

光纤通信发展的3次浪潮

刘喜莲

(北京石油化工学院数理部 北京 102600)

彭天翔

(北京市海淀区西三环中路19号—11技术室 北京 100841)

光纤通信是以现代物理学中的激光技术、半导体技术、光学元器件等为基础,结合其他众多学科形成的一种新型的通信方式。光纤通信系统具有传输容量大、传输距离远、保密性好、抗干扰能力强及光纤的25THz巨大带宽资源等特征,从70年代中期诞生至今不到30年的时间内迅速发展壮大,并广泛地应用于长途干线、海底通信、有线电视、局域网等领域。近年来,随着高速光纤通信技术的快速发展和光缆、元器件技术不断取得突破及价格的逐年下降,传统的光纤通信网正在向下一代全光通信网快速演进。

1. 光纤通信初期的发展

1966年,外籍华裔科学家高锟提出:光导纤维的高损耗不是其本身固有的,而是由材料中所含的杂质引起的,通过降低材料中的杂质含量和改造工艺,可使光纤的损耗降低到10dB/km,甚至降低到几dB/km。这一重要论述奠定了发展光纤通信的理论基础,引发了世界范围内的研究工作。1970年,美国康宁玻璃有限公司制成了衰减为20dB/km的低损耗石英光纤,美国贝尔实验室制作出可在室温下连续工作的铝镓砷(AlGaAs)半导体激光器。这2项研究成果,奠定了发展光纤通信的基础,使研究工作进入高潮。1977年美国率先在芝加哥相距7km的两个电信局间进行传送44.736Mbit/s的商用光纤数字通信系统试验,该系统工作在石英光纤的第一个低损耗窗口0.85 μm 波段,采用的多模光纤衰减为2.54dB/km,光源使用铝镓砷半导体激光器,光/电探测器采用硅材料制作。这次试验标志着第一代光纤通信系统进入实用化阶段,从此,拉开了光纤通信的序幕。

1981年,光纤通信系统实现了使用多模光纤在1.3 μm 波段上传输的第二代光纤数字通信系统。该系统工作在石英光纤的第二个低损耗窗口1.3 μm 波段,该波段石英光纤损耗较小且色散最低,光源使用长波长铝镓砷磷(InGaAsP)/铟磷化合物激光器,光/电探测器采用锗材料制作。1984年实现了使用单模光纤在1.3 μm 波段上传输的第三代光纤数字通信系统。单模光纤比多模光纤色散低得多,损耗也更小,使这代光纤

通信系统传输容量大,传输距离远,广泛应用于长途干线和跨洋通信中。80年代后期实现了使用单模光纤在1.55 μm 波段上传输的第四代光纤数字通信系统,该系统工作在石英光纤的第三个低损耗窗口1.55 μm 波段,它有最低的损耗和较低的色散。

这一阶段光纤通信系统更新换代了几次,实现了光纤从多模至单模的过渡、从短波长(0.85 μm)至长波长(1.31 μm 、1.55 μm)的跨越,传输设备实现了从准同步(PDH)系列至同步(SDH)系列的转型。系统的最高传输速率达10Gbit/s,比最初的传输速率扩大了200多倍,无中继距离可达上百千米。光纤通信系统及元器件日趋成熟,应用范围逐年扩大,推动了电信网的数字化,为发展高速光纤通信奠定了基础。但光纤中25THz的带宽资源只利用了不到1%,光纤通信的继续发展面临着2个主要问题:使用传统的光/电/光中继器延长通信距离时,对光纤传输线路造成了“瓶颈”制约;传输设备中使用电时分复用方式,在传输速率为10Gbit/s的基础上要继续扩大,已日益接近光电子、微电子技术的极限,电子电路形成的“瓶颈”限制了传输设备速率的进一步提高,且光纤中色度色散和极化模色散的影响也日趋加重。

2. 高速光纤通信的发展

1986年,英国南普敦大学在光纤基质中加入钕粒子作为激光工作物质,用氩离子激光器作为泵浦源,制作出了能对1.55 μm 的光信号进行直接放大的掺钕光纤放大器(EDFA)。这一发明克服了光信号在传输过程中使用光/电/光中继器带来的“瓶颈”限制,又一次激起了世界性的研究浪潮,孕育着光纤通信的又一个春天的来临。20世纪90年代初,波分复用(WDM)技术的诞生,解决了光电子、微电子对传输设备的“瓶颈”制约,光纤通信进入了第二个大发展阶段——高速光纤通信。

波分复用技术,特别是密集波分复用(DWDM)技术,可以充分挖掘光纤的巨大带宽资源,使一根光纤的传输容量比单波长传输增加几倍至几十倍。自从1991年朗讯公司提供了第一个实用的WDM以

来,波分复用/解复用器、EDFA、激光外调制、色散管理等关键技术日趋成熟。1995年以后,国际上大容量 DWDM 系统开始商用,全球范围内迅速形成采用 DWDM 系统对现有光纤通信系统传输容量进行扩容的浪潮。截至 20 世纪末,DWDM 系统实验室水平的传输容量已达 6.4Tbit/s,16Tbit/s 和 32Tbit/s 的 DWDM 系统也处于开发中。商用的 DWDM 系统传输容量已达 400Gbit/s,1.6Tbit/s 和 6.4Tbit/s 的 DWDM 系统即将投放市场。同时,波分复用技术复用的波段由常规波段(C 波段)向长波段(L 波段)和短波段(S 波段)拓展,100 个波长通道的传输设备已经商用,200—1000 个波长通道的传输系统正处于开发中。

目前 DWDM+EDFA 技术主要应用于长途干线中。首先因为近年来 IP 业务的爆炸性增长带来了巨大带宽的需求;其次采用 DWDM+EDFA 技术可大大提高通信系统的性价比和经济有效性;第三现有长途光缆即将用完,在铺设十分困难的情况下,采用 DWDM+EDFA 技术可迅速为实现‘三网合一’(即通信网、国际互联网和有线电视网)提供统一的、多业务的宽带信息传送平台。同时全光化、大容量、点对点 DWDM+EDFA 传输系统的大规模应用,给通信网中的交换节点带来了巨大的冲击。由于交换节点目前仍需光/电转换和电信号处理,光/电转换器响应时间慢、电信号处理速度慢及电子设备本身对速率的限制,形成了光信号在交换节点处的“电子瓶颈”,克服的办法只有光信号在交换节点处直接进行交换和处理,即建设全光通信网,因此,全光通信网(AON)技术的研究成为继 DWDM+EDFA 技术之后的再一次光纤通信发展高潮。

3. 光纤通信的发展趋势

进入 21 世纪,一方面波分复用设备、光学元器件等日趋成熟,DWDM+EDFA 技术逐渐从骨干网向城域网、接入网渗透;另一方面光交叉连接(OXC)、光分插复用(OADM)设备的开发应用,点到点的 WDM 系统正在向能够通过复杂光网络传输不同波长信道的、面向用户提供光路由的光网络演进。

在全光通信网中,信号从源节点到目的节点的接入、传输、交换始终在光域内,克服了传统光/电通信网中信号在节点处的“电子瓶颈”限制,可提高网络的处理速度,使系统的传输容量和节点吞吐量提高几个数量级,整个网络能构成一种对光信号完全透明的、简单高效的、高度灵活的网络体系结构。全

光通信网的核心是光交换机,光交换机分为光时分交换、光分组交换、光波分交换等多种交换形式。

光时分交换技术对光器件的工作速度要求很高,由于受光存储、光记忆等光学器件发展的限制,离实用化还有相当的距离。光分组交换与光时分交换相比对光学器件工作速度的要求大大降低,与光波分交换相比能更加灵活、有效地利用带宽资源和以更细的粒度快速分配光信道,支持未来的光互连网技术,已引起了国内外许多研究机构的重视,成为研究的热点之一。目前光分组交换技术要步入实用阶段,会受到光同步、光缓冲、光存储等技术的限制。光波分交换是粗粒度波长分割选路由的交换方式,相对容易实现,也便于与 DWDM+EDFA 传输系统相配合,因此是全光通信网的主要发展趋势。

用光波分交换技术构建全光通信网的核心网络,在点对点的 WDM 系统的基础上,以波长路由为基础,引入 OXC 和 OADM 光节点设备,建立的光网络具有可重构性、可扩展性、透明性、兼容性、完整性和生存性等优点。目前 OXC、OADM 设备依赖的光学器件,如滤波器、波长变换器、光交叉连接矩阵模块等已取得很大进展,OXC 和 OADM 光网络系统已处于现场试验阶段。但要构建实用化的高速、大容量全光通信网,还需解决 3 方面的问题:光纤的色散累积和非线性光学效应,光学器件引起的光信号在光纤中的串扰、噪声累积等问题;WDM 设备中的高稳定集成光源、波长可调的集成化探测器等问题,OXC、OADM 设备中的波长变换器、可调谐滤波器、光交叉连接矩阵等问题;设备的标准化、互操作、网管和价格昂贵等问题。目前,发达国家已经投入了大量的人力、物力和财力进行这方面的研究工作,如美国国防部预研局(DARPA)资助的一系列光网络项目,欧洲、日本等也有许多类似的项目。我国 863 高科技项目—中国高速信息示范网也将 OXC 和 OADM 列为重点公关项目。OXC 和 OADM 设备的商用化将在近期实现,预计在 2005 年以后开始构建国家级的全光骨干通信网。

光纤通信的高速发展及优越的性能使通信网的全光化成为必然趋势。目前光纤通信的容量以每 9 个月增加 1 倍的速度发展,预计在今后的 10 年内,光纤通信的传输速率将提高 100 倍,这意味着将可以为用户提供几乎无限的带宽。21 世纪的通信网将成为光子网络,载有信息的光子将直接进入城域网、企业网、路由器和服务器,甚至用户家庭。

激光全息技术及其在医学中的应用

罗乐 袁航 陈兴

(合肥工业大学理学院 合肥 230009)

1948年英国科学家伽伯在研究电子显微镜的分辨本领时提出了全息理论并开始了全息照相的研究工作。但是由于缺少理想的相干光源,研究工作进展缓慢,直到1960年梅曼研制出世界上第一台红宝石激光器以后,激光的高度相干性和高强度为全息照相提供了理想的光源。在1962年利思和厄帕特尼克斯提出了离轴全息图以后,使全息技术的研究与应用进入了一个新阶段。

由光的波动理论可知,从物体表面发出的光波可表示为: $Y = A \cos(\omega t + \varphi - 2\pi y/\lambda)$, 其中 A 是振幅,表示光强的大小, $(\omega t + \varphi - 2\pi y/\lambda)$ 是位相,表示光在传播过程中各点所在的位置和振动方向。振幅和位相是物光的两个主要特征,即使物体本身不存在,只要产生具有物光的振幅和位相分布的光波,就能观察到该物体的3维图像。普通照相术是把物体表面发出的光波经光学透镜成像在涂有感光材料的底片上,底片记录下物光的光强分布。因为无法记录物光的位相分布,所以普通照相术不能反映物体表面的远近、凹凸,缺乏立体感。全息技术利用光的干涉和衍射理论,在感光底片上不仅能记录物光的光强分布,而且也能记录物光的位相分布,所以利用全息成像技术可以观察到3维立体图像。

全息技术采用的是两步成像法:波前记录和波前再现:

1. 波前记录:利用分束镜把一束激光分成两束。一束照射在物体上并被物体表面反射到全息底片上。另一束激光作为参考光直接照射到全息底片

上(如图1(a)所示),这样物光和参考光将会在全息底片处产生干涉,于是全息底片记录下两束光的干涉条纹图样,从光的干涉理论可知,这时物光的光强分布和位相分布均被记录在全息底片上。但底片上只有干涉条纹并没有物体的像。

2. 波前再现:用一束参考激光照射到记录有干涉条纹的全息底片上时,全息底片相当于一块衍射光栅将对激光束进行衍射,它的一级衍射光波具有物光的光强分布和位相分布,因此通过衍射波可以观察到3维的立体图像。

全息技术的一个应用就是全息干涉测量技术,全息干涉和普通干涉在原理上是相同的,只是在获得相干光的方法上有所不同。普通干涉一般采用的是分振幅法(如迈克耳逊干涉仪)和分波前法(如双缝干涉)。而全息干涉则是把同一物光在不同时刻的波前记录在同一张全息底片上。当一束参考激光束照射在底片上时,将会产生同一物体在不同时刻的两个像,这两个像等同于两个相干光源。它们的光波将产生干涉。所以全息干涉采用的是所谓“时间分割法”。该技术常用的方法有:单次曝光法(实时法)、二次曝光法、多次曝光法、时间平均法、多波长干涉法和错位干涉法等。下面举一个二次曝光法的简单例子来说明全息干涉测量的原理。如图1所示: AB 为一平面薄板, B 端固定在底座上,在 A 端加一个微小的力后, AB 产生一个极其微小的形变,使 A 端到达 A' 位置,利用全息干涉测量技术的二次曝光法可以准确地测量这一微小变化量 AA' 。首先

作者简介



刘喜莲,女,1963年出生。1984年山西大学物理系理论物理专业(学士)毕业,1996年北京理工大学应用物理系电子、离子与真空物理专业(硕士)毕业。长期从事大学物理、物理实验教学工作,主要研究领域为光纤通信,现

任北京石油化工学院数理部讲师。



彭天翔,男,1960年出生。1983年山西大学物理系光电子专业(学士)毕业。长期从事军事光纤通信工作,曾获全军科技进步三等奖和全军优质工程二等奖,主要研究领域为全光通信系统,现任海军91917部队高级工程师。