



4G LTE 移动通信技术系列教程

路由与 交换技术

ROUTING AND SWITCHING
TECHNOLOGY

赵新胜 陈美娟 ◎ 主编
陈国华 卞璐 陈启彪 ◎ 副主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



—— 4G LTE 移动通信技术系列教程 ——

路由与 交换技术

ROUTING AND SWITCHING
TECHNOLOGY

赵新胜 陈美娟 © 主编

陈国华 卞璐 陈启彪 © 副主编



人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

路由与交换技术 / 赵新胜, 陈美娟主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2018. 2
4G LTE移动通信技术系列教程
ISBN 978-7-115-47474-2

I. ①路… II. ①赵… ②陈… III. ①计算机网络—
路由选择②计算机网络—信息交换机 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第302995号

内 容 提 要

本书全面地介绍了数据通信的基本原理, 从 LTE 承载的通信架构出发, 对 IP 基础内容、通用数据链路层技术、常用路由协议、MPLS 关键技术进行了详细介绍; 同时, 也对 IP 的后续演进协议 IPv6、安全设备防火墙、SDN 等进行了简单的描述。书中包含了大量的图片, 同时内嵌了视频二维码, 提供了在线视频学习的途径。相比传统教材而言, 本书内容新颖, 可操作性强, 简明易懂。本书实用性强, 内容覆盖了华为工程师 HCNA 认证的知识点, 同时包含了一些现网的故障案例。通过本书内容的学习, 学员能够完成华为 HCNA 认证。本书的故障案例也能培养学员动手解决实际问题的能力, 积累现网的应用经验。

本书可以作为高校通信相关专业的教材, 也可以作为华为 HCNA 认证培训班教材, 并适合作为网络维护人员、移动通信设备销售技术支持人员和广大移动通信爱好者自学用书。

-
- ◆ 主 编 赵新胜 陈美娟
副 主 编 陈国华 卞 璐 陈启彪
责任编辑 左仲海
责任印制 马振武
- ◆ 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: 17.75 2018 年 2 月第 1 版
字数: 502 千字 2018 年 2 月北京第 1 次印刷
-

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

“4G LTE移动通信技术系列教程”编委会

主 任：宋铁成

副主任：朱明程 赵新胜 李世银 尉彦清 倪建军

周建勋 张立科

委 员（按姓氏笔画排序）：

王春峰 王霄峻 卞璐 方朝曦 朱彤

李良 李建蕊 李晓滨 李海涛 杨福猛

杨德相 应祥岳 宋晓勤 张轲 陈启彪

陈国华 陈美娟 赵航 闻银 郭俐

当前,在云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能等新领域出现人才奇缺状况。习近平总书记指出:“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切,对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展,对电子信息领域的人才培养提出了更高的要求,而电子信息类专业又是许多高等学校的传统专业、优势专业和主干专业,也是近年来发展最快、在校人数最多的专业之一。

为此,高校必须深化机制体制改革,推进人才培养模式创新,进一步深化产教融合、校企合作、协同育人,促进人才培养与产业需求紧密衔接,有效支撑我国产业结构深度调整、新旧动能接续转换。机制体制改革关键之一就是深入推进产学合作、产教融合、科教协同,通过校企联合制定培养目标和培养方案、共同建设课程与开发教程、共建实验室和实训实习基地、合作培养培训师资和合作开展研究等,鼓励行业企业参与到教育教学各个环节中,促进人才培养与产业需求紧密结合。要按照工程逻辑构建模块化课程,梳理课程知识点,开展学习成果导向的课程体系重构,建立工作能力和课程体系之间的对应关系,构建遵循工程逻辑和教育规律的课程体系。

由高校教学一线的教育工作者与华为技术有限公司、浙江华为通信技术有限公司的技术专家联合成立编委会,共同编写“4G LTE 移动通信技术系列教程”,将移动通信系统的基础理论与华为技术有限公司相关系列产品深度融合,构建完善的移动通信理论知识和工程技术体系,搭建基础理论到工程实践的知识桥梁,目标是培养具备扎实理论基础,从事工程实践的优秀应用型人才。

“4G LTE 移动通信技术系列教程”包括《移动通信技术》《网络规划与优化技术》《路由与交换技术》和《传输网络技术》四本教材,基本涵盖了通信系统的交换、传输、接入和通信等核心内容。系列教程有效融合华为技能认证课程体系,将理论教学与工程实践融为一体。教材配套华为 ICT 学堂在线视频,置入华为工程现场实际案例,读者既可以学习到前沿知识,又可以掌握相关岗位所需的能力。

我很高兴看到这套教材的出版,希望读者在学习后,能够构建起完备的移动通信知识体系,掌握相关的实用工程技能,成为电子信息领域的优秀应用型人才。

教育部电子信息与电气工程专业认证委员会学术委员会副主任委员
北京交通大学



2017 年 12 月

伴随着物联网、车联网、吉比特宽带接入等技术的逐渐成熟和应用,互联网开始在方方面面影响我们的生活。无线接入技术、光传输技术、IP 承载技术、认证和鉴权技术,则共同构筑了便利的互联网接入。在这其中,介于底层光信号传输层和上层业务处理层之间的 IP 层网络技术,起到了举足轻重的作用。通过 IP 网络的构建,我们能够实现不同区域、不同用户、不同终端之间的数据通信和应用的互通,为广泛而丰富的互联网应用提供坚实的基础。

本书主要介绍了数据通信的基本原理,以 4G LTE 承载为主线,同时结合 TCP/IP 分层模型的架构,从物理层、数据链路层、网络层分层介绍了 4G 业务承载中用到的常见协议和工作原理。数据通信基础章节主要介绍了数据通信网络中的基本概念、常见网络类型,以及局域网、广域网等常见网络技术。数据链路层技术及应用章节主要介绍了 VLAN、STP、VRRP、链路聚合等二层技术的工作原理,以及通过配置华为设备实现现网部署的应用案例。网络层路由技术章节则对 RIP、OSPF、ISIS、BGP 这四大协议进行了介绍。通过对协议的学习和配置练习,读者能够对路由的概念有比较深刻的理解。MPLS 技术章节对当今承载实现的主流技术进行了介绍。基于业务安全的考虑,现网业务部署基本会选择 VPN 方案。MPLS 作为常见的 VPN 实现技术,在现网中有着广泛的用途,而在 MPLS VPN 的实现中,又可以分为二层 VPN 和三层 VPN 两种实现方式。IPv6、防火墙、SDN 这 3 个章节,则代表了网络以后的发展趋势。目前网络的发展,IPv4 地址的局限逐渐显露,安全问题也越来越受到关注。网络规模的扩大,也增加了维护的难度,对于自动运维的需求也逐渐变得强烈。当前情况下,IPv6 技术趋于成熟,防火墙的安全防范受到更多的关注,SDN 的智能运维讨论如火如荼。本书通过对这 3 个章节的介绍,学员能够对现今的网络形态有一个基本的认知,打开继续学习的大门。

本书的内容适合高校通信类专业的学生、运营商的设备维护人员、通信技术类公司等行业从业人员学习。本书穿插了很多在线视频二维码,读者可以通过扫描二维码在线观看相关技术视频,帮助消化吸收知识内容。完成本书的学习,读者能够掌握 LTE 产品工程师需要具备的各项技能。

本书的参考学时为 48~64 学时,建议采用理论实践一体化教学模式,各章节的参考学时见下面的学时分配表。

学时分配表

章 节	课 程 内 容	学 时
第 1 章	数据通信基础	6~8
第 2 章	数据链路层技术及应用	10~12
第 3 章	网络层路由技术	12~16
第 4 章	MPLS 技术	12~14 (选修)
第 5 章	IPv6	2~4
第 6 章	防火墙	2~4
第 7 章	SDN	2~4
课程考评		2
课时总计		48~64

本书由赵新胜、陈美娟任主编，陈国华、卞璐和陈启彪任副主编。由于编者水平和经验有限，书中难免有不妥及疏漏之处，恳请读者批评指正。读者可登录人民邮电出版社教育社区（www.ryjiaoyu.com）下载本书相关资源。

编 者

2017年10月

目录

CONTENTS

第 1 章 数据通信基础 1

- 1.1 移动通信网络..... 2
 - 1.1.1 移动通信网络架构2
 - 1.1.2 ALL IP 的发展趋势.....3
- 1.2 网络互联基础..... 4
 - 1.2.1 网络互联的基本概念 4
 - 1.2.2 OSI 参考模型 6
 - 1.2.3 TCP/IP 参考模型 8
 - 1.2.4 数据的封装和解封装11
 - 1.2.5 协议和标准12
 - 1.2.6 网络类型和拓扑结构18
- 1.3 以太网 20
 - 1.3.1 以太网基本概念.....20
 - 1.3.2 以太网线缆标准.....21
 - 1.3.3 以太网工作原理.....24
 - 1.3.4 以太网端口技术.....29
 - 1.3.5 ARP31
- 1.4 广域网 33
 - 1.4.1 广域网技术33
 - 1.4.2 HDLC 工作原理.....33
 - 1.4.3 PPP 工作原理35
 - 1.4.4 FR 工作原理.....44
- 1.5 IP..... 49
 - 1.5.1 IP 编址.....49
 - 1.5.2 子网划分52
 - 1.5.3 IP 网络排错55
- 1.6 上机练习 58
 - 练习任务一：以太网接口配置58
 - 练习任务二：HDLC 基本配置.....59
 - 练习任务三：PPP 基本配置60
 - 练习任务四：帧中继配置.....60
- 1.7 原理练习题..... 61

第 2 章 数据链路层技术及应用... 62

- 2.1 移动承载网络中的数据链路层技术..... 63
- 2.2 VLAN 技术 63
 - 2.2.1 VLAN 简介.....63
 - 2.2.2 VLAN 内通信.....67
 - 2.2.3 VLAN 间通信..... 68
 - 2.2.4 GVRP70
 - 2.2.5 VLAN 故障案例分析74
- 2.3 STP 技术..... 76
 - 2.3.1 二层环路76
 - 2.3.2 STP 工作原理.....79
 - 2.3.3 BPDU 报文 86
 - 2.3.4 RSTP..... 90
 - 2.3.5 MSTP 94
 - 2.3.6 STP 故障案例分析 98
- 2.4 链路聚合技术 99
 - 2.4.1 链路聚合的基本概念 99
 - 2.4.2 LACP 协议..... 100
 - 2.4.3 链路聚合的方式..... 100
 - 2.4.4 链路聚合故障案例分析102
- 2.5 VRRP 技术..... 102
 - 2.5.1 VRRP 的实现原理.....103
 - 2.5.2 VRRP 基本概念..... 106
 - 2.5.3 VRRP 协议报文..... 108
 - 2.5.4 VRRP 的状态机..... 108
 - 2.5.5 VRRP 故障案例分析 109
- 2.6 上机练习 110
 - 练习任务一：VLAN 基础及 Access 接口实验..... 110
 - 练习任务二：VLAN 用户通信实验...112
 - 练习任务三：VLAN 路由实验113

练习任务四: STP 基本实验 115

练习任务五: 链路聚合实验 116

练习任务六: VRRP 基础实验 117

2.7 原理练习题 118

第3章 网络层路由技术 120

3.1 移动承载网络中的网络
层协议应用 121

3.2 路由基础 121

3.2.1 IP 路由选路 121

3.2.2 路由的来源 122

3.2.3 路由协议的分类 126

3.3 RIP 路由协议 127

3.3.1 RIP 基本原理 128

3.3.2 RIP 报文格式 129

3.3.3 RIP 防环路机制 131

3.3.4 RIP 故障案例分析 135

3.4 OSPF 路由协议 135

3.4.1 OSPF 基础概念 136

3.4.2 OSPF 协议工作原理 137

3.4.3 单区域 OSPF 网络 139

3.4.4 多区域 OSPF 网络 140

3.4.5 OSPF 故障案例分析 141

3.5 IS-IS 路由协议 142

3.5.1 IS-IS 基本概念 142

3.5.2 IS-IS 工作原理 145

3.5.3 IS-IS 故障案例分析 146

3.6 BGP 路由协议 147

3.6.1 BGP 概述 147

3.6.2 BGP 工作原理 149

3.6.3 BGP 选路原则 152

3.6.4 BGP 故障案例分析 157

3.7 路由选择与控制 158

3.7.1 路由策略概述 158

3.7.2 路由选择工具 159

3.7.3 路由策略 163

3.8 上机练习 169

练习任务一: 静态路由实验 169

练习任务二: RIP 路由实验 170

练习任务三: OSPF 路由实验 171

练习任务四: IS-IS 路由实验 172

练习任务五: BGP 路由实验 173

练习任务六: 路由选择与路由

控制实验 174

3.9 原理练习题 176

第4章 MPLS 技术 177

4.1 移动承载网络中的隧道技术 ... 178

4.2 MPLS 基本工作原理 178

4.2.1 MPLS 的基本概念和应用 ... 178

4.2.2 MPLS 基本原理 181

4.2.3 LDP 邻居发现和会话建立 ... 186

4.2.4 LDP 标签管理 190

4.2.5 LDP 的实现 195

4.2.6 MPLS LDP 故障案例

分析 196

4.3 BGP/MPLS VPN 197

4.3.1 BGP/MPLS VPN 的简介 ... 197

4.3.2 BGP/MPLS VPN
的基本概念 198

4.3.3 BGP/MPLS VPN
的实现原理 202

4.3.4 BGP/MPLS VPN
的故障案例分析 205

4.4 MPLS L2VPN 206

4.4.1 MPLS L2VPN 概述 207

4.4.2 VPWS 技术概述 209

4.4.3 VPWS 实现方式 209

4.4.4 VPLS 技术概述 215

4.4.5 VPLS 技术原理与实现 216

4.4.6 MPLS L2VPN 的故障

案例分析 221

4.5 上机练习 223

练习任务一: MPLS 隧道建立实验 ... 223

练习任务二: BGP/MPLS VPN

特性验证实验 225

练习任务三: MPLS L2VPN 特性验证实验.....226	练习任务: IPv6 上机实验239
练习任务四: VPLS 特性验证实验...227	5.6 原理练习题..... 240
4.6 原理练习题..... 228	
第 5 章 IPv6 229	第 6 章 防火墙.....241
5.1 IPv6 背景与特点 230	6.1 防火墙概述..... 242
5.1.1 互联网面临的挑战230	6.2 防火墙的区域 244
5.1.2 为什么使用 IPv6231	6.3 防火墙的工作模式..... 245
5.2 IPv6 地址结构与格式..... 231	6.4 网络地址转换 246
5.2.1 IPv6 地址结构.....232	6.5 原理练习题..... 249
5.2.2 IPv6 地址书写格式233	
5.3 IPv6 地址类型 234	第 7 章 SDN 250
5.3.1 单播地址234	7.1 SDN 的理念和特征 251
5.3.2 多播地址236	7.2 SDN 带来的变革和挑战..... 252
5.3.3 任播地址236	7.3 SDN 最新发展..... 253
5.4 IPv6 报文结构 236	7.4 原理练习题..... 255
5.4.1 IPv6 报文构成237	
5.4.2 IPv6 基本报头.....237	附录 I 华为的通用路由 平台 VRP 256
5.4.3 IPv6 扩展报头238	
5.5 上机练习 239	附录 II 华为模拟器 eNSP 263
	附录 III 缩略词和图标对照 264

Chapter 1

第 1 章 数据通信基础

通信技术应用在生活中的方方面面，如电报、电话、互联网，以及现在非常热门的移动支付。这些功能的实现都离不开网络的支持。在本章中将介绍数据通信基础知识，包括 OSI 参考模型、以太网、广域网、IP 协议等知识。

课堂学习目标

- 了解数据通信网络架构及演进历史
- 掌握网络互联的基础概念
- 了解以太网技术和广域网技术
- 掌握 IP 编址与子网划分的原理



1.1 移动通信网络

通信网络业务移动化、宽带化和 IP 化的趋势日益明显,移动通信技术处于网络技术演进的关键时期。长期演进 (Long-Term Evolution, LTE)/系统架构演进 (System Architecture Evolution, SAE) 作为下一代移动通信的统一标准,具有高频谱效率、高峰值速率、高移动性和网络架构扁平化等多种优势。

1.1.1 移动通信网络架构

整个移动通信网络架构分为 3 个部分:无线基站设备、移动承载网络 and 核心网。图 1-1 中,数据通信设备位于网络的中间,连接起无线基站和核心网服务器,承担着数据转发的重要功能。

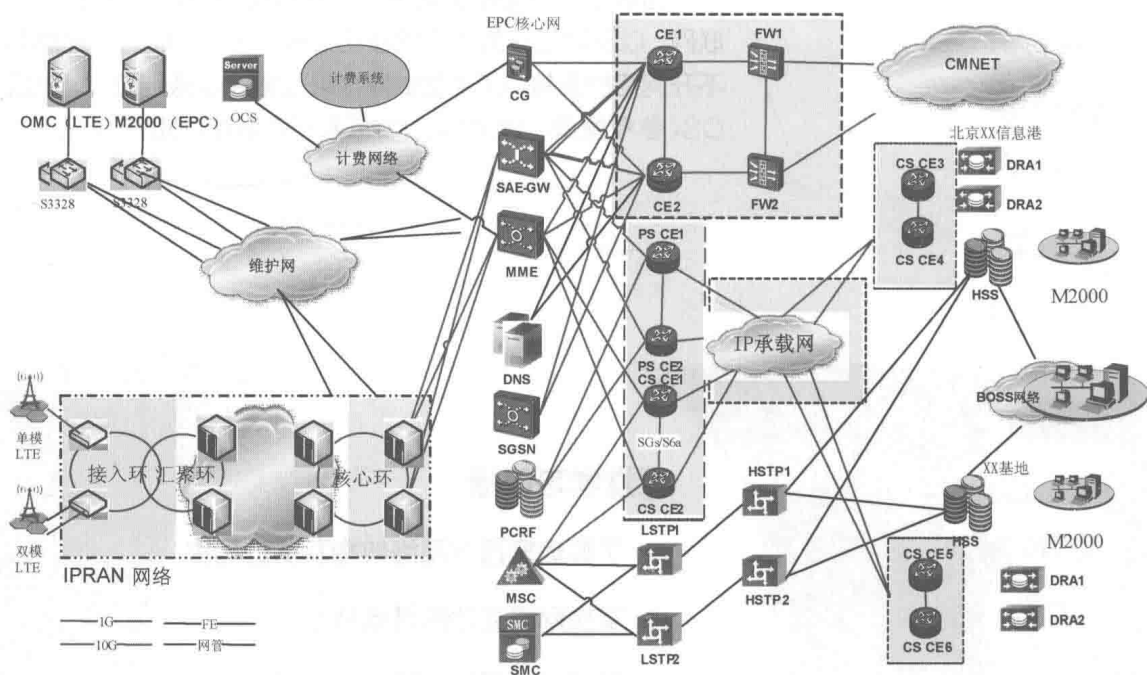


图 1-1 移动通信网络架构

本书作为 4G LTE 移动通信技术系列教程丛书中的《路由与交换技术》分册,主要侧重于 IP 承载网络相关内容的介绍,无线基站和核心网部分的技术内容详见其他分册,本书不再涉及。

移动通信网络架构中的移动承载网络部分,在整个网络结构中承担的是“管道”的功能,具体的功能实现又可以为两个部分:无线回传网络 (Radio Access Network, RAN) 和 IP 承载网络。如图 1-2 所示,基站和基站控制器之间的 IP 网络负责将无线基站侧的数据上送基站控制器,这部分网络我们称为无线回传网络;核心网服务器设备之间的 IP 网络则负责提供核心网设备间的 IP 互联通道,我们称为 IP 承载网络。

无线回传网络,主要作用是接入无线侧基站的业务。2G 时代,主流使用 SDH 等方式进行业务承载;到 3G 和 4G 时代,主要借助 IP 化的方式进行业务承载。使用 IP 技术进行业务承载的无线回传网络,也称为基于 IP 的无线接入网络 (IP Radio Access Network, IPRAN),国外的普遍叫法为 IP Mobile Backhaul。

IP 承载网络,主要作用是实现核心网各功能服务器之间的业务互通和与 Internet 的互访连接。核心网中实现无线终端语音呼叫和上网访问功能的服务器包括移动性管理实体 (Mobility Management Entity,

MME)、服务网关 (Service Gateway, SGW)、PDN 网关 (PDN Gateway, PGW)、策略和计费规则功能 (Policy and Charging Rules Function, PCRF)、归属用户服务器 (Home Subscriber Server, HSS) 等设备, 这些设备位于网络中的不同位置, 相互之间需要进行信令连接和数据访问, 其中数据的转发就是通过 IP 承载网络实现的。

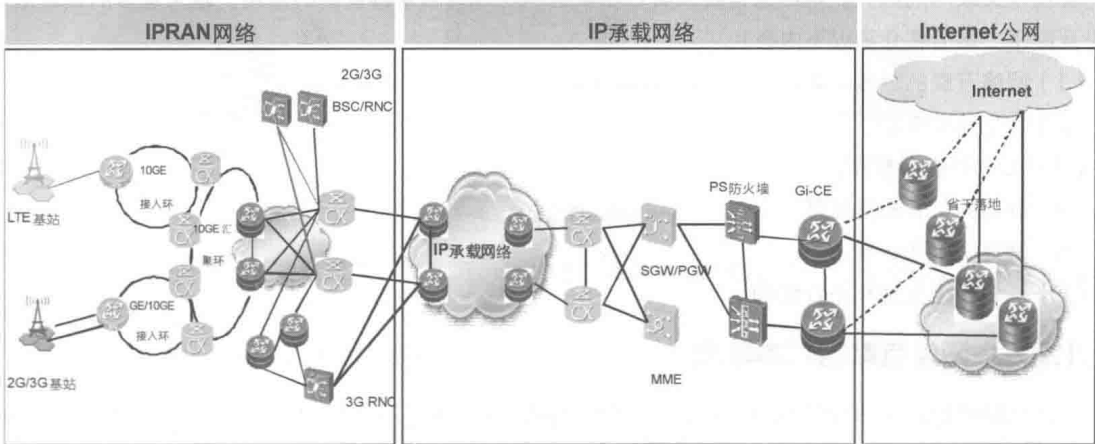


图 1-2 移动通信中的承载网络

1.1.2 ALL IP 的发展趋势

移动互联业务的迅猛发展, 对传送网络提出了更高的要求: 容量更大, 成本更低, 快速灵活的部署和业务调度, 扩展能力强, 可靠性高, 网络管理及维护功能完善。

传统的多业务传送平台 (Multi-Service Transmission Platform, MSTP) 设备在灵活性, 以及端到端业务的提供、管理、运营等方面存在诸多不足。运营成本高, 必须进行改进才能满足运营商多业务发展的需求, 而 IP 技术则是目前业界广泛认可的发展方向。利用多协议标签交换 (Multi-Protocol Label Switching, MPLS) 技术并配以完善的操作管理和维护 (Operation, Administration and Maintenance, OAM) 及保护倒换机制, 可以实现面向连接的电信级别的业务承载。

在 2G/2.xG 移动通信网 (GSM/GPRS/EDGE) 中, 为基站回传的语音和数据业务提供承载的主要是基于 SDH 的多业务传送平台——MSTP 技术。其中, BTS 基站一般使用 2M 的 TDM 接口, 基站控制器 BSC 使用 2M 或 STM-1 的 TDM 接口, MSC/GMSC 则提供 STM-N 或 2M 的 TDM 接口, SGSN/GGSN 提供 STM-N 的 POS 接口。对于局间中继业务, 各节点业务量较大, 业务颗粒一般为 2M、155M、622M 或 FE/GE; 对于 BTS 到 BSC 间的业务, 网络业务流向集中, 各节点业务量小, 业务颗粒主要为 2M。

3G 本地接入网主要完成基站 (Node B) 与基站控制器 (Radio Network Control, RNC) 之间业务的接入和传送功能。相对于 2G 网络而言, 3G 网络设备传输接口的显著变化是, 除支持 E1/IMA E1 接口外, 还应支持以太网接口 (FE 和 GE), 这就要求本地接入网具备多业务承载的能力, 既要满足以语音业务为主的 TDM 业务承载需求, 又要满足以以太网业务为主的数据业务承载需求。而且随着移动多媒体业务的发展, 对本地接入网的带宽提出更高的要求, 因此本地接入网必须具备大容量、高带宽、多业务、高可靠性等能力, 从而实现全网层面的宽带 IP 化业务的支持。

LTE 的网络演进对于分组承载网提出了更高的要求, 基站带宽更高, 网络结构趋向扁平, 业务功能更为复杂, 引入了 X2 接口, 允许基站之间进行数据转发。

IP 技术在业务容量、建设成本、网络扩容等方面体现出了远超传统传送网络的性能, 成为移动回传网

络的必然选择。

1.2 网络互联基础

现在是互联网的时代，网络通信在人类日常生活中发挥着越来越重要的作用，越来越多的日常活动依赖于互联网。本节将介绍以下内容。

- (1) 网络互联的基本概念。
- (2) OSI 参考模型。
- (3) TCP/IP 参考模型。
- (4) 数据的封装和解封装。
- (5) 常见协议和标准。
- (6) 基本网络类型和拓扑结构。

1.2.1 网络互联的基本概念

计算机网络起始于 20 世纪 60 年代，当时网络的概念主要是基于主机 (Host) 架构的低速串行 (Serial) 连接，提供应用程序执行、远程打印和数据服务功能，如图 1-3 (a) 所示。IBM 的系统网络架构 (System Network Architecture, SNA) 与非 IBM 公司的 X.25 公用数据网络是这种网络的典型例子。当时，由美国国防部资助，美国建立了基于分组交换 (Packet Switching) 的阿帕网 (ARPANET)，这个阿帕网就是今天 Internet 最早的雏形。

20 世纪 70 年代，出现了以个人计算机为主的商业计算模式，如图 1-3 (b) 所示。最初，个人计算机是独立的设备。由于商业计算的复杂性要求大量终端设备协同操作，局域网 (Local Area Network, LAN) 产生了。局域网的出现，大大降低了商业用户昂贵的打印机和磁盘费用。

20 世纪 80~90 年代，因为远程计算的需求不断增加，迫使计算机界开发出多种广域网络协议，用于满足不同计算方式下远程连接的需求，如图 1-3 (c) 所示。在此阶段，互联网得到了快速发展，TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 被广泛应用，成为互联网的事实标准。

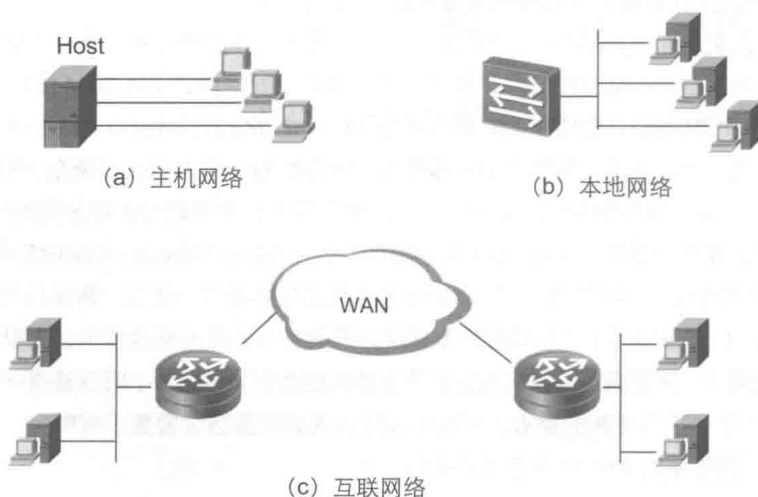


图 1-3 计算机网络的发展

在实现了设备间的物理连接之后，请思考一下，应该如何实现数据上的互通。

为了方便大家理解网络互联的实现机理，可以对比生活中的例子来了解网络中数据通信的过程。

如图 1-4 所示，两台计算机通过一条网线直接连接，构成了一个最简单的网络，希望能够借助于这样的网络实现两台计算机之间的数据通信，双方可以将文本、图片、视频等信息传递给对方。

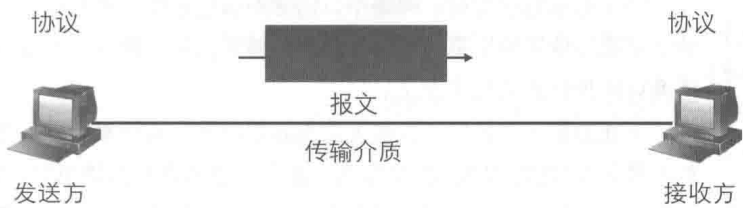


图 1-4 两台计算机直连通信

一个完整的数据通信系统由报文、发送方、接收方、传输介质和协议 5 个部分组成。以下分别对 5 个组成部分做详细的介绍。

- 报文（Message），通信中的数据块。文本、数字、图片、声音、视频等信息被编码后，以报文的形式传送。
- 发送方（Sender），发送数据报文的设备。它可以是计算机、工作站、服务器、手机等。
- 接收方（Receiver），接收报文的设备。它可以是计算机、工作站、服务器、手机、电视等。
- 传输介质（Medium），信号传送的载体。信号可以通过有线或者无线方式进行传输，局域网中常见的有线传输介质有光纤、同轴电缆、双绞线等。
- 协议（Protocol），管理数据通信的一组规则。它表示通信设备之间的一组约定。如果没有协议，即使两台设备在物理上是连通的，也不能通信。比如一个只能说汉语的人就无法与一个只能说英语的人进行语言交流。

数据通信的过程，有点类似现实生活中的物品快递服务，在流程上可以互相进行对比理解。表 1-1 描述了物品快递过程和数据通信过程的对比。

表 1-1 快递过程和数据通信过程的对比

步 骤	物品快递	数据通信
1	邮寄人准备寄件物品，妥善包装 如果是大件物品，拆成散件分别包装	发送方准备好需要传递的报文 如果文件较大，则拆分成小的数据分片
2	快递公司对邮寄物品进行包装 填写寄件人姓名、地址，收件人姓名、地址等信息	将数据分片封装成数据报文 数据报文中包含发送方和接收方的信息
3	通过查找收件人地址和姓名，确定物品快递的路径，确定转运节点 借助海陆空等方式，实现物品在各转运节点之间的传递	查找接收方的地址信息，确定数据转发路径 借助网线等介质在各转发节点上转发数据报文
4	收件人接收寄件，拆封包装 如果是大件物品，重新组装还原	目的计算机接收数据报文 如果是分片的，则重新组装数据分片，还原报文

通过表 1-1 对于数据通信过程的描述可以了解到，在数据通信过程中，要实现数据的正确传递，要具备以下的前提。

（1）发送双方地址的标识。数据转发过程中，发送方和接收方的信息应该如何标识，类似于收件人/发

件人姓名和地址。



IP 网络基础——
数据通信基础

(2) 数据封装方式的协定。收发双方必须遵循相同的数据封装原则。譬如数据外层封装了几层包裹，每层包裹中携带了什么信息。

(3) 数据信息解码。网络中，信息的表述是用二进制数字“0”“1”进行描述的。接收方要还原出具体的网络信息，譬如文字、图片、视频等信息，则必须提前协商好数据代表的具体含义。

上述的第一个问题，相信大家都能够回答，在计算机网络中，用于标识计算机的主要是 IP 地址和 MAC 地址两个参数。在本章的后续小节中，将对 IP 地址和部分常见协议进行详细介绍。接下来，首先来认识网络的分层模型。

1.2.2 OSI 参考模型

在上文中提到，一个基本的数据通信系统由 5 个部分组成，其中比较关键的一个部分是网络协议。

在计算机网络中，所谓协议，就是为了使网络中的不同设备能进行数据通信而预先制定的一整套通信各方相互了解和共同遵守的格式和约定，是一系列规则和约定的规范性描述。协议定义了网络设备之间如何进行信息交换，是网络通信的基础。只有遵从相同的协议，网络设备之间才能够通信。如果一台设备不支持用于网络互联的协议，它就无法与其他设备进行通信。

以电话为例，必须首先规定好信号的传输方式、什么信号表示发起呼叫、什么信号表示呼叫结束、出了错误怎么办、怎样表示呼叫人的号码等，这种预先规定好的格式及约定就是协议。

网络协议多种多样，例如经常提到的有超文本传输协议（Hypertext Transfer Protocol，HTTP）、文件传输协议（File Transfer Protocol，FTP）、传输控制协议（Transmission Control Protocol，TCP）、IPv4 等。譬如通过浏览器访问网站时，输入网址中的“http://”就是代表这次访问使用的协议是 HTTP。

协议分为两类：一类是各网络设备厂商自己定义的协议，称为私有协议；另一类是专门的标准机构定义的协议，称为开放式协议。私有协议只有厂商自己的设备支持，无法和其他厂商的设备互通，所以在平时应用中，各厂商会尽量遵循开放式协议。

目前现网中使用的开放式协议标准可以分为两类，包括事实标准和法定标准。事实标准是未经组织团体承认但已在应用中被广泛使用和接受的标准，法定标准是由官方认可的组织团体制定的标准。

目前，整理、研究、制定和发布开放性标准协议的组织机构主要有以下几个，如表 1-2 所示。

表 1-2 网络标准化组织机构

标准机构	组织介绍
国际标准化组织（International Organization for Standardization，ISO）	ISO 是一个全球性的非政府组织，是国际标准化领域中一个十分重要的组织，成立于 1946 年 中国是 ISO 的正式成员，代表中国参加 ISO 的国家机构是中国国家技术监督局 ISO 制定国际标准，协调世界范围内的标准化工作，与其他国际性组织合作研究有关标准化问题，促进标准化工作的开展，以利于国际物资交流和互助，并扩大知识、科学、技术和经济方面的合作
互联网工程任务组（Internet Engineering Task Force，IETF）	IETF 是一个公开性质的大型民间国际团体，成立于 1985 年底，是全球互联网最具权威的技术标准化组织，主要任务是负责互联网相关技术规范的研发和制定，当前绝大多数国际互联网技术标准出自 IETF。著名的 RFC（Request For Comments，请求评论）标准系列就是由 IETF 制定和发布的

续表

标准机构	组织介绍
电气和电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)	IEEE 是一个国际性的电子技术与信息科学工程师的协会,是目前全球最大的非营利性专业技术协会 IEEE 致力于推动电工技术在理论方面的发展和应用方面的进步,促进计算机工程、生物医学、通信到电力、航天、用户电子学等技术领域的科技和信息交流,制定和推荐电气、电子技术标准 以太网标准规范就是由 IEEE 制定发布的
国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU)	ITU 是联合国的一个重要专门机构 ITU 是主管信息通信技术事务的联合国机构,负责分配和管理全球无线电频谱与卫星轨道资源,制定全球电信标准,向发展中国家提供电信援助,促进全球电信发展
电子工业联盟 (Electronic Industries Alliance, EIA)	EIA 是美国电子产品制造商的一个产业组织 EIA 由美国国家标准学会授权编写电子器件、消费电子产品、电信和互联网安全等方面的标准 串行通信的 RS-232、EIA-422、EIA-485 等就是由 EIA 制定的

网络中,为了使不同设备能够互相通信,收发双方都必须遵循同一个标准,但单一的巨大的协议会加大网络设计难度,同时也不利于分析及查找问题。因此,计算机模型中引入了分层的概念。

分层模型是一种用于开放网络的设计方法,将通信问题划分为几个小的问题(层次),每个问题对应一个层次。

为了更好地实现计算机之间的通信,分层模型需具备以下的特点。

(1) 每层的功能应是明确的,并且是相互独立的,当某一层的具体实现方法更新时,只要保持上下层的接口不变,便不会对邻层产生影响。

(2) 层间接口必须清晰,跨越接口的信息量应尽可能少。

(3) 层数应适中。若层数太少,则造成每一层的协议太复杂。若层数太多,则体系结构过于复杂,使描述和实现各层功能变得困难。

基于以上的原则,20 世纪 60 年代以来,各大厂商为了在数据通信网络领域占据主导地位,纷纷推出了各自的网络架构体系和标准,如 IBM 公司的 SNA、Novell IPX/SPX 协议、Apple 公司的 AppleTalk 协议、DEC 公司的 DECnet。

同时,各大厂商针对自己的协议生产出了不同的硬件和软件。各个厂商的共同努力促进了网络技术的快速发展和网络设备种类的迅速增加。但是由于多种协议的并存,也使网络变得越来越复杂,而且厂商之间的网络设备大部分不能兼容,很难互相进行通信。

为了解决网络设备之间的兼容性问题,帮助各个厂商生产出可兼容的网络设备,国际标准化组织(ISO)于 1984 年提出了开放系统互联参考模型(Open System Interconnection Reference Model,OSIRM),其 7 层模型如图 1-5 所示。

OSI 参考模型在设计时,遵循了以下原则。

- (1) 各个层之间有清晰的边界,每层实现特定的功能。
- (2) 层次的划分有利于国际标准协议的制定。
- (3) 层的数目足够多,以避免各个层功能重复。

