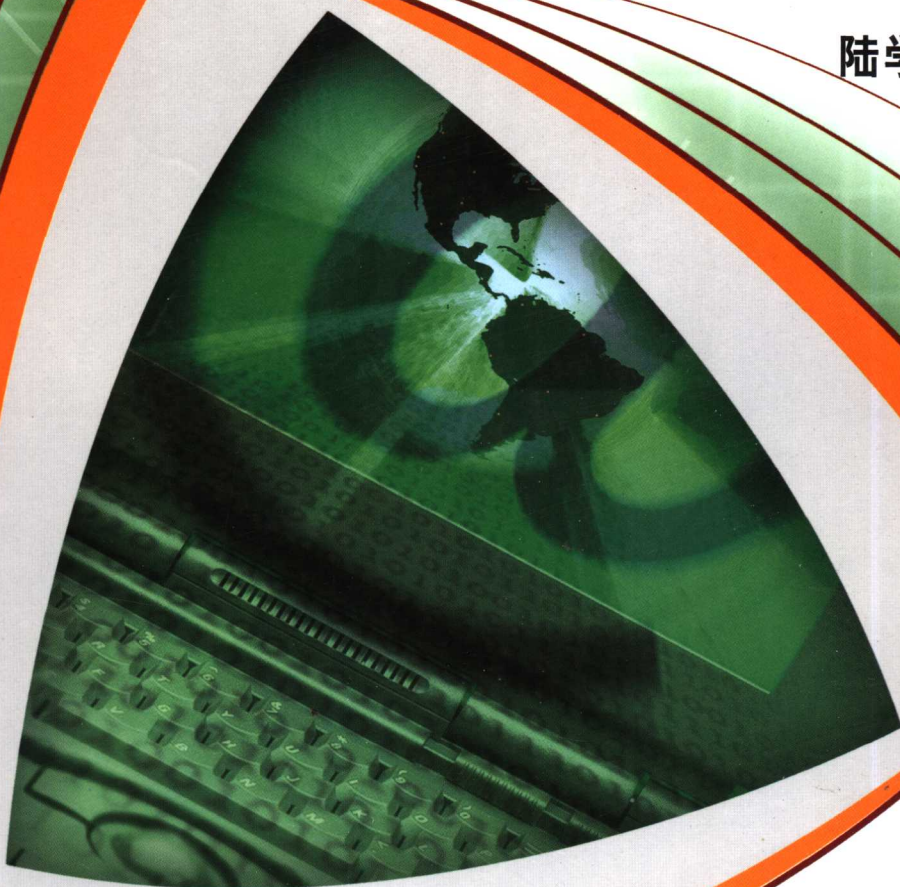


培养21世纪通信工程师系列教材

信息通信网络技术

陆学锋 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

培养 21 世纪通信工程师系列教材

信息通信网络技术

陆学锋 编著

清华大学出版社

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

信息通信网络是对包括电信网络、计算机网络和新一代网络等在内的各类网络的总称。本书对这些网络在系统层面上就它们的基本概念、原理和方法等进行了归纳和总结,包括:网络技术和系统论的形成、网络系统的总体结构、传送与接入方式、规范和信令的描述与制定、网络寻址与选路、网络安全与保护、网络服务与应用、服务质量与网络性能、支持移动的网络能力等。本书的主要对象是信息通信系统的设计人员、规范与标准的研究人员,以及其他以网络作为对象进行研究、教学乃至从事网络系统商务营销的人员。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

信息通信网络技术/陆学锋编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2005.7
(培养 21 世纪通信工程师系列教材)

ISBN 7-81082-381-7

I. 信… II. 陆… III. ① 通信网-技术培训-教材 ② 计算机网络-技术培训-教材
IV. ① TN915 ② TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 069801 号

责任编辑:韩 乐 特邀编辑:郭宇春

出 版 者:清 华 大 学 出 版 社 邮 编:100084 电 话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮 编:100044 电 话:010-51686414

印 刷 者:北京东光印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印 张:23.5 字 数:587 千字

版 次:2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-81082-381-7/TN·39

印 数:1~4000 册 定 价:32.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前 言

本书是一本将网络作为系统进行研究的书籍,这里的网络包括了电信网络、计算机网络、未来的新一代网络及信息基础设施,所以定名为“信息通信网络技术”。

现在介绍网络的书籍很多,但打开一看,有的是谈电信网络,如 ISDN、B-ISDN、ATM 和帧中继(FR)网络;有的是谈计算机网络,如各种局域网或者因特网。它们都在谈网络,但未必是同一个网络的概念。

长期以来,电信网络、计算机网络及广播电视网络一直是作为独立的行业在发展的,而且各有各的概念、方法和系统理念、标准体系,甚至连术语也不相通。现在已迎来了网络融合的时代,迫切需要有一本书将三者的概念、原理和方法统一起来,加以总结和提高,以便指导新一代网络或者信息基础设施的研究、开发和建设。本书就是在这一方面的一个尝试。作者希望在这一点上有所贡献,给希望了解网络全局的人们以帮助。这一工作并不是一件轻而易举的事情,需要宽广的知识面和很高的视点。所以作者只能说,这是一种尝试和努力。不管怎样,这是一件有意义的事情。但愿读者在持批评的眼光看待本书的时候,也能对其困难的程度有所理解。

书中首先回顾了网络发展的主要里程碑和网络系统论的形成,介绍了网络传送方式与接入方式等基本概念;随即就网络的总体架构,包括协议参考模型、网络的功能性描述方法、网络的水平分割,以及全球信息基础设施(GII)的描述等进行了介绍;在本书的第 7、8 和第 9 章中用较多的篇幅介绍了协议、规范和信令的概念以及它们的制定过程和相关描述方法,包括规范描述语言(SDL)和通用建模语言(UML)。文中介绍的 SDL 和 UML 都是最新的版本。在后面的各章中,本书分别介绍了网络作为一个系统需要考虑的一系列问题,如网络的寻址、路由的选择、服务质量与网络性能、网络安全与保护、网络的服务与应用、支持移动的网络能力等。在本书最后一章,作者对网络总体结构学原则进行了讨论。

本书的读者对象主要是从事信息通信系统开发与设计的人员、参与相关国内与国际标准研究的人员。相信对在网络层面上工作的其他人员也会有所帮助。

文中不妥之处,敬请批评指正。

作者于 2005.5

目 录

第 1 章 历史的回顾与网络系统论的形成	1
1.1 历史的回顾	1
1.1.1 为什么要回顾历史	1
1.1.2 网络技术发展的几个主要阶段	1
1.2 网络技术的主要里程碑	2
1.2.1 电信网络	3
1.2.2 无线移动通信网络	5
1.2.3 计算机网络	6
1.2.4 电视网络	8
1.2.5 走向融合	8
1.3 经验与教训	9
1.3.1 一般性观察	9
1.3.2 B-ISDN 的失败和因特网出乎意料的成功	10
1.3.3 如何对待国际标准	11
1.4 网络系统论的形成——将网络作为一个大系统	11
1.4.1 网络的技术规划	11
1.4.2 将网络作为一个系统来进行研究与开发	12
1.5 网络系统的方法论	13
1.6 网络系统论仍有待发展	15
参考文献	16
第 2 章 信息交换、传送和接入的方式	17
2.1 基本概念	17
2.2 信息交换与传送的方式	18
2.2.1 交换方式	18
2.2.2 传输复用方式	19
2.2.3 传送方式及其分类	20
2.2.4 连接与无连接通信	21
2.2.5 动态同步传送方式	22
2.2.6 信息存储与转发	23
2.3 网络接入方式	24
2.3.1 点到点接入方式	25
2.3.2 多点到点接入方式(多址接入)	25
2.3.3 使用共享媒体的媒体多址接入方式	29
2.3.4 接入方式的分类小结	33
2.4 连接方式与无连接方式	33

参考文献	34
第3章 开放系统互连的参考模型	36
3.1 开放系统互连协议.....	36
3.2 经典的协议参考模型.....	36
3.2.1 分层的概念.....	36
3.2.2 数据单元.....	37
3.2.3 层间关系的描述.....	38
3.2.4 层内的一些基本操作.....	39
3.2.5 经典的协议参考模型.....	40
3.3 实际的协议参考模型.....	42
3.3.1 七号信令网的协议模型.....	42
3.3.2 异步传送方式和帧中继的协议模型.....	42
3.3.3 以太网的协议模型.....	44
3.3.4 因特网的协议模型.....	45
3.4 基于平面的协议描述.....	46
3.5 协议栈图及其使用.....	47
3.6 对协议参考模型的重新思考.....	49
3.7 全球信息基础设施(GII)的三层资源模型	50
3.8 新一代网络发展中的协议参考模型.....	50
参考文献	51
第4章 信息通信网络功能性结构的描述	53
4.1 引言.....	53
4.2 基本定义.....	53
4.3 对网络功能性结构的陈述性描述.....	54
4.4 传送网络功能结构的标准化描述.....	56
4.4.1 相关定义.....	56
4.4.2 描述方法的基本原理.....	59
4.4.3 基本结构件的图示形态.....	60
4.4.4 用基本结构件来描述网络.....	63
参考文献	72
第5章 网络功能的水平分割	73
5.1 网络水平功能结构的演化.....	73
5.1.1 电话网水平功能结构的演化.....	73
5.1.2 因特网水平功能结构的演化.....	74
5.2 现有网络功能的水平分割	75
5.2.1 用户驻地网.....	75
5.2.2 接入网络.....	76
5.2.3 城域网络.....	79
5.2.4 核心网络.....	82

5.3 自动交换传送网的出现及其影响	83
5.4 如何合理水平配置网络功能	85
5.4.1 影响网络功能水平配置的因素	85
5.4.2 网络功能与智能的合理水平分配	85
5.4.3 研究水平配置的方法	86
参考文献	86
第6章 全球信息基础设施(GII)的描述	87
6.1 引言	87
6.2 GII 的框架结构	88
6.2.1 GII 及其用户的概念性总体描述	88
6.2.2 GII 的企业模型	88
6.2.3 GII 的结构模型	90
6.2.4 GII 的功能模型	92
6.2.5 GII 的实现模型	96
6.3 信息通信体系结构	99
6.3.1 信息通信体系结构	99
6.3.2 ICA 的框架结构	100
6.4 GII 的情景描述方法	102
6.4.1 目的、意义与要求	102
6.4.2 术语的定义与缩写	103
6.4.3 情景描述法原理	104
6.4.4 情景图举例	106
参考文献	108
第7章 协议、规范和信令及其描述与制定过程	109
7.1 协议、规范和信令	109
7.1.1 一般性定义	109
7.1.2 协议、规范和信令概述	109
7.1.3 网络的信令	110
7.2 协议、规范和信令三阶段的开发过程	120
7.2.1 相关的定义	120
7.2.2 开发过程概述	122
7.2.3 第一阶段:服务描述	123
7.2.4 第二阶段:网络能力与网络功能结构的定义	123
7.2.5 第三阶段:信令与设备规范的制定	136
7.2.6 开发过程小结	136
7.3 协议、规范和信令的描述方法	137
7.3.1 陈述性描述法	137
7.3.2 形式化描述方法	137
参考文献	137

第 8 章 系统与规范描述方法之一:统一建模语言	139
8.1 引言	139
8.2 统一建模语言的语义规则	140
8.2.1 模型化中结构件之间关系的表达	141
8.2.2 统一建模语言结构性描述的主要概念和表达规则	144
8.2.3 统一建模语言行为性描述的主要概念	151
8.2.4 实例化与实例	156
8.3 统一建模语言的图形表达法	156
8.3.1 使用案例图	157
8.3.2 序列图	157
8.3.3 协作图	158
8.3.4 状态图	159
8.3.5 活动图	160
8.3.6 类图	161
8.3.7 对象图	162
8.3.8 部件图	162
8.3.9 实施图	163
8.4 实例	164
8.4.1 用 UML 进行自动交换光网络控制面功能结构的描述	164
8.4.2 宽带无源光网络的管理系统	164
参考文献	170
第 9 章 系统与规范描述方法之二:规范描述语言 SDL-2000	171
9.1 引言	171
9.1.1 规范描述语言的变迁	171
9.1.2 规范描述语言的语法及其等效性	171
9.2 预备知识	172
9.2.1 与结构性概念有关的基本概念与定义	172
9.2.2 与动态行为有关的基本概念与定义	173
9.2.3 与对象、类型和实例等有关的重要概念	173
9.2.4 基础语言和 SDL 具体语法的一般规则	175
9.2.5 规范描述语言中的数据	178
9.3 规范描述语言的结构性描述	180
9.3.1 整个规范的框架结构	180
9.3.2 执行者	184
9.3.3 通信	190
9.4 动态行为的描述	195
9.4.1 状态机所用符号	196
9.4.2 合成状态和状态聚合	197
9.4.3 激励的处理	199

9.4.4	状态转换过程中的动作与终了	201
9.4.5	异常情况的处理	205
9.4.6	语句和语句列表	206
	参考文献	207
第 10 章	网络地址标识	208
10.1	相关定义	208
10.2	国际公众通信的编号计划	209
10.2.1	用于地理区域的国际公众电信号码	210
10.2.2	用于全球服务的国际公众电信号码	210
10.2.3	用于网络的国际公众电信号码	210
10.2.4	移动终端和移动用户的识别计划	210
10.2.5	固网和移动网融合对编号与寻址的设想	212
10.3	因特网的地址和域名	213
10.3.1	IPv4 地址	213
10.3.2	因特网协议 IPv6 的地址	214
10.3.3	全球因特网地址的分配	216
10.3.4	域名服务器	217
10.3.5	统一资源识别码	218
10.4	局域网地址	220
10.5	编号与域名互通的数字域名技术	221
10.5.1	数字域名引入的意义	221
10.5.2	重要概念与定义	223
10.5.3	从 E.164 号码到数字域名的转换方法及其使用	223
10.5.4	命名当局指针资源记录的组成和使用规范	224
	参考文献	226
第 11 章	路由的选择	227
11.1	交换与选路的有关概念	227
11.2	电话网与综合服务数字网中的选路	228
11.2.1	电话网的传统结构	228
11.2.2	自动迂回的路由选择方式	228
11.2.3	其他选路方式	229
11.2.4	综合服务数字网的选路特点	230
11.3	因特网中的选路	231
11.3.1	若干基本概念	231
11.3.2	基本的选路算法	232
11.3.3	主要的选路协议	236
11.3.4	多播选路	245
11.4	局域网交换机的选路	250
11.4.1	预备性概念	250

11.4.2 局域网交换机的选路·····	251
11.4.3 生成树算法与协议·····	251
11.5 对电信网和因特网选路方式的比较与评述·····	254
参考文献·····	255
第 12 章 服务质量与网络性能 ·····	256
12.1 综述·····	256
12.1.1 电话网中的服务质量保证·····	256
12.1.2 因特网带来的挑战·····	257
12.1.3 出路何在·····	257
12.1.4 服务质量与网络性能的定义及相互关系·····	258
12.2 服务对质量的要求·····	260
12.2.1 多媒体服务面向用户的性能要求·····	260
12.2.2 多媒体服务质量要求的分类·····	262
12.3 网络性能·····	263
12.3.1 3×3 矩阵的服务质量与网络性能的描述方法 ·····	263
12.3.2 因特网的网络性能·····	265
12.3.3 综合服务数字网(ISDN)的信息传送性能 ·····	269
12.4 网络性能的规划·····	273
12.4.1 因特网 IP 包传送性能核算 ·····	273
12.4.2 基于用户观点的模拟信号传输损伤及其控制·····	276
12.5 因特网和局域网中的 QoS 机制 ·····	280
12.5.1 基于相对优先级的机制·····	280
12.5.2 终端到终端的保证机制·····	282
12.5.3 逻辑子网机制·····	283
参考文献·····	283
第 13 章 网络安全和保护 ·····	285
13.1 引言·····	285
13.2 信息通信的安全·····	285
13.2.1 密码系统的基本知识·····	285
13.2.2 安全威胁的种类与来源·····	292
13.2.3 可用的安全防范机制·····	294
13.2.4 安全防范的一般性考虑·····	296
13.2.5 因特网的安全协议·····	297
13.2.6 基于网络的安全性对策·····	302
13.2.7 小结·····	304
13.3 网络的保护与恢复·····	304
13.3.1 基本概念与定义·····	305
13.3.2 保护与恢复的原理·····	305
13.3.3 线性保护方法·····	306

13.3.4 基于环状拓扑的保护方法	308
13.3.5 网络重新选路的保护方法	309
参考文献	310
第 14 章 服务与应用	311
14.1 引言	311
14.2 服务、应用及其相关概念的定义	312
14.2.1 服务与应用的含义	312
14.2.2 与服务、应用相关的其他概念与定义	314
14.3 现行网络服务的分类方法	315
14.3.1 综合服务数字网对服务的分类	315
14.3.2 3GPP 对网络服务的分类	319
14.3.3 全球基础信息设施对服务的分类	321
14.4 服务与应用分类的研究	322
14.4.1 信息承载服务的分类	322
14.4.2 面向终端的网络服务与应用的分类	323
14.5 服务与应用的描述方法	326
14.6 服务与应用的发展趋势	326
14.7 新服务与新应用的开发	328
14.7.1 重视服务与应用的研究与开发	328
14.7.2 关键是要有好的创意	328
14.7.3 研究用户心理制定新服务新应用的推广策略	329
14.7.4 重视内容和信息产业链的组建	329
参考文献	329
第 15 章 移动通信网络	331
15.1 引言	331
15.2 重要的概念与定义	331
15.3 支持移动性的网络能力	335
15.3.1 无线技术作为移动通信的接入手段	335
15.3.2 无线接入的特点与所需网络功能	335
15.3.3 基于网络拓扑的移动性分类	337
15.3.4 移动性管理功能实例	338
15.4 固定网络的移动服务	340
15.4.1 什么是固定网络的移动性	340
15.4.2 ISDN 的移动性	340
15.4.3 固定网络移动性的意义	341
15.4.4 固定网络移动性的实现方法	341
15.5 移动网络与固定网络的融合	342
15.5.1 核心网融合的历史机遇	342
15.5.2 建议书 Q.1761 已经为这一融合描绘了蓝图	342

15.6 未来基于因特网协议的移动性管理.....	344
15.6.1 后 3G 系统关注因特网的移动性管理技术	344
15.6.2 后 3G 系统的网络环境	345
15.6.3 现有因特网支持移动性的协议机理.....	345
15.6.4 探索加快切换的扩展 MIP 协议	347
15.6.5 探索其他移动性管理协议.....	349
15.7 小结.....	350
参考文献.....	350
第 16 章 网络结构学的基本原则	351
16.1 引言.....	351
16.2 电信网络的结构理念.....	351
16.3 因特网的结构理念.....	352
16.3.1 因特网的主要结构理念.....	352
16.3.2 对端到端论的置疑.....	354
16.3.3 对因特网架构的反思.....	357
16.4 新一代网络的结构原则.....	358
参考文献.....	362

第 1 章 历史的回顾与网络系统论的形成

1.1 历史的回顾

1.1.1 为什么要回顾历史

道理很简单,因为从历史发展的进程中,有许多经验与教训值得总结与吸取,以避免重复历史的错误,并从历史的发展轨迹中展望未来;回顾历史也可以避免许多认识上的误区。例如,有人认为程控交换机是经典的技术,ATM 是落后的技术,而 IP 技术则是全新的技术。其实并非如此。这里并无贬低 IP 技术的意图,但从历史来看,因特网的核心技术 TCP/IP 是 1982 年就投入使用的,谈不上是什么全新的技术;与之相比 ATM 开始研究的时间与 TCP/IP 差不多,而它为 CCITT 所接受则是 1988 年的事。1988 年以来电信界在 ATM 技术上投入了许多人力与物力,如今却在走下坡路。上海贝尔引进的采用分散控制的数字程控交换机 S-1240 在 1983 年还没有足够成熟,在市场上还遭到过很大的困难,后来还是辉煌一时。所以以时间或以所谓的新旧来论技术是无法解释这些技术的优劣的。

历史上常常有许多事与愿违的故事,令人费解。例如 ISDN 的发展一度曾为全世界所看好,事实上发展很慢。B-ISDN 曾一度被看做是走向宽带的必由之路,标准写了一大堆,结果是束之高阁。MHS (Message Handling System) 是 CCITT/ITU-T 严格按 OSI 七层模型开发的消息处理系统,当时被认为是最完善的消息转发系统,但结果只有极少数地方采用,现在已由 E-mail 等因特网技术所替代。此外 FR(Frame Relay)原先是为 ISDN 开发的,是属于 ISDN 的协议属;而 ATM 是为 B-ISDN 开发的,是 B-ISDN 的协议属。然而这两种技术后来都只用到数据网络中,并没有提供综合服务。以上种种难道不值得人们深思吗?为什么世界上会有那么多的大家都看好的技术,结果并不成功(或者有点成绩也很不理想),为什么你在这里栽苗,她却偏在那边开花。实际的发展常常与人们想法不一样,这是什么原因?

眼前我们在移动通信上又遇上了类似的问题。移动通信一度发展之快,大大超乎人们的意外。于是有人就从一代到二代,二代到三代地大搞起来,在二代到三代之间还有个 2.5 代。如今连四代的开发也已经开始了。但一、二代的成功是否就意味着三代的成功,恰是当今难以解开的疑团。

1.1.2 网络技术发展的几个主要阶段

回顾历史,整个网络技术的发展大致经历了以下阶段:

- 通信技术的发明和电话网络的诞生;
- 模拟通信时代;
- 数字通信时代;
- 走向融合的时代。

电气通信技术的发明可以追溯到莫尔斯电报和电话机的发明。电报发明于 1837 年,论分

类它是一种数据通信技术,所以我们可以说数据通信的发明早于电话通信。电话机是 1876 年发明的,比电报晚了约 40 年。原因是就技术而言,电话机要完成声与电的转换,相对较难。电话机发明后才两年(1878 年),人们就发明了人工交换台,从此就有了模拟的电话网络。上面谈到了电报与电话发明的年代,但事实上它们的发明都不是一蹴而就的,而是一个漫长探索的结果。

自人工电话网诞生算起,模拟通信时代是最漫长的。若以数字交换机大量使用和模拟交换机退出历史舞台(大约是 20 世纪 70 年代末至 80 年代初)作为模拟通信时代的终了,模拟通信时代几乎持续了 100 多年。

数字技术开始于脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)的发明(1962 年),但作为数字网络时代的起点应该从数字程控交换机的诞生并与 PCM 相结合算起——大致的时间是 70 年代初。它与模拟网络时代之间有一个约 10 年的过渡期。与模拟网络时代相比,数字网络时代的历史要短得多。若以网络融合时代的开始和数字程控交换技术的停止发展(约在 1998 年)为它的终点,一共才不到 30 年。若扣除上述与模拟时代相重叠这一段时间,它只存在了不到 20 年,原因是电子与 IT 技术在近十几年中的飞速发展。

随着计算机的发明和应用,特别是大型机的使用,又出现了与电信网络技术相并行发展的计算机网络。这大约发生在 20 世纪 60 年代。计算机网络的初衷是大型机处理能力的共享。以后随着计算机的小型化和普及化,又出现了不同计算机之间互联的需求,在这种需求的召唤下,出现了互联网技术。计算机网络属于计算机工作者的领域,除了在远程通信上需要利用电信网络外,计算机网络一直单独发展着。从事网络技术开发的人员对网络的要求以及采用的方法、术语等都与电信网络很不一样。另外,计算机网络除了利用电信网络的传输能力外,为了优化计算机网络,也将开发的领域从局域网伸展到城域网和广域网,出现了与电信网络相并行的网络技术。计算机网络与电信的数字网络都是基于晶体管和集成电路,这两者的发展几乎是处于同一时期,所以上述数字通信时代既是电信的数字通信时代,也是计算机网络的通信时代。

如今我们正面临走向融合的时代,要建设一个统一的信息通信平台,或者说一个全球信息基础设施。现有和未来的电信通信服务与应用、计算机网络的服务与应用及广播电视的服务与应用都将融合于这一个信息基础设施中。国际电信联盟在关于全球信息基础设施的建议中说:“这一基础设施将跨越电信、信息技术、消费电子和内容提供各个行业,促进现有和未来的信息服务与应用的发展、实现和相互操作。这一基础设施由交互的、广播的和其他各种媒体传递机制所组成,用于向个人提供在任何时间任何地点都能安全地共享、使用和管理信息的能力,具有可以接受的价格和质量,并使安全与隐私得到保护。”这就是融合的目标,如何实现这一目标是人们正在探索中的课题。

1.2 网络技术的主要里程碑

为了便于理顺网络技术发展的轨迹,将遵循历史与现实,把电信网络和计算机网络的发展分别加以归纳。这里要说明的是,两者的发展是有关联的,电信网络中也有专门用于数据传输或计算机联网的网络,而且还是计算机广域网的主流技术,通常都由电信运营商建设与运营。此外,有线电视网也是网络技术的一个方面。

1.2.1 电信网络

1. 电报

1837年由Morse发明的Morse电报正式公开展示。1875年又发明5单位电报码。电报作为一种最古老的用电传送信号的方法一直使用到90年代初,包括电传机、纸带转报机和后来的用户电报等。

2. 电话

电话诞生于1876年,发明人是Bell。由于技术上的困难,它比电报的发明晚了约40年。实际上在1876年之前,就已经有多位科学家对电信号传送声音进行了种种试验,并且也取得了一些成果。但一个能真正走向商用的电话装置还是由Bell在1876年试制成功的。

3. 人工电话交换机

人工电话交换机诞生于1878年,几乎紧随着电话的发明。人工电话交换机的使用标志着网络的诞生,因为人工电话网已经具备网络的基本要素:终端(至少在两个以上的)、传输线和传输节点。人工电话交换机在我国一直使用至20世纪六七十年代,有长达近100年的历史。

4. 空分自动交换机

步进制自动交换机出现于1892年,但在我国一直使用至20世纪六七十年代。其后又有纵横制自动交换机,发明于1919年,并在我国一直使用至20世纪80年代。空分自动交换机的发明标志着网络开始走向自动化。1965年又出现程控模拟交换机,它标志着计算机技术与通信的结合。

5. 载波传输系统

载波传输系统是紧随着电子管的发明(1906年)而发明的。它的发明在网络中引入了复用技术,使一对传输线路可以为很多话路所共用,大大提高了传输资源的利用率。最早的载波电话试验在1908年就已开始,并于1911年成功地在11公里的线路上进行了单路载波的通话。7年之后美国又出现了四路载波机,此后人们一直在为增加频分复用的电路数而努力,而在这一过程中同轴电缆和晶体管的发明是载波传输系统向大容量和超大容量发展的技术基础。同轴电缆的发明(1934年)使载波系统复用的容量在1936年达到了240路,到20世纪60年代初达到了2700路。1948年晶体管问世,并从1950年起开始替代电子管。此后载波系统的容量进一步扩大,并开始小型化。载波技术在20世纪70年代达到了顶峰,实用的最高系统复用容量为10800路。由于增音机之间的间隔已经很小,进一步发展已十分困难。同时与之竞争的技术——时分复用技术的飞速发展终于使载波系统的发展终结了历史使命。

6. 数字传输系统

第一台数字时分复用传输系统于1962年投入使用。当时还在使用电子管,但很快为集成电路技术所替代。数字传输系统的问世是网络技术发展的又一个重要里程碑,它孕育着数字时代的到来。数字传输系统首先用于市内数字中继,在集成电路技术飞速发展的基础上,又很快地使用到大容量长距离传输系统。早期的复用系统是准同步的。在20世纪80年代出现了同步复用传输系统(SONET / SDH)。其中SONET是20世纪80年代中期由美国标准化的,主要应用于美国。SDH是CCITT(为国际电报电话咨询委员会,现在为国际电信联盟标准化局ITU-T所替代)在1989年制定的(G.707, G.708, G.709)。SONET和SDH的采用解决了不同时分复用(TDM)系统的兼容问题。

7. 数字交换机和综合数字网

程控数字交换机于 1970 年在法国问世。以集成电路为基础的数字技术使程控模拟交换很快被程控数字交换所取代,标志着模拟时代的终结。交换与传输开始走向一体化,形成综合数字网(Integrated Digital Network, IDN)。

8. 分组数据网

第一个分组交换网(Packet Switched Network)于 1969 年在美国诞生。后来被 CCITT 标准化(X.25),并很快推广到全世界。它的设想产生于 1964 年,原先的用途是保密电话。第一个分组交换网的出现标志着将网络作为整体来进行设计的重大进步。

9. 数字数据网(DDN)

1974 年由美国贝尔电话系统建立了第一条提供数字数据服务(DDS)的电路,标志了 DDN 的诞生。1984 年在原 AT&T 拆分竞争加剧的情况下,美国开始提供 T1 服务。

10. 开放系统互连参考模型

著名的开放系统互连参考模型(OSI Reference Model):也称为 7 层协议参考模型,是在总结以往的开发实践和解决不同厂商设备间互连互通的要求下,由国际标准化组织(ISO)在 1983 年正式提出,并为国际电信联盟所接受,成为 CCITT 的标准之一。它在此后 CCITT/ITU-T 的电信标准化活动中成为重要的指导原则。但它对计算机网络发展的影响相对较小。

11. 消息处理系统

20 世纪 80 年代初,CCITT 在七层协议参考模型的指导下,开始研究电子消息传递系统(MHS),并制订了一系列称为电子消息处理系统的协议标准(X.400 系列)。这一标准曾一度被看好,但实际上发展有限。现在已经被因特网的邮件传输协议(SMTP)所取代。

12. 七号信令系统和信令网络的建立

七号信令系统(SS7)于 20 世纪 80 年代首先出现于瑞典,后推广至美国,并被 CCITT 标准化。当时还只是应用于 PSTN。后应用于 ISDN,并单独成网,标志着网络控制平面与用户平面的分离。

13. 综合业务数字网

综合业务数字网(ISDN)在 20 世纪 70 年代由美国贝尔实验室开发,在 20 世纪 80 年代由 CCITT 在国际上标准化。它的目标是逐步地替代公众交换电话网(PSTN),在提供电话服务的同时提供数据等综合的公众网络服务。ISDN 最早应用于日本(1983 年)。ISDN 的发展并不像人们在标准化时设想的那样迅速,但还是逐步地为世界各国所接受,成为与 PSTN 并存,并在某些地方替代 PSTN 的最为广泛使用的公众通信网络。

14. 帧中继网络

帧中继(FR)技术是在 ISDN 标准化的后期提出,并作为 ISDN 的一部分进行标准化的(Q.922)。但由于 ISDN 的发展并不理想,再加上高速数据服务的需要,它很快被直接用于数据网的建设,作为对分组交换 X.25 的发展。第一个公众帧中继数据包交换网是 1992 年在美国首先开通的。欧洲由于 X.25 网络比较发达,帧中继网络的建设相对滞后。

15. 异步传送模式

异步传送模式(ATM)是在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初就开始探索的一种既能用于宽带传送(如电视)又能用于窄带服务(如电话)的传送方式。第一个实验性 ATM 于 20 世纪 80 年代初在法国 Lannion 开发成功。ATM 在 20 世纪 80 年代中期 B-ISDN 传输方案讨论中被正

式提了出来,开始时并不被普遍接受,但经过多次会议的介绍与争论后,终于被 CCITT 通过作为 B-ISDN 的唯一传送方式。ATM 从本质上讲是一种基于数据包的方式,其传送单位是定长的数据包——“信元”(cell)。在 1988 年对 53 个字节 ATM 信元格式进行了标准化。可以通过每秒钟发送不同的信元数(即信元速率)来实现任意速率的宽带和窄带服务,免除了电视编解码实现中要考虑信道带宽的限制。ATM 信元定长与定时发送的特性使其具有某种类似于 PCM“时隙”位置的特点,但用户占用的“时隙”位置不是固定的,所需的“时隙”数量也是随时可变的。由于 B-ISDN 发展的受阻,ATM 后来主要被用于数据网、接入网,也被用于企业的专网。但 ATM 到桌面的设想未能成为现实,究其原因,一方面是 ATM 技术自身复杂性的制约,另一方面是受到较便宜的快速以太网、千兆比以太网的竞争及因特网迅速发展的影响。

16. 宽带综合业务数字网

宽带综合业务数字网(B-ISDN)的标准化由 CCITT 从 20 世纪 80 年代后期开始着手,并由后来的 ITU-T 在 20 世纪 90 年代继续进行。B-ISDN 使用了基于 ATM 的传送方式。ITU-T 在 B-ISDN 的标准化上做了大量工作,但 B-ISDN 并未被广泛使用。

17. 自动交换传送网络/自动交换光网

自动交换传送网络/自动交换光网络/光多协议标签交换网络(ASTN/ASON/GMPLS)是 20 世纪末开始提出,至今仍在发展中的宽带网络,旨在使交换机或路由器之间(光)传输链路的配置自动化,并可能成为一种提供宽带连接能力的新的网络服务。

1.2.2 无线移动通信网络

1. 模拟蜂窝网络

第一个商业无线蜂窝式移动通信网络是 1979 年在日本投入使用的,使用的是 800 MHz 和 900 MHz 的频段。但这一系统的基本概念是贝尔实验室首先提出的,它解决了频率资源重复使用的问题,为移动通信的发展奠定了基础。1981 年挪威和瑞典也采用了模拟蜂窝电话,随后使用的还有法国、德国、英国等。美国引入模拟蜂窝电话是在 1983 年,工作于 800 MHz,该系统被称为高级移动电话服务(AMPS)。模拟蜂窝并无真正的国际标准,各地区使着不同的系统。当时中国使用的是全访问通信系统(TACS)。

2. TDMA 数字蜂窝网络

时分多址(TDMA)数字蜂窝移动通信早在 20 世纪 80 年代后期就开发了。1991 年美国电讯工业协会(TIA)的工作促成了第一个数字蜂窝通信标准的出现,这就是 TDMA 过渡标准 54(IS-54)。该标准在多处试验的基础上又于 1994 年重新修订为 TDMA IS-136,它通常被称为数字高级移动电话服务(D-AMPS),在美国得到了迅速的使用。差不多在同一时间,欧洲也开发了 TDMA 的数字蜂窝系统,但欧洲采用的是不同的标准,称为 GSM(Groupe Spéciale Mobile),并于 1987 年成为欧洲电信标准协会(ETSI)的空中接口标准。GSM 在欧洲的使用开始于 1991 年,后来迅速成为欧洲、亚洲、大洋洲、非洲及南美洲的 60 多个国家的主要蜂窝通信系统,超过 135 个网络。为了提供较高速率的数据通信能力,在 GSM 的基础上,欧洲又开发了 GPRS(General Packet Radio Service)。

3. CDMA 数字蜂窝网络

在 TDMA 技术出现的同时,与之相竞争的码分多址(CDMA)技术的开发也在进行。第一个基于扩频技术的 CDMA 蜂窝系统的标准是 QUALCOMM 在 20 世纪 80 年代末提出的,并