

电信网分组传送技术

IPRAN/PTN

迟永生 王元杰 杨宏博 裴小燕◎编著

中国联通运营公司副总裁韩志刚推荐

中讯邮电咨询设计院、中国联通网络技术研究院、中国联通集团运行维护部、中国联通集团技术部、中国联通集团网络建设部、中国联通山东省分公司等单位权威专家支持

涉及华为、中兴、烽火等厂商设备



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电信网分组传送技术 IPRAN/PTN

迟永生 王元杰 / 编著
杨宏博 裴小燕

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

电信网分组传送技术IPRAN/PTN / 迟永生等编著. --
北京 : 人民邮电出版社, 2017.5
ISBN 978-7-115-45345-7

I. ①电… II. ①迟… III. ①移动通信—宽带通信系
统 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第065079号

内 容 提 要

本书主要剖析了电信网新技术 IPRAN 与 PTN 的不同以及在各运营商中的应用现状; 讲解了 IP 路由基础知识、IPRAN 动态路由协议 (OSPF、IS-IS、BGP 协议) 基础知识、MPLS 和 VPN 基础知识、IPRAN 保护技术、同步技术、安全技术、网管系统、业务配置、设备以及发展趋势等方面的相关知识, 涉及华为、中兴、烽火等设备厂商。

-
- ◆ 编 著 迟永生 王元杰 杨宏博 裴小燕
责任编辑 李 静
执行编辑 王国霞
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
固安县铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20 2017 年 5 月第 1 版
字数: 468 千字 2017 年 5 月河北第 1 次印刷
-

定价: 88.00 元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316
反盗版热线: (010) 81055315

编 委 会

主 编

- | | |
|-----|-------------------------------------|
| 迟永生 | 中讯邮电咨询设计院有限公司副总经理
中国联通网络技术研究院副院长 |
| 王元杰 | 中国联通山东省分公司网络管理中心 |
| 杨宏博 | 中国联通集团运行维护部数据网处 |
| 裴小燕 | 中国联通技术部技术战略处经理 |

副 主 编

- | | |
|-----|----------------------|
| 王光全 | 中国联通网络技术研究院网络技术研究部主任 |
| 梁友 | 中国联通集团运行维护部数据网处经理 |
| 孙新莉 | 中国联通集团运行维护部传送网支撑处经理 |
| 张晶晶 | 中国联通集团网络建设部传输网处副经理 |
| 李永太 | 中国联通山东省分公司网络管理中心总经理 |

委 员

- | | |
|-----|-------------|
| 廖军 | 中国联通网络技术研究院 |
| 张贺 | 中国联通网络技术研究院 |
| 叶华 | 中国联通集团运行维护部 |
| 陈强 | 中国联通集团运行维护部 |
| 史正思 | 中国联通集团运行维护部 |
| 郑滢雷 | 中国联通网络技术研究院 |
| 庞冉 | 中国联通网络技术研究院 |
| 黄永亮 | 中国联通网络技术研究院 |
| 赵良 | 中国联通网络技术研究院 |
| 马铮 | 中国联通网络技术研究院 |
| 朱琳 | 中国联通网络技术研究院 |
| 王海军 | 中国联通网络技术研究院 |
| 曹畅 | 中国联通网络技术研究院 |
| 刘琦 | 中国联通网络技术研究院 |
| 张立彬 | 中国联通山东省分公司 |

傅玉林
张明栋
方道铨
刘晓村
闫军

中国联通山东省分公司
中国联通山东省分公司
中国联通广东省分公司
中国联通湖北省分公司
中国联通济南市分公司

序

科技在不断进步，人类信息的传递方式在不断发生改变。从文字到语音，从图像到视频，信息量在以摩尔定律速度爆炸式地增长。人与人之间的信息交互不再限于文字和语音，而是面向各种信息元，信息以二进制码流的数据为主。未来信息化的进程将更为广泛，信息的交互不再仅限于人与人之间，全息信息的存储和转发会带来大量信息在网络中传送。

近年来，电信业务在悄然发生变化，随着移动技术的飞速发展及互联网业务的逐步普及，传统语音业务所占业务比例越来越小，数据业务逐步成为主流和发展的方向。2008年之前，电信网络主要以语音业务为主，自2008年电信运营商拉开3G网络建设的序幕，网络中语音业务占比不断下降，数据业务成为主流。2014年开始，随着4G技术大规模商用，移动带宽需求增长了10倍，语音业务成为网络的附加业务。

移动回传带宽从2G时代的2~4Mbit/s到LTE时代的240Mbit/s甚至1Gbit/s的带宽，承载的内容也从原有的TDM语音向数据过渡，网络传送的主要业务也从TDM业务向以太业务转换。此外，作为电信运营商重要业务收入的集团客户业务，也从原有单纯的语音专线到现在数据业务逐渐成为主流。

业务的总体趋势呈现为以太化、大颗粒化、智能化的通信需求，原有的传送技术随着业务的发展面临新的挑战。传统TDM/SDH独享管道的网络扩容模式难以支撑新的发展需求，分组传送技术PTN/IPRAN凭借丰富的业务承载类型、强大的带宽扩展能力，以及完备的服务质量保障能力，成为本地传输网络的不二之选。传统SDH/MSTP技术逐步被PTN、IPRAN替代的趋势日渐明显。近几年，基础通信运营商都开始在本地层面大量建设分组传送网络以适应网络发展变化的趋势，以满足本地综合多业务承载的需求。PTN侧重二层业务，整个网络由若干庞大的二层数据通道构成，最终通过在核心三层完成转发，如今，PTN已经成为中国移动现网最为主要的网络架构。IPRAN技术主要侧重三层路由功能，整个网络是基于IP报文的三层转发体系，中国联通已逐步在全国各省区市本地传送网中部署了基于IP/MPLS（含MPLS-TP）的IPRAN网络（也称UTN网络）；中国电信本地传输网络建设也以IPRAN为主。

IPRAN是近年来传输网IP化的新型解决方案，是传统IP技术和传输技术的有效结合，可归属于数据通信范畴。相对而言，传统传输运维人员在这方面的理论知识和实际经验比较欠缺，本书作者正是基于这一考虑，深入浅出地将数据通信和IPRAN有机结合，进行详细讲解。本书可作为网络工程师了解和学习分组传输技术原理的参考用书，可供电信网数据通信领域的一线工作人员参考，也可供大中专院校的师生和通信公司新入职

员工学习。

本书内容丰富，行文通俗易懂，形式活泼生动，必将给读者带来不同的阅读体验，相信大家能在轻松的氛围中学到更多的 IPRAN 技术知识。

中国联通运营公司副总裁



2017 年 3 月

前 言

随着运营商 3G/4G 无线网络的规模建设，移动业务对传送承载网络在带宽、时延、抖动、用户感知、同步性能等方面都提出了更高的要求，传统的基于 TDM 交换的 SDH/MSTP 已经不能适应网络的飞速发展，基于分组交换的 IPRAN/PTN 逐渐成为主流的传送承载技术，国内三大运营商从 2009 年左右就基本停止了 SDH/MSTP 网络的建设，从而转向 IPRAN/PTN 网络的规模建设。

针对网络技术发生的革命性变化，负责网络规划、建设和维护的工程技术人员以及电信网数据通信领域人员等急需一本通俗易懂的专业图书进行学习，跟上网络技术发展的步伐。

《电信网分组传送技术 IPRAN/PTN》由中讯邮电咨询设计院、中国联通网络技术研究院、中国联通集团运行维护部、中国联通集团技术部、中国联通集团网络建设部、中国联通山东省分公司等单位的多名专家联合编著而成，可供电信网数据通信领域的一线工作人员参考，也可供大中专院校的师生和通信公司新入职员工学习。

本书技术水平在行业内达到先进水平，主要剖析了电信网新技术 IPRAN 与 PTN 的不同，以及在各运营商中的应用现状；讲解了 IP 路由基础知识、IPRAN 动态路由协议（OSPF、IS-IS、BGP 协议）基础知识、MPLS 和 VPN 基础知识、IPRAN 保护技术、同步技术、安全技术、网管系统、业务配置、设备，以及发展趋势等方面的相关知识，涉及华为、中兴、烽火等设备厂商。

本书在创作过程中，得到了各级领导的大力支持，特别感谢中国联通运营公司副总裁韩志刚为本书作序，同时编委会各位成员齐心协力，团结合作共同完成了本书的创作，在此感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2017 年 3 月

目 录

第 1 章 传送技术基础	1
1.1 电信网架构	1
1.2 本地网结构	2
1.3 IP 城域网结构	4
1.4 有线接入网结构	5
1.5 本地传输网结构	6
1.6 传输技术概述	7
1.7 移动通信技术	8
1.8 移动回传网结构	14
第 2 章 PTN/IPRAN 概况	17
2.1 IPRAN 产生背景	17
2.2 IPRAN 技术架构	21
2.3 PTN/IPRAN 应用	22
2.4 PTN/IPRAN 标准	23
2.5 IPRAN 网络架构	25
2.6 IPRAN 关键技术	27
2.7 PTN/IPRAN 比较	30
第 3 章 IP 路由基础	33
3.1 OSI 模型	33
3.2 TCP/IP 参考模型	34
3.3 MAC 地址	39
3.4 IP 地址的结构和分类	41
3.5 基础网络词语	47
3.6 VLAN 概述	48
3.7 常见中继设备介绍	51
3.8 IPRAN 中的 IP 地址分配	68
第 4 章 动态路由协议	71
4.1 动态协议基础	71

4.2	IS-IS 协议	73
4.3	IPRAN 中 IS-IS 的应用	82
4.4	OSPF 协议	86
4.5	IPRAN 中 OSPF 的应用	91
4.6	BGP 协议	93
4.7	IPRAN 中 BGP 的应用	99
第 5 章	MPLS 基础知识	104
5.1	MPLS 发展概述	104
5.2	MPLS 的工作原理	108
5.3	MPLS VPN	112
5.4	MPLS 流量工程	117
5.5	PWE3	117
5.6	三层 VPN	121
5.7	MPLS VPN 中的隧道标签分发	133
5.8	BGP 的路由控制	138
5.9	VPN 在 HVPN 解决方案中的应用	141
第 6 章	IPRAN 保护技术	144
6.1	FRR 技术概念	144
6.2	BFD 技术原理	144
6.3	设备本地保护	148
6.4	传输通道保护	154
6.5	业务保护	156
6.6	网间保护	158
6.7	IPRAN 保护技术实现	163
第 7 章	仿真/QoS/OAM 技术	166
7.1	仿真技术	166
7.2	QOS 技术	167
7.3	OAM 技术	174
第 8 章	IPRAN 同步技术	179
8.1	同步概念	179
8.2	同步需求	186
8.3	频率/时间同步	187
8.4	IPRAN 设备和基站设备功能及性能要求	197
8.5	同步定时链路的组织	200
8.6	频率/时间层的协调和选源要求	202

8.7 IPRAN 同步的实现	206
第 9 章 IPRAN 安全技术	213
9.1 IPRAN 的安全防护	213
9.2 IPRAN 安全防护建议	215
第 10 章 IPRAN 业务承载	218
10.1 承载业务方案	218
10.2 TDM 业务承载	221
10.3 以太业务承载	222
第 11 章 IPRAN 网管系统	227
11.1 网管分层模式	227
11.2 DCN 自动发现网元	228
11.3 网管系统基本功能	229
11.4 秒级流量监测	255
11.5 告警相关性	258
第 12 章 IPRAN 设备	259
12.1 设备分类	259
12.2 设备功能要求	259
12.3 设备性能要求	266
12.4 主流厂家设备简介	267
12.5 华为 IPRAN 设备	267
12.6 烽火 IPRAN 设备	275
12.7 中兴 IPRAN 设备	284
第 13 章 IPRAN 互通技术	288
13.1 概述	288
13.2 互通要求	288
13.3 互通组网	290
13.4 互通应用	294
第 14 章 IPRAN 维护经验	298
14.1 站点环境及电源相关器件	298
14.2 测试连接器件和线缆	298
14.3 操作终端和连接线	299
14.4 仪表和专用连接器件	299

14.5	通信联系保证	299
14.6	测试准备工作	299
第 15 章	IPRAN 技术发展	300
15.1	软件定义网络 SDN	300
15.2	SDN 在 IPRAN 中的应用	304
15.3	SDN 引入思路与长期演进形式	307
15.4	IPRAN/OTN 共同组网	308

第 1 章 传送技术基础

传送网是当代通信网络的基础设施，在电力、交通、政府、教育、金融、能源等行业信息化中扮演着通信网络基石的角色。近年来，云计算、物联网、移动互联网等网络和业务应用方兴未艾，对底层的传送网提出了很高的带宽和承载需求。

1.1 电信网架构

电信网（telecommunication network）是构成多个用户相互通信的多个电信系统互连的通信体系，是人类实现远距离通信的重要基础设施，利用电缆、无线、光纤或者其他电磁系统，传输、发送和接收标识、文字、图像、声音或其他信号。

从网络功能上，电信网可以分为传送网、业务网、支撑网和物理承载网。传送网包括传输网和接入网等；业务网指向用户提供电信业务的网络，如固定电话网、移动电话网、数据通信网、互联网等；支撑网指为保证业务网正常运行，用于传递控制、监测和信令等信号的网络，包含 7 号信令网、数字同步网、管理网等；物理承载网指为传送网提供物理承载的网络，包含管道网、杆路网、光缆网和电缆网等。图 1.1 所示为电信网分类。

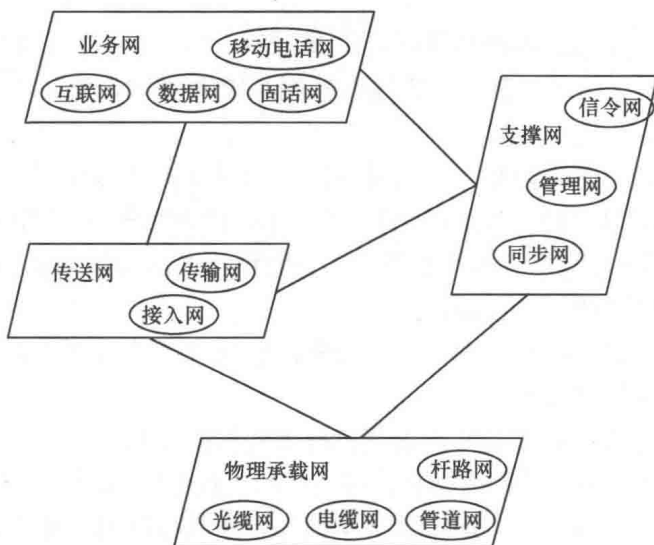


图 1.1 电信网分类

按照建设及维护模式（或按照覆盖范围），电信网分为一级干线（省际干线）、二级干线（省内干线，含长长中继）和本地网。图 1.2 所示为电信网分层示意图。

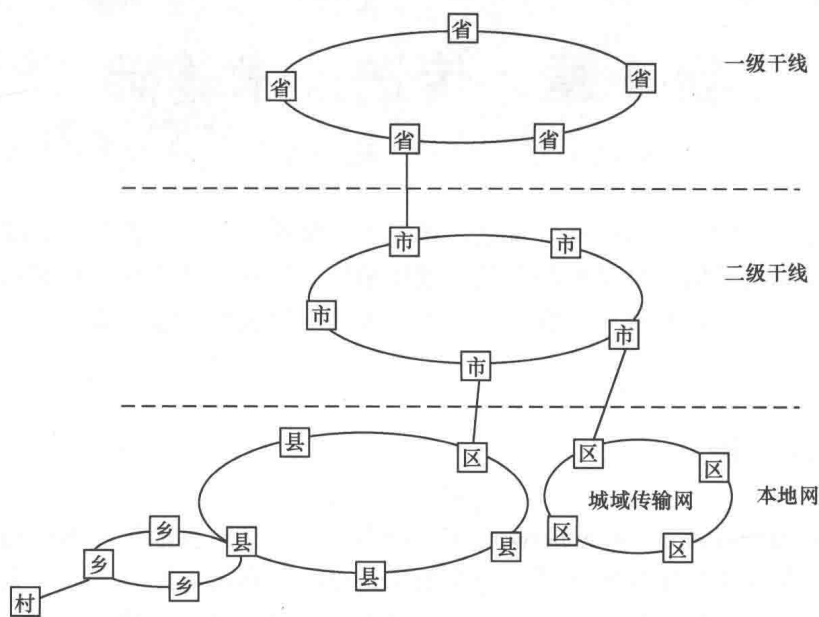


图 1.2 电信网分层

各省会（自治区政府所在地、直辖市）之间的长途网为一级干线，省内不同地市本地网之间的长途网，以及相邻省本地网之间的不属于一级干线的长途网统称二级干线，同一个地市本地网内的系统统称为本地网。

1.2 本地网结构

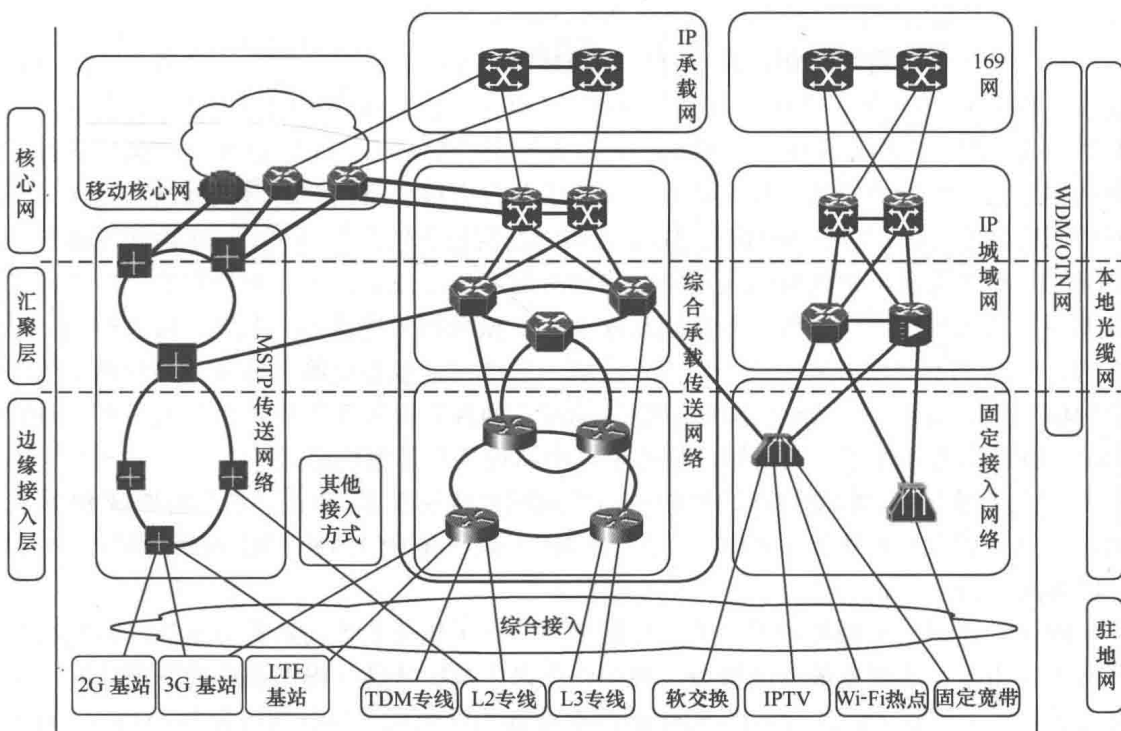
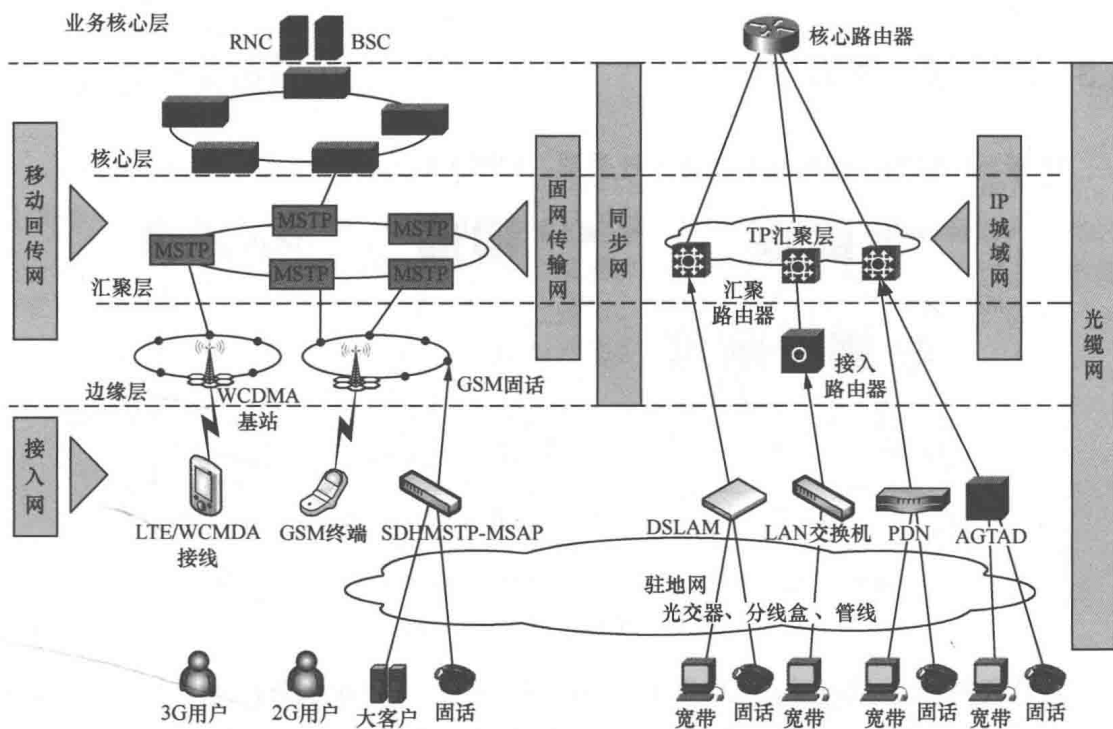
传统的本地网主要包括本地传输网、IP 城域网、宽带接入网、同步网、光缆网等，具体网络结构如图 1.3 所示。其中，本地传输网、IP 城域网、宽带接入网是本地承载的重点内容。

在移动回传分组化的大趋势下，当前本地传输网以传送移动回传业务为主，主要采用 PTN/IPRAN、WDM/OTN、SDH/MSTP 等技术，IP 城域网采用 IP 技术，宽带接入网则主要以 xPON 和 DSL 为主。本地承载的重要角色也过渡为以 IPRAN/PTN 网络为代表的本地承载网和 IP 城域网、接入网为主。

光缆网络和管道是各种网络的基础网络资源，同步网络为 SDH 等传送网络及相关业务网络的正常运行提供支撑。

某运营商城域综合承载传送网的近期目标架构如图 1.4 所示。

本地网采用“两张网”的网络架构，即传统的“数据城域网”承载普通互联网业务、IP 互联网专线及 IPTV 等业务；IPRAN（本地综合承载传送网）承载以基站回传业务、移动软交换、固定软交换、IMS、集团客户业务，以及其他网内业务等为主的电信级业务。



1.3 IP 城域网结构

IP 城域网的网络结构基本分为 3 种类型，如图 1.5 所示。

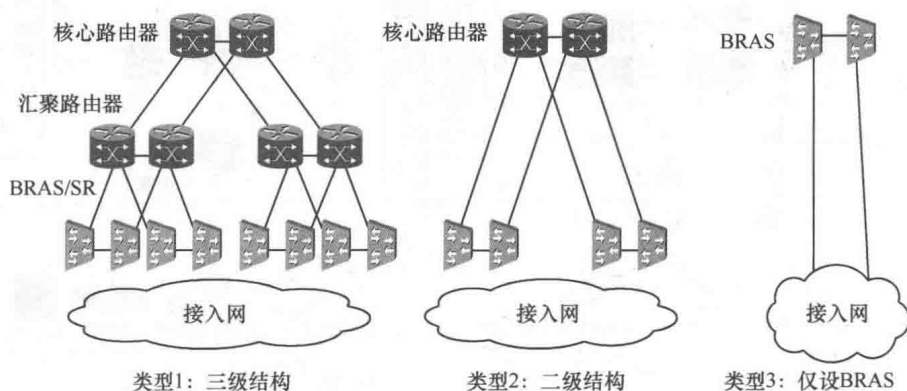


图 1.5 IP 城域网网络结构图

运营商的 IP 城域网目前已经覆盖了全国本地网络。各地城域数据网基本符合城域网架构要求，但各城域网的规模差别巨大，在具体的组网结构、网络规模和技术部署方面存在差异，各城域网具有较大的差异性，BRAS 和 SR 设备平均数量存在较大差距，各城域网的出口带宽和利用率也差别很大，带宽从 1Gbit/s 至 1.6Tbit/s，利用率从 10%~90%，大部分城域网出口的带宽利用率在 50%以上。

以某个一级运营商为例，北方 10 省城域网容量大、覆盖广、结构完整，各地市均建设了独立 IP 城域网，合计共 107 个城域网。其中，直辖市均采用三层结构，其余北方 8 个省城域网结构相对简单，采用核心、接入控制二层结构。北方的 8 个省虽然进行了省网扁平化，但除个别省份外，各省均保留了两台省核心路由器，城域网核心直连骨干网的同时，还上连省网核心。南方 21 个省城域网规模和结构差异很大，东南部发达地区网络结构相对完善，中西部地区网络结构相对简单、覆盖范围小，部分省采用跨地市大城域网方式组网。一线城市业务量相对较大，IP 城域网采用核心、汇聚、接入控制三层结构。南方 211 个地市采用核心、接入控制二层结构，核心层绝大部分为两台路由器，个别城域网采用 3~4 台路由器作为核心。此外，西部省份等业务量较少的城域网仅设置 BRAS 设备作为本地接入控制层，核心层路由器设置在其他地市。

超大型城市由于软交换核心网和 3G PS 域网元数量较多，建立了独立的城域 IP 承载网。其中，省会城市建设了 NGN 承载网、3G 承载网和 IP RAN，3G 承载网和 IP RAN 已经实现了网络融合。

除了上述超大型城域网外，大部分城域网实现了部分业务的多业务承载，但均以互联网业务为主，语音业务占比很少，视频业务未能规模开展。根据业务的开展情况，大部分城域网部署了 MPLS VPN。对于承载多业务的城域网，部分城域网部署 QoS，QoS 一般仅在城域核心部分部署，用于业务的简单区分和质量保证。对于少量开展 IPTV 等业务的城域网，部署了组播。大部分 IP 城域网硬件支持 VPN 和 QoS 功能。

1.4 有线接入网结构

有线接入网结构及现状如图 1.6 所示，原有的老小区接入方式以 DSL 铜线接入为主，但 2008 年以来 PON（passive optical network，无源光纤网络）网络规模急剧增大。PON 接入已逐步替代原有的 DSL 铜线接入方式，光接入方式占了宽带接入的 60% 以上，并且随着光改的推进，这一比例在不断提高。近些年，随着国家光改大战略的逐步实施，原有的铜线接入仅在部分地区少量存在，作为光接入的补充手段。

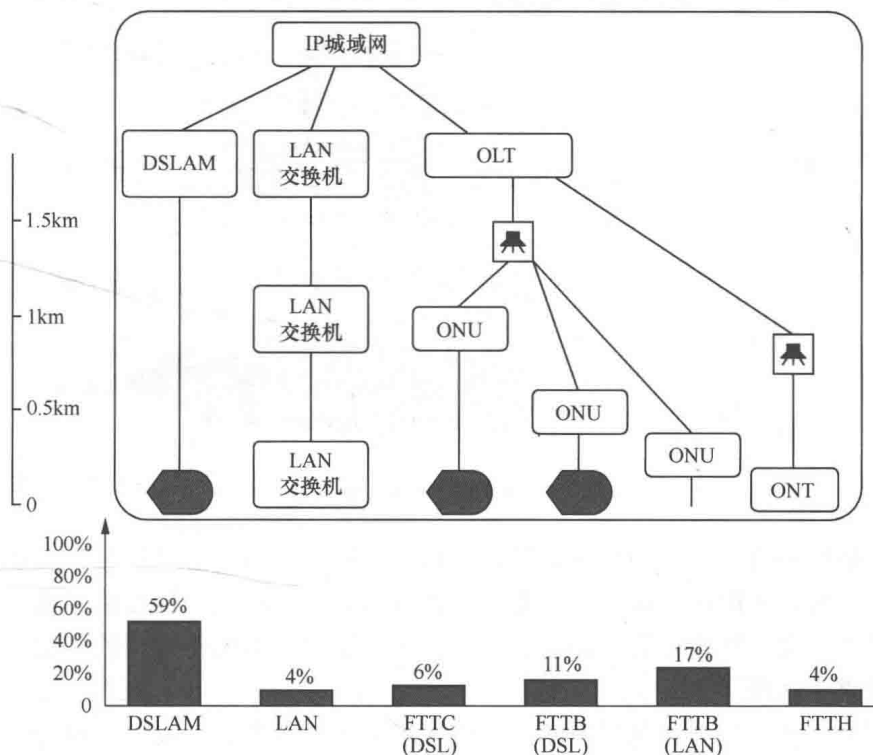


图 1.6 接入网结构及现状

从物理结构看，有线接入网以接入家庭客户为主，OLT 设备一般设置在端局，ONU 设置在家庭、小区和住宅楼附近。

从移动基站接入和固定用户接入的组网特点及业务经营模式来看，两个网络有较大的不同。移动基站具有一定的无线覆盖范围，而固定用户接入主要面向住宅小区和商务楼宇，两种覆盖有不同的特点和规律，很难实现两个接入网资源的融合，两种业务接入网络可以在接入主干光缆上实现资源共享，而在系统组织上则需要分别组织。

目前，FTTH 是各运营商有线接入的发展目标，xPON 则是家庭用户和商务楼宇接入的主要技术手段。在满足固定接入的同时，充分综合考虑建设和维护成本、网络现状等因素，xPON 设备还可作为解决移动室内分布传输的补充手段，利用现有接入网的空闲端口来解决移动回传网络的深度覆盖问题。但由于设备特点、组网和保护技术与传统