

新大话信息通信丛书

大话 传送网

(第2版)

赵继勇 贺春雨 曹芳◎编著



本书改编于“**通信人家园**”2015年的同名热帖
该贴的点击量已经突破**4300000**次

本书献给初涉“传送网”的“小白”，助他们早日晋升为“小白+”



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

新大话信息通信丛书

大话 传送网

(第2版)

赵继勇 贺春雨 曹芳◎编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

大话传送网 / 赵继勇, 贺春雨, 曹芳编著. -- 2版

— 北京: 人民邮电出版社, 2019. 5

(新大话信息通信丛书)

ISBN 978-7-115-49613-3

I. ①大… II. ①赵… ②贺… ③曹… III. ①通信网

IV. ①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第229313号

内 容 提 要

本书是一本介绍传送网的基础知识读物, 用通俗易懂的语言解读了传送网的每一个关键技术, 诸如 SDH、MSTP、DWDM、OTN 以及 PTN 等; 通过亲身经历将光缆线路的规划设计娓娓道来, 涉及光缆路由选择、敷设方式选择、光缆选型以及光缆预留等; 用直观生动的漫画和形象浅显的例子探索了当下重要的传送网技术, 包括无线光通信和 SDN。作者更是以“教师”和“工程师”的“双师”视角梳理、组织与展开内容, 旨在“以学为主, 学以致用”, 让传送网走下“神坛”接地气, 让初学者跨过门槛学知识。读者既可以全面地了解各种技术的产生背景、基本原理及工程应用, 也可以选择性地阅读这部传送网的技术简史。

本书以通信工程专业的在校大学生、通信行业新入职员工以及从事光传送网专业的人员为主要读者对象, 也可作为通信领域及其他非专业人员了解传送网知识的入门读物。

◆ 编 著 赵继勇 贺春雨 曹 芳

责任编辑 李 强

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>

北京市艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 19

2019 年 5 月第 2 版

字数: 330 千字

2019 年 5 月北京第 1 次印刷

定价: 89.00 元

读者服务热线: (010)8105593 印装质量热线: (010)81055316

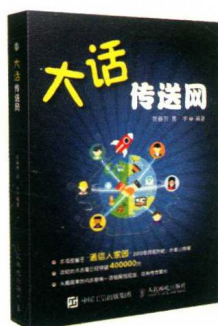
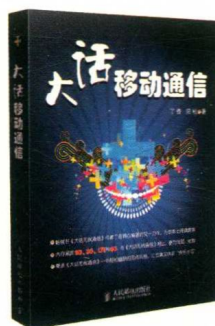
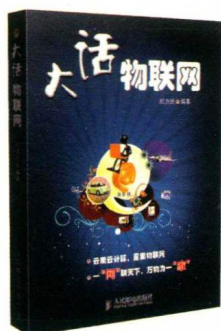
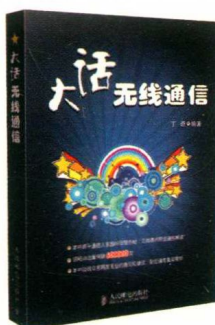
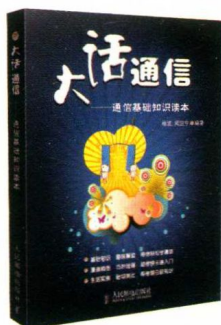
反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

它们是通信圈子里的“古典名著”

十载风雨砥砺，十载春华秋实

“大话通信”系列：成就专业科普图书品牌



作者简介

赵继勇

男，1978.08出生，甘肃人。现执教于解放军陆军工程大学通信工程学院，主要从事光通信方向的教学、科研以及工程设计工作。具有丰富的通信工程实践与教学经验，出版通信工程类教材四部，陆军工程大学“优秀教师”，微信公众号“光缆网工程自主学习平台”创始人。

贺春雨

2002年毕业于吉林大学，从事传输设备销售、设计工作十年以上，曾就职于北京中网华通设计咨询有限公司，负责传送网技术培训工作。爱好吉他、唱歌、音乐创作，大学期间在乐队中担任吉他手，喜欢在平凡中寻找快乐。

新浪微博：小雨哥59

个人微信号：28423246

曹 芳

女，1978.07出生，黑龙江人。现执教于南京理工大学紫金学院，主要从事光电信息科学与工程方向的教学、科研工作。具有丰富的光缆线路工程设计经验，出版通信工程类教材两部，微信公众号“光缆网工程自主学习平台”建设者之一。

封面设计： 国书设计
13552026835

前言

时光荏苒、白驹过隙，四毛哥和小雨哥都已不是当年仗剑走天涯、勘察出文件的“通信汪”了，而成为躬耕于三尺讲台的教育工作者。相似的经历、共同的志趣让两人相识相知，逝去的回忆、不变的情怀让两人重出江湖，再战“大话”！

大家都经历过学生年代，那些“高大上”的专业书籍暂不属于初学者，只好束之高阁——能看懂的人没必要去看，而不懂的人看完依旧不懂。“大话传送网”旨在通过深入浅出的介绍，让初涉传送网的读者能够迅速提升自己，本书侧重“浅出”部分，“深入”部分还需大家多多查找参考资料。同时，我们也希望光传输领域的专家们不吝赐教，鞭策我们继续昂首向前、延续工程情怀、持续发挥余热。

“大话传送网”分“大话”和“传送网”两部分。传送网，四毛哥和小雨哥已经为之献出了“青葱岁月”；而“大话”部分，对于浪迹江湖近二十载的作者而言轻车熟路、信手拈来。“不会上课的通信人不是一个好作者”，自从有了“教学者”的阅历，四毛哥和小雨哥才真正了解到“学习者”热切的“入门”需求，更真切感受到“学习者”迫切的“上手”意愿，所以“教师”和“工程师”的“双师”身份有利于从“教学”与“实用”的双重视角诠释传送网技术；“我们不一样”，四毛哥和小雨哥擅于把信息通信工程中最实用的传送网知识，用最通俗易懂的话语表述出来、用最直观生动的漫画勾勒出来、用最形象浅显的例子类比出来，不一样的呈现角度、不一样的呈现内容、不一样的呈现方式，当然会让读者有不一样的阅读体验！

整个传送网的知识体系就像一棵枝繁叶茂的大树一样，每个树枝都向上延伸出数不清的茎叶，各种概念、定义、术语、协议、标准以及规范让人眼花缭乱。本书则按照传送网的发展主线组织和展开内容，读者循着这条主线，可由浅及深地掌握传送网的知识结构，并能将传送网技术学以致用。

本书定位于“大话”入门系列，力求化繁为简，对于很多技术细节没有过深挖掘，而是点到为止，一方面是市面上从来都不缺有深度的书籍；另一方面也是由于作者技术水平有限，在面对这棵参天大树时仍有很多不能参透的技术细节，只好充当园艺师的角色，大



刀阔斧地为读者廓清主干、理清脉络。

我们希望大家读这本书就像读小说一样，把整本书看完一遍之后，哪怕从中只学到了 $1+1=2$ ，入了这个门并具备了自学的能力，这都是进步。如果站在“大话传送网”这块小小的砖头上，能看懂一些以前看不懂的东西，有基础去继续追求技术上的细节，就是你我的缘分，也是本书的初衷，其中讲解不够深入的地方请大家参阅相关技术资料。

最后，关于本书以及传送网的其他数字资源将会陆续发布、分享于微信公众号“光缆网工程自主学习平台”中，敬请关注与支持！

闲言少叙，开卷有益。

编者

2019年3月

目 录

第 1 章 传送网是干啥的	1
1.1 通信是干啥的	2
1.1.1 古代通信的智慧——烽火台	2
1.1.2 通信就是信息交互	4
1.2 理想和现实的差距——模拟通信	5
1.2.1 “模拟”和“数字”	5
1.2.2 什么是模拟通信	7
1.3 “0”和“1”的世界——数字通信	8
1.3.1 时间和空间的离散——抽样	9
1.3.2 退而求其次——量化	11
1.3.3 信息翻译官——编码	13
1.3.4 题外话——数字通信，断喙重生	15
1.4 把信息交给网络	16
1.4.1 业务网是啥	16
1.4.2 数字移动通信——GSM	17
1.4.3 我们需要一个接口	21
1.4.4 一个重要接口——E1	24
1.4.5 E1 的特点	27
1.5 初识传送网	29
1.5.1 传送网是干啥的	29
1.5.2 千呼万唤始出来	31
1.5.3 “收发快递”和“运送快递”	33



1.5.4 资源要共享——复用	34
1.6 不得不说的一些事	38
1.6.1 层面很重要	38
1.6.2 标准和协议	43
第2章 刚性通道时代	47
2.1 光通信的开端——PDH	48
2.1.1 大箱子和小箱子	48
2.1.2 “TM”组网很麻烦	51
2.1.3 公交车和机场巴士	52
2.1.4 为什么叫“准”同步	54
2.1.5 PDH问题多	57
2.2 SDH——长江后浪	58
2.2.1 SDH——“神”一般的存在	58
2.2.2 跟着老司机拉货物	59
2.2.3 箱子很忙——交叉	62
2.2.4 打开箱子看一看——帧结构	64
2.2.5 SDH分层结构	67
2.3 MSTP与时俱进	68
2.3.1 数据风暴来袭——3G移动网	68
2.3.2 又一个重要接口——以太网	70
2.3.3 修车还是换车	73
2.4 东方不亮西方亮——保护	75
2.4.1 保护的前提是冗余	75
2.4.2 双管齐下——通道保护	78
2.4.3 择路绕行——复用段保护	80



2.4.4	八仙过海——子网连接保护	82
2.5	与 MSTP 的亲密接触	83
2.5.1	读懂设备的名片	83
2.5.2	环和链的世界	86
2.5.3	能传多远——传送距离的计算	88
2.5.4	走进机房看一看	93
2.5.5	接入工程，小试牛刀	98
2.6	网络大了会出问题	100
2.6.1	容量不够怎么办	100
2.6.2	分层建设，发展壮大	102
2.6.3	我给网络当医生	105
2.6.4	基础架构很重要	107
第 3 章	光通信高速干道	111
3.1	多层巴士——波分复用	112
3.1.1	波分的妈妈是彩虹	112
3.1.2	波分的零部件	116
3.1.3	又是“TM”的接力	119
3.1.4	七分成绩，三分不足	121
3.2	高速互通立交——OTN	123
3.2.1	OTN 做了几件事	123
3.2.2	舶来之品——电交叉	124
3.2.3	高速立交——光交叉	127
3.2.4	论 OTN 和 MSTP 的关系	129
3.3	OTN 的保护	130
3.3.1	OTN 网络保护	131



3.3.2 关于保护的度	134
3.4 走近 OTN	136
3.4.1 了解 OTN 设备	136
3.4.2 资源合理预留	140
第4章 走进 IP 世界	143
4.1 IP VS MSTP	144
4.1.1 计算机通信“王国”	144
4.1.2 MSTP OUT 了	146
4.2 二层交换	149
4.2.1 计算机网络分层	149
4.2.2 从最底层说起——物理层	151
4.2.3 通信基本靠吼	153
4.2.4 局域网也要隔离——VLAN	156
4.3 三层路由	158
4.3.1 IP 地址	158
4.3.2 走出国门第一步——网关	162
4.3.3 智能导航系统——路由	165
4.4 动态路由协议	167
4.4.1 路由协议分类	167
4.4.2 RIP	169
4.4.3 OSPF 和 IS-IS	170
4.4.4 BGP	174
4.5 IP 不是万能的	176
4.5.1 IP 任重道远	176
4.5.2 一劳永逸——MPLS	177



4.6	VPN	181
4.6.1	业务需要隔离	181
4.6.2	MPLS VPN	182
4.6.3	通往彼岸的传送门——L2 VPN	185
4.6.4	复杂问题简单化——L3 VPN	187
第 5 章	分组传送网	191
5.1	分组网概述	192
5.1.1	PTN 和 IPRAN	192
5.1.2	需要什么样的分组网	194
5.2	海纳百川——分组网业务承载	196
5.2.1	LTE 的挑战	196
5.2.2	E1 业务还得有	198
5.2.3	数据业务是“老本行”	199
5.3	缓堵保畅——流量工程	202
5.3.1	什么是流量工程	202
5.3.2	RSVP-TE	205
5.4	看人下菜碟——QoS	207
5.4.1	什么是 QoS	207
5.4.2	QoS 能做些什么	209
5.5	说说 OAM	211
5.6	分组网保护	213
5.6.1	网络侧保护	213
5.6.2	业务侧保护	216
5.6.3	典型保护应用	218
5.7	分组网同步技术	220



5.7.1	时钟同步和时间同步	220
5.7.2	同步以太网	222
5.7.3	1588v2 时间同步	223
5.8	走近分组网	224
5.8.1	分组网设备	224
5.8.2	分组网结构	225
小结		227
第6章	SDN	229
6.1	简单的总是好的	230
6.1.1	用户的困扰	230
6.1.2	把大象关进冰箱分几步	231
6.1.3	什么是 SDN	233
6.1.4	从分组网到 SDN	235
6.2	SDN 的发展	235
6.2.1	SDN 标准化组织	235
6.2.2	Open Flow	236
6.2.3	NFV	238
6.3	SDN 可能会带来什么	238
6.3.1	设备简单化、同质化	239
6.3.2	关于理想的课堂作文	239
第7章	要致富，先修路——光缆线路	241
7.1	敢问路在何方——光缆路由选择	242
7.1.1	前方道路拥堵	243
7.1.2	此路未必是坦途	243



7.1.3 敢问路在何方	244
7.1.4 走别人的路，让自己去说吧	246
7.2 逢山开路，遇水架桥——敷设方式选择	248
7.2.1 我们不一样	248
7.2.2 沟通，让工作更顺畅	254
7.2.3 没有趟不过的河	255
7.3 众里寻他千百度——光缆选型	257
7.3.1 明明白白我的“芯”——光纤类型	259
7.3.2 主要看气质——光缆类型	261
7.4 留足富余量——光缆预留	264
7.5 通向幸福的“康庄大道”	265
 第8章 无线光通信	 267
8.1 海阔天空任我行	269
8.1.1 “空气里，远远传来一首歌”——大气激光通信	269
8.1.2 “我要飞得更高”——卫星激光通信	273
8.1.3 “不同于任何意义，你就是绿光”——水下激光通信	276
8.1.4 “笔直的光线，散射四方”——散射光通信	278
8.1.5 “点起千灯万灯”——可见光通信	282
8.2 明天会更好	285
8.2.1 “又爱又恨”——X射线空间通信	286
8.2.2 “我不怕旅途孤单寂寞”——自由空间光量子通信	287
8.2.3 “穿透”——中微子通信	289
8.2.4 你是电，你是光，你是唯一的神话——太赫兹通信	290
小结	291

The background is a dark, textured surface covered with a complex network of thin, light-colored lines. These lines intersect to form various geometric shapes, including squares, rectangles, and circles. Some of these shapes are filled with a lighter gray or white color, while others are empty. There are also numerous small, bright white dots scattered throughout the composition, giving it a sense of depth and complexity. The overall effect is reminiscent of a technical drawing or a network diagram.

Chapter 1

第 1 章

传送网是干啥的



1.1 通信是干啥的

考虑到本书的读者可能是零基础初入通信专业，在介绍传送网之前，我们有必要对传送网之外的一些基本概念做一下介绍。

传送网是整个通信网的一部分。通信网在做什么？模拟通信和数字通信有什么区别？为什么模拟通信会被数字通信取代？业务网和传送网的职能分别是什么？为什么每种技术都有这个层、那个层，把人搞得晕头转向，这个协议、那个标准，让人无所适从？

本章从古代通信说到了 E1 和传送网，希望能够无缝地衔接到下一章我们要说的 PDH 和 SDH，让读者不会感觉突兀。德国哲学家黑格尔说过，存在的就是合理的。任何技术的产生和更替都是有其背景和诱因的。在本书中，作者并不着急去空降一些理论，而是让一切发展都水到渠成。

1.1.1 古代通信的智慧——烽火台

在即将学习一门技术之前，站在其高高的门槛前的一刻，我们总是希望有一些通俗易懂的比喻、耳熟能详的故事和传说来带着我们轻松愉悦地跨进这个“神圣”的大门。

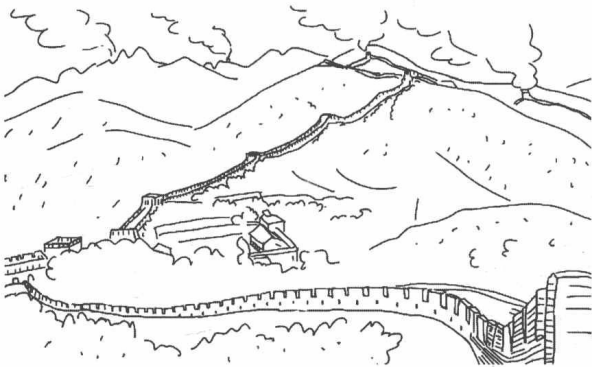


图 1-1 古代烽火台

那么，在学习传送网之前，为了便于大家理解，我们先来说一个老祖宗留给我们的东西——烽火台，如图 1-1 所示。

在很久很久以前，大概在周朝吧，我们的老祖宗苦于各路敌军的滋扰，发明了一个能够传递军情的古老的，但是很实用的东西——烽火台。烽火台的原理大家都知道，就是相隔一定距离筑起一个个的高台，如逢敌军来犯，则白天施烟，夜间点火，告知最近的烽火台简单扼要的信息——我这里有情况，请速速支援，十万火急！于是，临近的烽火台观察到这里的消息——烟火后，将这个信息按照同样的方式传递，



一路沿着一个一个的烽火台一直传至京城，接着发兵支援。

一个烽火台里的工作人员（古时称为“烽子”）通过观察得到了军情，这个军情就是一种信息。什么是信息（Information）？数学家香农 1948 年提出过这个问题，信息是用来消除随机不定性的东西。什么意思呢？比如，“敌军今天可能来犯，也有可能不来”就不是信息，按照专业的说法这叫作“信息量为零”，通俗点说就是“废话”。而“有敌军来犯”就是消除了“可能来犯”和“可能不来”之间的不确定性，明确地告诉你敌军来了，所以，“有敌军来犯”就是信息。

问：在这个过程中，烽火台起到了什么作用呢？

答：信息的传递。

当然，“废话”也可以被传递，只是它没有传递的价值，这句“废话”传到皇上那儿，皇上一定很生气，后果很严重！

当发现敌情的驻军想要将信息传递给上游的驻军，烽火台就是负责将信息远距离传递的快速有效的工具，就是一种通信设施，虽然原理很简单，可是里面又凝结了很多祖先的智慧和经验。古代人和现代人一样，都想要高效、准确地传递信息。现代通信人所面临的一些问题，老祖宗们也曾经思考过，比如：为什么要有烽火制？

站在现代来看，这些烽火制就是一个个的技术体系，假设说，你让唐代的烽子点火，让明代的烽子去观望，恐怕得到的是不准确甚至是错误的信息。你点起一堆烟，到底是“报个平安”，还是“火速支援”，这需要一个共识，“同一个世界，同一个规则”是一个必要的条件，就是大家遵循一个同样的规则。我们两个人去见面，时间定在 6 点还是 6 点半可能双方都无所谓，但是必须得定个时间，同样我们也可以理解为，技术标准的具体细节也许不那么重要，但是信息的收发双方使用一致的标准却是必须的。

烽火台为什么要“台高五丈”？为什么要燃烧狼粪、艾蒿？台子高才看得远，火旺、烟多则传得远，如果站在地面上点一个柴火棍的话几里开外肯定看不见。信息传得远，烽火台之间的距离就远，相同的距离就可以少建一些烽火台，如图 1-2 所



图 1-2 祖先对烽火台的思考