

Mc  
Graw  
Hill

网络新技术 系列丛书 中文版

Telecommunications Protocols  
(Second Edition)

# 电信协议 (第2版)

[美] Travis Russell 著  
王喆 罗进文 柏桦 译



Mc  
Graw  
Hill

清华大学出版社

网络新技术系列丛书(中文版)

# 电信协议

(第2版)

[美] Travis Russell 著

王喆 罗进文 柏桦 译

清华大学出版社

北京

电信协议(第2版)

Travis Russell; Telecommunications Protocols(Second Edition)

EISBN: 0-07-134915-4

## 内 容 简 介

通信协议是现有语音和数据通信网中最重要的消息联络机制,语音通信网和数据通信网的合并已使得传统的电信网发生了巨大的变化。本书介绍了整个电信行业和计算机行业的发展和演变,在介绍通信协议结构原理的基础上全面讨论了当今话音通信网和数据通信网领域正在使用的和即将发展的各种典型协议,包括 LAN/WAN 结构及协议基础、TCP/IP 协议、SS7 协议、窄带与宽带 ISDN 信令协议、移动通信网协议、光纤骨干网协议和 ATM 协议。

本书理论先进、条理清晰,适合高等大专院校计算机、电子、电信等专业的师生和从事计算机网络与电信网协议研究的广大科技人员使用。

Copyright © 2000 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Authorized translation from the English language edition published by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. For sale in the People's Republic of China only.

本书中文简体字版由美国麦格劳·希尔教育出版集团授权清华大学出版社在中国境内出版发行。未经出版者书面许可,任何人不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2000-2893 号

## 图书在版编目(CIP)数据

电信协议:第2版/[美]拉塞尔著;王喆,罗进文,柏桦译.一北京:清华大学出版社,2003

(网络新技术系列丛书)

书名原文:Telecommunications Protocols

ISBN 7-302-06213-7

I.电… II.①拉… ②王… ③罗… ④柏… III.通信协议 IV.TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 109001 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.com.cn>

责任编辑:马 珂

封面设计:郑 勉

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×960 1/16 印张:19.75 字数:417 千字

版 次:2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-06213-7/TP·3718

印 数:0001~5000

定 价:26.00 元

## 第 2 版说明

我在第 1 版的前言中已写到,本书中的许多协议从真正意义上讲根本不是新技术,而是以较新的方法对原有技术进行了提炼和实施。从书中我们可以看到在最近两年内,两种已有的技术,7 号信令系统(SS7)和 TCP/IP,已经汇入到电信网络之中。

我本人也未曾想到电信行业正以它所展现出来的方式向前发展。在新的世纪里,电信行业正面临着巨大的变化。

本地号码移植(LNP)已经改变了很多电话公司的运营方式,并为刚起步的公司创造了新的机遇。随着话音网络和数据网络向 TCP/IP 基础结构转移,话音通信网和数据通信网的合并已使得电话公司的网络发生了巨大的变化。

这些变化已经引起业界许多专家的注意,他们在寻找着谈论最多的技术方面的信息。我已经从使用第 1 版的许多人那里听说他们希望学习这些技术基础,而且我期待着在未来几年内能听到更多人的反响。

正如我在第 1 版所说,本书是应朋友之邀所写。这是一本从局域网(LAN)/广域网(WAN)到无线通信网,覆盖整个电信行业的书。我感到只有写本书的第 2 版才能反映当前发生的 TCP/IP 变化。随着 TCP/IP 标准的发展,我将继续扩充这本书,以便包含这些新的变化。

一些已经与我联系的读者说,很难找到我的电子邮件地址,并希望我在第 2 版的书中写明。如果您对本书有什么好的建议,或有什么问题,欢迎您给我发电子邮件,我的电子邮件地址是:travisruss@aol.com。我将恭候您的回音。

如果不是我的好朋友 John Faulkner 的提议,我不会写这本书。John 发现他要为他的发布人和客户解释我们行业中的各种协议,就出主意让我写这本书。John,现在你可以有这样一本书了,希望有助于你的销售!

此外,对 Tekelec 公司给予这本书和其他项目的支持,我表示衷心的感谢。Tekelec 是一个值得为其效力的公司,我希望更加长久地与之合作。再一次对 Tekelec 公司的帮助和鼓励表示感谢!

——Travis Russell

## 译 者 序

21 世纪是通信与计算机网络高速发展的时代。随着话音网络和数据网络向 TCP/IP 基础结构的转移,话音通信网和数据通信网的合并已使得传统的电信网络发生了巨大的变化。通信协议是现有话音和数据通信网中最重要的消息联络机制,现代网络的发展越来越需要高效、轻载的网络协议。本书在介绍电信协议结构原理的基础上全面而详细地讨论了当今话音通信网和数据通信网领域正在使用的和即将发展的各种典型协议。

本书由美国的特拉维斯·拉塞尔(Travis Russell)所著。作者从话音通信到数据通信,从窄带 ISDN 到宽带 ISDN BISDN,从局域网/广域网到无线移动通信,概括了整个电信行业和计算机行业的发展和演变历史,详细介绍了电信行业和计算机行业所用的技术协议和规范。本书内容全面、重点突出、理论先进,对大专院校计算机、电子、电信等专业的师生以及从事计算机网络与电信网协议研究的广大科技人员来说是一本不可多得的技术参考资料。本书尤为独特之处是,作者将电信领域和计算机领域的历史与演变、技术与原理、发展与瞻望紧密地结合在一起进行详细的论述,使读者了解电信领域和计算机领域所使用协议的发展历史与区别,了解当今话音通信网和数据通信网正在使用和即将发展的各种典型协议的主要内容。

本书共 9 章,其中第 1~3 章及附录由王喆翻译,第 4~6 章由罗进文翻译,第 7~9 章由柏桦翻译,全书由王喆统稿。由于我们水平有限,翻译时间紧迫,译文中难免有不妥之处,还望各位专家和同仁赐教,敬请广大读者指正。

译 者

2002 年 11 月

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第 2 版说明 .....                   | I   |
| 译者序 .....                       | III |
| <b>第 1 章 基础知识</b> .....         | 1   |
| 1.1 电信发展史综述 .....               | 1   |
| 1.1.1 数据通信发展史 .....             | 1   |
| 1.1.2 电话行业发展史 .....             | 4   |
| 1.2 标准组织 .....                  | 8   |
| 1.2.1 标准化过程 .....               | 9   |
| 1.2.2 国内外标准化组织 .....            | 10  |
| 1.3 数字传输基础 .....                | 14  |
| 1.3.1 电信号与二进制 .....             | 15  |
| 1.3.2 字符集——ASCII 和 EBCDIC ..... | 15  |
| 1.3.3 数字话音 .....                | 17  |
| 1.4 通信协议基础 .....                | 19  |
| 1.4.1 服务协议 .....                | 19  |
| 1.4.2 分层及其优点 .....              | 23  |
| 1.4.3 开放系统互连模型 .....            | 24  |
| 1.5 网络基础 .....                  | 26  |
| 1.5.1 分布式处理技术的发展 .....          | 26  |
| 1.5.2 客户机/服务器环境 .....           | 27  |
| 1.5.3 局域网 .....                 | 28  |
| 1.5.4 广域网——户外连接 .....           | 29  |
| 1.5.5 交换原理 .....                | 30  |
| 1.6 测试题 .....                   | 32  |
| <b>第 2 章 发展中的电话网络</b> .....     | 34  |
| 2.1 基础结构 .....                  | 34  |
| 2.1.1 剥离前的贝尔系统网络 .....          | 34  |

---

|              |                        |           |
|--------------|------------------------|-----------|
| 2.1.2        | 剥离后的贝尔系统网络 .....       | 36        |
| 2.1.3        | 关于剥离及其理由——改革的号角 .....  | 41        |
| 2.1.4        | 新电信法 .....             | 41        |
| 2.2          | 国家信息基础设施 .....         | 42        |
| 2.2.1        | 目标 .....               | 43        |
| 2.2.2        | 平等接入所有网络的前景 .....      | 44        |
| 2.2.3        | 成本与更高的代价——现实性 .....    | 44        |
| 2.3          | 北卡罗来纳州信息高速公路 .....     | 45        |
| 2.3.1        | 样板工程 .....             | 45        |
| 2.4          | 骨干网 .....              | 46        |
| 2.4.1        | 从模拟中继到数字中继 .....       | 47        |
| 2.4.2        | 数字系列——DS1 和 DS3 .....  | 49        |
| 2.4.3        | 同步光纤网络——新光纤骨干网 .....   | 52        |
| 2.5          | 专用网 .....              | 54        |
| 2.5.1        | 专用交换机 .....            | 54        |
| 2.5.2        | 专用网的特点和性能 .....        | 54        |
| 2.5.3        | 话音与数据综合 .....          | 56        |
| 2.5.4        | 集中式交换机业务 .....         | 58        |
| 2.5.5        | 计算机电话应用 .....          | 58        |
| 2.6          | 传输 .....               | 62        |
| 2.6.1        | ATM 的发展 .....          | 63        |
| 2.7          | 用户接口 .....             | 63        |
| 2.7.1        | 综合业务——将所有技术综合在一起 ..... | 64        |
| 2.8          | 测试题 .....              | 65        |
| <b>第 3 章</b> | <b>从局域网到广域网 .....</b>  | <b>67</b> |
| 3.1          | 分布式处理的演进 .....         | 67        |
| 3.1.1        | 大型机的概况及其应用 .....       | 67        |
| 3.1.2        | 向个人计算机进军 .....         | 68        |
| 3.2          | 局域网技术——台式机的连接 .....    | 69        |
| 3.2.1        | 基本拓扑结构 .....           | 70        |
| 3.2.2        | 局域网设备 .....            | 72        |
| 3.2.3        | 以太网概述 .....            | 75        |
| 3.2.4        | 令牌环网概述 .....           | 80        |
| 3.2.5        | FDDI 概述 .....          | 84        |

---

|              |                            |            |
|--------------|----------------------------|------------|
| 3.2.6        | 客户服务器 .....                | 87         |
| 3.2.7        | 网络操作系统 .....               | 88         |
| 3.3          | 桥接广域网 .....                | 88         |
| 3.3.1        | 基本结构和有效操作 .....            | 88         |
| 3.3.2        | X.25 分组交换 .....            | 89         |
| 3.3.3        | 用 T1 进行连接 .....            | 89         |
| 3.3.4        | 交换 56 .....                | 90         |
| 3.3.5        | 帧中继 .....                  | 90         |
| 3.3.6        | 综合业务数字网 .....              | 90         |
| 3.3.7        | TCP/IP .....               | 91         |
| 3.4          | 作为一种模型的因特网 .....           | 91         |
| 3.4.1        | 因特网的启示 .....               | 92         |
| 3.4.2        | 需要解决的问题——公司政策和立法机构 .....   | 92         |
| 3.4.3        | 公司解决方案——内联网 .....          | 93         |
| 3.5          | 因特网基础结构——全世界网络互联 .....     | 93         |
| 3.5.1        | 谁在进行控制——超型计算机中心 .....      | 94         |
| 3.5.2        | 直接或间接——获得连接 .....          | 95         |
| 3.6          | 因特网服务 .....                | 95         |
| 3.6.1        | 电子邮件——全球发送 .....           | 95         |
| 3.6.2        | 信息交换——文件传送 .....           | 96         |
| 3.6.3        | 便宜的远程访问——终端仿真 .....        | 96         |
| 3.6.4        | 电子布告栏——新闻组 .....           | 96         |
| 3.6.5        | 商业化因特网——万维网 .....          | 97         |
| 3.7          | 时尚还是事实——基于因特网的话音 .....     | 98         |
| 3.7.1        | VoIP 网络原理 .....            | 99         |
| 3.7.2        | 载波等级服务 .....               | 102        |
| 3.7.3        | VoIP 标准 .....              | 103        |
| 3.7.4        | 结论 .....                   | 103        |
| 3.8          | 测试题 .....                  | 104        |
| <b>第 4 章</b> | <b>TCP/IP——因特网协议 .....</b> | <b>106</b> |
| 4.1          | 引言 .....                   | 106        |
| 4.1.1        | TCP/IP 的历史 .....           | 106        |
| 4.1.2        | 因特网综述 .....                | 107        |
| 4.1.3        | TCP/IP 的描述 .....           | 108        |



---

|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| 4.2          | TCP/IP 标准 .....      | 109        |
| 4.2.1        | 标准文件 .....           | 110        |
| 4.2.2        | 标准化组织 .....          | 110        |
| 4.3          | 因特网协议 .....          | 111        |
| 4.3.1        | IP 报头 .....          | 112        |
| 4.3.2        | IP 寻址 .....          | 115        |
| 4.3.3        | 域名系统 .....           | 120        |
| 4.3.4        | 因特网中的路由选择 .....      | 122        |
| 4.3.5        | IP 路由选择协议 .....      | 124        |
| 4.3.6        | IP 服务 .....          | 128        |
| 4.3.7        | 因特网控制报文协议 .....      | 129        |
| 4.4          | 传输控制协议 .....         | 130        |
| 4.4.1        | TCP 报头 .....         | 130        |
| 4.4.2        | TCP 端口和套接字 .....     | 133        |
| 4.4.3        | TCP 服务 .....         | 133        |
| 4.5          | 用户数据报协议 .....        | 135        |
| 4.5.1        | UDP 报头 .....         | 135        |
| 4.6          | 因特网应用协议 .....        | 136        |
| 4.6.1        | 远程登录 .....           | 136        |
| 4.6.2        | 文件传送协议 .....         | 137        |
| 4.6.3        | 普通文件传送协议 .....       | 137        |
| 4.6.4        | 简单邮件传送协议 .....       | 138        |
| 4.6.5        | 网络新闻传送协议 .....       | 139        |
| 4.6.6        | 超文本传送协议 .....        | 140        |
| 4.6.7        | 串行线路接口协议和点对点协议 ..... | 141        |
| 4.7          | 网络管理 .....           | 141        |
| 4.7.1        | 简单网络管理协议 .....       | 142        |
| 4.8          | 测试题 .....            | 143        |
| <b>第 5 章</b> | <b>7 号信令系统 .....</b> | <b>145</b> |
| 5.1          | 从信令到控制 .....         | 145        |
| 5.1.1        | 信令方式——信令演变的过程 .....  | 146        |
| 5.1.2        | 公共信道信令——优点 .....     | 147        |
| 5.1.3        | 信令之后——自治网络控制 .....   | 148        |
| 5.2          | 智能网 .....            | 149        |

---

|              |                          |            |
|--------------|--------------------------|------------|
| 5.2.1        | 什么是智能                    | 150        |
| 5.2.2        | 未来的业务                    | 150        |
| 5.2.3        | 宽带需求                     | 153        |
| 5.3          | SS7 体系结构                 | 154        |
| 5.3.1        | 数据链路                     | 154        |
| 5.3.2        | 网络组件                     | 158        |
| 5.4          | SS7 协议                   | 160        |
| 5.4.1        | 消息传递部分                   | 163        |
| 5.4.2        | 信令连接控制部分                 | 167        |
| 5.4.3        | 事务处理能力应用部分               | 169        |
| 5.4.4        | 电话用户部分                   | 173        |
| 5.4.5        | ISDN 用户部分                | 173        |
| 5.5          | 测试题                      | 179        |
| <b>第 6 章</b> | <b>窄带 ISDN 和宽带 ISDN</b>  | <b>182</b> |
| 6.1          | ISDN——功能概述               | 182        |
| 6.1.1        | ISDN 标准                  | 183        |
| 6.1.2        | ISDN 特性                  | 183        |
| 6.1.3        | 业务和应用                    | 184        |
| 6.2          | SS7 用户接口                 | 187        |
| 6.2.1        | 具有 DSS1 的端到端信令           | 187        |
| 6.2.2        | 专用智能网                    | 188        |
| 6.3          | 早期的 ISDN 问题              | 189        |
| 6.3.1        | 本末倒置——早熟的礼物              | 189        |
| 6.3.2        | 互操作性——标准何去何从             | 190        |
| 6.3.3        | 配置——消费者的噩梦               | 190        |
| 6.4          | ISDN 网络结构                | 191        |
| 6.4.1        | 基本速率接口                   | 191        |
| 6.4.2        | 基群速率接口                   | 192        |
| 6.4.3        | 信道的使用情况                  | 192        |
| 6.4.4        | 节点和参考点                   | 193        |
| 6.4.5        | ISDN 协议                  | 194        |
| 6.5          | 宽带 ISDN——未来发展的趋势         | 210        |
| 6.5.1        | BISDN 优点综述               | 211        |
| 6.5.2        | BISDN 和 ATM——它们相互之间能提供什么 | 213        |

---

|            |                              |            |
|------------|------------------------------|------------|
| 6.6        | 帧中继 .....                    | 215        |
| 6.7        | 测试题 .....                    | 218        |
| <b>第7章</b> | <b>移动通信网</b> .....           | <b>221</b> |
| 7.1        | 从无线电话到移动电话 .....             | 221        |
| 7.1.1      | 无线电话网概述 .....                | 222        |
| 7.1.2      | 蜂窝移动通信的解决方案——体系结构与分布状态 ..... | 223        |
| 7.2        | 蜂窝移动通信网的结构和协议 .....          | 224        |
| 7.2.1      | 美国的网络 .....                  | 225        |
| 7.2.2      | 国际网络 .....                   | 227        |
| 7.2.3      | 移动通信的工作原理 .....              | 228        |
| 7.2.4      | 时分多址 .....                   | 234        |
| 7.2.5      | 码分多址 .....                   | 235        |
| 7.2.6      | 全球移动通信系统 .....               | 236        |
| 7.2.7      | 基于蜂窝移动通信的分组交换 .....          | 238        |
| 7.3        | 个人通信业务 .....                 | 238        |
| 7.3.1      | 新网络和新业务 .....                | 239        |
| 7.3.2      | GSM——成与败 .....               | 239        |
| 7.4        | 特殊的无线解决方案 .....              | 240        |
| 7.4.1      | 一个号码业务 .....                 | 240        |
| 7.4.2      | 数据访问 .....                   | 240        |
| 7.4.3      | 报警业务 .....                   | 240        |
| 7.4.4      | 电信仪表 .....                   | 241        |
| 7.5        | 测试题 .....                    | 241        |
| <b>第8章</b> | <b>光纤骨干网</b> .....           | <b>242</b> |
| 8.1        | 从铜线设备转向光纤设备 .....            | 242        |
| 8.1.1      | 现行数字传输概述 .....               | 243        |
| 8.1.2      | SONET——解决方案 .....            | 244        |
| 8.2        | SONET 概述 .....               | 245        |
| 8.2.1      | SONET 网络节点 .....             | 246        |
| 8.2.2      | SONET 协议 .....               | 248        |
| 8.2.3      | SONET 帧同步 .....              | 251        |
| 8.3        | 环路中的光纤 .....                 | 255        |
| 8.3.1      | 目前的执行计划 .....                | 255        |

---

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 8.4 测试题 .....                    | 259 |
| <b>第9章 异步传输模式——未来的发展方向</b> ..... | 260 |
| 9.1 综合公用电话交换网 .....              | 260 |
| 9.1.1 发展 ATM 的原因 .....           | 261 |
| 9.1.2 从网络到桌面 .....               | 262 |
| 9.1.3 从局域网到局域网 .....             | 262 |
| 9.1.4 ATM 业务和应用 .....            | 263 |
| 9.2 ATM 网络接入 .....               | 268 |
| 9.2.1 用户网络接口 .....               | 268 |
| 9.2.2 网间接口 .....                 | 269 |
| 9.3 ATM 综述 .....                 | 270 |
| 9.3.1 ATM 平面 .....               | 270 |
| 9.3.2 ATM 层 .....                | 272 |
| 9.3.3 ATM 信头和净荷 .....            | 274 |
| 9.3.4 ATM 的路由选择——VCI/VPI .....   | 276 |
| 9.3.5 ATM 信令 .....               | 277 |
| 9.3.6 适配层 .....                  | 279 |
| 9.4 测试题 .....                    | 281 |
| <b>附录 A 通信发展史</b> .....          | 284 |
| <b>附录 B 测试题答案</b> .....          | 289 |
| <b>缩写词表</b> .....                | 294 |
| <b>参考文献</b> .....                | 301 |

# 第 1 章 基础知识

## 1.1 电信发展史综述

不久以前,“电信”这个术语是指话音通信技术;时至今日,这个术语不仅用于话音,而且还用于数据通信技术。随着网络扩展带来了各种形式的信息,“电信”这个术语已经涉及到包括话音、视频、数据、多媒体和高保真音响在内的多项技术。

我们正处在技术变革的时期。数十年前的技术革新正在走进我们的日常生活。为了更好地理解这个行业变革,我们首先需要了解数据通信和话音通信的发展史。

数据通信的许多成果已经应用在话音通信中,同样,电话行业的许多成果也已应用于数据通信行业之中。如今,这两个行业已经紧密地结合在一起,二者之间很难分离。

本节先讨论数据通信发展史,然后介绍电话行业的发展史。附录 A 列出了在计算机和电话行业发展史中按年代顺序排列的所有主要事件。

### 1.1.1 数据通信发展史

数据通信的起源大约可以追溯到 1614 年 John Napier 发明对数的时期。如今,对数常用来表示很大的数,它对计算机行业做出了重大的贡献,在计算机这一行业,用公式处理大量的数据是很令人厌倦的事情。

对数的概念简化了大数的乘法和除法。如  $100 = 10^2$ , 这里的上标 2 就是对数。根据这一思想发明的计算尺在电子计算器发明之前一直被广泛地应用在工程实践中。

一位名叫 Blaise Pascal 的数学家运用机械学原理创造了一种简单的加法器,称为 Pascaline,它在随后的 300 年中得到了广泛的应用。当然,Pascal 的加法器是机械的,由一些齿轮、刻度盘和机械显示器构成。转动不同位置的刻度盘时,带动相应的齿轮显示不同的结果。这种方法后来也被应用到其他机器中。

最声名狼藉的机器之一是 Charles Babbage 的差分机(difference engine)和解析机(analytical engine)。差分机是 1822 年发明的,但由于缺乏政府的支持(也由于资金问题),从未制造过。解析机除了一个小模块外,也陷入了同样的困境。差分机和解析机都仅完成了蓝图。

问题是锻造各种传动装置和齿轮需要大量的黄铜,而解析机的规模肯定会超过现代的火车头。这可能就是第一个“可编程”的计算机,但不是数字的。

差分机终于被英国的发明者 George Scheutz 制成。Scheutz 利用 Babbage 的蓝图和英国政府提供的资金制造了这台庞大的机器。英国政府使用该机器来计算保险报表。

Babbage 发明的差分机和解析机再次引起了人们的关注,一些热心者试图将解析机的设计蓝图付诸于实践,他们想看看这样运转的机器是否能制造出来。由 Babbage 建造的那个铜模块现在还保留在史密森氏学会(Smithsonian Institute)。

1847 年,George Boole(乔治·布尔)发明了以他的名字命名的布尔代数(boolean algebra)。布尔代数为二进制系统和现代逻辑电路奠定了基础。我们现在有关数字电子学中的大多数知识都归功于布尔的贡献。布尔认为能够建造一种只用两种状态表示任何信息的机器。这两种状态可以用布尔代数进行数学处理,从而发明一种不需要知道全部变量就可进行信息处理的简单设备。

当大多数发明者还在使用齿轮和刻度盘向机器输入信息时,一个名叫 Herman Hollerith 的发明者想出了一种更为简便的方法。Hollerith 用硬纸卡,根据打孔机在卡片上打孔的位置,发明了改变刻度值记数的方法。Hollerith 的机器仅仅是一个简单的制表机,后来美国政府人口普查制表证明了它的价值。调查者只需在卡片上插孔而不用进行书面填写,卡片返回人口统计局时被依次插入制表机,便立即得到调查结果。卡片上每个孔的位置都有具体的含义,并且与机器上的刻度值相对应。

直到 20 世纪 70 年代中后期,在把程序输送到大型计算机之前,Hollerith 卡(后来称为打孔卡)一直被广泛使用。第一次使用 Hollerith 卡使得人口普查制表的速度增加了两倍。后来 Hollerith 组建了他自己的公司,也就是著名的美国国际商用机器公司,即 IBM 公司。

机械计算机体积庞大,价格昂贵,维护困难。人们已经开始致力于开发一种速度更快的,使用电力而不用动力的机器。然而,那时没有那么多电子设备能够满足早期计算机的需要。一直到 1906 年,Lee DeForest 发明了真空电子管,电子学才有了重大突破。

电子管用途很广泛。在计算机中,它能像今天的晶体管那样根据电流值的大小改变电流方向。电子管在放大器中用于加大功率,在整流器中用于调整电压和电流的大小。

但是,电子管不是高效率的电子设备,而且散热效果很差。由于电子管产生的热量无法散除,所以它的寿命很短。应用电子管技术的早期计算机,每星期用于维修电子管的时间就需要 22 小时。电子管像灯泡一样是一种充满气体的玻璃制品,极易破碎,因此在有些环境中无法使用。

然而,电子管在早期电子学中提供了许多必需的功能,并且具有很长的生命力。电子管曾经在 20 世纪 70 年代是电视和收音机中最常见的组成器件。

1947 年,William Shockley、Walter Brattain 和 John Bardeen 发明了称之为晶体管的小器件。晶体管允许电流从一个方向流入,并根据晶体管的类型和电压值选择一个方向流出。这与电子管的基本功能相同,但是晶体管不需要像电子管那么大的功率,而且比电子管的温度低得多。

晶体管由微小的硅晶片组成。正是这个微小器件引发了电子学革命。不久,晶体管就应用到从袖珍收音机到厨房用具的许多场合。这是包括计算机在内的许多设备向微型

化发展迈出的第一步。

第一台商用计算机是由 Sperry Rand 公司制造的通用自动计算机 (universal automatic computer, UNIVAC)。在这之前,计算机都是根据客户要求专门定做的。UNIVAC 允许公司直接购买计算机系统(大型计算机),而不再需要经历冗长的设计和制造过程。Rand 公司根据销售前景制造计算机,客户如有需求,即可发货。

这些系统与我们今天所知道的不尽相同。UNIVAC 是一个大型计算机,需要特殊的电源和环境控制。而且,由于软件不能“离架”出售,公司必须雇用程序员为特殊需要编制软件。因此,没有多少公司能供应得起这种机器。

在这期间,电子技术继续向小型化发展。1952 年, G. W. A. Dummer 研制出了集成电路(integrate circuit, IC)。这个微小的“芯片”包含了数百个微型晶体管,为许多设备提供了小型组件。如今,集成电路可以包含数百万个电路,广泛地应用于我们的日常生活中,如电视、收音机、家用电器等,甚至汽车都用各种形状和规模的集成电路进行控制。

那时候的计算机依然很笨重,编程也很困难,当然更远离用户的使用。同时,程序员对反复写入相同的指令也日感厌倦。因为在计算机程序中,完成许多功能(例如访问磁盘驱动器)所需要的指令,必须在程序中多次重复。

为了解决这个问题,通用汽车公司的 Bob Patrick 和北美航空公司的 Owen Mock 开发了称之为操作系统的程序。操作系统的目的是为计算机常规工作提供一组指令。如访问磁盘驱动器、打印、管理大容量存储器的文件存储等均属于操作系统工作的范畴。

程序员在编程时不用再写多余的指令,只需要调用操作系统的命令,这些命令由操作系统完成。操作系统对几代计算机系统的成功都有很大的指导作用,随着软件的发展,操作系统也越来越强大了。

存储器问题一直影响着计算机系统的发展。集成电路为把存储器电路合并成小组件提供了一种手段,但是,直到 1967 年,随机存取存储器(random access memory, RAM)才成为真正可以使用的集成电路。由仙童半导体公司研制的 RAM 芯片进一步促使了计算机的小型化。

今天我们使用的鼠标是由 Douglas Engelbart 花费了 10 年心血于 1968 年研制成功的。使用鼠标不用输入命令就可以直接控制计算机。但鼠标第一次使用却是在 1989 年,被苹果(Apple)公司作为 Macintosh 计算机(简称 Mac 机)的标准接口。

早在 20 世纪 60 年代初期,美国国防部(department of defense, DOD)就开始研究一种能够防御任何攻击的军事网络。这种网络必须具备在节点被破坏时能迂回传送数据,当链路发生故障时能自动修复的功能,以确保通信的畅通无阻。当时该网络被命名为 ARPANET,后来演变为今天众所周知的因特网(Internet)。采用传输控制/因特网协议(TCP/IP)进行计算机网络互联的 ARPANET,最初应用于军事领域数据传输,后来向国防部承包商和教育研究机构开放。

最后,微处理器的出现促使计算机小型化为台式机。在微处理器开发之前,计算机依

靠装满晶体管和集成电路的庞大电路板来提供处理能力。随着微处理器的发展,这些电路都可以集中到一小块电路板上,使得计算机更加小巧。

由于微处理器的能力越来越强,体积越来越小,使如今的许多计算机都比早期的通用自动计算机(UNIVAC)处理能力更强,而且可以随意放在办公桌上。英特尔(Intel)公司从1971年开始就由 Ted Hoff 负责研究微处理器了。

也是在1971年,第一个软盘驱动器由 Alan Shugart 和 IBM 公司研制成功。后来,Shugart 进一步组建了他自己的公司——Shugart Disk Drives。这是第一个用于计算机的可移动式存储器。第一张软盘是8英寸盘,可存储大约300KB的数据。

1973年,温彻斯特(Winchester)硬盘成为第一个可用于计算机的“硬盘驱动器”。当时,它并没有多大的存储能力。如今一张3.5英寸的软盘都可以存储超过1MB的数据。

计算机革命开始登上历史舞台。体积小、处理能力强的个人计算机(简称PC机)已成为大型机强有力的竞争对象。各个公司开始购买PC机,把PC机连接到大型机上作为终端。当大型机发生故障时,PC机能独立工作。但是,PC机之间不通过大型机就无法进行通信。1973年,施乐(Xerox)公司用以太网改变了计算机行业的现状。Robert Metcalfe 开发了相应的协议,这个协议如今还在使用(尽管为解决早期版本出现的几个问题,已经修改过)。

PC机应用非常广泛。能够为本地计算机买到各种应用软件。1975年,Bill Gates(比尔·盖茨)和 Paul Allen(保罗·艾伦)创建了微软(Microsoft)公司,它是当今世界上最大的软件公司(而盖茨则成为世界上最富有的人之一)。

Steve Jobs 和 Steve Wozniak 是另一对创业者,他们创建了小型个人计算机公司,命名为苹果(Apple)公司。尽管苹果公司从未占领过计算机的主要市场,但作为 IBM 公司强劲的竞争对手,苹果公司至今还在继续奋斗着。苹果机凭借自己独有的操作系统,成为微软公司(也许更为强大)的另一个竞争对手。

1978年,Radio Shack 和 Shugart Industries 开发了5.25英寸软盘,它的尺寸更小,存储能力更大,当时,它可以容纳我们在接下来10年创造的数据。软盘继续向缩小体积和增加存储容量方向发展,并在1984年推出了可以存储1.4MB数据的3.5英寸软盘。

1985年,可记录光盘驱动器(CD-ROM)的开发超越了软盘驱动器,在一张光盘上可以存储几百兆字节的数据。如今,CD-ROM 已成为许多软件公司所选择的媒体。

1993年,在政界激起了总统大选与网络的热门话题。克林顿总统和美国政府首次提出了信息高速公路的概念,又一次掀起了计算机革命的浪潮。随着公众继续为本时代最热门的计算机网络的预算及其应用而努力时,信息高速公路也在不断地发展。

### 1.1.2 电话行业发展史

我们已经回顾了数据通信行业的发展史,下面让我们来看一看电话行业的发展史。电话行业的发展完全不同于计算机行业的发展,虽然许多技术革新被电话行业和计算机



行业共享,但是,电话行业从未使某一个人成为大富翁。

实际上,包括 Alexander Graham Bell(亚历山大·格雷厄姆·贝尔)在内的许多业界发明家,一直到死都属于中产阶级,他们生活舒适,但都没有通过任何手段成为富翁。电话公司一直都在历经创办、合并、买下所有权的起起落落。这是一个混乱的行业,没有一丝安全感。

西方联盟(Western Union)于1856年创建,它主要注重电报技术。电报是第一种远距离通信方式。对许多小城镇而言,电报是与其他城镇通信的基本工具。具有讽刺意味的是,西方联盟后来成为贝尔系统最大的竞争对手。

1860年,Philip Reis发现可以把电加在电线上来传送声音。他在电线的一端绑了一个用香肠皮包裹着的软木塞(一个原始麦克风),然后把电线缠到编织针上,并在软木塞和编织针之间装上电池。当他把编织针放在小提琴的琴弦上时,每次敲打软木塞,琴弦就会振动。反之,如果拨动小提琴的弦,软木塞也会发出声音。

西方电气公司(Western Electric)于1872年成立,它成为西方联盟的主要制造商,也是其他电报业务公司的制造商。西方电气公司后来成为庞大的贝尔系统的一部分。

1876年,贝尔为他的一项发明申请了专利,这个专利被他命名为“电报的改进”。这是一个小盒子,并没有多少功能,它主要通过麦克风传送声音。仅在几小时后,西方电气公司的共同创始人 Elisha Gray 也为他发明的电话机申请专利,他甚至可以进行现场演示。不幸的是,贝尔已经申请到了专利,并被誉为电话发明家。

贝尔的发明只有一个接收器,而没有麦克风。后来,在1877年,他又为一个把接收器和麦克风装在一起的设备申请了专利。他的第一个专利需要两个分离的设备。

这一年,贝尔创办了贝尔电话公司(Bell Telephone Company),这就是我们今天所知道的贝尔系统(Bell System)的开端。由于贝尔没有创办公司所必需的经费,所以他不得不用他未来岳父 Gardiner Hubbard 的资金来开办公司。

贝尔被任命为公司的技术总监,而他的助手 Watson 身兼主管和会计。当他的朋友和未来的岳父在公司占到1497股时,贝尔仅仅有10股。

西方联盟于1877年组成美国话音电话公司(American Speaking Telephone Company),成为贝尔电话公司第一个强大的竞争对手。电话行业中的竞争非常残酷,全国各地的许多小公司开创不久就倒闭了。美国话音电话公司依赖于 Elisha Gray 和另一个发明者 Thomas Edison 的发明。Thomas Edison(托马斯·爱迪生)发明的麦克风比贝尔发明的麦克风效率高得多。

后来,在1878年,贝尔电话公司控告美国话音电话公司违反专利法。结果,贝尔公司在1910年胜诉西方联盟。接着,西方联盟继续上诉,经过激烈的法律大战,西方联盟以失败告终,终于放弃了全部电话专利和电话改造权以及56000台电话网络。后来,贝尔电话公司为加强它们的客户基础收购了很多小电话公司。

1879年,贝尔在一次董事会上与他的岳父 Hubbard 发生了争吵,一气之下离开了董