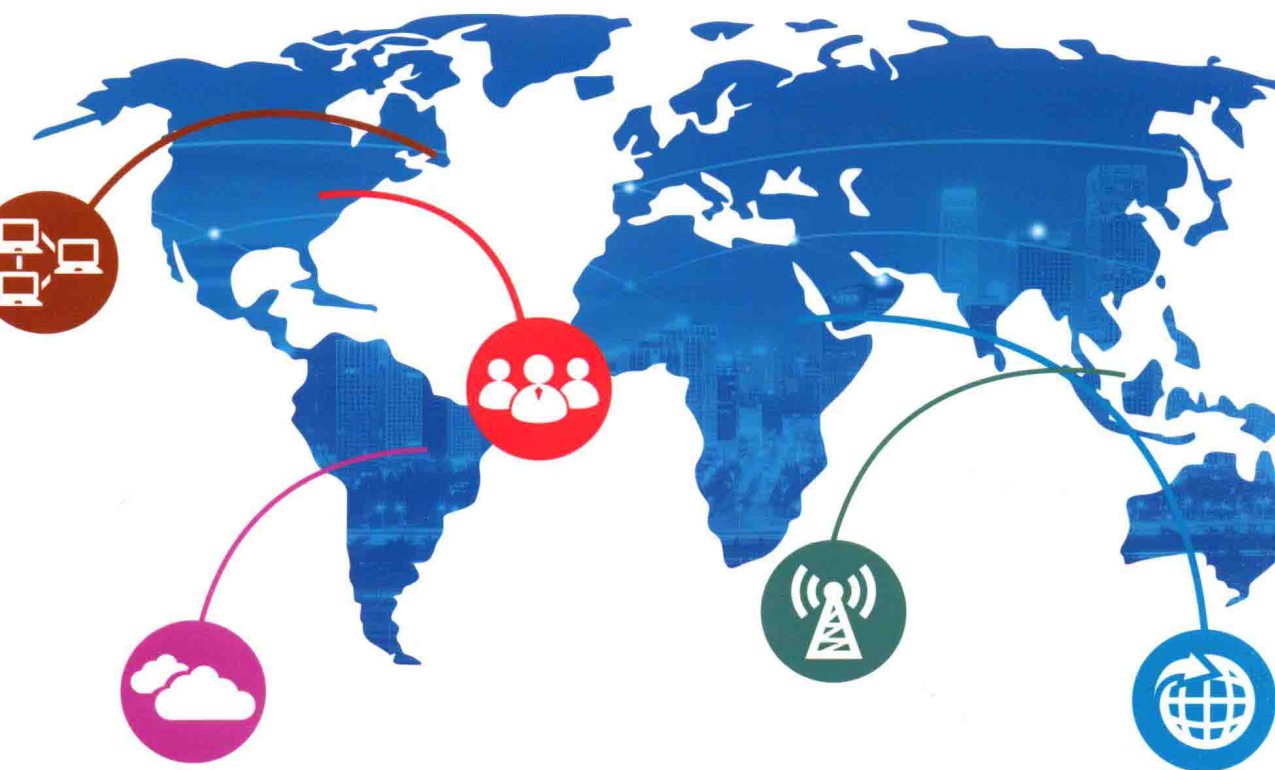




城域综合承载传送 技术及应用

王光全 黄永亮 廖军◎编著



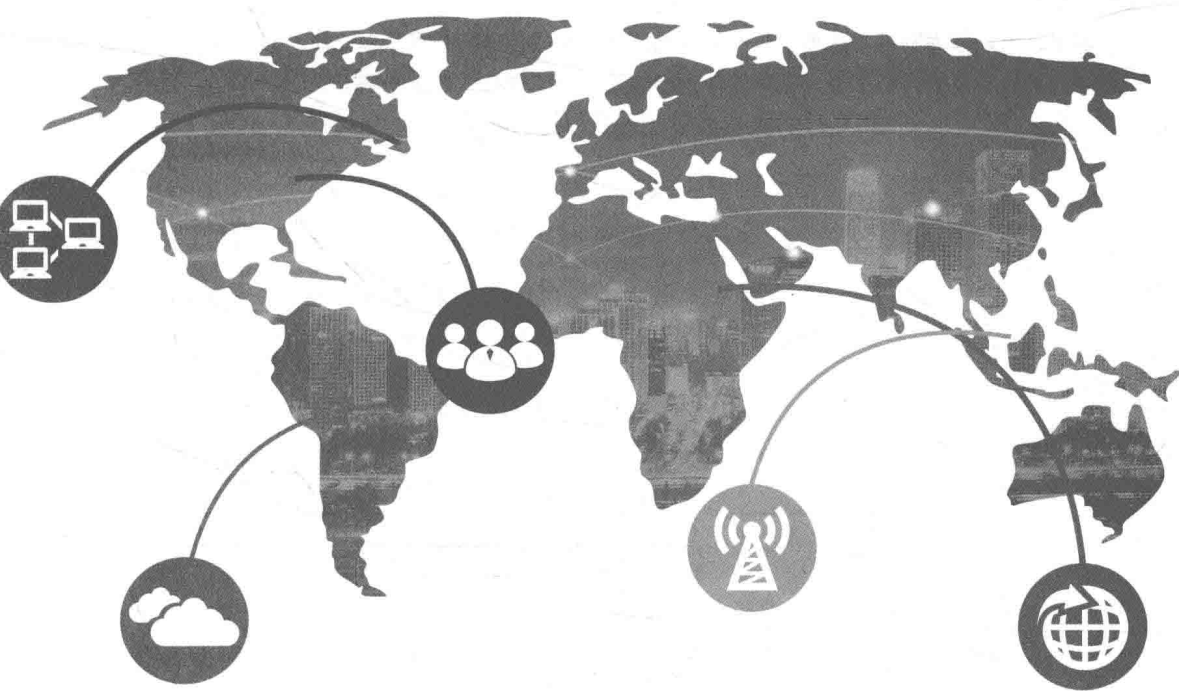
中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

城域综合承载传送 技术及应用

王光全 黄永亮 廖军◎编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

城域综合承载传送技术及应用 / 王光全, 黄永亮, 廖军编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-115-43706-8

I. ①城… II. ①王… ②黄… ③廖… III. ①城域网—无线电通信—通信技术 IV. ①TN926

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第250343号

内 容 提 要

本书系统地介绍了城域综合承载传送网的基本原理和关键技术及应用解决方案。主要内容包括城域综合承载传送网的技术和组网方式发展历程、架构及需求分析、技术原理、关键技术、时间和频率同步技术、网络管理技术、网络规划及设计、业务开放及配置方案、网络互通技术、信息安全技术、与传送网的系统连接、网络测试与验收方法以及技术的发展等方面。本书内容全面详实, 对于城域综合承载传送网的网络规划和运行维护具有较高的实际应用价值。

本书既可以作为网络工程师了解和学习城域综合承载传送网技术原理的参考书, 也可以供电信网络工程师规划建设和维护网络参考, 还可以作为相关大中专院校师生的参考用书。

◆ 编 著 王光全 黄永亮 廖 军

责任编辑 李 静

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>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 21

2016 年 11 月第 1 版

字数: 363 千字

2016 年 11 月北京第 1 次印刷

定价: 98.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

序

业务和网络的 IP 化、宽带化使得综合承载传送技术应运而生，可在城域网中采用一张网络承载多种业务，全世界多数运营商均已采用基于 IP/MPLS 的综合承载网技术组建自己的移动回传网和城域综合承载传送网，中国联通也已经采用 UTN 技术建设了世界上最大的城域综合承载传送网络，UTN 作为新一代城域综合承载技术，以 IP/MPLS 为基础技术，针对各种业务在城域中的应用，在网络架构、设备技术、维护管理等方面进行了诸多的创新，与原有 IP 城域承载技术以及 PTN、MSTP 技术相比，具有更高的网络灵活性以及面向未来的可扩展性等优点。

本书作者具有丰富的网络规划设计经验，本书从运营商网络规划、建设和运维的角度出发，系统地阐述了城域综合承载传送(UTN)技术从起源到技术细节再到网络应用的方方面面，内容全面深入。本书首先从城域网的技术演进讲起，详细地分析了业务需求；然后从网络架构、网络技术原理及关键技术进行解析，说明了其与 IPRAN 技术的异同，一直到设备互通、网络设备配置方案和业务开放方式等；接着又从设备入网测试及网络验收等方面讲述了测试验收方法；最后讲解了网络规划和设计等方面的思考以及对未来技术发展的考虑。

目前，网络技术本身正处于发展的十字路口，400Gbit/s、G.metro 等高速传送接入新技术呼之欲出，各运营商和设备厂商也在不断探索控制层面的 SDN 化和设备硬件的白盒化，促进了 IP 与光技术的不断融合；与此同时，移动 5G、4K 视频及 VR 等宽带业务将对承载传送网提出新的挑战，给城域（本地）网带来一次新的技术革命，推动了城域网演进的步伐。因此，通过对城域综合承载传送网发展经历的分析，本书提出了城域网未来的演进方向和目标，具有较高的参考价值。

本书既可以作为网络工程师了解和学习城域综合承载传送网技

术原理的参考用书，为网络建设工程师提供规划建设网络的参考，也可供大中专院校从事网络研究的师生阅读。

非常感谢本书作者能将自己在综合承载传送网技术领域的研究成果和经验与业界分享，体现了通信人和通信企业的历史责任感和使命感。希望本书的出版，可以起到抛砖引玉的效果，掀起行业内关于网络发展的大讨论，把握历史时机，引领未来城域综合承载传送网技术的发展方向。

傅 强

中国联通网络技术研究院院长

前言

长期以来,在电信运营商的城域网中面向不同的业务存在着不同的承载传送网络,各种承载传送网络的规模容量、性能和可靠性等方面差异较大,分属不同的专业进行运维。业务网络的 IP 化,特别是移动回传网络的全 IP 化,推动了整个城域网 IP 化,使得城域综合承载传送成为可能。

城域综合承载传送网(UTN)以 IP/MPLS 技术为基础,在深入分析各种业务网的技术及需求特点的基础上,结合城域网络未来发展趋势和演进策略,以可管、可控、可运营为基本目标,简化了传统 IP/MPLS 设备的计费、认证等功能,增加了频率和时间同步、秒级流量监测、在线性能监测等的功能改进和创新,完整地解决了城域综合承载传送网端到端的维护、管理、运营等相关问题,使其真正成为具有电信级业务承载能力的多业务承载传送网,而且降低了网络的建设成本和维护成本,并已在我国主要电信运营商中得到大规模的应用,将成为面向未来的以 5G 移动网络接入为主的城域网基础。

UTN 技术还提出了“2+3”的综合城域承载传送网络架构,即核心汇聚层采用三层组网技术,接入层采用二层组网技术,这种架构完全符合当前热门的 SDN 技术应用场景,符合技术发展的方向。

本书具有系统性、实用性、可读性和工具性等特点。本书从相关技术的发展演进到 UTN 技术的开发和网络的应用,系统地讲述了城域综合承载传送网技术的发展,并将应用中的实际案例作为本书的一个重要组成部分,为读者提供一个可实际操作参考;在技术部分深入浅出地讲解了其中的关键技术,便于各层次读者的理解和掌握。此外,本书中将应用中的各种技术和方法做了整理,方便读者在使用中及时查阅。

本书是作者近年来承担城域综合承载传送技术的相关项目和开展相关技术研究工作的总结,也是中国联通网络技术研究院从事相关

技术研究、标准制定和网络规划的同事们的集体智慧的结晶。其中，王光全负责组织编写、讨论和审核全书，并对全书进行统稿。黄永亮负责第 1 章、第 2 章、第 7 章、第 3 章部分章节和第 12 章部分章节的编写；廖军协助负责全书的统稿；庞冉负责第 3 章、第 11 章的部分章节和第 6 章、第 9 章的编写；朱琳负责第 3 章部分章节的编写；张贺、郑滢雷负责第 4 章的编写；郑滢雷、赵良负责第 5 章和第 11 章部分章节的编写；马铮负责第 8 章的编写；王海军负责第 10 章的编写；曹畅负责第 12 章部分章节的编写。

感谢傅强院长对本书出版的大力支持并欣然作序。在本书的编写过程中，我们还得到了迟永生副院长、唐雄燕首席专家以及城域综合承载传送网项目组同事的大力支持和帮助，同时得到了中国联通技术部、网建部等部门领导和同事的鼓励和支持，在此一并表示感谢！

鉴于作者水平有限，时间较紧，且通信技术发展的日新月异，仓促之余难免错漏和不足，恳请各位读者批评指正。

王光全

2016 年 8 月 10 日

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 本地传送网的演进	1
1.2 本地电信级业务的发展方向	7
1.3 本地网面临的挑战	8
1.4 城域综合承载传送网的特点	9
第 2 章 城域综合承载传送网络架构分析	12
2.1 现有城域承载和传送网的网络架构及应用技术	12
2.1.1 网络概况	12
2.1.2 本地传送网	14
2.1.3 IP 城域网	15
2.1.4 有线接入网	16
2.2 城域业务需求分析	17
2.2.1 移动回传	18
2.2.2 固定宽带业务	19
2.2.3 固话业务	20
2.2.4 集团客户业务	21
2.3 城域综合承载传送网的网络功能与承载带宽分析	21
2.4 城域综合承载传送网的目标架构	23
2.4.1 城域综合承载传送与接入的基本要求	23
2.4.2 城域综合传送承载与接入网架构分析	24
2.4.3 城域综合传送承载网架构实现与主要功能	26
2.5 城域综合承载传送网的业务定位及与 IP 城域网的关系	27
2.6 主要应用技术比较与技术选择	29

2.6.1	引入 IP/MPLS 技术的必要性	29
2.6.2	MPLS-TP 技术	30
2.6.3	UTN (统一承载传送网) 概念的提出和实现	31
第 3 章 城域综合承载传送网技术		34
3.1	概述	34
3.1.1	应用在综合承载传送网上的 IP/MPLS 技术与标准 IP/MPLS 技术的区别	34
3.1.2	应用在综合承载传送网上的 IP/MPLS 技术主要功能	36
3.2	L3/L2 的网络功能论证	37
3.3	城域综合承载传送技术	38
3.3.1	设备技术	38
3.3.2	路由技术	50
3.3.3	MPLS 技术	61
3.3.4	OAM 技术	65
3.3.5	仿真技术	68
3.3.6	保护技术	70
3.3.7	QoS 技术	73
第 4 章 城域综合承载传送网的频率和时间同步		77
4.1	概述	77
4.1.1	综合城域承载网络对频率同步的需求	77
4.1.2	移动及其他相关业务对时间同步的需求	78
4.2	频率和时间同步	79
4.2.1	频率同步的地面定时链路传送	79
4.2.2	时间同步	82
4.2.3	PTP 时间同步网络	85
4.3	分组承载设备和基站设备功能及性能要求	87
4.3.1	1588v2 高精度时间服务器 (PRTC+GM) 的功能和设备配置	87
4.3.2	传送承载设备 MSTP 网元的功能和设备配置	88

4.3.3	分组承载设备网元的功能和设备配置	88
4.3.4	传送承载设备 OTN 的功能和设备配置	89
4.3.5	基站设备的同步功能和设备配置	92
4.3.6	设备的频率同步接口和时间同步接口要求	93
4.4	同步定时链路的组织	94
4.4.1	概述	94
4.4.2	2G/3G 基站同步的定时链路组织	95
4.4.3	LTE 基站频率同步定时链路组织	96
4.4.4	LTE 基站 1588 时间同步网同步链路组织	96
4.4.5	频率和时间链路的切换	97
4.5	时间同步网关于频率层和时间层的协调和选源要求	97
4.5.1	时间同步与频率同步的关系和关联	97
4.5.2	PTP 网元在网络中的定位和运行方式	98
4.5.3	PTP 网元设备时间运行机制及时间层和频率层的协调操作	100
4.5.4	关于时间接口 1PPS+ToD 的参数	101
4.5.5	PTP 域中设备参数的配置	102
4.5.6	设备上电重启（或进程重启）运行的时间状态	102
第 5 章	城域综合承载传送网的网管系统	103
5.1	网管系统基本功能	104
5.1.1	拓扑管理	104
5.1.2	配置管理	106
5.1.3	报表管理	106
5.1.4	网元管理	106
5.1.5	故障管理	121
5.1.6	性能管理	129
5.1.7	安全管理	135
5.1.8	北向接口	136
5.2	秒级流量监测功能	138
5.2.1	产生背景	138

5.2.2	技术方案	139
5.2.3	各厂家实现机制	140
5.2.4	秒级流量数据分析指标	141
5.3	告警相关性功能	142
第 6 章 业务开放方式及配置方案		143
6.1	承载业务分析	143
6.1.1	2G/3G 语音业务需求类型及特点	143
6.1.2	3G FE 业务需求类型及特点	144
6.1.3	LTE 的业务需求类型及特点	145
6.2	承载业务方案	155
6.2.1	2G/3G 语音业务承载方案	156
6.2.2	3G 数据业务承载方案	156
6.2.3	LTE 业务承载方案	157
6.2.4	集团客户业务承载	158
6.2.5	固定宽带业务承载	159
6.3	TDM 业务承载	159
6.3.1	业务承载方案	159
6.3.2	业务保护方案	160
6.4	以太业务承载	161
6.4.1	层次化 L3VPN 承载方案	161
6.4.2	PW+L3VPN 承载方案	163
6.5	ATM 电路	166
6.5.1	ATM 技术	166
6.5.2	ATM 层协议	166
6.5.3	ATM 电路的特点	167
6.5.4	ATM 电路承载业务类型	167
第 7 章 城域综合承载传送网设备互通技术		168
7.1	概述	168

7.2 互通要求	169
7.2.1 业务互通	169
7.2.2 网络互通	170
7.2.3 保护互通	171
7.3 互通组网	171
7.3.1 分域组网场景一：分区域 UNI 互通	171
7.3.2 分域组网场景二：独立进行进程互通	173
7.3.3 分域组网场景三：融合互通	174
7.3.4 各场景方案分析	175
7.3.5 分层互通	176
7.4 互通应用	177
7.4.1 分域互通组网应用	177
7.4.2 UTN 与 CE 组网分析及应用策略	178
第 8 章 城域综合承载传送网信息安全技术	182
8.1 UTN 的安全防护考虑	182
8.1.1 UTN 安全概述	182
8.1.2 UTN 安全风险	183
8.2 UTN 安全防护建议	184
8.2.1 数据安全防护建议	184
8.2.2 流量管控防护建议	185
8.3 IPSec 的研究与实践	186
8.3.1 IPSec 概述	186
8.3.2 基于 IPSec 的 LTE 安全网关	188
8.4 基于云技术的网络安全	189
8.4.1 基于云技术的网络安全概述	189
8.4.2 基于云技术的网络安全目标架构	190
第 9 章 网络规划与设计	196
9.1 网络架构	196

9.1.1	基础架构	196
9.1.2	网络组织	197
9.2	容量设计	198
9.3	网络协议配置	198
9.4	网络保护	199
9.4.1	网内保护	199
9.4.2	接入链路及双归保护	200
9.4.3	网间保护	200
9.4.4	采用底层网络提供保护	200
9.5	网络同步方式设置	201
9.5.1	时钟同步	201
9.5.2	时间同步	201
9.5.3	1588v2 部署要求	201
9.6	业务承载方式	202
9.7	IP 地址规划	202
9.7.1	网元网管 IP 地址配置要求	202
9.7.2	网元设备 IP 地址配置要求	202
9.7.3	网元端口 IP 地址配置要求	203
9.8	不同厂家 UTN 设备组网方式	203
第 10 章	城域综合承载传送与 OTN 技术的协同	205
10.1	网络泛光化及其影响	205
10.1.1	网络泛光化及其特点	205
10.1.2	网络泛光化对网络架构的影响	207
10.1.3	网络泛光化业务设备提出更高的光接口及 OAM 维护要求	208
10.2	综合城域承载传送技术与 OTN 技术的协同	209
10.2.1	综合城域承载传送网与 OTN 网络在同步信息传递上的协同	209
10.2.2	OTN 为基础结合 UTN 共同组网	210
10.2.3	综合城域承载传送网采用 OTN 接口技术	210
10.2.4	综合城域承载传送设备采用彩光口组网	216

10.2.5 IP 网络与 WDM/OTN 网络协同保护	218
第 11 章 网络测试与验收	220
11.1 测试项目概述	220
11.1.1 设备的分类	220
11.1.2 测试项目一览表	220
11.2 测试环境配置	223
11.2.1 单机测试场景图	223
11.2.2 单机测试网络结构及端口命名	224
11.2.3 单机设备配置	224
11.2.4 组网测试场景图	225
11.2.5 业务配置要求	226
11.3 数据平面测试	226
11.3.1 接口测试	226
11.3.2 分组转发与交换测试	228
11.3.3 业务适配与承载功能测试	230
11.3.4 QoS 功能测试	235
11.3.5 OAM 功能测试	241
11.3.6 网络保护测试	247
11.3.7 同步测试	250
11.4 控制平面测试	255
11.4.1 路由功能测试	255
11.4.2 MPLS 功能测试	256
11.5 设备功能与性能测试	258
11.5.1 FIB 表容量测试	258
11.5.2 最大 VLL/VPLS 数量测试	259
11.5.3 最大 L3VPN 数量测试	260
11.5.4 最大双归保护组数量测试	261
11.5.5 最大 LSP 线性保护组数量测试	261
11.5.6 最大 BFD 会话数量测试 (3.3ms)	262

11.5.7	MAC 地址容量测试	263
11.5.8	路由振荡测试	264
11.5.9	转发时延测试	265
11.5.10	主控卡及电源保护功能测试	265
11.5.11	业务板卡热插拔测试	266
11.5.12	整机功耗测试	267
11.5.13	长时间转发的稳定性测试	268
11.6	其他测试	269
11.6.1	uRPF 测试	269
11.6.2	AAA 功能测试	271
11.6.3	控制平面防护测试 (可选)	271
11.6.4	一次进站功能测试	272
11.6.5	三层 IP 性能监控测试	273
11.6.6	组播测试	274
第 12 章	城域综合承载传送网技术发展	276
12.1	SDN 技术概述	276
12.2	SDN 在 UTN 中的应用场景	279
12.2.1	接入层简化运维	279
12.2.2	路由策略集中控制	280
12.2.3	全网虚拟化, 网络切片	280
12.2.4	便于网络跨层、跨域互通	281
12.3	SDN 在 UTN 中的架构和关键技术	282
12.3.1	单域控制器与设备	282
12.3.2	多域控制功能	283
12.3.3	业务管理与能力开放平台	284
12.3.4	NMS/OSS	284
12.3.5	层间接口技术	285
12.4	SDN 引入思路与长期演进形式	286
12.4.1	新增 SDN 节点	287

12.4.2 共同组网	287
12.4.3 长期演进	287
12.5 小结	288
附录 A 设备厂商资料	289
A.1 华为 UTN 设备介绍	289
A.1.1 接入设备	289
A.1.2 汇聚设备	293
A.1.3 核心设备	296
A.2 烽火 UTN 设备介绍	299
A.2.1 接入设备	301
A.2.2 汇聚设备	306
A.2.3 核心设备	309
A.3 中兴 UTN 设备介绍	311
A.3.1 接入设备	312
A.3.2 核心汇聚设备	315
附录 B 现网运行维护测试经验	317
B.1 站点环境及电源相关器件	317
B.2 测试连接器件和线缆	317
B.2.1 电相关测试器件和线缆	317
B.2.2 光相关测试器件和线缆	318
B.2.3 其他工具	318
B.3 操作终端和连接线	318
B.4 仪表和专用连接器件	319
B.5 通信联系保证	319
B.6 测试准备工作	319
参考文献	320

Chapter 1

第 1 章 概 述

1.1 本地传送网的演进

本地传送网是以城市为范围组织的网络，主要目的是完成城市区域内的电路业务的传送。1990 年前，还没有数据城域网的概念，语音业务是主体，根据交换网络的格局，本地传送网又进一步分为市话网和农话网，还有城市存在郊区网。

最早的电路为纯模拟电路，通过在不同的载波上加载业务，网络采用明线和电缆的多路载波电话技术（FDM），架空明线有 3 路和 12 路载波电话。随着技术的进步，平衡线可以做到 12 路和 60 路载波电话，小同轴电缆有 300 路，中同轴有 1800 路。但模拟电路传送受技术的限制，存在总容量较小，长距离传送情况下噪声不断累积，直至话音完全听不清楚的地步等诸多问题。

针对以上技术的弊端，数字通信技术逐步发展起来，其中晶体管的发明是数字技术应用的关键，数字交换机的应用也推动了电信网络从模拟到数字的过渡。

PCM（Pulse Code Modulation，脉冲编码调制）是英国人里夫斯（Alec H.Reeves）在 1937 年发明的，贝尔实验室通过不断的实践和提高，成功制造了世界上第一个能够