



全国高技术重点图书

高性能计算机
网络技术

高性能计算机 网络技术

苏金树 卢锡城 编著

- 高速网络技术发展背景
- 光纤分布式数据接口技术
- 高速以太网技术
- 综合业务数据网络技术
- 异步传送模式技术
- 异步传送模式用户网络接口规范
- 同步光纤网技术
- 通道化光纤网络技术
- 光交换网络技术

电子工业

393

S/



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

内 容 提 要

本书阐述了与高性能计算机网络紧密相关的光纤通信技术的发展及多媒体计算的需求,系统论述了光纤分布式数据接口(FDDI)、高速以太网宽带综合业务数据网、B-ISDN、异步传输模式 ATM、HIPPI、光纤通道系统 FCS 等高速计算机网络的关键技术,并对标准化的光传输基础给予了全面的解释,对光交换网络进行了介绍。

本书可作为计算机网络的高年级本科生教程和研究生教材,也可作为科研、工程技术人员的参考书。

高性能计算机网络技术

苏金树 卢锡城 编著

特邀编辑 张凤栖

责任编辑 刘文杰

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京科技印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:9.25 字数:245千字

1996年10月第一版1996年10月第一次印刷

印数:5000册 定价:12.00元

ISBN 7-5053-3741-6/TP·1590

序 言

随着光纤通信技术、计算机技术、多媒体技术的发展,高性能计算机网络技术的研究与应用成为当前的热门课题,尤其是在各国政府推行的信息高速公路的热潮下,网络成为发展最快的学科之一。高速计算机网络技术使传统的单机巨型机模型变成了基于高速计算机网络的分布式超级网络计算机模型,利用网络环境中的 TB 级存储系统、高速帧缓冲、高性能工作站、向量处理机、大规模并行机(MPP)等资源协同解决异常复杂、庞大的问题已是发展的必然趋势。

高速计算机网络也是可视化、多媒体计算、远程医疗诊断等领域迫切需要的技术,利用高速计算机网络将这些计算环境的资源构成一个分布计算环境是应用的迫切需要,传统网络也需要利用高速网络作为骨干网。为此尽快掌握高速计算机网络技术成为迫在眉睫的课题。

本书主要从高速计算机网络的发展背景入手,简要阐述与高速计算机网络紧密相关的光纤通信技术的发展及多媒体计算的需求。然后,系统论述了光纤分布式数据接口(FDDI)、高速以太网、B-ISDN、ATM、HIPPI、FCS 等高速计算机网络的关键技术,并对标准化的光传输基础 SONET 给予了全面的阐释,最后对光交换网络给予了简要的介绍。本书论述了高速计算机网络的基本原理、发展动态,目前研究的问题,也包含作者的多年研究成果。

本书的讲义稿曾在科学技术工业委员会高级专业技术职务人员培训班及本校研究生课程中使用,不少同志提出了宝贵意见,在此致以诚挚的谢意。由于时间仓促以及内容的新技术成份太多,书中难免有疏漏和不当之处,敬请批评指正。

本书可以作为计算机网络的高级教程,尤其是研究生教材,也可作为科研技术人员及工程技术人员的参考书。

目 录

第一章 高速网络技术发展背景	(1)
1.1 光纤通信技术	(1)
1.1.1 光纤通信的基本部件	(2)
1.1.2 光纤参数	(3)
1.1.3 几种常用的光缆结构	(4)
1.1.4 光纤通信基本组成	(6)
1.1.5 光纤通信设计的基本问题	(7)
1.1.6 光纤通信系统有关指标的计算	(9)
1.2 多媒体及可视化计算对网络的要求	(11)
1.2.1 多媒体应用	(11)
1.2.2 多媒体基础概念	(12)
1.2.3 多媒体网络设计的考虑	(13)
1.3 支持多媒体及可视化计算网络主要特性	(14)
1.3.1 多媒体及可视化通信的带宽需求分析	(14)
1.3.2 多媒体的服务种类划分	(15)
第二章 光纤分布式数据接口(FDDI)技术	(16)
2.1 FDDI 基本原理	(16)
2.1.1 FDDI 性能与技术指标	(16)
2.1.2 组网结构与应用环境	(17)
2.2 FDDI 协议	(18)
2.2.1 基本 FDDI 协议模块	(18)
2.2.2 FDDI 的 MAC 访问协议	(19)
2.2.3 物理层结构及其功能	(22)
2.3 FDDI 网络拓扑与站体系结构	(24)
2.3.1 FDDI 站体系结构	(25)
2.3.2 FDDI 网络拓扑	(26)
2.3.3 FDDI 网络结构	(27)
2.3.4 FDDI 站的配置参数	(28)
2.4 FDDI 网络设备	(33)
2.4.1 FDDI 网卡及实例分析	(33)
2.4.2 FDDI 集中器	(36)
2.4.3 FDDI 网桥	(38)
2.4.4 FDDI 路由器	(41)

2.4.5 FDDI 网桥与路由器的比较	(42)
2.5 FDDI 高性能控制器设计	(42)
2.5.1 传统的网络功能实现一般结构及通信开销	(42)
2.5.2 高性能网络的设计考虑	(43)
2.5.3 提高性能的硬件途径	(44)
2.5.4 合理分划,提高整体效应	(45)
2.5.5 面向 FDDI 的特点	(45)
第三章 高速以太网技术	(47)
3.1 高速以太网	(47)
3.2 100VG-AnyLAN 技术的主要特点	(49)
3.3 100VG-AnyLAN 传输介质	(51)
3.4 100VG-AnyLAN 拓扑	(52)
3.5 100VG-AnyLAN 网络结构	(52)
3.6 100VG-AnyLAN 技术体系	(53)
3.7 100VG-AnyLAN 网络数据流实例	(58)
第四章 综合业务数据网络技术	(60)
4.1 ISDN 技术	(60)
4.1.1 ISDN 概述	(60)
4.1.2 ISDN 服务	(60)
4.1.3 ISDN 传输结构	(61)
4.1.4 ISDN 通道	(61)
4.1.5 ISDN 协议体系结构	(62)
4.2 美国 ISDN	(63)
4.2.1 美国 ISDN-1	(63)
4.2.2 美国 ISDN-2	(64)
4.3 ISDN-CPE	(64)
4.3.1 BRA-CPE	(64)
4.3.2 PRA-CPE	(65)
4.4 B-ISDN 技术概述	(65)
4.4.1 B-ISDN 概述	(66)
4.4.2 B-ISDN 提供业务	(66)
4.4.3 市场需求的 B-ISDN 服务功能	(67)
4.5 B-ISDN 体系结构	(68)
4.5.1 B-ISDN 体系结构	(68)
4.5.2 B-ISDN 协议	(69)
4.5.3 B-ISDN 信元中继技术选择	(70)
4.6 基于 ATM 的 B-ISDN 实现	(72)
4.6.1 体系结构	(72)

4.6.2 基于 ATM 的 B-ISDN 实现结构	(72)
第五章 异步传送模式(ATM)技术	(76)
5.1 ATM 技术背景	(76)
5.2 ATM 体系结构	(79)
5.3 ATM 交换结构	(80)
5.3.1 交换结构分类	(80)
5.3.2 交换结构举例	(80)
5.4 虚通道与虚拟连接	(83)
5.4.1 虚通道的基本概念	(83)
5.4.2 VPI 与 VCI 的关系	(84)
5.4.3 虚通道的优点	(84)
5.4.4 基于虚通道的 B-ISDN 传输网	(85)
5.4.5 虚路径和虚通道逻辑关系	(85)
5.5 ATM 网络控制技术	(87)
5.5.1 可变比特率编码的概念	(88)
5.5.2 业务质量恶化处理	(88)
5.5.3 信元丢失及对策	(89)
5.6 ATM 产品	(89)
5.6.1 ATM 市场需求特点	(90)
5.6.2 主要的 ATM 开关产品	(91)
5.6.3 超级网络枢纽的一般结构	(91)
5.6.4 网络集中器及路由器厂商的对策及产品	(92)
5.6.5 WAN 厂商的对策及产品	(93)
5.6.6 计算机厂商	(94)
第六章 异步传送模式用户网络接口规范	(95)
6.1 ATM 物理层	(95)
6.2 ATM 层	(97)
6.2.1 一般特性	(98)
6.2.2 ATM 层的主要功能	(98)
6.3 ATM 适配层	(100)
6.4 UNI 信令	(102)
6.4.1 信令功能	(103)
6.4.2 ATM 网中连接建立过程	(103)
第七章 同步光纤网(SONET)技术	(106)
7.1 SONET 技术产生背景	(106)
7.2 SONET 的格式与速率	(107)
7.2.1 同步层速率	(108)

7.2.2	分层开销与传送功能	(110)
7.2.3	信号格式的操作功能	(112)
7.2.4	性能监测	(113)
7.2.5	嵌入式操作通道	(113)
7.2.6	简化的多路复用	(113)
7.2.7	集成光端终端	(113)
7.2.8	映射	(113)
7.2.9	保护切换	(114)
7.3	SONET 网络体系结构	(114)
7.3.1	点对点结构	(114)
7.3.2	线状及树状	(115)
7.3.3	USHR/P 环	(116)
7.3.4	双光纤 BLSR 环	(117)
7.3.5	四光纤 BLSR	(118)
7.3.6	集中式(HUB)	(118)
7.3.7	DCS 环及 DCS mesh	(120)
7.4	SONET 与未来技术及体系结构的互操作	(120)
7.5	SONET 的操作通信网络	(120)
7.5.1	使用 SONET DCS	(121)
7.5.2	使用局部网	(121)
第八章	通道化光纤网络技术	(123)
8.1	光纤通道系统(FCS)	(123)
8.1.1	FCS 协议标准	(123)
8.1.2	FCS 的实际应用	(127)
8.2	HIPPI	(127)
8.2.1	概述	(127)
8.2.2	HIPPI 协议标准	(129)
8.2.3	HIPPI 帧协议	(129)
8.2.4	HIPPI 的交换控制	(129)
8.2.5	HIPPI 的应用	(130)
第九章	光交换网络技术	(132)
9.1	概述	(132)
9.2	光交换网络基础技术	(132)
9.2.1	光互连技术	(132)
9.2.2	光交换技术	(133)
9.3	Gb/s 级局部网	(135)
9.4	局域光交换网络	(136)

第一章 高速网络技术发展背景

由于 RISC 体系结构、高速 RAM、高速磁盘等相关技术的发展,以高性能工作站为代表的各类计算机的性能指标得到迅速提高。语音、图象等多媒体技术逐渐成为计算机应用的重要方面。越来越多的网络需要互连以适应业务及社会发展的需要,网络已成为信息处理的重要瓶颈之一,各方面都对计算机网络性能提出更高的要求。传统的 IEEE802.3 及 IEEE802.5 的性能已远远不能满足实际要求,人们将视点转移到光通信技术上,成立专门机构制定有关标准,如美 ASCX3T9.3 小组制定外设光连接技术标准,HIPPI(高性能外设接口)及光纤通道,美 ASCX3T9.5 小组制定光通信技术标准,如 FDDI(光纤分布式数据接口),FFOL(后 FDDI),SONET(同步光纤网)。

高性能计算机网络的研究成为当前的热门课题,起源于美国布什政府推行的高性能计算与通信(HPC&C)计划,其宗旨在于摆脱在某些高技术领域如半导体和汽车领域落后于日本的被动局面,提高美国在世界的竞争能力。据报导,HPC&C 计划的直接效益会使美国的国民经济总产值增加几千亿美元。克林顿政府的国家基础研究网络(NII),俗称“国家信息高速公路”也旨在发展超高性能的计算机系统与通信系统,NII 可以理解为是 HPC&C 的完善与发展。此系列计划一旦实现,将标志着美国进入高性能计算和网络化时代。

日本针对国内巨型机未以网络为中枢形成大规模的巨型机计算资源的缺陷,提出集结 3 倍于美国的资金、物力、人力,发展 10 个全国性巨型计算机中心,并在日本国家科学院所在地筑波设立中央巨型计算机中心,以 3GB/S 的高性能网络连接全日本巨型机网络系统。此外,以美国国家基础研究网络(NII)为对象,相应地提一个“省际研究信息网络”,旨在建立将国家实验室连接起来的高速数据网络。

多媒体及可视化计算的环境往往是高性能计算环境,它往往由巨型机、专用计算机及先进的系统软件以及高性能计算机网络组成。大量复杂的科学计算及工程应用驱动着计算机性能不断提高,例如航天飞机设计的空气动力学分析需要求解大量与时间相关的偏微分方程,要求速率达到 1012GFLOPS/S,如此大量而复杂的计算目前的任何单个计算机系统是难以胜任的,为此或者改善算法,或者提高硬件性能,基于高速网络的超级网络计算已成为理想的计算环境。

超高速计算机网络,试图将多个高性能计算子系统组成单一的计算资源,例如美国明尼苏达巨型机中心(MSC)用 HIPPI 连接 CM-1 和 CM-2。超高速计算机网络将传统的单机巨型机模型变成了基于超高速计算机网络的分布式网络计算机模型,利用网络环境中的 TB 级存储系统、高速帧缓冲、高性能工作站、向量处理机、大规模并行机等资源协同解决异常复杂,庞大的问题。目前支持这种计算的计算机网络一般是 ATM、FDDI、HIPPI 或专用的网络系统。

1.1 光纤通信技术

广义的光通信历史悠久,如烽火台、红绿灯等均属此列。美国林肯实验室成功地利用氦氖激光器通过大气传送一路彩色电视信号。由于大气受气候等诸多因素影响,有很大的局限性。70 年代美国康宁玻璃公司制成了 20dB/Km 的光纤,从而开创了光纤通信应用的历史。光纤技

术在通信技术中起着十分重要的作用,无论从完整性还是信息传输容量来讲,光纤均比铜介质有许多优越性。正是这些优势,使得光纤成为新一代传输介质。

光纤是非常细的传输光的玻璃或塑料。光纤通常用于连接两个电子设备,光纤连接有三个主要部分:

(1)传输器。传输器将信号从电信号转化为光信号,它包含电子驱动电路,以及光源如LED或激光二极管。

(2)接收器。接收器将光信号转换成电子信号,包含光测量及接收电路。

(3)互连系统。互连系统是连接传输器及接收器的传输介质,包括光纤、连接器和附属硬件。例如 AMP 公司提供光传输器及接收器以及完整的互连系统及组件,互连系统示意图如图 1-1 所示。

光纤的优势体现在下列方面:

(1)高带宽。光纤的带宽允许高数据传输率,光纤电话系统的单个光纤可负载几千个语音通道,用于数据传输,同样允许计算机及网络充分利用通信通道。

(2)低衰减。光纤提供信号的低衰减,如单模光纤衰减小于 1dB/Km , 衰减低意味着无需中继器就可以实现长距离传输。同样重要的是,光纤的增益,不会象铜线那样,随调制频率变化,而且中继器间的距离随速率增加只会略有减少。单模光纤带宽可达数十个 Gb/S , 1.31 微米芯层的衰减为 0.5dB/Km ; 1.55 微米芯层的光纤衰减为 $0.2\text{--}0.3\text{dB/Km}$,已基本接近二氧化硅石英光纤的极限。

(3)无电磁泄漏。因为光纤是非电子的,不受电磁影响。光既不吸收也不溢出电磁能,是满足 EMI 规则的,如 FCC Docket20780 的理想传输介质,从 EMI 中消去交叉干扰、对地回路、信号变形等,意味着即使是在复杂电子的环境,也可实现无错误传输。

(4)体积小。与同轴电缆相比,光纤的体积要小得多,体积小意味互连介质占用空间小,无论是用于同层计算机的或是办公楼内的局部网互连,光纤都要比铜介质好得多。此外,由于光纤的多数据速率特性,所以可用单线传输代替并行连接的多线传输。

(5)重量轻。由于玻璃比铜轻,对于重量敏感的应用十分有用,如飞机或汽车上的设备互连,光纤占明显优势。

(6)安全性。光纤提供安全的通信,光纤没有探测点,是不可能被窃听的。光纤不放射电磁能,使得其它窃听的技术也毫无作用。

(7)价格。虽然利用光纤安装及连网的初始费用比传统铜方式昂贵,如果考虑到利用光纤而得到的良好系统性能,结合考虑性能及价格,光纤则显得更加经济。

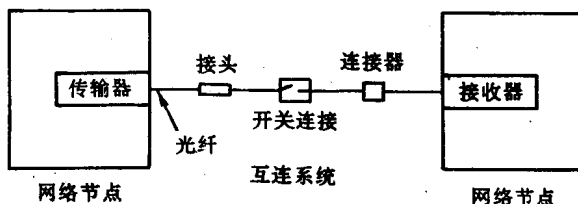


图 1-1 光纤系统互连示意图

1.1.1 光纤通信的基本部件

裸光纤由两个部分组成,即内部区域(芯层)和外部反射区域(包层)。光在一定的模式中传输,当遇到芯层与包层边界时全部反射,利用全部的内部反射继续沿着光纤传输。此外裸光纤均需涂覆和套塑,用于保护反射层及芯层。

光纤通常按它们的折射率、芯层大小、孔径分类,主要有三种光纤:

- 渐变多模光纤
- 突变多模光纤
- 渐变单模光纤

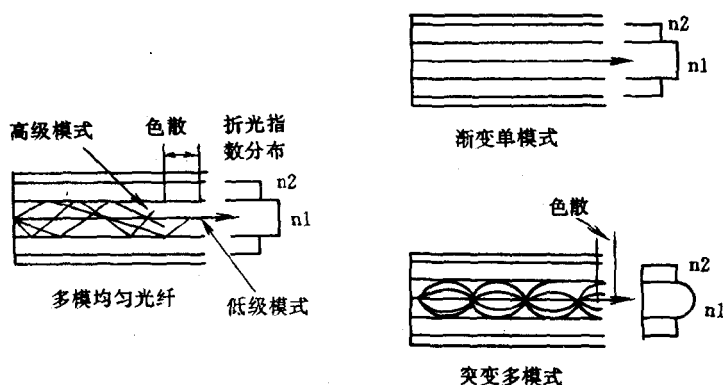


图 1-2 各种光纤

(1) 渐变多模光纤,芯层直径为 50-1000 微米,它可支持多种模式光传播,不同的路径使模式色散增加,光线只要满足反射条件,就会以扭折的形式向前传播。色散是限制带宽及信息携带容量的主要因素。

渐变多模光纤可进一步按组成材料分为:

- 全玻璃——玻璃垫及玻璃芯层
- 塑料垫二氧化硅——塑料垫及玻璃芯层
- 全塑料——塑料垫及塑料芯层

(2) 突变光纤具有与渐变光纤不同的特性,光线只要满足反射条件,传播时光纤折射就会连续弯曲到中心。由于光纤在低折射率处传输慢,远离中心轴的传输的快,最长路径传输的有最大平均速度,为此所有方式在任意点几乎同时到达,这样就减小了色散,提供更高的带宽。

(3) 单模光纤提供限制模式色散途径,这些光纤的芯层直径很小,一般为 4-10 微米,只允许有一种模式传输(即最低模式 HE 1,1)。每公里只有近 10ps 的色散,这些光纤有很高的带宽,特别适合于长距离、高速电信及 CATV,缺点是芯层太小,使得难以拼接,而且通常需要激光光源。

1.1.2 光纤参数

与 LED 光源类似,当光的能源在一定波长范围之内传播时会出现色散,色散限制了光纤带宽,从而限制了速率。在同一路径上不同波长有不同的传播速度,从而引起脉冲展宽。通过采用窄幅光谱的光源,可以消除模内色散。与铜线的增益不同,光纤的增益不随调制频率变化,它在可用的光纤频率范围内是常数。

对于玻璃光纤,主要的增益机制是光线散射随波长增加而减小。通过多年的研究,使得因 OH(氢氧根) 吸收而引起的衰减高峰逐步减少,目前只有 1370nm 的比较突出。1550nm 以上由于反射吸收而引起增益增加,更长的波长同样引起人们的关注,主要是吸收较低,在 2300nm 附近玻璃光纤表现出零色散。

虽然商用光纤的增益接近理论极限,通常采用的两种波长区域是增益最小的,这两个区域是 850nm 及 1300nm。称为短波长与长波长(或称第一与第二窗口)。另一个是 1550nm。例如 AMP 的芯层光纤是双窗口光纤,在两个波长条件下均可得到最优操作。数值孔径(NA,也称相对折射率差)定义了光纤接收光及传播光的角度,数值孔径大的光纤聚光性比数值孔径小的,好,但色散也大。相反,低数值孔径提供高的传播效率及高带宽,但是,将光线耦合到低数值孔径的光纤上难度更大。

1.1.3 几种常用的光缆结构

目前用于通信的光纤是石英光纤,而石英材料本身十分脆弱且容易断裂。虽然在光纤的拉制过程中已经过了两次涂覆处理,但外径仍然很细,很难承受施工中的拉伸、侧压力等较强的外力作用。因此在实际通信线路中都是将光纤制成不同结构形式的光缆,使其具备一定的机械强度,以承受光缆敷设时所施加的张力,并能在各种环境条件下使用,而且保证传输性能的稳定、可靠。

光缆的种类很多,制造工艺也相当复杂,下面仅就通信光缆的结构形式作一简单介绍。

1. 光缆的基本结构

根据不同用途和不同的环境条件,光缆的种类很多,但不论光缆的具体结构形式如何,都是由缆芯、加强元件和护套组成。

(1) 缆芯

由于光缆主要是靠光纤来完成传输信息的任务,因此缆芯是由光纤心线组成。一般可分为单芯和多芯两种。

(2) 加强元件

由于光纤材料比较脆,容易断裂,为了使光缆便于承载敷设安装时所加的外力等,因此在光缆中要加一根或多根加强元件,位于中心或分散在四周。加强元件的材料可用钢丝或非金属的合成纤维--增强塑料(ERP)等。

(3) 护层

光缆的护层主要是对已形成缆的光纤心线起保护作用,避免受外部机械力和环境损坏。因此要求护层具有耐压力、防潮、湿度特性好、重量轻、耐化学侵蚀、阻燃等特点。

光缆的护层可分为内护层和外护层,内护层一般采用聚乙烯或聚氯乙烯等,外护层可根据敷设条件而定,如采用由铝带和聚乙烯组成的 LAP 外护套加钢丝铠装等。

2. 光缆的种类

公共通信网中用的光缆结构如表 1-1 所示。下面介绍有代表性的几种光缆结构形式。

表 1-1 典型光缆结构特点

种类	结构	光纤芯线数	特点
长途光缆	层绞式	< 10	低衰减、宽频带,可用单盘
	单位式	10 ~ 200	盘长的光缆来敷设,骨架式
	骨架式	< 10	有利于防护侧压力
海底光缆	层绞式	4 ~ 100	低衰减、耐水压、耐张力
	单位式		

(续表)

种类	结构	光纤芯线数	特点
用户光缆	单位式	< 200	高密度、多芯和低、中衰减
	带状式	> 200	
	软线式		
局内光缆	单位式	2 ~ 20	重量轻、线径细、可绕性好
	带状式		

(1) 层绞式光缆

它是将若干根光纤心线以强度元件为中心绞合在一起的一种结构,如图 1-3(a)所示。这种光缆的制造方法和电缆较相似。光纤心线数一般不超过 10 根。

(2) 单位式光缆

它是将几根至十几根光纤心线集成一个单位,再由数个单位以强度元件为中心绞合成缆,如图 1-3(b)所示。这种光缆的心线数一般适用于几十芯。

(3) 骨架式光缆

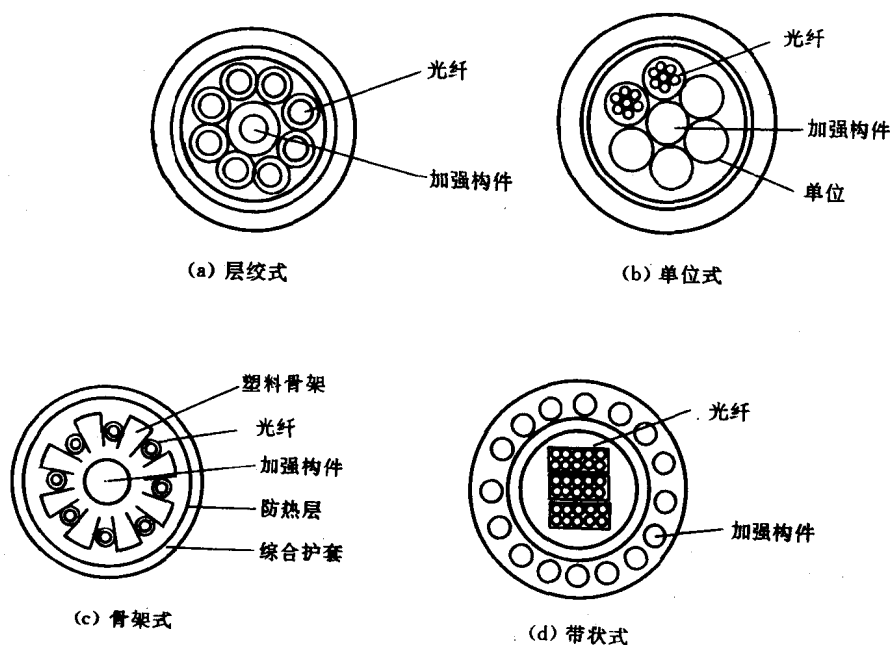


图 1-3 典型光缆内部结构

这种结构是将单根或多根光纤放入骨架的螺旋槽内,具有较大空间,因此当光纤受到张力时,可在槽内作一定的移动,从而减少了光纤芯线的应力应变和微变,见图 1-3(c)。

(4) 带状式光缆

这是将 4~12 根光纤芯线排列成行,构成带状光纤单元,再将多个带状单元按一定方式排列成缆,如图 1-3(d)所示。这种光缆的结构紧凑,采用此种结构可做成上千芯的高密度用户光缆。

1.1.4 光纤通信基本组成

1. 源与传输器

LED 通常用于多模光纤。LED 可以是表面发射或者是边界发射。表面发射器有大的活动区域及大的数值孔径,通常能够将更多的光耦合进入大的光纤。边界发射器活动区域小,数值孔径也小,但更紧凑。对于所有的光纤尺寸,边界发射器通常能将更多的能量耦合进光纤。虽然 LED 提供的能量比激光小,速度低,但它对于要求几百兆传输速率以及传输距离在几公里的范围内应用特别适合。从而具有可靠性高,价格低,易于使用的特点。对于更高的速度更长的传输距离,必须考虑采用激光。LED 的光谱比激光宽,所以色散也大。长波长 LED 比短波长 LED 的光谱宽,由于它们在几乎光纤的零色散波长工作,从而可以得到更高的位传输率。激光二极管用于单模光纤,极少用于多模光纤,可以 1Gb/s 的速率操作,可向光纤发射 0 dBm (1mW) 的能量。由于光纤激光二极管受温度影响极大,传输的电路比采用 LED 的要复杂的多。

大多数应用可从已封装好的传输器中受益,这些设备与标准 TTL 或 ECL 直接兼容,并且管脚相连。DIP 的封装易于安装,传输器提供 LED 所需的驱动电流。典型的 LED 传输的特性如下:

数据 速率	波长 (nm)	光谱范围 (nm FWHM) (Mb/s NRZ)	发射能量 (dBm 峰值) (62.5 μ m 芯层)	上升时间 (ns)
25	890	50	-14	5
50	850	50	-14	4
100	890	50	-14	4
125	1300	140	-13	2.5

2. 检测器

检测器包括 PIN 针式光电二极管、APD 雪崩光电二极管和集成的探测器/前置放大器。PIN 光电二极管是最简单及最常用的设备,通常它不提供放大功能,便宜、易于使用,具有很快的响应时间。除了很高速度的设备,活动区域通常较大,从而达到 200 微米的光纤直径同等感觉,响应随波长及材料技术而变化,通常在 0.4 至 0.7A/W。

APD 的比 PIN 光电二极管更能捕获低能量的信号。典型 APD 比 PIN 大 100 倍,另外的优势是速度快。APD 的缺点是复杂与昂贵,操作需要高电压,对温度变化敏感。与激光作为光源类似,APD 只用在速度及距离需要的场合。集成式检测器/放大器 (DP) 是将检测器及放大器集成在同一集成电路中,其优点是信号在遇到负载电阻所产生的噪声前,可以中途放大及加强,从而克服了后续放大步骤中不仅放大信号,也放大噪声的固有弱点。典型的 APD 响应能力为 15mV/W。此设备具有克服噪声,并提供合适的信号捕获能力。

最方便的检测器是封装的接收器模块,接收器与标准逻辑电路电平兼容,而且所有将低级 PN 信号转换为逻辑电平的模拟电路均包含在接收器中。按 DIP 封装,并易于连接。典型的针式接收器特性是:

数据传输率 (Mb/s NRL)	波长 (nm)	敏感性 (dBm 峰值)	动态范围 (db)
25	890	-36	26
50	890	-34	24
100	890	-31	20
125	1300	-31	21

1.1.5 光纤通信设计的基本问题

虽然光纤通信可以概括为光纤、连接器、藕合器、波长分离多路复用器、光开关以及为特定应用而封装系统的附属硬件。光纤电缆在中间,然而实际实现却远非如此简单。为了布设两个位置间的光纤可能需要几段电缆,并拼接在一起。类似的,有些安装需要不同的电缆结构,例如建筑物及配线盒间的多模光纤,而双芯电缆在设备及工作场所连线。配线盒封包可以对物理电缆进行重配置,并支持未来的局部网络标准,有时要求星状配置。光纤可以在配线架上终止,并利用跳线连接必需的网络设备。实际上,正确使用配置板架可使单个电缆配线架用于多种用途,如 FDDI 双环网、无源星状网、有源星状以太网,MAP 令牌总线及多路复用器等。

系统设计包括能量负荷分析及带宽分析。能量负荷计算系统全部衰减,保证探测器从源端接收足够的能量维持系统所需的 SNR 或 BER,实时分析保证链接满足应用带宽需求。

此外,在具体选择系统部件之前,首先应对将要设计的系统的情况和指标有所了解。例如,对传输数字信号的光纤通信系统,要了解它的比特速率、误码率以及传输距离;对传输模拟信号的光纤通信系统,则应了解其信号带宽、信噪比和传输距离。

1. 传输特性与连接衰减

系统的全部衰减是单个衰减之和。链接必须生成足够的发射能量使得探测器在系统规范之内操作。链路的主要衰减源是:

(1) 光纤到活动设备连接,包括

- 数值孔径不匹配
- 直径不匹配
- 连接器/设备边界不齐

(2) 光纤增益

(3) 光纤到光纤链接,包括

- 数值孔径不匹配
- 光纤芯层直径不匹配
- 连接器插入衰减

(4) 被动式组件(开关,藕合器)

- 插入衰减
- 数值孔径及直径不匹配
- 内置连接器衰减

(5) 计算的边界

- 传输器(源)
- 温度变化

——修复补齐

——安全边界

通常源衰减的边界为 1-3dB。温度变化依赖于电缆增益是否指定为最坏情况下的操作温度。

失配引起的衰减是指当光从一个光纤向另一更严格的数值孔径或直径光纤传输时所引起的。表 1-2 说明 FDDIPMD 的不同光纤互连的影响。

表 1-2 FDDIPMD 的不同光纤互连的影响

接收光纤	传输光纤				
	50 μm (NA = 0.20)	50 μm (NA = 0.22)	62.5 μm (NA = 0.275)	85 μm (NA = 0.26)	100 μm (NA = 0.29)
50 μm NA = 0.20	0.0	0.4dB	2.2dB	3.8dB	5.7dB
50 μm NA = 0.22	0.0	0.0	1.6dB	3.2dB	4.9dB
62.5 μm NA = 0.275	0.0	0.0	0.0	1.0dB	2.3dB
85 μm NA = 0.26	0.0	0.0	1.1dB	0.0	0.8dB
100 μm NA = 0.29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

插入衰减主要是被动式组件引起的,如连接器、藕合器,开关等造成的。

2. 工作波长的选择

若传输距离长,可选用 1.31 μm 或 1.55 μm 的长波长波段。因为在这个波段范围内,光纤衰减低于 0.85 μm 的短波长波段,特别是长途光纤通信系统,使用长波长波段,可减少设置光中继器的数目。

若传输码速高,可选用 1.31 μm 单模光纤。因为 1.31 μm 石英光纤色散近似为零,色散小,信号经传输产生波形畸变就小,码元之间彼此重叠造成码间干扰的情况就轻。对传输距离短、码速不高的光纤通信系统还可选用短波长波段。因为这个波段的光源较成熟、成本亦低。但随技术的不断进步,短波长波段已较少使用了。

3. 光源的选择

激光器的输出光功率高、频谱窄、采用单模光纤传输时色散小。故适于长距离,高码速的光纤通信系统中采用。但是激光器与发光二极管相比,它的寿命相对较低、价格高、稳定性差、调制电路复杂。

发光二极管与半导体激光器相比,发光二极管的寿命长、价格低、受温度影响小、工作稳定、调制电路简单,但发光功率低、频谱宽,因此,发光二极管适于工作在距离短、码速低的光纤通信系统中。

4. 光电检测器的选择

PIN 管的偏压电路简单,价格较低。但是,使用 PIN 管时光接收机的灵敏度较使用 APD 管的低。APD 管由于偏压高,故偏压电路较 PIN 管的偏压电路复杂,价格亦高。但是使用 APD 管的光接收机因有雪崩倍增作用,灵敏度比使用 PIN 管的接收机要高。

5. 光导纤维的选择

从理论上讲,由于单模光纤只传送一种模式,无模式色散,故适于工作在长距离、高码速的情况。但是芯径小,连接时较多模光纤困难。多模光纤存在模式色散,故色散较单模光纤大,

不适于工作在长距离、高码速(1Gbps)的情况。但多模光纤芯径较粗,便于接续。

1.1.6 光纤通信系统有关指标的计算

1. 光纤的色散与带宽

光纤的色散是造成光波信号出现畸变的重要原因,多数情况下,光纤中的波导色散可以忽略不计,仅要考虑光纤的模式色散和材料色散。

色散会引起光波波形的畸变,在传输数字信号时就表现在光波脉冲时间展宽,也就是说使光脉冲的上升时间和下降时间加大。这种情况严重时会使码元前后重叠,出现码间干扰。上述情况随传输距离的增长变得愈加显著,从而限制了光纤通信系统的传输距离和传输码速。

上面用脉冲波形被展宽来描述因光纤色散产生的影响,这实际是用时域特性来描述了光纤的色散效应。但是,在很多情况下,我们亦可用光纤的频域特性来描述光纤的色散效应。所谓光纤的频域特性,就是把光纤看作一个有一定带宽的“网络”时,就有相应的频率分量被抑制,从而在“网络”的输出端(即光纤的输出端)光脉冲出现了频率失真,这种失真反映到波形上,就是光波脉冲被展宽。因此,我们可以用光纤的频带宽度来描述光纤的色散效应。

光纤的色散是光纤通信的重要特性,由于色散的存在,造成输入脉冲在传输过程中被展宽,从而产生码间干扰、增加误码率,进而限制了传输距离和通信带宽。

光纤色散主要有模式色散和模内色散,模内色散分为材料色散和波导色散。模式色散是由于多种模式在光纤中以同一频率传输时轨迹不同,传输同样长度的光纤的时间不同,从而在模式间存在时延差。材料色散是由于光纤含杂质,光纤材料的折射率随频率而变化,造成各频率成分的群速不同而引起的色散。波导色散是由于光纤的几何结构、形状等不完善,造成光波一部分在纤芯中传输,另一部分在包层中传输,由于两者折射率不同,从而引起脉冲展宽现象所形成的色散。

从图 1-4 中可以看出,在 $\lambda = 17\mu\text{m}$ 附近,材料色散为零;在 $1.4\mu\text{m}$ 附近,总色散为零。从光纤的衰减特性分析中可以得知,对于二氧化硅光纤来说,在 $1.55\mu\text{m}$ 处,可获得最低衰减。因此,如果能使单模光纤的总色散为零的点移到 $1.55\mu\text{m}$ 附近,则可以获得最低衰减和最小色散。这即是目前人们研制的零色散频移光纤。

2. 带宽分析

即使链路提供给检测器足够的能量,依然可能无法满足应用的带宽要求。接收器通常是光纤链路上最受带宽限制的组件。带宽问题是决定传送器其它系统部件效果的关键问题。

带宽通常指系统的频率特性,信息的携带能力通常也可以用时间的概念来衡量。事件时间用于综合反映上升时间及下降时间。这样事件时间就不会与传播时间混淆,传输时间也指信号从设备或光纤上经过所需时间。

如果进入接收器的 NRZ 最大速率为 B ,那么位时间 T ,可以简单的表示为

$$T = 1/B$$

用下列规则来检验系统带宽,进入接收器的光信号有效事件时间 t_s ,应小于信号位时间的

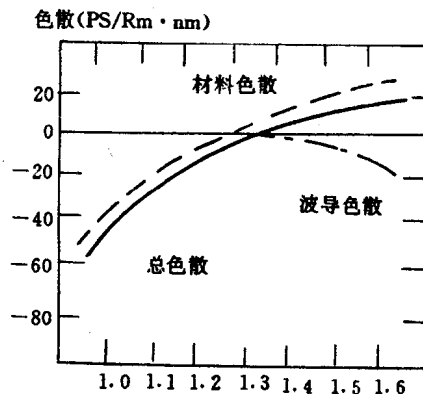


图 1-4 单模光纤波长色散曲线

70%,即

$$t_s = 0.7T = 0.7/B$$

只要 t_s 比这个值小,整个系统的带宽将主要受制于接收器能力。如果 t_s 比这个值大,链路性能将受制于接收器外的其它因素制约,如果进入接收器的信号传输时间长,将导致 BER (位错误率)提高,或者对给定的 BER 值,降低接收能力。

造成进入接收器信号传输时间延长的主要因素是:

- (1) 传输器的传输时间(含发射时间) t_e
- (2) 光纤模式色散的传输时间 t_m
- (3) 光纤模内的传输时间 t_c

链接器及拼接不会影响系统带宽,研究表明,它们在某种程度上可产生模式色散,减少模式色散,可以改进性能。在任何事件中,链接器及拼接不含在分析之中。

进入接收器的光传输时间为

$$A_s = (t_e + t_m + t_c)^{1/2}$$

传输器的传输时间 t_e ,包含在传输器中,上升时间及下降时间分别指定且不相等,慢的可作为最坏情况分析,更合理的值应取平均值。

由于光纤的模式色散所引起的时间大概为

$$t_m = 0.44LQ/BF$$

L 是光纤的公里数, BF 为光纤带宽, Q 为模式色散随长度变化的常数。一些论文将 Q 估计为 0.7,但这个值是对长光纤系统而言的,对于短的光纤,这个值约为 1。

例如,对于给定的 200MHz.KM(在 1 公里测得),光纤长度 300m, $Q = 1$,则

$$t_m = 0.44 * (3\text{km}) / 200\text{MHz.Km} = 0.66\text{ns}$$

模内色散是由于光纤的材料及波导特性引起的。对于波长 800 至 900nm 的多模光纤,波导色散可以忽略。这个范围内,通常玻璃光纤有一个材料色散 D_{mat} 。如图 1-5 所示,注意 D_{mat} 有时为正,有时为负。正值要求按下式计算。

$$t_c = D_{MAT} \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

$\Delta\lambda$ 是源的光频宽度。对于 50nm 光谱宽度的 LED 传输器、300 米的光纤,其材料色散为 0.1ns/nm/km,计算如下:

$$t_c = (0.1\text{ns/nm/km})(50\text{nm})(3\text{km}) = 1.5\text{ns}$$

由于 LED 的光谱宽度相对激光二极管要宽,在 850nm 范围内的 LED 系统的材料色散会比模式色散少。

在波长 1300nm 时,情况比较复杂,由于材料色散很低,必须考虑波导色散,精确的模式色散十分重要。LED 光缆的光谱宽度计算将变得越来越复杂。

根据以上信息,可以估计光进入接收器的时间 t_s 。假设传输器的传输时间 t_e 为 4ns,并采用上述实例的有关数据,则 t_s 可按下列公式计算:

$$t_s = (4^2 + 0.67^2 + 1.5^2)^{1/2} = 43\text{ns}$$

对于 50Mb/s 的接收器,进入接收机的允许传输时间为 $0.7/B = 14\text{ns}$ 。

上述计算表明,对于所选的值在 50Mb/s 时,接收机的性能不受影响。上述等式可以用于

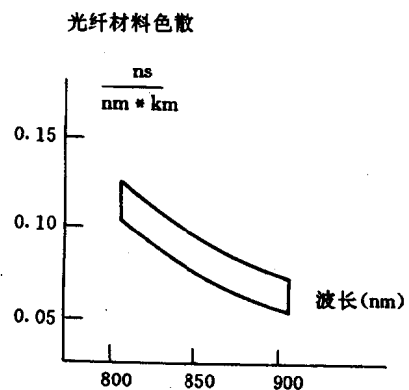


图 1-5 典型光纤材料色散