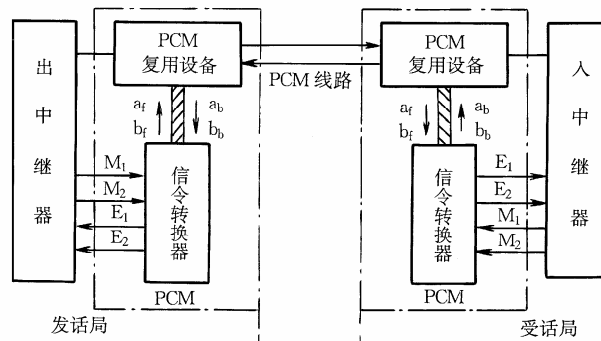


图 4.6 E、M 线接口方式

采用 E、M 线接口方式需改动中继器，但信令转换器的电路比较简单、经济，且便于维护。

根据我国的具体情况，纵横制市话局可以采用 a、b 线或 E、M 线接口方式，但应尽量采用 E、M 线接口方式；自动长话局规定使用 E、M 线接口方式；而程控局可直接采用 PCM 数字接口与程控局连接（可参看国家标准 GB3971.2-83）。

## 4.2 No.7

公共信道信令有 No.6 和 No.7 两种方式。No.6 信令主要用于模拟网，故目前很少使用。No.7 信令方式的速率是 64kbit/s，适合于数字网的信令方式，因此目前主要使用的是 No.7 信令方式。

No.7 信令的研究始于 1973 年，并于 1980 年第一次正式提出 No.7 信令的建议（1980 年黄皮书）。以后经过 1984 年的红皮书，到 1988 年的蓝皮书，基本完成了电话用户部分的研究，并在 ISDN 用户部分（ISUP）、信令连接控制部分（SCCP）、事务处理能力（TC）三个领域取得重大进展。1983 年的白皮书继续对 ISUP、SCCP、TC 作深入的研究。

中国在 80 年代中期开始了 No.7 信令系统的研究和应用。1985 年北京、广州、天津等大城市首先在同一制式的交换机间采用了 No.7 信令。1986 年原邮电部颁发了《我国国内市话网 No.7 信令方式技术规范》（暂行规定）（在 CCITT 黄皮书建议基础上开发的）。1987 年，北京对三种不同制式的交换机 E-10B、S1240、AXE10 的 No.7 信令系统进行了联试，并在此基础上开通了 No.7 信令系统。1990 年，我国原邮电部制定了《中国国内电话网 No.7 信令方式技术规范》（暂行规定），1993 年 12 月发布了《No.7 信令网技术体制》（暂行规定），1994 年 5 月发布了《中国国内电话网 No.7 信令方式测试规范和验收方法》（暂行规定）。

### 4.2.1 公共信道信令的优点

通信网中采用的信令方式与通信网中交换机的形式密切相关。随着数字交换机和数字传输技术的引入，随路信令方式因信令传递速度慢、信令容量有限、不能传送管理信令等一些缺陷，使其在使用上受到了一定的限制。

有效的办法是在交换局间提供一条高速数据链路，以数字方式复用。这样一群电路（几十条至几百条）以时分方式共享一条公共信令链路，使得两个交换局间的所有信令均通过一条与话音分开的信令链路传送，从而取代了随路信令。在通信网中使用公共信道信令，具有很大的优越性，即

- (1) 信令传送速度快。减少了呼叫建立时间，对远距离长途呼叫，它可以使拨号后时延缩短到 1 秒钟以内。这不仅提高了服务质量，还提高了传输设备和交换设备的使用效率。
- (2) 具有提供大量信令的潜力。这有利于传送各种控制信令，如网管信令、集中维护信令、集中计费信令等，并有可能发展更多的新业务。
- (3) 统一了信令系统。随路信令通常是针对某一网路的专用信令，而公共信道信令是一个通用的信令系统，有利于在 ISDN 中应用。
- (4) 信令系统与话音通路完全分开，可以很方便增加或修改信令，并可在通话期间随意地处理信令。
- (5) 信令设备经济合理。随路信令系统中，每条话路都必须配备一套相应的线路信令设备。记发器信令设备虽可为多条话路公用，但其使用效率不高。公共信道信令的一条高速数据链路要传送成百上千条话路的信令，每条话路不再配备自己专用的信令设备，降低了信令设备的总投资。

另外，针对上述的优点也对共路信令提出了一些特殊的要求，即：

- (1) 由于信令链路利用率高，一条链路可传送多达几千条中继话路的信令信息，因此信

令链路必须具有极高的可靠性。原 CCITT 规定, No.7 信令数据链路传送出错但未检测出的概率为  $10^{-8} \sim 10^{-10}$ , 长时间误码率应不大于  $10^{-6}$ 。

(2) 信令系统应具有完备的信令网管理功能 and 安全性措施, 在链路发生故障的异常情况下, 仍能保证正常的信令传送。

(3) 由于信令网和通信网完全分离, 信令畅通并不意味着话路畅通, 因此共路信令系统应具有话路导通检验功能。

#### 4.2.2 No.7 信令的应用

##### (1) No.7 信令的主要应用

公用电话交换网 (PSTN), 综合业务数字网 (ISDN), 电路交换数据网, 交换局与网络数据库、业务控制点间的信息传递, 移动通信 (公共陆地移动网), 网络的操作、管理和维护。

##### (2) 使用 No.7 信令会遇到的问题

① 不同制式交换机互通 No.7 信令时的配合。我国的程控交换设备制式繁多, 各制式交换机参照 No.7 信令规范的版本不同, 对规范的理解也不同, 使得它们互通 No.7 信令时存在许多问题。

② 新、旧规范的配合问题。由于旧规范中信令点编码为 14bit, 新规范信令点编码为 24bit。如在北京、南京、上海三个长途局间试开 24bit 信令点编码的 No.7 信令; 而在广东省内长途网已开放 14bit 直联方式的 No.7 信令, 所以, 存在 14bit 向 24bit 的过渡问题。

③ 数字同步网是 No.7 信令网正常运行的保证, 而我国的数字同步网建设目前才刚刚起步。因此, 现在要加快我国数字同步网的建设, 做好 No.7 信令系统的测试工作, 继续在大、中城市本地数字网中试验, 实施 No.7 信令系统, 建设本地二级信令网, 并尽快在数字长途网部分实现 No.7 信令方式, 以便早日建成省内以至全国的 No.7 信令网。

④ No.7 信令网的一些相关技术体制还未制定。因此, 目前正在加紧研究制定包括 ISDN 用户部分 ISUP、信令连接控制部分 SCCP、事务处理能力 TC 在内的新的国内规范。

##### (3) 中国 No.7 信令技术规范特点

1990 年 8 月, 正式颁布了中国 No.7 信令系统规范, 其主要特点是:

① 目前, 我国的 No.7 信令系统只在电话网中使用, 即只采用消息传递部分 (MTP) 和电话用户部分 (TUP)。

② 制定了我国国内电话网专用的信令格式和编码, 即采用 24 比特统一编码方式。

③ 制定了我国电信网专用的 No.7 信令与中国 No.1 信令配合规范。

④ 增加了一些我国国内电话网专用的信令消息。

## 4.3 No.7 系统的基本

### 4.3.1 基本功能结构的划分

No.7 信令系统是一个提供国际标准化的通用信令系统。其通用性决定了整个系统必然包含许多不同的应用功能, 而且结构上应该易于未来应用功能的灵活扩展。因此, No.7 信令系



统区别于其它任何信令系统的一个重要特点就是采用了模块化的功能结构，实现在一个系统框架内多种应用并存的灵活性。对于一种应用来说，只用到系统的一个子集。

根据这一构思，No.7 信令系统的基本功能级结构分为两部分，如图 4.7 所示。

(1) 公共的消息传递部分 (MTP)

消息传递部分 (MTP) 的全部功能就是作为一个传送系统，在正在通信的用户功能位置之间保证信令信息无差错、不丢失、不错序、不重复的可靠传递。MTP 分为三个功能级，即信令数据链路，信令链路控制和信令网功能。

(2) 适合不同用户的独立部分 (UP)

用户部分 (UP) 包括电话用户部分 (TUP)、数据用户部分 (DUP) 和 ISDN 用户部分 (ISUP) 等。这里“用户”一词指的是任何 UP 都是公共的 MTP 的用户，都要用到 MTP 传递功能的支持。用户部分为第四功能级。

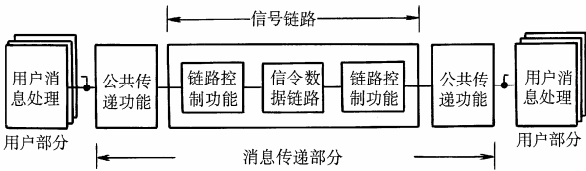


图 4.7 No.7 信令系统功能划分

4.3.2 消息传递部分 (MTP) 的功能划分

No.7 信令系统的消息传递部分由三个功能级组成，如图 4.8 所示。

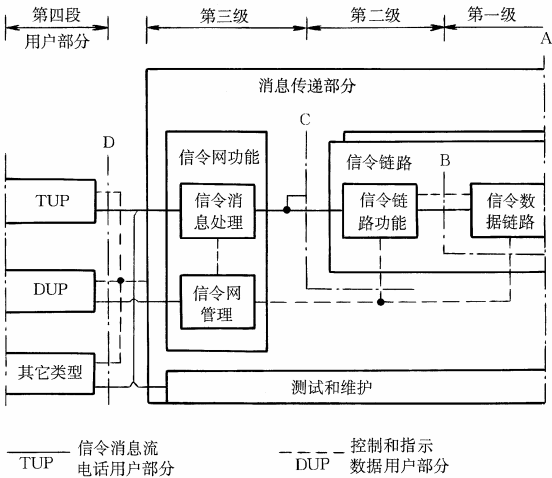


图 4.8 消息传递部分 (MTP)

(1) 信令数据链路功能 (第一级)。信令数据链路是用一种速率传递信令的双向数据通路。它定义信令数据链路的物理、电气和功能特性，确定与数据链路的连接方法。分为数字的和模拟的两种信令数据链路。在数字信令数据链路中规定采用 64kbit/s 速率。在模拟信令数据链路中采用 4.8kbit/s 速率。

- (2) 信令链路功能（第二级）。信令链路功能主要完成在一条信令链路上信令消息的传送和与传送有关的功能和过程。在这一功能级中将信令划分为信令单元。
- (3) 信令网功能（第三级）。信令网功能分为信令消息处理和信令网管理两部分。信令消息处理功能是将消息引导到适当的信令链路或用户部分；信令网管理功能用于控制消息的编路 and 信令网设备的组合或重新组合，以维持或恢复正常消息传递能力。

4.3.3 No.7 信令和 OSI 分层结构的关系

由于计算机网络技术的发展，ISO（国际标准化组织）提出了计算机通信的 OSI（开放系统互连）七层参考模型（参看第六章），用于在不同的处理机上运行的应用进程之间进行的通信，从而构成开放系统。原 CCITT 研究 No.7 信令规程和国际标准化组织 ISO 确定 OSI 参考模型是按照不同的要求而进行，因为两者的应用环境不同。No.7 信令用于电信环境，主要要求是效率；而 OSI 用于数据处理环境，主要要求是开放性。但是由于 No.7 信令的应用日益广泛，两者的关系也更密切，从而 No.7 信令逐渐增补了功能，并趋向与 OSI 的 7 层结构相一致。

OSI 参考模型是一种分层结构。每一层是若干功能的集合，可以对用户（上一层）提供服务。这些服务除了本层的功能以外，还包括本层以下各层功能所体现的服务。OSI 的七层结构如下：

- 第一层 物理层
- 第二层 数据链路层
- 第三层 网络层
- 第四层 传递层
- 第五层 会话层
- 第六层 表示层
- 第七层 应用层

后来，原 CCITT 又提出了适合以后发展的 No.7 信令系统的功能结构。图 4.9 表示了这一功能结构及其与 OSI 7 层模型的对应关系。

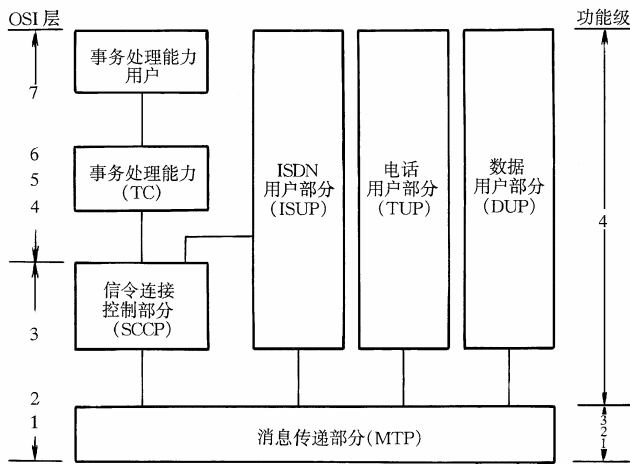


图 4.9 No.7 信令系统的功能结构与 OSI 的 7 层结构对应关系

信令连接部分 (SCCP) 在原 CCITT 红皮书中已引入, 还要进一步完善和补充。从图 4.9 可以看出, SCCP 位于 MTP 之上, 是 MTP 的一个用户部分, 相当于第 4 级的位置。同时, SCCP 又与 MTP 结合而构成 “网络服务部分”; 满足 OSI 参考模型为第 3 层服务所定义的要求。因此, SCCP 又具有它自己的用户, 目前规定的是 ISUP 和事务处理能力 (TC) 用户。

引入 SCCP 的总目标是提供在公共信道信令网中的逻辑信令连接, 并在建立或不建立逻辑信令连接的情况下, 均能传递信令数据单元。为了满足各种不同的要求, SCCP 可以提供面向连接的服务和无连接的服务。目前主要用于无连接方式。

事务处理能力 (TC) 作为 No.7 信令系统研究的一个新内容, 已在 1988 年的蓝皮书中提出了建议, 还要不断地完善和补充。如图 4.9 所示, TC 对应于 OSI 的 4~7 层。

TC 的目标是在节点间提供传送信息的方式, 以及对各种应用提供通用的服务。TC 在 7 号信令网中可以应用于交换局与网络服务中心 (NSC) 之间以及在 NSC 之间。NSC 可以是数据库、操作管理和维护中心或专用的设施单元。

## 4.4

信令数据链路是四级结构中的第一级, 是一条双向的信令传输通路, 它包括一个传输通路和接入此传输通路的交换功能, 可提供一条用一种速率传送信令的双向数据通路, 规定了该数据通路的物理、电气、功能特性及接入方法。分为数字的和模拟的信令数据链路。

4.4.1 数字的信令数据链路

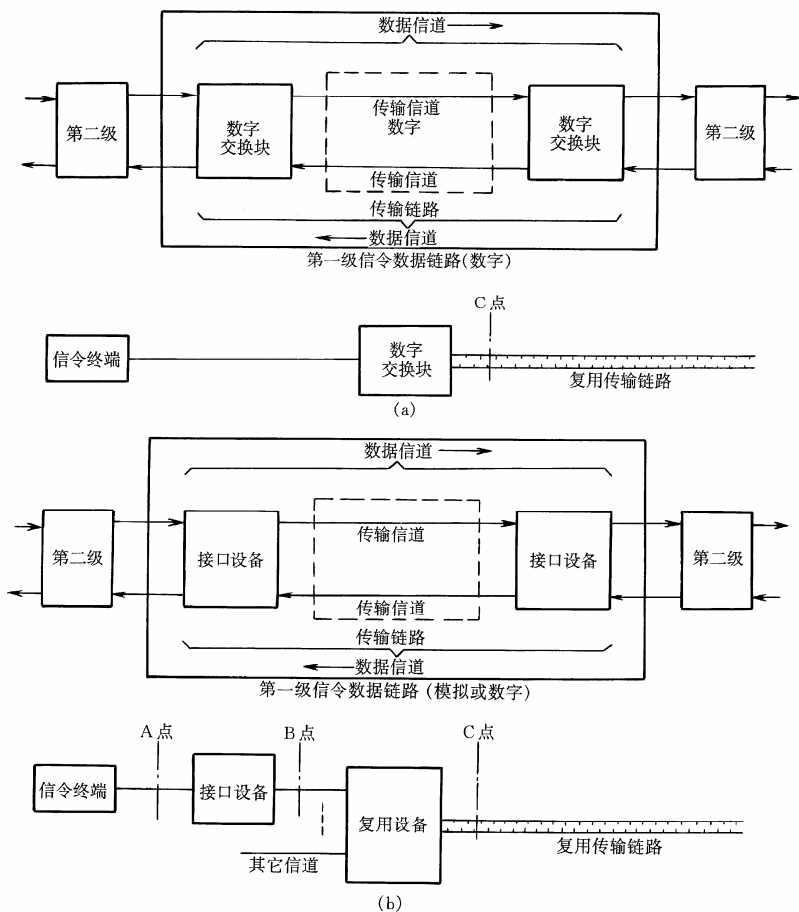


图 4.10 数字信令数据链路

采用数字的信令数据链路。我国一般利用 PCM 传输系统一次群 (2Mbit/s) 的 TS16 或二次群 (8Mbit/s) 的 TS67~TS70, 也可以利用 PCM 系统的其它时隙, 如北京市话网使用 No.7 信令是利用 PCM 系统的 TS1 作为数据链路的。在数字的信令数据链路中, 采用 64kbit/s 的速率, 与第二级 (即信令终端) 的连接有两种方式。

(1) 附加数字选择级 (数字交换块) 连接方式

如图 4.10 (a) 所示, 数字传输通道通过交换机的数字选择级与第二级相连, 并采用半永久连接方式, 即局间 PCM 传输系统的任一时刻可通过人机命令确定作为信令链路使用。为了便于信令链路管理, 目前常采用这种方式。

(2) 附加接口设备连接方式

如图 4.10 (b) 所示, 数字通道通过时隙插入设备或数据终端设备与信令终端相连。

4.4.2 模拟的信令数据链路

模拟的信令数据链路采用 4.8kbit/s 的速率, 其模拟传输信道就是 4kHz 或 3kHz 的音频模

拟传输信道。但由于交换机处理的必须是数字信号，所以应在信令终端和模拟传输信道之间设置调制解调器，完成数/模转换。

## 4.5 链路功能（第二

### 4.5.1 信令链路功能简介

信令链路功能的主要任务是将信令信息送至信令数据链路的有关功能和过程，它保证两个信令点之间消息的可靠传递。第二级功能是将上一级（第三级）来的信令信息转变成不同长度的信令单元，然后传递至信令链路。信令单元除包括信令信息之外，还包括使信令链路正常工作的控制信息。

信令链路控制包括以下几项功能：

#### (1) 信令单元定界

用标志码来区分一个信令单元的开始和结束，也就是要从信令数据链路的比特流中能识别出每个信令单元。结尾的标志码通常又是下一个信令单元的开始标志码。在某些情况下，例如信令链路过负荷，可以在相邻的两个信令单元之间产生多个标志码，信令链路终端必须能够接收和识别这些不同的情况。

标志码的码型为 01111110，必须保证在信令单元的其它部分不会出现这种码型。为此，发送端应在 5 个连“1”之后插入 1 个“0”，接收端则应在检出标志码后作 5 个连“1”后的删“0”操作。

#### (2) 信令单元定位

用来判别开通业务的信令链路是否失去定位，如果失去定位将转入信令单元差错率监视过程。若在定界过程中，收到了不允许出现的码型，如：大于 6 个连“1”、小于 6 个 8 位位组，大于  $m+7$  个 8 位位组（ $m=62$  或 272），不是 8 位的整数倍，就认为失去定位，进入信令单元出错率监视过程。

#### (3) 差错检测

差错检测的作用是发现信令单元中的比特流在发送过程中是否出错。由于传输信道存在噪声、瞬断等干扰会使信令信息发生差错，为了保证服务质量，必须采取差错控制措施。对于 No.7 信令的信令信息，一般要求误码率小于  $1.2 \times 10^{-6}$ 。差错控制包括差错检测和差错校正两个方面。

差错检测可采用附加冗余码的方法。为了对脉冲和瞬断干扰造成的突发性差错有较高的检错能力，并且易于实现，原 CCITT 决定采用循环码的检测方法。

循环冗余校验的基本原理是将要发送的信号比特序列除以一生成多项式，得到的余数就是要附加在信令信息上的校验位，在接收端仍用同一生成式去除所收到的信号比特（包括校验位），如果除尽则表示没有发生差错。但在 No.7 信令方式中，发送端除了执行以上的基本操作外，还执行了一些附加操作，以得到最后要发送带有校验位的信号消息，使得在接收端用生成多项式去除时，所得余数应为 0001110100001111。生成多项式为  $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ 。有关循环校验码的详细理论读者可参阅有关文献。

#### (4) 差错校正

No.7 信令系统采用重发信令单元的方法完成差错校正,并提供了两种差错校正方法:基本方法和预防循环重发方法。在国际网中采用这两种方法的准则如下:

基本方法是一种非互控的既有肯定证实,又有否定证实的重发纠错系统,适合于非洲国际信令链路和单向传播时延小于 15ms 的洲际信令链路;

预防循环重发方法是一种非互控的只有肯定证实,无否定证实的前向纠错方法,适合于卫星信令链路和单向传播时延大于 15ms 的洲际信令链路。

我国国内电话网将应用这两种差错校正方法:陆上信令链路采用基本差错控制方法;卫星信令链路采用预防循环重发方法。

为了实现重发功能,信令单元中含有 16bit (比特) 的差错校正字段。

#### (5) 初始定位

初始定位是链路进入业务使用前必须完成的过程,用于初始启用或发生故障后,进行恢复时所使用的链路定位过程,包括“正常”初始定位和“紧急”初始定位,也相应的提供了不同的验收周期。正常定位的验收周期较长,对于 64kbit/s 链路为 8.2s;紧急定位的验收周期较短,对于 64kbit/s 链路为 0.5s。采用何种验收周期决定于第三功能级信令网功能。

#### (6) 信令链路差错监视

为保证信令链路的良好工作,对信令链路的差错进行了监视。当差错率达到某一临界值时,就应定为信令链路故障。这个监视任务由差错率监视器来完成。

有两个链路差错率监视过程:一个用于担任业务的信令链路,称为信令单元差错率监视过程;另一个用于处于初始定位过程验收状态的链路,称为定位差错率监视过程。

#### (7) 流量控制

流量控制用来处理第二级的拥塞情况。当在第二级接收端检测到拥塞情况以后就停止对消息信令单元进行肯定和否定的证实,并且向对端发出链路状态指示“B”(忙),以便对端区分是拥塞还是故障情况。

在对端,收到指示“B”的链路状态信令单元后就启动一个计时器。如计时到仍处于拥塞状态,就认为是链路故障。

当接收端消除拥塞情况时,停止发送指示“B”的链路状态信令单元并且恢复正常过程。

#### (8) 处理机故障控制

当由于高于第二级的原因造成链路不能正常使用,就认为发生了处理机故障,这时,消息不能传送到第三级或第四级。其原因有可能是中央处理机故障,也可能是由于人为阻断了某一信令链路。处理机故障分为本地处理机故障和远端处理机故障。

当第二级收到了从第三级来的指示或已经识别出第三级故障时,则判为本地处理机故障。它发送含有处理机故障指示(SIPO)的链路状态信令单元(LSSU),并舍弃收到的消息信令单元(MSU)。这时,如果对端第二级处于正常工作状态,且对端仍在发送消息信令单元(MSU)或填充信令单元(FISU),则根据收到的本端发送的 SIPO,通过第三级开始继续发送 FISU。

当本地处理机故障消除后,则恢复发送 MSU 和 FISU,只要远端的第二级能正确接收 MSU 和 FISU,就通知第三级恢复正常。

远端处理机故障的处理过程与上述类似。

4.5.2 信令单元格式

No.7 信令方式是通过信令消息的最小单元——信令单元（SU）的形式在信令链路上传送的。由于信令消息本身的长度不相等，如摘机、挂机等监视信令通常较短，而地址信令则较长，故采用不等长的信令单元，它是由若干个 8 位位组组成的。

按照信令单元的来源不同，可分为三种信令单元。消息信令单元（MSU），用于传递来自第四级用户级的信令消息或信令网管理消息；链路状态信令单元（LSSU），用于来自第三级的链路启用或故障时，表示链路的状态；插入信令单元（FISU），亦称为填充信令单元，用于来自第二级的链路空或链路拥塞时来填补位置。如图 4.11 所示，组成这三种信令单元的各部分的含义如下：

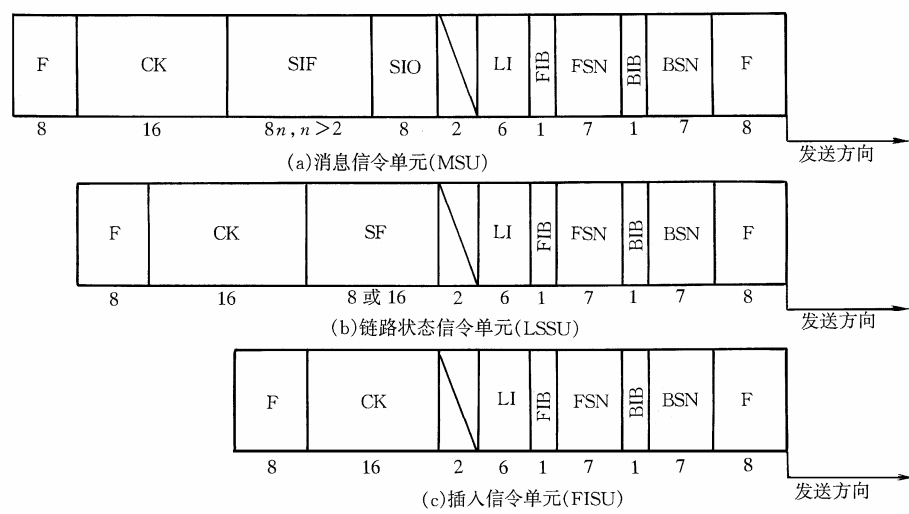


图 4.11 信令单元格式

(1) 标志码 (F)

每一个信令单元的开始（开始标志码）和末尾（结尾标志码）均有标志码。它标志信令单元的开始和结束。标志码的码型为 01111110。

(2) 长度指示码 (LI)

长度指示码用来指示信令单元的长度。具体是指示 SIF 或 SF 的字节数。LI 为 6 位码组，因此最长可指示 64 位，即 0~63 的数。三种不同的信令单元有不同的长度指示码。它们分别为：

插入信令单元（FISU）：LI=0

链路状态信令单元（LSSU）：LI=1 或 2

消息信令单元（MSU）：LI>2

在国内信令网中，消息信令单元的信息字段多于 62 个字节时，LI=63。

(3) 序号

分为前向序号（FSN）和后向序号（BSN）。前向序号是指发送的信令单元本身的序号；后向序号是指被证实信令单元的序号。

FSN 和 BSN 为 7 位码组。因此可以指示的序号为 0~127。

(4) 指示比特

分为前向指示比特（FIB）和后向指示比特（BIB）。它们和前向后向序号一起用于传送中的差错控制。

(5) 校验位（CK）

每一个信令单元有 16 位校验位，采用循环校验位。校验对象为从标志码最后一比特（不包括此比特）以后至第一位校验比特（不包括此比特）之间的信息，即 BSN、BIB、FSN、FIB、LI、SIO、SIF（或 SF）。

(6) 业务信息 8 位位组（SIO）

业务信息 8 位位组只出现在 MSU 中，分为业务指示码和子业务字段，各占 4 个码位。业务指示码说明消息与某用户部分的关系，只出现在消息信令单元中，而子业务字段则是用来指示有关用户部分的类型。业务信息 8 位位组的格式如图 4.12 所示。

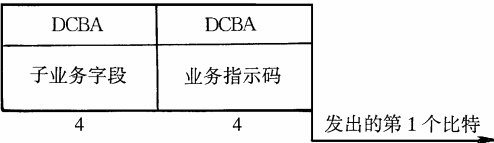


图 4.12 业务信息 8 位位组

① 业务指示码 V（SI）

业务指示码实现第三级信息处理功能完成消息的分配，以便将消息传到相应的用户部分或到消息传递部分的第三级。在某些特别应用中，可以用于路由选择。

业务指示码的分配如下：

|            |  |  |  |                          |
|------------|--|--|--|--------------------------|
| SI：D C B A |  |  |  |                          |
| 0 0 0 0    |  |  |  | 信令网管理消息                  |
| 0 0 0 1    |  |  |  | 信令网测试和维护消息               |
| 0 0 1 0    |  |  |  | 备用                       |
| 0 0 1 1    |  |  |  | 信令连接控制部分（SCCP）           |
| 0 1 0 0    |  |  |  | 电话用户部分（TUP）              |
| 0 1 0 1    |  |  |  | ISDN 用户部分（ISUP）          |
| 0 1 1 0    |  |  |  | 数据用户部分（DUP）（与呼叫和电路有关的消息） |
| 0 1 1 1    |  |  |  | 数据用户部分（DUP）（性能登记和撤消消息）   |
| 1 0 0 0    |  |  |  | } 备用                     |
| ⋮          |  |  |  |                          |
| 1 1 1 1    |  |  |  |                          |
|            |  |  |  |                          |

② 子业务字段（SSF）

子业务段包括网络指示码（比特 C 和 D）和两个备用比特（比特 A 和 B）。网络指示码的分配如下：

|         |      |
|---------|------|
| SSF：D C |      |
| 0 0     | 国际网络 |
| 0 1     | 国际备用 |
| 1 0     | 国内网络 |



## 1.1 国内备用

SSF 的 DC 比特称为网络指示码。如前所述,国际网络和国内网是两个独立的信令网,有各自的信令点编码方式。尤其是作为网间接口的网关 (gateway) 点具有两个信令点编码,因此有必要指明该消息是国际网还是国内网消息,以便识别消息中信令点编码 (目的地地址和源端地址)。同时,由网络指示码还可确定消息是和用户部分的国际应用有关还是国内应用有关。国内网备用编码的设置可以进一步区分国内网的类型,例如,10 表示长途网,11 表示市话网。目前我国在各大中城市已开通的 No.7 信令,采用的网络指示码就是 DC=11,今后将统一采用 DC=10 编码。

SSF 的 AB 为备用比特。对于国际网消息,AB 比特留作今后所有国际用户部分可能需要的公共控制信息。对于国内网消息,AB 比特可以指示消息的优先级别,用于国内信令网的流量控制,目前我国尚未使用。

### (7) 信令信息字段 (SIF)

信令信息字段由整数个 8 位位组组成,在国内信令网中,最长可达 272 个 8 位位组。信令信息字段的格式在各用户部分中规定。

### (8) 状态字段 (SF)

状态字段只出现在 LSSU 中 (由第二级生成),指示信令链路的状态,包括链路失去定位、正常定位、紧急定位、处理机故障、业务中断和忙状指示等。

## 4.6

### 4.6.1 信令单元格式中信令网功能级的标志

信令网功能级是 No.7 信令系统的第三级,它的主要功能是在信令网中信令点之间可靠地完成传送消息的任务。在信令链路和信令点发生故障的情况下,也能重新组织信令网路由,保证可靠地传送消息。信令网功能级的方框图如图 4.13 所示。

由图 4.13 看出,信令网功能级包括以下两部分:

信令消息处理:信令消息处理功能是保证一个信令点的某个用户部分产生的信令消息,能传递到指定目的地点的同类用户部分。信令消息处理功能分为消息识别功能,消息分配功能和消息路由功能三部分。

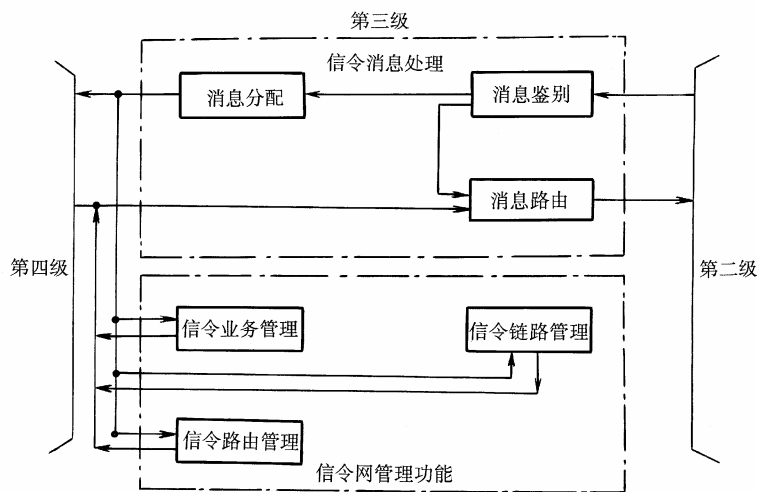


图 4.13 信令功能级框图

**信令网管理：**信令网管理功能是在遇到信令发生故障时提供信令网的重新组合的能力。信令网管理功能分为信令业务量管理、信令链路管理和信令路由管理三部分。

在 4.5 节中讨论的 No.7 信令单元格式是理解实施 No.7 信令的基础之一。下面将针对消息传递部分（MTP）中业务信息字段（SIO）和信令信息字段（SIF），介绍 No.7 信令在信令网功能级的格式标记，如图 4.14 所示。

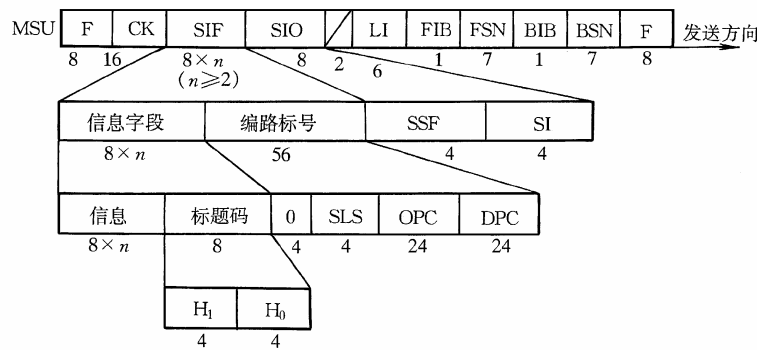


图 4.14 信令网功能级标志

- (1) 业务信息字段（SIO）
- 8 比特的 SIO 分为两部分：
- ① 4bit 的 SI 为业务字段，用于指明该 MSU 是到第三级的消息还是到第四级某一模块去的消息。本节介绍的是第三级的功能，故所用到的 MSU，其 SI=0000。
  - ② 4bit 的 SSF 是子业务字段，它的 A、B 比特备用，C、D 比特为网络指示语，用于区分国内消息或国际业务消息。
- (2) 信令信息字段（SIF）
- SIF 分为三部分：
- ① 路由标记。我国采用 56bit 路由标记，其中 24bit 的 DPC 为目的码，用于指明消息

的终点。24bit 的 OPC 为起源点码，用于指明消息的起源点；4bit 的 SLS 为链路选择字段，用于完成链路负荷分担；最后补 4 个 0，使编码标号为 8bit 的整数倍。国际采用原 CCITT 规定的 14bit 的编码计划，这时，路由标记为 32bit。

SLS 对于不同的用户部分，其结构是不同的。在电话用户中，SLS 采用电路识别码 CIC 的最低 4bit；在信令网管理消息中，SLS 被 4bit 的信令链路码 SLC 取代。SLC 表明连接目的地和起源点的与消息有关的信令链路代码。如果消息与信令链路无关或未规定另一特别的编码时，则 SLC 的编码为 0000。

② 标题码。用于区分不同的消息，相当于给每一个具体的消息起一个代号。其中，4bit 的  $H_0$  用于识别消息组，4bit 的  $H_1$  用于识别具体消息。表 4.2 为信令网管理消息标题码分配表。

表 4.2 信令网管理消息标题码分配表

| 消息组 | H1<br>H0 | 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |
|-----|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|     |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 0000     | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| CHM | 0001     |      | COO  | COA  |      |      | CBD  | CBA  | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ECM | 0010     |      | ECO  | ECA  | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| FCM | 0011     |      | RCT  | TFC  | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| TFM | 0100     |      | TFP  | *    | TFR  |      | TFA  | *    | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| RSM | 0101     |      | RST  | RSR  | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MIM | 0110     |      | LIN  | LUN  | LIA  | LUA  | LID  | LFU  | LLT  | LRT  | 昉    |      |      |      |      |      |      |
| TRM | 0111     |      | TRA  | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| DLM | 1000     |      | DLC  | CSS  | CNS  | CNP  | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 1001     | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| UFC | 1010     |      | UPU  |      | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 1011     | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 1100     | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 1101     | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 1110     | 昉    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|     | 1111     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

其中，常用的命令有：倒换命令（COO）、倒换证实（COA）、倒回命令（CBD）、倒回证实（CBA）、紧急倒换命令（ECO）、紧急倒换证实（ECA）、信令路由组拥塞测试（RCT）、受控传递（TFC）、禁止传递（TFP）、受限传递（TFR）、允许传递（TFA）、禁止目的地信令路由测试（RST）、业务再启动允许（TRA）等。

③  $8 \times n\text{bit}$  的信息，是真正要传送的可变长消息。

4.6.2 信令消息处理

1. 消息鉴别功能

消息鉴别功能接受来自第二级的消息，根据目的地码 DPC 来判定该消息的目的地是否是

本信令点。如果目的地是本信令点，将消息传送给消息分配；如果目的地不是本信令点，将消息发送给消息路由，这表示本信令点具有转接功能，即 STP 功能。

## 2. 消息分配功能

根据业务字段 SI 来判定是送到第三级的消息，还是送到第四级某一模块去的消息。

当一个消息到达某一信令点时，首先执行消息鉴别功能，将收到的 DPC 与接受点本身的编码进行比较，若一致，则是到本信令点的，接着执行消息分配功能；若不一致，则不是到本信令点，须经过本信令点转接，要执行消息路由功能。

## 3. 消息路由功能

在 No.7 信令方式中信令链路的选择要依靠 SLS 用负荷分担方式实现。SLS 负荷分担能在两种情况下实现。在同一信令链路组内信令链路的负荷分担，以及不同链路组间信令链路组的负荷分担。负荷分担方式的例子如图 4.15 所示。图 4.15 (a) 中为同一链路组内信令链路的负荷分担的例子。由于信令点 A 和 B 之间只设置了两条信令链路，因此 SLS 只用最低一位码就够了。两条信令链路编码的最低位分别是 0 和 1。图 4.15 (b) 中为不同链路组信令链路间的负荷分担。且假设邻近信令点之间只有一条链路，B-C 和 D-E 链路只在故障时使用。图中示出从信令点 A 到信令点 F 在正常情况下信令路由和负荷分担的情况。从 A 到 F 最多有 4 条链路。所以用 SLS 的最低 2 位码就够。这 4 条路由分别为：

A→B→D→F SLS=××00

A→B→E→F SLS=××01

A→C→D→F SLS=××10

A→C→E→F SLS=××11

其中 A→B 和 A→C 采用 SLS 的最低第 2 位码来实现两个信号链路组间的负荷分担。B→D、B→E、或 C→D、C→E 的不同链路组间两条链路的负荷分担使用 SLS 的最低位。SLS 共用 4 位码，因此最多可允许有 16 条信令链路间的负荷分担。

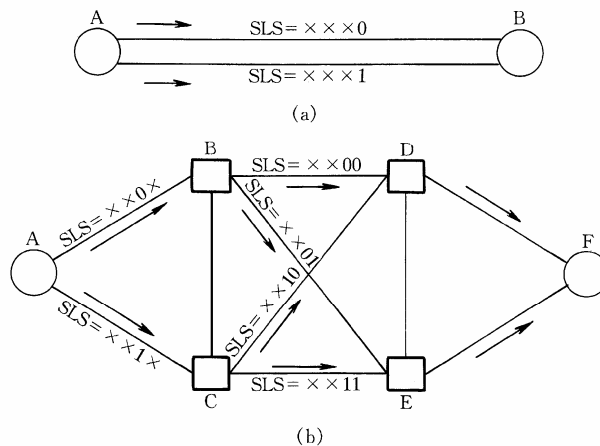


图 4.15 信令链路负荷分担示例

## 4.6.3 信令网管理

信令网管理功能包括信令业务管理、信令链路管理和信令路由管理等三部分。信令网管

理功能，是在已知的信令网状态数据和信息的基础上，控制消息路由和信令网的结构，以便在信令网出现故障时，可以完成信令网的重新组合，从而恢复正常的消息传递能力。故障形式包括信令链路和信令点不能工作，或由于拥塞时可达性降低。

### 1. 信令业务管理

信令业务管理功能是用来将信令业务从一条链路或路由转到一条或多条不同链路或路由，或在信令拥塞情况下暂时减慢信令业务。它由以下过程组成：

**倒换** 即当信令链路由于故障，闭塞或阻断成为不可用时，将有关信令业务尽可能快地转移到另外一条或多条链路上去。

**倒回** 当不可用信令链路恢复正常时，信令业务就从替换信令链路转回到正常链路。

**强制重选路由** 当一个信令点到某一个信令点目的地的信令路由变为不可用时，这时要将该信令业务转移到迂回信令路由，以恢复该地点的信令能力。

**受控重选路由** 当不可用信令路由恢复为可用时，要使其恢复至原来的信令路由。

**信令点再启动** 当某信令点成为可用时，信令点再次启动。

**管理阻断** 当某链路在短时间内过于频繁地进行倒换和倒回，或链路差错率过高时，需要向产生信令业务的用户部分标明该链路不可使用。

**信令业务流量控制** 当信令网由于网络故障或拥塞而不能传递用户部分提供的全部信令业务时，限制信令源的信令业务。

### 2. 信令链路管理

信令链路管理功能用于控制本地连接的信令链路，恢复已有故障的信令链路，以便实现信令链路的接通、恢复和断开等功能。总的目的是为了建立和保持链路组的正常工作提供手段。

根据分配和重新组成信令设备的自动化程度，有以下三种信令链路管理过程：

- ① 基本的信令链路管理过程—人工分配信令数据链路和信令终端；
- ② 信令终端自动分配的信令链路管理过程；
- ③ 信令数据链路和信令终端自动分配的信令链路管理过程。

根据目前的实际情况，我国规定暂时只使用基本的信令链路管理过程。

### 3. 信令路由管理

信令路由管理功能，用来在信令点之间可靠地交换关于信令路由的可利用信息，以便及时地闭塞信令路由或解除信令路由的闭塞。

信令路由管理包括以下的功能块：

禁止传递控制

允许传递控制

受限传递控制

信令路由组测试控制

受控传递过程控制

信令路由组拥塞测试控制

#### (1) 禁止传递控制

某一信令转接点使用过程时，其目的要通知一个或多个邻近信令点，告诉它们不能再经由此信令转接点传递有关消息。如果一个信令点收到禁止传递过程，它将实行强制重选路由。

#### (2) 允许传递控制

某一信令转接点使用允许传递过程时，其目的是要通知一个或多个邻近的信令点，告诉它们已能经此信令转接点传递有关消息。一个信令点收到允许传递消息时可以实行受控重选路由。

### (3) 受限传递控制

某信令转接点希望通知一个或多个邻近信令点尽可能停止通过此转接点的有关业务时，执行有限传递过程。信令点收到受限传递消息时实行受控重选路由。

### (4) 信令路由组测试控制

信令点通过信令路由组测试过程来确定其某目的地点的信令业务是否能通过邻近的信令转接点传送。当信令点从邻近信令转接点收到一个禁止传递消息或受限传递消息时，它每隔 30 秒向那个信令转接点发送一个信令路由组测试消息，直到收到指明目的地变成可达的允许传递消息为止。

### (5) 受控传递过程控制

国际信令网利用受控传递过程将拥塞指示从发生拥塞的信令点传送到源信令点。信令点收到受控传递消息时，让第四级用户部分减少发送的业务流量。

国内信令网中具有拥塞优先级的受控传递过程用于一个信令转接点通知一个或多个源信令点。要求它们不再将某一优先级或低于该优先级的消息发送到某目的地。若国内信令网无拥塞优先级，则利用受控传递过程将拥塞指示从发生拥塞的信令点传送到源信令点。

### (6) 信令路由组拥塞测试控制

源信令点利用信令路由拥塞测试过程，修改关于去某目的地点的路由的拥塞状态。目的是测试是否能将信令消息发到那个具有某种拥塞优先级或更高优先级的目的地点。

如果发出信令路由拥塞测试消息后，在规定时限内收到关于某目的地的受控传递消息，则信令点赋给去某目的地的信令路由组拥塞状态值，等于受控传递消息中的拥塞状态值。如果在规定时限内未收到关于某目的地的受控传递消息，该信令点将改变去那个目的地的信令路由组的拥塞状态值，使其变成等于下一个较低的值，然后重复测试过程，直到拥塞状态值下降到零为止。

## 4.7

原 CCITT 已规定的用户部分有电话用户部分、数据用户部分、ISDN 用户部分和操作维护用户部分。用户部分功能是规定各个用户部分专用的控制基本呼叫建立和释放的功能及程序等。

电话用户部分主要规定控制电话呼叫建立和释放的功能及程序。或者说电话用户部分规定电话交换局传送的信令消息内容，以决定各种将要送出的信令所处的状态（如应答、挂机等）。

电话用户部分除了可以提供用户的基本业务之外，还可提供一部分用户的补充服务。

### 4.7.1 电话信令单元格式

公共信道信令不分线路信令和记发器信令，而是将它们统一用消息信令单元来表示，如图 4.11 所示。现将电话消息信令单元的格式示于图 4.16，并表明了信令字段（SIF）及其中

的标记的格式。信令消息字段由电话标记、标题码  $H_0$ 、标题码  $H_1$  和信令消息组成。信令消息字段中的比特是 8 位位组的整数倍数。

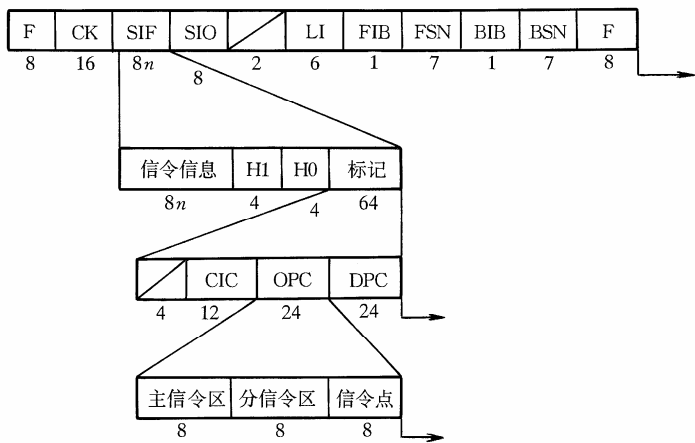


图 4.16 电话消息信令单元格式

1. 电话标记

信令网管理消息的标记部分（路由标记）为 56 比特，而电话用户部分（TUP）消息标记为 64bit，它由目的地码（DPC）、起源点码（OPC）和电路识别码（CIC）组成。DPC 和 OPC 各有 24bit，是信令点编码，图 4.16 中也已表明。CIC 有 12bit，另有 4bit 备用，编码为：0000。

国际网应用时双方协商或按预先确定的原则，给每条电路分配识别码；国内网应用时采用 CCITT 建议的原则进行分配。CIC 的重要作用，是用来识别在公共信道上传送的电话信令消息属于哪一条电路，也就是与哪一个呼叫相关。

CIC 分配原则如下：

(1) 2048kbit/s 数字通路

CIC 最低的 5bit 是话路时隙编码，其余 7bit 表示 DPC 和 OPC 信令点之间 PCM 系统的编码。

(2) 8448kbit/s 编码通路

CIC 最低的 7bit 是话路时隙编码，其余 5bit 表示 DPC 和 OPC 信令点之间 PCM 系统的编码。

(3) 34368kbit/s 数字通路

CIC 最低的 9bit 是话路时隙编码，其余 3bit 表示 DPC 和 OPC 信令点之间 PCM 系统的编码。

2. 标题码分配

$H_0$  和  $H_1$  标题码，所有的电话信令消息都包含标题码  $H_0$  和  $H_1$ 。 $H_0$  码识别某种消息组，而  $H_1$  包含一个信令编码，或在更复杂的消息情况下识别这些消息的格式。在后者情况下，它后边跟随着的是一个或多个信令编码或消息指示码，原 CCITT 蓝皮书建议的  $H_0$  和  $H_1$  的编码如表 4.3 所示。

表 4.3 标题码分配

| 消息组 | <div>H1<br/>H0</div> | 0000  | 0001 | 0010  | 0011  | 0100            | 0101 | 0110  | 0111 | 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |
|-----|----------------------|-------|------|-------|-------|-----------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|     | 000                  | 眊     |      |       |       | 国内备用眊           |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| FAM | 0001                 |       | IAM  | IAI   | SAM   | SAO             |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| FSM | 0010                 |       | GSM  |       | COT   | CCF             | 眊    |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| BSM | 0011                 |       | GRQ  |       |       |                 |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| SBM | 0100                 |       | ACM  | (CHG) |       |                 |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| UBM | 0101                 |       | SEC  | CGC   | (NNC) | ADI             | CFL  | (SSB) | UNN  | LOS  | SST  | ACB  | DPN  |      |      |      | EUM  |
| CSM | 0110                 | (ANC) | ANC  | ANN   | CBK   | CLF             | RAN  | (FOT) | CCL  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| CCM | 0111                 |       | RLG  | BLO   | BLA   | UBL             | UBA  | CCR   | RSC  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| GRM | 1000                 |       | MGB  | MBA   | MGU   | MUA             | HGB  | HBA   | HGU  | HUA  | GRS  | GRA  | SGB  | SBA  | SGU  | SUA  |      |
|     | 1001                 |       |      |       |       | 备用              |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| CNM | 1010                 |       | ACC  |       |       | 眊               |      |       |      |      |      |      |      | 眊    |      | 眊    |      |
|     | 1011                 |       |      |       |       | 国际和国内备用         |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| NSB | 1100                 |       |      | MPM   |       | 眊眊<br>国内备用<br>眊 |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| NCB | 1101                 |       | OPR  | 眊     |       |                 |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| NUB | 1110                 |       | SLB  | STB   |       |                 |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| NAM | 1111                 |       | MAL  |       |       |                 |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

注：FOT 在国际半自动接续中使用；NNC 只在国际网中使用；SSB 只在国际网中使用；ANU、CHG 暂不使用。

标题码 H<sub>0</sub> 用来区分不同的消息群，4bit 的编码分配如下：

- 0000 备用
- 0001 前向地址消息（FAM）
- 0010 前向建立消息（FSM）
- 0011 后向建立消息（BSM）
- 0100 后向建立成功消息（SBM）
- 0101 后向建立不成功消息（UBM）
- 0110 后向监视消息（CSM）
- 0111 电路监视消息（CCM）
- 1000 电路群监视消息（GRM）
- 1001 备用
- 1010 电路网管理消息（CNM）
- 1011 备用
- 1100 国内后向建立成功消息（NSB）
- 1101 国内呼叫建立不成功消息（NCB）
- 1110 国内后向建立不成功消息（NUB）
- 1111 国内地区使用消息（NAM）

表 4.3 中各种电话信令消息的含义如下：

- IAM 初始地址消息
- IAI 附加信息的初始地址消息



|     |                |
|-----|----------------|
| SAM | 后续地址消息         |
| SAO | 一个信号的后续地址消息    |
| GSM | 一般前向建立信息消息     |
| COT | 导通             |
| CCF | 导通故障           |
| GRQ | 一般请求消息         |
| ACM | 地址全消息          |
| CHG | 计费消息           |
| SEC | 交换设备拥塞         |
| CGC | 电路拥塞           |
| NNC | 国内网拥塞          |
| ADI | 地址不全           |
| CFL | 呼叫故障           |
| SSB | 用户忙（电的）        |
| UNN | 空号             |
| LOS | 线路不工作          |
| SST | 发送专用信息音        |
| ACB | 接入拒绝           |
| DPN | 不提供数字通路        |
| EUM | 扩充的后向建立不成功信息消息 |
| ANU | 应答、计费未说明       |
| ANC | 应答、计费          |
| ANN | 应答、免费          |
| CBK | 后向清除           |
| CLF | 拆线             |
| RAN | 再应答            |
| FOT | 前向转移           |
| CCL | 主叫用户清除         |
| RLG | 释放监护           |
| BLO | 闭塞             |
| BLA | 闭塞证实           |
| UBL | 解除闭塞           |
| UBA | 解除闭塞证实         |
| CCR | 请求导通检验         |
| RSC | 电路复原           |
| MGB | 面向维护的群闭塞消息     |
| MBA | 面向维护的群闭塞证实消息   |
| MGU | 面向维护的群闭塞解除消息   |
| MUA | 面向维护的群闭塞解除证实消息 |
| HGB | 面向硬件故障的群闭塞消息   |

|     |                  |
|-----|------------------|
| HBA | 面向硬件故障的群闭塞证实消息   |
| HGU | 面向硬件故障的群闭塞解除消息   |
| HUA | 面向硬件故障的群闭塞解除证实消息 |
| GRS | 电路群复原消息          |
| GRA | 电路群复原证实消息        |
| SGB | 软件产生的群闭塞消息       |
| SBA | 软件产生的群闭塞证实消息     |
| SGU | 软件产生的群闭塞解除消息     |
| SUA | 软件产生的群闭塞解除证实消息   |
| ACC | 自动拥塞控制信息消息       |
| MPM | 计次脉冲消息           |
| OPR | 话务员信号            |
| SLB | 用户市话忙            |
| STB | 用户长话忙            |
| MAL | 恶意呼叫识别           |

NNC、SSB 只在国际网中使用，FOT 在国际半自动接续中使用，ANU、CHG 在我国电话网中暂不使用。

在 ITU—T 规定的上述消息组中，可以归纳为以下 5 种电话信令：

- (1) 前向建立的电话信令；
- (2) 后向建立的电话信令；
- (3) 呼叫监视信令；
- (4) 电路和电路群监视信令；
- (5) 电话网拥塞控制信令。

可以看出，标题码  $H_0=0001$  (FAM) 和  $H_0=0010$  (FSM) 表示的前向地址消息和前向建立消息负责传送前向建立的电话信令。它主要传送如地址信令、地址性质指示码、电路性质指示码、去话回声抑制器（或回声取消器）指示码、主叫用户类型等有关呼叫建立前向传送的各种信令和指示码；标识码  $H_0$  为 0011 (BSM)，0100 (SBM) 和 0101 (UBM) 分别表示后向建立消息、后向建立成功信息消息和后向建立不成功信息消息，负责传送后向建立的电话信令。在后向建立的电话信令中，主要包括如请示主叫用户类别、主叫用户线标识和原被叫用户地址等请求型信令以及传送有关呼叫是否成功（例如传送地址全、用户闲信令表示接续成功，电路群拥塞、呼叫故障、被叫用户忙信令表示接续未成功）的信令；标题码  $H_0=0110$  (CSM) 属于电路监视信令，主要负责传送表示呼叫接续状态（如应答、挂机、拆线和释放监视）等信令；标志码  $H_0$  为 0111 (CCM) 和 1000 (GRM) 分别表示电路状态监视和电路群状态监视的信令，主要负责传送电路和电路群的闭塞、解除闭塞和复原信令。其中电路群监视消息对局间为较大电路群的监视和维护提供方便；标志码  $H_0=1010$  (CNM) 表示的电路网管理消息负责传送电路网的自动控制拥塞信息消息，以保证交换局拥塞时减少送至负荷交换局的话务量。

消息的种类很多，其格式和编码不可能一一举例，下面仅以较常用的初始地址消息 IAM 为例，介绍电话信令消息的构成。其它消息构成可查阅《中国国内电话网 No.7 信令方式技术规范》。

3. 信令消息格式举例

前向地址消息 FAM 共包括四种消息：IAM、IAI、SAM、SAO。初始地址消息 IAM 是建立呼叫发送的第一个消息，含有占用的意思，包括下一交换局选择路由时必要的地址消息和有关呼叫的选路与处理的其它消息。IAM 格式如图 4.17 所示。

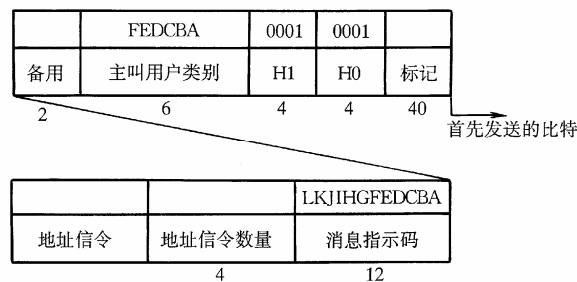


图 4.17 初始地址消息格式

每种消息中都含有标记和标题码，前已说明，现着重说明信令消息的内容和编码。

(1) 主叫用户类别

FEDCBA

- 000000 来源未知
- 000001 话务员，法语
- 000010 话务员，英语
- 000011 话务员，德语
- 000100 话务员，俄语
- 000101 话务员，西班牙语
- 000110 } 双方协商采用的语言
- 000111 }
- 001000 }
- 001001 保留
- 001010 普通主叫用户
- 001011 优先主叫用户
- 001100 数据呼叫
- 001101 测试呼叫
- 001110 备用
- 001111 公用（投币）电话
- 011111 } 备用
- 111111 }

以上的编码中，001001 在国内网中可用来指示主叫用户是国内话务员。

(2) 备用

备用字段的 2bit 是作为国际分配备用。

(3) 消息指示码

消息指示码有 12bit (A~L)，含有各种有关的指示：

HA：地址性质指示码

00 市话用户号码

01 国内备用

10 国内（有效）号码

11 国际号码

DC：电路性质指示码

00 接续中无卫星电路

01 接续中有卫星电路

10 备用

11 备用

FE：导通检验指示码

00 不需要导通检验

01 该段电路需要导通检验

10 前段电路进行了导通检验

11 备用

G：回声抑制器指示码

0 未包括去话半回声抑制器

1 包括去话半回声抑制器

H：国际来话呼叫指示码

0 不是国际来话呼叫

1 是国际来话呼叫

I：改发呼叫指示码

0 非改发呼叫

1 改发呼叫

J：需要全部数字通路指示码

0 普通呼叫

1 需要全数字通路

K：信令通道指示码

0 任何通道

1 全部是 No.7 信令系统通道

L：备用

(4) 地址信令数

初始地址消息中含有或多或少的地址信令数量，于是用 4bit 二进制码来指明消息中含有多少个地址信令。

(5) 地址信令

地址信令是一个可变长度子字段，其长度可由固定长度子字段“地址信令数”来指明。地址信令的可变长度由整数个 8 位位组组成，由于每个地址信令为 4bit，当地址信令数为奇数时，要在最后一个地址信令之后插入填充码 0000。

(6)  $n \times 8\text{bit}$  地址信令

$n \times 8\text{bit}$  的地址信令包括 10 个数字和备用, 采用 BCD 码, 即四位二进制码。若地址信令为奇数, 最后要补 4 个 0, 以凑足 8bit 整数倍。

4.7.2 信令过程

1. 概述

下面简单说明以 No.7 信令方式的电话用户部分 (TUP) 的信令信息的传送过程, 图 4.18 为本地网两个端局之间直接接续的信令流程。被叫号码假设为 PQABCD 共 6 位, PQ 为局号, ABCD 为被叫号码。全部被叫号码由初始地址消息 (IAM) 一次发送到收端局, 收端回送地址全消息 (ACM), 被叫摘机应答发应答信令 (ANC), 双方通话。话终时, 主叫挂机, 发送拆线信令 (CLF), 收端送拆线证实 (RLG)。若在重叠发送情况下, 还应考虑被叫用户地址由后续地址消息 (SAM) 传送。

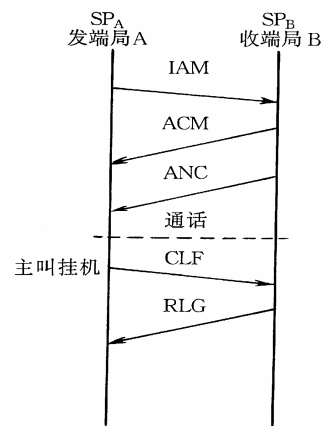


图 4.18 端局直达接续信令流程

2. 信令过程

以两个端局经汇接局转接接续为例说明 No.7 信令的传送过程。

图 4.19 表示了两个分局经汇接局进行呼叫接续时, 一次正常的信令传送过程。初始地址消息 (IAM) 或带有附加信息的初始地址消息 (IAI), 是由发送交换局前向发送的有关建立接续的第一个信令信息。IAM 包括被叫用户的全部或部分地址数字、主叫用户类别和路由控制消息。如果采用 IAI, 还可能包括主叫用户线身份等附加消息。在重叠发送情况下, IAM 或 IAI 只包含部分被叫用户地址消息, 则剩余的被叫用户地址由附加多个数字的后续地址消息 (SAM) 或由带有一位数字的后续地址消息 (SAO) 传送。

当汇接局收全被叫用户地址消息时, 向终端市话局发送 IAM 消息, 终端市话局收到 IAM 后, 确定被叫用户的状态, 当被叫用户空闲时, 发送地址全信令信息 (ACM); 汇接局收到该信令信息后, 转发 ACM 至发端市话局, ACM 使各交换局清除存储器内保存的有关此次呼叫的全部信息, 并接通话路, 再由来话交换局送出回铃音和振铃音。

被叫摘机, 发送后向应答信令 (ANC、ANN 或 ANU), 如果收到的是 ANC, 启动计费程序开始计费; 如果收到的是 ANN, 表示免费等。

当通话完毕, 若主叫用户先挂机, 发端局发送拆线信令 (CLF), 汇接局收到 CLF 后再

向终端局发送 CLF，收到 CLF 的交换局应立即释放电路，并回送释放监视信令（RLG）。若被叫用户先挂机，终端市话局要发送挂机信令（CBK），在采用主叫控制复原方式的情况下，收到 CBK 的交换局暂不释放电路，启动一定时设备，等待主叫挂机信令。若在规定时限内主叫仍未挂机，则由去话交换局自动产生和发送拆线信令。

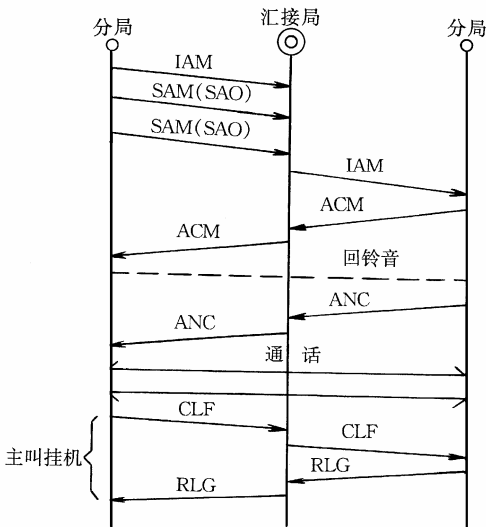


图 4.19 两个分局经汇接局的正常呼叫过程

图 4.20 表示了两个分局经汇接局接续时，不成功的呼叫过程。当终端市话局收全被叫用户地址消息时，确定被叫用户忙（市忙或长忙），发送后向用户忙信令（SLB 或 STB），汇接局转发该信令至发端市话局，发端市话局发送 CLF 信令，以下的释放复原同上所述。

当汇接局收到 IAM 时，如果汇接局发生拥塞，将向发端市话局送电路群拥塞信令（CGL）或交换设备拥塞信令（SEC），以下的释放复原过程将在发端市话局和汇接局之间进行。

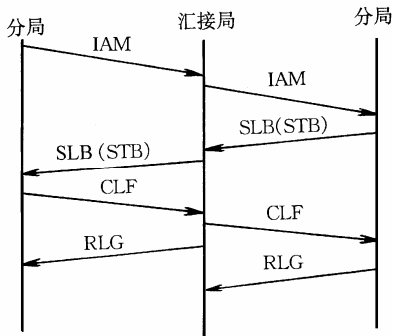


图 4.20 两个分局通过汇接局的不成功呼叫过程

3. 双向电路的同抢处理

所谓同抢，也称为双重占用，就是在双向中继电路两端的交换局几乎在同时试图占用同一电路。即一个交换局已经向对方交换局发出了初始地址消息 IAM，又收到了对方送来的 IAM，这就是发生双向电路的双向占用。发生这种现象的原因是由于 No.7 信令系统的电路具

有双向工作能力，因此存在同抢的可能性。产生同抢的主要因素取决于所谓无防卫时间，无防卫时间由以下三种因素决定：

- (1) 信令数据链路传播时间可能较长。
- (2) 由于重发引起的迟延的显著增加。
- (3) 准直联方式可能在信令转接点增加信息处理时间。

在某些情况下可能使无防卫时间相对变长，从而产生同抢的可能性增加。与单向中继相比，尽管双向中继存在着双向同抢问题，但是双向中继的利用率高等其它优点使得双向中继仍然具有很强的生命力，况且还可以采取一些有效的措施减少同抢的发生。目前使用比较多的双向同抢防卫措施有两种：第一种方法是，每个终端交换局的双向电路群采用相反顺序的选择方法，即一个交换局（信令点编码大的）采用从大到小的顺序选择电路，另一个交换局（信令点编码小的）采用从小到大的顺序选择电路。第二种方法是，将双向电路群进一步分为两个组，如所有编码为偶数的电路为一组，所有编码为奇数的电路为一组，两个相联的终端交换局分别主控其中某一组电路，这样每个终端交换局可优先接入由它主控的电路组，并选择这一组中已释放时间最长的电路（先进—先出）。另外，双向电路群的每个终端交换局当所主控的电路全忙时，可以无优先权地接入不是它主控的电路组，在这种情况下选择最新释放的电路（后进—先出）。

采用这两种方法，可减少发生同抢的机会，但一旦发生同抢，就应该采取下述方法来处理：非主控局让位于主控局。即对主控局处理的呼叫将继续完成，对收到的初始地址消息 IAM 不做处理，而对非主控局处理的呼叫将放弃占用这些电路，自动在同一路由或重选路由进行重复试呼。按照原 CCITT 规定，信令点编码大的交换局主控所有偶数电路，信令点编码小的交换局主控所有奇数电路。

## 4.8

一般情况下，当电信网使用 No.7 信令后，除原有通信网外，还形成一个独立的起支撑作用的 No.7 信令网。

信令网：逻辑上独立于通信网、专门用于传送信令的网络，它由信令点和互联的信令链路组成。一般说来，在物理上它和通信网是融为一体的。

No.7 信令网是由信令点（SP）、信令转接点（STP）和连接它们的信令链路组成的。No.7 信令网是具有多种功能的业务支撑网，它不仅可用于电话网和电路交换的数据网，还可用于 ISDN 网和智能网，可以传送与电路无关的各种数据信息，实现网络的运行管理维护和开发各种补充业务。No.7 信令网本质上是载送其它消息的数据传送系统，是一个专用的分组交换数据网。它的主要用途包括：

- (1) 电话网的局间信令，完成本地、长途和国际的自动、半自动电话接续。
- (2) 电路交换的数据网的局间信令，完成本地、长途和国际的各种数据接续。
- (3) N—ISDN 或 B—ISDN 网的局间信令，完成本地、长途和国际的电话和非电话的各种接续。
- (4) 智能网业务，No.7 信令网可以传送与电路无关的各种数据信息，完成信令业务点（SSP）和业务控制点（SCP）间的对话，开发各种用户补充业务。

4.8.1 信令传送方式

共路信令网内所说的信令方式，是指信令信息所取的通道与消息所属的信令关系之间的对应关系，即在电话网中的通话电路与信令链路的对应关系。

1. 直联方式

两个邻近信令点之间，对应某信令关系的消息，通过直接连接的信令链路组传送，称为直联方式，如图 4.21 (a) 所示。

2. 非直联方式

属于某信令关系的消息，经由两个或多个串联的信令链路传送，中间要经过一个或多个既非起源点也非目的点的信令点，称为非直联方式，如图 4.21 (b) 左图所示。

3. 准直联方式

准直联方式是非直联方式的一种特殊情况，在这种方式中，通过信令网的消息所取的通路，在一定的时间内是预先确定和固定的，如图 4.21 (b) 右图所示。

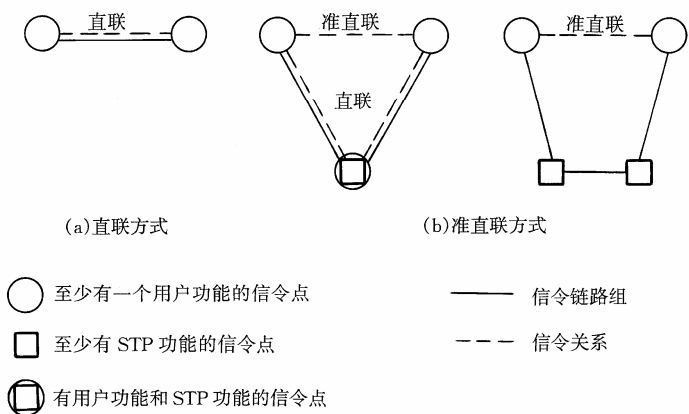


图 4.21 直联与准直联方式

由于非直联工作方式需进行动态编码，比较复杂尚未采用。因此，目前是采用直联和准直联相结合的方式，以满足通信网的要求。当局间话路群足够大，从经济上考虑合理时，采用直联方式，设置直达的信令链；当两个交换局之间的话路群较小，设置直达链路不经济时，采用准直联工作方式。

4.8.2 信令网结构

1. 信令网组成

信令网由信令点（SP）、信令转接点（STP）和信令链路等三部分组成。

信令点（SP）：通信网中提供公共信道信令的节点为信令点。信令点是信令信息的起源点和目的地，它可以是具有 No.7 信令功能的各种交换局，如电话交换局、数据交换局和 ISDN 交换局，可以是各种特服中心，如网管中心、维护中心、业务控制点（SSP）等，但也可以是只具有信令功能不具备通信业务功能的独立的信令接点。在特殊情况下，一个物理节点可以定义为逻辑上分离的两个信令点。例如，国际出入口局既是国内信令网中的一个信令



点，又是国际信令网中的一个信令点，常称为网关点。

信令转接点（STP）：信令转接点具有转接信令的功能，即在准直联工作方式时，完成从一条信令链路收到的信令信息转发至另一条信令链路的信令转接中心。信令转接点（STP）可分为两种：一种是只具有消息传递部分（MTP）功能的专用的信令转接点，称为独立的信令转接点。该信令转接点是一种高度可靠的分组交换机，是 No.7 信令网中的信令汇接点；另一种是既有 MTP 功能，又包括用户部分的具有信令点功能的信令转接点，称为综合的信令转接点。该信令转接点容量小，可靠性不高，但它可直接采用直联或准直联相结合的工作方式，传输系统利用率高，设备价格较便宜，故在组网初期只提供 TUP 业务且本身交换局容量也不大时，可采用综合 STP。独立的 STP 容量大，易于维护管理，可靠性高，可组织全部为准直联的信令网络，但它组网较复杂，传输系统利用率低，而且要求组网时采用数字数据网 DDN 或数字交叉连接设备。

信令链路：连接各个信令点、传送信令信息的物理链路称为信令链路。通常信令链路就是通信网中通信链路的一部分，它可以是透明的数字通路，也可以是高质量的模拟通路，可以有有线传输媒体，也可以是无线传输媒体。例如，光纤、PCM 中继线中的某一时隙或卫星、数字微波中的某一波道。

2. 国际信令网

世界范围的 No.7 信令网由国际级和国内级组成，如图 4.22 所示。为了便于信令网管理，国际网和国内网彼此独立，并且采用分开的信令点编码计划。国际接口局由于同时属于国际网和国内网，所以它有两个信令编码，一个为国际信令点编码，一个为国内信令点编码。从图 4.22 看出，国际和国内信令网的信令点（包括信令转接点）有下面三种类型：

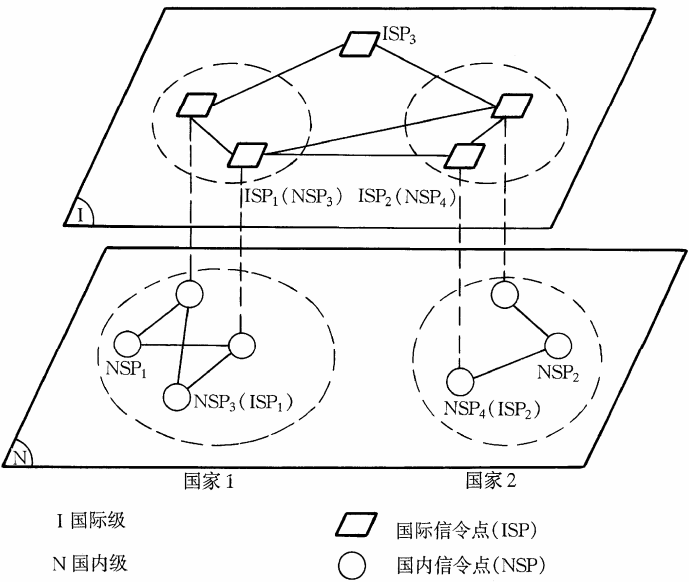


图 4.22 国际与国内信令网

- (1) 只属于国内信令网的国内信令点（NSP），例如 NSP<sub>1</sub>（信令转接点）。这种信令点编码由国内信令点编码方案制定。
- (2) 只属于国际信令网的国际信令点（ISP），例如 ISP<sub>3</sub>（信令转接点）。这种信令点编码

由国际信令点编码方案制定。

(3) 同时属于国际网和国内网的节点，兼具国际信令点和国内信令点功能，例如 NSP<sub>3</sub> (ISP<sub>1</sub>)。因此需要用两个网中的信令点编码来识别。

### 3. 国内信令网

世界各国国内信令网都采用分级的信令网。包括 SP 这一级在内，通常为两级网或三级网。级数的多少，主要与信令网所容纳的信令点数量和信令转接点可以连接的最大信令链路数量有关。信令点数量愈多，信令转接点连接的信令链路数愈少，则级数愈多。随着技术进步和处理能力的增强，以及采用独立型 STP，可使得 STP 能接入的信令链路数大为增加，从而采用较少的级数。在美国、加拿大、日本等采用了两级信令网结构，这也有利于信令转接时延的减少和可靠性的提高。

我国由于交换局所较多，并要考虑今后 40 年通信网的发展，信令网设三级较为适宜。根据原邮电部颁布的《No.7 信令网技术体制》，我国三级信令网的第一级是高级信令转接点 (HSTP)，第二级为低级信令转接点 (LSTP)，第三级为信令点 (SP)。第一级 HSTP 和它所属的 SP，第二级 LSTP 汇接它所属的 SP。

为了保证信令网的高度可靠性和可用性，No.7 信令网采用了备份的冗余度措施。结合具体情况，我国 No.7 信令网采用了图 4.23 所示的信令网结构，该信令网结构具有以下特点：

(1) 第一级 HSTP 间采用 A、B 平面连接方式。它比网状网连接简单，A 和 B 平面内各个 HSTP 之间网状相连，A 和 B 平面以成对的 HSTP 相连。

(2) 第二级 LSTP 至 HSTP 采用固定的汇接连接方式，即每个 LSTP 分别连接到分布在 A、B 平面内成对的 HSTP。

(3) 第三级 SP 至 LSTP 的连接根据具体情况可以采用固定或自由连接方式 (见图 4.24)。

(4) 每个 SP 至少应连接至两个 STP (HSTP 或 LSTP)，若连至 HSTP，应分别固定连至 A、B 平面内成对的 HSTP。

(5) 大、中城市本地信令网原则上应采用二级信令网，它相当于我国三级信令网的第二级 LSTP 和第三级 SP。为了保证大、中城市本地信令网的高度可靠性，LSTP 必须采用网状网连接方式。考虑到自由连接方式的信令网规划设计以及信令网的管理比固定连接方式复杂，所以，在大城市复杂的本地信令网中，如果缺乏运营 No.7 信令网经验，SP 至 LSTP 的连接可以考虑采用固定连接方式。

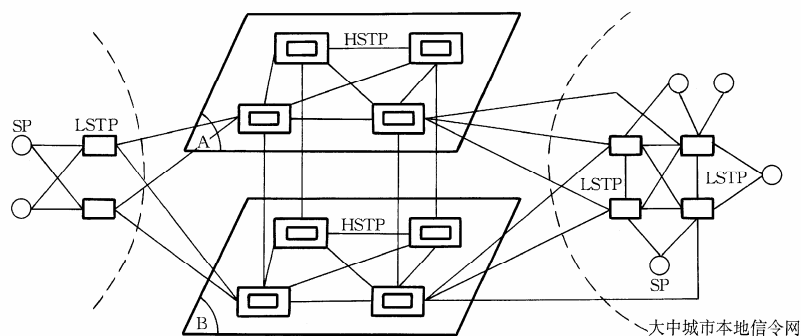


图 4.23 国内信令网结构

信令点 (SP) 与信令转接点 (STP) 的连接方式有两种：

(1) 固定连接方式：如图 4.24 (a) 所示，其特征是所有 SP 固定和本地信令区的一对 STP 相连。因此，两个信令区间的 SP 的准直联连接必定经过两次 STP 转接。这种方式的网络设计及管理比较方便，长途信令网中分信令区的连接即采用这种方式。

(2) 自由连接方式：如图 4.24 (b) 所示，其特征是 SP 可根据信令业务量的大小自由地决定与哪个 STP 相连。因此，本地信令区的 SP 可以和其它信令区的 STP 相连，两个信令区间的 SP 准直联连接可以只经一次 STP 转接。这种方式网络组织比较灵活，但是网络设计及管理比较复杂。大中城市本地二级信令网即采用这种方式，其中的 STP 一般就是汇接局。

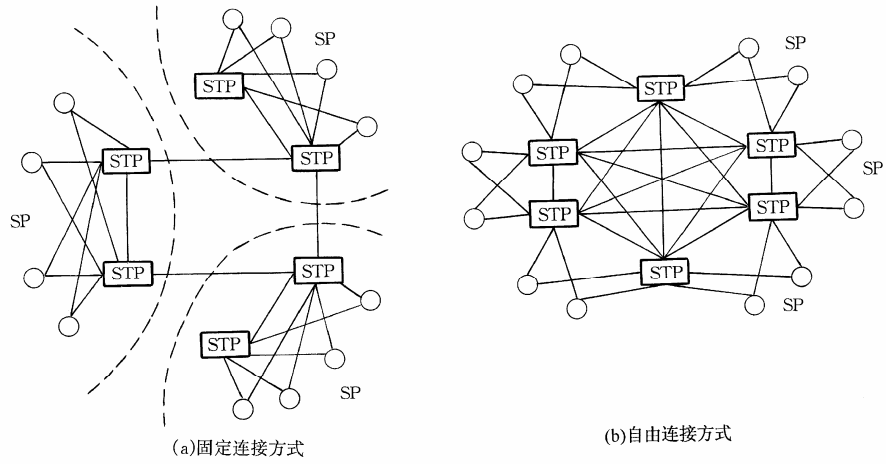


图 4.24 SP 与 STP 的连接方式

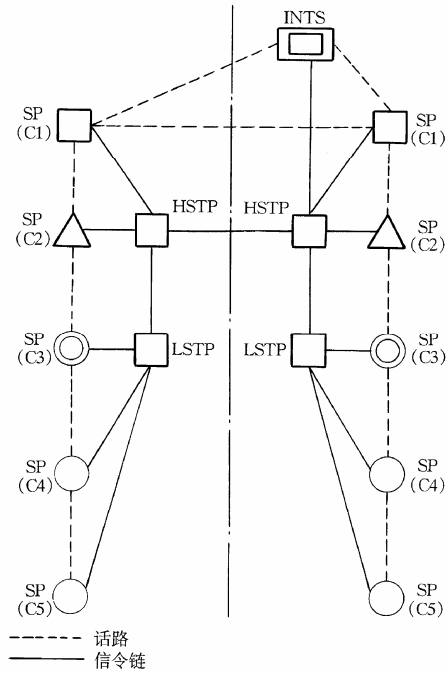


图 4.25 电话网与信令网对应关系

4. 国内电话网与信令网的对应关系

No.7 信令网与电话网是两个相互独立的网络，但它们之间存在着密切的对应关系，如图 4.25 所示。我国目前的电话网网络为五级，即由 C1、C2、C3、C4 长途交换中心和 C5 端局组成，这些交换中心和端局构成 No.7 信令网的第三级 SP。由于 No.7 信令网采用三级 (HSTP、LSTP 和 SP)，因此 No.7 信令网和电话网之间存在着相互对应的问题。从信令转接的转接次数、信令转接点负荷和可容纳的信令点数量等方面考虑，我国 No.7 信令网中的 HSTP 设置在 C1 和 C2 级交换中心所在地，汇接 C1 和 C2 的信令点；LSTP 设置在 C3 交换中心所在地，汇接 C3、C4 和 C5 级的信令点。

4.8.3 信令网的编号计划

1. 信令区的划分

我国信令网信令区分为主信令区、分信令区和信令点等三级。全国有 33 个主信令区，即包括作为市级主信令区的北京、天津及上海等 3 个直辖市和 28 个省（含台湾）以及香港、澳门两个地区。每个主信令区又划分为若干个分信令区。

(1) 主信令区按中央直辖市、省和自治区设置，其 HSTP 一般设在直辖市、各省省会、自治区首府。一个主信令区内一般设置一对 HSTP，为保证可靠性，两个 HSTP 间应有一定的距离。如果业务量较大时，也可设置几对 HSTP，但要严格限制 HSTP 的数目。

(2) 分信令区的划分原则上以一个地区或一个地级市来进行。一个分信令区通常设置一对 LSTP，一般设在地区或地级市邮电局所在城市。信令业务小的地区或地级市合并设置一个分信令区，信令业务大的县级市或县，也可单独设置一个分信令区。分信令区的划分应根据各地实际情况灵活掌握。

2. 国际信令点编码

原 CCITT 考虑信令网管理上的方便，建议国际和国内信令网是彼此独立的，采用各自独立的编号计划，以便信令信息按照选择的路由链路到达目的地。

原 CCITT 在 Q.708 建议中规定了国际信令网的编码采用 14bit，即 DPC 和 OPC 均为 14bit，编码容量为  $2^{14}=16384$ 。每一个编码分三级，如图 4.26 所示，3bit 的 NML 为第一级，用于识别世界大区；8bit 的 K~D 为第二级，用于区分每个世界编号大区的区域网，这两级均由原 CCITT 分配，如我国被分配在 4~120，即第 4 个世界大区，区域编码为 120。最后 3bit CBA 为第三级，用于识别区域网中的信令点。由第一、二级组成信令区域网编码 (SANC)，由三级共同组成国际信令点编码 (ISPC)。

|               |                 |       |
|---------------|-----------------|-------|
| N M L         | K J I H G F E D | C B A |
| 大区识别          | 区域网识别           | 信令点识别 |
| 信令区域网编码(SANC) |                 |       |
| 国际信令点编码(ISPC) |                 |       |

图 4.26 国际信令点编码方式

3. 国内信令点编码

1986 年邮电部曾颁布信令点 14bit 的混合编码方案，因出现使某些信令点或信令转接点编码重合，不能达到每一信令点在国内信令网中唯一编码的目的。为了解决这个问题，在 1993

年颁布的《中国 No.7 信令网体制》中规定采用 24bit 全国统一的编码计划。这样，可以使信令网中每一个信令点只分配一个编码，以便识别信令网中所有信令点。国内信令点编码格式如图 4.27 所示，每个信令点编码由三部分组成，第三个 8bit 用于区分主信令区，需用 33 个编码，备用编码 223 个；第二个 8bit 用于区分分信令区，其编码由各省邮电管理局负责，原则上以每省、自治区的地方、地级市以及直辖市的汇接区和郊县为单位编排；第一个 8bit 用于区分信令点，其编码由省、自治区邮电管理局指定的单位或当地邮电局负责。

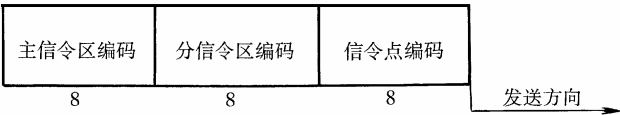


图 4.27 国内信令点编码方式

由于 14bit 编码的旧规范已在某些地区的 No.7 信令网中使用（如广东省），而 24bit 的新规范也在我国 No.7 信令网实施，为了解决 14bit 编码向 24bit 过渡，在实施我国国内电话网 No.7 信令方式技术规范补充规定中提出：信令点编码位长由业务字段中的 DC 位识别，DC=10 为 24bit，DC=11 为 14bit。

4.8.4 对本地区信令网中交换机的要求

采用 No.7 信令时，交换机应满足原邮电部颁布的《中国国内电话网 No.7 信令方式技术规范》及补充规定（GF001—9001）的要求，即具备 MTP 和 TUP；如果本地电话引入 ISDN 业务，则应增加 No.7 信令的 ISDN 用户（ISUP）。

要求本地信令网中的交换机在功能上不但能采用直联方式工作，而且还能连到两个以上 LSTP 上，采用准直联方式。其信令链路的最大数量应满足联网要求，每条链路的最大负荷也应足够大（0.2~0.8Erl）。

# 第五章 专用通信网

## 5.1

### 5.1.1 概述

#### 1. 公用网与专用网

我国的国家电信网，是由公用电信网和专用电信网组成的。公用网是由国家授权建设经营，为整个社会服务的电信网，它覆盖整个国土，且与国际电信网直接相接。现在的中国电信公司和联通公司组建的网络属于公用网（公用电话网），由长途网和本地网构成，共分为 5 个等级，即长途网的 C1、C2、C3、C4 四级交换中心和本地网的 C5 级交换中心。专用通信网是政府各专业部门和军事系统为保证指挥、生产安全、管理和实时控制等专门用途而建立的内部通信网，例如军事通信网、高速公路通信网、电力通信网、气象通信网和煤炭通信网等。由于各专业部门、各企业基层单位各自有其建网目的和建网思想，所以专用通信网使用范围很广，种类也很多。

#### 2. 专用通信网的分类

专用通信网是全国通信网的一个重要组成部分，它的完善和发展也是全网现代化的关键因素。根据现状分析，按通信设备所有权进行分类，专用通信网可分为三类：

(1) 租用公用网的电路，而其他交换设备、控制设备、计算机系统等由专用部门自备的专用通信网。

(2) 所有机线设备均由专用部门自备、自行设计、安装、维护的专用通信网。

(3) 所有机线设备（除少量控制设备外）均由电信部门提供的专用通信网。

专用通信网使用范围广，种类很多，这是因为各专业部门、各企业基层单位各有其建网目的和建网设想。

在以上各类专用网中主要开放的是电话业务、数据业务以及传真业务，但也有内部用的调度控制、遥测及移动通信业务、电视图像传送业务等。因此可以说专用网内部实际上是以电话业务为主的综合业务网。

专用网虽然各有其使用目的，但也有它的共同特点。例如，专用网一般不实行通信收费办法，其次网内各方向的业务量与公用网相比都不大，因而电路利用率不高。另外技术维护力量较弱，也是专用网的特点之一。

专用网由于资金充足，故其发展建设速度较快，引进先进设备也比较齐全，因此专用网的发展水平与公用网相差不多。我国对专用网的发展策略是统一规划协调发展，以使其成为

公用网的补充部分。

3. 公用通信网与专用通信网的关系

如前所述，专用通信是专供部门内业务使用的通信网。同一城市地区中，某系统内几个专用的交换机以局间中继直接联网称本地专用网。若分布在不同城市，同一系统的几个专用的交换机，以长途中继直接联网，则为专用长途网。就全国而言，大的工矿企业等组建局部专用网较多，而组建长途专用网较少。

就专用网的性质而言，应是封闭的内部专用网，其对外部社会的联系靠装公用网话机来实现，专用网与公用网之间无任何联系，不存在网间接口，世界上有些国家是这么规定的，这种完全封闭的方式，较适合于那些电话普及率很高的国家。我国电话普及率还较低，暂不能全面满足各部门经济发展对公用网电话的大量需求。为了充分利用国家有限的通信资源，尽量满足各部门对全社会通信联系的需求，可以采取利用专用本地交换机以合理的中继方式接入所在的公用本地电话网，通过公用网来完成对全社会的市话、长话及国际电话的业务联系。这样做可能使本地专用交换机一机二用，使这些与公用本地网直接接口的交换机，纳入本地网，进行统一组网，统一编号，成为本地电话网的组成部门。同时这些专用交换机仍是本专用网内统一组网编号中的一部分，它在公用网与专用网中的编号可用字冠“9”或“0”区分开来。这种组网方案符合我国国情，使我国有限的通信资源，能发挥更大的社会效益。通过合理的网间接口，扩大专用交换机全自动直拨进入公用网，可有效地扩大我国电话自动交换网的范围，加速我国长途自动化的进程，使国家电信网结构更合理。同时经公用长途网可方便地疏通专用网的业务，还可减少某些必要性不大的长途专用网的新建或扩建，避免重复建设，节约国家投资。

5.1.2 专用通信网的网络结构

一般而言，专用通信网网络业务有限、结构单一、接入方式简单，其发展方向将同步于电信公用网，从封闭走向开放，从单一的电话网向语音、数据、图像综合的三网合一的方向发展。现阶段专用通信网由长途干线网和本地网组成。

1. 长途干线网

各类型专用网的长途网络结构都是以处于北京的国务院各部委为通信中心向全国辐射的三级(或四级) 汇接网，如图 5.1 所示。

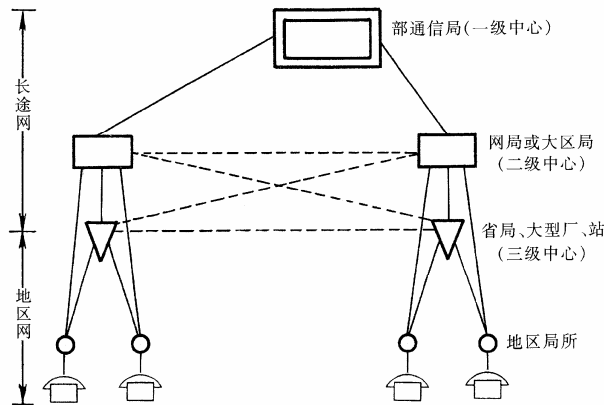


图 5.1 专用网的长途网结构

组成四级长途网的专用网是那些网的服务范围广、管理层次较多的专用网，如煤炭、公安等部门的网。专用网的路由规划也和公用网相似。根据业务量和通信安全需要，在各级长途中心间可设置低呼损直达电路或高效直达电路，以便迂回接续或减少转接段数。

在传输电路方面，长途干线上多采用数字微波系统、光缆系统和卫星通信电路。

2. 本地网的网路结构

各类专用网的本地网的服务范围和规模有很大差异，有的是以省为服务范围的本地网，有的是以局站为服务范围的小型地区网，还有跨省的局站组成的本地网，但其网络结构基本相同，专用网的本地网网路结构如图 5.2 所示，从图 5.2 中看到其基本形式为汇接制，分单汇接局和多汇接局两种，端局以下还可设远端模块、支局或用户交换机。

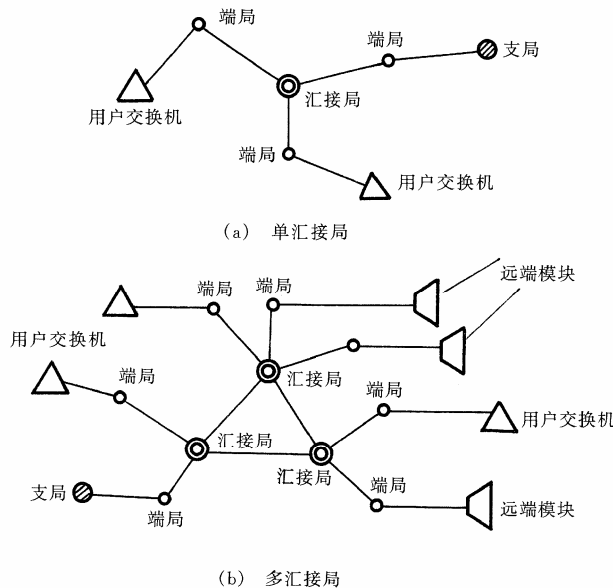


图 5.2 专用网的本地网络结构

考虑设单汇接局或多汇接局时，主要应根据地区网的服务范围、地理条件、进入公用网的方式而定。服务范围较小或发展初期也可不设汇接局。服务范围大的汇接网中也应考虑在相邻端局设低呼损直达或高效直达电路，并且要有迂回路由。

本地网中的交换设备、传输设备可能是模拟、数字并存，型号多种多样，但应尽量以数字设备代替模拟设备，逐步实现数字化。

3. 计算机网

专用网内部除电话网外还有专用的计算机网，设有计算机总站、分站和若干个终端。内部计算机网有它自己的网络结构，一般来说，它的网络结构有星形网、树形网和环形网三种，与公用通信网类似。究竟应采用哪种结构，一般要根据计算机网的规模、服务对象的具体要求而定。网内所使用的传输设备，一般均由电信部门提供。有些计算机网需要与其他地区计算机网相联时，则由电信部门提供长途电路（包括卫星电路等传输手段）。

4. 专用网中的其他通信系统

专用网中除上述的专用电话网及数据通信计算机网外，还根据各类型专用网的要求使用了许多特有的通信系统，如调度电话系统、工业闭路电视系统、行车安全电视监视系统、移



动通信系统、电力部门用的自动频率控制系统、发电站负荷合理分配控制系统等等。这些控制系统都与数据通信紧密结合，实际上也是通信网的一部分。

随着信息化时代的到来，专用通信网也正在向数字化、智能化、宽带化和个人化的方向发展。逐步实现网络端到端数字化，使整个网络向话音、数据、图像三网合一的方向发展，走通信网、计算机网、有线电视网相融合的道路，最后发展成宽带综合业务数字网(B-ISDN)。

## 5.2 网

专用网用户除了互相通信外，还需与公用网用户互相通信。因此专用网必须与公用网连接。如果在一个城市中，专用网由多台交换机组成，往往通过其中一台交换机与公用网相连。这台交换机从公用网角度看是用户交换机，因为它是电信部门的用户，实际上它可能是一台具有汇接功能的交换机。所以专用网的入网问题实际上就是专用网的交换机与公用网的连接问题（或称对市内电话局的中继方式）。这个问题在公用网本身也是大量存在的，因为很多单位都有用户交换机。在专用网内部也有所属单位的交换机怎样与整个专用网连接的问题。

### 5.2.1 专用网进入公用网的基本原则

1. 具有与公用网接口要求的专用网，即分散在各本地电话网范围内的局部专用网或专用交换机，应分别以技术合理的交换等级接口进入本地电话网。其网络结构、传输指标的分配、编号、信号方式等项技术规定，均应纳入本地电话网统一规划和协调建设，以保证业务的迅速疏通和全程全网的质量。

2. 专用网的长途网部分若确有需要可独立建网（可租线或自建线路，但应与公用网协调发展，以避免重复建设造成浪费），其长途网不与公用网连通，经专用长途电路传送的专用长途业务只能以本专用网用户为终端，而不得经终端专用交换机再转接至公用网用户。

3. 为确保专用长途网上重要业务不受外界干扰，公用网业务在正常情况下，不得进入专用长途网传送。专用网长途部分为封闭型网。倘若没有生产的指挥调度、实时控制业务不可间断或者保密等特殊通信需要，建议不必大量自建专用长途网。

### 5.2.2 专用网进入公用网的基本要求

#### 1. 进入公用网的编号要求

(1) 在本地网中专用网用户呼叫公用网用户，如需要用字冠来区分两网的编号时，一般应采用字冠“9”和“0”，特殊情况下也可采用其他一位或二位号码作为字冠。

(2) 以汇接局、端局、支局方式进入公用网时，用户编号应与公用网用户编号位长一致。

(3) 采用全自动方式入网的用户交换机的分机用户编号应与接口端局用户统一等位编号。

(4) 专用网用户呼叫公用网的特种业务、国内国际长途业务均应拨全国统一的号码。

#### 2. 专用网与公用网的信令配合要求

应遵守“国标”要求，以保证两网之间信令传递通畅，接续正常。

3. 对专用网的传输和接口要求

进入公用网的专用网的传输指标、接口参数应符合“国标”的技术要求，以保证良好的传输质量和各种传输系统的互通。

4. 对专用网程控数字交换机的同步要求

专用网程控数字交换机进入公用网与程控数字局接口时采用主从同步方式，专用交换机的网同步系统应符合接口局对其时钟准确度的要求。

5. 专用网用户呼叫公用网用户的计费方式

专用网用户呼叫公用网用户应按国家电信主管部门的规定分别实行复式计费、CAMA 计费、PAMA 计费等方式。

5.2.3 专用网进入公用网的组网方式

根据国家标准规定，专用网只能从地区网的某一交换等级进入所在地区的公用网的本地电话网，并按本地电话网组织原则统一规划、统一组网、统一编号，以保证专用网用户与公用网用户能互通业务。具体进网方式有以下四种：

1. 以汇接局方式进入公用本地网

当专用网为汇接网时，可由专用网某个汇接局作为本地电话网的一个汇接局进入公用网，其中继方式如图 5.3 所示。专用网汇接局与公用网的汇接局间应设低呼损直达中继线，根据话务需要也可与公用网其他端局设直达中继线，以疏通本地网中的本专用汇接范围内用户对公用网的各类业务。专用网用户呼叫公用网用户均需经汇接局完成汇接接续。专用网汇接局可用四线链路接至该地区公用网的长途局以完成专用网用户的国内、国际长途呼叫。

该汇接局可接下属的本地区专用端局、专用支局及用户交换机。凡纳入本专用汇接局内统一编号的用户，均可经该汇接局与公用网用户业务互通（无权出局用户只能靠来话与公用网相通）。

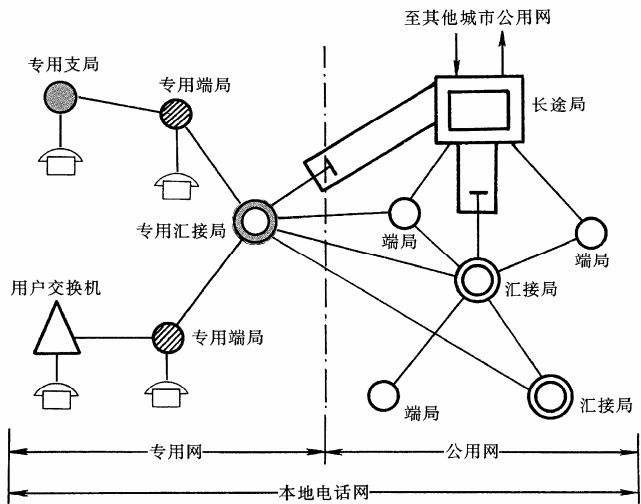


图 5.3 以汇接局进入公用网的中继方式

2. 以端局方式进入公用本地网

专用网交换机作为本地网的一个端局进网时，根据本地网网络结构要求，应与本地网内所隶属的汇接局之间建立低呼损直达中继电路。并根据话务流向流量的需要，与公用网内其他端局或汇接局间设置直达中继电路。若本地网内不设分区汇接局时，应与本地网内各端局间设直达电路，组成网状网结构。按所接入本地网要求，与公用长途局间可设置低呼损直达中继电路，或者经汇接局汇接。

该端局可下接与此统一编号的专用支局及用户交换机。端局所属各用户对公用网的业务，一般均经该接口局进入公用本地网，完成对公用网的市话、长话及国际电话业务的互通。参看图 5.4。

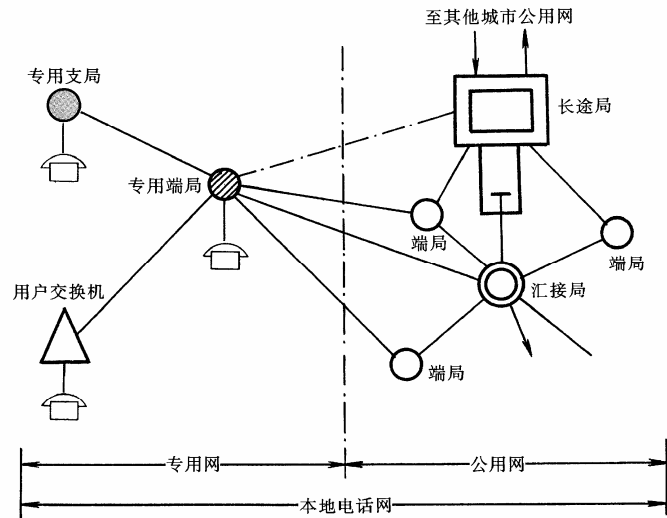


图 5.4 以端局进入公用网的中继方式

3. 以支局方式进入公用本地网

当专用网中的交换机作为公用网内的一个支局进网时，该局一般只设一个直达中继局向，接至最近的公用网端局，沟通该支局编号范围内用户对公用网用户各类业务。

当此专用支局至公用网长途话务量足够大时，也可设置直达长市中继电路。以支局方式进入公用本地电话网的示意图如图 5.5 所示。

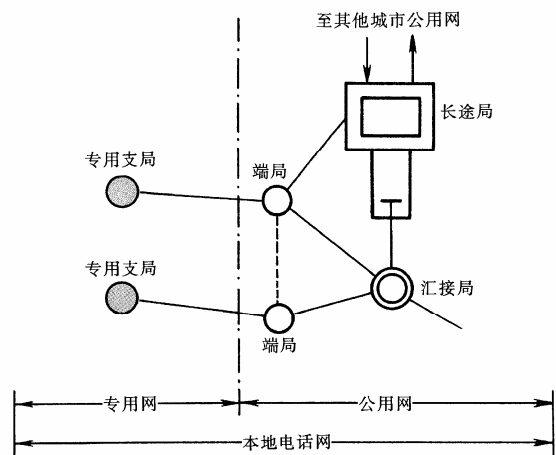


图 5.5 以支局进入公用网的中继方式

4. 以用户交换机方式进入公用本地网

考虑入网方式的原则是：节省用户投资；提高接口局设备和线路的利用率；达到传输指标要求，保证全网通信质量；有利于实现长途电话自动拨号等。主要考虑的因素是：专用网与公用网之间话务量的大小及接口局设备制式等。

当专用网交换机以用户交换机方式进入本地公用网时，该机应与较近的并且话务密切的端局直接接口。对公用网的业务不应经其他专用交换机转接进网，也不应转接其他业务进网。

进入公用网的方式有以下 5 种（详见第 5.3 节）：

(1) 专用网用户交换机以全自动直拨方式进入公用网与端局接口，即 DOD+DID 方式，其示意图如图 5.6 所示。

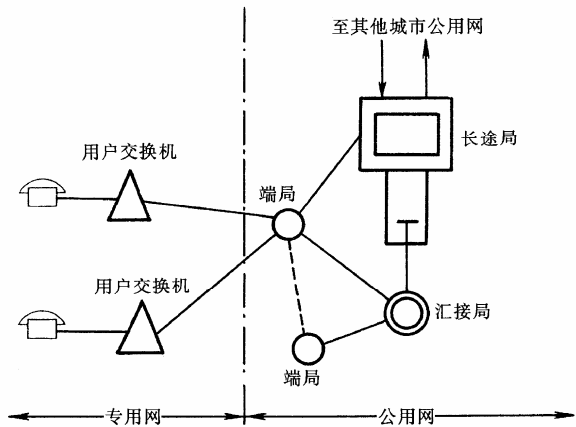


图 5.6 以用户交换机进入公用网的中继方式

若专用交换机的出、入中继接至公用网端局的选组级，出局只听专用交换机的一次拨号音（简称 DOD1），入局可直拨到分机用户（简称 DID）。

若专用网交换机的出局接至公用网端局的用户级，需听两次拨号音进入公用网（简称 DOD2）。入局由端局选组级接出，可直接呼入至该专用交换用户（简称 DID）。

(2) 半自动进入公用网的进网方式

专用网交换机的出、入中继均接至公用端局的用户级，呼出需听二次拨号音（简称 DOD2）。呼入由端局用户级接出，经专用交换机的话务台人工转接至分机用户（简称 BID）。

(3) 全自动和半自动混合方式进入公用网

大容量用户交换机至公用网的呼出中继为全自动方式（即 DOD1）。呼入中继根据需要一部分为全自动直拨到用户（DID），另一部分呼入中继接至话务台，人工转接至分机用户（BID）。

(4) 以人工转接方式进入公用网

当专用网和公用网接口、交换机的一方或双方为人工局时，专用交换机用户经人工转接至公用网。

(5) 多点混合方式进入公用网

本地网中的几个专用局根据话务流向、交换局的分布地点及局间距离，也可以分别采用以上几种方式，在不同接口点进入公用网。如图 5.7 所示。各专用局采用哪种进网方式，应视不同情况而定，并分别纳入所在接口局统一编号式统一组网。

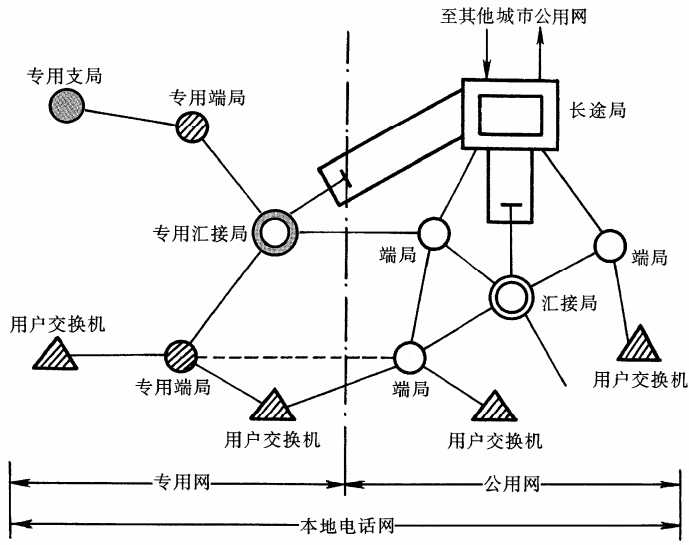


图 5.7 同一个本地网内专用网多点进入公用网的中继方式

### 5.3 网以用户交换机进入本地公用网的中继

近年来，电信网的数字化技术发展很快，尤其是进入 2000 年以后，三网融合已进入了逐步实施的阶段。虽然模拟传输线路、人工交换机和早期的国家标准等，有的逐渐被淘汰，有的章程需要修改，但根据我国的现状，实现全网数字化还需一定的过渡交替时间，所以本节内容的叙述仍然考虑了目前的现状。

程控用户交换机至长途电话局的长途业务包括国内及国际长途人工、国内及国际长途半自动以及国内及国际全自动。一般情况下，上述各种长途业务都由该用户交换机所属的市话局汇接。在特殊情况下，例如市话局交换机没有上述各种长途业务的汇接性能，或没有长途

半自动或全自动的配合性能时，可以设立到长途电话局的直达中继线。

从用户交换机到特种业务或到其他市话局的话务一般都经过其所属的市话局汇接。如果市话模拟交换机对有些特种业务不能汇接，可以从用户交换机设置直达特种业务的中继线。

程控用户交换机进入公用网的中继方式可以选择半自动直拨中继方式、全自动直拨中继方式、混合中继方式和人工中继方式。程控用户交换机也应该具有和人工交换机接口的能力。

5.3.1 半自动直拨中继方式

半自动入网方式即用户交换机呼出、呼入均接至市话局的用户级，这种入网方式适用于程控空分用户交换机及较小容量的程控数字用户交换机和本地市话局的连接。

采用这种入网方式时，用户交换机的分机用户需听两次拨号音，通过市话端局的用户级接入公用网，从而完成呼出接续，即所谓 DOD2 (Direct Outward Dialling-two) 方式。在市话局呼叫用户交换机分机用户时，则由市话局用户级向用户交换机话务台送铃流信号，由话务台应答后再转接至分机用户，即所谓 BID 方式 (Board Inward Dialling)。BID 方式的入局中继编入市话局的用户编号，并采用引示号码可进行连选，分机号码不纳入市话网的编号方式。

半自动中继方式的特点是局间中继线一般采用模拟中继电路，即采用直接脉冲 (DP) 或多频 (DTMF) 信号方式。根据进入公用网话务量的大小，可将进入公用网的局间中继线分为三类：单向中继、双向中继及部分双向中继线。从中继线的效率来讲，中继线群越大效率越高，在出、入局话务量较大时可采用单向中继。虽然采用单向中继后，由于出入中继成群分开，中继线群相对变小，但由于中继线总的数量较大，分成单向中继线后，每一个方向（出和入）的中继线的数量也不小，所以对中继线的效率影响很小。因此，双向中继线在话务量较大时对提高中继线的效率没有多大影响，但双向中继线比单向中继线复杂，价格较贵。所以，在话务量较大时采用单向中继线，只有在话务量很小时，才考虑采用双向中继线。

(1) 单向中继 (DOD2+BID) 方式 用户交换机的出入中继线分开接入市话局的用户级，如图 5.8 所示。

一般交换设备的容量在 500 门以上，中继线数大于 37 对时采用单向中继连接方式。

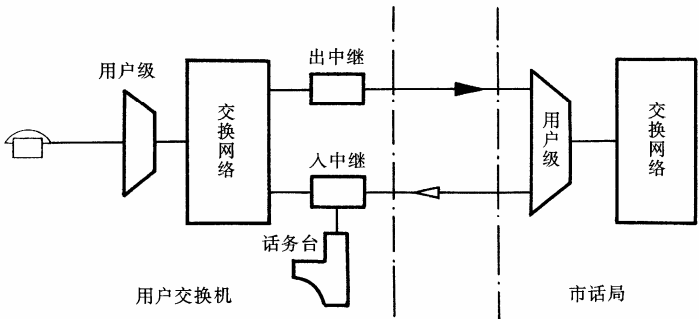


图 5.8 单向中继 (DOD2+BID) 方式

(2) 双向中继 (DOD2+BID) 方式 交换设备的容量在 50 门以内，中继线数在 5 对以下时采用双向中继的方式，可以提高小群中继线群的效率。见图 5.9。

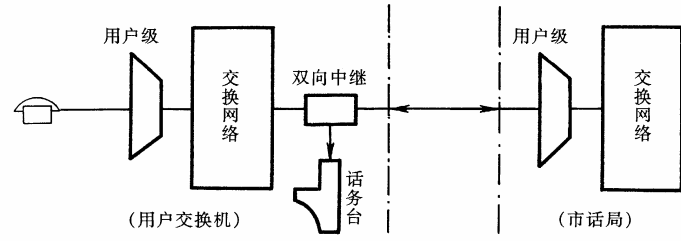


图 5.9 双向中继 (DOD2+BI) 方式

(3) 部分双向中继 (DOD2+BI) 方式 用户交换机进入公用网的出入中继，一部分用出入分开的单向中继，另一部分用出入合群的双向中继，如图 5.10 所示。交换设备的容量在 50 门以上，中继线数大于 5 对时，即一般在话务量介于单向中继与双向中继之间时宜采用这种中继方式。选用时，先选用单向中继，然后溢出话务选用双向中继，可节省中继线。这种方式从选择路由的观点来看，其双向中继相当于一个迂回路由。

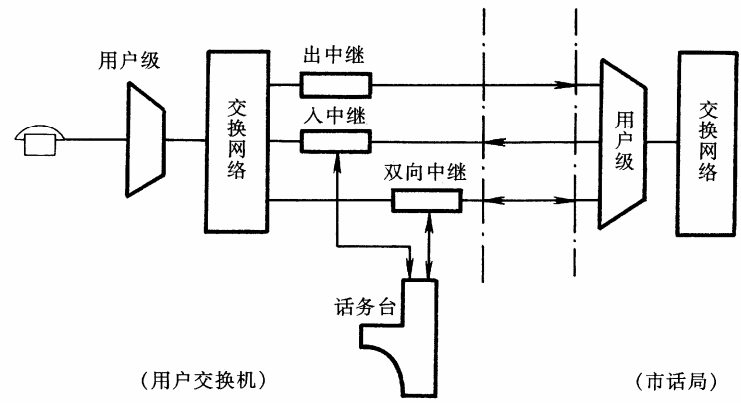


图 5.10 部分双向中继 (DOD2+BI) 方式

目前市话局的程控交换机基本上都是数字交换机，程控用户交换机也基本上是数字交换机。程控数字用户交换机如果采用半自动入网方式，会增加分机用户线的传输损耗，不利于发展非话业务，妨碍长途自动化的发展，技术上不合理，经济上不合算，所以程控数字交换机应尽可能避免半自动入网方式。

前面提到的“模拟中继线”一词是从用户交换机角度说的，而从市话交换角度说，这仅仅是一般的用户线。对于中继线类型（数字型或模拟型）的选择，要考虑两端交换机型式，从价格和传输损耗两方面进行比较。

从价格上来比较，采用数字中继，要增加 PCM 设备，但是节省了电缆线对。而数字程控市话局的模拟中继器价格比数字中继器贵。一般来讲，中继线长度大于 3km，采用数字中继是经济的，否则是不经济的。当然还与中继线的数量有关。因为一个 PCM 基群是 30 路，如果中继线数量很少，也要设置一个 PCM 基群，结果就造成浪费。

从传输损耗来看，如果有一端是数字交换机，采用数字中继可以延伸四线数字链路，减少损耗。如果两端都是模拟交换机，若采用数字中继，其中继线段的四线链路传输损耗为 3.5dB，相当于 2.6km 的 0.5 线径电缆。所以，中继线长度如小于 2.6km，采用数字中继，实

际上是增加了损耗。如果中继线长度大于 2.6km，则在传输上是有利的。

半自动中继方式的优点是接口和信令简单，因此成本低。缺点有以下四点：

- (1) 入局人工转接，效率低，未能实现长途电话全自动拨号。
- (2) 许多非话音业务（例如数据、传真）等不能在公用与专用网之间运用，更不利于整个电话网向 ISDN（Integrated Services Digital Network, 综合业务数字网）发展。
- (3) 此种方式不具备完善的计费功能。如出局呼叫时，不能发送专用网分机号码；入局呼叫时，主叫端局知道话务员应答时间，而不知道真正的被叫分机应答时间。
- (4) 如专用网交换机与公用网交换机都是数字交换机则此种方式更不合理，它使用户话音额外增加 D/A 和 A/D 转换各一次，从而增加了量化噪音和设备成本。

综上所述，半自动入网中继方式一般仅适用于 600 门以下的专用网交换机使用。当容量较大时，上述缺点更加突出，宜采用全自动入网中继方式。

5.3.2 全自动直拨中继方式

(1) (DOD1+DID) 中继方式 如图 5.11 所示。当程控用户交换机的呼入话务量  $\geq 40\text{Erl}$  时，宜采用全自动直拨呼入中继方式，即 DID 方式；当呼出话务量  $\geq 40\text{Erl}$  时，宜采用全自动直拨呼出中继方式，即 DOD1 方式。

DOD1 方式就是用户摘机呼出时可以直接拨号，不需经过话务台转接，而且只听一次拨号音。DID 方式就是从公用网呼入时可以直接呼叫到分机用户，也不需要经过话务员转接。因此使用方便，可以节省很多话务台及房间面积，管理也方便。这种中继方式无论是呼出或呼入都是接到市话局的选组级，而且用户号码要采取与公用网统一编号的方式。在进行国际国内长途直拨时要区分有权、无权的功能以及大量主叫用户号码送给发端长途局或国际局的功能，以满足自动计费的要求。这种与公用网统一编号的方式，虽然使用方便，但要支出大量的费用。根据电信部门的规定：“用户交换机需占市内电话网百号组、千号群、分局号和汇接局号的，应根据市内电话网的位数和占用编号的大小，每月按规定收费标准收取占用编号费，另外，再根据实装中继线数量收取中继线月租费”。

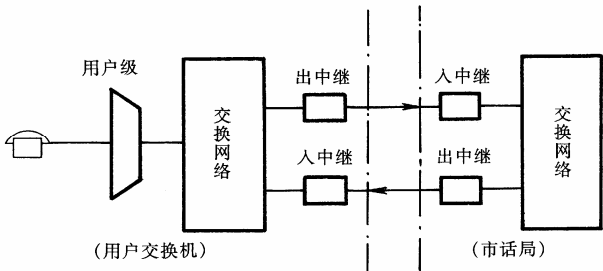


图 5.11 全自动 (DOD1+DID) 中继方式

(2) (DOD2+DID) 中继方式 如图 5.12 所示。程控用户交换机的呼出话务量  $\leq 40\text{Erl}$  时，宜采用 DOD2 方式。



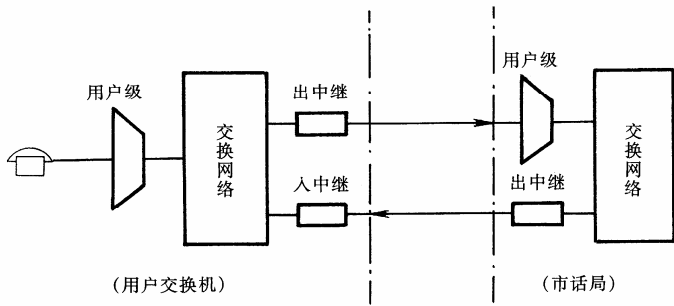


图 5.12 全自动 (DOD2+DID) 中继方式

这种中继方式与 DOD1+DID 的区别是分机用户呼出时接到市话局的用户电路而不是选组级，所以出局要听二次拨号音（现在有的用户交换机在机内可以消除从市话局送来的二次拨号音）。呼入时仍采用 DID 方式。这种中继方式在呼叫公用网时要加拨一个字冠，一般都用“9”或“0”，拨字冠后听二次拨号音。

全自动直拨中继方式适用于较大容量程控数字用户交换机对程控市话局的连接。它的优点是：延伸了分机用户线距离，用户线传输损耗可达 2dB~7dB，避免了用模拟中继线从程控市话局用户级进网造成的两次数模转换，优化了语言质量。市话呼入不需话务员介入，非话业务也可以传输，实现了长途自动直拨呼入，利于全网自动化。局间采用 PCM 传输优化了传输质量，也便于保密。

全自动入网方式的特点：

- (1) 局间采用 PCM 数字中继 此种中继方式适用于较大容量的程控数字用户交换机和程控市话端局接口中继。局间中继采用的 PCM 传输系统应符合 CCITT 及欧洲 CEPT 标准，即采用 A 律、13 折线，30/32 路的系统，速率为 2048kbit/s，0 时隙传送同步码，16 时隙传送信令。
- (2) 呼叫方式 由用户交换机至公用网的各种呼叫采用合群数字信号传送，目的是尽量减少局间中继线群数量和直达的局向数。各种进网交换的话务量均经过一群中继线接至端局，由端局识别出被叫的局向后分群，再与其他同方向的话务合群传送。其合群去话流程图如图 5.13。

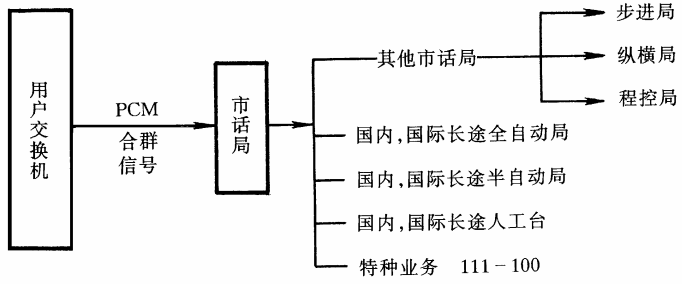


图 5.13 合群去话中继流程图

公用网的各种来话呼叫，均经公用网市话局汇接后以合群的信号方式转接至用户交换机，来话流程图见图 5.14。

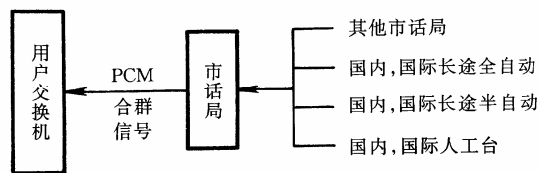


图 5.14 合群来话中继流程图

(3) 长途计费要求 目前,我国实现长途自动化的城市多数采用 CAMA 计费方式。因此,在采用 DOD1 方式进网的程控数字用户交换机中,应具备在有权分机用户长途自动直接续时,用户交换机通过接口市话端局向自动长途局发送主叫用户类别和主叫用户号码的功能。

为了对分机用户进行立即收费的需要,用户交换机可同时具备 PAMA 计费功能(用户交换机内自动计费设备)或由长途局立即通知话费。

(4) 网同步要求 由于公用网采取主从同步方式,故对以数字链路接入程控数字选组级的用户数字交换机,应接受市话局的同步,以便实现同步传输。

综上所述,用户交换机以全自动直拨进网方式(DOD1+DID)弥补了半自动进网方式(DOD2+BID)的某些不足,可为长途自动化打下基础,充分发挥了数字交换和数字传输的优越性。但是这种全自动直拨进网方式,对市话交换机及用户交换机提出了局间连接的新要求。

5.3.3 混合中继方式

这里所谓混合是指呼入时 DID 与 BID 的混合。如果以听二次拨号音来分类的话,则将 DOD2+DID 中继方式也归于混合中继方式。

程控数字用户交换机采用数字中继电路以全自动直拨中继方式(DOD1+DID)为主接入公用网数字端局。同时辅以 BID 方式增加呼入的灵活性和可靠性。其中继方式见图 5.15。

中继线分成两群,对 DID 分机用户,市话局可根据其统一编号接入 DID 中继线群。如果市话局交换机有可能,则在 DID 中继线群全忙时,迂回选用 BID 中继线群,再由话务台转接。而对 BID 用户,市话局根据其中继线号码选用 BID 中继线群。

对容量较大的用户交换机,根据分机用户的性质,部分用户与公用网联系较多,而且有一定的数量,这部分用户可采用直接拨入方式,但这部分用户必须与公用网用户统一编号。另一部分分机用户与公用网联系较少,没有必要采用直接拨入方式,可以采用经话务台转接的方式,这样就可大量节省电话费用的支出。

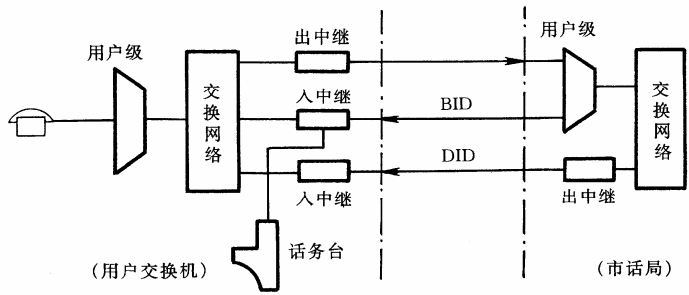


图 5.15 混合中继方式

5.3.4 人工中继方式

机电、磁石或供电交换机现已淘汰，但在一些边远山区的农话网或一些小的县办煤矿可能还被使用，为防止上述交换机使用造成对用户交换机接口的损害，在此对人工中继方式进行扼要的介绍。

若采用人工中继方式，用户在对公用网呼出及呼入时，都要经过程控用户交换机话务台的转接。一般当用户交换机进入公用网与磁石或供电交换机接口或呼入或呼出话务量 $\leq 10\text{Erl}$ 时，可采用这种中继方式。另外，在某些特殊情况，例如，有的单位要控制分机用户不让其随便打公网电话，尤其是打公网的长途电话，以节省电话费的支出或便于管理，凡呼出到公网的电话都要经过人工台转接，此时，可采用这种人工中继方式，见图 5.16。

如果公网为自动交换机，为了便于管理，也可设立人工转接台，以控制分机用户随便打公网电话。

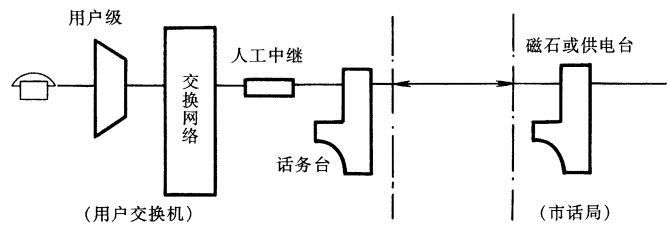


图 5.16 人工进网中继方式

当公网为磁石或供电台时，用户交换机也可不设人工转接台。呼出时，经人工中继直接接到公网的磁石台或供电台，并送振铃信号。而在呼入时，在公网的磁石台或供电台上装几个用户交换机的分机号，以供公网用户经话务员转接到呼叫用户交换机用户。如图 5.17 所示。

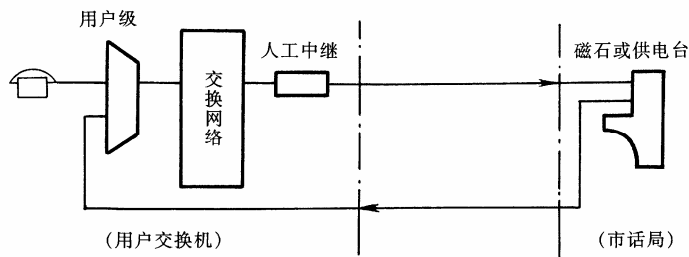


图 5.17 不设话务台的人工中继方式

图 5.16 所示的中继方式可采用双向中继，而图 5.17 所示的中继方式无法采用双向中继，呼出部分采用单向中继，而呼入部分实际上是用户交换机的用户线。

程控用户交换机在广泛应用中可能会遇到人工局接口问题。其中技术关键是双方应能发送 90 伏铃流呼叫信号，即程控用户交换机的出中继器能发出断续铃流使人工局的中继电路产生呼叫请求。而用户交换机的入中继器能接受人工局的铃流信号，话务员应答后将呼叫转移接至分机用户。为防止人工局用户用磁石机电话振铃造成对用户交换机接口电路的损害，在设计用户交换机出、入中继器接口电路时，应采取防护措施。

## 5.4 网的编号

### 5.4.1 专用网长途自动电话编号方案

#### 1. 对编号的基本要求

交换系统编号应统一，应能适应本系统全国专用网的统一编号要求，并能适应等位或不等位电话网中市内和长话自动接续的编号计划以及呼叫特种业务和实现新业务时的各种编号要求。编号应灵活、简便，并可以方便地通过人机命令进行修改。

#### 2. 专网长途编号形式

以能源系统专网长途电话网编号方式为例，采用九位等位编号，如：

9ABCDXXXX 或 9ABEFGXXX

第一部分：“9”为全国专用网长途字冠。

第二部分：“AB”为长途区号码（汇接局编号）。

第三部分：“CD”或“EFG”为交换局号，“C”选用偶数 0、2、4、6、8，“D”选 0~9 任一数字，共 50 个交换局号，适用于分机号码为 4 位的局。“E”选用奇数 1、3、5、7、9，“F”和“G”选 0~9 任一数字共 500 个局号，适用于分机号码为 3 位的局。

第四部分：“XXXX”或“XXX”为 4 位局和 3 位局的电话分机号。

### 5.4.2 专用网程控交换机出入中继的编号方法

专用网程控交换机出入中继的编号计划，主要是确定专用网用户对于本地公用网电话局和其他电话站的拨号方式，以及对特种业务号码的编排。它不仅要考虑专网程控交换机本身的要求，而且一定要符合本地公用电话网的号码制度。因此在编制号码计划时，应该与当地

电话局共同讨论，周密地调查研究，选取既方便用户又经济合理的正确方案。

### 1. 确定用户号码的基本原则和方法

确定用户号码的基本原则：①每一个用户话机应该只有一个用户号码。电话站下面设有自动电话小交换机时，从交换机分机用户向外呼叫增加一个字冠，电话站用户对小交换机分机连续直拨增加了拨号位数等情况，就如同电话站与市话局的关系一样，应该认为是正常的，与上述的每个电话站只有一个号码的提法不矛盾。②在同一电话网内，不同的几个电话站的用户号码一般以采用相同的位数为宜。但是，由于设备程式的限制，或者由于原有电话站即将拆除以及在经过技术经济比较后可以节省和推迟基建投资时，也可采用不同号码位数的混合位制。

### 2. 出入中继的号码制度

若采用 DID 中继方式，专网的程控交换机应与本地电话网统一编号，在下述两种情况下允许编号位长相差 1 位，但是也应该满足长途区号加本地电话网号码的总位数不超过 10 位的要求：①本地电话网号码在升位的过渡阶段；②部分专网交换机的直拨用户号码，在本地电话网编号位长小于 7 位时，允许专网交换机的直拨号码比公网中普通用户号码长 1 位。

电信部门在规划一个本地电话网号码容量时，要将直拨用户交换机分机用户所需号码一并考虑在内，以便在条件许可时直拨用户交换机的分机，分机号码的位长与普通用户号码位长相同。在两种编号位长同时存在的本地电话网中，直拨用户交换机分机号码的位长不能超过本地电话网中最长的号码。此外，出入中继的号码制度还应遵循下列要求：

(1) 两种电话用户 为了节省中继设备及线路的投资，必要时可将电话站用户分为能对内部电话通话，而不能对市话局通话的限制用户，和既可进行内部通话也可对市话局通话的非限制用户两种。

(2) 对市话局的出入中继的拨号方式 从市话局到电话站的入中继一般给予普通市话用户号码。入中继线在 20 条以下时，一般设一个代表号码连选全部 20 条中继线。电话站用户在拨叫市话局用户号码之前，先拨一个字冠，根据《国家通信自动电话编号》的规定，通常用“0”作字冠，只有在“0”照顾习惯作特种业务号码或其他更重要的用途时，才用其他号码。

采用呼入话务台转接（BID）中继方式的专用程控交换机，其中继线引示号码应纳入接口端局用户统一编号。

采用全自动直拨呼入（DID）中继方式的专用程控交换机，其用户编号还应符合下列要求：

- ① 大容量的专网程控交换机按分、支局对待时，分配给相应的分支局号；
- ② 在 7 位编号的本地公用网中，专网程控交换机分机号码位长应与本地公用网号码位长相等；
- ③ 在 4、5 或 6 位编号的公用网中，允许公用网号码位长比专网程控交换机号码位长多一位；
- ④ 在两种号码位长同时存在的公用网中，专网交换机分机号码只允许与本地公用网中较长的号码位长相等。

(3) 对其他电话站的出入中继的拨号方式 专网的交换机对其他电话站的出入中继实际上就是市话局的用户交换机相互间的交换关系问题。一般情况下一个单位的电话站和其他单位的电话站间的中继要通过市话网连接，它们之间没有直通的中继线。但是，当两个（或

几个)电话站间距离很近,而且它们之间电话联系比较多时,可以考虑在相关的电话站间设置直通的中继线。另外,如果电话站下面还没有用户交换机,则此电话站是汇接电话站或是并列作为市话局下属的电话站,这些用户交换机和电话站之间也需设置直通中继线。

用户交换机至其他电话站的出中继,可以和至市话局的出中继一样,指定一个字冠号,例如“9”或“8”作为出中继线,也可以采用占用“千号层”、“百号层”接出的方法。同时也可以指定一个本站的用户号码,把对方站看作是本站的用户交换机。但是,它同样存在有对市话局出中继采用普通用户号码时一样的缺点:不便于使用,中继线束不能太大,且呼损大。当然在中继线数量比较小时这种缺点是不明显的。

电话站和它所属的用户交换机之间的出入中继号码的确定和电话站作为市话局的用户交换机连接时的情况相同,不再重复。如果电话站所属的用户交换机与市话局间中继可以直接连接,即如同一般电话站的出入中继一样,呼叫市话局时占用“0”字冠号,市话局呼叫该用户交换机时占用市话局的某一个普通用户号码。在这种情况下,这个电话站下面的用户交换机事实上也是直属于市话局下面的一个用户交换机。如果电话站所属的用户交换机与市话局之间没有直接中继关系,它与市话网之间的通话都通过其所属电话站转接,则此电话站是属于汇接性质的电话站,采用这种方式时,就不存在和市话局间出入中继需要指定专用字冠的问题了。上述两种方式的选择,主要是由用户交换机所处的地位、市话网间的话务交换密切程度以及它们之间的距离等因素决定。

### 3. 特种业务号码制度

专用网的特种业务号码应便于记忆与使用,并应与当地电话局采用的特种业务号码相同。如果专网的特种业务号码与当地市话局的特种业务号码不一致,就会给使用电话的人带来不少麻烦,尤其是在紧急情况下拨叫“消防”、“急救”等特种业务号码时,可能会误拨其他号码或拖延时间。

### 4. 编号方式举例

(1) 专网交换机采用全自动直拨进网方式(DOD1+DID),其中继线接入市话端局选组级时,专网交换机编号占该端局的一个百号组或千号群,分机用户在此群中与市话局用户统一编号。例如:专网交换机容量为1920线,以DOD1+DID方式接入市话89局,市话89局的用户号码为891000~899999。专网交换机1920线占用891000~892919。用户交换机分机用户内部呼叫时,摘机听拨号音后,拨内部呼叫对方4位号码即可。分机用户出局呼叫,例如呼叫市话88分局的881011用户分机时,摘机听拨号音后,拨0881011即可接通。市话局用户呼叫该专网交换机用户,可直拨其6位分机号码,不需要话务台转接。

(2) 专网交换机采用半自动入网方式(DOD2+DID)时,其中继线号码纳入端局统一等位编号,一般用户交换机中继群可以采用提示号码,所接口的市话端局具有连选性能,内部分机号码不纳入市话局编号,可以根据专网本身交换机容量大小统一编号,一般为2~6位号长,例如,容量为200线专用交换机采用30对模拟中继线,以DOD2+DID方式接入市话66局,专用交换机分机号码可以编为200~399,30对中继线占用市话66局的用户号码为668820~668849。专用交换机分机用户内部呼叫时,摘机听拨号音后,拨对方3位用户号码即可,如果是呼叫市话66局用户,则摘机听拨号音后,拨出局字冠“0”,占用交换机中继线,听到66局送出的二次拨号音后,拨市话局用户号码,即可接通市话用户。市话局用户呼叫专用交换机分机用户,可直拨用户交换机中继线引导号码,话务员应答后,由话务员转拨3位分机号码,即可接通所要分机用户。

(3) 专用交换机呼叫本地(或市话)网时,无论专用交换机以全自动直拨方式(DID1+DID)入网,还是以半自动方式(DID2+BD)入网,都应有出局字冠。分机用户呼叫公用网用户,必须先拨“0”或“9”,专网交换机要在识别进网字冠“0”或“9”后,再接入公用网,以区别内部分机用户之间的呼叫。

## 5.5 移动通

移动通信系统最早应用于专用通信网——警用车载无线电系统,随着其技术的发展和功能的完善,逐渐进入公用通信网。由于专用移动通信网的用户较少,而活动范围较大,故公用移动通信网的大容量、大投入模式并不适用于专用移动通信网络,目前专用通信网络中的移动通信系统多采用集群方式。

集群移动通信系统的发展与公用移动通信系统一样,都经历了从模拟方式到数字方式的转变过程。本小节将重点介绍数字集群移动通信系统的特点、结构、功能和应用情况。

### 5.5.1 集群通信网概述

集群移动通信网属于调度网络中的专用移动通信系统,CCIR 称之为中继系统(Trunking System)。最简单的无线调度系统由若干个使用同一频率的对讲机构成,其系统结构简单、干扰大、容量小、信道利用率低、网络功能和通信质量差。为克服这些缺点,就产生了网络功能较为完善的专用移动通信形式——集群通信系统。集群系统控制器采用信道共用方式,能把有限的信道动态地、自动地最佳分配给系统的所有用户,从而获得了更好的系统功能,提高了频率利用率。

#### 1. 集群通信的特点

所谓集群通信系统是指系统所具有的可用信道可为系统的全体用户共用,具有自动选择信道功能,它是共享资源、分担费用、共用信道设备及服务的多用途、高效能的无线调度通信系统。

集群通信系统主要特点为:

- 信道共用:采用信道共用技术,提高频率利用率。
- 设备共用:将分建的控制中心和基站等设备集中合建,降低投资成本。
- 覆盖区共享:可将邻近覆盖区的网络互连起来,从而获得更大覆盖区。
- 业务共享:可利用网络有组织地发送各种专业信息为用户服务。
- 改善服务:提高了服务等级,增加了系统功能,兼容有线通信。
- 具有调度指挥功能,具有控制、交换、中继功能。
- 智能化,微机软件化,增加了系统功能。

总之,集群通信系统是共享资源,分担费用,向用户提供优良服务的多用途、高效能而又廉价的无线调度通信系统。

#### 2. 基本网络结构及组成

##### (1) 基本网络结构

移动通信网络结构的分类方法较多,可根据基站覆盖面积的大小划分,也可根据服务区的形状划分。集群通信系统的网络结构有下列4种方式:单区、单点、单中心网络;单区、

多点、单中心网络；多区、多中心网络；多区、多层次、多中心网络。

“中心”是指具有控制、交换、可与公网互连功能的移动通信中心；“点”是指具有无线电信号收发功能的基地站。下面简单介绍实际应用较多的单区、多点、单中心网络和多区、多层次、多中心网络。

① 单区、多点、单中心网络

该种网络由一个控制中心、多个基站、有线或无线调度台及网中若干移动台组成，如图 5.18 所示。

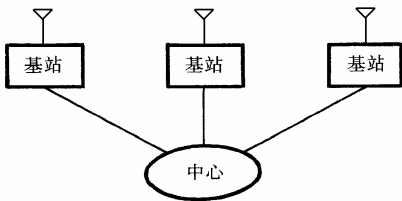


图 5.18 单区多点单中心网络结构示意图

该网络适用于一个区域内的一个或多个部门共同使用。在整个服务区域内设立了一个控制中心和多个基站(一个基站可以设一部或多部收、发信机)。多个基站覆盖区组成整个服务区。各基站可通过无线或有线信道连接到控制中心。控制中心通过中继线或用户线与 PSTN 或 PABX 连接。有线调度台通过有线信道与控制中心直接相连。在这种网络的设计和配置设备的考虑中，应根据各专业部门的业务需要的不同，在多点设置基站，从而满足各部门的业务需求。同时由于基站发射功率大，移动台发射功率小，多点设址也有利于提高通信质量。对于早先已建成并各自独立使用频率、独立工作的专用网络，可方便地改造成频率资源共享的集群移动通信网。这一点充分证实了集群的优点，即充分利用原有设施，减少投资同时满足各自需要，实现了高效益。

当上述网络中只有一个基站时，网络就简化成单区单点单中心网络。网络结构和功能与单区多点单中心网络基本相同。

② 多区、多中心、多层次网络

对于大范围区域内的专业部门用户，应采用多区多中心多层次网络结构的集群系统。网络由区域控制中心和多个控制中心和多个基站组成，如图 5.19 所示。

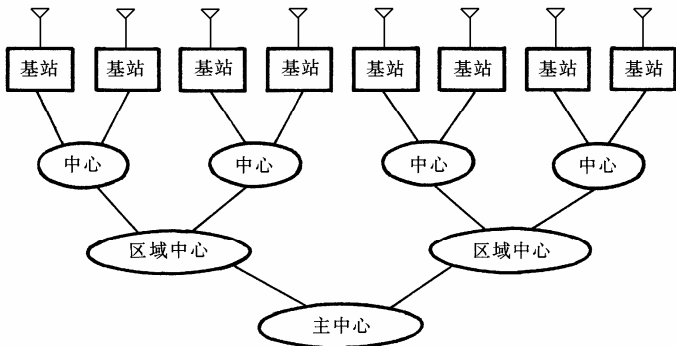


图 5.19 多区多中心多层次网络结构示意图



可见各单中心网络的控制中心通过有线或无线信道连接至区域控制中心，就形成了图 5.19 所示的网络结构。根据需要，还可以设立更高一级的管理中心（如省级或国家级），通过有线或无线传输通道，将其与区域管理中心相连接，构成更大范围的集群系统。整个网络形成多层结构，无论哪一种结构，最基础的单元都是单控制中心单基站的网络结构。

单区控制中心的作用是处理所管辖基站覆盖区内和越区至本基站覆盖区内移动用户的业务。

区域控制中心处理越区用户识别码的登记、控制频道分配、有线或无线用户寻找越区用户的业务，即处理位置登记、呼叫转移、越区频道转移的漫游业务，同时对单区控制中心进行控制、管理以及监控。

更高一级管理控制中心的作用与区域控制中心相似，所不同的是管理的范围更大、用户更多。

## (2) 集群通信网的基本组成

集群通信系统由移动台、基站、控制中心、调度台组成。除完成移动用户之间的通信外，还应能进行有线用户与移动用户间的通话。为达到这种通信目的，除上述的 4 个部分外，还包括无线信道和有线信道。系统结构如图 5.20 所示。

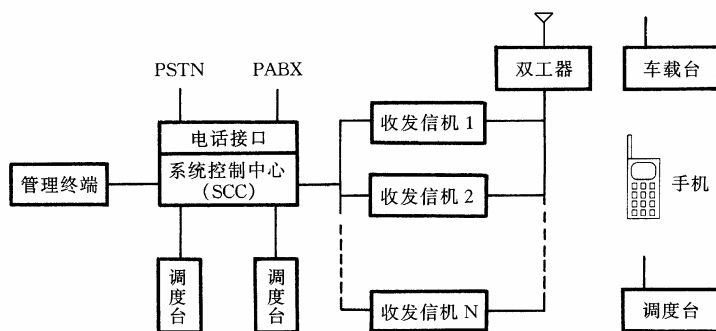


图 5.20 集群通信系统结构示意图

### ① 移动台

即用于运动中或静止状态进行通信的用户终端，它包括车载台、便携台（手持机），由收发信机、控制单元、天馈线和电源组成。

### ② 基站

它由若干无线收发信机、天线共用器、天馈线系统和电源等设备组成。天线共用器包括发信合路器和接收多路分路器。天馈线系统包括接收天线、发射天线和馈线。

### ③ 调度台

它是能对移动台进行指挥、调度和管理的终端设备，分有线和无线调度台两种，无线调度台由收发信机、控制单元、天馈线、电源和操作台组成。有线调度台只有操作台。

### ④ 控制中心

控制中心包括系统控制器、系统管理终端和电源等设备，它主要控制和管理整个集群通信系统的运行、交换和接续。它主要由交换矩阵、集群控制逻辑电路、接口电路、监控系统、电源和微机组成。具体功能为：

- 把用户线从市内交换机扩展到移动用户。

- 转接与处理音频信号。
- 把市话用户线集中并分配到有限个无线信道上。
- 控制、管理和检测基站无线设备与移动台状态。

### (3) 集群通信的分类、控制技术及功能

#### ① 系统的分类

集群通信系统的分类方法较多，通常有以下几种分类方式。

- 按通话占用信道分有信息集群(亦称消息集群)和传输集群。信息集群系统中，用户通话占用一次信道完成整个通话过程，而传输集群系统中，一次完整的通话要分几次在不同的信道上完成。信息集群的优点是通话完整性好，缺点是讲话停顿时仍占信道，信道利用率低。传输集群一般分为纯传输集群和准传输集群，或两者兼用，这种方式的优点是信道利用率高、通信保密性好，缺点是通话完整性较差。

- 按呼叫处理方式分有损失制和等待制系统。损失制系统中，当话音信道占满时，呼叫被示忙，要通话需重新呼叫，信道利用率低。在等待制系统中，信道被占满时，对新申请者采取呼叫排队方式处理，不必重新申请，信道利用率高。

#### ② 系统的信道控制方式与信令方式

下面简单说明集群通信系统的信道控制方式和信令方式。

##### · 信道控制方式

集群通信系统的信道控制方式有集中控制方式和分散控制方式 2 种。集中控制方式是指由一个智能终端统一控制、管理系统工作的方式。该方式需有专门的系统控制设备，故系统功能齐全，便于处理多种特殊功能，便于系统扩展，适于大中容量的多基站通信网络。分散控制方式是指每一信道都有单独的智能控制终端的分布式管理方式。该方式无需专门的系统控制器，系统设备简单，成本低，适用于信道数较少(如小于 12 个)的中小容量单区制通信网。

##### · 信令方式

系统的信令有共路信令和随路信令 2 种。共路信令是设定一个专门的控制信道传信令，这种方式的优点是信令速度快，电路容易实现，控制简单，但占用信道。共路信令方式一般在信道集中控制方式中采用。随路信令是在一个信道中同时传语音和信令，信令不单独占用信道，优点是可节约信道，缺点是接续速度慢、控制复杂，一般在信道分散控制方式中使用。

#### ③ 系统功能

根据集群用户业务需要，集群移动通信系统从组网规模上看，可分为单区系统和多区系统。单区系统适用于容量小、覆盖面积小的业务组网，该系统设备组成简单，即由一个基本型的系统设备组成。多区系统适用于容量大、覆盖面大的业务组网，其系统设备组成复杂，它由多个单区系统加上连接设备(有线或无线及专用接口设备)组合而成。无论是单区制还是多区制的集群通信系统，它们所要完成的基本功能是相同的。

##### a. 系统一般参数(以典型系统为例)：

- 集群系统信道：20 个
- 单呼地址码数目：48000 个
- 群呼组数：4000
- 每群最大用户数：48000
- 数据速率：1.2~19.2kbit/s

- 接续时间：小于 0.5 秒
- b. 系统可靠性能
  - 多信道按需分配
  - 接收机干扰关闭
  - 发射机故障关闭
  - 系统自我诊断
- c. 系统入网功能
  - 自动重发
  - 忙时排队／回叫
  - 最近用户优先
  - 错误移动台保护
  - 禁止通话音
  - 个别私密通话
  - 系统寻找和锁定
  - 连网操作
- d. 优先级别  
系统优先级别有：
  - 紧急呼叫
  - 战术性优先
  - 指令优先
  - 操作性优先
- e. 特殊呼叫
  - 系统呼叫
  - 大组呼叫
  - 小组呼叫
- f. 自动电话互联
  - 能提供自动全双工移动电话功能
  - 无线—有线转换，无线电话会议
  - DTMF 信令，50 个号码存取，自动拨号
  - 数字话音加密
  - 国内长途，国际直拨(事先申请)
  - 一般用户限时
- g. 特殊功能
  - 移动数据终端
  - 中断和常用扫描
  - 内部诊断结果和占用时间管理
  - 无线电禁止
  - 动态重组
- h. 通信功能
  - 无线用户可与有线用户进行通信

- 有线用户可与无线用户选址通信(个人直呼和组呼)
- 无线用户之间进行可选呼通信(个人选呼和组呼)
- i. 话费统计、输出
- j. 禁听、禁发
- k. 其他功能

- 故障报警, 声、光显示
- 中继线使用情况记录
- 基地台故障报警
- 移动台的数传及终端处理
- 传送图表、图片及静止图像
- 存储电话号码

#### l. 优先级

移动无线用户分特权用户和普通用户 5~8 级, 特权用户具有强插、通话不限时、全呼、选呼等功能; 普通用户不具备强插、通话、全呼、保留选呼功能。

### 5.5.2 数字集群通信网

目前通信技术正向宽带化、综合业务方向发展, 移动通信网络也不例外。模拟集群移动通信网的主要问题是频率利用率低; 所能提供的业务种类有限, 除话音外, 不能提供数据业务; 保密性差; 移动设备体积大, 使用不便等等。数字集群移动通信系统的出现, 克服了上述缺点, 符合通信技术的发展方向。下面简要介绍数字集群通信的特点、系统构成和基本应用。

#### 1. 数字集群通信网的主要特点

##### (1) 频谱利用率高

随着移动用户数量急剧增长, 模拟集群网所能提供的容量已不能满足用户需求, 虽然模拟集群移动通信网采用了频率复用技术, 但是模拟调频技术很难进一步压缩已调信号频谱, 使得模拟集群系统频谱利用率相对较低, 系统容量较小。而数字集群移动通信系统通过采用多种技术, 如编码调制、多址技术提高了频谱利用率。在编码调制方面, 采用低速语音编码和高效数字调制解调技术, 通过降低单话路占用带宽和压缩已调信号带宽, 提高了频谱利用率; 在多址技术方面, 不仅采用模拟网中使用的多址方式——频分多址(FDMA), 还采用了时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)和 TDMA/FDMA 混合方式, 使数字网的容量较模拟网增加了很多倍, 频谱利用率提高很多。随着低速语音编码技术和高效数字调制解调技术的不断发展, 频谱利用率将会得到进一步的提高。

##### (2) 可开展多种业务

数字集群移动通信系统可提供多种业务服务。除话音业务外, 还可以为用户提供数据业务、窄带图像业务等。

在模拟集群网中, 虽也可传输数字信息, 但是利用模拟信道进行传输的, 增加了网络接口的复杂性, 传输速率也较低。数据传输速率一般在 1200bit/s 或是 2400bit/s, 这么低的速率远远满足不了用户的要求。随着 Internet 网络及各种数字业务的发展, 用户的数据服务要求日益增加。数字集群移动通信系统由于采用了数字方式, 容易实现与综合数字业务网 ISDN

的连接,开展综合信息业务。

### (3) 信号抗信道衰落能力强

数字调制传输能提高信号抗信道衰落的能力。对于集群移动系统来说,信道衰落特性是影响无线传输质量的主要原因,需采用各种技术措施加以克服。在模拟无线传输中主要的抗衰落技术是分集接收,在数字系统中,抗衰落技术除采用分集接收外,还可采用扩频、跳频、交织编码及各种数字信号处理技术。使得数字无线传输的抗衰落性能比模拟系统要好得多。所以数字网无线传输质量较高,可获得比模拟集群移动通信网更好的话音质量和更高的传输速率。

### (4) 保密性好

无线电传播是开放的,容易被窃听,无线网的保密性比有线网差,因此保密性是无线通信系统的重要方面。

数字集群移动通信网用户信息传输时的保密性好,是利用成熟的数字加密理论和技术实现的,对数字系统来说,极易实现保密。当然模拟系统也可以用一些技术实现保密传输,如倒频技术或是模/数/模方式,但实现起来系统复杂、话音质量受影响。可见,模拟系统的保密成本非常高,较难实现。而采用数字传输技术,才能真正达到信息传输的保密要求。

### (5) 网络管理和控制更加有效和灵活

通信系统网络管理与控制对任何一种网络都是非常重要的,它影响到是否能有效地实现系统所提供的各种服务。数字集群移动通信网能实现更加有效、灵活的网络管理与控制。

在集群系统中,管理与控制依靠网内所传输的各种信令来实现,信令采用数字方式。在模拟集群网中,管理与控制信令是以数字信号方式传输的,而用户信息是模拟信号,这种信令方式与信号方式的不一致,增加了网络管理与控制的难度。在数字集群网中,信令 and 用户信息均为数字信号,信令的传输是通过在用户语音比特中插入控制比特实现的,与模拟网相比实现较容易。可见数字集群移动通信系统可实现高质量的网络管理与控制。

## 2. 数字集群通信网

### (1) 系统功能

数字集群通信系统采用了数字信令方式、语音编码和先进的调制解调技术,使得网络接续速度快、可靠性高、系统容量大、可与 ISDN 网连接,并支持多种业务。此外,调度功能强是其突出特点,它还具有更适合指挥调度网使用的紧急呼叫、动态呼叫限时、动态重组等功能。

#### ① 系统主要功能

##### a. 调度通信(移动用户)

独呼、组呼、自动排队、最近的用户优先。

##### b. 常规通信(无线通有线)

全双工、遇忙转移、长时转移、三方会议通话。

##### c. 完善的计时、计次、计费系统

##### d. 其他服务功能(除电话业务外)

#### ② 其他服务功能

- 呼叫等待
- 呼叫转移
- 呼叫挂起

- 呼入、呼出限制
- 主呼位置指示
- 连续路由选择
- 支持 MF 市话接口
- 支持 PSTN 的 SS7 信令
- 语音信箱
- 越区切换
- 外部漫游
- 二次 DTMF 拨号
- 短信息业务
- 计费系统
- 数据业务
- 分级服务
- 第三方呼出
- 不同速率转接
- 实时帐单
- 可通市话值班员等功能

## (2) 系统构成

数字集群通信系统主要由移动台、基站收发系统、基站控制器、调度系统、交换系统、维护管理系统等部分构成,可将它们分成 3 个子系统,分别为无线子系统(RFSS)、调度子系统(DSS)和互联子系统(ISS)。图 5.21 表示了系统的结构及其组成部分。

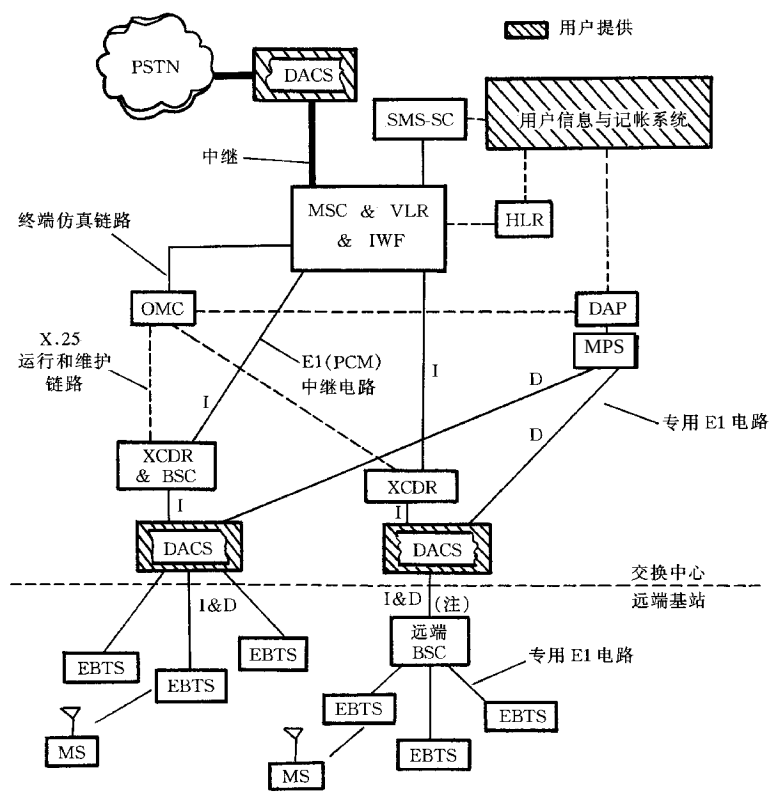
### ① 无线子系统

射频子系统由移动台和基站收发系统组成。

#### a. 移动台(MS)

移动台可以是固定式,如调度台;也可以是移动式,如车载台、便携台和手持机。

每一移动台有几种身份码(比如 IMEI、IMSI、TMSI 等),IMEI 是出厂时就定下的国际移动台设备识别号,它主要由型号、许可代码和与厂家有关的产品号构成;IMSI 是国际移动用户识别码,它是该移动用户在网内的唯一的机器身份号;TMSI 是移动台当前所在的区域内的代码,区域切换以后就发生改变。每次通信前,网络 HLR 的 AUC 对移动台的身份和权限进行认证,以保证合法用户使用移动网。



图注：  
I 互联互通业务  
D 调度业务  
I&D 互联互通和调度业务混合  
(注) 远端 BSC 和相关的 DACS 的具体配置由系统布局和话务密度决定。

图 5.21 数字集群通信系统结构示意图

b. 基站收发系统(BTS)

数字集群系统的基站收发系统是采用增强型基地收发系统(EBTS)，在系统中为固定部分和无线部分之间提供中继连接，通过空中接口，移动用户能够与基地台连接。基地台将工作频率 800MHz 的带宽为 25kHz 的信道划分为 6 个 TDMA 时隙，即 6 个话音信道或控制信道，其中除用一个信道作为控制信道外其余信道都可是 VSELP 编码的话音信道。

EBTS 由下列部分构成：

- ACG 出入控制器通路：它是 EBTS 的核心部分，由它控制和跟踪基台的频率和时隙，它还负责对移动台资源分配，并通过 E1 链路负责和网络进行通信联络。
- TFR 时间频率基准：它提供一个高确定度 5MHz 频率和一个高准确度的时钟参考。
- CSV 信道服务单元：它给 EBTS 提供直接与 E1 线路连接的接口。CSV 是符合标准参数的 E1 接口，它提供 EBTS 和交换机之间的接口。

② 调度子系统

调度子系统由 4 个部分组成：它们是数字交换系统(DACS)、网内分组交换(MSP)、调度应用处理机(DAP)和操作维护中心(OMC)。下面分述其功能。

a. 数字交换系统(DACS)

DACS 是 MSC 交换机与 EBTS 或者 PSTN 之间的数字信号转接设备,为了适应传输的要求需要将信号填充整理成宽带结构的形式。它的输入是调度处理机经过分组交换机 MPS 来的调度信息和经 MSC 和 OMC 网络操作维护中心来的话音信息。它的输出是到 EBTS 或远方的基站控制器 BSC 的数字干线。

#### b. 网内分组交换(MSP)

网内分组交换(MSP)是数字集群系统内高速数字 E1 型节点处理机。它为网内 EBTS 终端节点的调度业务和有关控制信息连接电路,它由分组备份、分组交换及分组交换工作站组成。

#### c. 调度应用处理机(DAP)

调度应用处理机是实现调度通信业务控制的网络控制机。它存储了移动用户的原始材料、MS 的数据库、业务范围、通路以及呼叫处理等。调度通信功能有:

- 单独调度呼叫:一个 MS 呼一个 MS;
- 组呼通话:一个 MS 呼一个预编组 MS;
- 组呼选择通话:调度员组呼通话或选择某服务区、某小区或全网的 MS 通话;
- 空中诊断:MS 在任何地方出现故障,DAP 都可通过空中发现 MS 的硬件或软件故障;

#### d. 操作维护中心(OMC)

操作维护中心是全网操作维护的中心。它为管理和计划提供各种数据,它的管理对象有:经过分组网对 DAP、调度处理机、EBTS、基地台、基站控制器(BSC)、话音编码转换器(XCDR)进行管理;OMC 通过异步通信端口对 DMC-MSC、HLR 和 MPS 进行状态管理和控制。

OMC 是一个可靠性极强的容错性计算机平台,其操作系统是 UNIX,主机采用小型机通过以太网与多个终端联接,故其操作灵活、人机接口友好。值班人员通过终端查阅检测并控制网内各种设备的运行情况。网内设备有故障时,OMC 可采用搬运或自动措施来恢复工作。

### ③ 互联子系统

#### a. 基站控制器(BSC)

基站控制器(BSC)是移动交换中心与基地台之间的控制交换设备,以使数字集群系统能扩大覆盖范围,它可以近置和远置,MSC 通过 XCDR 去控制 BSC。BSC 主要功能是管理无线信道以及 MS 和 MSC 之间的信令传输,负责呼叫处理、操作、维护,并提供 EBTS 与 XCDR 间的接口,连接 MSC 与 BSC,提供远端交换、分配控制和话务集中等功能。

BSC 内部有一个数字矩阵,EBTS 负责无线信道的选择,而 MSC 负责有线信道的选择,在 EBTS 的无线信道与 BSC/XCDR 和 MSC 相连接的实际电路之间没有固定的对应关系存在,两者通过 BSC 内部矩阵联接,在越区切换时亦由 BSC 负责。

#### b. 话音编码转换器(XCDR)

话音编码转换器 XCDR 是完成 PCM/VSELP 的转换设备。由于 MS 接口的话音编码是采用 PCM 编码方式,而用户端话音编码器采用的是 VSELP 编码方式,因此,需将 EBTS/BSC 送来的 VSELP 话音编码变换成 PCM 编码后送至 MSC 交换机,XCDR 还担任来自 MS 的 DTMF 二次拨号数字再生成新的双音多频信号的任务。

#### c. 移动交换中心(MSC)

移动交换中心 MSC 是网络的核心,它提供 PSTN 和移动网络之间的接口,MSC 是用于移动台 MS 发起或终止的话务互连的电话交换局。每个 MSC 提供对某一地理覆盖区域内的移动台的服务,同时一个网络可包括不止一个 MSC,MSC 提供到 PSTN 的接口和到 BSC 的



接口以及与其他 MSC 的互连接口。

MSC 的主要任务是：

- 处理呼叫、呼叫控制和信令
- 移动用户呼叫通路的建立
- 鉴权和加密
- 拨号转换
- 收费数据的捕获和处理
- 回音消除控制
- 越区切换
- 短信息业务支持

MSC 控制呼叫的建立和路由建立过程，类似于移动网终端局的功能。在陆地网络一边，MSC 完成呼叫信令功能，其他的呼叫控制功能包括：号码变换和路由、矩阵路径控制及出中继的分配、MS 计费数据收集。此外，MSC 还完成移动环境的其他控制功能，同时还支持用来控制无线信道占用情况的网管功能，如修改移动台的鉴别号码等。

交换机与 PSTN、其他 MSC 及 BSC 相连时都要由 DACS 转接。交换机是一个高可靠性的容错计算机平台，采用双 CPU 工作。许多处理过程和文件处理是双备份的，总线亦是双备份的，外围设备接口丰富，交换机的交换矩阵是增强网络 ENET，单级无阻塞式。

#### d. 访问位置寄存器 (VLR)

访问位置寄存器 VLR 存储其覆盖区内的移动用户的全部有关信息，以便 MSC 能够建立呼入和呼出的呼叫。VSL 从该移动用户的归属位置寄存器中获取并存储有关该用户的数据，一旦移动用户离开该 VLR 控制区域，则重新在另一 VLR 登记，原 VLR 将取消临时记录的该移动用户数据，因此可以把 VLR 看成是一个动态用户数据库。

#### e. 归属位置寄存器 (HLR)

归属位置寄存器 HLR 是数字集群系统的中央数据库。它存储着该 HLR 控制的所有的移动用户的相关数据，这些相关数据包括：MS 的操作数据，如 IMEI 与 IMSI 的识别数据、验证密钥、MS 用户类别和补充业务；MS 的服务状况数据，如电话转移号码、特别路由信息；MS 的活动情况数据，如所处区域。

HLR 的数据分为二种：永久性的数据，通常是由数据管理中心设定的；随时性的数据，它是网络实时设定的并且不断更新。所有这些数据都被网内共用，网内可以设多个 HLR，每一 HLR 只存一部分 MS 的数据。

HLR 的另一项重要的任务是验证要求上网用户的身份，此外 HLR 还为 MSC 提供关于移动台所在区域的信息。

#### f. SMS-SC 短信息业务中心

这是数字集群系统的一个特色，它可以通过多种渠道传递最多达到 140 个字符的信息到一个移动台中。所传递的信息被称为短信息字条，包括字母和数字信息、通过 DTMF—IVR 数字集合从 PSTN 中得来的数字信息和来自连接的声音传送系统的声音传送表示。

SMS 显著的特点是存储信息，并把信息传送到 MS 移动用户中去。如果信息不能传递到 MS，SMS-SC 就暂时存储该信息，以便当 MS 工作时，SMS—SC 可以再次发送该信息。

### 3. 数字集群通信系统应用

数字集群移动通信系统由于其容量大、与 N-ISDN 互通性好、可开展综合业务以及良好

的使用性能，正越来越受到用户的欢迎。目前已投入商用的系统有美国摩托罗拉公司的 iDEN 800M 数字集群通信系统和爱立信公司的 EDACS 800M 数字集群通信系统。

在我国、日本等地已建有 iDEN 800M 数字集群通信系统。如我国已建成的一个大容量区域型 iDEN 800M 系统，该系统设有 28 个基站，容量为 10 万户，除了采用 M-16QAM 调制技术、TDMA 多址方式、VSELP 语音编码等先进技术外，还使用了频率复用的蜂窝组网技术。该网的网络结构为每区群 7 个小区，每小区采用 3 扇面天线，每扇使用 4 个频率，每小区共 12 个频点，全网共 84 个频点。频率复用 4 次，基站总数为 28 个，实现了大容量、大覆盖面积。

# 第六章 数据通信网

近年来,中国公用数据通信网获得了很大的发展,先后建立了分组数据网(X.25)、数字数据网(DDN)、帧中继网(FR网)和ATM宽带数据网。公用数据网的整体水平显著提高,各类数据网用户迅猛增长。

电话网是数据通信的重要基础。用户可以通过电话网接入到相应的数据网和增值业务网。例如,Internet用户可经调制解调器,通过电话拨号接入Internet;分组网用户可在PC机上配置X.32网卡或X.28通信软件及调制解调器,通过拨号进入分组网;此外,还可利用电话网提供多媒体会话型业务,以满足电话用户对要求不高的可视电话的需求。

分组交换网是数据网的基础网,具有广阔的发展空间。分组交换网适用于对线路质量要求不高的环境下,为接入速率较低(64kbit/s以下)的数据和少量突发性数据的终端用户提供业务,并为各专业部门提供低、中速率的数据用户组网平台。

数字数据网(DDN)适合于业务量持续稳定以及实时性要求高的用户,并可为对专线资费有一定承受能力的大集团用户提供专线业务。此外,目前DDN还可用作其他数据网(如分组交换网、Internet等)的中继传输。

帧中继网及ATM主要定位于宽带数据通信的应用。帧中继业务可根据业务需求及网络的实际情况,可通过分组交换网的设备升级提供,在DDN的基础上提供,或在专门的帧中继网上提供。以ATM技术为平台的ATM多媒体业务网可适应用户对宽带接入速率和相应业务的需求,如局域网互联、虚拟专用网等中、高速(64kbit/s~2Mbit/s)数据通信及Internet集团用户接入的需求。

数据网进一步发展的趋向是IP网,目前,最流行的IP传递技术有3种,即IP Over ATM、IP Over SDH和IP Over WDM。IP与ATM的结合是面向连接的ATM与无连接IP的统一,也是选路与交换的优化组合,可以综合利用ATM的传输速度快、容量大、多业务支持能力的优点和IP的简单、灵活、易扩充和统一性的特点,达到优势互补的目的。

本章重点讨论分组数据网(X.25)、中国公用分组交换数据网(CHINAPAC)、数字数据网(DDN)和帧中继网(FR网)的基本概念及理论,其他如ATM、IP网等内容在后续有关章节讲述。

## 6.1

数据通信是计算机技术和通信技术相结合而产生的一种通信方式。它通过通信线路将信息发生源(数据终端)与计算机连接起来,从而可使不同地点的数据终端直接利用计算机来实现软、硬件和信息资源的共享。

通信的目的是为了传递信息。如果信息的形式是数字信号,此时若通信的对象仅限于人,是人与人之间的信息传递,如数字电话、电传电报等,则称为“数字通信”;若通信的对象不限于人,而是人与机器(指计算机或终端等)或机器与机器间的通信,则称为“数据通信”。一般来说,数据通信具有如下的特点:

- (1) 数据通信是人—机或机—机间的通信,计算机直接参与通信是一个重要特征;
- (2) 数据通信传输和处理的离散数字数据,而不是连续的模拟信号;
- (3) 传输速率高,要求接续和传输响应时间快;
- (4) 传输系统质量高,要求误码率在  $10^{-8} \sim 10^{-10}$  左右。

### 6.1.1 数据通信系统的基本构成

数据通信系统基本构成如图 6.1 所示,是由数据终端设备 (DTE)、数据电路和计算机系统组成。数据终端设备根据数据通信业务内容的不同,可分为分组型终端 (PT) 和非分组型终端 (NPT) 两大类。分组型终端如计算机、数字传真机、智能用户电报终端 (teletex)、用户分组装拆设备 (PAD)、用户分组交换机、专用电话交换机 (PABX)、可视图文接入设备 (VAP)、局部地区网 (LAN) 设备和各种专用终端等。非分组型终端包括个人计算机终端、可视图文终端、用户电报终端和各种专用终端等。数据电路由传输信道和数据电路终接设备 (DCE) 组成。DCE 是数据通信设备中的一种,其主要功能是在数据终端设备和其接入的网络之间进行接口规程及电气上的适配,不同的数据通信系统所用的数据电路终接设备可以有所不同。如果传输信道属于模拟信道, DCE 的作用就是把 DTE 送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道,或者反过来把信道送来的模拟信号变换成数据信号再送到 DTE;如果信道是数字的,则 DCE 的作用是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡、收发时钟的形成与供给以及线路接续控制等等。

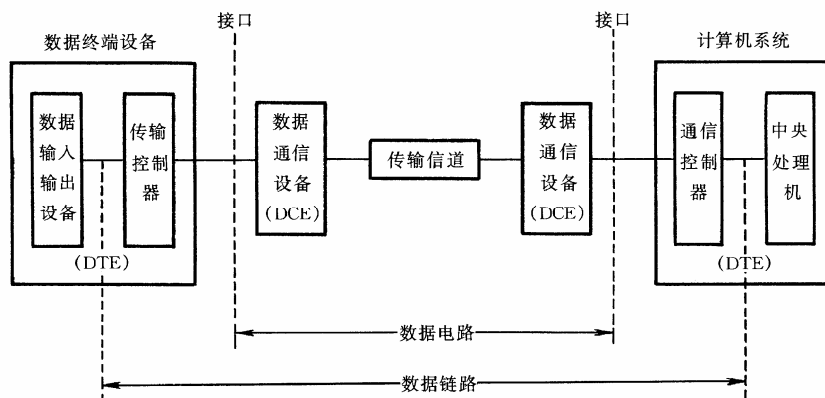


图 6.1 数据通信系统的构成

传输信道从不同角度有不同的分类方法,如可分为模拟信道和数字信道,有线信道和无线信道,频分信道和时分信道,还有专用线路和交换网线路之分。如果是交换网线路,则在每次通信开始之前首先要通过呼叫过程来建立连接,通信结束后再拆除连接,这和打电话的情况类似。如果是专线连接则较简单,采用固定连接方法,无需上述的呼叫建立与拆线等过程。

计算机系统是数据通信系统的核心部分，通常由通信控制器和中央处理机两部分组成。它具有处理由数据终端设备输入的信息数据并将其结果输出给数据终端的功能。通信控制器设在中央处理机和通信线路之间，用于管理与数据终端相联结的所有通信线路。中央处理机用来处理由数据终端输入的数据。它主要包括主存储器，用来存储为处理数据用的程序和部分使用频繁的数据；辅助存储设备，也称外存储器，包括早期的磁鼓、磁盘、磁带等，用来暂时存储程序或数据，具有主存储器的辅助功能。当然也可利用这些磁盘或磁带将数据信息或程序文件长期保留使用。

当数据电路建立之后，为了进行有效的通信还必须按一定的规程对传输过程进行控制，以达到双方协调和可靠地工作。这些功能在图 6.1 所示的系统中是由传输控制器和通信控制器来完成的。它们按照双方事先约定的传输控制规程进行控制。控制装置与数据电路一起又称为数据链路。一般来说，只有在建立起数据链路之后通信双方才可真正有效地进行数据传输。

6.1.2 公用电话网中的数据通信

1. 模拟数据通信

由于经济上的考虑，通常使用公用电话网进行中低速的数据通信。目前，利用电话网开放数据业务可有几种不同的形式。一是直接通过公用电话交换网在两地用户间传输信号；一是直接通过电话网向用户提供固定接续的传输电路，通常称作租用电路；用户也可以利用这种租用电路来构成自己的专用数据网。当前，中国电信在利用原有电话网传输电路的基础上已在北京、上海和广州等地设置了分组交换机，构成了一个初具规模的分组交换网，并向用户开放业务。

为了在现有电话网上传输数据信号，必须首先把数据源发出的原始数据信号转换成适合于现有电话网传输要求的信号。目前我国国内电话网的主要传输和交换手段仍然是以模拟方式的传输为主。因此，利用现有电话网来传输数据信号时，必须在发送端将二进制数据信号转换成模拟信号，而在接收时还需进行相反的转换，这就需要在数据通信中应用数据信号的调制器（MODEM）和解调器（DEMODEM）。

在公用电话交换网上开放数据业务，用户端还需设置网路控制单元，负责建立呼叫连接、拆除连接以及电话与数据的相互转换等。有时网路控制单元与调制解调器结合在一起而单独设置。用电话网传送数据的示意图如图 6.2 所示。



图 6.2 公用电话网传送数据示意图

为适应电话网上进行数据通信的要求，CCITT（现为 ITU-T）已提出 V.24、X.21 与 X.25 等几种常用的数据通信接口标准。

2. 数字数据通信

前面已讨论了利用模拟信道传输数据信号，但这种传输方式会受到许多限制，即使采用

十分复杂的调制解调和自适应均衡技术，每一模拟话路的传输速率最高也只能达到 14400bit/s，实际的传输速率均在 9600bit/s 以下。相反，采用数字信道来传输数据信号时，每一数字话路的数据传输速率为 64kbit/s，相当于复用 5 路 9.6kbit/s 或 10 路 4.8kbit/s 的数据信号，而且无需调制解调器，这显然要比模拟话路所达到的传输效率要高得多。

目前，我国的程控交换网已遍及全国，数字电路是一种丰富的资源。另一方面，从传输质量来说，在传输距离较长时，由于数字信道中间可以加入再生中继器，使信道中引入的噪声和信号畸变不积累，从而大大提高了传输质量。通常，PCM 数字通信系统的平均误码率一般不大于  $10^{-6}$ ，比模拟信道传输数据要优越得多。另外，当数据通信的业务量达到一定程度时，建立这样一个传输网的经济效益就会变得很明显。目前，很多省、市已经建成了数字数据网。通信网的数字化已成为总的发展趋势，利用数字数据传输网，可向用户提供高质量的租用数据电路和为建立公用数据网提供优质数字传输信道。

利用 PCM 数字信道传输数据信号，首先要解决的问题是数据信号如何进入 PCM 话路，下面按同步和异步两种情况分别说明如下：

(1) 同步方式。利用 PCM 数字信道传输数据，如果数据信号与数字端局的时钟是同步的，此时数据终端输出的数据信号是受 PCM 信道时钟控制的，因此只需对数据信号进行多路化处理即可。这里数据终端设备处于受控制的从属地位，因此灵活性差。

(2) 异步方式。如果数据信号与数据端局的时钟是异步的，这时数据信号可采用填充方式复用到 64kbit/s 的集合信号。填充方式可分为比特填充、字符填充和包封等 3 种方式。

数字数据传输系统如图 6.3 所示。它包括以下几个部分：

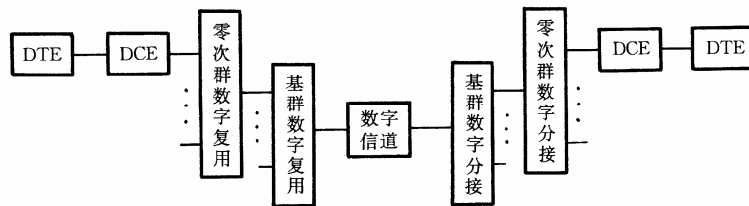


图 6.3 数字数据传输系统示意图

(1) 传输系统。这是指从用户终端至本地局之间的数字传输子系统，即通常所说的用户环路传输系统，大都采用对绞电缆线对提供双工传输。

(2) 时分复用器。在数字数据传输系统中，时分复用也是分级实现的。第一级是将来自多条用户线的信号形成 64kbit/s 的通用信号，也称为 0 次群数据复用器。第二级是将 64kbit/s 集合数据流，按 32 路 PCM 系统的格式进行时分复用，也称为基群数据复用器。

(3) 数字传输信道。局间传输包括从本地局至市内中心局之间的市内传输，以及不同城市的中心局与中心局之间的长途传输。无论是市内传输或长途传输，均可利用已有电话网的数字传输信道。

### 6.1.3 数据通信网

#### 1. 数据通信网

数据通信是计算机技术与通信技术相结合的产物，其含义包括利用计算机进行数据处理

与利用通信设备和线路进行数据传输两个方面。广义的数据通信应是：利用通信系统对二进制编码的字母、数字、符号以及数字化的语音、图像信息所进行的传输、交换和处理。数据通信网是基于在通信物理链路或称为通信网络的基础上依靠分布在各处的数据传输设备、数据交换设备和通信线路所构成的网络。它可使网中的任一设备和另一设备进行数据通信。数据通信网的任务主要是在网络用户之间，透明地、无差错地、迅速地交换数据信息。

数据通信网通常由硬件和软件两部分组成。硬件部分包括数据传输设备、数据交换设备和线路，软件部分是支持上述硬件而配置的网络协议等。它能实现终端与主机（计算机）、主机与主机间的数据通信与交换，其基本形式如图 6.4 所示。图中把在网络中完成数据传输、交换功能的一个点称为节点。

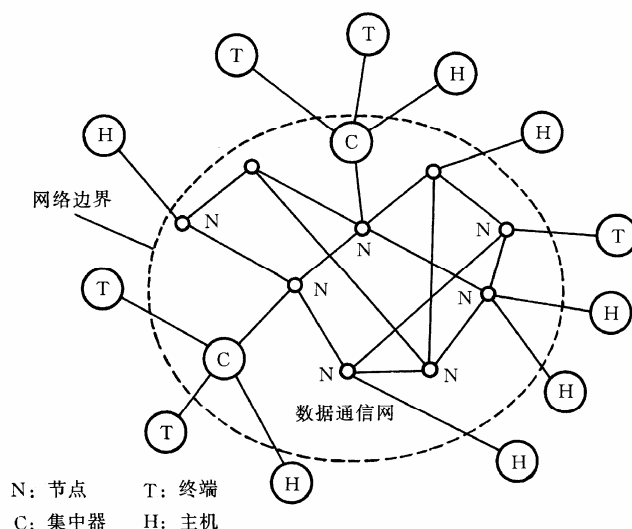


图 6.4 数据通信网模式

数据网与一般通信网相类似，可以有很多不同的分类方法，例如若以交换方式来分，主要有电路交换、报文交换和分组交换等。同样数据网是在通信网基础上建立的，通路的传输能力直接关系到数据传输的速率。常用通路有模拟和数字之分。

在模拟网还占一定数量的情况下，大部分数据信息是依靠模拟通路传输的，其传输的速度较低，一般为  $2.4 \sim 9.6 \text{ kbit/s}$ ，适用于信息源点之间通过拨号选路实现数据传输的电路交换方式。数据信号通过模拟通路（音频话路或载波话路）传输时，需要解决 3 个问题：一是使数据信号适应话音带宽  $300 \sim 3400 \text{ Hz}$  限定的要求；二是使数据终端输出的数字信号变为适应通路传输的模拟信号；三是按数据传输接口标准（CCITT V.24 建议，现为国际电联电信标准化部门 ITU-T）建立数据通信链路，为此需要设置具有上述功能的设备——调制解调器，常用的调制方式为移频键控（FSK）与移相键控（PSK）。通常音频话路传输数据速率为  $300 \sim 9600 \text{ bit/s}$ ，载波话路为  $48 \sim 96 \text{ kbit/s}$ 。

利用数字通路实现数据传输无需模拟通路所需的调制解调器，免去 A/D 与 D/A 变换过程，适于建立高速率数据传输通道，并有利于向综合业务数字网发展。另外通过时分复接设备，可将低速比特流复接成高速比特流，在一个  $64 \text{ kbit/s}$  话音通道中可传送速率为  $48 \text{ kbit/s}$  的数据信号。根据 CCITT X.50、X.51 建议，利用时分复接器时，可将 80 个速率为  $600 \text{ bit/s}$  的数据

终端设备 (DM) 的输出复接在一起, 然后由 PCM 64kbit/s 通路传输, 或者将速率为 48kbit/s 的数据信号直接送入 PCM 64kbit/s 通路。

2. 计算机通信网和计算机网

计算机通信网和计算机网这两个名词, 人们常把它们混淆起来。为了弄清上面两个名词的内在含义, 下面作扼要的讨论。

如果把图 6.4 看成是由两个子网组成的网络, 即由图中虚线以内的通信子网和虚线以外的资源子网组成时, 则把图 6.4 所示的整个网络称为计算机通信网。其中的通信子网实际上就是上面所述的数据通信网, 它主要的功能是完成数据的传输、交换及通信控制; 而资源子网的主要任务是提供所需要共享的硬件、软件及数据等资源, 并进行数据的处理。因此计算机通信网可定义如下: 将地理位置不同、具备独立功能的多台计算机、终端及其附属设备用数据通信网连接起来, 且配以相应的网络软件 (网络协议和网络操作系统等), 实现资源共享的网络, 称为计算机通信网。

图 6.5 表示了用户使用计算机通信网的情况。用户把整个通信网看作是若干个功能不同的计算机系统的集合, 用户为了访问这些资源, 首先要了解网络中是否有所需的资源, 然后才能调用它们。也就是说, 用户要想共享网内的资源, 必须先熟悉网内每个子系统。例如, 用户需用文件 A 的话, 首先要了解该文件放在哪个子系统中, 然后才能到该子系统中调用文件 A。所以计算机通信网的特点是: 用户为了分享网内资源, 必须熟悉网内每个子系统, 而网内各计算机子系统是相对独立的, 它们形成一个松散耦合的大系统。

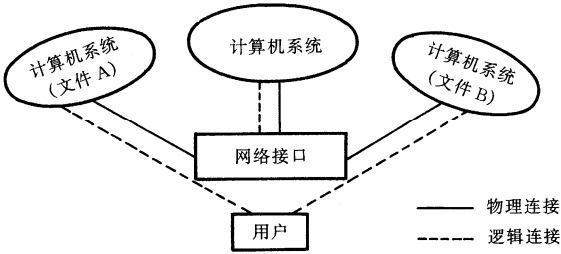


图 6.5 用户使用计算机通信网

图 6.6 表示用户使用计算机网的情况。在计算机网中, 用户把整个网看成一个大的计算机系统, 用户需要的资料、文件等资源的查找、调用由网络操作系统去完成。所以, 计算机网的特点是由操作系统实现资源共享, 不需要用户自己去了解、调用网络的某一资源。



图 6.6 用户使用计算机网

总之, 计算机通信网与计算机网关键的区别是取决于用户是否参与管理计算机资源。现有的网络都尚未具备完善的网络操作系统, 仅实现了一定程度的资源共享, 它们是计算机通信网。显然计算机通信网是计算机网的低级形态, 而具有完善功能的高级形态的计算机通信



网才称为计算机网。未来的计算机系统将具有海量信息的存储与处理，有友好的人机界面和灵活的交互功能，从“初解人意”逐步地发展成“善解人意”。未来的计算机网络将从原来以传输信息为主要目的计算机通信网，逐渐地发展为具有网络计算、网络推理和能进行个性化主动服务的计算机网

## 6.2 通信网体系

### 6.2.1 通信协议

数据通信网是将多种计算机和各类终端，通过通信线路连接起来的一个复杂系统，要实现资源共享、负载均衡、分布处理等网络功能，就必须找到它们之间互连而协调一致的规约，这就是网络协议。协议的制定和实现采用层次结构，即将复杂的协议分解为一些简单的分层协议，再综合成总的协议。按其使用情况分为两类；一类是同等功能层间的通信规约，称为通信协议，它是完成该功能层的特定功能双方必须遵守的规定；另一类是同一计算机不同功能层间的通信规约，称为接口或服务，它规定了两层之间的接口关系及利用下层的功能提供上层的服务。

为了使网络系统结构标准化，便于计算机之间的互通，1978 年国际标准化组织（ISO）提出了开放系统互连参考模型（OSI — RM），随后又与 CCITT 协同提出了各层协议（即 7 层）等，作为指导计算机网络发展的标准协议。

#### 1. 开放系统互连参考模型

所谓“开放系统”是指一个系统与其他系统进行通信时能够遵循 OSI 标准的系统，按 OSI 标准研制的系统，均可实现互连，开放系统互连的七层模型的示意图如图 6.7 所示。

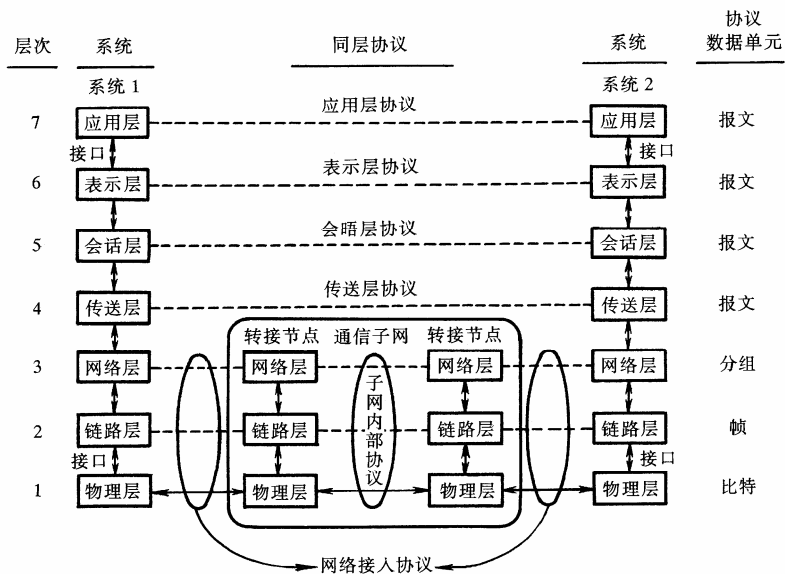


图 6.7 开放系统互连 7 层模型示意图

同一系统层与层之间的关系由接口或下一层提供上一层的服务所规定。不同系统相同层之间的系统由协议或规程描述。通常把 7 层中 1、2、3 层称为低层组，它是由计算机和网络共同执行的功能，把 4、5、6、7 层称为高层组，它是开放系统 1 和 2 之间执行的通信控制功能。

**物理层** 物理层是 OSI 的最下层。由于所有各种形式的 DTE 及交换机等都需要物理层，所以它所包含的内容是相当多的。物理层的功能是提供 DTE 之间、DTE 与数据电路终接设备（DCE）之间的机械的连接设备插头、插座的尺寸和端头数及排列等，如 ISO 所规定的连接器标准；电气的接口电路（信号电平与负载能力等），如 EIA RS-232C 部分内容，CCITT 的 V.28、V.10、V.11；功能规定（DTE、DCE 之间接口电路的功能等），如 X.24、V.24 等规定。

**数据链路层** 数据链路层是 OSI 的第二层，它的主要功能是保证上层数据帧在信道上无差错地传输。数据链路是数据的发生点与接收点之间所经过的全部途径，是一条点 — 点式或点 — 多点式信道，它由通信实体中实现链路层协议的硬件、软件，调制解调器或其他的数据电路终接设备、数据传输电路与设备等构成。

链路层为了保证通信双方有效、可靠、正确地工作，把比特流划分成码组或帧，并规定了识别码组或帧的开始与结束标志，便于检测传输差错及增加传输控制功能。

常用的数据链路层协议有两类。一是面向字符的传输控制规程，如基本型传输控制规程。另一类是面向比特的传输规程，如高级数据链路控制规程（HDLC）。

**网络层** 网络层是 OSI 的第三层，有时也称为通信子网层，用于控制通信子网的运行。从第四层来的报文在此转换为分组进行传送，然后在收信节点再装配成报文转给第四层。报文分组在发信节点与收信节点之间建立起的网路连接上传送，在 X.25 中将这种连接的信道称为虚电路。为此网络层（在 X.25 中称为分组层）需完成网络的寻址，建立虚电路，通信完毕后拆除虚电路。当两个数据终端的速率不同时，还需实施流量控制；链路层差错控制后剩余的差错由网络层改正，并保证分组按正确顺序传递。

**传送层** 传送层是第四层，有时也称计算机 — 计算机层；或端 — 端层。OSI 的前三层可组成公共网络（分组网中的节点机只有前三层），它可被很多设备共享，并且数据在计算机 — 节点机，节点机 — 节点机间是按“接力”方式传送的，为了防止传送途中报文的丢失，计算机之间可实行端 — 端控制。传送层的主要功能是建立、拆除和管理传送连接；它是在网络连接的基础上工作的，一条传送连接通道可以建立在一条或多条网络连接通道上，以提高传送报文的能力；也可以几条传送连接通道合用一条网络连接通道，以降低通信费用，使用户进程之间交换的数据能可靠而经济地传送。

**会话层** 会话层是第五层，用户与用户的逻辑上的联系（两个表示层进程的逻辑上的联系）通常称为会话。如果忽略掉执行一定的数据转换功能的表示层，则会话层是用户（应用程序）进网的接口。它与前面几层一起提供分布式进程通信可靠的环境。会话层的主要功能是，在建立会话时，核实对方身份是否有权参加会话；确定何方支付通信费用；在各种选择功能

方面（如是全双工还是半双工通信）取得一致；在会话建立以后，需要对进程间的会话进行管理与控制，例如会话过程某个环节出了故障，会话层在可能的条件下必须存储这个会话的数据，免得数据丢失；如不可能保留，那么便终止这个会话，并重新开始。

**表示层** 表示层是第六层，它管理所用的字符集与数据码，数据在屏幕上的显示或打印方式，颜色的使用，所用的格式等。该层的主要功能有字符集转换，对有剩余的字符流进行压缩与恢复，数据的加密与解密，实终端与虚终端之间的转换，使字符、格式等有差异的设备间可以相互通信，并提高通信效能，增强系统的保密性等。

**应用层** 应用层是第七层，它为应用进程访问网络环境提供工具，并提供它直接可用的全部 OSI 的服务。应用层的内容直接取决于各个用户，在特定的应用场合需制定出相应的标准，例如，智能用户电报、电子邮件系统等都已制定出属于应用层的标准。

网络设备各层功能实现的一般方法是：较低层协议，特别是第一、第二层，主要由硬件实现；较高层协议则主要靠软件实现。随着大规模集成电路技术的发展，用硬件实现的比重相应地增加。

2. OSI 参考模型中的几个基本概念

(1) 对等层通信协议和层间服务

国际标准化组织（ISO）、国际电报电话咨询委员会（CCITT）现为国际电联电信标准化部门（ITU-T）、国际电工和电子工程师学会（IEEE）等标准化组织制定的，用于实现 OSI 各层功能的标准分为“协议”和“服务”两部分，“协议”定义了对等层之间（水平通信）的通信规则和过程，“服务”定义了相邻的上、下层之间（垂直通信）接口的方法。表 6.1 所示的是由 ISO、CCITT 和 IEEE 制定的最常见的协议和服务标准。在许多情况下这些标准化组织制定的标准是类似的。例如，ISO 8348 和 CCITT X.213 的文本几乎是相同的。IEEE 的服务定义 802.x 和 ISO 8802/x 是相同的。

表 6.2 中进一步展开了 ISO 和 CCITT 制定的低 3 层（与网络相关）协议。我们将在以后的章节中重点描述其中的部分协议。

用于描述 OSI 7 层模型的标准包括：CCITT X.200、X.210 和 ISO 7498。

表 6.1 常见的 7 层协议和服务

| IEEE 协议 | CCITT 协议                                                 | ISO 协议                                                      |     | ISO 服务           | CCITT 服务           | IEEE 服务 |
|---------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----|------------------|--------------------|---------|
|         | X.400-X.430MHS<br>X.228 RTSE<br>X.229 ROSE<br>X.227 ACSE | 9040 VT<br>8650 • CCR<br>8571 FTAM<br>8649 CASE<br>8831 JTM | 应用层 | 8650<br><br>8822 | X.217<br><br>X.216 |         |
|         | X.208<br>X.209<br>X.226                                  | 8824<br>8825<br>8823                                        | 表示层 | 8326             | X.215              | 昉       |
|         | X.225                                                    | 8327                                                        | 会话层 | 8072             | X.214              | 昉       |
| 昉       | X.224                                                    | 8073<br>8602                                                | 运输层 | 8348             | X.213              |         |
|         | Q、931<br>X.25<br>X.75<br>X.300-X.352                     | 8208<br>8878<br>8473<br>8648                                | 网络层 | 8886<br>8802/2   | 昉<br>X.212         | 802.2   |

|     |             |              |     |                            |       |                         |
|-----|-------------|--------------|-----|----------------------------|-------|-------------------------|
| 802 | LAPB        | 7776         | 链路层 | 8802/3<br>8802/4<br>8802/5 | X.211 | 802.3<br>802.4<br>802.5 |
|     | L.440/L.441 | 7809         |     |                            |       |                         |
|     | LAPD        | 3309         |     |                            |       |                         |
|     |             | 4335<br>8022 |     |                            |       |                         |
| *   | *           | *            | 物理层 | 帧                          |       |                         |

\* 协议较多，请参考其它文献

(2) 服务原语

在 OSI 参考模型中用实体“Entity”一词表示任何可以发送或接收信息的硬件或软件进程。在许多情况下，实体就是一个特定的软件模块，每一层可以看作由若干实体组成。相同层次内相互交互的实体称为对等实体。

表 6.2 OSI 低 3 层协议

|     |                                                                          |                                                           |                                                                                          |                                                                                 |                                                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 物理层 | 综合的                                                                      | 机械的                                                       | 电气的                                                                                      | 功能的                                                                             | 过程的                                                                              |
|     | CCITT I.411<br>CCITT I.412<br>I.461(X.30)<br>I.462(X.31)<br>I.463(X.110) | ISO IS 2110<br>ISO IS 2593<br>ISO IS 4902<br>ISO IS 4903  | CCITT V.10(X.26)<br>CCITT V.11(X.27)<br>CCITT V.28-X.31<br>CCITT V.35<br>CCITT I.430-431 | CCITT V.24<br>CCITT X.24                                                        | CCITT V.24 帧<br>CCITT V.25 帧<br>V 系列 Modem 帧<br>X.20-X.20bis 帧<br>X.21-X.21bis 帧 |
| 链路层 | 综合的                                                                      |                                                           | 过程的帧                                                                                     |                                                                                 |                                                                                  |
|     | ISO 7776, 8471<br>ISO 3309                                               |                                                           | CCITT X.25, X.75, I.440, (Q.920)<br>ISO 4335, 7478, 7809                                 |                                                                                 |                                                                                  |
| 网络层 | 综合的                                                                      | 操作的                                                       | 网络访问                                                                                     | 交互工作帧                                                                           |                                                                                  |
|     | ECMA TR 13<br>ISO 8348<br>ISO 8473<br>SC6 2965<br>SC6 2908               | CCITT X.21<br>CCITT X.25<br>CCITT X.60~X.61<br>CCITT X.75 | CCITT X.3<br>CCITT X.28<br>CCITT X.29<br>CCITT I.451, (Q.930)<br>ISO 8202<br>ISO 8472    | CCITT X.300 帧<br>CCITT X.310 帧<br>CCITT X.320 帧<br>ECMA 92 帧<br>ECMA TC 24/84/1 |                                                                                  |

在同一开放系统中，(N+1) 实体向 (N) 实体请求服务时，服务用户和服务提供者之间要进行交互，交互的信息称为服务原语。服务原语指出需要本地或远端的对等实体做些什么事情。为此，OSI 规定了第一层均可使用的 4 种服务原语类型（表 6.3）。

表 6.3 OSI 的 4 类服务原语

| 原 语        | 译 名 | 意 义              |
|------------|-----|------------------|
| Request    | 请求  | 一个实体请求得到某种服务     |
| Indication | 指示  | 把关于某一事件的信息告诉某一实体 |
| Response   | 响应  | 一个实体愿意响应某一事件     |
| Confirm    | 证实  | 确认一个实体的服务请求并告诉它  |

一个完整的服务原语由原语名字、原语类型和原语参数 3 部分组成。原语名字和原语类型都用英文写出，两者之间用圆点或空格隔开，原语参数用括号与前面两部分隔开，可用中文表示。例如，一个网络连接请求原语的写法是：

N – CONNECT .request (主叫地址，被叫地址， 确认，加速数据， QOS ，用户数据 )

原语名字                  类型                                  参数

(3) 服务访问点

在同一系统中相邻两层的实体交换信息的地方称为服务访问点 SAP(Service Access Point)，它是相邻两层实体的逻辑接口，或者说 (N) 层 SAP 就是 (N+1) 层可以访问 N 层的地方。在一个系统的两层之间可以允许有多个服务访问点，每个 SAP 都有一个唯一的地址码，供服务用户间建立连接之用。

一般情况下，两个服务用户之间有一条 (N) 连接。但在多点连接和广播通信的情况下，一条连接可以超过两个服务用户。在这种情况下，信息从一个源点出发可到达多个终点。还有另一种情况，要在两个服务访问点之间建立多条连接，为此，引入了连接端点 CEP (Connection End Point) 的概念。一个服务访问点中可以有多个连接端点，以便每条连接的两端使用不同的连接端点，如图 6.8 所示。

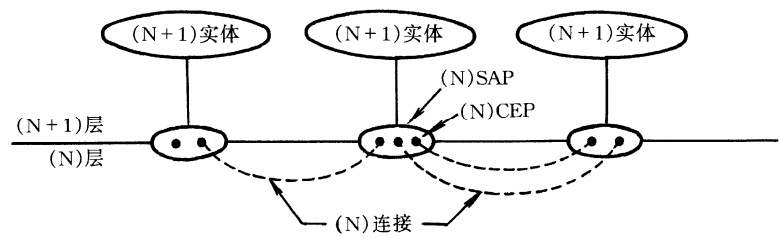


图 6.8 连接与连接端点

(4) 面向连接和无连接服务

下层能够向上层提供面向连接和无连接两种形式的服务。这里的“连接”是指两个对等实体为进行通信而进行的一种结合。面向连接服务在数据交换之前必须先建立连接，保留下层的有关资源，数据交换结束后，应终止这个连接，释放所保留的资源。面向连接的服务具有连接建立、数据传输和连接释放这 3 个阶段，利用面向连接的服务传送数据是按序传送的，这一点和电路交换的许多特性相似，因此，面向连接的服务在网络层中又称为虚电路服务。这里的“虚”字表示两个对等实体在通信过程中，虽然没有占用一条端到端的物理电路，但却好像是占用了一条这样的电路。

对于无连接服务，两个实体之间的通信不需要先建立好一个连接，因此，其下层的有关资源不需要事先预订保留，这些资源是在数据传输时动态地进行分配的。无连接服务的优点是灵活方便和迅速，但无连接服务不能防止报文的丢失、重复或失序。在采用无连接服务时，由于每个报文都必须提供完整的目的站地址，因此，其开销也较大。

3. OSI 参考模型与数据通信的关系

开放系统互连 (OSI) 参考模型是计算机互连体系结构发展的产物，它的目的是为异种计算机互连提供一个共同的基础和标准框架，并为保持相关标准的一致性和兼用性提供共同的参考。它的基本内容是通信功能连接的分层结构。OSI 参考模型与几种典型的数据通信网在功能上的对应关系如表 6.4 所示。

表 6.4 OSI 参考模型在功能上与数据通信网的对应关系

| 网络名称 | 与 OSI 参考模型的对应 |
|------|---------------|
|------|---------------|

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| X.25 分组交换数据网 (PSPDN) | 物理层、链路层、网络层     |
| 数字数据网 (DDN)          | 物理层             |
| 帧中继网 (FR 网)          | 物理层、链路层         |
| Internet             | 物理层、链路层、网络层、传送层 |
| ISDN                 | 原则上全部各层         |
| ATM 网                | 物理层、链路层         |

### 6.2.2 高级数据链路控制 (HDLC) 规程

数据链路为数据终端到计算机及计算机与计算机之间提供按照某种协议进行传输控制的数据通路。它由数据电路以及数据终端设备 (DTE) 和通信控制处理器 (CCP) 中的传输控制部分组成。为了可靠地传输数据信息需要有各种传输手续, 如传输之前的接续, 传输之中的确认, 传输结束之后拆线等。为了减少传输过程中的差错, 接收方需要有检错和纠错控制功能, 为了接收端能正确接收, 还要进行收、发双方的同步控制等。这种在数据链路上的数据传输所必须的手续和控制称为传输控制。进行这些传输控制的一系列规则称为数据链路控制规程。

数据链路控制规程可分为两大类: 面向字符的协议和面向比特的协议。面向字符的协议以字符作为传输的基本单位, 并用 10 个专用字符控制传输过程。这类协议发展较早, 随着计算机通信的发展, 面向字符的控制规程逐渐暴露出其可靠性较差, 不易扩展, 传输效率低, 不适用于实时系统中的应用等弱点。面向比特的协议以比特作为传输的基本单位, 它的传输效率高, 能适应计算机通信技术的最新发展, 已广泛地应用于公用数据网上。

HDLC 协议的全称是高级数据链路控制协议 (High Level Data Link Control)。它是国际标准化组织 (ISO) 根据 IBM 公司的 SDLC (Synchronous Data Link Control) 协议扩充开发而成的。国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 也有一个相应的标准, 叫做 LAP-B 协议 (Link Access Procedure-Balanced), 它其实是 HDLC 的子集。

HDLC 规程的特点是:

- 透明传输: 即对要传输的信息文电的比特结构无任何限制, 也就是说信息文电可以是任意的字符码集或任意比特串, 而不会影响链路的监控操作。
- 可靠性高: 在所有的帧里都采用循环冗余校验, 并且将信息帧按顺序编号以防止信息码组的漏收和重收。
- 传输效率高: 在通信中不要等到对方应答就可以传送下一帧, 可以连续传送, 也可以进行双向同时通信。
- 灵活性大: 传输控制功能与处理功能分离, 应用范围比较广泛。

#### 1. HDLC 规程有关概念的定义

为了能适应不同配置、不同操作方式和不同传输距离的数据通信链路, HDLC 定义了 3 种类型的站、2 种链路配置和 3 种数据传输方式。

3 种类型的站是:

- (1) 主站: 对链路进行控制, 主站发出帧叫命令。
- (2) 从站: 在主站控制下进行操作, 从站发出帧叫响应。主站为线路上的每个从站维持一条逻辑链路。

(3) 复合站：具有主站和从站的双重功能。复合站既可发送命令也可以发出响应。

2 种链路配置是：

(1) 不平衡配置：适用于点对点 and 多点线路。这种线路配置由一个主站和多个从站组成，支持全双工或半双工传输。

(2) 平衡配置：仅用于点对点线路。这种配置由两个复合站组成，支持全双工或半双工传输。

3 种数据传输方式是：

(1) 正常响应方式 (NRM)：适用于不平衡配置，只有主站能启动数据传输，从站仅当收到主站的询问命令时才能发送数据。

(2) 异步平衡方式 (ABM)：适用于平衡配置，任何一个复合站都无需取得另一个复合站的允许就可启动数据传输。

(3) 异步响应方式 (ARM)：适用于不平衡配置，从站无需取得主站的明确指示就可以启动数据传输，主站的责任只是对线路进行管理。

正常响应方式可用于计算机和多个终端相连的多点线路上，计算机对各个终端进行轮询以实现数据输入。正常响应方式也可以用于点对点的链路上，例如，计算机和一个外设相连的情况。异步平衡方式能有效地利用点对点全双工链路的带宽，因为这种方式没有轮询的开销。异步响应方式的特点是各个从站轮流询问中心站，这种传输方式很少用。

2. HDLC 规程帧结构

HDLC 用具有统一结构的帧作为传输信息的基本单位，无论是信息报文或控制报文都必须以符合帧的格式进行同步传输。图 6.9 表示了 HPLC 的帧结构，它由 F、A、C、I、FCS、F 6 个字段组成。下面对 HDLC 各个字段分别予以解释。



图 6.9 HDLC 的帧结构

(1) 标志 F

HDLC 协议用于面向比特的传输系统，信息传输的形式是比特流，因此，必须解决所传输信息的起止位置，以及比特同步问题。F 字段用一种唯一固定的比特序列“01111110”作为一帧的开始和结束的标志，同时也作为帧同步之用。当连续发送数据时，同一标志既表示前一帧的结束，又表示下一帧的开始。为了防止在标志以外的地方（如信息字段、地址字段）出现同样序列，在发送端和接收端必须对发送帧中的地址、控制、信息及校验序列（除标志之外）等字段进行零比特的插入和删除。其具体工作过程是：如果在发送端标志后出现 011111 的码形结构（即有连续的 5 个“1”），就必须在其后插入“0”。例如，原来要发送的二进制序列是 0111111101，插入“0”后，就成为 01111101101 形式。在接收端遇到 5 个“1”后的“0”，就自动将此“0”去掉，恢复发送端的原来编码，即 0111111101，按此办法，就可保证标志序列的唯一性，也就是说不对发送数据的内容进行限制。

(2) 地址字段 A

地址字段用于标识从站的地址。虽然在点对点链路中不需要地址，但是为了帧格式的统一

一，也保留了地址字段。地址通常是 8 位长，然而经过协商之后，也可以采用更长的扩展地址。扩展的地址字段表示在图 6.10 中，可以看出它是 8 位组的整数倍。每一个 8 位组的最低位指示该 8 位组是否是地址段的结尾：若为 1，表示是最后的 8 位组；若为 0，则不是。所有 8 位组的其余 7 位组成了整个扩展地址字段，全为 1 的 8 位组（11111111）表示广播地址。若主站发出带有全 1 地址的帧，则所有从站都要接收该帧。

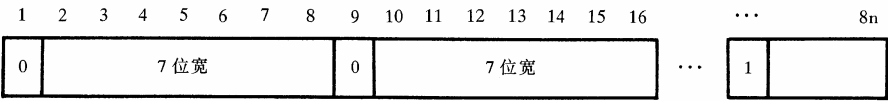


图 6.10 HDLC 扩展地址字段

(3) 控制字段 C

HDLC 定义了 3 种帧，可根据控制字段的格式区分之。信息帧（I 帧）装载着要传送的数据，此外还捎带着流量控制和差错控制的信号。监控帧（S 帧）用于提供实现 ARQ 的控制信息，当不使用捎带机制时用管理帧控制传输过程。无编号帧（U 帧）提供各种链路控制功能。控制字段第 1 位或前两位用于区别 3 种不同格式的帧，如图 6.11 所示。信息传输格式（I 帧）由 C 字段中第 1 位为“0”表示，监控格式（S 帧）由 C 字段中第 1、2 位为“10”表示，无编号格式（U 帧）由 C 字段中第 1、2 位为“11”表示。控制字段的一般格式为 8 位组。其中：

- N (S)：发送端发送序列编号；
- N (R)：发送端接收序列编号；
- S：监控功能位；
- M：无编号帧（附加修改）功能位；
- P/F：命令帧发送时的询问位/响应帧发送时的终止位。

| 控制字段<br>格式      | 控制字段的位 |      |   |   |     |      |   |   |
|-----------------|--------|------|---|---|-----|------|---|---|
|                 | 1      | 2    | 3 | 4 | 5   | 6    | 7 | 8 |
| 信息传输格式<br>(I 帧) | 0      | N(S) |   |   | P/F | N(R) |   |   |
| 监控格式<br>(S 帧)   | 1      | 0    | S |   | P/F | N(R) |   |   |
| 无编号格式<br>(U 帧)  | 1      | 1    | M |   | P/F | M    |   |   |

图 6.11 控制字段的比特结构

(4) 信息字段 (I)

可填入要传送的任意长数据、报文等信息。

(5) 帧校验序列 (FCS)

填入帧校验序列以便进行差错控制。FCS 可以用生成多项式  $G(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$  来进行循环冗余校验。但是，进行循环冗余校验时，应先将“011111”后插入的“0”去掉，



以便保证标志序列的唯一性，然后处理首标志序列后的一位到校验序列前一位之间的信息。

以上仅仅简单介绍了高级数据链路控制规程的概念、特点、字符和帧结构等，关于规程的Implement和操作等的介绍可参阅有关资料。

6.2.3 数据通信接口标准

CCITT 颁布的数据通信接口标准,主要是指数据终端设备 DTE 与数据电路终接设备 DCE 之间的接口。其中为利用公用电话网的数据通信提出了 V 系列建议,为利用数字通信网和公用数据网的数据通信制定了 X 系列建议。这两类建议对数据通信的规程、连接线路和信号电平都作了详细规定,使符合标准的设备能够互连和正常通信。

- 1. V 系列建议
- V.21、V.22、V.29 等用于描述话路频带调制解调器；V.24、V.28 等用于描述 DTE-DCE 接口；V.25、V.25bis 等用于描述呼叫/应答程序。本节主要介绍 V.24 建议。
- CCITT 建议（或北美制式 RS-232）对 DTE 与 DCE 间的接口电路作了规定。它适于同步和异步的数据通信，既可用在 2 线、4 线点对点或多点操作的租用线路，也可用在 2 线或 4 线的交换网。
- V.24 定义了两种接口线：100 系列与 200 系列，前者定义完成 DTE 与 DCE 间数据收发、定时馈送及各种状态、控制信号交换所需的接口线；后者只用于完成自动呼叫功能，在不需要自动呼叫时，可以不用，如图 6.12 所示。

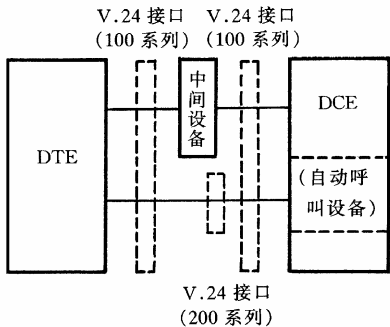


图 6.12 V.24 接口示意图

- (1) V.24 (100 系列)
- V.24 (100 系列) 接口共有 43 条线，分别作为数据电路、控制电路、定时电路、地线与公共回线，如图 6.13 所示。
- 在实际应用中，要根据具体的设备类型、线路与通信方式，正确理解和使用接口线，一般只需连接部分必要的接口线。例如 DTE 与租用电路 MODEM 通信时，主要应连 102~107、109、142 线。DTE 与交换电话网用 MODEM 通信时，除上述连线以外，还需连 125、108/2 线。对于异步通信，定时信号线 113~115 可不考虑。对 DTE 与数字程控交换系统，DTE 与线路适配器 (LAM) 或数字话机通过 V.24 接口进行异步通信时，一般只需连 102~109 线 (共 8 条)。
- 在 V.24 建议中对每条接口线的功能作了详细说明，读者需要时可查阅 CCITT V.24 建议书。

(2) V.24 (200 系列)

V.24 (200 系列) 是用于 DTE 与 DCE 中自动呼叫器 (ACE) 之间的接口电路。其编号、名称与信号传送方向如表 6.5 所示。在目前的程控交换系统中很少采用这种系列接口。

表 6.5 V.24 ( 200 系列 ) 接口电路定义

| 编 号 | 接口电路名称                | 方 向   |       |
|-----|-----------------------|-------|-------|
|     |                       | 自 DCE | 至 DCE |
| 201 | 公共信号地                 | ⏏     |       |
| 202 | 呼叫请求                  |       | *⏏    |
| 203 | 数据线路占线                | *     | ⏏     |
| 204 | 远端站接通                 | *     | ⏏     |
| 205 | 放弃呼叫(呼叫失败)            | *     | ⏏     |
| 206 | 数字信号(2 <sup>0</sup> ) |       | *⏏    |
| 207 | 数字信号(2 <sup>1</sup> ) |       | *⏏    |
| 续表  |                       |       |       |
| 编 号 | 接口电路名称                | 方 向   |       |
|     |                       | 自 DCE | 至 DCE |
| 208 | 数字信号(2 <sup>2</sup> ) |       | *⏏    |
| 209 | 数字信号(2 <sup>3</sup> ) |       | *⏏    |
| 210 | 呈现下一个数字               | *     | ⏏     |
| 211 | 数字呈现                  |       | *⏏    |
| 213 | 电源指示                  | *     | ⏏⏏⏏   |



图 6.13 V.24（100 系列）接口电路的连接

在表中有 4 条数字信号线（206、207、208、209）供 DTE 向自动呼叫设备传送二进制拨号数字和控制字符，这些数字和控制字符的编码组合关系如表 6.6 所示。其他各线的功能可参见 CCITT V.24 建议书。

表 6.6 拨号数字与控制字符的编码组合

| 信 息  | 接口线的二进制状态               |                         |                         |                         |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|      | 209 线 (2 <sup>3</sup> ) | 208 线 (2 <sup>2</sup> ) | 207 线 (2 <sup>1</sup> ) | 206 线 (2 <sup>0</sup> ) |
| 数字 1 | 0                       | 0                       | 0                       | 1                       |

|                 |   |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|---|
| 现代信息网           |   |   |   |   |
| 数字 2            | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 数字 3            | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 数字 4            | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 数字 5            | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 数字 6            | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 数字 7            | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 数字 8            | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 数字 9            | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 数字 0            | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 控制字符 EON (号码结束) | 1 | 1 | 0 |   |
| 控制字符 SPE (分隔)   | 1 | 1 | 0 | 1 |

2. X 系列建议

公用数据网是为计算机之间进行通信，以及为远程终端接入计算机提供一种公共的通道。公用数据网由若干有交换作用的节点机组成，节点机的任务是把分组数据送到目的地。CCITT 制定了 X 系列建议，其名称及主要内容如表 6.7 所示。

表 6.7

X 系列建议

| 编 号     | 主 要 内 容                                 |
|---------|-----------------------------------------|
| X.3     | 公用数据通信网内分组装/拆(PAD 功能)                   |
| X.20    | 公用数据通信起止式传输业务用的 DTE 与 DCE 之间的接口         |
| X.20bis | 公用数据网内可与 V.21 建议兼容的、起止式 DTE 与 DCE 之间的接口 |
| X.21    | 公用数据网内同步式 DTE 与 DCE 之间的接口               |
| X.21bis | 为与同步式 V 系列调制解调器接口设计的数据终端设备在公用数据网内的应用规程  |
| X.24    | 公用数据网上 DTE—DCE 间的接口电路定义表                |
| X.25    | 报文分组型公用数据网 DTE—DCE 接口                   |
| X.26    | 在数据通信领域内通常与集成电路设备一起使用的不平衡双流交换电路的电特性     |
| X.27    | 在数据通信领域内通常与集成电路设备一起使用的平衡双流交换电路的电特性      |
| X.28    | 公用数据网中，对于存取报文分组的分组装/拆设备的起止式 DTE—DCE 的接口 |
| X.29    | 公用数据网中，分组式终端与分组装、拆功能之间的控制信息及用户数据的交换规程   |
| X.75    | 在分组交换的公用数据网内的国际电路上用于传递数据的终端和经转换呼叫的控制规程  |

(1) X.21 建议

有关公用数据网中 DTE 与 DCE 间接口的 CCITT 建议有 X.20、X.20bis、X.21、X.21bis 等，其中 X.20、X.21 是 X 系列接口电路的标准，而 X.20bis、X.21bis 为公用数据网中 V 系列接口的标准。X.20 建议适用于异步工作方式，X.21 建议适用于同步工作方式。目前国际上采用 X.21 建议较为普遍，对于数字程控交换系统，DTE 与线路适配器（LAM）间也可利用 X.21 接口实现串行同步数据传送。下面就 X.21 建议作一简要介绍。

X.21 建议的接口电路代号、名称及信号传送方向如图 6.14 所示。

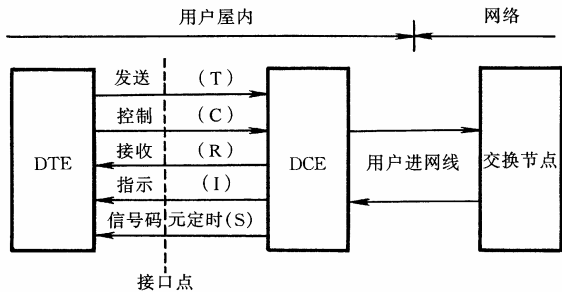


图 6.14 X.21 接口示意图

此建议说明 DTE 是如何通过接口与 DCE 交换信号而建立和解除呼叫的。该接口线共有 8 条，其功能是：

G 线——信号地线或公共回线。它提供信号参考电位。

Ga 线——DTE 公共回线。它与 DTE 公共回线相接，并作为 DCE X.26 (V.10) 接口电路的参考电位使用。

T 线——发送。由 DTE 始发的二进制数据与控制信息经此线送往 DCE。

R 线——接收。由 DCE 产生的二进制数据与控制信息经此线送往 DTE。

C 线——控制。用此线上的信号控制 DCE。在 DTE 通信开始前应置该线于“接通”状态，通信完毕后，置于“断开”状态，在通信过程中，应保持在“接通”状态。C 线的作用类似于电话中的摘、挂机。

I 线——指示。用此线上的信号表示 DCE 状态，若 DCE 置 I 线为“接通”状态，则说明 DTE 与 DCE 间可以传送数据。

S 线——信号码元定时。此线传送由 DCE 向 DTE 提供的码元定时信号，以实现比特同步传输。

B 线——字节定时。该线可以选用或不选用，若选用 B 线，则 DTE 应按字（8 比特）定时的要求发送各字符；若不选用 B 线，则 DTE、DCE 应至少以两个传输控制字符 SYN (0110100) 作字同步。SYN 和其他控制字符均符合国际 5 号标准代码规定，并采用奇校验。

对于采用 X.21 建议的数字通信网，除能自动拨号、自动应答外，还可选择直接呼叫、封闭用户组、阻止呼入或呼出及呼叫用户识别等若干特殊业务。

X.21 接口电路采用 15 芯接线器相连接。

需要指出，在采用 X.21 接口的数据网中，若要配接 V.24 (RS232C) 接口的终端时，用户可以选用 CCITT X.21bis 接口，而不必对终端进行改动。

## (2) X.25 建议

X.25 建议即“用专用电路连接到公用数据网上的分组式数据终端设备 (DTE) 与数据电路终接设备 (DCE) 之间的接口”，是分组数据网中最重要的协议之一，分组数据网有时也称为 X.25 网。

X.25 建议共包含 3 层，即物理层、链路层和分组层。近年来这 3 层都有某些变化，但变化最大的是第二层（链路层），其次是第三层（分组层）。1976 年通过的 X.25 的第二层所采用的链路接入规程简称 LAP。1980 年通过的 X.25 的第二层增加了平衡链路接入规程，即

HDLC 中的异步平衡方式，简称 LAPB。1984 年通过的 X.25 第二层又增加了多链路规程，简称 MLP。为了适应卫星信道的需要，1988 年通过的 X.25 又增加了模 128。为了适应异步传输的需要，1992 年通过的 X.25 又增加了异步帧模式，取消了 LAP 规程。

X.25 建议规定了 DTE 与 DCE 之间的接口。在此，DTE 是用户设备，它相当于发往网络的数据分组信源或接收网络送来的数据分组信宿。在实际中，它一般为计算机或智能终端。DCE 通常是将 DTE 定义的信号转换成适合在传输信道中传送的设备，但在 X.25 建议中，一般把 DCE 看作是与 DTE 连接的入口节点机或交换节点机，它包括安装在用户室内的调制解调器，用以与远程入口节点机相连，如图 6.15 所示。

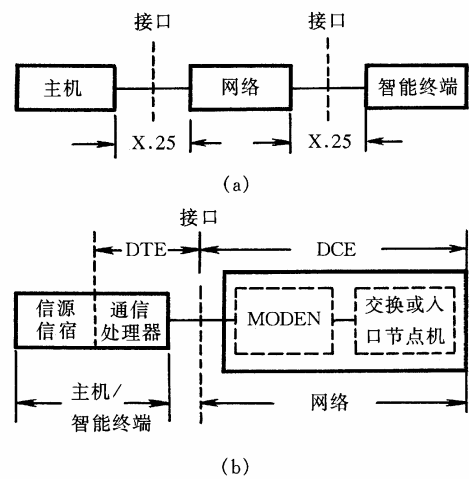


图 6.15 X.25 接口位置

数字程控交换系统可以配置分组交换服务器 (PS SERVER)，使本地计算机或智能终端经 2B+D 数字用户通路和程控交换机而进入公用数据网，如图 6.16 所示。

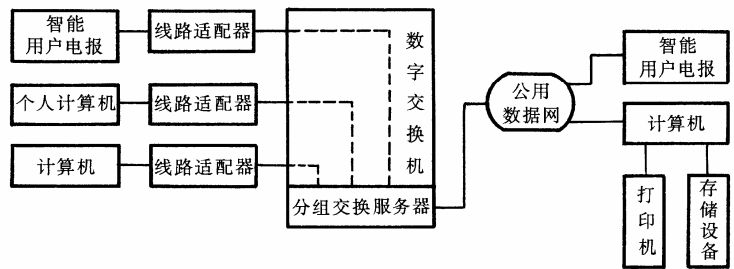


图 6.16 数字交换机与分组交换网之间的连接

X.25 建议主要包括物理级、链路级和分组级协议，即相应于开放系统互连 (OSI) 参考模型中 DTE 与 DCE 间的下 3 层协议。它规定了 DTE 与 DCE 间相应级交换信息的规程，每一级接收其上一级的信息，加上标志后通过下一级所提供的接口将信息传送出去，如图 6.17 所示。X.25 将分组级以上的实体统称为用户级，未作具体规定。

从第一级到第三级数据传送的单位分别是“比特”、“帧”和“分组”。至于公用数据网 PDN 内部的数据电路终端 DCE 和数据交换单元 DSE 以及 DSE 之间的协议不由 X.25 定义，

由各个公用数据网自定。

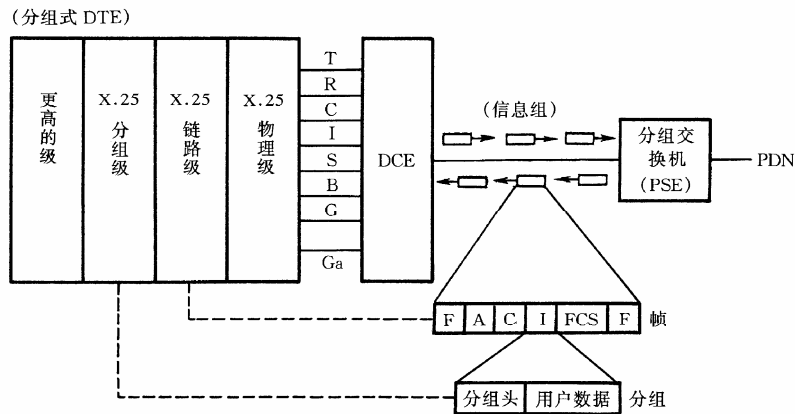


图 6.17 X.25 的层次关系

- ① X.25 第一级：物理级  
物理级规定了界面接口处的电气和物理等特性。DTE 利用此接口通过租用线路或电路交换网进入本地分组交换网。物理级提供同步的、全双工、点对点的串行位流传输，X.25 对此没有作出具体的规定，而是建议参考两个标准，X.21 和 X.21bis，它们分别定义了数字和模拟接口。其中，X 系列规程是专门为公用数据网规定的；bis 表示能与 V 系列调制解调器相连，等效于 RS-232C 和 V.24 标准。
- ② X.25 第二级：链路级  
X.25 第二级又称帧级，采用 LAPB 规程为 DTE/DCE 链路定义了帧格式。第三级的分组作为无意义的数据被封装在 LAPB 帧中经物理层传送。  
LAPB 非常类似于 HDLC 中的异步平衡模式 (ABM)，允许连接的两端中的任何一端 (DTE 和 DCE) 主动呼叫另一端。LAPB 仅适用于点对点连接的场合。LAPB 和 HDLC 有相同的帧格式、帧类型和字段功能。帧内所含的 FCS 校验字段是采用冗余循环码进行检错，具有确认应答机制，保证帧序列的无差错传送。  
为了提高 DTE 和 DCE 之间的传输能力、可靠性和可扩容性，X.25 增加了多链路规程 MLP。MLP 能把要传送的分组分散到多个 LAPB。
- 另外，对于 ISDN 所采用的用户/网络接口第二层协议，CCITT 制订了 LAPD 协议 (D 通道链路访问规程)，它与 LAPB 的主要区别是在建立逻辑链路数量和信号转移方式上。
- ③ X.25 的第三级：分组级  
X.25 第三级 (即分组层) 为 DTE 与 DCE 之间的单一物理链路提供了复用多条逻辑链路的方法。其复用是异步时分方式的复用，从而使一个 DTE (的一个接口) 能和一个或多个远程 DTE 之间建立一条或多条虚电路，实现点对点或点对多点的全双工通信。DTE 与 DCE 之间最多可有 4096 条逻辑信道。虚电路是指 DTE 与远程 DTE 之间建立的一条逻辑信道，DTE 与 DCE 之间的逻辑电路只是虚电路中的一部分，中间每经一个交换机就形成一段逻辑电路，整个逻辑电路相接就构成一条虚电路。  
在该级上，需将用户数据与控制信息先表示成分组形式，再将其插到信息帧的 I 段，装配为帧结构，以便在链路中传送。

CCITT X.25 建议规定了分组的类型和格式，包括 DTE 与 DCE 间呼叫的建立和拆除、数据传送与中断、流量控制、重置与重新启动等。分组格式如图 6.18 所示。

X.25 分组级的规定比较复杂，读者需要时可查阅 CCITT X.25 建议的有关书籍。

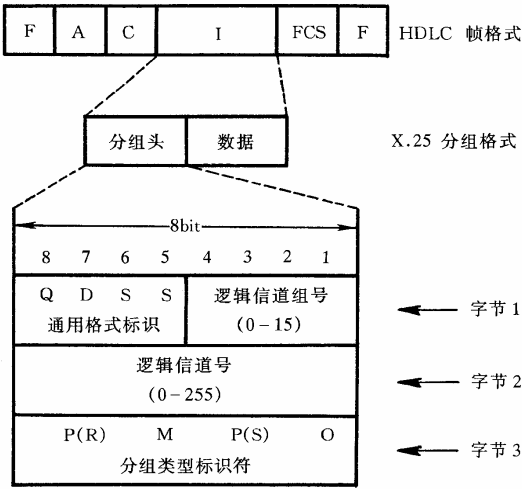


图 6.18 X.25 分组格式

在图 6.18 中，帧格式的各个领域类似于 HDLC 帧格式。分组格式由分组头和数据两部分组成，其中，分组头中各字段的含义如下：

· 通用格式标识。用于指出分组头中其他部分的一般格式，占用第 1 个字节的高 4 位。具体格式是“QDSS”，即：

Q 位：表示数据是用户数据 (Q=1)，还是网络信息 (Q=0)；

D 位：传送确认位，用于捎带确认；

SS 位：说明分组的编号方式，SS=01 表示发送分组 P (S) 和接收分组 P(R)按模 8 编号 (占 3 比特)；SS=10，则按模 128 编号 (占 7 比特)。

· 逻辑信道组号。用于标识逻辑信道 (虚电路)，占用第一个字节的低 4 位。

· 逻辑信道号。用于标识逻辑信道，占用一个字节。逻辑信道标识包括逻辑信道组号和逻辑信道号两部分，占用 12 位。逻辑信道标识在 DTE/DCE 接口上只具有本地意义，即本地和远程 DTE/DCE 分别各自独立地选择逻辑信道来传送分组。X.25 定义的分组大都有一一对应的关系，例如，呼叫请求与呼叫连通分组、呼叫指示与呼叫接受分组等都有相对应的关系。有对应关系的两个分组必须使用同一条逻辑信道。

· 分组类型标识符。用于区别分组的类型和功能，占用一个字节。X.25 共定义了 7 类分组，参见表 6.8。

表 6.8 分组类型表

|   | DTE→DCE | DCE→DTE | 适用业务 |     |    |
|---|---------|---------|------|-----|----|
|   |         |         | SVC  | PVC | DG |
| 呼 | 呼叫请求    | 呼叫指示    | √    |     |    |



|        |            |            |   |   |   |
|--------|------------|------------|---|---|---|
| 叫建立与拆除 | 呼叫接受       | 呼叫连通       | √ |   |   |
|        | 拆除请求       | 拆除指示       | √ |   |   |
|        | DTE 拆除确认   | DCE 拆除确认   | √ |   |   |
| 数据与中断  | DTE 数据     | DCE 数据     | √ | √ |   |
|        | DTE 中断请求   | DCE 中断请求   | √ | √ |   |
|        | DTE 中断确认   | DCE 中断确认   | √ | √ |   |
| 数据*据报  | DTE 数据报    | DCE 数据报    |   |   | √ |
|        |            | 数据报业务信号    |   |   | √ |
| 流控与复位  | DTE 接收准备好  | DGE 接收准备好  | √ | √ | √ |
|        | DTE 接收未准备好 | DGE 接收未准备好 | √ | √ | √ |
|        | DTE 拒收     |            | √ | √ | √ |
|        | DTE 复位请求   | DGE 复位请求   | √ | √ | √ |
|        | DTE 复位确认   | DGE 复位确认   | √ | √ | √ |
| 再启动    | DTE 再启动请求  | DGE 再启动请求  | √ | √ | √ |
|        | DTE 再启动确认  | DCE 再启动确认  | √ | √ | √ |
| 诊断*断   |            | 诊断         | √ | √ | √ |
| 登记*记   | 登记请求       |            | √ |   |   |
|        |            | 登记确认       | √ |   |   |

说明：\*—选项；SVC—交换虚电路；PVC—永久虚电路；DG—数据报

3. 分组装/拆（PAD）功能

X.25 建议是针对分组终端（或称同步终端）与分组交换网之间交换数据而制定的通信协议。分组终端与分组交换网间的通信以分组为单位，并按照 X.25 规定的分组格式来传输与交换数据。但目前还有大量简单终端，或称异步终端和字符终端，它们只能发送和接收字符流，不具备将字符流装配成分组或将分组拆卸成字符流的能力。为此，CCITT 制定了分组装/拆（PAD）标准，把异步终端接入分组网的 PAD，它由 X.3、X.28、X.29 3 个建议规定其工作。

PAD 是一种功能部件，它将异步终端一侧的字符流转换成网路一侧的数据分组，或者进行反向转换即把数据分组拆卸成字符流。PAD 的基本功能是：(1)虚电路的建立与释放；(2)将来自终端的字符流装配成适当的分组，以便发往终点主计算机；(3)将来自主计算机的数据分组拆卸成字符流，送往终端；(4)当满足一定条件时，进行分组或字符的转发。此外，PAD 还具有用户可选功能，如 PAD 参数选择和管理异步终端与 PAD 之间的过程等。

分组交换网既要接纳带 X.25 协议的分组终端进网，又要接纳异步终端进网。所以，分组交换网要有具备 PAD 功能的部件。网络与上述两种终端之间的协议如图 6.19 所示。在图中 X.3 规定了 PAD 的基本功能，以及用以控制其工作的参数，X.28 描述了非分组终端与 PAD 的接口规程；X.29 描述了 PAD 至分组终端的接口。

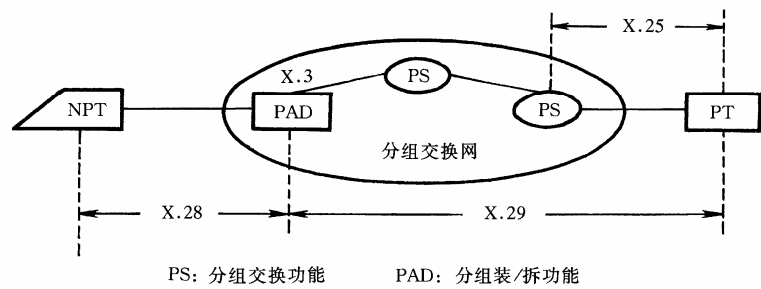


图 6.19 分组交换网与几种终端间的协议

6.2.4 TCP/IP 协议

前面已经讨论了 OSI 参考模型，除此之外，目前流行的网络体系结构还有 TCP/IP、IBM 公司的 SNA 和 Digital 公司的 DNA。这 3 种体系结构的开发都先于 OSI，它们的对比关系如图 6.20 所示。但是，由于各种体系结构的设计思想有很大差别，它们之间很难严格对比，图 6.20 所示只是用一种对比方法，用以了解 4 种体系结构的对应关系。

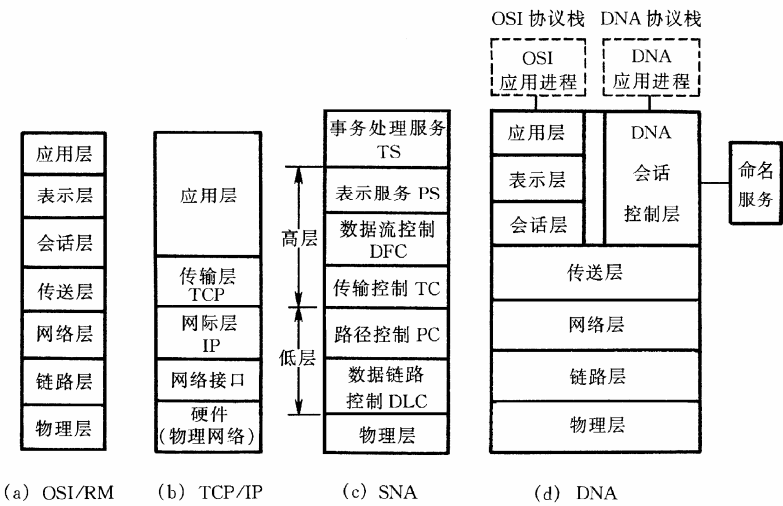


图 6.20 OSI/RM 与 TCP/IP、SNA、DNA 的对比关系

传输控制协议/网际协议 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 于 70 年代末开始研究开发，以此作为 ARPANET 网络的第二代协议。1983 年初，ARPANET 完成了向 TCP/IP 协议转换的全部工作。现在，TCP/IP 已广泛应用于各种网络，不论是局域网还是广域网都可以用 TCP/IP 来构造网络环境。除了 UNIX 外，Windows NT、Netware 等一些著名的网络操作系统也都将 TCP/IP 纳入其体系结构中。以 TCP/IP 为核心协议的 Internet 更加促进了 TCP/IP 的应用和发展，已成为事实上的国际标准。

Internet 上的 TCP/IP 协议之所以能迅速发展，是因为它恰恰适应了世界范围内数据通信的需要。TCP/IP 协议具有以下几个特点：

- 开放的协议标准，可以免费使用，并且独立于特定的计算机硬件与操作系统；

- 独立于特定的网络硬件，可以运行在局域网、广域网，更适用于互连网；
- 统一的网络地址分配方案，使得整个 TCP/IP 设备在网中都具有唯一的地址；
- 标准化的高层协议，可以提供多种可靠的用户服务。

1. TCP/IP 协议概述

TCP/IP 的数据格式和协议在分层结构上不是很严格，在实现上也具有很大的灵活性，它的协议被设计成能支持广泛的计算机平台和网络配置。由于其操作系统和物理介质的独立性使它得到了广泛应用。下面对 TCP/IP 的分层结构和协议组成等作扼要的叙述。

(1) TCP/IP 网络的分层结构

网络协议分层包括协议的层次结构和各层功能两方面的内容。TCP/IP 协议簇是 OSI 7 层模型的简化，它分为应用层、传输层、网际层和物理网络接口层 4 层，如图 6.21 所示。其中，物理网络接口层相当于 OSI 的物理层和数据链路层；网际层与 OSI 网络层相对应，不过它是针对网际环境设计的，具有更强的网际通信能力；传送层包含 TCP 和 UDP 两个协议，与 OSI 传送层相对应；应用层包含了 OSI 会话层、表示层和应用层功能，主要定义了远程登录、文件传送及电子邮件等应用。用户还可以根据需要在自己专用的程序。

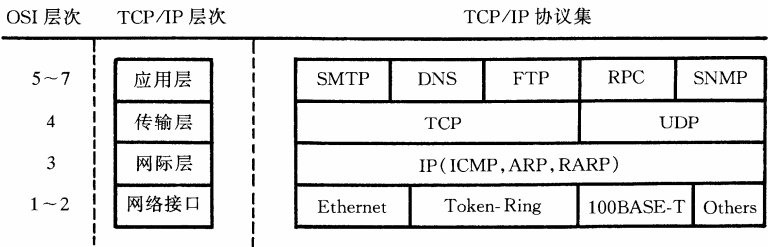


图 6.21 TCP/IP 协议集及分层结构

(2) TCP/IP 网络的协议组成

**网络接口层** 网络接口层代表 TCP/IP 的物理基础，如以太网、令牌网、X.25 网等。这一层的协议标准很多，包括各种逻辑链路控制和媒体访问协议，如各种局域网协议、广域网协议等任何可用于 IP 数据报交换的分组传输协议。尤其是像 X.25 这样的分组交换网，一旦被作为传输 IP 数据报的通道，也被视为该层的内容，X.25 与 IP 的界面也被抽象地理解为网络接口界面。这一低层协议的多样性，体现了 TCP/IP 协议的包容性和适应性，为 Internet 的成功奠定了基础。

**网络接口层的作用**是接收 IP 数据报并通过特定的网络进行传输，或从网络上接收物理帧，抽出 IP 数据报交给网际（或互连网络）IP 层。网络接口有两种，一种是局域网的网络接口，为设备驱动程序，另一种是 X.25 网中的网络接口，为含数据链路协议（如 HDLC 协议）的复杂子系统。

**网际层协议** 该层由多种协议组成，IP 只是其中最重要的一个。IP 协议提供一种无连接的服务，完成节点的编址、寻址和信息的分解与打包。

具体来说，IP 接收传输层传来的数据并将其封装成 IP 数据，然后把它们送入网络；同时接收网络连接层送来的数据，去掉 IP 头，重新创建原来的数据，然后发送到目的应用上。

该层的协议有 IP、ARP、RARP、ICMP，其主要功能如下：

IP —— 网际协议。负责主机间数据的路由及网络数据的存储，同时为 ICMP、TCP、UDP 提供分组发送服务；

ARP —— 地址分析协议。用于将网络地址映射到物理地址；

RARP —— 反向地址分析协议。用于将物理地址映射到网络地址；

ICMP —— 网间报文控制协议。用于网关和主机间的差错和传输控制。

传输层协议 传输层提供端到端（即应用程序间）的通信服务。其功能为：① 格式化信息流；② 提供可靠传输，为此，传输层的每个分组均含校验字段（或称校验和），收端据此校验收到分组的正确性，并发回确认，分组丢失、出错必须重发；③ 解决不同应用程序的识别问题，因为在一般通用计算机中，经常是多个应用程序同时访问网际网。该层包含 TCP、UDP 协议，其主要功能为：

TCP —— 传输控制协议。该协议向用户进程提供可靠的全双工面向流的连接，并进行传输正确性检查；

UDP —— 用户数据报协议。该协议为用户进程提供无连接的协议，保证数据的传输但不进行正确性检查。

应用层 该层包含 FTP、SMTP、TELNET、TFTP 和 DNS 等协议：

FTP —— 文件传输协议。为用户提供节点之间文件形式的传输。我们在 Internet 上下载（Download）或上载（Upload）文件时，通常采用的就是 FTP 协议。

SMTP —— 简单邮件传送协议。用来在节点之间传送电子邮件。

TELNET —— 终端协议。为用户提供在远程主机中完成本地主机的工作的能力。用户通过远程登录（Remote Login）方式与一台主机建立在线连接关系，一旦连接成功，就成为远程主机的一个终端，用户通过键盘输入的任何信息都将被发送到远程主机，远程主机的执行结果也将被回送到用户的屏幕上。

TFTP —— 简单文件传输协议。是 FTP 的一种简化版本。

DNS —— 域名系统协议。用于实现把网络设备的符号名（标识设备的字符串）转换成 IP 地址，使用户能方便地访问 Internet。

SNMP —— 简单网管协议。用于对网络的监视和控制，以提高网络运行效率。SNMP 是专门为 Internet 而开发的，现已成为一种工业标准。

### (3) 面向连接和无连接服务

TCP/IP 网络中，通信模型可以分为两种：面向连接和无连接。有些协议在发送方和接收方之间交换数据之前必须首先建立连接关系，如 TCP 协议，而有些协议则不需要建立连接，如 UDP 协议，每个分组都是独立的数据单元。

面向连接意味着双方（例如应用程序）之间交换数据之前，两者必须建立一个逻辑上的关联。当启动一个远程请求时，就会发生这种建立连接的过程，信息交换完毕后，已经建立的连接可以被终止。这种服务方式虽然会由于连接建立和连接解除花费一定的时间，但它可以保证可靠的数据传输。

而无连接服务在分组发送或接收之前不需要在发送方和接收方之间建立逻辑链路，数据分组以邮件的形式邮递给对方。无连接服务省去了建链和拆链的过程，减少了应用程序的通

信时间，但是，其代价是不能保证传输的可靠性。

用户在编写 TCP/IP 通信程序时，必须根据应用的需要选择面向连接或是无连接服务方式。为此，应用层协议向用户提供服务的方式分为 3 类：

① 依赖于面向连接的 TCP：这一类包括虚拟终端协议 TELNET、远程登录和远程 shell 执行 (rlogin 和 rsh)、文件传输型的电子邮件协议 SMTP 和文件传输协议 FTP 等。其中 FTP 利用 TELNET 的网络虚拟终端定义机制定义其控制的连接上的通信，同时用 TCP 建立数据传输连接，因 FTP 既依赖于 TELNET 又依赖于 TCP。

② 依赖于无连接的 UDP：例如，简单文件传输协议 TFTP、远程过程调用协议 RPC 等均属于这一类。

③ 依赖于 TCP 和 UDP 的协议：包括域名系统协议 DNS 和通用管理信息协议 CMOT。  
TCP/IP 协议的核心是 TCP、UDP 和 IP 协议。这 3 种协议一般由网络操作系统内核来实现，所以用户往往感觉不到它们的存在。用户能够接触到的是许多 TCP/IP 的应用程序，如电子邮件程序、ftp、telnet 程序等，这些应用程序都是通过 TCP/IP 的编程界面来开发的。编程界面有两种形式：一种编程界面是由网络操作系统内核直接提供的系统功能调用，它类似于 DOS 操作系统下的 DOS 功能调用，显然它需要用户对网络操作系统的深入了解，这种编程界面很不直观；另一种编程界面是以函数库的形式提供给用户，有关 TCP/IP 协议的各种实现都包含在库函数中，用户通过调用这些函数来编写 TCP/IP 应用程序，这种编程界面叫作套接字 (Socket)。

2. TCP/IP 传输层协议

传输层协议包含传输控制协议 TCP 和用户数据报协议 UDP，每个协议都具有各自的特征、功能和用途，分别支持不同的网络应用。

(1) UDP 协议

UDP 协议是 IP 协议的一种简单扩展，提供的是无连接、不可靠、无流量控制、不排序的服务，因此，它能高效率地传输数据。UDP 一般用于传输数据较少的交互式业务，如数据库查询等，其可靠性由应用程序提供。

所谓用户数据报就是应用程序发送和接收的数据块。用户数据报都以一个 UDP 报头开始。报头包括源端口 (Source port)、目的端口 (Destination port)、报文长度和检验和，后面跟随的是数据部分，如图 6.22 所示。端口用来标识数据报交换的两端；长度域指定 UDP 报头和数据的字节数；检验和域是发送方根据数据报的内容而生成的，在接收端重新计算检验和并比较两个检验和，如果相等，则认为传送是正确的。

|       |         |
|-------|---------|
| 源端口   | 目的端口    |
| 报文长度  | UDP 检验和 |
| 数据    |         |
| ..... |         |

图 6.22 UDP 的报文格式

(2) TCP 协议

在 TCP 协议中，为了保证传输的正确性，数据的每个字节都被一个数字所标识，由发送者按次序指定。序号和确认号用来标识传输的可靠性。另外，TCP 还用滑窗原理来调节数据

流，从而达到流量控制。根据内部定时器，TCP 重发数据，识别和丢弃重复的数据，TCP 的报文段格式如图 6.23 所示。

传输控制协议 TCP 与用户数据报协议 UDP 有很大区别。在功能上，TCP 比 UDP 强得多，它提供的是从一个应用到另一个应用的可靠、有效的传输；在连接方式上，TCP 提供的是面向连接的服务，而 UDP 提供的是无连接的服务；另外，在数据传输方面也不一样，数据从应用层以字节流的形式传送给 TCP，TCP 具有缓冲机制，当字节流积累到足够多的程度后，TCP 将这些字节构造成一个报文段（Segment），然后才执行一个发送操作，而在 UDP，应用程序传送的是数据块。

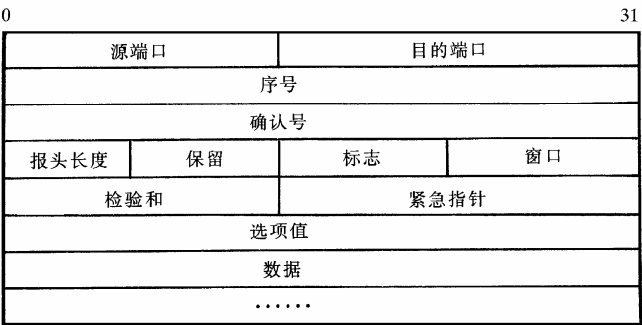


图 6.23 TCP 的报文段格式

3. TCP/IP 网际层协议（IP 协议）

(1) IP 地址

IP 地址是整个 IP 协议的核心，反映了网际网的特点，它被划分为两部分：网络地址和本地地址，二者组成完整的 IP 地址，如图 6.24 所示。

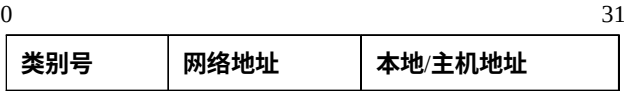


图 6.24 IP 地址结构

① IP 地址的分类

IP 地址有二进制和十进制两种格式。十进制格式是由二进制翻译得出的，用十进制表示是为了便于使用和掌握。

一个 IP 地址占用 32bit 或 4 字节长，一般用“点分十进制”书写 IP 地址。点分十进制表示法将 IP 地址表示为一系列以圆点隔开的十进制数，其中每个数对应一个字节，因此用这种方法表示的 IP 地址中，不可能出现大于 255 的数 (11111111<sub>B</sub>)。下面是同一 IP 地址对应的几种等价表示法，见表 6.9。使用点分十进制表示一个 IP 地址具有较强的可读性。

表 6.9 IP 地址几种等价表示法

| 表示方法 | 数值表示法                                 |
|------|---------------------------------------|
| 二进制  | 11001010 00111000 10011000 11001000 呀 |
| 十进制  | 3.391.527.112 呀                       |

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| 十六进制  | CA 26 98 C8 昉         |
| 点分十进制 | 202. 38. 152. 200 昉昉昉 |

IP 地址分成 A、B、C、D、E 5 类，如图 6.25 所示。其中 A 类、B 类和 C 类为主类地址，D 类和 E 类为次类地址，用户可根据需要申请不同的 IP 地址。IP 地址的前 5 个 bit 用于标识地址的类型，例如，A 类地址的第一个比特为“0”，B 类地址的前两个比特为“10”等。由于 IP 地址的长度限定为 32bit，所以标识类型的长度越长，可使用的地址空间就越小。

对于 A 类地址，网络地址空间为 7bit,允许 126 个不同的 A 类网络，起始地址为 1~126，0 和 127 两个地址用于特殊目的。每个网络的主机地址数多达  $10^{24}$  (16 000 000 个)。即主机地址范围为 1.0.0.0~126.255.255.255，适用于有大量主机的大型网络。

B 类地址，网络地址空间 14bit,允许  $2^{14}$  (16384) 个不同的 B 类网络，每个网络能容纳  $2^{16}$  (65536) 台主机，起始地址为 128~191。这种编址适用于国际性大公司和政府机构等。

C 类地址的网络地址空间为 21bit，允许多达  $2^{21}$  (2 000 000) 种不同的 C 类网络，起始地址为 192~223，每个 C 类网络能容纳 256 台主机，特别适用于一些小公司或研究机构。

D 类地址不标识网络，其起始地址为 224~239，即主机地址范围为 224.0.0.0~239.255.255.255，用于特殊用途，如多目广播。

E 类地址暂时保留，用于某些实验和将来使用，其起始地址为 240~255，即主机地址范围为 240.0.0.0~255.255.255.255。

从点分十进制编址便可识别 Internet 地址的类型。例如，“126.0.0.0”，从第一个十进制数“126”便知它是 A 类地址，而“128.0.0.0”是 B 类地址。

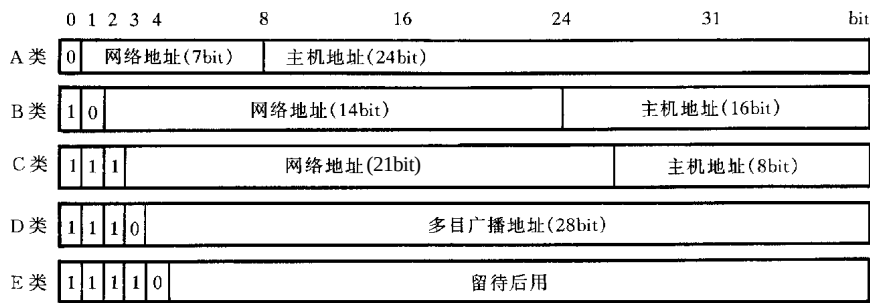


图 6.25 IP 地址类型

② 子网与子网掩码

IP 地址中包括网络地址，这个地址确定了主机的网络连接。如果一台主机有多个网络接口，则要为它分配多个 IP 地址。这种具有多个接口的主机称为多穴主机。同一主机上的多个接口的 IP 地址没有必然的联系。所以 IP 地址并不是标识一台机器，而是标识一个主机与网络的一个连接。

IP 协议要求，在一个网络中的主机接口的 IP 地址中网络部分地址应该是一样的。但是在实际的物理网络（如以太网等）中，一般不可能有 6 万多台主机。在一个 A 类子网中，常常有许多地址没有使用。据估计，主机地址的使用率仅为 5%。随着 Internet 的迅速发展，网络地址已经成为珍贵的资源，人们预计，再过几年之后，IP 地址就会耗尽。为了减缓这种趋势，提出了地址掩码（mask）和子网（subnet）的概念。

掩码是一个 IP 地址对应的 32 位数字。掩码的一些位为 1，另一些位为 0。掩码可以把 IP 地址分为两部分：子网地址和主机地址。原则上 0 与 1 可以任意分布，不过一般在设计掩码时，把掩码开始连续的几位设为 1。IP 地址与掩码中为 1 的位相对应的部分为子网地址，其他的位则是主机地址。与 A、B、C 类地址对应的有一个标准掩码，分别为 255.0.0.0、255.255.0.0 和 255.255.255.0。

子网编码唯一确定或划分了 IP 地址段。路由器依据具体的网络来寻径，它首先要做的就是判别要转发的 IP 地址属于哪个网络，然后根据该网络号，在自己的路由表中查找应该从哪（即路由器的哪个端口：局域网口或广域网口或拨号口等）转发出去。A、B 和 C 类地址的缺省掩码分别为：255.0.0.0、255.255.0.0 和 255.255.255.0。那么路由表是如何决定一个 IP 地址所在网络（段）呢？它将一个 IP 地址和其掩码进行逻辑与运算后获得的结果就是该 IP 地址确切的网络号。如 IP=202.38.152.200，mask=255.255.255.240。即：

|             |                |          |          |          |
|-------------|----------------|----------|----------|----------|
| IP          | 11001010       | 00111000 | 10011000 | 11001000 |
| Mask        | 11111111       | 11111111 | 11111111 | 11110000 |
| IP and Mask | 11001010       | 00111000 | 10011000 | 11000000 |
| 网络号         | 202.38.152.192 |          |          |          |

路由器通过以上计算可以得出,该 IP 地址所在的网络号为 202.38.152.192。

③ 广播地址和回送地址

TCP/IP 网络中保留了一些 IP 地址，这些 IP 地址具有特殊的用途，表 6.10 给出了这些地址及其所代表的含义。

在表 6.10 中，两个 A 类地址没有被分配：0 和 127。回送地址以 127 开始，用于网络软件测试及本地主机进程间的通信。当网络地址全为 0 时，指向“本”网络，如果主机试图在“本”网络内通信而又知道网络号时，可以利用 0 地址。回送地址可以在任何时候使用，而 0 地址只能在初始状态时使用。

表 6.10 中的最后两个地址称做广播地址。第一个广播地址可以实现在网际网内的任何节点向其他网络中的所有节点进行广播，前提是要知道该网络的网络号；第二个广播地址的广播范围仅限于本地网络内，即任一节点能够、也只能向本地网络内的其他所有节点广播发送数据。

表 6.10 TCP/IP 网络保留 IP 地址

| 网 络 地 址 | 本 地 地 址 | 说 明                  |
|---------|---------|----------------------|
| 127     | 任意值     | 回送地址，仅用于测试目的，不在网上传输  |
| 全“0”    | 全“0”    | 系统初起时，指定本地主机         |
| 全“0”    | 指定的主机   | 系统初起时，用来指定当前网络上的目的主机 |
| 网络 ID   | 全“1”    | 向指定名字网络上的所有节点广播      |
| 全“1”    | 全“1”    | 向当前本地网络上的所有节点广播      |

(2) IP 协议

Internet 协议簇中最重要的协议就是 IP 协议。IP 协议体现了 TCP/IP 技术的包容性，使 Internet 互连异种网成为可能。它的主要功能有：无连接数据报传送、数据报路由选择和差错控制。IP 将报文传送到目的主机后，不管传送正确与否都不进行检验，不回送确认，也不保



证分组的正确顺序，这些功能都由 TCP 来完成。

① IP 协议的数据报

在 IP 协议中传输的数据单元为数据报，也称 IP 数据报，它由报头和数据两部分组成。报头被分成 32 比特的整数倍，格式如图 6.26 所示。

在图 6.26 中，版本指示 IP 协议的版本号，占 4 比特，目前流行的版本号为 4；报头长度占 4 比特，指示报头的长度；总长度指示整个 IP 数据报的长度，包括报头和数据，最大长度为 65535 字节；服务类型占 8 比特，指示如何处理数据报，如指示数据报的优先级及所需要的服务类型。

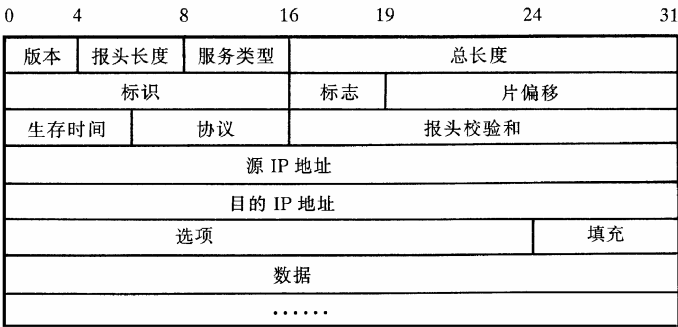


图 6.26 IP 数据报格式

标识、标志和片偏移 3 个域用来控制数据报的分片与重组。所谓分片技术是指将一个数据报分割成两个以上的较小的数据片（fragment），每个片都被独立地传送到目的地，一旦分片到达目的主机，先由 IP 对分片进行重组后再传送给本地的应用。分片是为了满足网络所能传输的帧长度的上限。

生存时间域用来确定数据报被允许在网络系统中存在的最大生存时间，这是为了使数据报不要在网上传送太长时间。如果一个数据报不能在一定的时间内到达目的地，它就被认为是丢失了或陷入了死循环，这种数据报就应该被丢弃。协议域用整数值来对应一种高层协议，以确定数据的格式和内容。例如，“6”代表 TCP 协议，“7”代表 UDP 协议。报头校验和域用来确保数据报头的无差错传输。其算法很简单，把校验和字段设置为 0，然后对头部的数据按 16 位相加，结果取反，便得到校验和。

选项域主要用于网络的控制（测试和调试）。因为报头为 32 比特的整数倍，所以不够的时候要由填充 0 来凑齐。

② IP 协议的数据报路由选择

路由选择是 IP 协议最主要的功能之一。在互连网络中，每个主机和路由器（TCP/IP 中称它为网关）都保持一个路由选择表，路由选择表给出每个可能的目的网络所对应的路由器地址以及该路由器的忙闲程度。路由选择表的基本结构如下：

|      |       |     |
|------|-------|-----|
| 目的地址 | 路由器地址 | 忙闲度 |
|------|-------|-----|

其中，目的地址和路由器地址都是用 IP 地址表示的，路由器地址指向 IP 数据报应送往的下一个路由器。忙闲度是用这个路由器所发送的数据报数量来衡量的，当一个目的地址有多个路由时，IP 协议总是选择忙闲度值最小的路由。

IP 协议的路由不需要一个完整的端到端的链路，只要知道接下去将由哪一个节点接收数

据报就可以了。两节点之间的路径是动态变化的，它与网络配置的改变和网络内的数据流量情况有关。

路由表先从磁盘文件中加载上来，这个文件可以根据需要由管理员手工更新。在网络运行期间，这个路由表的内容可以由操作员改变，也可以通过动态路由协议自动修改。路由表中的每一项包含两个重要值：目的地址以及到达这个目的地址的下一个网关的地址。

IP 软件如何处理收到的数据报可以分为两种情况。一是数据报已到达目的主机，主机对进入的数据报进行处理；二是数据报需要进一步传送，网关使用路由算法为数据报选择路由。当数据报到达时，主机必须比较目的 Internet 地址和每个主机的网络地址。如果匹配，则接受数据报给本地操作系统；如果不匹配，IP 则要将数据报报头中的生存时间减 1，如果生存时间计数值为 0，则丢弃数据报；如果其计数值为正，则为数据报选择路由。

#### 4. OSI 与 TCP/IP 参考模型的比较

OSI 参考模型 (OSI/RM) 与 TCP/IP 参考模型的共同之处是：它们都采用了层次结构的概念，在传输层中二者定义了相似的功能。但是二者在层次的划分与使用的协议上，是有很大的区别的，其主要差别体现在以下几个方面：

(1) OSI/RM 对服务、层间接口和协议等 3 个概念有明确定义和严格区分。每个功能层次都能向上层提供一些特定的服务；一个功能层次完成自己的功能时，可以使用任何协议；层内的协议可以根据需要进行修改，而不会影响高层软件。但 OSI/RM 对“服务”与“协议”结合起来定义，使参考模型变得格外复杂，实现起来困难。而 TCP/IP 对 3 个概念并无明确的区分，它是最早的互连协议，来自实践并不断改进与完善，又与流行的 UNIX 操作系统相结合，有成熟的产品和强大的市场，为广大计算机工作者、厂商和用户所接收。

(2) 对层次间的关系，OSI/RM 是严格按“层次”关系处理的，两个 (N) 实体通信必须通过下一层的 (N-1) 实体，不能越层。而 TCP/IP 则不同，它允许越层直接使用更低层次所提供的服务。这种关系实际上是“等级”关系，这种等级关系减少了一些不必要的开销，提高了协议的效率。

(3) 对异构网互连问题，TCP/IP 一开始就考虑到了，并将互连协议 IP 单设一层。但 OSI/RM 最初只考虑用一个标准的公用数据网互连不同系统，后来认识到互连协议的重要性，才在网络层中划出一个子层来完成 IP 任务。

(4) OSI/RM 开始只提供面向连接的服务，而 TCP/IP 一开始就将面向连接和无连接服务并重，因为无连接的数据报服务，对互连网中的数据传送和分组话音通信是很方便的。

此外，TCP/IP 有较好的网络管理功能，而 OSI/RM 也是到后来才考虑这个问题。

## 6.3 交换数

### 6.3.1 数据交换方式

计算机通信网的功能是将网中任一节点的数据准确、迅速地传送到任何节点上。为了提高传输效率，应使计算机间的通信充分共享公共通信线路，并使多个计算机之间的通信同时并发，这就是交换技术。交换通过“交换中心”将数据集中后转发，以实现多个接点和它们的终端之间通信。交换方式的选择与信息的特性有关，按信息交换方式分类，计算机通信网

有如下 3 种类型：

- 电路交换方式 (Circuit Switching)
- 报文交换方式 (Message Switching)
- 分组交换方式 (Packet Switching)

实际上，由于报文和分组交换方式均采用信息的存储—转发原理，也可把它们都归于所谓的存储—转发一类。

1. 电路交换

电路交换又称为线路交换。这种方式与熟知的电话交换方式相同，只不过在速度和质量方面比电话交换方式要高得多。它的特点是信息传输开始前，首先由用户呼叫，一直等到在收—发之间建立一条适当的信息通道，用户才开始进行信息传输，这种实际线路的接通是由呼叫装置自动接通的。

电路交换目前应用于公用电话网、公用电报网及电路交换的公用数据网 (CSPDN) 等通信网络中。前两种电路交换方式系传统方式；后一种方式与公用电话网基本相似，但是用四线或二线方式连接用户，适用于较高速率的数据交换。由于是专用的公用数据网，其接通率、工作速率、用户线距离、线路均衡条件等均优于公用电话网。电路交换适用于一次接续后传输长报文的通信。其优点是实时性强、延迟很小（一般是一个字符或甚至小到一个比特均可传送）、交换成本较低。其缺点是线路利用率低，尤其是使用在中继线上。

电路交换可分为空分交换和时分交换。

(1) 空分交换

所谓空分交换是指按空间划分的交换，即在数字通路之间把处于同一时隙的各话路信息，通过一个空分矩阵，按空间位置交换。其工作原理如图 6.27 所示。这个空分矩阵亦称为空分接线器，矩阵中的交叉点在通信过程中是按时隙闭合或开断的，即每个交叉点可以在任意时隙内闭合或断开，但在同一时隙内不允许矩阵中的同一横排或同一竖列上同时有两个交叉点闭合，否则将造成错传。例如图 6.27 中各交叉点旁的数字即表示该交叉点闭合的时隙，可以看出，在同一横排或同一竖列虽有两个或两个以上的交叉点闭合，但它们都在不同时刻。

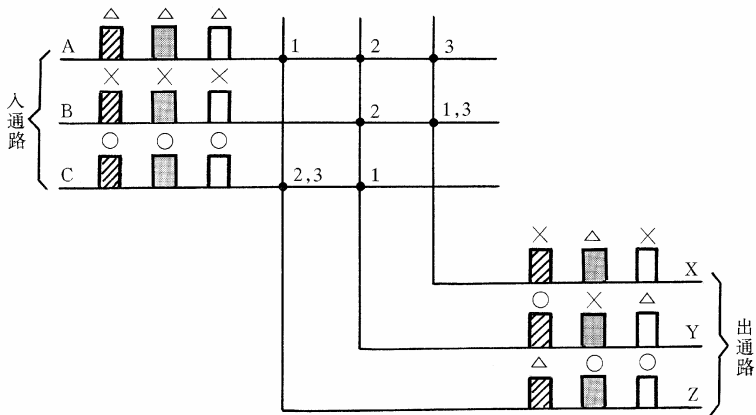


图 6.27 空分交换示意图

(2) 时分交换

时分交换是时分复用 (TDM) 在数据交换上的应用。其特点是多个信道公用一条物理线路，利用一个时分接线器 (即移位存储器)，使用户传送的数据按时间位置进行交换，如图

6.28 所示。在图中，每一个通道占一个预先分配好的时隙，按编定的次序由存储器在时钟 CP2 的控制下接通。复接时钟速率 CP2 是各路时钟速率 CP1 的 4 倍，各路数据按时隙排列构成了帧。复接过程中要保持帧同步和时钟同步。

2. 报文交换

报文交换与电路交换比较要简单一些，其传输基本上只要求单向连接，而且也允许等待，所以报文交换的基本原理是：存储—转发。报文交换的工作过程是：将用户的数据信息报文存储在交换机的存储器中（内存或外存），交换机根据报文中的目的站地址，确定路由，经自动处理，再将信息送到待发的线路上去排队，一旦输出线空闲，立即将该报文送到下一个交换机，最后送到终点用户。图 6.29 为报文交换示意图，在图中报文 M 由发信端  $H_s$  经由节点交换机（或通信控制处理机）N1、N3、N6 送到受信端  $H_R$ 。

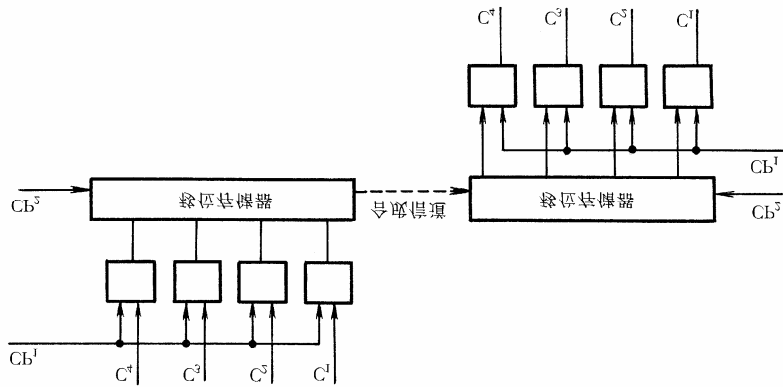


图 6.28 时分交换示意图

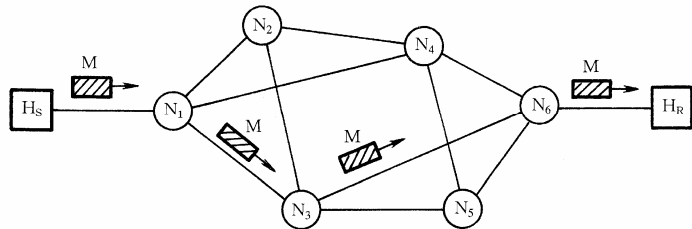


图 6.29 报文交换示意图

报文交换的优点首先是由于其局间中继线并不固定分配给一对用户，而是多个用户报文共同使用，所以中继线利用率高。其次是由于采用存储—转发的方式，可实现不同速率、不同协议、不同代码的终端间互通，而且可以采用一点对多点的同文广播等业务。其缺点是由于以报文为单位进行存储转发，所以网络传输时延大，并且占用了大量的内存与外存空间，因而不能适应要求系统安全性高、网络时延较小的数据通信。

3. 分组交换

从上面分析可知，电路交换的最大优点是一旦线路建立起来，信号的传递时延很小，适于如话音通信之类的交互式实时通信，但缺点是线路利用率低。而报文交换的优点则是线路利用率高，但由于信号通过网络时引入的时延太长，而不能用于快速响应的交互式话音通信或其他实时通信。分组交换从存储转发的意义上讲，实际上同报文交换类似，但它的信息传

输的基本单位不是报文而是分组，加之同一信息的各分组可以并行传输，因此可实现快速响应的通信和高效率、高质量的传输。最早采用的分组网络是美国的 ARPA 网及英国的试验性分组交换服务网 EPSS。

### (1) 分组交换原理

分组交换是在传统的存储转发式报文交换的基础上发展起来的一种新型交换方式。它与采用专用线和电路交换网的数据通信系统不同，采用分组交换方式的终端之间不能够直接交换数据信息，分组交换方式的工作过程是分组终端把用户要发送的数据信息分割成许多用户数据段，每个用户数据段被送往下一个交换点时应附加一些必要的操作信息，如源地址、目的地址、用户数据段编号及差错控制信息等（如 X.25 的分组格式）。这个装配好了的数据信息块，人们称之为一个“分组”，一个“分组”对某一特定网络都存在一个最佳的分组长度，通常为 128 个字节（也可以是 32、64 或 256 字节）。与发送端所连接的交换机收到这个数据“分组”后，根据它的业务信息量，选择一条最佳路由（即最经济合理的路由），把这个分组经一个或几个转接交换机最后送到收信终端所连接的交换机（若链路简单时，发信终端和收信终端也可能连接在同一交换机上），此交换机再把这个“分组”送给收信终端，收信终端从“分组”中取出用户数据段，再把它按顺序装配恢复成原有的数据信息。分组交换原理示意图如图 6.30 所示。在图中，发信端  $H_S$  将报文  $M$  分成 3 个组  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ ，附加一些必要的操作信息后，选择不同路径的节点交换机  $N_i$ ，传送到收信端  $H_R$ 。 $P_1$  经由  $N_1-N_2-N_4-N_6$ ， $P_2$  经由  $N_1-N_4-N_5-N_6$ ， $P_3$  经由  $N_1-N_3-N_5-N_6$ 。

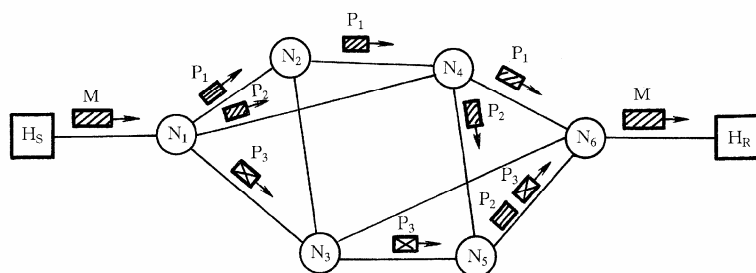


图 6.30 分组交换原理示意图

### (2) 分组网内的处理

如上所述，在分组交换方式中，分组是交换和传输处理的对象。分组交换网中使用的终端为分组式终端，该终端具有以数据信息分组的交换和处理功能。但若使用的是非分组式终端（一般终端），则要通过网内的分组装拆设备 PAD 将用户数据分成等长数据块，即分组或包，按照统计时分复用（动态分配）的方法，按需分配信道，用虚电路方式，通过网络进行交织传输。还应明确在网络内部对分组信息流有 2 种传输处理方式，即数据报和虚电路方式。

#### ① 分组的复用——统计时分复用（STDM）

所谓分组式终端就是通过分组多路复用后的通信线路，能够直接同分组交换网进行通信的终端。如上所述，在一条虚拟电路上并不是所有的时间都有数据流动，为此可采用时分多路复用方式把分组信号动态地分配给一条工作的虚拟电路，使多个终端共用同一条通信线路，使分组式终端能够与多个终端进行通信，这就是所谓的统计时分复用（STDM）

STDM 在用户有数据要传送时，才按其需要动态地分配传输信道。采用 STDM 的终端，除完成时分复用（TDM）的基本功能外，还要完成对数据的缓冲存储和对信息流进行控制的

功能，用以解决用户争用线路资源时产生的冲突。

图 6.31 给出了 STDM 的示意图，在图中表示出了  $n$  个终端按统计时分复用方式共享线路传输资源的情况。每个终端发送数据，按需分配线路资源，用户有数据要传送，分配线路资源，一旦停发数据，则线路另作它用。因此，这种动态分配线路资源的方式，可在同样的传输能力条件下，传送更多的信息，可允许每个用户的数据传输速率高于其平均速率，最高可达到线路总传输能力。例如，4 个用户信息在速率为 9.6kbit/s 的线路上传输，平均速率 2.4kbit/s。对预分配的 TDM，每个用户最高传输速率为 2.4kbit/s；对于 STDM，每个用户最高传输速率，则可达 9.6kbit/s。

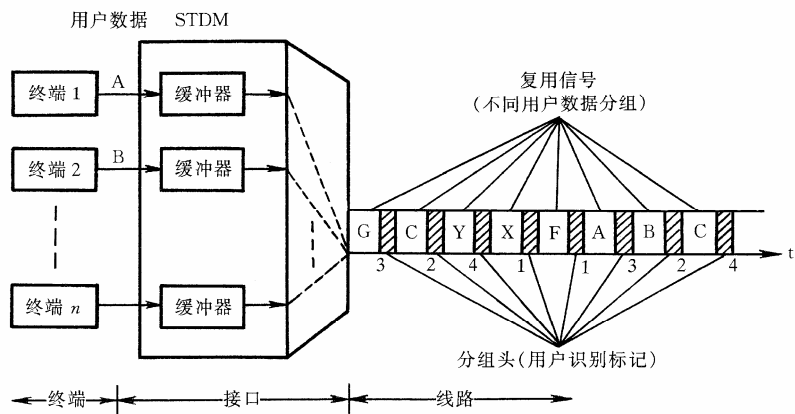


图 6.31 统计时分复用 (STDM) 示意图

② 分组的形成与传输

采用统计时分复用方法，可以充分利用通信线路资源。如果把一条物理的线路分成许多逻辑上的子信道，在线路上传输的数据组附加上逻辑信道号，就可以让来自不同数据源的数据组在一条线路上交织地传输，接收端很容易将它们按逻辑信道号区分开来，实现了线路资源的动态按需分配。为了提高复用的效率，可将数据按一定长度分组，每一个组中包含了一个分组头，其中包含所分配的逻辑信道号和其他控制信息，形成归一化的短信息单，称为分组或包。分组的形成过程及典型格式如图 6.32 所示，即将用户通信电文成分组 1、2 和 3，每个分组长度通常取为 128 个字节，也可根据通信线路的质量，选用 256、512 或 1024 个字节。

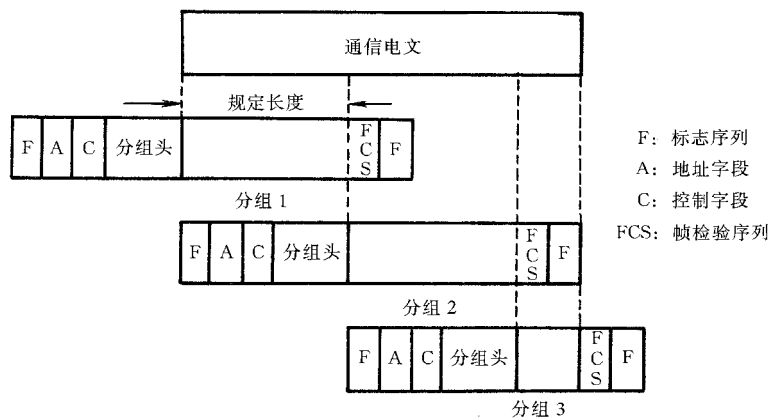


图 6.32 分组的形成与格式

为了可靠地传输分组数据块，每个数据块再加上高级数据链路控制（HDLC）规程的标志、地址、控制和帧校验序列以帧的形式在信道上传输。

③ 分组的交换——数据报和虚电路

在分组交换技术中一个十分重要的问题就是网络内部对分组流的传输处理。目前常用的处理方式是：数据报（Datagram）和虚拟电路（Virtual Circuit）。在虚拟电路方式中，网络为用户提供一条虚拟的电路，这种虚拟电路仅是一种逻辑上的连接，而实际的电路则可以是若干条不同链路的组合。其特点是分组按发送时发送的顺序依次在网络中传送，当收到第一个分组的“承认”信号后才发送第二组。因此在这种方式中，目的节点收到的分组顺序与发方是一样的，这样在目的节点重装分组时就简单了。数据报方式则不同，在该方式中，每一个信息分组都被看作是一个个独立的包沿不同的路径通过网络送往目的节点，因此它们到达目的节点的分组顺序一般与发送时不相同，目的节点再按分组编号重新排列各分组的顺序。这两种业务方式各有其特点和适用范围，前者的传输时延可能更长，但易实现，故适用于无处理能力的简单终端和长信息通信。而后者在性能上更好一些，但技术要求也更复杂一些，它适合于计算机或有处理能力的智能终端和短信息通信，下面分别叙述数据报和虚拟电路的处理过程。

· 数据报

在数据报方法中，单独处理每个分组。现以图 6.33 为例，来说明这一方法是如何实现的。假定 A 站有 3 个分组的电文要送到 C 站。它将分组 1-2-3 一连串地发给 1 号节点，1 号节点必须对每个分组作出路由选择的决定。在 1 号分组来到后，1 号节点得知 2 号节点的分组队列短于 4 号节点的，于是它将 1 号分组排入到 2 号节点的队列。2 号分组也是如此。但是对于 3 号分组，1 号节点发现现在到 4 节点的队列最短，因此将 3 号分组排在去 4 号节点的队列中，在以后通往 C 站路径的各节点上，都作类似的处理。这样，每个分组虽有同样的终点地址，但并不遵循同一路由。另外，3 号分组先于 2 号分组到达 6 号节点是完全可能的。因此，这些分组有可能以一种不同于它们发送时的顺序投送到 C。这就要靠 C 来重新排列它们，以恢复它们原来的顺序。通常把每一个单独处理的分组称之为一个数据报。

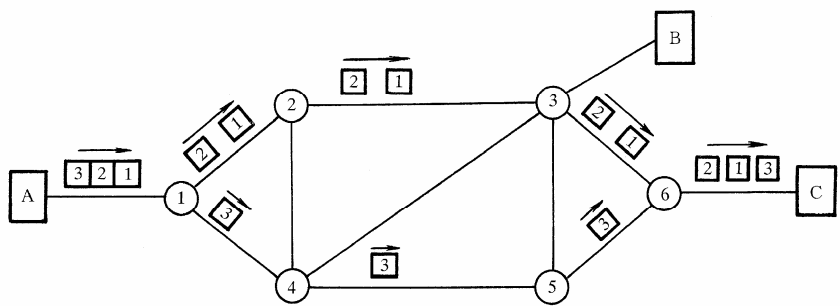


图 6.33 数据报原理示意图

· 虚拟电路

在虚拟电路方法中，要在送出任何分组之前先建立一条逻辑连接，如图 6.34。假定 A 有一个或多个分组要送到 B。它首先送一个“呼叫请求”分组到 1，要求到 B 的连接。1 号节点决定将该分组发到 2，2 号节点又决定将该分组发到 3，3 号节点最终将“呼叫请求”分组投送到 B。如果 B 准备接受这个连接的话，它发出一个“呼叫接受”分组到 3，这个分组通过 2 号和 1 号节点送回到 A。现在，A 站和 B 站之间可以经由这条已建立的逻辑连接或虚拟电路（VC1）来交换数据了。此后的每个分组都包括一个虚拟电路标识符及数据。预先建立的这条路由上的每个节点都知道向什么地方发送这些分组，就不再需要决定路由了。因此，来自 A 的每个数据分组，穿过 1、2、3 号节点，而来自 B 的每个数据分组穿过 3、2、1 号节点。最后，其中一个站用一个“清除请求”分组来终止这一连接。在任何时刻，每个站到任一其他站可以具有几条虚拟电路，并且可以对几个站都有虚拟电路。

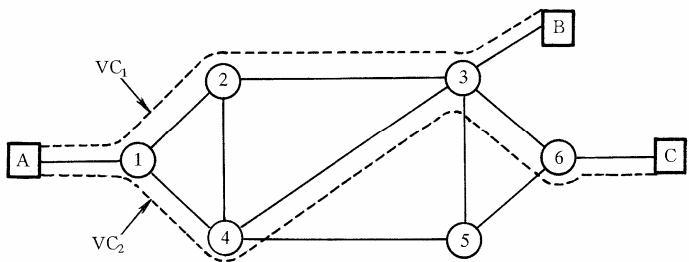


图 6.34 虚拟电路原理示意图

6.3.2 分组交换数据网的构成

分组交换网采用网状结构，其典型结构形式如图 6.35 所示，它由分组交换机（即节点机）NS、网络集中器 NC、分组型终端 PT、非分组型终端 NPT 和网络控制中心 NCC 组成。



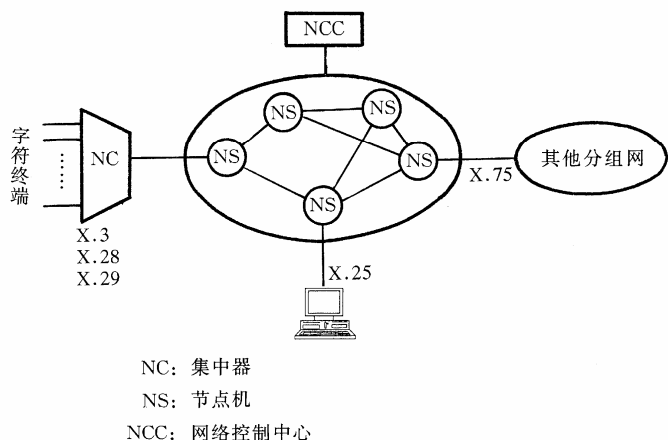


图 6.35 分组交换数据网的构成

1. 分组交换机 NS

分组交换机是分组数据网的枢纽。根据分组交换机在网中所处地位的不同，可分为中转交换机、本地交换机。前者通信容量大，每秒能处理的分组数多，所有的线路端口都是用于交换机之间互连的中继端口，为此该机的路由选择功能强，能支持的线路速率高；后者通信容量小，每秒能处理的分组数少，绝大部分的线路端口为用户端口，主要接至用户数据终端，只允许一个或几个线路端口作为中继端口接至中转交换机或中转与本地合一交换机。分组交换机的主要功能有：

- 为网络的基本业务即虚呼叫、永久虚电路及可选补充业务，如闭合用户群、快速选择、网络用户识别等提供支持；
- 进行路由选择，以便在两个 DTE 之间选择一条较合适的路由；进行流量控制，以便不同速率的终端也能进行互相通信；
- 实现 X.25、X.75 等多种协议；
- 完成局部的维护、运行管理、故障报告与诊断，计费与一些网络的统计等功能。

分组交换机之间一般采用高速电路互连，传输速率可为 48kbit/s，62kbit/s 或为 72kbit/s，通信量较小时也可用传输速率为 9.6kbit/s 的电路互连。

2. 网络集中器 NC

网络集中器 NC 的主要功能是将多路异步低速数据终端送来的数据集中后通过一条中速电路送到交换节点机，这样可节约大量电路资源，提高电路利用率。NC 还可以完成分组装/拆功能，即 PAD 功能以及完成与各种低速数据终端的接口，其速率一般是从 50bit/s 到 300bit/s。

3. 数据终端

数据终端（DTE）是经用户线入网的，大多是经电话网进入分组交换网，少数是根据具体条件及需要直接接到分组网。市话电缆多数线径为 0.4~0.5mm，长度不超过 5km。

(1) 数据用户终端类型

- 分组终端（PT）。它与交换机连接时，具有分组处理能力，例如带 X.25 规程的计算机、微机、专用终端、规程转换器等设备，可以看作为分组终端。PT 入网可以直接入分组网或经公用电话网（PSTN）入网。
- 非分组终端（NPT）。它不具有分组数据处理能力，对它们不能直接进行分组交换，

必须经过分组装拆设备 (PAD) 转换, 不管 PAD 是放在网里面, 还是放在网外面。非分组终端的种类很多, 如带有异步通信接口的计算机、微机、键盘打印机、键盘显示器、电传机、可视图文终端等。NPT 可以直接接到 PAD 入分组网或通过电话网或经用户电报网入网。

#### (2) 数据用户终端与网络的连接方式

- 经专用线。DTE 直接连到数据网, 其租用专线可以是本地 (或市内) 专线, 也可以是长途专线, 连接方式有二线制和四线制。若采用二线制即发收合用一对线, 实现全双工基带传输, 但此时应采用时间压缩法 (乒乓法) 或回波抵消法实现双向时间复用。不过, 目前国内这种使用情况极少。

- 经过电话网。分组终端经电话网和分组交换机相连, 采用 X.32 规程, 异步终端通过电话网和分组交换机相连, 采用 X.25 规程。虽然二者规程不同, 但物理连接方式类似, 均采用带有自动应答的调制解调器。但分组终端采用同步调制解调器, 异步终端采用异步调制解调器。这种调制解调器的操作可选取人工呼叫、自动答应方式, 或者自动呼叫、自动应答方式。

#### 4. 网络控制中心 NCC

网络控制中心 NCC 又称为网络管理中心 (NMC), 它是管理分组交换网全网的工具, 用以保证网络的连续工作和有效性。网络管理中心本身通常是由两个以上的小型计算机组成, 一个主用一个备用, 以保证网路管理的安全。如以管理方式分, 可分为集中式和集中分散式两种, 前者适用于较小的网络和专用网, 后者适用于国家的专用骨干网和大型专用网; 以功能分, 又可分为网络监测管理和计费管理两种, 可以由不同的网络管理的计算机承担。网络管理的计算机作为网上一个特殊用户与网上各种设备之间的联系, 采用永久性虚电路相连接, 行使网络管理职能。网络管理中心的基本功能:

- 网络配置管理与用户管理;
- 运行数据的收集与统计;
- 路由选择管理;
- 网路监控、故障告警与网路状态显示;
- 对各分组交换机软件遥装及装修;
- 计费管理。

#### 5. 传输线路

传输线路有有线信道与无线信道之分。有线信道是当前大量采用的传输形式, 特别是数据终端与分组交换机或 PAD 相连的用户线路, 而且大多数采用专用线路。有一部分分组终端或起止式字符终端可以通过公用电话交换网接入分组交换机或 PAD。

大量采用的无线信道是微波信道与卫星信道。用户线路很少采用卫星信道, 只有少数的边远地区用户接入远离该用户的交换机才采用卫星信道, 而交换机之间的中继线路也有用卫星信道的。

交换机之间使用的中继传输线路主要有两种形式。一种是 PCM 数字信道, 速率为 64kbit/s、128kbit/s、2Mbit/s; 另一种是模拟信道利用调制解调器转换为数字信道, 速率为 9.6kbit/s、48kbit/s、64kbit/s。

数据终端使用的用户线路也有两种形式。一种是利用数字数据电路; 另一种是市话线路, 加装调制解调器。同步终端的用户线一般用四线全双工或两线全双工, 速率为 2400bit/s、4800bit/s 或 9600bit/s 的调制解调器, 异步终端的用户线一般用二线全双工调制解调器, 速率

为 300bit/s、1200bit/s。

### 6.3.3 分组交换网的路由选择

分组交换网的主要功能是从源点站接收分组，并将它们发送到宿点站。为此，必须选择一条通过网络的路径或路由。一般地说，路由可能多于一条，因此必须执行路由选择功能。分组交换机的路由选择功能是通过执行按路由选择算法编制的程序来完成的。虽然电路交换方式的电话交换网中也有路径选择问题（亦称“路由问题”），但由于它具有很严格的等级制布局 and 完善的编号制度，它的路径选择比较容易解决。在存储/转发式（尤其是分组交换）网络中，由于子网层级不清晰，加之网内的传送实体很独立和灵活，在一对源/宿节点之间可以有多条供实体选用的路径。所选择的路径既要有利于报文数据的快速传送，又要有利于使网内业务分布趋于均匀，以达到网络工作稳定并提高网络吞吐效率的目的。因此，路由问题是分组交换网中所特有的比较复杂且又很重要的控制问题。

#### 1. 路由设计问题的概述

一个分组交换网络可定义为一个网络图  $G$ ，且

$$G=\{N, L\} \quad (6.1)$$

其中， $N$  是网络节点集合， $L$  是连接这些节点的链路集合。

通过一个网络的一条有向通路（path），可由一组链路的有序集  $(l_1, l_2, \dots, l_n)$  来表示。在数据网络中，所谓“路径选择算法”（或“路由算法”），就是指确定数据报文从它的源点到达宿点的有向传输通路的法则。

例如，考虑如图 6.36 所示网络图  $G=\{N, L\}$ ，其中  $N=\{A, B, C, D, E, F\}$ ， $L=\{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}\}$ 。假设有一报文欲从  $A$  点传送到  $D$  点，它可以选择几条不同的通路，例如： $(l_1, l_3)$ ， $(l_2, l_4, l_7)$ ， $(l_2, l_6)$  等，亦可分别表示为  $A-B-D$ ， $A-C-E-D$  和  $A-C-D$  等。路由设计的目的就是依据一定的准则选择信息传输的最佳路径。

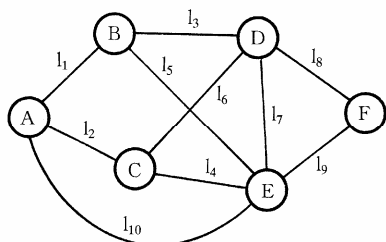


图 6.36 网络图例

#### (1) 对路由设计的基本要求

对于一个特定网络结构的路由设计，通常要用相应的路由算法进行描述。任一种路由算法的目的，都是尽可能地提高网络吞吐率和最大限度地降低平均报文信息的时延。

假定网络的所有参数已知且不变，在这种理想环境下，人们总有可能确定出一种能使网络性能最佳（例如平均报文时延最小）的确定的路由策略。但是，实际的网络环境却是：线路会出故障，业务分布会改变，拓扑也可能改变或重构。所以这就要求路由算法必须具有一定程度的对于实际网络环境的适应性。对算法好坏的衡量标准固然与具体网络的不同服务目的和性能有很大关系，但也会受到其他因素的制约，归纳起来有如下几个共同的要求：

- ① 能正确、迅速、合理地传输报文信息；
- ② 能适应由于节点或链路故障引起的拓扑变化；
- ③ 能适应网络通信流量的变化，使网内业务分布尽可能趋于均匀，避免网络拥塞，保证网络工作稳定；
- ④ 算法应尽可能简单，以减轻节点负荷和软件复杂性，减少网络控制信息开销。当然，实际中应视具体设计要求有所侧重。

## (2) 路由设计方法分类

按照算法对网络环境适应程度的差别来区分不同的路由设计类型，主要分为两大类：

### ① 确定型设计

这一类设计是基于网络拓扑和平均报文时延要求，以某一固定的准则来选择报文的路径，结果一般不受业务和拓扑变化的影响。这类设计包括：扩散式路由算法、随机式路由算法、固定式最佳路由算法等。

### ② 适应型设计

这一类设计是基于在时间上不固定的准则来选择在某一段时间内有效的报文通路，其结果尽量地自动适应业务和拓扑的变化。这类设计可分为：集中式自适应算法、孤立式自适应算法、分布式自适应算法等。

## (3) 路由设计的最佳准则——最小费用准则

在分组交换网中，各种路由设计的最佳算法实质上都是建立在某种形式的最小费用准则的基础上。例如，把准则定为“最短路径”，那就有所谓的“最短路径路由算法”。这里所说的“最短路径”并不单纯意味着一条物理长度最短的通路，而应理解为一条“最小费用”的通路。关键是如何定义“费用”。从报文时延意义上看，每条链路的“费用”明显地与两个参数有关：①物理长度；②链路上的业务强度。前者决定信道的传播时延，后者决定报文的发送等待时延。因此，如果我们能将上述两个参数的值折算成为该链路的“长度”意义上的费用值，则最小费用算法也就等效为最短路径算法；如果折算成为该链路的“时延”意义上的费用值，则最小费用算法也就等效为最小时延路由算法。当然，对网络中每条链路的费用值的折算方法与具体的路由算法本身是没有关系的。

在链路的费用赋值问题解决之后，即可利用图论中的最短路径算法来求解最小费用路径的选择问题。比较典型的最短路径算法有两种：①前向搜索法，即 Dijkstra 算法；②后向搜索法，即 Ford&Fulkerson 算法。关于这两个算法的具体内容，读者可参阅有关教科书。

在实际中，由于网络拓扑和信息流量都是变化的，因此路径选择的算法也较多。对路径选择的要求在各种网络中并不完全一样。例如，军用网络要求在恶劣环境中（网络严重损伤）也能可靠传输；在商用网络中，首先考虑经济效益；在实时系统中关心的是高速传输数据；在简易的小规模网络中要求算法不要太复杂等。下面介绍几种常用的有参考意义的算法。

## 2. 扩散式路由算法

扩散式亦称泛洪式，是欧洲 RAND 公司提出的军用分组交换网采用的路径选择方式，它具有高度可靠的优点。扩散式又分为完全（全路）和选择（几路）扩散式两种形式，如图 6.37(a)和(b)所示。

根据完全扩散式路由算法，当一个节点接收到一个分组并确知需将它转发时，立即将分组信息复制若干副本分别发送到所有相邻的节点，犹如洪水泛滥一般，如图 6.37(a)所示。若每个中转节点都如此转发分组，可使一个报文有多条通路到达宿节点。各节点只需选取最先

到达者即可，将后到者删除。

但是，完全扩散式路由算法的严重缺点是：网络中的分组副本很多，会形成额外的无效业务量，降低了网络利用率。所以，这种方式只适用于网络负荷很轻的小规模网络。一种经修正的所谓“选择扩散式”可以稍微改善上述缺点造成的损失。在这种修正算法中，转发节点有选择地只将分组副本送往与正确方向大致相同的那些相邻节点，如图 6.37(b)所示。这样，除非拓扑过分悬殊，否则送往错误方向去的副本将大大减少，从而减轻了网络负荷。

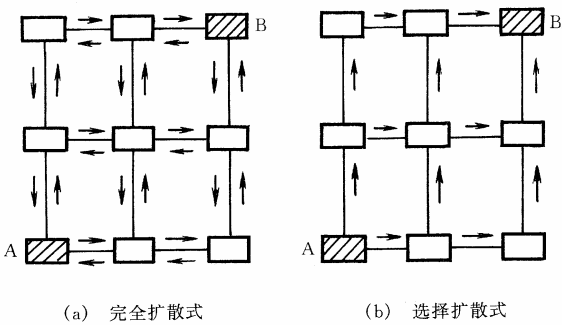


图 6.37 扩散式路由选择

扩散式路由方式可靠性高，但付出的代价大，适用于规模小、可靠性要求极高的场合。

3. 固定式路由算法

固定式路由算法是在网络中每个结点上都存放一张事先确定好的路径表,该表给出从本节点到各目的节点的最短路径,当信息报文需要从此节点发送时,可根据所到达的目的节点从路径表中找出其路径。该算法简单,但不能适应网络拓扑变化,且一旦被选路径出现故障,则影响信息正常传送,故可靠性差。为此,可在路径表中列出各节点到各目的结点的所有路径,图 6.38 所示信息报文从 A 点传送至 B 节点时共有两条路径,最短路径是 a,b,c 通路,其次是 a,d,e,c 通路。若最短路径故障,则可选择另一条路径传送,显然,后一种方法（称迂回的固定式算法）提高了可靠性,适用于拓扑结构不太复杂的小型网络。

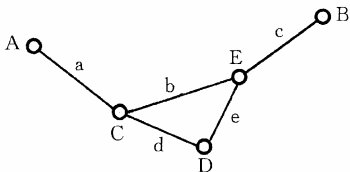


图 6.38 固定式路由算法

4. 最短路由算法

最短路由算法,多用于报文分组交换的大型网络。它根据网络中各节点和线路当前运行的状态,动态地决定出路径,这意味着：每个节点的路由选择表必须能反映网络运行变化的情况,且不仅应考虑本节点的运行情况，也要考虑分布在各地的其他节点的运行情况。下面以前向搜索法（即 Dijkstra 算法）为例说明最短路由算法的实现过程。

图 6.39(a)为一个加权无向图，每条边上的权数代表了该链路的长度（即通信费用）。求最短路径可以从网络中任一点（该点作源节点）出发，找出与其相邻节点中最短的路径，再

以该点出发继续寻找与它相邻节点的最短路径，直至找完全部节点为止。具体的方法是建立一个节点集  $N$ ，开始  $N$  只包含源节点，计算源节点至相邻节点的路径长，取其路径最短的节点，加入节点集  $N$ 。再计算新节点与其相邻节点距离，选最短路径的节点加入  $N$  集，直至节点全部包含在  $N$  集内为止。

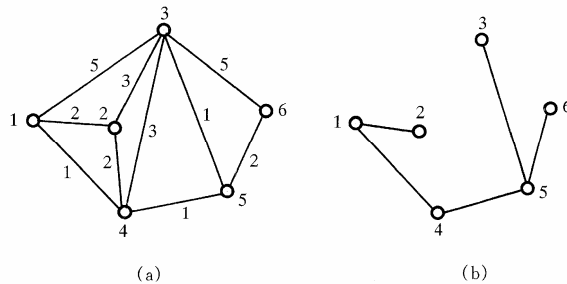


图 6.39 最短路由算法举例

设  $D(v)$  为源节点 (图 6.39 中的节点 1) 到节点  $v$  的距离，它就是沿某一通路的所有链路的长度之和。再设  $l(i,j)$  为节点  $i$  至节点  $j$  之间的距离。算法步骤如下：

(1) 初始化

设  $N$  表示网络节点的集合，先设  $N=\{1\}$ 。对所有不在  $N$  中的节点  $v$ ，写出

$$D(v) = \begin{cases} l(1,v) & \text{若节点与节点直接相连} \\ \infty & \text{若节点 } v \text{ 与节点 } 1 \text{ 不直接相连} \end{cases}$$

(2) 寻找一个不在  $N$  中的结点  $w$ ，其  $D(w)$  值为最小。把  $w$  加入到  $N$  中，然后对所有不在  $N$  中的节点，用  $[D(v), D(w)+l(w,v)]$  中的较小的值去更新原有的  $D(v)$  值，即：

$$D(v) \leftarrow \min[D(v), D(w)+l(w,v)] \quad (6.1)$$

(3) 重复步骤(2)，直到所有的网络节点都在  $N$  中为止。下面以图 6.39 所示网络为例，说明最短路由算法的求解过程：

初始化：术源节点 1 至其他节点间的距离  $D(\cdot)$ ：

| $N$     | $D(2)$ | $D(3)$ | $D(4)$ | $D(5)$   | $D(6)$   |
|---------|--------|--------|--------|----------|----------|
| $\{1\}$ | 2      | 5      | 1      | $\infty$ | $\infty$ |

计算：

$\because D(4)=1$  为最短路径，故节点 4 放于  $N$  中，重新计算节点 4 至各相邻节点的距离  $D(\cdot)'$ ：

$$D(2)' = \min[D(2), D(4)+l(4,2)] = \min(2, 1+2) = 2$$

$$D(3)' = \min[D(3), D(4)+l(4,3)] = \min(5, 1+3) = 4$$

$$D(5)' = \min[D(5), D(4)+l(4,5)] = \min(\infty, 1+1) = 2$$

$$D(6)' = \min[D(6), D(4)+l(4,6)] = \min(\infty, 1+\infty) = \infty$$

| 得 $N$      | $D(2)$ | $D(3)$ | $D(4)$ | $D(5)$ | $D(6)$   |
|------------|--------|--------|--------|--------|----------|
| $\{1, 4\}$ | 2      | 4      | 1      | 2      | $\infty$ |

将  $\{1, 4\}$  中的最短距离  $D(2)$ ， $D(5)$  放入  $N$  点集中，如上述过程重新计算……最终得到点集  $N$  及  $D(v)$  变化过程如表 6.11 所示，源节点 1 的路由表如表 6.12 所示，最佳路由图如图 6.39 (b) 所示。

表 6.11 最短路由算法过程参数表

| 步 骤 | N                  | D(2) | D(3) | D(4) | D(5) | D(6)呀 |
|-----|--------------------|------|------|------|------|-------|
| 1   | {1}                | 2    | 5    | 1    | ∞    | ∞呀    |
| 2   | {1, 4}             | 2    | 4    | 1    | 2    | ∞呀    |
| 3   | {1, 2, 4}          | 2    | 4    | 1    | 2    | ∞呀    |
| 4   | {1, 2, 4, 5}       | 2    | 3    | 1    | 2    | 4 呀   |
| 5   | {1, 2, 3, 4, 5}    | 2    | 3    | 1    | 2    | 4 呀   |
| 6   | {1, 2, 3, 4, 5, 6} | 2    | 3    | 1    | 2    | 4 呀呀呀 |

表 6.12 源节点 1 的路由表

| 源 点 | 终 点 | 路 由呀    |
|-----|-----|---------|
| 1   | 4   | 1→4     |
|     | 2   | 1→2     |
|     | 5   | 1→4→5   |
|     | 3   | 1→4→5→3 |
|     | 6   | 1→4→5→6 |

5. 分布式自适应路由算法

分布式自适应路由算法是目前网络中较流行的一种算法。该算法是根据网络当前运行情况，例如网络各链路排队的变化情况和网络拓扑的变化情况等，动态地调整路由选择。完全能适应的路由算法，要将网络当前的状态汇集到某一节点，然后在该节点选择路径。由于汇集网络状态本身就比较困难，因此，完全适应的路由算法也难实现。分布式路由选择法中各节点依据当前相邻节点的情况来修改自己的路由表；网络远端的变化只有经过相邻点的多次传递才能逐渐反映出来。在图 6.40(a)所示网络中，设每个节点相隔一定的时间间隔向所有邻近节点送去它到网络其他各点的最短延时信息，同时它也从相邻点收到这种信息。例如节点 J 收到从 A、I、H、K4 个节点送来的它们各自到其他节点的最短延时表如表 6.13 所示；J 点自身到相邻节点的最短延时信息如表 6.14 所示。下面以图 6.40(a)给出的网络结构和以表 6.13、表 6.14 绘出的最短时延为例说明该算法的实现过程。

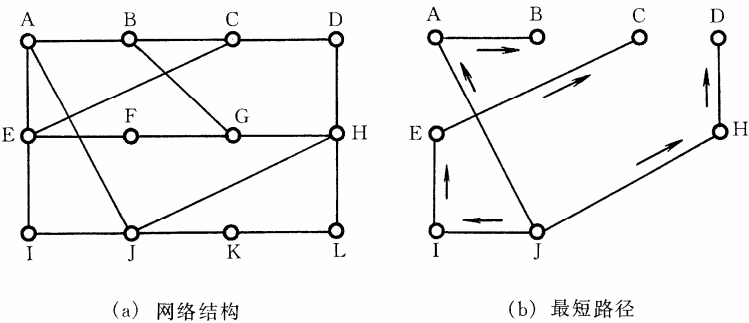


图 6.40 分布式自适应路由算法举例

表 6.13 J 点从相邻点收到的路由信息

|   | A  | I  | H  | K  |
|---|----|----|----|----|
| A | 0  | 24 | 20 | 24 |
| B | 12 | 36 | 31 | 28 |
| C | 25 | 18 | 19 | 36 |
| D | 40 | 27 | 8  | 24 |
| E | 14 | 7  | 30 | 22 |
| F | 23 | 20 | 19 | 40 |
| G | 18 | 31 | 6  | 31 |
| H | 20 | 20 | 0  | 11 |
| I | 24 | 0  | 14 | 22 |
| J | 8  | 10 | 12 | 10 |
| K | 24 | 22 | 22 | 0  |
| L | 29 | 33 | 9  | 9  |

表 6.14 J 点到相邻点的路由信息

|   | J  |
|---|----|
| A | 8  |
| I | 10 |
| H | 12 |
| K | 10 |

表 6.15 J 点修正后的路由表

|   | A      | I      | H      | K 叻    |
|---|--------|--------|--------|--------|
| A | Ⓢ      | 34     | 32     | 27 叻   |
| B | 莛 20 瑤 | 46     | 43     | 34 叻   |
| C | 33     | 莛 28 瑤 | 31     | 42 叻   |
| D | 48     | 37     | 莛 20 瑤 | 30 叻叻叻 |

节点 J 通过其 4 个相邻节点 A、I、H、L 发送报文至 A、B、C、D 各站，利用分段求和的方法找出它们的最短路径。

根据 J→A 的延时及 A→A 的延时，可以求出 J 分别到 A、B、C、D 的延时为 8、20、33、48。同理根据 J→I 及 I→A、B、C、D 的延时，又求出一个 J→A、B、C、D 的延时为 34、46、28、37。这样最后得到表 6.15，它所表示节点 J 通过 A、I、H、K 至 A、B、C、D 各点的延时，选一行中最小值，其所对应的横纵节点就表示最短延时的源、宿点。不难看出，表中带圈所对应的节点名称即为最短路径名，J 至 A、B、C、D 各点最短路由分别为：



J→A  
J→A→B  
J→I→C (经 E)  
J→H→D

按照以上关系，修改图 6.40(a)得到图 6.40(b)，图中用箭头走向表示最短的路径。

分布式自适应路由算法的优点是既能适应网络拓扑的变化，又能使网络的业务量比较均匀地分布于全网，算法简单，适用于传输信息量变化不大的小型网络。

6.3.4 分组交换网中的数据流控制

1. 概述

(1) 阻塞及流量控制

在分组交换网中，由于用户终端发送数据的时间和数量具有随机性，网络中各个节点交换机的存储器容量和各条线路的传输容量（速率）总是有限的，如果不对数据流采取任何控制措施，就可能造成网内数据流严重不均，有些节点和链路上的数据流超过了节点的存储和处理能力，或者超过了链路的传输能力，导致网络的阻塞，严重时使数据停止流动，既不能输出，也不能输入，这种现象称为死锁。当输入的数据流量超过了输出的数据流量时，网络很快就会出现阻塞和死锁现象。

阻塞现象将会导致网络吞吐量的迅速下降和网络延时的迅速增加，并会严重影响网络的性能。图 6.41 所示为网络吞吐量（单位时间内流经网络的业务量）与网络负荷（进入网络的业务量）的变化关系。

由图 6.41 曲线 C（无流量控制）可见，在轻负荷条件下，网络远离拥挤状态，因此其吞吐量随负荷的增加而近似线性地增加。但是随着负荷的不断增加，网络开始进入拥挤状态，吞吐量达到最大值。如果此时再进一步增加网络负荷，则由于拥挤现象的出现，使网络吞吐量开始下降，最后，当负荷增加到某一值时，网络出现“死锁”。此时，信息流被阻塞，而不能流动了。因此，其吞吐量也下降到零。显然，我们不希望网络工作在吞吐量下降的区域。图 6.41 中曲线 B 表示有流控的情况，由于流控信息的额外开销，故使网络吞吐量在轻负荷下有所下降，但却换来了重负荷下不出现拥挤的好处。

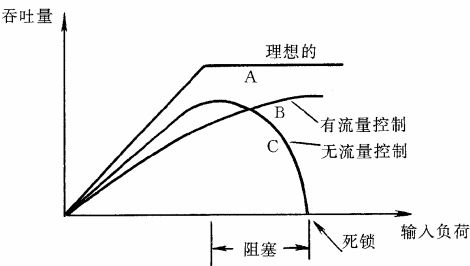


图 6.41 网络吞吐量与输入负荷间的关系

阻塞现象的发生和通信子网内传送的分组总量有关。减少通信子网中分组总量是防止阻塞出现的基础。减少通信子网中分组总数可以从控制每条源节点—目的节点的通信量入手。通过端—端流量控制是防止阻塞的基本方法。

流量控制是对一条通信路径上的通信量进行控制，解决“线”或“局部”问题，而阻塞控制解决子网“面”或“全局”问题。但是，即使每条通信线路流量控制有效，也不能完全避免阻塞现象的发生。当子网由于信息量分布不均或由于某些故障而出现瓶颈时，仍会引发阻塞。流量控制是基于平均值的控制，而阻塞是当某处峰值（瞬时）流量过高而发生的。当然各条线路上流量的平均值小，发生阻塞的概率低；反之，流量控制的平均值大，发生阻塞的概率就高。因此，为了保证网络高效运行，除进行流量控制外，也要有防止阻塞的有效方法。

## (2) 流量控制的分级

分组交换网中的各种流量控制技术可以层次实施。图 6.42 表示了通常的分层方法，在主机—主机之间端—端级的流量控制一般要由运输层协议来实现。在通信子网内，源节点和目的节点之间（源—目级）的流量控制由网络层协议实现，而相邻节点间段级的流量控制主要由数据链路层实现。主机和源节点间的（网—端级）的接口，既是物理上的界面，也是传送层和网络层的接口，也称为网络访问流量控制，可由数据链路层或网络层实现。它和网络阻塞控制关系十分密切。

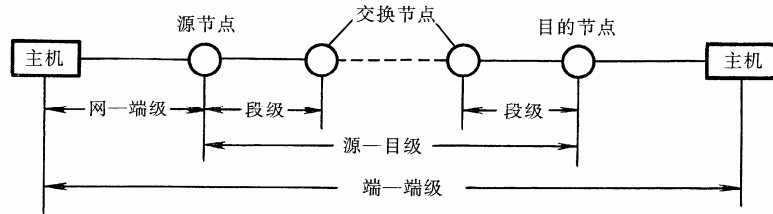


图 6.42 流量控制分级

## 2. 数据的层次控制

### (1) 主机—源节点机间（网—端级）流量控制

网—端级流量控制是设法控制从外部进入通信子网的通信量，防止通信子网内产生阻塞现象。

① 停—等方式：主机和邻接的源节点机之间数据链路层协议可采用滑动窗口协议，主机发送分组的序号必须在发送窗口之内，否则要等待，直到源节点机发来新的确认后才可发送。在网络层，源主机和目的主机之间的通信也必须同步，不管通信子网采用虚电路工作方式还是数据报工作方式，只要目的主机接收缓冲没有释放之前，源主机也必须等待，当从目的端获得新的确认后才可发送。也就是说，源主机在数据链路层要等待源节点机的应答，在网络层，要等目的端的应答才能发送，否则就要等待。

② 缓冲区预约方式：源主机在发送数据信息之前，必须在目的主机预约缓冲区，只有目的主机有一个或多个分组缓冲区，源主机才可发送。在预约的缓冲区用完后，要等接收主机再次发出分配缓冲区后，再继续发送数据。当网络层采用虚电路工作方式时，源主机一旦建立了一条虚电路，说明目的主机就有基本的缓冲，在数据传送阶段用流量控制分组进行控制。如果通信子网采用数据报工作方式时，源主机在发送之前先发缓冲访问分组，当收到接收主机返回的缓冲分配分组后，才可发送数据，采用这种方式时要求源节点和中转的节点机能在数据链路层协议支持下正常进行存储转发。

(2) 源节点—目的节点机间流量控制

源节点机—目的节点机间的流量控制与通信子网的操作方式有关。当通信子网采用虚电路操作方式时，由于这种操作方式要求分组沿着已经建立起来的虚电路进行传送，各节点都没有基本缓冲，又受滑动窗口协议的控制，从而保证了分组的顺序性，所以其流量控制的任务相对较轻。当通信子网采用数据报方式时，如果网络层向运输层提供数据报服务，此时的流量控制则由运输层负责。而网络层向运输层提供虚电路服务，则流量控制任务由网络层完成。下面就数据报方式的流量控制技术加以说明。

当网络层向运输层提供虚电路服务时，主机之间以报文为单位进行通信，由于通信子网采用数据报操作方式，各数据分组均独立地在通信子网内传送，此时目的节点应将收到的各个分组按发送顺序重新装配成报文后，才能递交给主机。但是，往往会出现因缺少某个分组无法装配成完整的报文，而缓冲区也无可用的空间接收相邻节点送来的分组的现象，这种现象称为重装死锁（Reassembly Deadlock）。依 ARPA 网经验，一台节点机使用 10 条链路后，就可能发生重装死锁。如图 6.43 所示，V 表示虚电路号，S 表示分组序号。从输入 1 来的分组零由于重发而没有送到；从输入 2 来的分组 1 由于路径长也未送到，而节点机又没有空闲的缓冲可用，新的分组不能进入，装配不成，不能交给主机。

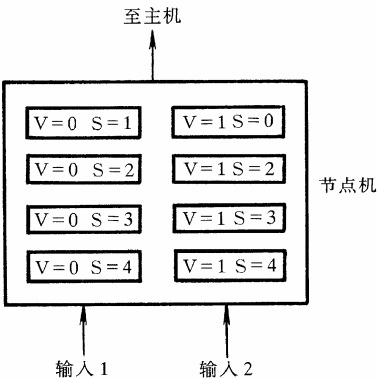


图 6.43 重装死锁示例

ARPA 网解决重装死锁，实行源—目的节点间的流量控制方法是，分配重装配缓冲并采用预约缓冲的方法。源节点在发送一个报文之前，先向目的节点发送一个“预约”缓冲数的分组。如果目标节点有足够的缓冲，则返回一个“准备接收”的分组，此后源节点就逐个按存储转发方式，以独立的信息发送报文的所有分组。目的主机收齐所有分组并按分组的顺序装配成报文交给主机，并向源主机返回一个“请发下一个报文”RFNM（Request For Next Message）分组。如果预约分组到目的节点后，目的节点无缓冲，则可在目的节点排队等候缓冲。超时仍无缓冲则预约失败，源节点再重新发预约缓冲分组。源节点收到 RFNM 后，有报文就可继续发送，没有报文发送时，空闲时间超过时限后，就解除与目的节点的通信，而目的节点在发 RFNM 后也超时，则归还分配的缓冲，也认为这次通信结束。

(3) 相邻节点间（段级）流量控制

相邻节点间转发信息的流量控制是对通信子网中局部范围内的流量控制，其控制方法是由每个节点监视本节点的队列长度和缓冲区的占用情况。当达到了事先约定的队列长度时，

就对到达本节点且需转发的分组采取丢弃措施。这种检查缓冲区门限以及丢弃分组的功能，通常是由数据链路层协议来完成的。

当数据链路层协议采用无连接方式，而缓冲器的分配采用先来先服务且全部分配的方法时，则有可能产生存储转发死锁，如图 6.44 所示。图 6.44(a)为直接存储转发死锁。假定节点 A 有 4 个缓冲器全用于向节点 B 输出，同时节点 B 的 4 个缓冲器也用于向节点 A 的输出，结果节点 A 和节点 B 都出现了“送不进，出不去”的局面而发生死锁。图 6.44(b)为间接存储转发死锁。每个节点都企图向邻居发送分组，但没有一个节点有可用的缓冲来接收分组，结果也是“送不进，出不去”而发生了死锁。

段级流量控制一般是由链路传输控制规程（例如 HDLC 规程）来完成。具体的做法是：将进入一个转发节点的分组按其不同输出去向进行分类，分类数目即等于输出队列数。流控协议的实施在于管理存储转发缓冲器对于不同输出队列的分配和监视。给每个队列的允许长度预定一个门限值（固定的或可动态调节的）。当某个队列的排队长度达到这个门限时，节点即向相应的接收链路上发出一个拒收响应帧（RNR）或其他适当的反向监控序列，制止发送节点继续发送报文分组过来。待输出队列缩短后，再向发送节点发出允许响应帧（RR），声明本节点“接收准备好”。

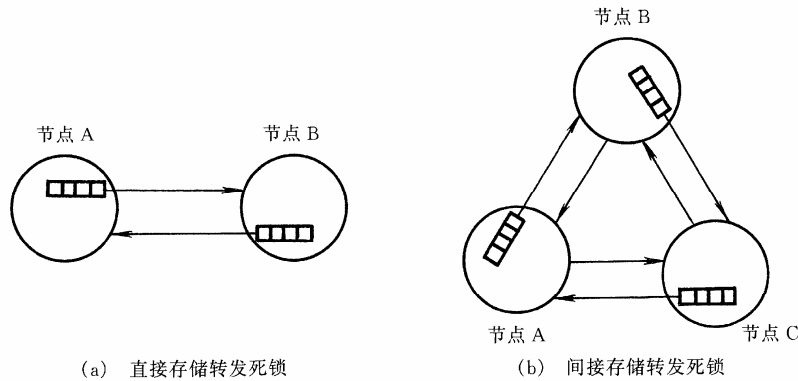


图 6.44 存储转发死锁

对缓冲器的管理与分配，有如下几种方法：

#### ① 全部分配法

设  $N$  = 输出队列数；

$n_i$  = 第  $i$  队列中的排队分组数；

$B$  = 缓冲区总容量。

设置约束条件：

$$0 \leq n_i \leq \frac{B}{N} \quad \forall i \quad (6.3)$$

#### ② 最小分配共享

设  $b_{\min}$  = 最小缓冲分配，保障每个队列所能获得的最小缓冲空间（典型地， $b_{\min} \leq B/N$ ）。

设置约束条件：

$$\sum_i \max\{0, (n_i - b_{\min})\} \leq B - Nb_{\min} \quad (6.4)$$

## ③ 最大队列共享

设  $b_{\max}$  = 允许的最大队列长度 ( $b_{\max} < B/N$ )。

设置约束条件：

$$0 \leq n_i \leq b_{\max} \quad \forall i \quad (6.5)$$

$$\sum n_i \leq B$$

## ④ 最小分配—最大队列共享

②与③的组合方案，可保证每个队列在同一时刻获得最小缓冲空间  $b_{\min}$  供使用，同时最大队列长度受  $b_{\max}$  限制。

## 3. 阻塞控制

为了避免全局性的流量分布不均匀，或因通信子网局部区域流量峰值过高而出现阻塞现象，必须采取阻塞控制措施。

阻塞控制的基本思想是根据对网络内部阻塞程度的测量，在访问网点上（通信子网的外部）就确定网内是否存在阻塞现象，以采取相应的措施阻止外部数据流再进入网内，从而达到调整进网业务量，防止或缓解子网内的阻塞现象之目的。对网内阻塞程度的测量，可有如下几种方式：

- (1) 局部阻塞测量：在源节点上测量该节点缓冲区的占据率；
- (2) 全局阻塞测量：估计整个子网内所占用的全部缓冲器数目；
- (3) 选择性阻塞测量：对选定的通路上的缓冲区占据率进行测量。

有一种最有代表性的阻塞控制法，是 1972 年由 D.W.Davles 提出的所谓“许可证法”。该方法的基本原理是：设置一定数量的“许可证”（实质上是一种空白帧）在子网内随机地巡回游动。欲进网的报文只有在捕获到一个许可证之后，方可准许进入网内传输。一个报文在出网时，交出所持的许可证，使它仍留在子网内巡回游动，以备别的欲进网报文捕获使用。

采用许可证法，报文需要在节点得到许可证后才能发送，这可能会产生额外的等待延时。但是，如果网络负载不重时，报文很容易得到许可证，这种时延可以很小。为了减少因许可证引起的等待延时，有人认为不应当让所有的许可证都在网络内随机巡游，而应在各节点设立一个“许可证池”，在池内保持几个空载许可证，这样可以减少分组等待许可证的时间，但是许可证池中的空载许可证不能太多（一般为二三个），否则将导致流量控制的失控，产生阻塞，时延反而加大。

## 6.4 交换网的

为了扩大公用通信网提供服务的范围，利用公用数据网进行国际互连，在世界范围内形成计算机网，不仅在经济性和可靠性方面是合理的，而且还能更有效地利用各种资源。

当前，现有的通信网络有电话网、电报网、公用分组交换数据网、数字数据网和形式多样的计算机局域网等。用户终端在完成通信的过程中往往需要访问一个以上的网络，但是由于不同的网络之间存在着许多差异，不能把它们简单地连接起来或者合并成为一个网络，因

此就必须采用网络互连技术给网络一致的业务内容，一致的网络接口，一致的信令系统和编号制度，来消除网络性能上和功能上的差异给通信带来的影响，使网络间实现“透明”传输，即使不同网络间的终端用户可以相互通信。

网间互连需解决 4 方面的问题，即

- (1) 网络设备（业务的种类和定义）。由 X.2 建议规定了分组网应提供的基本业务，包括交换虚连接（SVC）和永久虚电路（PVC）；
- (2) DTE/DCE 接口（网间规程）。由 ITU—T 提供了分组终端的接口建议 X.25 和非分组终端的终端接口建议 X.28；
- (3) 网间接续接口（网间信令方式）。由 ITU—T 提供的 X.75 建议规定了公用分组网的国际互连规程；
- (4) 国际数据网编号计划。ITU—T 为分组网的 X.121 建议和电话网中 E.163 建议做了明确规定。

这些建议的相互关系如图 6.45 所示。

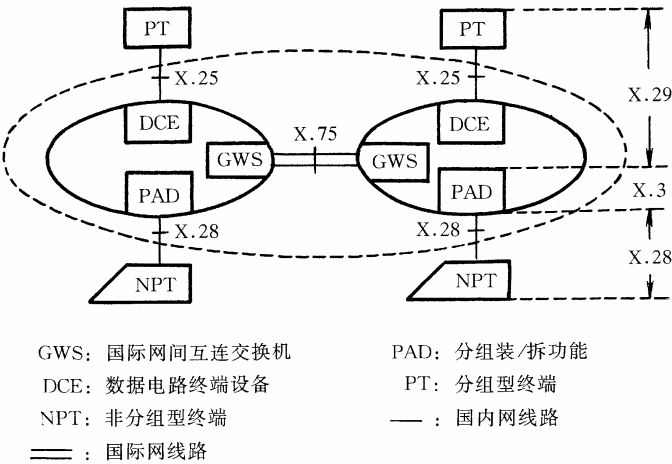
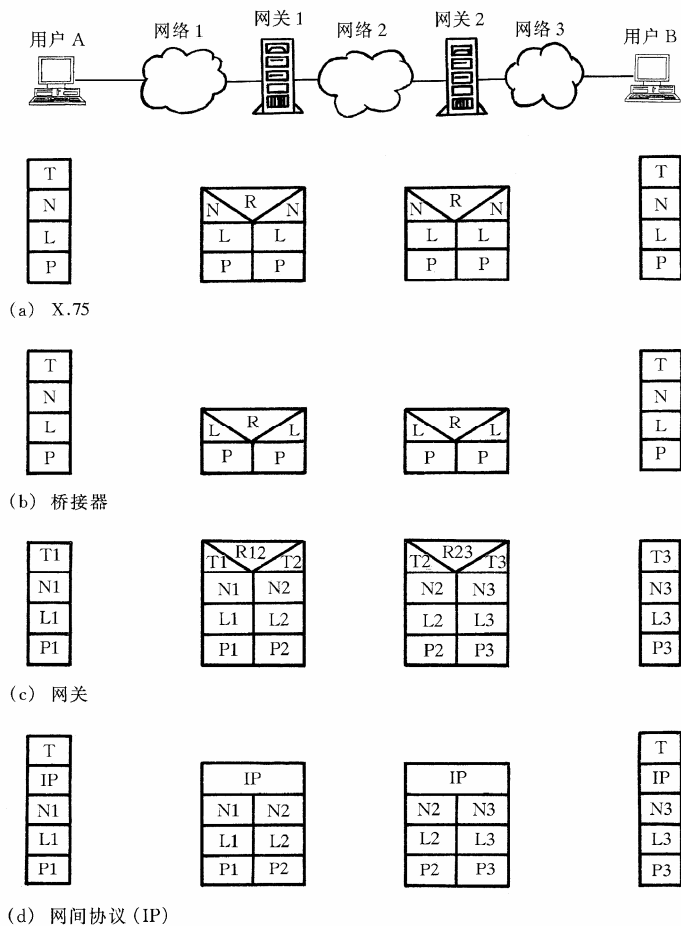


图 6.45 网际互连的各建议之间的关系

6.4.1 网间互连方式

为了实现网际之间的互连，可以采用两种方法。如果两个网络具有公共的标准化的接口（例如 X.75 所示），则可以将它们直接连接；如果两个网络没有统一的接口，就需要采用网关设备。网关设备也就是网络协议转换器。

两个网络的接口协议差异程度的不同将影响到协议转换器的构成和复杂程度。我们常常把执行链路层及其以下协议转换的设备称为桥接器（Brige），桥接器主要用于局域网（LAN）之间的互连。我们把能够执行各层协议转换的设备统称为网关。具体的网关设备可能存在差异，它可以分散在网络节点交换机中，也可以是一个独立的设备，连接在两个网络之间。



T: 传输层    N: 网络层    L: 链路层    P: 物理层  
IP: 网间协议层    R: 中继功能

图 6.46 网际间互连体系结构

为了实现具有不同的接口协议的网络之间的互连，需要通过网关进行协议转换，每个网关只对相邻网络之间的协议进行转换，多种网络的互连就可能需要多种协议转换器，给互连设备的研究开发和网络互连的实现带来了困难，因此在网络层协议之上人们又研究开发了一种网间互连协议（IP）。IP 协议已成为事实上的国际标准，它提供了无连接数据报传输和国际网路由服务。在传输时，高层协议将数据报传给 IP，IP 将数据封装为 IP 数据报后通过网络接口发送出去。所以使用 IP 可简化不同接口协议的网络之间的网关的设计。

根据以上分析，我们可以把网间互连分为 4 种类型：

- (1) 相同网络接口协议之间的互连（例如 X.75）；
- (2) 内部协议相同的网络之间的互连；
- (3) 不同网络接口协议之间的互连（协议转换）；
- (4) 通过统一的 IP 实现的不同网络接口协议之间的互连（网间 IP 协议）。

图 6.46 表示了这 4 种方式的网间互连体系结构。图中把网关画成一个单一的系统，实际上它可能分散在两边网络的节点中，在逻辑上它是独立存在的。从图中可见，(a)和(b)具有相

同的网络接口协议，互连比较简单，对于(c)和(d)的情况，用户 A 和用户 B 具有不同的网络接口协议，但是对于(a)、(b)和(d) 3 种情况，用户 A 和 B 都具有相同的运输层协议，而(c)的运输层协议不同。对于情况(c)，网关 1 和网关 2 分别要执行不同的中继功能（R12 和 R23）。

6.4.2 公用分组交换网间的互连

两个符合 X.25 标准的分组网的互连有两种情况（不符合 X.25 标准的分组网不在考虑之列,这种情况需要各个专门设计的网间对接），即公用网与公用网互连和公用网与专用网互连。前一种情况仅网号不同，编址都按照 X.121 建议规定；后一种情况编址不同，一般对专用网采用子地址方法，放在用户补充业务功能字段中。

两个 X.25 公用网的互连应按照 X.75 协议标准，要保证网络接口点信令和信息的连续，虚电路的连接。X.75 协议是 ITU-T 为国际分组交换网互连而制定的网间接口标准。为了简化网间互连的过程，X.75 设计得和 X.25 很相似。X.75 位于 OSI 7 层模型的网络层中 X.25 规程的上方，在分组层重新规定了虚呼叫（VC）业务的分组格式和控制规程（见图 6.47），在终端和网络之间用 X.25 规程建立虚呼叫，而在网络之间采用 X.75 规程来实现逐段接续。X.75 规程在链路层采用 LAPB 并支持多链路规程，在接口的两侧不分主站和次站。

|                   |   |          |   |             |   |   |   |
|-------------------|---|----------|---|-------------|---|---|---|
| 8                 | 7 | 6        | 5 | 4           | 3 | 2 | 1 |
| 一般格式识别符           |   |          |   | 逻辑信道组号      |   |   |   |
| 逻辑信道号             |   |          |   |             |   |   |   |
| 分组类型识别符<br>0000   |   |          |   | 1011        |   |   |   |
| 主叫 DTE 地址长度       |   |          |   | 被叫 DTE 地址长度 |   |   |   |
| 主/被叫地址            |   |          |   |             |   |   |   |
| 00                |   | 网应用字段长度  |   |             |   |   |   |
| 网应用字段             |   |          |   |             |   |   |   |
| 00                |   | 用户业务字段长度 |   |             |   |   |   |
| 用户业务字段            |   |          |   |             |   |   |   |
| 呼叫用户数据(16 个 8 比特) |   |          |   |             |   |   |   |

图 6.47 X.75 呼叫请求和呼入分组格式

图 6.48 为两个公用分组网互连的示意图。我们知道 X.25 是终端用户设备（DTE）和数据电路连接设备（DCE）之间的接口，而 X.75 是一个网络的信号端接设备（STE）和另一个网络的信号端接设备（STE）之间的接口。

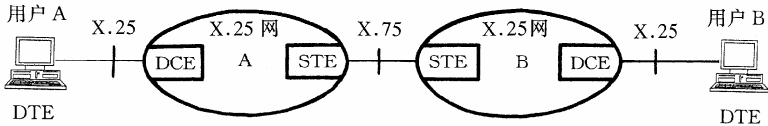


图 6.48 两个公用分组网的互连

X.75 规定的两个公用分组网互连时必须具备的网络业务功能包括：



- (1) 接转网标识。即网号 (DNIC)，这是呼叫请求分组中必须表明的用以解决寻址的前提。
- (2) 呼叫标识符。在呼叫请求分组中由始发网提供，用来标明每一条已建立的虚电路。呼叫标识符与主叫 DTE 地址结合使用，可以唯一地标识该次虚呼叫。
- (3) 该次虚呼叫的吞吐量等级指示。在呼叫请求分组中和呼叫接收分组中均应有明确指示。
- (4) 窗口大小。这是指发方在得到收方的收妥确认之前能连续发送的分组数。应协商确定每个传输方向的逻辑信道上的“窗口”大小。
- (5) 分组大小。两网连接时，由于各自网内的数据分组的最大数据字段长度可能不同，需要协商。

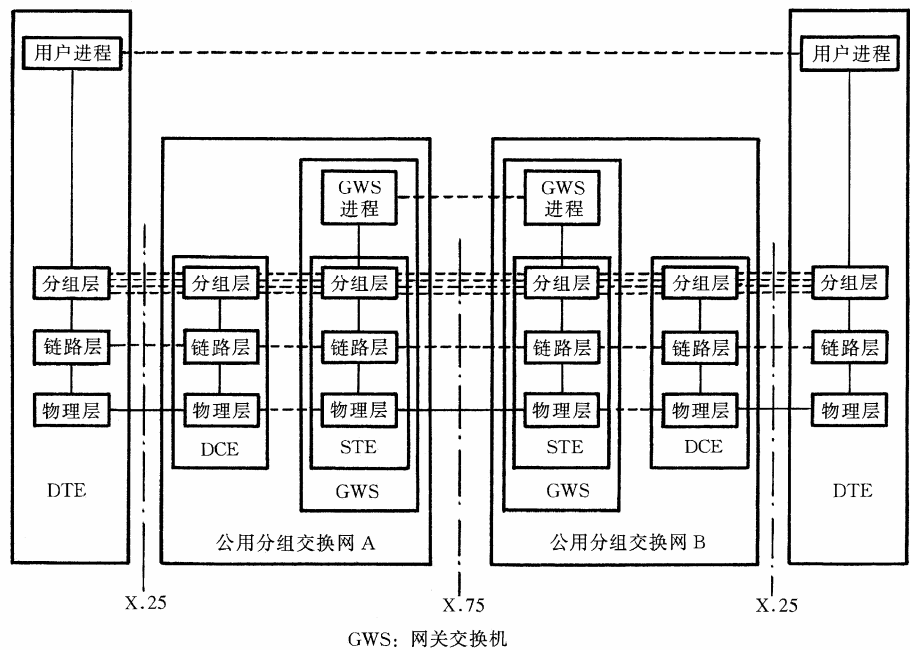


图 6.49 由 X.75 互连的公用分组交换网体系结构

- (6) 快速选择指示。表明该次呼叫用快速选择业务，对方网是否能提供这种业务需协商。
  - (7) 闭合用户群指示。表明该次呼叫是包括国际用户群的呼叫。
  - (8) 被叫地址修改通知。说明被叫地址不同于呼叫请求分组中的地址的原因。
  - (9) 接转延时指示。在呼叫请求分组和呼叫连接分组中指明信号传输的累计延时指标。
- 以上是两网互连时由 STE 执行的网络必备功能，此外还有选用业务功能，如反向计费、保密等级等，由两网双边协商规定。

在 X.25 建议中规定了 28 项用户业务功能，在 X.75 中定义了 13 种网间业务，在互连时需要在接口上实现转换。

图 6.49 表示了两个公用分组交换网通过 X.75 协议互连的分层体系结构，X.75 在网络的网关交换机 (GWS) 中实现。根据各个网络的不同设计，GWS 可以是节点交换机中提供的一种功能，也可以是在物理上独立的网关节点。X.75 采用与 X.25 终端接口相对应的 3 层结构，在 X.75 第 3 层以上的高层协议，包括用于呼叫管理或国际网络管理的 GWS 进程之间的

协议不在 X.75 规定的范围之内。

6.4.3 公用分组网与电话网互连

现在，我国的电话网已非常普及，出于经济、安装方便及资源利用率方面的考虑，在许多情况下，多数数据终端是经电话网接入公用分组网的。

1. 非分组型终端（NPT）接入

电话网采用电路交换方式，用户通过调制解调器用拨号方式接入，其编号方案按 ITU-T E.163 建议标准，在国内呼叫时包括长途区号和市话号码，最多共 10 位。而公用数据分组网的编号方案按 ITU-T X.121 建议标准，包括国际通信前缀在内共 15 位，目前我国使用 8 位统一编号。

由于电话网和分组网编号方案不同，网内控制信号（信令）也不一样，故两网互连时需要进行地址和信令转换，验证 DTE 身份号码和完成计费功能。图 6.50 示出非分组型终端（NPT）经公用电话交换网（PSTN）接入公用数据分组网（PSPDN）情况下两网的连接关系。

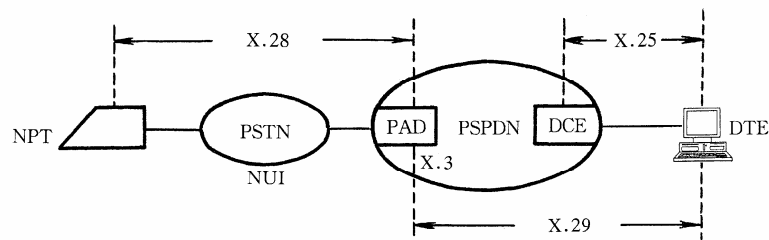


图 6.50 非分组终端经电话网接入公用分组网

连到电话网的 NPT 先要经过调制解调器拨号呼叫 PAD，并向 PAD 提供“网络用户识别符”（NUI），这是用户向网路申请服务时分配给用户终端的“口令”。网路验证 NUI 为合法后才进行连接。然后 NPT 再按照 X.28 建议的命令方式与 PAD 及分组网通信。整个呼叫建立过程的步骤如图 6.51 所示。

由图可见，主叫 DTE 经电话网呼叫分组网时，先呼叫分组网连接在电话网指定端口（MODEM）的电话网号码，在得到接通响应后即输入自己的 NUI 和被叫 DTE 号码，经分组网验证和被叫 DTE 接受后呼叫建立才告完成。在操作过程中，分组网与电话网间接口执行对主叫 DTE 的 NUI 身份验证，然后转译为网络用户地址，作为主叫地址发送给被叫，按被叫 DTE 号码寻址选路由，并在接通时开始计费。

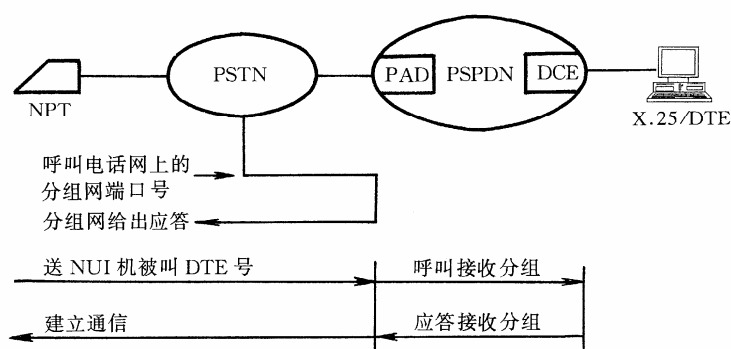


图 6.51 经电话网接入的呼叫过程

## 2. 分组终端 (PT) 接入

分组终端 (PT) 经电话网接入分组网的方式如图 6.52 所示, 其接入的呼叫过程与非分组终端 (NPT) 类似, 按照 ITU-T X.32 建议标准进行操作, PSTN 提供传输媒介, 建立交换接入通路, 提供一个 PSTN 指定的网络号码, 以便识别和寻址。X.32 DTE/DCE 接口与 DTE/MODEM 间的接口相似, 像在 PSTN 网一样呼叫, 被叫 DTE 号码要有对应的 PSTN 号码。

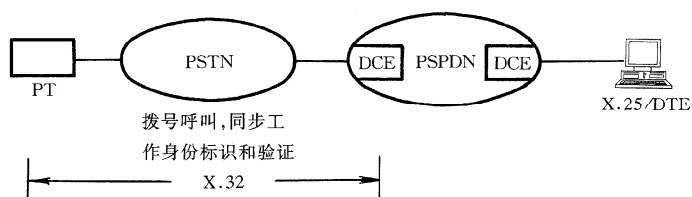


图 6.52 分组终端用 X.32 建议连接

## 6.5 用 CHINAPAC

CHINAPAC 网络已覆盖到全国所有县以上城市及部分发达的乡镇。用户可以就近以专线或电话拨号方式入网,使用分组交换业务。CHINAPAC 已为中国外汇交易中心计算机网络、交通银行管理信息系统、中国人民银行证券磁卡网络、国家信息中心系统的 WAN 等提供了分组交换网络平台。CHINAPAC 的网络平台上还开发了公用电子信箱、公用传真存储转发、公用电子数据等增值数据业务网。

### 6.5.1 中国公用分组交换网 ( CHINAPAC ) 概况

## 1. CHINAPAC 发展概况

我国的公用分组交换网发展很快，大体分为 3 个阶段。作为试验网，1989 年 11 月开通了一个小规模分组交换网（CNPAC）。该网由 3 个节点机、8 个集中器和 22 个分组拆装设备组成。该网覆盖全国省会以上城市有 1000 多个端口，有近千个用户，开通 8 条国际中继线路与国际网互连。但由于网络容量较小、传输速率低、端口数量较少，原邮电部决定组建新的

分组交换网。

新建的中国公用分组交换网（CHINAPAC）于 1993 年 9 月开通，由原邮电部统一组建，引进加拿大北方电信公司的 DPN-100 分组交换系统，全网由 32 个交换机组成，覆盖全国所有省、市中心城市。汇接中心间采用完全网状网结构、网内每个交换中心都有 2 个或 2 个以上不同汇接方向的中继电路。

CHINAPAC 与公用电话网、用户电报网、DDN、VSAT、CHINANET 以及各省市的地区网、各大型企事业单位的局域网均可实现互连。目前，CHINAPAC 已经与世界上 23 个国家和地区的 44 个公用分组交换网进行了互连，这样国内的任何一台计算机均可通过 CHINAPAC 进行国际间数据传输和通信。

CHINAPAC 自 1993 年底投入试运行以来，已发展成一个覆盖全国 2000 个县级以上城市和发达地区的乡镇、通达全球主要国家和地区的分组交换数据通信网络。CHINAPAC 具有规模大、覆盖面广、端口容量大、通信速率高、支持通信规程多、处理能力强、网络延时低等特点，为国内外的大企业、大公司、政府部门、金融机构等各类用户提供了良好的通信环境及网络支持。

近年来，通过对中国公用分组交换网进一步扩容和改造，以提高网络的处理能力和业务功能，满足用户不断增长的业务需求。扩容后的分组网中继速率可达 256~2048kbit/s，并开放帧中继和 POS 业务。

2. CHINAPAC 网络组成

(1) CHINAPAC 的网络结构

CHINAPAC 的网络等级采用二级结构，即由骨干网（一级交换中心）和地区网（二级交换中心）组成。根据业务量、流向和行政区划确定各级交换中心的位置。如图 6.53 所示。

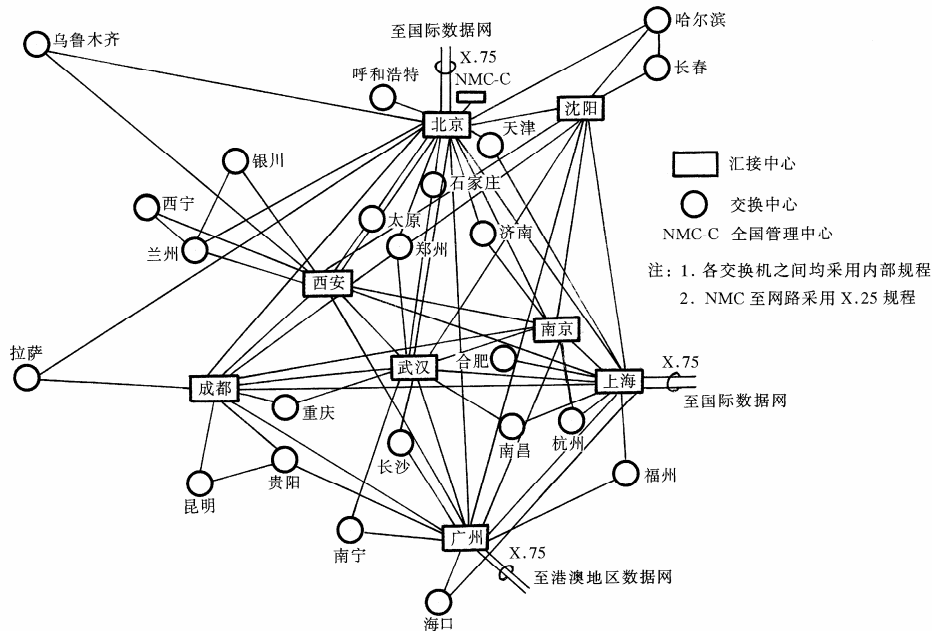


图 6.53 CHINAPAC 骨干网结构

① 骨干网 分组网一级交换中心为骨干网，它由 31 个省会级城市、直辖市(含重庆市)

的 32 个节点组成；北京、上海为国际出入口局，广州为港澳出入口局；另外北京、上海、沈阳、武汉、成都、西安、广州及南京等 8 个城市为汇接中心。8 个汇接中心采用完全网状结构，其他节点采用不完全网状结构，网内每个节点都有 2 个或 2 个以上不同方向的电路，从而保证了网络的可靠性。网内中继电路主要采用数字电路，通信速率可达 64kbit/s~2Mbit/s，每个节点中心吞吐量可达 3200~6400 分组/s，每秒可处理 250 次呼叫。1995 年底，这 8 个汇接局都配置了性能更高的分组交换机，从而使中继速率达到 34Mbit/s，处理能力进一步提高。

② 地区网 分组网二级交换中心为地区网，它由各省市的地区交换中心组成骨干网与各省、市地区内的各交换中心采用辐射连接。网络组织安排、技术标准、网间互连等均应符合原邮电部 1990 年 12 月颁发的《公用分组交换数据网技术体制》（暂行规定）的要求。

#### (2) CHINAPAC 的技术指标

① 当网络中继线速率为 64kbit/s，用户数据的分组长度为 128 字节时，DPN-100 系统由于使用了纵向冗余校验、循环冗余校验及奇偶校验等多种校验方法，因此总的不可检误码率小于  $4 \times 10^{-16}$ 。

#### ② 网路时延

国内通信：假定用户数据分组长度为 128 字节、中继线利用率为 50%、处理单元板（PE）利用率为 10%、中继线速率为 64kbit/s 和 9600bit/s 混合方式，则总的呼叫请求时延为 373ms，总的呼叫接受时延为 329ms，总的呼叫清除时延为 504ms，总的的数据分组时延为 504ms。

国际通信：假定用户数据分组长度为 128 字节、中继线利用率为 50%、PE 利用率为 10%、中继线速率为 64kbit/s 和 9600bit/s 混合方式，则总的呼叫请求时延为 270ms，总的呼叫接受时延为 221ms，总的呼叫清除时延为 268ms，总的的数据分组时延为 268ms。

③ 虚电路平均故障间隔时间（MTBF）为 74997h。虚电路平均建立时间小于 15s。

④ 分组交换机的平均呼叫处理能力最大达 250 个呼叫/s。

⑤ 分组交换机的吞吐量

每个资源模块（RM）的吞吐量为每秒 3200 个分组（每个分组 128 字节）。北京、上海等均配 2 个 RM，因此其吞吐量为 6400 分组/s，其他城市则配一个 RM，吞吐量为 3200 分组/s。

#### (3) CHINAPAC 的传输信道

CHINAPAC 骨干网中继电路主要采用 PCM 数字电路（光纤、数字微波和卫星电路）和部分模拟电路，在具备数字传输信道（光纤或数字微波）的城市之间均采用一条 64kbit/s（物理接口为 G.703）的数字电路作为中继连接，无数字信道的城市与其他交换中心的中继连接均采用一条或两条 9.6kbit/s 四线全双工（物理接口为 V.24）模拟电路。各交换中心之间采用 DPN-100 系统的网内规程（UTP）。随着全国数字数据网（DDN）的快速建设，CHINAPAC 骨干网中继电路速率将不断提高，并逐步向全网状结构发展。

#### (4) CHINAPAC 的网络速率

CHINAPAC 的中继电路的速率为 4800bit/s、9600bit/s、64kbit/s；用户电路的速率为 1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19.2kbit/s、48kbit/s、64kbit/s；国际出入口局电路的速率为 9600bit/s、64kbit/s。

汇接中心间中继电路的通信速率根据现有的传输通道条件确定。已有数字传输通道（光纤、数字微波等）便可通过一条数字话路来连通，其通信速率为 64kbit/s。不具备数字传输通道，可采用两条四线全双工模拟的话路来连接，其通信速率为 9600bit/s。所有交换中心之间

的通信规程均采用 DPN-100 设备的网内规程，其物理接口为 V.24/G.703。

#### (5) CHINAPAC 的网络编号

新建网与原有的 CNPAC 不兼容，因此原 CNPAC 的国家代码 4602 不变，新建网（CHINAPAC）启用国家代码 4603，即我国分组网号码。网内用号码采用全国统一的 8 位等位编号（X1~X8），无论是本地呼叫还是长途呼叫，其号码均由 8 位 10 进制数字组成。

分组网编号格式为：X1、X2 为编号区，即省、市；X3~X4 表示同一编号区所属的节点机号；X5 为节点机的资源模块（RM）或接入模块（AM）的模块号；X6~X8 为节点机的端口号。X1 为 1~9；X2~X8 为 0~9。

专用分组网接入公用分组网一般由本地专用骨干网节点机的 DTE 端口接入，根据需要可分配一组端口号。X9、X10 仍为用户的子地址号。

### 6.5.2 CHINAPAC 提供的业务功能

新建公用分组网可向用户提供的主要业务功能有基本业务功能、用户任选业务功能、新业务功能和增值业务功能。

#### 1. 基本业务功能

提供了两种基本虚电路通信业务：交换型虚电路（SVC）和永久型虚电路（PVC）。

#### 2. 用户任选业务功能

包括闭合用户群、收方计费以及收方计费认可、计费信息显示、网络用户识别、呼叫转移、用户连选组、直接呼叫等。

#### 3. 新业务功能

(1) 虚拟专用网。它是指建立在公用分组交换网基础上，利用公用网资源组成的专用网，通常由用户自己的网管设备对专用网的用户独自进行管理。这样可以节省用户对网络软、硬件的投资而同时又具有专用网的功能。

(2) 广播功能。它可为网上事先约定好的用户提供点对多点的数据传送业务。

(3) 快速选择业务。它可以将正常的一次呼叫中的 3 个阶段：呼叫建立、数据传输、传输结束后释放虚电路，合并为两个阶段。也就是在用户发起呼叫请求时，允许同时携带少量的数据信息，而电路拆线回来时又可携带一定量的数据信息。这种业务比较适合于要求实时性较高而数据传输量较小的用户使用，如银行系统信用卡的验证等一些快速事务处理业务。

(4) SNA 网络环境。为了便于 IBM 主机和终端接入 CHINAPAC 以构成 SNA 网络。

(5) 令牌环网智能网桥功能。为通过 CHINAPAC 进行令牌环网（Token-Ring）之间互连提供桥接功能。

(6) 异步轮询接口（API）功能。该功能使得主机（Host）可通过 CHINAPAC 与远程终端进行轮询式通信，比较适合于销售点、信用卡、股票及金融电子资金转帐等业务。

#### 4. 增值业务功能

利用分组交换网的通信平台，可以开发与提供一些增值数据业务。通常有电子信箱（E-mail）、电子数据交换（EDI）、传真存储—转发、可视图文、智能用户电报和数据库检索等业务。

6.5.3 网络用户终端及入网方式

CHINAPAC 的用户终端有分组型终端 (PT)、非分组型终端 (NPT) 和 SNA/SDLC(系统网络结构/同步数据链路控制)终端等 3 种类型, 并根据不同的用户终端来划分用户业务类别, 提供不同速率的数据通信业务。用户接入 CHINAPAC 的方式如图 6.54 所示。

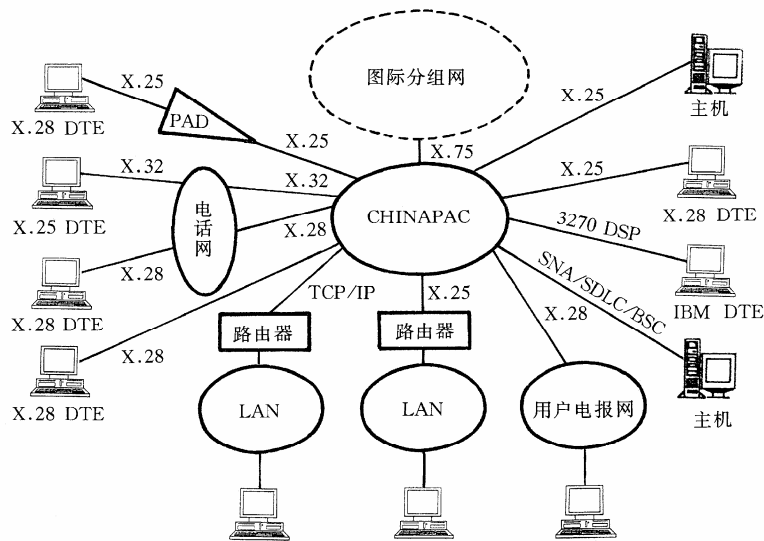


图 6.54 用户接入 CHINAPAC 的示意图

(1) 分组型终端

分组型终端采用同步工作方式, 具有发送和接收分组的功能, 数据终端设备 (DTE) 和数据电路终接设备 (DCE) 之间使用 X.25 或 X.32 规程。

① 通过专线电路接入分组网的用户, 使用 X.25 接口规程, 可提供 2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19.2kbit/s、48kbit/s、64kbit/s 等速率的数据通信业务。

② 通过公用电话交换网接入分组网的用户, 使用 X.32 规程, 可提供 2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s 等速率的数据通信业务。

(2) 非分组型终端

非分组型终端采用起止式异步工作方式, 只具有发送和接收字符的功能, DTE 和 DCE 之间使用 X.28 规程。

① 通过公用电话交换网或其他专用网接入分组网的用户, 使用 X.28 规程, 可提供 300bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19.2kbit/s 等速率的数据通信业务。

② 通过用户电报网接入分组网的用户, 使用 TEL/X.28 接口规程, 可提供 50bit/s 速率的数据通信业务。

(3) SNA/SDLC 终端

遵循 IBM 公司 SNA/SDLC 规程的同步终端, DTE 和 DCE 之间使用 SNA/SDLC 规程。SNA/SDLC 同步终端经专线电路接入分组网的用户, 可以提供 2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19.2kbit/s、64kbit/s 等速率的数据通信业务。

表 6.16 给出了用户类别和入网方式有关参数。

表 6.16 用户终端入网方式及相关参数

| 终端类型       | 入网方式  | 接口规程 | 速率                    | 物理接口      |
|------------|-------|------|-----------------------|-----------|
| PT(X.25)   | 租用专线  | X.25 | 1200 bit/s~64 bit/s   | V.24/V.35 |
| PT(X.25)   | 电话网   | X.32 | 1200 bit/s~9600 bit/s | V.24      |
| NPT(X.28)  | 租用专线  | X.28 | 1200bit/s~19.2kbit/s  | V.24      |
| NPT(X.28)  | 电话网   | X.28 | 300~9600bit/s         | V.24      |
| NPT(SDLC)  | 租用专线  | SDLC | 1200bit/s~64kbit/s    | V.24/V.35 |
| NPT(TELEX) | 用户电报网 | X.28 | 50bit/s               | V.24      |

6.6

DDN

数字数据网（DDN：Digital Data Network）是以四通八达的数十万条光缆为主体，包括数字微波、卫星等的数字电路，通过数字电路管理分配设备（称为 DDN 设备）构成的数字数据电路管理和分配的网络。在现有的电信网中，无论是电话网还是 X.25 网，都有模拟成分的存在，这也是网中存在大量数模转换及调制解调器设备的原因。而 DDN 则以全数字、高速率及灵活的交接复用功能为用户提供大容量数据通信平台。DDN 的主要目的是灵活方便地向用户提供永久性或半永久性的数字电路出租业务。电信部门将利用 DDN 所提供的电路构成各种数据网或业务网，如中国公用分组交换网 CHINAPAC 和中国七号信令网等。

CHINADDN 一期工程于 1994 年 10 月正式开通，目前已通达所有的直辖市和省会城市，具有 E1 速率（2.048Mbit/s）端口 776 个，其他速率的端口 2588 个。干线传输速率通常为 2.048Mbit/s(E1)和 34Mbit/s（E3），干线最高传输速率可达 150Mbit/s。该网传输时延短（平均多个节点的延时不大于 450 μs），传输质量高，具有路由自动迂回和基于 SNMP 和 SNMPv2 的网管系统，特别适合于对传输时延要求高、信息量大的用户。

6.6.1 DDN 的组成及特点

1. DDN 的形成与发展

以 X.25 建议为核心的分组交换数据网,为数据用户提供交换虚电路和永久虚电路数据业务。但是，分组交换方式也受到自身技术特点的制约，节点机对所传送信息的存储转发和通信协议的处理，使得分组交换网处理速度慢、网络时延大，使许多需要高速、实时数据通信业务的用户无法得到满意的服务。据统计，许多数据用户的需求是为了解决用于行业部门内的数据信息处理及管理，即相对固定的用户间业务量比较大。如果这类业务量完全利用分组交换网建立一次次的通信连接，显然是不经济的。

在 market 需求的推动下，介于永久性连接和交换式连接之间的半永久性连接方式的数字数据网（DDN）开始作为一种数据通信应用技术的分支逐渐发展起来。DDN 在发展过程中，把数据通信技术与数字通信技术、计算机技术、光纤通信技术、数字交叉连接技术等有机结合在一起，形成了一个新的技术整体，使其应用范围从最初单纯提供数据通信服务，逐渐扩



展拓宽到支持多种业务网和增值网。目前, DDN 已经发展成为了具有很强吸引力和发展潜力的传输网络资源。

近年来, 随着大规模集成电路技术和计算机技术的迅速发展, 在 DDN 上采用的技术越来越先进, 它不仅能在准同步数字系列 (PDH) 中使用, 而且可用于正在发展完善的同步数字系列 (SDH)。DDN 已成为数据通信的一个重要的技术分支, 将成为用户远程数据通信的最佳选择。

## 2. DDN 网络组成结构

数字数据网由本地传输系统、复用/交叉连接系统、局间传输系统、网同步系统和网络管理系统等 5 部分组成, 如图 6.55 所示。

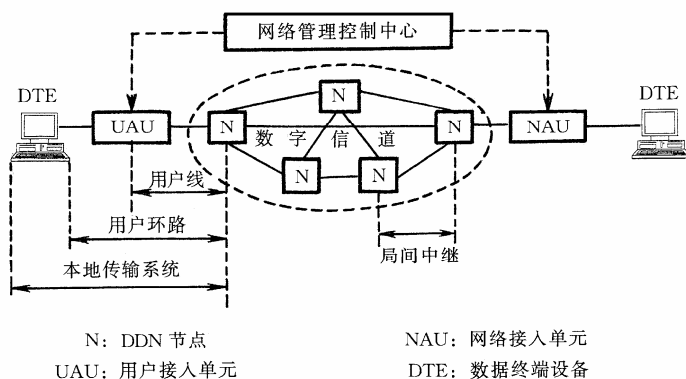


图 6.55 DDN 网络组成结构示意图

### (1) 本地传输系统

本地接入系统由用户设备、用户线和用户接入单元组成, 其中把用户线和用户接入单元称为用户环路。

① 用户设备: 它发出的信号是用户的原始信号, 即脉冲形式的数据信号、音频形式的话音和传真信号、数字形式的数据信号等, 其共同特点是适合于在用户设备中处理, 而不适合直接在用户线上传输。常用的用户设备有:

- 数据终端设备 (DTE: Data Terminate Equipment)
- 个人计算机 (PC: Personal Computer)
- 工作站 (WS: Work Station)
- 可视电话机 (Videophone)
- 窄带话音和数据多路复用器 (MUX: Multiplexer)
- 局域网的桥接器/路由器 (LAN Bridger /Router)

② 用户线: 即一般的市话用户电缆或光缆。

③ 网络接入单元 (NAU: Network Access Unit) 它的作用是把用户端送入的原始信号转换成适合在用户线上传输的信号形式, 如频带型或基带型的调制信号, 并在可能的情况下, 将几个用户设备的信号放在一对用户线上传输, 以实现多路复用。然后由局端的相应设备或接口电路把它们还原成几个用户设备的信号或系统所要求的信号方式, 再输入到节点进行下一步传输。网络接入单元可以是:

- 数据服务单元 (DSU: Data Service Unit);

- 信道服务单元 (CSU: Channel Service Unit) ;
- 数据电路终接设备 (DCE: Data Circuit Equipment), 如频带型或基带型调制解调器。

## (2) 复用及交叉连接系统

复用就是把多路信号集合在一起, 共同占用一个物理传输介质, 典型的复用方式分为频分复用 (FDM) 和时分复用 (TDM)。DDN 常用的时分复用 (TDM) 为 2.048Mbit/s 数字帧电路超速率复用和子速率复用等。如需深入了解可参阅其他相关材料。

数字交叉连接系统 (DCS: Digital Cross-Connect System) 用于通信线路的交接、调度及管理。它由同步电路、交叉连接、微机处理 3 个主要单元组成。

- 同步电路 为网络提供精确的定时信号, 用于进行时隙校准。
- 交叉连接 负责完成时隙的交叉连接, 如在 DDN 节点中的 2.048Mbit/s PCM 信号复用帧, 各路来去的数字流以 64kbit/s 为单元进行交叉连接, 如图 6.56 所示。

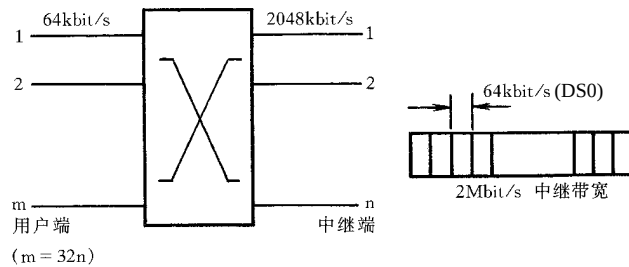


图 6.56 数字交叉连接

- 微机处理 用于管理内部和外部操作。主要功能是: 维持操作系统, 处理输入的命令和内部中断, 检测内部出错及告警信号并作出反应, 执行时隙交接并监视系统是否正常工作。

DCS 采用单级时隙交换结构, 由于没有中间交换环节, 因而不存在中间阻塞路径, 使得它对任何数量的 64kbit/s 线路的交接不会阻塞。DCS 可在极短的时间内对  $m \times 64\text{kbit/s}$  和 2.048Mbit/s 线路进行交换, 并可对任一通道进行测试。DCS 可提供终点对终点的最优连接, 使通信网的规划及传输线路的使用效率更高。但有一点必须注意, DCS 不处理用户摘机和挂机, 除非通过命令解除连接, 否则, 不管用户是否使用该线路, 经 DCS 交接的线路一直畅通。

## (3) 局间传输系统

局间传输是指节点 N 间的数字信道以及由各节点通过与数字信道的各种连接方式组成的网络拓扑。局间传输的数字信道通常是指数字传输系统中的基群 (2Mbit/s) 信道。网络拓扑结构则是根据网络中各节点的信息流量流向, 并考虑到网络的安全而组建的。网络安全是指对网络中任一节点来说, 一旦与它相邻的节点相连接的一条数字信道发生故障或该相邻节点发生故障时, 该节点会自动启用与另一节点相连的数字信道进行迂回以保证原通信正常进行。

## (4) 网同步系统

网同步系统的任务是提供全网设备工作的同步时钟, 确保 DDN 全网设备的同步工作。

网同步分为准同步、主从同步和相互同步 3 种方式。准同步按 CCITT G.811 建议, 常常被推荐在国际间通信时使用。主从同步是通过把时钟相位锁定在主时钟的参数定时上达到同步, 这种同步又分为树状结构主从式同步和外接参考主从式同步。前者以 PCM 高次群为主, 低次群为从; 后者有一个主时钟负责所有其他交换机的频率分配。此时, 时钟脉冲及信息比特流在不同通路进行传输。相互同步是一种没有唯一的参考时钟的同步方式, 此时, 每个交

换机时钟都是锁定在所有来信时钟的平均值上。DDN 通常采用主从同步方式。

(5) 网络管理系统

DDN 的网络管理应包括：用户接入管理、网络资源的调度、路由选择、网络状态的监控、网络故障的诊断、告警与处理、网络运行数据的收集与统计、计费信息的收集与报告等。

当网络的规模很大时，如建立全国范围的公用 DDN，网络管理都采用分级管理方式，在主干网上设立集中的网管控制中心（NMC：Network Management Center），负责主干网上的电路组织和调度。主干网上还可设若干网管控制终端（NMT：Network Management Terminal）。NMT 能与 NMC 交换网管控制信息，在授权范围内执行网管控制功能。各省内网可设有各自集中的 NMC，负责本省内网上的电路组织和调度，各省内网也可设若干 NMT，这些 NMT 也应能与 NMC 交换网管控制信息，在授权范围内执行网管控制功能。

3. DDN 的特点

DDN 是利用数字信道来传输数据信号的数据传输网，因此，DDN 的实现前提是通信网的数字化，其数字传输技术的范围不仅仅是在局间中继或长途干线上，而且还包括数据终端与数据终端之间的传输。DDN 具有以下特点：

- (1) DDN 是同步数据传输网，传输质量高，传输误码率可达  $10^{-11}$ 。
- (2) 传输速率高，网络时延小。由于 DDN 采用了同步转移模式的数字时分复用技术，用户数据信息根据事先约定的协议，在固定的时隙以预先设定的通道带宽和速率，顺序传输，这样只需按时隙识别通道就可以准确地将数据信息送到目的终端。由于信息是顺序到达目的终端，从而，免去了目的终端对信息的重组，因此，减少了时延。目前 DDN 可达到的最高传输速率为 150Mbit/s，平均时延 $\leq 450\mu s$ 。
- (3) DDN 为全透明网。DDN 是任何规程都可以支持，不受约束的全透明数据传输网，可支持数据、图像、话音等多种业务。
- (4) 网络运行管理简便。DDN 将检错纠错等功能放到智能化程度较高的终端来完成，因而简化了网络运行管理和监控的内容。这样也为用户参与网络管理创造了条件。
- (5) DDN 对数据终端设备的数据传输速率没有特殊的要求。按目前的技术水平，数据传输速率从 45.5bit/s 到 1984kbit/s 的数据终端都可以入网使用，而且用户所需的数据传输速率和信道带宽可根据需要灵活设置。

6.6.2 DDN 的业务功能

由于 DDN 是全透明网，又有高的可靠性、高的信道利用率和小的时延，它可以支持多种业务服务，如图 6.57 所示。

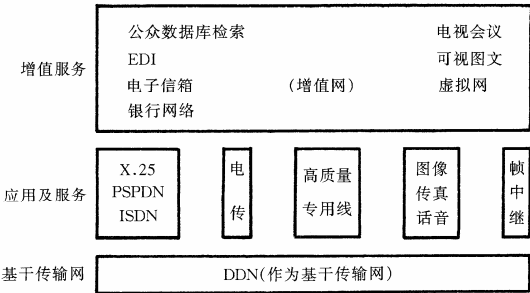


图 6.57 DDN 可支持的网络和新业务服务

具体地说，DDN 的业务主要是 TDM 专用电路业务，并在此基础上通过引入相应的服务模块（如帧中继服务模块、话音服务模块等）而提供的网络增值业务。

1. 专用电路业务

DDN 提供中高速率、高质量点到点和点到多点的数字专用电路，供公用电信网内部使用和向用户提供租用电路业务。具体用于信令网和分组网上的数字通道，提供中高速数据业务、会议电视业务、高速 Videotext 业务等。

DDN 提供的专用电路可以是永久性的，也可以是定时开放的，网上具有一定的备用电路，对要求高可靠性的重要用户，在网络故障时将优先自动切换到备用电路。

2. 虚拟专用网（VPN）业务

数据用户可以租用公用 DDN 网的部分网络资源构成自己的专用网，即虚拟专用网。用户能够使用自己的网管设备对租用的网络资源进行调度和管理。

3. 帧中继业务

帧中继技术是在 X.25 分组传输原理基础上发展起来的一种交换技术，与分组交换技术相比，具有系统简单、可靠性高、兼容性好和处理能力强的优点。帧中继业务即虚宽带业务，它把不同长度的用户数据包装在一个较大的帧内，加上寻址和校验信息，其传输速率可达 2.048Mbit/s。

帧中继业务如图 6.58 所示，它是在 DDN 的 TDM 专用电路基础上引入帧中继模块（FRM：Frame Relay Module）来实现的。帧中继业务用户分为两类：一类是具有 CCITT Q.922（帧方式承载业务 ISDN 数据链路层规程）接口的用户称为帧中继用户；另一类不具有 Q.922 接口的用户称为非帧中继用户。帧中继用户可直接与 FRM 相连，非帧中继用户必须经帧装拆单元（FAD：Frame Assembly Disassembly）及协议转换后才可与 FRM 相连。由于 FRM 与 FAD 之间的专用电路可独立于 DDN 节点和网络拓扑，因此，可把帧中继业务看作在专用电路业务上的增值业务和独立的增值网络（帧中继网络）业务。

帧中继应用可包括块交互型数据应用（指 CAD/CAM 计算机辅助设计和生产，时延小于几个毫秒，吞吐量在 500~2048kbit/s 内）、文件传输（指大型文件传输，其时延要求稍低，但需较大吞吐量，如 16~2048kbit/s）、复用低比特率及字符交互通信（如文本编辑，其特点是短帧、低时延和低吞吐量）。

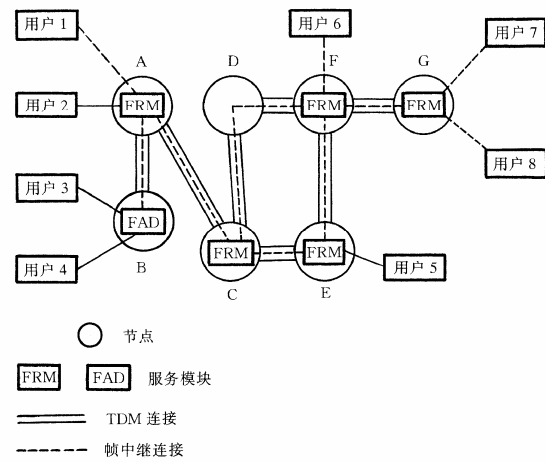


图 6.58 帧中继业务

4. 话音/G3 传真业务

话音/G3 传真业务是通过在用户入网处设置话音服务模块（VSM:Voice Service Module）来提供话音/G3 传真业务，如图 6.59 所示。VSM 的主要功能为：

- (1) 电话机和 PBX 连接的 2/4 线模拟接口（包括启动方式、信令方式）；
- (2) 话音压缩编码（如采用 ADPCM 或其他编码方式）使每路话音信号在集合信道上占用速率为 8、16、32kbit/s 等；
- (3) 模拟接口的信令和集合信道上的信令间转换；
- (4) 对每条话音压缩电路可能要附加传递信令信息的通路，如 800bit/s，这样每路带信令的压缩话音电路速率变为 8.8、16.8、32.8kbit/s；
- (5) G3 传真信号的识别和话音/G3 传真业务的倒换控制等。

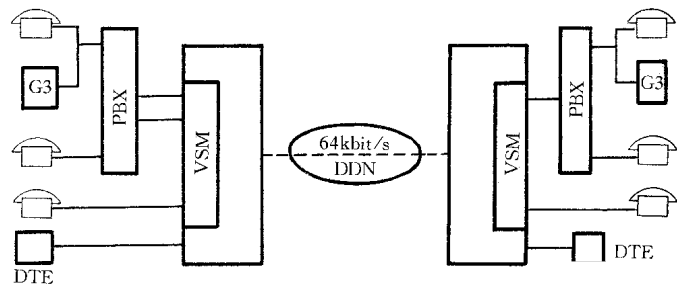


图 6.59 DDN 上的话音/G3 传真业务

5. 用户入网速率

用户入网速率及连接见表 6.17。

表 6.17 用户入网速率及连接

| 用户类别     | 用户入网速率(kbit/s)                                                   | 用户间连接           |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 专线电路     | 2048<br>子速率 2.4, 4.8, 9.6, 19.2<br>$N \times 64(N=1 \sim 31)$    | TDM 连接          |
| 帧中继      | 9.6, 14.4, 16, 19.2, 32, 48<br>$N \times 64(N=1 \sim 31)$ , 2048 | PVC 连接          |
| 话音/G3 传真 | 用户 2/4 线模拟入网, DDN 提供附加信令信息传输容量 8, 16, 32                         | 带信令传输能力的 TDM 连接 |

注：对话音速率 8, 16, 32kbit/s，附加信令后实际传输速率为 8.8, 16.8, 32.8kbit/s。

6.6.3 DDN 的网络分级结构

从各国发展 DDN 的情况来看，DDN 的网络分级结构级数少一些较为合理。我国的 DDN 网络分级结构，按网络的组建、运营、管理和维护的责任地理区域，可分为国家骨干网（一级干线网）、省内干线网（二级干线网）和本地网（用户网）3 级，如图 6.60 所示。各级网络应根据其网络规模、网络和业务组织的需要，选用适当类型的节点，组建多功能层次的网络：由 2 兆节点组成核心层，主要完成转接功能；由接入节点组成接入层，主要完成各类业务接

入；由用户节点组成用户层，完成用户入网接口。  
不同等级的网络主要用 2.048Mbit/s 数字电路互连,也可以用  $N \times 64\text{kbit/s}$  数字电路互连。

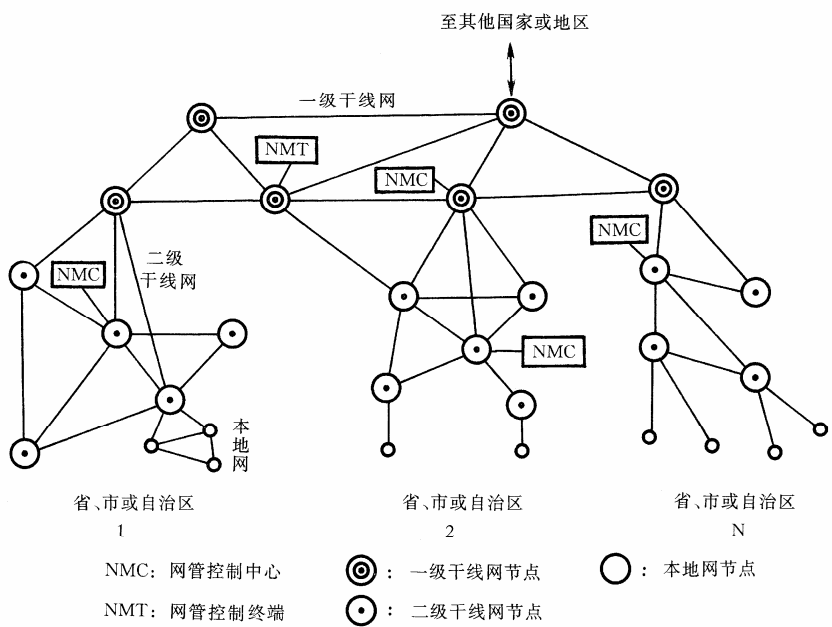


图 6.60 DDN 的网络分级结构

1. 国家骨干网（一级干线网）

国家骨干网是省间网，由大中容量的节点和连接它们的数字电路组成，如图 6.61 所示。

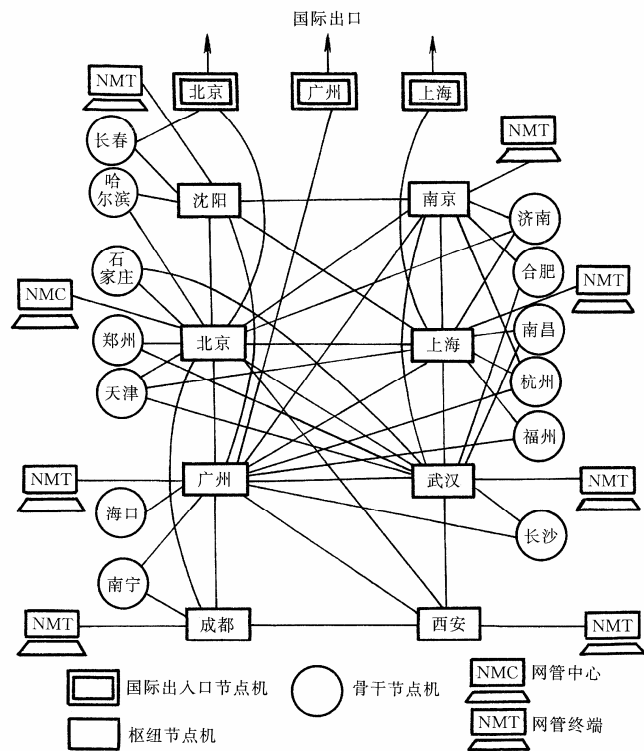


图 6.61 国家骨干网网络结构

节点设置在各个省，每个省可设置多个骨干网节点。数字电路主要为 2048kbit/s 的一次群电路，根据业务需要和电路情况，也可以用 8448kbit/s 的二次群电路，以及 34368kbit/s 的三次群电路。

国家骨干网上设有与其他数字网、其他国家或地区网络互连的节点。

国家骨干网上设有一个或几个网管控制中心（NMC），负责国家骨干网范围（包括国家骨干网和各省内网之间的数字电路）的电路的组织调度。在其他骨干节点上，可酌情设置网管控制终端（NMT），负责 NMC 受权范围内的网管控制功能。NMT 和 NMC 之间相互交换网管控制信息。

用数据传输速率为  $N \times 64\text{kbit/s}$  ( $N=1 \sim 32$ ) 的 TDM 电路连接的用户，以及帧中继 PVC 连接的用户，可以直接从骨干网节点上入 DDN 网。

骨干网的核心层节点互连应遵照下列要求：

- (1) 枢纽节点之间采用全网状连接；
- (2) 非枢纽节点应至少与两个枢纽节点连接；
- (3) 出入口节点之间、出入口节点与所有枢纽节点连接；
- (4) 根据业务需要和电路情况，可在任意两个节点之间连接。

2. 省内干线网（二级干线网）

省内干线网由设置在省内的节点组成，它提供本省内长途和出入省的 DDN 业务。二级干线网要设置核心层网络时，应设置枢纽节点，省内发达地、县级城市可组建本地网。没有组建本地网的地、县级城市所设置的中小容量接入层节点或用户接入层节点可直接连接到一

级干线网节点上或经二级干线网其他节点连接到一级干线网节点。

各省内网上设有一个各自的省内网网络管理控制中心 NMC，负责本省网范围内的电路组织调度。在其他的省内网节点上，可酌情设置网管控制终端 NMT，负责本省内网 NMC 受权范围的网管控制功能。省内网上的电路组织调度，应满足不同类型和速率用户的要求。一个省内网上，其 NMT 和 NMC 之间能够相互交换网管控制信息。

DDN 上各类网管控制信息可利用 DDN 专线、分组交换网或电话网传输。

### 3. 本地网（用户网）

本地网是指城市范围内的网络，在省内发达城市可组建本地网，为用户提供本地和长途 DDN 网络业务。本地网可由多层次的网络组成，其小容量节点可直接设置在用户室内。

## 6.6.4 DDN 的应用

DDN 的应用范围有：

- 公用 DDN 电路；
- 可为公用数据交换网、各种专用网、无线寻呼系统、可视图文系统、高速数据传真、会议电视、ISDN（2B+D 信道或 30B+D 信道）、邮政储汇计算机网络等提供中继或数据信道；
- 为帧中继、虚拟专用网、LAN，以及不同类型的网络互连提供网间连接；
- 利用 DDN 实现大用户（如银行）局域网联网；
- 提供租用线；
- 由于 DDN 独立于电话网，可使用 DDN 作为集中操作维护的传输手段。

## 6.6.5 网间互连

网间互连是指不同制式的 DDN 之间的互连及与 PSPDN、LAN 等的互连。DDN 的网间互连的要求如下：

### 1. 不同制式的 DDN 的互连要求

不同制式的 DDN 互连时，在两网相连处设备接口应符合 CCITT G.703、G.704 和 G.732 建议标准。具体应该考虑如下几方面：

- 2048kbit/s 数字复用电路应符合 CCITT G.703、G.704 和 G.732 等建议；
- $N \times 64$ kbit/s 数字复用电路应指定时隙号码，顺序合并；
- 64kbit/s 数字复用电路符合 X.50 和 X.58 建议标准；
- 帧中继接口应符合 CCITT I.122 和 Q.932 建议标准。

### 2. DDN 的骨干网与 PSPDN 互连

骨干网为 PSPDN 提供局间物理传输通路，其传输速率为 64kbit/s 和 9600bit/s。其接口标准应符合 G.703、V.24、V.35 和 X.21 等标准。

### 3. DDN 与 LAN 互连

DDN 的帧中继电路，通过网桥/路由器连接 LAN，骨干网上允许帧中继 PVC 连接的用户从骨干网节点机上上网。



4. DDN 应能与国际上现有的数字数据网互连, 提供 2.048Mbit/s 与 1.54Mbit/s 两种电路之间的转换

DDN 的节点中继特性包括:

- DDN 的标准帧结构应符合 CCITT 的 G.704、G.732、X.50 和 X.58 等标准。
- DDN 的物理接口标准应符合 CCITT 的 G.703、X.21、V.35 和 RS-422。
- DDN 的中继物理连接介质可以采用电缆、光缆、微波、卫星及 ISDN 信道。
- DDN 的用户终端入网速率可以从 4.8kbit/s 至 2Mbit/s, 其中包括  $N \times 64$  kbit/s 和 ISDN 基本速率 144kbit/s 接入和一次群速率 2Mbit/s 接入。

#### 6.6.6 DDN 与 PSTN、X.25 的区别

DDN 为用户提供的业务是专用电路业务, 其中最典型或最重要的是点对点的专用线路, 即 DDN 专线。

DDN 专线与电话专线 (在公用电话交换网 PSTN 中) 的区别在于: 电话专线的连接是固定的物理链路, DDN 专线的连接则为半固定连接。所谓半固定连接是指根据用户需要临时建立的一个固定连接。从用户角度看, 只要用户申请专线后, 连接就已完成, 并且连接信道的数据传输速率、路由以及所用的网络协议等随时可根据需要申请改变; 电话专线是一个模拟信道, 其带宽窄、质量差、没有完善的网管软件系统, 而 DDN 专线是一个数字信道, 其质量高、带宽宽, 具有路由故障自动迂回功能。DDN 具有较完善的网管系统, 具有对网络终结单元进行远程监控、回路测试等功能, 充分保证了用户的通信质量。

DDN 与 X.25 网的区别在于: X.25 是一个分组交换网, X.25 网本身具有 3 层协议, 用呼叫建立临时虚电路。X.25 具有协议转换、速度匹配等功能, 适合于不同通信规程、不同通信速率的用户设备 (如低速异步终端和高速的同步主机) 之间通信互连。X.25 只在高层协议上对用户透明。而 DDN 不具备交换功能, 利用 DDN 主要方式是定期或不定期的租用专线, 在用户申请专线后, 连接就已完成。另外, DDN 是一个全透明的网络, 在用户速率小于 64kbit/s 时采用子速率复用技术, 在大于 64kbit/s 时采用时分复用技术, 信息按用户事先约定的网络协议在固定的时隙以预先设定的带宽和速率顺序传送信息, 终端不必重新组合信息。从用户所需承担的费用角度看, X.25 是按通信字段收费, 而 DDN 是按固定月租收费。所以 DDN 更适用于需频繁通信的 LAN 与 LAN 或主机与主机的互连, 因为它们一般都有实时性、突发性、高速和通信量大的特点。

## 6.7 (FR)

### 6.7.1 从 X.25 分组交换到帧中继

#### 1. X.25 分组网、快速分组网与帧中继

X.25 分组交换技术采用虚电路方式使信道利用率大大提高, 传输费用显著下降, X.25 定义的独特的分组格式有利于纠正传输差错, 有利于分组重发规程的实现, 有利于实现对每一条虚电路以及对于每一条链路的流量控制, 有效地防止了网络阻塞的发生等。然而这些优

点的得来是有代价的,由于 X.25 建议规定了差错控制、流量控制和阻塞控制等较丰富的控制功能,获得了很高的可靠性,但是它同时也加重了分组交换机处理的负担,使分组交换机的分组吞吐能力和中继线速率的进一步提高受到了限制,而且分组通过网络的传输时延比较大,目前各公用分组交换网的平均时延一般都在数百毫秒的数量级,而且各个分组的时延具有离散性。这些问题不适应话音通信和高速数据通信(2.048Mbit/s 以上)的要求。为了进一步提高分组交换网的分组吞吐能力和传输速率,一方面要提高信道的传输能力,另一方面要发展新的分组交换技术。

光纤通信技术的成就为分组交换技术的发展开辟了新的道路。光纤通信具有容量大(高速)、质量高(低误码率)的特点。光纤的数字传输误码率小于  $10^{-9}$ ,光纤数字传输系统可提供 8~10Gbit/s 的速率,通常提供 2Mbit/s 和 34Mbit/s 信道。在这种通信信道条件下,快速分组交换(FPS)技术迅速地发展起来。

在接收一个帧的同时就能转发此帧,被统称为快速分组交换(FPS)。快速分组交换的特点是简化了通信协议,并能提供最大限度的并行处理能力,使分组交换的处理能力可以达到每秒数百万个分组以上。由于快速分组交换技术能提供很高的分组吞吐量和很小的分组传输时延,因此它不仅适用于数据型通信业务的要求,而且也能适应对时延十分敏感的话音和图像业务的要求,既支持窄带通信业务,也支持宽带综合业务,用户可以应用从零到极限速率的任一有效码速,用户也可以根据自己的需要灵活地配置网络接口所需要的带宽。

快速分组交换根据网络中传送帧是可变还是固定可划分为两类:即当帧长可变时称为帧中继(FR:Frame Relay),它主要考虑如何接入到一个网,即考虑网络边界的问题;当帧长固定时则称为异步传输模式(ATM)或信元中继(Cell Relay),它使用在网络中间的核心部分,所考虑的问题是如何用一个综合的交换设备对各种不同类型的信息进行交换。前一种和 X.25 的关系比较密切,它是在 OSI 的链路层上的高级数据链路控制规程(HDLC)的基础上发展起来的,便于实现 X.25 网与帧中继网的互连,也便于实现局域网(LAN)和广域网(WAN)的互连;而后一种(ATM)是基于宽带综合业务数字网(B-ISDN)技术,提供话音、电视和数据等综合业务。

快速分组交换除帧中继外,现有的一些网络新技术,如分布式队列双总线(DQDB)。交换式多兆位数据服务(SMDS)、宽带综合业务数字网(B-ISDN)和异步传输模式(ATM)等均属快速分组交换。另外,从网络的观点来看,DQDB 是典型的城域网络;ATM 是高速广域网的代表技术;帧中继和 SMDS 是已经实用的高速广域网技术。快速分组交换(FPS)的一些基本概念、技术、标准和服务等汇总在图 6.62 中。在图中:

LAPD:平衡型链路访问规程;

ATM:异步传输模式;

DQDB:分布式队列双总线;

SMDS:交换式多兆位数据服务;

B-ISDN:支持高于一个基群以上业务服务的宽带综合业务数字网。

“帧中继”服务:提供永久虚电路(PVC)服务;

“ISDN 帧中继”服务:提供交换虚电路(SVC)服务。

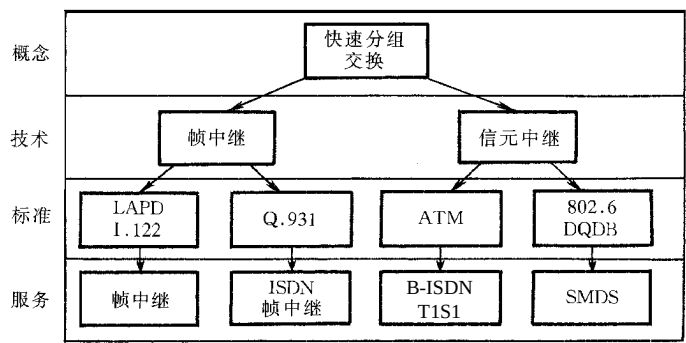


图 6.62 快速分组交换的概念、技术、标准和服务

帧中继（FR）兼有 X.25 分组交换业务和电路交换业务的长处，在实现技术上比 ATM 简单，可以直接利用现有的网络硬件资源，只需更新网络软件即可，所以费用比较低。例如，我国的帧中继网络就是以 DDN 为物理传输基础的。从长远发展来看，ATM 适合承担高速宽带网的骨干部分。对普通用户来说，使用帧中继网作为宽带业务的接入网是经济有效的。

纵观 FR、SMDS 和 ATM 3 项网络技术，它们为广域网 WAN 用户提供了不同层次应用的选择。尽管 ATM 前途无量，但 FR 和 SMDS 也各有生存空间。为此 CCITT 分别规定了 FR 和 SMDS 与 ATM 的连接建议，如表 6.18 所示。在表中 SMDS 技术采用了与 ATM 高度兼容的信元交换技术，其信元尺寸与 ATM 保持一致，只是其内部有些区别。因此，SMDS 与未来的 ATM 连接非常方便，对用户而言也可以用作向 ATM 技术过渡的一种策略。

ATM 的物理基础是采用同步数字系列 SDH 标准的光纤传输网络，建立在电路交换和分组交换基础上，基于 B-ISDN 技术的快速交换，提供话音、图像和数据等宽带综合业务。

表 6.18 FR、SMDS 和 ATM 技术的比较

| 项 目    | Frame Relay | SMDS     | ATM        |
|--------|-------------|----------|------------|
| 标准制定单位 | CCITT, ANSI | Bellcore | CCITT,ANSI |
| 投入使用时间 | 1991 年      | 1993 年   | 1995 年     |

续表

| 项 目    | Frame Relay      | SMDS               | ATM                |
|--------|------------------|--------------------|--------------------|
| 应用范围   | LAN/MAN/WAN      | LAN/MAN            | LAN/MAN/WAN        |
| 数据服务类型 | 数据               | 数据                 | 数据、话音、多媒体数据        |
| 数据传输速率 | 52Kbit/s~2Mbit/s | 1.5Mbit/s~45Mbit/s | 45Mbit/s~622Mbit/s |
| 帧尺寸    | 可变长              | 53 字节（固定）          | 53 字节（固定）          |
| 交换方式   | 面向连接             | 非连接                | 非连接或面向连接           |

2. 帧中继的特点及其在快速网中的位置

帧中继是一种基于 HDLC(高级数据链路控制)的网络技术。它吸收了 X.25 的许多优点，简化了网络功能，提高了传输速率。帧中继目前向用户端提供的传输速率从 56kbit/64kbit/s 到 1.544kbit/s/2.048Mbit/s 不等，其最高速率没有作理论上的限制。目前的这种速率相对于局域网而言并不算高，但在实际应用的广域网上实现起来已很不容易。由此看来，帧中继比较

适合中等速度计算机网络间的互连。它的帧长度是可变的，因此比较适合异构网的互连。

帧中继依靠几乎无差错的光纤数字传输，并允许将网内的差错控制、排序、寻址等功能开销放到终端用户设备中去实施，而无需网络来完成，因而能够实行快速连接，也就实现了低时延的数据传输。但是，帧中继总不是权宜之计，在与 B-ISDN 并存相当时间后，最终会被 SMDS 或 ATM 等实施的宽带业务交换技术所取代。在这个过渡过程中，帧中继填充了 X.25 分组交换业务和 ATM 宽带业务间的发展断层，并已成为国际标准。

帧中继可以看作是 X.25 分组交换技术及其功能的子集。它是一个具有较少智能的网。由于不存在由用户高层协议提供的端—端业务，减少了总开销，获得了较高的传输速率。如果传输设备性能，尤其是误码性能很差，不是光纤信道，而又要确保一定的传输质量，则帧中继无论如何取代不了 X.25 分组交换。

帧中继技术具有传输速度快、网络延迟低、互连性能好和带宽利用率高等优点。它可以利用现存的设备资源，不仅为用户节省了设备开销，线路费用也明显降低。另外，帧中继的产品基本上都是在标准完成后推出的，因此其标准化程度高，产品兼容性好。自 1991 年帧中继开始投入使用以来，呈“爆炸状”增长。但帧中继市场毕竟还处于起步阶段，国际性的帧中继网络尚未建立，有待于进一步的发展。

### 6.7.2 帧中继概述

#### 1. 什么是帧中继

帧中继是 X.25 分组网在光纤传输条件下的发展，是 ISDN 标准化过程中在 I.112 建议中提出来的。它保存了 X.25 链路层 HDLC 帧格式，但不采用 LAPB 规程，而按照 ISDN 标准使用 LAPD 规程。LAPD 是 OSI 的第二层协议，用于 ISDN 的 D 通信（LAPD 名称的由来），是帧中继标准的基础。帧中继能够在链路层实现链路的复用和转接，而 X.25 则是在网络层实现复用和转接；也正因如此，帧中继可以完全不用网络层只用链路层（帧级）实现复用传递，故得名帧中继。

帧中继是共享网络资源（传输与交换）的统计时分多路复用技术，它适合在智能端点（如 LAN）之间使用。它是由高速传输设备和连接它们的交换机实现的。为了说明帧中继的工作过程，将它与 X.25 进行比较，图 6.63(a)和(b)分别是 X.25 分组交换网和帧中继两种方式端对端传输层次上的对比。可以看出，帧中继网络中没有网络层，并且数据链路层也只有一般的分组网络的一部分。FR 端对端的确认是由第二层而不是由第四层来进行的。

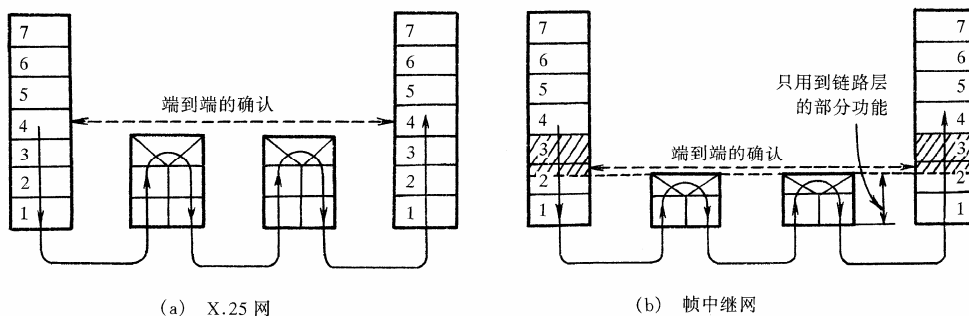


图 6.63 从层次上 X.25 网和帧中继网的比较

2. 帧中继的 LAPD 规程

为了进一步说明 LAPB 规程与 LAPD 规程的区别，将图 6.63 简化成图 6.64 所示的形式。

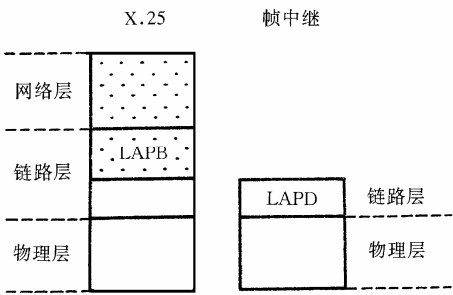


图 6.64 帧中继与 X.25 的比较

**X.25：**为确保数据到达正确的终点，X.25 网络从源点到终点的每一步都要进行大量的处理，在每一个节点都要对数据信息进行存储和处理，建立帧头帧尾，并检查数据信息是否有错误。

**帧中继：**与 X.25 不同，帧中继只是使用物理层和链路层的一部分执行它的交换功能。智能的终端设备（例如 LAN）把数据发送到链路层，并封装在 LAPD 帧结构中，其中包含了帧中继规程使用的数据链路连接识别符 DLCI。

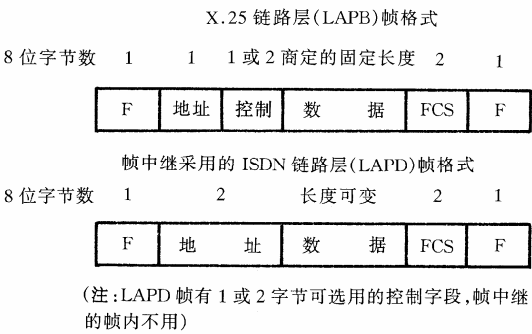


图 6.65 帧中继 LAPD 与 X.25 LAPB 规格比较

LAPB 为 X.25 的链路层规程，LAPD 为 ISDN 的 D 信道链路层规程，由 I.431/I.441 建议规定，帧中继采用了 LAPD 规程的核心部分。

LAPD 的帧格式与 LAPB 不同，它使用扩充寻址字段，以实现链路层复用和“共路信令”；它还具有局域网的逻辑链路控制协议（LLC）的能力，可以起到与 LAN 桥接的作用。如图 6.65 所示。

3. 帧中继的技术特点

- (1) 帧中继能够为用户提供简单的标准化接口，产品兼容性好。例如，LAN 桥接器/路由器、前端处理机、分组交换机以及专用/公用网之间的接口。帧中继用户/网络（UNI）的标准速率可在 56/64kbit/s 到 1.544(T1)/2.048Mbit/s（E1）最高可达 45Mbit/s。
- (2) 帧中继网的重要特点之一是采用带外信息技术，即与传统分组交换网不同，其控制信号在专用的信道内传输（实际上，通过传呼建立端到端的连接是 OSI 第三层的功能），与

传送用户数据的信道相隔离（数据传输仅利用部分链路层功能和全部物理层功能）。这样，既可以提高数据信道的利用率，又避免了数据与控制信号间的相互干扰。

(3) 帧中继网在交换过程中，对传输错误帧采用丢弃方式，而将出错后的重传纠错功能留给用户域中的端系统处理。对于误码率极低的现代数字通信线路（如光纤）来说，帧中继技术进一步从传统数据网中逐段纠错的繁重任务中解脱出来，提高了传输效率。正因如此，对于端到端串接线路中有误码率较高的线路段时，在该段线路上不宜采用帧中继技术，而需要采用有局部检错与重传功能的链路协议。

(4) 帧中继对物理通信媒介采用统计时分复用，可根据不同信息流动态分配带宽，而不是固定占用带宽，因此，对突发性数据传输要求的适应能力强，减少了传输时延，也提高了信道的利用率。

6.7.3 帧中继网技术原理

1. 帧中继网及其协议结构

帧中继网的结构如图 6.66 所示，它是由帧中继交换网和帧中继端系统组成的。帧中继交换网包括 T1/E1 一次群时分复用设备和帧交换节点机，支持各种各样的用户的接入，完成如下功能：

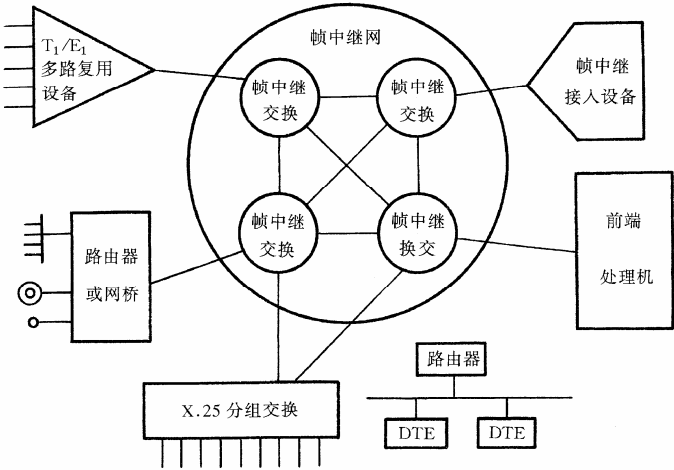


图 6.66 典型的帧中继网络

- (1) 在数据链路层实现虚电路和多路复用；
- (2) 实现纠检错，出错后丢弃；
- (3) 将帧在节点收、存转发（交换）。

帧中继端系统包括支持帧中继的主机、桥接器、路由器、信关、X.25 分组交换、帧中继接入装置（FRAD）等。帧中继端系统的连接是以第三层为基础的，首先在对等实体间利用控制命令协商建立一条用户数据链路，并将协商的服务参数通知该用户数据链路，该用户数据链路即可独立地进行用户数据的中继服务。

帧中继传输过程：用户终端设备把特定格式的帧送到帧中继交换网络，由网络根据帧所给出的地址信息寻找最佳的路由，把数据送到目的地。但在这里应该说明的是，帧中继只规定了用户/网络接口（UNI）的规范，即帧中继协议体系结构中的有关内容，至于在网络内部

如何把一个帧送到目的地，完全由网络设备制造商和网络提供者来决定。例如，网络内部可以采用“帧交换”方式或采用“信元交换”方式进行传输。帧中继的协议体系结构如图 6.67 所示。

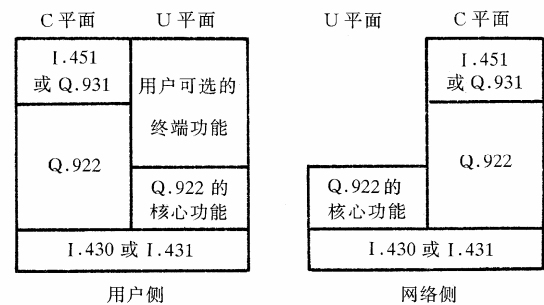


图 6.67 帧中继网络协议体系结构

帧中继提供数据链路层和物理层规格参数，任何高层协议都独立于帧中继规范，这就简化了在现有各种产品中帧中继的实现。

数据层协议为较高层协议提供了对于传输系统的接口，它基于 LAPD 和 ISDN 的数据链路层协议。LAPD 提供了全部数据链路服务，包括差错控制和寻址。对于帧中继网，差错控制是端到端的功能，这种简化了的功能被称为 LAPD 的核心功能。

帧中继协议集包括两个操作平面。一个叫控制（C）平面，用于用户和网络间建立和释放逻辑连接（虚电路），即 C 平面协议提供在用户和网络之间的操作。另一个叫用户（U）平面，用于传送用户数据，即 U 平面协议用于提供在用户终端到用户终端之间的数据传输。

帧中继采用 CCITT 于 1991 年作为内部建议公布的新建议 Q.922。Q.922 是 I.411 和 Q.921 中描述的 LAPD 的扩充版本，相当于链路层协议。帧中继只使用 Q.922 核心层协议，包括帧定界、帧校验、多路复用和拥塞控制等。在控制面上，为了可靠地传送由 I.451 和 Q.931 中定义的 ISDN 呼叫控制协议信息，使用了完整的 Q.922 协议，其中包括流量控制和差错控制。

帧中继协议集体系是设法将网络应完成的功能减少到最低程度。在 X.25 网中，它要对用户数据进行检错和纠错，并按照连接编号确定其最佳路由。但帧中继方式中的用户帧在网络的中间节点，基本上是只作监视，不进行处理。如果帧有错，只是简单地丢弃有错误的帧，纠错则由高层进行。

2. 帧中继的帧格式

帧中继的帧结构是由 ITU-T Q.922 建议的，也叫做 Q.922 HDLC 帧。帧中继的帧格式和 HDLC 帧的格式类似，其主要区别是没有控制字段，帧格式如图 6.68 所示。帧中继的帧由标志 F、信息 I、帧校验 FCS 和地址 A 组成。

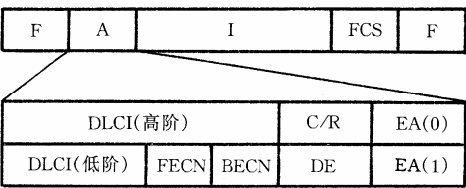


图 6.68 帧中继的帧格式

地址段 (A) 一般为 2 个字节，也可扩展为 3~4 字节。地址段 (A) 由以下几部分组成。

(1) DLCI——数据链路连接标识符

帧中继采用虚电路方式来传送数据帧，帧中继的每一个帧沿着各自的虚电路在网络中传送。为此每一个帧必须携带一个叫做数据链路标识符 (DLCI) 的“虚电路号”来标识每个帧

的通信地址。当地址 (A) 采用 2 字节时，DLCI 占 10 比特，即为  $2^{10}=1024$  个虚电路号。ITU-T

建议 DLCI 作如下分配 (参看表 6.19)：

- DLCI0 保留作为用户终端与帧中继交换设备之间的控制通道；
- DLCI1~DLCI15，DLCI1008~DLCI1022 保留给将来使用；
- DLCI1023 保留给本地管理接口 (LMI) 使用；
- DLCI16~DLCI1007 共 992 个地址供帧中继使用。

表 6.19 帧中继 DLCI 的使用说明

| 范 围       | 使 用 说 明      |
|-----------|--------------|
| 0         | 为呼叫控制信令保留    |
| 1-15      | 保留           |
| 16-1007   | 分配给永久虚电路 PVC |
| 1008-1022 | 保留           |
| 1023      | 本地管理接口 LMI   |

由表可知：DLCI 从 16~1007 共有 992 个地址在帧中继使用，在一个帧中继的连接中，标准的帧中继接口连接在 UNI (用户/网络接口) 上。

(2) C/R—命令/响应位，与高层应用有关，帧中继本身并不使用。

(3) EA—地址扩展表示，可扩充到 3 或 4 字节。

当 EA=0：表示下一字节仍为地址字段；

EA=1：表示地址字段到此为止。

(4) FECN—正向阻塞显式通知，若 FECN 置于 1，可能有正向阻塞而延迟。

(5) BECN—反向阻塞显式通知，若 BECN 置于 1 指接受者，可能有反向阻塞而延迟。

(6) DE—帧丢弃许可指示，用户终端根据 FECN 和 BECN 指示结果，使用 DE 来告诉网络，若网络发生阻塞，可优先传送 (DE=0) 那些对时延敏感的帧，而丢弃 (DE=1) 那些次要的帧。

FECN 和 BECN 的不同比特，指示网络阻塞状态的不同情况，如表 6.20 所示。

表 6.20 FECN 和 BECN 比特为不同状态时所对应的阻塞状态

| 帧传输方向 | 阻塞状态 | FECN 值 | BECN 值 |
|-------|------|--------|--------|
| A→B   | 无阻塞  | 0      | 0      |
| B→A   | 无阻塞  | 0      | 0      |
| A→B   | 阻塞   | 1      | 1      |
| B→A   | 阻塞   | 1      | 1      |



|     |     |   |   |
|-----|-----|---|---|
| A→B | 拥塞  | 1 | 0 |
| B→A | 无拥塞 | 0 | 1 |
| A→B | 无拥塞 | 0 | 1 |
| B→A | 拥塞  | 1 | 0 |

信息字段 (I) 是可变长度的, 理论上最大长度为 4096 个字节 (取决于 FCS 的检错能力), 具体实现的最大长度可由各个厂家决定, 一般为 1600 个字节到 2048 个字节不定。I 字段用来装载用户数据, 包括接入设备使用的各种协议类型 (PDU: 协议数据单元)。I 字段中的协议信息对帧中继网络而言是完全透明的, 即网络对它不做任何处理。

3. 帧中继原理

帧中继原理示意图如图 6.69 所示。帧中继数据传输的初始情况为: 已知帧中继终端接到端口 x, 在已建立的一条虚电路连接上, 按 10 比特 DLCI 的“虚电路号”标识分配协定, 帧中继交换前、后的 DLCI 值分别用 a、b 表示。

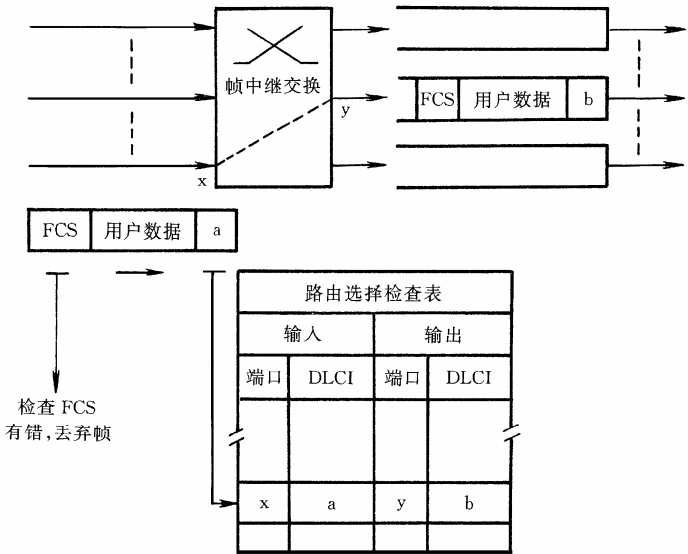


图 6.69 帧中继原理示意图

帧中继交换机实现帧数据传输的过程为: 首先, 使用帧尾的 2 字节 FCS 检查是否有传输错误: 有错即丢弃; 然后, 再查帧长是否合适 (是太长或太短), DLCI=a 分配了没有: 有错, 则丢弃; 其次, 查看路由选择检查表, 以确定输出链路号。根据路由表, 由端口 x 输入的 DLCI=a 的帧, 应在端口 y 上送出, 其帧的新标号 DLCI=b。显然, DLCI 改变了, 故在发送该帧之前, 需要重新计算 FCS。从呼叫建立时起, 沿途所有帧中继交换机的路由表皆形成了如图 6.69 一样的登录项。因此, 帧通过网络向前传递, 直到最后到达目的终端, 沿途的每条链路上皆取一个各不相同的 DLCI 值。

图 6.69 示出一个方向上的传输, 在另一个方向上的传输, 可用同样方式进行。事实上, 帧中继的优点之一, 就是两个方向的传输是独立进行的, 且可被配置成具有不同的通过率。若想建立另外的虚连接, 它们应被赋予不同的 DLCI, 交换机将独立地对它们进行路由选择。

由上述分析可作如下的总结：首先 DLCI 仅具本地意义，一般说来，在一条虚连接的每一端，DLCI 是不相同的；第二，网络本身不执行任何流控制；第三，网络不会试图去纠正可能发现的任何错误。错误纠正和流控制被留给在终端之间进行端到端操作的更高层协议去执行。在此基础上，我们可以将帧中继使用的数据传送协议（LAPF 核心协议）所做的事情归纳如下：

- 使用 HDLC 标志标识帧的开始和结束；
- 使用 0 位插入和删除防止在帧内出现标志序列；
- 使用帧检查序列检测传输错误；
- 检查帧的长度，可能时还检查帧中的参数是否有效；
- 使用 DLCI（数据链路连接标识符）对不同的虚连接进行多路复用和分离。

#### 6.7.4 用户接入帧中继网

用户访问帧中继业务通常需具备 3 种基本设施，即用户住宅设备（CPE）、传输设备和帧中继网络。其中，CPE 可以是任何类型的接入设备，例如具有帧中继接口的桥接器或路由器；接入设备通常采用 56/64kbit/s 链路入网。在电路两端的传输设备速率可以不同。

帧中继业务是通过 UNI 提供的，UNI 的用户一侧是帧中继接入设备，用于将本地用户设备接入帧中继网络；UNI 的网络一侧是帧中继交换设备，用于帧中继接口与骨干网之间的连接。

##### 1. 用户接入标准

国际电联电信标准化部门（ITU-T，原 CCITT）、美国国家标准委员会（ANSI）和帧中继论坛（FRF）各自制定了有关的帧中继标准。这些标准定义了接口协议、网络信令协议和网络业务等 3 方面的应用。用户接入帧中继网时，应符合其中的一种标准。大多数的生产厂家对这 3 种标准都能支持。

##### (1) ITU-T 标准

###### ① I.223 建议

该建议描述了帧方式承载业务（FMBS），并提出了在 ISDN 中开放这种业务的方法。

FMBS 在物理层使用 ISDN 的基本接入（I.430 建议）和基群接入（I.431 建议）；在数据链路层及其上层实现呼叫控制信息与用户数据的分离；利用 D 信道信令建立与释放连接；利用 D、B 或 H 信道传送用户数据；使用 ISDN 用户/网络接口第 2 层的扩展规程（Q.922 建议），提供从一个 S 或 T 参考点到另一个 S 或 T 参考点的双向帧传输且帧序保持不变。

根据用户数据传送时使用的是 Q.922 建议的核心功能还是全部功能，将 FMBS 分为帧中继承载业务（FRBS）和帧交换承载业务（FSBS），相应地 I.233 也分为 I.233.1 和 I.233.2 两部分。两者的主要差别是，FSBS 具有确认、差错恢复和流量控制功能。

###### ② Q.922 建议

该建议是帧方式承载业务的 ISDN 数据链路层技术规范。链路层协议是 Q.921 建议定义的 LAPD 协议的扩展，命名为帧方式承载业务链路接入规程（LAPF）。

###### ③ Q.933 建议

该建议是帧方式基本呼叫控制用的信令规范，规定了在 ISDN 用户/网络接口上建立、维持和拆除帧方式（帧中继与帧交换）连接用的规程。它以 Q.931 “基本呼叫控制用的 ISDN

用户/网络接口等第三层规范”为基础。

#### ④ I.370 建议

该建议描述了 ISDN 帧中继承载业务用的 U 平面拥塞管理策略与管理机制。基本的拥塞管理机制采用同源端或目的端控制的发送机构有关的端对端协议。网络拥塞状况按隐式或显式通知, 终端用户收到拥塞通知后, 原则上应降低它们流入网络的负荷。

#### ⑤ I.302 建议

该建议主要规定了帧中继承载业务网间接口要求, 即网络 FR 永久虚电路 (PVC) 业务的网络/网络接口 (NNI) 要求。NNI 的传输速度包括 34.368Mbit/s 以下的数字分组体系速率。

#### ⑥ I.555 建议

该建议为 FRBS 与其他业务互通规定了接口功能要求与接口配置。所包含的互通类型有: 帧中继与帧交换承载业务的互通; FRBS 与 X.25/X.31 的互通; LAN 与 FRBS 的互通/互连; FRBS 与电路交换业务的互通, 以及 FRBS 与 B-ISDN 的互通。

#### ⑦ ITU-T 第 7 研究组的 FR 标准

FR 虽然是作为一种 ISDN 承载业务而发展起来的, 但在近几年的实际应用中, 却是以帧中继数据传输业务 (FRDTS) 的形式存在的, 可以组成新的公用数据网来提供 FRDTS, 也可以利用现有分组网的硬件设备和数字数据网 (DDN) 来提供 FRDTS。ITU-T 第 7 研究组于 1993~1996 年研究和开发帧中继课题, 最终形成了若干 X 系列建议, 包括: FRDTS 的定义; FRDTS 的性能参数; 用户/网络接口; 使用 PSDTS 接入 FRDTS; 互通方案与网间互连信令; 使用 FRDTS 提供 OSI 连接型网络服务等。

#### (2) ANSI 标准

ANSI 有关 FR 的标准最早产生于 1988 年, 到现在 ANSI 有关 FR 的主要标准有: T1S1 结构框架与业务描述; T1.602 ISDN 数据链路层信令规范; T1.606 帧中继承载业务描述; T1.617 帧中继承载业务的信令规范; T1.618 用于帧中继承载业务的帧协议的核心部分等。

#### (3) 帧中继论坛标准

帧中继论坛已制定的标准有: FRF.1 用户/网络接口实施协定; FRF.2 网络/网络接口实施协定; FRF.3 多协议包封实施协定; FRF.4SVC 用户/网络接口实施协定; FRF.5 帧中继与 ATM PVC 网络互通实施协定; FRF.6 帧中继业务用户网络管理实施协定; FRF.7 帧中继 PVC 广播业务和协议描述实施协定。不久还将发布 FRF.10FR/ATM 业务互通规范等。

### 2. 用户接入帧中继网

目前, 大部分用户采用直通用户电路接入帧中继网, 也有些用户通过电话交换电路或 ISDN 交换电路接入。用户接入的速率大都在 56kbit/s~2Mbit/s 范围内, 将来随着业务的发展, 帧中继作为 ATM 的接入网, 用户接入速率将会大大提高。

用户在接入帧中继网时, 如图 6.70 所示, 通常采用以下几种形式:

- 局域网接入形式: 局域网用户一般通过桥接器/路由器接入帧中继网, 也可以通过其他的帧中继接入设备 (如集线器、PAD 和规程转换器等) 接入帧中继网。
- 计算机接入形式: 各类计算机要通过帧中继接入设备 (FRAD), 将非标准的接口规程转换为标准的 UNI 接口规程后接入帧中继网络; 如果计算机自身带有标准的 UNI 规程, 则可作为帧中继终端直接接入帧中继网。
- 用户帧中继交换机接入公用帧中继网: 用户专用的帧中继网接入公用帧中继网时, 将专用网络中的一台交换机作为公用帧中继网的用户, 以标准的 UNI 规程接入。

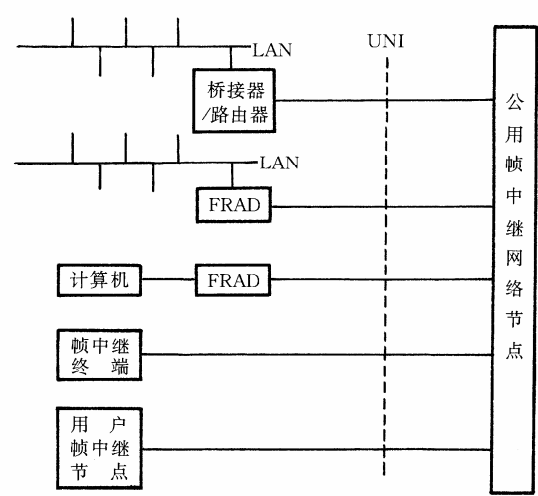


图 6.70 用户接入帧中继网的形式

6.7.5 帧中继业务应用

帧中继业务应用十分广泛，可用于块交互数据，实现高分辨率图形数据传输；文件传输，多用于传送长文件，利用帧中继的复用能力支持多个低速率复用；字符交互，以短帧、短时延和低流量的特点用于文字编辑；互连局域网，通过网桥和路由器互连局域网时采用帧中继是比较有效的。下面再以几个永久虚电路业务实例予以说明。

1. 局域网互连

利用帧中继网络进行局域网互连是帧中继业务中最典型的一种业务。在已建成的帧中继网络中，进行局域网互连的用户数量占 90% 以上，因为帧中继很适合为局域网用户传送大量的突发性数据。

在许多大企业、银行、政府部门中，其总部和各地分支机构所建立的局域网需要互连，而局域网中往往会产生大量的突发数据来争用网络的带宽资源。如果采用帧中继技术进行互连，既可以节省费用，又可充分利用网络资源。

帧中继网络在业务量少时，通过带宽的动态分配技术，允许某些用户利用其他用户的空闲带宽来传送突发性数据，实现了带宽资源共享，降低了通信费用。帧中继网络在业务量大甚至发生拥塞时，由于每个用户都已分配了网络承诺的信息速率（CIR），因此网络将按照用户信息的优先级及公平性原则，把某些超过 CIR 的帧丢弃，并尽量保证未超过 CIR 的帧可靠地传输，从而使用户不会因拥塞造成不合理的数据丢失。由此可见，帧中继网络非常适合为局域网用户提供互连服务。

2. 图像传送

帧中继网络可提供图像、图表的传送业务，这些信息的传送往往要占用很大的网络带宽。例如，医疗机构要传送一张 X 光胸透照片往往要占用 8Mbit/s 的带宽，如果用分组交换网传送，则端到端的时延过长，用户难以接受；如果采用电路交换网传送，则费用太高，用户难以承受；而帧中继网络具有高速率、低时延、动态分配带宽、成本低的特点，很适合传输这类图像信息，因而，诸如远程医疗诊断等方面的应用也就可以采用帧中继网络来实现。

### 3. 虚拟专用网

帧中继网络可以将网络中的若干个节点划分为一个分区，并设置相对独立的管理机构，对分区内的数据流量及各种资源进行管理。分区内各个节点共享分区内的网络资源，分区之间相对独立，这种分区结构就是虚拟专用网。采用虚拟专用网比建立一个实际的专用网要经济合算，尤其适合于大企业用户。

# 第七章 计算机通信网

计算机网络是计算机技术与通信技术紧密结合的产物，是计算机通信网发展的高级阶段。现在的计算机网络尚未具备完善的网络操作系统，仅实现了一定程度的资源共享，所以，它们仍是计算机通信网，也称为广义计算机网络。为了本书内容的同一安排，考虑到通信网的现在、发展及未来，即现在为多种网络分立，将发展为三网融合（话音网、数据网和视像网），最终实现 B-ISDN，故本章使用“计算机通信网”命名。本章将较详细地介绍计算机局域网、高速网络技术、网络互联和 Internet 等基本概念、原理及应用。

## 7.1

### 7.1.1 计算机网络的形成与发展

纵观计算机网络的形成与发展历史，我们大致可以将它划分为四个阶段：

**第一阶段：面向终端的计算机通信网。**在 50 年代，人们开始将彼此独立发展的计算机技术与通信技术结合起来，完成了数据通信技术与计算机通信网络的研究，为计算机网络的产生做好了技术准备，奠定了理论基础。

**第二阶段：分组交换网。**在 60 年代，美国的分组交换网——ARPANET 是计算机网络技术发展中的一个里程碑，它的研究成果对促进网络技术的发展起到了重要的作用，并为 Internet 的形成奠定了基础。

**第三阶段：形成计算机网络的体系结构。**70 年代中期国际上各种广域网、局域网与公用分组交换网发展十分迅速，各个计算机生产商纷纷发展各自的计算机网络系统，但随之而来的是网络体系结构与网络协议的国际标准化问题。国际标准化组织（ISO：International Standards Organization）在推动开放系统互联参考模型与网络协议的研究方面做了大量的工作，对网络理论体系的形成与网络技术的发展起了重要的作用，但它同时也面临着 TCP/IP 的严峻挑战。

**第四阶段：高速网络技术。**从 80 年代末开始，计算机网络开始进入其发展的第四代时期，其主要标志可归纳为：网络传输介质的光纤化、信息高速公路的建设；多媒体网络及宽带综合业务数字网（B-ISDN）的开发和应用；智能网络的发展；比计算机网络更高级的分布式系统的研究，促使高速网络技术飞速发展，相继出现高速以太网、光纤分布式数据接口 FDDI、快速分组交换技术，包括帧中继、异步传输模式等。

### 7.1.2 计算机网络的主要功能

一般地讲，计算机网络由计算机系统、通信链路（指线路及其设备）和网络节点组成。虽然各种网络在数据传送、系统连接、连接方式以及具体用途方面各不相同，但一般的网络体系都具有下述主要功能与特点。

(1) 数据传送：这是计算机的基本功能，正是这一功能才能实现计算机与终端、计算机与计算机之间传送各种信息，对地理位置分散的单位进行集中管理与控制。

(2) 资源共享：资源共享指共享计算机系统的硬件、软件和数据，是计算机网络最有吸引力的功能。例如，少数地区设置的数据库可供全网使用；某些地区设计的专用软件可供其他地区调用；一些特殊功能的计算机或外部设备面向全网，没有这些设备的地区也可利用这些资源完成特殊任务。因此，计算机网络的引入大大提高了整个系统的数据处理能力，降低平均处理费用。

(3) 计算机的可靠性和可用性得到提高。可靠性的提高体现在网络计算机彼此互为备用。一台计算机出故障，可将任务交由其他计算机完成，不会出现单机在无后备情况下机器故障使全系统瘫痪的现象。可用性指当网络中某台计算机负担过重时，可将新任务转交网络中较空闲的计算机完成，通过计算机网络均衡各台计算机的负担，避免产生忙闲不均的现象，从而提高了每台计算机的可用性。

(4) 容易进行分布式处理。一般地讲，网络中的用户可根据具体情况合理选择网内资源，就近快速处理。但对较大型的综合性问题，当一台机器不能完成处理任务时，可按一定的算法将任务交给不同计算机分工协作完成，达到均衡地使用网络资源进行分布处理的目的。所以利用网络技术，能够将多台计算机连成具有高性能的计算机系统。使用这种系统解决大型复杂的问题，其费用比采用高性能的大中型计算机低得多。

可见，计算机网络大大扩展了计算机系统的功能，增大了应用范围，提高了可靠性，给用户提供了方便性与灵活性，降低了系统费用，提高了系统的性能价格比。计算机网络不仅传输计算机数据，也可以实现数据、语音、图像、图形等综合传输，构成综合服务数字网络，为社会提供更广泛的应用服务。

### 7.1.3 计算机通信网的分类

对计算机通信网并无一个严格的定义，随着科学技术的发展和应用侧重点的不同，对计算机通信网的含义有不同的理解。目前通常采用的计算机通信网的定义如第六章中所述：计算机通信网是一种地理上分散的、具有独立功能的多台计算机通过通信设备和线路连接起来，在配有相应的网络软件（网络协议、操作系统等）的情况下实现资源共享的系统。正在广泛实施的国际互联网 Internet，就是一个全球性的计算机通信网。

计算机通信网，也称为广义的计算机网络，是由资源子网和通信子网构成。通信子网也称数据通信网，它实际上也是计算机网络，只是着重于计算机通信技术。通信子网又是由网络节点和传输介质组成。

通信子网按网络覆盖范围大小可分为局域网（LAN）、城域网（MAN）、广域网（WAN）三大类，Internet 属于广域网，各类网的特点如表 7.1 所示。

表 7.1 通信子网的分类

| 网 络 类 别   | 分 布 距 离    | 节 点 位 置  | 传 输 速 率        |
|-----------|------------|----------|----------------|
| LAN (局域网) | 100m~几十 km | 室内/大楼/校园 | 4M~1000Mbit/s  |
| MAN (城域网) | 几 km~150km | 城市范围     | 56k~45Mbit/s   |
| WAN (广域网) | 100~1000km | 国家范围     | 9.6k~45Mbit/s  |
| Internet  | 7100km     | 全球范围     | 9.6k~256kbit/s |

局域网（LAN）的覆盖面小，传输距离常在数百米左右，限于一幢楼房或一个单位内。主机或工作站用 1M~1000Mbit/s 的高速通信线路相连。网络拓扑多用简单的总线或环形结构，也可采用星形结构。它是广播通信网。

城域网（MAN）的作用范围是一个城市，距离常在 10~150km 之间。由于城域网采用了具有有源交换元件的局域网技术，故网中时延较小，通信距离也加大了。城域网是一种扩展了覆盖面的宽带局域网，其数据传输速率较高，在 1Mbit/s 以上，乃至数百兆比特每秒。网络拓扑多为树形结构。

广域网（WAN），其主要特点是进行远距离（几十到几千公里）通信，又称远程网。最早起源于远程资源共享，现在实际上就是远程通信。因此，可归于专用数据通信网范畴。像公共数据网一样，客观上存在含有复杂的分组交换系统，是交换通信网。广域网传输时延大（尤其是国际卫星分组交换网），信道容量较低，数据传输速率在 9.6k~45Mbit/s 之间。网络拓扑设计主要考虑其可靠性和安全性。因此，往往要求网络节点对间存在多于一条不同路径。并根据各节点通信业务量大小，决定链路设置和链路容量，使传输介质得到最佳利用。常采用网状结构。下面主要分析一下局域网和 Internet。

7.1.4 局域网的定义及特性

局域网是小区域内的各种通信设备互连在一起的通信网络。常见的局域网拓扑结构有星型、分布式总线型、环型和树型等，如表 7.2 所示。

表 7.2 常用局域网络的拓扑结构

| 拓 扑 结 构 | 传输方式/采用协议                 | 优 点                   | 缺 点           | 典 型 网 络                          |
|---------|---------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------------|
| 星型      | 点一点<br>RS232              | 简便<br>广泛采用            | 可靠性差<br>站点数少  | PBX                              |
| 总线型     | 数据包<br>CSMA<br>Token Slot | 分布式控制<br>无源抽头<br>连接简单 | 传输负载<br>无优先级  | Ethernet<br>PCnet<br>Omninet     |
| 环型      | 数据包<br>Token Passing      | 分布式控制<br>有序操作<br>距离远  | 有源抽头<br>可靠性较差 | IBM<br>Token Ring<br>STARTA Link |
| 树型      | 线路交换<br>RS232<br>或 CSMA   | 层次式结构<br>分等级          | 网络控制<br>寻址复杂  | Cluster One                      |

从局域网的定义可引出它的三个属性：

(1) 局域网络是一个通信网络，从协议层次的观点看，它包含着下三层的功能，将连接到局域网络的数据通信设备加上高层次协议和网络软件组成为计算机网络，我们称它为计算



机局域网。

(2) 这里指的数据通信设备是广义的,包括计算机、终端和各种外围设备等。

(3) 这里指的小区域可以是一个建筑物内、一个校园或者大至几十公里直径的一个区域。局域网的典型特性如下:高数据速率(4Mbit/s~1000Mbit/s),短距离(0.1km~25km),低误码率( $10^{-8}$ ~ $10^{-11}$ )。

决定局域网特性的主要技术有以下三方面:用以传输数据的传输介质;用以连接各种设备的拓扑结构;用以共享资源的介质访问控制方法。

这三种技术在很大程度上决定了传输数据的类型、网络的响应时间、吞吐量和利用率,以及网络应用等各种网络特性。其中最重要的是介质访问控制方法,它对网络特性具有十分重要的影响。

在局域网中,不论采用什么样的拓扑结构,都可以把传输介质作为各站点共享的资源。将传输介质的频带有效地分配给网上各站点的用户的方法称为介质访问控制协议,设计一个好的介质访问控制协议有三个基本目标:协议要简单,获得有效的通道利用率,对网上各站点用户的公平合理。

传统的局域网采用了“共享介质”的工作方式。为了实现对多节点使用共享介质发送和接收数据的控制,经过多年的研究,人们提出了很多种介质访问控制方法。但是,目前被普遍采用并形成国际标准的介质访问控制方法主要有以下三种:

- 带有冲突检测的载波侦听多路访问(CSMA/CD)方法
- 令牌总线(Token Bus)方法
- 令牌环(Token Ring)方法

局域网常用的传输介质有:同轴电缆、双绞线、光纤与无线通信信道。早期应用最多的是同轴电缆。但随着技术的发展,双绞线与光纤的应用发展十分迅速。目前,已能在数据传输速率为100Mbit/s、1Gbit/s的高速局域网中使用双绞线,在远距离传输中使用光纤,在有移动点的局域网中采用无线通信信道的趋势已经越来越规范化。

局域网的应用范围很广,主要用于办公自动化系统、企业管理系统、生产过程实时控制系统、辅助教学系统、医疗管理服务系统、金融管理系统、军事指挥控制系统等场合。目前,局域网大都采用基带传输,仅能提供单一的数据传输服务。而宽带局域网既可以传输数据信息,又可以传输话音和图像等信息,提供综合服务,将有广阔的发展前景。

### 7.1.5 IEEE 802 标准

IEEE 于 1980 年 2 月成立了局域网标准委员会(简称 IEEE 802 委员会),专门从事局域网标准化工作,并制定了 IEEE 802 标准。在 IEEE 802 局域网(LAN)标准中,只定义了物理层和数据链路层两层;并根据 LAN 的特点,把数据链路层分成逻辑链路控制(LLC:Logical Link Control)子层和介质访问控制(MAC:Medium Access Control)子层。逻辑链路控制子层 LLC 的主要功能是提供一个或多个两相邻层之间的逻辑接口,称为服务访问点(SAP:Service Access Point)。介质访问控制子层(MAC)的主要功能是:

- (1) 发送时将数据组成带有地址字段和差错校验字段的帧;
- (2) 接收时拆卸帧,即将数据帧解除封装,进行地址识别和差错校验;
- (3) 管理链路上的通信。

IEEE 802 模型与 OSI 协议的对应关系如图 7.1 所示。

广域网（WAN）协议的情况也大致如此。例如，CCITT 的 X.25 建议是一个有关公共数据分组交换的国际标准，它包含了物理层、数据链路层和网络层等三层协议。其中，物理层采用 X.21 和 X.21bis 规程；数据链路层采用 HDLC 规程；在网络层定义了一个分组交换协议，支持面向虚电路连接的可靠的数据传输服务，同时也支持不连接的数据报传输服务。

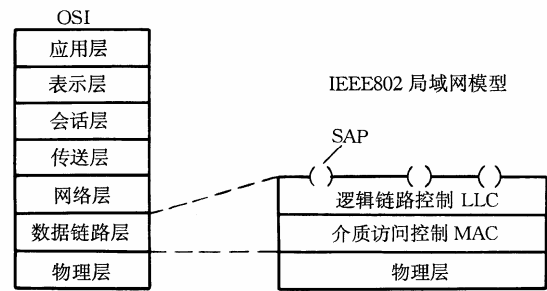


图 7.1 OSI 参考模型与 IEEE 802 模型的对应关系

有了这些 LAN 或 WAN 协议，还必须要有高层协议提供更加完善的网络服务。一般来说，网络的低层协议决定了一个网络系统的传输特性，如所采用的传输介质、拓扑结构及介质访问控制方法等，通常由硬件来实现。高层协议则提供了与网络硬件结构无关的、更加完善的网络服务和应用环境，通常是由网络操作系统实现的。最有名的高层协议是 TCP/IP 协议，它定义了网络接口层、网际层、传送层和应用层等四个层次。其中，网络接口层与 OSI 协议的物理层和数据链路层相对应，但它只是定义了 TCP/IP 与各种物理网络之间的网络接口，没有规定新的物理层和数据链路层协议；网络层相当于 OSI 协议的网络层；传送层与 OSI 协议的传输层相对应；应用层则包含了 OSI 协议的会话层、表示层和应用层功能。需要说明的是，TCP/IP 协议目前还只是事实上的标准，尚未成为国际标准。

由于考虑到不同类型的网络应都能兼容，IEEE 802 针对不同类型的物理层（不同的传输介质或拓扑结构），分别定义了不同的介质访问控制层的标准，这些标准及它们之间的关系如图 7.2 所示。

其中 IEEE 802.1 在图中为倒 L 形，其垂直部分涉及所有层，它提供了综述、辅助信息、实用建议和指南，这部分其实并不算作标准；其水平部分则涉及体系结构和网络互联。

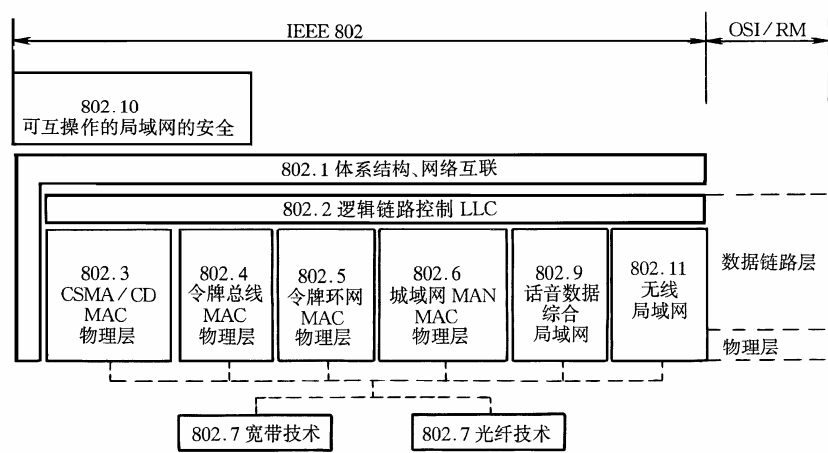


图 7.2 IEEE 系列标准

7.1.6 局域网数据链路层

由 IEEE 802 模型可知，局域网中数据链路层的功能是由媒体访问控制 MAC 子层和逻辑链路控制 LLC 子层共同完成的，与之相应的有两种不同的帧：MAC 帧和 LLC 帧。高层的协议数据单元 PDU 传到 LLC 子层，LLC 子层把 PDU 作为 LLC 的数据字段，加上首部（LLC 层间目的服务访问点、源服务访问点及某些控制信息）构成 LLC 帧。LLC 帧再向下传递给 MAC 子层，MAC 子层把 LLC 帧作为 MAC 的数据字段，加上首部（目的地址、源地址、控制信息）和尾部（帧校验序列 FCS）构成 MAC 帧。MAC 帧再向下传递给物理层以比特流传输。图 7.3 给出了 LLC 帧与 MAC 帧的关系示意图。

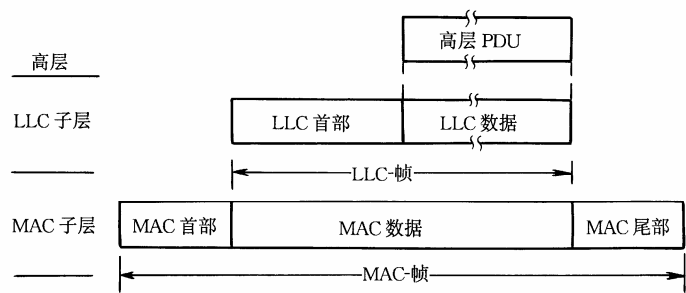


图 7.3 LLC 帧与 MAC 帧的关系

1. 逻辑链路控制 LLC 子层

IEEE 802.2 标准是一个关于逻辑链路控制层 LLC 的标准，它既定义了 LLC 层的服务与协议，还包括了它对 MAC 层服务的期望描述。

(1) LLC 子层的服务访问点 SAP

一个站中可能有多个进程在运行，它们可能同时与其他的一些进程进行通信，这些进程可以在一个站上，也可以在多个站上。因此，在一个站的 LLC 层上面应设有多个服务访问点，以便向多个进程提供服务。图 7.4 的局域网上共有三个站，站 A 的一个进程 x 欲向站 C 中的

某个进程发送报文，它必须通过站 A 的 LLC 层的一个服务访问点 SAP1 请求与站 C 的服务访问点 SAP1 建立连接，在此过程中，需要有以下两种地址：

- MAC 地址，即某站在网络中的物理地址，这由 MAC 帧进行传送；
- SAP 地址，即进程在站中的地址，这由 LLC 帧负责传送。

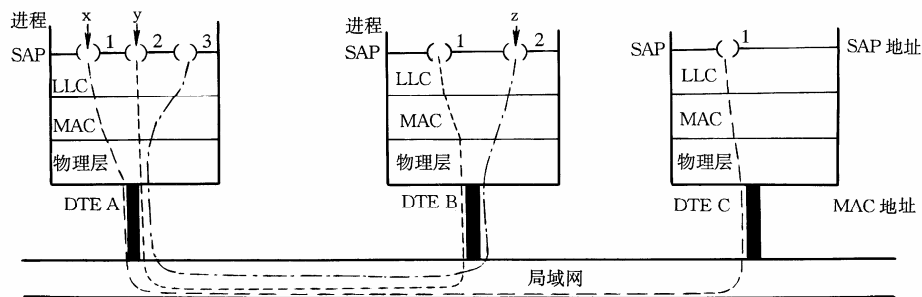


图 7.4 MAC 地址和 LLC 地址

也就是说，局域网中的寻址要分两步走，第一步是用 MAC 帧的地址信息找到网络中的某一个站，第二步是用 LLC 帧的地址信息找到该站中的某个 SAP。

这样，从站 A 发出的连接请求的帧的源地址和目的地址分别是 A (1) 和 C (1)，其中 A 和 C 都是 MAC 地址，括号中的数字则是在相应站中 LLC 层上的 SAP 地址。

当站 C 空闲时，就返回一个接受连接的帧，从此以后，所有由站 A 的进程 x 发往站 C 的帧，都包括源地址 A (1) 和目的地址 C (1)。凡是发给地址 C (1) 的帧，若其源地址不是 A (1)，都将被拒收，同样，凡不是由地址 C (1) 发给 A (1) 的帧也被拒收。

现在假定还有一个进程 y 和站 A 的 SAP2 连接上，并且要和站 B 的 SAP1 交换数据。这时，从 A (2) 到 B (1) 也可以建立一条连接。同理，进程 z 还可以从地址 B (2) 与 A (3) 建立连接。可见，多个 SAP 是可以复用一条数据链路的。

正是因为有了 SAP 的概念，才使得 LLC 层具有复用功能。当一个 LLC 层有很多的服务访问点时，不同的用户使用不同的 SAP 就可以做不同的事情，在一个局域网上互不干扰地同时工作着。

另外，我们必须注意，一个用户可以同时使用多个服务访问点，但一个服务访问点在一个时间只能为一个用户使用。

(2) LLC 子层提供的服务

LLC 子层向上一层提供的服务有四种操作类型：

- 类型 1 (LLC1)：不确认的无连接服务（数据报服务）。
- 类型 2 (LLC2)：面向连接服务（虚电路）。
- 类型 3 (LLC3)：确认的无连接服务（可靠的数据报）。
- 类型 4 (LLC4)：高速传送服务（城域网专用）。

不确认无连接服务就是无需确认信息的数据报服务，这种服务适用于点-点通信、广播通信或组播通信。此时，端到端的流量控制和差错控制由高层协议负责。因为局域网的传输差错率比广域网低得多，所以 LLC 子层提供不带确认信息的服务不会引起太大的问题，但能提高通信效率。

面向连接服务相当于虚电路服务。因为每次连接都要经历建立连接、数据交换和释放连接三个阶段，所以通信开销较大。对于没有高层软件支持的简单终端而言，由 LLC 子层提供端-端的链路控制是必要的，所以 LLC 子层提供了面向连接服务。

确认的无连接服务是一种需要确认信息的无连接服务，此时强调了确认信息（如实时控制中的告警信号等）的重要性，但又免除了建立连接服务的复杂性。这种服务又称为可靠的数据报，它只用于令牌总线局域网。

(3) 服务原语

IEEE 802 标准已为局域网制定了四种服务原语类型，表 7.3 列出了 LLC 子层常用的几种服务原语，其中不确认的无连接服务只需使用两种服务原语，而面向连接服务所使用的 5 组共 14 条服务原语。

在表中，流量控制服务原语用于当接收方来不及接收数据时，通过服务原语中的参数告诉发送方，应采取措施动态地减少数据流量或暂时停止发送数据。数据链路重建服务原语用于当接收到序号错误的帧时重新建立数据链路。数据链路的重建以及连接的断开，可以由 LLC 子层的用户发起，也可以由 LLC 服务提供者发起。这时都有可能使一些未被确认的帧丢失，因此在必要时应有更高层次的协议来进行差错的恢复。

表 7.3 LLC 子层的服务原语

| 类 型       | 原 语                                  | 参 数             | 用 途      |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|----------|
| 不确认的无连接服务 | DL-UNITDATA.request                  | 源地址，目的地址，数据，优先级 | 用于数据传送   |
|           | DL-UNITDATA.indication               | 源地址，目的地址，数据，优先级 |          |
| 面向连接服务    | DL-CONNECT.request                   | 源地址，目的地址，优先级    | 用于建立连接   |
|           | DL-CONNECT.indication                | 源地址，目的地址，优先级    |          |
|           | DL-CONNECT.response                  | 源地址，目的地址，优先级    |          |
|           | DL-CONNECT.confirm                   | 源地址，目的地址，优先级    |          |
|           | DL-DATA.request                      | 源地址，目的地址，数据     | 用于数据传送   |
|           | DL-DATA.indication                   | 源地址，目的地址，数据     |          |
|           | DL-DISCONNECT.request                | 源地址，目的地址        | 用于释放连接   |
|           | DL-DISCONNECT.indication             | 源地址，目的地址，原因     |          |
|           | DL-CONNECTION FLOWCONTROL.request    | 源地址，目的地址，数据量    | 用于流量控制   |
|           | DL-CONNECTION FLOWCONTROL.indication | 源地址，目的地址，数据量    |          |
|           | DL-RESET.request                     | 源地址，目的地址        | 用于数据链路重建 |
|           | DL-RESET.indication                  | 源地址，目的地址，原因     |          |
|           | DL-RESET.response                    | 源地址，目的地址        |          |
|           | DL-RESET.confirm                     | 源地址，目的地址        |          |

(4) LLC 帧的结构

LLC 帧的结构与 OSI 数据链路层所使用的高级数据链路控制 HDLC 帧的结构十分相似。由于 LLC 帧还要封装在 MAC 帧中，所以它没有标志字段和帧校验序列字段。这样，LLC 帧共有四个字段，即目的服务访问点 DSAP 字段、源服务访问点 SSAP 字段、控制字段和数据字段。图 7.5 所示是 LLC 前三个字段的具體结构。

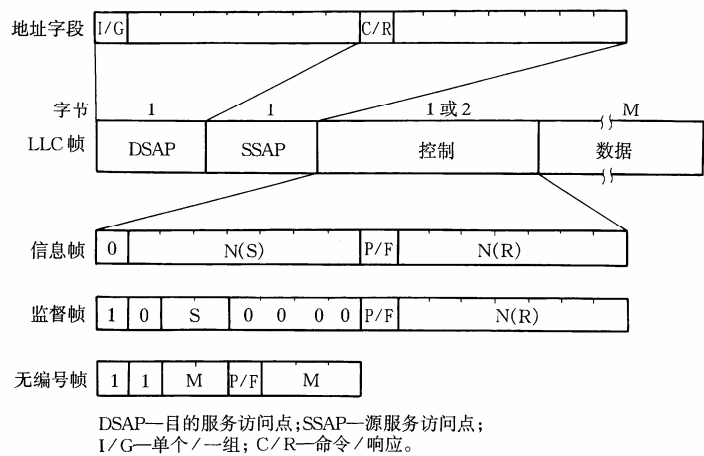


图 7.5 LLC 帧的结构

在图 7.5 中，LLC 帧中各字段的含义如下：

① 地址字段：地址字段占 2 个字节，即 DSAP 和 SSAP 各占 1 个字节。DSAP 的最低位为 I/G 比特。I 代表单个的地址，而 G 代表全局地址，当 I/G 比特为 0 时，它后面的 7 个比特即代表一个单个的目的服务访问点；当 I/G 比特为 1 时，则 DSAP 代表组地址，规定数据要发往某一个特定站的一组服务访问点，它只适用于不确认的无连接服务，若该字段全为 1，则表示该数据要发往某特定站的所有服务访问点。SSAP 的最低位为 C/R 比特。C 代表命令，而 R 代表响应，当 C/R 比特为 0 时，该 LLC 帧为命令帧；当 C/R 比特为 1 时，则为响应帧。C/R 比特之后的 7 个比特用来表示源服务访问点。

② 控制字段：LLC 帧共分为三类，即信息帧 I、监督帧 S 和无编号帧 U。这种分类可以用控制字段的格式来区分，还与 LLC 帧的操作类型有密切的关系。

如果分类是用控制字段格式来区分时，信息帧和监督帧的控制字段（各为 2 个字节）与 HDLC 的扩展控制字段的格式一样（参阅图 6.10），无编号帧则与图 6.11 所示的 HDLC 的情况一样，由控制字段的最低两个比特来识别。

· 信息帧 I：若控制字段的第 1 比特为 0，则该帧为信息帧。比特 2~4 为发送序号 N (S)，表示当前发送的信息帧的序号；比特 6~8 为接收序号 N (R)，表示一个站所期望接收到的帧的序号。显然，N (R) 带有确认的意思，它表示序号为[N (R) -1]的帧以及在这以前的帧都已正确无误地接收了。而且，由于在信息帧中设置了接收序号 N (R) 这一字段，就表示不必专门为收到的信息帧发送确认的应答帧，而是可以在本站有信息帧发送时，将确认信息放在其接收序号 N (R) 中捎带走。

· 监督帧 S：若控制字段的第 1~2 比特为 10，则对应的帧为监督帧 S。监督帧共有四种，按比特 3~4 的类型来区分，如表 7.4 所示。

表 7.4 四种监督帧的名称和功能

| 类 型 | 帧 名                         | 功 能                             |
|-----|-----------------------------|---------------------------------|
| 00  | RR(Receive Ready)<br>接收准备就绪 | 准备接收下一帧<br>确认序号为 N(R)-1 及其以前的各帧 |

|    |                                 |                                          |
|----|---------------------------------|------------------------------------------|
| 10 | RNR(Receive Not Ready)<br>接收未就绪 | 暂停接收下一帧<br>确认序号为 N(R)-1 及其以前的各帧          |
| 01 | REJ(Reject)<br>拒绝               | 从 N(R)起的所有帧都被否认<br>但确认序号为 N(R)-1 及其以前的各帧 |
| 11 | SREJ(Selective Reject)<br>选择拒绝  | 只否认序号为 N(R)的帧<br>但确认序号为 N(R)-1 及其以前的各帧   |

· 无编号帧 U：若控制字段的第 1~2 比特为 11，则此帧就是无编号帧 U，它本身不带编号，即无 N(S)和 N(R)字段，而是用 5 个比特(即第 3,4,6,7,8 比特)来表示不同作用的无编号帧。虽然总共有 32 个不同的组合，但目前实际上只定义了很少的几种无编号帧，它主要起控制作用，可以在需要时发出而不影响带序号的信息帧的交换顺序。常用的无编号帧有以下几种：

- 00 000：无编号信息；
- 01 101：交换识别命令；
- 00 111：测试命令；
- 11 110：置扩展的异步平衡模式命令；
- 00 110：无编号应答；
- 11 000：断链模式的响应；
- 00 010：断链命令；
- 00 001：帧拒绝响应。

在监督帧和无编号帧，其控制字段的第 5 比特都是 P/F，即询问/终止 (Poll/Final) 比特，它由某计算机在查询一组终端时使用。

如果从 LLC 帧的各种分类与 LLC 的操作类型的关系来看，对于面向连接服务，3 种帧格式都可以使用，而无连接服务只使用无编号帧格式。

· 操作类型 1 为不确认无连接服务，即在双方通信前不需要建立逻辑链路，其所传输的协议数据单元 PDU 既不需要确认，也不进行流量控制和差错恢复。它类似于前面讲的数据报服务。所以不需要序号，只使用 3 种无编号帧：UI，XID 和 TEST。UI 用于发送信息、XID 用于交换标识符（如站之间交换服务类型的识别信息等）、TEST 用于测试 LLC 传输路径的工具。

· 操作类型 3 为确认的无连接服务，只有两种无编号帧：确认的无连接帧 0 (AC0) 和确认的无连接帧 1 (AC1)。用户用 AC0 或 AC1 命令响应予以确认。

· 操作类型 2 为面向连接服务，可以使用 3 种 LLC 帧格式：信息帧、监控帧和无编号帧。信息帧用于传送用户信息，监控帧用于确认、流量控制和差错控制，无编号帧用于建立连接、释放连接以及其他控制功能。

③ 数字字段：数字字段的长度 M 没有限制，但应是整数个字节。不过，因为 MAC 帧的长度受限制，所以 LLC 帧的长度实际上也是受限制的。

2. 媒体访问控制 MAC 子层

在 IEEE 802 系列标准中，对于不同的局域网，其 MAC 子层是不同的，也是最复杂的。因此，有关媒体访问控制 MAC 子层的内容将分别在各种局域网中讨论。在此只简单介绍 MAC 子层提供的服务。

LLC 子层向上一层提供服务是通过服务原语实现的。同样，MAC 子层向 LLC 提供服务也是通过 MAC 与 LLC 交换服务原语实现的。尽管 MAC 子层的接入方式有许多种，但 MAC

的服务原语却十分简单，只有 3 种，如表 7.5 所示。它与 LLC 的类别以及 MAC 子层的接入方式都没有关系（如 CSMA/CD 或令牌方式）。

表 7.5 MAC 提供的服务原语

| 服务类型 | 服务原语                                                 |
|------|------------------------------------------------------|
| 数据请求 | MA-UNITDATA.request(目的地址, 源地址, 数据, 优先级, 类别)          |
| 数据指示 | MA-UNITDATA.indication(目的地址, 源地址, 数据, 接收状态, 优先级, 类别) |
| 数据确认 | MA-UNITDATA-STATUS.confirm(目的地址, 源地址, 发送状态, 优先级, 类别) |

## 7.2

### 7.2.1 IEEE 802.3 标准：以太网 (Ethernet)

以太网是局域网里使用最多的一种网络模型。它的结构很简单，用一条无源总线将局域网的所有用户连接起来实现通信，所以也称为总线局域网。这种网络是 1975 年由美国 Xerox（施乐）公司研制成功的、采用无源电缆作为总线传输信息的以太网（Ethernet），它是以历史上表示传播电磁波的以太（Ether）命名的。以太网采用的媒体访问控制方法就是后来成为 IEEE 802.3 标准的载波监听多路访问/冲突检测(CSMA/CD)技术。在 IEEE 802.3 标准中规定了总线网的 CSMA/CD 访问方法和物理层技术规范。

#### 1. 随机竞争型媒体访问控制方法

为了减少线路资源的消耗，在传递信息时，应尽可能采用信道共享技术。所谓信道共享技术，就是通过一个公用信道将所有的用户连接起来，这种技术通常称为多点接入技术或多点访问技术。

信道在不进行复用的情况下，只允许一个用户使用。当两个或更多的用户在一个信道发送信息时，就会产生冲突（Collision），冲突又称为碰撞。凡是发生了冲突的用户所发送的信息都是失败的。因此，在多点访问技术中必须找出解决冲突的办法。

多点访问技术可以分为两大类：受控访问和随机访问。受控访问指的是各个用户不能随意接入信道而必须服从一定的控制；随机访问指的是用户都可以根据自己的意愿随时发送信息。

在受控访问技术中，多点线路既可以采用集中式控制，也可以采用分散式控制。主机依照一定顺序逐个访问各用户，询问是否有信息要发送。如果有，则该用户立即占用线路并将信息发给目的站；如果没有，则将应答信息送给主机，主机再访问下一个站，这是一种叫作轮询（Polling）的集中式控制方式。环型网采用的是另一种分散式控制方法。在环型网络中产生一个称为令牌（Token）的特殊帧，令牌沿环路从一个站传递到下一个站，只有持有令牌的站才能够发送信息，信息发送完毕后，又将令牌传给下一个站，这种环型网又被称为令牌传递环。这两种受控访问方式都可以使信道上的多个站点无冲突地发送信息。

在随机访问方法中，当两个或更多用户同时发送信息时，就会产生冲突。现在已经研究出多种解决冲突方法。ALOHA 是夏威夷大学 70 年代初期研究成功的一个集中控制式的随机



接入系统,该系统允许地理上分散的多个用户通过无线电信道来使用中心计算机。在 ALOHA 系统问世以后,又相继出现了许多改进的协议,其中最具特色的是载波监听多路访问 CSMA 和载波监听多路访问/冲突检测 (CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection),它们已成为总线局域网的标准。

CSMA 的特点是要求每个站都设置一硬件,用于在发送数据前监听同一信道上其他站是否已在发送数据。如果该站监听到别的站正在发送,就暂不发送数据,从而减少了发送冲突的可能性,也提高了整个系统的吞吐量和信道利用率。

#### (1) CSMA 方式

CSMA 是 ALOHA 系统用于有线信道时的一种改进,它与 ALOHA 的主要区别就是每个站都设置了一个载波监听装置。此处“载波”是指公用信道上传输的信号。根据每个站所采用的载波监听策略,CSMA 可分为以下几种类型:

- 非坚持 CSMA: 如果进行载波监听时发现信道空闲,则将准备好的帧发送出去;如果监听到信道忙,就不再坚持听下去,而是根据协议的算法延迟一个随机时间再重新监听。

- 1 坚持 CSMA: 当监听到信道空闲时,就立即发送帧;如果监听到信道为忙,则继续监听下去,一直坚持信道变为空闲为止。

- P 坚持 CSMA: 为了避免两个或多个站监听到信道空闲,同时发送数据造成冲突的现象,因此改进为当监听到信道空闲时,以概率 P 立即发送帧,而以概率 (1-P) 延迟一段时间  $t$  (端-端传播时延) 再重新监听信道;当监听到信道为忙时,则继续监听下去,一直坚持到信道空闲为止。

#### (2) CSMA/CD 方式

##### ① CSMA/CD 工作原理

CSMA 在发送数据前进行载波监听,虽然有效地减少发生冲突的概率,但由于存在传播时延,冲突不能完全消除,而且 CSMA 不能及时检测已发生的冲突。为了能及时发现冲突,采取边发送边监听的方式,一旦监听到冲突,冲突双方就立即停止发送,以免浪费信道时间,使信道很快进入空闲期。这种边发边听的功能称为冲突检测。

因此,载波监听多路访问/冲突检测 (CSMA/CD) 协议的工作原理是:每站在发送数据前,先监听信道是否空闲;若信道空闲,则发送数据,并继续监听下去;一旦监听到冲突,便立即停止发送,并在短时间内坚持连续向总线上发送一串阻塞信号 (JAM) 强化冲突,通知总线上各站有冲突发生,以便及早空出信道,提高信道的利用率;如果信道忙,则暂不发送,退避一段时间后再尝试。这种 CSMA/CD 协议又被形象地称为“先听后说,边说边听”方法,该协议已被 IEEE 802 委员会采纳,并以此为依据制定了总线局域网的 IEEE 802.3 标准。

同 CSMA 一样,CSMA/CD 可分为时隙和非时隙两种,而每一种又可分为非坚持、1 坚持和 P 坚持 3 种。在实际的网络中常采用非时隙 1 坚持 CSMA/CD。图 7.6 给出了在  $\alpha=0.01$  时,CSMA/CD 与 CSMA 以及 ALOHA 的吞吐量  $S$  与网络负载  $G$  关系图。其中, $\alpha$ =端到端传播延迟  $\tau$ /帧发送时间  $T$ ,它受电缆长度、发送速率、帧长等因素的影响。比较图中的曲线,可以看出:

- CSMA/CD 吞吐量的最大值最大。
- 当  $G$  在相当大的范围内变化时,CSMA/CD 的吞吐量  $S$  都比较接近其最大值,这说明 CSMA/CD 比其它几种协议更稳定。

- 在轻负载时，各种协议的性能都差不多。

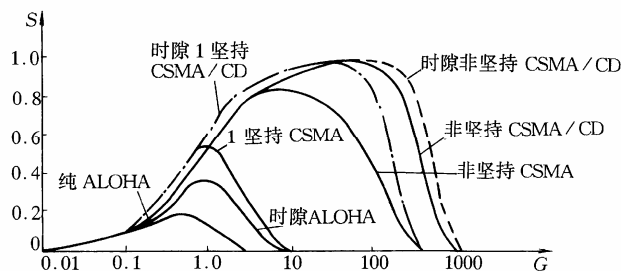


图 7.6 CSMA/CD 与 CSMA 和 ALOHA 的吞吐量比较

## ② 冲突检测方法

在 CSMA/CD 方式中，把边发送边监听称之为冲突检测。只要监听到发送冲突，则冲突的双方都必须停止发送。然后，冲突各方都以概率  $P$  延迟一个时隙后重新开始发送，从而减少了冲突的数据在信道上传输的时间，提高了信道的利用率。

实现冲突检测的方法有多种，如：

- 信号电平法：这是一种基于模拟技术的监测方法，它比较接收到的信号的电压大小。在基带传输系统中，当两个帧的信号叠加在信道上时，电压的摆动值要比正常值大一倍。因此，只要接收到的信号电压摆动值超过某一门限值，就可认为是发生了冲突。

- 过零点检测法：当采用曼彻斯特编码时，电压的过零点是在每一比特的正中央。当发生冲突时，叠加信号的过零点将在其他地方出现。根据过零点位置的变化，就可以判断是否发生冲突。

- 自发自收法：这种方法是在发送帧的同时，也接收该数据帧，然后将收到的信号逐比特地与发送的比特相比较。若有不符的，就说明有冲突存在。

总之，实现冲突检测的方法有很多，只要增加一些硬件即可实现。在实际网络中，为了使每个站点都能清楚地断定是否发生了冲突，往往采取一种叫作强化冲突的措施，即一旦发送帧的站点检测到有冲突时，除了立即停止发送数据外，还要再继续发送若干比特的人为干扰信号，以便让所有用户都知道，现在已发生了冲突。

## 冲突退避算法

在 CSMA/CD 方式中，如果冲突检测电路检出了冲突，就要重发原来的数据帧。冲突过的数据帧的重发又可能再次引起冲突，为了避免这种情况的发生，经常采用错开各站的重发时间的办法来解决，重发时间的控制问题就是冲突退避算法问题。

最常使用的计算重发时间间隔的算法是二进制指数退避算法，它本质上是根据冲突的历史估计网上信息量而决定本次应等待的时间。按此算法，当发生冲突时，控制器延迟一个随机长度的间隔时间，是两倍于前次的等待时间。二进制指数退避算法的公式为：

$$\tau = R \cdot A \cdot 2^N$$

式中  $N$  为冲突次数， $R$  为随机数， $A$  为计时单位（可选用总线循环一周时间）， $\tau$  为本次冲突后等待重发的间隔时间。

此算法的基本思路是：等待时间的长短和冲突的历史有关。一个数据帧遭遇的冲突次数越多，说明网上传输的数据量越大，等待重发时间就越长。

## 2. 以太网的组成

以太网有许多类型，但只有遵守 802.3 协议的网络技术才称为以太网（即基带总线网）。以太网由传输媒体、收发器、网卡和工作站等组成，如图 7.7 所示。

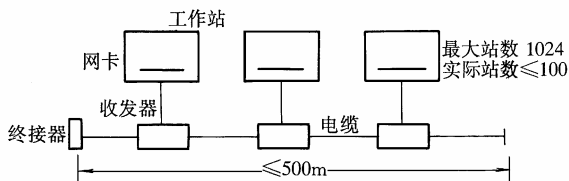


图 7.7 以太网的结构

### (1) 传输媒体

以太网的每个工作站都通过收发器连接到一条公用的总线上，从收发器到总线的所有连接线应该是双向总线，即既是发送线，又是接收线。每个站的信号驱动器，要驱动总线上所有工作站的接收器，因此总线驱动器的功率限制了总线端上工作站的个数及总线长度。

以太网的传输媒体有粗缆（10Mbit/s，传输距离较远）、细缆（10Mbit/s，传输距离较近）、双绞线 4 芯（10Mbit/s，传输距离 100m）、双绞线 5 类芯（100Mbit/s，传输距离 100m）。也有使用 3 类 8 芯线来达到 100Mbit/s 的高速网络技术。

### (2) 收发器

收发器与总线相连，其主要功能有：

- 接收或发送数据；
- 检测在总线上发生的数据帧的冲突；
- 在总线和总线接口的电子设备之间进行电气隔离；
- 当收发器所连接的网卡或工作站出现故障时，保护总线不受其影响。这个功能通常称为超长功能控制。当收发器所连的网卡或工作站出故障时，就有可能向总线不停地发送无规律的数据，使总线上所有的站都不能工作。为了避免这一现象，必须对所有站发送的数据帧长度设一上限。当收发器检测到某个数据帧的长度超过此上限值时，即认为该站出了故障，自动禁止向总线发送数据。

收发器与工作站连接的收发器电缆中共有五组分别屏蔽了的双绞线，一组用作供给收发器的电源及公共地线；两组是数据线，收发各一组；另外两组是控制线，一组用来通知工作站在信道上出现了冲突，另一组则是使工作站可用主动式发送数据的路径与总线隔离。整个收发器电缆的长度不能超过 50m。在电缆上的信号采用曼彻斯特编码。

### (3) 网卡

网卡又称为网络适配器或通信适配器，是实现工作站之间通信的关键部件。网卡以插件板的形式插入到计算机的一个扩展槽中，通过收发器电缆连接到收发器上，收发器再和总线相连。从局域网的参考模型来看，网卡主要实现 MAC 子层和一些物理层的功能。即：

- 数据的封装和解封：发送时将 LLC 子层传下来的 LLC 帧封装成带有地址和差错校验段的 MAC 帧。接收时对 MAC 帧进行拆卸，剥去 MAC 帧的首部和尾部，再送交 LLC 子层。
- 链路管理：主要是实现 CSMA/CD 协议。
- 编码和解码：负责比特流的曼彻斯特编码与译码（因为电缆上的信号采用的是曼彻斯特编码），这实际上是物理层的功能。

(4) 工作站

工作站是通信系统的使用者，是一个连接到网上的可编址设备。工作站的作用是对用户数据进行本地处理和作为用户与网络之间的一个接口。一般来说，工作站可以是微机、工程工作站或 X 终端。

3. IEEE 802.3 以太网的体系结构

(1) 物理层

为了便于物理层功能的实现，在 802.3 标准中将物理层再分为物理信令 (PLS:physical signaling) 子层和物理媒体连接件(PMA :Physical Medium Attachment)子层。PLS 子层向 MAC 层提供服务，并负责比特流的曼彻斯特编码（发送时）与译码（接收时）和载波监听的功能。PMA 子层向 PLS 子层提供服务，它完成冲突检测、超长控制以及发送和接收串行比特流的功能。

802.3 标准规定，物理层的 PLS 与 PMA 子层可在不同设备中实现，如 PLS 在网卡中实现，而 PMA 在收发器中实现。图 7.8 的左侧图是表示 PLS 和 PMA 不处在同一设备的一种实现。PLS 子层通过附件单元接口 (AUI :Attachment Unit Interface) 与 PMA 子层相连接。PMA 子层又通过媒体相关接口 (MDI :Medium Dependent Interface) 与物理媒体相连。通常将 PMA 和 MDI 合在一起，称为媒体附件单元 (MAU :Medium Attachment Unit)。AUI 接口定义了连接 PLS 与 MAU 的电缆和连接器的电气、机械特性，以及该接口上电信号特性。MDI 接口定义了电缆段、连接电缆段的连接器以及电缆末端终接负载的特性。当然，如 PLS 和 PMA 处在同一设备内，就不需要 AUI (见图 7.8 右侧图)。

(2) MAC 帧

MAC 帧是 MAC 子层实体间交互的协议数据单元。MAC 帧包含五个字段：地址字段为 2 或 6 字节，其含义前已指出；数据长度字段指出数据字段所包含的字节个数；数据字段的内容与 LLC 帧相同；最后是 MAC 帧的校验序列，如图 7.9 所示。在数据字段与 FCS 字段之间有一个填充 PAD 字段（图中未绘出），这是为了 CSMA/CD 协议的正常操作需要一个最小帧长度，而起填充作用的。802.3 标准对不合格规范的 MAC 帧视为无效 MAC 帧，其处理方法是无效 MAC 帧不上交 LLC 子层，只将故障情况通知网络管理。

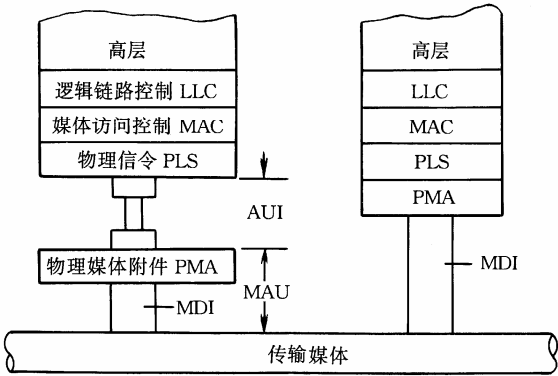


图 7.8 802.3 以太网的两种体系结构

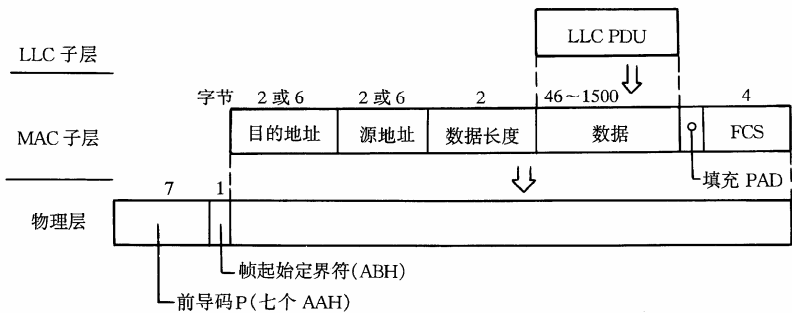


图 7.9 802.3 标准 MAC 子层的帧结构

7.2.2 IEEE 802.5 标准：令牌环局域网

环形网是由一段段点到点链路连接起来的闭合环路,信息沿环路单向地、逐点地传送。环形网的种类有很多,但根据媒体访问控制方法的不同,环形网一般可分为三类：①令牌环网；②时隙开槽环网；③寄存器插入环网。其中,令牌环是环形网中使用最为普遍的一种。

令牌环 (Token Ring) 最初是由美国 IBM 公司于 1984 年推出的, IEEE 802.5 标准是在 IBM 公司令牌协议基础上发展与形成的。

令牌环网是一种共享媒体的多点介质访问式网络。这种介质访问方法是确定型的,即通过一种叫做令牌 (Token) 的特殊帧来控制网络各个站点有序地对介质进行访问,因而不会产生任何冲突。令牌环的最大优点,是能在重载下高效工作。整个环网不会出现在同一时间有几个站同时争抢传输媒体的情况,故不会因碰撞而降低效率。每个站依次截获令牌发送数据的工作情况与时分复用相似。令牌环网的另一个优点是,每个转发器,相当于有源网络接口将收到的比特流整形后再发送出去,故信号强度不会因传输而减弱,因此,只要传输时延允许,可跨越较远距离传输。然而,站点较多时,会因每个站从输入比特流提取的定时信号产生时间抖动,从而又限制了站点数。所以,环长和站点数应适中。环网为固定路径传输,无需路由选择。令牌环的缺点是维护算法比较复杂；可靠性要求高；当环上站数较多时,即使只有两个站在通信,仍会有相当长的延时。

1. 令牌环的工作原理

环形网的结构形式如图 7.10 所示,它是由许多干线耦合器 (也称转发器或环接口) 用点到点链连成单向环路,然后每一个干线耦合器再和一个终端或计算机连在一起。

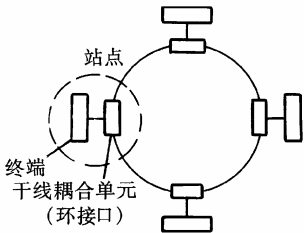


图 7.10 环形网结构示意图

令牌环中的一个站的体系结构如图 7.11 所示。在图中还表明了一个站是如何通过电缆、

媒体接口连接器(MIC:Medium Interface Connector)与干线耦合器(TCU:Trunk Coupling Unit)相连的。这里,干线耦合器是一个关键部件,它有两种工作状态:收听(或转发)和发送。当处于收听状态时,干线连接器一面转发来自环路输入的比特流(因转发造成的时延仅为一个比特),另一面又不停地监听某种特定的比特组合(指本站地址和令牌),以分别达到接收数据和截获令牌的目的。干线连接器处于发送状态时,本站的数据以帧为单位从干线连接器输出端输入环路。

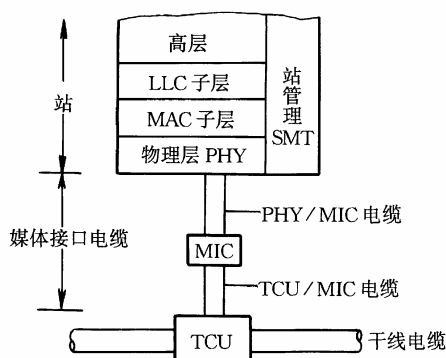


图 7.11 令牌环网（站）的体系结构

令牌环是使用一种称为令牌的特殊帧沿着环网循环实现数据传输的。当一个站要发送数据帧时,必须等待空令牌通过本站,然后将空令牌改为忙令牌,紧跟着忙令牌之后,把数据帧发送到环网上。由于令牌是忙状态,其它站必须等待而不能发送帧。因此,也就不可能产生任何冲突。

数据帧在环上循环一周后再回到发送站,由发送站将该帧从环上移去,同时将忙令牌改为空令牌,传给下一站,使之获得发送帧的机会。

当数据帧绕环通过各站时,各站都要将帧的目的地址与本站地址相比较。如果地址符合,说明是发送给本站的,则将帧拷贝到本站的接收缓冲器中,同时将帧送回到环上,使帧继续沿环传送;如果地址不符合,则简单地将数据帧重新送到环上即可。

在轻载时,由于一个工作站在发送前必须等待空令牌到来,故效率很低;在重载时,各站访问机会均等,因此效率较高。由于空令牌是一种特殊的控制标记,不能出现在用户数据中,一般采用位插入的方法来实现透明传输。此外,采用发送站从环上收回帧的策略,具有广播特性,即多个站可接收同一个数据帧,同时还具有对发送站自动应答的功能。

令牌环的工作过程如图 7.12 所示,主要是由以下 3 个操作环节实现的。即:

- 截获令牌与发送帧。当一个站要发送数据时,必须先截获令牌。所谓截获令牌就是指当空闲令牌传送到正准备发送数据的工作站时,该站便将空闲令牌截获下来,并将其标志转变成信息帧的标志,此时的令牌变为忙令牌,接着将数据等字段加上去,构成要发送的非令牌帧送到环上。

- 接收帧与转发帧。当非令牌帧在环上传送时,每经过一站,该站的转发器便将帧内的目的地址与本站地址相比较。如果两个地址相符,则复制该帧、送入本站,并在该帧中置入已复制标志,同时将该帧再转发至下一个站(因为一个帧可能发送给多个目的站)。如果帧中的目的地址不是本站地址,则转发器只将该帧向下转发。

· 撤消帧与重新发令牌。当非令牌帧沿环路返回到发送站时，源站不再进行转发，而是对返回的非令牌帧进行检查，判断发送是否成功？若发送成功，则撤消所发送的数据帧，并立即生成一个新的令牌发送到环上。若源站发现目的站并没有复制该帧，则重新发送该帧。

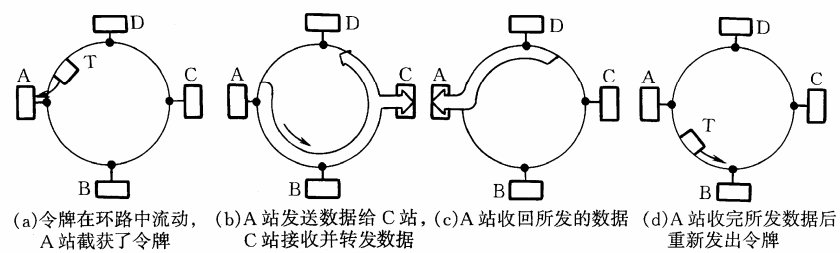


图 7.12 令牌环的工作原理

2. 令牌环 MAC 帧格式

IEEE 802.5 标准 MAC 帧格式如图 7.13 所示。

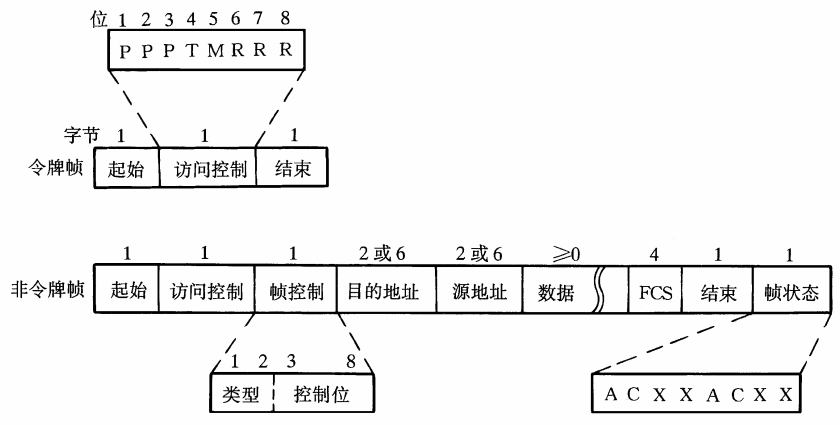


图 7.13 802.5 标准 MAC 帧格式

1) 令牌帧

由图看出，令牌帧由起始字段、访问控制字段和结束字段组成，共占 3 个字节，各字段的作用如下。

① 起始字段和结束字段：表示帧的开始和结束，各占 1 个字节，其中每个字段都有 4 位“特殊比特”。在 IEEE 802.5 标准中，信号编码是采用微分曼彻斯特编码，这种编码的规律是在每一位比特的正中间肯定有一个正向或负向的跳变，用以表示二进制数的 0 或 1。而“特殊比特”却违反了这一规律，在每个比特的中间没有跳变，要么全是高电平，要么全是低电平，它既非二进制数 0 又非二进制数 1，起始字段格式中的 J, K 比特就是这样的“特殊比特”。令牌环正是利用这些特殊的比特来表示令牌帧的开始和结束。

② 访问控制字段：占 1 个字节，各个比特的含义如下。

· 3 个优先级比特 PPP：表示优先权等级，共分 8 级，000 为最低优先级，111 为最高优先级，当不使用优先级时 PPP=000。只有优先级高于令牌优先级的站，才允许截获该令牌。这样可以保证高优先级的站有更多的发送机会。

· 令牌比特 T：这是一个关键的比特。若 T 比特等于 0，表示令牌帧；若 T=1，表示非令牌帧。当等待发送数据的工作站检测到一个令牌的优先级等于或小于待发送数据帧的优先级时，便将空闲令牌截获下来，并把空闲令牌的令牌比特 T 从 0 改变为 1，然后丢弃该令牌的结束字段，再将非令牌帧的第 3 个字节以后的字段都加上去，构成一个要发送的非令牌帧，发送到环上去。这就是前面讲到的截获令牌与发送帧的具体实现过程。

· 监督比特 M：用来防止忙令牌在环上无限循环而设置的。具体实现方法将在后面介绍。

· 3 个预约比特 RRR：用来预约发送权的，它允许希望发送较高优先级帧的站申请下一个令牌。当一个站要发送数据时，可以通过将本站的优先级写入经过本站的数据帧的预约比特 RRR 进行预约。在这之前，如果已经有一个优先级更高的站预约了，则本站就不能预约了。这样可以保证发送较高优先级帧的站申请下一个令牌，及时得到发送权，实现快速发送。

## 2) 数据帧（非令牌帧）

数据帧共有九个字段，其中起始字段和访问控制字段的含义与令牌帧完全相同，下面介绍其它字段的作用。

(1) 帧控制字段：占一个字节，前两位 FF 为类型比特，表示帧的类型；后 6 位 ZZZZZZ 为控制比特，表示控制帧的种类。若 FF=00，表示该帧为 MAC 控制帧，控制帧中没有数据字段，环上的所有站都将对控制比特进行解释，并根据其含义而执行相应的操作；若 FF=01，表示该帧为一般的信息帧，也就是说该帧的数据字段是上一层传下来的 LLC 帧，它只发给地址字段表示的目的站。FF=11 或 10 未定义。

(2) 目的地址和源地址：其含义和 IEEE 802.3 标准相同，两者的位数必须相等，或占 2 个字节或 6 个字节。

(3) 数据字段：该字段长度的最小值等于 0，其最大值受令牌旋转一周的最大时间限制。

(4) 帧校验序列 FCS：占 4 个字节，采用 32 位循环冗余校验 CRC 码，其校验范围是从帧控制字段到数据字段。

(5) 帧状态字段 FS：占一个字节。在这一字段中设置了两个 A 比特和两个 C 比特，另外四个比特可为任意值。在发送站，当发完所有数据后，将 A 和 C 都设置为 0，当此帧经过目的站时，若目的站识别了这个站（即匹配到目的地址字段），就将 A 比特设置为 1，若将此帧复制到站内了，就将 C 比特设置为 1（因为缺乏缓冲区或其他原因，站可能不会复制这个帧）。这样，当发送出去的帧又回到源站时，只要观察 A 比特和 C 比特就可以区分下列几种情况：

- 目的站不存在或未加入到环路中（A=0，C=0）
- 目的站在环上但未将数据复制到站内（A=1，C=0）
- 目的站在环上且已将数据复制到站内（A=1，C=1）

(6) 结束字段 ED：它与令牌中的 ED 类似，但最后一位为 E 比特，即差错比特。发送站在发送完一帧时，将 E 比特置为 0，以后每经过一站，在转发时都通过 FCS 判断此帧是否出错，出错时将此比特置为 1。这样，发送方在收回所发送的帧后，只要分析 A，C 和 E 比特，就能得出本次传送的有关信息。

## 3) 令牌环的维护

IEEE 802.5 提供的令牌维护机制是采取集中方式控制，每个环都有一个监控站来管理全环路的运作。如果监控站出故障了，竞争协议将保证很快地选举另一个站为监控站（每个站都有作为监控站的能力，在未被选为监控站时，称为备用监控站）。监控站的主要任务是：



- (1) 保证令牌不丢失。每个监控站都设有两个计时器，一个是较长的无令牌计时器 (TNT)，另一个是较短的有效帧计时器 (TVX)。如果一个站要发送数据，而在一段 TNT 时间内无令牌到来，则可认为令牌丢失，可以清除环路，并且发送一个新令牌。此外，站点还要跟踪自上一个有效令牌或数据帧以来的时间量。当该时间量超过 TVX 时，则可认为令牌丢失，需要发送一个新令牌。
- (2) 清除无效帧。若某站在发出数据帧后即出故障，或是环路中出了故障，使得该数据帧找不到目的站，该帧就会在环路上不停地循环。这种情况可以通过使用帧中的“监督标志 M”来检测到，在源站发出该帧时，监督标志 M=0，当一个帧第一次经过监控站时，监督标志 M 被置为 1。当 M=1 的帧再次经过监控站时，该帧即被清除出环路。
- (3) 保证环路的最小时延。令牌的长度为三个字节，即 24 比特，这就要求环路至少应能容纳 24 比特，否则令牌在环路上就无法流动。由于环路上每个站会产生 1 比特的延时，当环路上的站数不够 24 时，监控站就要插入额外的延迟比特以使令牌能够绕环流通。

7.2.3 IEEE 802.4 标准：令牌总线局域网

总线网接入方便、可靠性较高，但当网络负载增加时，冲突急剧增加、网络吞吐量急剧下降，且因每个工作站的发送和响应时间不确定，所以实时性差。令牌环形网不存在冲突问题，实时性好、负载能力强，但管理复杂、可靠性差。如果将总线网和令牌环形网结合起来，综合两者的优点便产生了令牌总线(Token Bus)网。令牌总线网是一种物理上为总线网、逻辑上为环形网的局域网。IEEE 802.4 标准制定了令牌总线网的媒体访问方法与相应的物理规范。

1. 令牌总线网的工作原理

令牌总线 (Token Bus) 是一种在总线拓扑中利用“令牌 (Token)”作为控制节点访问公共传输介质的确定型介质访问控制技术。它的控制方式有些类似于令牌环，但采用总线网络结构。它将网上各个工作站按一定顺序形成一个逻辑环，每个工作站在环中均有一个指定的逻辑位置。在介质访问控制层中，保存有一个记录，记下逻辑环中的先行站 (PS) 和后继站 (NS)，末站的后继站就是首站，即首尾相连，如图 7.14 所示，可以采用调整 PS 和 NS 的地址来插入或删除一些站以及建立一个新的逻辑环。

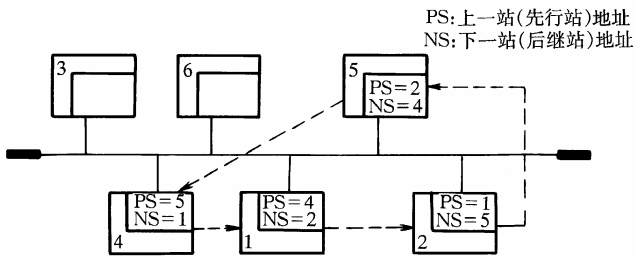


图 7.14 令牌子总线网

令牌总线局域网的特点是：物理上它是一个总线网，逻辑上是一个令牌环网（参考图 7.14），令牌传递的顺序与站点的物理位置无关，它既具有总线式网络的接入方便和可靠性高的优点，又具有令牌环网的无冲突和发送时延有确定上限值的优点。但是，由于令牌在总线上传送比较复杂，令牌总线局域网产品通常比其他局域网产品要贵一些。

网络启动时或逻辑环路发生故障后,都必须进行初始化,以形成逻辑环路。其主要过程是,由地址码最大的站产生令牌并且向后继站发送令牌。若在规定的时间内收到肯定的应答信号,则该站连入环路;若在规定的时间内没有收到肯定的应答信号,则该站不连入环路并继续向下一站询问,一直到令牌传到地址码最小的站后,再传到地址码最高的站,形成一个封闭的逻辑环路。

逻辑环形成以后,信息的发送过程与令牌环相似。一个结点要发送信息必须获得令牌,持有令牌的结点可以直接向总线上任意结点发送信息。信息发送成功或达到规定时间后,由源结点释放令牌并交给其下游节点。

为了给不在逻辑环路中的站以插入环路的机会,要周期性地打开逻辑环。当有站点插入时,要告诉它,谁是它的先行站和后继站,以便使令牌仍能在逻辑环上按地址码的大小顺序传送。当有某站需要从环路中退出时,要把该站的后继站连接到前一个站,使环路中剩下的站仍是一个正常的工作环路。

## 2. 令牌总线网 MAC 帧格式

IEEE 802.4 的 MAC 帧格式如图 7.15 所示,它与 IEEE 802.5 的 MAC 帧格式都不相同。

(1) 前同步码:与 IEEE 802.3 的前同步码作用一样,用来实现收、发两端的时钟同步,但其长度最小可以等于 1 个字节。

(2) 起始字段和结束字段:表示一个有效帧的开始与结束,用来确定帧的边界,其长度各占 1 个字节。这两个字段中都含有“特殊比特”,即既不代表 0、也不代表 1 的比特位。

(3) 帧控制字段:该字段决定了本次发送的是 MAC 控制帧还是数据帧,其长度为 1 个字节,格式为 FFMMMPPP。其中,前两位 FF 表示帧的类型,若 FF=00,该帧为 MAC 控制帧;若 FF=01,该帧为 LLC 数据帧;若 FF=10,该帧为站管理数据帧;若 FF=11,该帧为特殊用途的数据帧。中间 3 位 MMM 表示 MAC 操作,若 MMM=000,表示无响应请求。后 3 位 PPP 表示优先级,优先级最低为 000,优先级最高为 111。

(4) 目的地址和源地址:其规定与 IEEE 802.3 的地址字段相同。

(5) 数据字段:是 LLC 子层传下来的 LLC 帧,其最大可达 8182 字节,比 IEEE802.3 规定的长度大好几倍。

(6) 帧校验序列 其规定与 IEEE 802.3 的 FCS 相同,也是采用 32 位的循环冗余校验 CRC 码。



图 7.15 IEEE 802.4 的 MAC 帧格式

## 7.2.4 总线网与令牌总线网、令牌环网的比较

前面介绍了 3 种常用的局域网,它们各具有特点、各有适用的条件和范围。在此对 3 种网进行简单的分析比较。

- 从网络拓扑角度看,总线网与令牌总线网都是针对总线拓扑的局域网设计的,而令牌环网是针对环型拓扑的局域网设计的。

- 从介质访问控制方法的性质来看,总线网属于随机型介质访问控制方法,而令牌总

线网、令牌环网则属于确定型介质访问控制方法。

· 与确定型介质访问控制方法令牌总线网、令牌环网比较,总线网方法有以下几个主要的特点:

① 总线网介质访问控制方法算法简单,易于实现。目前有多种 VLSI 可以实现总线网方法,这对降低 Ethernet 成本、扩大应用范围是非常有利的。

② 总线网是一种用户访问总线,时间不确定的随机竞争总线的方法,适用于办公自动化等对数据传输实时性要求不严格的应用环境。

③ 总线网在网络通信负荷较低时表现出较好的吞吐率与延迟特性。但是,当网络通信负荷增大时,由于冲突增多,网络吞吐率下降、传输延迟增加,因此总线网方法一般用于通信负荷较轻的应用环境中。

· 与随机型介质访问控制方法总线网比较,确定型介质访问控制方法令牌总线网、令牌环网有以下几个主要特点:

① 令牌总线网或令牌环网中节点两次获得令牌之间的最大间隔时间是确定的,因而适用于对数据传输实时性要求较高的应用环境,如生产过程控制领域。

② 令牌总线网与令牌环网在网络通信负荷较重时表现出很好的吞吐率与较低的传输延迟,因而适用于通信负荷较重的应用环境。

③ 令牌总线网与令牌环网不足之处在于它们都需要复杂的环境维护功能,实现较困难。

## 7.3 网络

随着光纤通信技术、计算机技术、多媒体技术的发展,传统计算机网络已成为信息处理的一个重要瓶颈。例如,支持多媒体及可视化计算机的基本要求是 100Mbit/s 网络;传统网络的骨干网也需要高速网络等。在这一背景下,网络新技术不断涌现,例如, Fast Ethernet, 交换式 Ethernet, FDDI, FR, DQDB, SMDS, ATM, B-ISDN 等,这些新技术不仅使计算机网络具有更高的传输速率和更大的吞吐量,而且使得网络中原有的一些基本概念发生了变化。例如,宽带综合业务数字网 B-ISDN 的出现,改变了电话网传送话音信号及计算机网传送数据的分工,将话音、数据和图像合在同一网络中传输。

本节主要介绍的高速网络有:

局域网:快速以太网 (Fast Ethernet)。

城域网:光纤分布式数据接口 (FDDI: Fiber Distributed Data Interface)。

城域网:分布队列双总线 (DQDB: Distributed Queue Dual Bus)。

城域网:交换式多兆位数据服务 SMDS (Switched Multimegabit Data Service)。

由于 B-ISDN 的出现,局域网、城域网以及广域网的界限已变得较为模糊。这是因为所有的这些网络都将成为整个 B-ISDN 的一部分。虽然如此,但是城域网仍有其自己的特点。

也有一些文献将 FDDI 和 DQDB 划分为高速局域网的范畴,因为它们的工作原理和现有的一些局域网有不少相似之处。

7.3.1 快速以太网

快速以太网（Fast Ethernet）的数据传输速率为 100Mbit/s。Fast Ethernet 保留着传统的 10Mbit/s 速率 Ethernet 的所有特征，即相同的帧格式，相同的介质访问控制方法 CSMA/CD，相同的组网方法，而只是把 Ethernet 每个比特发送时间由 100ns 降低到 10ns。表 7.6 是以太网和快速以太网的比较。

表 7.6 以太网和快速以太网的比较

| 特 点        | 以太网       | 快速以太网 100Base-T 昉 |
|------------|-----------|-------------------|
| 速率         | 100Mbit/s | 100Mbit/s 昉       |
| 价格         | X 元       | 低于 2X 元昉          |
| IEEE 标准    | 802.3     | 802.3 昉           |
| 介质访问控制     | CSMA/CD   | CSMA/CD 昉         |
| 拓扑结构       | 总线或星型     | 星型昉               |
| 线缆支持       | 电缆，UTP，光纤 | UTP，STP，光纤昉       |
| 用 UTP 联接距离 | 100m      | 100m 昉            |
| 介质独立接口     | AUI       | MII 昉             |
| 全双工能力      | 是         | 是昉                |
| 厂商广泛支持     | 是         | 是昉昉昉              |

为开发快速以太网技术，IEEE 802 委员会委托 3COM 公司、Bay Networks 公司为首的集团和以 HP 公司、AT&T 公司为主的联盟负责开发。于 1995 年 9 月，IEEE 802 委员会正式批准了 Fast Ethernet 标准为 IEEE 802.3u。IEEE 802.3u 标准在 LLC 子层使用 IEEE 802.2 标准，在 MAC 子层使用 CSMA/CD 方法，只是在物理层作了一些调整，定义了新的物理层标准 100Base-T。100Base-T 标准采用了介质专用接口（MII：Media Independent Interface），它将 MAC 子层与物理层分隔开来，使得物理层在实现 100Mbit/s 速率时所使用的传输介质和信号编码方式的变化不会影响 MAC 子层。Fast Ethernet 的协议结构如图 7.16 所示。

快速以太网支持结构化布线，包括 3 类、4 类、5 类无屏蔽双绞线 UTP、100Ω屏蔽双绞线 STP 以及光纤等，这些介质都是当前流行的，且各类介质可混合使用，通过中继器或交换机连接起来。

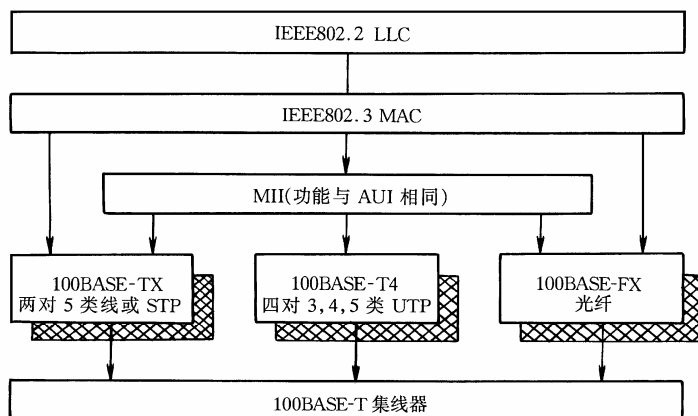


图 7.16 Fast Ethernet 协议结构

为了支持各种类型的介质，快速以太网提供了三种类型的发送接收器，两种用于双绞线（即 100Base-TX 和 100Base-T4），一种用于光纤（即 100Base-FX）。

100Base-TX 支持 2 对五类非屏蔽双绞线 UTP 或 2 对一类屏蔽双绞线 STP。1 对五类 UTP 或 1 对一类 STP 用于发送，而另 1 对双绞线可以用于接收，因此 100Base-TX 是一个全双工系统，每个节点可以同时以 100Mbit/s 的速率发送与接收数据。

100Base-T4 支持 4 对三类非屏蔽双绞线 UTP，其中有 3 对用于数据传输，1 对用于冲突检测。

100Base-TX 支持 2 芯的多模或单模光纤。100Base-TX 主要是用作高速主干网，从节点到集线器 HUB 的距离可以达到 450m。

### 7.3.2 光纤分布式数据接口 FDDI

#### 1. FDDI 概述

光纤分布式数据接口 (FDDI :Fiber Distributed Data Interface) 是美国国家标准协会 ANSI，于 1982 年制定的一个使用光纤作为传输媒体的、高速的、通用的令牌环型网标准，随后被通过为国际标准 ISO 9314。FDDI 网络可作为高速局域网 HSLN，在小范围内互联高速计算机系统，或作为城域网 MAN 互联较小的网络，或作为主干网互联分布在较大范围的主机，也可以桥接局域网和广域网。以 100Mbit/s 的速率，跨 100km 距离，连接多达 500 个设备。

##### 1) FDDI 的技术特点

- 使用基于 IEEE 802.5 的单令牌的环网介质访问控制 MAC 协议；
- 使用 IEEE 802.2 协议，与符合 IEEE 802 标准的局域网兼容；
- 数据传输速率为 100Mbit/s，连网的站点数≤1000，环路长度为 100km；
- 可以使用双环结构，具有容错能力；
- 可以使用多模或单模光纤或双绞线作为传输媒体；
- 具有动态分配带宽的能力，能支持同步和异步数据传输。

##### 2) FDDI 的应用环境

根据网络连接的站点数和覆盖的地理范围不同，FDDI 标准中描述了 4 种应用环境：

- 前端网络（或办公室、建筑物环境）。具有大量的非容错单连接站点，使用星型布线

方案。在此环境中,小型计算机、通信集中器、工作站、PC 机和外部设备经过集中器连接到 FDDI 网络。集中器与下属站点的连接可采用星形拓扑。

- 主干网(或校园环境)。站点分布在多个建筑物中,其中可能有距离长达 2km 的点到点链路。在这种应用环境中, FDDI 可作为办公室或建筑物环境和数据中心环境的网络以及其他一些低速网络之间的主干网。

- 多校园网环境。站点群分布在不同的场地,各场地间的距离可能达 60km 或更大。多校园网环境也许要跨越不同的公司或机构,这表示 FDDI 可用作城域网。

典型的 FDDI 作主干网互连多个局域网的结构如图 7.17 所示。

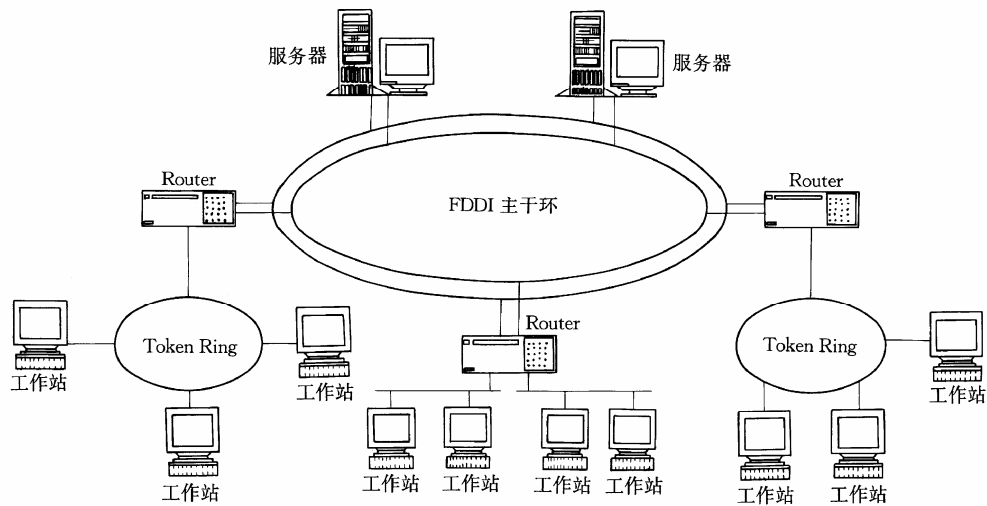


图 7.17 用作主干网的 FDDI

FDDI 是 20 世纪 80 年代初为传输数据而设计的高速分组交换局域网,不支持多媒体应用。为了解决多媒体在 FDDI 上的应用问题,1991 年 ANSI 制定了 FDDI-II 的标准。

FDDI-II 不仅能够支持原有的分组交换服务,还能够提供等时的电路交换服务,包括提供话音、静止图像和活动图像等服务。等时服务是现代通信技术中经常使用的一种通信方式,与传统的分组交换服务相比有自己的特点。等时服务的数据流量相应于一系列数字采样,在数据量和时间上要求精确。因此,等时数据必须与时钟同步,传输等时数据的网络必须维持精确的同步机制。FDDI-II 的等时服务是在两个或多个端口间以固定速率提供连续、同步的通信服务。

随着网络通信技术的飞速发展,数百兆甚至上千兆的通信产品不断出现,未来的 FDDI 将呈两极化发展,一个是价廉物美的铜分布式数据接口(CDDI: Copper Distributed Data Interface),另一个就是宽带集成的 FDDI-II,最后将过渡到 FFOL(Follow On LAN),使 FDDI 覆盖从桌面系统局域网至城域网的各种应用。有关 FDDI-II 的详细资料可参阅其他文献。

## 2. FDDI 的协议结构

FDDI 是一种物理层和数据链路层标准,其协议体系结构与 OSI 的关系如图 7.18 所示。FDDI 协议由 4 部分组成。

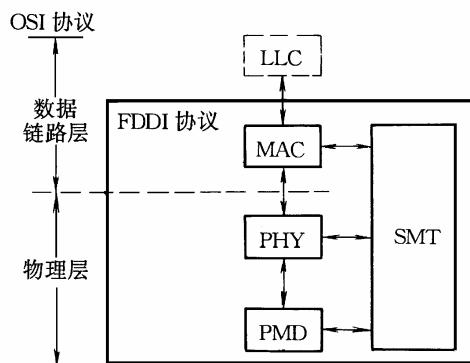


图 7.18 FDDI 协议体系结构与 OSI 的关系

#### (1) 媒体访问控制子层 MAC

MAC 是数据链路层的一个子层。它定义了访问媒体的方式，包括定义令牌协议、令牌和数据帧的格式、令牌和帧的操作方式、令牌管理、地址选择、差错检测和恢复等一系列规范服务。MAC 上面的 LLC 子层不属于 FDDI 的范围。

#### (2) 物理层协议子层 PHY

在 FDDI 标准中，物理层被划分为两个子层，靠近 MAC 子层的是 PHY 子层。该子层规定了数据编码和解码的方法、时钟机制、帧的组装和分解以及其他一些功能。

#### (3) 物理媒体相关子层 PMD

这是物理层靠近物理媒体的一个子层，该子层规定了与传输媒体有关的物理特性，包括光纤的物理特性（损耗、带宽和色散等）、光纤连接、光旁路中继、光收发器和电源等。最初制定的 PMD 子层标准只规定多模光纤的连接，现已有适用于单模光纤的 SMF-FMD，并正在开发与同步光纤网连接的 PMD 子层标准。

#### (4) 站点管理子层 SMT

该子层以软件形式对 MAC、PHY 和 PMD 三个子层中的正确执行进行管理。

由于 FDDI 与以太网和令牌环网在某些方面很类似，因此遵守 FDDI 标准的各站可在物理层和数据链路层互相协作，但在更高层次则完全可以自由地使用任何通信协议，例如，OSI 和 TCP/IP 等。

### 3. FDDI 网络的组成

环形网的最大缺点是可靠性差，一段链路或一个站点出故障，可以使整个环形网瘫痪。为了大大提高网络的可靠性，FDDI 网络采用了自恢复的措施。下面以双连接站组成 FDDI 网络为例说明其工作过程。

一个双连接站 DAS(Dual Attachment Station)可以有 1 个或 2 个 MAC 实体，能够和两个不同方向的环路相连。这样，可以通过双连接站使 FDDI 网络由两个数据传输方向相反的环组成（图 7.19）。在图 7.19 中的每个方框代表一个站点，每个站点中的小黑点代表 MAC 实体逻辑连接。在正常情况下，只有一个方向的环路工作，这个工作的环路叫作主环，而另一个不工作的环路叫做次环。但当环路的链路或站点出现故障时，FDDI 可以自动重新配置，同时启动次环工作，从而使整个网络能够继续工作。

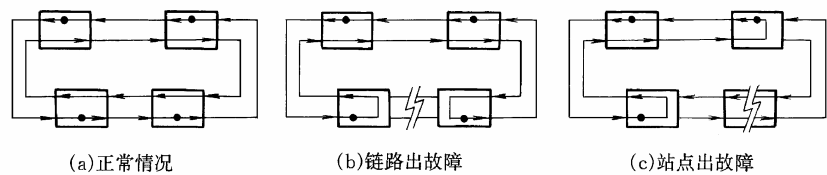


图 7.19 具有双环的 FDDI

4. FDDI 的 4B/5B 编码

为了便于在接收端提取同步信号，恢复时钟同步，在局域网广泛使用差分曼彻斯特编码（或称差分双相编码），但该编码方式使传输的码元速率提高了一倍。在 FDDI 网络中数据率已高达 100Mbit/s,如果仍采用差分曼彻斯特编码,则传输的光信号码元速率将达到 200Mbit/s,这无疑增加 PMD 硬件实现的难度与成本。

为了限制速度、减小硬件实现的难度，FDDI 采用了 4B/5B 编码。这种编码的特点是将欲发送的数据流每 4bit 作为一组，然后将这个 4bit 码按照 4B/5B 编码规则，转化成相对应的 5bit 码。编码规则保证：无论 4bit 码为何种组合（包括全 0 在内），所转换成的 5bit 码中，至少有 2 个 1，即保证在光纤中传输的光信号码元至少发生两次跳变，从而保证了收端时钟的提取。这样,对于 100Mbit/s 的数据率,在光纤媒体上传送的光信号码元速率相当于 125MBaud，只比原数据率增大 25%。

在 5bit 码中共有 32 种组合。但只使用其中的 24 种；16 种对应于 16 种 4bit 码，而 8 种用作控制码（如帧的开始和结束，光纤线路的状态是静止、空闲或暂停等）。5bit 码和 4bit 码的对照关系如表 7.7 所示。

表 7.7 5bit 和 4bit 码的对照表

| 5bit 码 | 代表符号 | 4bit 码 | 5bit 码 | 代表符号 | 4bit 码 |
|--------|------|--------|--------|------|--------|
| 11110  | 0    | 0000   | 10010  | 8    | 1000 呀 |
| 01001  | 1    | 0001   | 10011  | 9    | 1001 呀 |
| 10100  | 2    | 0010   | 10110  | A    | 1010 呀 |
| 10101  | 3    | 0011   | 10111  | B    | 1011 呀 |
| 01010  | 4    | 0100   | 11010  | C    | 1100 呀 |
| 01011  | 5    | 0101   | 11011  | D    | 1101 呀 |
| 01110  | 6    | 0110   | 11100  | E    | 1110 呀 |
| 01111  | 7    | 0111   | 11101  | F    | 1111 呀 |

7.3.3 分布队列双总线 DQDB

分布式队列双总线（DQDB：Distributed Queue Dual Bus）是由 IEEE 802.6 分委员会制定的城域网标准。DQDB 所追求的目标与 FDDI 非常类似，都是在大的地理范围内提供综合服务，如话音、图像和数据传输的高速通信网络。但在媒体访问控制 MAC 方案、协议、历史



演变、产品成熟程度和产业支持等方面都与 FDDI 不同。FDDI 开始仅用于数据传输,而 DQDB 一开始就提供电路交换和分组交换服务。

### 1. DQDB 的特性及应用

#### (1) DQDB 的主要特性

- 使用双总线结构,每条总线都可以独立运行;
- 使用 802.2LLC 标准,与 IEEE 802 局域网兼容;
- 可以使用多种传输媒体,包括光纤、微波和同轴电缆等;
- 采用构成回路的双总线拓扑,确保容错能力;
- 数据率为 34~155Mbit/s 或更高;
- 同时支持等时电路交换和分组交换;
- 理论上网络运行与工作站的数据目无关。但 IEEE 802.6 标准还是对 DQDB 作了限制,即结点 512 个、范围 160km、数据率 150Mbit/s。

#### (2) DQDB 的应用

城域网 MAN 是一个覆盖一个城市的很大的局域网,它以光纤能提供的速率传输数据,典型的城域网在较大范围内将多个局域网互联起来。一个城域网既可是公用网,也可以是专用主干网。

· 当城域网为公用网时,DQDB 子网提供高速数据、话音和图像服务的交换、路由选择和复用,也能互联其他专用 DQDB 子网和其他专用网。

· 当城域网为专用主干线时,DQDB 子网就成为互联主机终端、综合话音数据工作站、局域网、专用小交换机 PBX 和电视会议设备的主干网。

· 也可以使用网桥、路由器、网关和其他网络来互联 DQDB 子网,形成更大的城域网。

由于 DQDB 的标准化工作是与 B-ISDN 同期进行的,相互都吸收了对方的优点,尤其是其数据帧的格式类似,使得 DQDB 与 B-ISDN 的连接非常容易。当然,DQDB 也有其缺点,最明显的是网络在负荷较重的情况下,节点无法获得公平的服务,这是由于节点所获得的服务与其在总线上的位置密切相关。目前,DQDB 技术已经在城域网中进行实际的应用。

### 2. DQDB 的结构原理

#### (1) DQDB 的组成

DQDB 网络由两个传输方向相反的单向总线和连接在双总线上共享总线带宽的多个节点组成,如图 7.20 所示。允许任何节点间使用全双工通信,但是,一个给定的节点同另一个节点通信时,必须知道应使用哪一条总线。否则,所有的信息必须同时向两条总线发送,以确保信息的传递。

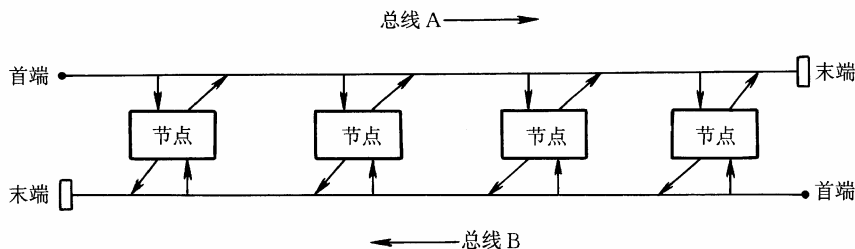


图 7.20 DQDB 的双总线拓扑结构

每条总线为单向传输，各站共享带宽，为保证媒体访问的正常进行，在每条总线上传输数据要按时序的固定长度单元进行。总线上的节点可以根据接入协议，将要传输的信息写入时隙，所有时隙均始于首端，终于末端。因此，总线首端节点具有一些特殊功能，称为总线首端功能。这些功能之一是产生传输时隙，首端必须按一定规律产生空时隙，以便供总线上其他结点在这些空时隙上写数据。

## (2) 节点的接入控制

DQDB 子网中的每个节点由一个接入单元 AU (Access Unit) 和与 AU 相连的两条总线构成。接入单元有两个主要的功能，其一，它执行节点的 DQDB 层功能，包括接入控制和产生要放入时隙中的信息，其二，对于每一根总线都具有单独的读连接和写连接（这是指物理连接）。DQDB 节点的结构如图 7.21 所示。

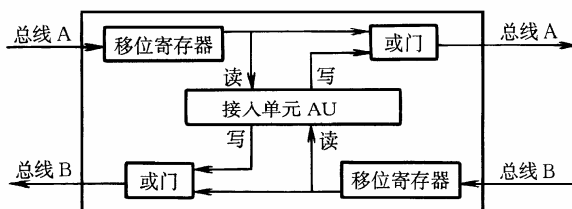


图 7.21 DQDB 节点的结构

接入单元 AU 对每条总线有“读”和“写”两种操作。为了使一个节点读数据（即复制到来的数据）不受该节点写数据的影响，必须在逻辑上使读功能先于写功能，并且接入单元 AU 对总线进行写操作时，使用“OR 写”过程。之所以称为“OR 写”，是因为在总线上进行写操作等价于已在总线上传送的比特流和该节点要发送的比特流的逻辑或。即若进入节点的比特和节点要发送的比特都是 0，则总线上发送 0；否则总线上发送 1。也就是说，对于一次“或”(OR)的写过程，比特 1 能覆盖 0，但比特 0 不能覆盖比特 1。

读和写功能可以使用有源的或无源的技术实现。因为有源的方法是将总线的的数据读出后，经再生后再向总线发送。无源系统只读到来的数据，不能再生，也不能将它从总线上去除。由于无源技术使得每增加一个站要引起信号衰减，因而限制了在总线上站点的数目。

DQDB 有一些重要特点：

- 总线与各个接入单元的运行是相互独立的。因此，一些接入单元停止运行或从网络中去除，不会影响网络其他部分运行。

- DQDB 网络必须考虑定时和同步问题。在正常情况下，网络用一个单独的信号源来产生时隙定时，以保证所有的节点能够在正确的时刻以相同的速率传送数据。这对 DQDB 的正常运行和提供没有定时滑动的等时服务是很重要的。

当 DQDB 网络与公用网相连并提供等时服务时，通常由公用网提供定时，在其他情况下，可由 DQDB 网络中的结点提供定时，但时钟信号必须是  $125\mu\text{s}$  的整数倍。

- DQDB 网络支持各种数据服务，对话音、图像和实时数据在内的等时服务必须严格保证按照一定的周期访问媒体。DQDB 的预仲裁 (PA:Pre-Arbitrated) 访问方法是专门为等时应用在媒体上预留所需的时间。对所支持的无连接和面向连接的数据服务，因为是异步的，所以不要求严格按照一定的周期访问媒体，也不需要为这些应用预留时间，而是按需分配，使用排队仲裁 (QA:Queued Arbitrated) 访问方法来竞争总线的可用带宽。

3. 城域网 IEEE 802.6 标准

IEEE 802.6 是为城域网制定的标准。因为该标准的分组数据部分能够在 IEEE 802.2 的逻辑链路控制协议下工作，所以它也非常适合于 IEEE 802 系列的局域网体系结构。

从层次上来看，IEEE 802.6 标准描述了两个逻辑层次：物理层的 DQDB 层，如图 7.22 所示。

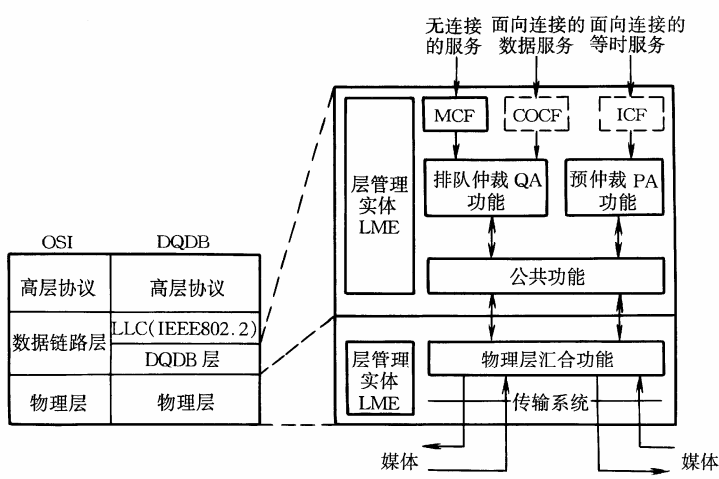


图 7.22 IEEE 802.6 的协议体系结构

(1) IEEE 802.6 的物理层

物理层与 OSI 的物理层相对应，它包括三个功能实体，即

- 传输系统：该系统为上面的物理层汇合功能实体提供了一个传输界面。规定了允许使用的传输媒体的传输速率。现有标准支持的传输媒体有北美的 DS3 (44.736Mbit/s)，欧洲的数字三次群 (34.368Mbit/s) 和四次群 (139.264Mbit/s)，以及 SONET/SDH (155.52Mbit/s 或更高)。IEEE 802.6 标准对总线最大长度和节点数多少未做规定。
- 物理层汇合功能：这一实体屏蔽了不同传输系统的差异，起到了传输系统与 DQDB 层的适配作用。对于不同的传输系统，一般需要定义不同的物理层汇合功能实体。
- 物理层管理实体：该实体对本地的物理层功能实行管理，还提供管理接口以便远端也能对本地的物理层进行管理。

(2) IEEE 802.6 的 DQDB 层

DQDB 层对应于局域网标准 IEEE 802.3~5 中的 MAC 子层。它包括四个功能实体，即公共功能、访问控制功能、汇合功能和 DQDB 层管理实体。DQDB 层向高层提供的服务有三种：无连接（数据报）MAC 服务、面向连接（虚电路）数据服务和等时服务；DQDB 层有两种访问控制方式（QA 和 PA）来支持这些服务，预仲裁 QA 支持那些对时间不敏感的服务，如异步或分组交换的数据传送，而排队仲裁 PA 则支持对时间敏感的服务，如电路交换的数据服务；DQDB 层的层管理实体管理本地的 DQDB 层功能；公共功能提供物理层和 DQDB 的预仲裁和排队仲裁功能间的公共协议，提供电路交换和分组交换的公共平台。

现在，人们认为城域网 MAN 是 B-ISDN 的早期实现。这是因为 DQDB 和 FDDI-II 这样的城域网都具有提供 B-ISDN 服务所必备的特性，如：数字信令、高数据率（比 ISDN 的 1.544 或 2.048Mbit/s 一次群接口速率要高得多）、以及综合电路交换和分组交换数据的能力。此外，

早期提供的 B-ISDN 服务将可能集中在人口稠密地区,需要高速网络的支持。因此,城域网 MAN 将是 B-ISDN 的一个不可分割的组成部分。

DQDB 已被设计成支持当前在电话领域中用得非常普遍的数字等级结构,这与 ISDN 和 B-ISDN 非常相似。另外,DQDB 可运行在 SONET/SDH 之上,而这也是 B-ISDN 的实现的基础。IEEE 802.6 委员会还与制定 ISDN 标准的机构密切合作,以确保 DQDB 的 PDU 与 B-ISDN 的 PUD 的兼容性。所有这些都保证了 DQDB 在向 ISDN 环境过渡中处于一种优越的地位。

### 7.3.4 交换式多兆位数据服务 SMDS

#### 1. 概述

交换式多兆位数据服务 SMDS 是由美国 Bellcore 公司提出的,提供 DS-1 到 DS-3 速率的高速城域服务,基于 IEEE 802.6 标准。SMDS 是高速交换式数字服务网,它采用了与 ATM 高度兼容的信元交换技术,其信元尺寸都与 ATM 保持一致,只是其内部有些区别。因此,SMDS 与未来的 ATM 连接非常方便,对用户而言也可以用作向 ATM 技术过渡的一种策略。

如果从 SMDS 与 DQDB 的关系来看,SMDS 一词常被用作 DQDB 的同义词,SMDS 服务是通过 DQDB 的接入来提供的。但 SMDS 与 DQDB 在概念上的理解是不同的:SMDS 是一种服务,而 DQDB 是一种承载子网。

SMDS 的服务具有如下的特点:

- SMDS 的目标是在 LAN 之间传送数据,其标准速率设计成 45Mbit/s。城域网 MAN 也可提供这种速率,但它不是交换的,为了联接各个局域网,需要有分别接到各个局域网的线,只有在同一城市才可能。而 SMDS 是交换的,每个局域网接入就近的 SMDS 交换设备,它通过 SMDS 网再传到目的地。

- SMDS 的基本服务是无连接的分组传递服务。它的分组的格式包含三部分,即目的地址、源地址、以及可变长的用户数据,最长为 9188 字节。

- SMDS 使用了一个 MAC 级的过滤技术,可实现广播服务。在出入处有地址屏蔽功能,用户可给出一批电话号码,只有这些地址的用户才能收到该用户发送的数据,或该用户接收从给定地址的那些用户发来的数据。因此,利用这个功能,用户可构成自己的专用网和专用接口,可增加网络的安全保密性。

- SMDS 的数据域最长为 9188 字节。该数据域可包含任何类型的数据,如以太网分组、IBM 的 Token Ring 分组、IP 分组等,它只是将这些数据从源地址传到目的地址,而不作任何修改。

SMDS 主要缺点之一是不支持等时服务,但这一缺陷易于用其它手段所弥补。

#### 2. MAN 环境中的 SMDS 网络

SMDS 网络的接入要通过一个专用链路,来支持各用户所在地设备(CPE)实现无连接高速分组服务。SMDS 网络访问 DQDB 是建立在 SMDS 接口协议(SIP)基础上,通过 MAN 的用户网络接口协议(SNI)来实现的。如图 7.23 所示,其中 SNI 为用户网络接口、MSS 为城域网交换系统、CPE 为用户所在地设备、SIP 为 SMDS 接口协议。

SMDS 可提供经过网络的数据传输,规定一些用户接入类别(主要指速率),还定义了其它一些设施,如安全设施使城域网交换系统 MSS 能够鉴别发送到目的站或从源站接收的数据帧是否合法。

在用户网络接口(SNI)上,用户所在地设备(CPE)连到一接口上,该接口设备可通过一条专用路径为MAN交换系统(MSS)提供连接。只有那些来自CPE或指定到CPE属于某一特定用户的数据才会通过该SNI传输。因为在用户之间是不共享接口的,从某一个用户来的数据绝不会被其它用户见到,这种专用的接口设备提供了一个专用的和安全的网络服务功能。

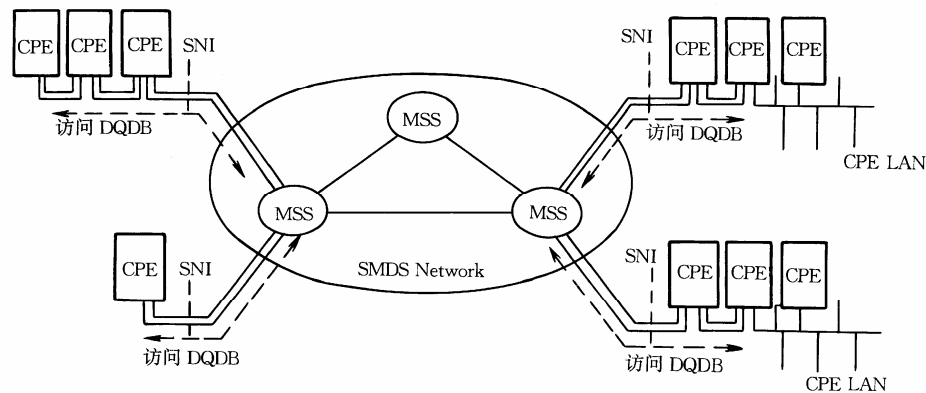


图 7.23 MAN 环境中的 SMDS

3. SMDS 接口协议——SIP

访问 DQDB 是建立在 SMDS 接口协议 (SIP) 基础上的。SIP 包括三个协议层,规定了帧结构、寻址方法、差错控制和在 SNI 的数据传送。这些规范提供了对 SMDS 服务的基本要求的定义以及用户如何使用这些服务。

SIP 等价于 IEEE 802 标准所描述 MAC 子层和物理层。这样就可以使得在用户网络接口 SNI 处由用户设施所进行的处理开销尽可能小。目前还没定义高层协议,但在现存的网桥、路由器和网关中的协议仍能使用。

SIP 可实现的一个任务是将 SMDS 数据单元均分成具有固定长度的数据包,这些数据包被传输通过用户网络接口 (SNI) 时,可允许不同的 SMDS 数据单元来交叉存取,这就允许 MAN 交换系统 (MSS) 或用户所在地设备 (CPE) 能在多兆位速率下同时发送和接收通过 SNI 的多个 SMDS 数据单元。在一个多 CPE 接口设备中最多允许 16 个用户设备在一个访问 DQDB 上运行。

## 7.4

### 7.4.1 网络互联概述

局域网一般是为一个单位、一个地区所有,但广泛应用的结果必然要求跨部门、跨地区甚至跨国界的网络互联,以便进行无纸贸易、国际间电子邮件的传送、数据信息查询等服务。因此,局域网络技术发展的结果必然导致网络互联。

1. 网络互联的要求

所谓网络互联,是指将分布在不同地理位置的网络、设备连接,以构成更大规模的互联网络系统,实现互联网络资源的共享。互联的网络和设备可以是同种类型的网络、不同类型

的网络，以及运行不同网络协议的设备与系统。在互联网中，每个网络中的网络资源都应成为互联网中的资源。互联网络资源的共享服务与物理网络结构是分离的。对于用户来说，互联网络结构对用户是透明的。互联网络应该屏蔽各子网在网络协议、服务类型与网络管理等方面的差异。

网络互联的具体方法有很多种：局域网与局域网互联，局域网与广域网互联，广域网与广域网互联等等。但总的来说，进行网络互联时应当做到以下几点。

- (1) 在网络之间至少提供 1 条物理上连接的链路及对这条链路的控制规程。
- (2) 在不同网络的进程之间提供合适的路由，以便交换数据。
- (3) 对用户使用互联网络提供计费服务，它始终记录不同网络 and 不同网关的使用情况，并维护这些状态信息。

在提供上述服务时，要求不修改原有网络的体系结构，能适应各种差别：不同的寻址方案、不同的最大分组长度、不同的网络访问控制方法、不同的超时控制、不同的差错恢复方法、不同的状态报告方法、不同的路由选择方法、不同的用户访问控制、不同的服务——面向连接服务和无连接服务、不同的管理与控制方式以及不同的传输速率等。

## 2. 网络的互联类型

网络在互联时，一般不能简单地直接相连，而是通过一个中间设备互联。这个中间设备称为中继 (relay) 系统。在两个网络的连接路径中可以有多个中继系统。如果某中继系统在进行信息的转发时与其他系统共享共同的第  $n$  层协议，那么这个中继系统就称为第  $n$  层中继系统。这样，按中继系统属于的层次来划分，可将中继系统（即中间设备）分为以下 5 种。

- (1) 转发器 (Repeater)：又称为中继器，在物理层实现互联。
- (2) 网桥 (Bridge)：又称为桥接器，在数据链路层实现互联。
- (3) 路由器 (Router)：在网络层实现互联。
- (4) 桥路器 (Brouter)：是网桥和路由器的混合物，兼有网桥和路由器的功能。
- (5) 网关 (Gateway)：又称为网间连接器或连网机，在传输层及以上的层次实现互联。

应该说明的是，不少文献将网桥、路由器、网关等都称为网关，因此，要注意它们指的是在哪一层上进行网络互联。

## 7.4.2 网络互联设备

### 1. 中继器

中继器 (Repeater) 工作在 OSI 的物理层，互联同类型网段，是最简单的连接设备，它的作用是对网络电缆上传输的数据信号经过放大和整形之后再发送到其他电缆段上。因此，中继器实际上只能算是数字信号的再生放大器。

中继器的作用主要是扩展连网距离，也可以改变网络的拓扑结构。由于中继器仅仅起信号的整形再生作用，因此，经过中继器连接的两段电缆上的工作站就像是在一条加长了的电缆上工作一样，在一段电缆上的冲突也将被中继器传到另一段电缆上。通过中继器连接起来的各个网络段仍属于一个网络系统，各个网络段不必单独配置文件服务器。因此，一般不认为这是网络互联，而只是将一个网络的作用扩大了而已。

### 2. 网桥

#### 1) 网桥的工作原理

网桥 (Bridge) 是一种实现局域网互联的常用技术, 属于节点级的网络互联设备, 它工作在 OSI 模型的第 2 层 (数据链路层), 用于两个网络链路层的连接。由于局域网的数据链路层分为 LLC 和 MAC 两个子层, 所以网桥实际上是在 MAC 子层实现不同网络的互联, 这就要求互联的两个网络从应用层到逻辑链路控制子层, 相对应的层次采用相同的协议, 即为同构网络, 而对数据链路层中的 MAC 子层和物理层这两层中的对应层次可遵循不同的协议。因此, 网桥可以用于互联符合 IEEE 802 标准的, 诸如 CSMA/CD 总线网、令牌环网或令牌总线网。

网桥通过分析帧地址字段, 以决定是否把收到的帧转发到另一个网络上, 其工作原理如图 7.24 所示, 网桥 1, 2 分别互联 LAN1, LAN2 和 LAN3。在图中, 两个局域网 LAN1 与 LAN2 可以通过网桥互连。LAN1 中地址为 101 的节点如果想与地址为 102 的同一局域网节点通信时, 网桥可以接收到发送帧, 但网桥在进行地址过滤后, 认为不需要转发, 而将该帧丢弃。如果节点 101 要与 LAN2 中节点 203 通信, 节点 101 发送的帧被网桥接收到, 网桥在进行地址过滤后, 识别出该帧应发送到 LAN2, 此时网桥将通过与 LAN2 的网络接口, 向 LAN2 转发该帧, 处于 LAN2 中的 203 节点将能接收到 LAN1 中的 101 节点发送的帧。从用户看来, LAN1 与 LAN2 就像是在逻辑上的同一个网络一样, 用户可以不知道网桥的存在。网桥在局域网中经常被用来将一个大型局域网分成既独立又能相互通信的多个子网的互连结构, 从而可以改善各个子网的性能与安全性。

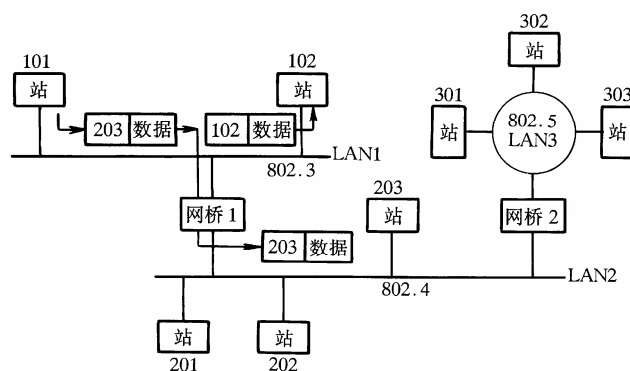


图 7.24 用网桥实现局域网的互联

## 2) 网桥的分类

网桥的标准有两个, 分别由 IEEE 802.1 和 802.5 两个委员会来制定, 它们的区别在于路由选择的策略是不同的。基于这两种标准的网桥分别是透明网桥和源路由网桥。

### (1) 透明网桥

透明网桥标准规定路由选择功能只设在网桥中, 局域网上的各站不设路由选择。这类网桥之所以被称为透明网桥是因为每个站并不知道发送的帧将经过哪几个网桥, 网桥对各站来说是看不见的, 即是透明的。

为了在网桥中实现路由选择功能, 需要在网桥中建立一张站表, 在表中为每个工作站都设置一个站表, 站表中含有站地址、端口号、LAN 类型和站表登记时间 (或帧到达时间) 等信息。端口号指示将帧发往目的地址应从哪个端口发送出去 (或发往相连的哪个网络); LAN 类型用于标识 MAC 规程, 以便了解是否需要进行协议转换; 站表登记时间用于记录帧的到

达时间，以便在站表中保留网络拓扑的最新状态信息，因为在网桥中有一个程序，周期性地扫描表中的项目，只要在几分钟以前登记的都一律清除。

网桥在收到一帧时，是丢弃此帧还是转发此帧，如果是转发，应向哪个端口或局域网（一般网桥具有多个端口，互联多个局域网）转发，这是根据网桥中的站表来决定的。因为站表指明了每个站（作为目的站）应属于哪一个局域网。例如，图 7.24 中网桥 1 将 LAN2 和 LAN3 上的工作站都看成是属于和网桥 1 相连的 LAN2，使用的是 802.4 协议。

当一个网桥刚连接到局域网上时，其站表是空的。这时，若网桥收到一帧，显然不能根据站表来决策。网桥便采用“洪泛法（扩散法）”将收到的帧向除进入端外的所有端口转发，如果这个帧又到了另一个网桥，则该网桥也按同样方法进行转发，直至到达目的站为止。网桥在转发过程中，将帧的源地址、进入桥端口号等信息记入站表。

综上所述，可得到透明网桥的路由选择方法为：当网桥收到一个局域网  $x$  转发来的帧时：

- 如果查表发现要发往的局域网正好就是局域网  $x$ ，则丢弃此帧；
- 如果查表发现要发往的局域网不是局域网  $x$ ，则按表上地址转发此帧；
- 如果查表找不到要发往的局域网，则使用洪泛法转发此帧，把该帧发往所有与该网桥相连的局域网（局域网  $x$  除外）。

现在已经有实现这种方法的专用芯片，只需几个微秒就可以执行完全部的流程。

实现这种网桥的功能假定了在任意两个局域网之间只有一条通路。如果实际情况是在两个局域网中有两个网桥，该标准也制定了相应的算法，保证了整个互联的局域网满足透明网桥选路方法所需要的条件。

### (2) 源路由网桥

源路由网桥是 80 年代初由 IBM 公司提出，并被 IEEE 802.5 分委员会接受作为令牌环局域网的网桥标准 IEEE 802.5。源路由网桥也属于 MAC 子层网桥，用于 IEEE 802.5 局域网互联。

源路由网桥是由发送帧的源站负责路由的选择。显然，这里的关键是源站如何确定应选的路由。为了找到合适的路由，源站以广播方式向目的站发送一个探测帧，该探测帧在传送过程中将记录下它所经历的路由。当帧到达目的站时，又各自沿原路返回。源站在得知这些路由后，可从中选择一条最佳路由作为以后通信的路由。这条路由信息将反映在帧的首部当中。当然，以广播方式获得的路由也不允许存在兜圈子现象。

由于路由是由源站确定的，这就简化了网桥的功能。网桥收到一个帧时，只要从帧的首部中找出应由哪个端口发出去即可。在网络拓扑发生变化时，源站应负责建立新路由并删除旧路由。

源路由网桥的最大优点是选择了最佳路由，能较好地使用局域网间的冗余链路，均衡网络负载；其缺点是有可能造成帧的兜圈子现象，增加了主机的负担。

### (3) 透明网桥与源路由选择网桥的对比

两种网桥一个很大的区别是：透明网桥的每一个帧都独立地选择路由，我们称之为是无连接的；源路由选择网桥是面向连接的，因为源站已经选好了一条到达目的站的通路，所有发往该目的站的帧都走这一条通路。

透明网桥在工作上是完全透明的，安装时无需改动硬件和软件，便于安装和管理。源路由选择网桥对工作站用户不透明，他们必须了解网络互联关系，参与路径选择。如果不慎将网桥或局域网的标识符写错或写重复，则可能产生帧在网上兜圈子的现象，并且很难检测出



这种故障。因此，源路由选择网桥管理比较麻烦。

用源路由选择网桥完全可以选择最佳路由，能较好地利用冗余的网桥，分散负载，而透明网桥则做不到这一点。特别是透明网桥的站表在登记有关某个站的路由信息时，要收到该站发送的一个帧才行。若某个站迟迟不发送帧，那么透明网桥就无法知道它们在哪里。当收到要发往该站的帧时只能用“洪泛法”确定该站的地址。在不太大的网络中，透明网桥的缺点并不严重，而它们的优点深受人们欢迎，因此目前大多数厂商生产的网桥是透明网桥。

### 3. 路由器

路由器 (Router) 工作在 OSI 的第三层即网络层。它需要处理网络层的数据分组，或网络地址，决定数据分组的转发，它主要决定网络中信息通信的完整路由。由于处理的层次高，因而路由器也具有更强的网络互联功能。当互联的局域网数不多时，使用网桥是非常有效的。但是，若互联的局域网数目很多或要将局域网与广域网互联时，则采用路由器为好，因为路由器的互联功能更强。路由器是建设企业网的重要设备。

#### 1) 路由器的基本概念

##### (1) 路由器的功能

路由器是实现网络层服务的设备，它提供了各种各样、各种速率的链路或子网接口。路由器是一个主动的、智能的网络节点，它参与网络管理，提供对资源的动态控制，支持工程和维护活动。路由器的功能包括：

- 连接 WAN：它所支持的 WAN 接口有：光纤链路、X.25、帧中继、同步链路（如 T1）、ISDN、SMDS、无线链路、拨号或租用电话线以及 ATM 等；
- 数据处理：包括过滤、转变、优先、复用、加密和压缩；
- 管理设施：包括配置管理、容错管理和性能管理等。

##### (2) 路由器的分类

· 从支持网络协议能力的角度考虑，可把路由器分为单协议路由器和多协议路由器。单协议路由器只能应用于特定的协议环境，一般是生产厂商为某种特定的网络协议相配套而开发的，只能作为一种短期的低成本的解决方案。多协议路由器可支持当前流行的多种网络协议，具有广泛的适应性；它提供一种管理手段来允许/禁止某些特定的协议，但它并不提供各种协议之间的转换。

· 从成本的角度考虑，路由器又可分成访问 (Access) 路由器和边界 (Boundary) 路由器。访问路由器主要用来连接远程节点或者工作组进入主干网，一般由 1 个 LAN 接口、2~3 个 WAN 接口和 2~3 个网络层协议（通常包括 IP 协议）组成，属于传统的路由体系结构；边界路由器建立了一种特殊的路由体系结构，其结构特点是用一个中央交换路由器来连接所有的外围、边界路由器或远程网桥（也可作为一种边界设备）。

- 根据路由器连接的范围和能力，还可分为区域路由器、企业路由器以及园区路由器。
- 路由器产品按照性能和价格的高低，分为高、中、低等三个档次。

高档路由器构成企业互联网的主干，支持所有的路由协议和网络传输协议，支持多达几十种广域网和局域网接口类型；中档路由器一般用于大型企业中连接主干网设备，也可用于构造小型企业主干网；低档路由器一般作为访问路由器，用于将一些小规模的端点接入企业主干网。

##### (3) 路由器、网桥和局域网交换机的性能比较

路由器作为一种广域网技术，可用于局域网与局域网以及局域网与广域网之间的互连。

然而从提高网络带宽和网络互连的角度权衡，可以选择局域网交换机、网桥或是路由器三者之一来实现。局域网交换机以适当的价格提供即插即用操作，是在本地环境下理想的选择。网桥比较适合于分段网络的连接，如果局域网中有过多的负载，则可通过将网络分成若干网段来均衡负载；网桥还可用于广域网上，以连接远程局域网。路由器通常用于包含数以百计、千计节点的大型网络环境，它处于 ISO/OSI 模型的网络层，可将网络划分为多个子网，并在这些子网中引导信息流。表 7.8 给出这三种技术的比较。

表 7.8 路由器、网桥和局域网交换机技术的比较

| 性 能      | 路 由 器               | 网 桥            | 交 换 机       |
|----------|---------------------|----------------|-------------|
| 安全性/访问控制 | 支持高层协议(SMTP, FTP)过滤 | 仅支持 MAC 地址过滤   | 无或极少安全性控制   |
| 路由计算     | 以复杂的算法计算最佳路径        | 使用基本生成树算法以避免循环 | 无或极少路由选择    |
| 局域网接口支持  | 广泛支持各种局域网接口         | 不支持高速局域网接口     | 广泛支持各种局域网接口 |
| 广域网接口支持  | 广泛支持各种广域网接口         | 支持低速广域网接口      | 仅支持局域网接口    |
| ATM 支持   | 可支持                 | 不支持            | 可支持         |
| 最高吞吐量    | 225 分组/秒            | 280 分组/秒       | 240 分组/秒    |
| 安装与配置    | 较复杂                 | 简单             | 简单          |

2) IP 路由器

路由器与协议有关，不同的路由器有不同的路由器协议，支持不同的网络层协议。近年来，一些厂家根据 ISO8648 提出的网络层互连体系结构，推出了一种多协议路由器，它能支持多种协议，如 IP，IPX，X.25 及 DECnet 协议等，能为不同类型的协议建立和维护不同的路由表，这样利用路由器不仅能连接同构型局域网，还能用它连接局域网和广域网，如 IP 路由器可以用 TCP/IP 协议把以太网连到 X.25 广域网上。

这里 IP (Internet Protocol) 是指美国制定的在 Internet 中使用的互联协议，该协议提供无连接数据服务。通过 IP 协议能够实现不同网络互联的关键是在一般的网络层与运输层之间增加了一个 IP 协议层 (也有人把这层协议称为 3.5 协议)。这样不管互联的各子网之间有多少差异，当上升到 IP 层时整个网络都按照同一个协议工作了。站 A 和站 B 有共同的传输控制协议 TCP，而站 A，B 和路由器 1，2 都有共同的 IP 协议，如图 7.25 所示。图中画出了两个不同的局域网 LAN1 和 LAN2 通过 IP 路由器与 X.25 广域网互联的情况。

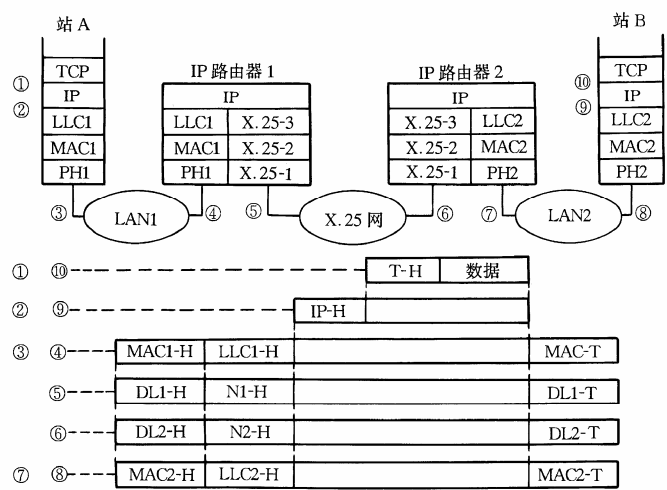


图 7.25 基于 IP 路由器的网络互联模型

当站 A 向站 B 发送数据时，站 A 上的 IP 模块首先对目的站 B 构成一个带全球地址的报头 IP-H<sub>1</sub> 加到用户数据（即①）上，组成一个 IP 数据报②，再先后由 LLC1 和 MAC1 加上首部和尾部构成帧③送至路由器 1。路由器 1 将收到的帧④拆开恢复成源数据报，同时分析报头确定该数据带的是控制信息还是数据，若是控制信息就按控制要求处理；若是数据则按目的地址选择后续路径，并按 X.25 的要求对数据进行分段，使每段成为独立的 IP 数据报，然后按 X.25 协议的帧格式予以包装成帧⑤，排成队列穿过 X.25 网络进入路由器 2。由于 X.25 协议只定义了 DTE 和公用数据网的接口，而没有涉及网络内部情况，因此，图中 X.25 广域网和 IP 路由器相连的两条链路上的帧⑤和帧⑥是不一样的，它们的链路层首部分别为 DL1-H 和 DL2-H，其尾部分别为 DL1-T 和 DL2-T，而这两条链路的帧交给网络层时，其网络层分组的首部分别为 N1-H 和 N2-H。路由器 2 将收到的帧⑥拆开恢复成数据报，选择路径后，按 LLC2 的要求组装成 IP 数据报，然后再按 LLC2 和 MAC2 的帧格式包装成帧⑦，经 LAN2 传输至站 B（帧⑧）。在目的站 B 需将相应的首、尾部剥去，恢复成 IP 数据报⑨，存入缓冲区，重装成用户数据⑩交高层协议处理，由 TCP 协议负责端到端的流控制和差错控制等。

4. 网关

网关（Gateway）用于互联异构型网络。所谓异构型网络是指不同类型的网络，这些网络对至少从网络层到物理层的协议都不相同，甚至从应用到物理层所有各层对应层次的协议都不相同。网关的基本功能是互联不同的协议框架，即实现不同网络协议之间的转换，参见图 7.26。显然，网关是互连设备中最为复杂的设备。网间互连的复杂性来自于互连网间传输的帧、分组、报文格式及控制协议的差异，以及差错控制算法、各种计数器参数及服务类别的不同等。

网关的特性主要是执行互连网间协议的转换；执行报文存储转发功能及流量控制；提供虚电路接口及相应的服务；支持应用层互通及互连网间的网络管理功能。

网关的管理设施应包括活动的会话数量及每个会话支持的交通量，失败的会话数量及建立连接期间总的会话数，每条链路的容量以及每条链路的失败记录，网关状态，可获得的链路的描述，缺省及活动的内部配置参数等。

网关的主要技术参数是 LAN 和 WAN 接口的类型与数量、并发会话数、管理接口以及特

定应用程序数量。

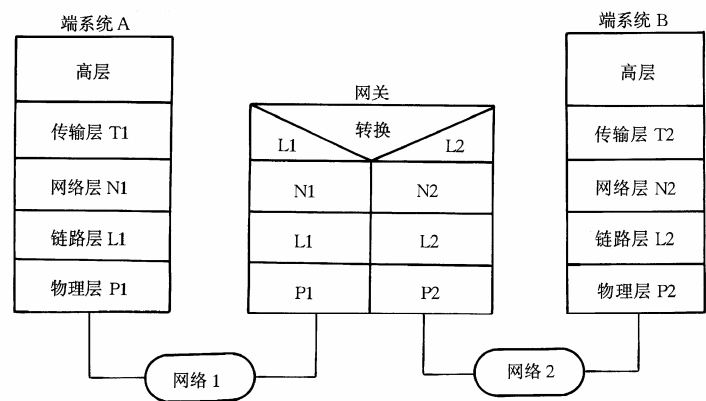


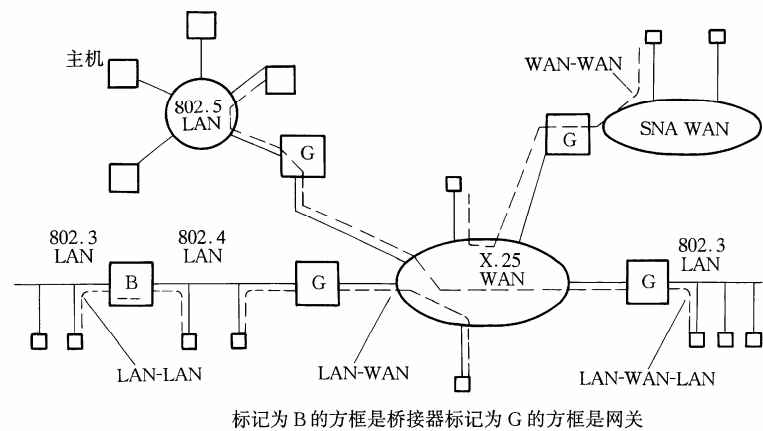
图 7.26 基于网关的网络互联模型

7.4.3 局域网互联

到此已全面的介绍了电话通信网、数据通信网和计算机通信网的基本内容，下面对这些通信网之间的互联作简要的总结。

1. 网络互联综述

通信网从类型上可以分为局域网（LAN）、城域网（MAN）和广域网（WAN），所以网络互联的类型主要有以下几类：LAN—LAN、LAN—WAN、LAN—WAN—LAN 和 WAN—WAN 等。如图 7.27 所示。



标记为 B 的方框是桥接器标记为 G 的方框是网关

图 7.27 网络互联模型

(1) 局域网—局域网互联

在实际应用中，局域网—局域网的互联是最常见的一种。局域网—局域网互联又可进一步分为以下两类：

· 同种局域网互联

符合相同协议的局域网的互联叫作同种局域网的互联。例如，两个 Ethernet 网络的互联，

或者是两个 Token Ring 网络的互联,都属于同种局域网的互联。这类互联比较简单,一般使用网桥就可以将分散在不同地理位置的多个局域网互联起来。

- 异型局域网的互联

两种不同协议的共享介质局域网的互联,以及 ATM 局域网与传统共享介质局域网的互联,都属于异型局域网的互联。例如,一个 Ethernet 网络与一个 Token Ring 网络的互联,异型局域网也可以用网桥互联起来。

符合 Ethernet、Token Bus、Token Ring 协议的局域网属于传统的共享介质局域网、ATM 局域网与传统共享介质局域网在协议与实现技术上都是不相同的。因此,ATM 局域网与传统共享介质局域网的互联必须解决局域网仿真问题(见第八章)。

## (2) 局域网—广域网互联

局域网—广域网的互联也是目前常见的方式之一。路由器 Router 或网关 Gateway(也称为网间协议变换器)是实现局域网—广域网互联的主要设备。

## (3) 局域网—广域网—局域网互联

两个分布在不同地理位置的局域网通过广域网实现互联,也是目前常见的互联类型之一。局域网主要是通过路由器或网关连到广域网上。局域网—广域网—局域网的结构正在改变传统的主机通过广域网中的通信控制处理机 CCP 的传统接入模式,大量的主机通过局域网来接入广域网是今后主机接入广域网的一种重要方法。

## (4) 广域网—广域网互联

广域网—广域网互联也是目前常见的方式之一。广域网—广域网通过路由器或网关互联起来,可以使分别连入各个广域网的主机资源能够相互共享。

在网络系统集成技术中,我们常常遇到“互联”、“互通”与“互操作”这三个术语。从网络互联角度看,网络的互联、互通与互操作表示了不同的内涵。互联是指在两个物理网络之间至少有一条在物理上连接的线路,它为两个网络的数据交换提供了物质基础和可能性,但并不能保证两个网络一定能够进行数据交换,这要取决于两个网络的通信协议是否相互兼容。互通是指两个网络之间可以交换数据。例如,在 Internet 中,TCP/IP 协议屏蔽了物理网络的差异性,它能保证互联的不同网络中的计算机之间交换数据。因此,互通仅仅涉及通信的两台计算机之间的端到端连接与数据交换,它为不同计算机系统之间的互操作提供了条件。互操作是指网络中不同计算机系统之间具有透明地访问对方资源的能力。因此,互操作性是由高层软件来实现的,例如,Internet 的两个互联网络中各有一台 Sun 工作站与一台 VAX 小型机,它们之间可以通过 TCP/IP 协议实现互通,但如不解决两个操作系统的差异性问题的话,它们也无法透明地互相访问对方资源。要做到这一点,就需要使用应用网关。因此,互联、互通、互操作表示了三层涵义。互联是基础,互通是手段,互操作则是网络互连的目的。

## 2. LAN—LAN 实现互联方式

### (1) 利用网桥/路由器实现互联

目前的局域网,不论采用哪种拓扑结构、媒体访问控制方法及传输媒体,一般都遵循 IEEE 802 标准,具有相同的 LLC 子层,而 MAC 子层和物理层则可能不同。对相距不远的局域网,可用本地网桥/路由器将它们连在一起。本地网桥/路由器有下面两种形式。

- 内部网桥/路由器:这是配置在服务器上的网桥/路由器。如一个 NetWare 服务器可以配置 4 个不同的网络适配器,只要在服务器中配置相应的网桥/路由器模块,就可以互联 4 个相同或不同的局域网,例如,连接一个以太网、两个令牌环网和一个令牌总线网。

· 外部网桥/路由器：用一台 PC 机作为网桥/路由器。在 PC 机中配置 4 个不同的网桥适配器，并装入相应的网桥/路由器模块，便可实现 4 个局域网的互联。

### (2) 利用 FDDI 实现互联

光纤分布式数据接口 FDDI 是当今最成熟、传输速率高达 100Mbit/s 的高速网络技术。采用 FDDI 可以组建高速局域网。当单位较大、含有较多的部门局域网，而且部门局域网之间的信息量较大或较频繁地访问主服务时，利用 FDDI 实现网络互联是比较恰当的。这时的网络结构实际上是一个两级网络结构，各部门的局域网为基础网，把 FDDI 作为主干网。

利用 FDDI 实现局域网互联，不仅可以提高局域网之间互访和局域网对连接在 FDDI 主干网上的服务器的访问速度，而且具有较高的可靠性和能覆盖较大的地理范围，这是因为 FDDI 非常可靠，不会因某个局域网的故障而影响其他网络。FDDI 的最大距离可达 100km，因而可用来连接地理上较分散的局域网。

### (3) 利用路由器互联

利用 FDDI 实现互联，虽然可获得较好的互联网性能，但价格昂贵、技术复杂，一般单位难于接受。主要用于构建较大且性能要求较高的互连网络。在一般情况下常用的互联设备是高档路由器。

利用路由器实现局域网互联：以路由器为中心来互联在一栋大楼或一个企业中的局域网，是前几年较常用的方式。这种互联方式实现了分布处理和集中管理，即处理功能分布在各个工作站和服务器上，但管理功能却集中在路由器上。同时还可以互联不同类型的网络，即可对在物理层、数据链路层和网络层上都不相同的网络实现互联。但是，由于路由器是在网络层上实现互联，所以时延较大。

## 3. WAN—LAN 实现互联方式

### (1) 租用专线

租用专线来互联远程局域网或广域网是目前最成熟最常用的一种方式。这种方式不仅技术成熟，而且地理覆盖面广。但是专线的租用价格昂贵（因为要应付高峰业务流量需按 3~5 倍于平均通信量租用线），所提供的服务和故障处理尚不理想，尤其是当租用专线涉及到多个国家时，一旦出现问题就较难解决。

图 7.28 是利用电话网中的租用线来实现远程局域网互联的示意图。图中的网桥/路由器 (B/R) 可用一台 PC 机担任。在 PC 机中插入一块与 LAN 相应的网卡与本地 LAN 相连，再插入一块异步通信卡，使 PC 机与调制器 (M) 相连，再将调制器通过租用专线与另一个 LAN 上相应的调制解调器相连。

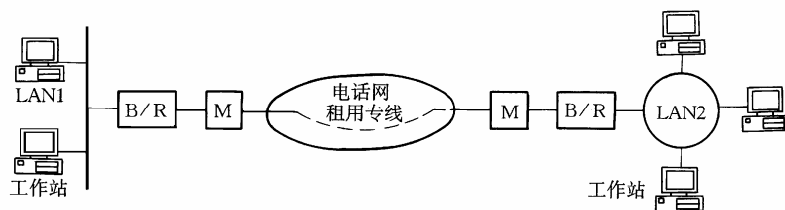


图 7.28 租用专线互联远程 LAN

### (2) 利用 X.25 分组交换网实现互联

利用 X.25 分组交换网互联远程局域网，不仅技术成熟、地理覆盖面较广，而且还有一整

套差错控制设施,能提供更多的服务,因而能适应各种网络,包括低质量网络,但是也因此使其传输速率不高,只能以 64kbit/s 的数据率运行。

### (3) 利用帧中继实现局域网互联

利用帧中继实现局域网互联(见 6.7 节)来互联远程局域网是一种常用的方式。由于帧中继具有较高的传输速率(可达 2.048Mbit/s),帧中继的流水线特性又特别适合局域网的突发性、高速率与大流量数据传输的特点,因而利用帧中继来互联局域网有很大的优越性。目前,帧中继主要还是以永久虚电路方式提供服务,类似于租用专线,但价格比租用专线便宜一半以上。

### (4) 利用 ATM 网实现远程局域网的互联

用 ATM 来互联远程网是一种比较好的方式(详见第九章),不仅传输速率很高,还能提供数据和语音业务,支持图像和视频业务,具有较广阔的发展前景。

## 4. WAN—WAN 实现互联方式

### (1) 无连接的网际互联方式

无连接互联方式是采用互联网协议 IP,通过 IP 路由器将网络互联起来。这里加上“无连接”是为了强调这种互联方式向运输层提供的是无连接服务。也就是说,不论互联的各子网之间有多少差异,比如提供无连接服务的以太网还是提供面向连接服务的 X.25 网,当上升到互联网络层时,整个网络都是按同一个 IP 协议来工作,向运输层提供无连接服务。当今,十分流行的 Internet 就是采用这种互联方式。

### (2) 面向连接的网际互联方式

由于分组交换采用的 X.25 协议,提供面向连接的服务,虽然可用 IP 实现其互联,但不能充分利用所提供的面向连接服务。基于此点,CCITT(现为 ITU-T)于 1978 年提出了用于实现 X.25 公用数据网互联的 X.75 建议书,作为 X.25 协议的一种补充,在 1984 年又提出了 X.75 的修改版本,用以实现面向连接的网际互联。因此,实现面向连接的网际互联的前提是被连子网提供面向连接的服务。

## 7.5 Internet

### 7.5.1 Internet 概述

Internet 又称国际互联网,它是目前国际上最大的信息网络。通过 Internet,我们可以和世界上大多数国家进行技术交流,检索各种信息资源。Internet 的出现可以追溯到本世纪 60 年代初,到 90 年代以来,随着 Internet 的进一步成熟和普及,Internet 开始进入商用阶段。Internet 商业化的潮流促使 Internet 的发展产生了新的飞跃。这种发展不仅仅表现在数量上,而且还表现在质量上的巨大变化。Internet 现在已成为世界上最大的计算机网络,它是一条贯穿全球的“信息高速公路”。

#### 1. Internet 的特点

Internet 并不是一种新的物理网络,它是一个“网络的网络”,或称为“虚拟网络”。Internet 把在全世界各个地方已有的各种通信网络,如数据通信、计算机网等互连在一起,还可以通过电话网接入,组成一个庞大的国际互联网。

我们在了解 Internet 时，不仅要从数据通信网的方面去了解，还要从网络资源、功能和管理等方面去理解。一般说来，用户在使用 Internet 时具有以下特点：

(1) TCP/IP 协议是 Internet 的基础和核心。在 Internet 网中，依靠 TCP/IP 协议实现各种网络的互联。没有 TCP/IP 协议的支持，Internet 网就无法统一运行。因此，TCP/IP 协议的地位非常重要，符合 TCP/IP 标准的网络按一定规则都可以连入 Internet 网。

(2) 用户在使用 Internet 时，并不需要了解网络底层的物理结构，这种透明使得用户在使用时十分方便。

(3) 由于 Internet 也“互连”了公用电话网 PSTN，因此，对一般的个人用户，只要具备一部电话机、一台微型计算机和一台调制解调器，就可以接入 Internet 网。

(4) 在 Internet 上的通信没有统一管理的机构，有人把 Internet 形容成为一个“没有警察、没有法律、没有国界、没有领袖的网络空间”。而且其发展基本上是自由化的，使网络安全受到极大威胁。目前，这一问题已得到普遍重视，也在采取一定的措施，例如，防火墙 (Fire wall) 网络隔离技术等。但因成本高等种种原因，难以普遍应用。根据 Internet 性质，只有通过所有用户共同努力，安全才得以保证。Internet 用户应从自身安全和网络安全两方面入手解决问题。

## 2. Internet 的网络结构与组成

对于 Internet，从网络通信的观点来看，Internet 是一个以 TCP/IP 协议把各个国家、各个部门、各个机构的内部网络连接起来的数据通信网；从信息资源的角度来看，Internet 是一个集各个部门、各个领域内各种信息资源为一体的信息资源网；从技术实现的角度来看，Internet 是一个“网络的网络”（网际网），它实际上是由许多网络（包括局域网、城域网和广域网）互联而构成的。图 7.29 示出了全球互连网络示意图。

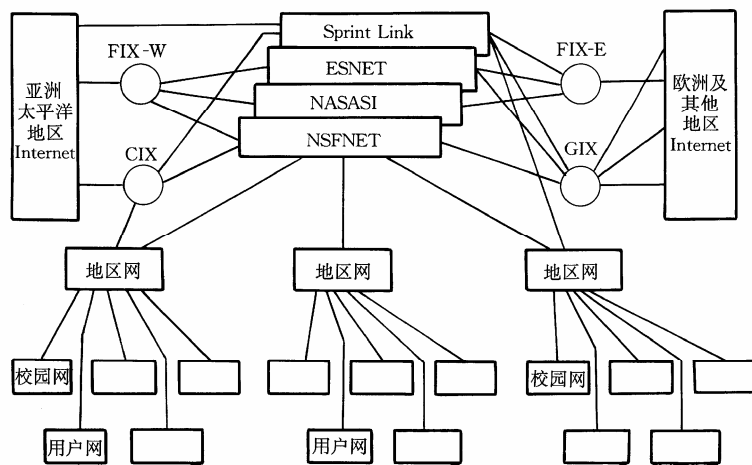


图 7.29 全球互连网络示意图

在图 7.29 中间部分是 Internet 在美国的四个平台：国家科学基金会网 (NSFNET)、Sprint link、能源科学网 (ESNET) 和国家宇航科学网 (NASASI)。左、右由四个连接点与亚洲太平洋地区和欧洲及其它地区连接，这四个连接点是：联邦 Internet 交换机 FIX-E、FIX-W 和两个商用交换机 GIX、CIX。

我国目前已在 CHINAPAC 和 CHINADDN 上进行了大规模投资，覆盖全国范围的数据通



信网络已初具规模，为 Internet 在我国的普及打下了良好的基础。我国已在 Internet 上建立了我国的最高的域名服务器，正式加入到 Internet 大家庭中，用户可以通过 CHINAPAC（中国公用分组交换数据网）、CHINADDN（中国公用数字数据网）、PSTN（市话交换网）、CHINAMAIL（中国公用电子信箱系统）等网络进入 Internet，进行国际联网检索信息，实现全球资源共享，使中国的 Internet 用户从这里通向世界。

CHINANET 是美国 Internet 在中国的延伸。中国原邮电部与美国 Sprint 电信公司于 1994 年 8 月 30 日签署了中华人民共和国通过 Sprint Link 与 Internet 互联的协议。开始在北京电信局和上海电信局进行与 Internet 的网络互联工程，以满足我国的科研、教育、经济、文教、政治、商业等部门的计算机与 Internet 交换信息的需要，实现计算机资源和科研成果的共享。

CHINANET 网络拓扑采用分层结构，即由核心层、访问层和网管中心组成，如图 7.30 所示。核心层是 CHINANET 的主干网，提供 CHINANET 所需的各种资源，同时也为国内 Internet 服务提供者提供高速访问端口。访问层主要是提供访问端口和用户访问管理。网管中心负责对全网的设备和中继电路以及运行情况进行实时监控和管理。

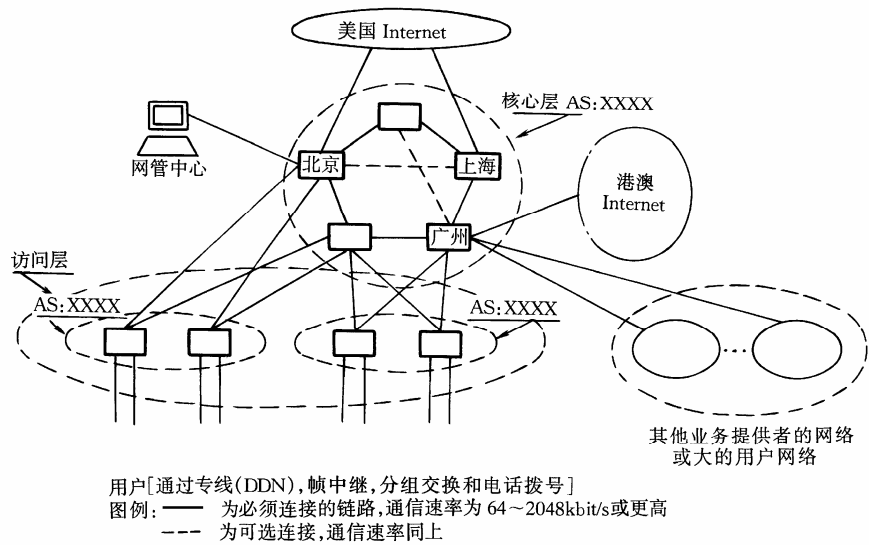


图 7.30 CHINANET 的网络结构

## 7.5.2 Internet 域名与域名系统

### 1. IP 地址的应用

在 6.2.4 节介绍了 IP 地址的概念,在此再介绍一下它在 Internet 中的具体应用。

在 Internet 中，与它相连的任何一台计算机，不管它是为成千上万用户提供服务的计算机或巨型机，还是单个用户使用的 PC 机，都称为主机。

为了在 Internet 环境下实现计算机之间的通信，Internet 中的每一台主机都必须被指定一个唯一的主机号，这个主机号规定由 32 位二进制数据组成。计算机的主机号通常被称为该主机的 IP 地址或网际地址。

实际上，IP 地址采用分层结构，即由网络地址和主机地址两部分组成，其中网络地址用

来标识连入 Internet 的网络，主机地址用来标识特定网络中的主机。

IP 地址的主管部门是网络信息中心 (Inter NIC)，由该组织负责提供注册服务。严格地说，Inter NIC 只是指定 IP 地址的一部分 (网络地址)，另一部分 (网内主机地址) 则由主机所在网络的管理者指定。

IP 地址分为 A、B、C、D、E 五类，其中 D 类和 E 类地址用于特殊用途。在实际应用中，A 类网络地址通常被分配给主要的服务提供者 (如 IBM 公司、AT&T 公司) 所组织的大型网络；B 类网络地址通常被分配给中等规模的局域网或广域网；C 类网络地址通常被分配给小型网络。

IP 地址用于 IP 层及 IP 以上的高层，它为 Internet 内部提供一种全局性通用地址，Internet 主机的应用程序可以方便地使用 IP 地址通信，但是它对于一般用户来说还是太抽象了。IP 地址使用长度为 32 位的点分十进制来表示，这种地址结构仍然是数字型，用户难于记录。为了便于记忆，IP 地址采用字符型标识——域名 (Domain name) 表示。TCP/IP 还专门设计了一种采用层次结构的字符型主机名字管理机制，称为 Internet 域名系统 (DNS: Domain Name System)。域名系统是管理域的命名、管理主机域名、实现主机域名与 IP 地址解析的系统。

## 2. Internet 的域名

Internet 允许用户为自己的计算机命名，用输入的名字来代替 IP 地址。但要求所命名的主机名全局唯一、便于管理、方便映射。为此，域名采用与 Internet 结构相一致的层次型结构命名法。采用横向多级子域结构，即一个完整、通用的层次型主机域名的结构形式为：“本地名.组名.网点名”。域名各部分之间用圆点“.”分隔，各层名字的排列顺序为：低 (底) 层名字在前，高 (顶) 层名字在后。

域名的层次还与名字空间的管理机构的层次相对应。换句话说，在 Internet 层次名字管理中，中央管理机构 (比如 Internet 网络管理中心 NIC) 将最高一级名字空间划分为若干部分 (相应于网点名)，并将各部分的管理权授予相应机构，各管理机构将管辖内的名字空间进一步划分成若干子部分 (相应于组名)，并将子部分的管理特权再授予子管理机构。如此下去，便形成层次型域名。层次的数目几乎没有什么限制，这取决于应用环境。因此，域名既可以标识主机，也可以标识信箱，甚至用户等。

主机域名的层次型形成树状结构，一台 Internet 上的主机名的全称是从一个叶节点沿树向上，直到根部的所有域名组成的域名序列，即 netlab.cs.xust.sn.cn (中国陕西西安科技学院通信系网络实验室)，如图 7.31 所示。Internet 本身的结构是一种树型层次结构，主机的层次型域名机制与 Internet 的结构是一一对应的。因此，层次型域名机制非常适用于 Internet。

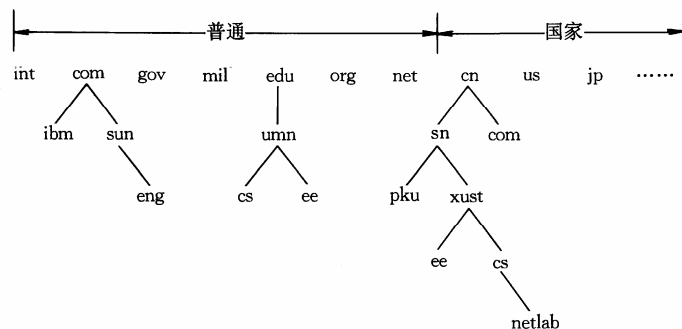


图 7.31 Internet 的域名层次

在讨论主机域名时，应注意美国域名结构与除美国之外其它国家域名结构的不同之处。美国是 Internet 的发源地，其主机域名的国别代码常被省略。因此，美国 Internet 的最高一级域名是组织类代码，共有 13 种：

- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| .int —— 国际组织     | .com —— 商业组织        |
| .edu —— 教育组织     | .gov —— 政府组织        |
| .mil —— 军事组织     | .org —— 非商业组织       |
| .net —— 网络组织     | .firm —— 商业公司       |
| .store —— 商品销售企业 | .web —— 与 www 相关的实体 |
| .arts —— 文化和娱乐实体 | .info —— 提供信息服务的实体  |
| .nom —— 个体或个人    |                     |

但是，其他国家的最高一级域名为国家代码。国别代码由两个字母组成。例如 “.cn” 代表中国，.jp 代表日本，.fr 代表法国，.uk 代表英国，.ca 代表加拿大。所以，Internet 实际主机域名的一般格式是

主机名.单位名.类型名.国家代码

我国自登记了最高级域名 “.cn” 以后，规定自己的第二级域名：

- |                     |               |
|---------------------|---------------|
| .edu —— 教育机构        | .com —— 公司    |
| .gov —— 政府机构        | .org —— 非盈利组织 |
| .ac —— 大学、研究所内的学术机构 | .bj —— 北京地区   |
| .sh —— 上海地区         | .zj —— 浙江省    |
| .....               |               |

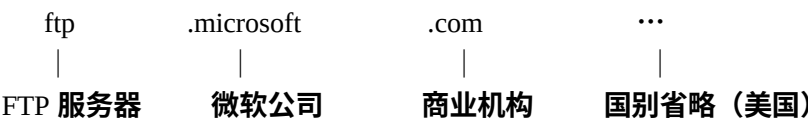
对于主机较多的单位，命名时可能会进一步细分，所以在 Internet 上我们可以看到由五部分，甚至是六部分组成的主机名。

例如主机域名：



表示的是中国(陕西)西安科技学院通信系网络实验室的主机。

美国的主机域名省略了国名，例如主机域名为：



表示的是美国微软公司的 FTP 服务器。

3. 域名解析

为了便于记忆，人们用熟悉的字符标识一台主机的域名，但主机域名不能直接用于数字型 IP 地址的路由选择之中。当用户使用主机域名进行通信时，必须首先将其映射成 IP 地址。因为 Internet 通信软件在发送和接收数据时都必须使用 IP 地址。这种将主机域名映射为 IP 地址的过程叫作域名解析。域名解析包括正向解析（从域名到 IP 地址）以及反向解析（从 IP 地址到域名）。Internet 的域名系统 DNS 能够透明地完成此项工作。

Internet 域名到 IP 地址的映射是由一组既独立又协作的域名服务器来完成的。域名服务

器实际上是一种域名服务软件。它运行在指定的机器上,完成域名到 IP 地址的映射。通常我们把运行域名服务软件的计算机称为域名服务器。对应于域名结构,域名服务器也构成一定的层次结构,以从根到叶的搜索形式,由域名服务器查询主机域名对应的 IP 地址及相关信息。

### 7.5.3 Internet 上的基本服务

随着 Internet 的高速发展,在 Internet 上提供的各种服务形式越来越多,若把这些服务进行分类,从形式上看,可分为工具、讨论、信息查询和信息广播等 4 类。工具类服务包括远程登录 (Telnet)、远程文件传输 (FTP)、电子邮件 (E-mail)、文件寻找工具 (Archie)。讨论类服务包括电子公告板 (BBS)、网络新闻论坛 (NET-news 或 USENET)、实时在线交谈 (IRC)、视频会议 (MS Netmeeting)。信息查询类服务包括 Gopher 分布式文件查询系统、WAIS 广域信息服务、WWW 万维网超文本查询系统。信息广播类服务有在线语音和电视广播 (Real Audio/Video Broadcast 或 On-Line TV)。这些服务是通过各个端口到名字实现的逻辑连接。端口分两类,一类是已知端口或称为公共端口,端口号从 0 到 1023,这些端口由 Internet 赋值地址和端口号的组织——IANA (Internet Assigned Number Authority) 赋值;另一类是需在 IANA 注册登记端口号,从 1024 到 65535。

Internet 的基本服务功能有:电子邮件 E-mail、远程登录 Telnet 和文件传输 FTP。

#### 1. 电子邮件 E-mail

电子邮件是一种通过 Internet 与其它用户进行联系的快速、简便、价廉的现代化通信手段,也是目前 Internet 用户使用最频繁的一种服务功能。电子邮件系统采用了简单邮件传输协议 SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)。它可以保证不同类型的计算机之间电子邮件的传送。简单邮件传输协议 SMTP 采用客户机/服务器结构,通过建立 SMTP 客户机与远程主机上 SMTP 服务器间的连接来传送电子邮件。

电子邮件常用功能有:多个接收者、邮夹服务、回信、转发、通信录、加密。

电子邮件常用的命令有:列出所有信头信息、阅读、回信、存储、删除和恢复、退出。

#### (1) 电子邮件箱与电子邮件地址

使用电子邮件的首要条件是要拥有一个电子邮箱 (Mail Box)。电子邮箱是由通过电子邮件服务的机构 (一般是 ISP) 为用户建立的。

当用户向 ISP 申请 Internet 帐户时,ISP 就会在它的 E-mail 服务器上建立该用户的 E-mail 帐户。建立电子邮箱,实际上是在 ISP 的 E-mail 服务器磁盘上为用户开辟一块专用的存储空间,用来存放该用户的电子邮件。这样用户就拥有了自己的电子邮箱。用户的 E-mail 帐户包括用户名 (User Name) 与用户密码 (Password)。通过用户 E-mail 帐户,用户就可以发送和接收电子邮件。属于某用户的电子信箱,任何人可以将电子邮件发送到这个电子信箱中,但只有电子信箱的主人使用正确的用户名与用户密码时,才可以查看电子信箱的信件内容,或对其中的电子邮件进行必要的处理。

每个电子邮箱都有一个邮箱地址,称为电子邮件地址 (E-mail Address)。电子邮件地址可以是某个用户的通信地址,也可以是一组用户的地址。E-mail 地址的格式是固定的,并且在全球范围是唯一的。

用户的 E-mail 地址格式为:用户名@主机名,其中“@”符号表示“at”。主机名指的是拥有独立 IP 地址的计算机的名字,用户名是指在该计算机上为用户建立的 E-mail 帐户名。

例如, 在 cs.xust.sn.cn 主机上, 有一个名为 wugy 的用户, 那么该用户的 E-mail 地址为:wugy@cs.xust.sn.cn。

## (2) 发送和阅读电子邮件

电子邮件有固定的格式, 它由邮件头 (mail header) 与邮件体 (mail body) 两部分组成。

邮件头由以下三个部分组成:

- 收信人电子邮件地址 (To:)
- 发信人电子邮件地址 (From:)
- 邮件主题 (Subject)

邮件体就是实际要传送的信函内容。

发送电子邮件时, 用户要输入收信人地址、邮件主题与邮件体, 系统会自动生成发信人地址, 并构造邮件头。

目前, 大多数的操作系统和浏览器软件中都有电子邮件的功能模块。例如, 在 Windows for Workgroup 的 Network 工件组中, 双击 Mail 图标, 就可以启动电子邮件程序。在 “ To: ” 后的文本框内输入收信人电子邮件地址, 在 “ Subject: ” 后的文本框内输入电子邮件主题, 在下面的正文区内输入电子邮件正文, 一切就绪后按 “ Send ” 按钮, 就可将电子邮件发送到收信人的电子邮箱。复制拷贝 (CC: Carbon Copy) 功能是将邮件副本同时发送给多个收信人。

用户所发送的电子邮件首先传送到 ISP 的 E-mail 服务器的邮箱中。E-mail 服务器将根据电子邮件的目的地址, 通过 Internet 存储转发的方式, 将电子邮件传送到收信人所在的 E-mail 服务器。当收信人的计算机开机时, E-mail 服务器将自动地将邮件传送到收信人的计算机的电子信箱中。

当有新邮件到来时, 用户在登录时系统会自动提示: “ You have mail ”。用户使用电子邮件程序就可以方便地阅读电子邮件、答复发信人或转发电子邮件。

由于电子邮件采用存储转发的方式, 因此用户可以不受时间、地点的限制来收发邮件。通过 Internet 发送电子邮件的费用低, 而且传递时间较短, 快则几分钟, 慢则几个小时, 便可将邮件传送到世界上任何一个 Internet 用户, 因此很受用户的欢迎。

## 2. 远程登录 Telnet

远程登录服务是在 Telnet 协议的支持下, 将用户计算机与远程主机连接起来, 并作为该远程主机的终端来使用。当用户使用 Telnet 登录远程主机时, 该用户必须在这个远程主机上拥有合法的帐号和相应的密码, 否则远程主机将会拒绝登录。此外, 很多 Internet 中的主机都提供了某种形式的公众 Telnet 服务, 这种服务对每一个 Internet 用户都是开放的, 只要知道远程主机的地址, 无需密码就能登录到这个远程主机上。

Telnet 的主要用途有:

- ① 在用户终端与远程主机之间建立一种有效的连接;
- ② 可以共享远程主机上的软件和数据资源;
- ③ 可以利用远程主机上提供的信息查询服务进行信息查询。

### (1) 远程登录的工作原理

Telnet 是基于客户/服务器模式的服务系统, 它由客户软件、服务器软件和 Telnet 通信协议等三部分组成, 其结构模型如图 7.32 所示。

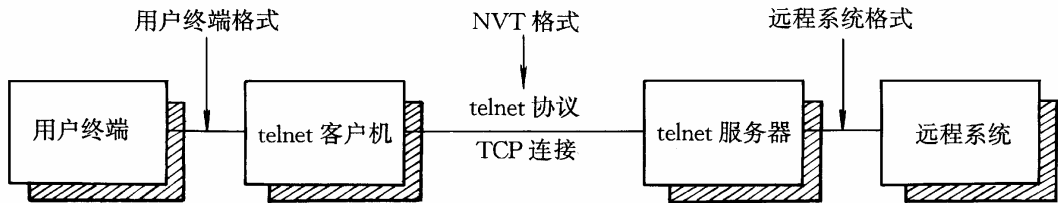


图 7.32 Telnet 的客户机/服务器模型

本地用户在进行远程登录时,用户终端运行客户应用程序与本地 Telnet 客户机进行通信;远程系统主机运行服务器应用程序与远程 Telnet 服务器进行通信。通过 TCP 连接, Telnet 协议使用了网络虚拟终端 (NVT) 的概念,把实际连接的两个终端作为虚拟网络终端来处理。两个终端上的两组应用程序管理着网络虚拟终端,把两个终端的差异掩盖起来,使用户感到自己就是在远程系统上进行工作。

(2) 远程登录的使用

Telnet 的使用操作过程:首先,运行 Telnet 客户程序,在运行 Telnet 程序时,可以直接后缀一个远程主机的域名或 IP 地址来建立与该远程主机的连接 (>Telnet 域名/IP 地址),或者进入 Telnet 后用 open 命令来建立连接 (Telnet>open 域名/IP 地址);在连接建立起来后,系统会提示用户进行登录,即在“Login :”后面键入用户的注册名。除非是一个公共帐户,否则系统提示用户输入密码 (password);当用户的注册名和密码被远程主机确认后,用户计算机就成为该远程主机的一个终端,就可以进行联机操作了。

Telnet 协议在应用中的系统命令很多,但经常使用的命令只有几种,如表 7.9 所示。

表 7.9 Telnet 常用命令一览表

| 常用命令    | 功能描述                      |
|---------|---------------------------|
| help    | 联机帮助命令(特殊的 Telnet 命令)     |
| open    | 建立与远程主机的连接                |
| close   | 正常结束远程会话,回到命令方式           |
| display | 显示工作参数                    |
| mode    | 进入行命令或字符方式                |
| send    | 向远程主机发送特别字符               |
| set     | 设置工作参数                    |
| status  | 显示状态信息                    |
| toggle  | 改变工作参数(toggle?可显示详细参数)    |
| Quit    | 关闭 Telnet 会话,退出 Telnet 程序 |
| Z       | 退出 Telnet,进入暂停状态          |
| <CR>    | 退出命令方式,返回 Telnet 的会话方式    |
| ?       | 与 help 命令等同,显示联机帮助信息      |

### 3. 文件传输协议 FTP

#### (1) 文件传输的概念

文件传输 (FTP) 服务提供了任意两台 Internet 计算机之间互相传输文件的机制,它是广大用户获得丰富的 Internet 资源的重要方法之一。FTP 是一种基于客户/服务器模式的服务系统,FTP 客户程序必须与远程的 FTP 服务器建立连接并登录后,才能进行文件传输。通常,一个用户必须在 FTP 服务器进行注册,即建立用户帐号,拥有合法的登录用户名和密码后,才有可能进行有效的 FTP 连接和登录。这种登录被称为普通 FTP 服务。可以看出,对于 Internet 中成千上万个 FTP 服务器来说,这样做非常不方便,也是不可能的。

FTP 一种较实用的服务方式被称为匿名 FTP 服务,即 FTP 服务器的提供者设置了一个特殊的用户名——anonymous 提供公众使用,任何用户都可以使用这个用户名与提供这种匿名 FTP 服务的主机建立连接,并共享这个主机对公众开放的资源。匿名 FTP 的用户名是 anonymous;而密码通常是“guest”或者是使用者的 E-mail 地址。

当用户登录到匿名 FTP 服务器后,其工作方式与常规 FTP 相同。通常,出于安全的目的,大多数匿名 FTP 服务器只允许下载 (Download) 文件,而不允许上载 (Upload) 文件。也就是说,用户只能从匿名 FTP 服务器拷贝所需的文件,而不能将文件拷贝到匿名 FTP 服务器上。此外,匿名 FTP 服务器中的文件还加入一些保护性措施,确保这些文件不能被修改和删除,同时也可以防止计算机病毒的侵入。

通过 FTP 传输的文件可以是文本文件 (ASCII 码),也可以是二进制 (binary) 文件。这可以由用户根据文件类型 FTP 命令 (ASCII) 来定义。

匿名 FTP 还是一种分发和传播软件的好方法。人们将所发送的软件的免费版或低版本放在匿名 FTP 服务器上提供免费拷贝和使用,有利于该软件的推广和传播,提高其知名度。此外,匿名 FTP 还可以用来归档、保存和传播 Internet 学术信息。

#### (2) FTP 协议的原理

在 Internet 中,文件传输功能的实现主要依靠 FTP 协议软件。FTP 协议是 TCP/IP 协议组中的一个,处在应用层。FTP 协议的工作也是采用客户/服务器模式。在利用 FTP 协议进行文件传输时,用户在本地计算机上启动 FTP 协议程序,与远程计算机系统进行连接,激活远程计算机上的 FTP 程序,然后再进行文件传输。这样,本地 FTP 程序成为一个客户,而远程的 FTP 程序成为服务器,它们之间经过 TCP 协议进行通信。每次用户请求传输文件时,服务器找到用户请求的文件,再利用 TCP 协议将文件通过 Internet 网传给客户。客户程序接收到文件后,将文件写到用户本地系统的硬盘上。一旦文件传输完成之后,客户程序和服务器程序都终止传输数据的 TCP 连接。

与一般的客户/服务器模式所不同的是,FTP 协议的客户和服务器之间要进行双重连接,一个是数据连接,另一个是控制连接,这样要占用两个信道。建立双重连接的原因是 FTP 协议是一个交互式会话系统,一个客户每次调用 FTP,便与服务器建立一个会话。会话是通过控制连接来维持的,控制连接负责传输控制信息,特别是客户命令 (例如文件传输命令等)。利用客户命令,客户可以向服务器提出任意多次的请求,一个请求就相当于一个客户命令。客户每提出一个请求,服务器便为客户建立一个数据连接,进行实际的数据传输。当数据传输结束时,数据连接一个个地撤消,但控制连接仍然保持。客户还可以继续发出命令,直到客户撤消了控制连接,接着退出 FTP 会话,双方的连接才算完全终止。

(3) FTP 的使用

FTP 的使用操作过程：首先运行 FTP 客户程序，这时可以直接后缀一个域名或 IP 地址与远程 FTP 服务器建立连接 (>ftp 域名/IP 地址)，或者进入 FTP 后用 open 命令来建立连接 (ftp>open 域名/IP 地址)；当连接建立起来后，系统会提示用户输入用户名和密码。当用户输入正确的用户名 (anonymous) 和密码 (guest 或用户 E-mail 地址) 后，系统会给出登录成功的显示信息；这时，用户就可以使用 FTP 命令进行文件传输或其它操作了。

表 7.10 给出了 FTP 常用的命令。

表 7.10 常用 FTP 命令一览表

| 常 用 命 令       | 功 能 描 述                 |
|---------------|-------------------------|
| help(或?)      | 显示所有 ftp 命令的清单          |
| help 命令(或?命令) | 显示指定 ftp 命令的简介          |
| !             | 暂停 ftp,在本地主机上调用一个 shell |

续表

| 常 用 命 令           | 功 能 描 述                    |
|-------------------|----------------------------|
| !命令               | 在本地主机上调用一个指定的 shell        |
| bye(或 quit)       | 终止与 ftp 服务器的连接，退出 ftp 程序   |
| close             | 终止与 ftp 服务器的连接，但不退出 ftp 程序 |
| open [主机地址]       | 与指定的 ftp 服务器建立连接           |
| user [用户名 [密码]]   | 在远程 ftp 服务器上进行用户登录         |
| ascii             | 传输文件类型设置为文本文件              |
| binary            | 传输文件类型设置为二进制文件             |
| hash              | 设置每传输一个数据块将显示一个“#”字符       |
| prompt            | 设置多文件传输交互会话提示              |
| status            | 显示 ftp 各选项的当前状态            |
| cd [远程目录]         | 改变远程服务器上的工作目录              |
| cdup              | 将远程服务器上的当前目录转换到父目录         |
| dir [远程目录 [本地文件]] | 显示远程目录清单，可将显示结果存入本地文件      |
| lcd [本地目录]        | 改变本地主机上的工作目录               |
| ls [远程目录 [本地文件]]  | 显示远程服务器上指定目录内容的清单          |
| pwd               | 显示远程服务器当前的工作目录名            |
| get [远程文件 [本地文件]] | 获取远程文件并把它存入本地文件            |
| put [本地文件 [远程文件]] | 将本地文件传输到远程服务器上存储起来         |

7.5.4 环球信息网 WWW

1. WWW 的由来及其服务的特点

万维网 WWW (World Wide Web ) 简称 3W，有时也叫作 Web 系统。它是目前 Internet



上最受用户欢迎、发展速度最快的服务，现已成为 Internet 上最主要的服务之一。WWW 服务器把图文信息组织成分布式超文本，并用信息指针指向其它相关信息的 WWW 服务器，使用户可以很方便地访问到这些信息，所以说，WWW 是信息检索和超文本技术的结合，它的出现使 Internet 上传递的不再只是一些单调的文本信息，而是图、文、声齐全的多媒体信息，开创了信息储存与检索的一个新世界。它的影响远远超出了专业技术的范围，并且已进入广告、新闻、销售、电子商务与信息服务等各行各业。

WWW 原理最早是在 1989 年，由欧洲粒子物理实验室（CERN）的 Jim Berners Lee 提出来的。他提出一套协议，以使分布在世界各地的科学家能通过 Internet 方便地彼此共享信息和科研成果。这一协议最终被接纳，发展成为今天的 WWW 标准。WWW 通过超文本的方式，把 Internet 上不同计算机内的信息有机地结合在一起，并通过超文本传输协议（HTTP）从一台 WWW 服务器转到另一台 WWW 服务器上检索信息。WWW 不仅能发布图文并茂的信息，并且在某些情况下还可以发布音频和视频信息。WWW 还提供链接其它 Internet 资源的功能，如 E-mail、Telnet、FTP、Gopher 等。

WWW 服务的特点是它高度的集成性。它可将各种类型的信息（如文本、图像、声音、动画、影像等）与服务（如 News、FTP、Telnet、Gopher、E-mail 等）紧密连接在一起，提供生动的图形用户界面。WWW 为人们提供了查找和共享信息的简便方法，同时也是人们进行动态多媒体交互的最佳手段。

WWW 服务的特点主要有以下几点：

- 以超文本方式组织网络多媒体信息。
- 用户可以在世界范围内任意查找、检索、浏览及添加信息。
- 提供生动直观、易于使用、统一的图形用户界面。
- 网点间可以互相链接，以提供信息查找和漫游的透明访问。
- 可访问图像、声音、影像和文本信息。

正是由于 WWW 具有以上的特点，所以引起人们越来越高的重视，同时也促进了 Internet 应用的发展。

## 2. WWW 的基本概念

### (1) 超文本与超媒体

超文本（Hypertext）是一种描述和检索信息的方法，它提供一种友好的信息查询接口，用户仅需提出查询要求，而到什么地方查及如何查则由 WWW 自动完成。通过事先对文本的关键词进行索引连接，使得这些连接词指向文本其它的有关段落或其它文本文件中的内容。这样用户可从一个文件跳转到另一个文件，以索取更多更详细的资料，阅读完这些信息后，用户又可回到出发点，像从前那样继续阅读。

超媒体进一步扩展了超文本所链接的信息，是超文本与多媒体的组合。用户不仅能从一个文本跳转到另一个文本，而且可以激活一段声音，显示一个图像，甚至可以播放一段动画。这样，用户在计算机面前除了可以看到文本资料，还能看到生动的画面，听到有关的声音。对于用户来说，枯燥乏味的信息查询变成了轻松愉快的工作。

### (2) 统一资源定位器 URL

在 WWW 系统中，使用了一种简单的命令机制 统一资源定位器 URL（Universal Resource Locator）。它完整地描述了 Internet 上文件的地址，以便检索 WWW 上任何地方的文件。除了 WWW 服务器，URL 还可以描述其他服务器的地址，例如 FTP 服务器、WAIS 服务器、

Telnet 服务器等。URL 的地址由以下三部分组成：

- 客户与服务器之间所使用的通信协议，如 http、ftp、telnet、gopher 等。
- 存放信息的服务器地址。
- 存放信息的路径和文件名。

URL 的地址格式为：

http://服务器名/文件的路径名

其中 http 是指超文本传输协议 HTTP。

例如，西安科技学院的 WWW 服务器上，在 web 子目录下有一个文件 WWW.guide，其完整的 URL 地址为：

http://WWW.xust.sn.cn/web/WWW.guide

### (3) 超文本传输协议 HTTP

WWW 之所以能够依靠超文本作为与用户交互的基本手段，主要是依靠超文本传输协议 HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)。HTTP 是一个通信协议，它的主要特点是：该协议所检索的文件包含着用户可以进一步检索的连接。这样，就保证了用户只关心被检索的信息，而无需考虑信息在什么地方存在。HTTP 协议是基于 TCP/IP 之上的协议，其会话过程包括以下四个步骤：

- 连接 (Connection)
- 请求 (Request)
- 应答 (Response)
- 关闭 (Close)

### (4) 超文本标注语言 HTML

超文本标注语言 HTML (Hyper Text Markup Language) 是一种用来定义信息表现方式的格式，它告诉 WWW 浏览器如何显示信息，如何进行链接。因此，一份文件如果想通过 WWW 主机来显示的话，就必须要求它符合 HTML 的标准。

HTML 是 WWW 上用于创建超文本链接的基本语言，可以定义格式化的文本、色彩、图像与超文本链接等，主要被用于 WWW 主页的创建与制作。

通过标准化的 HTML 规范，不同厂商开发的 WWW 浏览器、WWW 编辑器与 WWW 转换器等各类软件可以按照同一标准对主页进行处理，这样用户就可以自由地在 Internet 上漫游了。

VRML 被称为虚拟现实模型语言，也就是虚拟现实的 HTML 格式，用于描述 3D 画面。用户可以通过支持 VRML 的 WWW 浏览器看到许多动态的主页，如旋转的三维物体等，并能自己随意控制物体的运动，给人一种身临其境的感觉，这样可以大大提高主页的吸引力。

通过 HTML 语言可以在普通文档中加入一些特殊的标识符（这些标识符具有一定的语法结构），使生成的文档中包含有其它的文档，或者是图像、声音、视频等，从而形成了超文本文档。

HTML 的代码文件是一个纯文本文件（即 ASCII 码文件），通常以 .html 或 .htm 为文件后缀。

### (5) 主页

在 Internet 上，用户经常需要了解一个机构或一个企业等的基本情况，有时要了解全部情况，有时要查询某个部门的情况，有时又想知道某一方面（如产品）的情况。这样，网上

的单位为了便于用户查询，树立自己的形象，几乎都要建立自己的主页。

所谓主页是指个人或机构的基本信息页面，用户通过主页可以访问有关的信息资源。主页通常是用户使用 WWW 浏览器访问 Internet 上任何 WWW 服务器（即 Web 主机）所看到的第一个页面。

主页一般包含以下几种基本元素：

- 文本：最基本的元素，就是通常所说的文字。
- 图像：WWW 浏览器一般只识别 GIF 与 JPEG 两种图像格式。
- 表格：类似于 Word 中的表格，表格单元内容一般为字符类型。
- 超链接：HTML 中的重要元素，用于将 HTML 元素与其它主页相连。

目前，在 Internet 上已经有一些主页是用虚拟现实模型语言 VRML 来设计的，也就是所谓的动态主页。

#### (6) WWW 浏览器

WWW 的客户程序在 Internet 上被称为 WWW 浏览器 (Browser)，它是用来浏览 Internet 上的 WWW 主页的软件。

WWW 浏览器是采用 HTTP 通信协议与 WWW 服务器相连的，WWW 主页是按照 HTML 格式制作与阅读的。WWW 浏览器用户要想浏览 WWW 服务器上的主页内容，必须先按照 HTTP 协议从服务器上取回主页，然后按照与制作主页时相同的 HTML 格式阅读主页。因此，借助于标准的 HTTP 协议与 HTML 语言，任何一个 WWW 浏览器都可以浏览任何一个 WWW 服务器中存放的 WWW 主页，这样就给用户提供了很大的灵活性。

浏览器软件有字符界面和图形界面两种，现在普遍采用图形界面的浏览器软件，如 Mosaic、Navigator、Internet Explorer 等。一般浏览器软件具有以下功能：

(1) 检索查询功能。浏览器软件可利用超文本传输协议 HTTP，在任何 WWW 服务器上查询，并解释和显示所查询文件的内容，文件可以是各种形式，如图像、动画、语音、图表等。

(2) 文件服务功能。浏览器软件可以拷贝用户感兴趣的文件，称为下载，在下载时还能同时查询被下载的文件，并可随时中止下载。

(3) 热表管理功能。浏览器软件能够自动记录用户刚刚访问过的 WWW 地址，称为“热表”。如果用户想回到刚才访问过的文件，可以在热表中快速切换。

(4) 建立主页功能。浏览器软件为用户提供了接口，可以利用超文本标记语言 HTML 和超文本传输协议 HTTP 在 WWW 服务器上方便地制作用户自己的主页。

(5) 其他 Internet 功能。浏览器软件还能提供其他 Internet 的服务，如 FTP、WAIS、Telnet 和网络新闻及电子邮件等。

#### 3. 浏览器软件简介

目前有许多 WWW 浏览器软件，其中大多数是免费的，用户可以通过 Internet 方便地获取。在众多的浏览程序中，Netscape 的 Navigator 和 Microsoft 的 Explorer 最为流行，分别介绍如下：

##### (1) Netscape 的 Navigator

Navigator 是由美国 Netscape 公司开发的 WWW 浏览器软件，它是目前最流行的 WWW 浏览器软件之一。Navigator 的出现，给网络用户带来了很大的方便，得到了广泛的应用。

较新的 Navigator 软件将浏览器与主页制作器集成在一起，功能很强。它可以为用户提供 WWW 搜索、E-mail、在线讨论、拨号访问与文件传输等多种功能。由于它使用了 Java 语

言，所以适用于各类用户与各种操作系统。

Navigator 主要具有以下几个特点：

- 可以由用户自行设置用户界面的字体与颜色。
- 可以方便地实现文件的调用与文件下载。
- 基于 Netscape 网页的在线帮助功能。
- 可以自动更新信息的功能。
- 书签标记功能，允许用户索引与查找自己喜欢的内容清单。
- 支持 JPEG 图像格式，提供了更快的图像传输速度。
- 将最近访问过的文件放入内存中。

## (2) Microsoft 的 Explorer

Internet Explorer 是由美国 Microsoft 公司开发的 WWW 浏览器软件，也是目前最流行的 WWW 浏览器软件之一。Internet Explorer 的出现虽然比 Navigator 晚一些，但是由于 Microsoft 公司在计算机操作系统领域的优势，以及它本身是一个免费软件，因此它在 WWW 浏览器市场的占有率逐年增长。

Internet Explorer 可以为网络用户提供 WWW 搜索、E-mail、在线讨论、拨号访问与文件传输等功能。它支持 HTML 2.0、Microsoft HTML 扩展以及 HTML3.2，可以浏览目前绝大多数的主页。Internet Explorer 是微软公司的免费软件，可以从微软公司的 Web Server 中下载。

## 4. Java 语言及其产生的影响

### (1) WWW 的缺陷

Web 浏览是目前 Internet 甚至局域网的主要使用方式。虽然 Web 中的页面由超级媒体 (Hyper Media) 组织而成，图文声像并茂，但是，绝大部分的页面仍然是静态的，即使是含音频或视频内容，也并没有与页面有机地结合为一体。也许你在浏览一个 Web 页时的感觉与欣赏一本精美杂志的彩色插页差不多，都是静态的页面。显得沉闷呆板，缺乏用户与它们的交流。如果想播放一种声音或运行一个演示程序，那就必须下载那个文件并用你本机上能理解和运行那个文件格式的程序来播放它。

Java 程序和它的浏览器 Hot Java，提供了让浏览器运行程序的方法。用户能从浏览器里直接播放声音，还能播放页面里的动画。如果能在 2400 baud 线上传输视频图像时，Hot Java 将能显示这些图像。

### (2) Java、VRML 与 Web 的发展

Java 编程语言与环境是由美国 Sun 公司设计的，它是一种解释执行的语言。Java 语言具有简单、面向对象、分布式、解释型、健壮、安全、体系结构中立、可移植性、高性能、多线程和动态等特点。

最初 Sun 公司在进行 Java 语言研究时，主要针对消费类电子产品的软件编程问题，其发展过程并不顺利。在 Web 技术的发展中，HTML 语言表现出了不适应的现象，而 Java 语言却作为 HTML 语言的扩展工具，使得 WWW 不再只是静态的文字和图像，而且有了活动的影像和实时的语音。

Java 语言是从 C++ 发展而来的，它采用了类似于 C++ 的基本语言结构，但与 C++ 有本质的区别。由于 Java 具有不依赖于任何类型的平台、面向对象、简单性、安全性等特点，因而非常适合于编写在 Internet 上运行的程序。Java 被引入到 WWW 后，立即给 WWW 带来了无限生机。现在的 HTML 只是一种描述语言，不能算是一种编程语言，因而缺乏灵活性与交互

性，而 Java 作为先进的编程语言，实现这些特性非常容易。在 HTML 文档中嵌入由 Java 编制的“小应用 (Applet)”代码后，就可以给页面带来交互与动态特性。Java 使令人烦闷的 WWW 页面活泼起来，使页面充满了生动的形象、有趣的动画，使 Web 页面充满乐趣。正因如此，Java 语言一经推出便得到了迅速的认可与空前的发展。

另一个会引起 WWW 革命的因素是虚拟现实标注语言 VRML (Virtual Reality Mark-up Language)，它带来的将是一个模拟真实的三维 Web 世界。用户在浏览器中，将不再仅通过点击文本或图像进行浏览和查询，而是用鼠标器来浏览三维空间。使用以 VRML 为核心的三维浏览技术，用户可以在虚拟的花园中散步、翻阅一本虚拟的书，在一间虚拟的教室中上课……VRML 还可以结合 Java，充分利用 Java 带来的交互性和动态特性，使得虚拟的环境会更有真实感。以 VRML 为基础的 Web 将是“第二代 Web”。

### 7.5.5 Internet 用户接入方式

用户要想在 Internet 寻找资源，必须首先能接入 Internet。这时用户必须选择一家 Internet 服务提供商 (ISP)，通过 ISP 来接入 Internet。从接入方式看，用户与 Internet 连接的方式主要有以下 3 种，如图 7.33 所示。

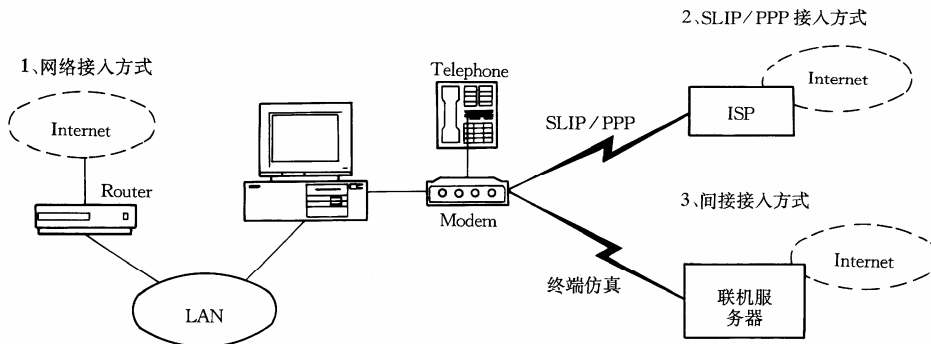


图 7.33 三种基本接入方式示意图

#### 1. 局域网接入方式

将用户计算机连接到一个局域网中，该局域网的服务器是 Internet 上的一个主机，这样用户计算机就可以通过局域网服务器访问 Internet。

通过局域网将用户计算机接入 Internet 所需要的条件是：

- (1) 连网的用户计算机需要增加一块网卡；
- (2) ODI/NDIS 驱动程序；
- (3) 用户计算机必须运行 TCP/IP 程序，如果系统运行的是 Windows 操作系统，那么还需要 Winsock 的支持。

通过局域网接入 Internet 的计算机可以访问 Internet 所有提供的服务，如 WWW、E-mail、FTP、Gopher、Usenet 等。

#### 2. SLIP/PPP 接入方式 (或电话拨号直接接入方式)

利用串行线路 Internet 协议 SLIP 或点对点协议 PPP，通过电话拨号接入一台 Internet 的主机。

通过 SLIP/PPP 将用户计算机接入 Internet 所需要的条件是：

- (1) 一个 Modem，速率为 14.4kbit/s、28.8kbit/s、33.6kbit/s、或 56kbit/s；
- (2) 一条电话线路；
- (3) TCP/IP 软件（现在一些 ISP 可以提供）和 SLIP 或 PPP 软件；
- (4) 向 ISP 申请一个用户帐户。

通过 SLIP/PPP 接入 Internet 时,用户可以享受 ISP 所能提供的各种 Internet 服务,WWW、E-Mail、FTP、Gopher、Usenet 等。

### 3. 仿真终端接入方式（或电话拨号间接接入方式）

利用 DOS 或 Windows 下的通信软件,通过电话拨号把用户计算机与 Internet 上的一台主机相连作为它的一个仿真终端（或远程终端），其功能与该主机的真实终端完全相同。

通过仿真终端将用户计算机接入 Internet 所需要的条件是：

- (1) 一个 Modem，速率为 14.4kbit/s、28.8kbit/s、33.6kbit/s 或 56kbit/s；
- (2) 一条电话线路；
- (3) 标准通信软件（如 Winsock 等）；
- (4) 向联机服务公司申请一个用户帐户。

通过电话拨号接入 Internet 的用户能够享受联机服务公司所能提供的各种 Internet 服务。需要注意的是，有些联机服务公司能够提供全面的 Internet 服务，而有些联机服务公司只能提供 E-mail 服务，用户在选择时需要注意。

### 7.5.6 企业内部网 Intranet 简介

当前,所有的企业都面临着一个共同的问题,那就是激烈的市场竞争。为了适应这种形式的需要,增强企业对市场变化的适应能力,提高管理效益,必须将计算机技术及企业网络的应用引入到企业管理和企业生产之中。通过各种公用网将多个局域网互连起来构成企业网,实现对分布在全国甚至全球范围内的生产、原料、劳动力和市场信息的全面管理。传统大型企业网的组成有两种可能的方法：

一种是利用公用电话交换网将多个局域网互联。这种利用公用电话交换网、调制解调器的简单远程通信技术来实现多个局域网互联的方法，一般只适用于信息量小的通信环境，具有一定规模的企业网是不应该采用这种方法的。

另一种是利用公用数据通信网将多个局域网互联。利用公用数据网实现局域网互联的方法是组建企业网的基本方法，公用数据网的类型主要有：X.25 网、帧中继网、DDN 网、ISDN 网与 ATM 网。早期企业网常用的是 X.25 网。图 7.34 给出了利用 X.25 网互联局域网构成大型企业网的结构示意图。由于企业网能够满足当时企业管理的需要，因此企业网在 90 年代得到了迅速地发展。

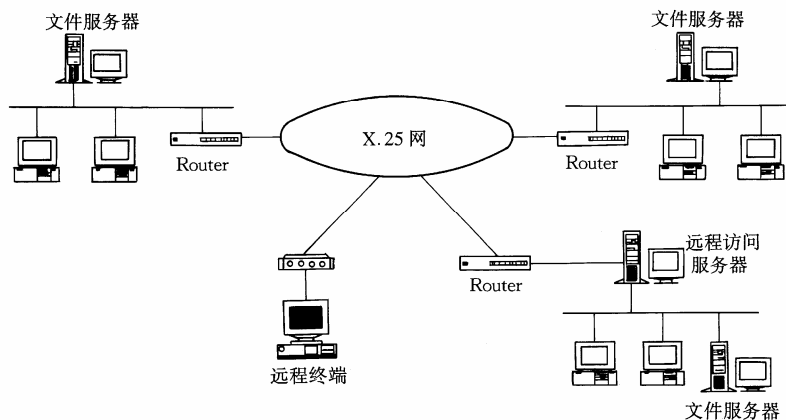


图 7.34 大型企业网的结构示意图

随着 Internet 的出现,改变了传统企业网的组网方法。Internet 的应用正在改变着人们的工作方式与企业的运行模式,Internet 在金融、商务、信息发布、通信等方面的应用,使得传统的企业网面临着新的挑战。原有的企业网内部用户希望能方便地访问 Internet,企业网中的很多产品信息也需要通过 Internet 向分布在世界各地的用户发布。Internet 在国际上的重大影响,使得所有的企业网都希望接入 Internet,Internet 的应用将会给企业带来巨大的经济效益。这种社会需求也导致了新型的企业内部网——Intranet 的出现。

#### 1. Intranet 简介

Intranet 是利用 Internet 技术建立在企业内部的 Internet,也有人称之为 Internal Internet。Intranet 是将 Internet 技术运用到企业内部信息系统中,其服务的对象原则上以企业内部员工为主,是以联系企业内部各个部门、促进企业内部沟通、提高工作效率、增加企业竞争为目的。从技术上讲,Intranet 主要由企业级的 TCP/IP 网络和 WWW 系统构成,在 Intranet 与 Internet 之间通过设置防火墙之类的安全性设施,既隔离外部用户又保持与 Internet 的连通性。

Intranet 包含以下几个含义:

① Intranet 是一种企业内部的计算机信息网络,具备传统企业内部网络的安全性;而 Internet 是一种面向全世界用户开放的公共信息网络,具备非常好的开放性与灵活性。这是二者在功能上的主要区别之一。

② Intranet 是一种利用 Internet 技术的、开放的计算机信息网络,它所使用的 Internet 技术主要有 WWW、电子邮件、FTP 与 Telnet 等,这是 Intranet 与 Internet 二者的共同之处。

③ Intranet 多数采用了统一的 WWW 浏览器技术去开发用户端软件,是小型化的 Web,是专用的 Web。Intranet 有 5 项基于标准的服务:文件共享、目录查询、打印共享、电子邮件和网络管理。对于 Intranet 用户来说,他所面对着的用户界面与普通 Internet 用户界面是相同的,因此企业内部用户可以很方便地访问 Internet,使用各种 Internet 服务。同时,Internet 用户也能够方便地访问 Intranet。

④ Intranet 内部的信息分为两类:企业内部的保密信息与向社会公众公开的企业产品广告信息。企业内部的保密信息不允许任何外部用户访问,而企业产品广告信息则希望社会上的广大用户尽可能多地访问,防火墙就是用来解决 Intranet 与 Internet 互联安全性的重要手段。

由于 Intranet 的 Web 服务器的服务对象与 Internet 有所不同,其用途也有别于 Internet。

Intranet 用途主要有以下几个方面：

① 可实现点对点的通信。微机或工作站之间可以相互呼叫，进行文件对话。如安装有声卡和话筒，还可以实现语音半双工对话。

② 企业内部信息发布。包括电话号码目录、员工手册及企业有关文件等都可以放在 Web 服务器上，供本地或远地的企业员工来访问。

③ 充分利用现有的数据库资源。WWW 能够跨越平台与企业现有的 MIS 中各种数据库平滑地连接，这种连接主要通过 CGI 技术来实现。用户使用统一的客户工具—浏览器来访问 Web 服务器，既可以获取一般信息，又可以获取数据库中的数据。这样可以一举数得：一是简化了用户的操作，改善了用户界面；二是减轻了数据库管理员的负担，不必再为用户的培训和技术支持等琐事所困扰，可将精力集中在数据库性能的改善上；三是保护企业已在 MIS 上的投资，并使数据库系统更加丰富多彩和方便易用。

④ 理想的销售工具。企业的销售人员不管在何地都能够随时地从公司内部 Web 服务器上得到各种市场信息以及公司新产品的照片、技术规范、价格等信息。

⑤ 企业内部论坛。通过设置企业内部论坛、布告栏等，加强企业内部的信息沟通，方便企业人员之间的交流与合作。

## 2. Intranet 的主要特点

Intranet 的核心技术是 WWW。WWW 是一种以图形用户界面和超文本链接方式来组织信息页面的先进技术，形成一个高效的、完整的企业内部信息系统。将 Internet 技术引入企业内部网 Intranet，使得企业内部信息网络的组建方法发生了重大的变化。同时也使 Intranet 具有以下几个明显的特点：

### (1) Intranet 为用户提供了友好的、统一的浏览器界面

由于 Intranet 使用了 WWW 技术，用户可以使用浏览器方式方便地访问企业内部网的 Web Server，或者是外部 Internet 上的 Web Server，这将给企业内部网的用户带来很大的方便。用户可以通过 WWW 的主页 Home Page，方便地访问企业内部网与 Internet 上的各种资源。

### (2) Intranet 可以简化信息系统配置

由于 Intranet 采用了友好和统一的界面，简化了信息系统的配置和维护。因此用户在访问不同的信息系统时，可以不需要进行专门的培训。这样，既可以减少用户培训的时间和用户培训费用，又可促进企业经营，降低营业成本。

### (3) Intranet 可以改善用户的通信环境

由于 Intranet 中采用了 WWW、E-mail、FTP 与 Telnet 等标准的 Internet 服务，因此 Intranet 用户可以方便地与企业内部用户或 Internet 用户通信，实现信件发送、通知发送、资料查询、软件与硬件共享等功能。

### (4) Intranet 可以实现企业的办公自动化

Intranet 用户不但能发送 E-mail，而且可以利用 WWW 发布和阅读文档。文档的写作者可以随时修改文档内容和文档之间的链接，不需要打印就可以在各地用户之间传送与修改文档、查询文件。企业管理者可以通过 Intranet 实现网络会议和网上联合办公。企业的产品开发者还可以用协同操作方式，通过 Intranet 实现网上联合设计，这些功能都为最终实现企业的办公自动化创造了有利的条件。

### (5) 可以从现有网络平滑过渡到 Intranet

在现有网络中建立 Intranet，只需改变目前企业网的应用方式和界面，并不需要改动现有



企业网的物理结构，而且与现有管理信息系统可以有机地集成，从而平滑过渡到 Intranet。

(6) Intranet 具有跨平台的重要特性

Intranet 的协议和标准是公开的，它不局限于某个硬件平台和操作系统，可以简单地移植到任何平台上，所以跨平台是 Intranet 最重要的特性。

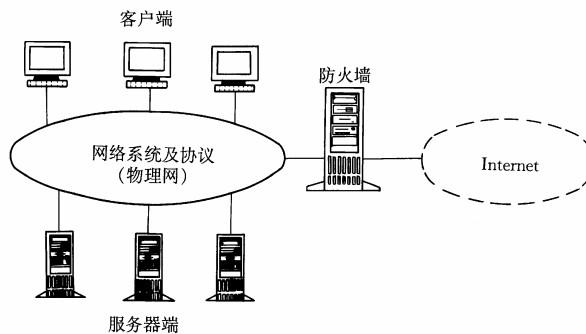
(7) Intranet 支持多媒体信息

数据、声音、图形和图像等多种信息可以通过标准浏览器显示出来，具有图形化的用户界面且简单易用。

### 3. Intranet 的结构与开发方法

#### (1) Intranet 的基本结构

Intranet 的基本结构由以下四部分组成，如图 7.35 所示。



- 服务器端：是指扩充 Web 服务器的功能，主要通过通用网关接口（CGI）编程实现。
- 客户端：是指在客户端接口（Client Side API）基础上开发定制的浏览器机制。
- 物理网：是指现有的企业内部网。
- 防火墙：是指运行一种特定安全软件的计算机系统，它在内部网和外部网之间构筑一个保护层，只有被授权的通信才能通过保护层，防止未授权访问、非法入侵和破坏行为。

#### (2) 组建 Intranet 的基本要求

组建 Intranet 的三个要求，即基本平台、客户端开发和服务器方开发，现简述如下：

##### ① 基本平台

Intranet 的基本平台包括一些公开的标准、应用程序和用户能直接利用的现成产品。在组建 Intranet 中常用的有：

- Java

它是由 Sun 公司开发的面向对象的编程语言，常用于开发各种功能强大的，与平台无关的网络应用。

- JavaScript

一个基于 Java 而发展出来的简单描述语言，常用于开发丰富多彩的多媒体嵌入程序，可以嵌入到 WWW 的 HTML 文档中。

- HTML

超文本标注语言，是用来编写 WWW 超本文档的标注语言。它类似于字处理程序所使用的标注语言，是 IETF 国际标准 SGML 语言的一个子集。

- VRML

虚拟现实建模语言，用于创建真实的三维模型，用户可以在用该语言创建的虚拟三维空间中游历。

- 安全标准

各种保密通信标准，一个例子就是安全嵌套字长 (SSL:Secure Socket Layer)，它是一个由 Netscape 公司提出来的安全协议，可以提供通信加密和身份认证功能。

- 电子贸易标准

一组保证在 Internet 上开展电子贸易的协议和标准，例如安全交易协议。

- 数据库访问接口标准

数据库厂商及 Netscape 和 Sun 等公司开发的访问数据库的一些工具，如 JavaScript 的数据库访问对象，以及 ODBC 等协议，还有 Sun 公司正在推出的 Java Database。

## ② 客户端和服务端开发

Intranet 服务器主要有 WWW 服务器、数据库服务器和电子邮件服务器等。

WWW 虽然是 Intranet 的主要应用形式，但 WWW 并不具备很强的数据管理功能。因此，必须使用数据库等为 WWW 管理大量的数据。而数据库与 WWW 的结合靠的就是 Web 服务器的 CGI 编程接口。为了适应 Internet/ Intranet 中 WWW 与数据库链接的要求，很多公司纷纷推出了数据库 WWW 数据转换工具、数据库 WWW 开发工具、报表生成工具等。例如，Microsoft 公司提供了 Access 数据库向 WWW 转换的工具软件 Internet Assistant for Access，它可以直接将 Access 数据库中的数据取出，并转换成 WWW 文档。在 Office 97 软件包中，Internet Explorer 浏览器可以直接浏览 Access 数据库中的数据。在 Informix WWW Server、Windows NT SQL Server 的 Web Assistant for SQL Server 中，数据库用户可以方便地使用 WWW 浏览器浏览数据。使用 Visual Basic、Power Builder 等工具开发的应用程序，以及在 Internet Information Server 中使用 Visual Basic 或 CGI 编程，都可以方便地通过 WWW 浏览器存取数据库的数据。使用一些常用的报表生成工具，如 Business Object、Impromptu，加上相应的接口程序后，用户就可以将 Oracle、Informix、Sybase 数据库中的数据取出，并转换成相应的 WWW 文档。

Intranet 的 WWW 服务器用于存储和管理主页 Home Page，提供 WWW 服务。在实际应用中，与 WWW 服务器配套的另一类服务器是代理服务器 Proxy Server。代理服务器的作用主要有以下两个：一是作为防火墙，即要实现完成 Intranet 与 Internet 的互连，又要防止外部用户非法访问 Intranet 的保密资源；二是作为 WWW 服务的本地缓冲区，将 Intranet 用户从 Internet 中访问过的主页或文件的副本存放在代理服务器中，用户下一次访问时可以直接从代理服务器中取出，这样可以大大提高用户访问速度，节省费用。Web Server 与 Proxy Server 软件属于服务器端软件。

WWW 的另一部分软件是客户端软件。客户端软件主要有 WWW 浏览器软件 (WWW Browser)、主页制作软件 (HTML Editor) 与主页转换软件 (HTML Converter) 等。

电子邮件软件同样也可分为服务器端与客户端两部分。大部分 WWW 浏览器软件都包含有电子邮件的客户端功能。用户可以通过 Home Page 去查询和处理电子邮件，也可以用电子邮件中插入的 WWW 主页链接来调用主页。

数据库服务器 Database Server 也是 Intranet 的重要组成部分。目前，Web Server 一般是通过 ODBC (Open Database Connection) 接口与数据库连接的。开放数据库接口 ODBC 是

Microsoft 公司制定的一种数据库标准接口，目前已被大多数数据库厂家所接受。无论是大型数据库 (如 Oracle、Informix、Windows NT SQL Server)，还是小型数据库 (如 dBASE、Access、Visual FoxPro)，它们都提供了相应的 ODBC 接口。各种常见的数据库都可以通过 WWW 形式显示。主页制作人员通过在 WWW 主页中嵌入 SQL 语句，用户可以直接通过主页去访问数据库文件。

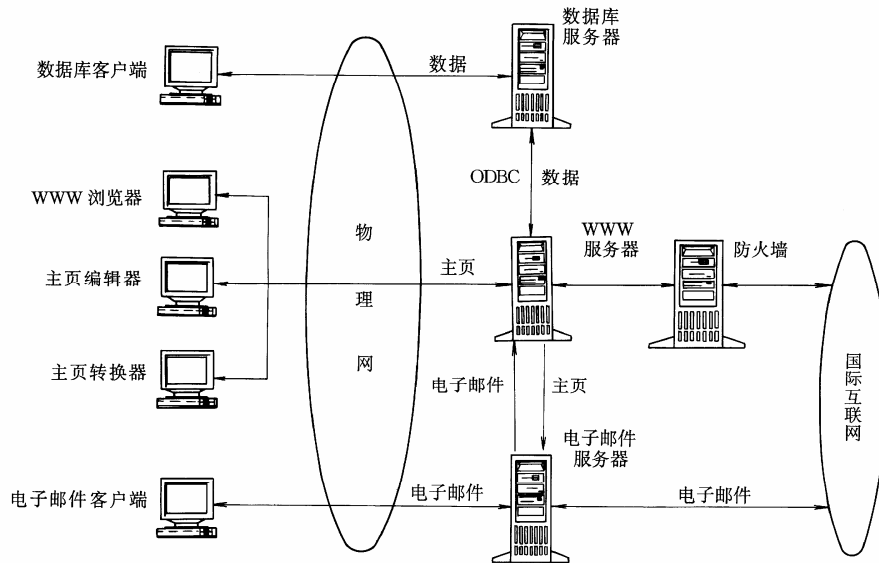


图 7.36 Intranet 的逻辑结构

在 Intranet 中，Web Server 与 E-mail Server 都是要与外部的 Internet 连接的。Web Server 一般是通过防火墙或代理服务器与 Internet 连接；E-mail Server 可以通过防火墙与 Internet 连接，也可以直接与 Internet 连接。Intranet 的内部客户端、服务器端，以及与外部 Internet 连接的逻辑关系如图 7.36 所示。

### 7.5.7 网络安全与防火墙简介

随着网络应用的发展，网络在各种信息系统中的作用变得越来越重要，人们也越来越关心网络安全问题。网络安全涉及到很多方面，例如，存储数据的泄密、破坏和丢失，程序执行错误导致错误信息，以及故意发送错误信息造成混乱和损失，传输色情和暴力信息误导青少年，破坏网络软件系统中的某个部分使网络系统瘫痪或无法正常工作等。

本节主要介绍网络安全及防火墙的基本概念。

#### 1. 网络安全

##### (1) Internet 网络安全问题的层次

Internet 网络安全可分为以下几个层次，即操作系统层、用户层、应用层、网络层（路由器）和数据链路层，如图 7.37 所示。

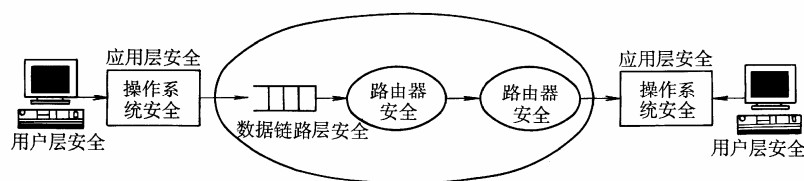


图 7.37 网络安全的几个层次

### · 操作系统层的安全

当前常用的操作系统主要是 UNIX 系列和 Windows 系列。无论是服务器还是客户机，大都如此。因为用户的应用系统全部都在操作系统上运行，而且大部分安全工具或软件也都在操作系统上运行。因此，操作系统的安全与否直接影响网络安全。

### · 用户层安全

用户层安全主要指他人冒名顶替或用户通过网络进行有关处理后不承认曾进行过有关活动的问题。用户层的安全主要涉及到对用户的识别、认证以及数字签名问题。

### · 应用层安全

应用层安全与应用系统直接相关，它既包括不同用户的访问权限设置和用户认证，数据的加密与完整性确认，也包括对色情、暴力以及政治上的反动信息的过滤和防止代理服务器的信息转让等方面。

### · 网络层（路由器）安全

网络层的安全是 Internet 网络安全中最重要的部分。它涉及到三个方面。第一，IP 协议本身的安全性。IP 协议本身未加密使得人们非法盗窃信息和口令等成为可能。第二是网管协议的安全性。正如在网络管理中介绍的那样，由于 SNMP 协议的认证机制非常简单，且使用未加保密的明码传输，这就存在人们通过非法途径获得 SNMP 协议分组并分析破解有关网络管理信息的可能性。第三个方面，也是最重要的方面，就是网络交换设备的安全性。交换设备包括路由器和 ATM。由于 Internet 普遍采用路由器方式的无连接转发技术，且路由协议为动态更新的开放最短通路优先（OSPF）和路由信息协议（RIP）。这些协议动态更新每个装有这些协议的路由器的路由表。从而，一旦某一个路由器发生故障或问题，将迅速波及到路由器相关的整个 Internet 自治域。更为可怕的是，即使我们的网络不与 Internet 连接，但人们仍可以使用在网络路由器中预置破坏程序的方法使我们的专用网络在他们指定的时间内瘫痪或出错。如果银行的网络中有一个主干路由器出错或错误地更新路由信息，依赖于网络的银行金融系统就无法正常工作。

### · 数据链路层的安全

数据链路层的安全主要涉及到传输过程中的数据加密以及数据的修改，也就是完整性问题。数据链路层涉及的另一个问题是物理地址的盗用问题。由于局域网的物理地址是可以动态分配的，因此，人们就可以盗用他人的物理地址发送或接受分组信息。这对网络计费以及用户确认等带来较多的问题。

## (2) 保护网络安全的方法

解决网络安全问题的方法，归纳起来有如下几种：

① 加强管理和制定相应的法律法规，尽量减少内部管理人员的犯罪，或因内部管理疏忽而造成的犯罪；

- ② 加强访问控制与口令管理；
- ③ 采用防火墙技术并对应用网关以及代理服务器加强管理；
- ④ 对数据和 IP 地址进行加密后传输；
- ⑤ 使用用户认证和数字签名技术；
- ⑥ 在重要的全国性网络中使用经过严格测试的、具有源代码和硬件驱动程序的路由器与其他网络交换设备。

(3) 网络安全的评估标准

对于计算机网络系统安全的评估，目前常用美国国防部计算机安全中心发布的《桔皮书》，即“可信计算机系统评估标准”(Trusted Computer System Evaluation Criteria)。其评估标准主要是基于系统安全策略 (Policy) 的制定、系统使用状态的可审计性 (Accountability) 及对安全策略的准确解释和实施的可靠性 (Assurance) 等方面的要求。

在标准中，系统安全程度被分为 A、B、C、D 四类，每一类又分为若干等级，共八个等级，它们从低到高分别是 A、C1、C2、B1、B2、B3、A1、A2，其中以 D 级系统的安全度为最低，常见的无密码保护的计算机系统即属此类，通常具有密码保护的多用户的工作站系统属于 C1 级。

2. 防火墙的基本概念

(1) 防火墙的概念

防火墙是指设置在不同网络（通常指可信任的企业内部网和不可信的公共网）或网络安全域之间的一系列部件的组合（由软件和硬件构成）。它是不同网络或网络安全域之间信息的唯一出入口，能根据企业的安全政策控制（允许、拒绝、监测）出入网络的信息流，且本身具有较强的抗攻击能力。它是提供信息安全服务，实现网络和信息安全的基础设施。在逻辑上，防火墙是一个分离器、一个限制器，也是一个分析器，有效地监控了内部网和 Internet 之间的任何活动，保证了内部网络的安全。防火墙设置方式如图 7.38 所示。

(2) 防火墙的功能

防火墙应具备的主要功能如下：

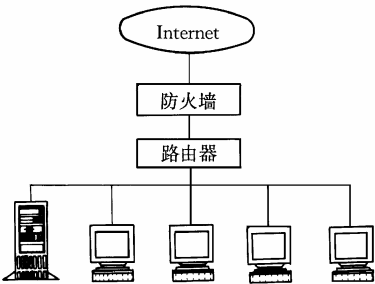


图 7.38 防火墙设置方式示意图

- 即使在无其他安全策略情况下，也应该支持“除非特别许可，否则拒绝所有的服务”的设计原则。
- 应该具有代理服务（如 FTP、TELNET 等），包含先进的鉴别技术。
- 采用过滤技术，根据需求来允许或拒绝某些服务。
- 防火墙的编程语言应该是灵活的，编程界面对用户是友好的。并且有很多过滤属性，

包括源和目的 IP 地址、协议类型、源和目的 TCP/UDP 端口以及进入和输出的接口地址。

- 具有缓冲存储的功能，以获得高效快速访问。
- 应该接纳对本地网的公共访问，本地网的公共信息服务被防火墙所保护。本地网的公共信息服务可以按需要删减和扩充。
- 具有对拨号访问内部网的集中处理和过滤能力。
- 具有记录和审计的功能，包括可以登记通信的业务和记录可疑活动的方法，便于检查和审计。

### 3. 防火墙基本实现技术

防火墙技术一般分为两类：分组过滤路由器和服务代理技术。

#### (1) 分组过滤路由器

分组过滤路由器技术主要通过过滤 IP 地址或 TCP 端口号来决定是否转发一个分组。通常，IP 地址和 TCP 端口号分别是网络层和传输层的功能，但分组过滤路由器也能在应用层上工作，因为 Internet 的应用软件一般都与特定的端口号相关联。例如，远程登录（Telnet）应用总是在 TCP 端口 23 上进行，因此可以建立一个防火墙过滤器来阻止向内部计算机上发送远程登录分组。分组过滤路由器型防火墙的主要优点是使用方便且价格低廉。现用防火墙的 80% 都是采用在企业内部网和 Internet 之间的路由器上配置若干个过滤路由器来实现的。由于这种防火墙是配置在路由器上且内部网和外部网通过路由器直接连接，一旦防火墙失效，内部网和外部网之间的安全屏障便消失，外部用户就会不受阻拦地直接进入内部网，内部网的安全性将会大大地削弱。

#### (2) 服务代理技术

服务代理技术在内部网与外部网之间建立一级服务代理，内部网与外部网之间的信息交换必须通过服务代理来进行，不允许它们之间直接进行通信。当客户与 Internet 服务器建立连接时，必须先建立客户与防火墙之间的链路，然后防火墙再与 Internet 服务器建立一个分开的链路。这样，即使防火墙失效，外部网上的客户仍不能进入内部网。这种防火墙一般要求具有至少两条逻辑链路，而且在处理每一种应用时都需要特定的代理软件。在大多数这类防火墙产品中都包含了对核心 TCP/IP 应用的代理，如 Telnet、FTP 及 HTTP 等。服务代理防火墙在实际应用中有两种技术：一种是应用级网关型，是在应用层实现防火墙功能的。例如，一个邮件网关在检查每一个邮件时，要根据邮件的首部或报文的大小，甚至是报文的内容来确定该邮件能否通过防火墙；另一种是虚电路级网关型，是在传输层的 TCP 协议上实现的。两者相比，前者的安全性能好，而灵活性和透明性不如后者。

分组过滤路由器和服务代理技术可单独使用，也可组合在一起使用，图 7.39 所示的防火墙就同时具有这两种技术。它包括两个分组过滤路由器和一个应用网关，它们通过两个局域网连接在一起。

这两个分组过滤路由器都是标准的路由器，但增加了一个功能，这就是对每一个通过的分组进行检查，这两个路由器中的一个专门检查进入内联网的分组，而另一个则检查出去的分组。符合条件的分组就能通过，否则就丢弃。使用两个局域网的原因就是使穿过防火墙的各种分组必须经过分组过滤路由器和应用网关的检查，而没有任何其它的路径。应用网关是从应用层的角度来检查每一个分组。

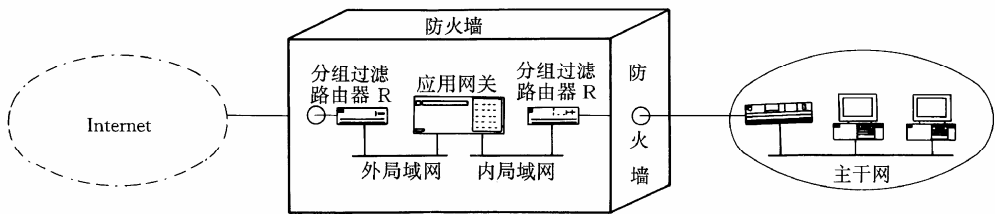


图 7.39 防火墙在互连网中的位置

# 第八章 综合业务数字网

数字传输和数字交换技术的发展，促使传统的模拟电话网向综合数字网（IDN：Integrated Digital Network）过渡。在 IDN 的基础上，80 年代初提出了不仅可实现传输和交换的综合，也可实现各种业务信息的综合，即综合业务数字网（ISDN：Integrated Service Digital Network）。综合业务数字网（ISDN）是通过网络为用户提供包括数据、话音、图像和传真等各类业务的技术手段。

国外在 80 年代末，ISDN 已经进入商用化阶段，特别是近年来 ISDN 的业务发展很快，欧洲 ISDN 网（Euro-ISDN）的覆盖范围逐步扩大，北美 ISDN 的功能也不断增强，亚太地区一些国家也在引入 ISDN 技术。90 年代已是 ISDN 的普及时期。1992 年提出宽带综合业务数字网（B-ISDN）的有关建议，1996 年世界发达国家已有 B-ISDN 的商用化业务。

## 8.1 ISDN

### 8.1.1 IDN 和 ISDN

#### 1. IDN

综合数字网 IDN 是以 64kbit/s 的 PCM 信道为基础，把数字时分电话交换和数字时分复用传输综合起来的数字电话网。图 8.1（a）为模拟电话网的方框图，在这里传输和交换功能

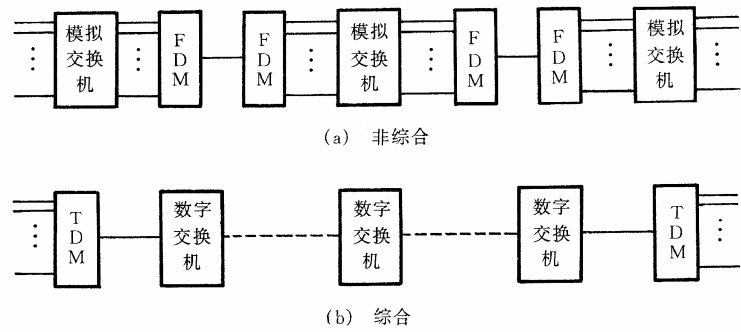


图 8.1 传输与交换的综合

上是分开的。在模拟网中，输入的话音首先在发端终端局以频分复用（FDM）方式进行调制和复用后再送往线路传输；在收端，则首先将输入的复用信号进行分路和解调后送入空分交换机（模拟交换机）。在远距离通信中需要经过多个中间交换局重复上述过程，显然会造成噪



声的积累和费用的增加。当传输与交换系统都为数字式时，如图 8.1 (b) 所示，输入的音频信号由脉冲编码调制 (PCM) 数字化，并用时分方式复用 (TDM)，而各中间局的时分数字交换机则可对各路信号直接交换。在通信中广泛采用的程控交换技术就是 PCM 方式传输和时分数字交换相结合的交换技术，程控交换与 PCM 方式传输的结合就可构成综合数字网络 (IDN) 系统。由于综合数字终端接点所发送的信号仍然是模拟信号，因此对这样的网络不能进行业务的综合，即对不同的通信业务需建立不同的专用 IDN。

## 2. ISDN

1984 年 6 月 CCITT 通过了 I 系列建议书，提出了 ISDN 的概念：ISDN 是以电话 IDN 的概念为基础发展而成的网络。它可以在同一个网络中支持语音和非语音的多种业务，提供端对端的数字连接，用户可通过有限的一组标准多用途用户/网络接口接入网络。“综合业务”的关键是指用标准的用户/网络接口实现对业务范围的保证，它既应保证语音信号的传输，又应保证非语音数字信号的传输。

图 8.2 是一个从用户角度来看的 ISDN 模型。各用户设备组成的用户通过 ISDN 网络接口访问 ISDN，ISDN 网络接口通过具有一定比特率的“数字管道”和 ISDN 交换中心局连接。对单个用户只需要能满足处理一路电话，数字管道用来载送多个通信信道。管道的容量及信道数可以随用户的不同而不同，用户可根据不同的业务选择信道的类型和数量。信道的标准类型有 B 信道 (64kbit/s)、D 信道 (16kbit/s)、C 信道 (8/16kbit/s) 和 A 信道 (4kHz 模拟) 等四种。例如一个基本信道结构由两个全双工 B 信道和两个全双工 D 信道构成时，则总比特率为 160kbit/s。在任一给定时刻，用户使用的管道容量是固定的，但用户的通信量是可变的，因此要求 ISDN 按用户使用的信号类型和比特率来动态地分配管道容量，这就靠 ISDN 的控制信号来完成。

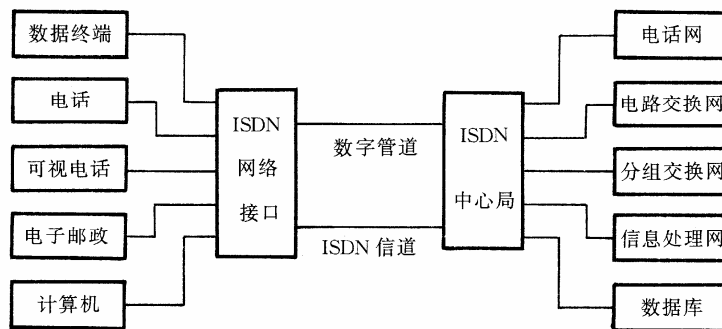


图 8.2 ISDN 概念模型

建立 ISDN 的原则是：

- (1) 能借助有限个多用途用户/网络接口提供一条数字链路，以支持电话和非电话业务。
- (2) 不仅能提供电路交换和分组交换业务，而且还适用非交换业务的专用线。
- (3) 将新业务导入 ISDN 时，应能满足 64kbit/s 的数字交换连接条件。
- (4) ISDN 应有智能功能、维护功能和网的管理功能。
- (5) 用户出入口以开放系统互连 (OSI) 为基准的分层协议结构表示，可以根据业务要求及本国 ISDN 的完成情况修改用户到 ISDN 的出入口。

### ISDN 的定义：

CCITT 对 ISDN 的定义是，“ISDN 是以综合数字电话网（IDN）为基础发展演变而成的通信网，能够提供端到端的数字连接，用来支持包括话音和非话音在内的多种电信业务，用户能够通过有限的一组标准多用途用户/网络接口接入网内”。

ISDN 的定义可以归纳为以下几点：

- (1) ISDN 是以综合数字网（IDN）为基础发展而成的通信网；
- (2) ISDN 支持端到端的数字连接；
- (3) ISDN 支持话音及非话音的各种通信；
- (4) ISDN 提供标准的用户/网络接口。

### 3. IDN 与 ISDN

综合数字网（IDN）与综合业务数字网（ISDN）是完全不同的概念，但又存在着密切的联系，如图 8.3 所示。ISDN 是在 IDN 基础上发展起来的，数字技术又是实现 IDN 和 ISDN 的公共基础。将语音、数据及图像等所有的信息数字化，变成“1”和“0”组成的二进制序列，并赋予适当的传输速率，即可用综合业务数字网对各种通信进行业务综合。可见，综合数字网 IDN 是指网络的构成方式与可传送的业务无关。假如将综合数字网和综合业务网合为一体，就能够获得以一个综合通信业务为目的的综合数字网，这正是 ISDN 的概念。为了实现 ISDN，必须首先将世界上规模最大、应用最广的公共电话网改造成综合数字网，在此基础上再发展成 ISDN。

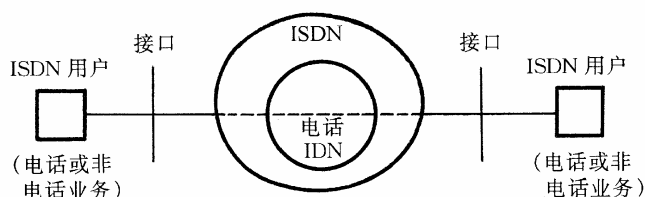


图 8.3 IDN 与 ISDN

## 8.1.2 ISDN 的实现

### 1. 发展 ISDN 的必要性

#### (1) 通信费用便宜

由于 ISDN 能够将各种业务综合在一个网内，使用单一的网络来提供各种不同的业务，因此大大提高了网络资源的利用率，以低廉的费用向用户提供业务。此外，用户不必购买和安装不同的设备和线路来接入不同的网络，而只需一个接口就能得到各种业务，因此大大地节省了费用。

#### (2) 使用灵活方便

如同现在普遍使用的电源插座、插头一样，可用一种统一的、标准化的通信用插头连接器安装在不同的地方，用于各种不同的通信业务。这样，只要预先在办公室或住房的若干地方安装上此类数字连接器，通信终端就可在任何时候搬移到任何一个需要的地方。

#### (3) 高速数据的传输

通过数字连接器能够提供的基本的通信能力是两个传输速率为 64kbit/s 的信道 (B 信道) 和一个传输速率为 16kbit/s 的信道 (D 信道)。如果需要更高的速率, ISDN 也可提供 1.5Mbit/s 或 2Mbit/s 的传输速率。现在的电话线路上, 数据传输速率最多只能达到 4.8kbit/s 或 9.6kbit/s, ISDN 中的 B 信道的 64kbit/s, 可以说比之提高了 10 倍左右。

使用 B 信道后, 不仅可与过去一样进行话音通信和传真通信, 而且当同时使用话音、数据、传真等不同的通信业务时, ISDN 具备自动选择的功能, 以使传送话音信号时能自动传送到话音终端, 传送传真信号时能自动传送到传真终端, 从而使发送终端和接收终端能正确组合使用。

#### (4) 高速的传输质量

由于采用端到端的数字连接, 因此噪声、串音及失真受距离和链路数增加的影响都非常小, 具有优良的传输质量。在接收端, 声音信号的电平和传输距离无关, 失真很小, 串话也不存在了。对于数据传输来说, 由于采用了纠错编码, ISDN 中传输的误码特性比电话网传数据的误码特性至少改善了 10 倍。此外, 由于 ISDN 中的数字设备便于故障检测, 系统可靠性也非常高。

#### (5) 便于功能的扩展

ISDN 采用分层结构和上层的互换性, 以适应技术的进步, 便于扩展功能。具体地说, 是将主要的功能部分分割开并赋予系列化规格的接口, 从物理的传输功能直至每种业务应用都采用分层结构, 这是横向整理、分类与通信有关的硬件、软件而建立起来的统一模型。这样, 将来要增加新的功能时, 可以不变更原有的部分, 仅需在有关层次作修改、添加, 就可完成功能扩展。可以说现在的 ISDN 已考虑到即将出现的话音、数据和图像通信业务相融合的多媒体终端的应用, IC 卡的应用, 基于人工智能 (AI: Artificial Intelligence) 技术的智能通信业务等。

### 2. 实现 ISDN 的技术基础

#### (1) 数字传输技术

数字传输可以采用脉冲编码调制 (PCM)、差分编码调制 (DPCM)、自适应差分编码调制 (ADPCM)、增量调制 ( $\Delta M$ ) 等多种方式。常用的是脉冲编码调制, 这种调制是时分多路通信的一种主要方式。脉码调制包括抽样、量化和编码三个过程。国际上现有的编码率有 A 律和  $\mu$  律两种, 前者采用 13 折线近似, 后者采用 15 折线近似, 我国选用 A 律编码。数字传输系统可以用大规模集成电路实现, 使设备小型化, 而且经济、可靠。在长距离传输时, 可以使用再生中继方法, 消除噪声的累积。

#### (2) 数字交换技术

存储程序控制 (SPC) 电子交换, 简称数字程控交换。数字交换系统由硬件和软件共同组成。硬件包括处理机系统, 即控制系统、话路系统、输入输出系统等。软件包括程序和数, 程序分为应用程序和操作系统程序两大部分, 数据包括用户数据和局数据。交换网主要是由控制存储器和话音存储器所组成的时分级以及按矩阵方式所组成的空分级所组成。交换网多采用时分—空分—时分 (简称 T—S—T) 结构。控制接续部件主要是中央处理机。用户信息以数字编码形式在交换网中进行时隙交换, 完成通路连接。基本控制方式有集中控制、分级控制和分散控制三种。

#### (3) No.7 信令系统

共路信令是利用一个公共信令信道传输许多通路的信令, 较常用的是 No.7 信令。No.7

信令系统除了具有呼叫监视、选择和运行功能外，还具有在交换局间和交换局与各种特种服务中心间进行各种数据信息交换的功能。此外，还能够完成电路群监视、地址性质、电路性质和回声抑制控制，以及附加路由、附加地址和主叫用户标识等功能。

No.7 信令是根据开放系统互连（OSI）数据分层的设计方法，提出了多功能分层模块化信令系统。它适用于电话网、电路交换数据网和 ISDN。

(4) 同步网技术

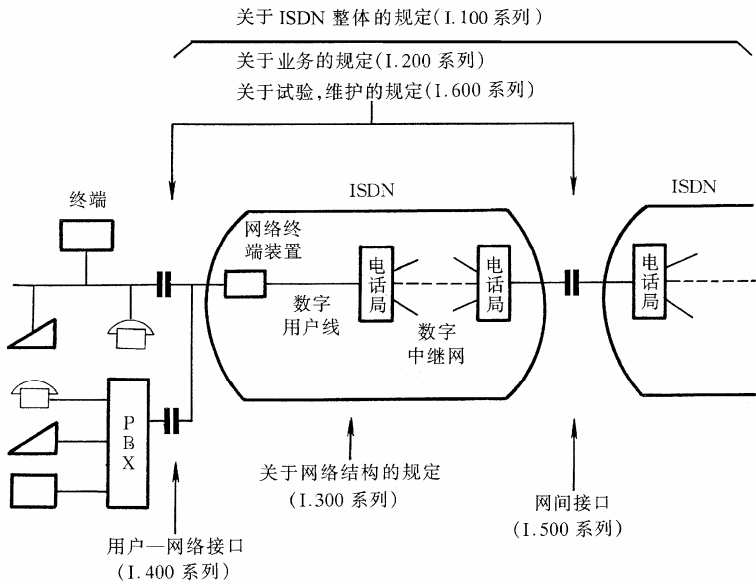
同步网是为电信网内所有电信设备的时钟提供同步控制信号，使它们工作在共同频率上的电信支撑网。数字网内任何两个数字交换设备的时钟速率差超出规定值时，编码后的离散脉冲信号在缓冲存储器中就会发生滑动。同步网的功能在于使网内全部数字交换设备的时钟频率工作在共同的速率上，以消除或减少滑动，数字同步网是实现 ISDN 的必要条件。

8.1.3 ISDN 的国际标准

ISDN 的国际标准主要以 I 系列为主，除此还有其它有关的系列。

1. I 系列建议

I 系列建议的构成如图 8.4 所示。其中 I.100 系列，主要描述 ISDN 基本概念、建议的结构、术语和一般方法；I.200 系列，主要描述 ISDN 业务特性；I.300 系列，主要描述网络结构和运行；I.400 系列，主要规定用户—网络接口的特性和技术规范；I.500 系列，提供了 ISDN 网间接口的原则；I.600 系列，描述了 ISDN 的维护原则以及操作和其它特性。



(b) I 系列建议在 ISDN 中的位置和作用

图 8.4 I 系列建议体系

2. 其它有关系列的建议

与 ISDN 有关的建议除 I 系列外，还有以下若干系列，如图 8.5 所示。

G 系列：数字传输方式；

- M 系列：维护、运行和管理；
- Q 系列：数字交换与 ISDN 网络的内部结构有关，而与用户无直接关系。

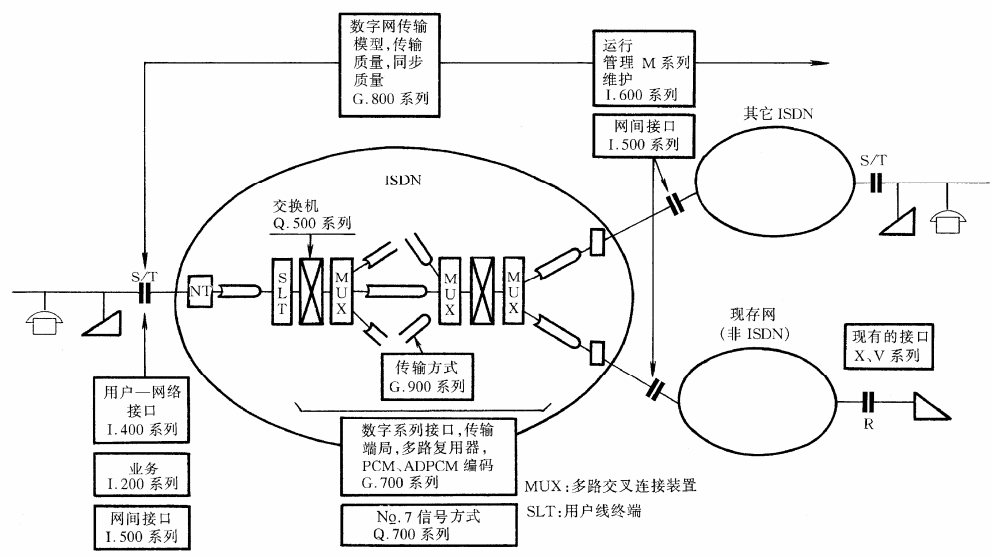


图 8.5 与 ISDN 有关的建议系列

## 8.2 ISDN 网

ISDN 的发展大致可分为以下四个阶段：

- 第一阶段：1985~1990 年，实现 64kbit/s 电路交换的 ISDN，即由 IDN 演变形成 ISDN。
- 第二阶段：1990~1995 年，实现用户数字化以及通过数字接口使得用户出入口系统能够和 64kbit/s 的电路交换网及分组交换网连接。
- 第三阶段：1995~2000 年，提供各种已有的和即将出现的新业务，实现话音、数据及图像等三种业务的融合，形成高速电路交换和高速分组交换的宽带 ISDN。
- 第四阶段：2000 年之后，ISDN 将是能够提供各种通信业务，具有智能功能的宽带综合业务通信网。

最初出现的关于话音及数据的 ISDN 网络结构如图 8.6 所示，是一种由电路交换和分组交换构成的混合交换系统，它综合了平常的话音和数据载波网络。大容量数据和话音信号由 64kbit/s 电路交换来处理，而突发的数据用分组（包）交换来完成。在图 8.6 中，终端的输出通过 B 信道和 D 信道进入 ISDN 本地交换局，其中 B 信道传送 64kbit/s 的信息（如 PCM 话音编码、数据信息、宽带数据话音等），D 信道用来传送信令信息。传输网络由 64kbit/s 的电路交换信道、数据分组交换信道和公共信令信道构成。

随着 ISDN 的发展，各种信令系统也将综合成一个公共的信令系统，如 1980 年 CCITT 以 Q.700 系列建议的形式规定了具有通用性共路信令方式，即 No.7 信令方式，它能以共同的设备及方式处理电话、数据等交换业务以及对网路进行维护与运行管理。它不仅适用于交换机之间，也适用于交换机与带有数据库的智能节点的信息交换。具有这种共路信令网的 ISDN

能够形成一个动态工作的基础结构,它能够对业务量的变化直接给予响应。图 8.7 是 ISDN 发展到第四阶段的结构示意图。同初级阶段的 ISDN 网络比较看出,在 ISDN 发展初期(如图 8.6 所示),它本身并不具有分组交换功能,而是通过和分组交换数据网的网间连接对 ISDN 用户提供交换业务。未来高级的 ISDN 应具有分组交换的功能,这时本地交换机就能起到一个分组节点的作用。如图 8.7 所示。

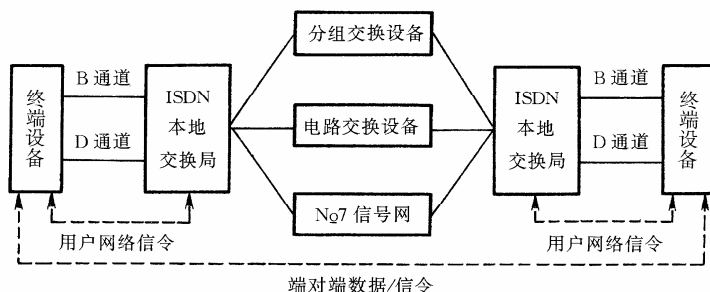


图 8.6 初级 ISDN 结构

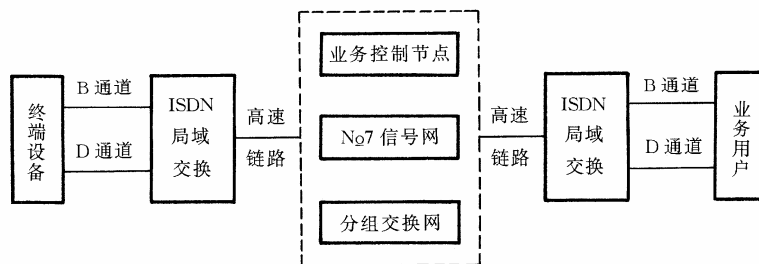


图 8.7 高级 ISDN 结构

ISDN 交换机是在现有数字程控交换机上开发的,新开发的内容主要有:

- (1) 新的用户电路把 2B+D 的信号分解成两个 64kbit/s 的信号(B 信道信号)和一个 16kbit/s 的信号(D 信道信号)。64kbit/s 信号经交换网进行交换(电路交换),16kbit/s 信号由处理机(CPU)加以处理,控制电路的交换。
- (2) D 信道处理功能,即实现 D 信道协议。
- (3) 7 号信令系统的 ISUP (ISUP 用户部分)。
- (4) 根据分组业务的综合,国际电联电信标准化部门 (ITU—T, 原 CCITT) 建议有两种综合方式,即所谓最小综合和最大综合。最小综合是 ISDN 本身并不具有分组交换功能,只是在分组交换机和接在 ISDN 用户/网路接口上的分组终端之间提供一条 64kbit/s 的物理通路,分组交换的业务由分组网的交换机处理。最大综合时,ISDN 具有分组处理功能,ISDN 内可实现分组通信,并能提供各种补充业务。CCITT 建议将来 ISDN 应支持这种分组通信。

ISDN 的一般结构,如图 8.8 所示。它由用户网络、局域网络和传输网络等三部分组成。

- (1) 用户网络主要指用户所在地的设备及接口,如终端设备 TE、终端适配器 TA、网络终端设备 NT 等。
- (2) 局域网络包括一个本地交换机(即用户环路)内放置的一组设备,其中有网络终端 NT 和线路终端 LT 的传输系统,远端复用和分接器(集中器)及交换单元。一个 ISDN 业务

局，它由本地交换机和相关的其它设备构成。

(3) 传输网络包括各种功能的传输网络，即窄带传输网、宽带传输网、公共信令传输网和分组交换网等。64kbit/s 电路交换连接的是 ISDN 的基本功能，此外还有 384kbit/s 的中速电路交换功能及大于 1.5Mbit/s 的高速电路交换功能。

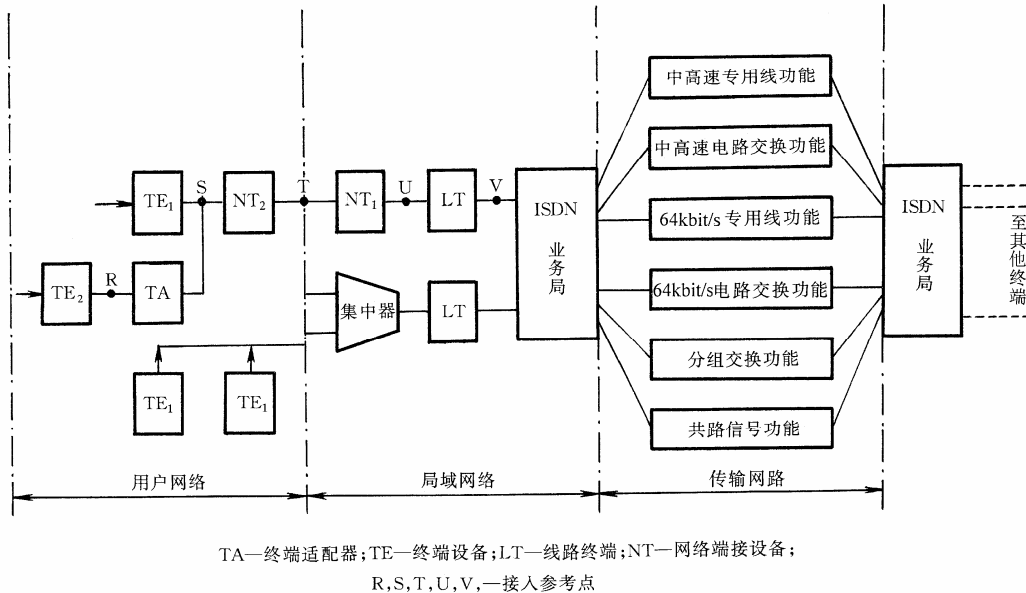


图 8.8 ISDN 的一般结构

为了使 ISDN 的功能既能适应新业务的需要而又可灵活地增加或修改，也采取了开放系统互连的分层原则，将一个通信过程可能要执行的全部功能划分为 7 种类型，定义为 7 层，可逻辑地看成是 7 种有次序的子系统。若需要变更某一层功能只需独立修改与该层相应的软件或硬件模块即可，不会因此而影响相邻层的功能。在 ISDN 中，第 1~3 层功能称为低层功能（LLF），即通信传送功能，这是网络与终端均需具备的功能。CCITT 已经制定了第 1~3 层相应的规程标准，按照这些标准依靠低层功能就能保证用户/网络接口间信息透明地传送。第 4~7 层功能称为高层功能（HLF），即通信处理功能，通常需由终端设备或终端适配器来提供。第 4~7 层的规程标准随业务类型而异，CCITT 也有了一些相应的建议。利用高层功能可以保证同一业务的不同类型甚至一些不同业务终端间都可以互通。ISDN 7 层功能中相应的建议有：物理层的建议有 I.430（基本用户/网络接口）、I.431（基群速率用户/网络接口）；链路层的建议有 I.440（Q.920）、I.441（Q.921）—用户/网络接口；网络层的建议有：I.450（Q.930）、I.451（Q.931）—用户/网络接口；传送层的建议有：T.70、T.71（Teletex、Telefax），X.224（MHS）；会话层的建议有：T.62（Teletex），T.62、T.73（Telefax），T.62（G4.FAX），X.225bis（MHS）；表示层的建议有：G.711（Telephone），T.61（Teletex），T.61、T.6（Telefax），T.6（G4.FAX），T.101（Vidiotex），X.409（MSH）；应用层的建议有：G.711（Telephone），T.60（Teletex），T.72（Telefax），T.5（G4.FAX），X.400~430（MSH）。

在 ISDN 发展的初期，一般交换机并不具备分组交换的功能，只能提供 64kbit/s 电路交换及局间共路信令的能力。随着 ISDN 的发展，交换机功能的不断完善，本地交换机或汇接

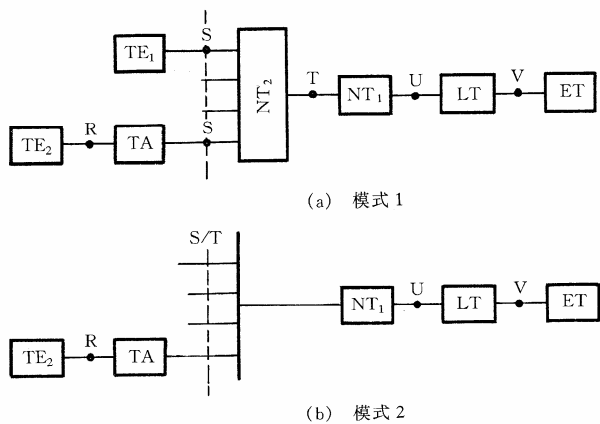
交换机具有与分组交换网互通的功能，或者交换机内具有分组处理功能，这时本地交换机本身就能起到一个分组节点的作用。最后 ISDN 网内还应增加宽带交换能力。

### 8.3 ISDN /

ISDN 用户/网络接口的作用是使用户和 ISDN 相互交换信息。CCITT 根据 OSI 参考模型，在 I.400 系列建议中以协议的形式规定了用户终端设备与网络连接的条件，以及实现连接的用户/网络接口设备和接口标准。它是支持 ISDN 各种业务发展的重要技术之一。由于用户/网络接口的国际标准化，只要携带一个终端就能在世界任何地方利用由 ISDN 提供的服务。

#### 8.3.1 ISDN 用户/网络接口的参考配置

图 8.9 给出 ISDN 用户/网络接口的参考配置。所谓参考配置是指用参考点和功能群的概念规定了 ISDN 用户系统的标准结构，它是制定 ISDN 用户出入口的根据。



TE<sub>1</sub>, TE<sub>2</sub>—终端设备; TA—终端适配器; ET—交换终端;  
NT<sub>1</sub>, NT<sub>2</sub>—网络终端设备; LT—线路终端;  
R, S, T, U, V—接口参考点

图 8.9 ISDN 用户/网络接口的参考配置

功能群是在用户出入接口上应具有某些功能的组合。它是一个抽象的概念，不一定与实际的装置一致。如图 8.9 的 NT<sub>1</sub>、NT<sub>2</sub> 等都是用户系统装置的功能群，实际上 NT<sub>1</sub>、NT<sub>2</sub> 可以包含在一个装置内。各功能群的具体含义作如下说明。

(1) 终端设备 TE：用于 ISDN 中的话音、数据或其它业务的输入或输出。ISDN 允许两类终端接入网络，终端设备 1 (TE<sub>1</sub>) 是 ISDN 的标准终端，主要包括维护和接口功能，协议处理及与其它装置的连接，如数字电话机、数据终端等；终端设备 2 (TE<sub>2</sub>) 是 ISDN 的非标准终端，具有 TE<sub>1</sub> 的各种功能，但接口应符合其它接口的建议，如 X.25，X.21 等 CCITT 标准接口。

(2) 网络端接设备 NT：用于端接终端设备，分为 NT<sub>1</sub> 和 NT<sub>2</sub> 两类。NT<sub>1</sub> 实现开放系统互连 (OSI) 参考模型第一层的各种功能，即实现线路传输、线路维护和性能监控功能，以及



完成定时、供电、多路复用和接口终端等功能。NT<sub>2</sub> 完成用户侧与网络的连接，具有连接与交换功能，如 LAN（局域网）、PABE（专用自动小交换机）及终端控制器等，是执行第 2、3 层的全部功能或一部分功能的终端。

(3) 终端适配器 TA：具有接口变换功能，使任何非 ISDN 终端转接到 ISDN 中。有 OSI 第一层及高层的功能，对 TE<sub>2</sub> 进行协议变换及速率变换后接到用户/网络接口。

(4) 线路终端设备 LT：是用户环路和交换局的端接接口设备。可与 NT<sub>1</sub> 配合完成对用户线的均衡与连接。

(5) 交换终端 ET：完成用户信息交换功能。

接入参考点是指用户访问网络的连接点，参考点的作用是为了区分功能群。CCITT 给出的参考配置规定了如下的几个参考点：

R —— 非 ISDN 终端与终端适配器之间的参考点，即 TE<sub>2</sub> 与 TA 之间的连接点。

S —— 终端与网络之间的参考点，即 TE<sub>1</sub> 或 NT<sub>2</sub> 之间的连接点。

T —— 网络用户端与传送端之间的参考点，即 NT<sub>2</sub> 与 NT<sub>1</sub> 之间的连接点。

U —— 网络终端接入传输线路接口参考点，即本地用户环路 NT<sub>1</sub> 与线路终端 LT 之间的连接点。

V —— 用户环路传送端与交换设备之间的参考点，即 LT 与 ET 之间的连接点。

为限制用户/网络接口种类，并使每一种接口标准化以适应多种业务的需要，接口的种类是以参考点的信息负载能力来划分的。

8.3.2 用户接入网络的通道及接口速率

通道是用来传送用户信息和信令信息的通路，一般分为透明的与非透明的两种。透明通道可以传送用户选择的语音或高速数据业务，并且与通信协议无关；非透明通道必须按网络规定的协议进行通信。根据传输的信息类别和速率定义了如下的三种基本类型的通道：

B 通道 —— 信息通道。是速率为 64kbit/s 的透明数字通道，用于传送语音和高速数据。

D 通道 —— 信令信息通道。是速率为 16kbit/s 或 64kbit/s 的非透明数字通道，用作一个或多个 B 通道的公用信令，也可用于遥测或低速分组交换数据。

H —— 透明数字通道。用于传送高速率用户信息，根据传输速率又可分为 H<sub>0</sub>、H<sub>11</sub>、H<sub>12</sub> 等通道。

通道类型及其速率如表 8.1 所示。

表 8.1 通道种类及速率

| 通 道 种 类 |                |                 | 通 信 速 率              | 用 途                                                    |
|---------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------------------------------------------|
| B       |                |                 | 64kbit/s             | · 用户信息通道<br>· 电路交换/分组交换/专用线路<br>· 用户信息速率：8/16/64kbit/s |
| D       |                |                 | 16kbit/s<br>64kbit/s | · 电路交换信号信息<br>· 遥测/分组信息信道等                             |
| H       | H <sub>0</sub> |                 | 384kbit/s            | · 用户信息通道                                               |
|         | H <sub>1</sub> | H <sub>11</sub> | 1536kbit/s           | · 电路交换/分组交换/专用线路                                       |
|         |                | H <sub>12</sub> | 1920kbit/s           | · 高速传真、图像编码信道                                          |

|  |       |              |       |
|--|-------|--------------|-------|
|  | $H_0$ | 30~40Mbit/s  | 时 时 时 |
|  | $H_1$ | 90~138Mbit/s |       |

根据信息通道和信令通道的不同组合又构成了不同的接口标准。到目前为止，CCITT 只规定了两种用户/网络接口，即基本接口和基群速率接口。各种接口的信道结构列于表 8.1 中，其中 B，D，H 分别表示接口内不同的信道。

(1) 基本接口。基本接口是把现有电话网的普通用户线作为 ISDN 用户线而规定的接口，是 ISDN 最基本的用户/网络接口。它由两个传输速率为 64kbit/s 的 B 通道和一个传输速率为 16kbit/s 的 D 通道构成，通常称为 2B+D。其中一个 B 通道用来传送电话，另一个 B 通道用来传送数据或传真，D 通道用来传送信令或分组数据信息。基本接口主要用于一般 ISDN 用户，可接一般用户终端及办公室设备等。

(2) 基群速率接口。由多个 B 通道和 D 通道组合或者由 H 通道和 B 通道组合构成基群速率接口。基群速率接口主要用于专用用户交换机 (PBX) 用户及主机接入 ISDN。基群的传输速率在日本和美国为 1544kbit/s，在中国和西欧等国为 2048kbit/s，参考表 8.2。考虑到基群中所要控制的信道数量比较大，所以规定基群中的 D 信道的传输速率为 64kbit/s。

表 8.2 ISDN 用户/网络接口的种类

| 用户网络接口类型 | 接 口 速 率                            | 接 口 结 构时        |                          | 备 注                                                   |
|----------|------------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
|          |                                    | 结构名称            | 通道结构                     |                                                       |
| 基本接口     | 144kbit/s                          | 基本接口            | 2B+D                     | • D=16kbit/s<br>• 2B 是作为两个单独 B 使用时                    |
| 基群速率接口   | 1544kbit/s<br>或<br>2048kbit/s<br>时 | 基群 B 通道接口       | 23B+D<br>30B+D           | • D=64kbit/s<br>时                                     |
|          |                                    |                 | 24B/D<br>31B/D           | • D=16kbit/s 或 64kbit/s 时<br>• 可为几个接口集中配置一个 D 通道时     |
|          |                                    | 基群 $H_0$ 通道接口   | 3 $H_0$ +D<br>5 $H_0$ +D | 时<br>• D=64kbit/s 时                                   |
|          |                                    |                 | 4 $H_0$ /D               | 时<br>• D=16kbit/s 或 64kbit/s 时<br>• 可使用相邻接口的 D 通道时    |
|          |                                    | 基群 $H_1$ 通道接口   | $H_{11}$ /D              | • D=16kbit/s 或 64kbit/s 时<br>• 可使用相邻接口的 D 通道时         |
|          |                                    |                 | $H_{12}$ +D              | • D=64kbit/s 时                                        |
|          |                                    | B/ $H_0$ 通道混合接口 | $nB+mH_0$ +D             | • D=64kbit/s 时<br>• $6m+n \leq 23, m, n > 0$ 时        |
|          |                                    |                 | $(nB+mH_0)/D$            | • D=16kbit/s 或 64kbit/s<br>• $6m+n \leq 24, m, n > 0$ |

8.3.3 通道协议

如上所述，速率为 64kbit/s 的 B 通道为 ISDN 的基本通道，且因 B 通道有透明性，不受

协议限制，只要收发设备采用的协议一致均可建立通信。因此 CCITT 仅对共用信令 D 通道规定了两种协议，一种是 LAPD 协议（Link Access Procedure on the D-channel：信道链路出口规程），用于 D 通道传送端—端信令。LAPD 以帧为单位传送用户与网络间信息，在传输过程中进行差错校正，因此传输可靠性极高。LAPD 的大部分功能对基本接口及基群速率接口都适用，它是通用的高级数据链路控制协议（即 HDLC：High Level Data Link Control Procedures）的扩展。

#### 8.3.4 ISDN 用户/网络接口的数字传输技术

用户线又称为用户环路，一般是由二线组成。用户线的数字传输系统是指交换局线路终端 LT 和网络终端 NT 之间的二线全双工数字传输。它规定了分离用户平衡线对上双向传输信号的方法，克服用户环路噪声（包括白噪声、回波和远端串音）的方法和减少桥接抽头上信号反射的方法。目前二线全双工传输的方法主要有两个，即以日本为代表的乒乓方式或称为时间压缩复用方式（TCM：Time Compression Modulation）方式和欧美各国提出的具有混合电路的自适应回声抵消（EC：Echo Canceller）方式。

##### (1) 乒乓传输法

时间压缩复用方式（TCM）又称时间分割方式或乒乓方式。它是采用时分复用技术，把终端送来的数字信息按一定的间隔压缩成脉冲群，利用脉冲群之间空隙的时间间隔进行收、发双向的时分复用，即在二线线路上收、发双向是交替传送的。在接收时，再将这些被压缩的脉冲群扩展成原来的数字比特流。

图 8.10 (a) 表示用户和交换局之间采用时间压缩复用方式的二线全双工数字传输的发送/接收的基本原理框图，图 8.10 (b) 为时间压缩及传输时间分配要求。从图中可以看出，在时间压缩复用方式中，收、发电路的控制像一个乒乓开关，在时间上将两个方向的传输分开。如传输的两端以 A、B 表示，则某一段时间用作 A→B 的方向，一般是采用混合电路传输，后一段时间就用作 B→A 的传输，这两方向周期地倒换就实现了双向传输。

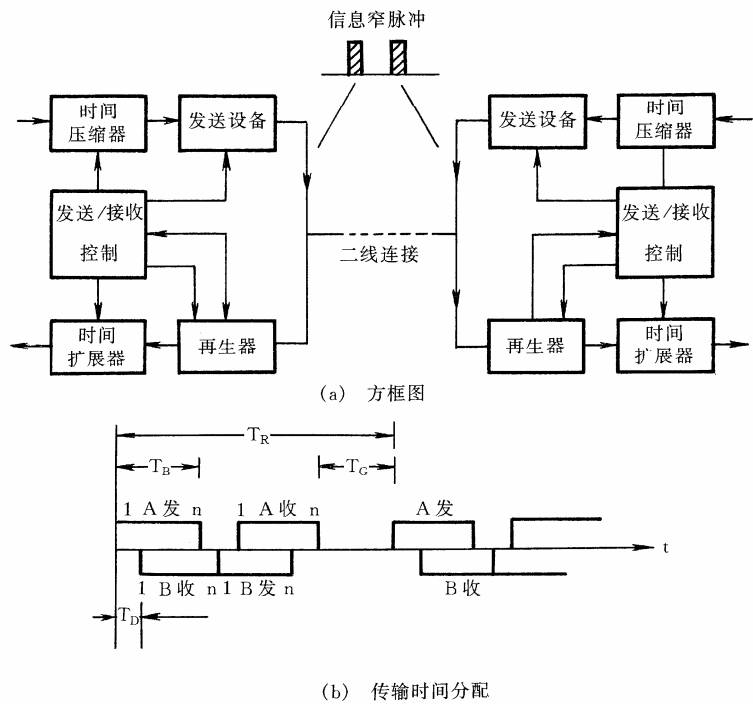
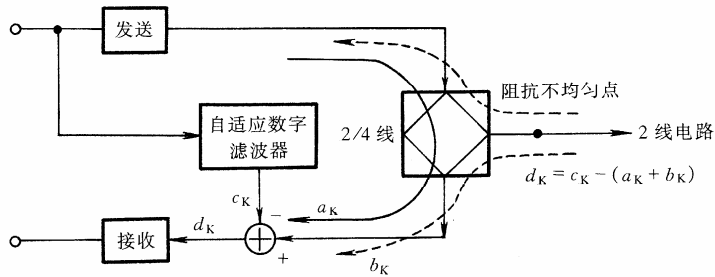


图 8.10 乒乓方式原理框图及传输时间分配

(2) 回波抵消法

回波抵消法又称单频双工方式。电话网中的回波主要是由  $2/4$  线混合电路阻抗不匹配产生的近端回波  $a_k$ ，以及由于传输线路存在的阻抗不匹配即线路阻抗不均匀和有桥接支路而产生的远端回波  $b_k$  两部分组成。回波产生的示意图如图 8.11 所示。这种回波可采用自适应回波抵消法抵消。回波抵消器由自适应滤波器和加法器组成。自适应滤波器根据输入端的信号估计出合成回波的估计值  $c_k$ ，然后在输出端将该估计值减去，以达到回波抵消的目的即  $d_k=0$ 。只要回波抵消器能正确地模拟回波传输路径，产生大小与形状完全相同的回波估计值来抵消上述的总回波干扰，使回波抵消器的脉冲响应与回波传输路径的脉冲响应完全相同，就能消除回波，正确地接收所需信号，如图 8.12 所示。这种方式传送基本速率为 144kbit/s， $(2B+D)$  信号的线路传输速率约 160kbit/s。



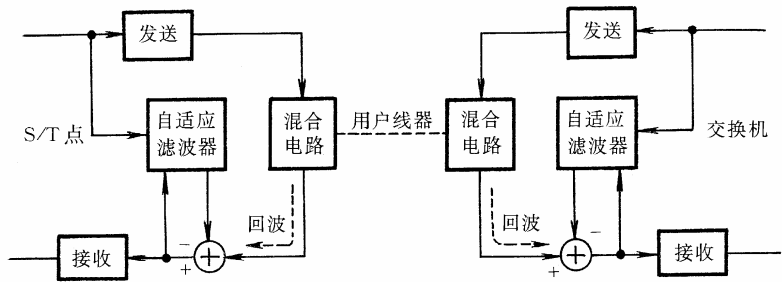


图 8.12 回波抵消法框图

利用回波抵消技术，就可以实现回波抵消方式的二线全双工数字传输。采用回波抵消技术的用户线传输系统技术上较为复杂，但采用这种传输方式时可达到的传输距离，要比采用时间压缩复用方式的传输距离长。在采用 0.4mm 线径时，一般传输距离为 4km；采用 0.5mm 的线径时，传输距离可达 5~6km。

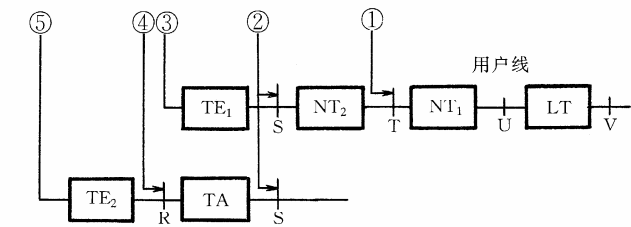
8.4 ISDN

ISDN 能综合提供多种业务，CCITT 根据开放系统互连的参考模型(OSI)以 I.200 系列建议形式对业务做出了如下规定：电信业务可分为提供基本传输功能的承载业务、包含终端功能的用户终端业务和变更或补充基本业务的补充业务。利用补充业务可以提供许多高级功能，给通信带来很大的方便。通常将 ISDN 向用户提供的业务，即通信能力称作为电信业务。表 8.3 给出了电信业务的类别，其中包括基本业务和补充业务的关系。

表 8.3 电信业务的分类

| 电 信 业 务 |             |             |               |
|---------|-------------|-------------|---------------|
| 承 载 业 务 |             | 用 户 终 端 业 务 |               |
| 基本承载业务  | 基本承载业务+补充业务 | 基本用户终端业务    | 基本用户终端业务+补充业务 |

目前 ITU-T 有关 ISDN 完成业务定义的建议是 I.200 系列建议，有关提供 ISDN 业务的各种功能描述建议是 Q.60~Q.80 系列建议，有关提供 ISDN 业务的实施性技术规范建议是 Q.500 系列、Q.700 系列和 Q.900 系列建议。图 8.13 表示了 ISDN 向用户提供的业务接入点，若将不同的终端设备（如 PABX，LAN 和数字电话或微机）接到被定义在 ISDN 用户/网络接口上的一些业务接入点上，就可利用这些业务通信。如 ISDN 在业务接入点①（参考点 T）及接入点②（参考点 S）提供的电信业务为承载业务；在业务接入点③和⑤所提供的通信业务为用户终端业务；点④（参考点 R）不是 ISDN 电信业务的接入点，该点的性能与终端适配器（TA）的类型有关，符合 CCITT 其它系列（例如 V 系列、X 系列等）建议的终端可以接到 R 点上，通过 TA 来利用 ISDN 标准的承载业务。



TE<sub>1</sub>—ISDN 标准终端;TE<sub>2</sub>—ISDN 非标准终端;NT<sub>1</sub>,NT<sub>2</sub>—网络端接设备;  
TA—终端适配器;LT—线路终端;1~5 业务接入点

图 8.13 ISDN 用户/网络接口上的业务接入点

8.4.1 承载业务

1. 承载业务的概念

承载业务是指用户/网络接口间的信号传输能力，即 ISDN 在业务接入点①（参考点 T）及接入点②（参考点 S）（参见图 8.14）提供的电信业务。在承载业务中，网络向用户提供的只是一种低层的信息传递能力，因此可以把承载业务理解为从 S 或 T 参考点向网络方向看，ISDN 网络所具有的信息传递能力。承载业务仅说明了通信网的通信能力，而与终端的类型无关。因此各种类型不同的终端可以使用相同的承载业务。承载业务采用与 S 或 T 参考点有关的七层模型的第 1~3 层的建议。

承载业务可由信息转移属性、业务接入属性（出入口属性）及一般属性来表征，如图 8.14 所示。各种业务属性及其定义如表 8.4 所示。

- (1) 信息传递能力的属性。表示由一个 S 或 T 参考点到另一个（或多个）S 或 T 参考点之间的网络信息传送能力的属性，例如信息传递方式和信息传递速率等。
- (2) 业务接入属性。表示在 S 或 T 参考点上的通路速率和协议属性。它涉及在 S 或 T 参考点处 1~3 层规范。
- (3) 一般属性。表示可以利用的补充业务及业务质量等特征的属性。

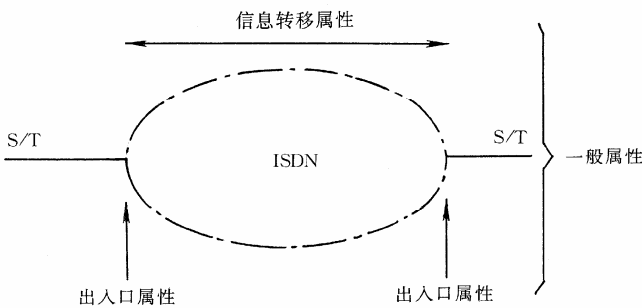


图 8.14 承载业务的业务属性

表 8.4 承载业务的属性及其定义

| 类 别 | 业 务 属 性 及 其 定 义 |
|-----|-----------------|
|-----|-----------------|

|             | 属 性        | 定 义                              |
|-------------|------------|----------------------------------|
| 信 息 传 递 属 性 | 1.信息传递方式   | 表示为传送用户信息所需的交换方式                 |
|             | 2.信息传递速率   | 表示为传送用户信息所需的传递速率或吞吐量             |
|             | 3.信息传递能力   | 表示能够传送用户信息的种类                    |
|             | 4.结构       | 表示用户信息应具有的特流的结构                  |
|             | 5.通信的建立    | 表示立即、预约等通信建立形式                   |
|             | 6.对称性      | 表示用户信息的方向性与对称性                   |
|             | 7.通信配置     | 表示点到点、点到多点等通信连接形式                |
| 接 入 属 性     | 8.接入通路及其速率 | 表示 ISDN 用户—网络接口上的用户信息传递速率及传输通路种类 |
|             | 9.接入协议     | 表示在 ISDN 用户—网络接口上传送用户信息及信令信息的协议  |
| 一 般 属 性     | 10.补充业务    | 细节有待继续研究                         |
|             | 11.业务质量    |                                  |
|             | 12.互通能力    |                                  |
|             | 13.经营与商业属性 |                                  |

2. 承载业务的分类

承载业务分为 3 类：电路交换方式的承载业务，分组交换方式的承载业务和帧方式的承载业务。

(1) 电路交换方式的承载业务

① 8kHz 结构，64kbit/s 不受限承载业务

这一承载业务是在主叫、被叫侧接口的 S/T 点之间提供不改变其内容的信息传输，也可以说是基本的 ISDN 承载业务。在电话、4 类传真机、电视电话等多个终端与终端之间作通信时使用这种承载业务。但是，电话终端使用这一承载业务作相互通信时，在 64kbit/s 不受限承载业务的情况下，网络并不提供 A/μ 变换及回波抑制等话音通信必要的功能，所以在终端侧需具备这些功能。

② 8kHz 结构，64kbit/s 话音承载业务

这一承载业务给终端提供适于话音通信的信息传输能力，在线路上要插入 A/μ 变换器、回波抑制器、低比特率话音编码等话音处理设备。另外，有时也使用模拟线路作为这一承载业务所用的传输线路。因此，采用这一承载业务时，并不保证数字信号传输时的透明性。也就是说，主叫侧送出的数字信号比特流与被叫侧终端从网络接收到的比特流一般是不同的，因而，这一承载业务不能用于 4 类传真、电视电话等通信。

③ 8kHz 结构，64kbit/s、3.1kHz 音频承载业务

这一承载业务提供带宽为 3.1kHz 的信息传输能力。也就是说这一承载业务适于传送经由调制解调器的音频带宽范围内的数据、2 类/3 类传真信号等。它与 64kbit/s 话音承载业务相同，在通路线路上包含有 A/μ 变换器、回波抑制器、低比特率话音编码等话音处理设备。

这一承载业务是考虑到将现有的模拟电话网顺利地过渡到 ISDN 而设计的。在现在的电话网中，话音频带数据、2 类/3 类传真机经由调制解调器后都可进行通信。因此，在向 ISDN 过渡的最初阶段必须充分地考虑到用户能继续使用现有的终端设备。另外，还需考虑到现有电话网的用户和 ISDN 的用户之间通过网间互连，像 2 类/3 类传真机之类的终端设备作通信

的情况是较多的。因此,可以说 64kbit/s、3.1kHz 音频承载业务是为了能在 ISDN 中实现这类通信而设计的。

在 ISDN 中,这一承载业务能用来实现与现有的电话网完全相同的传输能力,所以,它具有 64kbit/s 话音承载业务非常相似的特性。实际上,现在世界各国正在规划中的 ISDN,几乎都能提供 64kbit/s、3.1kHz 音频承载业务和 64kbit/s 话音承载业务。

#### ④ 8kHz 结构, 64kbit/s 话音/不受限交替承载业务

这一承载业务是在同一呼叫内交替提供传输 64kbit/s 话音或 64kbit/s 不受限的数字信息。这种交替能力的请求和所希望的初始方式,用户必须在呼叫建立时提出。在通信中用户发出的要求交替传输话音/不受限的数字信息的信号经 D 信道送至网络。在网络内部,相对于从话音交替至不受限的数字信息时,需在通话线路上除去 A/μ 变换器、回波抑制器、低比特率编码等话音处理设备。反之,从不受限的数字信息交替至话音时,需重建这些设备插入到通话线路上。

#### ⑤ 8kHz 结构, 384kbit/s 不受限承载业务

这一承载业务是在用户/网络接口的 S/T 参考点使用  $H_0$  信道提供 384kbit/s 用户信息不受限的传输。这时,用户发出的信息内容可不用任何变更而加以传输。电视会议通信可认为是其代表性的应用例子。

#### ⑥ 8kHz 结构, 1536kbit/s 不受限承载业务

这一承载业务是在用户/网络接口的 S/T 参考点使用  $H_{11}$  信道提供 1536kbit/s 用户信息不受限的传输。日本、美国这些采用 1.544Mbit/s 一次群传输系统的国家提供此类承载业务。超高速传真、电视信息传输是其应用例子。

#### ⑦ 8kHz 结构, 1920kbit/s 不受限承载业务

这一承载业务是在用户/网络接口的 S/T 参考点使用  $H_{12}$  信道提供 1920kbit/s 用户信息不受限的传输。采用 2.048Mbit/s 一次群传输系统的国家提供此类承载业务。与上述 1536kbit/s 不受限承载业务相同,超高速传真、电视信息传输是其应用例子。

#### ⑧ 8kHz 结构, $2 \times 64$ kbit/s 不受限承载业务

这一承载业务是在用户/网络接口的 S/T 参考点使用 2 个 B 信道提供  $2 \times 64$ kbit/s 用户信息不受限的传输。一次群接口上可以使用此承载业务,但是这一承载业务的着眼点是把基本接口上的 2 个 B 信道汇总在一起使用。同时,还必须注意使用这一业务时,2 个 B 信道到达被叫终端的顺序并不能保证,即主叫终端侧接口上送出的 2 个信道的顺序与被叫终端侧接口上顺序不一定一致,这正是承载业务不取名为 128kbit/s 不受限承载业务而取名为  $2 \times 64$ kbit/s 不受限承载业务的原因。

### (2) 分组交换方式的承载业务

#### ① 虚呼叫和永久虚电路承载业务

这类承载业务在 S/T 参考点,通过 B 通道或 D 通道建立虚电路,以分组的方式透明地传送用户信息。虚呼叫的信令消息和永久虚电路的维护操作信息可以经过 D 通道或 B 通道按照 X.31 建议的方式传送。

#### ② 无连接的分组承载业务

这种承载业务是利用用户/网络接口上的 D 通道以分组方式透明地传送用户消息。由于不在 D 通道上建立虚呼叫,因此它适合于传送较短的信息。例如通过信用卡读卡器确认信用卡有效性及传送一些遥测遥控信号等。



### ③ 用户—用户信令承载业务

用户—用户信令承载业务是通过信令通道，即通过用户/网络接口的 D 通道和网内的共路信令网在发送和接收两端接口的 S 或 T 参考点之间透明地传送用户信息，也就是说用户端到端的信息可以在信令通道而不是在信息通道上透明传送。

#### (3) 帧方式的承载业务

① 帧中继业务：该业务可以减少网络中间节点的系统存储和处理过程，简化协议的处理以减少时延，所以主要应用于数据通信，是近年来发展较快的一种 ISDN 新型承载业务。

② 帧交换业务：其基本特征与帧中继业务相同，但是仍然采用证实操作方式，具有差错恢复能力。

## 8.4.2 用户终端业务

### 1. 用户终端业务的概念

ISDN 在业务接入点③和⑤所提供的通信业务称为用户终端业务。它包括网络提供的通信能力和终端本身所具有的通信能力。可以把用户终端业务理解为用户通过终端的通信所获得的业务。利用电话业务通话或传真业务传送字符都是用户终端业务的例子。用户终端业务由 ISDN 的 1~7 层的特性规定。由此可知，用户终端业务中必定包含了承载业务的内容。

点④即参考点 R 不是 ISDN 电信业务的接入点，其性能与终端适配器 TA 的类型有关。符合 CCITT 其它系列，例如 V 系列、X 系列等建议的终端可以接到 R 点上通过 TA 来利用 ISDN 标准的承载业务。

图 8.15 中示出了几种典型的承载业务和用户终端业务的例子。图中 HLF（高层功能）表示数据库等高层功能。由该图可以看到承载业务是 S 或 S 点之间的电信业务，而用户终端业务则表现为端到端之间的业务。

图 8.15 (a) 是两个终端（例如微机）利用承载业务相互通信的基本形式；(b) 表示终端利用承载业务和 ISDN 以外的某个 HLF（例如某个信息处理中心）进行通信；(c) 是两个终端（G4 传真机）之间通信的基本形式；(d) 和 (f) 则表示终端和 HLF 之间的用户终端业务；(e) 和 (g) 表示两个终端通过 HLF 相互通信的情况。

需要说明的是图 8.15 中，一个 S 或 T 参考点仅连接一个终端，实际上可以在该接口连接多个终端同时通信。

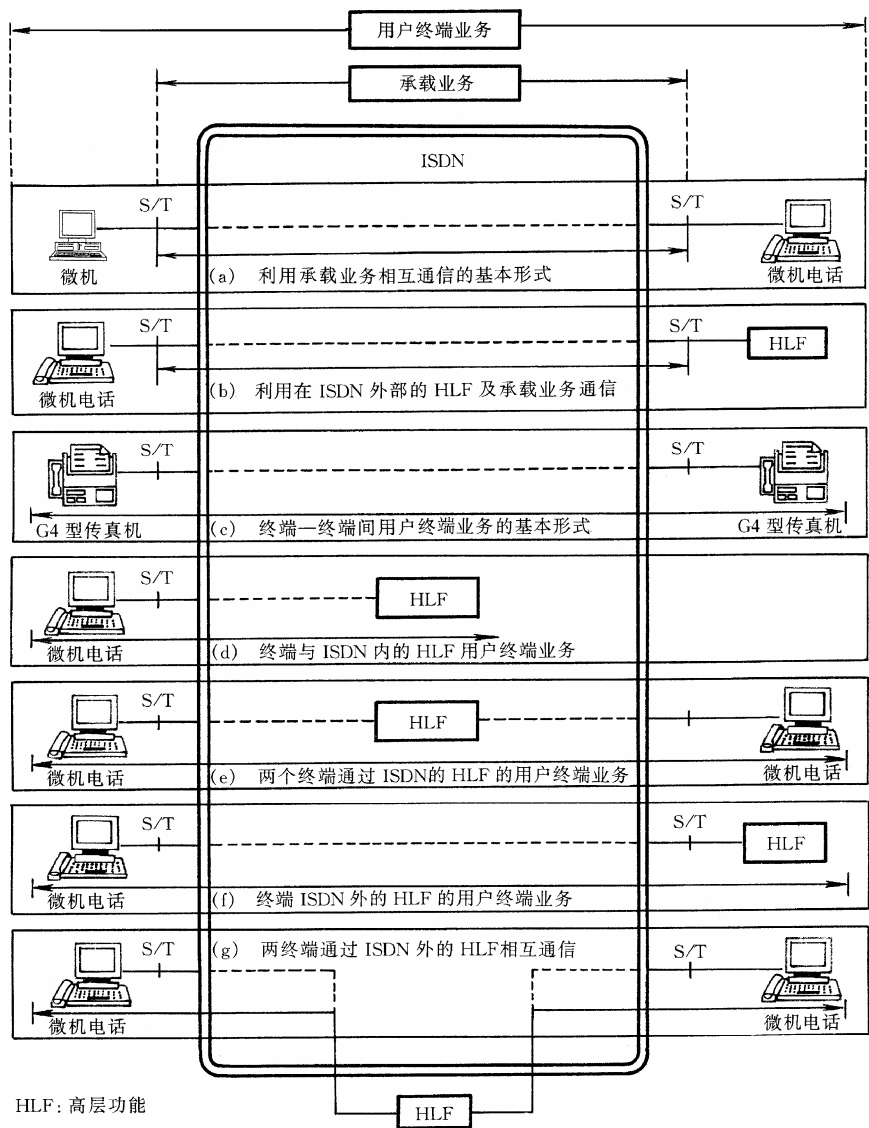


图 8.15 承载业务和用户终端业务的应用形式

## 2. 用户终端业务的类型

用户终端类型很多，根据 CCITT 建议 I.240 定义的 ISDN 用户终端业务有以下几种：

### (1) 数字电话

经过该网络向用户提供实时双向的 300~3400Hz 带宽的语音电话业务。这种电话业务与在模拟网或模拟/数字混合网中的电话业务相比具有：(1)由于传输质量提高，其通话清晰度提高；(2)信噪比提高；(3)传输距离不受限制。除了目前 300~3400Hz 电话带宽外，将可在 64kbit/s 速率上传送高保真的 7kHz 话音业务。

### (2) 智能用户电报 (Teletex)

Teletex 业务是一种国防通信业务，经过 ISDN 网络在自动存储的基础上，使用用户间以智能用户电报的文件格式进行办公自动化通信。目前最快的 Teletex 业务传输速率约 2.4kbit/s，

在此速率上传送一个 A4 版面的 Teletex 约 8 秒钟。而将来在 64kbit/s 速率上传输, 其时间将小于 1 秒钟, 尤其适合于办公自动化通信。

(3) 四类传真 (Telefax4)

四类 (G4) 传真也是一种国际通信业务, 能使用户经 ISDN 网络, 以包含编码信息的传真文件形式进行办公自动化通信。在 64kbit/s 速率上传送 1 个 A4 版面的传真, 时间大约需要 3 秒钟, 而且质量较 G3 大大提高。

(4) 混合通信 (Mixed mode)

这种业务提供包含有文本 (Text) 和静止图像混合信息文件端到端转移的文本和传真结合的混合模式业务 (多媒体通信)。这种业务基于 CCITT 建议为智能用户电报和 G4 传真规定的高层属性。

(5) 可视图文 (Videotex)

这是一种计算机、电话、电视技术三者结合的新型通信业务。用交换网将计算机中心与可视图文终端连接起来, 按用户要求提供文字、图形、数据等信息。

(6) 用户电报 (Telex)

这种业务提供交互型的文电通信。这些在 S/T 参考点的数字信号就符合上述 ISDN 物理层对于用户电报的国际建议。

### 8.4.3 补充业务

#### 1. 补充业务的概念

用户在使用承载业务和用户终端业务这两种基本业务时, 还可以要求 ISDN 提供额外的功能。这种由网络提供的额外功能称为补充业务。补充业务不能独立向用户提供, 它必须随基本通信业务一起提供。通常, 一个补充业务可以与一个或多个基本业务结合供用户使用。利用补充业务可以给用户通信带来很大的方便。

#### 2. 补充业务的分类

CCITT 描述的补充业务大致有以下几类:

(1) 号码识别类补充业务: 直接拨入 (DDI)、多用户号码 (MSN)、主叫线号码识别 (CLIP)、主叫线号码限制 (CLIR)、被叫线号码识别 (COLP)、被叫线号码限制 (COLR)。

(2) 呼叫提供类补充业务: 呼叫转移 (CT)、呼叫转送 (CF)、寻线 (LH)。

(3) 呼叫完成类补充业务: 呼叫等待 (CW)、呼叫保持 (HOLD)。

(4) 多方通信类补充业务: 会议呼叫 (CONF)、三方通信 (3PTY)。

(5) 社团性补充业务: 封闭用户群 (CUG)。

(6) 计费类补充业务: 计费通知 (AOC)、信用卡呼叫 (CCA)。

(7) 附加的信息传递业务: ISDN 用户—用户信令业务 (UUS)。

CCITT 还在继续进行 ISDN 补充业务的研究, 预计今后会定义出更多的补充业务。

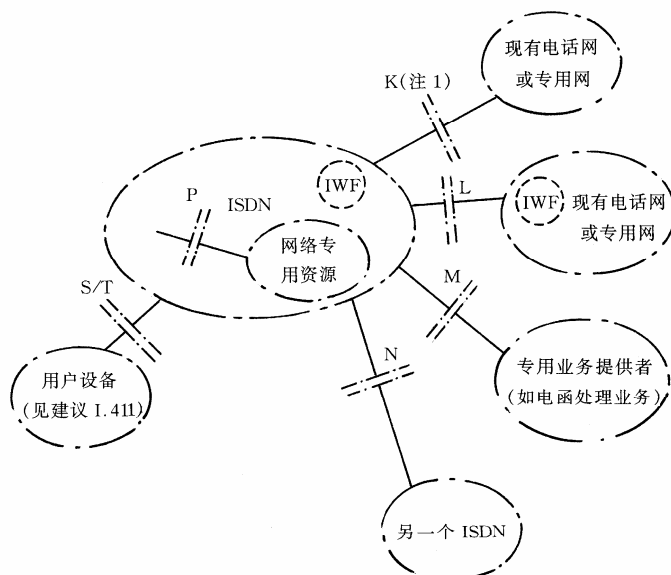
## 8.5

所谓网间互通是指 ISDN 与非 ISDN 之间的互通 (如现有电话网、分组数据网、专用网), 也包括不同 ISDN 之间的互通。现有的各种通信网都是为特定的通信业务建立的专业网, 而

ISDN 是能代替其它各种专业网提供多种业务的综合性通信网。考虑到从现有的多个专业网向单一的 ISDN 演变需要经历一个较长的时期,尤其在 ISDN 发展的初期,它将与各种专业通信网并存,现有网现在仍然承担着大量电信业务,而 ISDN 支持的很多业务可能仍然主要是现有专业网中的业务。因此,要想成功地引入 ISDN,必须提供 ISDN 与其它通信网的互通,必须为 ISDN 用户规定这种互通的可能性,以便在不同网络用户连接的兼容终端之间通信。

为了实现业务之间的互通,必须在适当的位置如交换中心、业务管理中心、网间接口或终端加入适当的编码转换或协议转换功能。为了使这类互通能够较为方便与经济地实现,在一开始设计网络与终端时就应该注意各类业务之间的兼容性。为了实现网络之间的互通,首先应该制定出适当的互通规范,明确规定网间接口的位置和接口的具体技术,明确互通所需要的功能,并规定实现这种互通功能的软硬件的设置位置。

为使互通能力标准化,由 CCITT 确定的方法是定义与互通有关的附加参考点,并使在参考点处的接口标准化。这是一个稳妥的策略,对 ISDN 与其它网络的影响,都将减至最小。包含这些附加参考点的情形如图 8.16 所示。如前所述,与 ISDN 兼容的用户设备是通过 S 或 T 参考点接入 ISDN,此外还定义了如下一些附加参考点:



注 1—根据网络类型,在参考点 K 上将有不同的接口规范;

注 2—在参考点 K、L、M、N 和 P 上的接口规范需要进一步研究。

图 8.16 ISDN 与其它网间的互通

K: 与需要互通功能的现有电话网或其它非 ISDN 网的接口,该互通功能由 ISDN 执行。

L: 同 K 的情况一样,但由其它网络负责执行互通功能。

M: 与专用网(诸如用户电报或 MHS)的接口。这种情况可能需要适配功能,在专用网中执行。

N: 两个 ISDN 之间的接口,需要某种协议以确定业务兼容的程度。

P: 可能会有某些由 ISDN 经营者提供的专用于网间互通的资源,但这些资源可明显地作为独立部件或组件加以识别。

为了便于 ISDN 网间互通讨论，先对编号计划的互通和路由选择作简要的叙述。

8.5.1 ISDN 的编号计划

通常把号码结构及其分配规则称为编号计划。ISDN 的编号计划由 CCITT 的 E.164 建议规定，其目标是使全世界所有的 ISDN 最终都执行统一的编号计划，并使 ISDN 终端能够利用 ISDN 编号和其它网中的终端建立连接。

为了在网络中识别一个用户，其号码应该是唯一的，以便能够唯一地确定建立通信的对象。在 ISDN 中，将依据需要为用户/网络接口上某一选定的参考点分配号码，称为用户的 ISDN 号码。有了 ISDN 号码就可以接入它所对应的用户/网络接口。但是仅使用这一号码，有时还不能唯一地确定所需要的被叫终端，因为在已经确定的用户/网络接口可能接有许多终端。这时需要一些附加的寻址信息，以确定所要求用户号码。上述 ISDN 号码和附加的地址信息一起，总称为 ISDN 地址。

在考虑 ISDN 的编号计划时，应该遵循以下原则，即应该建立统一的编号计划；ISDN 编号计划应该兼顾现有电话编号计划；ISDN 编号计划应该考虑与现有各种专用业务网络的互通。

1. ISDN 的地址结构

CCITT 的 E.164 (I.331) 已经制定出了统一的 ISDN 编号方案。根据这一方案，ISDN 地址的结构如图 8.17 所示。

由图可以看出，国家码 CC 的长度是 1 至 3 位，与电话编号计划使用相同的代码。国内 ISDN 号码的长度由各国按需要确定。国际 ISDN 号码的最大长度是 15 位，子地址的长度是 1 到 40 位，视用户设施或专用网的规模而定。

国内 ISDN 号码由国内终点码 NDC 和用户码两部分构成。其中用户号码与目前使用的电话用户号码类似。国内终点码用于选择终点网络，它兼有网络选择和长途编号区选择的功能。

ISDN 地址中的子地址部分，用于在用户设施或用户专用网络内部识别某一具体的被叫终端。除了子地址以外，也可以使用用户号码的末几位来识别具体的用户终端，这种寻址方法称为直接拨入 (DDI)。采用 DDI 时，需要网络将 DDI 号码传送给用户设施，以使用户识别。除了单纯的子地址方式、DDI 方式以外，也可以将子地址和 DDI 两者结合起来，达到寻址的目的。

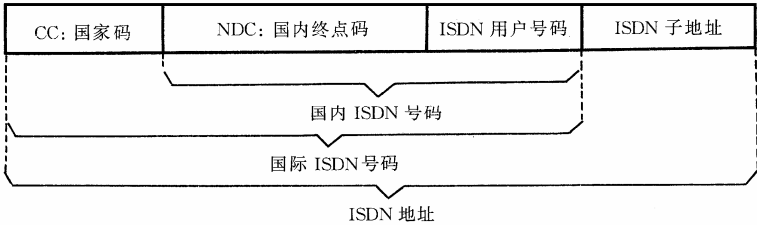


图 8.17 ISDN 地址的结构

在一个特定的国际 ISDN 国际号码中，其确切的号码位数将由国内和国际的需要来决定。同时，在 ISDN 编码中已留有充分的备用量，以适应未来的需要。

## 2. 现有编码规划向 ISDN 编号的过渡

ISDN 编号规划是将 CCITT 建议 E.163 规定的国际电话编号规划作为其一部分，且包含在其中而构成的。因此，在 E.164 编号体制下，现行的电话编号规划仍可继续使用，而支持 ISDN 编号规划的网络必须具备传送 15 位号码的能力。这里应该注意的一点是电话编号规划 (E.163) 可用于 ISDN，相反地，ISDN 编号规划 (E.164) 也可使用于电话网。也就是说，ISDN 应是从电话网发展而成的，所以，一般考虑方法是在一个国家里电话网和 ISDN 总是在统一编号规划下加以运用。

可以设想不同的国家从 E.163 编号体制向 E.164 编号体制过渡的时期也会不同。但是，如果有一个网络总是只能支持 E.163 的话，在该网络中就不能传送最长为 15 位数的 ISDN 号码。这样，由于这个网络的存在就不能说整体上是使用 E.164 的 ISDN。为避免这类事件的发生，CCITT 定义了时间 T 作为所有国家都过渡到 E.164 编号体制，在与 ISDN 作网间连接的分组交换数据网等一切网络中均应可传送 15 位数的 ISDN 号码的时刻。也就是说，一到该时刻，支持 15 位数 ISDN 号码容量 ISDN 和现有专用网编号规划互通方案即将投入使用。当时确定 1996 年 12 月 31 日 23 点 59 分为时间 T。

### 8.5.2 路由选择

由发送端到接收终端通过建立连接通道的过程称为路由选择。在 ISDN 中，与现有通信网仅处理单一业务情况不同，需提供多种通信业务，所以，在路由选择时，必须考虑业务的种类。也就是说，ISDN 中发生呼叫时，终端要将该终端为进行通信所要求网络的传输能力通知网络，因而在 ISDN 中是基于该终端要求的传输能力信息，选择一条能满足此特性的线路，设定一条网内连接通道。为此要建立一次通信，ISDN 必须选择：

- 一个适当的连接类型，即为支持该业务的功能组；
- 网络分配所需的连接单元组，以实现适当的连接类型。

另外，因为现在的电话网将逐步地向 ISDN 过渡，在初期并不是整个电话网都有相同的信令能力。例如：电话网中两个给定的交换局可能使用不同的信令系统，这些不同的信令系统具有不同的信令能力。路由选择时，必须考虑网络的信令能力，以保证正确地提供所要求的业务。

ISDN 的路由选择如图 8.18 所示，图中上面通道是为传输数字电话业务，下面通道是为传输数据业务。在进行数据通信时，发信端对网络提出不受限制的 64kbit/s 数字传输的请求。下面，以发信端是数字电话机的情况为例来说明路由选择。此时，发信端对网络提出设定传输话音信息信道的要求。作为话音通道的信道，选择的电路中应具有 A/μ 律变换器、回波抑制设备和数字电路多路复用设备 (DCME: Digital Circuit Multiplication Equipment)。下面分别加以介绍。

#### 1. A/μ 律变换器

将模拟话音编码为数字信号的方法有两种，一种是 A 律编码方法，另一种是 μ 律编码方法。美国、日本等使用 μ 律，其它国家使用 A 律。因此，在使用不同的编码方法的国家间进行国际通信时，就有必要在通信信道上插入 A/μ 律变换器。国际上已决定发生这种情况时 A/μ 律变换器要在 μ 律国家内插入。

2. 回波抑制设备

传输距离长的国际电话以及使用卫星作为传输线路媒体时，收、发信端间信号传播延迟时间将变长。发话话音信号延迟一些时间后混入到来话话音信号中的现象称为回波，回波将造成通话故障。设置自适应回波抑制设备的目的是要消除回波，使通信能顺利进行。

3. 数字电路多路复用设备（DCME）

DCME 用来除去话音信号中的冗余度，增加同一条线路上可传输的信道数量以减少传输成本，由自适应差分脉码调制（ADPCM：Adaptive Differential PCM）和数字话音插入（DSI：Digital Speech Interpolation）两部分组成。ADPCM 是对每一信道 64kbit/s 编码传输的话音信号去除冗余信息，使话音信号传输速率压缩到 32kbit/s，从而使信道数量加倍。DSI 则能提高通话线路的利用率。据统计，两人通话时，约有一半时间讲话，另一半时间是不说话而听对方说。因此，在通话线路上仅有约一半的时间是有意义的信号，如能在不说话的间隙时间传输其它信号，则线路利用率就能提高。DSI 就是起这样作用的。ADPCM 和 DSI 组合使用后可使传输效率提高约 4~5 倍。

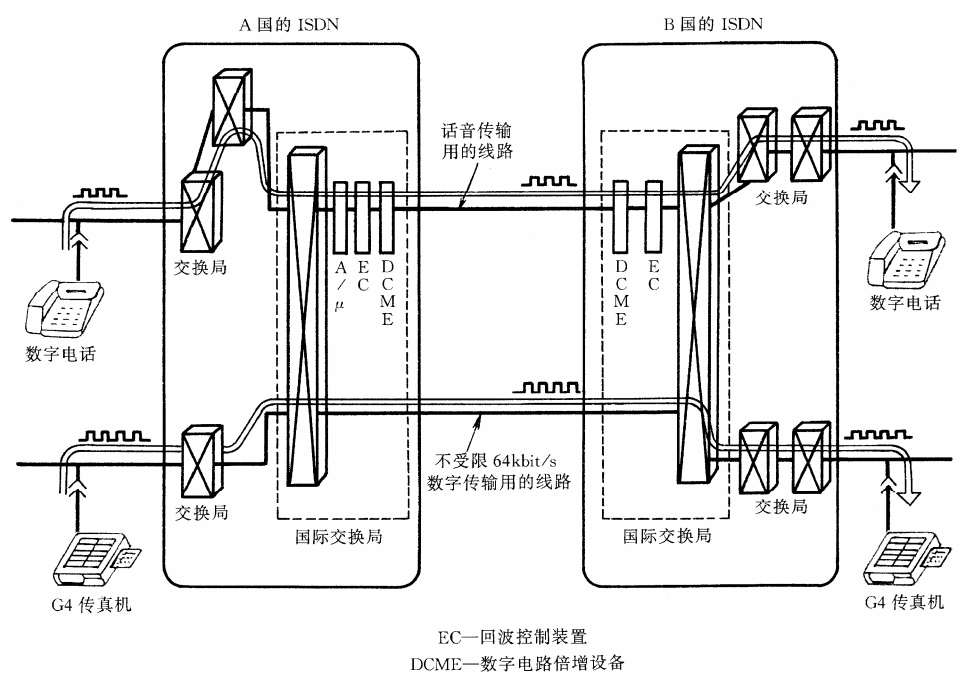


图 8.18 ISDN 的路由选择

8.5.3 网间互通

ISDN 与现有网或其它 ISDN 的互通主要包括：

- (1) 现有的电话网和专业网（例如分组网，用户电报网）。
- (2) 其它 ISDN。
- (3) ISDN 以外的业务提供者（例如消息处理业务）。

当 ISDN 与其它网或其它 ISDN 互通时，要求在 ISDN 以内或其它网实现互通功能(IWF)，

这些功能（包括物理的和电状态变换及协议转换）确保了不同协议和用户规程间的互通。

CCITT I.500 系列给出了有关 ISDN 与其它通信网（包括 ISDN）互通方面的国际建议。

1. ISDN 与公用电话网（PSTN）互通

ISDN 是在数字电话网的基础上发展起来的，因此 ISDN 和 PSTN 的互通比较容易实现。但是数字电话网是以语音为主设计的，它不具备 ISDN 的全部功能。因此，当 ISDN 和 PSTN 互联时，互通功能往往是必须的。

ISDN 与电话网（PSTN）间的互通，可看作同一通信网中具有不同功能的两个部分对待。这时可把电话网当作 ISDN 中具有传输语音信号功能的部分来处理。因此当发生电话呼叫又没有特殊的补充业务要求时，这种电话呼叫能够在 ISDN 及电话网中自由地进行路由选择，即在 ISDN 中的终端和现有电话网中的终端之间能够自由地进行话音通信。此外，当收发两终端同属 ISDN 时，可把电话网作为中继通路使用。

CCITT I.530 建议列出了 ISDN 与 PSTN 的主要差异和互通的一般原则，其中涉及话音传送和数据传送两类业务。

可以有互通点的地方是：

- 本地交换局内
- 转接局内
- 国际关口（gateway）局

ISDN 和 PSTN 主要特点及相关的互通功能如表 8.5 所示。表中互通功能指的是：

- a——在传输设施上模拟到数字和数字到模拟的转换。
- b——PSTN 用户接入中的信号与 I.451 消息（交换局内呼叫的）之间的映像变换（mapping）。
- c——支持配有调制解调器的 PSTN 的 DTE 和 ISDN 终端之间的通信。
- d——PSTN 信令系统和 7 号共路信令系统的 ISDN 用户部分之间的转换（Conversion）。
- e——ISDN 用户接入信号（I.441，I.451）和 PSTN 带内局间信令（如 R<sub>1</sub>）间的映像变换。
- f——需进一步研究。

表 8.5 ISDN 和 PSTN 主要特性（I.530 建议）

|                 | ISDN                         | PSTN                                                                            | 互通功能     |
|-----------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 用户接口<br>用户—网络信令 | 数字<br>带外信令<br>(I.441/I.451)  | 模拟<br>带内信令为主(如双音频信号 DTMF)                                                       | a<br>b,e |
| 使用的用户终端设备       | 数字 TE(ISDN NT, TE1 或 TE2+TA) | 模拟 TE(如号盘电话, PABX, 带调制解调器的数字终端设备 DTE)                                           | c        |
| 交换机之间的信令        | 公共信道信令 No.7 ISDN 用户部分(ISUP)  | 带内信令*(如 R <sub>1</sub> ,R <sub>2</sub> ,No.4,No.5)或带外信令(如 No.6,No.7 电话用户部分 TUP) | d,e      |
| 传输设备            | 数字                           | 模拟/数字                                                                           | a 呀      |
| 信息传送方式          | 电路/分组                        | 电路                                                                              | f 呀      |
| 信息传送能力          | 话音, 不受限制数字信息, 3.1kHz 音频, 图像等 | 3.1kHz 音频(话音/话音频带内的数据)                                                          | f 呀呀     |

在 ISDN 和 PSTN 互通时，现有的 PSTN 的业务必须由 ISDN 定义的承载业务来支持，但在互通情况下提供的某种承载业务可能和纯 ISDN 环境中的同类业务不完全相同。表 8.6



列出了 ISDN—PSTN 互通时可以提供的 ISDN 承载业务和使用的 ISDN 连接类型（见 I.530 建议）。

表 8.6 ISDN—PSTN 互通时的承载业务和连接类型（I.530 建议）

| 互 通                 | ISDN 承载业务类型                   | ISDN 连接类型     |    |           |    |
|---------------------|-------------------------------|---------------|----|-----------|----|
|                     |                               | 64kbit/s 不受限制 | 话音 | 3.1kHz 音频 | 分组 |
| ISDN 到 PSTN<br>(电路) | 64kbit/s 不受限制<br>话音 3.1kHz 音频 | Y             | N  | N         | N  |
|                     |                               | R             | Y  | Y         | N  |
|                     |                               | R             | FS | Y         | N  |
| PSTN 到 ISDN<br>(电路) | 64kbit/s 不受限制<br>3.1kHz 音频    | Y             | N  | N         | N  |
|                     |                               | R             | N  | Y         | N  |
| ISDN 到 PSTN<br>(分组) | 虚呼叫和永久虚电路                     | 待进一步研究        |    |           |    |
| PSTN 到 ISDN<br>(分组) | 虚呼叫和永久虚电路                     | 待进一步研究        |    |           |    |

其中：Y —— 可以使用；  
N —— 不可以使用；  
FS —— 待进一步研究；  
R —— 当不采用 A/μ 律转换和回声控制时可以使用。

由表 8.6 可见,当呼叫出于 ISDN,止于 PSTN 时,可以提供三种电路方式承载业务 64kbit/s 不受限制数字信息、话音和 3.1kHz 音频。其中 64kbit/s 不受限制数字信息可用于 ISDN 和数字的 PSTN 互通,也可用于 ISDN 中的 V 系列终端和 PSTN 中的同类终端的通信。在后一种情况下,网间应有互通功能 IWF（包括调制解调器）,而在 PSTN 中使用 3.1kHz 音频连接。

ISDN—PSTN 互通还可以支持分组方式的信息传送。这时 ISDN 中可以用 B 通道或 D 通道提供虚呼叫或永久虚电路业务,PSTN 则仍然采用电路连接,具体的互通方法有待进一步研究。

2. ISDN 与公用分组数据网（PSPDN）的互通

CCITT 有关 ISDN 互通建议中涉及 ISDN 与 PSPDN 互通的建议 I.462/X.31 是关于 ISDN 支持分组模式终端设备的建议,该建议对连接到 ISDN 的分组终端规定了两种主要的分组交换数据业务,即

- 方式 A—电路交换接入公用分组数据网（PSPDN）业务。
- 方式 B—分组交换接入 ISDN 虚电路业务。

I.462/X.31 对在 ISDN 中就上述两种业务情况实现分组交换作出了规定。

(1) 方式 A—电路交换接入 PSPDN 业务

在 ISDN 发展初期,ISDN（交换机）本身并不具有分组交换功能,实现 PSPDN 用户终端与 ISDN 分组数据用户终端通信情况（通过 ISDN 透明地处理分组呼叫）,只是在 PSPDN 端口与 ISDN 用户/网络接口上的分组数据终端（X.25 DTE）之间提供一条电路方式半固定的或透明连接的 64kbit/s 物理通路,然后再按照分组交换网和分组终端之间的呼叫控制协议（X.25）建立分组呼叫。如图 8.19(a)所示,图中 AU 是 ISDN 与 PSPDN 的网间连接装置,具有互通功能。

(2) 方式 B—分组交换接入 ISDN 虚电路业务

方式 B 是指分组型终端以图 8.19（b）所示的方式连接到 ISDN,这种方式中 ISDN 具有分组处理功能（PH：packet handling function）。ISDN 和 PSPDN 以 X.75 或内部网络协议连接

PH 和分组交换机实现互通。PH 之间也能互通，从而实现封闭在 ISDN 之内的分组通信。

在方式 B 中不仅可以在 B 通道上，而且也可以在 D 通道上传送分组数据。由于 ISDN 内具有 PH，因此对 ISDN 内的分组通信可以提供各种补充业务，这种方式才是 ISDN 应具备的分组通信功能，CCITT 规定将来所有的 ISDN 都应支持方式 B 的分组通信。

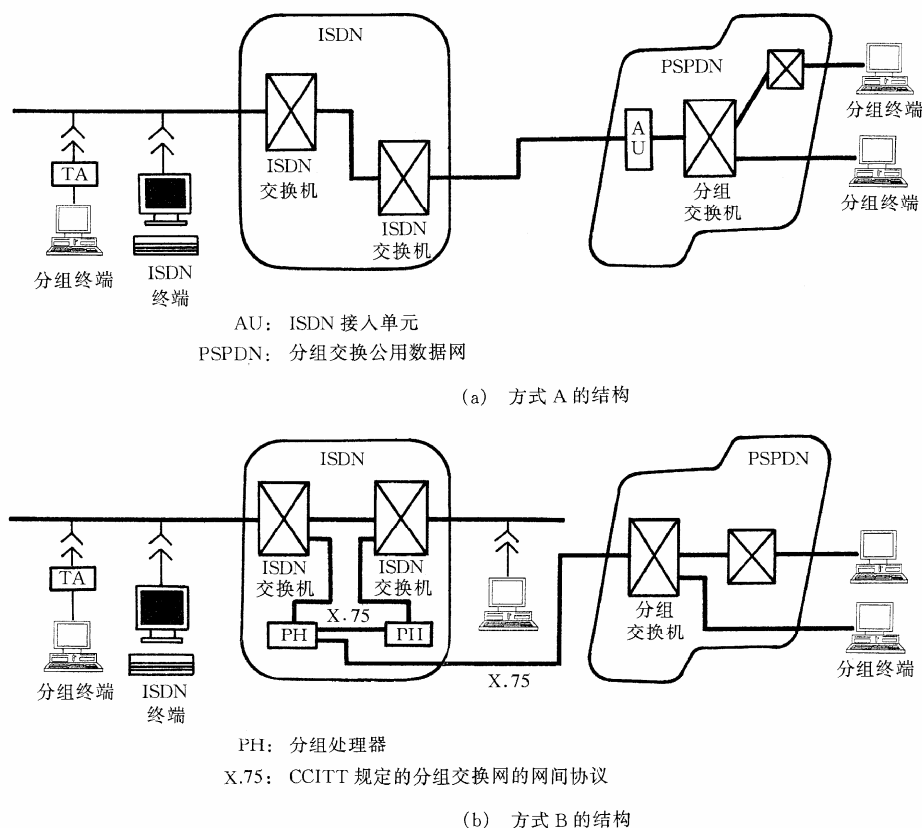


图 8.19 ISDN 和 PSPDN 的网间互通

## 8.6 ISDN

ISDN 能为用户提供 ISDN 业务所需要的各类设备,包括 ISDN 交换机、网络终端、接入单元、各类 ISDN 终端和终端适配器等。这里我们主要讨论 ISDN 交换机、几个典型的 ISDN 终端的主要功能及结构特点。

### 8.6.1 ISDN 交换机

ISDN 的目的是把多种业务综合进入到一个网中,ISDN 交换机就是能满足多种业务综合需求的交换设备。ISDN 的业务特性主要由 ISDN 交换机来体现。ISDN 是在数字电话网 IDN 的基础上发展而成的,而从 IDN 到 ISDN 过渡的主要工作之一是交换机的扩展和改造。IDN 中的数字电话交换机提供了 64kbit/s 电路交换业务,这也是 ISDN 的基本承载业务,因此以

公用网的数字电话交换机为基础来开发 ISDN 交换机要比以其它任何形式的交换机为基础要简单得多。一般讲, ISDN 交换机是在原有数字程控交换机的基础上改进而成的。

### 1. ISDN 交换机的主要功能

与程控数字电话交换机相比, ISDN 交换机是在原有交换的基础上增加 ISDN 新的功能。一方面增加硬件来提供数字用户接口和处理分组信息;另一方面增加软件来满足 ISDN 的数据管理、呼叫处理及操作维护等要求。ISDN 交换机必须具有如下新的功能。

#### (1) 提供 ISDN 的接口

ISDN 用户交换机在 ISDN 用户/网络接口中属于 NT<sub>2</sub> 的范畴, 应该具有的接口如图 8.20 所示。

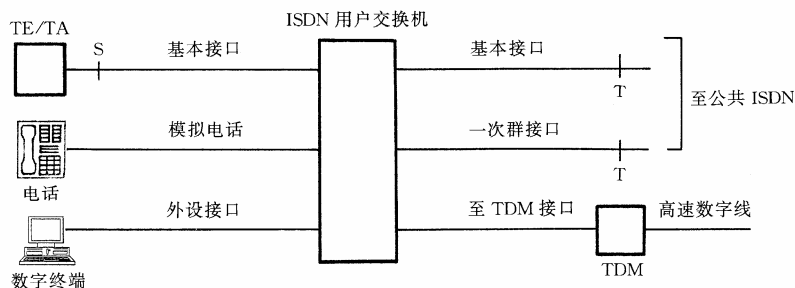


图 8.20 ISDN 用户交换机接口示意图

#### ① ISDN 用户基本接口

ISDN 用户交换机向用户提供 2B+D 的用户接入能力, 用户可以根据业务需要任意组合终端的配置。在该接口上物理层应符合 I.430 建议的要求, 链路层应符合 Q.921 建议的要求, 网络层应符合 Q.931 建议的要求。

#### ② ISDN 一次群接口

ISDN 用户交换机 (ISPBX) 一次群速率接口用于 ISPBX 与 ISDN 端局的连接以及 ISPBX 之间的互连, 所以一次群速率接口具有组网功能。在该接口上物理层符合 I.431 建议的要求; 链路层应符合 Q.921 建议的要求, 网络层应符合 Q.931 建议的要求。

#### ③ 其它接口

由于 ISDN 用户交换机的全部用户不可能都是 ISDN 的用户, 与 ISDN 用户交换机相连接的端局或其它 PABX 也不可能都具有 ISDN 功能, 因此 ISDN 用户交换机还需具有与现有用户终端和网络设备相连接各类接口。

#### (2) 扩展信令功能

ISDN 交换机应该具有新的信令功能, 包括 D 通路信令和 No.7 信令。

① 执行 D 通路协议。用来完成用户的综合业务、终端选择功能、兼容性检查及多种补充业务在用户端口的 D 通路协议, 应该符合 CCITT 的 Q.921 和 Q.931 建议的技术要求。所以 ISDN 交换机的呼叫处理程序对用户信号的处理部分需要按照 D 通路的信令协议进行扩充。

② 增加 No.7 信令中的 ISDN 用户部分。数字程控交换机一般都具有 No.7 信令的处理功能, 但为了传送 ISDN 中的局间信号, ISDN 交换机必须增加 ISDN 用户部分 (ISUP) 来传送 ISDN 业务的各种参数, 控制 ISDN 呼叫的建立、保持、释放。ISDN 交换机还需要增加信令

连接控制部分 (SCCP), 用于两个 ISDN 交换机之间建立信令传送的虚电路连接, 以利于传送数据和维护管理等信息。

③ 完善 No.7 信令其它信令的配合。为了实现 ISDN 与电话网及其它网络的互通, ISDN 交换机还应该完成信令的配合。在用户侧包括用户随路信令与 D 通路信令的配合, 同时 ISDN 交换机还需要完成用户侧和网络之间各类信令的配合。

#### (3) 具有不同类型的连接功能

数字程控交换机一般只提供话音电路的连接, 但是 ISDN 的承载业务包括多种类型的连接, 如 64kbit/s 不受限制的数字信号、话音、3.1kHz 音频、7kHz 音频、15kHz 音频和视频的连接, 还有不同速率电路的连接, 包括  $2 \times 64\text{kbit/s}$  连接的 2B 通路,  $6 \times 64\text{kbit/s}$  连接的 H 通路,  $24 \times 64\text{kbit/s}$  连接的 H 通路和  $30 \times 64\text{kbit/s}$  连接的 H 通路。ISDN 交换机应该能够根据用户的要求来建立不同类型的连接, 还要能够在通信期间改变连接类型 (例如对于话音和 64kbit/s 不受限制数字信息交替的业务)。

除此之外, ISDN 交换机还应该建立 ISDN 用户和非 ISDN 用户之间的连接, 例如 ISDN 电话用户和非 ISDN 电话用户的连接。为了实现这种连接, ISDN 交换机需要使不同的信令方式协同工作, 例如交换机一侧使用 D 信道协议或 ISDN 用户部分 (ISUP) 协议, 另一侧使用电话用户部分 (TUP) 协议或多频编码信令。

#### (4) 分组处理功能

ISDN 交换机不仅能够以电路连接方式和公用分组网 (PSPDN) 互通 (X.31 方式 A), 还应该进一步增加分组处理功能, 对 X.25 分组数据进行处理, 并按 X.75 协议和 PSPDN 互通 (X.31 方式 B)。为此, ISDN 交换机中应增加分组处理器 (PH)。

PH 提供分组交换的处理功能, 使 ISDN 用户的分组终端能够相互通信, 并和公用分组交换网互通。PH 并不是 ISDN 交换机必不可少的部分, 一些国家在 ISDN 发展初期不采用 PH, 原因是这些国家的公用分组网十分发达, 不必再由 ISDN 提供分组交换能力。PH 的实现可以放在 ISDN 交换机内部, 也可以放在 ISDN 交换机外部。当 PH 放在交换机外部时, 应使用分组处理接入的标准接口 PHI。

#### (5) 扩展的呼叫处理功能

① 路由选择。ISDN 与其它网络及终端连接的多样性使路由的选择变得复杂。例如, 网络中有数字和模拟资源、ISDN 和非 ISDN 信令设备、分组和电路处理资源、ISDN 和非 ISDN 用户等, 都要根据呼叫的需要及资源的可用情况来合理地分配使用。

② 处理附加业务。这些业务或提供通信时的附加性能, 或向用户提供附加信息。由于 ISDN 的附加业务比公用电话交换网丰富得多, 对 ISDN 交换机的功能要求也就复杂得多。

③ 操作维护功能, ISDN 交换机的操作维护比电话交换机复杂, 例如 ISDN 交换机不仅要按距离和通信时长给电路型业务计费, 而且要按数据量和通信时长给分组型业务收费, 还要根据使用的特种业务酌情收费。由于 ISDN 业务种类多, 业务量的观察统计也比电话交换机复杂。

### 2. 向 ISDN 用户交换机的过渡

ISDN 的目的是把多种业务综合进一个网中, ISDN 交换机就是能满足多种业务综合需求的交换机。在目前, 用单一的一个 ISDN 网来取代电话网、数据网、用户电报网等是不难实现的。一个比较可行的向 ISDN 过渡方案是保留有多个网路, 改进原有数字交换系统使其为 ISDN 服务, 使用户看来这些网就像是一个网一样, 用户通过一对金属线就可得到多种业务。

窄带 ISDN 是以综合数字网 (IDN) 为基础的, ISDN 交换机是由数字程控交换机改进而成。在现阶段, ISDN 交换机自身并不是非要具备完全的分组交换功能, 它只要能与公用或专用分组交换数据网及用户电报网进行互通就行。

要把一个普通的数字程控交换机改进成 ISDN 交换机, 就是要实现上述技术要求, 目前一般的数字电话交换机大多具有两个特点, 一是它只能进行电路交换, 二是它的用户线接口是模拟的。主要需进行以下几个方面的改进:

- (1) 要能实现数字接入。
- (2) 要能进行 D 信道处理。
- (3) 要能进行对分组数据的交换或能与分组交换网进行互通。

在 ISDN 的初期, 现场实验中使用的交换机是在原有数字交换机的基础上改进而成的, 在改进原有交换机时, 人们总是希望修改的部分很少、进行修改方便。随着集成电路技术的发展, 一些 ISDN 专用电路已在进行电路集成, 使得 ISDN 的引入更为方便。随着 ISDN 业务的扩大, ISDN 技术已经加入到程控交换机的设计中去, 用户可以直接向电信生产厂家订购有 ISDN 功能的程控交换机而直接进行使用。随着 ISDN 由现场试验转向实用, 由小范围开放主导业务而转向大范围引入, ISDN 交换机的功能也将越来越完善。

### 8.6.2 ISDN 终端

ISDN 终端是指具有 S 接口即接在参考点 T 上的, 能够直接接入 ISDN 网络进行通信的各种终端设备。其中, 包括 ISDN 标准终端  $TE_1$ , 非 ISDN 终端  $TE_2$ , 及适配器 TA 和室内控制装置 (如 PABX 等)。有多种多样的 ISDN 终端: 数字电话、数字传真、可视电话、电视会议系统 (MHS)、多功能终端及终端适配器等。由于大规模集成电路的迅速发展, 促使 ISDN 终端的种类越来越多, 应用也日益广泛。

在 ISDN 发展的初期, 主要利用现有通信网的终端设备, 经过终端适配器将它们接入 ISDN。各种不同的终端适配器用于适配各种公用和专用通信网的传统接口, 例如:

- 进入模拟电话网的 Z 接口
- 进入电路交换公用数据网的 X.21 接口
- 进入分组交换公用数据网的 X.25 接口
- 计算机通信设备的标准接口 V.24

有了这些终端适配器, 相应的非 ISDN 标准终端就能接入 ISDN 网络, 得到和现有通信网的传统业务相类似的用户终端业务。但是这种  $TE_2$ -TA (非 ISDN 标准终端—终端适配器) 的组合有很大的局限性, 即这种硬件布局是不合理的, 并且通过  $TE_2$ -TA 的组合不能充分利用 ISDN 信道和信令能力。为此, 有必要开发 ISDN 标准终端, 以求经济合理地利用 ISDN 网络资源, 并保证各种现有业务的延续性。

#### 1. ISDN 终端的基本功能

(1) 灵活方便的人—机接口。具有人—机操作的终端接口功能, 是 ISDN 终端推广应用的关键。

(2) 基本电信业务协议处理。通过具体的终端功能提供的业务称“电信业务”。ISDN 按照 OSI 参考模型将提供标准化的电信业务。提供电信业务协议处理功能来支持这些电信业务。

(3) D 信道协议处理。使用 D 信道协议作为用户线路信令系统, 在 CCITT I 系列建议 I.440

中,由 I.451 规定 D 信道协议。

(4) 智能性。终端必须具有一定标准的智能,即能支持以上三个功能互通和有效的使用 ISDN 通信业务。终端识别也必须由这个智能完成。

(5) 第一层接口。基本电信业务协议和 D 信道信令协议代用第一层协议。终端必须完成物理连接和同步。

## 2. 数字电话机

过去的模拟电话机不存在标准化问题,而数字电话机则有 CCITT 建议标准。数字电话机是最常用的一种 ISDN 终端,它经过参考点 T 或 S 连接到 ISDN,还可配置终端适配器 TA 经过参考点 R 连接非 ISDN 终端设备(如数据终端设备等)。各功能群和有关设备之间的关系如图 8.21 所示。数字电话机不仅能够提供基本的电话业务,而且能够提供许多方便用户的 ISDN 补充业务。通常数字电话机带有专用的功能键和显示装置。当数字电话机配有不同的通信接口时,可以兼作 ISDN 适配器使用。

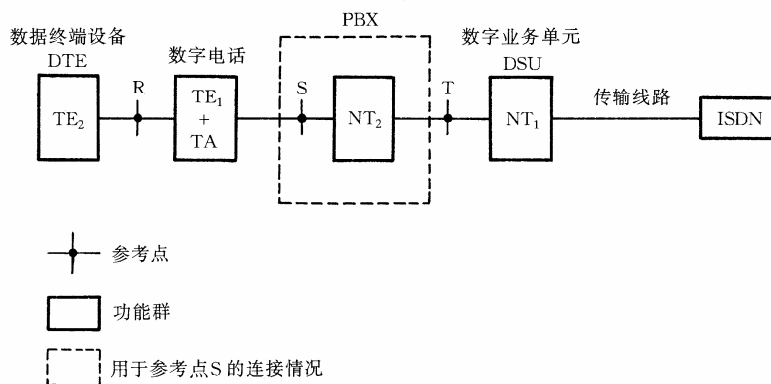


图 8.21 功能群与设备之间关系的示意图

### (1) 数字电话机的基本功能

- 呼出功能：一般拨号、免提拨号和缩位拨号等。
- 呼入功能：兼容性检查。
- 显示功能：补充业务的显示、拆线原因、故障信息和互通指示。
- 存储功能：被叫用户号码的存储。
- 非 ISDN 适配器功能：带有 RS-232、X.21 或 X.25 接口。
- 子地址的设置功能：话机更改接插位置时,用户可以自行设置子地址。
- 提供多种 ISDN 补充业务的功能。

### (2) 接口及传输性能

数字电话设备经过两个 B 信道和一个 D 信道 (2B+D) 的基本速率接口连接到 ISDN 上。用户信息在 B 信道上传送,信令在 D 信道上传送。

ISDN 数字话机的物理层接口应该符合 CCITT I.430 建议的要求,链路层符合 CCITT Q.920 和 Q.921 建议的要求,网络层符合 CCITT Q.930 和 Q.931 建议的要求。作为高层功能,话音应根据 CCITT G.711 建议。

ISDN 数字话机的传输性能指标应该符合 CCITT P.31 建议的要求。

(3) 数字话机构成

图 8.22 给出了一个实现 ISDN 数字话机的系统结构框图示例。

该示例采用 8 位 CPU，二、三层软件和控制软件固化在 ROM 中。RS-232、X.21 或 X.25 接口只安装其中的一种，利用一个不传送语音的 B 通路进行数据通信。显示装置使用 1×16 的液晶显示器。网络终端送出 48V 的馈电，数字话机以 DC/DC 转换器取得+5V 电源。在没有馈电的情况下，也可由市电经 AC 适配器取得+5V 直流电源。

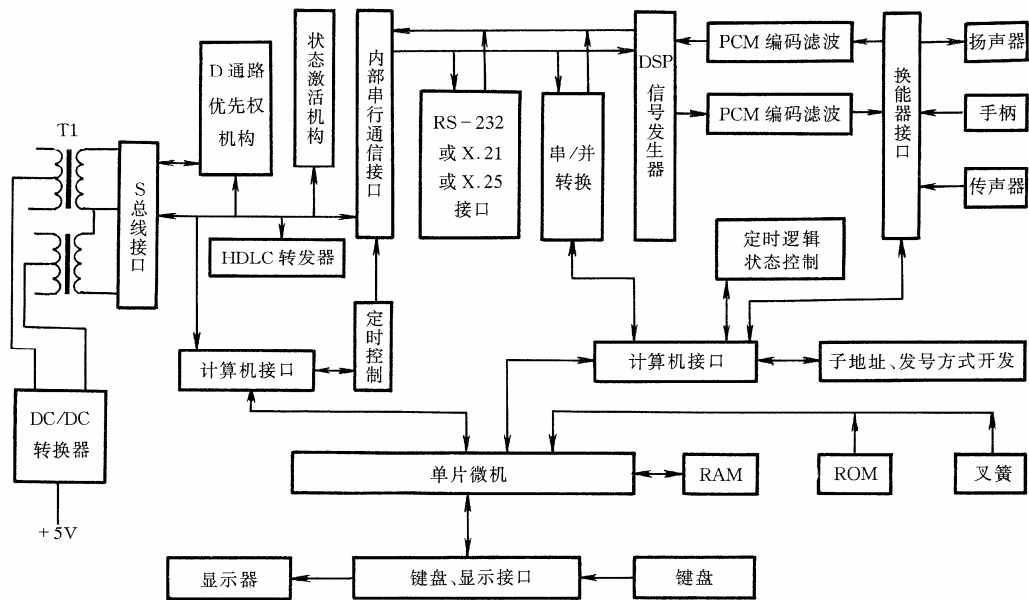


图 8.22 数字话机系统结构框图

3. 多功能终端

多功能终端又叫多媒体终端，是指以不同的信息通信方式（如智能用户电报、传真可视图文和各种数据远程处理业务等）工作，不同信号源的信息通过终端的转换程序相综合。如多功能 ISDN 传真终端综合了语音和图文传输功能；多功能微机综合了微机与电话等功能；可视图文电话机一方面用来显示数据库信息，另一方面从电话寄存器中呼出电话的其它信息。总之，多功能终端能在 ISDN 网中进行电话、电子邮件、图像及数据等综合通信。

目前见到的多功能终端，多数是将电话和某些数据业务结合起来，这种多功能终端可以在微机上加装扩展卡而组成。图 8.23 是一个多功能终端的例子。该终端由一台微机加装 4

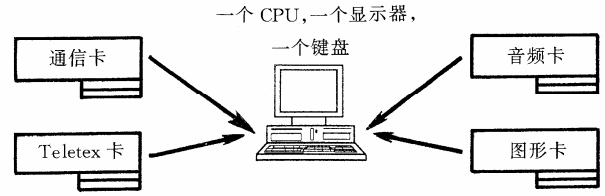


图 8.23 以微机为基础的多功能终端

块扩展卡而成：通信卡上装有 S 接口硬件，并处理 D 信道 1~3 层协议，负责和 ISDN 网络的

通信；Teletex 卡装有 Teletex 的接收和发送存储器；音频卡提供电话和其它形式的音频通信业务，其上装有话音编解码器；如果图形卡的分辨率足够高，该终端可以显示传真文件。这些扩展卡专门负责和某种通信媒体有关的处理，而微机的主机和显示、键盘、打印机是公用的控制部分和公用的外部设备，微机的硬盘和软盘则是公用的存储资源。该终端包含许多应用软件，这些软件可能装载在主机中，也可以装在扩展卡中，它们按照电话、Teletex、传真、可视图文等用户终端业务的协议来完成信息处理或通信控制功能。这些软件由微机中的多任务操作系统来管理。

#### 4. 终端适配器

在 ISDN 发展初期，为了使现有终端能够在 ISDN 上运行，为用户提供 ISDN 业务，研究开发了各种类型的终端适配器或适配卡（TA）。

TA 的特性基本上由它两侧的接口性能所决定。TA 在 ISDN 的一端是 S 接口，应该具有 S 接口技术规范所要求的一切功能，包括物理层、信令的二层和三层等。TA 在非 ISDN 的一端是 R 接口。R 接口并不是指某一种具体的接口，而是泛指所有接入 ISDN 进行通信的现有终端的接口。这种接口种类很多，例如异步数据终端、同步数据终端、个人计算机、传真机和模拟电话等。对于接口标准不同的各类非 ISDN 终端，应该配备不同的终端适配器。所以 TA 需要一系列的設備来完成现有非 ISDN 终端接入 ISDN 通信的问题。按照 ISDN 非标准终端的类型，TA 可以分为以下几类：

##### (1) 适合 X 系列和 V 系列终端的 TA

使用这类 TA 可以将 X.25 分组终端、X.21 电路交换型终端或带有 RS-232 接口的终端接到 ISDN 基本速率接口上。TA 主要完成速率变换和协议转换的功能。

##### (2) 适合微机用的 ISDN 适配卡

将此卡直接插入微机中的空闲插座上，就可以通过 ISDN 进行微机通信。由于适配卡直接与微机 CPU 总线相连，可以实现高速数据传输。通常适配卡主要提供 ISDN 用户/网络接口第一层和第二层协议的功能，与第三层协议有关的通信控制功能由微机本身实现。

##### (3) 适合于 OSI 终端用的 TA

虽然 ISDN 的 D 通路协议是以 OSI 协议为基础的，但是遵从 OSI 协议的计算机不能直接与 ISDN 相接，因为 DSS 的信令与 OSI 协议不是完全相同的，所以 OSI 终端仍需经过适配器接入 ISDN 网络。

在使用中，为了经济，往往用 ISDN 终端代替 TA 功能。例如，一个 PC 机或三类传真机与数字话机相接后接入 ISDN 网络，数字话机可以起到适配器的作用，或者，将模拟话机接在 ISDN 工作站上接入 ISDN 网络，普通的模拟话机就可以在 ISDN 上通话了。

图 8.24 是适配器用于 V 系列接口终端设备的一个例子，在图中：

- DISP/KBD：操作显示器的键盘。
- LAP—D：LAP—D 处理器（第二层）。
- LINTF：线路接口电路。
- PC BUS INTF：个人计算机总线接口。
- RA：速率适配器。
- SEL：用于 B 信道响应的选择器电路。
- S/T INTF：S/T 总线接口控制器（第一层）。
- CPU：用于第三层控制和附加功能控制的微机处理器。



• V.24 INTF：V.24 接口电路。

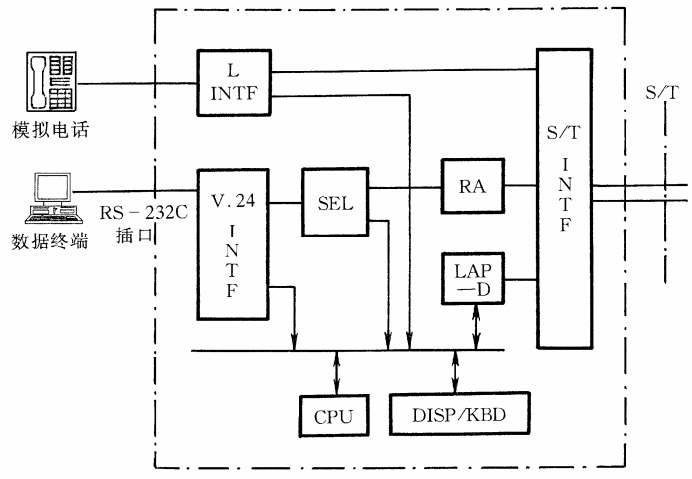


图 8.24 TA 用于 V 系列数据终端

## 8.7 ISDN 验与

现在，人们将通信看作是**社会基础设施和发展经济的基本要素**。随着社会经济文化的飞速发展和人们对电信业务需求的日益增长，通信网向数字化过渡、IDN 向 ISDN 演变，这已是历史的必然。基于这一点，目前各国正致力于 ISDN 的普及，而其发展方向是**宽带 ISDN 和智能网络**。

### 8.7.1 从现有通信网向 ISDN 过渡

#### 1. ISDN 过渡策略

通信网向 ISDN 过渡的关键是电话网的数字化，也就是说，通信网从模拟到数字，再到演变成 ISDN，关键问题是**尽快解决现有模拟电话网的数字化**。总结各国经验，实现这一过渡主要有以下三种方式。

##### (1) 重叠方式

在现有模拟网的基础上，重叠设置数字交换和数字传输系统形成一个覆盖整个服务区域并与模拟网相并行的数字网，称为重叠方式。这种方式的主要特点是：**模数两网互为补充，同时发挥两网的作用；可以尽快在大范围内提供端对端数字连接和多种数字业务；过渡期间 A/D 变换运用数量最少，确保传输质量不低于现有网络质量，网络总体建设成本低，但用户初始成本较高；模数两网改造与扩建时相互影响最小，但需有统一运营、管理与维护两网的能力。**

##### (2) 数字岛方式

在局部点上集中采用数字设备取代原有模拟设备，或全部采用数字设备新建一个数字区域，在扩建过程中形成局部的数字区域，称为数字岛方式。这种方式的主要特点是：**岛内无需管理和维护模数两网双重任务，有利于增强岛内管理的维护能力；在岛内可以满足近期和**

远期业务发展的要求；难以尽早提供大范围的端对端数字连接和数字业务；最需要新设备并能获得最大经济效益的地区，可以集中引入。

### (3) 混合方式

这是一种将上述两种方式结合起来，在模拟网基础上混合采用数字交换或数字传输系统的方式。该方式的主要特点是：可充分利用现有设备；可最有效地发挥新投入资金的作用；建立一个连接时可能会出现过多的 A/D 变换，不能充分发挥数字设备的作用。

上述三种方式各有所长，许多国家根据本国的实际情况，分别采取不同的过渡策略实现电话网的数字化，并以数字电话网为基础开始引入 ISDN。

## 2. ISDN 的演进

自 ISDN 概念提出以后，技术发达国家积极开展 ISDN 的研究与设备开发（单项技术及实验室研究），为国际标准化工作和建立 ISDN 打下基础。进入 80 年代，开始早期的初步试验，开展世界范围的更广泛的研究，宣传 ISDN 的优越性（如为用户、网络运营者及设备制造商带来好处和利益），使之为更多的人所认识和接受。随着各国网络数字化发展，加上非话业务需求增长的促进，建立 ISDN 必要的关键技术（ISDN 交换、用户线的数字传输、用户/网路接口技术等）得到基本解决。到了 80 年代中期，世界各国的 ISDN 有了明显的进展，尤其 1984 年 10 月 CCITT 提出了 ISDN 的 I 系列建议（红皮书）为 ISDN 的迅速发展提供了有利条件。明确了 ISDN 为一种符合实际的通信网发展目标，使之成为 80 年代世界电信活动的热点和主题。一些经济发达国家将 ISDN 列为 20 世纪末的主要战略目标，纷纷进行 ISDN 现场试验，设立试验项目，在当地电话运营网路上建立试验网，经过几年小范围的现场试验，掌握窄带 ISDN 技术，了解了用户的需求，取得了建立 ISDN 的实际经验。这样，使试验转变成实用化的网，可以投入使用，开放业务。1988 年以后，不少国家完成了 64kbit/s 窄带 ISDN 的现场试验，进入了商用阶段。

目前各国向用户提供的 ISDN 服务，主要是利用现有电话用户线（金属二线线对）2B+D 信道的 144kbit/s 基本速率接入业务，其次是 1.5Mbit/s 或 2Mbit/s（23/30B+D）的基群速率接入业务。采用电路交换和分组交换两种信息交换方式，提供上述两种速率通信业务的 ISDN 称为窄带 ISDN（N-ISDN）。

一些发达国家在 N-ISDN 现场试验尚未完成的时候，就开始了对能够传送高速文件及高清晰度的电视等视频信息的宽带 ISDN（B-ISDN）进行研究与试验。

用户线的数字光纤传输，宽带交换方式和高速数字接口标准是实现 B-ISDN 的关键。CCITT 已于 1988 年明确提出了异步转移模式（ATM）是实现 B-ISDN 的最佳转移模式。

### 8.7.2 ISDN 的典型应用

综合业务数字网有很多特点，它的应用几乎涉及到有通信需求的各行业和信息交换的各种方式，为用户在话音通信、计算机联网、远端通信、文件交换、工作站/语音通信、图像传送、多媒体信息存取等方面带来了很大方便。在国外，ISDN 应用的例子很多，也较为复杂。我们对 ISDN 的开发应用是逐步进行的，利用基本接口开发承载业务的各种应用，诸如利用一个 B 通道传输高速数据；利用（2B+D）接口进行话音、数据的综合通信；也可以用一次群速率（30B+D）通道实现对计算机主机的多路高速访问；最终可以建立工矿企业的 ISDN 专用网。

1. 7kHz 高质量语音通信设备

CCITT 制定了 G.72 建议,提出了以一个 64kbit/s 速率对 50Hz~7kHz 音频信号的编码方案。这样,在 ISDN 网中使用一条 B 通路提供 64kbit/s 不受限的承载业务就可以透明传递 7kHz 带宽的高质量语音信号,如图 8.25 所示。

高质量语音通信设备主要用于广播电台节目的中继传送、高质量电话及电视会议等场合,因此一般需要与电话会议系统组合提供 7kHz 语音通信。为了能够提供用户所需要的附加数据,例如静止图像,G.722 建议规定了 3 种方式。第 1 种方式是使用 64kbit/s 传送 7kHz 语音;第 2 种是用 56kbit/s 传送 7kHz 语音,以 8kbit/s 传送数据;第 3 种是以 48kbit/s 传送 7kHz 语音,以 16kbit/s 传送数据。

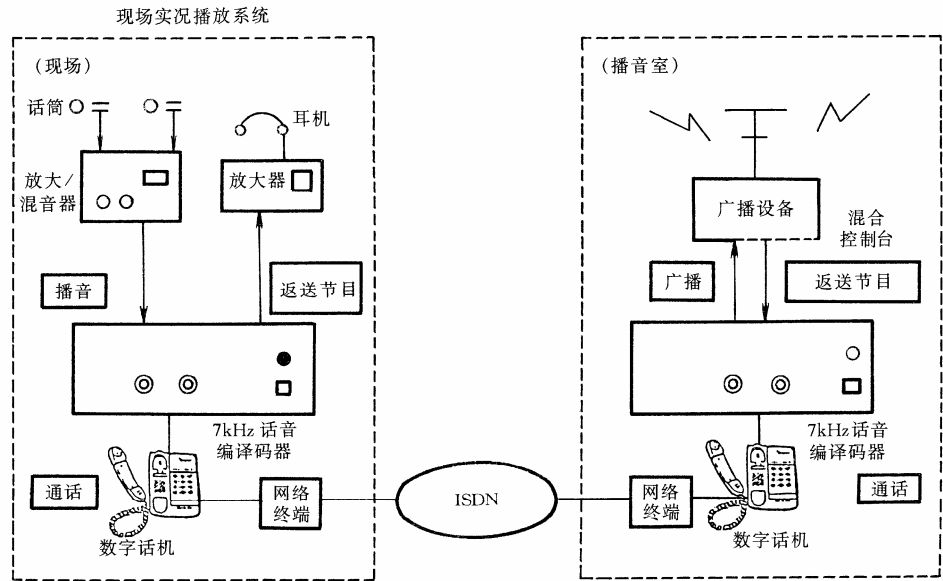


图 8.25 7kHz 语音通信设备应用示例

2. 多媒体通信

把 ISDN 的基本接口 (2B+D) 作为一个整体使用,可同时传送语音信息和文字信息或图像文书信息,即实现多媒体通信。图 8.26 表示多媒体通信的一个例子。如该图所示那样,两个使用者可一边使用相互连接的文书终端(例如微机之类的设备),一边用电话交换意见,来修改文书的内容。如果使用终端适配器,则可用现有的电话机和微机设备实现这样的多媒体通信。如果用 ISDN 数字话机兼作 ISDN 适配器,将普通的 PC 机通过 V.2 接口适配为 ISDN 标准接口,使 PC 机之间能够进行通信。

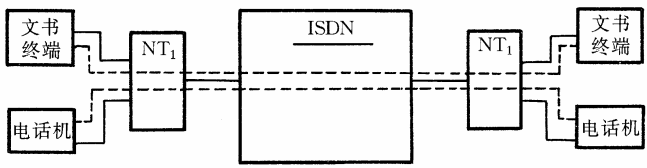


图 8.26 多媒体通信示意图

### 3. 经通信线路高速访问计算机

数据终端或作为终端使用的微机经连接的交换网络，通过拨号来访问连接在交换网络上的计算机主机设备的情况是较多的。如果该交换网络是电路交换网，一般需在交换机和主机之间使用多条单独的线路，如图 8.27 (a) 所示。若使用一次群速率多路复用接口后，则变成图 8.27 (b) 的情况。这时，计算机主机连接到交换网络的线路数量可大大减少，从而可取得显著的经济效益。

由于计算机不仅可处理字符数据，而且可处理图像数据，使用一次群速率接口就是适应这种需求的好方法。现在，不仅可用多个 B 信道实现线路的多路复用，而且可用 H 信道实现对计算机主机的高速访问，这更是应用一次群速率接口的有效方法。

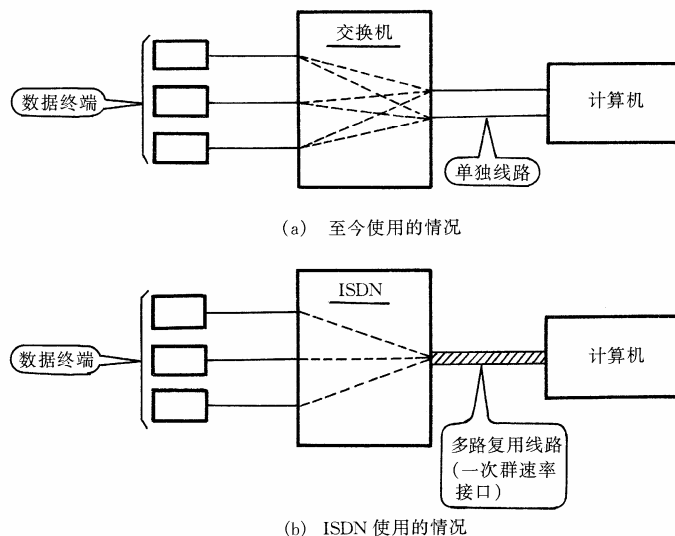


图 8.27 对计算机主机的多路访问的示意图

### 4. ISDN 用于局域网的扩展和互连

局域网是一种在小区域内提供各类数据通信设备互连的通信网络，在技术上的典型特征是数据传输速率高、性能好。目前越来越多的用户希望局域网有与公用网相连的出口，使通信不仅局限在局域网的内部。但是使用现有电话网和 X.25 分组网进行远端局域网通信时，其速率和性能均达不到满意的效果，而由 ISDN 根据用户的业务需求，提供用户端到端的数字连接，可以获得很高的速率，好的性能。

如图 8.28 所示，ISDN 可以用于多个局域网的互连而取代局域网间的租用线路，在这种应用中，局域网仅是 ISDN 的一个用户。ISDN 可以在用户需要通信时，建立高速、可靠的数字连接，而且还能够使主机或网络端口分享多个远端设备的接入，这种特性也比专线租用灵活和经济。

另外，本地的局域网还要与大型主机 (SUPER-COMPUTER) 相连，远端局域网中的终端或工作站都可以通过 ISDN 成为本地局域网的延伸或扩展，共享主机的资源，使用户感觉犹如在同一个网中操作一样。当与大型主机通信时，所使用的通信软件必须兼容，例如使用 TCP/IP。

当一个局域网需要与另一个局域网传送信息时，由 ISDN/LAN 适配器通过 ISDN 网络并

保持通信链路，而当信息传递完毕时，适配器就开始清除这一链路。在局域网互连的应用中，ISDN 可以提供电路交换的连接，也可以提供分组交换的连接。随着帧中继业务的发展也可以提供帧方式的连接。ISDN 可以使多个局域网构成一个虚拟网络，使在不同地区的局域网虚构成一个大型网络，非常适用于大型企业集团的使用。

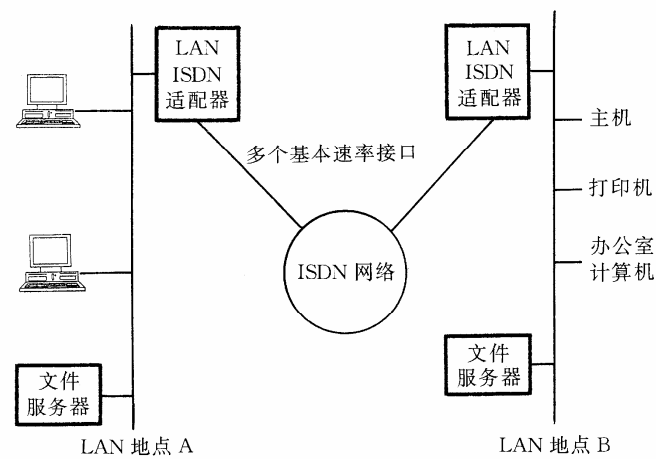


图 8.28 局域网的扩展与互连

# 第九章 宽带综合业务数字网(B-ISDN)

## 9.1 B ISDN

### 9.1.1 从 N-ISDN 到 B-ISDN

从前几章可以看出,在通信业务不断发展的过程中,对于每一项特定的通信业务,至少存在一个能够传递这项业务的网络,如普通老式电话业务(POTS)由公用电话交换网(PSTN)传递;计算机数据业务可以在基于 X.25 协议的分组交换数据网(PSDN)中传递,也可以在基于 X.21 协议的电路交换数据网(CSDN)中传递;电视业务既可以利用地面天线经无线电波广播,也可以利用树形同轴电缆网构成共用天线电视(CATV)网进行传递,还可以经过卫星,利用所谓直接广播系统(DBS)来进行传递。

以上每一种网络都是为一种特定的业务而设的,一般不适用于其它业务。仅仅在有限的特殊情况下,才能用来传递其它的业务。例如 PSTN 不能用来传递电视信号,但在网络两侧装上调制解调器(Modem)后,可以用来传递低速计算机数据。

所以人们研究建立一种单一的网络,这个单一的网络能传递所有的业务,能使不同的业务共享可用的网络资源。如第八章所述,70 年代人们提出了综合业务数字网(ISDN)的概念,即目前的窄带综合业务数字网(N-ISDN)。ITU-T 的前身 CCITT 到 1988 年已经制定出一套关于 N-ISDN 的标准,使 N-ISDN 在 90 年代进入实用化阶段,很多国家的通信网中都加入了 N-ISDN。但是到目前为止,N-ISDN 还没有收到预期的效果,人们对它的反应并不像原先估计的那样热烈。一方面是 N-ISDN 所提供的新业务缺乏吸引力或在已有通信网中存在。在发达国家,原有通信网的水平较高,话音和非话音业务都开展得比较好,不愿意遗弃原有设备而重新投资建设 N-ISDN。另一方面,N-ISDN 有其自身的缺陷,具体表现在:

(1) 信息的传送速率有限,用户—网络接口速率局限于 1920kbit/s 或 1536kbit/s 以内,无法实现电视业务和高速数据业务,难以提供更新的业务。

(2) 它的基础是综合数字网(IDN),所支持的业务主要是 64kbit/s 的电路交换业务,这种业务对技术发展的适应性很差。例如,如果信源编码技术使得话音传输速率低于 64kbit/s,但由于网络本身传输和交换的基本单位是 64kbit/s,所以网络分配的资源仍为 64kbit/s,使先进的信源编码技术也无法提高网络资源的利用率。

(3) N-ISDN 的综合是不完全的, 虽然它综合了分组交换业务, 但这种综合只是在用户入网接口上实现, 在网络内部仍由分开的电路交换和分组交换实体来提供不同的业务。即在交换和传输层次, 实际并没有很好地利用分组业务对于不同速率、变比特率业务灵活支持的特性。

(4) N-ISDN 只能支持话音及低速的非话音业务, 不能支持不同传输要求的多媒体业务, 同时整个网络的管理和控制是基于电路交换的, 使得其功能简单, 无法适应宽带业务的要求。

所以需要一种以高效、高质量支持各种业务的, 不由现有网络演变而成的, 采用崭新的传输方式、交换方式、用户接入方式以及网络协议的宽带通信网络。在 N-ISDN 刚刚产生的 80 年代初期, 人们就在寻求一种更新的网络, 以提供高于 PCM 一次群速率的传输信道, 能够适应如图 9.1 所示的全部现有的和将来可能的信息业务。从速率最低的遥测遥控 (每秒十几比特到每秒几十比特)、高清晰度电视 HDTV (100Mbit/s~150Mbit/s) 或近 Gbit/s 的宽带信息检索业务, 都以同样的方式在网络中传送和交换, 共享网络资源。同时和提供同样业务的其它网络 (多个网络的集合) 相比, 它的生产、安装、运行和维护费用都比较低廉, 当时 CCITT 将这种网络定名为宽带 ISDN 或称 B-ISDN。

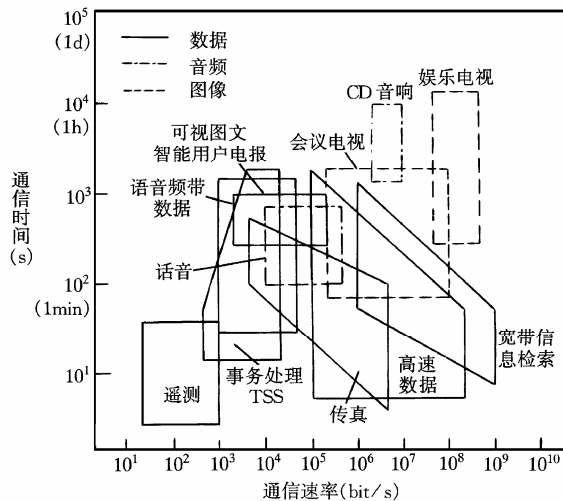


图 9.1 各种信息业务的通信速率与通信时间

要形成 B-ISDN, 其技术的核心是高效的传输、交换和复用技术。人们在研究分析了各种电路交换和分组交换技术之后, 认为快速分组交换是唯一可行的技术。国际电联 (ITU) 于 1988 年把它正式命名为 ATM (Asynchronous Transfer Mode), 并推荐为 B-ISDN 的信息传递模式, 称为“异步传递方式”、“异步转移模式”或“异步传送方式”。ITU-T 在 I.113 建议中定义: ATM 是一种传递模式, 在这一模式中, 信息被组成信元 (Cell); 因包含一段信息的信元不需要周期性地出现, 这种传递模式是异步的。

### 9.1.2 基于 ATM 的 B-ISDN 的特性

ATM 是以信元的交换和复用技术为基础的, 即以信元为单位进行交换和传输, 每个信元

长度固定为 53 个字节,其中开头 5 个字节称为信头,载有信元的地址信息和其它一些控制信息,其余 48 个字节为信息字节,称为信元负载。对具有统一结构的网络,ATM 能提供一种通用的且适用于不同业务的面向连接的信息传递模式。它既可以直接(或通过适配层)处理面向连接的业务,也可以通过适配层处理面向非连接的业务,ATM 虚连接既可以传送均匀比特率业务,也可以传送变比特率业务。任何形式的信息通过 ATM 进行传递时,首先要转化成 ATM 信元格式,根据 ATM 信元信头中的地址信息,就能建立从源点到终点的虚连接,所有去同一终点的信元在指定的虚连接上有序地传递,但并不像同步传递方式(STM)那样按定时隙或批次周期性地传递。同时 ATM 具有很好的语义透时性和时间透明性,可以根据不同应用的特性要求(如时延,误码率)提供多种业务质量(QoS)类别,保证各种通信业务的质量。基于 ATM 的 B-ISDN 具有如下特性:

(1) 可以实现网络业务的完全综合化

在采用 ATM 技术的 B-ISDN 中,不仅可以在用户—网络接口上实现物理线路的综合化,而且在网络内部采用同一交换方式实现不同类型、不同速率的信息交换,通过有效地均衡各种业务所需要的通信带宽,达到支持多媒体通信所需要的多种多样的通信速率。

(2) 支持高速率的用户信息传输

B-ISDN 用户—网络接口上用户的最高通信速率可以达到 155Mbit/s 或 622Mbit/s,是 N-ISDN 的 100 倍以上,可以提供如 HDTV 的高速图像业务。

(3) 能提供丰富多彩的通信业务

N-ISDN 主要提供点对点的双向通信(交互通信)业务,B-ISDN 除提供交互通信业务外,还提供分配型业务,如电视广播、视频点播(VOD)等。

(4) 传输及处理的成本低

ATM 网络完全可以得到高速大容量的同步光纤网(SONET)或同步数字系列(SDH)的支持。采用光传输方式,不仅可以提供巨大的传输容量,而且目前利用波分复用(WDM)技术,使同一根光纤上传输的容量成倍增加,使得相同容量的光纤传输系统比铜线传输系统成本低得多。另外,ATM 网络简化了分组通信方式的协议,网络节点不进行流量控制和差错控制处理,大大节省了网络传输处理的成本。

### 9.1.3 B - ISDN 网络体系结构

#### 1. 宽带网络的体系结构

从应用出发,宽带网络的体系结构可由图 9.2 表示,它由应用系统层、业务平台层、网络层和传送层构成。应用系统层就是向用户提供的各种服务,可分为专用应用系统和公用应用系统,如金融系统、财税系统、电子商贸系统、教育系统、医疗保健系统、政务办公与决策系统、人口管理系统、家庭信息系统等。业务平台主要对应用系统提供支持,为应用系统提供各种宽带网络业务。包括交互式会话业务(如可视电话、会议电视等),消息类业务(如语音信箱、E-mail 等),信息检索业务,分配型业务。

网络层的主要功能是接入控制、流量控制、路由控制与差错控制。网络层可以是 ATM、帧中继(FR)、交换式多兆比数据业务(SMDS)或因特网(Internet)。

传送层的重要功能是实现信息的无差错传输。传送层又可分为传送方式子层和传送媒质子层,传送媒质有光纤、微波、卫星以及大容量高速电缆。传送方式有同步数字系列(SDH)、



准同步数字系列 (PDH)、波分复用 (WDM)、密集波分复用 (DWDM)、时分复用 (TDM)、光时分复用 (OTDM)、时分多址接入 (TDMA)、码分多址接入 (CDMA) 等。

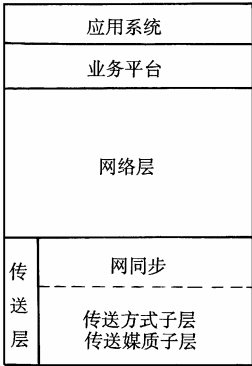


图 9.2 宽带网络的体系结构

2. 基于 ATM 的 B-ISDN 的基本组成结构

基于 ATM 的 B-ISDN 由宽带用户终端／宽带用户网络 (B-CPE／B-CPN)、宽带接入网 (B-AN)、宽带服务节点 (B-SN) 以及宽带传送网络 (B-TN) 等主要网元组成，如图 9.3 所示。

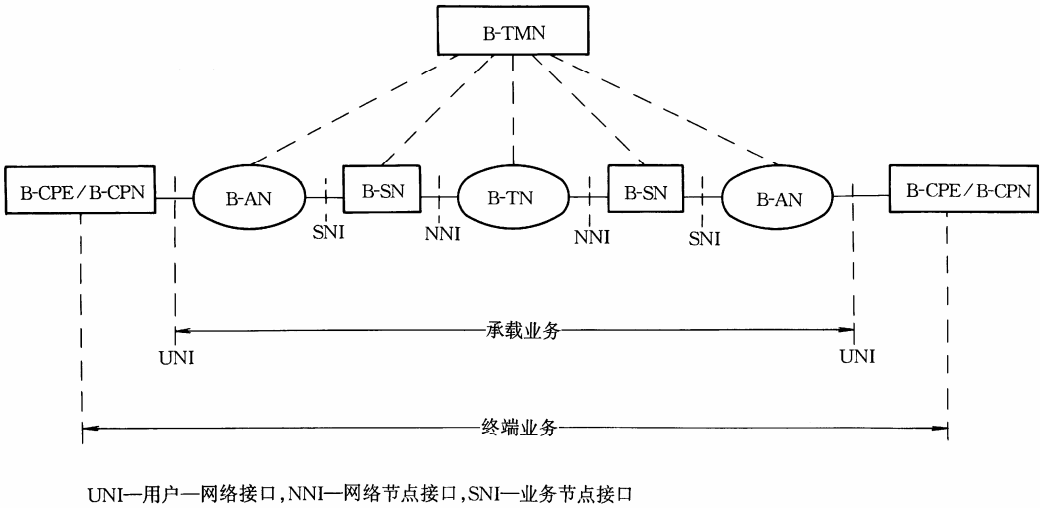


图 9.3 B-ISDN／ATM 基本组成结构

宽带服务节点 B-SN 也称为 ATM 节点，即 ATM 交换设备。宽带传送网络 B-TN 主要指高速光纤传输设备，为宽带信息的传输提供链路，宽带用户终端／宽带用户网络 (B-CPE／B-CPN) 及宽带接入网 (B-AN) 也称为 ATM 终端。

3. B-ISDN／ATM 的网络分层结构

根据开放系统互连 (OSI) 参考模型，每个开放系统可用具有层次结构的子系统来描述。按照 ITU-T I.311 建议，B-ISDN 的网络分层结构如图 9.4 所示。

从图中可以看出，B-ISDN 结构上分为网络高层功能和 ATM 传输网络。ATM 传输网络

又按功能分为物理层传送功能和 ATM 层传送功能。其中物理层传送功能又包括传输路径、数字段和再生段。传输路径指连接两个网络节点之间的通道，是电信网络在一个区域的传输子网提供给外界的传输功能。数字段是连接两个网络节点之间的数字通道。再生段指一段中间没有使用再生器的电信线路，是相邻两个再生器之间的数字传输段。物理层传输功能不一定具备上述全部层次，可以发生层次重叠。如两个数字交叉连接系统之间距离较短时，连接它们之间的通信线路不需要加入再生段，此时数字段和再生段发生重叠。

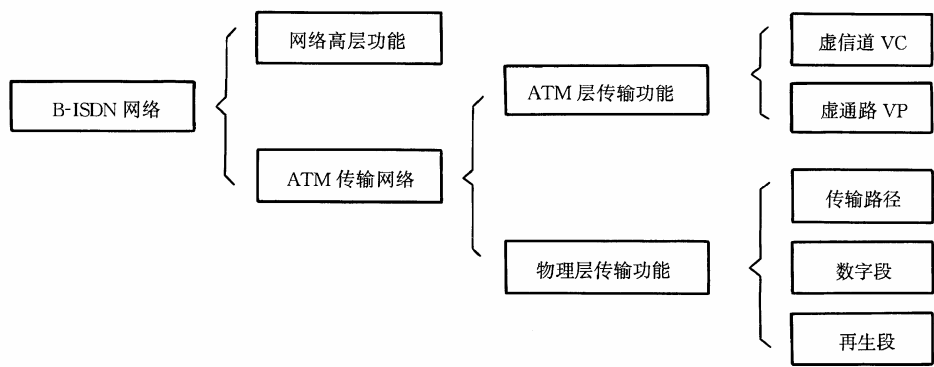


图 9.4 B-ISDN 网络分层结构

ATM 层传输功能包括虚通路（VP：Virtual Path）子层和虚信道（VC：Virtual Channel）子层。VC 表示单向传送 ATM 信元的逻辑通路，每个信元用虚信道标识符（VCI：Virtual Channel Identifier）进行标识，表明传送该信元的虚信道。VP 表示属于一组 VC 子层 ATM 信元的路线，这些信元由相应的虚通路标识符（VPI）进行标识，表明传送该信元的虚通路。所以传输路径 VP 和 VC 之间的关系如图 9.5 所示。ATM 中的虚信道相当于分组交换中的虚电路，VPI+VCI 相当于虚电路标识号。

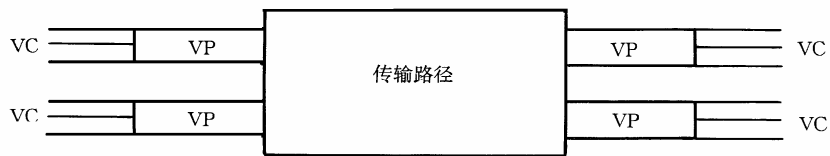


图 9.5 传输路径 VP 和 VC 之间的关系

在 ATM 网络中，还有虚信道链路（VCL：Virtual Channel Link），虚信道连接（VCC：Virtual Channel Connection），虚通路链路（VPL）和虚通路连接（VPC）等概念。VCC 相当于分组交换网络中两用户之间建立的端到端的虚电路，它由若干 VC 通过交换节点连接而成。VCL 指 VCC 中相邻两个交换节点之间的虚信道，由此可见 VCC 是由若干 VCL 串接而成。同样，VPC 是由若干 VPL 通过交换节点连接而成的，VPL 指 VPC 中相邻两个交换节点之间的虚通路。

由于 VCC（或 VPC）的组成是通过交换节点连接 VCL（或 VPL）而成的，引出了 VC 交换和 VP 交换。VP 交换完成将交换节点一条输入 VP 上所有的 VC 链路全部送到一条输出 VP 上去，而这些 VC 链路的 VCI 值保持不变。VC 交换必须和 VP 交换同时进行，当一条

VC 链路终止时，VPC 即终止，这个 VPC 上的所有 VC 链路将各自执行交换过程，加入到不同方向的 VPC 中去，VCI 的值可能改变。如图 9.6 所示。

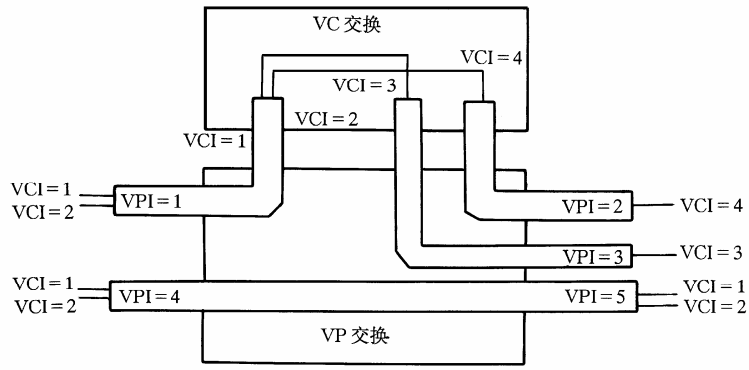


图 9.6 VC 和 VP 交换

VP 交换实现比较简单，通过传输通道某个等级数字复用线的交叉连接就可以实现。

9.1.4 B-ISDN 用户 / 网络接口参考配置

1. 功能群与参考点

在 ITU-T I.413 建议中，B-ISDN 用户 / 网络接口 (UNI) 的参考配置如图 9.7 所示，定义了 5 个功能群和 3 个参考点，与 N-ISDN 中的定义完全相同。5 个功能群为 B-NT1、B-NT2、B-TA、B-TE1、B-TE2。B-NT1 称为第一类宽带网络终端，实现等价 OSI 参考模型的第一层物理层的功能，包括线路传输终端、传输接口处理和物理层的 OAM 功能。B-NT2 称为第二类宽带网络终端，实现等价 OSI 参考模型的下三层功能，如接口适配、业务复用 / 解复用、业务集中、信元缓冲、网络资源分配、用法参数控制 (UPC)、信令协议处理、接口处理、本地业务交换等。B-NT2 可以有不同的实现方法，如仅提供业务集中、复用和解复用的集中器可以是一个 B-NT2，仅完成本地交换功能的用户小交换机 (PBX) 也可以是一个 B-NT2。

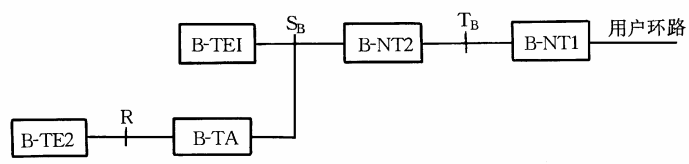


图 9.7 B-ISDN UNI 参考配置

B-TA 为宽带终端适配器，完成非 B-ISDN 终端的适配入网功能。

B-TE1 称为第一类宽带终端设备，也称为 B-ISDN 标准终端。

B-TE2 称为第二类宽带终端设备，即非 B-ISDN 标准终端。

3 个参考点为  $T_B$ 、 $S_B$  和  $R$ ，分别为接入 B-NT1、B-NT2、B-TA 的参考点。其中  $R$  参考点可以具备宽带能力，也可以不具备宽带能力，即 B-TE2 可以是宽带的非 B-ISDN 终端，也可以是窄带的其它类型终端。而  $T_B$  和  $S_B$  参考点可以支持所有的 ISDN 业务。

2. 接入配置

用户—网络接口上实际的物理配置可能不同于图 9.7 的参考配置。在用户处可能同时存在  $S_B$  和  $T_B$  接口,也可能只有  $S_B$  没有  $T_B$ ,或者只有  $T_B$  没有  $S_B$ ,还有可能是  $S_B$  和  $T_B$  接口重合在一起,如图 9.8(1)~(7) 所示。

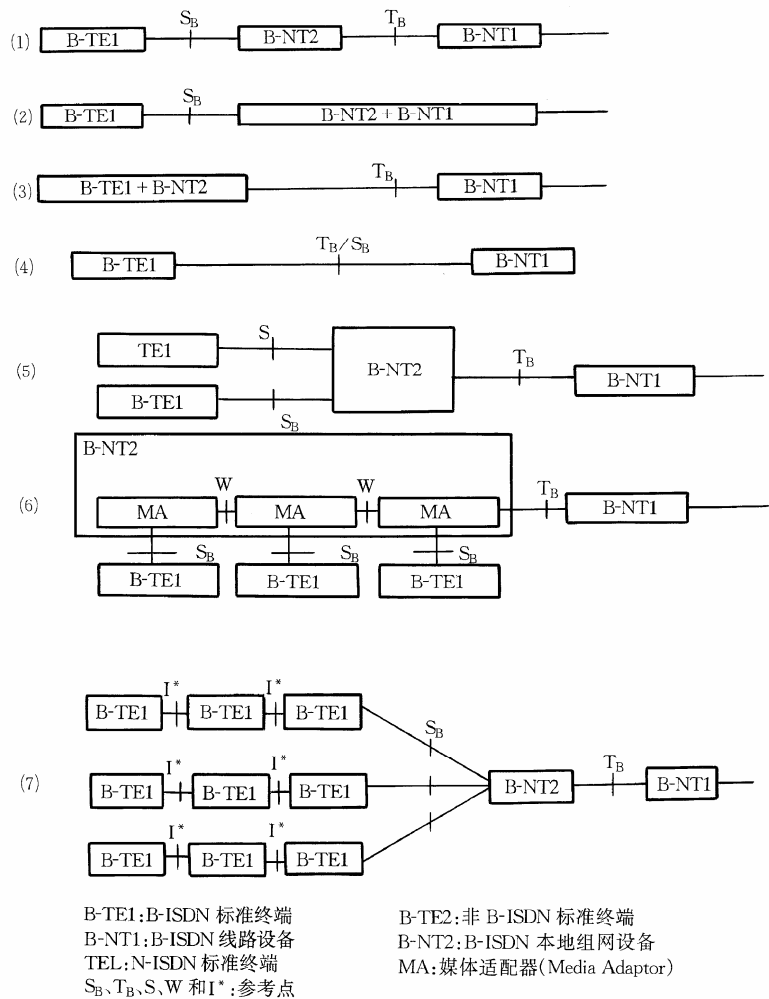


图 9.8 B-ISDN 用户—网络接口的物理实现形式

- (1)  $S_B$  和  $T_B$  参考点分别对应物理接口,每个功能群都由单独的物理实体来实现。
- (2) 仅有参考点  $S_B$ ,相当于 B-NT2 和 B-NT1 合并在一起,即传输终端功能和其它宽带 ISDN 接口结合起来。实际上网络的主管部门既提供 NT1 功能,又提供计算机局域网(LAN)和数字 PBX 设备,NT1 的功能可以综合到这些设备中去。或者 NT1 的功能不由网络提供,而是制造局域网和 PBX 设备的厂商将 NT1 的功能综合到他们生产的设备中去,从而使 NT1 和 NT2 合并, $T_B$  接口消失。
- (3) 只有参考点  $T_B$ ,相当于 B-NT2 和 B-TE 合并在一起。例如一种多用户计算机系统,主机在支持多个终端操作的同时还支持  $T_B$  接口连接到 ATM 网络,使每个端都能对外通信。
- (4) 参考点  $S_B$  和  $T_B$  重合,在 UNI 处不存在 NT2 的功能,用户终端可以直接和 NT1 相

连。这种接入配置体现宽带网络的接口具有高度的兼容性，也就是说一个 B-ISDN 终端可以直接与终端设备 NT1 连接，也可以与 PBX 或 LAN 连接，而不必作任何接口的改变。同时也保证了 B-ISDN 设备的可移动性。

(5) NT2 同时提供  $S_B$  和 S 接口, S 接口连接 N-ISDN 的终端 TE1,  $S_B$  接口连接 B-ISDN 的终端 B-NT2。相当于在 NT2 中叠加了用于接入 N-ISDN 标准终端的宽带适配器 B-TA 的功能。

(6) B-NT2 由分布式的物理接口实现。媒体适配器 (MA) 提供终端接入传输媒体的控制, 使所有的 B-TE1 都能经  $T_B$  接口接入 B-ISDN 网络。MA 之间的接口叫 W 接口, 其功能和 MA 连接的拓扑结构有关。

(7) B-NT2 以星型结构提供多个  $S_B$  接口, 而每个  $S_B$  接口又连接多个 B-TE1。在这种接入方式中, B-TE1 应具有共享媒体的接入控制功能, B-TE1 和 B-TE1 之间的接口称  $I^*$  接口, 它和  $S_B$  接口等同。

9.1.5 B - ISDN 提供的业务

B-ISDN 的宽带业务通常指其传输速率超过一次群速率的业务。在 N-ISDN 的业务划分中, 将所有的业务分为承载业务、终端业务和补充业务。而对于 B-ISDN 而言, 承载业务就是基于 ATM 的信元传输, 也称为信元中继 (Cell Relay), 提供用户间直接的信元传输和交换, 而将特定媒体的信息流适配成 ATM 信元属于终端业务完成的工作, ITU-TI.211 建议给出了 B-ISDN 的业务概貌。

根据未来宽带通信的不同形式及它们的应用, 可以将 B-ISDN 的业务分为交互型业务和分配型业务两大类。表 9.1 给出了目前 ITU-T 定义的 B-ISDN 业务以及相应的可能应用。

表 9.1 B-ISDN 宽带终端业务

| 业务种类  | 信息类型  | 宽带业务                      | 可能应用                                                                                         |
|-------|-------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 会话性业务 | 视频和声音 | 宽带可视电话                    | 在两地端对端之间传送语音、视频、扫描图像和文件通信：电子教育 (Tele-Education)、电子购物 (Tele-Shopping)、电子广告 (Tele-Advertising) |
|       |       | 宽带会议电视                    | 在两地或多地之间传送语音、视频、扫描图像和文件通信：电子教育、电子购物、电子广告                                                     |
|       |       | 电视监控 (Video Surveillance) | 建筑物安全监视 (Building Security)、交通监控 (Traffic Monitoring)                                        |
|       | 声音数据  | 视听信息传输                    | 视频信号传输、视听对话、信息分配                                                                             |
| 会话性业务 | 文件    | 多声音节目信号                   | 多种语言评论信道 (Multilingual Commentary Channel)                                                   |
|       |       | 高速不受限数字信息传输业务             | 多个节目传送 (Multiple Programme Transfers)                                                        |
|       |       | 大容量文件传送                   | 高速数据传输 (LAN 互联、MAN 互联、计算机间通信) 电视和其它类型信息传送                                                    |
|       |       | 高速运动 (Teleaction)         | 静止图像传送                                                                                       |
|       |       | 高速传真                      | 多边交互 CAD/CAM                                                                                 |
|       |       | 高分辨率图像通信                  | 数据文件传送                                                                                       |
|       |       | 文件通信                      | 实时控制、遥信 (Telemetry)、警告                                                                       |
|       |       |                           | 用户到用户间文本、图像、图形信息传送                                                                           |
|       |       |                           | 专业用的图像、医疗图像、远端电子游戏和游戏网                                                                       |
|       |       |                           | 用户到用户的混合文件传送                                                                                 |

|                |                                       |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 消息性业务          | 视频<br>文档                              | 视频电子邮件<br>文档电子邮件                                                                                                                     | 用于传送活动图像和伴音的电子邮件服务<br>传送包括图像、文字、数据的混合文档                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 续表             |                                       |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 业务种类           | 信息类型                                  | 宽带业务                                                                                                                                 | 可能应用                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 检索性业务          | 文字<br>数据<br>图形<br>声音<br>图像<br>视频      | 宽 带 可 视 图 文 (Broadband Videotext)<br><br>视频检索<br>高分辨静止图像检索业务<br>文件检索业务<br>数据检索业务                                                     | 包括视频的可视图文、远端教育和培训 (Remote education and Training)、远程软件 (Telesoftware )、远程广告、新闻检索<br>娱乐目的、远端教育与培训<br>娱乐目的、远端教育与培训、专业图像通信、<br>医疗图像通信<br>从信息中心、档案馆等检索混合文件<br>远程软件                                                                                                                                                      |
| 不由用户个别参与控制分配业务 | 数据<br>混合<br><br>活 动 图 像 和<br>声音<br>电视 | 高速不受限数字分配<br>文件分配业务<br><br>视频信息业务分配<br><br>现有质量的电视分配业务 (PAL、NTSC)<br>扩展 TV 分配业务<br>HDTV 分配业务<br>付费电视 (pay-per-view, pay per channel) | 不受限数据分配 (Distribution Unrestricted data)<br><br>电子报纸 (Electronic Newspaper)、电子出版 (Electronic Publishing)<br>视频信息分配 (Video Information Distribution Service)<br>电视节目分配 (TV Programme distribution)<br>电视节目分配 (TV Programme distribution)<br>电视节目分配 (TV Programme distribution)<br>电视节目分配 (TV Programme distribution) |
| 由用户个别参与控制分配型业务 | 文本 图形声<br>音 静止图像                      | 全 通 道 广 播 电 视 信 息 (Full channel broadcast videlgraphy)                                                                               | 远端教育和培训<br>电子广告、新闻检索、远程软件                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

1. 交互型业务 (Interactive Services)

交互型业务是指双方相互交换信息进行通信的业务，它又可分为会话型、消息型、检索型三类。

(1) 会话型业务 (Conversational Services)

会话型业务指在用户之间或用户与主机之间通过实时通信方式提供信息双向传输的业务。即在信息传输中要求具有很高的实时性，要求网络能够将用户发出的数据快速地送到接收端。例如可视电话、会议电视和高速数据传输业务等。

(2) 消息型业务 (Messaging Services)

消息型业务指在用户之间通过网络存储转发方式进行信息传送的业务，它不要求是实时的，不必要求接收用户在发送用户发送信息时处于工作状态，可以将发送信息送往指定的计算机的存储区，类似于信件通信方式。如视频电子邮件、文本邮件服务等。

(3) 检索型业务 (Retrieval Services)

检索型业务指用户向信息中心索取信息的业务。用户从信息服务中心检索需要的信息时，可以选择信息的内容和信息传输开始的时间，如电影、图像、声音和档案信息的检索等。

2. 分配型业务 (Distributive Services)

分配型业务是由网络中的某点（信息服务中心）向其它多个位置（用户）传送单向信息流的业务，它可以分为不由用户个别参与控制的分配型业务和用户个别参与控制的分配型业务两类。

(1) 不由用户个别参与控制的分配型业务 (Distributed Services Without User-Individual Presentation Control)

这种业务是一种广播业务，信息中心向网络中数量不限的有权接收的用户发送连续的信

息流，用户可以决定是否接收信息，但不能控制信息发送开始的时间和出现的顺序，如电视和声音广播业务等。

(2) 用户个别参与控制的分配型业务 (Distributed Services With User — Individual Persentation Control)

这种分配型业务同样是一种广播业务，信息中心向网络中数量不限的有权接收的用户发送信息，但所有信息是作为一个整体反复播放，在一段时间之内用户接收器就可以获得所有信息，但由于显示设备和用户的需要可以只选择一部分信息播放，这样用户可以控制所需信息开始的时间和不同信息显示的时间。如图文电视、全通道广播电视图文等业务。

ITU—T 在 I.121 中指出“B—ISDN 必须能够支持交换连接、半固定连接、永久连接以及点到点和点到多点的连接，可以提供即时、预定的专线业务，B—ISDN 传输信息种类可以是单媒体或多媒体，连接的配置可以是双向对称、双向不对称或是单向的。B—ISDN 具有用以支持高级业务的智能管理能力，能够进行网络的控制、操作、维护和管理。

9.2 B ISDN ATM

9.2.1 B - ISDN / ATM 标准与协议模型

1. B—ISDN／ATM 的有关标准

随着 B—ISDN／ATM 技术的研究，各标准化组织都在积极进行 ATM 的标准化工作，这些标准化组织大致可分为两类：正式标准化组织和企业论坛。正式标准化组织主要是国际电信联盟的电信标准部 (ITU—T)，企业论坛主要有 ATM 论坛 (ATM Forum)、贝尔研究中心 (Bellcore)、Internet 工程任务组 (IETF)、帧中继论坛 (Frame Relay Forum) 和 SMDS 利益集团等。

ITU—T 制定的 B—ISDN／ATM 有关标准有 I 系列标准和 Q 系列标准，分别如表 9.2、9.3 所示,另外 ITU—T 近年来又相继出台了一些关于 B—ISDN／ATM 的附加文档。如 I.31X，I.341，I.35BA，I.581，I.Sig.2，I.Sig.3，Gatmta G.96 等。

表 9.2 ITU-TI 系列 B-ISDN 标准一览

| 序号：标题                     | 内容                                                                   |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| I. 113：B-ISDN 术语词汇        | B-ISDN 专用术语的定义                                                       |
| I. 121：B-ISDN             | B-ISDN 原理                                                            |
| I. 150：ATM 功能特征           | ATM 层功能（信元头）：虚通道连接（VCC），虚路径连接（VPC），负荷类型（PT），信元丢失优先级（CLP），一般流量控制（GFC） |
| I. 211：B-ISDN 服务          | B-ISDN 服务分类及一般描述，多媒体服务的网络问题，服务定时、同步问题，非连接数据服务，视频编码                   |
| I. 311：B-ISDN 一般网络问题      | 联网技术：VC 和 VP 层，VC 和 VP 链路/连接，信令原理，信令要求，用户接入信令 Vcs，元信令通道              |
| I. 321：B-ISDN 协议参考模型及应用   | I. 324 的扩充，基本体系模型，参考连接及连接要素，非连接服务功能、经由 VCC 的接入，                      |
| I. 356：B-ISDN ATM 信元层传输性能 | 性能模型，性能参数，性能度量方法                                                     |
| I. 361：B-ISDN ATM 层描述     | ATM 信元结构：5 字节头+48 字节信息域，信元头的编码                                       |

|                                       |                                                                                         |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| I. 361：B-ISDN ATM 适配层功能描述             | ALL 基本原理，有关服务，对某些应用可能为空，ALL 子层划分，SAR 和 CS，4 种 ALL 服务类型，基于：源、目的时间关系，常数/变化的位速率，面向连接/无连接方式 |
| I. 363：B-ISDN ATM 适配层描述               | ALL 协议类型、根据：服务，SAR/CS 功能，SAR-PDU 结构及编码                                                  |
| I. 364：在 B-ISDN 上对宽带非连接数据服务的支持        | 服务提供框架，协议（UNI/NNI）                                                                      |
| 续表                                    |                                                                                         |
| 序号：标题                                 | 内容                                                                                      |
| I. 371：B-ISDN 通信控制和拥塞控制               | 通信描述符及相关参数<br>通信控制和拥塞控制算法及过程                                                            |
| I. 413：B-ISDN 用户网络接口                  | 参考配置，物理配置举例<br>T <sub>B</sub> 、S <sub>B</sub> 上的接口：155.520（622.080）Mbit/s               |
| I. 432：B-ISDN 用户网络接口物理层描述             | 电气/光学参数，接口结构（如 SDH 帧），信头校验码的产生/验证，信元同步                                                  |
| I. 555：帧中继支撑服务互联                      | 帧中继支撑服务与 B-ISDN 的互联                                                                     |
| I. 580：B-ISDN 与 64kbit/s ISDN 互联的一般安排 | 互联配置，互联功能要求                                                                             |
| I. 610：B-ISDN 管理与维护原理及功能              | OAM 原理，OAM 功能和信息流的层次结构，B-ISDN UNI 及接入网 OAM 功能，物理层、ATM 层、OAM 功能的实现                       |

表 9.3 ITU-T Q 系列 B-ISDN 标准

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| 编号                | 标题                                   |
| Q.2010 (Q.141X)   | B-ISDN 信令的一般介绍                       |
| Q.2100 (Q.SAAL.0) | B-ISDN 信令 ATM 适配层 (SAAL) 总体描述        |
| Q.2110 (Q.SAAL.0) | B-ISDN ATM 适配层——面向连接的业务特定协议          |
| Q.2120 (Q.1420)   | B-ISDN 元信令协议                         |
| Q.2130 (Q.SAAL.2) | B-ISDN 信令 ATM 适配层——支持 UNI 上信令的业务特定功能 |
| Q.2140 (Q.SAAL.3) | B-ISDN 信令 ATM 适配层——支持 UNI 上信令的业务特定功能 |
| Q.2500 (Q.50)     | B-ISDN 信令 ATM 适配层——支持 NNI 上信令的业务特定功能 |
| Q.2510 (Q.51A)    | B-ISDN 网络结点上的 B-ISDN 接口              |
| Q.2520 (Q.52A)    | B-ISDN 交换结点连接功能                      |
| Q.2530 (Q.52B)    | B-ISDN 交换结点连接类型                      |
| Q.2550 (Q.54B)    | B-ISDN 网络结点性能设计目标                    |
| Q.2610 (BQ.850)   | B-ISDN 和 B-ISUP 原因与定位运用              |
| Q.2650 (BQ.699)   | B-ISDN 和 B-ISUP 接入信令的互操作             |
| Q.2660 (BQ.6XX)   | B-ISDN 与 N-ISDN 的互操作                 |
| Q.2761 (BQ.761)   | 7 号信令系统 B-ISDN 用户部分的功能描述             |
| Q.2762 (BQ.762)   | 消息和信号的一般功能                           |
| Q.2763 (BQ.763)   | 格式和编码                                |
| Q.2764 (BQ.764)   | 信令过程                                 |
| Q.2931 (BQ.93B)   | B-ISDN 用户网络接口第三层协议                   |

ATM 论坛主要制定了 UNI 规范 (版本 3.0, 1993 年 9 月) 的 B-ISDN 和 B-ICI 规范 (版本 1.0, 1993 年 8 月)

贝尔研究中心定义的与 ATM/B-ISDN 的有关文档见表 9.4。



IETF 有关 ATM 的标准涉及 ATM 和传统 IP 的结合，即如何在 ATM 网络上运行 TCP/IP 协议，主要有：

- (1) RFC1483：Multiprotocol Encapsulation Over ATM Adaption Layer-5
- (2) RFC1577:Classical IP and ARP Over ATM
- (3) RFC1626:Default IP MTU for use over ATM AAL-5
- (4) RFC1680:IPng Support for ATM Services
- (5) RFC1675:Definitions of managed Objects for ATM Management Version 8.0
- (6) RFC1754：IP over ATM Working Groups Recommendations for the ATM Forums's Multiprotocol BOF
- (7) RFC1755：ATM Signaling Support for IP over ATM
- (8) RFC1821: Integracion of Realtime Services in an IP-ATM Network .
- (9) RFC1987, RFC1953:ATM 上的 IP 交换技术（厂家标准，Ipsilon 公司）
- (10) RFC2022:Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 bases ATM Networks

表 9.4 Bellcore 的有关 ATM 文档

|               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| SR-TSY-000857 | 关于 B-ISDN 的序部分                     |
| FA-NWT-001109 | B-ISDN 传输网络框架一般标准                  |
| TA-NWT-001110 | B-ISDN 交换系统一般要求                    |
| FA-NWT-001111 | II 型设备的 B-ISDN 接入信令一般标准            |
| TA-NWT-001112 | B-ISDN UNI 和 NNI 物理层的一般标准          |
| TA-NWT-001113 | ATM 和 AAL 协议的一般要求                  |
| TA-NWT-001114 | 利用 OSI 工具的操作接口的一般要求                |
| TA-TSV-001238 | 155.520Mbit/s B-ICI 上对 SMDS 的一般要求  |
| TA-NWT-001248 | 对宽带交换系统操作的一般要求                     |
| TA-TSV-001408 | 对交换 PVC 信元中继服务的一般要求                |
| SK-TSY-001453 | 卖方对 Bellcore 请求有关 B-ISDN 方面信息的反应   |
| SR-NWT-002071 | B-ISDN 工业论坛                        |
| SR-NWT-002076 | 对提供 SMDS 和交换访问 SMDS 的 B-ISDN 协议的报告 |
| SR-NWT-002480 | 宽带交换系统技术分析描述                       |

2. B-ISDN 协议参考模型

ITU-T I.321 建议描述了基于 ATM 的 B-ISDN 的协议参考模型。如图 9.9 所示，它由面和层构成一个立体模型，面用来描述网络中可以支持的不同功能，如用户信息传输、网络呼叫控制以及网络的管理。层用来描述网络功能的实现模型，并与 OSI 七层模型相对应。

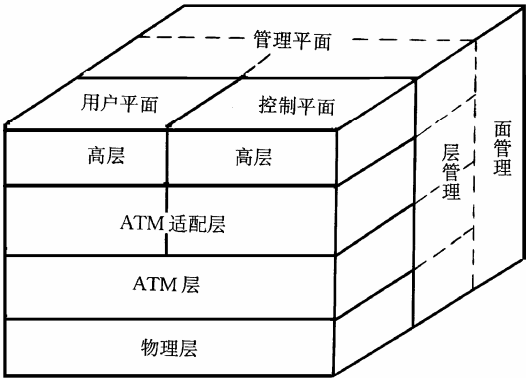


图 9.9 B-ISDN 的协议参考模型

协议参考模型中包括用户平面、控制平面和管理平面三个面。用户平面（User Plane）提供用户信息的传送，采用分层控制结构。控制平面（Control Plane）提供呼叫和连接控制功能，涉及的主要是信令功能，采用分层结构。管理平面提供面管理和层管理两种管理功能，面管理功能用于实现与整个系统有关的管理功能，并实现所有面之间的协调，面管理不分层。层管理用于实现网络资源和协议参数的管理，处理操作维护（OAM）信息流，采用分层结构。

各具有分层结构的面分为物理层、ATM 层、ATM 适配层和高层四层，如图 9.10 所示，物理层完成传输信息功能，ATM 层负责交换，路由选择和信元复用，ATM 适配层完成将各种业务的信息适配或 ATM 信元流，高层则根据不同的业务特点完成高层功能。

|                                                                                                                           |                                                   |  |     |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--|-----|-------------|
| 层<br>管<br>理                                                                                                               | 高层功能                                              |  | 高层  |             |
|                                                                                                                           | 汇聚子层                                              |  | CS  | AAL         |
|                                                                                                                           | 分段与重装                                             |  | SAR |             |
|                                                                                                                           | 流量普控<br>信头产生和提取<br>信元 VPI/VCI 转换<br>信元复用和分用       |  | ATM |             |
|                                                                                                                           | 信元率耦合<br>EHC 序列产生和证实<br>信元定界<br>传输帧适配<br>传输帧传输和恢复 |  | TC  | 物<br>理<br>层 |
|                                                                                                                           | 比特定时<br>网络介质                                      |  | PM  |             |
| AAL ATM 适配层      SAR 分段与重装<br>ATM 异步转移模式      TC 传输汇聚<br>CS 汇聚子层      VCI 虚信道标识符<br>HEC 信头差错控制      VPI 虚通道标识符<br>PM 物理介质 |                                                   |  |     |             |

图 9.10 B-ISDN/ATM 层和子层模型

B-ISDN 层次和 OSI 层次间的对应关系如图 9.11 所示，它们不是一种严格的对应关系。物理层和 ATM 层部分对应 OSI 模型的第一层，ATM 层部分和 ATM 适配层（AAL）对应于

OSI 模型的第二层。但在 ATM 层，信头的地址具有类似于 OSI 模型第三层的地址功能，它可在整个网络范围内被唯一确认。

| B-ISDN 子层 |     | B-ISDN 层次 |      | OSI 层次 |
|-----------|-----|-----------|------|--------|
| 特别业务(SS)  | CS  | AAL       | 数据链路 |        |
| 公共部分(CP)  |     |           |      |        |
| 分段与重装     |     |           |      | SAR    |
| 虚信道层次     | ATM |           |      | 物理层    |
| 虚通路层次     |     |           |      |        |
| 传输特定层次    | 物理层 |           |      |        |
| 数字段       |     |           |      |        |
| 再生段       |     |           |      |        |

图 9.11 B-ISDN 层次和 OSI 层次间的对应关系

9.2.2 物理层协议

物理层为 ATM 层传送有效信元和定时信息，分为物理介质（PM：physical Media）子层和传输汇聚（TC：Transmission Coverage）子层。

1. 物理介质（PM）子层

PM 子层提供比特流传输、定时以及媒质的物理接入。

(1) 物理媒体

在 UNI 处的传输媒体可以是电缆或光纤，具体应用要考虑传输距离。对线径为 7mm 的同轴电缆，155Mbit/s 的电传输距离为 200m，622Mbit/s 的电传输距离为 100m。如果传输距离超过这个范围，就必须考虑采用光纤。

B-ISDN 的 UNI 上的信息传输速率不同国家有不同的标准，按 ITU-T 的标准，有 STM-1（155.520Mbit/s），STM-4(622.080Mbit/s)，DS1(1.544Mbit/s)，E1(2.048Mbit/s)，DS2(6.312Mbit/s)，E3(34.368Mbit/s)，DS3(44.736Mbit/s)，E4(139.264Mbit/s)。ATM 论坛接口速率有基于 FDDI 的 100Mbit/s，基于光纤信道的 155.520Mbit/s，基于屏蔽双绞线（STP）的 155.52Mbit/s。美国国家标准协会（ANSI）标准接口速率有 STS-1（51.64Mbit/s），STS-3C（155.520Mbit/s），STS-12C（622.080Mbit/s）。

另外 UNI 在两个方向的接口速率可以是对称的，也可以是非对称的，例如两个方向均为 155.520Mbit/s。或一个方向上为 155.520Mbit/s，另一个方向上为 622.080Mbit/s。

UNI 上 155Mbit/s 的电接口特性如表 9.5 所示，UNI 上 622Mbit/s 的电接口目前尚未有标准。155Mbit/s 和 622Mbit/s 的光接口特性如表 9.6 所示。

表 9.5 155.520Mbit/s 电接口特性

| 项目    | 指标            |
|-------|---------------|
| 衰减范围  | 0~7dB         |
| 传输媒体  | 双向同轴电缆，1 根/方向 |
| 传输线结构 | 点到点连接配置       |

|       |                                           |
|-------|-------------------------------------------|
| 电导    | $75\Omega \pm 5\%$ ，频率范围 50~200MHz        |
| 电通道衰减 | 155.520MHz 上的最大插入损失 20dB，满足 $\sqrt{f}$ 规则 |
| 电特性   | 根据 ITU-T 建议 G.703                         |

表 9.6 155.520Mbit/s 和 622.080Mbit/s 的光接口特性

|      |                                  |
|------|----------------------------------|
| 项目   | 指标                               |
| 衰减范围 | 0~7dB                            |
| 传输媒体 | 符合 ITU-T 建议 G.652 的两根单模光纤，1 根/方向 |
| 工作波长 | 1310nm                           |
| 光参数  | 符合 ITU-T 建议 G.957                |
| 安全要求 | 故障情况下不能超过 IEC825 的 1 类所规定的参数     |

(2) 比特定定时和线路码

正常工作模式下，发送端时钟锁定在接口处收到的基准时钟上。在基于信元的传输系统或网络供给时钟出错时，可以采用独立时钟工作模式，即时钟由用户本地设备供给，此时时钟允许偏差为  $2 \times 10^{-5}$ 。

对线路码，G.703 建议规定 155Mbit/s 电接口采用 CMI (Coded Mark Inversion) 码。光接口采用不归零码，光线路编码采用 4B/5B (100Mbit/s)、8B/10B (155Mbit/s) 码。

(3) 供电

采用类似 ITU-T I.432 规定的一次群速率接口的供电方式，在  $T_B$  处通过独立电缆向网络终端 (NT1) 设备供电，功率至少为 15W，供电电压为 -20V~-57V，可以采用两种供电方式：

- ① 网络运营者规划但用户本身提供，这时电源设备附加在 NT2、TE 设备中，也可以是单独的设备。
- ② 网络运营者提供。类似于电话的供电系统，用户设备的供电系统和网络特定电源相连。

UNI 接口上的供电系统必须有短路保护和过载保护功能。

2. 传输汇聚 (TC) 子层

TC 子层的功能主要是传输帧适配、信头差错控制、信元定界、信元速率解耦、扰码等。

(1) 传输帧适配

传输帧适配就是完成 ATM 信元和物理介质上传送的特定格式的比特流之间的转换。即作为发送端，TC 子层将信元映射成时分复用的帧格式 (SDH、PDH 或其它帧格式)。作为接收端，TC 子层将信元从接收比特流中分割出来。

目前信元在物理层上有不同的格式收发，如 SDH 格式、PDH 格式、信元格式、FDDI 格式等，在此介绍 SDH 格式和信元格式。

① 速率为 155.520Mbit/s 的 SDH 格式映射。

根据 ITU-T G.707~709 建议规定的 SDH 帧格式，信元对 SDH 格式的映射过程为：首先 ATM 信元映射为容器 4 (C-4)，C-4 是一个 9 行 260 列的容器，对应于 149.760Mbit/s 的传输能力。然后 C-4 加上 POH 包装成虚容器 4 (VC-4)。一般情况下，由于 C-4 容量

(2340 字节) 不是信元长度的整数倍, 且 C-4 容量完全用于信元映射, 因而 ATM 信元可能会超出 C-4 界限, 所以不能用 C-4 的边界对信元进行定位。最后将虚容器 VC-4 映射为  $9 \times 270$  字节帧 (即 STM-1)。第一个 VC-4 字节可以放置在除去 SOH 前 9 列 STM-1 帧中的任何位置, 以便收端能正确分解出 VC-4 来。

## ② 信元格式的映射

信元格式的映射对应于基于信元格式的信元传输, 即信元直接在线路上以信元方式进行传输, 不必借助其它下层的传输协议和系统。为了进行物理接口的维护操作和管理 I.432 规定, 在物理层上传输的信元, 每 27 个信元中必须有一个物理层开销信元 (PL 信元), 即提供给 ATM 层的信元传输速率小于线路速率, 例如对于 155.520Mbit/s 的线路传输速率, 可以用于传输 ATM 层信息的速率为  $26/27 \times 155.520\text{Mbit/s} = 149.760\text{Mbit/s}$ 。物理层信元实际等效于 SDH 和 PDH 物理层的开销, 完成相似的功能。

I.432 规定物理层信元包括空闲信元和物理层 OAM (PL-OAM) 信元, 其中 PL-OAM 信元出现的频率最多为 27 个信元中一个, 最少为 513 个信元中一个。

## (2) 信头差错控制

信元信头的最后一个字节 8bit 为信头差错控制 (HEC) 字节, 对 5 个字节信头它能检测多比特错误, 纠正单比特错误。发送时将信头 5 个字节 (差错控制字段置 0) 形成一个多项式, 然后除以生成多项式  $x^8 + x^2 + x + 1$ , 得到余数 (校正子), 将校正子加上一个 8bit 特组 01010101, 就得到真正传输用的 8bit 信头差错控制字段。接收端按同样的方法计算 HEC 字段, 如果与发送方一致, 说明传输正确, 如果不一致, 则传输错误。

接收端 HEC 有两种工作模式, 纠错模式和检错模式, 如图 9.12 所示。

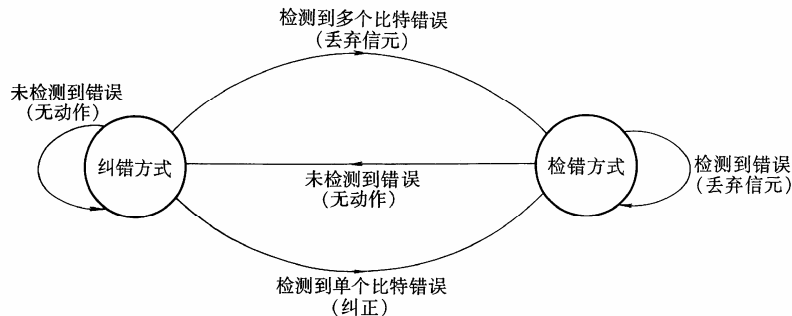


图 9.12 接收端 HEC 工作模式

纠错模式是接收端缺省工作模式, 如果信头不发生错误, 则一直处于该工作状态, 一旦发生比特错误则转入检错状态。此时错误如果是单比特的, 则将错误纠正, 如果是多比特错误, 则将错误信元丢弃。

检错模式是接收端发现错误信头后的工作模式, 在该模式下, 如果信头继续出错 (1 个或多个比特), 则停留在该状态下, 并丢弃信元; 如果未检测到出错信头, 则转入正常的纠错模式, 并保留信元。

## (3) 信元定界 (Cell Delineation)

信元定界就是在一个比特流中确定一个信元的开始。I.432 建议要求信元定界的算法必须是自支持的, 即这种算法可以在任何网络接口上进行, 而与采用的传输系统无关。目前建议

的信元定界方法是基于信头的前 4 个字节和 HEC 字段的关系来设计的,如果在比特流中连续的 5 个字节满足 HEC 字段产生的算法,即认为是某个信元的开始。设  $C_i$  表示第  $i$  个接收字节,则该算法可以用图 9.13 表示:

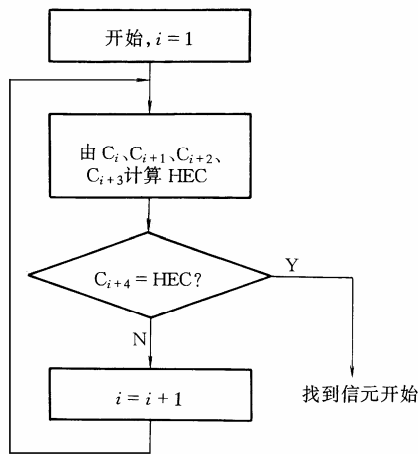


图 9.13 信元定界算法

因为信元的其它部分也可能出现这种关系,所以一般需要连续若干个 53 字节中的前 5 个字节满足这种关系才可以认为找到信元边界。另外信元信头可能出错,即 5 个字节信头无法满足 HEC 字节算法规定的关系,系统也不能立即确定定界出错,必须在连续若干 53 字节中前 5 字节出错,才可以认为定界出错,所以实际的信元定界过程如图 9.14 所示。

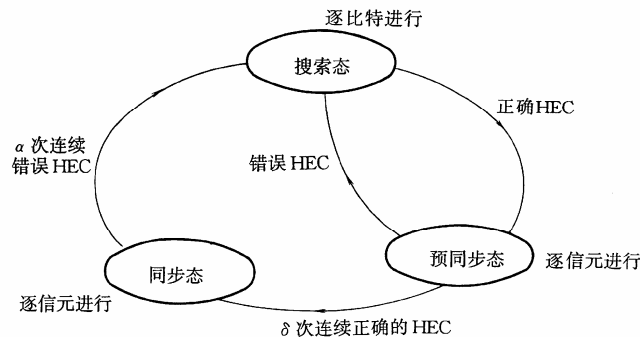


图 9.14 信元定界过程

接收器开始工作时处于搜索状态,按图 9.14 检测信元边界,当发现一个正确的 HEC 字节,即初步找到了一个信元的边界后,系统进入预同步状态。在预同步状态下,如果发现  $\delta$  次连续正确的 HEC 字节,则系统进入同步状态;如果发现一个错误的 HEC 字节,则返回搜索状态。在同步状态下,如果连续发生  $\alpha$  次 HEC 字节错误,则认为丢失了信元的边界,返回搜索状态。其中参数  $\delta$  决定了算法防伪定界的能力,  $\delta$  越大,越能准确得到比特流中信元定界,但会使系统同步速度显得慢。  $\alpha$  值决定防伪失界的能力,  $\alpha$  越大,越可以避免由于 HEC 字节本身出错而导致认为信元定界出错,但  $\alpha$  越大表示系统对失步的反应越迟钝。ITU-T 针对不同的传输系统定义了不同的  $\alpha$  和  $\delta$  值。对 SDH 系统规定  $\alpha=7$ ,  $\delta=6$ 。对直接信元传

输系统  $\alpha=7$ ,  $\delta=8$ 。如对比特差错率为  $10^{-4}$ , 速率为 155.520Mbit/s 的传输系统,  $\alpha=7$ , 则系统可能失步的次数一年之内少于 1 次;  $\delta=6$ , 系统经过 10 个信元时间 (28  $\mu$ s) 就可以恢复同步状态。

(4) 信元速率解耦

一般情况下, 物理传输路径上的传输速率是一定的, 但在 B-ISDN/ATM 网络中, 有时发送方信息生成的速率会低于物理线路上的传输速率, 即不匹配。为了适应物理线路上信元流的传输速率, 在发送方要插入空闲信元, 在接收方再把这些空闲信元丢弃。这种信元的插入和丢弃称为信元速率解耦, 它使 ATM 网络在发送和传输速率上具有极大的灵活性。

(5) 扰码

为了增强用 HEC 字节对信元进行定界算法的安全性, 同时使信元的信息字段假冒信头的概率减至最小, 需要通过扰码增强信元流负载字段中数据的随机性。在 ITU-T 的建议中, 对基于 SDH 方式的物理层, 采用  $(X^{43}+1)$  的自同步扰码, 但仅对信息字段扰码。对基于信元的物理层采用分布样值扰码, 它是通过将一个伪随机序列 (多项式为  $X^{31}+X^{28}+1$ ) 模 2 加到信元 (包括信头) 上来实现的。此时依靠 HEC 字节中的前两个比特传递的样值信息来实现发送端与接收端伪随机序列的相位同步, 这样 HEC 字节中只有 6bit 可用于信元定界, 如果要达到自同步扰码方式中相同的抗伪定界能力, 需取  $\delta=8$ , 即以加大捕捉时间为代价。

9.2.3 ATM 层协议

ATM 层是 ATM 协议模型的核心, 它提供的基本服务是完成 ATM 网上用户和设备之间的信息传输。所以它的主要任务是处理信元, 包括对信元流的汇聚及分离, 以及交换节点的路由和信元头的修改等。

1. ATM 信元结构

在 ATM 网络中传送的信元有 ATM 层信元和物理层信元, 它们可以分为空闲信元、有效信元、无效信元、分配信元、未分配信元等几类。空闲信元用以适配传输系统可以提供的有效传输速率和物理层向 ATM 层提供的信元速率之间的差别。即在发送端物理层插入空闲信元, 在接收端物理层删除空闲信元。空闲信元只在物理层处理, 不传送到 ATM 层。有效信元指信元头部经过信头差错控制后能保证正确的信元。无效信元是信头发生错误, 无法通过信头差错控制纠正的信元, 这些信元在物理层直接丢弃。分配信元指通过 ATM 层向上层提供服务的信元, 它承载有用的通信过程的信息, 如用户信息、信令控制和管理信息。未分配信元为非分配的 ATM 信元, 表示该信元没有承载信息, 所占据的信道带宽未曾使用。为了区分 ATM 层信元和物理层信元, 并确认未分配信元和空闲信元, ITU-T 对用户网络接口采用预分配方式来说明不同种类信元的格式, 如表 9.7 所示。信元和信头的结构如图 9.15 所示, 下面介绍 ATM 信元中各域的意义及它们在 ATM 网络中的作用。

表 9.7 UNI 接口处预分配信元头格式

| 类型      | 第 1 字节   | 第 2 字节   | 第 3 字节   | 第 4 字节   | 第 5 字节   |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 物理层专用信元 | pppp0000 | 00000000 | 00000000 | 0000ppp1 | HEC 有效码子 |
| 未分配信元   | gggg0000 | 00000000 | 00000000 | 0000xxx0 | HEC 有效码子 |

|              |          |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 元信令          | ggggyyyy | yyyy0000 | 00000000 | 00010a00 | HEC 有效码子 |
| 通用广播信令       | ggggyyyy | yyyy0000 | 00000000 | 00100aa0 | HEC 有效码子 |
| 点对点信令        | ggggyyyy | yyyy0000 | 00000000 | 01010aa0 | HEC 有效码子 |
| F4 段 OAM 流   | ggggzzzz | zzzz0000 | 00000000 | 00110a0a | HEC 有效码子 |
| F4 端到端 OAM 流 | ggggzzzz | zzzz0000 | 00000000 | 01000a0a | HEC 有效码子 |
| 资源管理         | ggggzzzz | zzzzvvvv | vvvvvvvv | vvvv110a | HEC 有效码子 |
| 保留为将来用       | ggggzzzz | zzzzvvvv | vvvvvvvv | vvvv111a | HEC 有效码子 |

备注：

VCI 值为 8~15 保留为将来用。

·a：表示比特位可以被 ATM 层使用；

·g：表示比特位由 GFC 域使用；

·p：表示比特位是物理层专用；

·v：可以取不为 0 的任何 VCI 值；

·x：表示该位不予考虑；

·y：任意 VPI 值。当 VPI=0 时，表示该虚电路径中的 VC 是用于用户和本地小交换机计交换信令消息；

·z：任意 VPI 值。

(1) GFC（一般流量控制）

GFC 占 4bit，是 UNI 信头中第一字节的高 4 位。GFC 域未使用时，缺省值为全 0。GFC 机制帮助控制 ATM 连接流量，对消除网络中常见的短期过载现象十分有效，具体的 GFC 功能在 ITU-T I.150 建议中规定。

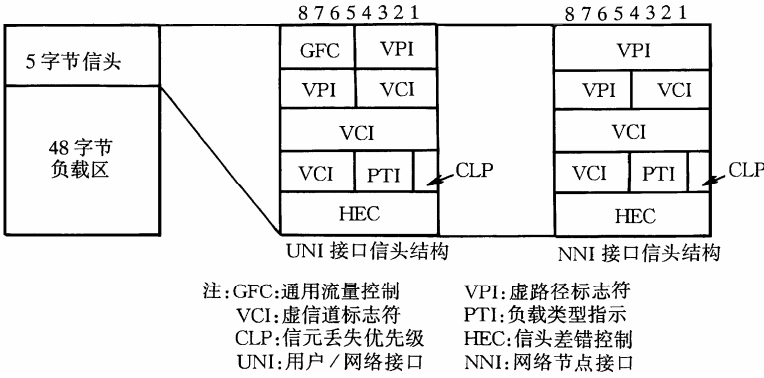


图 9.15 ATM 信元结构

GFC 机制支持一点和点—多点两种配置。在 B-NT2 以星型方式连接终端的配置中，GFC 可以用于减少每台终端的信元流。GFC 域与信头中其它域不存在关系，所以没有单独控制 VPC、VCC 和连到通常介质上的终端设备的功能。在 B-NT2 以总线方式连接终端的配置中，GFC 可控制介质访问，类似于 MAC 子层的功能。

目前标准的 GFC 过程尚未确定，只是提出了基于分布队列双总线算法和基于 Orell 环循环算法。它们都是将终端接入作为排队过程来处理的。对 GFC 协议的选择标准是：

- ① GFC 协议要能确保各终端按所分配的网络带宽来传输信息。这里的终端包括恒定比特率业务和变比特率业务。
- ② GFC 协议要能保证网络中空闲的信道容量对所有的变比特率（VBR）业务公平分配。



带宽的公平分配原则，一个是按剩余带宽的平均分配量分配，另一个是按 VBR 业务本身占有的带宽的百分比分配。

③ GFC 协议应支持不同延迟的信息传输及延迟请求。一般通过给信元赋予不同的优先级可以解决。

④ GFC 协议可以支持不同业务类型的叠加，不同的终端数目和终端之间有不同的距离间隔。

⑤ GFC 协议对于出现信元丢失、出错和误插入情况，必须具有较强的鲁棒性。

(2) VPI/VCI (虚通路/虚信道标识)

在 ATM 网络中，由于信元头中只有 5 字节，不可能把全部地址信息放入信元头中，所以采用以标识符 (VPI/VCI) 代替具体地址的方法。因此 ATM 网络又叫标号路由网络。

① 虚通路标识 (VPI)

在 B-ISDN 的 UNI 信元 (在用户网络接口 UNI 上传送的信元) 中，VPI 域占 8bit，位于信头中第一字节的低 4 位以及第二字节的高 4 位，可以标识 256 条虚通路。在 NNI 信元 (在网络节点接口上传送的信元) 中，VPI 覆盖了 GFC 域，占 12bit，位于信头中第一字节和第二字节的高 4 位，可以标识 4096 条虚通路。

ATM 论坛规范规定，VPI 域从第二字节的第 5 位开始连续分配，未分配的 VPI 域全为 0。VPI 域可使用预定义值，用于特殊目的。未预定义值为全 0，其中 VPI=0 为保留值，用户不可使用。虚通路中所有虚信道标识 VCI=0 的信道均为网管功能预留。

② VCI (虚信道标识符)

B-ISDN 的 UNI 和 NNI 信元中，VCI 域都为 16 位，占第二字节的低 4 位、第三字节及第四字节的高 4 位。VCI 域用于标识 ATM 虚信道，最多可标识 65536 条虚信道。VCI 和 VPI 结合，可在 UNI 信元中标识 16177216 条连接，在 NNI 信元中可标识 268435456 条连接。

VCI 域也可以使用预定义值，未定义值为 0。ATM 论坛规范规定 VCI 值从第四字节第 5 位开始连续分配，未分配值为 0。VCI=0~15 用于 ATM 管理功能，VCI=16 留作过渡本地管理接口。同时又把 VCI=17~31 预留给其它一些功能，其余的 VCI 值用户才可使用。因为每一个连接与 VPI 和 VCI 相关，所以用户可以使用的第一个连接是 VPI=1，VCI=32。

(3) PTI (负载类型指示)

PTI 占 3bit，位于信头第四字节的第 2 位到第 4 位，用于指明同一虚信道上信元负载的信息是用户信息还是网络控制信息。对于用户信息信元，ATM 层一般先将信头剥离，再上交给 ATM 适配层 (AAL)。对于网络控制信息信元，将启动相应的管理功能进行处理。

PTI 的第 1 位用于指明信元负载的信息是用户信息或网络控制信息。如果是用户信息，第 2 位为阻塞指示，表示信元在传输的过程中是否经历过阻塞，第 3 位为 ATM 用户到用户指示 (AUU)，指明 ATM 的用户之间交换的信息，具体应用在 AAL 协议中介绍。如果是网络控制信息，后两位表示传输数据的类型。具体定义如表 9.8 所示。

表 9.8 ATM 信元头部 PTI 值的含义

| PTI 值 | 第 1 位<br>(信息类型) | 第 2 位<br>(阻塞指示) | 第 3 位<br>(AUU 指示) | 含 义                       |
|-------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------------|
| 000   | 0：用户数据          | 0：未经阻塞          | 0：0 类型            | 用户数据、未经阻塞、ATM 用户指示数据类型为 0 |
| 001   | 0：用户数据          | 0：未经阻塞          | 1：1 类型            | 用户数据、未经阻塞、ATM 用户指示        |

|     |        |              |        | 数据类型为 1                   |
|-----|--------|--------------|--------|---------------------------|
| 010 | 0：用户数据 | 1：经过阻塞       | 0：0 类型 | 用户数据、经过阻塞、ATM 用户指示数据类型为 0 |
| 011 | 0：用户数据 | 1：经过阻塞       | 1：1 类型 | 用户数据、经过阻塞、ATM 用户指示数据类型为 1 |
| 100 | 1：网络数据 | 00：端（节点之间）维护 |        | OAMF5 和段有关信元              |
| 101 | 1：网络数据 | 01：端到端维护     |        | OAMF5 端到端有关信元             |
| 110 | 1：网络数据 | 10：网络资源管理    |        | 用于资源管理                    |
| 111 | 1：网络数据 | 11：保留将来用     |        | 用于将来开发功能                  |

从表中可以看出，用户信元有 0 类信元和 1 类信元。源 AAL 信元使用这二种信元来通知目的 AAL 该信息段的接收是否结束。源 AAL 把信息传给 ATM 层时，将截止用户信元的 PTI 域置为 1 类信元，其它的为 0 类信元。目的 ATM 层收到信元后可知是否末尾信元，在上交用户信息的同时告诉 AAL。PTI 域不存在指示信息段开始的标志，但如果信息一段接一段地发送，可以认为在一个 PTI 指示为 1 类信元后面所跟的一个 PTI 指示为 0 类的信元就是另一信息段的起始信元。

(4) CLP（信元丢失优先级）

CLP 只有一位。位于信头第四字节的最低位。指示在网络发生拥塞时该信元被丢弃的优先级。高优先级信元 CLP=0，低优先级信元 CLP=1，对高优先级信元，网络应分配足够的资源来保证其可靠地按时到达。对低优先级信元，则发生拥塞时容易被丢弃。一般来讲，具有恒定速率的信元应赋予高优先级，对一些在一段短时间内有较高峰值速率的变比特率服务，在这段时间内，信元也应赋予高优先级。对于专用的信令连接，CLP 在其中不起作用，因为这些连接对所有信元同等对待。

(5) HEC（信头差错控制）

HEC 域为 8bit，占信头的第五个字节。采用 8 位循环冗余编码方式，只检测信头错误，而不检测 48 字节的负载域。具体的应用在物理层功能中已作了介绍。

2. ATM 层功能

ATM 信元的信头结构体现了 ATM 层的功能，在信元信头结构中进行了部分介绍，现补充如下：

(1) VPI/VCI 转换

一个具体的 VPI/VCI 只是表示相邻网络节点（ATM 交换机）之间信元的传输路径。一个终端设备到另一个终端设备之间信元的传输路径，可能是由多个可能不同的 VPI/VCI 所表示的传输信道通过网络节点连接起来的。所以信元在通过网络节点时，VPI/VCI 可能要发生变化，即网络节点要将输入信元信头中的 VPI/VCI 转换成相应输出信元的 VPI/VCI。这样可以实现信元的复用和解复用，即可以将多个虚通道（VP）或虚信道（VC）的信元合成一条信元流输出到相同的 VP 上。也可以将一条信元流分解成多条 VP 或 VC 上的信元。

(2) 信头的生成/删除

ATM 层将从高层（AAL）接收的信息作为负载封装在 ATM 层信元内，并根据 AAL 提供的信息加上相应的信头而形成信元。然后把信元交给物理层传送。另外因 ATM 层只是将信元中的负载信息往上传（AAL）传送，所以 ATM 层在从物理层收到上传的信元后，必须在上传之前将信元的信头删除。信头中的信息由 ATM 层进行处理。

(3) 信元的识别和丢弃

根据信元信头中的负载类型指示 (PTI)，在传送信令和 OAM 信息时，区分控制面的信元和含有用户信息的用户面的信元。同时根据丢失优先级指示 (CLP) 来识别高优先级信元和低优先级信元，在下列情况下丢弃信元：

- ① 具有无效的信头差错控制域的信元。
  - ② 到达一条还未建好的链路的信元。如信元经过交换机后经路由表匹配而获得 VPI=2、VCI=2039 的连接，但该设备并不存在 VPI=2、VCI=2039 的连接，说明该传送信元的链路尚未建好。
  - ③ VPI、VCI 值超出设备可提供 VPI、VCI 值范围的信元。
  - ④ 占用了系统 VPI、VCI 预留值的信元。
  - ⑤ 链路发生拥塞时到达的信元。
  - ⑥ 违反流量协议的信元。
- (4) 网络的流量控制和拥塞控制

流量控制就是使用户网络接口上流入网络的比特流（信元流）速率要符合通信建立前用户和网络协商的速率，拥塞控制就是当流向某一条链路的信元流量超过该链路本身的容量时，网络必须采取措施，使流入该条链路的信元流量在该链路本身的容量范围内。这一部分内容在后面将作更进一步的介绍。

9.2.4 ATM 适配层 (AAL) 协议

ATM 适配层的作用是通过增强 ATM 层的基本能力，来为具有不同业务要求的用户提供特定的服务，支持 B-ISDN 参考模型中用户面中相应的用户业务功能和控制面、管理面中的控制管理功能，并实现高层数据与 ATM 信元的相互映射。

1. AAL 的结构、功能、业务类别及协议类型

(1) AAL 的结构

如图 9.16 所示，AAL 分为分段与重装 (SAR) 子层（也称拆装）和汇聚子层 (CS)。汇聚子层又分为特定业务汇聚子层 (SSCS) 和公共部分汇聚子层 (CPCS)。对信令适配层 (S-AAL)，SSCS 又分为特定业务协调功能 (SSCF) 和特定业务面向连接协议 (SSCOP) 两部分。



图 9.16 AAL 结构

(2) AAL 的功能

AAL 的主要功能是将来自高层的协议数据单元 (PDU) 先映射为 AAL 的服务数据单元 (SDU)，最后映射成 48 字节的信元负载，以达到为不同要求的用户提供特定的服务，保证 ATM 层与业务类型无关。同时要将从 ATM 层上传的信元负载进行相反的操作，映射成高层的协议数据单元。如图 9.17 所示，CS 子层对来自用户面的高层信息单元作好分割前的准备，使接收方 CS 子层能将这分组再还原成原始高层信息，即将控制信息作为标头和后缀或只是后缀添加在用户信息上。控制信息由 AAL 服务类型确定，它是 ATM 信元负载的一部分。

CPCS 检查信元的丢失和错插,提供误码的保护。SSCS 对不同业务提供不同功能,如时延处理。SAR 子层将来自 CS 子层的 CS-PDU (CS 子层协议数据单元) 分割为 ATM 信元的负载,或将 ATM 信元的负载重装为 CS-PDU。分段重装时要维持 SAR-PDU 的传输顺序,提供误码检查与保护功能。

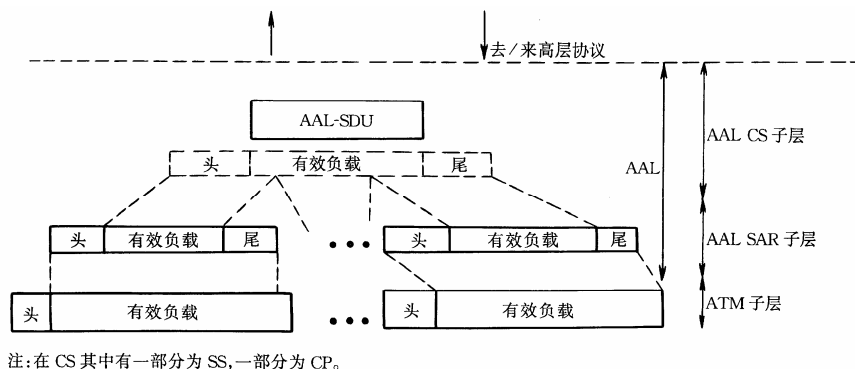


图 9.17 AAL 一般功能

另外, AAL 主要还提供如下服务:

- ① 处理信元丢失、误传,向高层用户提供透明的顺序传输。
- ② 处理信元延迟变化,使连续发送的信元在网络中延迟尽量保持一致,即使延迟的波动达到最小。
- ③ 差错处理。ATM 层只对信头进行纠错,由 AAL 对信元负载进行差错控制。
- ④ 在接收端恢复源端定时信息,保证信息以源端的比特率向高层递交。
- ⑤ 层管理实体功能,启动和控制对 ATM 的连接请求,协调递交给 ATM 层的用户数据和控制信息。

### (3) AAL 的业务类别和协议类型

根据比特传输速率(恒定、可变)、信源和信宿之间定时关系(实时、非实时)和连接方式(面向连接、面向非连接)三个业务特征参数,每个参数有两种选择,可以形成 8 类业务。但实际上某些组合是不可能实现的业务,如速率恒定的、实时的、面向非连接的业务就是不可能的。ITU-T 定义了 A、B、C、D 四类业务。

A 类业务:具有恒定的比特率,面向连接的实时信息传递业务。主要用于电路仿真。

B 类业务:具有可变的比特率,面向连接的实时信息传送业务。主要用于可变比特率的语音和视频传输。

C 类业务:具有可变的比特率,面向连接的非实时信息传送业务。主要用于面向连接的数据传输。

D 类业务:具有可变的比特率,面向非连接的非实时信息传送业务。主要用于面向非连接的数据传输。

ATM 论坛又提出 X 类和 Y 类业务。X 类业务为未指定比特率(UBR)业务,Y 类业务为可用比特率(ABR)业务。它们都是比特率可变,面向连接的非实时信息传送业务的一部分。

为了支持以上各类业务,ITU-T 提出了 4 种 AAL 协议类型:AAL1,AAL2,AAL3,AAL4,

分别支持 A、B、C、D 四类业务。而 ATM 论坛定义了 6 种 AAL 协议类型，分别记为 AAL0~5，其中 AAL0 表示 AAL 为空，主要用于信元中继业务，表示信元中继应用与 ATM 层的信息表示形式之间无须任何适配。AAL5 又称 SEAL (Simple and Efficient Adaptive Layer)，主要用于 ATM 网上帧中继业务或 TCP/IP 数据报传输，以及其它面向连接的数据传输业务。

由于 AAL3 用于帧中继、TCP/IP 等面向连接的数据传输，AAL4 用于支持 CLNS（无连接业务）、SMDS（交换多兆比数据业务）等无连接的数据传输，二者唯一的不同体现在对一个特定域的使用上，所以一般将 AAL3、AAL4 融合成一个综合协议类型 AAL3/4。而 AAL3/4 开销很大，AAL5 简单高效，使 AAL3/4 更少用于 C 类业务。

2. AAL1

AAL1 支持 A 类业务，因为 AAL1 从高层接收或向高层传送具有均匀比特流的 SDU。

(1) AAL1 的功能

- ① 用户信息的分段和重装。
- ② 信元时延抖动的处理。
- ③ 信元负载重装时延的处理。
- ④ 丢失信元和误插信元的处理。
- ⑤ 接收端对信源时钟频率的恢复。
- ⑥ 接收端对信源数据帧的恢复。
- ⑦ 监控 AAL-PCI（协议控制信息）的误码并进行误码处理。
- ⑧ 监控用户信息域的误码和对误码的纠错。

这些功能是由 AAL1 的 SAR 子层和 CS 子层来实现的。

(2) AAL1 的 SAR 子层

发送时，SAR 子层从 CS 子层接收 CS-PDU，然后在 CS-PDU 上加上一些控制信息（SAR-PDU 头），构成 SAR-PDU，再将 48 字节的 SAR-PDU 下传给 ATM 层。接收时，SAR 子层接收上传的 ATM 层信元的有效负载（净荷），并进行处理，构成 SAR-SDU，作为 CS-PDU 送到 CS 子层。所以 SAR 子层的主要功能是对顺序传送的数据块增加一个序号字段（SAR-PDU 头），也叫 SAR-PCI（协议控制信息）。

SAR-PDU 的格式如图 9.18 所示，它的净荷为 47 字节，SAR-PDU 头为 1 字节。1 字节 SAR-PDU 头中，4bit 序列编号（SN）分成 1bit CS 指示（CI）和 3bit 序列计数（SC）。CI 用于传输 CS 子层之间的信息，SC 对传输数据单元进行模 8 编号，防止出现数据单元的丢失、重复以及其它信息误插入。另外 4bit 为序列编号保护（SNP），分为 3bit 循环冗余校验（CRC）和 1bit 保护位 P。CRC 的生成多项式为  $x^3+x+1$ ，具有“纠 1 检多”效果，保护位 P 用于对前面 7bit 进行偶校验编码。

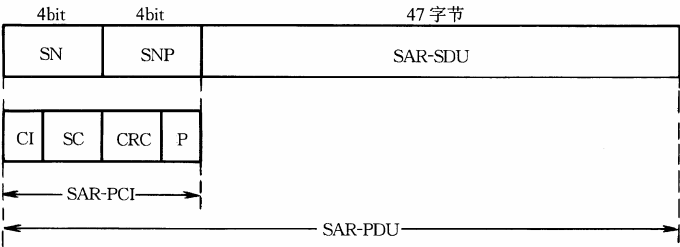


图 9.18 AAL1 SAR-PDU 格式

### (3) 会聚子层 (CS)

CS 子层包括信元延时抖动处理、信元丢失和误插入处理、传送时钟信息和结构信息以及进行纠错处理。

① 信元延时抖动处理：采用缓冲区的方法，当缓冲区溢出时，丢弃多余比特，当缓冲区不满时，在信息流中插入一个特定的比特组成的信元。

② 丢失和误插入信元处理：发送时，CS 子层在向 SAR 子层提供 SAR-SDU 的同时提供一个模 8 的序号。接收时，CS 子层根据 SAR 子层提供的序号，判断是否发生了 SAR-PDU 的丢失和误插入，从而采取相应的处理措施。如丢弃误插入数据单元，用一个特定比特模式组成的单元代替错误数据单元等。

③ 定时信息的传送：AAL1 规定了两种方法实现业务时钟的同步。一种叫做同步残留时间标志 (SRTS) 法。在这种方法中发送端将应用业务时钟和网络标准时钟比值的偏差值 (即残留时间标志) 通过 CI 域传送到接收端，残留时间标志用 4bit 传送，由于 CI 为 1bit，故需要 4 个 SAR-PDU 的 CI 域来传送残留时间标志信息。因为 CI 域还要用于传送结构信息，SAR-PDU 又是以模 8 编码的，所以 AAL1 中规定使用 8 个 SAR-PDU (0~7) 中的奇数号的 SAR-PDU 的 CI 域传送残留时间标志信息。这种定时信息的传送方式必须收发双方都具有非常精确的网络标准时钟。

另一种方法为自适应时钟法，实现方法是在接收端设置一个缓存区，存放收到的数据，以发送方业务时钟写入，接收方业务时钟读出。根据缓冲区中数据的多少，便可以间接地知道接收方时钟和发送方时钟的偏差，并以此调整接收方时钟，使之与发送方时钟同步。

### ④ 结构信息的传送 (SDT)

在 AAL1 中，可以传送具有某种结构的数据流的结构信息，如 8kHz 的帧结构业务。结构信息的传送是通过将 SAR-PDU 的负载区分为两种格式，一种 47 字节负载区为 47 字节的 AAL 用户信息，另一种 47 字节负载区只有 46 字节的 AAL 用户信息，另外 1 字节作为指针域传送结构信息。这两种格式分别称为非 P 格式和 P 格式。P 格式中指针用于指示用户信息结构的起始位置，8bit 特指针域的第 1bit 保留，其它 7bit 用于存放位置信息。同时用 CI 指明 SAR-PDU 是 P 格式 (CI=1) 还是非 P 格式 (CI=0)。为了防止和时钟信息传送发生矛盾，AAL1 规定只允许偶数编号数据块传送结构信息。7bit 的位置信息可以指示两个 SAR-PDU 中的任何一个字节。

⑤ 前向纠错编码 (FEC)：因在实时通信过程中无法采用时延较大的自动请求重发来保证信息的正确传送，AAL1 中规定可以采用 Reed-Solomon 编码方法保证高质量的音频和视频信息可靠传送。具体是将 124 个 CS-PDU 排成  $124 \times 47$  字节矩阵，对每行 124 字节信息添加 4 字节的 FEC 编码，形成  $128 \times 47$  字节矩阵，作为 128 个信元发送。这种编码方法记为 RS (128, 124)，可以纠正两个错误字节或恢复 4 个已知位置的丢失字节。也可采用 RS (94, 88) 来减小编码引起的时延。

### 3. AAL2

AAL2 用于支持 B 类业务，由于 B 类业务的特点，AAL2 的标准化进程比较慢，目前还没有非常完善的 AAL2 标准。AAL2 主要用于适配低比特率和短分组的实时业务。为了满足对时延敏感的低速、可变长度的短分组应用的需要，ITU-T 定义了新型 AAL2——组合信元技术。所谓组合信元技术就是对业务流分组，然后将不同业务流的分组适配到一个 ATM 信元中。使得一个 ATM 连接可以支持多个 AAL2 的用户信息流，即用户信息流在 AAL 上复用，

多个 AAL2 连接只需一个 ATM 连接。这样可以减少时延并节省 VPI 和 VCI 资源。

(1) AAL2 的结构

如图 9.19 所示，AAL2 分为公共部分子层（CPS）和业务特定汇聚子层（SSCS）。CPS

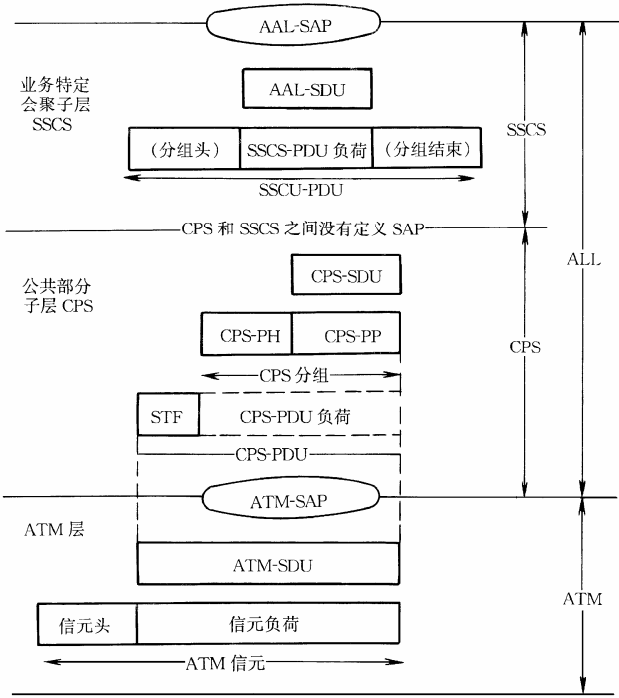


图 9.19 AAL2 的结构

相当于分组重装（SAR）子层，SSCS 相当于会聚子层（CS）。SSCS 执行消息识别、处理信元时延变化和處理信元净荷组装时延等功能。一般可以定义不同的 SSCS 协议来支持不同的 AAL2 业务。并且在具体应用时，可以没有 SSCS，由 CPS 来实现其功能。

CPS 从 SSCS 接收 1-45/64 字节的数据块，然后在每个数据块前加上 3 个字节的 CPS-PH（CPS 分组头）组成 CPS-分组，再在每个 CPS-分组前面加上一个字节的 STF（开始域），组成 CPS-PDU。在接收端 CPS 子层从 ATM 层得到 48 字节数据块，然后将 STF 和 CPS-PH 分开，重装成不定长度（1~45/64 字节）的 CPS-PP（CPS-分组净荷）净荷块送到 SSCS。

(2) AAL2 的公共部分子层（CPS）

① CPS 的数据格式和编码

对 CPS-分组，它包含 3 个字节的 CPS-PH 和 CPS-PP，其格式如图 9.20 所示。

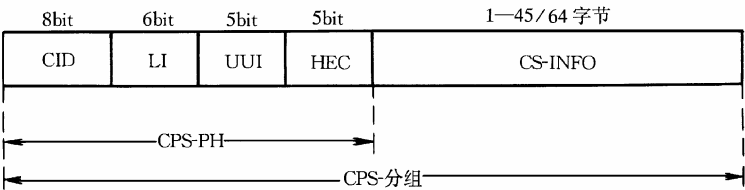


图 9.20 AAL2 CPS 分组结构

CPS-PH 含 4 个域：

信道标识 (CID) 用于标识 AAL2 信道。CID 长度为 8 个 bit，可取值 0~255，其中 CID=0 不用，CID=1 用于 AAL2 协商过程，CID=2~7 保留，8~255 可以被 SSCS 使用。AAL2 通信信道是双向信道，两个方向的 CID 值相同。

长度指示 (LI) 用于标识 CPS-分组净荷的长度。LI 长度为 6bit，可取值 0~63，CPS-分组净荷的长度为 LI+1，所以 CPS-PP (CPS-INFO) 长度为 1~64 字节。一般默认的最大长度为 45 字节。

用户间指示 (UUI)，用以在 CPS 层透明传送 CPS 用户之间的控制信息，并可区分不同类型的 CPS 用户 (特定业务汇聚子层 SSCS 或层管理 LM)。UUI 长度为 5bit，可取值 0~31，其中 0~27 用于 SSCS 实体间通信，30、31 用于 LM 实体间通信，28、29 保留。

CPS-分组头部差错控制 (HEC)。HEC 的作用是对 CPS-PH 中的 CID、LI、UUI 域共 19bit 进行纠错和检错。HEC 长度为 5bit，采用 CRC 校验序列，HEC 的生成多项式为  $x^5+x^2+1$ 。CPS-PH 的前 19bit 的形成多项式乘以  $x^5$ ，再除生成多项式所得到的余数即 HEC。

② CPS-PDU 的格式和编码

CPS-PDU 包含 1 个字节的开始域(STF)和 47 字节负荷，即 CPS-PDU 为 48 字节，如图 9.21 所示。由于 CPS-分组为 4~67 字节，所以一个 CPS-PDU 中有可能放不下一个 CPS-分组，即一个 CPS-分组可能会被装载在两个 CPS-PDU 负载区中，也有可能放多个 CPS-分组或放不满，CPS-PDU 中未被使用的部分用填充字节 PAD 填充。这样要由 STF 字节来指示 CPS-分组在 CPS-PDU 中的状态或 CPS-PDU 中负载区的使用状态。STF 有三个域，其中：

a. 偏移量 (OSF) 长度为 6bit，指示存放 STF 结束位置到 CPS 分组头之间的距离。如果不存在 CPS 分组头，则指示 STF 结束位置到 PAD (填充) 开始的距离。由于 CPS-PDU 负载长度等于 47 字节，所以 OSF 的取值不能大于 47。当 OSF=47 时，表示在 CPS-PDU 负载区中没有信息装载。

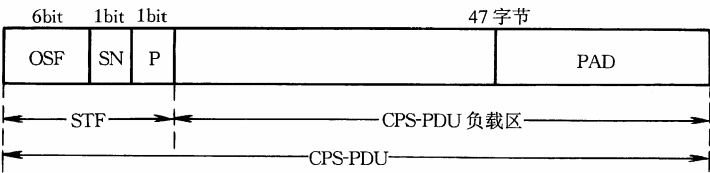


图 9.21 AAL2 CPS-PDU 的格式

b. 序列号 (SN) 表示 CPS-PDU 的个数 (模 2)，1bit。

c. 奇偶位 (P)，1bit，对 STF 进行奇校验。

(3) 特定业务汇聚子层 (SSCS)

SSCS 是为传送窄带业务 (如话音，3.1kHz 音频，电路模式数据及帧模式数据) 而设计的。它的主要功能是对不同的业务流进行分组后适配到 AAL2 的连接上，即将分组长短不一、业务种类不同的业务流在发送端适配成 CPS 可以接受的格式，并保证在收端能还原成原来的业务。

SSCS 的规范有两个建议草案。I.366.1 (AAL2 装拆特定业务会聚子层) 和 I.Trunk (用于中继的 AAL2 SSCS)。目前 I.366.1 已在 1998 年 5 月通过，I.Trunk 还是讨论稿。下面简要介绍 I.366.1 建议的 AAL2 SSCS。



I.366.1 建议的 AAL2 SSCS 分为特定业务装拆子层 (SSAR)、特定业务传输差错检测子层 (SSTED) 和特定业务确保的数据传输子层 (SSADT)。在该子层所提供的业务中, 装拆功能 (即分段与重装功能) 是必须的, 而传输差错检测机制是可选的, 确保的数据传输机制也是可选的。当检测到错误, 装拆后的服务数据单元 (SDU) 不会传给用户。具有传输差错检测机制的用户也可以是有确保的数据传输机制的用户。

① 特定业务装拆子层 (SSAR)

SSAR 的功能是把从 SSSAR 用户发送者的 SSSAR-SDU 分段成数个 SSSAR-PDU, 即 CPS-SDU, 并将其发送给 AAL 的 CPS。在 SSSAR 接收侧, 把 SSSAR-PDU 重装成 SSSAR-SDU, 再传给用户。

SSAR-SDU 进入 SSSAR 子层, SSSAR 可能检测出也可能检测不出 SSSAR-SDU 的错误。若检测出错误, 将 SDU 全部丢弃; 若检测不出, 则可能将错误的数

② 特定业务传输差错检测子层 (SSTED)

SSTED 功能是在 CPS 上将 SSTED-SDU 从一个 SSTED 用户传送到另一个 SSTED 用户, 在该子层上, SSTED-SDU 可能出错、丢失。出错的数据能检测出来, 不传给用户, 但出错或丢失的数据不会被更正后重传。

③ 特定业务确保的数据传输子层 (SSADT)

在 SSADT 子层, 通过序列机制不仅能检测出差错的、丢失的 SSADT-SDU, 而且能通过选择重来更正数据。另外还有流量控制机制, 能使 SSADT 接收方控制对等的发送方发送的信息速率, 以防拥塞。

4. AAL3/4

(1) AAL3/4 的结构

AAL3/4 用于支持 C 类与 D 类业务, 即可变比特率业务, 并且不要求维持源与目的地间定时关系的业务。

AAL3/4 是 ITU-T 提出的用于数据传送的 ATM 适配层协议, 数据传输的特点是要求具有较高的可靠性。和 AAL1、AAL2 相类似, AAL3/4 协议层分为会聚子层 (CS) 和拆装 (SAR) 子层, CS 子层又分为特定业务会聚子层 (SSCS) 和公共部分汇聚子层 (CPCS)。如图 9.22 所示, AAL3/4 也可以看成由服务特定部分 (SSP) 和公共部分 (CP) 组成。

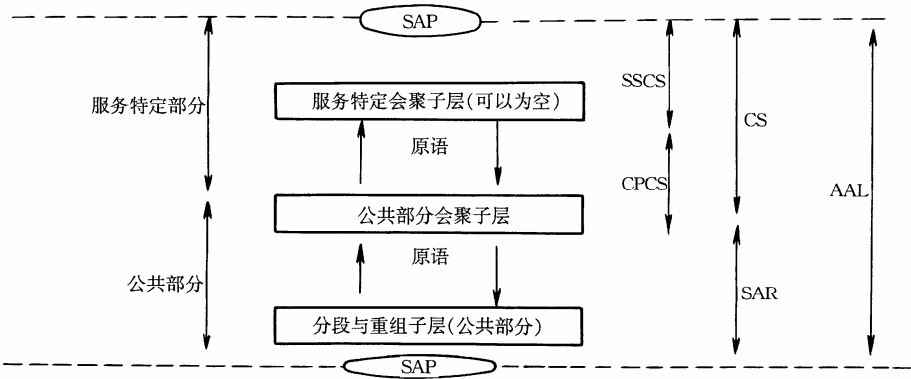


图 9.22 AAL3/4 结构

SSP 向用户提供附加功能, 不同的特定业务汇聚子层支持不同的 AAL 用户业务。SSCS

是可选的，如果为空，SSCS 只是完成 AAL 的公共部分汇聚子层与高层之间的原语映射。公共部分包括 CPCS 和 SAR 子层,实现面向字节的可变长信息帧的顺序透明传输,CPCS 和 SAR 子层共同负责把收到的协议帧变为一系列的信元有效负载。

AAL3/4 提供 AAL 用户之间 AAL-SDU 的传输时，工作模式有两种。一种为消息 (Messaging) 工作模式，在这种工作模式下是将一个 AAL-SDU 分成一个或多个的 CS-PDU，每一个 CS-PDU 再分成多个 SAR-PDU 进行传送。另一种工作模式为流 (Streaming) 工作模式，它是将一个或多个定长的 AAL-SDU 合并放置在一个 CS-PDU 中，然后通过 SAR 层分割成适合 ATM 信元传送的 SAR-PDU 格式。两种工作模式又都提供了两种对等的操作过程，分别为确保操作 (Assured Operation) 和非确保操作(Non-Assured Operation)。前一种操作要重传丢失或损坏的 AAL-SDU，而后一种操作不保证重传和纠正丢失或损坏的 AAL-SDU。

(2) SAR 子层

SAR 子层向 ATM 层发送数据单元时，完成不固定长度的 CS-PDU 转换为固定长度的 SAR-PDU。SAR 子层从 ATM 层接收数据单元时执行相反的操作，并可以在对等的 SAR 实体间利用 ATM 层的连接，同时并发地传送多个用户的 SAR-PDU。SAR 子层具有复用/解复用、错误校验和 CS-PDU 拆装等功能。SAR-PDU 的格式如图 9.23 所示。

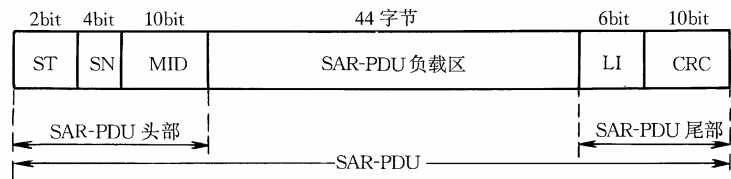


图 9.23 AAL3/4 SAR-PDU 格式

① ST 为段类型，占 2bit，表示 SAR-PDU 的不同数据类型。AAL3/4 规定了 4 种不同的数据类型：

ST=10，消息开始 (BOM)，表示后面 SAR-PDU 负载区中承载的是一个 SAR-SDU 的第一段；

ST=00，消息继续 (COM)，表示后面 SAR-PDU 负载区中承载的是一个 SAR-SDU 的中间部分；

ST=01，消息结束 (EOM)，表示后面 SAR-PDU 负载区中承载的是一个 SAR-SDU 的结束段；

ST=11，单段消息 (SSM)，表示后面 SAR-PDU 负载区中承载的是一个完整的 SAR-SDU。

② SN 为序列编号，占 4bit，用来表示来自同一个 SAR-SDU 的各 SAR-PDU 编号，并以此发现 SAR-PDU 的丢失和误插入。注意 SAR 子层可以复用多个通信连接，所以在 SAR 子层上相继到来的两个 SAR-PDU 中的 SN 不一定是按顺序的，只有承载同一个 SAR-SDU 的各个 SAR-PDU 的 SN 域才是按顺序到达 SAR 子层。

③ MID 为复用标识符，占 10bit，用以标识不同的 SAR 子层的连接，表示一条虚信道连接 VCC 上可以复用 1024 条用户连接过程。

④ LI 为长度指示，占 6bit，指示 SAR-PDU 负载区中装载最后一个有效用户信息字节的位置。最后段和单段需要该指示标志。

⑤ CRC 为循环冗余校验序列，占 10bit，生成多项式为  $x^{10}+x^9+x^5+x^4+x+1$ ，用于校验 SAR-PDU 在传送中可能发生的错误。

(3) 公共部分汇聚子层 (CPCS)

AAL3/4 的 CS 分成 CPCS 和 SSCS 两部分。SSCS 主要用于支持 C 类业务。在消息工作模式下，SSCS 内部提供组块/解块功能（在一个 SSCS 中传递一个或多个固定长度的 AAL-SDU）和分段/重装功能（将单个可变长度的 AAL-SDU 在一个或多个 SSCS-PDU 中传送）。在流工作模式下，SSCS 内部可提供分段/重装功能，以及管道 (pipeline) 功能，即不必等收完一个 AAL-SDU 就可以开始发送。另外 SSCS 还可以提供流控和重传丢失或错误的 SSCS-PDU 功能。但目前 SSCS 的结构和编码格式还未有标准。

CPCS 提供 1~65535 字节任意长度帧的非确保传送。CPCS-PDU 格式如图 9.24 所示。

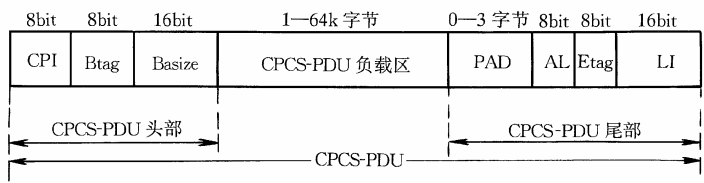


图 9.24 AAL3/4 CPCS-PDU 格式

① CPI 称公共部分指示，占 8bit，用于指示使用的 CPCS 协议，目前 CPI 只有一种取值，即 00000000；

② Btag 为开始标签，占 8bit，Btag 和 Etag（结束标签）联合使用，同一个 CPCS-PDU 取相同值，而顺序发送的 CPCS-PDU 应使用不同的 Btag 和 Etag 以确保 CPCS-PDU 的完整性。考虑到 SAR 层已经使用段类型 ST 和复用标志 MID，所以标签方式实际是冗余的；

③ Bsize 为缓冲区分配容量，占 16bit，用于指示接收方缓冲区的大小设置；

④ PAD 为填充域，占 0~3 字节，附加在 CPCS-PDU 负载区后部，使 CPCS-PDU 的长度成为 4 字节的整数倍；

⑤ AL 为长度校正，8bit，内容恒为零，用于填充 CPCS-PDU 尾部，使其长度为 4 字节，功能和填充域相类似；

⑥ LI 为长度指示，16bit，表示 CPCS-PDU 负载区长度。

从上可以看出，AAL3/4 的额外开销比较大，循环冗余校验功能并不完善，一是校验频率高，另外无法完成突发错误的校验工作，所以具有高效数据业务适配功能的 AAL5 的应用将更广泛。

5. AAL5

前面已介绍 AAL5 是 ATM 论坛针对 AAL3/4 的不足提出的一种新的 AAL 协议，它的结构和 AAL3/4 相同，是 AAL3/4 的一个子集，是一种在 CPCS 以下提供较低开销而有较好检错能力的协议。在 CPCS 以上，除不能支持复用外，AAL5 的业务和 AAL3/4 提供的业务是等同的。如果需要在 AAL 实现复用，可以由 SSCS 来完成。

(1) SAR 子层

AAL5 拆装子层 (SAR 子层) 从 CPCS 接收变长的 SDU，产生相应的 SAR-PDU。SAP-PDU 包含 48 字节的 SAR-SDU。所以在 SAR-PDU 中没有其它的开销，SAR 子层只完成分段与重装功能。那么如何识别 SAR-PDU 的开头和结尾呢？ATM 利用了 ATM 信元信头 PTI 域中的

AUU 参数，AUU 参数值为“1”，表示 SAR-SDU 的结尾，AUU 参数值为“0”，则表示一个 SAR-SDU 的开始或延续，因而省去了 AAL3/4 中的 ST 域。这样 AAL 利用了 ATM 层信头中传递的信息，使 AAL5 的存在不再完全与下层的 ATM 无关，违反了 OSI 体系结构分层标准。但由于它简单而有效，仍被 ITU-T 采纳。当然也可以认为 AAL5 对 ATM 协议参考模型进行了修改。SAR 子层另外还具有保持 SAR-SDU、处理拥塞信息、处理丢失优先级信息等功能。

(2) 汇聚子层 (CS)

AAL5 的 CS 子层也分成 CPCS 和 SSCS 两个子层，其中 SSCS 还未有规范。CPCS 完成的功能和 AAL3/4 的 CPCS 完成的功能基本一致，只是 AAL5 的 CPCS 不再向接收端同层实体发送缓冲容量指示，同时提供 32bit 的 CRC 校验，以保证数据充分正确传送。AAL5 的 CPCS-PDU 格式如图 9.25 所示，其中：

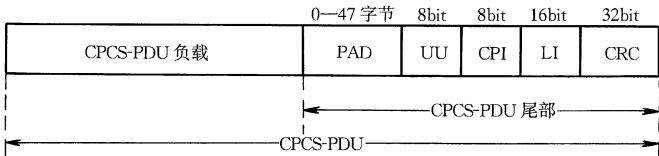


图 9.25 AAL5 CPCS-PDU 格式

- ① PAD 为填充域，0~47 字节，用于填充 CPCS-PDU，使其长度为 48 字节的整数倍；
- ② UU 为 CPCS 用户间指示，8bit，用于透明传送 CPCS 用户的信息，具体定义由 CPCS 的上层给出；
- ③ CPI 为 CPCS 公共部分指示，1 字节，目前的作用是用于填充 CPCS-PDU 的尾部，使其满 64bit，将来还可能用于承载其它信息，如层管理等。
- ④ LI 为长度指示，16bit，最多可以表示 64K 字节的数据段长度，如果 LI=0，表示 CPCS 指示对方执行放弃操作。
- ⑤ CRC 为循环冗余校验序列，32bit，用于对本身以外的整个 CPCS-PDU 内容进行校验，其生成多项式为：

$$x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$$

9.3 ATM

交换就是要在网络中的任意两个用户之间以某种方式建立起一种连接，使被连接的双方相互交换信息。目前广泛应用的交换方式有电路交换和分组交换方式。电路交换方式中的连接是一种固定的、专用的连接，能保证信息的实时传送，但电路的利用率低。分组交换方式中的连接是一种虚电路连接，它能提高电路的利用率，但难以保证信息的实时传送。由于宽带网络的业务覆盖范围非常广泛，为了保证各种业务的服务质量，要求宽带交换机在功能上能实现多速率交换、多点交换和多媒体业务的交换，并在信元丢失/信元误插入率、交换时延、连接拥塞等性能上能满足各种业务的要求。目前 ATM 交换（快速分组交换）是能满足宽带业务对交换要求的交换技术。

9.3.1 ATM 交换的基本原理

前面介绍了 VCC、VPC、VP 交换和 VC 交换的概念，ATM 交换是以信元为单位进行交换，实际上就是 VC/VP 交换，即实现输入信元头中 VCI/VPI 值的转换。

1. ATM 交换机基本组成结构

如图 9.26 所示，ATM 交换机可以由四大功能模块组成，即入线处理模块、出线处理模块、交换模块和控制模块。

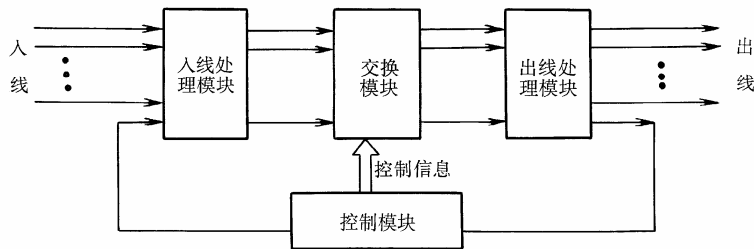


图 9.26 ATM 交换机组成结构

入线处理模块对输入线路上的信息流进行信元定界，信元有效性检验、信元类型分离。输入线路上的信息流实际上是符合物理层接口信息格式（PDH、SDH、基于信元）的比特流，入线处理模块首先要将这些比特流分解成长度为 53 字节的信元。然后，再检测信元的有效性，将空闲信元、未分配信元及信头出错的信元丢弃，然后根据有效信元信头中的 PTI 标志，将 OAM 信元交控制模块处理，其它用户信息信元送交换模块进行交换。

出线处理模块完成与入线处理模块相反的处理，主要是将交换模块输出的信元流、控制模块输出的 OAM 信元流以及相应的信令信元流复合，形成送往出线的特定形式的比特流。并完成信息信元流速率和线路传输速率的适配。

控制模块完成 VCC、VPC 的建立和拆除，并对 ATM 交换模块进行控制，处理和发送 AOM 信元，发送信令信元，使用户/网络的操作执行顺利进行。

交换模块即实际执行交换动作的部件，将某输入线上的信元交换到某输出线上。

2. 信元交换的过程

当两个终端连接建立的时候，先要根据信令信息以及网络的运行情况，在该连接中的每个交换节点上分配终端信息输入和输出的路径，即在每个交换节点形成信息传输的路由表。对 ATM 交换来讲，就是输入信元 VCI/VPI 值（也称为标记）的转换表。当某一个信元进入交换模块，交换模块通过识别信元信头的 VCI/VPI，与路由表进行对照，改变信头中的 VCI/VPI，并控制交换网络将信元交换到相应 VCI/VPI 对应的输出线上。

从上述基本的信元交换过程中可以看出，虽然 ATM 交换是异步时分交换，但其原理与同步时分交换（时隙交换）有许多相似之处，其基本区别是用 VCI/VPI 代替了时隙交换中时隙的序号，并由 VCI/VPI 值来反映用户信元的路由信息。在信元交换的过程中，有可能有多个输入信元需要同时交换到同一条输出线上去，这样就会发生输出线的冲突，必须通过信元排队的方法来解决这种冲突。所以 ATM 信元的交换过程可以归结为下面几个步骤：

路由选择：确定输入信元的输出链路，即从输入线到输出线的链路。

VCI/VPI 值转换（标记转换）：根据路由表把输入信元信头中的 VCI/VPI 值转换成相应输

出线上的 VCI/VPI 值。

信元排队：将同时要到达同一输出线的信元进行排队。

信元发送：按次序将信元传送到相应的输出线上。

9.3.2 ATM 交换单元结构

ATM 交换单元的基本功能就是在某一个信元输出时间内，实现其一条输入线与一条（或多条）特定输出线的链接，即将某一个输入信元交换到一条（或多条）特定的输出线上。根据时隙交换单元的基本构造方法，ATM 交换单元也有空分和时分结构。另外根据局域网络信息传输原理，还有总线方式和令牌环方式结构。

1. 空分式 ATM 交换单元结构

空分式交换单元是一种矩阵式交换结构，其主要部件为空分交换矩阵。多条入线和多条出线分别通过输入控制器和输出控制器连接到空分交换矩阵，如图 9.27 所示。在空分交换矩阵入线和出线的交叉点处相当于有一个开关。在某一个信元输出时间内，控制该信元所在输入线与相应输出线的交叉点的开关闭合，就将该信元交换到了相应的输出线上。

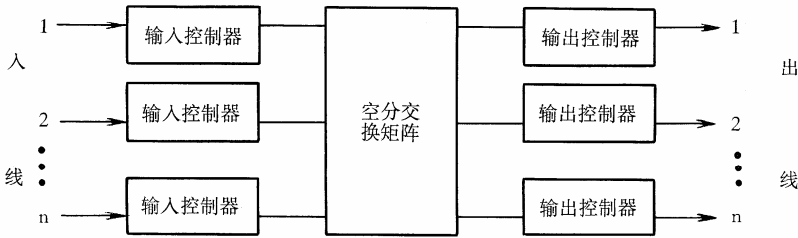


图 9.27 空分式 ATM 交换结构

如果多条入线上的信元希望同时送往同一条出线，就会产生“出线冲突”。这时要求交换单元能够选择一条入线上的信元进行交换，并对不能立即交换的信元（拥塞信元）进行缓存。选择入线的方式有随机法、固定优先级法、轮换优先级法、缓冲区状态确定法（队列状态确定法）、信元状态确定法。对拥塞信元的缓存方法有输入缓存法、输出缓存法和交叉点缓存法。

空分交换单元的优点是结构简单，而且对单级结构而言，是一个无拥塞结构，但交叉点数量随输入线和输出线数量的增加而急剧增加。另外，需要有高速的逻辑控制单元来控制交叉点的分合。

2. 时分式 ATM 交换单元结构

时分式交换结构也叫共享存储器式交换网络，它是通过对存储器的读写来实现信元的交换。其基本组成结构如图 9.28 所示，它主要由输入控制器、输出控制器以及共享存储单元组成。每一条输入线配置有一个输入控制器，每条输出线配置有一个输出控制器，存储单元为所有的输入、输出线共享。

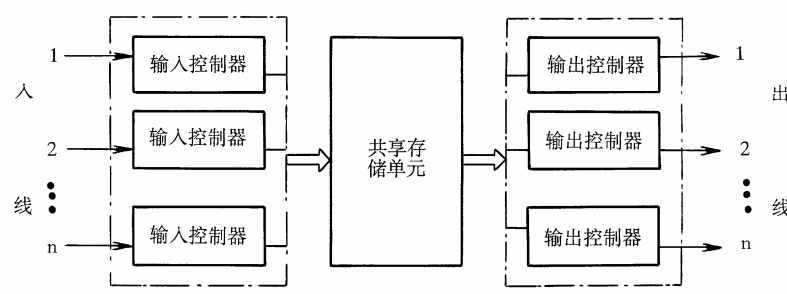


图 9.28 时分式 ATM 交换结构

输入线的信元在进入交换网络之前先要根据该信元的 VCI/VPI 值在信头前面附加一个路由标记，这个路由标记指示该信元应从交换单元的哪一条输出线上输出。存储单元管理器根据路由标记来选择合适的地址存放该信元。然后输出控制器根据输出队列中的地址从存储器中读出信元数据，并将信元经并串转换后从输出线上输出。每个输出控制器只读出自己输出队列中的数据。

存储器的分配有固定分配和动态分配两种方式。固定分配就是将整个存储区划分为存储单元数相等的 N 个存储块，每一个存储单元存储一个信元及路由标记，每一个存储块只为某一条输出线服务。这种方式控制管理简单，但由于信元交换的随机性，可能使有的出线对应的存储区不够，而有的出线对应的存储区得不到充分利用。动态分配方式就是将整个存储区为所有输出线共用，这样可以使存储器得到充分利用，但管理控制复杂。

一个实际的共享存储器式交换单元如图 9.29 所示，它有 16 条输入线和 16 条输出线，在时钟周期为 20ns 时，每个端上的速率可达到 400Mbit/s，总吞吐量可达 6.4Gbit/s。分组缓存器即存储器，它的每一个存储单元存储一个信元及路由标记，它由 128 个存储单元组成，每一个存储单元可以存储 64 字节数据。另外分组缓存器以并行方式存取数据，即在同一个时钟周期内可以对每一个存储单元存/取同一个字节，所以从存取角度看，也可以把分组缓存器看作是有 64 个存储块，每个存储块有 128 字节的存储器，而且，在每一个存储块中存放每一个分组（分组=信元+路由标记）的同一序号的字节。

如果把 16 个选路器看作一个整体，这 16 个选路器可以等效为一个  $16 \times 128$  的空分交换网络。对于每条输入线，每次可以存储一个字节到其所分配的存储单元之中。由于 16 个输入端口共享 128 个存储单元，因此在这个等效的  $16 \times 128$  空分交换网络中不会出现拥塞。

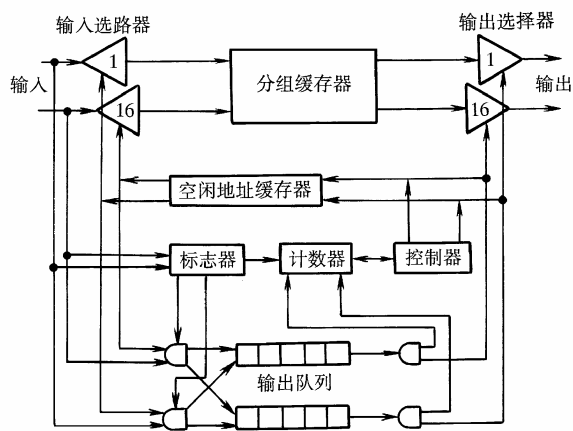


图 9.29 单片共享存储器交换网络

每条输出线所对应的输出选择器各自具有一个输出队列，输出队列中存放存储单元的地址。每个输出选择器根据自己输出队列中的地址，依序从存储器中读出数据，并将该数据经并/串转换后从输出线上输出。

对异步时分交换，由于分组的接收与传送与分组周期同步，即在一个分组周期内，要从每一条输入线上接收一个分组，从每一条输出线上输出一个分组。另外在每一个时钟周期内，要从每一条输入线上接收每一个分组的同一字节。所以从上述情况看对信息的交换过程是同步的。

3. 总线式交换单元结构

总线 ATM 交换结构如图 9.30 所示，所有输入线和输出线分别通过输入控制器和输出控制器连接到总线上，总线包括地址总线、数据总线和控制总线。总线通过总线管理器进行管理。总线技术最初用于计算机系统的设计，后来又拓宽到计算机局域网。应用的主要特点是多个输入输出部件之间共享相同的通信通道，同一时间只有一个输出部件向总线上发送信息。当有许多输入部件要同时向总线上发送信息时，则必须由总线管理器来安排其中的一个发送信息。

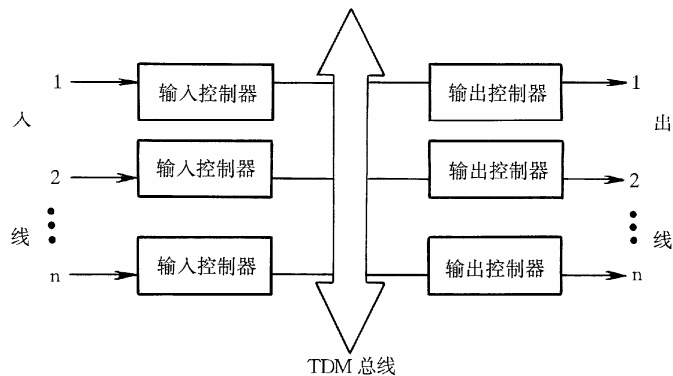


图 9.30 总线式 ATM 交换结构

在计算机系统中，采用仲裁机制，所有需要通过总线发送信息的输入部件首先提出发送



申请，由总线管理器判决是否可以发送。在计算机局域网中则采用各计算机站点自主监测总线上是否有信息传送。如果一个站监测到总线上没有信息传送，它就可以向总线上发送信息。如果一个以上的站监测到总线上没有信息传送，并同时向总线上发送信息，此时出现冲突，信息发送失败，各发送站重新进入监测状态，这就是载波监听/冲突检测的介质访问方式（CSMA/CD）。

在上述两种总线方式中，总线上信息传输的速率和单个输入部件或工作站发送的信息速率相同。对总线式结构的 ATM 交换单元，由于所有输入线某时刻信元都必须交换到相应的输出线上去，也就是在同一时间，所有输入线上的信息都要发送到总线上，这样要求总线的信息传输速率是输入线信息传输速率之和，否则，会造成信元的较大延时。同时为了使所有的信元都输出到相应的输出线上，输出线与总线的接口速率也应与总线速率一致。考虑实际输出线速率和输入线速率是一致的，所以在输出线处必须设置缓冲区，该缓冲区具有高速访问的特点。

为了减轻总线的负担，可以采用多总线方式，即在 ATM 交换单元中采用多组总线，使每条入线使用一组总线。这样可以降低总线的信息传输速率，并且不需要专门的总线管理器，但出线控制电路必须连接到多组总线。

4. 令牌环式交换单元结构

令牌环（Token Ring）是高速局域网所采用的一种信息交换方式，在这种方式的局域网中，所有工作站连接成环形，令牌在环上循环传输，只有收到有效令牌的工作站才能发送数据。

令牌环式 ATM 交换单元的结构如图 9-31 所示，所有输入线、输出线分别通过输入控制器和输出控制器与环形网络相连，也可以看成环形总线。为使同一时刻所有输入线上的信元都能交换到相应的输出线上，环上的传输速率等于所有输入线的信息传输速率之和。这样可以为环上的每一条输入线分配一个传送信息的时隙。所有输入线在环上的一个时隙的时间之和应在输入线一个信元的时间范围内。这样每条输入线在相应的时隙将其上的信元送上环路，同时，在任意出线进行 VCI/VPI 判断，看信元是否由该输出线接收。

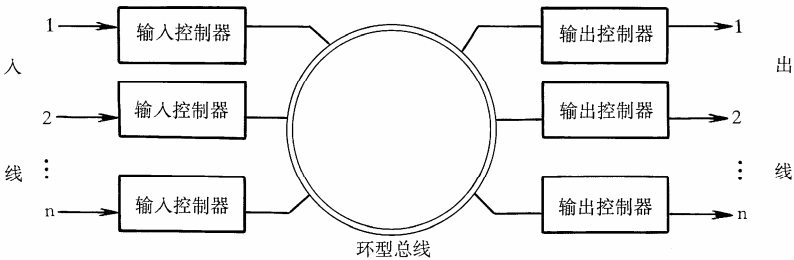


图 9-31 令牌环式 ATM 交换结构

在令牌环式 ATM 交换结构中，如果采用合适的方法安排输出线和输入线位置，并且不将时隙固定分配给特定的输入线，另外假定输出线可强制将接收时隙置空，即释放时隙。那么一个时隙可以在一个回环中使用多次，这样可以使令牌环的实际传输效率大大提高。

9.3.3 ATM 交换网络

交换网络直接影响交换机的容量。一般对小容量交换机，其交换网络可以直接由单个基

本交换模块（单级网络）来实现，基本交换模块是由一个或多个符合上述交换单元结构的基本交换单元所构成。对大容量交换机的交换网络，则需要由多个基本交换模块或基本交换单元按照一定的拓扑结构组合而成。

1. 单级网络

单级网络的特点是交换网络的输入线和输出线就是单个交换模块的输入线和输出线。它的主要类型有扩展型交换矩阵、漏斗型网络和混叠交换网络。

(1) 扩展型交换矩阵

如图 9.32 所示，扩展型交换矩阵是由多个  $k \times k$  的基本交换单元组成。输入信号通过基本交换单元右边的输出线被中继到下一列基本交换单元的输入线，另一输出线连接到同一列上相邻基本交换单元的输入线。信元通过这种交换网络时只被缓存一次，因而具有很小的交叉时延，且交叉时延取决于输入线的位置。基本交换单元的数量随所要求的输入线数量增加而增加，使扩展型交换矩阵的规模不能太大，一般为  $64 \times 64$  或者  $128 \times 128$ 。

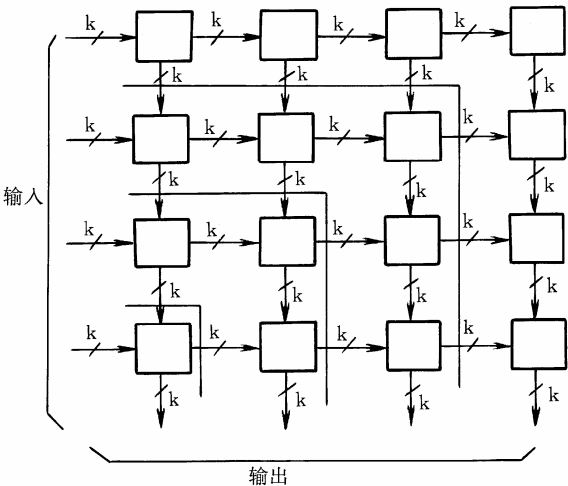


图 9.32 扩展型交换矩阵结构

(2) 漏斗型网络

如图 9.33 所示，基本交换单元按照类似漏斗形的结构相连。所有基本交换单元由  $2b$  个输入线和  $b$  个输出线组成。每个漏斗表示一个  $N \times b$  的矩阵，其中  $N/b$  个矩阵并行工作。

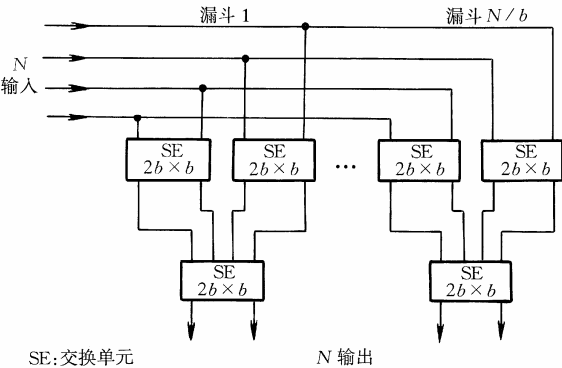


图 9.33 漏斗型网络的结构

### (3) 混叠 (shuffle) 交换网络

混叠交换网络 (或称为混洗交换网络) 是通过对输入线的交互排列, 并将该排列连接到一单级网络上而构成, 如图 9.34 所示。为了使信元从一个给定的输入线到达任意的输出线, 必须利用反馈机制, 如图 9.34 中虚线所示。在这种网络中, 输入线上的信元在到达指定输出线之前可能要多次通过网络, 所以这种交换网络也称为循环网络。在网络的输出端, 相应的基本交换单元必须判定信元是输出到输出线上还是反馈回输入端。

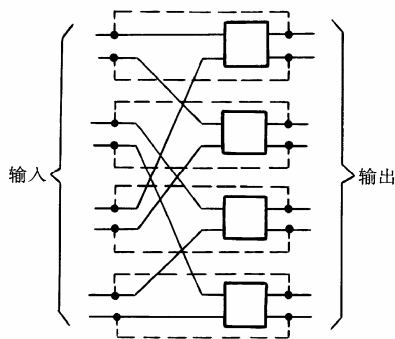


图 9.34 混叠交换网络结构

### (4) 实用的基本交换模块

目前实用的基本交换模块有 Knockout、Roxanne、Coprin、Athena 等。

Knockout 基本交换模块也称为 K 交换单元, 是美国 ATT Bel 实验室在 1987 年研制成功的一种交换模块, 它采用输出队列排队方式, 是一种多总线式结构的交换模块。它的特点是扩展方便。

Roxanne 基本交换模块也称 R 交换单元, 它是法国 Alcatel 公司在 1990 年研制成功的一种共享存储器式交换模块。它由一片大规模集成电路芯片实现, 容量有  $16 \times 16$  和  $32 \times 32$  两种, 入线和出线的速率是 155Mbit/s。

Coprin 基本交换模块也称 C 交换单元, 它是法国电信研究中心 (CNET) 于 1987 年研制成功的一种共享存储器式交换模块, 最初是为实验目的而设计的, 它的容量为  $16 \times 16$ , 出入线速率为 280Mbit/s。但其信元长度是 16 字节, 其中信头 1 字节, 信息段 15 字节。

Athna 基本交换模块采用输出队列的排队方式, 它具有 16 条输入线和 16 条输出线, 每线工作速率为 600Mbit/s。

## 2. 多级网络

由于单级交换网络容量较小, 所以在大规模交换系统中, 必须采用多级交换网络。根据一个输入端可到达的输出端的路径数目不同, 以及按照特定的链路模式连接组成几级, 多级交换网络可以分为单路径网络和多路径网络。

### (1) 单路径网络

在一个单路径多级交换网络中, 一个给定的输入端到目的输出端之间只有一条路径, 这种交换网络也称为 Banyan 网络。如图 9.35 为一个由四级基本交换单元所组成的单路径交换网络。每一个基本交换单元有两个输入端和两个输出端。如果两个输入端用 0、1 标识, 两个输出端也用 0、1 标识, 则一个输入端和输出端的连接只有两种方式, 一种为平行连接 ( $0 \rightarrow 0$ ), 一种为交叉连接 ( $0 \rightarrow 1$ ), 这两种方式也可以用 0、1 来表示。所以 Banyan 网络中

的路由选择很简单。

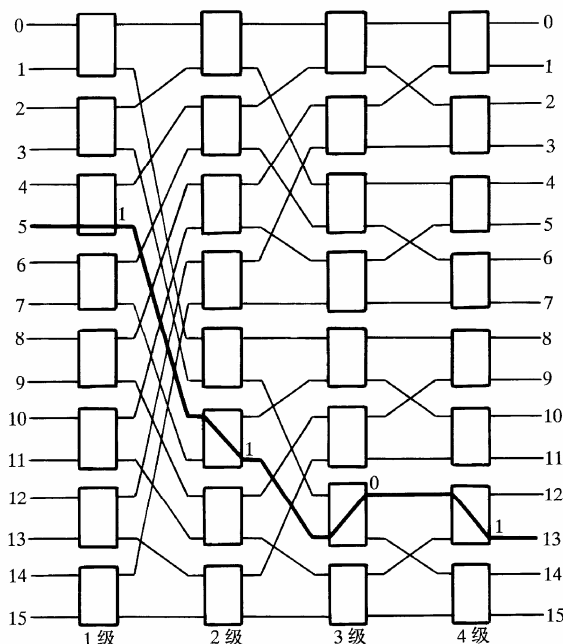


图 9.35 4 级 Delta-2 网络

Banyan 网络的类型很多，4 级 Delta 网络是 Banyan 网络的一种特殊类型。图 9.35 所示就是一个 4 级 Delta-2 网络，它的每一个输出端口都有唯一的地址标识，使信元能够简单地选择路由。所以这种网络也称为“自选路由(self-routing)”网络。图 9.35 中粗线表示从第 5 个输入端到第 13 个输出端的路径。13 可用 4 位二进制码 1101 表示，则 1101 可以表示这条路径的交换网络内部路由，每级基本交换单元都处理 4 位地址中的一位，每级基本交换单元据此为信元选择路由。如第一级基本交换单元的路由选择对应第 1 位（最高位），最后一级基本交换单元的路由选择对应第 4 位（最低位），则根据路径的路由编码为 1101，第一级基本交换单元对应位为 1，选择 1 出，第二级同样，第三级基本交换单元对应位为 0，选择 0 出。这样，第 5 个输入端的信元很容易就选择好了到第 13 个输出端的路径，这条路径是根据输出端口地址唯一确定的。Delta-2 交换网络也可以作为一个基本交换模块，它存在内部拥塞。

## (2) 多路径网络

在多路径交换网络中，每一个给定的输入端到目的输出端之间有多条可选路由，这样可以减少或避免内部拥塞。多路径网络内部路由一般在连接建立阶段确定，即在交换系统内，某一连接上的所有信元使用相同的交换网络内部路由。如果每一个基本交换单元都提供 FIFO（先入先出）缓冲功能，就可以保证信元的传送顺序，从而不需要整序功能。

多路径交换网络有两种类型，一种叫折叠型，另一种叫非折叠型。在折叠型交换网络中，所有输入、输出都在交换网络的同一侧，交换网络的内部链路工作在双向模式。这样可以使信元在交换网络中选择最短的传输路径，比如，如果输入线和输出线连接到同样的基本交换单元，则信元可以在该基本交换单元上反馈回来，而不必传递到最后一级再反馈回来。

如图 9.36 所示为一种三级折叠式交换网络，由  $b/2 \times b/2$  基本交换单元构成，其端口容量为  $b/2 \times b/2 \times b$ 。如果基本交换单元为  $32 \times 32$ ，则该 3 级折叠式交换网络的端口数为 8192 个。

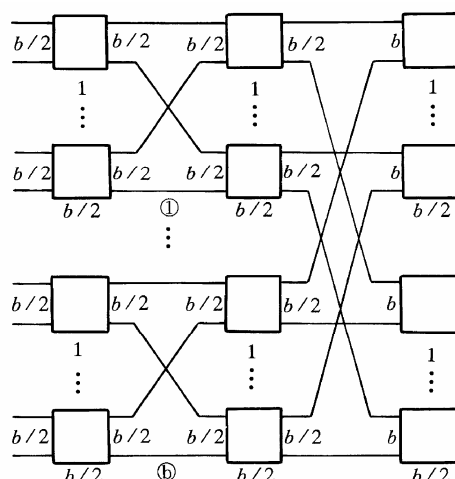


图 9.36 三级折叠式交换网络

在非折叠式交换网络中，输入线位于交换网络的一侧，输出线位于交换网络的另一侧，内部链路是单向的，所有信元从输入线到输出线要经过相同数量的基本交换单元。多路径非折叠式交换网络结构基于单路径交换网络结构，如一个 4 级 Delta-2（单路径交换网络）加上一个反向的 4 级 Delta-2 就可以构成一个多路径非折叠式交换网络。这个 4 级 Delta-2 可以看成是一个基准网络（Baseline Network）。基准网络和具有反向拓扑结构的基准网络连接构成的网络也称为多径互连网络（MIN）。另外，还有 Benes 网络，它与 MIN 非常相似，只是在 Benes 网络中，基准网络的最后一级与反向基准网络的第一级重合，这样 Benes 网络的级数比 MIN 网络少一级，同时交换路由也少。

为了减少网络内部拥塞，人们研究了多种交换网络结构，如分布 Banyan 网络，分类陷阱 Banyan 网络等。分布 Banyan 网络由分布网络和 Banyan 网络组成，分布网络的作用是尽可能地将信元分散到 Banyan 网络的所有输入线上，以减少网络内部拥塞，但无法保证信元顺序的整体性。分类陷阱 Banyan 网络由分类网络、陷阱网络和 Banyan 网络组成，分类网络根据网络内部的目的地址以单调序列方式安排到达的信元，陷阱网络检测具有相同地址的信元，并且只将其中的一个信元传递给 Banyan 网络，而将其它信元反馈回分类网络的输入端。为了保证信元顺序的整体性，给反馈回分类网络的信元分配较高的优先权。这样使进入 Banyan 网络的信元，可以无拥塞地到达目的输出端。下面以排序 Banyan 网络为例来说明。

排序 Banyan 网络（Batcher Bitonic Sort Banyan Network）是在 Banyan 网络前连接一个排序网络（Batcher 网络），也称 BB 网络，是一种分布 Banyan 网络。由 Batcher 网络和 Banyan 网络的巧妙互连来解决 Banyan 网络的内部拥塞。

如图 9.37 显示的为一个 BB 网络，排序网络根据到达分组（信元+路由标记）中的路由标记进行排序，路由标记可以是信元在交换网络的输出端口地址。对同时到达的信元，按地址从小到大，依次从排序网络的出线从上到下输出。图中标识了当 Batcher 网的输入端只有输出端地址为 001、111、010 的 3 个信元同时到达时，信元经排序网络后的输出情况。

构成排序网的基本交换单元是  $2 \times 2$  排序器，每一个排序器比较 2 条入线上同时到达信元的输出端口地址，并将地址较大的信元从箭头指向的出线上输出，而将地址较小的信元从

另一条出线上输出。如果二条入线上只有一个信元到达,则该信元按小地址处理。

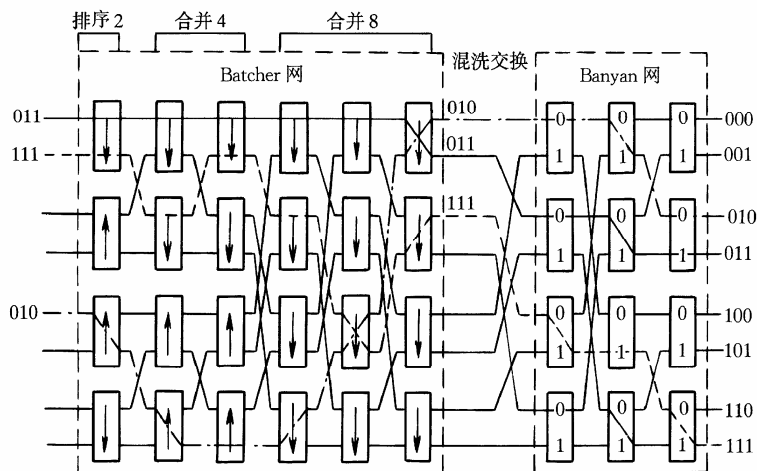


图 9.37 BB 网结构

图中排序网共分 6 级,每级含有 4 个 2 线排序器,其中第 3 级构成上下 2 个 4 线排序器,4、5、6 级构成一个 8 线排序器。如果同时到达排序网络的信元具有不同的出线地址,这些信元经排序网络排序后,将在排序网络的出线上自上而下依地址大小排列输出到 Banyan 网络的输入端。由于排序网络和 Banyan 网络的巧妙连接,所以使地址较小的 4 个信元将分别依序送到 Banyan 网络的 4 条 0 线,而地址较大的 4 个信元将分别依序送到 Banyan 网络的 4 条 1 线。这种巧妙连接使得 Banyan 网络中的各个基本交换单元要么只有一个信元到达,要么同时到达的 2 个信元具有不同的出线地址,从而完全消除了 Banyan 网络的内部拥塞。

另外多路径网络也可以利用多个并行的 Banyan 网络平面来实现,也称为纵向堆叠。属于同一连接的所有信元通过同样的平面。在连接建立阶段确定每个业务的 VP/VC,位于每条输入线上的分布单元切换每个输入信元到适当的网络平面。在交换网络输出端,由统计复用器从所有平面上收集信元。一般利用两个网络平面就可以构成虚拟的无拥塞交换网络。

### 3. 交换网络中的信头处理

交换节点的主要任务就是通过对信元 VPI/VCI 的转换将信元从输入端传送到相应的输出端。从前面介绍的 ATM 交换技术我们可以知道,在交换网络中对信元信头的处理方式与交换网络的路由选择方式有关。

对自选路由交换网络,VPI/VCI 的转换在信元进入交换网络前完成,并要在信头之前加上路由标记(交换网络的内部信头)。这样在交换网络的内部信元长度大于 53 字节时,需要增加网络的速度。

对表控路由交换网络,则在连接建立时,要建立一个 VPI/VCI 转换表,在转换表中将 VPI/VCI 与交换网络中的路由对应,所以也称为路由表。交换网络通过识别信元的 VPI/VCI,查表得到信元的传送路径,这样信元的长度在交换网络内部就可以不变。

一般来讲自选路由交换网络比表控路由交换网络控制简单,所以对于大规模的多级交换网络,采用自选路由交换网络比较合适。

## 9.4

在 ATM 网络中以统计复用的方式为用户分配带宽、链路等网络资源,使网络资源得到充分的共享,提高网络资源的利用率。但是当用户所需资源超过网络所能提供的资源时,就会使有些用户得不到所需要的网络资源而使其通信不能正常进行,即出现所谓的拥塞现象。在 ATM 网络中,网络的链路是比较容易出现拥塞的地方,另外是网络的节点(交换机、路由器等)。在 ATM 交换机中,存储器、处理机、交换网络都是共享资源,如果这些部件的处理能力不能满足用户的需要,在相应的部位就会出现拥塞。

如果出现拥塞,就会降低网络的服务质量(QoS),使信元延时、信元抖动以及信元丢失等服务质量指标变差。严重时,对于某些类型的业务,由于过载而引起的拥塞会使网络的吞吐量急剧下降,以致全网瘫痪而不能进行任何信息传递。显然这种情况在 ATM 网络中是决不允许出现的,在出现局部拥塞时,应及时缓解、排除,而不能让它在网络中扩散。流量控制技术和拥塞技术就是如何避免出现拥塞以及出现拥塞后如何尽快排除的技术。

### 9.4.1 流量控制

由于产生网络拥塞的主要原因就是用户的需求超过了网络或其部件所能承受的能力,也就是用户的业务流量超过了网络或其部件所能承载(或处理)的业务流量。所以通过控制用户流入网络的业务流量就能避免网络或其部件产生拥塞。即在网络的入口处,而不是网络内部对业务流量进行控制。流量控制的主要方式有连接接纳控制(CAC)、用法参数控制/网络参数控制(UPC/NPC)、优先级控制以及反馈控制等。对于这些控制方法,有些已在 ITU-T I.371 建议中进行了规范,有些还待进一步完善。

#### 1. 连接接纳控制(CAC)

连接接纳控制是在连接建立过程中,网络根据网络当前资源以及用户所申请的网路服务参数和业务流特性,对用户申请的连接是否接纳进行控制。在此过程中,一方面要关系到服务质量参数和业务流特性,另一方面要关系到网络的资源管理。

##### (1) 服务质量参数

服务质量参数包括信元丢失率(CLR)、信元传递时延(CTD)、信元时延抖动(CDV)、信元误插入率、误码率等。信元丢失率为丢失信元与发送信元的比率。信元传递时延包括线路传送时延、编码和解码时延、分段和重装时延、ATM 节点处理时延(包括交换、排队、路由等时延)。信元时延抖动指信元聚结的程度,表示实际信元间隔与标准信元间隔的接近程度。信元误插入率指错插信元与时间间隔的比率。误码率表示传递比特的出错概率。

##### (2) 业务流量参数

ATM 网络中规定了几种基本的业务量参数,网络根据这些参数对各种类型的业务分配带宽并进行拥塞控制。这些参数包括峰值信元速率(PCR)、信元延时变化容限(CDVT)、可维持的信元速率(SCR)、突发容限(BT)等。

峰值信元速率表示在 ATM 连接上能够发送的信息速率的上限,用发送相邻两个信元的最小时间间隔的倒数表示。

信元延时变化容限是表示终端生成信元后,在 UNI 上容许该信元传递时间间隔变化范围

的参数。这种时延变化是由物理层的开销和用户网络接口处的复用设备造成的。

可维持的信元速率是变比特率类业务应用的参数，它表示 ATM 连接上得到保证的平均速率的上限。平均速率指发送的信元数与连接时间的比值。在统计复用时，用大于可维持的信元速率而小于峰值信元速率的速率传送信元，可使业务质量得到保证。

突发容限也是变比特率业务的参数，它表示容许信元传递速率波动的范围。

(3) 网络资源管理

ATM 网络中的重要资源是中继线带宽和缓冲空间。利用虚通路 (VP) 进行中继线带宽管理是一种有效的方法。因为 VPC 可将多个 VCC 作为一个整体来进行管理,比管理单个 VCC 要简单的多。动态管理带宽和缓存空间的快速资源管理 (FRM) 方法目前有带宽预留和缓冲预留两种基本方法。

快速带宽预留就是在沿着端到端路由的每个节点上预留带宽。带宽预留有立即不保证方式和延迟保证方式。

延迟保证方式就是在突发业务信息发送前，发送快速资源管理信元向端到端路由上的每个中间节点申请预留带宽。该预留请求逐节点向前传递，收到该请求的节点如果接受该请求，则前向传递该请求。如果不能接受，则废弃该请求或向发端返回一个失败的消息。只有端到端路由上所有节点接受该请求，发端收到返回的带宽承诺响应，才开始传递突发业务信息。当突发业务信息传送完毕，发端传送一个释放带宽预留的消息，沿端到端路由中各个节点传递直到收端。

立即不保证方式就是用户在发送带宽预留请求后立即发送突发业务信息，输入节点和中间节点可以利用快速资源管理信息决定是否处理整个突发业务信息。当中间节点发生拥塞时，不能保证突发业务信息的顺利传递，可能造成整个或部分突发业务信息的丢失。

快速缓冲器预留就是在突发业务信息发送前请求路由中节点预留缓冲空间。

(4) 连接接纳控制 (CAC) 过程

如图 9.38 所示，当用户向网络提出连接申请时，要给网络提交所申请连接的业务流量参数。网络根据当前资源和建立该连接所需要的资源进行决策。如果网络的当前资源能满足该连接申请的要求，则接受该连接申请，分配所需网络资源，并在用户和网络之间建立流量协议。否则，拒绝该连接申请。

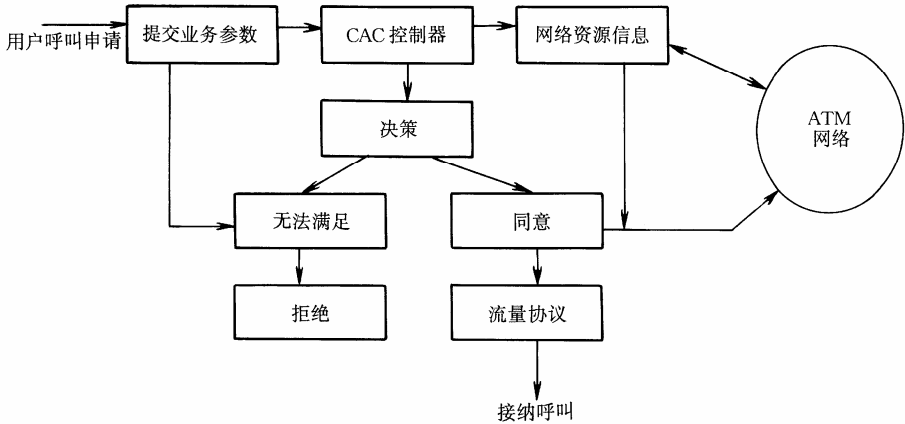


图 9.38 连接接纳控制示意图



网络资源的分配办法有两种基本方式。一种是按峰值信元速率分配资源的方法，也称为“非统计类 CAC 方法”，它是按峰值信元速率给用户分配网络资源。其优点是实现简单，可以保证服务质量，缺点是对速率变化很大的变比特率业务，网络资源浪费严重。另一种 CAC 方法是等效带宽法，它是根据单个连接中信元的分布，综合网络中多个连接业务的特征来分配资源，即按等效带宽来分配资源，这种方式实现复杂，但可以提高网络资源的利用率。

## 2. 用法参数控制/网络参数控制 (UPC/NPC)

通过连接接纳控制，用户和网络之间建立了流量协议，分配了网络资源。但用户接入网络以后，如果违反流量协议，向网络输入超过其预约的业务流量，则可能引发网络的拥塞。所以网络在接纳用户入网后，还必须监测用户输入网络的业务流量，使用户输入网络的业务流量在协议规定的范围内，这就是用法参数控制/网络参数控制 (UPC/NPC) 要完成的功能。UPC 和 NPC 的基本功能和实现方式基本是一致的，不同的是 UPC 用于用户—网络接口 (UNI)，NPC 用于网络节点接口 (NNI)。在对入网业务流进行监测的过程中，如果发现违约，网络可以采用相应的管制措施，如丢弃违约信元、给违约信元打上违约标记或延迟传递违约信元等，以调整输入网络的实际业务流量。当网络资源出现紧张时，用上述方法可以从正常的信元流中清除无意或有意过量占用资源的信元，保护网络的正常运行，维护网络所承诺的服务质量。

UPC/NPC 主要对峰值信元速率 (PCR)、平均信元速率 (VCR) 等业务流量参数进行控制。常用的流量控制算法有漏桶算法和窗口算法。

### (1) 漏桶 (Leaky Bucket) 算法

漏桶算法是一个很形象的名称，它将网络资源看作是一个一定容量的水桶，将用户向网络输入信元流看成是向桶中注水，向桶中注水的量只有在桶能容纳的范围内时，水才不会溢出（出现拥塞）。漏桶的底部有孔，每隔一定时间，桶中的水从孔中漏出一定量。当某一个信元到达时，如果桶中容量允许，则将信元放入桶中（即进入网络传送）；否则，将信元丢弃或打上标记后进入网络。

例如，设定漏桶的容量为  $I$  个水位。用户和网络的流量协议规定：每隔  $J$  个信元时间内，用户向网络输入一个信元 ( $I > J$ )。则当信元到达网络入口处时，UPC/NPC 漏桶算法检查其是否符合流量协议的信元的过程如图 9.39 所示。

当信元到达时，先判断漏桶中空余水位的个数，如果空余水位个数大于或等于  $J$ ，则该信元放入桶中（进入网络），漏桶增加  $J$  个水位；否则将信元丢弃或打上违约标记进入网络。每隔一个信元时间，桶中水位下降一个单位。

从上述过程可以看出，漏桶算法是通过计数器对输入信元计数来实现的，通过改变计数方法，漏桶算法还有一些不同的形式，如自适应计数、可变长度计数、跳变计数等。

### (2) 窗口法

窗口法源于 X.25 分组交换网的流控技术，它是在设定的时间间隔（窗口）内对所到达的信元进行计数，当数量达到规定值后，则在此时间间隔内再到达的信元为违约信元。根据对时间间隔的不同选择方式和信元到达数量的不同测量方式，窗口法有滑动窗口法、跳变窗口法、可触发跳变窗口法及指数加权滑动平均窗口法等多种形式。

滑动窗口法就是窗口每次滑动一个信元时间，设窗口长度为  $I$  个信元时间间隔，则第一次判断第 1 个～第  $I$  个信元时间内到达的信元是否在规定的范围内，对违约信元丢弃或打上违约标记，第二次判断第 2 个～第  $I+1$  个信元时间内到达信元中的违约信元（除去第一次违

约信元), 以此类推。跳变窗口法就是窗口每次滑动  $I$  个信元时间间隔, 第一次判断第  $1$  个~第  $I$  个信元时间内到达信元中的违约信元, 第二次判断第  $I+1$  个~第  $2I$  个信元时间内到达信元中的违约信元。

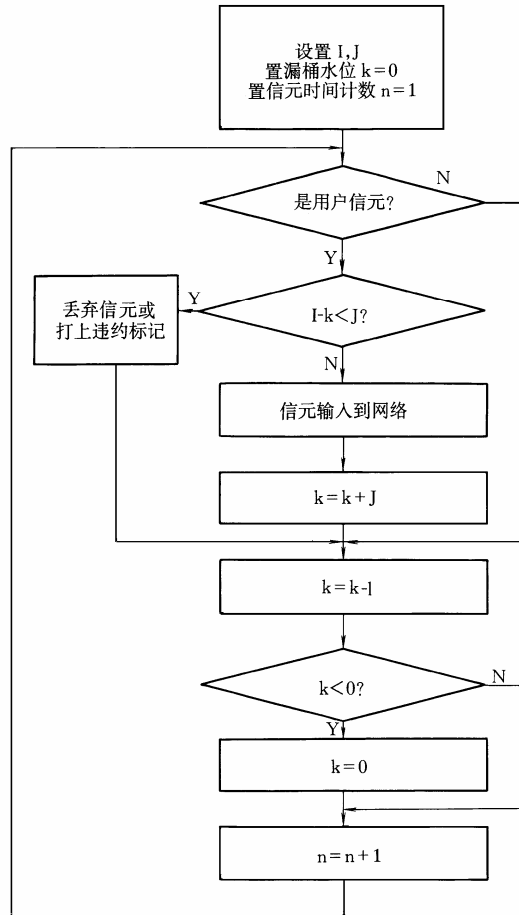


图 9.39 基本漏桶算法流程

### (3) 优先级控制

优先级控制是配合 UPC/NPC 的一种可选性操作, 是对违约信元采取的管制措施之一。在前面两种方法中, 网络对违约信元可以立即丢弃或打上违约标记, 优先级控制就是控制信元的丢失优先级。UPC/NPC 首先检查  $CLP=0$  的高优先级信元, 并将其中违约信元的  $CLP$  值改为 1。然后再对综合信元流 (包含  $CLP=0$  和  $CLP=1$  信元的信元流) 进行检查, 并丢弃综合信元流中的违约信元。综合信元流中包括高优先级信元中守约和违约信元以及原  $CLP=1$  的低优先级信元。在此, 高优先级信元中的违约信元和原低优先级的信元已没有什么区别。一旦网络出现拥塞, 网络将丢弃所有  $CLP=1$  的信元。若未遇到拥塞, 这些信元将正常到达目的地。

所以采用优先级控制时, 可以提高网络资源的利用率, 当网络资源足够时, 可以传递一些违约信元。但可能会丢弃一些  $CLP=0$  的高优先级信元, 而这些信元是在首次对  $CLP=0$  的信元检查时确认为守约的信元。

### 3. 基于比特率的反馈式控制

基于比特率的反馈式流量控制是一种较新的方法，这种方法是对用户发送数据的比特率进行控制，因而称为基于比特率的控制方法。它的原理是根据网络当前的资源情况，连续不断地向用户发送控制信息，将网络当前可以接受的入网数据速率通知每一个发送数据的用户，而用户根据该信息调整其发送数据的速率，使其不超过网络的设定值。

速率控制信息由专用的资源管理信元（RM 信元）来传送。在连接建立后，用户首先发送一个 RM 信元，然后每隔  $N$  个信元（实验证明  $N$  取 16 时效果较好）发送一个 RM 信元，每个 RM 信元包含当前信元速率（CCR）、最小信元速率（MCR）、显示速率（ER）、方向指示位（DIR）、拥塞指示（CI）、数据块起始位（BS）等信息。

当 RM 信元通过网络传递时，网络节点（交换机）可以修改显示速率 ER 字段，这要求交换机计算每个连接所允许的速率。如果计算结果小于 RM 中由发送用户或其它交换机所设定的 ER 值，则交换机就将计算结果置入 ER 字段，即修改原来的 ER 值，同时置拥塞指示位  $CI=1$ 。

当 RM 信元到达目的地后，其方向指示位由目的用户终端反向后沿原路径返回原发送用户。如果目的地用户终端不能处理当前速率的数据，它也可以减少 ER 值，并置  $CI=1$ 。

当发送 RM 信元的用户收到返回的 RM 信元时，它必须根据 RM 信元中的有关信息作出反应。如果 RM 信元中  $CI=0$ ，则它可以增加其信元速率直到返回 RM 信元中的 ER 值。如果  $CI=0$ ，则它必须将信元的发送速率减小到 ER 值或该业务特性中所规定的递减值，哪一个最小就减小到哪一个。

如果发送用户在规定的时间内没有收到返回的 RM 信元，则要求发送用户自动地按规定的递减值降低其发送速率。这是一种超时保护功能，以防止意外情况发生。

反馈式控制实现了业务流量的自适应控制，它能充分而合理地利用网络资源，但它对恒定比特率（CBR）业务、变比特率（VBR）业务等类型的业务并不适用。因为 CBR 业务速率恒定，不能调整。而 VBR 业务的速率虽然可变，但其变化是由其信元的业务特性产生，网络不能对其改变。目前反馈式流量控制主要用于可用比特率（ABR）业务中。

#### 9.4.2 拥塞控制

前面已经介绍，拥塞是网络中的一种不正常状态。在拥塞状态下，用户提供给网络的负载接近或超过了网络的承受极限，从而不能保证流量协议中规定的业务质量。产生拥塞的原因主要是网络资源受限或突然出现故障，另外与应用的特性，如连接模式、重传策略、认证策略、响应机制和流量控制也有一定的关系。拥塞可以发生在不同的时间层次，如信元转发级、突发级或呼叫级，也可以发生在单个资源空间或多个资源空间。

为了避免网络拥塞的发生或在拥塞出现时减小拥塞，网络必须具有拥塞控制功能。拥塞控制分为拥塞管理、拥塞回避和拥塞恢复三类。

如图 9.40 所示为拥塞区域与拥塞控制类型的应用关系。拥塞管理在网络中无拥塞时应用，拥塞回避主要在网络出现中度拥塞时应用，而拥塞恢复主要在网络出现严重拥塞时应用。

##### 1. 拥塞管理

拥塞管理就是在网络没有出现拥塞前，通过有效的方式尽可能确保网络避免产生拥塞，

拥塞管理方法有资源分配、废弃型用法参数控制、完全预约连接受理控制、网络工程等。

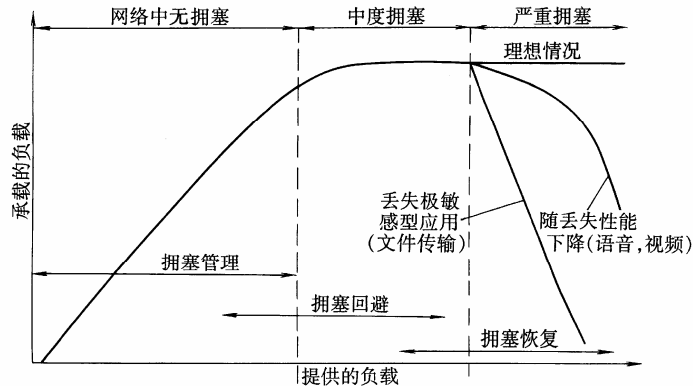


图 9.40 拥塞控制类型的应用

### (1) 资源分配

资源分配就是对中继线容量、缓冲器容量、UPC/NPC 参数、虚通路连接参数进行分配。如果 UPC 的动作设置为废弃那些超过峰值速率的信元,且中继线和缓冲资源全部以峰值信元速率进行分配,则拥塞就不会发生。所以资源分配法可以完全避免拥塞,但网络资源的利用率很低,一般用于传输和端口相对便宜的局域网中。

### (2) 废弃型用法参数控制

废弃型用法参数控制机制就像十字路口的红绿灯一样,控制某些业务流量通过及禁止一些业务流量通过,确保全部网络资源被完全分配时不发生拥塞。也就是不允许那些可能造成拥塞的业务量进入网络。

### (3) 完全预约连接受理控制

用流量协议中定义的 CLP 信元流的峰值信元速率、可维持的信元速率和最大突发容限来预约缓冲器、中继线带宽等网络资源,保证既使在所有业务源同时发送守约信元流的最坏情况下,仍然能得到规定的服务质量。

### (4) 网络工程

通过对网络业务流量的长期观察和统计,在网络设计时精确地建立业务源模型,使网络运行时能满足各种业务流的传送要求。

## 2. 拥塞回避

拥塞回避的目的是避免严重拥塞,而使网络的负载进入轻度拥塞区域。拥塞回避的策略一般是以预防为主,限制用户发送端或发送节点发送过多的信元,它判决信元是否允许传输的依据侧重于当前网络的传输能力。

在实际网络运营中,为了发挥网络的最大传输能力,希望网络传输的业务量接近网络允许的吞吐量。所以拥塞回避策略实现的好坏直接影响网络的运营效率。

目前比较常用的拥塞回避方法有:

#### (1) 基于窗口方法

设置发送窗口,根据接收节点的反馈信息动态调整窗口的大小,限制发送端传输的信息量。

#### (2) 基于速率的流量控制方法

这种方法与前面介绍的反馈式流量控制方法一样，就是根据反馈信息，动态调节发送端发送信息的速率。

(3) 基于信用证的流量控制方法

通过接收端向发送端发送允许发送信息的“信用证”，发送端在接收到相应的“信用证”以后才发送信息。这样使发送端发送的信息流量是在网络能够承载的范围内。

3. 拥塞恢复

当网络由于过载或是设备故障而进入严重拥塞状态时，必须通过拥塞恢复机制使网络回到正常工作状态，目前主要的方法有：

(1) 选择性信元丢弃

在拥塞时对 CLP=1 的信元丢弃，减少网络负载。例如，在交换节点的缓冲区中设置两类缓冲区，一类缓冲区存储 CLP=0 的信元，另一类缓冲区存储 CLP=0+1 的信元，即能存储所有信元。当 CLP=0 的信元缓冲区存满时，CLP=0 的信元进入 CLP=0+1 的信元缓冲区，如果此时 CLP=0+1 的信元缓冲区已满，可以丢弃 CLP=1 的信元。

(2) 显式前向拥塞指示 (EFCI)

当拥塞发生时，通过在 ATM 信元信头中 PTI 域的拥塞指示位，表明信元在传输过程中遇到拥塞。当接收端收到具有拥塞指示的信元，就可以通过高层协议降低上层逻辑连接的信息传输速率，从而达到减少进入网络的信元总数，缓减拥塞设备的处理负荷，

(3) 连接终结

在上述方法仍不能使网络脱离严重拥塞的情况下，网络可以采取一些极端的做法，即终结一些连接，使拥塞得以恢复。

从以上介绍中可以看出，拥塞控制和流量控制是相辅相成的，拥塞控制技术是以流量控制技术为基础的，流量控制就是为了实现拥塞控制。所以有的文献把流量控制和拥塞控制合二为一，统称为流量控制。

9.5 接入网

9.5.1 宽带接入网的体系结构

1. 接入网概述

ITU-T G.902 建议对接入网的定义如下：接入网是由业务节点接口 (SNI) 和相关用户—网络接口 (UNI) 之间的一系列传送实体（如线路设施和传输设施）所组成，为传送电信业务而提供所需传送承载能力的实施系统。它可以经由  $Q_3$  接口（网管接口）进行配置和管理。接入网的物理参考模型如图 9.41 所示，它主要完成以下基本功能：

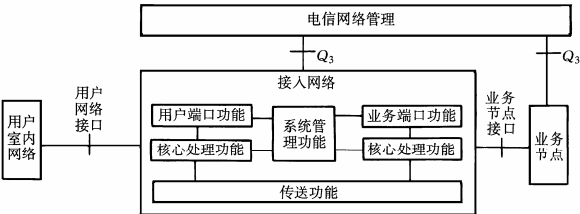


图 9.41 接入网的物理参考模型

(1) 传送功能 (TF: Transmission Function) 提供多接入段 (如馈送段、分配段和引入段等) 组成的公共传送通道, 完成不同传输媒体间的适配。具体包括复用、交叉连接、管理和物理媒体支持等功能。

(2) 核心功能 (CF: Center Function) 完成 UNI 承载体和 SNI 承载体至公共承载体的适配, 以及复用和协议处理。如接入承载通路的处理、承载通路的集中、信令和分组信息的复用、ATM 承载通路的电路模拟及管理和控制。

(3) 用户端口功能 (UPF: User Port Function) 完成 UNI 的特定要求至核心功能和系统管理功能的适配, 如信令转换、A/D 转换、UNI 的激活与去激活、UNI 承载信道和承载能力的处理。

(4) 业务端口功能 (SPF: Service Port Function) 完成 SNI 的特定要求至公共载体的适配, 供核心功能处理, 选择在系统管理功能中处理的有关信息。终结 SNI、将承载要求与时限管理以及操作运行映射进核心功能、对 SNI 协议映射、SNI 测试和业务端口功能的维护、管理和控制。

(5) 系统管理功能 (SMF: System Management Function) 通过 Q3 接口或中介设备 MD (Middle Device) 和电信管理协调工作, 完成接入网络各种功能的提供、运行和维护, 包括控制、系统配置、故障检测和指示、性能数据采集等。可以通过 SNI 协调和 SNI 的操作过程及通过 UNI 协调和用户终端的操作过程。

所以接入网的主要作用就是将来自用户—网络接口的数据与信令流复用/解复用和 (或) 交叉连接, 以便以经济的方式将它们送往业务节点, 同时保证业务节点能确定业务源或业务源的用户—网络接口。它本身并不分担业务节点的呼叫控制与连接控制职能, 也不代替业务节点或用户驻地网 (CPN) 选择业务提供者。它不关心正在传送的业务与呼叫状态, 只是对信令透明地传递, 不解释也不中止, 更不产生任何通知音。

接入网的功能结构可以分为电路层 (CL)、传输通道 (TP) 层和传输媒质 (TM) 层。电路层直接为用户提供通信业务; 传输通道层为电路层网络节点 (如交换机) 提供透明的传输通道; 传输媒质层为通道层提供点到点的信息传输。

接口接入类型主要包括公用电话交换网 (PSTN) 和窄带综合业务数字网 (N-ISDN) 接入、宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 接入。也可以称为窄带接入和宽带接入。另外还有永久性租用线接入, 数据业务网接入, 广播接入, 交互式视像接入。

接入网的接口包括用户—网络接口 (UNI)、业务节点接口 (SNI) 和网管接口 ( $Q_3$ )。UNI 为用户终端与接入网之间的接口, 它有独享式和共享式两种, 用户终端通过独享式 UNI 只能接入到一个业务节点, 而通过共享式 UNI 可以接入到多个业务节点。 $Q_3$  接口为接入网与电信管理网 (TMN) 的接口, TMN 通过  $Q_3$  接口与接入网相连, 对接入网进行管理和协调。SNI 为接入网与业务节点的接口, 它的类型较多, 它们是由交换机的用户接口演变、发展而来, 经历了 Z 接口、 $V_1$  接口到  $V_5$  接口的发展, 目前主要以  $V_5$  接口为主, 包括  $V_{5.1}$ 、 $V_{5.2}$ 、 $V_{B5.1}$ 、 $V_{B5.2}$  接口,  $V_{5.1}$ 、 $V_{5.2}$  接口主要支持 N-ISDN 业务的接入,  $V_{B5.1}$ 、 $V_{B5.2}$  接口主要支持 B-ISDN 业务的接入。在有关接入网的书籍中, 对  $V_{5.1}$ 、 $V_{5.2}$  接口都有比较详细的介绍, 以下主要介绍  $V_{B5}$  接口。

2. 宽带接入网的功能体系

宽带接入网对应的业务节点是宽带业务节点，如本地宽带 ATM 交换机、提供宽带无连接数据业务的服务器 (CLS)、用于分配业务的前端 (HED)、提供数字视频点播业务的业务节点和提供租用线业务的业务节点等，也可以是上述几种业务节点的组合。

宽带接入网络可以经过一个传送网 (TN) 与业务节点相连，这个传送网可以是点对点或环形拓扑，可以包含 SDH 复用/解复用、SDH 或 PDH 的数字交叉连接 (DXC) 设备功能以及 ATM 虚通道 DXC 功能，但不应包括虚信道 (VC) 交叉连接功能，即不转换虚信道标识符 (VCI) 值。为管理的方便，传送网可与业务节点、接入网分开管理，即以单独的接口连到 TMN。

宽带接入网的用户侧对 B-ISDN 接入是 UNI，即经过 UNI 与用户驻地设备 (GPE) 相连，用户—网络接口速率有 2Mbit/s、25Mbit/s、51 Mbit/s、155 Mbit/s 的 622 Mbit/s 几种。UNI 可以是 ATM 信元格式的接口，采用 2 号数字用户信令 (DSS2) 作用户—网络信令。

宽带接入网的功能可分为传送功能、控制功能、层管功能、面管功能、定时功能等，如图 9.42 所示。其中控制功能主要为支持  $V_{B5.2}$  业务节点接口，它对应的宽带承载连接控制 (B-BCC) 功能将在下面部分介绍。

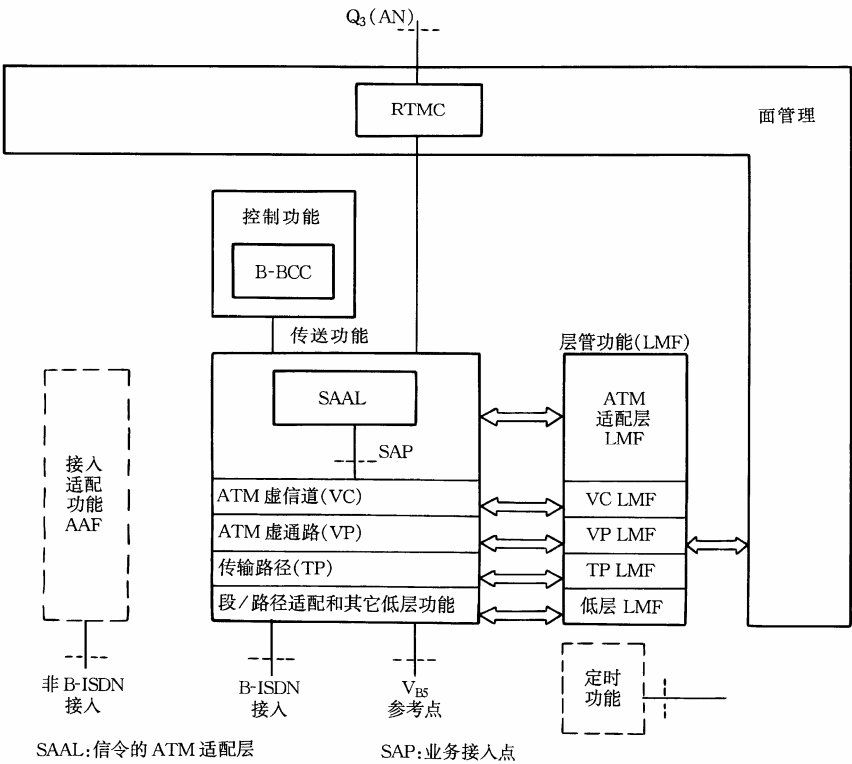


图 9.42 宽带接入网功能体系结构

传送功能主要是与 B-ISDN 协议参考模型的低层 (物理层和 ATM 层) 有关，包括传送用户信息、信令信息、OAM 信息和资源管理信息所需的所有功能，它为 B-ISDN 中所有高层所共用。

层管功能 (LMF) 与传送功能块一一对应，与给定传送层功能有关的管理信息 (例如配

置、故障监视、性能监视、UPC/NPC 处理等)被送到(或取自)对应的层管功能,这些管理信息还可以被送到面管理功能以及与外部网络管理实体作进一步处理和(或)通信。

面管功能包含可应用于网元管理和整个网的管理的一组功能,它包括层管功能协调、支持实时管理协调(RTMC)和经  $Q_3$  (包括接入网和业务节点)由 TMN 实现的非实时管理协调。RTMC 和经  $Q_3$  接口的指配功能将在下面部分作进一步介绍。

定时功能提供比特、字节和信元定界所必要的定时信息。在正常运行时,接入网可以使用  $V_{B5}$  参考点上物理层的定时信息来同步网络时钟。

3. 宽带接入网的连接类型

宽带接入网有 A~E 5 种连接类型,如表 9.9 所示,其中 B 连接类型是专门支持 RTMC 与 B-BCC 功能的连接类型。

表 9.9 宽带接入网的连接类型

|                      | UNI—SNI<br>间连接 | VUP—SNI<br>间连接 | 接入网—业务节点间<br>网络内部连接 | 备 注                               |              |
|----------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------------------|--------------|
| 在 $Q_3$ 接口控制下        | A              | D              | B                   | 适用于 $V_{B5.1}$ 与<br>$V_{B5.2}$ 接口 | 虚通路或<br>虚信道级 |
| 经 B-BCC 在业务节<br>点控制下 | C              | E              |                     | 仅适用于 $V_{B5.2}$<br>接口             | 虚信道级         |

注：VUP 为虚用户口 SNI 为业务节点接口

4. 宽带接入网对窄带业务接入的支持

宽带接入是将来主要的接入方式,但目前诸如 PSTN、ISDN 基本速率、ISDN 基群速率等窄带接入是电信运营部门提供的主要接入方式,因此会有宽带与窄带接入共存一个接入网内的过渡时期。宽带接入网的设计应能同时支持非 B-ISDN 的接入,这里包括基于 ATM 的接入与不基于 ATM 的非 B-ISDN 接入,后者即窄带接入。在非 B-ISDN 接入情况下,对应的业务节点可以是宽带与窄带综合的业务节点或两种功能分离的业务节点。

9.5.2 宽带接入网业务节点接口— $V_{B5}$  接口

随着光纤传输和复用技术在本地环路的应用,标准化的业务节点接口(SNI)在 90 年代开始引入。欧洲电信标准化协会(ETSI)在定义了窄带  $V_5$  ( $V_{5.1}$  和  $V_{5.2}$ ) 接口标准,并由 ITU-T 通过了相应的建议 G.964 和 G.965 之后,于 1995 年开始对宽带接口进行标准化研究,称为  $V_{B5}$  接口,目前包括  $V_{B5.1}$  和  $V_{B5.2}$  接口。ITU-T 于 1997 年提出了  $V_{B5.1}$  的标准 G967.1,于 1998 年 6 月通过,1998 年提出了  $V_{B5.2}$  的标准 G967.2,计划于 1999 年通过。 $V_{B5.2}$  与  $V_{B5.1}$  不同之处是  $V_{B5.2}$  中增加了宽带承载连接控制(B—BCC)协议,该协议使接入网中的动态资源分配得以实现。 $V_{B5}$  接口是基于 ATM 的宽带 V 参考点,它延用了窄带  $V_5$  接口的思路,许多的高层要求与窄带网是一样的。

1.  $V_{B5}$  接口功能

宽带  $V_{B5}$  接口规范了接入网(AN)与业务节点(SN)之间接口的物理及协议要求。在  $V_{B5}$  参考点,接口具有灵活的虚通路链路(VPL)分配和机动灵活的虚信道链路(VCL)分配(由  $Q_3$  接口控制)功能。

(1) 虚通路链路和虚信道链路



$V_{B5}$  支持 ATM 层的用户平面（用户数据）、控制平面（用户到网络的信令）和管理平面（元信令、RTMC 功能）信息的 ATM 层功能。这些信息可以承载于虚通路链路上，也可以承载于虚信道链路上。

(2) 实时管理平面协调（RTMC）功能

提供在接入网和业务节点之间通过  $V_{B5}$  参考点上的专用协议 RTMC 实现和管理平面的协调，包括同步和一致性。该协议用于在接入网和业务节点之间实时交换时间基准管理平面信息。

(3) 宽带承载连接控制（B-BCC）协议功能

B-BCC 可以使业务节点（SN）及时地根据协商好的连接属性（如业务量鉴别语和 QoS 参数），请求接入网（AN）建立、修改和释放接入网中的 VC 链路，实现有限的 SNI 带宽支持多个 UNI。

(4) OAM 流

提供与层相关的 OAM 信息的交换。OAM 信息流既可以存在于 ATM 层，也可以存在于物理层。

(5) 定时

为比特同步、字节同步和信元定界（即信元同步）提供必要的定时信息。

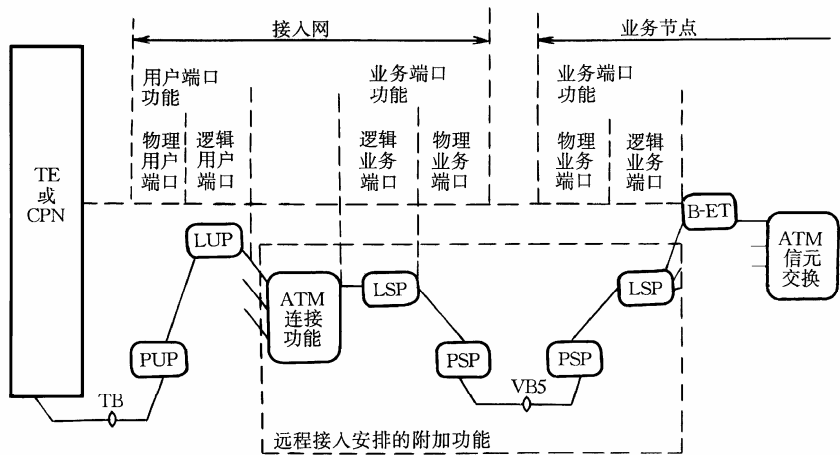
2.  $V_{B5}$  参考点的功能模型

$V_{B5}$  参考点（接口）的功能模型需要某些附加的术语对 VP 群进行标识，如表 9.10。这些标识用于  $V_{B5}$  的协议和管理模型。

表 9.10  $V_{B5}$  特定的逻辑和物理端口

| 逻辑、物理端口     | 规 定                                     |
|-------------|-----------------------------------------|
| LUP（逻辑用户端口） | UNI 的一组 VP 或与单个 $V_{B5}$ 相关的虚拟用户端口（VUP） |
| PUP（物理用户端口） | UNI 处与物理层功能相关的传输收敛功能                    |
| LSP（逻辑业务端口） | $V_{B5}$ 参考点的一组虚通路                      |
| PSP（物理业务端口） | $V_{B5}$ 参考点与传输收敛功能相关的物理层功能             |

$V_{B5}$  参考点的功能模型如图 9.43 所示。该模型是基于将用户端口功能分离成物理用户端口功能和逻辑用户端口功能，以及将业务端口功能分离成物理业务端口功能和逻辑业务端口功能。



注：TE/CPN 和业务节点之间的控制平面通信

图 9.43  $V_{B5}$  参考点的功能模型

(a) 物理用户端口 (PUP) 与 UNI 上的一个传输会聚功能相关的物理层功能组成。PUP 在 SN 侧不存在。

(b) 逻辑用户端口 (LUP) 与单个  $V_{B5}$  参考点相关的 UNI 处的一组 VP 组成，一个 LUP 与业务节点内的 B-ET 逻辑关联，其配置管理功能必须与业务节点协调

© 物理业务端口 (PSP) 由位于  $V_{B5}$  参考点处的与单一传输会聚功能相关的物理层功能组成。PSP 同时存在于接入网侧和业务节点侧。在一般情况下，如果接入网和业务节点间的传送网是基于 ATM 的传送网，则在接入网侧的 PSP 和业务节点侧的 PSP 之间不存在一一对应的关系。

(d) 逻辑业务端口 (LSP) 由在  $V_{B5}$  参考点处的一组 VP 组成。LSP 同时存在于接入网侧和业务节点侧，并且总存在一一对应关系。

通过使用扩展的 VP 寻址机制，在 NNI 处允许每个 SNI 最多可连接 16 个物理接口；在 UNI 处允许每个 SNI 最多可连接 256 个物理接口。

3.  $V_{B5}$  的一般应用

$V_{B5}$  的一般应用如图 9.44 所示。AN 和 SN 可以有多个  $V_{B5}$  接口，并通过传送网互连。传送网可以是基于 ATM 方式或 SDH 方式的传送网。由于  $V_{B5}$  在 VP 层定义，同一物理链路可以支持多个  $V_{B5}$  接口。

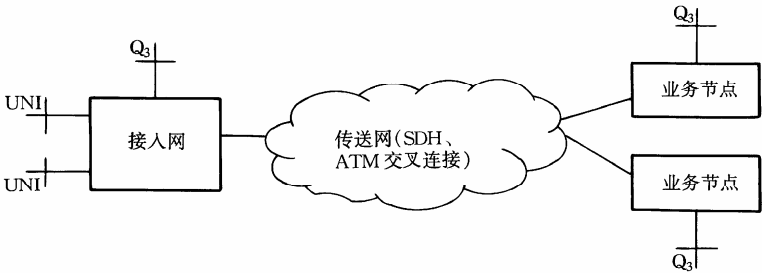


图 9.44  $V_{B5}$  的一般应用

$V_{B5}$  接口的关键特性是综合窄带用户接入类型，允许将窄带 (PSTN 和 ISDN) 接入与宽

带接入综合进一个接入网。所以  $V_{B5}$  接口为逐步从基于电路方式的窄带接入到基于 ATM 方式的宽带接入提供了过渡手段。

窄带接入（使用电路方式）和 B-ISDN 宽带接入业务在 ATM 层复用，通过 ATM 的电路仿真功能来传送。基于 ATM 的集合信息流通过  $V_{B5}$  接口来传送。

#### 4. 用户接入类型

$V_{B5}$  接口提供宽带和窄带 SNI 的综合，它支持下列 ITU-T I.435.1 建议定义的 B-ISDN 用户接入，这些用户接入具有通用 UNI 的特性：

(1) 符合 ITU-T 建议 I.435.2 中 155.520Mbit/s 和 622.080Mbit/s 的 B-ISDN 接入(基于 SDH 或基于信元)；

(2) 符合 ITU-T 建议 I.435.3 中 1.544Mbit/s 和 2.048 Mbit/s 的 B-ISDN 接入；

(3) 符合 ITU-T 建议 I.435.4 和 I.435.5 的 B-ISDN 接入；

为了提供从窄带接入网到宽带接入网的融合功能和适应已有业务节点的安排，按照 ITU-T G.902 建议的综合方案， $V_{B5}$  接口支持已规范的窄带接入：

(1) 符合 ITU-T G.964 建议的  $V_{5.1}$  接口；

(2) 符合 ITU-T G.965 建议的  $V_{5.2}$  接口。

除了 B-ISDN 和窄带用户接入以外， $V_{B5}$  接口也支持下列非 B-ISDN 用户接入：

(1) 不对称/多媒体业务的接入，例如 VOD；

(2) 广播业务的接入；

(3) LAN 互连功能的接入；

(4) 通过 VP 交叉连接可以支持的接入。

按照 B-ISDN 的原则，通过  $V_{B5}$  参考点的远端接入应支持交换的、半永久点到点和点到多点的连接。该接口提供单媒体或多媒体类型的面向连接和无连接的按需、预留和永久业务。

$V_{B5}$  接口的技术规范不规定各种技术要求在 AN 内的实施过程，即不限制任何技术要求的实现方法。而且  $V_{B5}$  接口也不要求接入网支持上述的全部用户接入类型。

$V_{B5}$  接口的技术规范不对 SN 内或通过  $V_{B5}$  连接至 SN 的任何系统或设备进行定义，所以该接口的技术规范仅描述接口的特性。

#### 5. 实时管理协调功能 (RTMC)

##### (1) RTMC 的基本功能

接入网和业务节点间需要就管理消息进行协调，通知业务节点在接入网中资源的状态(可用性)变化情况。

就可用性而言，接入网的资源主要指物理用户端口 (PUP)、物理业务端口 (PSP)、逻辑业务端口 (LSP)、虚通路连接 (VPC) 等。

资源的状态分为 4 种：可用、只允许用于测试呼叫、由于运营者的操作而不可用、由于故障而不可用。由于运营者的操作是通过  $Q_3$  接口或通过维护终端进行的，在这种情况下将无法与由于故障导致的不可用状态区分。

由于运营者的操作影响可用性的事件有：对 PUP、PSP，虚通路连接为封锁、关闭、解锁；对 PUP、LSP，有部分封锁、部分解锁。

封锁 (LOCK) 即禁止使用资源。在这种情况下，所有经接入网的正常呼叫和测试呼叫均被禁止。在半永久性连接上的信元流被中断。

解锁 (UNLOCK) 即恢复资源的使用，可在任何点发生。

关闭 (SHUT DOWN) 即在对正在进行的即时业务不产生任何干扰的情况下关闭资源。资源关闭后, 在该资源上不建立新的交换式连接。当最后一个交换连接释放时, 业务节点通过 RTMC 通知接入网, 资源的状态自动变为 LOCK, 用户信元流被禁止。

部分封锁 (PARTIAL LOCK) 即停止所有交换式连接, 并禁止在该资源上建立新的交换式连接。但接入网上有操作员启动的测试呼叫可以进行, 除非是有 KOCK 或 SHUT DOWN 等管理动作禁止。部分关闭对半永久性连接上的信元流 (包括承载 RTMC 协议的 VC) 没有影响。

部分关闭 (PARTIAL SHUT DOWN) 即在对正在进行的即时业务不产生任何干扰的情况下关闭资源。部分关闭后, 在资源上不再建立新的交换式连接 (包括新的测试呼叫)。当最后一个交换式连接释放后, 资源的状态自动变为部分封锁。

发生故障时, RTMC 可以改变接入网或业务节点中资源的可用性, 促进接入网和业务节点之间所需状态信息的协调。

另外逻辑业务端口标识 (LSP ID) 的确认, 用于检查  $V_{B5}$  接口连接的正确性。接口重置使所有协议实体和对端设置在有关确定的状态。虚通路连接标识 (VPCI) 一致性检查用于证实在  $V_{B5}$  参考点上的一致性和一个 VPCI 被正确地分配给一个 VP。

(2) 对 RTMC 的一般要求

① 接入网应将其内的资源 (PUP、PSP、LSP、虚通路连接等) 可用性的变化 (如不可用还需指明是接入网运营者操作措施和故障原因) 及时通知业务节点, 以使业务节点能决定它有无可能向用户提供业务, 但不要求业务节点将业务节点内资源可用性情况通知接入网;

② 当用于即时连接的用户信息流被拒绝时, 应能执行业务级别的测试;

③ 应能证实  $V_{B5}$  参考点上是否正确分配了虚通路连接标识符;

④ RTMC 功能应允许在接入网和业务节点对资源状态的再同步;

⑤ RTMC 协议性能不应因业务节点接口上其它复用业务流的传送而受到影响。

(3) 用于 RTMC 的 ATM 接入适配层 (AAL) 协议

RTMC 是接入网与业务节点间  $V_{B5}$  接口上的第 3 层协议, 它使用信令 ATM 适配层 (SAAL), 其基本协议是 AAL5 中消息模式业务。RTMC 还使用特定业务面向连接协议 (SSCOP) 和特定业务协调功能 (SSCF), 按照建议 Q.2130, 选择其中“确保数据传送”方式。

(4) RTMC 消息格式与编码

RTMC 消息格式如表 9.11 所示。

表 9.11 RTMC 消息格式

|          | 字节内容              |
|----------|-------------------|
| 第 1 字节   | 协议标识符             |
| 第 2-5 字节 | 事务处理标识符长度和事务处理标识符 |
| 第 6 字节   | 消息类型              |
| 第 7 字节   | 消息兼容性指令指示符        |
| 第 8-9 字节 | 消息长度              |
| 第 10 字节  | 信息元类型             |

|            |             |
|------------|-------------|
| 现代信息网      |             |
| 第 11 字节    | 信息元兼容性指令指示符 |
| 第 12-13 字节 | 信息元长度       |
| 第 14-n 字节  | 信息元内容（长度可变） |

其中第 1 字节为协议标识符格式，仅用于区分 V<sub>B5</sub> 协议与非 V<sub>B5</sub> 协议。

第 2-5 字节为事务处理标识符（TAID），用来识别在特定消息所加入的 V<sub>B5</sub> 协议虚通路上的事务处理。事务处理标识符的长度由第 2 字节的 1-4 bit 表示，第 3 字节的第 8 bit 为事务处理标识符的标志，表示来自或发到 TAID 发送侧的消息。TAID 由 23bit 表示，全“0”与全“1”均不用。

第 6 字节为消息类型，用于辨明消息所属的 V<sub>B5</sub> 协议及正在发送的消息功能（分为阻塞、非阻塞、一致性检查、请求 LSP 标识符、等待清除等），其中第 1 比特用以区分正常消息与确保消息。第 6 字节全“0”或全“1”暂不用。

第 7 字节为消息兼容性指令指示符，其中第 1、2bit 表示消息措施指示符，分为拒绝、丢弃与忽略、丢弃与报告等。

第 8~9 字节为消息长度，表示消息内容字节数的二进制编码。

信息元类型包括阻塞资源标识符（故障或操作原因、允许测试呼叫、全禁止）、协议错误原因、结果指示符、资源标识符。

信息元兼容性指令指示符表示信息元处理措施，例如拒绝、丢弃（又分为处理、报告、忽略等）。

(5) 资源标识符及其校验

资源标识符用于识别即时业务应用的资源，包括资源的类型、逻辑端口标识符和可选的单个或两个虚通路连接标识符（VPCI）值，资源标识符作为一种信息元的内容由 4~8 字节组成，如表 9.12 所示。

表 9.12 资源识别信息元结构

|          | 字节内容     |
|----------|----------|
| 第 1 字节   | 资源类型     |
| 第 2~4 字节 | 逻辑口标识符   |
| 第 5~6 字节 | 虚通道连接标识符 |
| 第 7~8 字节 | 虚通道连接标识符 |

资源类型中第 1~3bit 为资源指示符，以区分是逻辑业务端口或逻辑用户端口；第 5bit 区分业务节点侧资源用于按需业务或交换连接业务；第 6~7bit 指明逻辑业务端口或逻辑用户端口标识符未知或虚通路连接标识符未知（仅用在确保消息）。

逻辑端口标识符中逻辑用户端口或逻辑业务端口都由在 V<sub>B5</sub> 参考点内唯一的标识符所识别，采用 24bit 编码，其值为 0~16777215。

对于在接入网内交换连接或终止在接入网的 UNI 内的虚通路连接，将分配一个在对应的逻辑用户端口内唯一的虚通路连接标识符值。在采用用户—网络信令的情况下，应采用与用户—网络信令协议中为该虚通路连接分配的同样的 VPCI 值。对于终止在接入网的 V<sub>B5</sub> 参考点处的虚通路连接，将分配一个在对应 LSP 内唯一的 VPCI 值。VPCI 值由 16bit 构成，其范围为 0~65535。VPCI 值可以重复一次以指示连贯的虚通路连接的范围。

## 6. 宽带承载连接控制功能 (B-BCC)

### (1) 对 B-BCC 的原则要求

① B-BCC 基本功能是为业务节点请求接入网在逻辑用户端口与  $V_{B5.2}$  参考点之间建立、改进和释放虚信道连接提供一种方法。具体地说是针对用户的虚信道链路、业务端口虚信道链路以及它们之间的虚信道链路的互连,涉及到资源的分配、再分配、改进/协商、审计、复位、自动拥塞控制等过程。

② 利用 B-BCC 方法支持承载连接所涉及到的资源包括:用户端口、业务端口、VPCI、VCI、为虚通路连接所分配的带宽等,它们受业务节点和接入网的资源管理实体所管理。资源管理的功能包括连接接纳控制(CAC)功能。

③ B-BCC 功能应可应用到支持不同类型的用户业务:交换业务、(半)永久租用线业务。

④ 对于与承载业务有关的任务而言,接入网在 B-BCC 控制下其能力就像一个 ATM 交换机,因此所有与承载控制有关的 DSS2 中的信息元在接入网中都是可应用的。

### (2) B-BCC 所用 ATM 接入适配层协议

$V_{B5.2}$ B-BCC 使用 SAAL,其基本要求为 AAL5 及特定业务面向连接协议与特定业务协调功能,仅使用其中的“消息模式业务”及“确保数据传送方式”,对特定业务面向连接协议、特定业务协调功能的简化与 RTMC 协议相同。

### (3) 连接的建立

当与用户的新连接建立时,将触发业务节点的 B-BCC 连接控制应用,执行以下操作:分配连接参考号(CRN),映射有关承载控制的 DSS2 信息元,启动业务节点接口的 VPCI/VCI 的分配,映射所收到的有关用户—网络接口的信息。

接入网的 B-BCC 将执行以下操作:提供所要求的 ATM 传送能力,协商业务量参数,设定 ABR 参数,检查拥塞控制状态,保证所要求的服务质量状态。

连接参考号用于识别处于 B-BCC 程序控制的连接。所有的 VCC 状态使用连接参考号来管理,消息序列错误也使用连接参考号来检查。

### (4) 资源的分配

建立连接需要分配资源,只有当接入网有足够的资源可用于建立连接且能满足所要求的服务质量以及能维持对现有连接商定的服务质量时,接入网才能接受业务节点连接请求。

对于一个新连接,需要对业务节点接口和用户—网络接口分别分配虚通路连接标识符和虚信道标识符,B-BCC 支持下述分配方案。

当在业务节点接口或用户—网络接口仅有一个虚通路连接可用于建立请求的虚信道链路时,业务节点为虚通路连接指定一个专用的 VPCI 和 VCI,接入网按这一数据来建立虚信道链路,并根据业务节点所分配的带宽和缓冲器对所要求的 VPCI 更新带宽和虚信道标识符数值。

当在 SNI 或 UNI 有多于一个虚通路连接可用于建立请求的虚信道链路时,业务节点推荐一个最好的 VPCI/VCI 组合和一组可选取的 VCI 值及在虚通路连接内一个可用的 VCI 值,接入网应尽可能选用业务节点推荐的最好的 VPCI/VCI 组合,因为业务节点对它已经实现了所要求的连接接纳控制功能,但考虑到接入网内资源的特性,也允许从可选取的一组 VPCI 值中选择,选择的结果应报告业务节点,并按选择建立虚信道链路。

### (5) 业务量参数的协调与改进

#### ① 业务量参数的协调

在连接建立阶段，业务量参数的协调与改进可基于 Q.2962 采用下述两种方式之一进行：

a. 业务量参数是指 ATM 业务量描述符合可选的 ATM 业务量描述符。如果 B-BCC 连接控制应用不能够支持前者但能支持后者所给的参数，将以后者作为新的 ATM 业务量描述符来建立新的连接。

b. 如果 B-BCC 连接控制应用不能支持 ATM 业务量描述符中给定的参数，但至少能够提供在最低可接受的 ATM 业务量描述符中对应的信元速率，接入网应在调整 ATM 业务量描述符信息元中信元速率值之后进行连接建立。

② 在数据传送期间 ATM 业务量参数的改变

接入网在业务节点控制下可改变 ATM 业务量参数，所用程序基于 Q.2963.1~3，可使用 ATM 业务量描述符或最低可接受的 ATM 业务量描述符。业务量参数的改进措施包括按给定的新 ATM 业务量描述符保留对应资源或分配保留资源，相应设定用法参数控制（UPC）和网络参数控制（NPC）。

(6) 审计

审计使业务节点能够请求报告有关用于识别  $V_{B5.2}$  参考点用户端口的按需虚信道连接的完整信息,以便业务节点来检查跨过  $V_{B5.2}$  接口的虚信道连接路由和它对用户的相应连接。

(7) B-BCC 复位

在连接非正常释放时（例如因虚通路连接物理端口变为不可用，或系统再启动后虚信道链路状态不可知），B-BCC 控制资源复位到空闲状态。

(8) 自动拥塞控制（ACC）

ACC 的职责是监视、限制或减少接入网内同时处理的连接请求数。在产生连接请求或接受、拒绝连接请求的时候，接入网应向业务节点表明它的拥塞状态和拥塞级别（分为两个级别，其限值可由接入网设定）。当接入网出现拥塞时，业务节点应有能力减少向接入网发出的连接请求数量。

(9) B-BCC 消息格式与编码

消息类型编码（第 6 字节），用“001\*\*\*\*\*”表示  $V_{B5.2}$  B-BCC 协议，并根据第 1-5bit 区分分配、审计、再分配、改进等类型，每一类型中又分为确认、拒绝、完成等。如表 9.13 所示。

信息元类型字节编码区分为：连接参号、ATM 业务量描述符、宽带承载能力、OAM 业务量标识符、服务质量参数、逻辑用户端口标识符（含 VPCI、VCI）、逻辑业务标识符（含 VPCI、VCI）、连接未完成、拒绝原因、协议错误原因、可用比特率（ABR）建立参数、端对端传送时延、信元时延变化容限、可选性的 ATM 业务量描述符、最低可接受的 ATM 业务量描述符。信息单元详见表 9.14。

以上介绍的宽带接入网特别是 RTMC 与 B-BCC 的协议都正处在发展之中，随着宽带业务的推广应用，有关宽带接入网的规范将会不断完善。

表 9.13 B-BCC 协议消息集

| 程 序    | 消 息                                                       | 方 向   |
|--------|-----------------------------------------------------------|-------|
| 承载连接建立 | ALLOC , ALLOC-COMP                                        | SN→AN |
|        | ALLOC-ACC , ALLOC-REJ,<br>ALLOC-COMP-ACC , ALLOC-COMP-REJ | AN→SN |

|           |                                                                                               |       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 承载连接释放    | DEALLOC                                                                                       | SN→AN |
|           | DEAKKIC-ACC                                                                                   | AN→SN |
| B-BCC 置位  | BBCC-RESET                                                                                    | SN→AN |
|           | BBCC-RESET-ACC , BBCC-RESET-REJ                                                               | AN→SN |
| B-BCC 预同步 | BBCC-PRESYNC                                                                                  | SN→AN |
|           | BBCC-PRESYNC-ACC, BBCC-PRESYNC-REJ                                                            | AN→SN |
| 差错状态报告    | AN-FAULT                                                                                      | AN→SN |
|           | AN-FAULT-ACC, PROTOCOL-ERROR                                                                  | SN→AN |
| 承载连接修正    | MODIFY , MODIFY-COMP, MODIFY-ABORT                                                            | SN→AN |
|           | MODIFY-ACC , MODIFY-ABORT-ACC, MODIFY-ABORT-REJ, MODIFY-REJ, MODIFY-COMP-ACC, MODIFY-COMP-REJ | AN→SN |
| 点到多点的连接   | ADD-BRANCH, UPDATE-BRANCH                                                                     | SN→AN |
|           | ADD-BRANCH-ACC , ADD-BRANCH-REJ, UPDATE-BRANCH-ACC , UPDATE-BRANCH-REJ                        | AN→SN |
| 点到多点连接的删除 | DROP-BRANCH-ACC                                                                               | SN→AN |
|           | DROP-BRANCH-ACC, DROP-BRANCH-REJ                                                              | AN→SN |
|           |                                                                                               | AN→SN |

BCC 协议是不对称的，控制功能由 SN 完成。由 SN 使用 ALLOCATION 消息开始 AN 的连接。ALLOCATION 消息中的信息单元见表 9.14。

表 9.14 ALLOCATION 消息的信息单元

| 信 息 单 元          | 类 型 |
|------------------|-----|
| 连接参考号码           | 必选  |
| ATM 业务描述符        | 必选  |
| 宽带承载能力           | 必选  |
| OAM 业务描述符        | 任选  |
| 服务质量描述符          | 任选  |
| 用户端口连接标识符        | 必选  |
| 业务端口连接标识符        | 必选  |
| ABR 建立参数         | 必选  |
| 端—端转接时延          | 任选  |
| 信元时延变化容限         | 任选  |
| 其它 ATM 业务描述符     | 任选  |
| 最小可接受的 ATM 业务描述符 | 任选  |

通常发送 ALLOCATION 消息时，由于其它节点的连接参数会发生变化，不可能马上确定最终的连接参数，所以使用 UPDATE 消息作最后的确认。对于某些本地呼叫，则不需要 UPDATE 消息。



### 9.5.3 宽带用户接入技术

用户要实现宽带业务,首先要求用户线路具有传输宽带业务的能力。目前的用户线路主要为基于话音业务的铜线电缆,另外是传送有线电视的同轴电缆,但有线电视网是一个单向通信网络。而具有大容量信息传输能力的是光纤。如果把现有用户线路改造成光纤,投资巨大,需要很长的时间,所以一方面宽带业务的开展要充分考虑利用现有网络资源,另一方面要有逐步过渡的方式。

目前,从窄带接入网到宽带接入网的实现技术有 xDSL 技术、HFC 技术、FITL 技术。

#### 1. xDSL 技术

xDSL 包括 DSL (数字用户环路)、HDSL (高速数字用户环路)、ADSL (非对称数字用户环路)、VDSL (甚高速数字用户环路) 技术。

##### (1) DSL 技术

N-ISDN 网络中数字化的用户线称为数字用户环路 DSL(Digital Subscriber Loop), DSL 规定了分离用户平衡线对上双向传输信号的方法,以及克服用户环路中的噪声(如白噪声、回波和远端、近端串音)、减少桥接抽头上的信号反射等问题的解决方法。目前二线全双工传输的数字线的设计方案有两种,即以日本为代表的时间压缩调制 TCM(Time Compression Modulation)法(又称乒乓法)和以欧美为代表的自适应回波抵消 EC(Echo Canceller)法,其中应用的许多技术成为后来发展高速环路的基础。

TCM 是将连续比特流分割成等长的数据块,压缩成高速脉冲后,在一对平衡线上分时交替传送。发送时,将存放在发送缓存区中的数据块以脉冲串高速传送到线路上;接收时,将高速脉冲串存入接收缓存区,均衡后再恢复成原速率的连续比特流。

TCM 技术实际是指某段时间内分别传输收发两个方向的信息流,这样用户环路上的传输速率将是用户接入速率的两倍,这就是时间压缩的基本含义。考虑到线路上的传输时延和电子转换时间,以及线路上的帧同步操作、维护操作等额外开销,实际的线路传输速率将更高。如对于 N-ISDN 基本速率 2B+D,实际线路速率必须在 320kbit/s 以上。

TCM 方法实现上相当容易,不需要复杂的技术,同时非常容易避免近端串音。但是由于 TCM 方式使得线路码速率较高,高于系统对外提供的速率 2 倍以上,这一点和用户线路的实际传输特性正好相对抗,也就是说,实际的用户线对随着频率的上升,损耗急剧上升,串音衰耗急剧下降。所以 TCM 技术只适用于用户线长度较短的区域。

回波抵消方法是两个方向的信号使用同样的频带,同时在线路上传送,线路两侧各有一个混合线圈,由混合线圈提供  $2/4$  线转换,将两个方向的信号分开。混合线圈就像是一个平衡电桥,在理想情况下,它只允许信号从一条边上通过而不允许信号对穿过电桥。

然而实际混合线圈的对端衰耗不可能是无穷大。这样会使一部分发送信号漏到本侧的接收端而形成回波。另外,由于线路阻抗不匹配,也会使一部分发送信号反射到本侧接收端。由本侧混合线圈和线路产生的回波称为近端回波,由线路另一侧的混合线圈产生的回波称为远端回波。近端回波和远端回波加在一起就形成了对接收信号的干扰。这个干扰严重时会使有用信号,使通信无法进行。

抑制回波的有效方法是利用发送信号来产生估计的回波,然后将这个估计的回波送到本侧的接收端,和接收信号相减,即用估计的回波来抵消实际的回波,使接收端留下有用的信号。抑制回波的工作是由回波抵消器完成的。回波抵消器可以利用横切型滤波器实现,也可

以利用存储器实现。

回波抵消法由于有效地限制了线路上传输信号的频带,它的传输距离较长,最大可达 8km (0.6mm 线径)。但是实现电路比较复杂,而在微电子技术高度发达的今天,这已不是真正的缺点。所以回波抵消技术在数字用户环路技术中得到广泛应用。

## (2) HDSL 技术

所谓高比特率数字用户环路(HDSL)是 DSL 技术的进一步发展,HDSL 技术是在两对或三对铜线上提供全双工 1.5Mbit/s 或 2Mbit/s 数字信息传输的技术,传输距离可达 3-5Km(0.4-0.6mm 线径)。可利用现有铜缆用户线中的两对或三对双绞线来提供全双工的 1.5 Mbit/s 或 2Mbit/s 数字连接能力。应用时,只需在交换机侧和用户侧分别安装交换线路模块(局端机)和网络终端模块(远端机)即可提供透明的 1.5 Mbit/s 或 2Mbit/s 速率的传输能力。由于 HDSL 采用了高速自适应数字滤波技术和先进的信号处理技术,因而可以自动处理环路中的近端串音、噪声对信号的干扰、桥接和其它损伤,适应多种混合线路或桥接条件,无需再生中继器传输距离可达 3~5km (0.4~0.6mm 线径),而原来的 1.5 Mbit/s 或 2Mbit/s 数字链路每隔 0.8~1.5km 就需要设一个再生中继器,而且还要严格的选择测量线对。因而 HDSL 不仅提供了较长的无中继传输能力,而且简化了安装维护和设计工作,也降低了维护运行成本,可适用于所有非加感环路。

采用 2Mbit/s 传输体制时,HDSL 可以有 3 种不同的传输方法:

### ① 2 对双绞线上传输 CAP 信号

此时 HDSL 需要有 2 对双绞线来支持,并采用无载波调幅/调相(CAP)线路码型,每一符号含 4bit 信息,每一对双绞线上可以发送和接收双向 1.168Mbit/s 线路信号。在终端处再将两对双绞线上的 1.168Mbit/s 线路信号同步结合起来形成与标准 2.048Mbit/s 速率兼容的 HDSL 帧信号。在 0.4mm 线径双绞线上能传 3km 以上,最远可以超过 4km。

### ② 2 对双绞线上传输 2B1Q HDSL 信号

此时 HDSL 采用了传统 ISDN 所使用的一种 4 电平脉幅调制基带线路码(2B1Q 码),连续 2 个比特经 2B1Q 编码转换为 1 个 4 进制模拟脉冲幅值。这种码型可以使传输比特率降低 50%。每对双绞线仍然发送和接收双向 1.168Mbit/s 线路信号,终端处再将两个 1.168Mbit/s 线路信号同步结合起来形成标准的 HDSL 帧信号。采用这种方式的系统在 0.4mm 线径双绞线上能传 2.8km 以上,最远可超过 3.2km。若线径适当增加则传输距离可达 3~4km。鉴于这种 2 对线方案所用设备少,比较经济,可靠性高,易于设计安装,2B1Q 码又比较成熟,因而应用较多。

### ③ 3 对双绞线上传输 2B1Q HDSL 信号

此时 HDSL 需要有 3 对双绞线来支持,与 2 对线不同之处在于每对线发送和接收双向信号的速率为 784kbit/s。由于每对线传输速率较低,因而传输距离可以比 2 对线方案增加 300~400m,但多用 1 对收发设备和双绞线,成本较高,应用较少。

## (3) ADSL 技术

ADSL 是在现有双绞线上传输高速非对称数字信号的一种新颖技术,它只需在双绞线两侧各装一个 ADSL 收发机(实际是一种高级调制解调器)即可提供新的高速数字通路。

ADSL 系统的基本原理是“不对称”,即在下行方向传送高速数字信号(可高达 6.144Mbit/s 甚至更高),而在上行方向用户发送机工作在很低频率(仅 576Kbit/s 左右)。这样可以保证用户侧的串音比对称传输系统低很多,从而确保传输距离。在 ADSL 收发机中使用带通调制方

式, 可以将高速数字信号安排在普通电话频段的高频侧, 再用滤波器滤除诸如环路不连续点和振铃引起的瞬态噪声干扰后即可与现有电话信号在同一对双绞线上共存而互不影响。ADSL 还采用自适应的数字均衡器来自动调节与每一双绞线的适配并跟踪由于湿度、温度或连续干扰源所引起的任何变化。

ADSL 系统除了采用网格编码和前向纠错技术, 克服高斯白噪声和脉冲噪声以提高信道传输质量外, 并且应用了非对称回波抵消技术; 另外一个关键因素是采用了先进的调制技术, 这其中有正交调幅 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 技术、无载波调幅/调相 CAP (Carrierless Amplitude/Phase Modulation) 技术以及离散多音频调制 DMT (Discrete Multitone Modulation) 技术。其中 QAM 和 CAP 并无本质区别, CAP 是无载波的 QAM, 比 QAM 灵活并且实现费用低。但是这两种技术一般仅能提供 1.5Mbit/s 传送速率, 所以比较高的比特传送建议使用 DMT 技术。下面分别加以介绍。

### ① 正交调幅 QAM

正交调幅 QAM 是一种十分成熟并广泛应用的技术, 基本方法是将数据分解成两个半速率数据流, 然后再调制正交载波进行传输。在接收端, 利用正交性解调出两个数据流再进行检测。这种方式频谱利用率可以作得很高, 设备也不太复杂, 还能做到与下述的 CAP 码兼容。但是信号状态很多时对信道幅相畸变和选择性衰落很敏感, 需要采用多种信道线性化措施和均衡措施。

### ② 无载波调幅调相 CAP

无载波调幅/调相 (CAP) 技术在原理上类似 QAM, 但不使用载波, 而是通过两个数字横向带通滤波器进行调制, 其输出结合起来即形成了发送信号。在接收侧用“软判决”技术对信号进行解调, 再用判决前馈均衡器对电缆芯径变化和桥接抽头进行适配。CAP 采用二维线性码, 并进一步结合网格码来减少近端串音。由于是带通传输方式, 因而没有低频延时畸变, 也不受脉冲干扰低频分量影响, 可以用较简单的回波抵消器, 在频谱形成和安置方面也有较大灵活性。

总的看来, CAP 方案比 QAM 灵活, 又比下面要介绍的 DMT 方法简单。然而工作效率尚比 DMT 方法低。

### ③ 离散多音频调制 DMT

离散多音频调制 DMT 又称多载波调制, 是一种正交的频分复用方式, 采用正交幅移键控方式。最大优点是发送和接收都可利用高效的快速傅立叶变换和反变换来实现, 其作用是完成 QAM 信号与数字形式的副载频信号之间的变换, 再利用数模转换和滤波器构成模拟信号。离散多音频调制的基本方法是将通路分成大量的子通路, 在每个很窄的子通路频带内电缆的特性可以近似认为是线性的, 因而脉冲混叠可以减到最低程度。尽管来自脉冲干扰的能量会影响接收信号, 但采用 FFT (快速傅立叶变换) 可以将这种影响扩展到 FFT 窗口内的大量子通路, 因而其影响大大减轻。在每个子通路内所送的数据比特数可以根据每个子通路内信号和噪声大小自适应的变化。因而 DMT 技术可以使每个特定环路的性能最佳并且能使系统自动地避免工作在干扰较大的频段。为了更好的压抑脉冲噪声, DMT 不仅采用前向纠错码, 而且往往还采用附加的网格编码技术。就性能而言, DMT 是比较理想的方式, 信噪比最高, 传输距离较远 (或同样距离下传输速率较高), 支持的厂商较多, 但设备复杂, 成本较高。

ADSL 技术最主要的特性是“不对称”, 而这一特点恰好与接入网的图像和数据业务量的固有不对称性相适应。显而易见, 图像业务信息主要是从网络流向用户方向的。数据业务同

样也是不对称的,对 Internet 业务量的统计分析表明,不对称至少 10:1 以上。因而,不对称的 ADSL 系统可以合理的提供适应这一固有业务量特征的不对称业务。

#### (4) VDSL 技术

VDSL 也是现有铜线上传输高速数字信息的技术。目前 VDSL 尚未实现国际标准化,ETSI 的 VDSL 系统规范把 VDSL 分为两类,一类的最高传输速率为 24Mbit/s,下行上行速率比为 6:1、3:1 两种。另一类的最高传输速率为 36Mbit/s。ANSI 规范的 VDSL 非对称传输时最高速率为 52Mbit/s,下行上行速率比为 8:1、4:1,对称传输时最高速率为 52Mbit/s,传输距离可达到 300-1000m。

VDSL 中实现双向传输的技术有频分复用和时分复用两种方案。频分复用分别为对称和非对称传输分配不同带宽,时分复用是在超帧中分配不同的时隙。由于频分复用 VDSL 系统在中心局侧和 ONU (光节点单元) 处的调制解调器必须通过标准超帧时钟严格同步以使系统避免近端串音的影响,难以达到不同供应商产品之间的兼容性,故目前普遍推荐频分复用为 VDSL 的双工解决方案。

VDSL 系统的调制技术有单载波调制技术和多载波调制技术,单载波调制技术包括正交幅度调制 (QAM) 技术和无载波幅度/相位 (CAP) 调制技术。多载波调制技术主要是离散多音 (DMT) 调制技术。

ADSL、VDSL 技术的应用如图 9.45 所示。

#### 2. 光纤同轴混合 (HFC) 接入网

光纤同轴混合接入网是 AT & T 公司于 1994 年提出的宽带接入方式。这种方式将光纤用于干线部分来传输高质量的信号,配线网部分基本保留原有的树型—分支型模拟同轴电缆网,这部分同轴电缆网还负责收集来自用户的回传信号并经若干双向放大器放大后到光纤节点再经光纤传给前端。简而言之,HFC 网是一种以模拟频分复用技术为基础,综合应用模拟和数字传输技术、光纤和同轴电缆技术、射频技术以及高度分布式智能技术的宽带接入网络,是 CATV 网和电话网结合的产物,也是将光纤逐渐推向用户的一种新的经济的演进策略。

通用 HFC 的结构框架如图 9.46 所示。

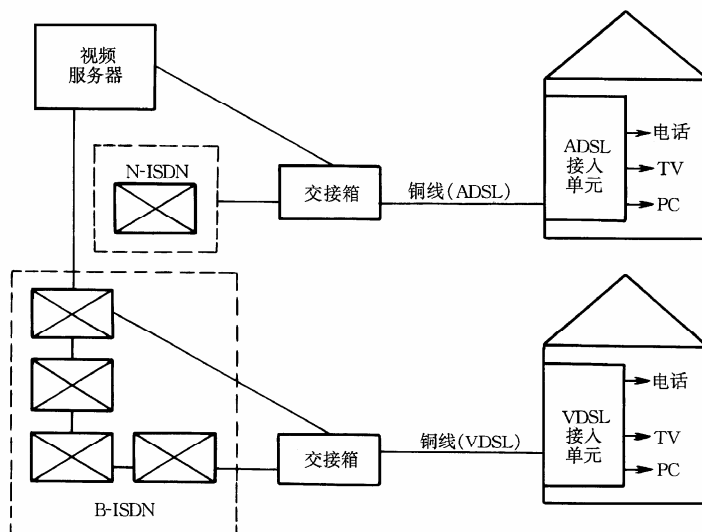


图 9.45 ADSL VDSL 应用

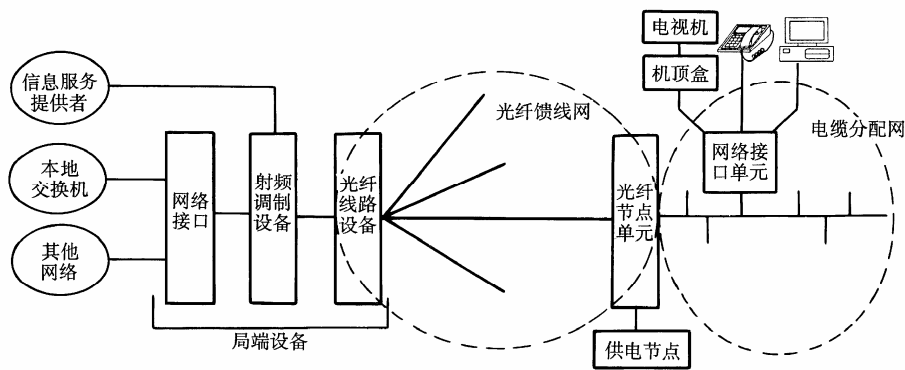


图 9.46 通用 HFC 结构框架

与传统 CATV 网相比，HFC 网络结构无论从物理上还是逻辑拓扑上都有重要变化。现代 HFC 网大多采用星型/总线结构，HFC 网是由馈线网、配线网和引入线三部分组成。HFC 的馈线网是指前端机至服务区光节点之间的部分，大致相当于 CATV 的干线段。

HFC 的配线网是指服务区光节点与分支点之间的部分，大致相当于电话网中远端节点与分线盒之间的部分。在一般光纤网络中服务区越小，各个用户可用的双向通信带宽越宽，通信质量也越好。但是，服务区小意味着光纤靠近用户，即成本上升。HFC 采用的是光纤和同轴电缆的混合接入，因此要选择一个最佳点。

引入线是指分支点至用户之间的部分，因而与传统的 CATV 网相同。

目前较为适宜的是在配线部分和引入线部分采用同轴电缆，光纤主要用于干线段。

HFC 采用副载波调制进行传输，以频分复用方式实现话音、数据和视像的一体化传输，其最大的特点是技术上比较成熟，价格比较低廉同时可实现宽带传输，能适应今后一段时间内的业务需求而逐步向 FTTH（光纤到用户）过渡。无论是数字信号还是模拟信号，只要经过适当的调制和解调，都可以在该透明通道中传输，有很好的兼容性。

HFC 的频谱安排如图 9.47 所示。从图中可以看出，低频段 5~30 MHz 频段用于上行电信业务，主要用于电话信号，其带宽为 25 MHz。

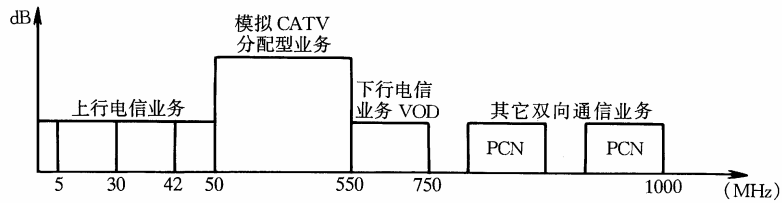


图 9.47 HFC 的线路频谱安排

近年来，由于考虑点播电视的信令和监视信号以及电话和数据等其他应用的需要，并由于滤波器质量的提高，上行通道的频段倾向于扩展为 5~42 MHz，共 37 MHz。其中 5~8 MHz 用来传送状态监视信号；8~12 MHz 用来传送 VOD 信令；15~40 MHz 用来传送电话信号，其带宽仍是 25 MHz。

50~1000 MHz 频段均用于下行业务,其中 50~550 MHz 频段用来传输现有的模拟 CATV 信号,每一个频道的带宽为 6~8 MHz,总共可传输各种不同制式的电视信号 60~80 路。

550~750 MHz 频段用来传输附加的模拟 CATV 信号或数字 CATV 信号。但目前倾向于传输双向交互型通信业务,特别是点播电视业务。该频段大概可以传输 200 路 VOD 信号。

高端 750~1000 MHz 频段已明确仅用于各种双向通信业务,其中两个 50 MHz 频段用于个人通信,其他未分配的频段可以有各种应用以及应付未来可能出现的其他新业务。

到目前为止,HFC 的构思、产生和发展基本上是自发的市场驱动的结果,然而其下一步的发展正开始纳入标准化的发展轨道。并与 MPEG-2 和 ATM 等最新技术发展方向接轨。

3. 光纤接入网(OAN)

所谓光接入网也称为光纤用户环路 (FITL),就是采用光纤传输技术的接入网,泛指本地交换机或远端交换模块与用户之间采用光纤通信或部分采用光纤通信的系统。通常,FITL 指采用基带数字传输技术并以传输双向交互式业务为目的的接入传输系统,将来能以数字或模拟技术传输宽带广播式和交互式业务。通用光纤接入网的结构如图 9.48 所示。

FITL 不是传统的光纤传输系统,而是一种针对接入环境所设计的特殊的光纤传输系统,又可分为无源光网络 (PON) 和有源光网络 (AON),两者的分路方式不同,前者用无源光分路器,后者用电复用器(可以为 PDH、SDH 或 ATM)。从光接入网系统接入方式看,FITL 有三类接入方式:

(1) 综合的 FITL 系统

这类系统的主要特点是通过一个开放的高速数字接口与业务节点(交换机)相连。由于接口是开放的,因而 FITL 系统不必依赖于业务节点设备制造厂商,可以工作在多厂家环境,有利于竞争机制的引入,从而降低了接入网成本。

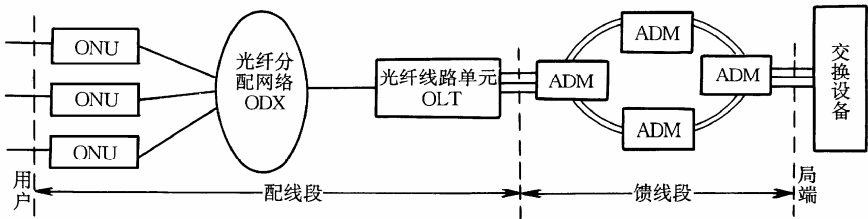


图 9.48 通用光纤接入网结构

(2) 通用的 FITL 系统

这类系统在 FITL 和业务节点(交换机)之间需要应用一个局内终端设备,其功能是进行数模转换并将来自 FITL 系统的信号分解为单个的话带信号,以音频接口方式经音频主配线架与交换机相连。由于接口是音频话带接口,因而这种方式适用于任何交换机环境,包括模拟交换机和尚不具备标准开放接口的数字交换机。然而,这种方式的成本和维护费用要比综合的 FITL 系统高。其好处是通用性强。

(3) 专用交换的 FITL 系统

这类系统与业务节点(交换机)之间不存在开放的标准接口,而是工厂自行开发的专用内部接口,因而交换机和 FITL 系统必须由同一制造厂家生产。不具通用性,将逐渐被淘汰。按照 ONU 在光接入网中所处的具体位置不同,FITL 可分为三种不同的应用类型。

(1) 光纤到路边 (FTTC)

在 FTTC 结构中，ONU 设置在路边的入孔或电线杆上的分线盒处，有时也可能设置在交线箱处。此时从 ONU 到各个用户之间的部分仍为双绞线铜缆。若要传送宽带图像业务，则除了距离很短的情况外，这一部分可能会需要同轴电缆。这样 FTTC 将比传统 DLC 系统的光纤化程度更靠近用户，增加了更多的光缆共享部分。

(2) 光纤到楼边 (FTTB)

FTTB 也可以看作是 FTTC 的一种变形，不同之处在于将 ONU 直接放到楼内（通常为居民住宅公寓或小企事业单位办公楼），再经多对双绞线将业务分送给各个用户。FTTB 是一种点到多点结构，通常不用于点到点结构。FTTB 的光纤化程度比 FTTC 更进一步，光纤已敷到楼，因而更适用于高密度区，也更接近于长远发展目标。

(3) 光纤到用户 (FTTH) 和光纤到办公室 (FTTO)

在原来的 FTTC 结构中，如果将设置在路边的 ONU 换成无源光分路器，然后将 ONU 移到用户房间内即为 FTTH 结构。如果将 ONU 放在大企业事业用户大楼终端设备处并能提供一定范围的灵活的业务，则构成所谓的光纤到办公室 (FTTO) 结构。FTTO 主要用于大企业事业用户，业务量需求大，因而结构上适用于点到点或环型结构。而 FTTH 用于居民住宅用户，业务量较小，因而经济的结构必须是点到多点方式。总的看来 FTTH 结构是一种全光纤网，即从本地交换机到用户全部为光连接，中间没有任何铜缆，也没有有源电子设备，是真正全透明的网络。

FTTC、FTTB、FTTH 的应用如图 9.49 所示。

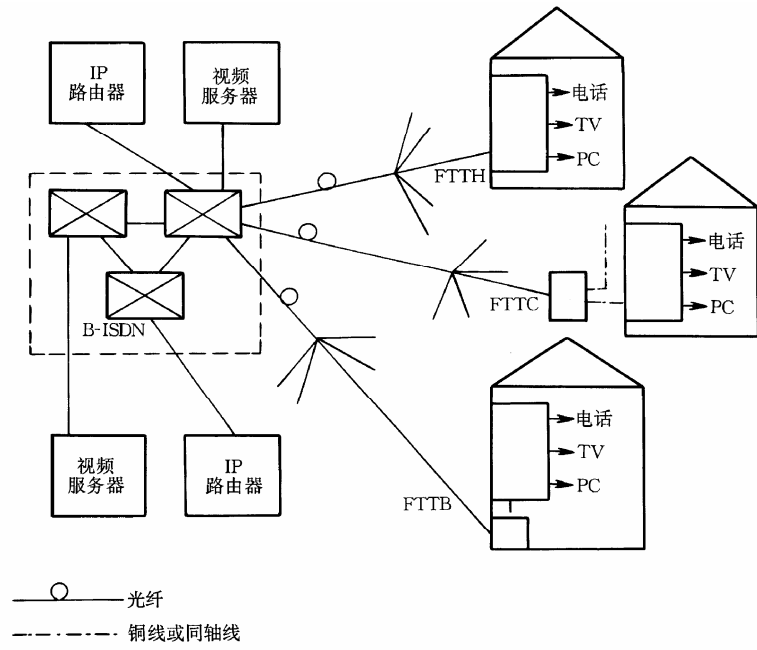


图 9.49 FITL 的应用

4. ATM 无源光网络 (APON)

在无源光网络上实现基于 ATM 的信元传输的技术，即 ATM-PON（简称 APON）技术。在 APON 系统中，为加强其高可靠性，ITU-T 提出采用一对光纤进行双纤全双工传输，系统带宽采用 TDM 方式，进一步可考虑采用 WDM 技术。这种点到多点的多分支结构特别适合

于未来将大量出现的下行分配型数字视频业务，如 MPEG-2、JPEG 视频流等。ATM 信元通过信头的 VPI/VCI 进行二级寻址，并根据不同业务的 QoS 进行不同的转接处理。例如：对于话音业务，要保证时延不超过规定的范围。而对于视频业务（有线电视或 VOD），不仅对时延有严格要求，而且对传输带宽有很高的要求。为此 APON 系统中采用永久性 VP 连接，以简化连接信令和呼叫处理过程。

APON 下行传输速率一般可达 155Mbit/s，足以满足视频/VOD 业务所需要的带宽。如果还需要传送分配型的业务，可将下行传输速率提高至 622Mbit/s。APON 系统 155Mbit/s 的传输帧中，下行接口由连续的时隙流组成，每一个时隙包含 53 字节（1 个信元），其中每 28 个时隙插入一个物理层维护管理（PLOAM）信元，其余为 ATM 信元，即每帧长度为 56 个时隙，其中两个时隙传送 PLOAM 信元。在 622Mbit/s 的下行传输帧中包含 8 个 PLOAM 时隙，共 224 个时隙。上行传输帧中包含 53 个时隙，每一个时隙包含 56 个字节，其中 3 个字节是开销字节，其内容由 OLT（光线路终端）编程决定。开销字节包含 3 个部分：防卫时间（用来防止上行信元间的碰撞，最短长度为 4bit）、前置码（用于比特同步和幅度恢复）、定界符（用于标示 ATM 信元的开始）。另外，上行时隙可以包含一个分割的时隙，由来自 ONU 的大量微时隙组成，媒介访问控制协议可利用它们来传送 ONU 的排队状态信息，实现动态带宽分配。

APON 的结构如图 9.50 所示，系统工作时，对于上行信道，来自各个网络终端的用户数据由相应的 AAL 适配成 ATM 格式，然后进入传输系统；对于下行信道，从传输系统接收到的 ATM 信元根据它们的 ATM 信头值进行分路，然后再转换成原数据格式送往用户。

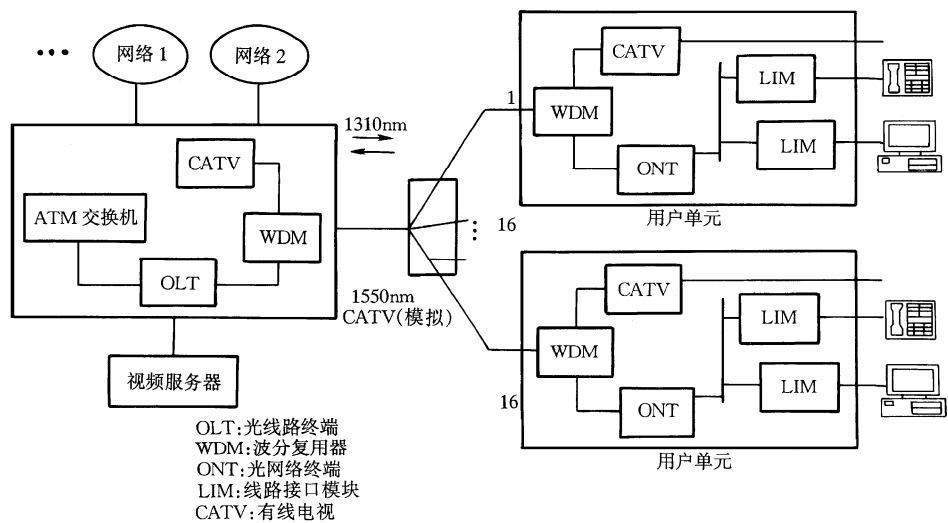


图 9.50 APON 系统的结构

为了最大限度地利用带宽，APON 给每个 ONU 都分配相同的频带。并在上行信道中采用 TDMA 方式来解决多个 ONU 同时往上行信道发送信息时可能产生的冲突。



# 第十章 宽带 IP 网

进入 90 年代以来，Internet 网络规模、数量以及业务量呈指数增长，据预测到 2000 年，Web 用户数将达到 1.6 亿。随着用户数的剧增和多媒体业务的迅速发展，传统 IP 网络的带宽越来越成为 IP 网发展的瓶颈。为了满足用户数增长的需求，各种宽带的 Internet 新技术不断涌现，例如 IP Over ATM、多协议标记交换、IP Over SONET/SDH、IP Over WDM 和 Internet QoS 等成为 Internet 的主要网络技术。本章就有关宽带 IP 网及其相关技术作较详细的介绍。

## 10.1 IP

迄今为止，由于 Internet 网络的用户数急剧膨胀，同时人们在网络上开发各种新的应用，例如利用 Internet 点播视频、Internet 上的话音通信等，导致网上信息流量持续增加，由路由器加专线技术构成的传统网络结构存在的问题将逐渐显示出来。例如：现有路由器寻址速度低，吞吐量不够，用户接入速率低；传统 IP 网络不能保证服务质量（QoS），特别是多媒体业务（IP 电话、视频点播 VOD 等）的服务质量问题；网络规模扩大导致路由器寻址时跳数过多，传输时延增大，网络性能下降；路由协议对跳数限制的同时也限制了网络的规模和路由器端口数量；传统的 IP 网所使用的 IPv4 协议对实时业务、灵活的路由器机制、流量控制和安全性能的支持不够，地址资源也短缺等。

为了解决上述问题，只有采用 IP 与 ATM、SDH、WDM 结合才能真正实现 IP 网的高速化和带宽业务应用，并通过在路由器之间引入 ATM 交换设备，减少以往过多的路由器跳数（hop）所产生的花费，降低网络的复杂性，解决传统路由器骨干网的拥塞，大幅度提高网络性能，保证服务质量（QoS）。这三种基本体制是：

- IP Over ATM。ATM 的特点是速度快，容量大，支持业务能力强；IP 的特点是结构简单，连接灵活，容易扩充。将 IP 协议与 ATM 层结合，把选路和交换融为一体，二者优势互补，达到灵活、高效之目的。不足之处是结构复杂，开销损失大（达 25%~30%）。

- IP Over SDH。这种体制是将 IP 数据通过点到点协议，直接映射进 SDH 的虚容器（VC）中，可简化体系结构，提高传送效率，降低成本，方便地实现网间互连。特别是随着吉（千兆）比特交换路由器（GSR）的成熟，大大降低了分组的延迟（达 ms 级），对于远距离点对点 IP 通信骨干网，这种体制是一种理想的解决方案。其缺点是拥塞控制能力较弱。

- IP Over WDM。这种体制可省去中间层 ATM 和 SDH，在光纤上直接构建 IP 网，即路由设备直接与光纤相连接。它的实现拟分两步走：第一步是利用现有的光传送网，将 IP 的高速路由器直接接入 SDH 的 STM-16 或 STM-64，实现点到点 IP 传送。第二步是开发全新的线路接口，在发端和收端都不再进行电/光和光/电转换。这就需要解决适配协议、网管协议

等技术难点，实现多种速率随机接入和多点传送。

对于宽带 IP 网络通信来说，以上 3 种基本体制各有特长，估计还会共存相当长的时间。从长远发展看，IP Over WDM 更具竞争实力，可能成为未来宽带 IP 网络通信体制的首选解决方案。

## 10.2 IP

### 10.2.1 ATM 与 IP 相结合的两模型

ATM 网络具有传统电信网络以及传统分组交换网络所不具有的支持高速综合业务的功能，但 ATM 网络并不能取代现有的电信网络和计算机网络。这是因为现有的各种网络的投资非常巨大，并且这些网络还承载着大量的应用（特别是 Internet 与各种应用已经结合得非常好）。因此 ATM 网络必须和现有的各种网络互连，特别是必须支持现有的各种网络应用。近年来 Internet 飞速发展，ATM 为了分享 IP 网络的庞大用户群，很需要与 IP 网络相结合。另一方面，Internet 由于通信量剧增，已开始将 ATM 技术用于宽带的主干网。虽然在主干网中用高速路由器代替 ATM 交换机也是可以的，但至少在目前，高速路由器的价格要比 ATM 交换机贵得多。简言之，目前在高速主干网方面，ATM 占优势。但在与各种应用相结合的领域，则 IP 占优势。所以 ATM 如何更好地与 IP（IP 包括 IP 协议和 IP 网络）相结合已经成为目前网络领域研究的重要课题。因为这两种技术相差很大，所以 ATM 与 IP 相结合是一个很复杂的问题。

ATM 是面向连接的，而 IP 是无连接的。当我们在一个 ATM 网络上传送 IP 分组时，可以有两种选择。第 1 种方法是每传送一个分组就根据需求建立一条 ATM 连接，而第 2 种方法是在事先配置好的连接上传送。当所传送的数据量很少时，第 1 种方法的开销就太大，而第二种方法所使用的连接可能并不是最佳的，当数据量较大时有可能产生过载。

ATM 的一个突出优点就是有服务质量 QoS 的保证。当建立一条连接时，在信令报文中就包含连接的带宽和时延等参数。但 IP（目前是 IPv4）则没有服务质量的概念，每一个分组按照“尽最大努力”的原则由路由器转发。若要利用 ATM 网络所保证的 QoS，IP 协议就要作适当的修正。

实现 ATM 与 IP 相结合，ITU-T SG13 网络总体组把相应的解决方案分为两种模型：重叠模型和集成模型，如图 10.1 所示。

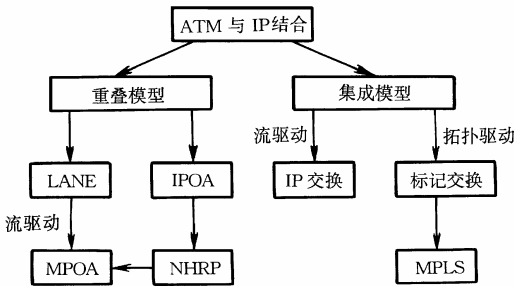


图 10.1 ATM 与 IP 结合技术的两种模型

### (1) 重叠模型

重叠模型的实现方式主要有：Internet 网络工程组 IETF 推荐的 IPOA（IPOA：IP Over ATM）、ATM Forum 推荐的 LAN 仿真（LANE：LAN Emulation）和多协议 MPOA（MPOA：Multi-protocol over ATM）等。重叠技术的主要思想是：IP 的路由功能仍由 IP 路由器来实现。需要地址解析协议（ARP）实现介质访问控制（MAC）地址与 ATM 地址或 IP 地址与 ATM 地址的映射。而其中 MPOA 不需要传统的路由器，任何具有 MPOA 功能的主机或边缘设备都可以和另一设备通过 ATM 交换直接连接，并由边缘设备完成包的交换即第三层交换。该技术标准完善成熟，采用 ATM Forum/ITU-T 的信令标准，与标准的 ATM 网络及业务兼容。但该技术对组播业务的支持仅限于逻辑子网内部，子网间的组播通过传统路由器，因而对广播和多发业务效率较低。重叠模型中几种结合方式将在 10.2 节讲述。

### (2) 集成模型

集成模型的实现技术主要有：Ipsilon 公司提出 IP 交换（IP Switch）技术、Cisco 公司提出的标记交换（Tag Switch）技术和 IETF 推荐的多协议标记交换（MPLS）技术。集成模型的主要思想是：将 ATM 层看成 IP 层的对等层，把 IP 层的路由功能与 ATM 层的交换功能结合起来，使 IP 网络获得 ATM 的选路功能。ATM 端点只需使用 IP 地址标识，从而不需要地址解析协议。该技术传输 IP 数据包效率较高，且不需要地址解析协议。但目前标准还未完成，与标准的 ATM 技术结合不是很好。集成模型中的几种交换方式将在 10.4 节中讲述。

## 10.2.2 ATM 与 IP 相结合的高速传输

### 1. 基于 ATM 的局域网互联—局域网仿真(LANE)

#### (1) LANE 概述

ATM 局域网是指以 ATM 结构为基本框架的专用网络，它以 ATM 交换机作为网络中的交换节点，通过 ATM 接入设备把各种业务接入到 ATM 网络，实现相互间的通信。ATM 网络具有带宽大，速度高，并且能提供业务质量 QoS 服务等多种优点，使得 ATM 局域网在性能上大大优于传统共享媒体的局域网。

ATM 技术是通信网发展的趋势，ATM 要成为局域网的主流技术，就必须解决与现有局域网综合的问题。局域网是非常成熟的技术，它价格低廉，符合标准。目前世界上大约安装了 4 亿个以太网节点，而且每年还要新增 1 亿个。按目前的情况，传统的局域网还将在很长时间内继续使用，如果不能与局域网大规模的基础设备综合，纯粹的 ATM 只能应用于孤立的网络，虽然网络的性能很高，却无法与其他媒介的网络通信。显然，这种技术没有生存价值。因此，ATM 局域网必须解决和传统局域网的互连问题，允许传统局域网用户不必安装任何新的软硬件设备，就可以通过 ATM 局域网互通，或者和标准的 ATM 终端设备通信。

传统的局域网大部分是以 IEEE 802 标准为基础，IEEE 802 标准定义了一种共享媒体模式的结构，通过共享媒体将各个节点连接起来，形成一个网络。网络中的节点也称为客户，每个客户按照一定的带宽占用共享媒体。共享媒体是网络节点间传递信息的通道。大多数企业的业务量都是在 LAN（如以太网 IEEE 802.3 和令牌环 IEEE 802.5 网络）上发布的。这些传统 LAN 提供一种多接入广播介质、无连接业务和独立于网络拓扑结构的寻址方案（不分层方案）。

以太网 IEEE 802.3 协议定义 OSI 七层参考模型的数据链路层和网络层。数据链路层又划

分成两个子层,分别为 MAC (介质访问控制) 和 LLC (逻辑链路控制) 子层。MAC 主要定义了网络中的客户如何访问、共享或管理通信链路,LLC 为网络层协议提供访问不同 MAC 协议的公共接口,使网络层协议独立于通信媒介。

MAC 地址表示数据帧的源地址和目的地址,对应于网络接口卡。源主机在通信前,只知道目的主机的网络层地址,为了确定目的主机的 MAC 地址,它向网络中广播一个数据帧,该帧专门负责询问目的主机的 MAC 地址。目的主机看到这个数据帧后,以自己的 MAC 地址向源主机作出应答,源主机得到目的主机的 MAC 地址后,就可以在两台主机间顺利进行通信了,上述寻找目的地址的过程称为地址解析 (ARP)。

使现有大量局域网(包括以太网 IEEE 802.3 和令牌环网 IEEE 802.5)上的应用能够在 ATM 上继续使用,以实现现有局域网和 ATM 之间的互操作性,关键的问题是在现有局域网和 ATM 网上使用相同的网络层协议,如互联网协议 (IP) 和互联网分组交换协议 (IPX)。

在 ATM 上实现网络层协议有两种方法。一种方法称为传统方式,就是在 ATM 上直接支持网络层协议,如 IP 和 IPX,使用地址解析机制将网络层地址直接映射成 ATM 地址,这样网络层的信息包就可以通过 ATM 网络进行传送了(例如下节所讨论的 IPOA)。另一种方法就是本节要讲的局域网仿真。

传统局域网与 ATM 提供的服务有如下区别:

- ATM 采用面向连接的点对点的通道复用方式来传输数据;而传统局域网是以非连接方式来传输数据的。
- 由于传统局域网是共享媒体的,因此比较容易实现广播 (Broadcast) 或组播 (Multicast) 通信;而 ATM 则要采用较复杂的技术来实现。
- 传统局域网以不定长度的帧 (Frame) 为单位来传输数据;而 ATM 则采用固定长度信元,每个信元只有 53 字节。
- 传统局域网 MAC 地址基于硬件,与网络拓扑无关;而 ATM 地址则由网络确定。

虽然 ATM 技术有非常好的性能指标,但大多数数据局域网用户仍希望在向 ATM 演化的过程中继续使用现有的局域网业务,提供平滑过渡方案。为此 ATM 论坛定义了一种 ATM 业务,称为局域网仿真 (LAN Emulation)。

所谓局域网仿真 (LANE),就是按一定的协议标准,在 ATM 上模拟传统局域网,通过 ATM 网将多个传统局域网和终端设备互连,在 ATM 网上构造新的局域网,这些局域网节点间的通信方式与传统局域网完全相同。ATM 论坛制定了局域网仿真的标准,1995 年公布了 1.0 版标准,1996 年推出 2.0 版。协议主要规定了 LUNI (局域网仿真用户网络接口) 的标准,LUNI 定义了以太网和令牌环网上的 PC 及工作站在 ATM 网络中的通信方式,以及 ATM 服务器与传统局域网设备通信的方法。LUNI 还可以在全 ATM 网络中支持传统局域网。这样即使将来 ATM 适配卡取代了局域网适配卡,传统的协议和应用也能继续使用。

局域网仿真对局域网隐藏了 ATM 交换结构,局域网终端感觉不到 ATM 的存在,因此无需修改终端设备的软硬件,就可以利用 ATM 网络的各种优点。更重要的是,它使得传统的局域网适配器、NDIS (网络设备接口规范) 和 ODI (开放数据链路接口) 驱动设备以及所有第 2 层和第 2 层以上的协议可以继续使用。需要注意的是,局域网仿真 LANE 只能同时仿真一种局域网(如以太网或令牌环),而不能同时仿真这两种局域网。另外,LANE 在一些细节上和真正的局域网并不一样,例如 LANE 中没有冲突,也没有令牌。

## (2) 局域网仿真 (LANE) 业务和协议结构

### ① LANE 的业务特性

#### · 无连接业务

传统局域网是无连接的，在节点间传送数据不需要建立专用信道，共享的媒介是公用信道，发送数据的节点要争用公用信道来传送信息；而 ATM 网络面向连接，通信之前由 ATM 信令建立虚通路，数据在传送期间，始终占用相同的虚通路，通信结束后，拆除虚通路。局域网仿真使 ATM 网对局域网终端系统呈现出无连接的业务特性。

#### · 多点广播业务

多点广播是传统局域网采用共享媒体的网络结构，实现多点广播；而 ATM 是支持点对点的连接，实现多点连接则不是其特长。局域网仿真提供 ATM 支持多点广播（如广播、点对多点等）MAC 地址的使用。

#### · ATM 终端中的 MAC 驱动器接口

局域网仿真的目的是使已有的局域网上的应用能够通过传统协议如 IP、IPX、Apple Talk 等访问 ATM 网络，就像它们在传统局域网上运行一样。由于传统局域网上的这些协议都是运行在标准的 MAC 驱动器接口（如 NDIS、ODI 等）上的，局域网仿真服务就是提供相同的 MAC 驱动器服务原语，以保证网络层协议不需要经过修改就能运行。

#### · 仿真局域网（ELAN, Emulated LANs）

在有些环境中，需要在一个网络中配置多个分开的区域，从此便产生了“仿真局域网”的概念。仿真局域网由一组 ATM 附属设备（PC、工作站、ATM 终端、LAN 桥等）组成，这组设备在逻辑上与以太网 IEEE 802.3 和令牌环网 IEEE 802.5 的局域网网段类似。

在一个 ATM 网络中可以有多个仿真局域网。终端设备属于哪个仿真局域网与它的物理位置无关。一个终端设备可以同时属于多个仿真局域网。同一个 ATM 网络中的多个仿真局域网在逻辑上是相互独立的。

#### · 与传统局域网的互联

局域网仿真不仅提供 ATM 站点与传统局域网站点的连接，而且提供传统局域网站点之间的互联。因此不仅包括有 ATM 站点与 LAN 站点，同时还包括 LAN 站点通过 ATM 站点与 LAN 站点的连接。在这种 MAC 层的局域网仿真中仍然可以采用传统的桥接（Bridging）方法。

### ② 局域网仿真的协议结构

在 ATM 网络上提供局域网仿真 LANE 的目的，是实现 LAN 通过 ATM 网络进行互连的同时，为 LAN 从共享媒体到 ATM 网络的平稳过渡，基于这两点考虑 LANE 可以放置于路由器中或者是本地的 LAN 服务器上。LANE 设计时有两个基本出发点：

a. LANE 协议的设计不应该影响现有的 LAN 的工作方式，即在 LAN 的内部不应该发生任何改动，LAN 的终端用户仍旧可以使用原有的应用程序进行工作。

b. LANE 协议实际上不应该包含在 ATM 交换机中，因为 LANE 显然是一种过渡策略，是为 ATM 网络和局域网互连设立的一种协议方式，不应该进入 ATM 交换机，否则会使交换软件变得非常复杂和难以管理。

局域网仿真的协议结构如图 10.2 所示。由图可以看出，局域网仿真协议主要在 ATM 主机和 ATM LAN 桥上实现，其中 ATM LAN 桥是局域网和 ATM 网间的转换器，它采用 AAL5 协议对局域网数据作适配，产生 ATM 信元；或重组 ATM 信元，恢复局域网的数据。ATM 主机在 ATM 适配层与高层协议之间加入局域网仿真功能，使 ATM 主机模拟传统局域网设备的

行为，与局域网通信。局域网仿真提供七层协议模型中下面两层的功能，即用 ATM 网络模拟局域网数据链路层和物理层的功能，而与高层所有的业务、协议和应用完全无关。ATM 交换机并不直接参与局域网仿真，它只为 ATM 信元提供虚通路。ATM 论坛的局域网仿真协议只对以太网 IEEE 802.3 网和令牌环网 IEEE 802.5 作了规定，至于其他网络，如 FDDI 网，可以先将 FDDI 数据帧转换成以太网或令牌环网的数据帧后再进行局域网仿真。

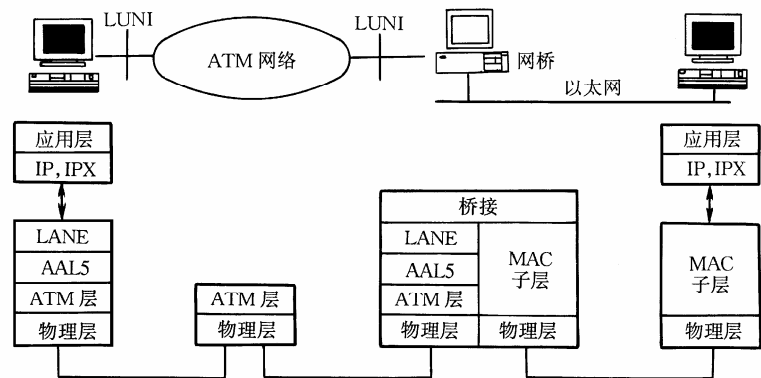


图 10.2 LANE 协议结构

(3) LANE 的体系结构及组成

如图 10.3 所示，局域网仿真方式的 ATM—LAN 是采用客户/服务器的结构，局域网仿真客户（LEC）和服务器共同模拟局域网的环境，提供无连接业务。仿真局域网（ELAN）由一个 LAN 仿真服务（LE Service）和一组 LEC 组成。

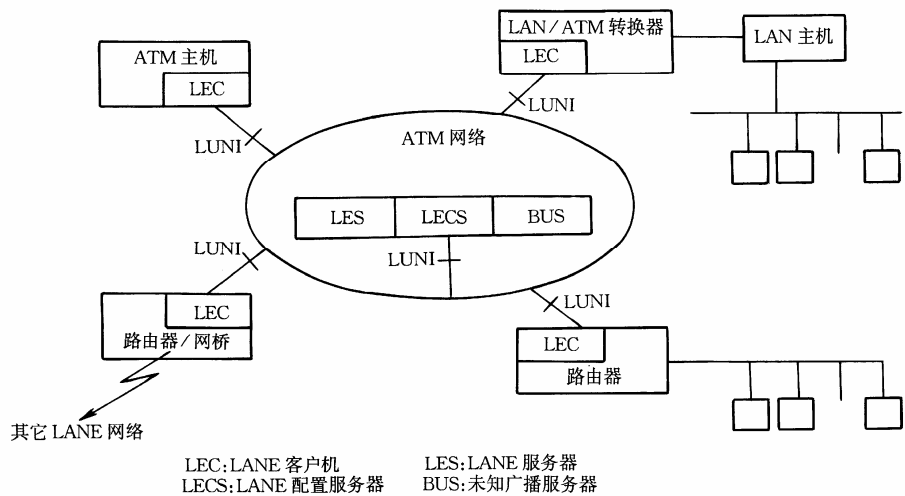


图 10.3 ATM 局域网仿真客户/服务器结构

一个 ATM 网络上可以运行多个 ELAN，每个 ELAN 都是以下两种类型的局域网之一：以太网 IEEE 802.3 或令牌环网 IEEE 802.5。LAN 仿真服务由一个 LAN 仿真配置服务器（LECS）、一个 LAN 仿真服务器（LES）和一个广播和未知服务器（BUS）组成的。LEC 是 ATM 站点的一部分，它表示有 MAC 地址标识的一组用户。而 LAN 仿真服务是 ATM 站点或

ATM 交换机的一部分，它可以集中在一个站点上，也可以分布在多个站点中。

LEC 之间以及 LEC 和 LAN 仿真服务之间的通信是在 ATM 的虚通道连接（VCC）上进行的。每个 LEC 都是在控制 VCC 和数据 VCC 上与 LAN 仿真服务进行通信的。虚通道连接（VCC）可以是交换虚通道（SVC）、永久虚通道（PVC）或两种的混合。

在 ATM 网络上 LEC 和 LANE 服务之间是遵循 LANE 的用户与网络接口（LUNI）协议进行相互作用的。

下面，具体介绍 LANE 系统中各组成的功能及特性。

#### ① 局域网仿真客户（LEC）

任何与 ATM 网络相连并参与 LAN 仿真服务的站点（如工作站、网络服务器、网桥、路由器等）中都有 LEC 实体，LEC 实体具有传送数据、地址解析以及其他功能。通过 LEC 为高层软件提供 MAC 层的仿真以太网 IEEE 802.3 和令牌环网 IEEE 802.5 的服务接口，在与仿真 LAN 中的其他实体进行通信时执行 LUNI 接口协议。LEC 通常由站点中的 ATM NIC（网络接口卡）或仿真 LAN 中的 LAN 交换机提供。与多个仿真 LAN 相连接的站点要为每一个仿真 LAN 分别提供一个 LEC。

每一个 LEC 是由唯一的 ATM 地址标识的，并可以通过这个 ATM 地址与一个或多个 MAC 地址相关联。例如，对一个 ATM NIC，LEC 可能只与一个 MAC 地址相关联；但对于一个 LAN 交换机，LEC 就可以与多个 MAC 地址相关联，LEC 可以通过 LAN 交换机上的特定端口来访问相应的 MAC 地址。

#### ② 广播与未知服务器（BUS）

BUS 是一个组播服务器。每个 ELAN 中必须具备一个且只能有一个逻辑 BUS。它实现广播和多点通信（多播）功能。对单点通信，由于传统局域网终端仍使用原有的网络层地址作为通信的寻址方式，所以在 ATM 网中通信时，要先确定与网络层地址对应的 ATM 地址。在未确定前，这次通信的地址对 ATM 来说是未知的。BUS 为单点通信的初始未知地址的数据帧提供转接通路，支持无连接的业务。BUS 与 ELAN 中的所有 LEC 建立对应的虚连接，以 BUS 为中心形成星型的拓扑。LEC 将所有广播、多播及未知地址的业务都送到 BUS，由 BUS 通过 ATM 虚连接、将数据广播到所有 LEC（包括产生这个数据的 LEC），广播数据到达 LEC 后，LEC 用地址过滤以确定是否接收。这样就实现了局域网广播和多点广播的功能。

#### ③ 局域网仿真服务器（LES）

每个 ELAN 有一个逻辑 LES。LES 是 ELAN 的地址服务器，其功能是对 MAC 地址和 ATM 地址进行登记以形成一个地址对应表，利用该对应表将 MAC 地址解析为 ATM 地址。LEC 可以将它们的 LAN 地址（MAC 地址）和 ATM 地址登记在 LES 上。当一个客户希望将一个 MAC 地址解析为 ATM 地址时，它可以向 LES 发出请求。这时，LES 可以对该请求给予应答，也可以将这个请求转发给其他的 LEC（如路由器、网桥等作为该 MAC 地址的代理），由它们对该请求进行应答。

#### ④ 局域网仿真配置服务器（LECS）

每个 ELAN 有一逻辑 LECS，它可以由分布式数据库实现。ATM 网络内可以有多个 ELAN 同时存在，LECS 保存 ELAN 的结构信息。将 LEC 配置到 ELAN 中。LEC 初始化时建立与 LECS 的 ATM 虚连接，然后发送结构申请，指明它要加入哪个 ELAN，LECS 根据 LEC 的申请信息返回相应 ELAN 中 LES 的 ATM 地址。LECS 的数据库由网络管理员进行初始化。

上面从逻辑上描述了局域网仿真的结构，体现的是功能上的划分。从物理实现上看，局

域网仿真客户和服务端可以分散在多个物理设备中，也可以集中到几个物理实体中。局域网仿真协议并未对此作出限制。例如，由 ATM LAN 桥充当 LEC，而三个仿真服务器则放在 ATM 交换机或连接到 ATM 的工作站上。三种仿真服务器的功能既可以集中到一起，也可以分散到网络中，如 LES 运行在 ATM 交换机上，LECS 位于与 ATM 连接的服务器上，而 BUS 则放在 ATM LAN 桥上。

#### (4) 局域网仿真的实现过程

下面说明通过 LEC 代理 LAN 作为 LANE 终端设备加入到 LANE，完成数据通信的实现过程。

##### ① 初始化和配置

实现局域网仿真要做的第一步准备工作，是 LEC 通过初始化过程寻找 LECS 的位置，建立与 LECS 的 ATM 虚连接。LEC 通过如下的几种途径寻找 LECS：

- LEC 向 ATM 交换机发出 ILMI（综合本地管理接口）请求，以获取从 ATM 交换机的地址表中查找 LECS 的 ATM 地址，并与 LECS 建立 ATM 连接。

- LEC 可以使用所谓的“众所周知的 ATM 地址”，这是 ATM 网络在 LUNI 上协商好的通用的 LECS 的 ATM 地址。

- LEC 可以利用“众所周知的 VPI/VCI”来寻找 LECS，这组 VPI/VCI（VPI=0，VCI=17）也在 LUNI 中定义，它对应于一个已经与 LECS 建立好的虚连接。

- LEC 可以利用事先约定好的 LEC 与 LECS 的 PVC（永久性虚连接）完成初始化过程。

找到 ATM 地址后，LEC 将建立一条到 LECS 的配置直接通道，并将向 LECS 发送配置请求，其中包括它的 ATM 地址、MAC 地址、所支持的 LAN 类型和它的最大帧长度等信息。随后，LECS 将把有关仿真 LAN 的类型、仿真 LAN 的最大帧长度、仿真 LAN 名称和 LES 的 ATM 地址等信息发送给 LEC。LECS 上的这些信息通常是由网络管理员配置的。通过将 LES 的地址提供给 LEC，LECS 便将该 LEC 分配到特定的仿真 LAN 中。这时，LEC 就可以有选择地终止与 LECS 的连接（即配置直接虚通道）。

##### ② 加入和连接

LEC 从局域网仿真配置服务器（LECS）中获得 LES 的 ATM 地址后，建立 LEC 和 LES 之间的连接，登记进入 LANE 环境。此时 LEC 首先发出“加入”请求，LES 通过该连接过程或重新建立通向该 LEC 的连接，向 LEC 发出“加入响应”信息，表示接纳或拒绝。在被拒绝的情况下，LEC 将撤消“加入”请求和 LEC 与 LES 之间的控制连接。在同意 LEC 加入 LANE 情况下，LEC 在 LES 上登记 LEC 的 MAC 和 ATM 地址，LES 为 LEC 指定一个特定的 LEC 标识符 LEC-ID，用于通信过程中地址解析，这里使用的协议称为“局域网仿真地址解析协议（LE-ARP）”。然后 LEC 通过 LE-ARP 协议向 LES 询问未知广播服务器 BUS 的 ATM 地址，并建立和 BUS 的双向数据连接。

##### ③ 数据传送

完成上述步骤后，LEC 可以与 ELAN 中的其他站进行通信。通信的具体过程如下：

LEC 从高层驱动器接口中接收局域网 MAC 数据帧，其中包含着目的终端的 MAC 地址，MAC 地址的第一个比特表明了该数据帧要求单点还是多点的通信。如果该比特置为 1，表明这是广播数据帧，LEC 把它送到 BUS 并转发到网络的各个站点；若该比特为 0，表示这是点对点的数据传送，LEC 查看自己保持的 MAC-ATM 地址对应表，寻找与 MAC 地址对应的



ATM 地址。若找到了则继续检查与目的站之间是否建立了虚连接, 如果虚连接存在, LEC 就利用这条虚链路传送数据。若不存在, LEC 就利用 ATM 信令建立到目的终端的虚连接。

如果 LEC 无法确定对方的 ATM 地址, 就向 LES 发送 LE-ARP 申请来询问目的站的 ATM 地址。在等待 LES 应答的同时, 把源站产生的数据包转发到 BUS, 由 BUS 向 ELAN 中的所有终端广播, 虽然原来的数据是点对点传送, 但在未确定目的终端的 ATM 地址前, BUS 向 ELAN 中所有 LEC 广播点对点数据, 各个 LEC 接收到广播数据后, 用数据中的地址与自己的地址作比较, 只有地址匹配的 LEC 才处理收到的数据, 其他 LEC 则丢弃广播信息。这样保证了在源与目的之间的 ATM 连接尚未建立之前, 通过广播信道把源端产生的数据包送到目的端。支持了局域网的无连接特性。LEC 收到 LES 应答的 ATM 地址后, 建立与目的终端点对点的 ATM 连接, 此时后续的数据不再转发到 BUS, 而是利用新建立的虚连接传送。如果 LES 找不到目的站的 ATM 地址, LEC 将继续使用 BUS 的广播机制来传送数据。

LEC 之间通过 ATM 信令建立传送数据的直接虚通路。它是交换型虚连接 (SVC), 它的释放采用超时机制。若某条虚链路上连续一段时间没有数据通过, LEC 就拆除这个虚连接。LEC 与局域网仿真服务器 (包括 LECS、LES 和 BUS) 之间的虚连接在局域网仿真的前两步中建立, 主要传送局域网仿真的控制信息和广播数据, 一旦建立就保持到通信终止。

#### (5) LANE 的优缺点

局域网仿真是 ATM 论坛定义的一种将现有局域网引入 ATM 网络的方法, 它有显著的优点, 也存在着一定的问题。在向 ATM 过渡的进程中, 局域网仿真起着关键的作用。

LANE 优点是可以大大简化网络配置和维护, 并且支持各种联网协议, 如 IP、IPX、Apple Talk 等, 尤其重要的是在 ELAN 中的拥塞问题远远小于传统的局域网。传统局域网采用共享媒体的系统结构, 当网络上的用户增加, 业务量过多时, 网络性能会急剧恶化, 为解决这个问题, 将传统局域网分段, 形成几个小规模 of 局域网后, 接到 ATM 网络中, 并配置到同一个 ELAN。此时每个传统局域网上的用户数减少, 用户可占用的数据带宽增加。ELAN 中多数业务量都是独立的点对点的数据传送, 这样可以充分利用 ATM 的带宽降低网络拥塞。但这并不是说 ELAN 可以支持任意数量的终端设备。理论上只有一个因素限制了 ELAN 的规模和范围: 即广播和未知地址业务量的总和不能超过最慢的 LEC 的带宽。换言之, 以太网 ELAN 总的广播业务量不能超过 10Mbit/s, 令牌环 ELAN 总的广播业务量不能超过 16Mbit/s。

但局域网仿真还存在如下问题:

局域网仿真没有解决路由选择的问题, 因此, 不同 ELAN 之间通信仍然需要路由器。路由器在各个入口和出口间平衡业务量, 当它通过 LUNI 连接到 ATM 网上时, 必须具有很高的吞吐量 (如 100000 帧/秒) 才能充分体现 ATM 的优越性, 传统的路由器很难达到这么高的要求, 从而形成 ELAN 之间通信的瓶颈。除了吞吐量问题, 桥接器/路由器还会引入很大的延时。

局域网本身有自己的一套地址解析协议, 实现 IP 地址和 MAC 地址的映射。局域网仿真的地址解析协议实现 MAC 地址与 ATM 地址的转换, 在局域网地址解析上又增加了一层地址映射, 由此增加了建立连接的时延。

局域网仿真不能利用 ATM 网络提供的 QoS 特性 (服务质量)。实现 QoS 要求网络层的结构反映到 ATM 网络中, 后面讨论的 IP Over ATM 方案从网络层接入 ATM, 因此可以利用 ATM 提供的 QoS 服务。

#### 2. 基于 ATM 的 IP 数据传输 (IP Over ATM)

基于 ATM 的 IP(Classical IP Over ATM)又称为传统的 IPOA, 是 ATM 网上传输 IP 数据包

早期协议和解决方案。IPOA 的基本思想是：将 ATM 网络当作局域网来处理，即在传输 IP 数据包时把 ATM 网络看作是另一种异型网络，即与以太网、令牌环网以及 X.25 分组交换网等物理网络上传输 IP 数据包的情况相类似。由于 IPOA 只支持 IP 协议，因此它适合的环境是互连网和使用 IP 协议的局域网。

### (1) IPOA 概述

IP 是在开发互连网络过程中发展出来的一种著名的网络层协议。在 IP 数据包中，包含了地址信息和一些控制信息，以实现数据传输的路由。IP 既可以用于局域网、城域网、也可以用于广域网，它在目前的互连网络中获得了广泛的应用。随着 ATM 技术在网络中的应用和 ATM 网络与传统局域网互连的需要，基于 ATM 的 IP 便成为除 LANE 外的另外一种实现 ATM 局域网仿真的手段。其相应的协议是由 Internet 网络工程部（IETF, Internet Engineering Task Force）制定和发布的。IETF 的有关 IP Over ATM 的工作包括制定数据包的封装方法、默认的最大传输报文长度（MTU）以及逻辑 IP 子网（LIS）中的地址解析方法等。基于 ATM 的 IP 与局域网仿真类似，它同样是在网络层以上，隐去了 ATM 本身的复杂性，而给用户提供了一种应用编程接口（API），以使现行的 IP 能够运行在 ATM 上，因此，基于 ATM 的 IP 同样不能完全利用 ATM 所具有的功能。

IP Over ATM 与局域网仿真所不同的是，局域网仿真是建立在 MAC 层上，而基于 ATM 的 IP 则是建立在 IP 地址与 ATM 地址的直接映射上，这样可以简化地址转换协议，完成此过程的基础是 IP 地址解析协议（IP ARP）。在 IP Over ATM 中，IP ARP 具体由 ARP 服务器来完成，其功能类似于前面介绍的局域网仿真中的局域网仿真服务器，但 IP ARP 服务器响应的是网络层的地址请求，而非 MAC 层的地址请求。另外，基于 ATM 的 IP 仅仅是考虑 IP 网络协议在 ATM 上的传输，因此，它并不能像局域网仿真一样适合于局域网中的其它网络协议。

IP Over ATM 解决了 QoS 问题，它在结构上与局域网仿真有许多相似之处，它们的主要区别是，局域网仿真从 MAC 层接入 ATM，而 IP Over ATM 从 IP 层直接映射到 ATM 上。接入层的不同使 IP Over ATM 克服了局域网仿真的某些缺陷，但同时也引入了新的问题。

前面提到，基于 ATM 的 IP 称为传统的 IPOA，其原因是目前在以工作站为主的网络中，大多采用的是 IP 协议，而 IP Over ATM 沿用原 IP 协议本身的内容，主要解决 IP 地址到 ATM 地址的解析和报文传输、封装的两个问题，故提出了“传统”的概念。传统 IP 模式具有如下特点：

- 对于一个 LIS 中的所有 VC 均使用相同大小的 MTU（Maximum Transmission Unit）。
- 采用默认的 IEEE 802.2 的逻辑链路控制/子网访问协议（LLC/SNAP）对数据包封装。
- 端-端 IP 路由结构不变。
- 可用手工配置或利用 LIS 中的 ATM ARP 服务器来实现 IP 地址到 ATM 地址的映射。
- 每个 LIS 可用于多个主机和路由器。在同一个 LIS 中，两个 IP 站点间通过 VC 直接连接。

### (2) IPOA 的协议和结构

IETF 自 1993 年以来先后颁布了 RFC 1483、RFC 1577 和 RFC 1626 文本，定义了 IP 报文在 ATM AAL5 封装格式、传统 IP 和 ARP 在 ATM 上的运行方式以及 IPOA 的最大传输报文长度（MTU）。1998 年又颁布了 RFC 2225，对传统 IP 和 ARP 在 ATM 上的运行方式进行了改进，并合并了 RFC 1626 的内容。传统 IPOA 的协议栈如图 10.4 所示。在 AAL5 和 IP 两层之间增加了 IPOA 层，该层由 RFC 1577 和 RFC 1438 两个协议来描述。RFC 1577 协议弥补

了 RFC 1483 只支持 ATM 固定虚电路 PVC 的弱点,而利用了 ATM 交换虚电路 SVC 功能来支持 ATM 网络的直接连接的 IP 站点。

| OSI 七层 |  | IPOA 协议栈      |  |
|--------|--|---------------|--|
| 高层     |  | 高层            |  |
| 传输层    |  | TCP、UDP 和 SPX |  |
| 网络层    |  | IP            |  |
| 数据链路层  |  | IPOA          |  |
|        |  | AAL5          |  |
|        |  | ATM 层         |  |
| 物理层    |  | 物理层           |  |

图 10.4 传统 IPOA 的协议栈

RFC 1577 引入逻辑 IP 子网 (LIS) 的概念,每个 LIS 中的终端设备可位于 ATM 网络内的任何地方,即与物理位置无关。我们知道,通常所说的 IP 子网包括一组 IP 终端系统,它们具有相同的子网标识,属于 IP 子网中的终端设备,不需网关的转发,就可以与子网中任一终端设备直接通信。LIS 与 IP 子网一样,由一组 IP 节点组成(如主机或路由器),这些节点都连接到 ATM 网上,组成一个相对封闭的逻辑 IP 子网。LIS 的特性与传统 IP 子网基本相同。如 LIS 中的所有 VC 具有相同的最大传输报文长度 (MTU);IP 包的封装格式默认为 IEEE 802.2 的 LLC/SNAP 等。ATM 网上可以存在多个逻辑 IP 子网,每个子网的运行独立于其它子网。一个主机或路由器可以同时配置为多个 LIS 所属的终端设备。

ATM 网络的 LIS 所属终端应满足下列要求:

- LIS 所属所有终端具有相同的 IP 网络/子网号码和地址屏蔽码。
- LIS 所属所有终端都直接连接到 ATM 网络上,且可通过 ATM 直接通信。
- LIS 与其子网之外的设备通信要通过路由器接续。
- 在基于 SVC 的 ATM 网络中,LIS 的所有终端必须能通过 ATM ARP 将 IP 地址解析为 ATM 地址或通过 ATM ARP 将 ATM 地址解析为 IP 地址。
- 在基于 PVC 的 ATM 网络中,LIS 的所有终端必须能通过 ATM ARP 将虚电路连接 (VCC) 解析为 IP 地址。

IP Over ATM 的结构和局域网仿真相似,也采用了客户/服务器模型,它是建立在 RFC 1577 基础上的网络结构。

客户包括路由器和 ATM 主机。路由器具有多个传统局域网接口,连接以太网或令牌环网;同时还具有 ATM 接口,连接 ATM 网。这样路由器就把传统的局域网和 ATM 连接起来。注意,IP Over ATM 从网络层接入 ATM,要求必须由路由器实现两种网络的连接,因为路由器具有网络层功能;而局域网仿真从数据链路层接入 ATM,因此具有二层功能的网桥就可以实现两种网络的连接。ATM 主机直接连接到 ATM 上,它向其他系统发送 IP 数据包,或者从其他系统接收 IP 数据包,提交给相应的高层作处理。它不转发接收的 IP 数据包,即 ATM 主机是 IP 数据包的起点和最后终点。

IP Over ATM 的服务器称为地址解析服务器 (ARP Server)。在一个 ATM 网络中,可以划分出若干 LIS,在不同的 LIS 中,有一个相对独立的管理实体,即 ARP 服务器,主要为各个 ARP 客户负责 IP 地址到 ATM 地址的解析。IP ARP 服务程序可以安装在特定的硬件平台

上,甚至可以是网络设备(如路由器或交换机)上。每个 LIS 中各站点间可不依赖于其他 LIS 而直接通信,另外,对于各个 LIS,网络管理员可以逐个地对其定义 QoS。

图 10.5 所示为单个 LIS 中各 IP 站点的连接方式。在图中,当源客户与目的客户通过基于 ATM 的 IP 来建立连接时,在 A、B 和 C 三点间首先传递一些访问信息以实现 A 与 B 间的连接。首先源客户向 ATM ARP 服务器发送一个 ATM ARP 请求,服务器根据目的客户的地址信息,完成目的客户的 IP 地址到 ATM 地址间的映射,并将其 ATM 地址返回给源客户。这样便可建立源客户与目的客户间连接。当目的客户收到来自源客户的第一个数据包时,又会向 ATM ARP 服务器发送 ARP 请求,以确定源客户的地址,一旦由服务器获得源客户的 ATM 地址后,即可建立由目的客户和源客户间的连接,这时源与目的客户间无需服务器的参与而进行直接通信。

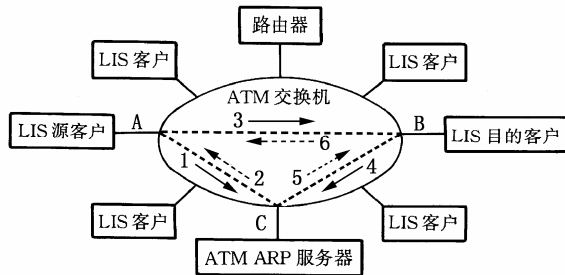


图 10.5 单个 LIS 中 IP 站点连接示意图

对于多个不同的逻辑 IP 子网 LIS 间的通信, RFC 1577 并未给出相关的建议。要实现不同 LIS 间的通信,可采用两种方法来实现,即基于路由器或基于复合 LIS。

基于路由器实现不同 LIS 间的 IP 站点连接示意图如图 10.6 所示。在第一种方法中,当分别处于两个不同的 LIS 中的两个 IP 站点间需要通信时,向路由器发送消息,此时路由器所起的作用相当于一个网关。在此前,信源端的 IP 站点首先向 ATM ARP 服务器发出相应的服务请求,以查询相应路由器的地址。然后再建立信源端 IP 站点与路由器间的 VC。在接收到信源端 IP 站点发出的数据包后,路由器会向 ATM ARP 服务器发出请求,以查询相应的信宿端 IP 站点的地址,在此基础上建立路由器与信宿端 IP 站点间的 VC,并传送数据包。在此过程中,需要建立两个 VC,以实现两个 IP 站点经由路由器的虚连接,另外,对数据来说,要经历从数据包到 ATM 信元的转换,然后再到数据包的转换。路由器的使用,固然可以带来网络安全性方面的好处,但引入了附加的传输时延。在第二种方法中,则是将某一个 ATM ARP 服务器配置成多个 LIS 所共享的一种资源,这样,多个 LIS 便可以看成一个复合的 LIS,以此来实现该复合 LIS 中各 IP 站点间的通信。

上述这两种方法仅仅是一种过渡解决方案。目前, IETF 的 ROLC (Routing Over Large Clouds) 小组在对多种方法研究的基础上,正着手制定名为下一段解析协议 (NHRP, Next Hop Resolution Protocol) 的规范。实际上, IETF 和 ATM 论坛均在从事多协议承载问题的最佳解决方案的研究,但在具体侧重点上有些差别。IETF 的重点仍是放在有关 IP 协议上,它所要解决的问题是 IP 协议在 ATM、帧中继和 SMDS 网络上路由问题;而 ATM 论坛则主要侧重于在 ATM 网络上运行多协议,如 IP、IPX/SPX 等,即 MPOA (MultiProtocol Over ATM)。

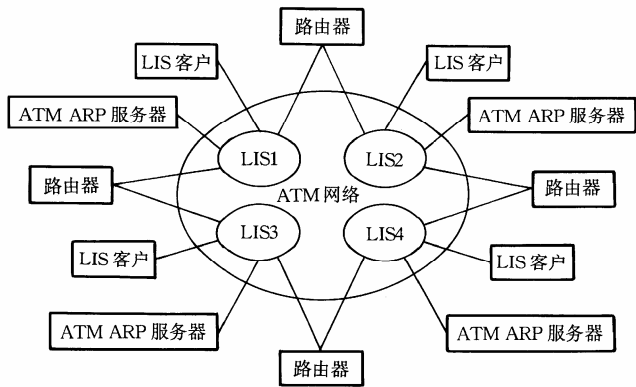


图 10.6 IPOA 的网络结构示意图

(3) IP 数据包的封装

IETF 在 IPOA 的规范中，对通过 AAL5 实现多种网络或链路层数据包传输作出了相应的规定，RFC 1483 定义了在 ATM 网络上承载数据包封装的两种不同方法。第一种方法是在同一条 ATM VC 上复用多种协议，这时需要在所传送的协议数据单元 (PDU) 上加上 IEEE 802.2 逻辑链控制 (LLC) 前缀，以此来标识所传送的 PDU 协议，这种方法被称为 LLC/SNAP 封装。第二种方法是每一种高层协议由一条 ATM 虚电路来承载，这种方法被称为基于虚电路 (VC) 的复用。前一种方法较常用于 IPOA，同时 ITU-T 也将其作为 MTOA 的默认封装方法；而后一种方法更适于通过低层协议，直接应用到 ATM 连接的一些场合。

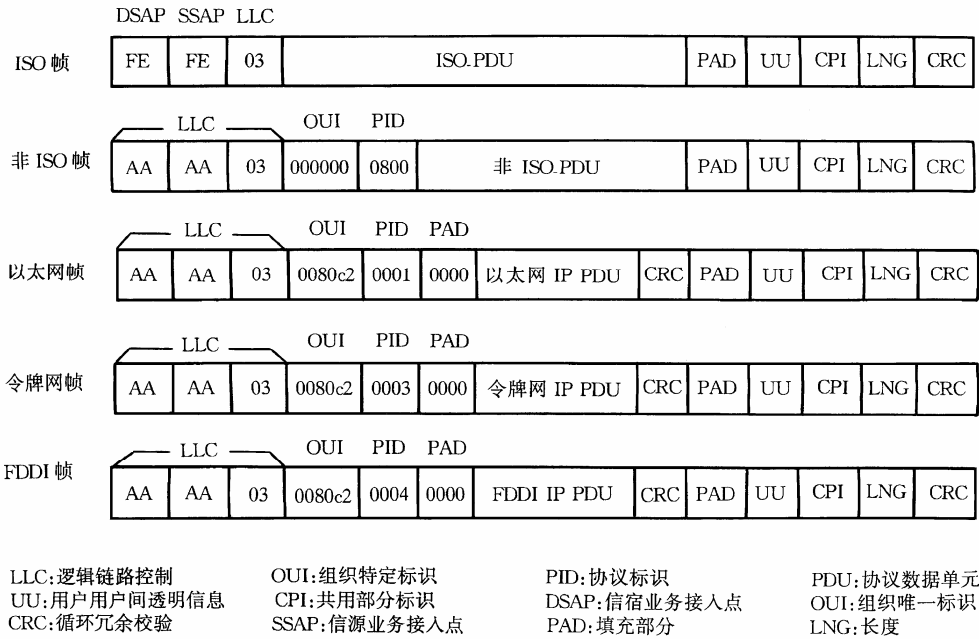


图 10.7 LLC 封装下的各种协议帧格式

① LLC/SNAP 封装

逻辑链路控制/子网访问协议 (LLC/SNAP) 封装，提供了一种利用同一个 VC 来传输所

有局域网协议数据的方法。这样，多种协议类型，像 Ethernet、TokenRing 、FDDI 和 DQDB 均可以通过一个连接来承载，而协议的类型可通过标准的 LLC/SNAP 头来加以标识。这类基于 LLC/SNAP 格式的协议数据可以封装在 AAL5 CPCS PDU 中，并通过 ATM 网络来传输。LLC/SNAP 封装技术主要用于仅能提供固定虚电路（PVC）而不能动态改变所用 VC 的网络中。LLC 封装下的几种协议帧格式可参见图 10.7。

通过 LLC/SNAP 封装 ATM 上 IP 数据的示意图如图 10.8 所示，封装的目的是实现在同一个 ATM 虚连接 VC 上传送多种协议数据包，图中所示是由一条固定虚电路（PVC）连接两个路由器来交换 IP 和 IPX 两个业务流。

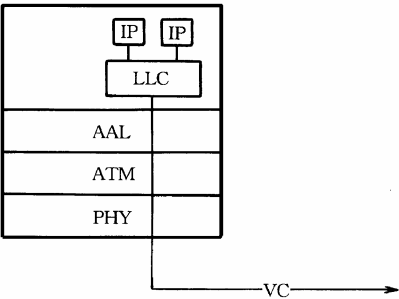


图 10.8 RFC 1483 LLC/SNAP 封装示意图

② VC 复用封装

在基于虚电路 VC 复用封装的方法中，一种协议仅能通过一个 ATM 连接承载。相应的协议类型可以在连接的建立阶段予以明确标识。正是由于对应于每种协议均有各自的 VC，这样的封装就不需要传递 LLC 头。这种封装方法效率高，适用范围广，可用于对 VC 进行动态管理的具有交换虚电路 SVC 功能的网络中。VC 复用封装示意图如图 10.9 所示。

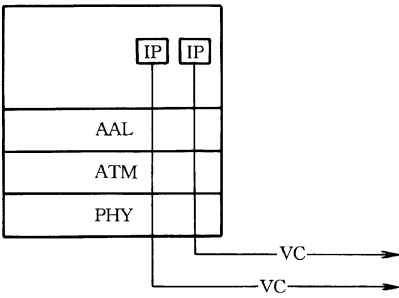


图 10.9 VC 复用封装示意图

③ IPOA 数据格式转换

在 IPOA 数据包到 ATM 信元的转换如图 10.10 所示。在 LIS 内部，是基于 ATM VC 来实现两个 IP 站点间的通信的，而 IP 数据包将变换成信元的形式。在此转换过程中，IP 数据包要经过几次变换。首先，IP 数据包按子网访问协议（SNAP）规则将最长 64KB 的长度分成若干数据块（默认长度为 9180 字节），每一数据块前会添加 OUI、PID 或可能的 PAD。在 LLC 处，又会将在 SNAP 处形成的数据块作为 LLC PDU，并添加 DSAP、SSAP 和控制信息（03）后，在 ATM 网络是 AAL 层，再分成若干 AAL5 PDU，最后适配成 ATM 信元，并在 ATM 网络中传输。

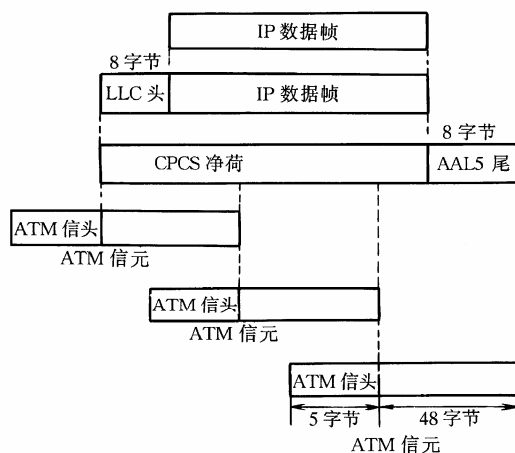


图 10.10 IPOA 中数据格式转换示意图

#### (4) 地址解析

在采用基于 ATM 的传统 IP 技术的网络中,需要通过地址解析才能建立起两个 IP 站点间的连接。这种地址解析业务是通过在一个服务器中对 LIS 内所有站点(或终端)的 IP 地址—ATM 地址映射进行登记来实现的。希望加入 LIS 的所有客户机都必须在 ATM 地址解析(ATM ARP)服务器进行登记,从而成为 LIS 的一员。当同一个 LIS 内的两个主机需要通信时,需要查询 ATM ARP 服务器,从 IP 地址中解析出 ATM 地址,从而在 LIS 中的源主机和目的主机之间建立一条 ATM 直接连接。目前在 ATM 网络中可采用固定虚电路或交换虚电路两种不同的连接方式,相应有不同地址解析机制。

##### ① 固定虚电路 PVC 环境下的地址解析

对于基于 PVC 的连接,网络中每一个 IP 站点都需要通过网管来配置的方法,确定 LIS 内相关站点的 IP 地址与 ATM 地址间的映射,并通过它建立多个 IP 站点的 VC。现在通常是采用手工配置的方法,建立各站点的本地地址表,以及 IP 地址与 ATM 地址间的映射关系表,即地址解析表。在 PVC 网络环境下,即使用手工操作表来注册,各 IP 站点需要使用反向 ATM 地址解析协议(InATM ARP),并利用 LLC/SNAP 封装的 VC 来传送 InATM ARP 帧。相应的 VC 由 InATM ARP 的接收方来确定,用以接收 InATM ARP 请求或是 InATM ARP 响应。当发出 ATM ARP 请求的一方收到 InATM ARP 回复后,会利用所获得的 ATM 地址信息来建立相应的 ATM ARP 表项,并在以后的应用中利用该表项来完成地址的解析工作。当然,这种情况下对地址解析表的维护也需要靠手工来进行,该表项的维护和更新,也需要其它各 IP 站点提供相应的 PVC 来实现。使用手工操作方法,对于维护较大规模的网络来说就会感到困难。

##### ② 交换虚电路 SVC 环境下的地址解析

对于基于 SVC 的 ATM 网络,其 VC 的建立需要借助于一个 ATM ARP 服务器来实现 IP 地址到 ATM 地址间的映射。ATM ARP 服务器应能解析该逻辑 IP 子网 LIS 内的所有站点的 ATM ARP 请求,使用反向 ATM ARP (InATM ARP) 来完成该 LIS 内所有站点的地址登记,并根据需要自动建立两个 IP 站点间的虚电路 VC。ATM ARP 服务器可以是高性能的文件服务器、工作站、交换机或路由器。ATM ARP 服务器本身并不负责建立连接,它只是利用 IP 子网的 IP 站点来初始化 ATM ARP 的注册过程。在 RFC 1577 中规定,在一个逻辑 IP 子网中,需要设定一个 ATM ARP 服务器来支持逻辑 IP 子网中的各 IP 站点(即 ARP 客户),提供对

ATM ARP 请求的处理。

在地址解析过程中所涉及到的地址解析表项的内容,需要不断的更新和维护。对于 ARP 客户,地址解析表项最长的更新周期为 15min。对于 ATM ARP 服务器上的地址解析表,其最长更新周期为 20min。

#### (5) IPOA 的工作过程

##### ① 地址映射、登记与更新

为了解决 IP 地址与 ATM 地址的直接映射,每个 LIS 中都设置一个 ARP 服务器,它由 ATM 统一编址,负责 IP 地址与 ATM 地址的映射。当主机初次接入一个新的逻辑 IP 子网时,先与该 LIS 的 ARP 服务器建立 ATM 虚连接,ARP 服务器检测到新的连接后,向主机发送反向的 ATM ARP (InATM ARP) 请求,询问主机的 IP 和 ATM 地址,并用主机应答的信息建立 ATM ARP 地址对应表中相应的登记,以备对其他客户的地址解析 ATM ARP 请求作应答,到此主机完成了 LIS 的接入任务。这和局域网仿真的初始化登记过程相似,客户和服务器间交换各种必要的信息,为以后的数据传输作准备。为了保持 IP—ATM 地址映射表的有效性,ARP 服务器应定期对主机进行 InARP 询问来更新地址映射表。ARP 服务器可以是一个运行在 ATM 网络上的专门设备,也可以是隐含在路由器、其他服务器或 ATM 交换机等网络设备中。ARP 服务器与主机之间的连接可以通过 PVC,也可以采用 SVC 方式。

##### ② 连接与传输

在 ATM 网络上,若有一个 IP 主机向 LIS 中的其它主机发送数据时,先通过地址解析 ATM ARP 得到对方的 ATM 地址,启动 ATM 信令建立到对方的虚连接。对 IP 数据包进行 LLC/SNAP 封装,然后按照 AAL5 将 IP 数据组装为 ATM 信元,通过建立好的 VC 传送到终点。目的主机接收到 ATM 信元后,拆掉 AAL5 和 LLC/SNAP 封装,将数据传送到对应的高层实体,实现两个 IP 主机的通信。

##### ③ IPOA 的操作举例

IPOA 的操作过程可以分为如下几种情况:LIS 内的通信、LIS 之间的通信和广域网范围内的通信。

- LIS 内的通信:在 LIS 所属的所有主机(或站点)都必须在 ATM ARP 服务器中进行登记。如果主机 1 要与主机 2 进行信息传送,则主机 1 首先进行登记(步骤 1、2),且向 ATM ARP 服务器找寻以得到主机 2 地址(步骤 3)。若主机 2 已进行了登记,ATM ARP 服务器将把主机 2 的 ATM 地址作为应答(步骤 4)。主机 1 将与主机 2 建立直接 VC 后进行通信(步骤 5)。参看图 10.11。

- LIS 之间的通信:首先认定各 LIS 所属主机均在本地 ATM ARP 服务器中进行了登记。如果主机 1 要与不处于同一个 LIS 的目的主机进行通信,需要把数据 IP 分组发送到一个默认的路由器上(步骤 6),该路由器根据它自己的路由表把 IP 分组发送到目的主机所在的网络上。当主机 3 是目的主机时,如果路由器不知道主机 3 的 ATM 地址,那么该路由器将询问 ATM ARP 服务器(步骤 7、8),然后向目的主机 3 发送 IP 分组(步骤 9)。当连接到传统 LAN 上的主机 4 是目的主机时,则需通过路由器和 LAN 向目的主机 4 发送 IP 分组(步骤 10、11)。参看图 10.11。



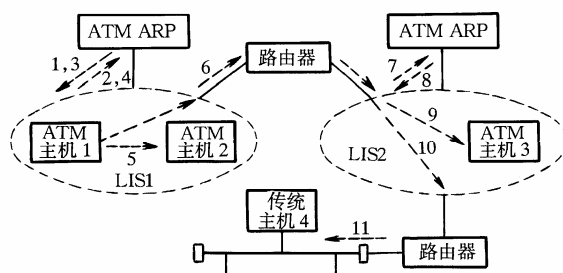


图 10.11 IPOA 和 ARP 操作过程

· 广域网范围的通信：为了将 IPOA 和 ARP 配置扩展到广域网范围通信，由业务提供商运营一个核心网络，各个 IP 网络（用户）都将通过业务提供商的网络进行互联。在使用 ATM 来取代出租线或 X.25 业务的企业网中，网内各端系统的 IP 地址仍保持不变。在 ATM WAN 上，用户可采用基于路由器或基于复合 LIS 实现通信。

#### (6) IPOA 的优缺点

IPOA 与局域网仿真相比有其相对的优点，如协议简单、传输效率高、可在 LIS 支持 QoS 等，但也还存在如下一些问题：

- 在基于 RFC 1577 的 IPOA 中，不支持 IP 广播数据包和多址广播的传送。
- RFC 1577 只适用于处理 IP 协议，对于其他协议无效，因此，其适用范围较局域网仿真要窄。
- 各 LIS 间不能进行直接通信，而需借助于网桥或路由器，因而同样存在局域网仿真中的传输瓶颈和附加传输时延问题。

正是由于这些问题的存在，使得基于 ATM 的 IP 在性能上还有待提高。目前，无论是 ATM 论坛还是 IETF 的 ROLC 小组，均在寻求解决的方法。例如，为了解决基于 ATM 的 IP 模式中的各 LIS 间不能直接通信的问题，引出了所谓“下一站解析协议”NHRP 的研究和制定工作。为了适应多协议处理的需要，便产生了基于 ATM 的多协议模式。

#### 3. 基于 ATM 的多协议传输 (MPOA)

基于 ATM 的多协议传输 (MPOA, Multiple Protocol Over ATM)，是在局域网仿真 LANE 和 IP Over ATM 之后第三种以 ATM 网络支持传统局域网的方案。MPOA 克服了 LANE 和 IPOA 中的一些缺点，它可以提供一种高性能、低延时的能承载多种高层协议的网络互连方式，进一步利用 ATM 提供的各种服务性能。

##### (1) MPOA 概述

##### ① LANE 与 IPOA 的局限性

局域网仿真 (LANE) 的目的是在 ATM 网络中提供传统的局域网业务，但较现有 LAN 提供业务的范围更广、速率更高；由于 LANE 协议工作在局域网协议的 MAC 层，所以可以支持各种高层协议，如 TCP/IP、IPX/SPX 等协议。LANE 网络中定义的局域网仿真客户 (LEC)、局域网仿真服务器 (LES) 以及其它服务器软件，简化了网络的管理和控制。但是 LANE 网络由于采用的传统路由器模式，限制了其 LAN 的入网速率，因为 LANE 路由器在链路层执行 MAC 地址判决，并要完成相应的路由选择，所以其最高工作速率比一般的局域网 ATM 交换机的交换速率要低一个数量级；另外，在 LANE 中规定了以太网和令牌环网两种适配模式，在同一 LANE 中一般只允许存在一种格式的局域网形式，多种 LAN 的互连必须采用传统路

由器方式解决,降低了 LANE 的适用范围。

与 LANE 相比, IPOA 是通过完成 IP 地址和 ATM 地址解析 (ARP) 完成 ATM 技术的应用,它所解析的是 IP 地址和 ATM 地址的转换,IP 地址作为网络地址可以直接用于网络寻径,在数量上也远低于 MAC 地址,所以从寻径的角度而言,这种方式的效率高于 LANE;另外,在 IPOA 中是将 IP 协议作为 ATM 网络协议的上层,这样处理 IP 和 ATM 协议的关系就是完成 IP 协议和 ATM 协议的适配,而不是 IP 协议和 ATM 协议同等层之间的转换,由这些特点构成的 IPOA 可以利用 ATM 网络的服务质量 QoS,因此它能支持多媒体业务。但是, IPOA 只支持 IP 协议,并不支持其它的网络层协议,如 IPX、DECnet 等,因此它的使用受到了很大限制;另外, IPOA 不能提供广播和组播的信息传输。

### ② MPOA 概念的引出

为综合 LANE 和 IPOA 的优点,克服其局限性, ATM 论坛制定了 MPOA 标准。MPOA 业务的基本功能是在 ATM 网络框架上实现点到点的网络层连接。这种连接可以是 ATM 主机间的连接,也可以是 ATM 主机与传统局域网间的连接。MPOA 提供一种网络结构,可以有效地将网桥、路由器与 ATM 网络结合,支持多种协议、多种网络技术以及虚拟局域网。MPOA 吸收了 ATM 论坛和 IETF 的许多协议,采用了 IETF 的下一站解析协议 (NHRP) 与 ATM 论坛的局域网仿真协议,并将其修改成更适合 MPOA 的格式。同时, MPOA 还致力于解决其它协议未能解决的问题,其中主要是将路由选择功能与三层转发功能分离出来,也就是所谓的虚拟路由器。

### ③ MPOA 的技术支持

MPOA 是在综合 ATM 论坛的局域网仿真 (LANE)、IETF 的下一站解析协议 (NHRP) 和虚拟路由器技术而形成的一种新技术。

- LANE。LANE 是在 ATM 上仿真第 2 层的局域网技术,使得 ATM 独立于上层应用。MPOA 克服了基于 LANE 的网络在性能和可扩展性等方面的局限,采纳 LANE 2.0 作为系统的一个组成部分 (LANE 2.0 使用 LLC/SNAP 封装,而 LANE 1.0 使用 VC 复用方式)。LANE 适用于子网内部的通信, MPOA 提供了在子网之间的通信,这样使得多个虚 LAN 产生的业务量共享一条 ATM 虚电路,从而达到扩展网络规模的目的。

- 下一站解析协议 (NHRP)。由于 NHRP 提供了在 ATM 上基于网络层地址建立直接连通的机制,才使 MPOA 能建立跨子网的虚拟连接。和 ARP 类似, NHRP 的基本功能也是实现从网络层地址 (如 IP 地址) 到 ATM 地址的转换。NHRP 和 ARP 的区别在于, ARP 地址转换的范围仅限于一个逻辑子网,而 NHRP 则实现跨子网的地址转换。利用 NHRP, ATM 网络的边缘设备可以直接找到另一个边缘设备的 ATM 地址。这样,两个边缘设备之间就可以建立 ATM 连接,直接通信了。

- 虚拟路由器 (VR, Virtual Router)。一个在 ATM 网上运行的 MPOA 模型相当于一个虚拟路由器。虚拟路由器提供了将路由功能和传输功能分离,以降低费用并改善性能。它由一组网络设备组成,这些网络设备共同提供多协议路由功能。在 MPOA 中,边缘设备接收传统局域网传输的数据,可等同于虚拟路由器中的接口网络卡;ATM 交换网络将各边缘设备连接起来,可视作路由器的总线或交换网络;MPOA 路由服务器负责处理地址和路由的解析,可视作虚拟路由器的控制处理器。这种对应关系如图 10.12 所示。使用了 MPOA 模型之后,整个 ATM 网络就变成了一个虚拟路由器。从图还可以看出,一台主机所处的子网与它的物理位置无关,而是由其 IP 地址或其它网络层地址决定的。这样可增加配置和管理的灵活性。

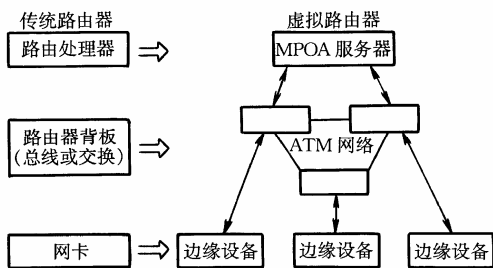


图 10.12 传统路由器和虚拟路由器的对比

(2) MPOA 的模型结构

① MPOA 的协议结构

MPOA 的协议结构如图 10.13 所示。在 MPOA 中，通过 MPOA 实体，完成将网络层协议（IP、IPX、DEC net 等）和地址直接映射到 ATM 层。

| OSI 七层协议 | MPOA 协议栈        |
|----------|-----------------|
| 高层       | 高层              |
| 传输层      | TCP、UDP 和 SPX 等 |
| 网络层      | IP、IPX、DECnet 等 |
| 数据链路层    | MPOA            |
|          | AAL5            |
|          | ATM 层           |
| 物理层      | PHY             |

图 10.13 MPOA 的协议栈

② MPOA 的逻辑组件

MPOA 的逻辑组件包括 MPC 和 MPS，可以在不同的硬件设备上实现，如图 10.14 所示。

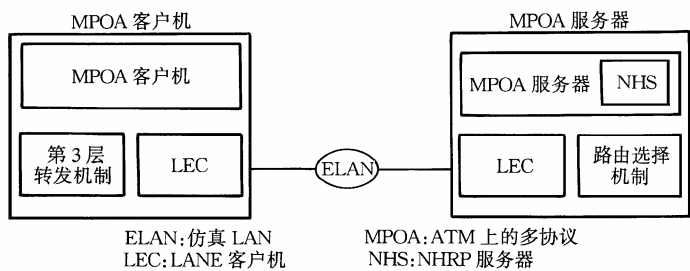


图 10.14 MPOA 的逻辑组成

· MPOA 客户机（MPC，MPOA Client）

MPC 置于边缘设备或连接到 ATM 交换机的主机上，其主要功能是作为网间直接通信的入口点和出口点，起动或者终止直接连接。MPC 位于高层（网络层及以上各层）和 LEC 之间。

MPC 在不停地检测 ATM 网络中数据流，一旦确认就立即请求为其服务的 MPS 提供目的地的有关信息，并检测直接连接是否可以建立。如果可以建立并且获得了目的端的 ATM 地

址，MPC 就会将该信息保存以备再次使用，并建立一条 SVC 向目的端传送数据。MPC 和 MPS 之间采用 NHRP 方式进行通信。MPC 可以服务于多个 LEC，可以和多个 MPS 通信。没有数据流的 SVC 在超过预先设置好的定时情况下会自动拆除。

- MPOA 服务器 (MPS, MPOA Server)

MPS 是 MPOA 路由器中的一个逻辑部件，它为 MPC 提供第三层转发信息，同时，它还包含 NHRP 服务器 (NHS) 的功能。MPS 与其相应的路由功能以及 NHS 相互作用，以确定一条通向目的 ATM 地址的虚连接，并向提出请求 MPC 返回应答信息。

MPOA 路由器具有允许将网络层子网映射到 ATM 上的功能。MPOA 路由器可以作为一个独立的设备，也可以建立在已有的路由器或交换机中。除路由表外，它还维护网络层、MAC 层和 ATM 地址信息。MPOA 路由器通过 NHRP 去解析目的地址，从而 MPC 能够建立直通连接。

### ③ MPOA 的模型结构

MPOA 网络系统采用一种逻辑上的客户机/服务器模式结构。客户机通常是指边缘设备或具有运行 MPOA 协议的 ATM 主机 (简称为 MPOA 主机)，利用服务器所提供的服务，完成数据的转发、发送和连接。服务器是由 MPOA 中的路由服务器承担，主要完成路由协议的处理，为客户提供路由信息和地址解析服务。边缘设备向 MPOA 路由服务器查询路由，根据其回答直接建立与目的终端的连接。MPOA 的模型结构如图 10.15 所示。MPOA 模型由边缘设备、MPOA 主机和 MPOA 路由服务器 (也称路由服务器) 三部分组成。它们在功能上相互独立，而又互为补充，构成一个有机的整体。一般来说，路由服务器起着中央控制的作用，而边缘设备则完成传输与交换的功能。下面分别作一介绍。

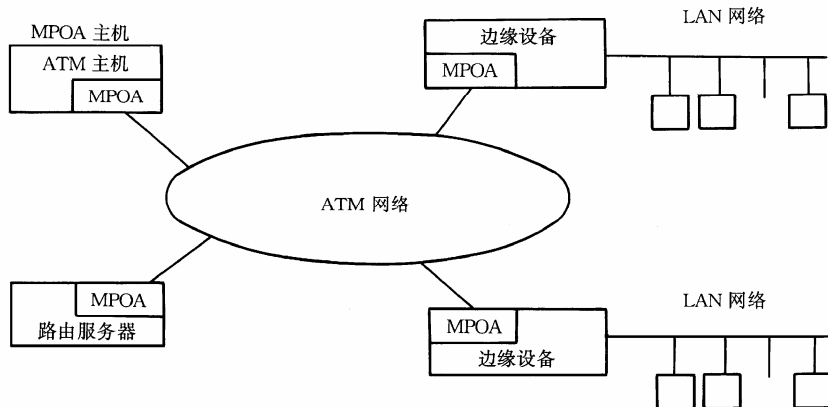


图 10.15 MPOA 模型结构

- **边缘设备：**边缘设备位于 ATM 网络边缘，它是一个智能交换机，一端与 ATM 相连，另一端与传统的局域网相连，根据目的端的网络地址 (如 IP 地址) 或 MAC 地址 (如以太网地址) 完成局域网段与 ATM 间的包交换。MPOA 的边缘设备一般在网络层中实现两种网络间数据帧格式的转换，它可以参与一种或多种网络层路由选择协议的实现，也可以包括路由选择功能。但是，边缘设备并不仅仅局限于网络层，它也可以在其它协议层将传统的局域网接入 ATM，有时也将它称为边缘路由器。

- **MPOA 主机：**即一些连接在 ATM 网络上的主机，也可称为 ATM 附着主机。具有第

三层转发功能，可以作为 MPC 或者 LEC 的主机。在这类主机中，附有一个 ATM 网卡，并以 MPOA 协议作为该网卡驱动程序的一部分。这样，MPOA 主机便可以与其它的 MPOA 主机或是与通过边缘设备连接的传统局域网间进行高效率地通信。

- MPOA 路由器（又称路由服务器）：MPOA 路由器并非专指某种物理设备，而是一组功能的集合，其最基本的功能就是提供路由信息。MPOA 路由器可以作为一个独立出来的设备，也可以在现有的设备中实现，它负责维护本地的网络层、MAC 层和 ATM 地址信息以及路由表。MPOA 路由器通过 NHRP 进行通信，解析目的地址，使得 MPC 可以建立直接连接。MPOA 路由器通过路由协议和传统的路由器进行通信，从而达到和现有的局域网与广域互联网络交互操作。

### (3) NHRP 协议

MPOA 的虚拟路由器基于下一站解析协议（NHRP，Next Hop Resolution Protocol）的实现。IETF 定义了 NHRP 协议，以解决在非广播多接入（NBMA）网络中建立直接通路的连接。这种直接路径方法相对于通过 IP 路由器进行路由选择，其最大的优点就是由于能够提供直接连接，并在直接连接上发送的信元直接在 SVC 上交换，不需要在中间路由器上分段或重组，也不需要中间 IP 路由器节点进行路由处理。虽然 NHRP 是对 ATM 上的传统 IP 技术的扩展，但 NHRP 仍可在 NBMA 子网上的多协议互联网环境中使用。

如果一个主机（或边缘设备）希望与另一个主机或边缘设备建立直接交换虚电路（SVC）时，它必须知道目的主机的 ATM 地址。在同一个逻辑 IP 子网（LIS）中，IP 地址到 ATM 地址的映射是通过本地地址解析服务器来完成的。如果目的主机属于另一个 LIS，则将向目的主机所在的 LIS 的有权服务器发送一个解析请求消息，并把对该请求的响应返回给发出请求的主机。为了使授权地址解析服务器能正确处理解析请求信息，它将利用 IP 路由器的路由选择信息。这些地址解析服务器 IP 路由器被称为 NHRP 服务器（NHS）。

为了建立一条直连的 SVC，NHRP 客户机（NHC）向 NHS 发送 NHRP 请求，用来从 IP 地址中解析出 ATM 地址。如果目的节点在 NHS 的服务范围之内，NHS 就向申请者作 NHS 应答，返回目的节点的 ATM 地址。如果超出服务范围，NHS 就查看它的选路表，确定到达目标节点路径上的下一个 NHS 并转发源节点的请求。下一个 NHS 收到请求后，按照同样的方法进行处理，直到把源节点的请求送到知道映射关系（目的节点前面的一个 NHS）的 NHS 为止。如图 10.16 所示。

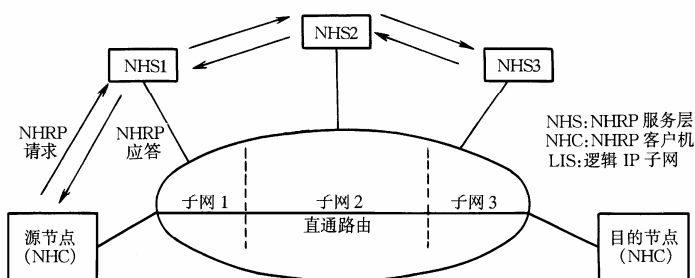


图 10.16 用 NHRP 建立连接通道的过程

包含地址映射关系的 NHS 返回 NHRP 应答，应答按照与请求同样地顺序逐个 NHS 地向回传送，直到送回发出请求的源节点。源节点利用该地址建立直接的 ATM 数据连接。NHS

之所以要按照与请求同样的路径向源节点返回回答,是为了使中间路径上的所有的 NHS 都能获知这个地址对应关系并通过高速缓存器保存。这样,下一次节点申请同一个映射关系时,NHS 就可以作直接的应答,而无需再转发请求。在 NHS 和 NHC 都设置有一个高速缓存器,用于暂存服务 NHS 和转发 NHS 等的请求信息并定期周期地清除。

当处理 NHRP 请求时,NHRP 协议建议源节点可以按照默认的路径,即 LANE 提供的路径发送数据包,而不是在节点进行缓存或丢弃,这样可以减少时延,大大改善了终端系统的性能。

#### (4) MPOA 的工作过程

##### ① MPOA 的原理

在 MPOA 中的信息流可分为数据流和建立连接的控制流。为了建立传输数据包的直接通路,MPOA 将路由功能分散到具有 MPC 的边缘设备和所连接的 ATM 主机以及 MPS 中。MPC 负责转发数据包,而 MPS 提供路由信息。MPC 检查从 LAN 上接收到数据包的目的地址,根据不同的原始条件,确定实现虚连接的具体方法。

- 如果数据包不需要路由,就可以通过传统的 LANE 方式解析目的端的 ATM 地址,建立与目的端的虚连接。

- 如果数据包需要路由它所包含的目的 MAC 地址(即路由服务器接口的 MAC 地址),MPC 就需要查询数据包的网路层的目的地址,向 MPS 查询,解析出该网路层地址所对应的 ATM 地址;或者直接从高速缓存器中查询地址的映射信息。然后建立一条到目的端的虚连接。

- 如果本地的 MPS 不知道对应的 ATM 地址,它会通过 NHRP 的功能,将对该地址的查询请求发送到其他 MPS 上以获得目的端的 ATM 地址(该地址是主机地址或边缘设备的地址)。

##### ② MPOA 的地址解析

图 10.17 描述了 MPOA 的基本操作过程。要图 10.17 (a) 中,以太网和 ATM 网通过网桥互连起来。实际上该互连网上有两个逻辑子网 A 和 B,MPOA 客户机 MPC—A1 和 MPC—A2 属于仿真局域网 A,MPOA 客户机 MPC—B1 和 MPC—B2 属于仿真局域网 B,两个子网通过路由器连接起来。如果源客户机 MPC—A1 与目的客户机 MPC—B1 进行数据传输,首先进行地址解析:在同一个子网中通过 MPOA 服务器(MPS)实现 MPOA 解析请求和响应的操作(用实线箭头表示)而不同子网间是通过下一站(跳)解析协议 NHRP 服务器(NHS),实现 NHRP 解析请求和响应的操作。图 10.17 (b) 表示这种逻辑关系,其中虚拟路由器 1 相当于图(a)中的 MPS1,虚拟路由器 2 相当于图(a)中的 MPS2。当完成 MPOA 地址解析操作之后,源 MPC—A1 与目的 MPC—B1 即将建立一条 MPOA 的直接通道。

##### ③ MPOA 的数据传输

在 MPOA 中,发送单播数据可以使用两条通道:默认通道和直接通道,如图 10.17 (c) 所示。在默认状态下,MPC—A1 将通过 LANE 向逻辑上和 MPS1 放在一处的默认路由器发送数据分组。如果数据刚发送了一部分,直接通道就建立好了,那么输入 MPC 就把数据包的数据链路层(DLL)封装去掉,并把它通过直接通道发送出去。在通过直接通道发送数据之前,MPC—A1 应把标记信息加到数据包上作为前缀,在直接通道上传输。

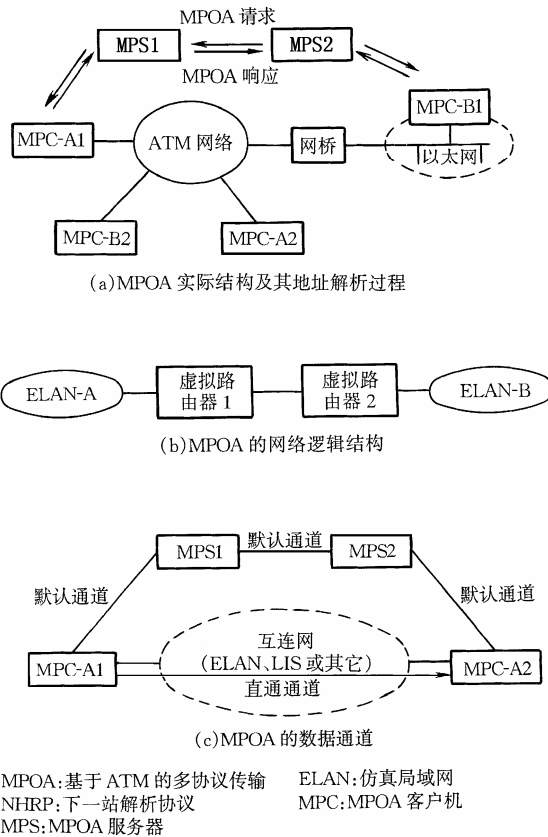


图 10.17 MPOA 的基本操作过程

### (5) MPOA 的优缺点

MPOA 是建立在现有技术基础上的, 包括局域网仿真 (LANE)、下一站 (跳) 解析协议 (NHRP)、多播地址解析服务器 (MARS), 由于它不限于特定网络互连协议 (如 IP 协议), 因此它是在 ATM 环境下支持传统网络的一种通用机制。MPOA 能够以统一的方式支持第 2 层和第 3 层的网络互联, 因此 MPOA 能够在 ATM 环境中实现扩展性较好的连接。MPOA 能够快速有效地处理长数据流和短数据流, 它把数据包发送和路由信息交换分开, 提出了虚拟路由器的概念。它减少了参与互联网层路由计算的设备的数量, 从而提高了可扩展性, 实现独立地理位置的标准虚拟子网。它还使边缘设备不需要运行互联网层路由选择协议, 从而降低了边缘设备的复杂程度。高速缓存条目插入协议是 NHRP 的一种扩展, 能够通过删除最后一跳, 在整个 ATM 中实现端到端的直通连接, 总之, MPOA 是一种功能很强的机制。

由于 MPOA 仍需要地址解析部件, 因此分布在整个网络中的高速存储数据库之间必须保持同步, 这样可能会增加建立连接的时延以及设计和实现协议的复杂程度。MPOA 还有待于深入研究和发, 制定统一标准, 为 ATM LAN 提供好的基础。

上面介绍了传统局域网接入 ATM 的几种方案: 局域网仿真 (LANE)、IP Over ATM (IPOA) 和 ATM 支持多协议 MPOA。从结构上看, 三种方案有相似之处, 都采用了客户/服务器结构, 利用 ATM 为传统的局域网提供服务。从功能上看, 它们都具有处理数据帧格式转换、地址解析等功能。但三种方案的侧重点不同, 适用的环境和技术复杂程度不同。因此网络的组建

者应按照自己的实际情况，根据要求网络提供的服务，从技术及经济效益上，选择适合于自己适用的方案。

10.2.3 基于 SDH 的 IP 传输 ( IP Over SDH )

IP Over SDH/SONET (简称为 IP/SDH) 又称 Packet Over SDH/SONET (POS) 或 PPP Over SDH/SONET, 将 IP 包通过点对点协议 (PPP) 映射到 SDH/SONET 传输帧 (STM—N) 中。IP/SDH 主要用于构成数据骨干网,其网络主要由大容量的高速路由器经高速光纤传输通道连接而成。IP/SDH 实际上是对传统 IP 网络概念的顺延,它完全兼容传统的 IP 协议体系,只是在物理通道上借助 SDH 提供点对点的物理连接,从而使速率提高到 Gbit/s 级。IP/SDH 的最大优点是封装开销低,其结构模式主要涉及两个问题:数据的封装和高速路由器。

1. IP Over SDH 基本原理

SDH 为 IP Over SDH 的实施方案提供了一个良好的环境和传输平台。SDH 一般以光纤线路为载体用于传输数据。其基本单元是 STM—1 (155Mbit/s) 信号,所有高次群传输信号均为第一级的倍数,这就产生了 STM—N 信号 ( $N \times \text{STM—1}$ ,  $N=1, 4, 16, 64, \dots$ )。

SDH 的一大特点是可在高次群的 SDH 多路复用信号中,采用同步字节复用和指针调整的方法,插入或分出低次群支路的数字信号,而不必多路分解整个信号。也可采用映射和指针调整的方法,将现有不同标准的各次群的准同步数字体系 (PDH) 的数字信号装入 STM—1 或再复接到 STM 高次群。这样,便可实现分插复用器 (ADM) 和数字交叉连接设备 (DXC) 动态进行电路调度,并可组成自愈环。

目前,各发达国家和我国的骨干网基本上都是采用 SDH 传输体制,这为在 Internet 主干网实施 IP Over SDH 创造了良好的条件。

IP Over SDH 是以 SDH 网络作为 IP 数据网的物理传输网络。它使用链路协议及 PPP 协议对 IP 数据包进行封装,把 IP 数据包根据 RFC 1662 规范简单地插入到 PPP 帧中的信息段。然后再由 SDH 通道层的业务适配器把封装后的 IP 数据包映射到 SDH 的同步净荷封装 (SPE) 中,再经过 SDH 传输层和段层,加上相应的开销,把净荷装入一个 SDH 帧中,最后到达光层,在光纤中传输。其示意图如图 10.18 (b) 所示,为了便于比较,图 10.18 (a) 和 (c) 分别给出了 OSI 和 IP Over ATM (IPOA) 参考模型。

| OSI   | IP / SDH        | IPOA                          |
|-------|-----------------|-------------------------------|
| 高层    | 高层              | 高层                            |
| 网络层   | IP              | IP<br>LANE, IPOA, MPOA<br>信令层 |
| 数据链路层 | 适配与封装 PPP 或 SDL | AAL&ATM                       |
| 物理层   | 光纤物理层 (SDH)     | 物理层 (如 SDH)                   |
| (a)   | (b)             | (c)                           |

图 10.18 IP Over SDH 协议参考模型及与 OSI、IPOA 的对比

IP Over SDH 实质上是路由器加专线的传统组网模式,相对于其它传输方式 (如 ATM) 具有网络结构简单、传输效率很高的特点,更适合于组建专门承载 IP 业务的高速数据网。IP Over SDH 可以使用 2Mbit/s、45Mbit/s、155Mbit/s、622Mbit/s 甚至 2.5Gbit/s 以上的接口。与 SDH 设备相连的路由器可根据所传的 IP 速率来选用,并且应保证路由器与 SDH 设备之间的



互操作性。目前可用低速路由器，将来可用高速路由器。

IP Over SDH 的网络结构如图 10.19 所示，路由器与 SDH ADM/LT、SDH XC 间设置单信道接口，在 SDH ADM/LT 之间设置多信道接口，全网设置有 SDH 网络管理站（SDH NMS）。

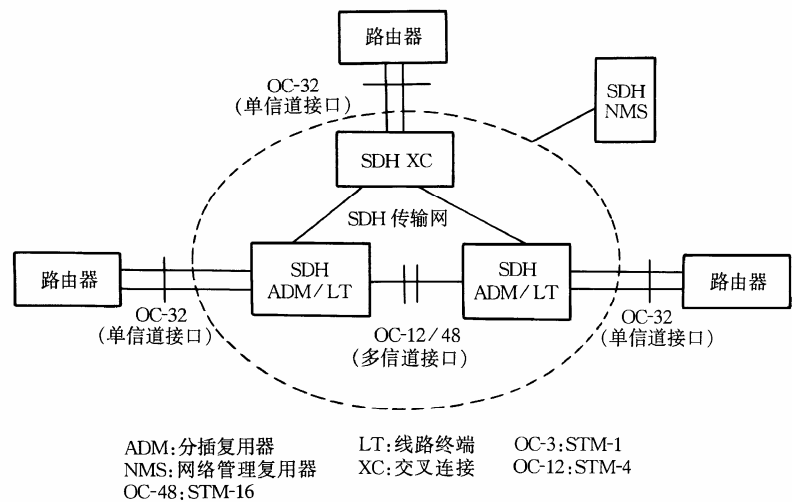


图 10.19 IP over SDH 的网络结构示意图

2. 支持 IP Over SDH 技术的协议

PPP（PPP，Point to Point Protocol）协议是针对点到点链路通信设计的链路层协议。根据 IETF RFC 1661，PPP 协议包括三部分：对多种协议数据的封装方法；用于建立、配置、检测链接的链接扩展协议（LCP）；用于建立、配置不同网络层协议的网络扩展协议（NCP）。对于 IP Over SDH 而言，主要涉及的是 PPP 协议中有关数据封装的部分。PPP 协议的封装方案效率高，适于在 SONET/SDH 通道上采用。POS 的数据封装过程很简单，分为两步：将 IP 包封装入 PPP 帧中；将 PPP 帧放入 SDH 和虚容器。

使用 PPP 协议对 IP 数据包进行封装，并采用 HDLC 的帧格式，即 IP/PPP/HDLC/SDH。PPP 协议提供多协议封装、差错控制和链路初始化控制等功能，而 HDLC 帧格式负责同步传输链路上的 PPP 封装的 IP 数据帧的定界。IP/PPP/HDLC/SDH 的协议栈如图 10.20 所示。

| OSI   |  | IP / PPP / SDH |  |
|-------|--|----------------|--|
| 高层    |  | 高层             |  |
| 网络层   |  | IP 包           |  |
| 数据链路层 |  | PPP 帧          |  |
|       |  | HDLC           |  |
| 物理层   |  | SDH 帧          |  |

图 10.20 IP/PPP/HDLC/SDH 协议栈

PPP 协议由 IETF RFC 1661 文件规定，具有 HDLC 帧格式的 PPP 帧由 IETF RFC 1662 文件规定，PPP Over SONET/SDH 的技术要求由 IETF RFC 1619 文件规定，SDH 的技术要求在 ITU-T G.707 建议中规定。三个协议间的关系是：PPP 协议（RFC 1661）将 IP 数据包切成 PPP 帧（符合 RFC 1662 的 PPP in HDLC—Link Framing）以满足映射到 SDH 帧结构（符合 RFC 1619：

PPP Over SDH) 上的要求, PPP 协议为各种主机、桥接设备和路由器之间提供了一种简单的连接方式。PPP 协议信头的格式如图 10.21 所示。

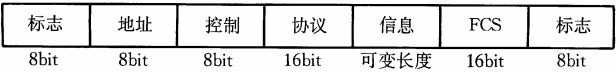


图 10.21 PPP 协议信头结构

(1) 标志字段

标志字段是标准的 HDLC 标识, 其值为 01111110。在实际通信中, 前一个帧的结束和一个帧的开始使用该标识来区分。由于在安排信息字段中也可能出现“01111110”, 这时需要使用 HDLC“0”插入技术来区分数据与标志字段, 即发送端在信息字段中连续 5 个 1 后插入一位 0。接收端则对输入比特流进行监视, 当检测到连续 5 个 1 时, 如果第 6 位是 0, 则删除该 0; 如果第 6 位是 1, 则把该字符解释为一个标志。

(2) 地址字段

地址字段长度为 1 个字节, PPP 信头中的地址是 HDLC 广播地址, 其比特序列为 11111111, PPP 不分配单个端站地址。

(3) 控制字段

控制字段长度为 1 个字节, 其比特序列为 00000011, 图 10.21 表示该帧是轮询/结束 (Poll/Final) 置为 0 的 HDLC 无编号信息 (UI) 帧命令。该字段编码为其它值的帧将被丢弃。

(4) 协议字段

协议字段长度为 2 个字节, 用来标识在 PPP 帧的信息字段封装的网络协议类型。协议字段还用来标识 PPP 控制协议的类型, 即链接扩展协议 (LCP) 或网络扩展协议 (NCP)。

PPP 端站能够协商把协议字段的大小减少到 1 个字节。

(5) 信息字段

信息字段是可变长度的, 在该字段放入高层协议数据。

(6) FCS 字段

帧校验序列 (FCS) 字段长度为 2 个字节, 其值为 PPP 帧的 16 位循环冗余校验和。

在确定了 IP 包在 PPP 帧中的封装之后, PPP HDLC 帧在 SDH/SONET 帧中的封装就十分简单。PPP 将 SDH 视为面向字节的全双工链路, 把 PPP 帧的字节流映射入 SDH 的虚容器 (VC) 中即可。PPP 帧在 VC 中边界对齐, 逐行排放, 因为 PPP 帧长是可变的, 允许其跨越 VC 的边界。

3. 支持 IP Over SDH 技术的高速化协议

目前国际上大规模铺设的 SDH 骨干网的单信道速率大部分已达到 STM-16 (2.5Gbit/s), 一部分甚至达到 STM-64 (10Gbit/s), 速率可支持 STM-16 的千兆路由器也已商品化。

IP Over SDH 将在如此高的速率上运行, 然而在 IP/PPP/HDLC/SDH 中所使用的基于 HDLC 的帧定界协议存在问题, 使基于 HDLC 的封装机制不能直接用于 STM-16 及其以上的速率。主要是在使用 HDLC 帧时, 需要监视每一个输出字节, 当用户数据字节的编码与标志字节相同时, 需要进行填充操作。而在输入端也需要监视输入的帧, 以进行去填充操作。这种填充/去填充操作使实现变得复杂, 引起带宽管理问题。

目前, 朗讯 (Lucent) 公司提出了简化数据链路 (SDL) 协议, 代替当前所使用的 PPP/HDLC

协议。SDL 协议可以使用户对同步或异步传送的可变长的 IP 数据包进行高速定界，它可适用于 OC—48/STM—16 以上速率的 IP Over SDH。SDL 协议主要应用于点到点的 IP 传送，可用于任何类型的数据包（如 IPv4、IPv6 等），与 HDLC 相比，SDL 更容易应用于高速链路，并且有可能提供链路层的 QoS。IP/SDL/SDH 的协议栈如图 10.22 所示。

| OSI   |  | IP/SDL/SDH |  |
|-------|--|------------|--|
| 高层    |  | 高层         |  |
| 网络层   |  | IP 包       |  |
| 数据链路层 |  | SDL        |  |
| 物理层   |  | SDH 帧      |  |

图 10.22 IP/SDL/SDH 的协议栈

SDL 的帧格式如图 10.23 所示，SDL 帧由数据字段长度指示符、QoS 字段、CRC 字段和用户数据字段等部分组成。

- 数据字段长度指示符：该字段长度为 2 个字节，用来指出数据字段的长度。
- QoS 字段：该字段长度暂定为 4 比特，用于支持 QoS 和复用功能，其编码和格式尚未确定。如果 SDL 支持 QoS 和复用功能，则 SDL 帧的功能与 ATM 信元的功能很相似，只是它的长度是可变的。
- CRC 字段：该字段长度为 4 比特，它为 SDL 帧头（即数据字段长度指示符、QoS 字段和 CRC 字段）提供保护。
- 用户数据字段：该字段长度可变，用于承载用户数据。

|                         |               |               |                  |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|
| 数据字段<br>长度指示符<br>(2 字节) | QoS<br>(4 比特) | CRC<br>(4 比特) | 用户数据字段<br>(可变长度) |
|-------------------------|---------------|---------------|------------------|

图 10.23 SDL 帧格式

SDL 的特点是：

- 简化了数据链路。
- 主要应用于点到点 IP 传送。
- 可以用于任何类型的数据包（如 IPv4、IPv6 等）。
- 比 HDLC 容易应用于 OC—48/STM—16 以上的高速链路。
- 有可能提供链路层的 QoS 和复用。

4. 高速路由器

IP Over SDH 模型的数据封装很简单，对 IP 协议而言只是提高了物理传输速率而已。IP Over SDH 模型的主要困难来自于：在链路的速率提高到 Gbit/s 量级以后，传统的路由器不能胜任高速数据转发，所以能否实现可行的吉比特级路由器成为 IP Over SDH 模型的成功的关键。

(1) 吉比特级路由器

传统的路由器通常是基于总线和集中处理器结构，其处理能力一般是几十万个包/秒，最

大的吞吐能力约 1 个 Gbit/s 左右，而 SDH 的接口速率通常为 STM—4 (622Mbit/s)、STM—16 (2.5Gbit/s)，传统的路由器显然不能适应于 POS。随着 Internet 骨干网上业务量的激增，对核心路由器的处理能力、容量提出了更高的要求，随之也产生了许多吉比特级路由器的研制。从 1997 年开始，国际上主要的通信公司陆续开发出一些处理能力在几个 G 到几十个 G 的路由器，并投入了使用，其中主要的代表产品如 Cisco 公司的 7500、12000 系列路由器、Ascend 公司的 GRF 系列、Lucent 公司的 PacketStar 6400 系列。这些吉比特级路由器抛弃了传统的总线/背板加集中处理器的结构，代之以高性能的专用或通用的交换矩阵，有些甚至直接采用了 ATM 交换矩阵；同时将原来集中在中央处理器的智能尽量分散至各个接口处理模块，希望通过高速缓存和其它的路由预处理手段来加速数据包的转发。经过一系列结构上的改进，路由器的吞吐量有了很大的提高。表 10.1 是 Cisco 公司 GSR 7500 系列和 GSR 12000 系列产品中 6 种产品的接口数目和路由器的路由能力。吉比特级路由器与 ATM 并没有冲突之处，GSR12000 系列路由器既有 IP Over SDH 接口，又有 IP Over ATM 接口。

表 10.1 Cisco 公司 GSR7500、12000 产品的接口入交换参数

| 产 品            | 系统总带宽    | OC-3/STM-1 | OC-12/STM-4 | OC-48/STM-16 |
|----------------|----------|------------|-------------|--------------|
| Cisco 7505 系列  | 1Gbit/s  | 3          | -           | -            |
| Cisco 7507 系列  | 2Gbit/s  | 5          | -           | -            |
| Cisco 7513 系列  | 2Gbit/s  | 6          | -           | -            |
| Cisco 12004 系列 | 5Gbit/s  | 12         | 3           | -            |
| Cisco 12008 系列 | 40Gbit/s | 28         | 7           | 7            |
| Cisco 12012 系列 | 60Gbit/s | 44         | 11          | 11           |

(2) 吉比特级路由器的技术特点

吉比特级特高速路由器具有一些专有的技术特点，主要包括交换矩阵用于路由器的交换处理、分布式路由处理、支持广泛的路由协议和改进的排队机制等。

· 交换矩阵用于路由器的交换处理

传统路由器是基于总线的交换处理。随着接口速率的进一步提高，要求路由器必须提供更大的交换能力，交换总线就成为了瓶颈。吉比特高速路由器为了进一步增大交换能力，使用交换机采用的矩阵结构，如图 10.24 所示。在图中，吉比特高速路由器的核心是一个交换矩阵，这样所有的接口卡可以在中央路由处理器的协调下同时进行数据的交换，成倍地提高了路由器的路由交换能力，使 3 层的路由器能力达到了 2 层的交换速度。

· 分布式的路由处理

在 Internet 上骨干路由器通过通用的路由交换协议，经过计算生成一个路由交换表或网络拓扑图。随着路由数据不断地更新，路由表或拓扑图也不断发生变化，当数据包进入路由器后，路由处理器根据目的地址和当前的路由表或拓扑图计算出这个数据包的最佳路径，然后把数据放到输出队列上，这也与传统路由器的结构相适应。目前，Internet 骨干网上的路由记录已经达到 40 万条，维护这样一张路由交换表或网络拓扑图，并同时控制数据包的选路和输出，对路由处理器的处理能力要求很高。

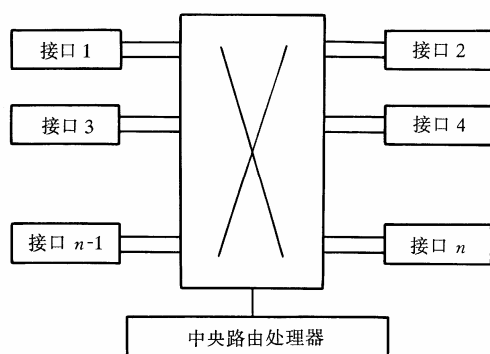


图 10.24 吉比特高速路由器的结构

在吉比特高速路由器中，把路由分成中央和接口卡两部分进行处理。中央路由处理器负责处理路由交换协议，收集路由信息、生成路由表或网络拓扑图，并负责更新。另外，在每一块接口卡上有一个路由处理器。中央路由处理器定时将当前的路由表或拓扑图分发给接口卡上的路由处理器，当数据包进入路由器后，由接口卡上的路由处理器根据目的地址和路由信息进行选路和输出。在这种情况下，中央处理器和接口卡上的处理器分开处理了传统路由器中由单一处理器完成的工作，提高了路由处理能力，缩短了数据包在路由器中的滞留时间。

- 支持通用的新 IP 协议

传统的路由器一般也称作多协议路由器，这是由于一般的路由器不仅支持通用的 IP 和 IPX 两种网络层协议，而且也支持 DECnet 或 Appletalk 协议，每一种协议都有完整的协议识别、地址分配和地址解析方法、路由算法、路由信息的交换以及网络管理。传统的多协议路由器由于具备多协议的处理能力，所以应用范围很广。但是不利的方面是共享路由处理器的处理能力，增加信息包在路由器中的滞留时间，以至降低路由器的交换能力。在以前网络流量较小，对时延要求不高的情况下，使用得很好。

吉比特高速路由器则只支持 Internet 上的通用协议，即 IP 协议。这样提高了路由处理器的工作效率，减少了数据包在路由器中的滞留时间。另外，吉比特高速路由器支持新的 IP 协议，即 IPv6，为下一代 Internet 的升级做好了准备。

- 采用虚拟输出队列机制

在输入/输出队列的管理上，采用了虚拟输出队列的方法，并增大了缓冲区的大小。

传统路由器在排队机制上采用先入先出 FIFO 的机制，所有的输入数据不管输出的目的地是否相同，都在同一个队列上排队，等待处理。当某个数据包的输出队列没有空闲时，它就必须等待，这时，它后面的数据包不论自己的输出线路是否空闲，也必须等待，造成所谓的头部阻塞（HOLB, head-of-line blocking）。在吉比特高速路由器中，根据接口卡的多少，每个输入队列设立多个虚拟输出队列，根据不同的目的地分别排队。采用这种技术，消除了头部阻塞的发生，提高了路由能力，也减少了由于超时和缓冲区满造成的数据包的丢失。

另一方面，增大了输入/输出缓冲区的大小。以 Cisco 产品为例，每一个接口卡可以分别提供最大到 128M 的输入和输出缓冲区。

另外，还在接口技术、服务质量和对组播的支持等方面都有新的进展。

### (3) 标记交换路由器（LSR）

作为特高速路由器的一个例子，下面介绍标记交换路由器的基本特点。

随着 Internet 规模的扩大，网上路由器的路由表也越来越大，尤其是骨干网上的路由器，由于不能够使用缺省路由，虽然采用无类型域间路由选择 CIDR 技术加大了路由簇集程度，但路由表仍然达到几十万行的规模，如 Ascend 公司的 GRF 有 15 万行，Cisco 公司的 7500 系列有 25 万行，12000 系列有 100 万行。虽然可以采取一定的高缓存手段来加快访问，但对这样庞大的路由表的查询极为费时，占用了大量的处理器资源，成为制约路由器吞吐量的瓶颈。这一瓶颈的解决要依靠 IETF 提出的 MPLS 协议（下节介绍）。

MPLS 即 IETF 提出的多协议标记交换（Multi-Protocol Label Switching）。MPLS 网络中的核心设备称为标记交换路由器（LSR，Label Switching Router），它在标记的索引下进行高速的交换，是标记交换思想的体现。LSR 在实现上可以基于现有的 ATM 交换机，并附以相关的路由协议[开放最短通路优先协议(OSPF)、边界网关协议(BGP)]和标记分配协议，在功能上更类似于路由器，在性能上具有比当前吉比特路由器更高的吞吐量。LSR 能够高速交换的原因是基于查表中两种基本方案：匹配方式、索引方式。匹配方式必须逐次搜索表项，以确定匹配项。而索引方式直接将内容本身作为地址进行索引，就可以一步从表的对应位置找到表项。标记交换实际上就是这种索引方式的体现，并且通常是硬件实现的。这也就是广义上的“交换”能够达到线速（wire speed），而比“路由”要快的根本原因。

在引入标记交换的概念之后，再附以传统路由器的许多优化手段，就可以实现较吉比特级路由器更高吞吐量的标记交换路由器（LSR）。

5. IP Over SDH 的优缺点

(1) 优点

- IP Over SDH 的封装效率高，对 IP 路由的支持能力强，具有很高的 IP 传输效率。
- 符合 Internet 业务的特点，如有利于实施多路广播方式。
- 能利用 SDH 技术本身的环路，故可利用自愈环（Self-healing Ring）能力达到链路纠错；同时又利用开放最短通路优先 OSPF 协议防止设备和链路故障造成的网络停顿，提高网络的稳定性和可靠性。
- 省略了不必要的 ATM 层，简化了网络结构，降低了运行费用，提高了扩展性。

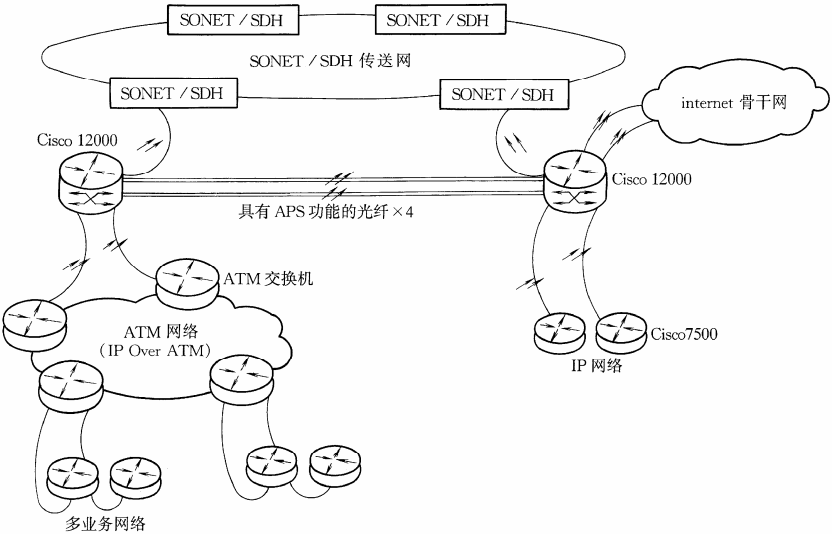


图 10.25 IP Over SDH 和 IP Over ATM 的混合网络举例

## (2) 缺点

- 仅对 IP 业务提供好的支持，不适于多业务平台。
- 不能像 IP Over ATM 技术那样提供较好的服务质量保障 (QoS)。
- 对 IPX 等其他主要网络技术支持有限。

## 6. IP Over SDH 的应用

图 10.25 所示为一个典型的在 SDH/SONET 上同时支持 ATM 多业务网和使用 IP Over SONET/SDH 技术的 IP 网络情况。在图 10.25 的左侧，核心路由器 (Cisco 12000 路由器) 具有 ATM 接口，与 ATM 网络相连接，用于把 ATM 网络中的 IP 业务量发往 Internet 骨干网。然后，IP 数据穿过电信运营者的 SDH/SONET 环，达到图中右侧的 Internet 骨干网。IP 业务量也可以 OC-12/STM-4、OC-48/STM-16 或更高的速率穿过两个核心路由器之间的光纤，这样可以不经过拥塞的网络接入点 (NAP)。

## 10.2.4 基于 WDM 的 IP 传输 (IP Over WDM)

IP Over WDM，也称为光因特网或光互联网。它能够极大地拓展现有的网络带宽，最大限度地提高线路利用率，并且在外围网络以千兆以太网成为主流的情况下，这种技术能真正的实现无缝接入。应该说，IP Over WDM (DWDM) 将代表着宽带 IP 主干网的明天。但 WDM/DWDM 本身的组网处于初级阶段，技术还不够成熟，光信号的损耗与监视，以及光通路保护切换和网络的管理配置问题都尚待解决。当前 WDM/DWDM 技术已经取得了很大的进展，现已经应用于光纤长途干线通信的容量扩容升级和其它多种形式的光纤网络，使光纤通信发展到一个更高的水平。目前 10Gbit/s ( $4 \times 2.5\text{Gbit/s}$ ) 的光 WDM 传输设备已经商用化，100Gbit/s 光 WDM 海底光缆传输系统已在商用海缆线路上进行了实验，160Gbit/s ( $16 \times 10\text{Gbit/s}$ ) 系统和 340Gbit/s ( $17 \times 20\text{Gbit/s}$ ) 系统已相继试验成功。本节将对 WDM/DWDM 基本概念、IP Over WDM 基本原理、网络结构和有待研究的课题等几方面作扼要的介绍。

## 1. 光波分复用 (WDM) 技术概述

## (1) WDM 的基本原理

光波分复用 (WDM, Wavelength Division Multiplexing) 是在一根光纤中能同时传输多个波长的光信号的复用方式。其基本过程是为了充分利用单模光纤低损耗区带来的巨大带宽资源，根据每一信道光波的波长不同可以将光纤的低损耗窗口划分成若干个信道，把光波作为信号的载波。在发送端，采用波分复用器 (合波器 M) 将不同规定波长信号的光载波合并起来送入一根光纤进行传输。在接收端，再由一波分复用器 (分波器 D)，将这些不同波长承载不同信号的光载波分开。由于不同波长的光载波信号可以看作互相独立 (不考虑光纤非线性时)，从而在一根光纤中可实现多路光信号的复用传输。双向传输的问题只需将两个方向的信号分别安排在不同波长中传输即可。根据波分复用器的不同，可以复用的波长数也不同，从 2 个至几十个不等，现在商用化的一般是 8 波长和 16 波长系统，这取决于所允许的光载波波长的间隔大小。WDM 技术的工作原理如图 10.26 所示。由图可见，实现 WDM 技术的关键在于 WDM 器件，图中 WDM 器件一称作分波/合波器。

由于波分复用是对多个波长进行复用，因此提出了光的波长分割问题，即两个相邻信道波长间隔有多少的问题。对一个特定波长的光信道，激光器件的性能决定了它具有一定的信道间隔。光 WDM 通信系统是一个光信道间隔较大的光复用系统，通常信号的峰值波长间隔

一般在 50~100nm 量级, 这种 WDM 系统称为常规 WDM (Course WDM) 系统。另外, 就是复用波长之间和载波间隔较小, 一般指峰值波长间隔在 1~10nm 量级的系统, 这种 WDM 系统称为密集 WDM (DWDM) 系统。进一步, 如果信道间隔小于 1nm, 则称为光频分复用系统。

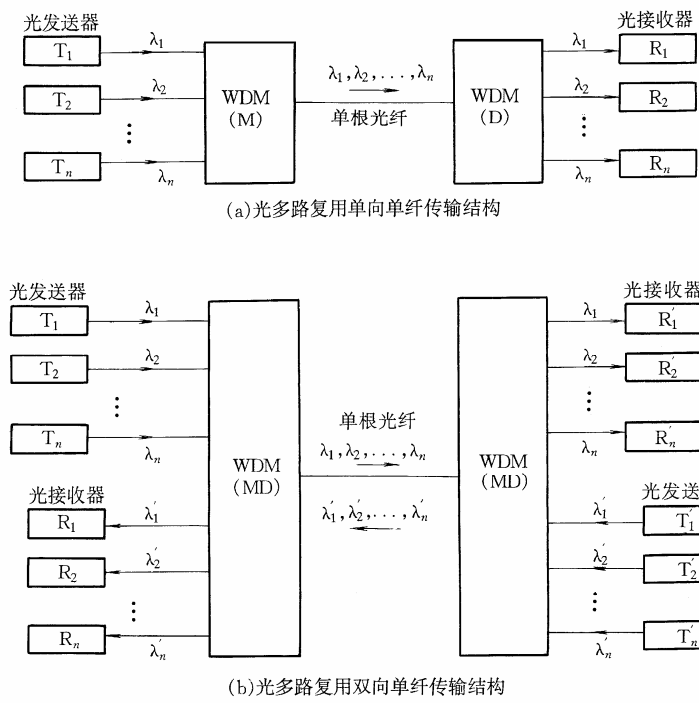


图 10.26 WDM 工作原理图

(2) WDM 的技术特点

- 光纤线路建成以后, 由于业务发展需要扩容时, 利用光波分复用技术可以不增建光缆线路或不改动原有光缆线路而在原有容量的基础上扩大几倍、几十倍、以至几百倍的传输容量。这对于线路费用占很大比重时, 尤其有重大意义。
- 目前使用的光波分复用器主要是无源器件, 结构简单, 体积小, 可靠性高, 易与光纤耦合, 成本低。
- 在光波分复用技术中, 各个波长工作的系统是彼此独立的, 各个系统所用的调制方式、传输速率、传送什么信号, 比如用模拟信号还是用数字信号, 各波长工作系统彼此没有关系, 而是互相兼容, 本身是透明的。因而在使用上带来很大的方便和灵活性。
- 波分复用器件 (分波/合波器) 具有方向的可逆性, 即同一个器件可用作合波也可用作分波, 因此可以在同一光纤上实现双向传输。

2. IP Over DWDM 基本原理和工作方式

(1) 光互联网的概念

IP Over WDM 也称为光互联网或光因特网, 是由高性能的 WDM 设备, G (吉) 比特、T (太) 比特路由交换机组成的数据通信网; 它利用波分复用技术, 将 IP 数据包放在光路上传输, 省去了中间的 ATM 层和 SDH 层, 是一个真正的链路层数据网。交换机和路由器之间可通过光纤直接相连或连至光网络层, 这充分利用了 WDM 技术所带来的巨大的传送带宽和



高速路由交换机的强大的交换能力，合理地在 IP 层和光学层之间优化配置流量工程、保护恢复、QoS、网络管理等功能，构成了一种简单而高效的网络体系结构。高性能的网络路由器替代了传统的提供控制波长接入、交换、选路和保护倒换等功能的 ATM 和 SDH/ SONET 交换和复用设备。光网络层（即服务层）可以为包括 SDH 网元、网络互联设备等在内的客户层设备提供波长路由。它的上层是数据网络，底层是采用 WDM 技术的物理传送网络。

光互联网络的帧结构有 2 种形式：SDH 帧格式和吉比特以太网格式。光互联网络的重叠模型和封装示意图如图 10.27 所示。在光互联网络中，基于分组或信元的数据网络支持统计复用，跳过中间的 SDH/SONET 层，直接通过光分插复用器（OADM）在光路上路，减少 SDH/SONET、ATM、IP 等各层间的功能重叠。例如 ATM 和 IP 网络可以直接接入光网络，而不需经过 SDH/SONET；在光互联网络中，数据业务不必再使用 TDM 速率序列，可以对数据分组或信元进行统计复用，并可把其他 SDH/SONET 功能移到数据设备中。

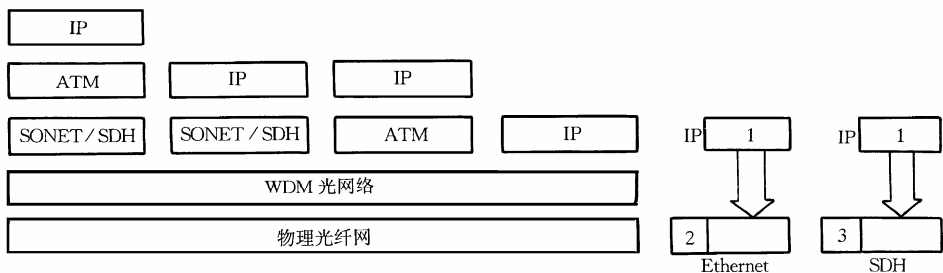


图 10.27 IP Over WDM 的重叠模型和封装示意图

(2) 光互联网络的分层模型

光互联网络的分层模型包括数据网络层、光网络层以及层间适配和管理功能。数据网络层提供数据的处理和传送；光网络层负责提供通道；层间适配和管理功能用于适配数据网络和光网络，使数据网络和光网络相互独立。数据网络层的主要设备是 ATM 交换机、路由器等；光网络层的主要设备有 WDM 终端、光放大器以及光纤等。在光因特网中，高性能的数据互连设备既可以直接连接在光纤上,也可以连接在各类客户提供光波长路由的光网络层上。光互联网络的分层模型如图 10.28 所示。

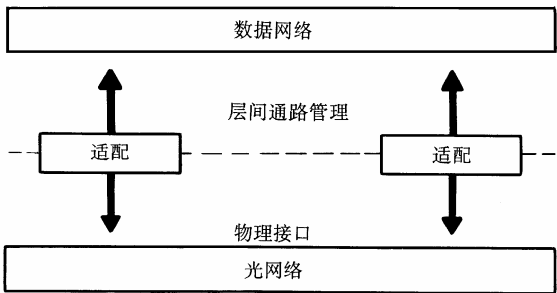


图 10.28 光互联网络的分层模型

(3) 光互联网络的协议模型

光互联网络的协议模型包括客户层协议、IP 适配层协议、光通路协议以及 WDM 光复用段协议和 WDM 光传输段协议等。客户层协议包括 IPv4、IPv6 等协议；IP 适配层协议包括

IP 多协议封装、分组定界、差错检测以及服务质量控制等功能；光通路协议包括数字客户适配和带宽管理、接续确认等功能；WDM 光复用段协议包括带宽复用、线路故障分段和保护切换以及传送网维护功能；WDM 光传输段协议包括高速传输、光放大器故障分段等功能。光互联网络的协议模型如图 10.29 所示。



图 10.29 IP Over WDM 的协议模型

3. IP Over DWDM 的体系结构

(1) IP Over DWDM 的基本体系结构

IP Over DWDM 的基本结构是用 DWDM 分插复用技术将波长耦合进光纤或从光纤中解耦，然后再将有关波长携带的信息送给路由器或 SDH 设备。其特点是：依靠 DWDM 的波长配置，可使光互联网的业务量与非对称的互联网业务量相匹配；可以利用光纤环的保护特性减少突发业务量产生的影响（抖动、延时和数据包丢失等）；可以利用 IP 层和物理层两种不同形式的恢复方法，对不同的业务提供不同的恢复能力，提高业务的实时性；利用工作光纤和保护光纤可以配置直通波长或旁路波长，避免在采用 ATM 或 IP 的直通方法时，在交换机或路由器中由于缓存所带来的延时。

IP Over DWDM 的网络结构如图 10.30 所示。在图中的 OADM 是光分插复用器，路由器之间由 OADM 或 DWDM 终端复用器互连，也可通过 ATM 交换机或 SDH 网络的 ADM 互连。OADM 允许不同光网络的不同波长信号可以在不同的地点分插复用。该图表明 DWDM 环网可以用来连接传统的话音、ATM、SDH 及 IP 等多种业务，满足不同用户的各种需求。图 10.31 所示结构，是采用多个 DWDM 环，各个环之间用光交叉连接设备 OXC 互连，适用业务量大的系统。

(2) IP Over DWDM 网络结构中一些特有问题的考虑

IP 全光网络的结构设计相对于传统的传输网设计是完全不同的，尤其是当前，高速光器件和网络技术本身还在开发阶段。在 IP Over DWDM 光互联网中，新的 OC-48 和 OC-192 高速接口能将路由器和交换机直接插入 DWDM 系统，而不用先经过 SONET ADM 在时域内复用。这样在光纤上直接传输 IP 或 ATM 业务成为可能。但是，将光传输设备与这些协议结合起来并非那么简单。在 IP Over DWDM 网络结构设计中的几个特有问题的：

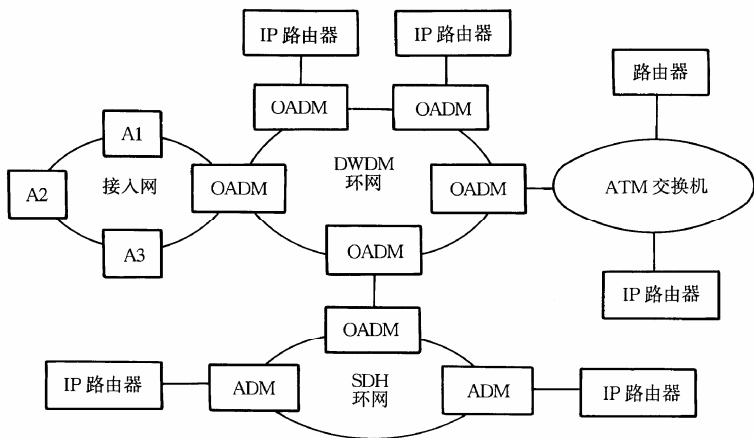


图 10.30 IP DWDM 网络结构示意图

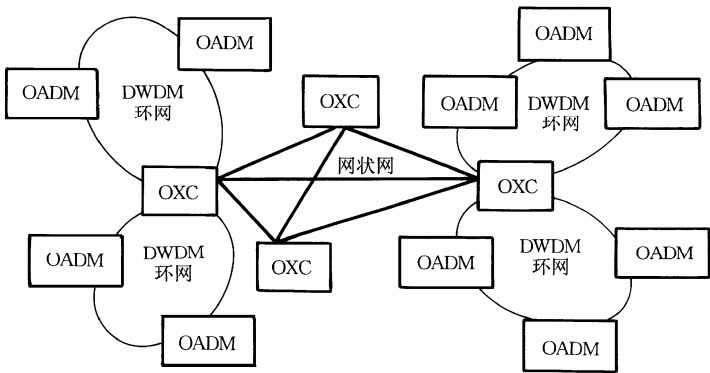


图 10.31 适用于大业务量和光互联网络结构示意图

- 如何分配波长以实现光纤容量的优化配置和提高网络的灵活性；
- 通过设计网络重构和流量控制实现业务恢复功能；
- 可用波长和波长缺乏情况下对网络容量和结构的影响；
- 网络保护的恢复速度及可靠性问题；
- 多光纤的 WDM 对网络拓扑和结构上的存活性的影响；
- 信道串话和噪声积累对系统的限制问题。

4. IP Over DWDM 的优缺点

(1) 优点

- 充分利用光纤的带宽资源，极大地提高了带宽和相对的传输速率。
- 对传输码率、数据格式及调制方式透明。可以传送不同码率的 ATM、SDH/SONET 和千兆以太网格式业务。
- 不仅可以与现有通信网络兼容，还可以支持未来的宽带业务网及网络升级，并具有可推广性、高度生存性等特点。
- 由于省去了昂贵的 ATM 交换机和大量的 SDH 复用设备，又采用了波分复用，系统成本较传统电路交换网低 1~2 个数量级。

## (2) 缺点

- 目前,对于波长标准化还没有实现。一般取 193.1THz 为参考频率,间隔取 100GHz。
- WDM 系统的网络管理应与其传输的信号的网络分离。但在光域上的附加开销和光信号处理技术还不完善,从而导致 WDM 系统的网络管理还不成熟
- 目前,WDM 系统的网络拓扑结构只是基于点对点的方式,还没有形成“光网”。

## 5. IP Over DWDM 有待研究的课题

目前国际上对光互联网的研究刚刚开始,对光互联网中的技术细节及协议尚未做出明确规定,许多技术都处于开发和研究阶段,现将一些主要议题简述如下。

### (1) 数据网络层与光网络层的适配

目前数据网络的速率远远低于光传送网络速率。光互联网的关键技术在于如何进行数据网络层和光网络层的适配,IP 数据以何种方式成帧在 WDM 网络上传输,这也是 ITU-T 的光互联网论坛 OIF 正在研究的问题。具体的适配功能包括:数据网的 OAM (操作管理和维护) 信元可以适配到光网的 OAM 信元、数据网中特定协议呼叫可映射到相应的信令消息等,而且适配功能可以单独实现,也可以在数据网或光网络中同时实现。

当前可以使用的适配功能包括 ATM/SDH 适配、信元适配、PPP/SDH 适配以及 SDL/SDH 适配等。

### (2) 光分插复用器 (OADM) 和光交叉连接器 (OXC)

在光互联网中需大量使用 OADM,为对网络进行灵活控制,光分插复用器应是可编程的,可用软件进行控制。动态(灵活或重构性)的 OADM 是光网络得以实现的根本。在局际 IOF (局间网) 光环网中使用灵活的 OADM 就是系统可以在任两个节点间提供全部波长信道的连接,而且可以在远端实现软件控制。但是目前 WDM 分插复用器技术还不是很成熟,也没有大量商用,特别是对于波长数很多的系统。目前的许多光分插复用器和光交叉连接器都是无源器件,而且要求在节点上插入/分接特定波长之前必须预先配置好。而  $N \times N$  光开关已开始出现并逐步商业化,它可实现动态重组光分插复用器和交叉连接器。虽然光交叉连接设备还不成熟,但随着技术的发展,这些问题会很快解决。

### (3) 网络交换技术的发展

网络交换技术的发展给计算机网络带来革命性变化,随着交换技术和路由技术的发展,交换机和路由器会逐渐融合为新一代交换路由器或路由交换机。这种变化使人们认识到,网络交换可在 OSI 模型的各层实现,这大大拓宽了网络交换的含义。

### (4) 未来的高速路由交换机

1997 年推出了采用硬件专用电路 (ASIC) 进行路由识别、计算和转发的新型路由器。商品化的路由交换机的交换速度一般为 10~60Gbit/s,包转发速度为 10~60Mbit/s。目前交换速度达几 Tbit/s 的路由交换机也已问世,为了达到 T 比特的速度一般采有并行或大规模并行计算技术。

为了提高路由查询的速度,可以对数据结构和算法进行优化、采用某些硬件技术将 IP 软件硬件化、使用高速缓存以降低查询时间提高 IP 包的处理速度。另外使用 MPLS (多协议标记变换) 等新协议,从根本上改变路由器工作方式。未来的路由器不仅要具有较高的数据转发速率,还应考虑 IP 网络向综合业务发展的趋势,对不同的业务类型执行不同的排队及调度策略,在输入端口对数据分组进行业务归类,以便提供 QoS 保证,同时,路由表的生成也将在特定的分布式算法基础上获得改进。

10.2.5 三种宽带 IP 传输方式的总结与比较

通过以上对三种宽带 IP 传输技术的分析，我们可以发现，在高性能、宽带的 IP 业务方面，IP Over SDH 技术由于去掉了 ATM 设备，投资少、见效快而且线路利用率高。因而就目前而言，发展高性能 IP 业务，IP Over SDH 是较好选择；而 IP Over ATM 技术则充分利用已经存在的 ATM 网络和技术，发挥 ATM 网络的技术优势，适合于提供高性能的综合通信服务，因为它能够避免不必要的重复投资，提供 Voice 、 Video、 Data 多项业务，是传统电信服务商的较好选择；对于 IP Over WDM 技术，它能够极大地拓展现有的网络带宽，最大限度地提高线路利用率，并且在外围网络以吉比特以太网成为主流的情况下，这种技术能真正地实现无缝接入。应该说，IP Over DWDM 将代表着宽带 IP 主干网的明天。

10.3 IP

10.3.1 资源预留协议 RSVP

资源预留协议 (RSVP, Resource reSerVation Protocol)1994 年被定为 IETF 标准，用于点到点通信和点到多点通信的 Internet 网络环境中多媒体对网络资源的预留。RSVP 核心功能的定义参见 RFC 2205,其基本功能是通过预留和保留传输路径中的资源而改善或保证用户应用的服务质量。

1. RSVP 简介

(1) RSVP 的基本概念

RSVP 的资源预留必须是由接收端到发送端的端到端过程，RSVP 概念示意图如图 10.32 所示。

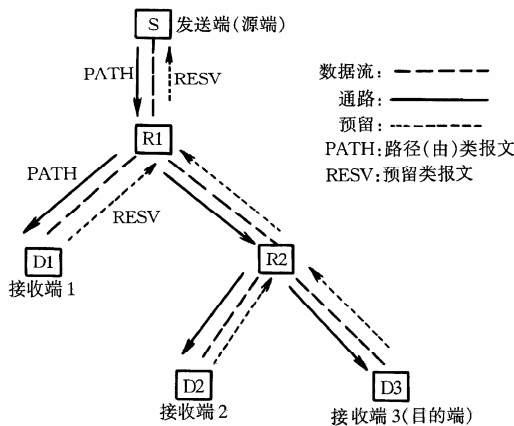


图 10.32 RSVP 基本概念示意图

- RSVP 可对点到点通信、点到多点通信方式进行资源预留。
- RSVP 采用单方向预约方式，即由数据流的接收端向数据源端沿路径进行预留。这里，

数据流是指从源端传输到所有目的地的有方向的树状路线，接收数据流的接收端称为数据流的下游，发送数据的源端称为上游。

- RSVP 包括两类最基本的控制报文：PATH（路径）类报文和 RESV（预留）类报文。PATH 类报文由数据源端发出，RESV 则由数据接收端根据 PATH 路径中各网络元素的资源要求，沿 PATH 报文设置的路径返回发出。如果接收端不需要预留资源，则不返回 RESV 报文，而直接沿相应的路径接收来自于源端的信息。

- 发送 PATH 类报文或 RESV 报文的初始过程由 RSVP 会话（RSVP Session）决定。一个 RSVP 会话定义一个预约需要的点到点传输或点到多点传输的数据流。RSVP 的会话由相应的 IP 目的地址、传输层协议和目的端口号来识别。当会话的目的地址是组播时，会话定义不必包括目的端口号，只有在多对一的单播会话中，才有必要利用目的端口号来区分相同接收主机的不同会话。

### (2) RSVP 的应用环境

RSVP 既支持 IPv4 协议，又支持 IPv6 协议，所以 RSVP 协议可在 IP 协议上实现，RSVP 也可在 UDP 协议上实现，其协议实现环境如图 10.33 所示。

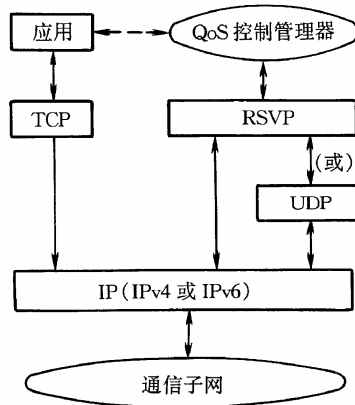


图 10.33 RSVP 协议的实现环境

由于 RSVP 协议所对应的资源预留环境为多数据源和多接收端的点到点通信与点到多点通信的网络环境，由接收端向源端进行资源预留时，就会产生多个接收端指定同一发送源或不同的接收端指定不同的发送源等问题。因此，针对不同的资源预留需要，RSVP 定义了不同的资源预留模式，即固定模式、通配符模式和显式共享模式。其中，固定模式是固定的接收端对固定源端的预留，一旦用户应用程序通过了准入控制和进行了固定式预留，则在该预留被拆除之前，所确定的源不能被修改。通配符模式是指所有预留同一源端的不同接收端用户可以共享同一路径中的带宽和缓冲区等资源。使用显式共享模式的不同接收端用户在共享路径中的带宽与缓冲区等资源的同时，还可以选择指定不同的信息源。

### (3) RSVP 的基本特征

- RSVP 仅为单向数据流预留资源；
- RSVP 的预留请求由数据流接收端发起；
- RSVP 可以适应路由及广播组成员的变化；
- RSVP 提供流量控制和传输策略控制；

- RSVP 能根据用户对数据源的访问需要提供预留方式。

## 2. RSVP 设计的基本原则

### (1) 接收端发起的预留模式

在 Internet 中,接收端以及通向接收端的路径总是各不相同,甚至是千变万化。尤其在广播业务中,发送端根本无法保证其众多的接收端会具有相同的能力;另外,在现实中,多数应用一般是一个或很少几个源在发送信息,很多接收端在同时接收全部或其中几个信息流。如果由发送端在其广播路由树上各自建立资源预留的话,会造成很大的资源浪费;其三,用户从数据源接收数据,并依据所得到业务服务质量等级付费,如果要实现这种新的更为合理的网络付费方式,就必须把预留资源的决定权放到接收端用户手中。出于以上几点的考虑,采取由接收端发起资源预留请求是非常必要和合理的。

### (2) 动态的提供不同的资源预约方式

在不同的组播情况下,用户进行资源预留的方式实际是不同的。例如,在进行话音会议时,多个用户的话音可以混叠在一个频带中,这样可以利用与单个话路相同的传输信道传送多条话音信息;而在视频会议中,如果用户希望接收多个视频信号,必须申请满足视频信号传输的带宽,这和话音叠加是不同的。RSVP 协议定义了不同资源预留方式,并且将资源预留方式和分组调度机制(也称过滤器)相分离,利用过滤器选择消息流中的数据报,根据需要进行缓存或传输或丢去,可动态的提供多种资源预留方式。

### (3) 利用“软状态”动态的适应网络变化

RSVP 协议通过相应的 PATH 类报文和 RESV 报文,沿着数据流路径的所有节点传递 QoS 控制参数和要求,并在路由器等网络元素上建立和维护 QoS 控制服务用的路由状态和预留状态,这些状态被称为“软状态”。软状态实际上是一种无连接方式,它定期刷新存储在网络元素相应表格中的路由状态和预留状态信息。

为了适应多点到多点通信中经常出现其组成变化的情况,以及网络中路由器的动态改变,RSVP 协议在交换节点(路由器)上保留了软状态的信息表,并将维持预留的实现放到了终端用户处。

RSVP 一共定义了两种需保留在交换节点上的状态信息:路由状态和预留状态。路由状态由数据源负责发送路由信息以建立或定期(这样可以避免承载预留或路由信息的 IP 包丢失所造成的问题)更新,而接收端则负责发送预留信息来建立或定期更新预留状态。

路由信息是利用网络现有的路由协议(如 RIP、OSPF 等等)进行转发的。每个路由信息内都包括会话标识、该路由信息上次经过的路由器的地址(用于上游预留信息寻路)、一个由数据源给出的发送者模板(包括源 IP 地址、数据流属性等)等信息。预留信息包括定义所期望的 QoS 的流描述、预留类型和包过滤器(用于鉴别数据包是否属于某个会话)。当路由器收到路由信息或预留信息后,它将根据信息建立或更新相对应的软状态。

路由信息和预留信息都有生存时限,当其超时后其相应的软状态将被路由器自动删除。当然,发送端和接收端在必要情况(比如会话结束)下,也可以发送删除信息给沿途的路由器以请求删除相应的软状态。

### (4) RSVP 模块化设计

模块化设计是 RSVP 的一个重要设计基础。在实时组播工作环境中,RSVP 将和其它几种网络技术密切相关:流标识和描述(用于表示应用程序对网络的要求以及对业务流量特性的描述)、网络路由控制协议(用于确定路由消息传递的路径)和网络接入控制(根据流量描

述确定是否接收用户业务流数据报)。从原理上而言, RSVP 协议的设计应对其它网络技术作出尽量少的假设, 尽可能的独立于其它网络协议, 这样可减少其它技术变化对 RSVP 协议的影响。例如, RSVP 协议并不规定其携带的流描述格式, 将流描述数据作为不解释的字符流; 而接入控制是利用在相关路由上传递 RSVP 消息, 路由上节点将返回是否接收数据的应答, 至于如何判决则是由接入控制算法确定。完成资源预留请求的前提是传输路径上所有的路由器同意接收相应的数据流。另外, 在 RSVP 协议内部也同样采用模块化设计的原则, 例如, 分组调度算法也仅改变过滤器的工作方式而不会影响到预留的资源容量。

3. RSVP 协议的工作原理

RSVP 对资源的预留是端对端的, 它涉及到主机和路由器等网络元素。对于主机, RSVP 主要是用来为特殊的应用数据流向网络申请特定的服务质量。而对于路由器, RSVP 用来为该数据流沿途经过的节点传送 QoS 请求, 并建立和保持一定状态以提供所请求的服务。RSVP 协议大致位于传输层的位置, 但它不负责传送数据, 这一点类似 Internet 控制报文协议 ICMP、Internet 组管理协议 IGMP 等管理协议和路由协议。换句话说, RSVP 只关心数据流的服务质量, 而传送、转发这些数据流的任务是由其采用的传输协议以及路由协议的结果来完成的。图 10.34 给出了主机和路由器之间的 RSVP 预留关系。

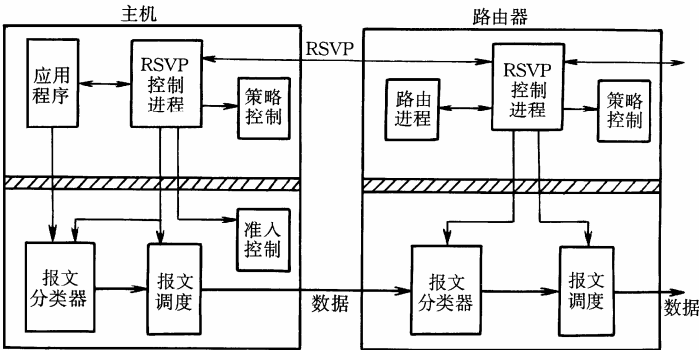


图 10.34 RSVP 在主机和路由器中的应用

由图 10.34 可知, 每一个具有 QoS 控制能力的节点都让应用的数据报文通过一个报文分类器。该分类器决定报文的路由和所要求 QoS 的级别, 然后, 把具有相应路由和 QoS 级别的报文转交给报文调度器, 并按照所要求的 QoS 进行调度转发。当预留请求上游经过中间节点时, 该节点将按如下的方法实现资源预留。

(1) 预留链路资源

RSVP 控制进程首先把 RSVP 请求传给准入允许控制和策略控制, 准入控制用来判定该节点是否有充足的资源来满足所请求的 QoS, 策略控制判定该用户是否有权力预留这样的资源。如果两项都通过的话, 该节点将设置它的报文分类器用来根据过滤器描述选择下面将要到来的数据报文, 同时根据流描述的要求, 与适当的链路层交互以取得需要的带宽、缓冲区等资源。如果有任一检查失败, 该预留都将被拒绝, RSVP 控制进程将给发送请求的接收者返回一个差错信息。

(2) 向上游转发请求

当检查成功后, 路由器将根据刚才下游的路由消息留下的软状态找到上游的路由地址, 转发预留请求。一个节点上游转发的预留请求与该节点从下游接收的请求可能不同, 这是因



为流量控制机制有可能修改流描述；另外，来自不同下游支干，去往同一个发送者的预留有可能被合并一起转发。

这里需要说明的是，基本的 RSVP 预留模型是 one pass 的，接收端上游发送预留请求，中间节点或接受或拒绝请求的结论，接收端并没有一个有效的方法了解端到端业务的状况。因此，扩展的 RSVP 提供了对 one pass with advertising (OPWA) 的支持。利用 OPWA，RSVP 能够从下游收集用来指示端到端的 QoS 的信息，然后将其送给接收主机。接收端可以据此动态调整预留请求的内容。

### (3) RSVP 的策略控制功能

策略控制主要涉及的问题包括用户账号、用户级别、预留许可限制等项的认证，还有优先级排队等。这些数据对于 RSVP 协议都是透明的，不同的管理域都会有不同的策略控制。另外，利用策略控制进行总体平衡，还可以有效地避免预留的不合理造成某个路由器的输出链路被全部预留业务占用。

## 10.3.2 流协议 ST2+

在 1990 年 Internet 网络工程部(IETF)推出了 ST2 (RFC 110) 作为 IP 网络实时通信的支持协议，1995 年 IETF 根据实时通信实践和理论的发展又推出了 ST2+ (RFC 1819) 作为新一代流协议。ST 是一个网络层协议，用于支持 Internet 网络上多媒体（包括视频、语音及其它业务）业务的实时通信。

### (1) ST 协议及其与 IP、RSVP、RTP 的关系

ST、RSVP 和 RTP 都是由 IETF 定义的具有实时功能的通信协议，但是在工作方式和使用条件等方面有一定的差别。

在网络节点需要支持实时业务和数据业务时，节点必须分别装载 ST 和 IP 协议，分别完成不同的数据通信。ST 和 IP 采用相同地址格式，但是在数据报文的前 4 个比特（协议版本域）是不相同的，当数据报装载 IP 信息时，该域取值为 4；当数据报装载 ST 信息时，该域取值为 5（所以有时将 ST 协议称为 IPv5）。ST 与 IP 都是独立于通信子网的网络层协议。

ST 协议是和 IP 协议并行用于支持实时数据的协议，ST 和 IP 协议关系如图 10.35 所示。ST 协议和 IP 协议体系结构类似，用于数据传送称为流协议 ST，用于控制消息传送的流控制消息协议（SCMP，Stream Control Message Protocol）。图中所有与 SCMP、ICMP（IP 控制消息协议，Internet Control Message Protocol）以及 IGMP（IP 组播消息协议，Internet Group Message Protocol）相连的转换是和 Internet 网络中信令相关的。

图 10.35 中给出视频和音频等应用通过分组视频协议（PVP，Packet Video Protocol）和网络音频协议（NVP，Network Voice Protocol）可以通过 UDP（无连接方式），采用 IP 层协议进行传送。这是目前 Internet 网络中最为直接的处理方法，其特点是对现有协议无需作任何更改，但是传输质量无法得到保证。

本节将介绍利用 ST 协议完成实时信息传送。另外当 ST 数据报经过无该功能的路由器进行传送时，必须将 ST 数据报封装在 IP 数据报中。

上一节介绍的资源预留协议 RSVP 可以实现实时信息传送，它与 ST 的工作方式不同，可将 RSVP 视作对 IP 的增强补充协议。另外，还可使用实时传输协议（RTP，Real Time

Protocol), 再利用 IP 和 RSVP 协议获得实时信息传输, 是一种很有希望的连续媒体传送方式 (在后面介绍)。

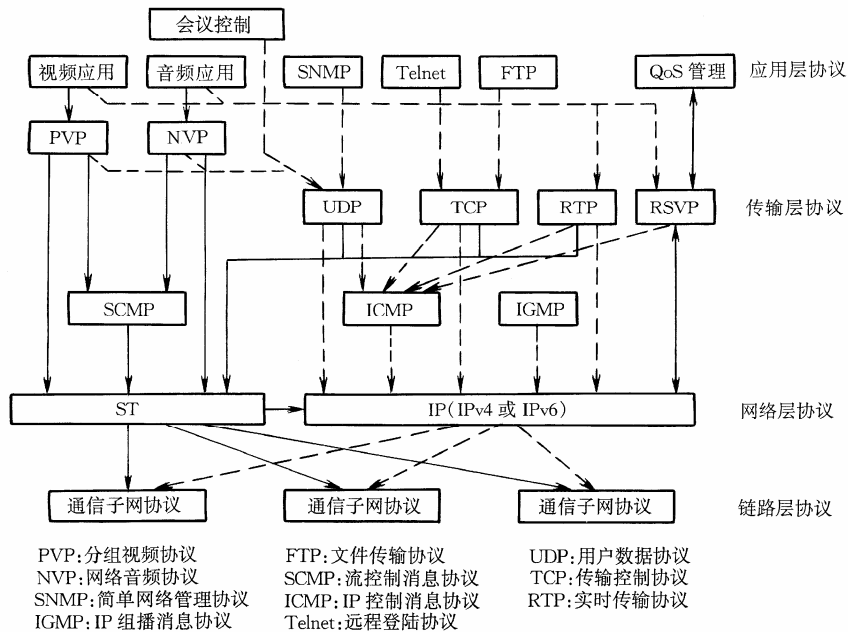


图 10.35 ST 和 IP 及其他协议的关系

## (2) ST2+协议的三要素

ST2+协议包括三个基本要素：流 (stream)、数据传输和流描述 (flow specification)。

**流的概念。**流是 ST2+协议核心概念，表示发送端和一个或多个接收端之间建立单向通信连接关系。流经过路由树（组播方式下一点到多点通信形成一棵路由树）上的执行 ST 协议节点称为 ST 代理，路由树中中间节点称为中间代理或路由器，路由树中信息发送端称为源端 (origin)，信息接收端称为目的端 (target)。ST 代理可以是源端、目的端或中间节点的任意组合；流是通过 SCMP 消息进行维护和控制的，SCMP 基本消息包括 connect, accept, disconnect, refuse, change 和 join。其中 connect 和 accept 用于建立一个流, disconnect 和 refuse 用于关闭一个流, change 修改与流相关的 QoS 表示, join 用于一个用户请求加入到流中；ST2+协议中提供了有关流管理的丰富功能机制，如可将若干流归并成组进行统一管理，这样可以减少网络中资源的分配，并能在网络出现故障时采用相同方法予以处理。

**数据传输。**ST 采用单工方式沿下行方向传送数据，ST2 的数据报文中包括协议标识符、协议版本、优先级、长度指示、流标识以及校验和等 12 字节长度的协议控制信息 (PCI, Protocol Control Information)。ST2+中各代理并不执行数据报文的分段和重组，这就必须要求在流建立开始阶段，能够将路由上所有节点可提供最大的数据报文长度，通知到发送端应用程序。当一个通信过程中包含多个通信用户时，尽可能地利用下层网络本身提供的组播功能，这样可以减少发送相同内容报文的次数。ST2+中采用资源预留方式，但是并不包括类似于 TCP 协议的差错检测机制。这是由于通过应用程序的处理，实时媒体如数字视频和数字语音的演播可以容忍信息码流中部分错误的出现，而且基于重传的差错机制本身并不适合于实时通信业务。

**流参数描述。**任何支持实时通信过程的协议必须考虑到相应通过程的 QoS 参数集, ST2+数据报中必然携带有关流的参数描述集。ST2+和 RSVP 协议一样,网络层协议仅提供传送流描述参数的传输机制,而具体内容则有其它协议规定。在协议中与 QoS 协商相关的实体,包括源和目的端的应用程序称为业务使用者,ST 代理以及本地资源管理器 (LRM, Local Resource Manage)。其中源端应用程序提出有关业务的流参数描述,各个 ST 代理接收包含流描述参数的连接建立消息,并将此参数集合传递给本地的 LRM。ST2+协议中并不规定资源管理器如何进行资源预留,以及根据预留资源如何进行分组调度,这些具体实现机制由各厂家完成。

### (3) ST2+协议的工作过程

ST2+协议的实现是分为两个阶段 5 个方面的内容进行的。两个阶段是:第一阶段是建立流,首先必须建立用于数据传输的实时通信业务信道,包括选择路由和预约相应资源。第二阶段是数据传输,在前面建立的路由上传输数据。其中,流建立并不需要实时完成,但是在数据传输阶段必须保证端到端传输延迟的制约。

实现 ST2+协议的通信体系结构如下:

- **数据传输协议**—用于传输建立路由的实时数据传输协议。数据传输的路路由是由流建立协议实现的,在数据传输过程中必须能够满足数据传输的质量需求。数据分组中包含全局的流标识符用于确定数据报文归属具体的流,该标识符也是流建立协议中重要的使用参数。

- **流建立协议**—根据流描述集合建立实时的流传输通道,流建立协议主要完成实时通信流的建立、维护和释放。基于路由选择功能选择源端到目的端的路由,在网络中相关任意节点的流建立协议都将有关资源预留消息传送给 LRM,由 LRM 预约相应资源。流建立过程是由 SCMP 协议规定的。

- **流描述集合**—用于表示通信业务实时传输的需求。流描述集合标识 ST 流的 QoS 需求,该参数是由流建立协议传送,但是具体解释、使用和更新是由 LRM 完成。

- **路由选择功能**—在 Internet 网络中寻找合适的路由。路由选择功能实现建立源端到目的端的路由,路由选择功能是基于逐跳机制,在路由表中指明了到达目的端的下一节点。在 ST2+协议中一旦建立了端到端的路由,该路由则将保持到通信过程结束。路由选择功能可能根据目的端分布位置,需要传输资源以及下层网络是否具有广播等因素进行路由选择优化。流建立协议并不了解路由选择实现的方法,同时在协议中也没有规定路由选择功能和流建立协议之间的交互,所以从原理上路由选择功能的变化并不影响到 ST2+协议的执行。

- **本地资源管理器**—用于进行有关通信过程中的资源管理。本地资源管理器 (LRM) 是在明确本地资源的前提下实现资源预约、调度和管理。在 ST2+中可以管理的网络资源包括: CPU 执行速率、系统的内存大小、数据缓存区大小、网络适配卡以及节点间网络传输能力。流建立和修改操作中,LRM 将完成流接入控制、QoS 计算以及资源预留。数据传输过程中,LRM 完成数据报调度、监管以及高优先级抢占低优先级功能。

## 10.3.3 新一代网际协议 IPv6 ( IPng )

### 1. IPv4 与 IPv6

现在使用的网际协议 IP (即 IPv4) 是 1970 年发布的,该协议设计灵活,功能强大,是 Internet 的关键协议,为整个 Internet 提供了基本的通信机制。但随着技术和应用的发展,尤

其是 Internet 用户的迅猛增加，原 32 位的 IP 地址空间很快会耗尽，迫切需要对 IPv4 地址进行更新。除此，还有一些其他因素也要求改变现有的 IP 设计，主要是日益增加的各种新的应用需求。例如，实时话音和图像通信要求低的延迟，新版的 IP 应当提供一种机制，能为特定应用预留资源。又如一些新的应用需要安全通信，新版的 IP 应具有鉴别发送者的安全机制。

1992 年 6 月 IETF 提出要制订下一代的新版 IP，即 IPng (IP Next Generation)。由于 IPv5 打算用作面向连接的网际层协议，因此 IPng 现正式命名为 IPv6，它保持了 IPv4 许多成功的特点。IPv6 仍支持无连接传送；允许发送方选择数据报大小；要求发送方指明数据报在到达目的端前的最大跳数。IPv6 保留了 IPv4 中的大多数选项，包括分段和源端路由选择。

新一代网际协议 IPv6 对原协议细节作了许多修改，大体上可归纳为五大类：

- ① 更大的地址空间。IPv6 将原来的 32 位地址空间增大到 128 位地址空间，使地址空间增大了  $2^{96}$  倍。
- ② 灵活的报头格式。IPv6 使用一种全新的、不兼容的数据报格式。在 IPv4 中，使用固定格式的数据报报头，在报头中，除选项以外，所有的字段都在一个固定的偏移位置上占用固定数量的八位组数，而 IPv6 使用了一组可选的报头。
- ③ 增强的选项。IPv6 允许数据报包含可选的控制信息，包含了 IPv4 不具备的选项，提供新的功能。
- ④ 允许对网络资源的预分配。IPv6 提供一种新的机制，允许对网络资源预分配，取代了 IPv4 的服务类型说明。这些新的机制支持实时话音和视像等应用，保证一定的带宽和延迟。
- ⑤ 支持协议扩展。IPv6 的一个很重要的改变是该协议允许新增特性，协议不需描述所有细节。这种扩展能力使协议能适应底层网络硬件的改变和各种新的应用需求。

2. IPv6 数据报格式

IPv6 数据报的一般格式如图 10.36 所示，它有一个 40 字节的基本报头，其后可允许有零到多个扩展报头，扩展报头后是数据。

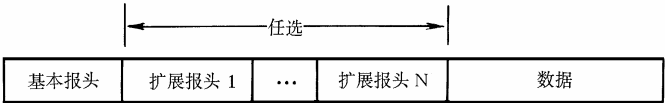


图 10.36 IPv6 数据报一般格式

IPv6 基本报头的内容和格式，如图 10.37 所示。每个 IPv6 数据报以一个 40 字节的基本报头开始。该基本报头包含源地址和目的地址、最大跳数限制、数据流标号以及下一个报头的类型。IPv6 数据报除了数据之外，至少还要有 40 个字节的报头。IPv6 报头格式的不少字段可以和 IPv4 报头中字段直接对应。

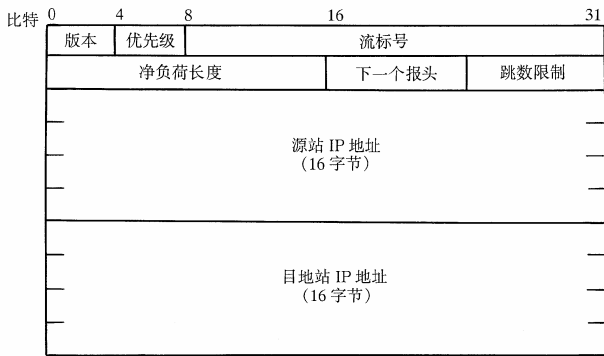


图 10.37 IPv6 数据报报头格式

下面介绍 IPv6 数据报报头中的各字段。

- 版本（占 4bit）。它指明了协议的版本，对 IPv6 该字段固定为 6。
- 优先级（占 4bit）。优先级字段使源端能够指明数据报的流类型。首先，IPv6 把流分成两大类，即可阻塞控制的与无阻塞控制的。每一类又分为 8 个优先级。优先级的值越大，表明该分组越重要。优先级仅在类别之内有意义。

可阻塞控制传送是指源节点可以降低数据流速率作为对发生阻塞现象的响应，TCP 显然具有这样的特点。阻塞控制传送的特点在于可变的传送时延，甚至数据报顺序变换也可以承受。IPv6 按优先级递减定义阻塞控制下的传送类别：Internet 控制流、交互传送、用户参与的大量数据传送（如 FTP）、用户不参与的数据传输（如电子邮件）、填隙传送（即后台传送）和无规定传送。

无阻塞控制传送是指具有恒定数据速率和时延的传送，或者至少是数据速率和传送时延是平滑的。例如在实时视频或音频传输中，重发被丢弃的数据报是没有意义的，维持平滑的传输速率才是最重要的。在无阻塞控制传送中，规定 8 种不同传送级，最低为 8，最高为 15。一般而言，丢失数据报将影响接收端的业务质量，而这种影响的强弱也就决定了发端配给数据报的优先级。例如话音等低保真音频信号应分配较高优先级，而高保真音频信号中将含有相当的冗余量，丢失几个数据报不会造成很大的影响，所以可以分配较低的传输优先级。

- 流标号（占 24bit）。IPv6 的一个新的机制是支持资源预定，并且允许路由器将每一个数据报与一个给定的资源分配相联系。IPv6 提出流的抽象概念。所谓流就是互连网络上从一个特定源站到一个特定目的站（单播或多播）的一系列数据报，而源站要求在数据报传输的路径上的路由器保证指明的服务质量。从用户的角度出发，流是一个应用程序产生的具有相同传输的数据报文。一个流可以构成一个或多个 TCP 连接，单一应用程序也可以产生一个或多个流。例如在会议电视应用中，可能使用一个流传送话音，另一个流传送视频信号，这两个流在数据速率、时延和抖动方面有不同的要求。从路由器角度出发，流被认为是要求进行同样处理的数据报序列，路由器对于来自不同流的数据报将采用不同方式进行处理。流标号中的比特流标记是由源站随机选取的，对于一个数据流的特殊处理必须以其他方式声明，比特流标号仅用于标识双方认可处理的标识符。

- 净负荷长度（占 16bit）。此字段指明除报头自身的长度外，还指明 IPv6 数据报所承载的字节数。

- 下一个报头（占 8bit）。标识紧接着 IPv6 报头的扩展报头的类型。这个字段指明在基

本报头后面紧接着一个报头的类型。

- 跳数限制 (占 8bit)。此字段用来防止数据报在网络中无限期地存在。源站在每个数据报发出时即设定某个跳数限制。每一个路由器在转发数据报时,要先将跳数限制字段中的值减 1。当跳数限制的值为零时,就要将此数据报丢弃。这相当于 IPv4 首部中的寿命字段,但比 IPv4 中的计算时间间隔要简单些。

- 源站 IP 地址 (占 128bit)。是数据报的发送站的 IP 地址。
- 目的站 IP 地址 (占 128bit)。是此数据报的接收站的 IP 地址。

### 3. IPv6 的地址空间

在 IPv6 中,每个地址占 128bit,地址空间大于  $3.4 \times 10^{38}$ 。大的地址空间使 IPv6 能适应各种地址分配策略,为地球上每个人提供足够的地址空间。

对于如此大的地址空间,为了使用和管理方便,IPv6 的设计者建议使用冒号十六进制表示。它将每个 16 位的值用十六进制表示,并用冒号将其分隔。例如,用点分十进制表示 (IPv4 使用的是点分十进制表示) 的 128 位数为:

104.230.140.100.255.255.255.255.0.0.17.128.150.10.255.255

可用冒号十六进制表示为:

68E6:8C64:FFFF:FFFF:0:1180:96A:FFFF

冒号十六进制表示与点分十进制表示相比,只需更少的数字和更少的分隔符,具有明显的优点。

IPv6 地址的分配是对应节点的接口,而不是节点本身,一个接口可以有多个地址进行标识。在 IPv6 协议中,长地址和多地址的替代,可以使得地址按照网络层次、接入提供者、地理位置分类,可以缩小路由表的规模,提高检索路由项的速率;同时使用同一接口在不同的接入提供者的地址空间内具有各自不同的地址,便于网络管理。

IPv6 地址可以分成 3 种类型:单点通信 (unicast) 地址、任意点通信方式 (anycast) 地址和组播 (multicast) 地址。不同地址是通过 IPv6 地址中长度可变的第一个字段进行标识的,例如基于接入供应商的单点通信地址标识为“010”,而组播映射则是由“1111 1111”作为标识符。不同的地址具有不同的格式。图 10.38 给出 IPv6 地址几种格式。

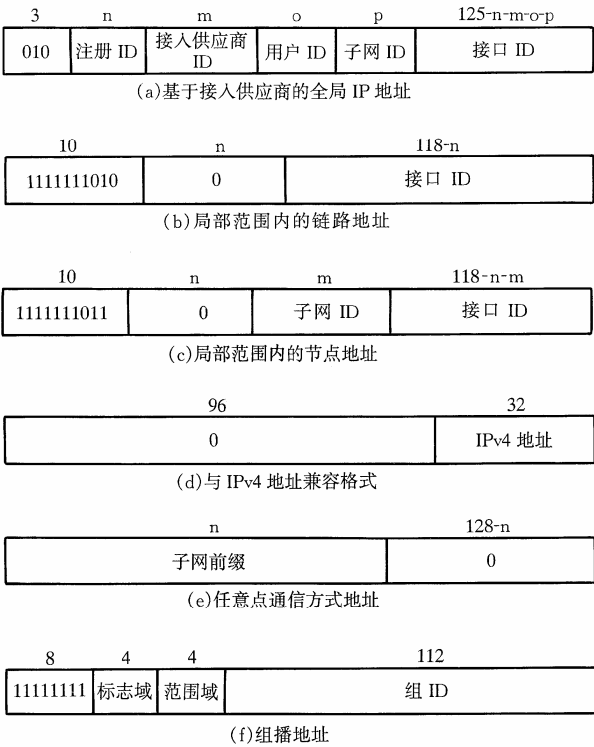


图 10.38 IPv6 地址格式

单播通信地址即目的地址指明一台计算机或路由器，数据报选择一条最短的路径到达目的站。任意点通信方式地址即目的站是共享一个网络地址的计算机的集合，数据报选择一条最短路径到达该组，然后传递给该组最近的一个成员。组播地址即目的站是一组计算机，它们可以在不同地方，数据报通过硬件组播或广播传递给该组的每一成员。

IPv6 地址划分采用多级体系，这是为了便于使路由器更快地查找路由。IPv6 的地址空间被划分为若干大小不等的地址块，其分配方案如表 10.2 所示。在 IPv6 地址空间中，有一小部分用于对 IPv4 地址编码，对任何地址若开始 80 位是全零，接着 16 位是全 1 或全零，则它的低 32 位就是一个 IPv4 地址。除了上述地址编码的规定外，为了解决 IPv4 与 IPv6 两种不同版本的互操作问题，还需使用转换器。IPv6 计算机生成一个含有 IPv4 目的地址，但使用 IPv6 编码的数据报。IPv6 计算机将数据报发送给转换器，转换器使用 IPv4 与目的站通信。当它从目的站收到回答时，将 IPv4 数据报转换为 IPv6 数据报，并发回给 IPv6 源站。

表 10.2 IPv6 的地址分配方案

| 前缀(二进制)   | 用 法                   | 份 额     |
|-----------|-----------------------|---------|
| 0000 0000 | 保留(与 IPv4 兼容)         | 1/256 份 |
| 0000 0001 | 未分配                   | 1/256 份 |
| 0000 001  | OSI 的 NSAP 地址         | 1/128 份 |
| 0000 010  | Novell NetWare IPX 地址 | 1/128 份 |
| 0000 011  | 未分配                   | 1/128 份 |

|              |          |           |
|--------------|----------|-----------|
| 0000 1       | 未分配      | 1/32 昉    |
| 0001         | 未分配      | 1/16 昉    |
| 001          | 未分配      | 1/8 昉     |
| 010          | 基于提供者的地址 | 1/8 昉     |
| 011          | 未分配      | 1/8 昉     |
| 100          | 基于地理的地址  | 1/8 昉     |
| 101          | 未分配      | 1/8 昉     |
| 110          | 未分配      | 1/8 昉     |
| 1110         | 未分配      | 1/16 昉    |
| 1111 0       | 未分配      | 1/32 昉    |
| 1111 10      | 未分配      | 1/64 昉    |
| 1111 110     | 未分配      | 1/128 昉   |
| 1111 1110 0  | 未分配      | 1/512 昉   |
| 1111 1110 10 | 本地链路地址   | 1/1024 昉  |
| 1111 1110 11 | 本地网点地址   | 1/1024 昉  |
| 1111 1111    | 多播       | 1/256 昉昉昉 |

10.3.4 实时传输协议 RTP

实时传输协议 RTP (Real time Transfer Protocol) 中包含了两部分内容。其一为 RTP 协议，它定义了数据报格式及其使用规则；其二为实时传输控制协议，即 RTCP 协议。

目前，在 IP 网络上的音频和视频（如 RealAudio InternetPhone 等）业务已经十分流行。实时传输协议（RTP）是一个新的应用层的帧协议（不是一个真正的传输协议），它可以使实时应用程序在 IP 网络上以流的方式传送数据。多媒体流首先被编码（并压缩），然后被封装到 RTP 分组中，最后采用 UDP/IP 通过一个单点或组播会话发送出去。定时、排序及净荷识别等信息都从 RTP 发送者传递到接收者，这使 RTP 的接收者在其接收到最初几帧的时候就可以开始播放多媒体的数据流了。RTP 并没有建立连接，也不能保证数据按时到达目的端。RTP 是一个支持所有图像和声音编码的标准（RFC 1890），并且能够支持 H.323 视频会议应用。实时传输控制协议（RTCP）也是一个受到好评的控制协议，它被用于向 RTP 会话的成员提供返回和统计信息。例如，在进行多媒体数据通信时，不同媒体类型数据由不同 RTP 会话传输，借助于 RTCP，会话参加者不仅可以监测数据通信质量，还可以行使一些基本的会话控制功能，如参加/退出会话、识别其他参加者身份等。

1. 实时传输协议 RTP

实时传输协议 RTP 是用于支持连续媒体通信的传输层协议，其核心是实现媒体数据再现时的时钟同步信息，提供具有实时特征的、端到端的数据传送服务，可以用来传送声音和运动图像数据。在这项数据传送服务中包含了装载数据的标识符、序列计数、时戳和传送监视。通常 RTP 的协议元是用用户数据协议（UDP）来装载的，并利用 UDP 的复用和校验来实现 RTP 的复用。用 UDP 来装载 RTP 协议元如图 10.39 所示。



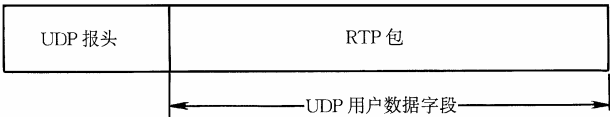


图 10.39 用 UDP 来装载 RTP 协议元

在多点通信过程中信息承载形式可以有多种，例如在网络电视会议中必须同时传送视频和音频信号，两种不同信息有不同的服务质量要求，所以一般在网络内部由不同流予以服务，发送和接收用户则使用不同的传输层端口接入不同媒体数据。但这两个码流之间存在的同步关系不应由于采用分离通信过程而丢失。这个功能必须在 RTP 协议中得到体现。

另外需要注意的是：RTP 没有提供任何确保按时传送数据的机制，也没有提供任何质量保证的机制，因而要实现服务质量（QoS）必须由下层网络来提供保证。同样需要注意的是，RTP 不保证数据包按序号传送，即使在下层网络能保证可靠传送的条件下，也不保证数据包按序号传送。包含在 RTP 中的序号可供接收方用于重构数据包序列，也可用于包的定位。

RTP 数据报报头格式如图 10.40 所示，在 RTP 报头中各字段的含义如下：

- 版本（2bit）：目前取值为 2。
- 填充域（1bit）：指明负载区最后是否有填充数据。如果有填充数据，负载区的最后一字节中装载填充数据的长度。
- 扩展域（1bit）：指明 12 个字节后是否存在扩展部分。
- CSRC 数（4bit）：指明在定长的 RTP 报头后的 CSRC 的个数。
- 标记（1bit）：根据装载数据类型不同而不同，例如对视频信号表示一帧数据结束，对于音频信号表示两个静默区之间的通话开始。
- 负载类型（7bit）：表示在用户数据字段中承载数据载荷类型和媒体的编码方式。
- 序号（16bit）：用于检测是否出现报文丢失和对接收到的报文进行排队。注意不同序号数据报帧可能会携带有相同时戳标记，因为这些数据报可能在同一时间内产生。
- 时戳标记（32bit）：表示负载区中第 1bit 数据产生的时间，时戳的时间表示应为线性单调递增，以便完成同步实现和抖动的计算。
- 同步源（SSRC：Synchronization SouRCe）标记（32bit）：用以标识会话过程中某个流，对于一个会话过程不同流使用不同的 SSRC 标记，该值是随机产生的。
- 协同源（CSRC：Contributing SouRCe）标记（32×*n* bit）：存放 *n* 个 CSRC 标记。负载区的数据可能来自于多个流的混合效果，此时列出这些流的标记。

|               |    |    |        |    |      |
|---------------|----|----|--------|----|------|
| 0             | 4  | 8  | 16     | 24 | 31   |
| 版本            | 填充 | 扩展 | CSRC 数 | 标记 | 负载类型 |
| 序号            |    |    |        |    |      |
| 时戳标记          |    |    |        |    |      |
| 同步源(SSRC)标记   |    |    |        |    |      |
| 变长协同源(CSRC)标记 |    |    |        |    |      |

图 10.40 RTP 数据报报头格式

2. 实时传输控制协议 RTCP

RTP 协议是用户携带具有实时特征的数据，与之作为配套的另一个协议是 RTCP

(Real-time Transfer Control Protocol) 协议。RTCP 是 RTP 的控制协议,它用于监视网络的服务质量和在正在进行的与会者会话中传递的信息。

RTP 的控制协议 (RTCP) 基本做法是周期性地向会话的所有参加者进行通信,采用和数据包分配传送的相同机制来发送控制包。和 RTP 协议相同,RTCP 协议也要求下层协议提供复用手段 (如 UDP 提供不同的端口号来实现复用)。RTCP 有四个功能:

(1) RTCP 的基本功能是提供关于数据传输质量的反馈,这一功能是 RTP 协议的重要组成部分,它大致可和其它传输协议的流量控制及阻塞控制机制相对应。RTP 向会话的所有参加者发送反馈报文,这样做的目的是允许那些发现数据传输过程中出现问题的用户,进一步判断问题仅和其自身相关还是和全体参加者有关,并采取相应的措施。

(2) 就每个 RTP 源而言,RTCP 为其分配一个永久的传输层标识,该标识被称为 CNAME (Canonical NAME)。虽然上节介绍的 SSRC 标识符可以区分一个会话中的不同码流,当 RTP 发现不同码流的 SSRC 标识发生冲突或应用重新启动时,SSRC 值会被更改,因而接收者需要利用 CNAME 而不用 SSRC 来跟踪每一个会话参加者;另外,借助于 CNAME,接收者可以关联来自于同一用户、经由不同 RTP 会话传来的码流以完成特定的任务,如音频流和视频流间的同步。

(3) 由于上述两项功能要求所有的会话参加者发送 RTCP 报文,因而为了能够在一个 RTP 会话中接纳更多的用户,RTCP 给出了关于调整控制报文发送速率的方法。一个 RTP 用户能够通过接收来自其它用户的 RTCP 报文,独立地了解会话参加者的数目,RTCP 利用该数值参数为每个会话参加者计算控制报文的发送间隔,以达到 RTCP 所占用的通信带宽不超过会话带宽 5%的目的[RFC 1889]。

(4) RTCP 提供了基本的会话控制功能,如在不同的会话参加者之间互换身份信息。该功能为可选项,主要用于控制较为松散的会话,这样的会话对用户的加入和离开没有严格的管理。

## 10.4 IP

在 ATM 与 IP 相结合的技术中,前面已介绍了三种方案,即 IPOA (IP Over ATM)、LANE (LAN Emulation) 和 MPOA (Multi Protocol Over ATM)。其中 IPOA 是将 ATM 网络等同于现有的各种局域网或广域网技术纳入统一的网络互连体系;LANE 则是利用 ATM 交换机作为现有 LAN 互连的主干;但是如在一个 ATM 网络支持多个 IP 逻辑子网,这些 IP 网络之间需要通信,采用 IPOA 协议意味着这些子网必须通过各自边缘路由器才能完成信息交互,而不能直接利用 ATM 网络技术本身提供的 ATM 通道进行,MPOA 协议即是为此目标提出的,它采用的是下一站(跳)路由选择协议(NHRP, Next Hop Routing Protocol)。实际这三种技术都是把 ATM 交换机作为 Internet 网络中路由器另一组网设备,但是限于 IP 协议,ATM 交换机并不能很好地发挥其特点。

近年来出现了第三层交换,又称为 IP 交换,它是 Ipsilon 公司提出的专门用于在 ATM 网上传送 IP 分组的技术。众所周知,“路由选择”和“交换”都是用来转发信息,但基于软件(查找路由表)的路由选择是第三层(网络层)的主要功能,而基于硬件的 ATM 交换则属于第二层(数据链路层)。所谓第三层交换并非只使用第三层的功能,而是要把第三层的路由

选择功能与第二层的交换功能结合起来，这样做就可以用更加经济的方式使网络的规模得以扩充，同时也使得服务质量 QoS 能够更好地支持 IP。另外具有第三层交换功能的交换机比相似的路由器要便宜。

近几年来，世界上各大公司相继推出了第三层交换的新产品，比较典型的有：Ipsilon 公司的 IP 交换（IP Switching），Cisco 公司的标记交换（Tag Switching）和 IETF 的多协议标记交换 MPLS（MultiProtocol Label Switching）等。下面分别进行扼要的介绍。

### 10.4.1 IP 交换

IP 交换是专门用于在 ATM 网上传送 IP 分组的技术，实质上是由 IP 交换机和 ATM 交换机捆绑在一起构成，其下层通过 ATM PVC 虚电路建立连接，上层运行 TCP/IP 协议（包括路由协议）。IP 交换克服了 IP Over ATM 的一些缺陷（如在子网之间必须使用传统路由等），提高了在 ATM 上传输分组的效率，是目前一种典型的属于集成模型的技术。

#### 1. IP 交换的构成

IP 交换（IP Switching）的核心是 IP 交换机。IP 交换机由 ATM 交换机和 IP 交换机控制器组成，如图 10.41 所示。IP 交换机控制器主要由路由软件和控制软件组成。ATM 交换机的

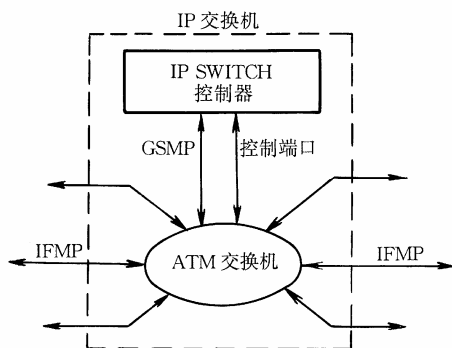


图 10.41 IP 交换机的结构

一个 ATM 接口与 IP 交换机控制器的 ATM 接口相连接，用于控制信号和用户数据的传送；在 ATM 交换机与 IP 交换机控制器之间所使用的控制协议为 FRC 1987 通用交换机管理协议（GSMP），该协议使得 IP 交换机控制器能对 ATM 交换机进行完全控制。在 IP 交换机之间运行的协议是 RFC 1953 Ipsilon 流管理协议（IFMP），该协议用于在两个 IP 交换机之间传送数据。

#### 2. 流的分类

流是 IP 交换的基本概念，流是从 ATM 交换机输入端口输入的一系列有先后关系的 IP 包，它将由 IP 交换机控制器的路由软件处理。

IP 交换的核心是把输入的数据分为两种类型，如图 10.42 所示。

① 持续期长、业务量大的用户数据流，包括文件传输协议（FTP）、远程登陆（Telnet）、HTTP 数据、多媒体音频、视频等数据。这些持续期长、业务量大的用户数据流，是在 ATM 交换机硬件中直接交换，即快速通道。由于多媒体数据常常要求广播和组播通信，因此这些数据流在 ATM 交换机中交换时可以利用 ATM 交换机硬件的广播和组播能力。

② 持续期短、业务量小、呈突发分布的用户数据流，包括域名服务器（DNS）查询、简单邮件传输协议（SMTP）数据、简单网络管理协议（SNMP）查询等。这些持续期短、业务量小、呈突发分布的用户数据流，可以通过 IP 交换机控制器中的 IP 路由软件传输，即与传统路由器一样，采用逐跳（Hop-by-hop）和存储转发方法，省去了建立 ATM VCC 的开销。这种传输方式也称为慢速通信。

对于需要进行 ATM 交换的数据流，必须在 ATM 交换机内建立 VC。ATM 交换要求所有到达 ATM 交换机的业务流都用一个虚通路标记符（VCI）标记，以确定该业务流属于哪一个 VC。IP 交换机利用 IFMP 协议建立 VCI 标记和每条输入链路上传送的业务流之间的关系。

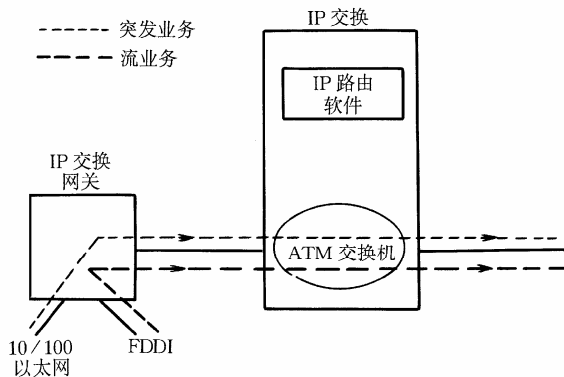


图 10.42 IP 交换机中业务流的分类传输

### 3. IP 交换的工作原理

IP 交换机通过直接交换方式或一跳接一跳、存储转发方式实现高速 IP 分组传输，共分为 6 步进行，其工作原理如图 10.43 所示。现分述如下：

① 在 IP 交换机内的 ATM 输入端口从上游节点接收到输入业务流，并把这些业务流送往 IP 交换机控制器中的路由软件进行处理。IP 交换机控制器根据输入业务流的 TCP 或 UDP 信头中的端口号码进行流分类。对于持续期长、业务量大的用户数据流，IP 交换机将直接利用 ATM 交换机硬件进行交换；对于持续期短、业务量小、呈突发分布的用户数据流，将通过 IP 交换机控制器中的 IP 路由软件进行一跳接一跳（或称逐跳，hop-by-hop）和存储转发发送；

② 一旦一个业务流被标识为直接 ATM 交换，IP 交换机控制器将要求上游节点把该业务流放在一条新的虚通路上；

③ 如果上游节点同意建立虚通路，则该业务流就将在这条虚通路上进行传送；

④ 同时，下游节点也要求 IP 交换机控制器为该业务流建立一条呼出的虚电路；

⑤ 通过（3）和（4）步骤后，需传输的业务流分离到特定的呼入虚通路和特定的呼出虚通路上；

⑥ 通过旁路路由，IP 交换机控制器指示 ATM 交换机完成直接交换。

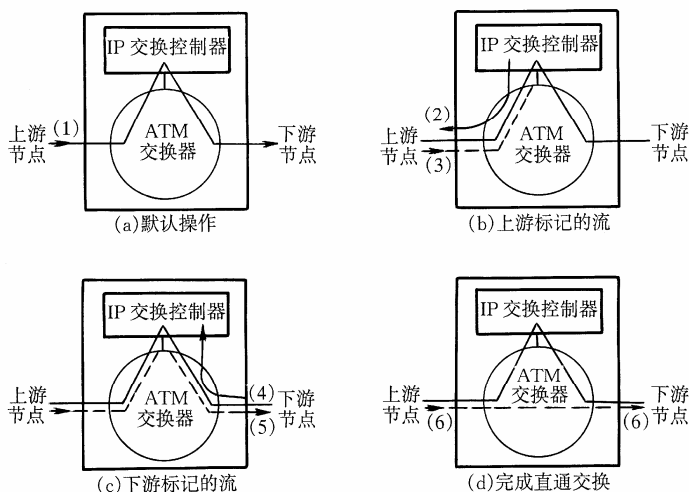


图 10.43 IP 交换的工作原理

4. IP 交换网

IP 交换网如图 10.44 所示，主要包括 IP 交换机和 IP 交换网关等设备。在 IP 交换机控制器中使用 GSMP 软件和 IFMP 软件，用来完成 IP 的直接交换；在 IP 交换网关中使用 IFMP 软件，用来把现有网络（以太网、FDDI 等）连入 IP 交换网内。

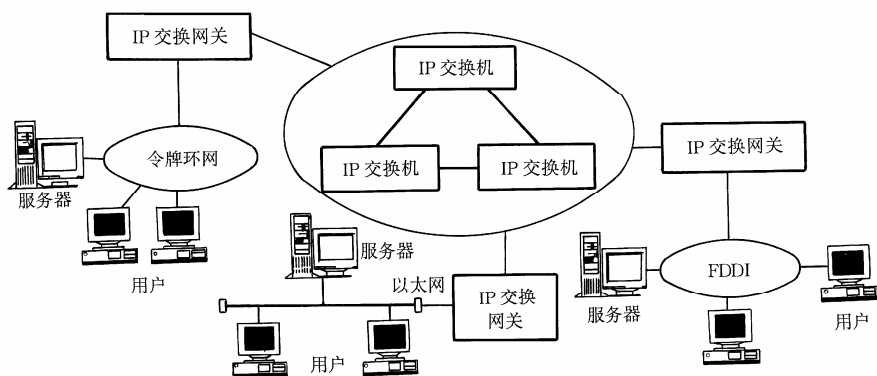


图 10.44 IP 交换网

5. GSMP 和 IFMP 协议

IP 交换中使用 GSMP 和 IFMP 两种协议。通用交换机管理协议（GSMP）是一个主从协议，更侧重于实施时优化，主要用于 IP 交换机控制器中，完成直接 ATM 交换；Ipsilon 流管理协议（IFMP）是 IP 交换机的核心结构组件，用于 IP 交换机、IP 交换网关或 IP 主机中，把现有网络或主机接入 IP 交换网中，或控制数据传送。

(1) GSMP 协议

GSMP 是 IP 交换结构的一部分，用于 IP 交换机控制器。GSMP 是一种异步协议，把 IP 交换机控制器设置为主控制器，而把 ATM 交换机设置为从属被控设备，使 IP 交换机控制器用来控制 ATM 交换机的工作。IP 交换机控制器利用该协议向 ATM 交换机发出下列要求：

- 建立和释放穿过 ATM 交换机的虚连接。

- 在点到多点连接中，增加或删除端点。
- 控制 ATM 交换机端口。
- 进行配置信息查询。
- 进行统计信息查询。

IP 交换机控制器利用 GSMP 实现 ATM 交换机为某个用户流建立新的 VPI/VCI。

## (2) IFMP 协议

IFMP 协议可以在两台 IP 交换机之间的点到点链路上运行，它用于 IP 交换机间标记绑定的流间通信，采用下标记分配模型来实现；可以用在 IP 交换网关或支持 IFMP 的网络接口卡之间请求分配一个新的 VPI/VCI，即 IFMP 协议给某个流附加一个标签，使该流的路由更加有效。

IFMP 是软状态协议，除非更新，否则其状态会自动超时结束。这就是说流的绑定信息有一个有效期，一旦上游交换机获知该期限，则应周期性地更新。

IFMP 有两个连续部分，一个邻接协议和一个改发协议。邻接协议用于发现相邻接点以及实现两节点间链路状态的同步；改发协议则用于 VCI 分配与 ATM 连接建立和释放过程。

## 6. IP 交换的优缺点

由于 IP 交换机把输入的用户业务流分成两大类，节省了建立 ATM 虚电路的开销，因此提高了效率。

IP 交换的缺点是只支持 IP 协议，同时它的效率依赖于具体用户业务环境。对于大多数业务是持续期长、业务量大的用户数据，能获得较高的效率。但对于大多数数据持续期短、业务量小、呈突发分布的用户数据业务，IP 交换的效率大打折扣，一台 IP 交换机只相当于一台中等速率的路由器。

## 10.4.2 标记交换

标记交换 (Tag Switching) 是 Cisco 推出的一种多层交换技术。虽然 IP 交换技术与标记交换技术一样是 IP 路由技术与 ATM 交换技术相结合的产物，但两个技术的产生却有着完全不同的出发点。IP 交换技术认为路由器是 IP 网中的最大瓶颈，它希望借助 ATM 技术完全替代传统的路由器技术；而标记技术则不然，标记交换最本质的特点是兼容了传统的 IP 路由协议，推出了标记分配协议 (TDP)，在一定程度上将数据的传递从路由变为交换，提高了传输的效率。

### 1. 标记交换概述

#### (1) 标记与标记交换

所谓“标记”就是一个长度较短且固定的数字，该数字本身与网络层地址（如 IP 地址）并无直接联系，且只具有本地意义。“标记”与网络层地址的关系就如同邮政编码与通信地址，按某种规律编排的数字关系一旦确定，两者便是可以相互替代的。

标记交换是在叫做标记交换路由器 TSR (TSR, Tag Switching Router) 的设备内进行，就是根据进入分组中的“标记”来检索交换机内部的标记传递信息库 (TFIB)，使用 TFIB 给定的出口信息完成该分组的传递。标记交换对于熟悉电信网络的人而言其实并不神秘。数据通信网络从传统的 X.25 网络到新兴的帧中继、ATM 网络，所采用的交换技术都可称之为“标记交换”技术。只是在 X.25 网络中，“标记”被称为逻辑信道号，在帧中继中称为 DLCI，

而在 ATM 中则称为 VPI/VCI。尽管如此,我们这里所介绍的标记交换与传统的数据通信网络的“标记交换”在应用上仍有很大差异。传统数据通信网络中的标记交换都是应用于面向连接的业务,在端到端地完成建立连接的信令之后,“标记”与目的地址间的捆绑关系也随之确立,数据包便以“标记交换”的方式一站一站地传递。这里介绍的标记交换则不同,它所面向的对象是 IP 这样的无连接业务,如何为无连接的业务附加有连接的特性,从而提高数据转发的效率,这正是标记交换所希望解决的问题。

### (2) 标记交换的特点

标记交换面向无连接业务是其有别于通信网络的一个很重要的特点。

标记交换将 ATM 的第二层(数据链路层)的速度、性能管理和质量管理功能与第三层(网络层)路由的扩展性和灵活性结合,提高了网络性能,简化了网络结构。

标记交换使处于边缘的路由器能够将每个输入帧的第三层地址映射为简单的标记(Tag),然后把有标记的帧转化为 ATM 信元。打标记的信元被映射到虚电路上,在网络核心由 ATM 交换机进行标记交换,使用一台路由器与 ATM 交换机相连接,由路由器保存标记信息库(即路由表),用来寻找第三层路由。最后,标记信元被送到目的路由器上,该路由器将去掉信元中的标记,把信元转换为帧,并把它们送往最终的目的终端和主机。

### (3) 标记交换的运行环境

标记交换的体系结构既能在交换信元的系统(如 ATM 交换机)上运行,又能在交换包的系统(如路由器)上运行。当 ATM 交换机用于大型网络的核心网时,标记交换技术将显示出很好的扩展性能。标记交换网的核心是 ATM 标记交换路由器,它由 ATM 交换加标记控制器组成;边缘是基于帧的标记交换路由器,也称为边缘路由器,它负责将分组(IP 或 IPX 等)转换为 ATM 信元,如图 10.45 所示。除此之外,标记交换还可以在帧中继网络、以太网或 SDH 上运行。

标记交换还是一种支持多协议的技术,不仅可以支持多种上层网络协议,包括 IP、IPX、Apple Talk 等,而且可以运行于不同底层网络之上。

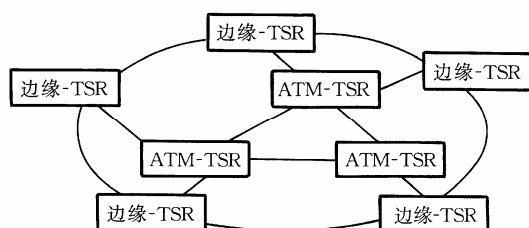


图 10.45 标记交换的运行环境

## 2. 标记交换网的网络结构

### (1) 网络结构

标记交换网的网络结构如图 10.46 所示,其组成部件如下:

- 标记边缘路由器(TER)。位于网络核心的边缘,执行增值的网络层服务,并将标记加到数据分组上。标记边缘路由器可以是路由器,也可以是多层 LAN 交换机。
- 标记交换机。该设备以标记为基础,对有标记的数据分组或信元进行交换。除了标记交换以外,也可以支持完整的第三层路由或第二层交换。标准交换机有两个构件:即传递元件和控制元件。传递元件根据分组中携带的标记信息和标记信息库(TIB)保存的标记,传递信

息完成分组的传递；控制元件采用模块化结构，每个模块支持一种特定的选路功能。标记交换是控制驱动方式，必须将标记与网络层路由捆绑在一起。因此，控制元件的一个重要功能，就是完成标记的分配和生成标记的捆绑，并将标记捆绑信息传递到相关的标记交换机。

- 标记信息库（TIB，也称为标记传递信息库 TFIB）。用于存放标记传递的相关信息，每个入口标记对应一个信息和条目，每个条目包括出口标记、出口接口、出口链路层信息等子条目。

- 转发等效类（FEC，Forwarding Equivalence Class）。FEC 是具有一组共同特性的分组流，它们以相似的方式在网络中转发。

- 标记分配协议（TDP）。TDP 与标准的网络层路由协议相结合，在标记交换网络的各设备间分发标记信息。TDP 提供了标记交换机与标记边缘路由器进行标记信息交换的方式，标记边缘路由器和标记交换机使用标准的路由协议，建立它们 TDP 的路由数据库。相邻的标记交换机和边缘路由器运用 TDP 协议互相分发标记值。与标准的 ATM 不同，TDP 没有呼叫建立过程。

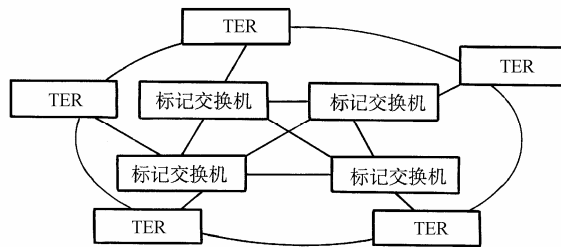


图 10.46 标记交换网的网络结构

## (2) 工作过程

正如图 10.46 所示，标记交换网络既不传递 ATM 信元，也不传递 TCP/IP 分组，在网络内部进行的只是“标记”交换，具体的就是依据“标记”对贴有“标记”的数据分组进行交换。在这里，标记交换机可以看作是路由器和 ATM 交换机的结合体；标记边缘路由器既支持标记交换也支持传统的 IP 路由网络技术，在标记交换网络的外围，传统的 IP 路由网络可以通过边缘路由器接入作为骨干网的标记交换网。

标记交换的工作过程如下：

- 由标记分配协议（TDP）和路由协议建立路由和标记映射表。
- 标记边缘路由器接收传统的 IP 数据包，并依据 IP 包的地址给数据包打上不同的标记，发送给与它相连的标记交换机。同时，它也完成一些第三层的增值业务。
- 标记交换网络中的标记交换机依据数据包上的标记对数据包进行交换和处理。
- 输出端的标记边缘路由器移去数据包上的标记，并向传统 IP 网络送出 IP 数据包。

## (3) 标记交换过程实例

在构造网络的同时，首先在标记交换网络中建立地址前缀与标记（Tag）的映射表，如用两个表的地址在输入端的边缘路由器中建立了一个地址前缀与标记的映射表，每一个目的地址前缀对应一个标记，同时还指出了输出接口。例如目的地址前缀为 128.89.0.0/16，对应的输出标记为 4，输出端口号为 1。而在网络核心的标记交换机中同样保存着一个标记交换表，如输入标记为 4，目的地址前缀为 128.89.0.0/16 的 IP 包的输出标记为 9，输出接口号为 0。标记映射和交换表存储在标记交换边缘路由器和标记交换机中的标记信息库中。



图 10.47 给出了一个应用实例。一个以目的地址为 128.89.25.4 的 IP 包交换为例，说明标记交换的过程：

- 输入端的边缘路由器 RTA 从主机接收到尚未打标记的 IP 包，RTA 查询它的 TFIB，检查到其目的地址前缀为 128.89.0.0/16，查询标记映射表，给该 IP 包加上标记 4，并从输出接口 1 发送到核心标记交换网中。
- 网络核心的标记交换机 RTB 接收到标记为 4，目的地址前缀为 128.89.0.0/16 的 IP 包后，查询标记交换表，把该 IP 包的标记改为 9，并从输出接口 0 发送给输出端的边缘路由器 RTC。应该说明的是标记边缘路由器 TER（本例中的 RTA、RTC）和网络核心的标记交换路由器 TSR（本例中的 RTB）的不同点是，RTA（或 RTC）需要处理未打标记的 IP 包和将打标记的 IP 包复原。另外，RTB 检索 TFIB 的方法与 RTA 不同，它用标记作为索引检索的方法类似于当前 ATM 交换机的 VPI/VCI 使用方法，这种方法便于硬件实现。
- 在输出端的边缘路由器 RTC 中，去掉标记，并把该 IP 包发送给地址为 128.89.0.0/16 的主机。

值得注意的是，来自不同源地址、但具有相同的地址前缀的 IP 包能复用一条输出 VC 连接，提高了效率。

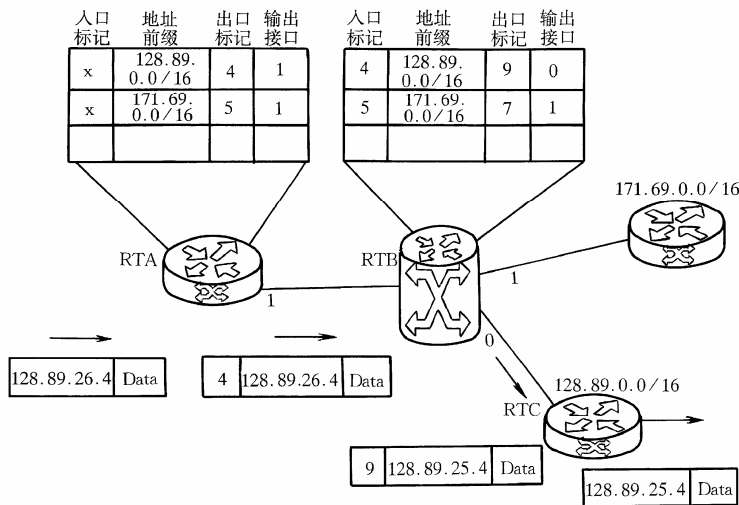


图 10.47 IP 包的标记交换流程举例

3. 标记分配方法

控制元件中具有转发信息库（FIB），在基于目的地地址选路时，其中存放有所分配的标记及与之捆绑的地址前缀。标记捆绑信息的传送可利用原有的控制协议或使用专门的标记分配协议：在 Tag 交换中称为 TDP（Tag Distribution Protocol），在 MPLS 中称为 LDP（Label Distribution Protocol）。

标记的分配允许 3 种方法：下游分配、下游按需分配和上游分配。上下游分配的基本区别在于上游分配方法是由将要应用标记分组的 TSR 设备进行标记映射，而下游分配方法是由要接收带标记分组的 TSR 设备进行标记映射。

所谓上游和下游是指站在某个路由器的角度（例如图 10.48 中的 RTA），指向某个目的地址的路由方向称为下游，反之称为上游。如图 10.48 中对于 128.89.0.0/16 目的端而言，RTA

→RTB→RTC 为其路由的下游方向, RTB 则将 RTC 视为其下游节点, 将 RTA 视为其上游节点。

下游节点标记分配由下游节点根据本地节点的使用状况分配入口标记, 然后通过 TDP 将所分配的标记通知上游节点。上游节点将该标记填入它的 TFIB 的对应条目中。也就是说, 下游节点标记分配的标记作为入口标记, 用远地分配的标记作为出口标记。

图 10.48 给出了下游节点标记分配的一个实例。对于目的地址 128.89.0.0/16 而言, RTB 为 RTA 的下游节点, RTB 为该地址分配标记为 4, 并将此信息通知 RTA, RTA 将此信息填入它的 TFIB 的出口标记项中。同样地, RTC 为该地址分配标记 9 并通知 RTB。标记分配的过程可以逐段完成, 图 10.48 中虽然标识了分配过程的顺序 (①RTC 分配标记; ②RTC 将分配的标记通知 RTB; ③…), 但其流程并非严格限制于此。在标记分配逐段完成之后, RTB 的 TFIB 中输出标记和输入标记都已填入, 这时 RTB 可以实现标记交换, 而无须再进行目的地地址匹配和路由选择。

上游节点标记分配的分配方向与下游节点标记分配相反, RTA 为 RTA-RTB 段分配标记后通知 RTB, RTB 为 RTB-RTC 段分配标记后通知 RTC。

下游节点按需分配标记则是由 RTA 先向 RTB 提出分配标记请求, RTB 再为 RTA-RTB 段分配标记, 并通知分配结果。

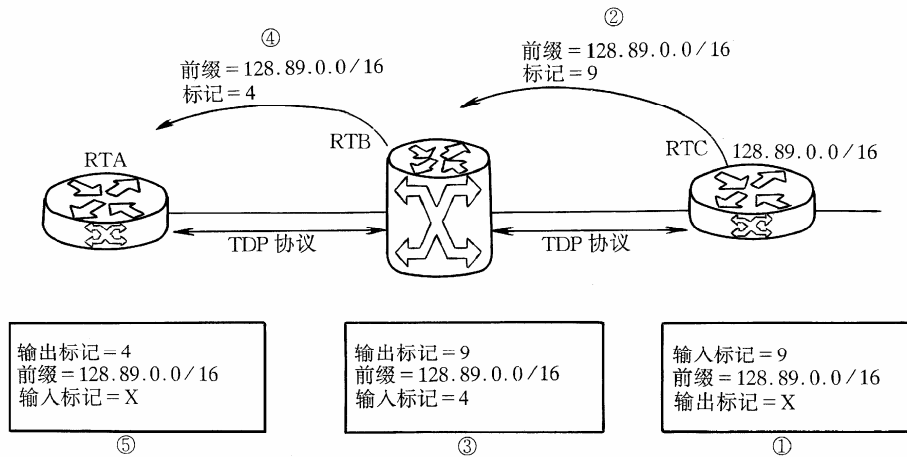


图 10.48 下游节点分配标记示例

3 种分配方式相辅相成。节点的 FIB 有两种管理方式, 一种称为单接口 FIB, 一种称为单节点 FIB。因为单接口 FIB 是每个接口配置一个 FIB, 所有接口的 FIB 互不相关, 所以作为索引的入口标记只在本接口或本段有效, 与节点的其他接口无关。这时入口标记的选择可以只考虑该接口的使用情况, 所以使用上游节点分配和下游节点分配都可以。而单节点标记 FIB 则不然, 节点只设一个 FIB 表, 可以将其下载到各接口, 但其内容相同。因此入口标记在全节点有效而且不能重复。这时只能使用下游节点标记分配, 因为上游节点对下游节点的入口标记使用情况不了解, 无法进行分配; 而作为上游节点的出口标记与上游节点的其他接口无关, 所以下游节点可以完成标记分配。下游节点按需分配标记和前两种不同, 它可以根据要求为业务流分配额外的标记 (按业务等级分)。对于组播和具有特定业务类型的单播, 可以用下游节点按需分配为其提供专用标记 (例如与特定的 QoS 捆绑)。

#### 4. 标记分配协议 (TDP)

标记分配协议 (TDP, Tag Distribution Protocol) 是标记交换体系结构采用的几种控制协议之一, 用来在相关的 TSR 设备之间传送标记关联信息, 它是唯一的专门用于这个目的的控制协议。TDP 与标准的单播和组播选路协议一起运行在 TSR 和 TER 设备上。它的运行与要求创建和分发标记关联的消息无关。根据请求, TDP 能够有效和可靠地在 TSR 设备之间分发标记关联。

标记分配协议 (TDP) 与边界网关协议 (BGP) 的思路非常相似, 它们都采用 TCP 作为传输协议以保证传输的可靠性和有序性。

TSR 与所有对等的相邻 TSR 交互 TDP 消息。通过 TDP 交互的信息包含一组消息, 每个消息都有一个固定头和一个或多个协议信息单元。固定头中有 TDP 版本字段、长度字段和 TDP 标识符字段。TDP 标识符字段用来说明所发送消息的内容。每个协议信息单元都按{类型、长度、值}这一结构组成。TDP 到目前为止定义了下列 7 种协议信息单元:

TDP PIE OPEN: 这是 TSR 在打开与另一个 TSR 的 TCP 连接后发出的第一个协议信息单元。

TDP PIE BIND: 这个协议信息单元用来在 TSR 间传递标记捆绑信息。捆绑信息由一组标记捆绑条目组成。

TDP PIE REQUEST BIND: TSR 可以用这个协议信息单元向其他 TSR 请求某个 FEC 的标记捆绑信息。接收 TSR 则用 TDP PIE BIND 协议信息单元响应。

TDP PIE WITHDRAW BIND: TSR 用这个协议信息单元回收一个它曾经发布的标记捆绑。

TDP PIE RELEASE BIND: 曾经用 TDP PIE REQUEST BIND 协议信息单元向其他 TSR 请求标记信息的 TSR, 可以用此协议信息单元向其他应答它的 TSR 声明不再需要这个捆绑。接收这个协议信息单元的 TSR 会删除该捆绑。

TDP PIE KEEP ALIVE: TSR 用这个协议信息单元向其他与其维持 TDP 会话的 TSR 验证它们是否仍然工作。

TDP PIE NOTIFICATION: TSR 用这个协议信息单元来通知一个错误。

标记交换在控制部件中支持各种规则的流分类方法, 其中粗分类可以粗到以自治域作为下一跳, 使标记交换具有很强的扩展性; 而细分类又可以将源和目的地址一同作为分类的依据, 使控制部件得以完成组播流的流分类和标记分配; 标记交换通过资源预留协议 (RSVP) 还可以将业务流进一步细分到 TCP 端口级, 为特殊业务提供特殊的服务。

#### 5. 标记交换服务的路由方式

##### (1) 基于目的地的路由

基于目的地的路由是路由方式的一个最基本的功能, 对于单播业务流的基于目的地的选路可能是标记交换最直接的应用。TSR 和 TER 设备运行标准的单播选路协议, 用标准的方式与网络中的对等体交换选路协议的更新消息。在网络拓扑变化以后, 路由器搜集并建立反映当前网络拓扑的新的转发信息库 (FIB, Forwarding Information Base)。用 TDP 和前面讨论过的一种标记分配机制, 如图 10.47 所示标记交换的例子, 地址前缀映射为标记并且在网络中相关的 TSR 和 TER 设备中分发。作为标记交换过程的参与者——标记, 入口 TER 设备将把标记与 FIB 中的每个表项联系起来。入口 TER 设备对进入网络的不含标记的 IP 分组进行第三层处理, 并查询 FIB, 为 IP 组添加适当的标记。然后 IP 分组经过标记交换穿过网络, 并

且在适当的出口 TER 设备离开网络。

这种路由方式的特点中 TDP 独立的运行在任意的两个 TSR 设备之间,使得标记分配和分发过程能够以分布的方式进行,与基于目的地路由的其他方面相比,提高了选路效率。

## (2) 分层路由

为了减少路由信息量,Internet 很早就引入了层次化的路由概念。首先根据网络规模和用户群的分布情况将网络划分为几个域,域内运行开放最短通路优先 OSPF 等域内路由协议交互主机的路由信息,域间运行 BGP 等域间路由协议交互各域的可达网络信息。因为域间不再交互主机的详细路由信息,减少了路由信息和路由协议开销,同时也避免了过大的路由表给管理和数据转发带来的低效率。

标记交换在传统的层次化路由概念的基础上更进一步,它引入了标记栈和分层交换的概念。

对于转接路由域中的内部路由器而言,业务流的转发只是从一个边缘路由器发送到另一个边缘路由器。如果它们需要在路由表中维护整个 Internet 的所有路由,会使路由表非常庞大,标记交换提供了一种简化的方法处理这一问题。标记交换只在内部 TSR 中保存将业务流送往正确的边缘 TSR 的最简信息,即标记交换信息,由边缘 TSR 保存完整的路由信息。当业务流到达转接路由域时,边缘 TSR 查询内部完整的路由信息表,从中获取到达下一个路由域的边缘 TSR 信息,并根据此信息找到相应的标记交换路径 (TSP)。业务流沿着这条路径经过内部 TSR 传递给另一个边缘 TSR。内部 TSR 只是转发业务流,而不重新路由,所以不需要保存相应的路由信息。

在转接路由域转发业务流和处理方式中,边缘 TSR 采用路由的方式转发业务流,内部 TSR 采用交换的方式。为了提高转发的效率,标记交换也允许边缘采用交换的方式,这就是分层交换。和路由的层次相同,边缘 TSR 同属于一个 TDP 对等层。在交互路由信息时,边缘路由器会透过内部路由器交互 BGP 信息,内部路由器透明传输这些信息。同样的,边缘 TSR 会透过内部 TSR 交互标记发布 (TDP) 信息。

从上面的分析看出,当边缘 TSR B 是边缘 TSR A 的域间下一跳时,从 TSR A 到 TSR B 有两条路径 (TSP)。一条是在路由域内部经过相关内部 TSR 建立的 TSR1;另一条是在路由域间从 TSR A 到 TSR B 的 TSR2。它们在不同的层次上,使用不同的标记。在 TSR A 和 TSR B 同时拥有两个层次的标记,这两个层次的标记就构成了标记栈。如图 10.49 所示。在图中,假定某业务流的目的地是路由域 M 中的某个主机,当业务流到达 TSR A 时,TSR A 首先根据域间交换的标记 (TSP2 的标记) 获得下一跳 TSR B 的出口标记,但因不是直接连接,TSR A 将 TSP2 的标记推入栈底后再压入域内 TSP1 的直接连接,业务流在路由域 0 内部 TSR 之间传输。

标记栈的使用使分层交换成为可能。同时分层交换的引入既保留了分层路由的优点,又体现交换的优势,是一个较好的路由方式,

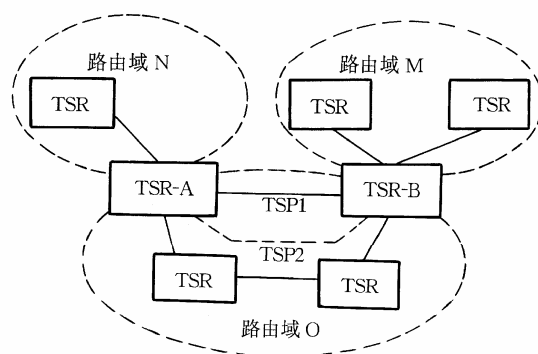


图 10.49 分层路由示意图

### (3) 显式路由

标记交换除了支持基于目的地的路由而外，还支持显式路由，也就是明确指定路由而不是听任路由器逐跳选择。实际上它是以非缺省的通路，替代了动态 IP 选路。这种路由选择方式有助于有效管理特定链路上的负载。

标记交换用 RSVP 支持显式路由，并在原先 RSVP 的基础上增加了一个新的 RSVP 实体——显示路由实体，由它负责定义显式路由。标记交换之所以用 RSVP 作为显式路由的发布协议，是因为用 RSVP 可以在发布标记的同时完成资源的预留，避免因两个过程的分离造成的不协调。

因为主机通常缺乏路由信息，所以显式路由的源端只能是路由器。因此，在发布显式路由信息时，RSVP 源端也是路由器。

从上面的介绍可以看出，显式路由是由源端指定的路由。转接路由不但无法参与路由的确定，而且也无法利用该路由传递其他数据。在显式路由上传递的数据只与源端有关。源端决定哪些数据包可以在这条路由上发送，哪些不能。源端可以用任意的判决准则来完成转发等价类（FEC）与显式路由间的映射，因为这种映射完全是本地的事情，所以标记交换没有对其做出规范。

显式路由为支持某些有特殊要求的业务提供了一种手段。它不仅在网络资源上为业务提供明确的保证，而且可以根据一个唯一的原则完成路由的选择，在网络拓扑信息正确的前提下，这个选择应该是最佳的。但是转接 TSR 无法共享显式路由信息，这使显式路由非常浪费网络资源，网络扩展性较差，因而只能作为辅助路由手段。

## 6. 标记交换支持的服务

标记交换支持不同质量级别的服务，可提供两种机制保证服务质量。

(1) 支持几个优先级别的服务，将需传输的业务进行分类，通过资源预留协议（RSVP）为每个类别的业务申请相应的服务质量等级。在 ATM 环境下的标记交换利用 ATM 的硬件平台和它的转发机制，改造 ATM 的控制部件使其满足标记交换的要求，对于不同类别的业务使用不同的标记虚电路（TVC），利用 TVC 保证相应的服务质量。若在非 ATM 环境下，标记交换机则将业务分为几类：

- 分配一定带宽，超出部分丢弃；
- 分配一定带宽，超出部分以低优先级处理；
- 如果用户超出所提供的带宽发送数据，则超出部分以更高的优先级发送，并且用户

需要负担额外的费用。

(2) 为某些特殊业务用“下游节点按需标记分配”的分配方式,根据业务流等级分配不同的标记,通过专用 TVC,提供端到端的业务质量的保证。

#### 7. 标记交换的优缺点

(1) 标记交换能扩展现有网络的规模,能对路由器和 ATM 构成的网络实现更为简单的管理,它已将 ATM 交换机变成了路由器,形成了更加统一的网络模型,并增加了网络部件间配置的共同性。

(2) 具有一定的服务质量保证,但需要特殊质量保证的业务需要实现标记交换协议或人为向网络申请,使用不够灵活。

(3) 具有支持多媒体应用中所需的 QoS 和组播能力,但组播需要预先配置,灵活性较差。

(4) 支持路由信息层次化结构,并通过分离内部路由和外部路由,使网络具有较强的扩展能力和可管理性。

(5) 标记交换采取控制驱动,基于拓扑结构的方法,将目的地前缀算法与标准的路由协议相结合,减少了数据转发时延。最有效地使用现有连接,无需在数据流到达时才建立通道,所以没有建立连接时延。

### 10.4.3 多协议标记交换 (MPLS)

20 世纪 90 年代以来,LANE、MPOA、IP 交换和标记交换等诸多高速网络技术相继出台,但它们只解决了某一方面的问题,例如 LANE 和 MPOA 可以利用 ATM 提供一定的质量保证,但却在扩展性方面存在致命的问题;而 IP 交换和标记交换虽然在两个方面都有了一定的改善,但在协议的完善程度方面存在很多问题。

正是在这样的背景下,几乎所有的网络公司都看好 MPLS (Multi-protocol label switching),希望通过 MPLS 解决目前 Internet 网的上述两大弊病。IETF 提出的多协议标记交换 (MPLS) 主要是基于 Cisco 公司的标记交换,并吸收了 IBM 公司的 ARIS 和其他各种方案的优点,MPLS 有希望成为 ATM 与 IP 相结合的最佳解决方案。然而到目前,MPLS 仍处于 Internet 草案阶段,但有可能在 2000 年能够形成正式的标准。IETF 希望 MPLS 能显著提高网络的性能价格比和增强网络层的扩展性。目前 MPLS 的“多协议”还只考虑了 IP 协议 (IPv4、IPv6)。

#### 1. MPLS 的网络结构

一般的路由器的服务质量较 ATM 交换机差,转发分组的速率要比 ATM 交换机慢。因此为了提高分组在网络中转发的速率,就应尽量减少路由器的使用次数。这种策略常称为“使用一次选路,而使用多次交换”或“尽可能使用交换,仅在必要时才使用选路”。MPLS 的具体做法就是在网络的边缘设置标记边缘路由器,而在网络内部则使用增强功能的 ATM 交换机,即 ATM 标记交换路由器 (LSR, Label Switching Router),MPLS 的网络结构如图 10.50 所示。

在 ATM 网络入口处的标记边缘路由器的作用是将进入 ATM 网络的分组指派一个标记 (label),并将标记编码到 VPI/VCI 字段上。指派了标记的分组转换为 ATM 信元后就被映射到 ATM 虚通路,ATM 标记交换路由器就只根据标记进行转发,而不再使用 IP 地址或查找路由表了,直到信元离开网络时,才在网络出口处的标记边缘路由器中取消标记,恢复成原来

的分组。

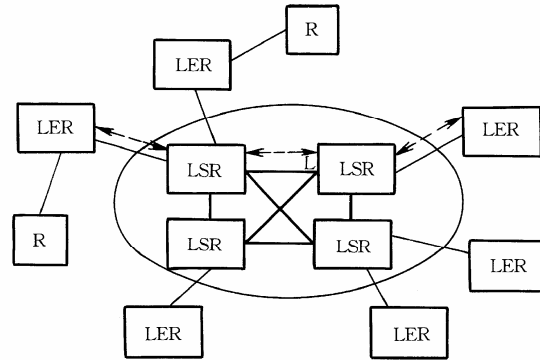


图 10.50 MPLS 的网络结构图

在 ATM 网络中,LSR 与 LER 之间、LSR 与 LSR 之间依然需要运行路由协议(如 OSPF、BGP 等),它们通过路由协议来获取网络拓扑信息,并根据这些信息决定数据包的下一跳(在第 3 层转发时)或交换路径的建立(在第 2 层转发),这与前面介绍的标记技术是相同的。

支持 MPLS 的节点组成 MPLS 域,它与路由域的划分互不相关。一个路由域内可以同时包含 MPLS 节点和非 MPLS 节点,标记信息只在 MPLS 的相邻节点间传递,MPLS 的两个节点间若有非 MPLS 的 ATM 或帧中继交换机,则以 PVP 或 PVC 将两个 MPLS 节点连通。

通过标记分配协议(LDP, label Distribution Protocol)在节点间完成标记信息的发布。标记只有本地意义,它是从路由信息映射得出的。标记对换表的建立和更新则使用 MPLS 的标记分配协议 LDP。

值得注意的是,MPLS 的第二层的转发机制与网络层所使用的协议无关,同时 MPLS 也不限于工作在 ATM 之上,例如,在帧中继网络、以太网或 SDH 上都可运行 MPLS。

## 2. MPLS 的基本概念

① 标记交换路由器(LSR)。支持 MPLS 并负责第三层转发分组和第二层标记分组的设备,是 MPLS 的基本构成单元。更具体地说,一个 LSR 可以是一个传统的交换机(如 ATM)扩充 IP 选路,或者升级为支持 MPLS 的一个传统路由器。在 MPLS 的网络中,无论是接入节点,还是核心节点,都是 LSR。

② 标记边缘路由器(LER)。是从一个 MPLS 域或到一个 MPLS 域转发分组的传统路由器。它可以与 MPLS 内部的 LSR 通信以交换 FEC 与标记关联信息。

③ 标记交换式路径(LSP)。是一个从入口到出口的交换式路径。它由 MPLS 节点建立,目的是采用一个标记交换转发机制转发一个特定 FEC 的分组。

④ 标记信息库(LIB)。保存在一个 LSR(LER)中的连接表,在 LSR 中包含有 FEC/标记关联信息和关联端口以及媒质的封装信息。表 10.3 给出一个 LIB 的例子,其中一些项目的含义说明如下:

- 下一跳 LSR;
- FEC 标识符(如地址前缀);
- 在标记执行的操作。用一个出口标记替代入口标记,弹出标记栈或者用出口标记替代入口标记并在标记栈顶部压入一个新标记。

表 10.3 标记信息库举例

| 输入端口 | 输入标记 | 下一跳  | 标识符  | 标记操作    | 出口标记 | 出口端口 | 链路层封装   |
|------|------|------|------|---------|------|------|---------|
| 1    | 1    | LSRA | NetA | Replace | 2    | 2    | ATM 昉   |
| 2    | 4    | LSRD | NetD | Replace | 5    | 3    | ATM 昉   |
| 2    | 7    | LSRA | NetA | Replace | 2    | 2    | ATM 昉   |
| 3    | 3    | LSRC | NetC | push    | 3    | 2    | ATM 昉   |
| 4    | 2    | LSRA | LSRA | Pop     |      |      | ATM 昉昉昉 |

⑤ 标记分配协议 (LDP)。MPLS LDP 是一个单独的控制协议，LSR 应用它交换和协调 FEC/标记绑定信息。具体地说，LDP 是信息交换和信息格式的序列，它们使得对等 LSR 就一个特定标记的数值达成一致，这个标记指示出分组所属的一个特定 FEC。在对等 LSR 之间需要建立一个 TCP 连接，以确保 LDP 信息能够按照正确的顺序可靠地传送。LDP 映射信息可以从任何本地 LSR（独立的 LSP 控制）发起，或者从出口 LSR（排序的 LSP 控制）发起，并下行 LSR 流向上行 LSR。一个特定数据流的到达、一个保留建立信息 (RSVP) 或选路更新信息都可以触发交换 LDP 信息。一旦一对 LSR 交换用于一个特定 FEC 的 LDP 信息，每个 LSR 关联它们 LIB 中的入口标记与一个对应的出口标记，之后就形成了一个从入口到出口的 LSP。

⑥ 标记。标记是用来简化用户数据传递的一个固定长度的数字。标记具有本地意义，更确切地讲，标记只在两个相邻节点之间有意义，但相邻并不一定要存在物理连接，以虚连接相连的两个节点也可称为相邻，是否相邻与网络的层次结构和对等关系有关。

⑦ 转发等效类 (FEC)。用来标识一组以相同方法转发的一组第三层分组。FEC 只具有本地意义，也就是说，在一个 LSR 中属于同一 FEC 的两个分组，在下一个 LSR 中可能属于不同的 FEC。FEC 用于在 LSR 内部将业务分类转发。在提供“Merge”功能的网络中，FEC 可以和标记一一对应。

⑧ 径流 (Stream)。沿着同一路径、属于同一 FEC 的一组分组被视为一个径流。径流是在一个 LSP 中将业务分类。在不支持径流合并 (Stream Merge) 的网络中，一个径流也将对应一个标记。

⑨ Flow。一个应用到另一个应用的数据称为“Flow”。早期的 IP 交换技术就是根据“Flow”决定转发的路由。很显然，“flow”的数量远远大于“stream”的数量，因而其转发效率将大大低于基于“stream”的技术。

⑩ 流分类。在业务流进入 LSR 时首先需要进行分类，也就是将业务流划分为不同的转发等效类 (FEC)。有两种标准的流分类机制，一种称为粗分类，一种称为细分类。粗分类是将具有相同网络层地址前缀的数据包归为一个 FEC。细分类由要求必须是同一对主机间，甚至必须是同属于某一对特定应用的数据包才可归属为一个 FEC，也就是说，只有具有相同的源和目的网络层地址，并且具有相同的传输层端口号（如 TCP 端口号）的数据包可称为同一个 FEC。粗分类有助于提高网络的可扩展性，因为它占用较少的网络资源；细分类可以针对不同应用的不同需求提供相应的服务，使网络具有更强的可用性。如何在网络的可扩展性和可用性之间权衡，是网络规划者们需要慎重考虑的问题。一般而言，骨干网络应强调可扩展性，而本地网络应强调可用性，所以总体上看是两者的结合。



3. MPLS 的封装和层次化结构

MPLS 引入了一种层次化结构路由的新概念，层次化结构对于提高网络的可扩展性是非常重要的。要介绍该内容之前先对 MPLS 标记格式及封装再作扼要的说明。

(1) 标记的格式

一个标记的格式依赖分组封装所在的介质。例如，ATM 封装的分组（信元）采用 VPI/VCI 数值作为标记，而帧中继采用 DLCI 作为标记。对于那些没有内在标记结构的介质封装，则采用一个特殊的数值填充。

(2) 标记交换的封装

标记交换是一种支持多协议的技术，它可以在多种链路协议上运行。其中 ATM 和帧中继所采用的交换技术与标记交换非常相似，所以当标记交换以 ATM 或帧中继作为其链路层协议时，就借用 ATM 和帧中继的封装，标记也相应地采用 VPI/VCI 或 DLCI。但当标记交换的链路层是 FDDI、Ethernet 或 PPP 时，因为它们原有的格式中完全不具备标记信息，必须加上额外的封装，标记交换采用的是被称为 shim 的格式的封装。在采用层次化路由时，一个 shim 会拥有多个标记栈条目，这被称为“标记栈”。shim 位于第 2 层和第 3 层之间，因而可以应用于任何链路层协议之上。

(3) MPLS 的封装

为了能够在数据包中携带标记栈信息，需要在封装中引入栈字段。MPLS 为底层的链路规定了不同的封装格式。在 MPLS 专用的环境中，也就是在以太网和点到点这样的链路上采用“shim”封装。shim 位于第 3 层和第 2 层协议头之间，与两层协议无关，因而被称为通用 MPLS 封装。MPLS 的封装及标记栈格式如图 10.51 所示，在图中，通用 MPLS 封装包括栈标识符 S、TTL（生存期）和 CoS（业务等级）等字段。

在 ATM 交换机作为 LSR 的环境中，仍然沿用 ATM 的信元封装。标记栈信息也就相应地有了一定的改变。MPLS 规定了 3 种对 ATM 信元头的编码：

- ATM SVC 编码：标记栈是用 VPI 和 VCI 字段共同组成的一层标记。
- ATM SVP 编码：标记栈是用 VPI 和 VCI 字段分别构成的两层标记，VPI 位于栈顶，VCI 位于栈底。
- ATM SVP 多点编码：标记栈仍是由 VPI 和 VCI 组成的两级栈，但 VCI 只作用于原来 VCI 字段的一部分，VCI 字段的剩余部分来标识 LSP 的入口。

如果在 ATM-LSR 环境下需要多于两层的标记，则只能将 ATM 信元封装与通用 MPLS 封装相结合。

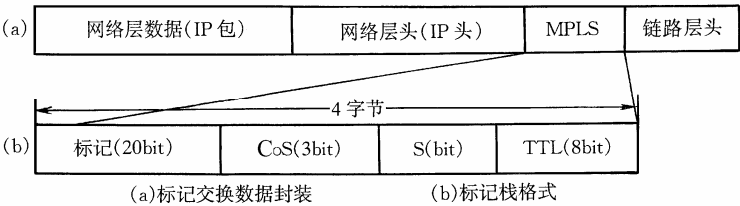


图 10.51 MPLS 标记格式

(4) MPLS 的层次化结构

MPLS 层次化结构的技术只适用于以 MPLS 特定的硬件且封装采用通用 MPLS 封装的环

境。在通用 MPLS 封装格式中，标记字段是由多个标记组成的标记栈，而不是 FR 的 DLCI，或是 ATM 的 VPI/VCI。每一级标记栈对应一层的标记交换，这类似于 ATM 的 VP 级交换和 VC 级交换。可以说，从 FR 到 ATM 是由一级交换发展为二级交换，而从 ATM 到 MPLS，则是从二级交换发展到多级交换。

从图 10.52 所示的层次结构看，它与 ATM 的管道结构（粗管套细管）基本含义是相似的。MPLS 采用的是标记栈的方式，所谓栈和计算机的堆栈具有完全相同的特性，那就是先入后出。若有一个数据包要从 R1 到 R11，因为两节点间没有直达的物理连接，假定物理连接的结构为 R1-R2-R3-…-R10-R11，则在 R1 节点需要入栈的标记有两级，LSP1 的标记则位于栈底。在 R2 节点只进行 LSP11 的标记交换，只有在 R5 和 R8 才进行 LSP1 的标记交换，而它们在进行 LSP1 的标记交换之前需要先将 LSP11 和 LSP12 的标记弹出。

从栈操作的方式看，MPLS 分层标记交换似乎与 ATM 很不相同。但如果我们想像 LSP1 是 ATM 的 VC 级连接，而 LSP11、LSP12、LSP13 是这条 VC 所借助的 3 条 VP 管道，两者的交换方式就完全相同了。

本例中 LSP1 之所以划分了几个 LSP，其原因会有以下几种：

- LSP11、LSP12、LSP13 分属于不同域（Domain）。
- LSP11、LSP12、LSP13 分别支持不同的路由选择协议（hop by hop 或显式路由）。

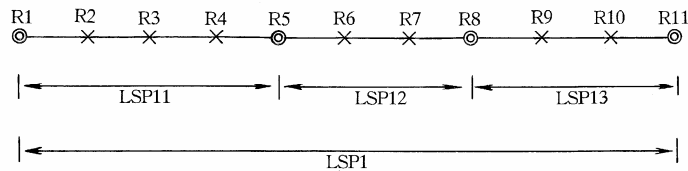


图 10.52 MPLS 分层标记交换

#### 4. 路由选择及其循环控制

MPLS 提供逐跳（hop by hop）和显式路由等两种路由机制。

Hop by hop 就是传统采用的路由选择机制，它由每个 hop 上的 LSR 决定下一跳的路由。

MPLS 仍旧保留了这种传统的路由选择机制，是考虑到以下几个方面的原因：

- 还存在一些传统的网络需要这种路由选择机制；
- 安全过滤设备（如防火墙）需要第三层路由；
- MPLS 需要和非 MPLS 的网络保持兼容。

显式路由就是使用标记完成标记交换。它由 LSP 的入节点或出节点决定路由，而 LSP 的转接节点只需要进行标记交换，无需考虑路由，这样可以大大提高转发的效率。而且，由于路由只由少数节点完成，可以方便地制定统一的路由策略和进行整体的业务量规划。

显式路由是 MPLS 在路由技术上的一个重大进步，但是由于诸多原因不能采用它作为唯一的路由选择机制，这将带来很多问题。当在一条 LSP 中混用两种路由选择机制时，可能会造成路由循环。另外，因为标记的分配和交换路径的建立可以逐段完成，也就是说，建立路径时只考虑了相邻节点的情况，所以从整条路径上看，存在出现循环的可能，特别是在路由过渡时期。因此，循环处理对于 MPLS 是非常重要的，减轻循环是常用的循环控制办法。

减轻循环就是利用 TTL 字段等手段将所造成的影响降到最小。利用 TTL（生命期）字段可以将循环的数据包在一定时间内丢弃，避免它们占用过多的网络资源（带宽和处理器资源）。

类似的手段还有动态路由和公平排队等。因为循环数据通常会阻塞通路，从而降低路由控制信息传递的速度，也就同时降低了该条路由的收敛速度，所以动态调整后的路由就会收敛在没有循环的路由上。而公平排队则是将属于不同流的数据分别排队，在某些流出现循环后，不会影响其他业务流的传递。

TTL 字段只提供了在出现循环后避免造成更多问题的方法，并未能禁止循环。MPLS 还提供了另一套完整的防止循环的机制，这套机制还未完全制定完成。其核心思想是沿着路由向上游传送“LSR ID 表”，该表为路由所经历各节点的标识符表。接收节点收到其下游各节点的 ID 表后，检查其中是否有本节点，若有则表明已出现循环，此路由将被舍弃。否则在表中填入该节点的 ID 号后继续向它的上游节点传送这张表。

#### 5. MPLS 服务

一个 MPLS 网络具有支持不同网络业务的能力，它提供的最基本服务是通过网络快速转发分组；MPLS 提供了一个比 ATM 上的经典 IP 叠加模型更加有效和可扩展的 IP 选路能力；MPLS 是有效解决业务量工程的一个理想方案，它可以在任何数据链路上，轻松地预定一个特定径流的非缺省显式路径上引导业务流量；MPLS 能够在网络边界识别客户业务流（通过分组头中的多个字段），然后将这些业务流置于具有 CoS（服务类型）或 QoS（服务质量）属性的 LSP 上，得到满意的 CoS 或 QoS 服务。

# 附录 英文缩写词

|        |                                                      |                  |
|--------|------------------------------------------------------|------------------|
| AAL    | ATM Adaptation Layer                                 | ATM 适配层          |
| ABR    | Available Bit Rate                                   | 可用比特率            |
| ACK    | Acknowledgement                                      | 应答               |
| ADSL   | Asymmetric Digital Subscriber Line                   | 非对称数字用户线         |
| ADU    | Application Data Unit                                | 应用数据单元           |
| ALOHA  | Additive Link On-line HAWAII system                  | 一种随机接入系统，常用于卫星通信 |
| AN     | Access Network                                       | 接入网              |
| API    | Application Programming Interface                    | 应用编程接口           |
| ARIS   | Aggregate Route-based IP Switching                   | 基于集中路由的 IP 交换    |
| ARP    | Address Resolution Protocol                          | 地址解析协议           |
| ARQ    | Automatic Repeat reQuest                             | 自动请求重发           |
| ATM    | Asynchronous Transfer Mode                           | 异步传递方式           |
| ATU    | Access Termination Unit                              | 接入端接单元           |
| ATU-C  | Access Termination Unit Central Office               | 端局接入端接单元         |
| ATU-R  | Access Termination Unit Remote                       | 远端接入端接单元         |
| AUI    | Attachment Unit Interface                            | 连接接口单元           |
| BECN   | Backward Explicit Congestion Notification            | 反向显式拥塞通知         |
| BER    | Basic Encoding Rule                                  | 基本编码规则           |
| BES    | Best-Effort Service                                  | 尽力而为的服务          |
| BGMP   | Border Gateway Multicast Protocol                    | 边界网关组播协议         |
| BGP    | Border Gateway protocol                              | 边界网关协议           |
| B-ICI  | Broadband Inter-Carrier Interface                    | 宽带公司间接口          |
| B-ISDN | Broadband-ISDN                                       | 宽带综合业务数字网        |
| BNC    | Bayonet-Neill-Concelman(type of Interface Connector) | 同轴电缆连接器          |
| bps    | bits per second                                      | 每秒比特数(bit/s)     |
| Bps    | Bytes per second                                     | 每秒字节数            |
| BRI    | Basic Rate Interface                                 | 基本速率接口           |
| BSR    | Bootstrap Router                                     | 引导路由器            |
| BUS    | Broadcast and Unknown Server                         | 广播和未知服务器         |
| CAC    | Call Admission Control                               | 呼叫准许控制           |
| CAC    | Connection Admission Control                         | 连接允许控制           |

|                |                                                                   |                              |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| CAP            | Carrierless Amplitude Phase                                       | 无载波振幅相位调制                    |
| CAS            | Channel Associated Signalling                                     | 随路信令                         |
| CATV           | Community Antenna TV,Cable TV                                     | 有线电视                         |
| CBR            | Constant Bit Rate                                                 | 恒定比特率                        |
| CCS            | Common-Channel Signaling                                          | 共路信令                         |
| CDDI           | Copper Distributed Data Interface                                 | 铜线分布式数据接口                    |
| CDMA           | Code Division Multiplex Access                                    | 码分复用                         |
| CDV            | Cell Delay Variation                                              | 信元时延偏差                       |
| CDVT           | Cell Delay Variation Tolerance                                    | 容许的信元时延偏差                    |
| CGI            | Common Gateway Interface                                          | 通用网关接口                       |
| CI             | Congestion Indicator                                              | 拥塞指示                         |
| CIDR           | Classless InterDomain Routing                                     | 无类型域间路由选择                    |
| CIR            | Committed Information Rate                                        | 许诺的信息速率                      |
| CL             | Connectionless Service                                            | 无连接服务                        |
| CLP            | Cell Loss Priority                                                | 信元丢失优先级                      |
| CLR            | Cell Loss Ratio                                                   | 信元丢失率                        |
| CMIP           | Common Management Information Protocol                            | 公共管理信息协议                     |
| CMOT           | Common Management information service<br>and Protocol Over TCP/IP | 在 TCP/IP 上的公共管理信<br>息服务与协议   |
| CNNIC          | Network Information Center of China                               | 中国互联网络信息中心                   |
| CPCS           | Common Part Convergence Sublayer                                  | 共同部分汇聚子层                     |
| CPE            | Customer Premises Equipment                                       | 用户屋内设备                       |
| CPS            | Common Part Sublayer                                              | 公共部分子层                       |
| CRC            | Cyclic Redundancy Check                                           | 循环冗余校验                       |
| CS             | Convergence Sublayer                                              | 汇聚子层                         |
| CS-ACELP       |                                                                   | Conjugate-Structure          |
| Algebraic-Code | 共轭结构代数码激励线性预<br>(声码器)                                             | -Excited Linear prediction 测 |
| CSI            | Convergence Sublayer Indicator                                    | 汇聚子层指示                       |
| CSMA/CD        | Carrier Sense Multiple Access with<br>Collision Detection         | 载波监听多点接入/冲突检测                |
| CSR            | Cell Switched Routers                                             | 信元交换式路由器                     |
| CSU/DSU        | Channel Service Unit/Data Service Unit                            | 信道服务单元/数据服务单元                |
| CTD            | Cell Transfer Delay                                               | 信元传送时延                       |
| CTS            | Clear To Send                                                     | 允许发送                         |
| DACS           | Digital Access and Cross-connect System                           | 数字交接系统                       |
| DCE            | Data Circuit-terminating Equipment                                | 数据电路端接设备                     |
| DCF            | Distributed Coordination Function                                 | 分布协调功能                       |
| DE             | Discard Eligibility                                               | 丢弃指示                         |

|          |                                                      |              |
|----------|------------------------------------------------------|--------------|
| DES      | Data Encryption Standard                             | 数据加密标准       |
| DLCI     | Data Link Connection Identifier                      | 数据链路连接标识符    |
| DNS      | Domain Name System                                   | 域名系统         |
| DSE      | Digital Switching Equipment                          | 数字交换设备       |
| DSL      | Digital Subscriber Line                              | 数字用户线        |
| DSLAM    | DSL Access Multiplexer                               | 数字用户线接入复用器   |
| DSP      | Digital Signal Processor                             | 数字信号处理器      |
| DSSS     | Direct Sequence Spread Spectrum                      | 直接序列扩频       |
| DTE      | Data Terminal Equipment                              | 数据终端设备       |
| DQDB     | Distributed Queue Dual Bus                           | 分布式排队双总线     |
| DVMRP    | Distance Vector Multicast Routing Protocol           | 距离向量多播路由选择协议 |
| DWDM     | Dense WDM                                            | 密集波分复用       |
| EGP      | External Gateway Protocol                            | 外部网关协议       |
| EIA      | Electronic Industries Association                    | 美国电子工业协会     |
| ELAN     | Emulated LAN                                         | 仿真局域网        |
| EPD      | Early Packet Discard                                 | 早期分组丢弃       |
| ER       | Explicit cell Rate                                   | 显式信元速率       |
| ESP      | Encapsulating Security Payload                       | 封装安全净负荷      |
| FDDI     | Fiber Distributed Data Interface                     | 光纤分布式数据接口    |
| FEC      | Forward Error Correction                             | 前向纠错         |
| FECI     | Forward Explicit Congestion Indication               | 前向显式拥塞指示     |
| FECN     | Forward Explicit Congestion Notification             | 前向显式拥塞通知     |
| FHSS     | Frequency Hopping Spread Spectrum                    | 跳频扩频         |
| FIB      | Forwarding Information Base                          | 转发信息库        |
| FIFO     | First In First Out                                   | 先进先出         |
| FPS      | Frames Per Second                                    | 每秒帧数         |
| FQDN     | Full Qualified Domain Name                           | 完全合格的域名      |
| FTP      | File Transfer Protocol                               | 文件传送协议       |
| FTTB     | Fiber To The Building                                | 光纤到大楼        |
| FTTC     | Fiber To The Curb                                    | 光纤到路边        |
| FTTH     | Fiber To The Home                                    | 光纤到家         |
| GARP     | Group Address Resolution Protocol                    | 组地址解析协议      |
| GCRA     | Generic Cell Rate Algorithm                          | 一般信元速率算法     |
| GFC      | Generic Flow Control                                 | 一般流量控制       |
| GSM      | Global Systems for Mobile Communication              | 全球移动通信系统     |
| gTLD-MoU | generic Top Level Domain Memorandum of Understanding | 通用顶级域名协定备忘录  |
| HDLC     | High-level Data Link Control                         | 高速数据链路控制     |
| HDSL     | High speed DSL                                       | 高速数字用户线      |
| HEC      | Header Error Control                                 | 首部差错控制       |

|       |                                                         |                  |
|-------|---------------------------------------------------------|------------------|
| HFC   | Hybird Fiber Coax                                       | 光纤同轴混合网          |
| HIPPI | High-Performance Parallel Interface                     | 高性能并行接口          |
| HTML  | HyperText Markup Language                               | 超文本置标语言          |
| HTTP  | HyperText Transfer Protocol                             | 超文本传送协议          |
| IAB   | Internet Architecture Board                             | Internet 体系结构委员会 |
| IANA  | Internet Assigned Numbers Authority                     | Internet 指派号机构   |
| ICMP  | Internet Control Message Protocol                       | Internet 控制报文协议  |
| IDEA  | International Data Encryption Algorithm                 | 国际数据加密算法         |
| IDN   | Integrated Digital Network                              | 综合数字网            |
| IETF  | Interface Engineering Task Force                        | Internet 网络工程部   |
| IFS   | InterFrame Space                                        | 帧间间隔             |
| IGMP  | Internet Group Management Protocol                      | Internet 组管理协议   |
| IGP   | Interior Gateway Protocol                               | 内部网关协议           |
| IMAP  | Internet Message Access Protocol                        | Internet 报文存取协议  |
| IN    | Intelligent Network                                     | 智能网              |
| IP    | Internet Protocol                                       | 网际协议             |
| IPOA  | IP Over ATM                                             | 在 ATM 上覆盖 IP     |
| IPX   | Internet Packet Exchange                                | 网络层的分组交换协议       |
| IRTF  | Internet Research Task Force                            | Internet 网络研究部   |
| ISA   | Integrated Services Architecture                        | 综合业务体系结构         |
| ISDN  | Integrated Services Digital Network                     | 综合业务数字网          |
| ISO   | International Organization for Standard<br>-ization     | 国际标准化组织          |
| ISP   | Internet Service Provider                               | Internet 服务提供者   |
| ITU   | International Telecommunication Union                   | 国际电信联盟           |
| ITU-T | ITU Telecommunication Standardization<br>Sector         | 国际电联电信标准化部门      |
| KDC   | Key Distribution Center                                 | 密钥分配中心           |
| LAN   | Local Area Network                                      | 局域网              |
| LANE  | LAN Emulation                                           | 局域网仿真            |
| LAPB  | Link Access Procedure Balanced                          | 链路接入规程（平衡型）      |
| LAPD  | Link Access Procedure on the D-Channel                  | 链路接入规程（D 通道）     |
| LAPF  | Link Access Procedure for Frame-mode<br>Bearer Services | 链路接入规程（帧方式）      |
| LCN   | Logical Channel Number                                  | 逻辑信道号            |
| LCP   | Link Control Protocol                                   | 链路控制协议           |
| LDP   | Label Distribution Protocol                             | 标记分配协议           |
| LEC   | LAN Emulation Client                                    | 局域网仿真客户          |
| LECS  | LAN Emulation Configuration Server                      | 局域网仿真配置服务器       |
| LES   | LAN Emulation Server                                    | 局域网仿真服务器         |

|       |                                          |                  |
|-------|------------------------------------------|------------------|
| LIB   | Label Information Base                   | 标签信息库            |
| LIS   | Logical IP Subnet                        | 逻辑 IP 子网         |
| LLC   | Logical Link Control                     | 逻辑链路控制           |
| LSR   | Link Switch Router                       | 链路交换路由器          |
| MAC   | Medium Access Control                    | 介质访问控制           |
| MAC   | Message Authentication Code              | 报文鉴别码            |
| MAN   | Metropolitan Area Network                | 城域网              |
| MARS  | Multicast Address Resolution Server      | 多播地址解析服务器        |
| M-BGP | Multicast-Border Gateway Protocol        | 组播-边界网关协议        |
| MBONE | Multicast Backbone On the InterNEt       | 多播主干网            |
| MBS   | Maximum Burst Size                       | 最大突发长度           |
| MCR   | Minimum Cell Rate                        | 最小信元速率           |
| MCS   | MultiCast Server                         | 多播服务器            |
| MD    | Message Digest                           | 报文摘要             |
| MFTP  | Multicast File Transfer Protocol         | 组播文件传输协议         |
| MIB   | Management Information Base              | 管理信息库            |
| MIME  | Multipurpose Internet Mail Extensions    | 通用 Internet 邮件扩充 |
| MOSPF | Multicast Open Shortest Path First       | 组播开放最短路径优先       |
| MOTIF | Message Oriented Text Interchange System | 面向报文的电文交换系统      |
| MPC   | MPOA Client                              | MPOA 客户程序        |
| MPLS  | MultiProtocol Label Switching            | 多协议标记交换          |
| MPOA  | MultiProtocol Over ATM                   | ATM 上运行多协议       |
| MPS   | MPOA Server                              | MPOA 服务器程序       |
| MSC   | Mobile Switching Center                  | 移动交换中心           |
| MSS   | Maximum Segment Size                     | 最长报文段            |
| MTA   | Message Transfer Agent                   | 报文传送代理           |
| MTP   | Message Transfer Part                    | 消息传递部分           |
| MTSO  | Mobile Telephone Switching Office        | 移动电话交换局          |
| NAP   | Network Access Point                     | 网络接入点            |
| NAU   | Network Access Unit                      | 网络接入单元           |
| NT    | Network Termination                      | 网络终端             |
| NBMA  | NonBroadcast Multiple Access             | 非广播多点接入          |
| NCC   | Network Control Center                   | 网络控制中心           |
| NFS   | Network File System                      | 网络文件系统           |
| NHC   | NHRP Client                              | NHRP 客户          |
| NHRP  | Next Hop Resolution Protocol             | 下一站解析协议          |
| NHS   | NHRP Server                              | NHRP 服务器         |
| NIC   | Network Interface Card                   | 网络接口卡或网卡         |
| NII   | National Information Infrastructure      | 国家信息基础设施         |
| NMS   | Network Management System                | 网络管理系统           |



|          |                                                |                     |
|----------|------------------------------------------------|---------------------|
| NNI      | Network-Node Interface                         | 网络结点接口              |
| NVT      | Network Virtual Terminal                       | 网络虚拟终端              |
| OAM      | Operations,Administration and Maintenance      | (网络)运行 处理 (或管理) 和维护 |
| OAM Flow | Operations,Administration and Maintenance Flow | OAM 流               |
| OAN      | Optical Access Network                         | 光接入网                |
| OC       | Optical Carrier                                | 光载波                 |
| ODN      | Optical Distribution Node                      | 光分配结点               |
| OS       | Operation System                               | (网络)运行系统            |
| OSI/RM   | Open Systems Interconnection Reference Model   | 开放系统互连基本参考模型        |
| OSPF     | Open Shortest Path First                       | 开放最短通路优先            |
| PAD      | Packet Assembler/Disassembler                  | 分组装拆器               |
| PBX      | Private Branch Exchange                        | 专用小交换机              |
| PCF      | Point Coordination Function                    | 点协调功能               |
| PCM      | Pulse Code Modulation                          | 脉码调制                |
| PCN      | Personal Communications Network                | 个人通信网               |
| PCR      | Peak Cell Rate                                 | 峰值信元速率              |
| PCS      | Personal Communications Services               | 个人通信                |
| PDU      | Protocol Data Unit                             | 协议数据单元              |
| PDH      | Plesiochronous Digital Hierarchy               | 准同步数字系列             |
| PEM      | Privacy Enhanced Mail                          | Internet 的正式邮件加密标准  |
| PGP      | Pretty Good Privacy                            | 一种电子邮件加密技术          |
| PMD      | Physical Medium Dependent                      | 物理媒体相关 (子层)         |
| POH      | Path Overhead                                  | 通道开销                |
| POP      | Post Office Protocol                           | 邮局协议                |
| POTS     | Plain Old Telephone Services                   | 传统电话                |
| PPP      | Point-to-Point Protocol                        | 点对点协议               |
| PRI      | Primary Rate Interface                         | 基群速率接口              |
| PS       | POTS Splitter                                  | 电话分路器               |
| PSTN     | Public Switched Telephone Network              | 公用电话交换网             |
| PT       | Payload Type                                   | 负荷类型                |
| PTI      | Payload Type Indicator                         | 负荷类型指示              |
| PVC      | Permanent Virtual Circuit                      | 永久虚电路               |
| QAM      | Quadrature Amplitude Modulation                | 正交幅度调制              |
| QoS      | Quality of Service                             | 服务质量                |
| RAC      | Remote Access Concentrator                     | 远程访问集中器             |
| RADSL    | Rate-Adaptive DSL                              | 速率自适应数字用户线          |
| RAN      | Residential Access Network                     | 居民接入网               |

|       |                                       |                           |
|-------|---------------------------------------|---------------------------|
| RARP  | Reverse Address Resolution Protocol   | 逆地址解析协议                   |
| RAS   | Remote Access Server                  | 远程访问服务器                   |
| RBB   | Residential BroadBand network         | 居民宽带网                     |
| RFC   | Request For Comments                  | 请求注释                      |
| RIP   | Routing Information Protocol          | 路由信息协议                    |
| RM    | Resource Management                   | 资源管理（信元）                  |
| RMP   | Reliable Multicast Protocol           | 可靠的组播协议                   |
| RMTP  | Reliable Multicast Transfer Protocol  | 可靠的组播传输协议                 |
| RPC   | Remote Procedure Call                 | 远程过程调用                    |
| RSA   | Rivest, Shamir and Adleman            | 一种公开密钥算法的名称，<br>由 3 个人名合成 |
| RSOH  | Regenerator Section Overhead          | 再生段开销                     |
| RSVP  | Resource reSerVation Protocol         | 资源预留协议                    |
| RTCP  | Real-time Transfer Control Protocol   | 实时传送控制协议                  |
| RTP   | Real-time Transfer Protocol           | 实时传送协议                    |
| RTS   | Request To Send                       | 请求发送                      |
| SAP   | Service Access Point                  | 服务访问点                     |
| SAR   | Segmentation And Reassembly           | 拆装（子层）                    |
| SCR   | Sustainable Cell Rate                 | 持续信元速率                    |
| SDH   | Synchronous Digital Hierarchy         | 同步数字系列                    |
| SDLC  | Synchronous Data Link Control         | 同步数据链路控制                  |
| SDSL  | Single-line DSL                       | 1 对线的数字用户线                |
| SDT   | Structured Data Transfer              | 结构化数据传送                   |
| SDU   | Service Data Unit                     | 服务数据单元                    |
| SEAL  | Simple Efficient Adaptation Layer     | 简单高效适配层                   |
| SFT   | System Fault Tolerance                | 系统容错性                     |
| SIFS  | Short IFS                             | 短 IFS                     |
| SMDS  | Switched Multimegabit Data Service    | 交换式多兆位数据服务                |
| SMI   | Structure of Management Information   | 管理信息结构                    |
| SMTP  | Simple Mail Transfer Protocol         | 简单邮件传送协议                  |
| SNA   | System Network Architecture           | 系统网络体系结构                  |
| SNAP  | Sub Network Access Protocol           | 子网访问协议                    |
| SNMP  | Simple Network Management Protocol    | 简单网络管理协议                  |
| SONET | Synchronous Optical Network           | 同步光纤网                     |
| SPI   | Security Parameter Index              | 安全参数索引                    |
| SSCS  | Service Specific Convergence Sublayer | 特定服务汇聚子层                  |
| STM   | Synchronous Transfer Mode             | 同步传递方式                    |
| STM   | Synchronous Transfer Module           | 同步传递模块                    |
| STP   | Shielded Twisted Pair                 | 屏蔽双绞线                     |
| STS   | Synchronous Transport Signal          | 同步传送信号                    |

|      |                                       |           |
|------|---------------------------------------|-----------|
| SVC  | Switched Virtual Connection           | 交换虚连接     |
| TA   | Terminal Adapter                      | 终端适配器     |
| TAT  | Theoretical Arrival Time              | 理论上的到达时间  |
| TC   | Transmission Convergence              | 传输汇聚（子层）  |
| TCB  | Transmission Control Block            | 传输控制程序块   |
| TCP  | Transmission Control Protocol         | 传输控制协议    |
| TFTP | Trivial File Transfer Protocol        | 简单文件传送协议  |
| TLD  | Top Level Domain                      | 顶级域名      |
| TMN  | Telecommunications Management Network | 电信管理网络    |
| TTL  | Time To Live                          | 寿命或生存时间   |
| UA   | User Agent                            | 用户代理      |
| UBR  | Unspecified Bit Rate                  | 不指明比特率    |
| UDP  | User Datagram Protocol                | 用户数据报协议   |
| UDT  | Unstructured Data Transfer            | 无结构数据传送   |
| UIB  | User Interface Box                    | 用户接口盒     |
| UNI  | User-to-Network Interface             | 用户网络接口    |
| UPC  | Usage Parameter Control               | 使用参数控制    |
| URI  | Universal Resource Identifier         | 通用资源标识符   |
| URL  | Uniform Resource Locator              | 统一资源定位符   |
| UTP  | Unshielded Twisted Pair               | 无屏蔽双绞线    |
| VBR  | Variable Bit Rate                     | 可变比特率     |
| VC   | Virtual Channel,Circuit,or Connection | 虚通道       |
| VC   | Virtual Container                     | 虚容器       |
| VCC  | Virtual Channel Connection            | 虚通道连接     |
| VCI  | Virtual Channel Identifier            | 虚通路标识符    |
| VDSL | Very high speed DSL                   | 甚高速数字用户线  |
| VLAN | Virtual LAN                           | 虚拟局域网     |
| VoD  | Video on Demand                       | 点播电视      |
| VoIP | Voice over IP                         | 在 IP 上的话音 |
| VP   | Virtual Path                          | 虚通路       |
| VPI  | Virtual Path Identifier               | 虚通道标识符    |
| VPN  | Virtual Private Network               | 虚拟专用网     |
| VSAT | Very Small Aperture Terminal          | 甚小口径地球站   |
| WAN  | Wide Area Network                     | 广域网       |
| WDM  | Wavelength Division Multiplexing      | 波分复用      |
| WLAN | Wireless LAN                          | 无线局域网     |
| WWW  | World Wide Web                        | 万维网       |

- [1] 王鸿生等.通信网基本技术.北京：人民邮电出版社，1993
- [2] 王迎春等.现代通信网.北京：北京邮电大学出版社，1995
- [3] 陈锡生等.程控电话与话务理论.北京：人民邮电出版社，1994
- [4] 谢希仁.计算机网络.北京：电子工业出版社，1999
- [5] 黄叔武等.计算机网络工程教程.北京：清华大学出版社，1999
- [6] 丁炜等.通信新技术.北京：北京邮电大学出版社，1994
- [7] 糜正琨等.七号共路信令系统.北京：人民邮电出版社，1994
- [8] 杜治龙.分组交换工程.北京：人民邮电出版社，1993
- [9] 蔡皖东.计算机网络技术.西安：西安电子科技大学出版社，1998
- [10] 夏云等.现代计算机网络技术与应用.北京：科学出版社，1998
- [11] 李津生等.宽带综合业务数字网与 ATM 局域网.北京：清华大学出版社，1998
- [12] 刘符等.宽带通信原理设计应用.北京：人民邮电出版社，1999
- [13] 赵荣黎.数字蜂窝移动通信系统.北京：电子工业出版社，1997
- [14] 赵慧玲等.宽带 Internet 网络技术.北京：电子工业出版社，1999
- [15] 毕厚杰.多媒体信息的传输与处理.北京：人民邮电出版社，1999
- [16] 舒华英等.IP 电话技术及其应用.北京：人民邮电出版社，1999
- [17] 黄锡伟等.宽带通信网络.北京：人民邮电出版社，1999
- [18] 邢秦中.ATM 通信网.北京：人民邮电出版社，1999
- [19] IETF RFC 1577. Classical IP and ARP over ATM,January 1994
- [20] Bill Ellington. LAN Emulation Over ATM: Draft specification — Revision 4. ATM Forum/94—0035R4,July 1994
- [21] Casaca A. Broadband Communications. McGraw—Hill,Inc,New York,1996
- [22] Balaji Kumar. Broadband Communication: a professional's guide to ATM,frame relay. McGraw—Hill,Inc,New York,1995
- [23] David E, Errol Simon. Information Networks Planning and Design. USA: Prentice Hall,1997