

项目一

学习光纤通信基础知识

任务 浅谈光纤通信

任务描述

本任务将介绍光纤通信的历史发展过程,在学生充分了解光纤通信的发展历史之后,进一步介绍了光纤通信系统的基本组成部分及分类、光纤通信的主要特点和应用。

任务目标

- 识记:光纤通信系统的组成,光纤通信系统的主要特点。
- 领会:光纤通信系统的性能指标。
- 应用:光纤通信在通信产业中的应用情况。

任务实施

一、了解光纤通信的发展历史

光纤通信在最近的 40 多年里有了惊人的发展,可以说是当今所有通信技术中发展最快、应用最广的一项技术。没有光纤通信的发展,就没有今天蓬勃发展的现代通信网络,更没有建立在此之上的各种信息服务,如语音、视频、数据等的快捷传输。然而,光纤通信的发展并不是一帆风顺的,它的发展是随着科技的进步才慢慢发展到今天的。

众所周知,人类目前传输信息的主要手段是利用电磁波,电磁波的频谱很宽,光也是一种电磁波,光波位于电磁波频率较高的频段。对大多数通信系统来说,系统的信息传输能力是需要优先考虑的。通信系统传输能力的主要限制可由著名的香农公式界定,即如果信息源的信息速率 R 不大于信道容量 C ,那么,在理论上存在一种方法可使信息



源的输出能够以任意小的差错概率通过信道传输。可以严格地证明,在被高斯白噪声干扰的信道中,传送的信道容量 C 由下述香农公式确定,即

$$C = B \times \log_2(1 + S/N)$$

式中, C 为信道容量; B 为信道带宽(单位为 Hz); S 为信号功率; N 为噪声功率。

香农公式说明信息传输能力与信道带宽成正比(信道带宽就是信号传输时该信道没有使信号受到明显衰减的频率范围)。而信道的带宽与载波的频率成正比,带宽与载波之间的经验估算规则是:带宽大约是载波信号的 10%。如果一个微波通道使用 10 GHz 的载波信号,那么其带宽约为 1 GHz,而光的频率范围是 100 ~ 1 000 THz。根据上述经验估算规则可以看出,单根光纤的带宽可达 50 THz。那么,既然光纤通信具有大的信息传输能力,为什么还会落后于传统的微波、同轴等系统,而后来者居上呢? 这还要追溯到 20 世纪初。在第二次世界大战期间,由于需要能够对敌人飞机和舰船进行探测和定位的高分辨的雷达,大大促进了微波系统的发展。在当时,微波工程和雷达工程几乎是同一概念,即使在今天,各种类型的雷达仍然广泛应用于军事及民用等领域。后来,微波发展到另外一个重要方向,即微波接力通信系统。微波波长在厘米量级,在无线传输中,由于微波波长具有一定长度,对微小的雨雪天气中的雨雪等颗粒具有绕射能力,因此它在微波中继接力系统中做点对点的通信具有许多优点。同时,借助于天线系统,微波可以具有很强的方向性,而且由于微波波长较短,天线尺寸可以较小(对天线而言,天线尺寸与波长应该相当,才具有更好的发射及接收效果),通道带宽较宽,因而在光纤通信发展起来之前,无线的微波接力及有线的微波系统在中长距离的通信系统中有广泛应用,包括微波卫星电路系统以及海底微波越洋通信系统等。

事实上,人类利用光通信的历史早在几千年前就已经出现在中国,最著名的是万里长城上的烽火台,城上每隔 2.5 km 设一座报警烽火台,若发现来犯敌人,白天燃烟,夜间举火,告诉城内军民。1880 年,亚历山大·贝尔发明了世界上第一部光电话,它以弧光灯作光源,光投射在话筒的音膜上,当音膜按照说话人声音的强弱及音调不同而做相应的振动时,从音膜上反射出来的光也随之变化。这种被调制的光通过大气传播一段距离后,再被硅光电池接收变成电信号,电信号再驱动话筒,从而完成话音的传递。上述两种光信号的传输介质都是大气,若遇到雨雪天气,信号传递效果都将变差甚至中断,具体原因显然是由于光波长较短,对大气中的雨雪及尘埃物质不具有绕射作用,光波被这些微粒物质阻挡。

在大气光通信暴露出上述缺点以后,人们曾经尝试将光路建立在类似于微波波导管中的方法来克服上述大气传输中的雨雪天气等问题,如反射镜波导方案及透镜波导方案等,但由于上述方案系统复杂、造价昂贵、施工调试困难等而无法实际应用。1950 年,现代光纤的雏形——导光用的玻璃纤维出现,但传输损耗高达 1 000 dB/km,显然不能满足通信需要,因此它仅仅用在医疗领域里的内窥镜系统中。

1966 年,当时工作于英国标准电信研究所的高锟博士深入研究了光在石英玻璃中的严重损耗问题,发现损耗的主要原因是玻璃中含有铬、铁、铜等金属离子和其他杂质,以及光纤拉制工艺中的不均匀性,它还发现一些玻璃纤维在红外光区的损耗较小。同年 7 月,高锟和他的同事 A. G. Heckhom 等发表了著名的论文《光频率介质纤维表面波导》,首次提出实用型光纤的制造问题及其在通信中的应用前景。他指出如果能将光纤中过渡金属离子减少到最低限度,并改进制造工艺,有可能使光纤损耗降低很多,达到实用要求。正因为他的这一成就,使得高锟博士赢得了 2009 年度的诺贝尔物理学奖。



在高锟理论的指导以及巨大的商机引领下,许多公司开展了此方面的研究工作。1970年,康宁玻璃公司研制出世界上第一根损耗为 20 dB/km 的光纤。同年,贝尔实验室研制成室温下可以连续工作的半导体激光器,这是一种适合于光纤通信的理想光源。从此,光纤通信中的两项关键技术——低损耗传输介质及理想光源得以解决。此后,光纤通信开始快速发展,各国及各大公司相继投入大量人力物力开展光纤通信的研发及应用工作。

1975年,第一个点到点的光纤通信系统现场实验在贝尔实验室完成。1983年,最早的城市间光纤链路在纽约和华盛顿之间敷设完成。随后美国很快敷设了东西干线和南北干线,穿越 22 个州,光缆总长达 50 000 km;1983年,日本敷设了纵贯日本南北的光缆长途干线,全长 3 400 km,初期传输速率为 400 Mbit/s,后来扩容到 1.6 Gbit/s。1988年,完成了第一条横穿大西洋的海底光缆通信系统,全长 6 400 km。第一条横跨太平洋的 TPC-3/HAW-4 海底光缆通信系统于 1989 年建成,全长 13 200 km。工业和信息化部的数据显示,2022 年,国内新建光缆线路长度 477.2 万 km,全国光缆线路总长度达 5 958 万 km;其中,长途光缆线路、本地网中继光缆线路和接入网光缆线路长度分别达 109.5 万 km、2 146 万公里和 3 702 万 km。

那么国内的光纤通信的发展又经历了哪些艰苦历程呢?1973年,在世界上,光纤通信尚未实用。当时国外技术基本无法借鉴,什么都要靠自己摸索,包括光纤、光电子器件和光纤通信系统。就研制光纤来说,原料提纯、熔炼车床、拉丝机,包括光纤的测试仪表和接续工具也全都要自己开发,困难极大。武汉邮电科学研究院以及中国电子科技集团第八研究所,考虑到保证光纤通信最终能为经济建设所用,开展了全面研究,除研制光纤外,还开展光电子器件和光纤通信系统的研制,使我国至今具有了完整的光纤通信产业。由于采用了正确的技术路线,使我国在发展光纤通信技术上少走了不少弯路,从而使我国光纤通信在高新技术中快速发展。

1978 年改革开放后,光纤通信的研发工作大大加快。北京、上海、武汉和桂林都研制出光纤通信试验系统。1982 年,邮电部重点科研工程“八二工程”在武汉开通。该工程被称为实用化工程,要求符合国际 CCITT 标准,从此中国的光纤通信进入实用阶段。20 世纪 80 年代中期,数字光纤通信的速率已达到 144 Mbit/s,可传送 1 980 路电话,超过同轴电缆载波系统。于是,光纤通信作为主流被大量采用,在传输干线上全面取代电缆。经过国家“六五”、“七五”、“八五”和“九五”计划,我国已建成“八纵八横”干线网,连通全国各省区市。光纤通信已成为我国通信的主要手段。在国家科技部、计委、经委的安排下,1999 年我国生产的 8×2.5 Gbit/s WDM 系统首次在青岛至大连开通,随后沈阳至大连的 32×2.5 Gbit/s WDM 光纤通信系统开通。2005 年,3.2 Tbit/s 超大容量的光纤通信系统在上海至杭州开通,是当时世界容量最大的实用线路。

目前,我国光纤通信主要干线已经建成,光纤通信容量达到万亿比特每秒(Tbit/s)量级。但信息产业的发展属性决定,光纤行业仍然有较大的发展空间,如新型光纤的研制等(如光子晶体光纤)。随着宽带业务的发展、网络需要扩容等,光纤通信仍有巨大的市场。现在每年光纤通信设备和光缆的销售量都在逐步上升。

二、了解光纤通信的系统组成

光纤通信系统是以光纤作为传输介质、光波作为载波的通信系统。它主要由电发射机、光发射机、光纤、光接收机、电接收机等组成,如图 1-1-1 所示。当然,一般系统中还包括一些中继器、连接器、隔离器、波分复用器、耦合器等器件。



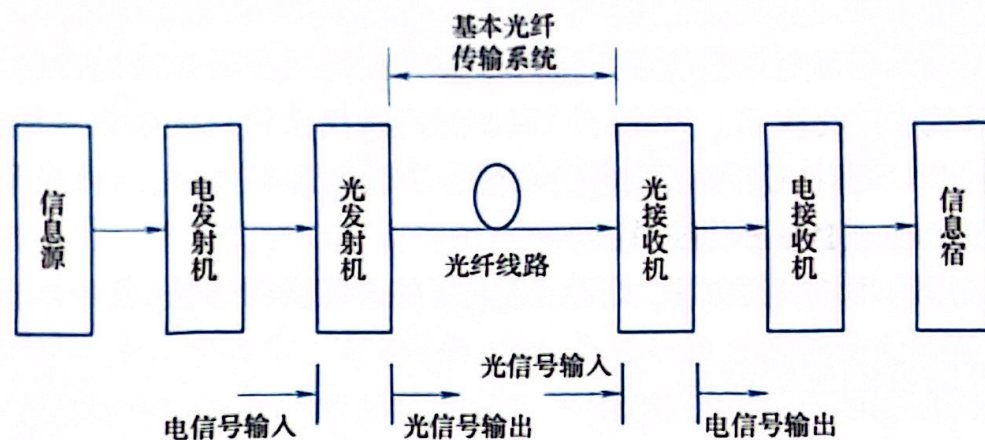


图 1-1-1 通信系统的基本组成(单向传输)

光发射机的作用是将电信号转换成光信号,并通过连接器将光信号注入光纤。光发射机主要由驱动电路、光源等构成。

光接收机的主要作用是将光纤传输过来的光信号转换成发射端的电信号,它一般包括光电检测器及一些信号处理电路。

光纤的作用是将光信号以尽可能小的衰减和畸变传输到对端。

中继器的作用是延长光信号的传输距离,分为光/电/光中继器和光中继器(或称光放大器)两种。光/电/光中继器是将经过长途传输损耗了的、有畸变的光信号转换为电信号,并对电信号进行再定时、整形、再生,然后将再生的电信号再转换为光信号送入光纤。光中继器无须进行光/电/光的转换,直接对光信号进行放大。由于光中继器(光放大器)在连续使用后,虽然能够保持信号强度,但信号的畸变不能消除,因此,一般在连续使用几个光中继器后,要使用一个光/电/光中继器进行再定时和整形。

