



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业 规划教材

现代通信网

(第2版)

◆ 穆维新 编著

Electronic Information
Science and Engineering



 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程类专业规划教材

现代通信网

(第2版)

穆维新 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对现代通信网的组成结构、信令协议、关键技术等进行了全面的阐述。全书共分 15 章，主要以移动网的广域覆盖、高速传输无线数据和与因特网的融合为主线，从 2G 到 3G、4G；从 Internet 到电信管理网 TMN；从异步传送模式 ATM 到软交换、IP 媒体子系统 IMS；从公共信令 No.7 到网关协议 SIGTRAN、软件定义网络 SDN；从基于时分复用的同步数字系列传输网 SDH、波分复用 WDM、无源光网络 GPON 到基于分组的传输网 PTN；从通信网的常用计算到移动网络的规划优化，都进行了较为系统的讲述。此外，还对传统的固定电信网 PSTN、智能网 IN、综合业务数字网 ISDN、广播电视网 CATV、分组交换网 X.25、帧中继网 FR 和数字数据网 DDN 等也作了适当的介绍。

本书内容丰富，技术新颖，论述清晰，可作为高等院校通信、信息及电子等专业的教材或参考书，也可作为相关专业的培训教材或专业技术人员的自学参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代通信网/穆维新编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.6
电子信息科学与工程类专业规划教材
ISBN 978-7-121-31634-0

I. ①现… II. ①穆… III. ①通信网—高等学校—教材 IV. ①TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 119315 号

策划编辑: 凌 毅

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 16.75 字数: 450 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版

2017 年 6 月第 2 版

印 次: 2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

第2版前言

本书的中心是围绕移动互联网这条主线，从 2G 到 3G、4G；从互联网到电信管理网；从 ATM 到软交换、IMS；从公共信令到网关协议；从传统的传输网到分组传输网；从网络计算到网络规划、优化，都进行了较为系统的介绍。此外，还用有限的篇幅介绍了一些传统网络：固定电信网、智能网、综合业务数字网、广播电视网、分组交换网、帧中继网、数字数据网等。并注重跟踪网络技术发展动向，系统地将与网络有关的技术综合在一起，形成一个较为完整的现代通信网络体系。

本书的宗旨是使读者通过学习，能够理解现代通信网络的宽带化、数字化、数据化、智能化和综合化进程，并从不同的网络、不同的侧重内容学习中，弄清楚有关网络的概念和定义、结构和组成、交换和路由、信令和协议、传输和接入、架构和流程、业务和应用等专业知识，能将前期学到的有关专业基础课理论应用于专业课分析，为以后从事本专业工作奠定一个较好的基础。本书学习的重点是掌握移动及相关网络，并对其他传统通信网络也有一定的了解。

全书共分 15 章：第 1 章主要介绍目前通信网的有关技术和分类，以及网络的发展趋势；第 2 章和第 4 章，分别对传统固定电信网和移动网进行了介绍，主要内容涵盖 PSTN、IN、ISDN、PLMN、GSM 和 GPRS 等；第 3 章主要介绍支撑网，包括数字同步网、No.7 信令网、电信管理网，以及有关软交换协议、网关协议 SIGTRAN；第 5 章主要介绍基于时分复用的传输网，重点介绍 SDH、WDM 系统；第 6 章是接入网技术，主要介绍无源光网络（EPON、GPON）；第 7 章是第三代移动通信网，从各自不同的侧重面介绍 WCDMA、TD-SCDMA 和 CDMA2000 网络技术；第 8 章对广播电视网进行适当的介绍；第 9 章介绍传统的数据网技术，包括分组交换数据网（X.25）、帧中继（FR）和数字数据网（DDN）；第 10 章在概述计算机网络的基础上，又介绍了软交换技术；第 11 章介绍异步传送模式（ATM）及在 3G 和网络交换设备中的广泛应用；第 12 章介绍全 IP 化的第四代移动通信网，包含 LTE 总体结构、OFDMA 原理，以及 MIMO、VoLTE 等技术；第 13 章介绍分组传输网（PTN），它同传统的传输网络（即第 5 章）一起，形成一个较为完整的传输网络体系，同时也为 4G 搭起一座通信桥梁，构架出一个完整的基于分组传输的移动宽带互联网；第 14 章结合前面讲的 3G、4G 等网络技术，介绍常用网络计算、规划及优化；第 15 章介绍软件定义网络（SDN）。

本书的每个章节都相对有一定的独立性，是通信、信息及电子等专业课教材。由于书中内容较多，教师可结合本专业的特点和实际课时数，选择有关章节系统学习，**建议学时数 48 学时**。参加工作的读者，可以根据自身的实际情况和兴趣重点学习有关章节。

本书是在人民邮电出版社 2010 年 8 月出版的《现代通信网》基础上改编而成的，书中增加了近几年推出不久的 GPON、PTN、LTE 和 SDN 等一些新的通信网络技术内容，并对原书的内容进行了适当压缩和改编，以适应不断变化和推新的现代通信网络技术。

本书配有电子课件等教辅资源，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）下载。

在本书的编写过程中，得到了作者所在单位郑州大学西亚斯国际学院师生的热情支持，参考并引用了有关作者的著作和文献、有关网络及设备厂家的技术资料等，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不足之处，敬请读者批评指正。

作者

2017 年 5 月

目 录

第 1 章 概论	1	4.1.1 移动系统结构	45
1.1 现代通信网概述	1	4.1.2 移动系统编号	47
1.1.1 通信网及技术	1	4.1.3 移动区域划分及接续分析	48
1.1.2 通信网构成	3	4.2 GSM	51
1.2 通信网发展趋势	5	4.2.1 帧结构及系统参数	51
1.2.1 现代网络的发展	5	4.2.2 接口及信令	53
1.2.2 未来网络的展望	9	4.3 GPRS	58
习题 1	10	4.3.1 网络结构	58
第 2 章 电话通信网	11	4.3.2 路由协议	60
2.1 PSTN	11	4.3.3 网络容量规划	61
2.1.1 公用电话网结构及设置	11	习题 4	63
2.1.2 专用电话网	14	第 5 章 传输网	64
2.2 智能网 (IN)	15	5.1 SDH	64
2.2.1 智能网概述	15	5.1.1 传输网基础	64
2.2.2 智能网应用	18	5.1.2 SDH 帧结构	66
2.3 ISDN	19	5.1.3 复用技术	68
习题 2	21	5.1.4 SDH 组网	70
第 3 章 支撑网	22	5.2 WDM	73
3.1 数字同步网	22	5.2.1 WDM 结构	73
3.2 公共信令网	24	5.2.2 WDM 系统	75
3.2.1 信令网概述	24	5.3 其他传输系统	77
3.2.2 消息传递部分	28	5.3.1 数字微波	77
3.2.3 高层协议	32	5.3.2 卫星通信	78
3.3 软交换信令网关协议	35	5.3.3 ASON	80
3.3.1 软交换互通协议	35	习题 5	81
3.3.2 信令网关协议	37	第 6 章 接入网	82
3.4 管理网	38	6.1 接入网技术	82
3.4.1 TMN 概述	38	6.1.1 光纤接入	82
3.4.2 TMN 系统实现	40	6.1.2 铜缆接入	83
习题 3	44	6.1.3 混合接入网	84
第 4 章 公共陆地移动网	45	6.1.4 电话接入网	85
4.1 PLMN 概述	45	6.1.5 无线接入	85
		6.1.6 综合接入	86

6.2 无源光网络	88	9.2.2 分组交换数据网结构	133
6.2.1 网络结构	88	9.2.3 分组交换	134
6.2.2 EPON 技术	91	9.2.4 X.25 协议	137
习题 6	96	9.2.5 分组交换网应用	139
第 7 章 第三代移动通信网	97	9.3 帧中继网	141
7.1 WCDMA	97	9.3.1 帧中继特点及协议	141
7.1.1 R99 网络	97	9.3.2 帧中继网络	143
7.1.2 R4 网络结构	100	9.3.3 帧中继应用	145
7.1.3 R5 及 IMS	100	习题 9	147
7.1.4 WCDMA 技术	102	第 10 章 计算机网络与软交换	148
7.2 TD-SCDMA	105	10.1 计算机网络	148
7.2.1 UTRAN 及网络结构	105	10.1.1 网络组成	148
7.2.2 TD-SCDMA 技术	108	10.1.2 网络协议体系	151
7.3 CDMA2000	110	10.1.3 互联网及域名管理系统	160
7.3.1 IS-2000 体系	110	10.1.4 MPLS 及宽带 IP 网	163
7.3.2 CDMA2000 网络构成	111	10.2 软交换	165
7.3.3 基站及组网	116	10.2.1 软交换系统	165
习题 7	118	10.2.2 软交换应用	167
第 8 章 广播电视网	119	习题 10	169
8.1 广播电视网概述	119	第 11 章 异步传送模式 (ATM)	170
8.1.1 线缆调制解调	119	11.1 ATM 技术	170
8.1.2 有线电视数字机顶盒	121	11.1.1 ATM 信元	170
8.1.3 分配器和分支器	122	11.1.2 ATM 协议模型	172
8.1.4 广电网的数字化	122	11.2 ATM 交换	175
8.2 HFC 网	123	11.2.1 虚连接及交换过程	175
8.2.1 HFC 网络结构及频率分配	123	11.2.2 交换机及信令	177
8.2.2 HFC 组建宽带网	124	11.3 ATM 组网	178
8.3 有线广电网的应用及发展	125	11.3.1 ATM 网络及接口	178
8.3.1 CATV-HFC 应用	125	11.3.2 基于 ATM 的综合业务	178
8.3.2 IPTV 系统	125	11.3.3 基于 ATM 的 IP	180
8.3.3 有线电视网的发展	127	习题 11	180
习题 8	127	第 12 章 第四代移动通信网	181
第 9 章 数据通信网	128	12.1 LTE 概述	181
9.1 DDN	128	12.1.1 LTE 介绍	181
9.1.1 DDN 网络	128	12.1.2 LTE 双工方式	182
9.1.2 DDN 业务及应用	130	12.1.3 EPS 系统架构	183
9.2 分组交换网	131	12.1.4 协议栈与物理信道	187
9.2.1 数据通信系统	131	12.2 OFDMA 技术	188

12.2.1	OFDMA 原理	188
12.2.2	OFDM 系统参数	192
12.3	LTE 技术	194
12.3.1	技术释义	194
12.3.2	LTE 帧结构	195
12.3.3	HARQ 技术	198
12.3.4	天线技术	201
12.4	LTE 组网	204
12.4.1	VoLTE 架构	204
12.4.2	LTE 混合组网	208
	习题 12	210
第 13 章 分组传输网 (PTN)211		
13.1	PTN 技术	211
13.1.1	PTN 优势	211
13.1.2	技术释义	212
13.1.3	PTN 的网络分层	213
13.1.4	PTN 网元分类	213
13.1.5	PTN 网络分域	214
13.1.6	PTN 业务传输模型	215
13.1.7	PTN 业务处理模型	216
13.2	PTN 伪线仿真	217
13.2.1	PWE3 技术	217
13.2.2	PWE3 业务仿真	219
13.3	PTN 组网	221
13.3.1	PTN 组网方案	221
13.3.2	PTN 业务承载与流量规划	225
	习题 13	227

第 14 章 移动网络规划与优化 228		
14.1	通信网计算	228
14.1.1	基础计算	228
14.1.2	工程计算	233
14.2	3G 网络规划	234
14.2.1	接口带宽规划	234
14.2.2	接口数量配置	236
14.2.3	链路预算	237
14.2.4	组网规划	238
14.3	4G 网络规划	240
14.3.1	无线网络规划	240
14.3.2	承载能力规划	243
14.4	网络优化	247
14.4.1	网络优化内容	247
14.4.2	网络优化步骤	249
	习题 14	249
第 15 章 软件定义网络 (SDN) 250		
15.1	SDN 概述	250
15.1.1	IETF 定义 SDN	250
15.1.2	SDN 架构与解决方案	252
15.2	基于 OpenFlow 实现 SDN	253
15.2.1	SDN 交换机及应用领域	253
15.2.2	SDN 应用举例	255
	习题 15	257
参考文献 258		

第1章 概 论

现代通信是当今社会的3大基础结构(能源、交通、通信)之一,它是由一系列设备、信道和规范(或信令)组成的有机整体,使与之相连的终端设备可以进行信息交流。现代通信网所传送的信息分为3大类,即音频、视频和数据,相对应的有电话通信网、广播电视网和计算机网。本章主要介绍通信网定义、分类、构成及发展趋势。

1.1 现代通信网概述

目前,随着数据业务量的快速增长,再加上移动通信的不断发展,现代通信网必将是以移动、数据通信为主体,以宽带分组网为基础的新型通信网。

1.1.1 通信网及技术

1. 通信网的定义

在信息社会里,除了各种自然资源、生产工具外,信息作为一种重要的资源和财富,影响着社会的运转,而发挥重要作用的是作为承载、交换、传输信息的现代通信网及系统。能够将各种语言、声音、图像、图表、文字、数据、视频等媒体转换成电信号,并且在任何两地间的任何两个人、两个通信终端设备、人和通信终端设备之间,按照预先约定的规则(或称协议)进行传输和交换的网络,就称为通信网。

通信网的特点:通信双方既可以进行文字的交流,也可以交换和共享数据信息;通信网络是社会的神经系统,已成为社会活动的主要机能之一,人们希望传递的信息安全、可靠;通信网络可以配有强大功能的智能终端,为用户提供更方便的服务,既可以进行真诚的语音交流,也可以进行富有感情色彩的多媒体数据交流,拉近人们之间的距离。

2. 网络分类

现代通信网从各个不同的角度出发,有各种不同的分类。常见的分类方法有以下几种。

① 按业务类型进行分类:电话网、广播电视网、数据网、传真网、综合业务网、多媒体网、智能网、信令网、同步网、管理网、计算机通信网(局域网、城域网和广域网)等。

② 按传输介质进行分类:有线网(电线、电缆、光缆等)、无线网(长波、中波、短波、超短波、微波、卫星等)。

③ 按通信范围进行分类:本地通信网、市话通信网、长话通信网、国际通信网,以及局域网、城域网和广域网等。

④ 按通信服务的对象进行分类:公用网、专用网。

⑤ 按通信传输处理信号的形式进行分类:模拟网、数字网、混合网。

⑥ 按通信的终端进行分类:固定网、移动网。

⑦ 按通信的性质进行分类:业务网、传输网、支撑网。

图 1.1 给出了现代通信网各主要网络的分类及相互关系,我们只有通过以后课程的学习,才能深入理解各网络的结构及它们之间的联系。以下是以目前三大网络的分类。

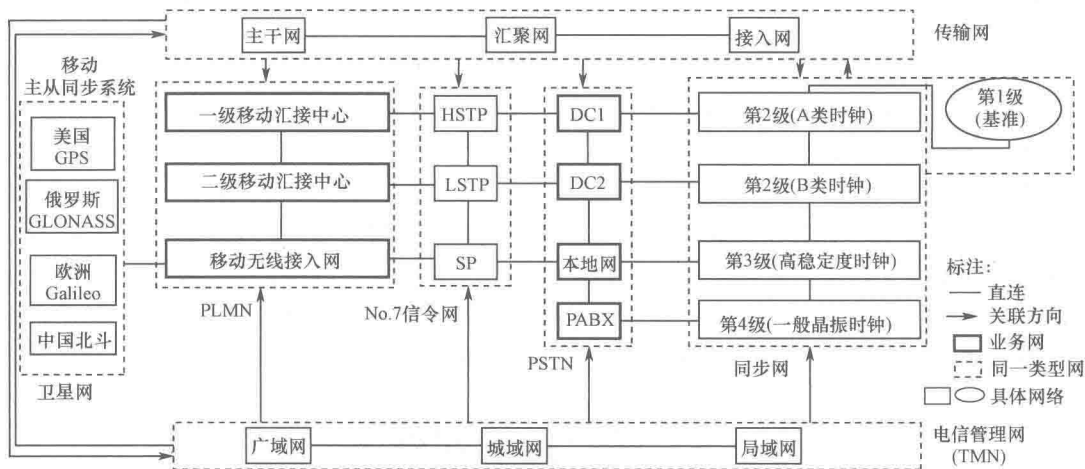


图 1.1 现代通信网的分类及相互关系

① 电话通信网。我国的电信网又分为业务网、传输网和支撑网。

业务网：公用电话交换网（PSTN）、公用分组交换数据网（PSPDN）、公用陆地移动通信网（PLMN）、窄带综合业务数字网（N-ISDN）、宽带综合业务数字网（B-ISDN）、智能网（IN）和多媒体通信网等。

传输网：接入网（AN）、同步数字系列传输网（SDH）和分组传输网（PTN）等。

支撑网：信令网（如 No.7 CCS）、数字同步网和电信管理网（TMN）。

② 广播电视网。包括无线电视网、无线广播网、有线广播电视网（CATV）等。

③ 计算机网，也称数据网。包含计算机互联网、数字数据网（DDN）、分组网和帧中继网等，以及按组网范畴分类的局域网（LAN）、城域网（MAN）和广域网（WAN）。

3. 通信技术的进展与演变

(1) 通信技术的进展

通信技术的进展大致经历了以下 3 个阶段。

第一阶段是语言和文字通信阶段。1837 年，莫尔斯发明电报机，并设计莫尔斯电报码。

第二阶段是电通信阶段。1876 年，贝尔发明电话机。这样，利用电磁波不仅可以传输文字，还可以传输语音。1895 年，马可尼发明无线电设备，从而开创了无线电通信发展的道路。

第三阶段是现代通信阶段，包含卫星通信、光纤通信、接入网、图像通信、多媒体通信、交换、电子商务、个人通信、通信供电、计算机通信等技术，而最有代表性的是移动通信。

我国从发展第一代移动通信（1G）开始，到第四代移动通信（4G），在不到 30 年的时间里，见证了移动通信网的发展历程，现在又进入了第五代移动通信（5G）的研发。

1987 年，我国广东第六届全运会上，正式启动了第一代移动通信系统。1G 最早在美国芝加哥诞生，采用模拟的 FM 调制，主要系统是由美国 AT&T 开发的 AMPS（Advanced Mobile Phone System，高级移动电话系统）。

1995 年，进入了数字调制的 2G 通信时代。主要系统为由欧洲开发的 GSM（Global System for Mobile Communication，全球移动通信系统）。

2009 年，我国进入了 3G 通信时代，主要系统分别是我国大唐的 TD-SCDMA，欧盟的 WCDMA 和美国高通的 CDMA2000。系统全部采用 CDMA（Code Division Multiple Access，码分多址）技术，也标志着移动网语音通信迈入了语音、数据共存的通信时代。

2013 年，我国进入了 4G 通信时代，以 OFDM（正交频分复用）和 MIMO（多入多出）为

主要技术，4G 的 LTE (Long Term Evolution, 长期演进) 标准中，包括 FDD 和 TDD 两种模式，标志着移动网通信进入全 IP 的宽带数据通信时代。

现在，进入 5G 研发阶段，“新技术、新网络、新产业”作为其整体规划的重点。新技术包括无线侧的大规模天线、非正交多址、超密集组网等技术，以及网络侧的网络切片、移动边缘计算、控制承载分离、网络功能重构等；新网络就是要支持长期演进、灵活组网、弹性架构、边缘高效处理；新产业则是要构建生态合作，开拓新的应用，主要体现在车联网、物联网、工业互联网，以及 VR (Virtual Reality, 虚拟现实)、AR (Augmented Reality, 增强现实)、MR (Mixed reality, 混合现实) 等产业。

(2) 通信技术的演变过程

接续网络：从金属接点发展到数字开关（分立元件→集成元件→光开关）。

信息形式：从模拟发展到模拟/数字混合，再发展到全数字（电流→电脉冲→光脉冲等）。

信息内容：由文字（电报）到语音；再由图像、视频，发展到现在的 VoIP、大数据等。

调制解调：从模拟调制的 AM (调幅)、FM (调频)、PM (调相)，到数字调制的 GMSK (高斯最小频移键控)、OQPSK (正交四相相移键控)、QAM (正交振幅调制) 等。

纠错编码：从奇偶校错码、CRC (循环冗余校错)，到卷积码、交织编码、Turbo 码等。

复用方式：从传统的空分、频分、时分复用，发展到统计时分、码分、正交频分复用，以及密集波分、粗波分、极化波复用等。

控制方式：从机电到电子，又到存储程序控制 (SPC)，再到现在的智能控制。

信令方式：从随路信令发展到公共信令，再到现在基于分组网的各种宽带信令和协议。

多址方式：有频分复用多址、时分复用多址、码分复用多址和正交频分复用多址等。

交换技术：从电路交换到分组交换、ATM 交换，再到软交换、IMS (IP 多媒体子系统)。

传输方式：由单路到载波，由微波到卫星，由 PDH (准同步数字系列) 到 SDH (同步数字系列)、MSTP (多业务传输平台)，再到现在的 PTN (分组传输网)。

传输带宽：无论是从有线到无线，还是从铜线到光纤，基本实现了窄带到宽带的变化。

1.1.2 通信网构成

通信网一般是由终端设备、传输系统和交换节点构成的，即为通信网的 3 个要素。从图 1.2 中可以看出，通信网具体由信源、变换器、信道、反变换器和信宿等部分组成。

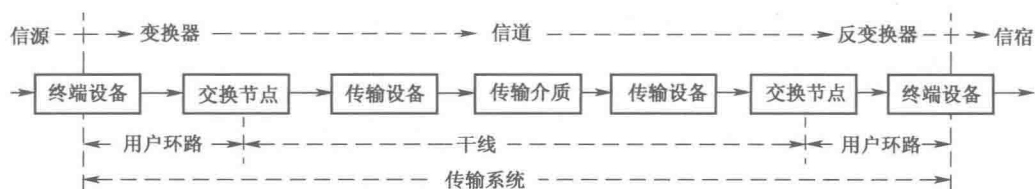


图 1.2 通信网的基本构成示意图

1. 终端设备

终端设备 (Termination Equipment) 是通信网中的源点和终点，它除对应于信源和信宿之外，还包括一部分变换器和反变换器。

(1) 信源和信宿

信源 (Information Source)：指发出信息的基本设施。

信宿 (Information Sink)：信息传输的终点，也就是信息的接收者。

在有人参与的通信中，信源和信宿指的是直接发出和接收信息的人和终端设备，如手机。

(2) 变换器和反变换器

变换器 (Convertor): 将信源发出的信息按一定的要求进行变换，通过变换器的变换，信源发出的信息被转换成适合在信道上传输的信息。反变换器 (Inverter) 的工作过程是变换器的逆工作过程。它们可以通过终端设备 (如调制解调器) 或边缘交换节点来实现。

2. 传输系统

传输系统是指完成信息传输的介质和设备总称。从网络结构上看分为用户环路和干线两部分；从提供信息的通路来看分为电路和链路等部分；从传输方式上看分为面向连接和无连接。

用户环路 (Subscriber Loop): 也称为本地环线或用户线，是一个节点和用户设备或用户分系统之间简单的固定连接。用户环路通过 UNI (用户至网络接口) 连接。

干线: 也称主干线，是主干网 (Backbone) 上的某个连接。一条干线可以由一条或多条串联的链路组成。两个交换中心或节点之间通过干线连接。干线连接通常以交换为基础，由许多用户复用或用户分系统复接的大容量电缆、光纤或无线电传输通路，在干线的两端提供适合节点工作的设备，如复用器/分路器。干线通过 NNI (网络至网络接口) 连接。

电路 (Circuit): 强调物理层 (或节点设备接口) 的连接能力，一条电路就是两个或多个节点之间的一个物理路径。如果在链路层提出电路的概念，应称为虚电路或逻辑电路。另外，通过交换机指定连接的电路，又分为永久电路 (PC)、永久虚拟电路 (PVC) 等。

链路 (Link): 应该强调的是与数据链路层有关的连接，由链路控制协议来建立的连接。链路通常是指两个相邻节点间或终端设备和节点之间具有特定特性的信道 (或电路) 段，链路也是特定的信源与特定的用户之间，所有信息传送中的状态与内容的名称，如无线接口的上行、下行链路。有的书中将物理层的电路，称为物理链路。有时，链路和电路也会被混淆，被统称为通道 (Channels)、线路 (Lines)、通路 (Paths) 等。

路由 (Route): 是与网络层协议有关的行为和动作，是指把数据从一个网络传送到另一个网络，带有方向性的某个连接通路，通常在信令网、路由器中强调路由的概念。路由在数据通信网中，通常强调的是与网络层有关的连接。

面向连接 (Connection): 两个节点在数据交换或传递之前必须先建立连接，通信结束后需要释放。在数据通信中通常指虚连接，ATM 就是一种面向虚连接的通信。

无连接 (Connectionless): 两个节点之间的通信不需要先建立一个连接，靠每个报文携带的目的地址，经系统节点选定的路线传递。如互联网中的 IP 协议就是一种无连接通信。

3. 交换节点

交换节点 (Switching Node) 是指进行交换的设备，是用户环路和链路或链路之间的分配点，根据寻址信息和网络控制指令进行链路连接或信号导向，以使通信网中的多个用户建立信号通路。

电信网交换节点设备，以节点的形式与邻接的传输链路一起构成各种拓扑结构的通信网。目前常用的交换技术有电路交换、分组交换、帧交换和 ATM 交换，以及软交换、IMS 等。对应于各种传送模式 (Transfer Mode) 的交换方式，是交换节点用于交换功能所采用的互通技术，如电路交换属于电路传送模式 (CTM) 或同步传送模式 (STM)；分组交换、帧交换、快速分组交换等属于分组传送模式 (PTM)；ATM 交换是电路交换和分组交换的结合，称为异步传送模式 (ATM)，既支持局域网、城域网和广域网等固定网，又支持移动网、卫星网等无线网；软交换和 IMS 均是一个基于分组的、层次分明的、控制和承载分离的、开放的现代网络体系。软交换最初解决的是 PSTN 的 IP 化业务提供方式，IMS 重点解决 IP 多媒体综合业务，软交换作为部件融入统一的 IMS 架构中，可以形成一个解决并继承传统网络业务和 IP 媒体业务的核心网。

4. 信道

信道 (Channel): 是指在两点间的单向或双向通道, 是信息传输介质和中间设备的总称。不同的信源形式所对应的变换处理方式不同, 与之对应的信道形式也不同。通常情况下, 信道的划分标准有: 按传输介质的不同可分为无线信道和有线信道; 按传输信号形式的不同可分为模拟信道和数字信道; 按协议栈可分为逻辑信道、传输信道和物理信道。

逻辑信道是指携带信息的信道, 它定义了传送信息的类型, 通常产生于数据链路层。

传输信道是在对逻辑信道信息进行特定处理后, 再加上传输格式等指示信息后的数据流, 通常是指物理信道和逻辑信道之间的连接转换。

物理信道指的是承载传输信道业务的载频、码道、时隙等概念, 通常产生于物理层。物理信道所提供的信道通常与传输介质有关, 分为无线信道和有线信道。

(1) 无线传输信道

无线传输信道中信息主要是通过自由空间进行传输的, 但必须通过发射机系统、发射天线系统、接收天线系统和接收机系统才能使携带信息的信号正常传输, 从而组成一条无线传输信道。

长波信道: 所使用的频率在 300kHz 以下, 波长在 1000m 以上。

中波信道: 所使用的频段为 0.3~3MHz, 波长为 100~1000m。

短波信道: 所使用的频段为 3~30MHz, 波长为 10~100m, 也称为高频 (HF, High Frequency) 信道。

超短波信道: 所使用的频率范围通常认为是 30~3000MHz。更细一些划分, 其中 30~300MHz 称为甚高频 (VHF, Very High Frequency), 300~3000MHz 称为特高频 (UHF, Ultra High Frequency)。

微波信道: 所使用的频率在 3000MHz 以上, 通常泛称为微波, 它在现代通信网中占有重要地位。

卫星信道: 卫星信道是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电信号, 在多个地球站之间进行通信的信息传输信道。

散射信道: 在现代通信网的微波通信方式中, 还常用散射信道。散射信道利用对流层和电离层的不均匀性或流星余迹, 对于一定仰角的电磁波射束在上层空间中, 有一部分电磁波能量可回到地面而被接收到的散射现象, 构成散射信道。

(2) 有线传输信道

在有线传输信道中, 电磁波是沿有形介质传播的, 而且通常是构成直接信息流通的通路, 适合于基带传输或频带传输。

平衡电缆: 也称双绞线, 每对信号传输线间的距离比明线小, 而且包扎在绝缘体内。

同轴电缆: 是容量较大的有线信道。常用的有两种: 一种是外径为 4.4mm 的细同轴电缆; 另一种是外径为 9.5mm 的粗同轴电缆。

光纤信道: 是以光为载波, 以光导纤维 (光纤) 为传输介质的一种通信信道。

1.2 通信网发展趋势

1.2.1 现代网络的发展

现代通信网正向智能化、个人化、数据化、数字化、宽带化、综合化等方向发展, 下面将结合有关技术阐述其发展趋势。

1. 网络业务数据化

过去,通信网的主要业务一直是基于电路交换的电话业务,因而通信网一般称为电话网。现代通信网是以语音、视频、音频、图像、数据等组成的综合业务,分布在不同的业务网络中实现。目前的 PSTN 用户随着时间的推移将逐步减少使用传统的固定电话,取而代之的是移动终端或 VoIP。基于分组网络的各种业务都称为数据业务。

现代通信网应用系统将向更深和更宽的数据业务方向发展,如远程会议、远程教学、远程医疗、远程购物及网络多媒体技术的应用等。数据化业务主要分以下 5 类:视频类业务(包括流媒体组播、点播电视、视频电话等)、高速上网业务、VoIP 业务、互动游戏等媒体游戏类应用、信息服务类应用。只有数据网络,才能适应云计算、物联网等领域的广泛推进。

2. 网络传输宽带化

鉴于光纤的巨大带宽、低成本和易维护等一系列优点,特别是波分复用(WDM)技术的日益成熟,自动交换光网络(ASON)得到了一定的应用,以及基于 SDH 的多业务传送平台(MSTP)的应用领域也在不断拓宽,基于数据通信的分组传输网(PTN)异军突起,成为今后传输系统的主要设备。

传输技术主要体现在 SDH、MSTP、ASON、WDM、PTN 等,以提供更高的传送容量和更长的传输距离。

3. 网络交换分组化

PSTN 以电路交换(CS)为主,是一种直接的交换方式,对传输信息没有差错控制,电路连通后提供给用户的是“透明通道”,处理开销少,要在通信用户间建立专用的物理连接通路,实时性好。电路交换技术尽管有其不可磨灭的历史功绩和内在的高质量、严管理优势,但由于采用了同步的时分复用方法,呼叫建立时间长,存在呼损,电路利用率低,属于窄带范畴,交换速率仅为 64kbit/s。

分组交换的通信网,具有传统电路交换通信网无法比拟的优势:信息的传输时延较小,而且变化不大,能较好地满足交互型通信的实时性要求;易于实现链路的统计时分复用,提高了链路的利用率;容易建立灵活的通信环境,便于在传输速率、信息格式、编码类型、同步方式以及通信规程等方面都不相同的数据终端之间实现互通;可靠性高,分组作为独立的传输实体,便于实现差错控制;经济性好,信息以“分组”为单位在交换机中进行存储和处理,节省了交换机的存储容量,提高了利用率,降低了通信的费用。但分组交换由于网络附加的信息较多,会影响到分组交换的传输效率。ATM、IP 等是分组网的典型代表。

ATM 最大的优势是与光纤连用,我国光纤的发展与 SDH 有关,现用的 ATM 均是基于光纤的。现阶段 ATM 最广泛的应用是利用其高速率、大容量和支持多业务的优势,作为传送数据业务平台,完成链路层功能。ATM 理论上可支持各种业务,但现在实际应用中仍面临许多问题,以后会与 IP 在桌面应用方面形成一定的竞争。

MPLS(多协议标记交换)既具有 ATM 的高速性能、QoS 性能、流量控制性能,又具有 IP 的灵活性和可扩充性。MPLS 可以在同一网络中同时提供 ATM 和 IP 业务,利用 ATM 传送 IP 是目前公用骨干网上最适用的技术方案之一。它不仅能够解决网络中存在的可扩展性、带宽瓶颈问题,而且能够实现强大的网络功能和网络的集中控制管理,有利于网络层业务的扩展。因此,MPLS 成为业界普遍看好的下一代 IP 骨干网技术。

软交换,以及 IMS(IP 多媒体子系统),在 3G(R4 以上版本)、4G 得到广泛应用,主要完成呼叫控制、资源分配、协议处理等功能,可以提供包括现在电路交换机所提供的全部业务和其他新业务。以后通信设备中更多的是分组交换、ATM、软交换、IMS,而电路交换将会逐步减少。

4. 网络接入多样化

网络接入就是指“最后一公里”，又大体分成有线和无线接入网两大类。以前，基本上是有线接入一统天下，只有在一些特殊的时期和地区才用到无线接入。

现在，网络接入向多样化的方向发展：光纤接入网（如 FTTH 等）、铜线接入网（如 ADSL 等）、混合光纤同轴接入网（如 HFC）及无线接入的电话接入网（如远端模块等）、无线局域网（WLAN）等，以后还会有更多、更好的接入方式出现。在基于 IEEE 802.16 的 WiMAX（全球微波接入互操作性）中，可实现高速移动宽带接入；FTTH 中将重点推广 EPON（以太无源光网络）和 GPON（吉比特无源光网络）技术；大力开发宽带接入的应用，如 IPTV 的接入等。

未来宽带接入网中，有线和无线共存，光纤接入是主流，移动无线接入也将流行。

5. 网络融合快速化

通信网、计算机网和广播电视网的三网融合是人们所期待的，但涉及这个问题的除技术之外还有运营机制等环境因素。目前有的运营商已开始尝试，从社区的接入网下手，开始通过 FTTH 实现三网融合。现代网络技术的发展也促进了业务的相互融合，如 VoIP、IPTV 等技术的出现。当网络融合发展到了一定阶段后，电视业务、广播业务就不再是广电运营部门专营了，语音、数据、互联网等业务也不再是电信运营商专营了。

目前，因特网业务的蓬勃发展，加快了传统网与以 IP 网为代表的数据网络的互通和融合。电信网通过采用光纤、xDSL、以太网和 ATM，提供 IP 的高速接入和交互多媒体业务；有线电视网通过铺设光缆，更换同轴电缆，采用 HFC 技术进行双向化改造，以其丰富的带宽资源在不断向外延伸；经营 Internet 业务的网络公司也在围绕新技术不断升级网络，在同一个网上支持全业务；数据网以其低廉的价格、灵活的服务方式迅速扩张，改变了传统电信业务的格局。融合的特征主要体现在以下几个方面。

① 技术融合：语音通信、数据通信、移动通信、有线电视及计算机网络等技术相互融合，出现了大量的混合各种技术的产品，如路由器支持语音、交换机提供分组接口等技术的融合。

② 网络融合：传统独立的网络逐步形成一个统一的网络，如固定与移动、语音与数据、电话与电视等网络的融合。

③ 业务融合：未来电信是将语音、数据、图像这 3 种在传统意义上完全不同的业务模式的全面融合。语音、数据、视频融合的业务有 VoD、VoIP、IP 智能网、IPTV、Web 呼叫中心等。

④ 产业融合：网络和业务的融合必然导致传统制造业的融合，而制造业的融合又进一步促进了网络的融合。例如，设备制造商、电信网络运营商、互联网运营商等之间的相互融合。

6. 网络管理综合化

ITU-T 提出电信管理网（TMN）就是要实现各种管理系统的平滑过渡。网络管理（Net Manager）是为了保证通信网络高效、可靠、安全运行，且成本较优化的管理系统，能够对不同地域的交换机等网络设备进行全面的、统一的网络管理。网络的集中管理与运营机制是相关的，对未来的网络综合管理来说，可以分成以下 4 类。

① 在网络规划和设计（包括网络配置）中，用在线分析、实时交互式专家系统可支持网络配置的动态修改和网络操作中的故障检测、故障诊断和路由选择。

② 诊断专家系统用于解释网络运行中出现的差错信息、诊断故障，并提供处理建议。

③ 有人工智能的支持，将能实现用户可剪裁的服务特性，可以重构服务配置。

④ 开发环境中的人工智能可以提高网络管理软件的质量。

7. 网络信令协议优化

目前，通信网上运行的信令、协议、规范非常之多，要实现互连互通，必须要经过大量的

网关或网守、路由器协议转换设备等。随着传输平台智能化程度的提高（如全光网络等）、终端设备综合处理能力的提高、综合宽带 IP 网的普及、原来网络的进一步优化等，各种信令、协议也要优胜劣汰。在相当一段时间内，IPv6、No.7 BISUP（或 BICC）将占据信息网络的主导地位；目前的 VoIP 是基于 H.323 协议开发的，在 H.323 的基础上会出现全新的视频、音频通信协议；在 NGN 中 SIP（会话初始协议）的应用将逐步增大，它是软交换与软交换之间、软交换与应用服务之间、软交换与智能终端之间的呼叫控制协议，也是 3GPP IMS 呼叫控制服务器之间的多媒体控制协议。在 NGN 初级阶段，软交换与 IMS 共存，4G 以后软交换的会话控制功能转给 IMS，软交换退化为网关控制和应用服务器，而 LTE 就是构成了基于 IP 的全 IMS 架构。与 SDN（Software-Defined Networking，软件定义网络）相关的 OpenFlow 标准，取决于业界共识，其决定了未来的发展方向，也是各大网络设备厂商关注的焦点。

8. 网络经营专业化

下一代网络架构中的一个重要思想就是业务与控制分离、控制与承载分离。未来的网络经营也可以参照这种分离模式，按专业化分工经营。

未来的网络及业务可能会出现专业化经营，如业务（电视、娱乐节目等）提供商、业务（如数据、语音等）经营商、传输系统主干网（如长途干线）经营商、城市线路（如管道线路）经营商、信息服务平台（存放信息、咨询信息等）提供商、接入网（最后一公里，统一的业务接入管理平台，实现综合接入）经营商、终端设备（专营终端设备）经销商、设备运营维护（网络设备维护）支持商等。这样，便不会出现线路到处架、楼宇乱打孔等现象，会像铁路警察一样各管一段，规范专业化经营。

专业化分工，在网络资源分配上将更趋于合理。运营公司的资源可以相互使用，实现互联互通，避免重复建设。各个运营公司在同一个区域内重复建设的现象将会减少。

9. 网络接口标准化

网络接口要符合国际、国内的相关标准。标准化是网络相互融合、相互开放的前提。例如，V5 接口设备的出现，打破了接入网对异型设备无法兼容的禁区；管理网络相关标准及接口的有效实施，加速了向具有综合管理功能的 TMN 目标的实现；目前的接入网与业务节点分别有各自的接口，未来仅需一个统一的 SNI 接口。

特别是随着 MTN 的高质量建设，以及 SDN 的发展，应充分考虑是否具备国际标准接口及开放兼容能力。

10. 网络通信个人化

所谓个人通信是指以个人为对象，通信到人而不是通信到终端设备，可解释为“在任何时间（Whenever）、任何地点（Wherever）、任何人（Whoever）可以与任何人（Whomever）进行任何业务（Whatever）的通信”的 5 个“W”。个人通信有终端移动和个人移动两种。终端移动指终端有时也能通信；个人移动指用户能在网中任何地理位置，根据其通信要求选择任一移动终端或固定终端进行通信。个人通信网的数据库通过智能控制随时跟踪并登记用户所在位置。个人通信可以先实现个人号码唯一化，如无论是移动手机还是固定电话，都是同一个号。发展初期可以通过加拨网号或字冠的方法区别于不同的运营商网络。

个人通信的特点：用户无约束的通信自由；个人通信具有安全、保密、确认等功能；可提供用户所预订的不同业务。

提高服务质量是个人通信的重要标志之一。例如，所有接入用户的业务一线化，只需一条光纤入户（FTTH）接到“家庭集线盒”即可接入所有业务，并能实现跟号服务，如用户更换运营公司后，仍能保持原来的号码不变；特服号码唯一化，如拨打“1××”，所有的紧急情况全

部受理；热线服务号码唯一化，如政府、新闻、交通、气象等所有的热线都可以用一条热线号拨入。信息台应提供更加人性化的服务，回归到人工回答问题，提供信息服务，取消按键式的计算机语音菜单服务，除非是用户提出要听某个录音信息。根据用户不同的业务需求，用户可以自由、方便地选择自己喜欢的运营商。

1.2.2 未来网络的展望

目前，人们对未来网络的发展提出了诸多的概念，如网络虚拟化、网络可编程、网络智感、网络共享、网络融合，以及云架构、云计算集群等。以下我们只对作为未来网的 SDN 和第五代移动通信（5G）作一简单展望。

1. 软件定义网络（SDN）

基于 OpenFlow 的 SDN 技术，将是未来网络发展的趋势之一。SDN 技术，分离了网络的控制平面和数据平面，为网络新应用和未来互联网技术提供了一种新的解决方案。SDN 是控制转发分离架构的延续和深化，但基于 OpenFlow 的 SDN 技术仍处于发展阶段。OpenFlow 标准的推进和控制软件的开发，取决于未来的发展方向，随着主流网络设备厂商的加入，控制软件将会出现更多性能更好的版本，OpenFlow 并不是支撑 SDN 技术的唯一标准，但其相关规范已得到普遍认可。

基于 OpenFlow 实现 SDN，在网络中实现软硬件的分离以及底层硬件的虚拟化，打破了传统网络的封闭性，适应了目前降低网络复杂度、提高网络开放性和虚拟化的需求。

基于 OpenFlow 实现的网管和安全功能，主要集中在接入控制、流量转发和负载均衡等方面，而在安全性机制设计、异常检测和恶意攻击防护等方面，也在进行更为深入的研究。

基于 OpenFlow 的 SDN 控制转发分离技术，能满足数据中心密集型服务器需要，能够实现集中控制管理，增加了数据中心实际配置和操作的灵活性。在云计算集群服务器大规模部署的今天，它能够根据对数据中心的实际需求部署具有革命性的全新架构。

基于 OpenFlow 的 SDN 部署环境，初期主要面向校园网、企业网和数据中心，未来将会针对大规模网络进行部署。

基于 OpenFlow 的未来互联网测试平台，已经在世界各国逐渐建立起来。在面向未来互联网的实验平台下，通过基于 OpenFlow 的 SDN 控制转发分离架构，将有利于实现新型网络控制协议和相关的网络测量机制。

基于 OpenFlow 的 SDN 技术有可能发展成为面向未来互联网的新型设计标准。

2. 第五代移动通信（5G）

在未来的几年内，5G 通信将会成熟，国际电联（ITU）将 5G 应用场景划分为移动互联网和物联网两大类，各个国家均认为 5G 除了支持移动互联网的发展，还将解决机器海量无线通信需求，极大促进车联网、工业互联网、物联网等领域的发展。在未来的无线通信网络中，将会继续朝着网络多元化、宽带化的方向演进。随着数据流量井喷式的增长，5G 将是下一代移动网的发展趋势，并将会在以下技术领域有所突破。

① 高频段传输。3GHz 以上的可用频谱资源丰富，能够有效缓解频谱资源紧张的现状，可以实现极高速短距离通信，支持大容量和高速率的传输。

② 新型多天线传输。将 2D（二维）天线阵列拓展成 3D（三维）天线阵列，形成新颖的 3D-MIMO（多进多出）技术，从高阶 MIMO 到大规模阵列的发展，支持更多的用户空分多址（SDMA），有望实现频谱效率提升数十倍甚至更高，降低发射功率，提升覆盖能力。

③ 同时同频全双工。使频谱资源的使用更加灵活，通信的收发双方同时发射和接收信号，