

现代通信网络技术丛书

分组 传送网

● 龚 倩 徐 荣 李允博 田 沛 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代通信网络技术丛书

分组传送网

龚 倩 徐 荣 李允博 田 沛 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

分组传送网 / 龚倩等编著. —北京: 人民邮电出版社,
2009. 1
(现代通信网络技术丛书)
ISBN 978-7-115-19029-1

I. 分… II. 龚… III. 通信交换—通信网 IV. TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第161453号

内 容 提 要

本书全面翔实地阐述了分组传送的由来、从电路型传送向分组化传送的演进历程、以通用交叉和T-MPLS为核心的分组传送网技术。

全书共分5章。第1章回顾了电信业的发展态势,介绍了骨干和城域网络向下一代分组传送网的演进需求,对业界提出的分组传送技术进行了分类解读。第2章简要介绍了IP和以太网业务在PDH、SDH、WDM、OTN/ROADM等各种电路型管道中的传送技术,并包括了MSTP技术、10GE业务的封装映射技术。第3章详细介绍了基于T-MPLS的分组传送网技术,重点包括T-MPLS体系结构、QoS、OAM、生存性、全业务提供和应用定位等内容。第4章在分析3G网络的传输需求和新技术挑战的基础上,阐述了基于各种分组传送技术的3G无线网络的传输承载方案。第5章详细阐述了OTN、ROADM和IP over WDM的关键技术和组网模式。

本书在内容上力求将网络发展和演进趋势与技术实现手段和电信级业务提供相结合,在叙述时力求深入浅出,可供从事通信网络设备与系统开发、生产、工程建设、运行维护和运营管理的通信工程技术人员参考,也可作为高等院校通信专业的教材和教学参考书。

现代通信网络技术丛书

分组传送网

- ◆ 编 著 龚 倩 徐 荣 李允博 田 沛
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@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鸿佳印刷厂印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19
字数: 462千字
印数: 1—3 000册
- 2009年1月第1版
2009年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-19029-1/TN

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)67120142 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

序

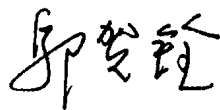
同步数字体系（SDH）从提出到现在已经 20 年了，作为主流传输技术在电信网中发挥了重要作用。但 SDH 是以语音为代表的电路型业务为对象而设计的传送技术体制，在 IP 作为主导业务的今天，SDH 在效率与灵活性等方面的不适应已经显现，同时，以太网从局域网进入到城域网也面临服务质量（QoS）保证的挑战。目前，波分复用（WDM）技术的发展为在光层面组网提供了可能，从而促进了传送技术的演进。随着下一代网（NGN）的研究深入，电信界也开始了对下一代传送网的研究。

分组技术的优点是带宽的颗粒性好，能够灵活利用网络资源；传送网的长项是其所具有的强大的可运营、可维护管理和高可靠性等电信级特性；分组传送技术融合二者所长，成为传送网的发展方向。传送网目前正在从时分复用（TDM）向分组化转型，以实现 IP 与光传送网的完美结合，提供更高效率、更加灵活的大容量信息传送与承载平台。

《分组传送网》一书系统地论述了当前通信网络在传送和承载领域的热点和前沿问题，全面回顾了传送技术的发展，翔实地阐述了分组传送的由来以及传送网从电路型传送向分组化传送的演进历程，着重说明了基于多标签交换（MPLS）技术发展出来的 T-MPLS 分组传送技术原理、体系、特点与应用，分析了光传送网的组网技术，介绍了传送技术在城域网、干线网和 3G 承载网上的应用。

《电信级以太网》是《分组传送网》的姊妹篇，定位在通过增强以太网的电信级业务提供能力实现分组传送和高质量的多业务承载，重点论述了为克服以太网在 QoS、可扩展性、可靠性、同步和安全性等方面的缺陷而进行的改进，说明了基于电信级以太网的分组传送技术和应用方案。

分组传送技术（包括电信级以太网）是当前传送网研究的热点，也是国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T）的标准化重点。但分组传送网的研究有待深入，标准化尚处于起步阶段，很多技术还有待完善，正因为如此，也为传送技术打开了很大的创新空间。《分组传送网》和《电信级以太网》紧跟传送技术发展前沿，及时反映了传送技术的新进展，读者可以用这两本书作为学习和研究分组传送网的入门读物，在学习掌握这些技术的基础上跟上传送网技术的发展步伐，并在分组传送技术和电信级以太网技术方向上做进一步的创新，在传送网研究、设计、建设、维护和管理中完善相关的技术并开发更多的应用。相信《分组传送网》和《电信级以太网》这两本书的出版，能对广大通信工程技术人员、电信网络运维人员和通信及有关专业的师生有所裨益。



前 言

人类社会步入 21 世纪信息时代后,全球信息量呈现出爆炸式增长趋势,宽带数据业务早已取代了传统电信通信网中语音业务的主导地位。同时,采用基于 TDM 技术构建的传统电信网络,随着时间的推移,其建设成本高、设备利用率低、新业务开发速度慢、可开发业务种类少、维护成本高等问题不断凸现,成为制约着电信网络发展的瓶颈。IP 技术通过数年来不断的发展,其应用领域已不在局限于传送数据信息,也被广泛用来传送语音、数据、视频等多媒体综合业务。VoIP、IPTV、远程教育、远程医疗、电子商务等新业务的涌现,也进一步证明了 Everything over IP 时代即将到来。如果要用一句话来表达信息通信业目前的发展态势,那就是“业务 IP 化、应用分组化、网络结构全 IP 化”。信息通信技术的个人化、数字化、分组化、多媒体化趋势十分明显,因特网业务应用的蓬勃发展以及在通信网络中所占业务比重的不断扩大使信息通信技术面临全方位的“转型”要求。

在当前网络转型发展阶段,由于 IMS 等技术的出现,网络的融合出现了新的形势,那就是不同网络功能层面之间的融合,最为典型的就是传统的传输网络和承载网络之间的融合。随着网络的逐步发展,简化网络层次、减少功能重叠、节约投资是网络建设的主要目标,因此 IP 和光网络的技术融合和协调发展是基础承载网络演进的最大趋势。

为了迎合发展潮流,新一代传送网将全面面向业务 IP 化、网络分组化实施技术转型:在干线传送网采用 IP over WDM/OTN 技术适应业务 IP 化、带宽颗粒大型化、组网灵活和高生存性的需求;在城域传送网也将逐步引入新的 PTN 技术,以适应分组传送的通用交叉、多业务支持、可扩展性、可管理和高 QoS 的电信级业务提供的需要,并且由表层分组化(EoS/MSTP 的接口适应性)向内核分组化(PTN 的内核适应性)演进。

本书定位于分组传送网的电信级需求、实施的关键技术、可选的技术方案和引入应用策略等方面,全面翔实地阐述了分组传送的由来、从电路型传送向分组化传送的演进历程、以通用交叉和 T-MPLS 为核心的分组传送网技术。

本书内容共分 5 章。

第 1 章从总体上分析了当前信息通信业的发展态势以及传统网络技术的不足之处,由此引出了向下一代分组传送网的演进需求。然后对业界提出的分组传送技术进行了分类解读,分别从骨干和城域两个层面介绍了各种分组传送技术的选择。

第 2 章详细阐述了 IP 和以太网业务在 PDH、SDH、WDM、OTN 等各种传送网中的封装映射技术。随着 IP 数据业务的急剧增长,适合 IP 业务特点、能够提供大容量、长距离传输能力的传送技术成为分组传送网发展的焦点。Ethernet over PDH 会在无线接入网的回传电路中长期存在, Ethernet over SDH 技术在 MSTP 中得到了广泛应用,而随着网络业务的 IP 化发展,高速以太网(GE、10GE、40GE、100GE)也成为未来 IP 网络设备的主要接口形态,因此,10GE 甚至 40GE 和 100GE over OTN/ROADM 技术等将在下一代传送网 OTN 中得到广泛应用。

第 3 章详细介绍了基于通用交叉和 T-MPLS 的分组传送网技术,重点包括 T-MPLS 体系

结构、QoS、OAM、生存性、全业务提供和应用定位等内容。相对于传统的传送设备而言，PTN 设备采用独具特色的设计体系提供业务完全的扩展能力，克服了传统传送设备的缺陷。这是一种全新的多业务传送平台，也是一种业务交换传送设备。

第 4 章结合移动与固网融合（FMC）及移动网络 IP 化的发展趋势，针对 3G 无线网络的传输承载需求，介绍了制订出合理的 3G 无线网络传输方案的方法，从而使读者能够了解如何将前述的各种分组传送技术应用于实际组网中。

第 5 章重点介绍了 OTN、ROADM 和 IP over WDM 的组网等技术。这是因为 IP 承载网所需的电路带宽和颗粒度的不断增大，以 VC 调度为基础的 SDH 网络首先在扩展性和效率方面呈现出了明显不足，从而在骨干网络的光层上直接承载 IP/MPLS 的扁平化架构已经成为大势所趋。同时，为适应 IP 网络和业务的大颗粒化需求，运营商对 WDM 从单纯地追求点到点高带宽转向能够实现基于波长/子波长级别的灵活调度、指配和管理，并实现高可靠性组网。

本书内容不仅涵盖了接入网分组传送（EoPDH）、城域网的分组传送（EoS/EoT/T-MPLS），而且还系统总结了骨干网络基于 IP over WDM 的分组传送技术，全面体现了光传送网从电路型多业务传送平台向分组传送（含交换）网的演进历程。

而对于分组传送的另一大技术分支——电信级以太网流派的内容，我们安排在本书的姊妹篇《电信级以太网》一书中详细介绍，因此，读者在阅读本书时，应结合《电信级以太网》一书的相关内容。

本书围绕分组传送技术和应用，以最新的国际标准和研究资料为基础，辅以作者多年以来对光传送网、城域网、IP 网、同步网、无线传输网络等领域的研究成果和参与国家相关重大项目的经验，系统全面地介绍了分组传送网的发展背景、分组传送的概念、分组传送的技术分类和技术选择等内容，对分组传送解决方案的思路、关键技术、实现原理、应用模式进行了重点的分析阐述。

在本书编写过程中，得到了国内运营商、设备制造商、科研院所、业界专家学者的悉心指导和大力帮助，分享了很多业界朋友的最新研究成果，与他们的广泛交流和探讨给了作者很多写作灵感，在此向他们表示最深切的谢意。

分组传送是一项正在发展变化中的技术，涉及 IP 网络、以太网、传送网、无线网等众多研究方向，很多技术还处在研究之中，有些还有待于标准化的进展和技术的重大进步，所以作者愿意和大家一起推动科技创新，分享研究资料，继续跟踪研究该项技术的发展变化。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请同行和读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 传送网的发展和演进	1	技术	33
1.1 电信业的发展态势	1	2.1.1 SDH 简介	35
1.1.1 创新、融合和转型	1	2.1.2 IP/PPP/HDLC/SDH	37
1.1.2 业务应用的 IP 化	3	2.1.3 IP over SDH 的网络 结构和技术特点	41
1.1.3 网络技术的分组化	5	2.2 EoS 技术	43
1.1.4 移动和 IP 的融合	6	2.2.1 EoS 概述	43
1.2 传输网发展历史回顾	8	2.2.2 GFP 技术	44
1.3 骨干传送网的发展与演进	9	2.2.3 VCAT	53
1.3.1 IP 承载网特性及需求	9	2.2.4 LCAS	60
1.3.2 骨干传送网面临的 挑战	11	2.2.5 EoS 在 MSTP 中的 应用	66
1.3.3 IP 网与传输网的融合 思路	11	2.3 EoPDH (Ethernet over PDH) 技术	72
1.3.4 IP over WDM/OTN/ ROADM 分组传送	14	2.3.1 IP/PPP/HDLC/PDH	72
1.4 城域网从电路传送向分组 传送演进	16	2.3.2 Ethernet over GFP over PDH	75
1.4.1 向下扩展三层 IP 网络 的难点	16	2.4 EoWDM/OTN (Ethernet over WDM/OTN) 技术	86
1.4.2 数据业务的电路型 传送	17	2.4.1 OTN 对客户信号的 映射封装	86
1.4.3 分组传送概念的兴起	20	2.4.2 FE/GE 业务在 OTN 网络中的传送	88
1.4.4 城域分组传送技术	22	2.4.3 10GE 及以上业务在 WDM/ OTN 中的传送	90
1.5 分组传送网技术与应用定位	25	2.4.4 40GE	93
1.5.1 不同网络层面的分组 传送	25	2.4.5 100GE	94
1.5.2 分组传送设备的多样性	27	第 3 章 基于 T-MPLS 的分组传 送技术	95
1.5.3 分组传送网络全景图	28	3.1 分组化的城域传送网	95
1.6 分组传送网的引入策略	30	3.1.1 分组化演进对城域网 的要求	95
1.6.1 干线传送网的演进 方式	30	3.1.2 传统的城域网可选 方案	98
1.6.2 城域传送网的演进 方式	31	3.1.3 分组化城域网的关键	
第 2 章 数据业务的电路型传送技术	33		
2.1 PoS (Packet over SDH)			

技术特性	100	互通	155
3.2 T-MPLS 技术总体架构	105	第 4 章 3G 网络的传输承载	157
3.2.1 T-MPLS 技术原理	105	4.1 3G 网络概述	157
3.2.2 T-MPLS 分层结构	109	4.1.1 TD-SCDMA 标准的	
3.2.3 T-MPLS 的接口	112	形成	157
3.2.4 T-MPLS 的数据通信网	115	4.1.2 TD-SCDMA 网络结构	
3.2.5 T-MPLS 技术特点	116	组成	160
3.2.6 T-MPLS 标准化现状	118	4.1.3 TD-SCDMA 标准的	
3.3 T-MPLS 的 QoS 技术	120	发展演进	162
3.3.1 IP QoS 框架简介	120	4.2 3G 网络的传输需求	166
3.3.2 T-MPLS 的 QoS 策略	122	4.2.1 3G 网络的业务特性及	
3.3.3 T-MPLS 网络安全性	123	需求	166
3.4 T-MPLS 网络的 OAM 技术	124	4.2.2 3G 网络的传输接口	
3.4.1 术语定义	124	类型和需求	169
3.4.2 OAM 分组格式	126	4.2.3 Iub 口传输容量需求	
3.4.3 OAM 功能	129	分析	173
3.5 T-MPLS 网络的生存性技术	132	4.3 3G 无线网络的传输承载	
3.5.1 概述	132	技术	177
3.5.2 线性保护倒换	132	4.3.1 传输汇聚与统计复用的	
3.5.3 环网保护	136	必要性	177
3.6 T-MPLS 全业务提供技术	138	4.3.2 ATM 架构下的传输	
3.6.1 分组网上的伪线仿真		技术	178
技术	138	4.3.3 IP 化 RAN 的传输	
3.6.2 T-MPLS 基于伪线技术		技术	184
的业务提供	139	4.4 3G 无线接入网的传输承载	
3.7 T-MPLS 网络的应用	144	方案	189
3.7.1 T-MPLS 的应用优势	144	4.4.1 ATM 架构下 RAN 的	
3.7.2 T-MPLS 应用定位	145	传输方案	191
3.7.3 T-MPLS 的应用场景	148	4.4.2 IP 化 RAN 的传输	
3.8 T-MPLS 网和其他网络的互联		方案	195
互通	151	4.4.3 3G 传输网的发展展望	202
3.8.1 T-MPLS 网络和其他		4.5 基于多业务网络设备的 3G	
网络的关系	151	传输方案	204
3.8.2 T-MPLS 网络 PBT 的		4.5.1 RNC 与 Node B 的常规	
互联互通	152	连接方案	204
3.8.3 T-MPLS 网络和 IP/MPLS		4.5.2 采用 MSN 设备的	
网络的互联互通	152	优化	205
3.8.4 T-MPLS 网络和现有		4.5.3 3G 的 RAN 传输技术	
SDH/MSTP 网络的互联		走向	210

第 5 章 IP over WDM 分组传送	213
5.1 IP 网对光网络的传送需求	213
5.2 IP over WDM 分组传送机理	215
5.2.1 IP over 点到点的 WDM 传输系统	215
5.2.2 IP over WDM 的接口种类	216
5.2.3 IP over 灵活组网的 OTN/ROADM	219
5.3 OTN 技术	221
5.3.1 OTN 的标准化	221
5.3.2 OTN 体系架构	223
5.3.3 OTN 帧结构和开销	225
5.3.4 客户信号映射和复用	231
5.3.5 OTN 设备形态	234
5.3.6 OTN 的组网模式	238
5.3.7 OTN 技术优势	243
5.4 ROADM 技术	244
5.4.1 ROADM 技术发展历程	245
5.4.2 ROADM 的关键技术	247
5.4.3 ROADM 的网络应用	252
5.4.4 ROADM 的国内外标准化	254
5.5 IP over WDM 网络的生存性	255
5.5.1 IP 层生存性措施	255
5.5.2 OTN 的生存性措施	259
5.5.3 线性保护技术	261
5.5.4 环网保护技术	268
5.5.5 层间保护机制的协调	274
5.6 OTN 引入应用策略	275
缩略语	277
参考文献	292

第1章 传送网的发展和演进

回顾近 20 年整个世界的发展变化，可谓是波澜壮阔。信息通信技术的个人化、数字化、分组化、多媒体化趋势十分明显，因特网业务应用的蓬勃发展以及在通信网络中的渗透使信息通信技术面临全方位的“转型”要求。

信息技术是当今世界经济和社会发展的重要驱动力，信息产业已成为我国全面建设小康社会的战略性的、基础性和先导性支柱产业。下一代网络是社会信息化发展的基石，全球各国都把掌握其核心技术作为促进国民经济、增强竞争实力的重要内容，我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020 年）》也将下一代网络关键技术与服务列入未来信息产业及现代服务业的优先发展主题。“十一五”高可信网络重大项目的实施，是推动我国下一代网络向深层次、跨越式方向发展的重要标志。它聚焦于大规模网络的可信性研究问题，从应用终端、接入传输、承载交换，业务应用等环节，探索网络演进的先进特征及规律，促进网络内容与机制的整体创新，对构建未来安全、和谐、普适的信息服务环境具有重大意义。

支撑高可信网络体系的是基于光纤的传送网络。随着数据业务的迅猛发展，宽带多业务传送、端到端的带宽提供等新模式不断出现，传统的同步数字体系（SDH）技术、IP 技术和以太网技术都不能适应下一代网络对传送和承载的全方位需求，迫切需要建立一种更高效率、更加灵活的面向分组的传送网络形态，充当未来大容量信息传送与交换的基础平台角色，实现 IP 与光传送网的完美结合。面向分组的高性能的分组传送网（PTN）技术就提供了满足上述要求的、极具应用前景的解决方案。

1.1 电信业的发展态势

1.1.1 创新、融合和转型

在经历了 2000 年前后的互联网泡沫的洗礼，电信业经过多年的探索活动，已经找到了复苏之路，“创新”、“融合”和“转型”成为全球电信业发展的三大主题，成为信息技术时代的主旋律。

20 世纪 90 年代，以 IP 技术为代表的因特网技术的突破，从根本上打破了信息网络化的技术瓶颈，为信息化开辟了广阔的前景。但如何把这种技术发明转化成实实在在的通信业务问题还远未解决。一方面技术进步，打破了原有的通信秩序和价格体系，导致价格暴跌；另一方面新的应用生成和增长缓慢，其带来的业务增幅远远抵不住价格下跌的冲击，从而导致了 ARPU 的持续下跌，成为电信产业复苏的根本制约因素。要化解这一矛盾，唯一的选择就是积极推进创新，把 IP 带来的挑战和机遇转化为推进产业持续发展的动力。

从长远看，开发信息化的大市场必须让宽带技术担任主角，必须依托宽带网来服务信息化。当前，IP 技术的突破为信息化应用开辟了巨大的空间，但是目前它还不是一个系统的、完善的网络，还面临一系列问题。我们必须积极推进技术创新，使它成长为一个可以支撑信

息化大业的基础设施。业务创新是产业网络化进程的直接动力，信息化程度的提高，实际上是要各项电信新业务在全社会的不同层面、不同领域、不同人群中得到广泛应用；宽带网络的技术进步，唯有转化为实实在在能被运营商经营、被广大用户使用的业务才有意义，才能成为现实的生产力。

当前，融合与创新已经成为电信运营商发展的两翼。融合给运营商提供了一个更大的发展空间，创新则直接给电信运营商带来了业务量的增长。对于信息通信业发展而言，“融合”意味着不论何时何处，通过任何一种终端设备，运营商都能提供无缝的、直观的、适合的接入方式。融合拓展了运营商的业务创新模式。首先，当前的电信综合业务智能平台就是一个融合的大平台，不仅可以无缝融合 PSTN、IP、移动等多种网络，还可以在这个平台上提供多种电信基础业务及增值业务，而且可以实现业务上的统一管理和实时控制。其次，运营商的许多基础业务或者增值业务，如果将它们进行融合后加以改造就可以成为另外一种新的业务。比如语音短信业务。

目前，固定和移动融合（FMC）已经成为全球电信业发展的一大趋势。许多运营商希望把固话和移动电话双方的优势结合起来，对固定和移动网络技术进行更密切的整合，这样才能通过双方的平台提供同样的服务。在固定网络运营商看来，FMC 是有望对抗移动通信威胁的良策；而在移动通信运营商看来，FMC 同样是进一步巩固现有地位，并加速向固定领域扩张的桥梁。为此，国外众多运营商都已经或是正在投入大量的资本用于实现 FMC 战略。

实现固定和移动业务的融合是固定移动融合的最终目的，固定和移动融合业务也是未来通信业务的亮点，是全业务运营商实施差异化竞争的重要手段。业务的融合可以分为业务绑定和业务融合。其中业务绑定可为商业客户提供语音、数据和无线融合的业务，并促进了宽带和无线应用，这通常是融合业务的第一步。业务融合通过统一的业务创建、传送平台及独立的核心网、接入网，为不同接入类型的用户提供业务应用。核心网络与控制层面的融合是固定、移动融合的核心，也是最关键的一步，只有实现了网络控制层的融合，固定和移动融合才称得上是真正的融合。随着 3GPP R5 中 IMS 域的提出，核心网络、控制层的融合出现了转机。由于 IMS 与接入无关、统一的会话控制和用户数据、开放和统一的应用平台等特性，使其逐步成为业界公认的固定和移动网络融合的基础。

为了能够适应市场竞争的需要，也为了让用户能够享受到更多更好的服务，运营商开始突破原有的模式，向综合信息服务提供商转型，这就意味着运营商要突破旧有的业务边界，丰富与改造原有的业务模式，向更多的新业务领域进军。随着语音业务走向低值化和微利化，固网和移动网运营商同时出现增量不增收现象。失去了用户规模增长原动力、面对着传统业务萎缩危机的中国电信企业，面临着一个关系到未来生存和发展的战略抉择——转型。

必须认识到，转型既源自于电信企业寻求业务收入新增长点的现实需要，更有着深刻的技术、商业和产业变革的背景。传统电信业正处于 100 多年来未有的历史转折时期。全球信息通信技术的突飞猛进、社会信息需求日新月异、竞争格局变化纷繁复杂以及产业可持续发展的历史使命，强力驱动着电信企业向一个全新的方向转变。转型，是不可阻挡的历史潮流，是迫在眉睫的战略抉择。

IP 是 20 世纪人类最伟大的发明之一，它打破了不同技术的壁垒，从根本上改变了电信技术和电信业的面貌。它打开了“潘多拉魔盒”，给传统电信业带来最强有力的挑战者，又为电信企业的根本转型提供了武器和方向。

正是以 IP 为核心的新技术层出不穷，极大地加快了传统电信技术和业务被淘汰的步伐。电信产业加速走向光纤化、宽带化、IP 化、综合化，移动和宽带正在成为电信业下一步发展的重心。而充分吸收 IP 精髓的下一代网，为固网运营商提供了技术转型和发展的战略机遇及再次振兴的希望。宽带接入、IP 技术、3G、NGN 等催生出一大批新兴业务，为电信运营企业实现转型、开辟新的价值创造领域提供了有利条件，如图 1-1 所示。

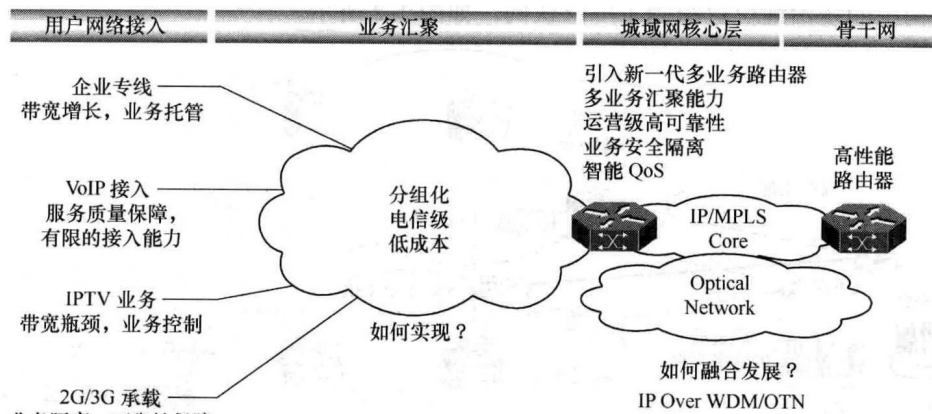


图 1-1 业务发展驱动网络转型与融合

信息需求娱乐化、个性化趋势越来越明显。日益增长的“电子商务”、“电子政务”、“企业信息化”、“家庭网络”市场需求，已经远远超出了传统的电话放号、宽带上网和增值业务开发的服务等范围。对新业务和应用的需求日益综合化、人性化，电信企业现有的经营服务模式却很难满足这种需求。

为了适应新形势的要求，为国民经济和国家信息化发展作出更大贡献，电信企业必须加快经济增长方式和发展道路的转型，改变粗放的投入驱动和用户驱动的发展路径，逐渐依靠业务创新和服务创新来实现持续增长，提升电信企业的竞争实力，从而实现可持续发展。

传统通信网络为每种业务建设专用的承载平台，业务资源难以融合、共享，运营商必须同时维护多个承载平台，造成建网成本和维护力量双重浪费。电信运营商为了适应电信业务的迅速发展，纷纷提出了战略转型，从“网络、通信运营商”转变到“综合信息服务提供商”，为客户提供多样化的信息服务，比如 BT 的 21 世纪计划、法国电信的“NexT”计划、澳大利亚 Telstra 提出了 FNE 和 BMS 计划、NTT 提出了 RANE 计划等。这些转型计划都有一个非常重要的目标，就是要完成网络融合和业务融合，在融合的网络上实现对全业务的支持。

1.1.2 业务应用的 IP 化

100 年来电信网的主要业务一直是电话业务，呈平稳而缓慢的增长趋势。然而，近年来，数据业务正呈现指数式增长态势，特别是 IP 业务正呈现爆炸式增长，其光纤骨干网带宽已达到了 6~9 个月就翻一番的地步，比著名的摩尔定律还要快 2~3 倍，成为所谓的光纤定律或超摩尔定律。显然，按此趋势，用不了几年，网上的数据业务将会超过电话业务。最终，电信网的业务将主要由数据业务构成，100 年来的网络业务构成将发生根本性的变化。

基于 IP 的下一代通信，正在以前所未有的速度改变着全世界的通信架构和商业格局。同时，随着 IP 技术框架中汇聚网络研究的发展和 VoIP 技术的提出，数据网络通信已经融入传

统的语音业务领域，从而形成以语音为核心，以视频、IM、呼叫中心等其他应用为增值业务点的巨大的 IP 通信市场，IP 网络上已经可以很好地提供高速上网（HSI）、IP 电话（VoIP）和视频（IPTV）的“三重播放”业务。

在融合业务的浪潮下，Internet 得到了飞速发展与普及应用，为在融合的统一平台上提供多样化的信息提供了可能，这个统一的平台就是 IP，而作为其核心技术的 IP 协议体系在数据网络架构中的统治地位已得到了广泛认同，如图 1-2 所示。

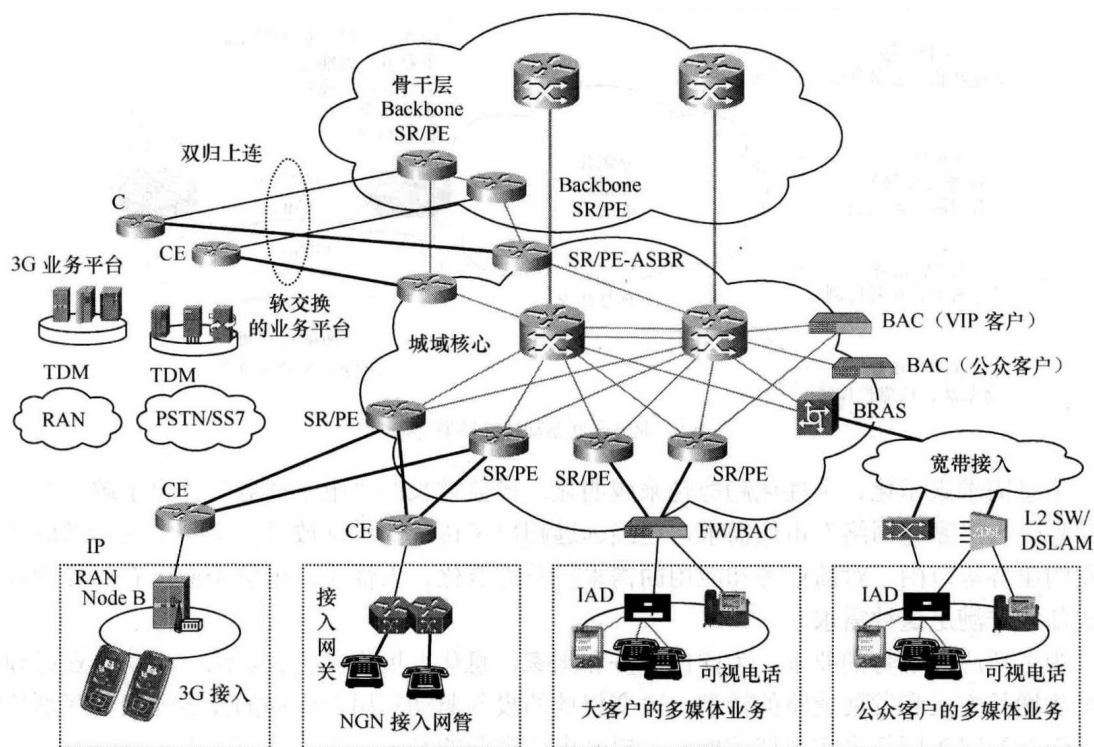


图 1-2 IP 化和网络融合背景下的全业务场景

首先，IP 化适应了网络融合的需要。IP 技术提供了相对理想的融合解决方案：采用非面向连接的工作方式，简化了信令，克服了节点设备复杂化问题，建网成本大幅下降，可实现对包括语音在内的所有现存业务的综合承载。Internet、VoIP、软交换的成功运营进一步证明了 IP 技术的综合承载能力。在 FMC（移动和固网融合）已成业界共识的背景下，网络融合需要一个统一的多业务综合承载平台。从电信网发展的技术趋势来看，下一代电信网络将会基于 IP 技术构建，全 IP 化成为业界热点。

其次，IP 化符合业务融合的需要。目前除传统的电路交换语音业务，其他电信增值业务基本都基于 IP。IMS 业务系统即将进入商用阶段，这使得包括语音在内的主要电信业务都基于 IP，移动网络的 IP 化已是大势所趋。

业务融合成为下一代网络的重要特征。用户期望新的网络应能提供融合各类网络能力的综合业务，特别是移动性、多媒体和因特网相结合的业务，这也使得全 IP 化成为业界热点。

最后，IP 化满足了运营商转型的需要。移动运营商如果只提供单一的语音或者因特网接入服务，难以保持足够的利润增长点，必须不断推出新的电信综合业务，全 IP 网络提供了合适的切入点。

电信业务正在逐步 IP 化，而 IP 网络也在逐步电信化。IP 技术正在以实用化的方式不断强化其在电信网络技术中的主导地位，并逐步应用到网络的各个层面。

在移动通信领域，移动数据业务发展迅速，日益成熟的商业模式和不断被挖掘出来的用户需求使得移动数据业务的增长成为通信业的新亮点。同传统的语音通信相比，移动数据业务的表现形式由于移动终端的计算能力日益增强和网络的功能日益丰富而更加丰富，包括短消息、多媒体消息、USSD、WAP、定位服务、流媒体、KJAVA、3G 业务等。移动业务呈现出向基于 IP 的数据和流媒体业务方向发展的趋势。

从现实情况来看，在电信数据业务中，IP 业务已占 95%以上，我国骨干网 IP 业务流量已经高达 90%以上。中国电信集团总工程师韦乐平在 2007 年全球 NGN 峰会上的主题发言中表明“中国电信 97%的业务流量已经 IP 化”。而专线业务中的业务量几乎 100%是 IP 业务。可以说，数据承载网业务已基本 IP 化。

因特网业务是 IP 业务中的最主要表现形式。目前，因特网业务继续高速增长，从业务流量来说，因特网占据绝对的优势。因特网业务的迅猛发展，加快了电信业务的 IP 化发展趋势。在因特网业务中，娱乐类的应用愈来愈普遍，网络音乐、网络影视和网络游戏这三项代表性网络应用使用率都很高。因特网用户近半数使用流媒体业务。值得关注的是，目前在因特网上的宽带业务中，P2P 业务已经成为网络的主要流量，成为固网发展遭遇瓶颈的关键所在。

目前，视讯业务绝大部分也是 IP 业务，其发展十分迅速。IPTV、三重播放（TriplePlay）业务已成为电信运营商新的经济增长点和最具前途的营收来源，HDTV 将成为普及业务。

随着语音、因特网和娱乐业务的融合，未来 IPTV 市场的竞争将进一步升级。

综上所述，在目前电信网的各项业务中，电信业务 IP 化已经是无可争辩的事实，IP 业务逐渐成为电信网络的主导业务，因此，电信业务的 IP 化成为整个电信网发展的必然趋势。

1.1.3 网络技术的分组化

IP 技术在网络中的广泛应用为增值业务的发展提供了全新平台，出现了“电信网 IP 化”趋势和“IP 网电信化”的趋势。

网络交换技术是电信网的灵魂，尽管传统的电路交换技术有其不可磨灭的历史功勋和内在的高质量、严管理优势，在可以预见的未来也仍将是提供实时电话业务的基本技术手段，但其基本设计思想是以恒定的对称的话路量为中心的，采用了复杂的分等级的时分复用方法，语声编码和交换速率为 64kbit/s，交换机需要为每一呼叫或连接维持大量的呼叫或连接状态信息，为每一种业务指定固定带宽，对于未来以突发的非对称的数据为主的业务而言，传输和交换效率低，节点成本和传输成本均较高。当数据业务量不大时，这种状态还可以容忍。而当网络业务量以数据为主时，这种低效率状态将变得无法容忍。特别是大量的数据应用（诸如上网浏览）只需极短寿命的连接，如果也要求网络节点对这些只有极短寿命的连接也完成常规的连接建立和拆线工作，网络节点的工作负荷将无法承受，网络的扩展性将大大受限。此外，作为面向连接的技术，每一节点与任一其他节点都必须建立直接的连接， N 个节点要求建立 N^2 个连接，当网络的规模发展到一定程度后， N^2 连接的管理也成为很大的问题。简言之，从网络的角度看，传统的以电话业务为基础的电路交换网无论从业务量设计、容量、组网方式，还是从交换方式上来讲都已无法适应这一新的发展趋势，开发下一代的可持续发展的网络已成为电信界的共同心愿。其基本思路是具有统一的 IP 通信协议和巨大的传输容

量，能以最经济的成本灵活、可靠、持续地支持一切已有和将有的业务和信号。

另一方面，分组化网有着传统电路交换网所难以具备的优势，诸如无复杂的时分复用结构，有信息才占用网络资源，资源利用效率高，信令、计费和网管简单，建设维护运行成本低，连接效率高，可一次同时建立大量的连接，在提供动态带宽分配和灵活指配不同带宽颗粒需要方面远优于电路交换网。特别是无连接 IP 网对连接是透明的，因而其包转发只需维持很少的状态信息即可，网络节点的工作负荷大为减低。非常适于非对称的突发数据业务的传输。显然，随着网络中数据业务量成为主导后，从传统的电路交换技术逐步转向分组交换技术，特别是建立以无连接 IP 技术为基础的整个电信新框架将是历史的必然。近来，这种演进趋势无论从设备制造商，还是网络运营商的发展策略和战略上都已明显体现，全球网络的分组化和 IP 化趋势正在加速，像 AT&T 和 BT 这样的著名网络运营商不仅已明确宣布不再新装电路交换机，而且 AT&T 甚至已经在因特网骨干网上将 ATM 交换机全部换成了 IP 路由器。

下一代组网技术的主要业务驱动因素有：三重播放、电信级以太网与可管理的 VPN、VoIP、高速因特网接入和 3G 等应用。

业务承载的 IP 化趋势已经在业内达成共识，未来传送网络将主要负责 IP、以太网流量的传送，分组化、智能化、融合化、宽带化、综合化的传送网络设备市场将快速成长。

需要指出，尽管目前这一代的电信网无法适应下一代电信网的要求，同样，目前这一代的 IP 网也无法适应下一代电信网的要求。其网络体系结构缺乏内置的扩展性，网络可靠性和可用性很差，无法满足电信级网络的起码要求，实时业务质量还无法确保，靠线路卡互联路由器节点的方式消耗掉大量端口，目前，IP 只考虑了用户平面功能和带内信令，将来必须扩展到控制平面和管理平面如此，等等。因而下一代网将是充分利用现有电信网和 IP 网各自资源和优势，克服各自劣势的融合的网络。

1.1.4 移动和 IP 的融合

关于未来移动通信的发展，目前全球多数专家已基本肯定，移动通信网络将向 IP 化的大方向演进。在此过程中，在移动网络上的业务将逐步呈现分组化特征，而网络结构将逐步实现以 IP 方式为核心的模式，如图 1-3 所示。

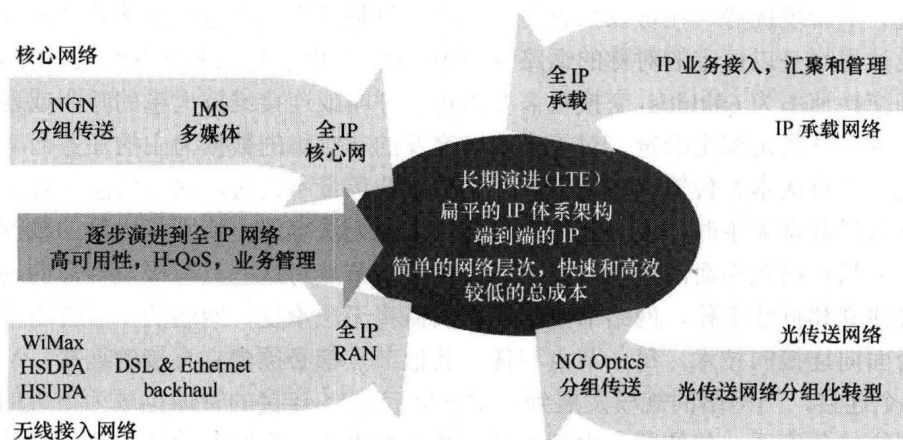


图 1-3 移动网络 IP 化的发展

在固定通信领域，语音业务正在受到数据业务的强力挑战，预计在最近一两年中，全球

数据通信量将超过语音通信量。与固定通信相比,移动通信目前的语音通信量依然占绝对优势,但随着新技术的引入,移动数据业务已开始呈现蓬勃发展的景象。WAP 在现有窄带移动网络上的实现,已经使移动通信能提供低速率的信息访问,未来通过 GPRS/EDGE 等技术对现有移动网络的改造将使它能提供更高带宽的数据业务,使之能够更快速地上网浏览和开放其他信息服务,第三代移动通信系统所提供的 HSDPA 等业务更是以能够提供宽带的多媒体数据业务为一个主要出发点。

经过长期的讨论,目前在移动通信业界已基本达成一个共识,即未来的移动通信网络将向 IP 化方向演进,未来的移动通信网络将是一个全 IP 的分组网络。对此,两个主要的第三代移动通信标准化组织 3GPP 和 3GPP2,都将第三代移动通信发展的目标设定为全 IP 网。ITU 也认为,可以将 IMT-2000 重新定义为 IMT (Internet Mobile/Multimedia Telecommunications) 即“因特网移动/多媒体通信”。可以想象,未来的移动通信核心网络将采用宽带 IP 网络,在此 IP 网上,承载从实时语音、视频到 Web 浏览、电子商务等多种业务,它将是一个电信级的多业务统一网络,在无线部分使用宽带无线接入技术。通过 IP 技术提供的新型信息服务已深入人心,IP 化逐渐渗透到通信的各个领域。未来的移动通信网络将真正实现移动和 IP 的融合。

全 IP (All-IP) 是指全 IP 网络的承载技术,由 3GPP R5 时期正式提出。业界的共识是,全 IP 承载网络是 2G 乃至 3G 移动通信网络向 LTE 平滑演进的必要组成部分,在不久的将来,以“业务 IP 化,传送分组化”为趋势的 FMC 网络融合浪潮到来之际,全 IP 将成为“Everything over IP”、“IPv6”、“网络扁平化”等概念的现实基础。技术基础及强烈的市场需求推动,使移动通信 IP 化成为移动通信技术发展的主流趋势。

移动 IP 化的进程又可以分为几个阶段:首先是移动通信业务的 IP 化,之后是使移动通信网络向分组化演进,最后实现移动通信网络的全 IP 化。移动网络 IP 化的发展思路如图 1-3 所示。

从核心网角度看,3G 网络实际上已经是全 IP 的核心网。从 2G 网络到 3G 网络的演进,某种意义上就是从封闭的、基于电路交换的系统向开放的、基于 IP 技术的统一承载网络转变。

从业务网角度看,IMS (IP 多媒体子系统) 将成为统一的融合平台。IMS 始于 R5 版本,已被 ITU 所接纳;其基于 SIP 的通用平台,使得核心网与接入无关;IMS 是一种开发性更好、标准化程度更高、适用于所有接入和业务的统一网络体系架构,有利于固网和移动网的无缝融合;IMS 中各种业务具有共同的核心网、用户数据库、后台计费系统和业务开发平台,在用户数据管理和漫游方面更加完善;软交换和 IMS 是 PSTN 向 NGN 演进的两个不同阶段,两者将以互通方式长期共存。

从无线网角度看,无线侧 IP 化的目标为扁平化的 IP RAN,从 RAN 传输的 IP 化逐步演进到 LTE 扁平化架构。该架构主要由演进型 NodeB (eNB) 和接入网关 (aGW) 构成。aGW 实际上是一个边界节点,如果将它看作核心网的一部分,则接入网主要由 eNB 一层构成。LTE 的 eNB 除了具有原来 Node B 的功能外,还承担了原来 RNC 的大部分功能。LTE 采用全 IP 接入,支持增强的 IMS 和核心网,取消 CS (电路交换) 域、CS 域业务在 PS (包交换) 域实现等特性,促进各网络之间的融合。

移动网络 IP 化不是移动通信技术和因特网技术的简单叠加,也不是无线语音和无线数据的简单叠加,它是移动通信和 IP 的深度融合,也是对现有移动通信方式的深刻变革。

移动 IP 化在核心网实现了 IP 综合承载,在无线网引入 IP UTRAN,UTRAN 的 Iu、Iur 和 Iub 接口上的用户数据和信令数据均通过 IP 技术承载。其显著的优势是:减少了网络层次、

降低网络处理复杂度；提升网络性能、减低网络成本、增强网络扩展灵活性、降低网络管理复杂度；支持基于 IP 的应用，推出 IP 和移动性相结合的新业务；面向未来，便于发展演进。

1.2 传输网发展历史回顾

光网络要发展需要有业务的驱动。十年前接入带宽有 2Mbit/s 已经足够，而现在 10Gbit/s 的业务随处可见。已经正式商用的 IPTV 业务对带宽的需求量是巨大的。专线业务市场现在也越来越大，甚至 10Gbit/s 带宽也有人租。此外，固定和移动网络正趋于融合，融合之后 IP 化加强了，带宽相应也会提升，融合之后如何进行网络结构优化是我们需要考虑的问题。在研究这个问题之前，我们先从需求推动的角度简要回顾一下传输网的发展历程。

图 1-4 抽象地显示了传送网发展的历史。光通信伊始，其主要面临的需求是对 TDM 电路业务的传送，一开始人们开发了 PDH 设备（图 1-4 (a)），该类设备在业务接口侧提供了 2Mbit/s（或 1.5Mbit/s）的基群接口。虽然有被称作是光的处理，但基本上是 5B/6B 码型和 1B1H 码型的电信号层处理。

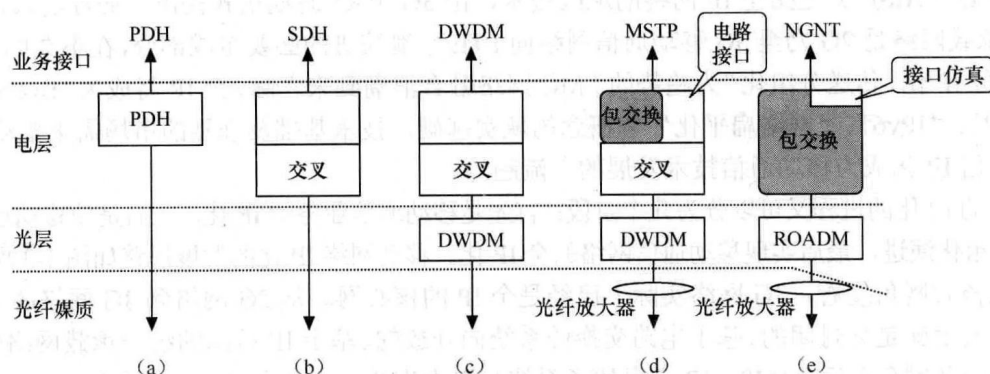


图 1-4 传送网的发展简史

自 20 世纪 90 年代开始，SDH 设备（图 1-4 (b)）通过同步性能的改善，首次提供了灵活的业务颗粒（如虚容器 VC-12 和虚容器 VC-4）调度能力，将传送网的组网和保护功能发挥得淋漓尽致。因而，SDH 技术作为传送网主体技术以其特有的优势在传送网中占据了绝对主导地位，为电信运营商业务的发展发挥了巨大作用。

WDM 设备（图 1-4 (c)）则首次拓展了光领域，充分利用光纤通信的波分特性，大大提高了传送网的容量。自 20 世纪 90 年代中期商用以来，WDM 系统发展极为迅速，已成为实现大容量长途传输的主流手段。不过，现阶段大多数 WDM 系统主要用在点对点的长途传输上，联网依然在 SDH 电层上完成。在条件许可和业务需要的情况下，在 WDM 系统中有业务上下的中间节点可采用 OADM 设备（图 1-4 (e)），从而避免使用昂贵的 OTU 进行 O-E-O 变换，节省网络建设成本，增强网络灵活性。目前具有固定波长上下的 OADM 已经广泛商用，而能够通过软件配置灵活上下波长的动态可重构 OADM（ROADM）也开始步入市场。同时随着 160×10Gbit/s DWDM 系统的成熟，在业务量大的地区新建 WDM 系统已越来越多地引入 80/160×10Gbit/s 的系统。

面对电信业务的加速数据化和 IP 化以及多样化的业务环境，SDH 技术加强了支撑数据业务