

光通信系列丛书

宽带光网络 技术与应用

张宝富 万 谦 葛海波 编 著

KUANDAI GUANG
WANGLUO

JISHUYUYINGYONG

142



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

www.phei.com.cn

光通信系列丛书

宽带光网络技术与应用

张宝富 万 谦 葛海波

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书重点讲解宽带光网络技术与应用。内容包括:光网络的基本概念、特点、分类,与现有 SDH、ATM、宽带 IP 网络等的关系;光网络的体系结构、网络拓扑、网络的物理资源及组成要素;广播选择和波长路由光网络、光分组网络、光网络的安全与应用以及光因特网等。本书可供广大从事网络应用开发、工程设计的科技人员与高等院校师生使用,也适合于各类网络技术培训班的学员和自学人员使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

宽带光网络技术与应用/张宝富,万谦,葛海波编著. —北京:电子工业出版社,2002.6

(光通信系列丛书)

ISBN 7-5053-7585-7

I. 宽… II. ①张… ②万… ③葛… III. 光通信—宽带通信系统—计算机通信网 IV. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 028473 号

责任编辑:周晓云

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:19.5 字数:498 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

前 言

以 IP 为代表的业务急剧增长,对以电话业务为主的传统电信网络带来了巨大的冲击,现有网络的速度(已达电子设备的物理极限)和带宽(已耗尽)已不能满足迅速增长的用户需求和适应多媒体通信的应用。正在人们企盼高速宽带网络诞生之时,与光纤传输链路截然不同的光(波)网络以其独有的技术优势和多波长特性,正向人们展示在光纤中利用多个波长组网的巨大潜力和广阔的应用前景。

宽带光网络是目前国际上网络研究与开发的热点。由于在光纤中同时传输多个波长可提供巨大的带宽,光波长之间的交换可克服电子处理速度瓶颈,以及多波长通道组网所具有的灵活性、可靠性,宽带光网络能够为目前的 SDH、ATM、IP 等网络提供更加经济、高质量的服务,是传送宽带 IP 的最佳网络技术,它必将成为下一代高可靠性、超高速、超大容量信息网络的核心技术,并在世界范围内的电信基础结构中扮演重要的角色。

全书共分为 10 章。第 1 章:概述。介绍光网络的基本概念、特点与分类、它与现有网络的关系以及对电信网的影响。第 2 章:光网络的体系结构。介绍光网络的基本原理,内容包括光网络的分层模型、网络的组成要素、网络提供的光连接服务等。第 3 章:光纤网络层。网络性能最终受到物理资源的限制,本章对光纤信道的传输损伤以及容量进行了分析。第 4 章:广播选择光网络。介绍了广播选择型光网络的特点、拓扑结构、信道共享技术、网络业务流量及光波长信道分配方案(CAS)。第 5 章:光分组交换网络。重点介绍了广播选择网络来传送分组业务时的特点、媒介共享协议(MAC)及常用的接入方法。第 6 章:波长选路光网络(WRN)。WRN 是广域光网络有时称光传送网(OTN)。本章对其网络原理进行了详细介绍,内容包括物理拓扑、波长交叉连接(WXC)结点、选路和波长分配(RWA)、网络保护与恢复、网络管理的特点等。第 7 章:应用层(逻辑选路)网络。主要介绍光网络是如何为其应用层网 SDH、ATM、IP 提供服务的,同时介绍了示范网应用实例。第 8 章:宽带光接入网。简要介绍了光接入网的拓扑结构、种类、业务类型等。第 9 章:光因特网。介绍光因特网的分层模型、参考模型、传送宽带 IP 业务的几种方案及主干技术。第 10 章:光网络的安全与管理。介绍了光网络安全的特点及安全保密方案,同时介绍了光网络管理的发展。

本书的特点:紧跟网络技术的发展潮流,重点讲解宽带光网络的技术与应用,便于读者理解宽带光网络技术的内涵,掌握对 SDH、ATM、IP 等业务的整合,尤其是宽带 IP 业务,行文通俗易懂、重点突出。本书可供从事网络应用开发、工程设计的广大科技人员选用,特别适用于光纤网络、电信网络、广播电视网络、计算机网络、光电子与信息技术等领域的院校师生,也可作为各类网络技术培训班和自学人员用书。

本书第1章、第2章、第3章、第6章、第9章由张宝富编写,第4章和第5章由张宝富、葛海波编写,第8章由万谦、张宝富编写,第10章由万谦编写。

由于编著者水平有限,书中可能有错漏,希望读者批评指正。

编著者
2002年1月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 电信网与光波技术	(2)
1.1.1 电信网及其分类	(2)
1.1.2 光波技术在电信网中的广泛应用	(5)
1.2 光(波)网络与现存网络	(10)
1.2.1 光网络的产生	(10)
1.2.2 光网络是现存网络的光基础结构	(13)
1.2.3 光网络的特点	(14)
1.3 光网络中的光波技术和电子技术	(15)
1.3.1 光通道上中继器的使用	(16)
1.3.2 光与电的交换技术	(16)
1.4 光网络及其分类	(17)
第 2 章 光网络的体系结构	(20)
2.1 分层	(20)
2.1.1 物理(光纤)层(PL)	(23)
2.1.2 光(网络)层(OL)	(28)
2.1.3 应用层(逻辑层)(LL)	(29)
2.2 网络的组成要素	(32)
2.2.1 网络链路	(32)
2.2.2 光网络结点(ONN)	(38)
2.2.3 光网络接入结点(ONA)	(43)
2.3 光连接(OC)与逻辑连接(LC)	(45)
2.3.1 网络连接的控制与管理	(45)
2.3.2 光连接	(46)
2.3.3 逻辑连接	(47)
2.4 光网络的支撑技术	(48)
第 3 章 光纤网络(物理)层	(54)
3.1 概述	(54)

3.2	物理层的分类	(55)
3.2.1	有线路光放大器的系统	(55)
3.2.2	无线线路光放大器的系统	(57)
3.3	光纤信道	(59)
3.3.1	光纤与光缆	(59)
3.3.2	模拟与数字信道	(62)
3.3.3	信道(极限)容量	(63)
3.3.4	信道传输损耗	(64)
3.3.5	信道的通信容量	(69)
3.4	光放大器的参数与要求	(74)
3.4.1	参数定义	(74)
3.4.2	参数要求	(76)
3.5	物理层光接口	(77)
3.5.1	光接口位置与参数定义	(77)
3.5.2	光接口参数要求	(81)
第4章	广播选择光网络	(88)
4.1	拓扑结构	(88)
4.2	网络结点	(90)
4.2.1	光发送机和光接收机	(90)
4.2.2	静态路由器	(92)
4.3	主要的复用与多址接入技术	(93)
4.3.1	波分复用和多址(WDM/WDMA)	(93)
4.3.2	时分复用和多址接入(TDM/TDMA)	(93)
4.3.3	副载波复用与多址接入(SCM/SCMA)	(94)
4.3.4	光码分复用与多址接入(CDMA)	(96)
4.3.5	时分复用与波分多址(TDM/WDMA)	(100)
4.4	业务流量模型与网络资源	(101)
4.4.1	业务流量模型	(101)
4.4.2	网络模型与网络资源	(102)
4.5	固定业务(专门连接)信道的分配方案(CAS)	(105)
4.5.1	流量矩阵	(105)
4.5.2	TDM/TDMA	(105)
4.5.3	WDM/WDMA	(107)
4.5.4	TDM/WDMA	(109)

4.6 统计业务（按需连接）信道的分配方案（CAS）	(110)
4.6.1 马尔可夫（Markov）流量模型	(110)
4.6.2 网络拥塞计算	(111)
第5章 光分组交换网络	(113)
5.1 概述	(113)
5.2 MAC 协议	(115)
5.2.1 随机接入：SA/SA（时隙 ALOHA/时隙 ALOHA）	(116)
5.2.2 DT-WDMA	(120)
5.2.3 调度（预约）协议	(122)
5.2.4 调度确定业务量协议	(124)
5.3 规模和业务类型	(125)
5.4 光时分复用（OTDM）分组网	(126)
5.4.1 网络拓扑结构	(126)
5.4.2 选路结点	(126)
5.4.3 选路策略	(128)
5.4.4 分组竞争解决方案	(129)
第6章 波长选路光网络（WRN）	(131)
6.1 拓扑结构	(131)
6.2 波长交叉连接（WXC）结点	(134)
6.3 光通道选路与波长分配（RWA）	(137)
6.3.1 光通道的建立	(137)
6.3.2 两种 RWA 的算法与波长变换器（WC）	(137)
6.3.3 RWA 是一个图的着色问题	(139)
6.4 RWA 举例	(140)
6.4.1 线型光网络	(140)
6.4.2 环型光网络	(141)
6.5 RWA 的最优问题与算法	(144)
6.5.1 静态路由与波长分配	(144)
6.5.2 动态（重构）路由与波长分配	(147)
6.6 光网络的保护与恢复	(149)
6.6.1 点到点结构	(149)
6.6.2 自愈环结构	(150)
6.6.3 网状网结构	(153)



6.7 WRN 光网络的管理	(154)
6.7.1 管理网的特点	(154)
6.7.2 管理通道的实现	(155)
6.7.3 光传送网管理系统的结构	(158)
第7章 应用层（逻辑选路）网络	(161)
7.1 逻辑拓扑的概念	(162)
7.2 逻辑网络设计	(164)
7.2.1 概述	(164)
7.2.2 混合整数规划（MIP）问题	(166)
7.2.3 多跳洗牌网	(169)
7.3 典型的逻辑网络	(171)
7.3.1 SDH 网络	(172)
7.3.2 ATM 网络	(175)
7.3.3 IP 网络	(177)
7.3.4 逻辑网络的重叠	(178)
7.4 WRN 示范网应用实例	(179)
7.4.1 多波长光网络（MONET）	(179)
7.4.2 可重构多波长 WDM/ATM/SDH 网络	(181)
7.4.3 LAMBDANET 多波长网络	(186)
7.4.4 相干多波长光网络 COBRA	(189)
第8章 宽带光接入网	(194)
8.1 概述	(194)
8.2 无源光网络（PON）	(196)
8.2.1 电话无源光网络（TPON）	(198)
8.2.2 WDM-PON	(200)
8.2.3 WR-PON	(200)
8.3 APON（ATM+PON）	(203)
8.3.1 APON 的工作原理及优点	(204)
8.3.2 APON 传输帧结构	(204)
8.3.3 APON 系统结构与功能	(206)
8.3.4 APON 的协议栈和功能框图	(207)
8.4 HFC-PON	(210)
8.4.1 HFC（光纤同轴混合网）	(210)

8.4.2	Cable Modem (电缆调制解调器)	(215)
8.4.3	双向 Cable Modem 系统	(217)
8.4.4	单向 Cable Modem 系统	(220)
第 9 章	光因特网	(224)
9.1	产生背景	(224)
9.2	分层协议模型	(225)
9.3	重叠模型 IOverX	(226)
9.3.1	IP over ATM	(227)
9.3.2	IP over SDH (POS)	(227)
9.3.3	IP over Optical	(231)
9.3.4	IP over DWDM	(235)
9.4	主干技术	(237)
9.4.1	波长路由器 (WR)	(237)
9.4.2	动态 IP 传输技术 (DPT)	(239)
9.4.3	千兆位路由交换技术	(241)
9.5	宽带 IP 组网方案实例	(244)
9.5.1	IP over ATM 解决方案	(244)
9.5.2	IP over SDH 解决方案	(245)
9.5.3	IP over Optical 解决方案	(245)
9.5.4	IP over DWDM 解决方案	(245)
第 10 章	光网络的安全与管理	(248)
10.1	光层的安全	(248)
10.1.1	面临的安全问题	(249)
10.1.2	安全措施	(252)
10.2	光网络的 IP 业务安全	(254)
10.2.1	恶意攻击	(255)
10.2.2	安全缺陷	(257)
10.2.3	软件漏洞	(258)
10.2.4	结构隐患	(261)
10.3	密码技术	(263)
10.3.1	密码技术的基本概念	(264)
10.3.2	密码攻击与网络加密	(266)
10.3.3	认证系统	(268)



10.3.4	数字签名	(269)
10.3.5	电子商务	(270)
10.3.6	信息伪装	(272)
10.4	防火墙	(274)
10.4.1	基本概念	(274)
10.4.2	防火墙的优点和缺陷	(275)
10.5	虚拟专用网 (VPN)	(277)
10.5.1	虚拟专用网概述	(278)
10.5.2	虚拟专用网的工作原理	(280)
10.6	基于 TMN 的网管技术	(281)
10.6.1	TMN 的管理功能	(282)
10.6.2	TMN 的结构	(284)
10.7	基于 CORBA 的网管技术	(288)
10.7.1	体系结构	(289)
10.7.2	CORBA 技术在网管中的应用	(293)
附录 A	英文缩写词	(295)
附录 B	主要参考文献与网址	(300)

第 1 章 概 述

- 🔔 电信网与光波技术
- 🔔 光（波）网络与现存网络
- 🔔 光网络中的光波技术和电子技术
- 🔔 光网络及其分类

20 世纪初，随着电话业务的普及，世界范围内的电信网络主要是朝着支持这种服务的电话网络方向发展，随后其他的电信业务也接踵而来，它们既可以集成在电话网络中，也可以由专用的网络来实现。

在 20 世纪最后的 20 年里，数据传输被认为是特别重要的，计算机速度的提高和对市场的渗透进一步推动了对数据通信网的需求。由于电话网不能完全满足这种需求，一批专用的数据网在美国、欧洲、日本等地相继建立。为数据通信设计的网络与电话网相比有不同的特点，如它们主要是基于分组交换，而电话网主要是基于电路交换。

除了对数据传输需求的连续增长之外，由于基于图像的电信业务的出现，电信市场发生了明显的变化，特别是有线电视（CATV）的飞速增长和为了提供 CATV 而纷纷建立的分配网络。

最近电信业务的发展主要是多媒体，它对传输容量产生了强烈的要求，引起了传输容量的快速增长，多媒体业务适合将活动图像、静止图像、文字和声音集成在一个交互的环境中，即以交互的方式同时提供图文声服务，又由于因特网（Internet）即世界范围内的数据电信网能够支持多媒体业务，市场需求异常火爆。

在这种情形下，电信市场的进一步增长要求一个更加有序、灵活的电信基础网络，这可以通过将不同的专用网络集成到一个网络来提供所有的业务，这个网络就是所谓的综合业务数字网（ISDN）。80 年代许多研究机构和标准化组织致力于 ISDN 技术研究和标准化工作，时至今日许多大的通信公司仍然主张 ISDN，但 ISDN 并没有取代这些专用网。

20 世纪 90 年代中期的电信业务飞速发展，高的需求曾一度居高不下。据估计，从 1995 年到 2010 年，基速率的 ISDN 连接需求将扩大 10 倍。

大量的业务本身加快了综合网络的发展，并对网络的传输技术、交换系统、网络管

理产生了巨大的压力，构筑全世界范围内的综合业务网络，光波技术起着重要的作用，光纤传输系统的采用获得了传输带宽的巨大增加，同样光交换的引入会获得交换容量的提高，由此形成的光（波）网络增加了 ISDN 网络的灵活性、可扩展性，使得相应的网络以少量的投资更有效地满足用户的需求。本章对光波技术及光网络作一概括性介绍。

1.1 电信网与光波技术

1.1.1 电信网及其分类

整个电信网覆盖非常广的地理区域，可以是整个世界。为了获得如此大的地理覆盖区域，网络必须在不同的地区，以不同的功能构建。不同的地区相互配合来实现网络的最终目的：保护大量的端用户之间的完美通信。

网络的原理示意图如图 1.1 所示，下面对图中给出的主要区域网进行介绍。

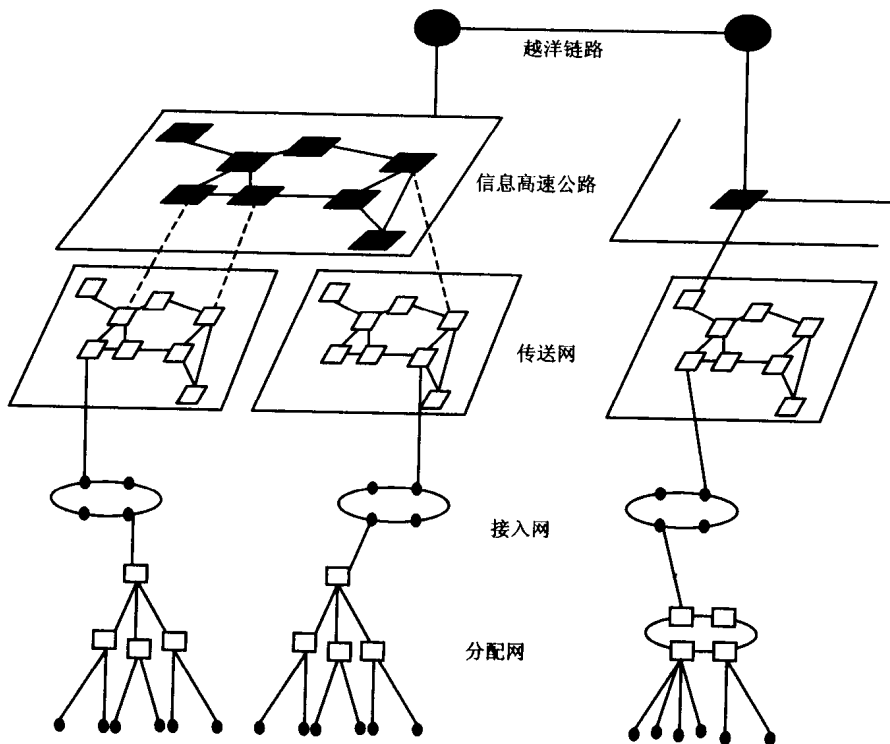


图 1.1 电信网按区域划分的简单原理图

1. 局域网 (LAN)

局域网主要用来连接放置在短距离如一幢大楼内或邻近的几个大楼之间的计算机，它一般不归属于公共的电信网（简称公网），而是由私营者如公司、企业、政府部门等管理。局域网（LAN）可根据其与公网交换业务量的大小连接到公网，这种连接可以在分配网、接入网，甚至直接在传输（送）网实现。由于 LAN 可在公网中的不同位置，图中没有画出。

LAN 的容量大小与网上计算机的速度直接相关，随着计算机速度的提高，LAN 的容量需求亦随之增大。

有许多网络拓扑供 LAN 网选择，如总线、环型、星型。

2. 分配网

端用户通过分配网连接到公网，分配网的功能是将端用户的信号送到局用交换机，同时将局用交换机来的信号分配给端用户。如果分配网采用双绞线或同轴电缆（如 CATV），可供选择的拓扑有星型或星型群，如图 1.2 所示。如果采用光纤，其拓扑结构可以是它们的组合，分配网典型的覆盖区域是几千米。

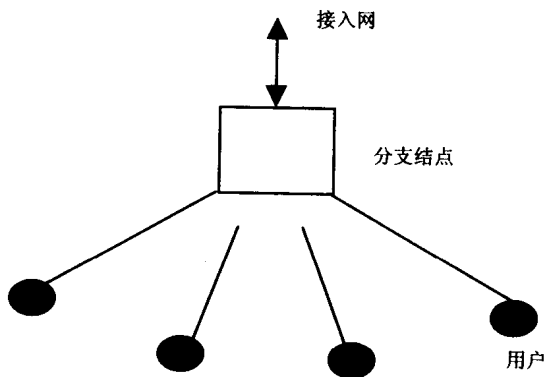


图 1.2 星型拓扑的分配网

3. 接入网

接入网将端用户的信号进行复用获得高速率的信号。流入接入网覆盖区的业务由接入结点选路、解复用并送到合适的分配网络，流出的业务被送到传输网；在另一个方向，接入网通过传输网接收来自其他接入网的高速信号进行解复用并馈入分配网。

典型的接入网范围是一个城市或小的区域，其中的大城市相隔较远。接入网中信号的传送距离可达几十或几百千米，常用网络拓扑为环型，结构如图 1.3 所示。当然物理

网络拓扑并不只有环型，也有其他的拓扑结构可供选择。

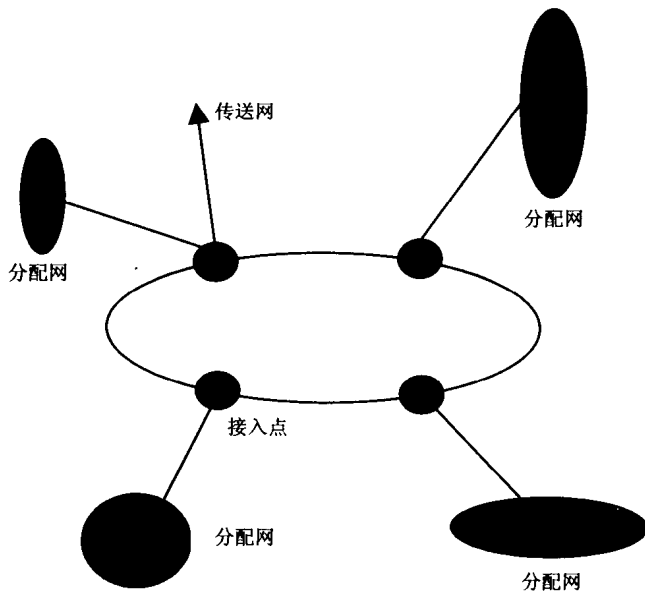


图 1.3 环型结构的接入网

4. 传送网

传送网或称骨干网（主干网）的任务是为大的业务流量进行选路，当然应保证信息的完整性，无须分成小的业务流。传送网从接入网接收信号，将其复用到希望的容量，并选择合适的路由，将信息送到目的地，信息到达目的地，将高速信号送给接入网。

通常传送网的范围是一个国家，因而网中信号的传输路径长达 1 000 千米到 2 000 千米，网中结点之间的距离从 50 千米到几百千米不等。一个典型的传送网如图 1.4 所示。

5. 信息高速公路

信息高速公路连接不同的传送网。通常信息高速公路覆盖很大的地理区域如整个欧洲或美国，高速信息在网状型的传送网中传送距离为几千千米。

6. 海底链路

海底链路不同于传送网或信息高速公路网络，工作于海底的光缆、放大器、中继器与陆地上的相比要求更苛刻，造价更高。海底系统常为点到点的系统，设计的目的是：尽量减少海底的设备，但同时应获得最佳的系统工作性能。

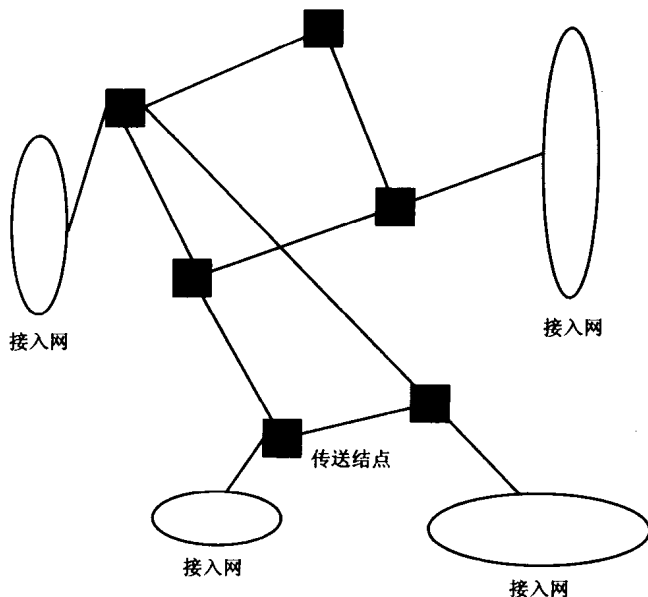


图 1.4 网状型拓扑的传送网

目前全球通信网中最长的链路是越洋链路，它们将美国与欧洲和美国与日本连在一起，链路横跨 6000 千米的大西洋和 9000 千米的太平洋。

除了越洋系统，长度为 100 千米到 400 千米的海底，链路位于地中海和印度洋，它们被认为是在这些区域的可靠通信，传输链路在沿海区域，链路的头和尾在岸上，中间由海底光缆连接。

1.1.2 光波技术在电信网中的广泛应用

光波技术是现存网络能够升级扩容到超大容量综合网络的关键，本节简要分析了不同的区域网中光波技术的采用以及光通信网络的发展。

1. 局域网

直至最近，LAN 主要用于处理计算机的数据信号，计算机性能的提高推动了 LAN 所需的传输容量在不断提高，这已经引起了人们对光传输的兴趣。刚开始，在设计 LAN 时选用光波技术只限于用光数据链路代替电数据链路，目前供给市场的都是基于此原理的高速 LAN。然而个人计算机和工作站计算速度的惊人提高引发了超高速的 LAN，尤其是多媒体业务（集声音、图像、文字等于一体）的出现。为了适应这种需要，新设计的光 LAN 已经出现，它们更利于光波技术的应用。

LAN 容量的进一步提高可以采用光信号处理技术来处理数据信号。LAN 结点可以直接处理发送到光纤上的高速数据 (40 Gb/s~100 Gb/s)。光 LAN 在应用之前需要两种技术,一是简单的光数据处理器件(如分组头的识别和分组的选路由),二是光时分复用(OTDM)器件(复用和去复用器)。

2. 分配网

20 世纪 90 年代以前,信号的分配完全依赖电技术,对于话音信号的分配最合适的传输媒介是双绞线,而对于 CATV 网络采用同轴电缆。

90 年代初主要电信公司开始引入光传输,由于为了保证新型业务如 CATV、视频点播、区域性数据网的连接需要增加分配网的容量,从而推动了分配网中光传输的使用。每一个解决方案都以分配网使用的传输器件必须满足的特定要求为条件,主要的要求是由于它的实现意味着网络运营商的巨大投资使得必须保证对网络基础设施的合理使用;另一个重要的要求是对于光缆应采用复用技术,将尽可能多的信号复用进单根光纤,最大限度地利用光纤的带宽,这一要求对于铜线分配网不存在,而对光纤网络的设计是很重要的。

光纤分配网有两种主要的结构:

(1) 光纤到路边 (FTTC)。在这种网络中光纤链路被用来将本地交换机的信号传送到端用户较为集中的地点如某个特定的大楼,在这里光接收机将光信号转变成电信号,电信号被解复用,通过铜线(双绞线)或同轴电缆送给端用户。这种结构中光纤、光发送机和光接收机被不同的用户同时使用。当采用同轴电缆进行分配时,这种网络结构也称为混合光纤同轴 (HFC) 结构。

(2) 光纤到户。这种结构本地交换机和端用户之间全部采用光纤,端用户设备中有光接收机。

由于光基础结构高的造价,在分配网中首次采用光技术时 FTTC 结构似乎更适合,因为 FTTC 到 FTTH 很容易且当有业务需求时可以实现。

光分配网络可能的网络拓扑有:星型、多星型、树型或环型,然而为了选择一个最适合的网络,大量的因素必须考虑。

从经济的角度看,选择的网络拓扑必须允许对可用网络的基础设备进行有效的配置,以满足用户的需求。当网络进行升级时网络必须是灵活的且对技术的改进是开放的。

3. 接入网和传送网

尽管地理区域不同,接入网和传送网是很相似的,由于高性能的共享系统的出现,无论是接入网或传送网,通信链路几乎全部建立在光波技术之上,结点在电域完成交换和选路由,光链路采用电中继器不仅完成信号的放大而且完成信号的定时和整形。在光波技术被推广应用于这些网络的过程中,第一个关键步骤是利用光放大器代替电中继器。