

信息与通信网络技术丛书

# 综合业务承载网 规划设计手册

**Comprehensive Carrier Network  
Planning and Design Handbook**

李 劲 陈佳阳 肖凯文◎编著

结合工程实际，给出最佳业务承载方案，  
提供清晰的思路和可操作方法



 **人民邮电出版社**  
POSTS & TELECOM PRESS

信息与通信网络技术丛书

# 综合业务承载网 规划设计手册

**Comprehensive Carrier Network  
Planning and Design Handbook**

李 劲 陈佳阳 肖凯文 ○ 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

综合业务承载网规划设计手册 / 李劲, 陈佳阳, 肖凯文编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2015. 1  
(信息与通信网络技术丛书)  
ISBN 978-7-115-37092-1

I. ①综… II. ①李… ②陈… ③肖… III. ①通信网—网络设计—手册 IV. ①TN915.02-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第255951号

## 内 容 简 介

本书列举了运营商提供的各类业务, 并基于 QoS 及网络安全性等维度将业务分为四大类。根据四大类业务对承载网的需求, 提出了综合业务承载网的目标架构及建设思路; 然后根据综合承载网的目标架构, 将网络划分为接入承载网及城域承载网两个层级, 并分别进行规划方法的论述。

本书内容丰富, 实用性强, 可作为业务承载网工程技术人员、管理人员、电信运营商的参考书或培训教材, 也可作为高等院校相关专业的教材或参考书。

- 
- ◆ 编 著 李 劲 陈佳阳 肖凯文  
责任编辑 李 强  
责任印制 程彦红
  - ◆ 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>  
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 12.75 2015 年 1 月第 1 版  
字数: 307 千字 2015 年 1 月北京第 1 次印刷
- 

定价: 49.00 元

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

# 前 言

随着三网融合政策颁布以及无线 4G 无线网络牌照发放,各电信运营商都拥有了全业务牌照。以满足市场需求为导向,以客户为中心,以效益为目标,通过价值链合作提供话音、宽带接入、视频内容三重打包服务(Triple-play)将是未来各通信运营商主要商业模式。建立一张统一的综合业务 IP 承载网,满足各类业务承载的需求,是各通信运营商面临的主要课题。与之相适应,涉及综合业务承载网范围的技术和学术研究也非常活跃,出版了大量书籍和文献,为业内人士带来了很大的方便。然而,在基于光纤的综合业务承载网规划设计这个极具经济意义和社会意义的重要领域内,仍然还有许多问题有待深入研究。作者根据多年从事承载网规划、设计工作的经验和体会,融合近年来所承担的科技项目的有关成果,参考了一些兄弟单位和设备供应商的技术解决方案编写了本书,可以说是在这方面的初步尝试,也希望起到抛砖引玉的作用。

本书力求具有理论性、实用性、系统性和导向性,内容密切结合运营商网络现状,面向未来的网络架构,从理论上提出并论证了综合业务承载网架构模型。书中针对运营商提供的各类业务进行分析归类,提出相应的网络承载指标需求,综合考虑 QoS、网络可用度、保护倒换、同步等多个参数,给出在综合业务承载网建设各种场景下的最佳业务承载方案,并紧密结合工程实际,结合具体项目案例详细介绍了综合业务承载网的规划、设计方法,并与理论模型相印证,为综合业务承载网有序演进提供了清晰的思路和可操作的方法。

本书内容丰富,实用性强,涉及综合业务承载网规划方法、案例等内容。可作为综合业务承载网工程技术人员、管理人员、电信运营商的参考书或培训教材。

本书由李劲组织策划并负责第 4 章、第 5 章、第 8 章的编写,陈佳阳负责第 1 章、第 2 章、第 3 章的编写,肖凯文负责第 6 章、第 7 章的编写,李想、刘瑞繁也参与了本书的编写和整理工作。

在本书的撰写过程中,得到了湖北邮电规划设计有限公司的王庆总工程师的热切关心和悉心指导,对本书内容的组织和写作方向提供了极有价值的指导和建议。

感谢所有对本书撰写和出版给予关心、支持和帮助的人。

由于作者学识有限,偏颇和不当之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

作者

2014 年 7 月于武汉

# 目 录

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 第 1 章 承载网概述..... 1                    |  |
| 1.1 承载网概念与定位 ..... 1                  |  |
| 1.1.1 骨干承载网 ..... 1                   |  |
| 1.1.2 城域承载网 ..... 2                   |  |
| 1.1.3 接入承载网 ..... 2                   |  |
| 1.2 承载网的演进 ..... 3                    |  |
| 1.2.1 承载网的发展历史 ..... 3                |  |
| 1.2.2 现阶段承载网介绍 ..... 3                |  |
| 1.2.3 综合业务承载网建设<br>目标..... 4          |  |
| 1.3 承载网相关技术 ..... 4                   |  |
| 1.3.1 铜缆接入技术 ..... 4                  |  |
| 1.3.2 PON 技术 ..... 5                  |  |
| 1.3.3 PTN/IP RAN 技术..... 9            |  |
| 1.3.4 IP 技术.....11                    |  |
| 1.3.5 MPLS 技术..... 12                 |  |
| 1.3.6 OTN 技术..... 12                  |  |
| 1.3.7 无线接入技术 ..... 13                 |  |
| 第 2 章 综合业务承载网..... 15                 |  |
| 2.1 承载业务的分类 ..... 15                  |  |
| 2.2 承载业务的网络质量需求 ..... 15              |  |
| 2.2.1 网络指标 ..... 16                   |  |
| 2.2.2 各类业务的需求 ..... 18                |  |
| 2.3 综合承载网建设思路及目标<br>架构 ..... 24       |  |
| 2.4 综合承载网业务承载模式 ..... 26              |  |
| 第 3 章 PON 网络规划 ..... 31               |  |
| 3.1 PON 网络结构及应用 ..... 31              |  |
| 3.1.1 PON 的基本结构 ..... 31              |  |
| 3.1.2 光线路终端 ..... 32                  |  |
| 3.1.3 光分配网 ..... 33                   |  |
| 3.1.4 光网络单元 ..... 34                  |  |
| 3.1.5 PON 的应用模式 ..... 34              |  |
| 3.2 FTTH 组网模式 ..... 35                |  |
| 3.2.1 主要内容与目标 ..... 35                |  |
| 3.2.2 光纤接入网应采用树形<br>为主的拓扑结构..... 36   |  |
| 3.2.3 分光器部署原则 ..... 39                |  |
| 3.3 PON 网络规划 ..... 41                 |  |
| 3.3.1 PON 网络规划原则 ..... 41             |  |
| 3.3.2 PON 网络规划流程 ..... 42             |  |
| 3.3.3 PON 网络规划准备 ..... 43             |  |
| 3.4 PON 网络规划方法 ..... 51               |  |
| 3.4.1 PON 网络规划步骤 ..... 52             |  |
| 3.4.2 PON 用户密度区预测<br>方法及举例 ..... 52   |  |
| 3.4.3 PON OLT 覆盖区规划<br>方法及举例 ..... 54 |  |
| 3.4.4 PON 分光区规划方法<br>及举例 ..... 58     |  |
| 3.4.5 接入光缆网规划方法 ..... 60              |  |
| 3.5 接入网规划的实施 ..... 65                 |  |
| 3.5.1 市场驱动的思路 ..... 65                |  |
| 3.5.2 整体推进的方法 ..... 65                |  |
| 3.6 PON 业务承载及指标分析 ..... 66            |  |
| 3.6.1 业务承载 ..... 66                   |  |

|                                   |                                |           |                                 |                                            |            |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------------------------|------------|
| 3.6.2                             | PON 承载网性能 .....                | 68        | 5.3.2                           | 流量测算方法 .....                               | 102        |
| 3.6.3                             | PON 承载网对移动回传的承载 .....          | 72        | 5.4                             | 综合业务承载方案 .....                             | 103        |
| <b>第 4 章 IP RAN/PTN 接入网 .....</b> |                                | <b>73</b> | 5.4.1                           | 网络扩容方案 .....                               | 104        |
| 4.1                               | 承载业务需求分析 .....                 | 74        | 5.4.2                           | IP 地址规划 .....                              | 110        |
| 4.1.1                             | 3G 基站回传承载业务需求 .....            | 74        | 5.4.3                           | 路由部署 .....                                 | 111        |
| 4.1.2                             | LTE 承载需求 .....                 | 74        | 5.4.4                           | QoS 部署 .....                               | 112        |
| 4.1.3                             | 政企客户承载业务需求 .....               | 74        | 5.4.5                           | 网络安全 .....                                 | 116        |
| 4.2                               | 相关技术 .....                     | 75        | <b>第 6 章 城域网新技术的演进 .....</b>    |                                            | <b>119</b> |
| 4.3                               | IP RAN 组网规划 .....              | 75        | 6.1                             | 城域网核心路由器的建设演进路线 .....                      | 119        |
| 4.3.1                             | 网络架构规划 .....                   | 75        | 6.1.1                           | 升级为 40G 平台 (2+2) 路由器或 100G 平台单机路由器对比 ..... | 119        |
| 4.3.2                             | 资源规划 .....                     | 79        | 6.1.2                           | 城域网核心路由器上联链路调整方案 .....                     | 121        |
| 4.3.3                             | 路由部署 .....                     | 81        | 6.1.3                           | 结论 .....                                   | 121        |
| 4.3.4                             | 业务部署 .....                     | 81        | 6.2                             | 城域网 100G 技术的建设演进路线 .....                   | 123        |
| 4.3.5                             | QoS 部署 .....                   | 83        | 6.2.1                           | 技术演进路线 .....                               | 123        |
| 4.3.6                             | 时钟同步部署 .....                   | 85        | 6.2.2                           | 网络现状与需求分析 .....                            | 125        |
| 4.3.7                             | 网管部署 .....                     | 86        | 6.2.3                           | 网络建设方案 .....                               | 126        |
| 4.3.8                             | 现有接入传输网投资保护 .....              | 87        | 6.2.4                           | 主要结论 .....                                 | 128        |
| 4.4                               | PTN 组网方案介绍 .....               | 87        | 6.3                             | IPv6 演进方案 .....                            | 128        |
| 4.4.1                             | 端对端的 L2 组网方案 .....             | 87        | 6.3.1                           | IPv6 技术演进需求及现状分析 .....                     | 129        |
| 4.4.2                             | PTN 核心层支持 L3 MPLS VPN 方案 ..... | 88        | 6.3.2                           | IPv6 技术演进总体路线 .....                        | 131        |
| 4.4.3                             | 节点设置原则 .....                   | 89        | 6.3.3                           | 演进策略建议 .....                               | 133        |
| 4.4.4                             | 方案建议 .....                     | 90        | <b>第 7 章 城域承载网多专业协同规划 .....</b> |                                            | <b>135</b> |
| <b>第 5 章 城域综合承载网规划 .....</b>      |                                | <b>91</b> | 7.1                             | 城域承载网业务、技术发展趋势、组网基本原则及规划方法 .....           | 135        |
| 5.1                               | 城域网网络模型 .....                  | 91        | 7.1.1                           | 重点业务承载 .....                               | 135        |
| 5.1.1                             | 城域网的定位 .....                   | 91        | 7.1.2                           | 宽带接入网 .....                                | 137        |
| 5.1.2                             | 城域网组网架构 .....                  | 92        | 7.1.3                           | IP 城域网 .....                               | 138        |
| 5.2                               | 网络指标分析及业务承载方案 .....            | 93        | 7.1.4                           | 城域传输和光缆网 .....                             | 140        |
| 5.2.1                             | 指标分析 .....                     | 93        | 7.1.5                           | IP RAN 网络规划方法和步骤 .....                     | 142        |
| 5.2.2                             | 互联网接入业务实现 .....                | 97        |                                 |                                            |            |
| 5.2.3                             | 对 IPTV 业务的支持 .....             | 98        |                                 |                                            |            |
| 5.2.4                             | 对软交换网络的支持 .....                | 98        |                                 |                                            |            |
| 5.2.5                             | 企业互连业务实现 .....                 | 99        |                                 |                                            |            |
| 5.3                               | 城域承载网建设原则和流量测算 .....           | 101       |                                 |                                            |            |
| 5.3.1                             | 网络建设总体原则 .....                 | 101       |                                 |                                            |            |

|                            |            |                                      |            |
|----------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| 7.1.6 协同规划主要流程 .....       | 142        | 8.3 系统功能需求 .....                     | 157        |
| 7.2 协同规划经验介绍 .....         | 144        | 8.3.1 业务运营支撑能力 .....                 | 157        |
| 7.2.1 组织、流程经验总结 .....      | 144        | 8.3.2 网管的“4个基础能力” .....              | 159        |
| 7.2.2 具体案例介绍 .....         | 146        | 8.4 系统接口要求 .....                     | 160        |
| 7.2.3 协同规划存在的主要问题和建议 ..... | 154        | 8.5 系统性能指标 .....                     | 161        |
| <b>第8章 城域承载网综合网管</b> ..... | <b>155</b> | 8.6 城域综合网管系统组成 .....                 | 162        |
| 8.1 城域承载网综合网管需求分析 .....    | 155        | <b>附录1 1588v2 光纤不对称性补偿方案探讨</b> ..... | <b>163</b> |
| 8.2 系统定位 .....             | 155        | <b>附录2 城域承载网流量预测方法实例</b> .....       | <b>167</b> |
| 8.2.1 IP 网络管理目标网管架构 .....  | 155        | <b>附录3 IPRAN 组网可用度分析</b> .....       | <b>186</b> |
| 8.2.2 和其他 IT 系统的关系 .....   | 156        | <b>参考文献</b> .....                    | <b>196</b> |
| 8.2.3 管理对象及容量要求 .....      | 156        |                                      |            |

# 第 1 章

## 承载网概述

### 1.1 承载网概念与定位

承载网定义为一张或一系列的网络，可以为城市、乡镇间提供链接。中国电信、中国联通、中国移动等通信运营商都部署有独立的运营商承载网，其功能主要是传输及分发大量网络带宽，实现接入网、核心网络节点及其他网络节点间的通信，同时还为各类公众用户、商业客户及研发机构相关的宽带业务提供基础通信保障。

通常运营商承载网都由大量高性能硬件设备组成，通过将这些网元设备连接起来形成区域通信能力，为各类用户提供各种通信业务。根据承载网的定义及功能，在运营商整体网络体系中，承载网处于各类业务提供平台、承载控制系统与业务终端网元设备之间。根据覆盖的范围及发挥的功能，目前运营商承载网在逻辑上分为 3 个层次：骨干承载网、城域承载网和接入承载网，融合了 IP、SDH/MSTP、OTN、DWDM、IP RAN、PTN 及 PON 多种技术的混合组网，如图 1.1 所示。

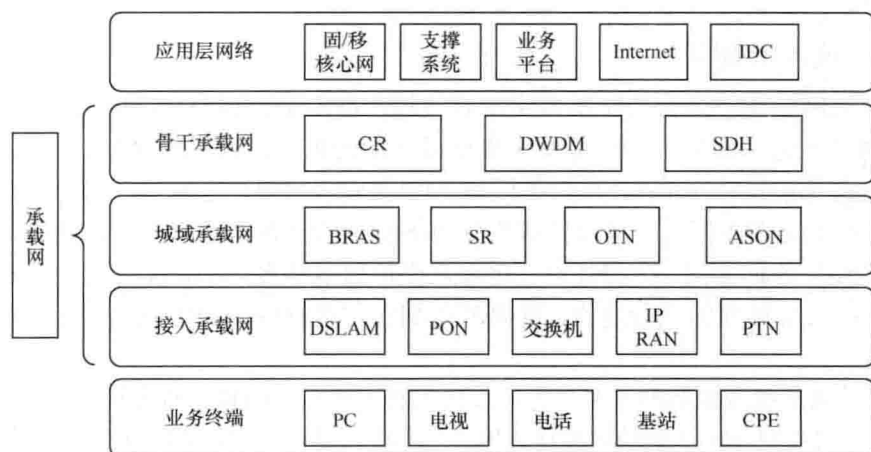


图 1.1 承载网划分

#### 1.1.1 骨干承载网

骨干承载网指用来连接多个城域网及地区网的高速承载网络，每个骨干承载网都部署有与其他 Internet 骨干网进行包交换的连接点。不同的运营商都拥有自己的骨干承载网，

以独立于其他网络运营商。目前我国拥有七大骨干网：中国公用计算机互联网（ChinaNet）、中国移动互联网（CMNET）、中国联通互联网（China169）、中国教育和科研计算机网（CERNET）、中国科技网（CSTNET）、中国长城网（CGWNET）、中国国际经济贸易互联网（CIETNET）。

当前大型运营商的骨干承载网通常由 IP 骨干网络和光传输骨干网络组成。其中，IP 网负责数据的分组和转发，作为城域网的上一级网络，承担着城域网访问外网的出口及城域网之间互通的枢纽作用，IP 骨干网采用层次化设计，分为 IP 省干网和 IP 骨干网两个层次，IP 省干网互联省内所有城域网，IP 骨干网互联所有省干网和国际互联关口局、运营商互联关口局。光传输网负责大容量数据的传输，并为 IP 网络提供光通道，通常采用 OTN、DWDM 及 SDH 设备组成。这两张网络是分层实施规划建设和独立运维管理的。

### 1.1.2 城域承载网

城域承载网，就是在城市范围内，以 IP、SDH 及 WDM 通信技术为基础，以光纤作为传输媒介，集数据、话音、视频服务于一体的高带宽、多功能、多业务接入的多媒体通信网络。它主要为互联网用户群的宽带高速上网业务提供服务，同时也可以满足政府机构、金融保险、大中小学校、公司企业等单位对高速率、高质量数据通信业务日益旺盛的需求，特别是互联网用户群对宽带高速上网的需求。目前运营商的城域承载网包括城域传送网及城域数据网。

城域传送网：以多业务光传输网络为基础，采用 OTN、DWDM、SDH 等多种传输技术，为各类业务和通信协议提供综合传送平台。

城域数据网：是城域内由路由器、以太网交换机等设备组成的网络。介于 IP 骨干网与接入承载网之间，提供多种业务的城域内互联以及骨干网的接入，并且保证各类业务的安全性和服务质量，实施业务分流、感知和控制功能等。

### 1.1.3 接入承载网

接入承载网是整个运营商基础网络中规模较大的部分，其投资比重占运营商基础网络建设投资的很大的一部分。它既是整个基础通信网的窗口，也称为“最后一公里”。接入承载网由业务节点接口（SNI）和相关用户-网络接口（UNI）之间的一系列传送实体（如线路设施和传输设施）组成，是为传送电信业务提供所需传送承载能力的实施系统。接入承载网建设涉及传输方式、应用场合、建设及维护成本等多方面，没有一种技术能适合所有的情况。接入承载网的规划建设，既要考虑到它与现存网络的关系，还要考虑到未来网络的发展。

目前，运营商接入承载网主要分为有线接入和无线接入两种。有线接入网包括铜线接入网、光纤接入网和混合光纤铜轴电缆接入网。无线接入网包括固定无线接入网和移动接入网。各种接入方式的具体实现技术多种多样，各具特色。

有线方式主要采用如下几种方式来实现接入：一是在原有铜线的基础上通过采用先进的数字信号处理技术，提高双绞铜线对的传输容量，进而提供多种业务；二是以光纤作为传输媒介，实现光纤到路边、光纤到大楼和光纤到家等多种形式的接入；三是 HFC（混合光纤铜轴电缆）方式，即在原有的 CATV 基础上，以光纤为主干传输，经同轴电缆实

现用户的接入。

无线接入主要采用固定接入和移动接入两种形式,涉及微波一点多址、微蜂窝、卫星通信和无线局域网等多种技术。当然,还有有线和无线相结合的综合接入方式。

## 1.2 承载网的演进

### 1.2.1 承载网的发展历史

电报是人类历史上第一项电信业务,其后贝尔发明的电话在 100 多年的时间里,甚至是今天仍占据电信业务的主流。程控交换机的发明使得通信成为人人都能用得起的生活必需品。与程控交换机的发展相对应,SDH 的发展使得电信承载网进入了 TDM 时代。20 世纪 80 年代计算机技术的发展迫切要实现异种机的互连,此时 TCP/IP 协议族应运而生,但新生的 IP 在大多数情况下是在 TDM 上承载的。人们很早就认识到通信的未来是多媒体话信。话音、数据和视频等需要一个统一的承载平台,结合 PSTN 和分组的优点,ATM 作为新一代的承载网技术被提了出来。但是由于 Internet 的爆炸性发展形成了对 ATM 市场的挤压,以及 ATM 应用缺乏、技术复杂等原因,ATM 取代 TDM 作为电信承载网的希望破灭了。Internet 和计算机的良性互动,使 IP 统一了广域网、城域网和桌面系统的通信协议。人们在 IP 网上发展了大量的业务,如 Web、E-mail、电子贸易、IP 话音、IPTV 等。目前 IP 承载网已成为各大运营商的主要承载网络。

自用承载网脱离了单纯的电话网进入多业务领域后,新增的重要业务和技术都是以一个个独立的网络层面来实施的,这种分层结构便于管理运营和规划建设,但也不可否认,这种按“技术等于业务”方式建立的许多网络像一根根烟囱,各种业务都有自己的网络平台,注入电话网、ATM、互联网、MPLS、SDH、WDM 等。目前国内大型电信运营商通常至少有 10 多个这样的网络,不仅建设成本高,而且由于每一层的管理和控制方法是在不同历史条件和应用环境下发展起来的,各层的控制方法存在很大差异,整个网络的管理变得十分复杂,运营成本十分高昂。以电路配置为例,一个端对端的连接可能涉及不同的技术、不同层面、不同厂家、不同网管、不同协议、不同端口的配置,相当复杂,费时费力。

随着话音业务往 IP 化发展,以 TDM 为基础的 PSTN 承载网络已经逐步演进到以 IP 为基础的软交换通信网络,但是由于现在 IP 承载网络尚不能完全满足话音业务的实时性和高业务保障的要求,因此,固定话音业务通常采用传统的传输网络如 SDH/MSTP 等环形组网进行承载;同样,以早期话音业务为主的移动通信网络采用了与软交换网络相似的独立的承载网;而当宽带互联网业务、视频业务共同承载在宽带网络上,其骨干层设备由路由器、宽带接入服务器组成,接入层逐步从“铜缆+DSL”为主的接入方式向“光纤+PON”的接入方式演进。此外,以 ATM 为主的基础数据网也演进到了以 MSTP/IP 为主的承载网。

### 1.2.2 现阶段承载网介绍

近年来随着各类电信业务的迅猛发展,ALL IP 成为各主流运营商确定的网络和业务转型方向。一方面,随着无线网络从 2G 向 3G、4G LTE 演进,基站所提供的业务类型已从原有的 TDM 业务向 FE 业务、三层 IP 业务发展,而且不同阶段的业务类型对承载网技术的要求

也是不同的。2G 基站以 TDM 接口为主，3G 基站同时兼容 TDM 接口和 FE 接口，而 4G LTE 则是全 IP 化基站与基站之间的 X2 接口。现阶段各运营商正积极建设以 IP RAN/PTN 技术为主的移动承载网，逐步取代原有的 MSTP/SDH 承载网，在进一步提升 3G 网络性能的同时，也为下一步 4G LTE 的运营打下了良好的承载网基础。另一方面，以 IMS、软交换、IPTV 为代表的 IP 多媒体业务已经基本实现了 IP 承载网的统一承载。由于受用户的使用习惯限制，目前运营商承载网络中还存在 MSTP/SDH 及 ATM 承载网，为部分商业、政、企大客户提供专线业务。

### 1.2.3 综合业务承载网建设目标

目前运营商采用传统的“烟囱式”独立网络发展模式造成网络投资高、运维难等问题，同时宽带网络的多种业务由于缺乏有效的差异化策略部署而相互影响，这种模式下的网络承载现状显然不能很好地适应三网融合、4G 移动互联网业务、“宽带中国”战略等业务发展的需要。因此，需要建设一个高效的、适应业务发展需求的综合承载网络，在具备统一承载固定移动话音、视频及互联网应用等多种业务能力的同时，能满足各业务的带宽、质量及可靠性要求。

从整体网络演进的角度来看，传统的纵向网络体系正朝着分层、水平、融合的下一代宽带网络体系演进。结合目前运营商承载网络演进趋势现状及各类电信承载需求，本书尝试着提出通过建设一张基于 IP 技术承载网，实现公众互联网、大客户互联网、IPTV、3G 移动业务、NGN、MPLS VPN，以及未来 4G LTE、IMS 等各类电信业务的综合承载目标。

---

## 1.3 承载网相关技术

### 1.3.1 铜缆接入技术

铜线宽带接入技术也就是数字用户线（DSL）技术，主要包括高比特率数字用户线（HDSL）、非对称数字用户线（ADSL）和甚高速数字用户线（VDSL）。传统的铜线接入技术，即通过调制解调器拨号实现用户的接入，速率为 56kbit/s（通信一方为数字线路接入），但是这种速率远远不能满足用户对宽带业务的需求。虽然铜线的传输带宽非常有限，但是由于现在电话网非常普及，电话线占据着全世界用户线的 90% 以上。充分利用这些宝贵资源，需要先进的调制技术和编码技术。

全铜线接入网在双绞线上才有时间压缩复用（TCM）和回波消除技术来提高传输速率。但是，当传输速率增加到 T1（1554kbit/s）和 E1（2048kbit/s）时，串扰和符号间干扰迅速增加。为了改善通信质量，采用非对称数字用户线（ADSL）和甚高速数字用户线（VDSL）。

#### 1. 非对称数字用户线

1989 年，美国 Bellcore 首先提出非对称数字用户线（ADSL）技术。在实现 FTTH 比较困难的情况下，ADSL 考虑了用户线上传输视频信号和多媒体信号时上、下行带宽的不对称性。美国国家标准学会（ANSI）的 TIE 研究组制定了第一个 ADSL 标准（即 T1.413），其单工下行最高传输速率为 6.144Mbit/s。中国将 8.192Mbit/s 速率作为 ADSL 最高传送等

级速率。

双绞线上 ADSL 的用户频谱的分配如下：0~4kHz 频段传送话音基带信号，实现电话业务；20~120kHz 频段用来传送上、下行低速数据或控制信息，控制信息速率在 16~64kbit/s；高频段（124~1000kHz）的带宽用于传送下行高速数据；最新的 ADSL2+将频段扩展到 2.208MHz。

## 2. 甚高速数字用户线

另一种数字用户线技术是甚高速数字用户线（VDSL），这是一种在双绞线上能够提供最高传输速率达 55Mbit/s，传输距离为 0.3~1.5km 的技术。VDSL 的信道划分如下：0~4kHz 为用户传输电话业务；4~8kHz 为上行通道，用于传输中低速数据，速率可达 1.6Mbit/s；7000kHz 以上为下行通道，传输高速数据业务，最大下行速率分为 3 挡：1.5km 时为 12.96~13.8Mbit/s，1.0km 时为 25.92~27.6Mbit/s，0.3km 时为 51.84~55.2Mbit/s。由于技术等因素，最初的 VDSL 产品采用较低的上行速率。

在 VDSL 中，上、下行信道均使用 FDM（频分复用）技术，并与 POTS 和 ISDN 信号分开。上行也可采用 TDMA（时分多址）技术，此时上行信道相应采用 QPSK（四相相移键控）调制技术或 SLC（简单线路编码）技术。

VDSL 所要达到的目的是要在更短的距离上传输更多的信息，因此 VDSL 采用先进的编码技术，如 CAP、DMT、DWMT（离散小波多音频调制）和 SLC 等。为使传输误码率与压缩的视频信号相适应，VDSL 必须采用前向误码纠错方案，并采用交织技术，以纠正由于脉冲噪声产生的误码。

## 3. ADSL2/ADSL2+

ITU 于 2002 年完成 ADSL2（G.992.3，G.992.4），它延长了传输距离，引入了无缝数据适配技术，实现了线路实时改变和两端平滑同步，支持多线对端口绑定，支持智能管理及实时测试等功能。另外，ITU 在 2003 年完成 ADSL2+（G.992.5），频谱宽度从 1.1Mbit/s 提高到 2.2Mbit/s，下行速率在 0.9km 之内可达 24Mbit/s，1.2km 之内可达 20Mbit/s，1.5km 之内可达 16Mbit/s。

总的来说，xDSL 技术允许多种格式的数据、话音和视频信号通过铜线从局端传给远端用户，可以支持丰富的业务类型。其主要优点是能在现有 90%铜线资源上传输高速业务，解决光纤不能完全取代铜线“最后一公里”的问题。但 DSL 技术也有其不足之处：它们的覆盖范围有限（只能在短距离内提供高速数据传输），且一般是非对称的（通常下行带宽较高）。因此，这些技术只适用于一部分应用场景，可作为宽带接入的过渡技术——从发展的角度来看，基于铜质双绞线和同轴电缆的各种宽带接入技术都只是一种过渡性措施，可以暂时满足一部分比较有需求的新业务，但如果要真正解决宽带多媒体业务的接入，就必须将光纤引入接入网。

### 1.3.2 PON 技术

PON 指无源光网络（Passive Optical Network）又称被动式光网络，为光纤通信网络的一种，其特色为不用电源就可以完成信号处理，除了终端设备需要用到电以外，其中间的节点则以精致小巧的光纤元件构成。

PON 系统结构主要由中心局的光线路终端 (OLT)、包含无源光器件的光分配网 (ODN)、用户端的光网络单元/光网络终端 (ONU/ONT, 其区别为 ONT 直接位于用户端, 而 ONU 与用户之间还有其他网络, 如以太网) 及网元管理系统 (EMS) 组成, 通常采用点对多点的树形拓扑结构。在下行方向, IP 数据、语音、视频等多种业务由位于中心局的 OLT, 采用广播方式, 通过 ODN 中的 1:N 无源光分配器分配到 PON 上的所有 ONU 单元。在上行方向, 来自各个 ONU 的多种业务信息互不干扰地通过 ODN 中的 1:N 无源光合路器耦合到同一根光纤, 最终送到位于局端 OLT 接收端, 类似于点对点的结构。

PON 网络的突出优点是消除了户外的有源设备, 所有的信号处理功能均在交换机和用户宅内设备完成。而且这种接入方式的前期投资小, 大部分资金要推迟到用户真正接入时才投入。它的传输距离比有源光纤接入系统的短, 覆盖的范围较小, 但它造价低, 无需另设机房, 维护容易。因此这种结构可以经济地为居家用户服务。

PON 的复杂性在于信号处理技术。在下行方向上, 交换机发出的信号是广播式发给所有的用户。在上行方向上, 各 ONU 必须采用某种多址接入技术如时分多址 TDMA (Time-Division Multiple Access) 技术才能完成共享传输通道信息访问。目前用于宽带接入的 PON 技术主要有: EPON、GPON 及 10GE PON。

### 1. EPON

几乎与 APON 系统同时, IEEE 也成立了第一英里以太网 (EFM) 研究组, 在光纤接入网方面推出基于以太网的 EPON (以太网无源光网络), 为市场展示了很好的前景。该研究组归属制定以太网标准的 IEEE 802.3 组。同样, 它的研究范围也限于体系结构, 并要符合现有 802.3 的媒体接入控制 (MAC) 层功能。于 2004 年 4 月推出了 EPON 的标准 IEEE 802.3ah, 上、下行速率为 1Gbit/s (采用 8B/10B 编码后, 线路速率为 1.25Gbit/s), 结束了各 EPON 厂家采用私有协议开发设备的无标准状态。

EPON 是基于以太网技术的宽带接入系统, 它利用 PON 的拓扑结构实现以太网的接入。数据链路层的关键技术主要包括: 上行信道的多点控制协议 (MPCP), ONU 的即插即用问题, OLT 的测距和时延补偿协议及协议兼容性问题。

IEEE 802.3ah 中的物理层既包括点对点 (P2P) 连接的光纤与铜线, 也包括用于点对多点 (P2MP) 的 PON 网络情形, 为了便于网络运行与故障修复, 还包括了 OAM 机制。对于 P2MP 网络拓扑, EPON 基于一种叫做多点控制协议 (MPCP) 的机制, 是 MAC 子层内的一种功能。MPCP 利用消息、状态机和定时器来控制向 P2MP 网络拓扑的接入, 在 P2MP 网络拓扑中的每一个光网络单元 (ONU) 都有一个 MPCP 实体, 它与 OLT 中的 MPCP 实体进行通信。

EPON/MPCP 的基础是点对点仿真子层, 它使一个 P2MP 网看上去如同 P2P 链路向较高协议层的集合。

为了降低 ONU 的成本, EPON 物理层的关键技术集中于 OLT, 包括突发信号的快速同步、网同步、光收发模块的功率控制和自适应接收等。

EPON 融合了 PON 和以太网数据产品的优点, 形成了许多独有的优势。EPON 系统能够提供高达 1Gbit/s 的上、下行带宽, 可以满足未来相当长时期内用户的需要。由于 EPON 采用复用技术, 支持更多的用户, 每个用户可以享受到更高的带宽。EPON 系统不采用昂贵的

ATM 设备和 SONET 设备, 能与现有的以太网相兼容, 大大简化了系统结构, 成本低, 易于升级。由于无源光器件有很长的寿命, 户外线路的维护费用大为减少。标准的以太网接口可以利用现有的价格低廉的以太网设备。且 PON 结构本身就决定了网络的可升级性比较强, 只要更换终端设备, 就可以使网络升级到 10Gbit/s 或者更高速率。EPON 不仅能综合现有的有线电视、数据和话音业务, 还能兼容未来业务如数字电视、VoIP、电视会议和 VOD 等, 实现综合业务接入。

EPON 承载与其他接入技术的综合运用, 进一步丰富了宽带接入技术解决方案。

使用 EPON 能使 DSL 突破传统距离限制, 扩大覆盖范围。当把 ONN 集成到 DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) 时, DSL 可以到达的范围和其潜在用户群都会大大增加。

同样, 通过集成 ONU 的 CMTS (Cable Modem Telemination System), EPON 可以用来给现有的 Cable 连接提供带宽, 而且可以让有线电视运营商实现真正意义上的交互式服务, 同时降低建设和运营成本。

在上述两种情况中, 运营商都可以在他们现有的网络结构和投资的基础上, 增加他们的用户群体。EPON 还可以在距离上拓展点对点的 MSPP (Multiple Services Provision Platform) 和 IP/Ethernet。

此外, EPON 技术还可以用来解决无线接入技术中基站上行数据汇集到核心网的问题。

## 2. GPON

2001 年, FSAN 启动了一项新的工作, 对工作在 1Gbit/s 以上的 PON 网络进行标准化。除了支持高速率以外, 整个协议一直是开放的, 以便重新考虑和寻找在支持多业务、OAM&P 功能和扩展行方面最佳和最有效的方案。作为 GPON 工作的一部分, FSAN 先汇集了其所有成员 (包括世界各地的主要运营商) 的要求, 然后在此基础上写成名为吉比特业务要求 (GSR) 的文件, 并作为正式建议 (G.GON.GSR) 提交给 ITU-T。在 GSR 文件中描述的 GPON 主要需求是:

(1) 支持全业务。包括话音 (TDM、SONET/SDH)、以太网 (10/100Base-T)、ATM, 租用线与其他;

(2) 覆盖的物理距离至少为 20km, 逻辑距离限于 60km 以内;

(3) 用同一协议可支持各种比特率, 包括对称 622Mbit/s, 对称 1.25Gbit/s, 下行 2.5Gbit/s 与上行 1.25Gbit/s, 以及其他比特率;

(4) 能提供端对端业务管理的 OAM&P 强大功能;

(5) 由于 PON 的广播特性, 要在协议层面保证下行业务的安全性。

FSAN 提出, GPON 标准的设计应达到如下目标:

(1) 帧结构可以从 622Mbit/s 扩展到 2.5Gbit/s, 并支持不对称比特率;

(2) 对任何业务都保证高带宽利用率和高效率;

(3) 把任何业务 (TDM 和分组) 都通过 GFP (General Framing Procedure, 通用成帧协议) 封装入 125 $\mu$ s 的帧中;

(4) 对纯 TDM 业务做高效率的无开销传送;

(5) 通过带宽指针 (Pointers) 为每一个 ONU 动态分配上行带宽。

由于 GPON 一开始就自下而上地重新考虑了 PON 的应用和要求, 为新的方案奠定了基础, 不再基于早先的 APON 标准, 故有些厂家将其称为 Native PON (本色模式 PON)。它一方面保留了与 PON 不是直接相关的许多功能, 如 OAM 消息、DBA 等; 另一方面, GPON 则基于全新的 TC (传输汇聚) 层。FSAN 选择的 GFP 是以帧为基础的一个协议, 它通过一种通用机制适配来自传送网高层客户的业务信息。传送网可以是任何类型的网络, 如 SONET/SDH 和 ITU-T G.709 (OTN) 等, 客户信息可以是基于分组的 (如 IP/PPP 即 IP/Point-to-Point Protocol 或 Ethernet MAC 帧等), 也可以是恒定比特率流或其他类型的业务信息。GFP 已经正式被标准化 ITU-T 标准 G.7041。由于 GFP 提供高效简单的方式在同步传送网上传送不同业务的通用机制, 故将它用做 GPON TC 层的基础是十分理想的。此外, 使用 GFP 时, GPON TC 本质上是同步的, 并使用标准的 SONET/SDH 8kHz (125 $\mu$ s) 帧, 这使得 GPON 能够直接支持 TDM 业务。在正式发布的 G.984.3 标准中采用了 FSAN 关于 GFP 作为 TC 层适配技术的建议, 并做了进一步的简化处理, 命名为 GPON 封装方法 (GEM, GPON Encapsulation Method)。

### 3. 10G EPON

从 2005 年开始, IEEE 开始进行 10G EPON 技术的研究和标准化工作, 并取得突破性进展; 2009 年 9 月, 标准正式发布 (标准号为 IEEE 802.3av)。IEEE802.3av 规定了 10Gbit/s 下行和 1Gbit/s 上行的非对称模式 (10/1G Base-PRX) 和 10Gbit/s 上/下行对称模式 (10G Base-PR) 两种速率模式。

为了实现 10G EPON 与 1G EPON 的兼容和网络的平滑演进, IEEE 802.3av 标准在波长分配、多点控制机制方面都有专门的考虑, 以保证 10G EPON 与 1G EPON 系统在同一 ODN 下的共存。10G EPON 尽可能沿用了 1G EPON 的 MAC 和 MPCP 等协议, 对 MPCP 做了少量的修改, 并定义了新的 PHY 层。

#### (1) PHY 层主要变化

##### ① 光功率预算

10G EPON 标准规定了更高的链路光功率预算 (Power Budget), 除了定义了与 EPON 相同的 20dB 和 24dB 外, 还根据实际组网的需要, 定义了 29dB 的光信道插入损耗。10G EPON 标准针对非对称和对称传输速率各定义了 3 类功率预算:

a. 非对称 (10G/1G): PRX10、PRX20、PRX30。

b. 对称 (10G/10G): PR10、PR20、PR30。

##### ② 波长划分

在波长规划方面, 为了实现与 1G EPON 的兼容, 10G EPON 没有使用 1G EPON 系统所使用的 1490nm 的下行波长, 同时考虑避开模拟视频波长 (1550nm) 和 OTDR 测试波长 (1600~1650nm), IEEE 802.3av 标准选择 1577nm 作为 10Gbit/s 下行信号的波长 (波长范围 1574~1580nm)。因此, 在下行方向, 10Gbit/s 信号与 1Gbit/s 信号为 WDM 方式。而上行方向, 10bit/s 信号的波长是 1310nm (1260~1360nm), IEEE 802.3av 标准规定 10Gbit/s 信号的上行波长是 1270nm (1260~1280nm), 二者有重叠, 因此不能采用 WDM 方式, 只能采用双速率 TDMA 方式。10G EPON OLT 可以同时实现 10G/10G ONU, 10G/1G ONU 和 1G/1G ONU 3 种 ONU 共存。

### ③ 新的 PCS 层

10G EPON 采用 64B/66B 编码, 效率为 97%, 与 1G EPON 的 8B/10B (效率为 80%) 相比有了明显提升。10G EPON 的 FEC 功能采用 RS (255, 223) 编码, 可增加光功率预算 5~6dB, 与 1G EPON 的 RS (255, 239) 编码相比 FEC 能力更强。

### (2) MPCP 层主要变化

10G EPON 系统需要支持非对称、对称传输速率并兼容现有 EPON 技术, 需要对 EPON 的 MPCP (IEEE 802.3) 进行扩展, 增加了 10Gbit/s 能力的通告与协商机制。这样可以充分利用现有 EPON 的实现方案, 极大地降低了芯片和设备成本。

① 在发现 GATE 帧中增加 Discovery Information 字节来告知 ONU OLT 的能力, 扩展下行 GATE 报文支持 OLT 给不同上行速率的 ONU 开不同的发现窗。

② 在 Register Request 帧中增加 Discovery Information 字节来告知 OLT ONU 的能力。

### (3) Churning 功能

在 EPON 系统中, 采用三重搅动 (Triple Churning) 的方法对 OLT 下行数据进行加密, 提高下行数据的安全性。但是, 现有的三重搅动方案应用在 10G EPON 系统中存在着电路实现复杂、加密安全性较低的问题。为解决上述问题, IEEE 802.3av 定义了一种适用于 10G EPON 系统的 Churning 方案, 提高了 10G EPON 下行数据的安全性。

10G EPON 系统的搅动采用 3 个级联的搅动器, 每个搅动器执行规定的单重搅动操作, 每次搅动使用的搅动密钥完全不同。第一级搅动器采用的 24bit 的密钥为 (X1~X8, P1~P16) 1; 第二级搅动器采用的 24bit 的密钥为 (X1~X8, P1~P16) 2; 第三级搅动器采用的 24bit 的密钥为 (X1~X8, P1~P16) 3。搅动密钥是 ONU 由上行用户数据中提取的 3 个 3 字节数据分别与 3 个 3 字节随机数异或相加 (Exclusive OR, XOR) 的结果。

10G EPON 系统的搅动密钥更新和同步过程与 EPON 系统相同。密钥更新周期应可配置, 默认值为 10s。10G EPON 系统中用于搅动的密钥交互消息包括新密钥请求帧 (New\_Key\_Request) 和新密钥通知帧 (New\_Churning\_Key) 两种类型。新密钥请求帧的消息格式与 EPON 系统相同。

## 1.3.3 PTN/IP RAN 技术

### 1. PTN

PTN 技术是 IP/MPLS、以太网和传送网 3 种技术相结合的产物, 融合了数据通信和 SDH 传输技术的优势。它具有多业务承载的特性, 可以差异化地对不同业务进行分类传送。通过引入二层面向连接的先进分组技术, PTN 技术可以实现网络 LSP 路径规划、LSP 带宽规划、LSP 隧道监控与保护、业务端对端规划与监控等, 轻松实现流量工程, 做好整网规划, 保证网络的整体性能。PTN 技术通过引入同步以太网、1588v2 技术实现时钟传送, 可以满足 GSM、TD-SCDMA、LTE 等不同无线网络对时钟的需求, 并能够支撑移动现网 TD 基站的 GPS 改造要求。

经过研究与现网验证, PTN 技术在网络规划和运维上继承了 MSTP 的理念, 同时面向未来 IP 业务能实现统一承载, 将是未来承载网的主流技术。然而, 广泛部署的传统 T1/E1 接口和基础网络将会继续和新的面向分组的设备长期共存。

## 2. IP RAN

IPRAN 中的 IP 指的是因特网协议, RAN 指的是 Radio Access Network。相对于传统的 SDH 传送网, IPRAN 的意思是“无线接入网 IP 化”, 是基于 IP 的传送网的。网络 IP 化趋势是近年来电信运营商网络发展中最大的一个趋势, 在该趋势的驱使下, 移动网络的 IP 化进程也在逐步地展开, 作为移动网络重要的组成部分, 移动承载网络的 IP 化是一项非常重要的内容。

传统的移动运营商的基站回传网络是基于 TDM/SDH 建成的, 但是随着 3G 和 LTE 等业务的部署与发展, 数据业务已成为承载主体, 其对带宽的需求在迅猛增长。SDH 传统的 TDM 独享管道的网络扩容模式难以支撑, 分组化的承载网建设已经成为一种不可逆转的趋势。

IPRAN 具备如下能力。

(1) 多业务承载。目前运营商网络承载的业务包括互联网宽带业务、大客户专线业务、固话 NGN 业务和移动 2G/3G 业务等, 既有二层业务, 又有三层业务。尤其是当移动网演进到 LTE 后, S1 和 X2 接口的引入对于底层承载提出了三层交换的需求。由于业务类型丰富多样, 目前各业务的承载网独立发展, 造成承载方式多样, 组网复杂低效, 优化难度大等问题。新兴的承载网需要朝着多业务承载的方向发展。

(2) 超高带宽。随着业务日趋宽带化, 固网宽带提速后家庭接入可达 20 M, 并在向 100 M 迈进; 移动宽带高速分组接入 (HSPA+) 已规模商用, 带宽达 21 M 甚至 42 M; 未来 LTE 部署后用户带宽可达 300 M。因此移动回传与城域承载网必须有足够强的带宽扩展能力。

(3) 服务质量 (QoS) 保障能力。带宽的提升和业务类型的多样化对网络 QoS 保障能力提出了更高的要求。移动回传网同时承载移动 PS 域和 CS 域的业务, CS 域业务通常需要更高的 QoS 保证。此外, 承载网还承载大客户专线等高价值业务, 网络必须具备完备的 QoS 能力。

(4) 高可靠性。为保证网络质量, 承载网需要具备端对端的运行、管理和维护 (OAM) 故障检测机制, 可以从业务层面和隧道层面对业务质量和网络质量进行管控。此外, 网络还需要电信级的保护倒换能力, 确保语音、视频等高实时性业务的服务质量。

IPRAN 具有如下技术特点和优势。

(1) 端对端的 IP 化。端对端的 IP 化使得网络复杂度大大降低, 简化了网络配置, 能极大缩短基站开通、割接和调整的工作量。另外, 端对端 IP 减少了网络中协议转换的次数, 简化了封装、解封装的过程, 使得链路更加透明可控, 实现了网元到网元的对等协作, 全程全网的 OAM 管理以及层次化的端对端 QoS。IP 化的网络还有助于提高网络的智能化, 便于部署各类策略, 发展智能管道。

(2) 更高效的网络资源利用率。面向连接的 SDH 或 MSTP 提供的是刚性管道, 容易导致网络利用率低下。而基于 IP/MPLS 的 IPRAN 不再面向连接, 而是采取动态寻址方式, 实现承载网络内自动的路由优化, 大大降低了后期网络维护和网络优化的工作量。同时与刚性管道相比, 分组交换和统计复用能大大提高网络利用率。

(3) 多业务融合承载。IPRAN 采用动态三层组网方式, 可以更充分满足综合业务的承载需求, 实现多业务承载时的资源统一协调和控制层面统一管理, 提升运营商的综合