

光孤子与光纤孤子通信

郑好望 肖胜利 黄晓鹏

(西安通信学院 陕西 710106)

在信息高度发达的今天,如果提及光纤通信,您一定知道这是一项具有美好前景的新兴通信技术,是20世纪最重要的科技成就之一,它利用激光作为传递信息的载波,其通信容量比用无线电波要大得多;光导纤维(简称光纤)是利用全反射现象制成的用来传光的透明玻璃或塑料纤维,其直径在几微米到几十微米之间;也许您还能如数家珍地列出光纤通信所具有的抗干扰性好、传输损耗小、传输距离远、保密性强、重量轻、能节省金属材料等诸多优点。但是,如果谈及新型光纤通信——光纤孤子通信(简称光纤孤子通信),您也许知道得并不多。下面笔者就此问题作一简要介绍。

一、光孤子与光纤孤子通信

早在1834年,英国造船工程师拉塞尔(J. S. Russell)曾在河流中观察到一种奇妙的水波,称为孤立波(soliton wave)。由此开始,物理学家和数学家对此进行了一个多世纪的深入研究,建立了描述各种孤立波现象的非线性方程。光学中孤波现象的研究始于1965年,先后发现了自聚焦空间孤立子与非线性介质波导中的传输孤立子。在光学中,孤立子这个词用以描述光脉冲包络在非线性介质中传播时类似于粒子的特性,在数学上是非线性波动方程的局域行波解。在一定条件下,这种包络孤立波不仅不失真地传播,而且像粒子那样经受碰撞仍保持原形而继续存在,我们称其为光学孤立子或光孤子(optical soliton)。1973年,长谷川等人首先从理论上证明,超短光脉冲在光纤中也可以形成孤立子,并在传输过程中保持脉冲形状或面积不变,1980年,美国贝尔实验室的莫勒瑙尔等人首次用实验方法在光纤中观察到光孤子,并于同年提出将光纤中的孤立子用作传递信息的载体,构建一种新的光纤通信方案,称为光纤孤子通信。

在光纤中,光孤子的形成来源于光纤的色散效应和非线性效应。具体而言,当超短脉冲在光纤中

传输时,石英玻璃等光纤材料的色散效应使其散开,而非线性光学效应则使其收缩,两者互相抵消或平衡便形成光孤子,并以不变的形状和速度传输。

自从光孤子概念于1973年提出,1980年首次实验发现至今,经过众多专家、学者的潜心研究,光孤子通信理论及实验取得了突破性进展。1988年美国贝尔实验室采用受激拉曼散射补偿光纤损耗,将数据传输4000km,次年又将传输距离延长到6000km,90年代初,随着色散位移技术(DSF)、掺铒放大技术(EDFA)、动态孤子通信技术的日益成熟和完善,贝尔实验室采用循环回路将孤立子无再生地传输到14000km,码率达到2.5Gb/s,日本实验室则将10Gb/s的数据传输到 10^6 km,实现了超长距离孤立子循环传输。1995年,法国的实验室将20Gb/s的数据传输 10^6 km,中继距离达140km。1995年线形试验也将20Gb/s的数据传输到8100km,将40Gb/s的数据传输5000km。线形光孤子系统的现场试验也在日本东京周围的城域网中进行,分别将10Gb/s与20Gb/s的数据传输了2500km和1000km,1994年和1995年,80Gb/s和160Gb/s的高速数据也分别传输了500km和200km。

将光孤子作为信息载体实现光纤孤子通信,其系统主要由5个基本功能单元组成(如图1所示):光孤子发送终端;光孤子接收终端;光孤子传输线;光孤子能量补偿放大器;光孤子传输控制装置。

光孤子发送终端由超短脉冲半导体或铒光纤激光器、光调制器、信息源和光纤功率放大器构成,用于产生光孤子脉冲信号;光孤子接收终端由宽带光接收机或频谱分析仪、误码仪与条纹相机构成,用于测试系统传输特性或通信能力;光孤子传输线路由普通单模光纤或色散位移光纤构成;光孤子能量补偿放大器由掺铒光纤放大器或半导体光纤放大器组成,亦可用传输光纤本身的受激拉曼放大或在传输光纤中掺入稀土铒元素而构成的分布式铒光纤放大



图1 光纤孤子传输系统基本构成示意图

系统组成;光孤子的传输控制装置由导频滤波器、强度或相位光调制器、非线性元件和色散补偿光纤等构成,设置在沿传输系统不同的区段,用于清除或降低 ASE 噪声、相邻孤子相互作用与各种高阶扰动对孤子通信系统通信容量的限制,提高孤子传输特性的稳定性。

毫无疑问,光孤子在光纤中的长距离无形变传输将使它成为未来通信的最优信息载体,使光纤通信发生新的飞跃,其通信容量可高出普通光纤通信容量 100 倍,有人甚至认为它将是光电为媒介的通信极限。由于像光孤子这样的传输距离完全可以代替通讯卫星的许多功能,因此,西德专家格拉尔 (Grall) 等人甚至预言:20 年后,天上不再有通讯卫星。

二、光纤孤子通信的优点

光纤孤子通信与普通光纤通信比较,有以下优点:

1) 由于光纤的损耗和色散使光信号脉冲衰减并加宽,因此普通光纤通信系统需要每隔 30—50km 设

一个中继站,进行接力式通信。中继站包括检测器、调制器和激光器等,这是复杂而昂贵的电子-光学系统。光纤孤子通信则不需要中继站,只需用光纤激光放大器或其他增益补偿方法对脉冲补充能量。

2) 因为孤立子在光纤中传输时,非线性效应抵消了色散,光脉冲宽度不会明显加宽,可实现超远距离的通信。

3) 由于孤立子光脉冲的脉宽很窄,而且重复率高,在传输过程中又无畸变,因此光纤孤子通信是传输速率超过 10Gb/s 的最佳选择。

4) 在一根光纤中,可以同时传输频率接近的多路信息。

5) 可以利用光开关进行光学信息的编码,代替电子学的编码技术。

光纤孤子通信的特点决定了它必定成为未来高速长距离通信的主体,我们有理由相信,随着光孤子理论及实验的进一步发展成熟,光纤孤子通信必将在全世界得到广泛应用。

科苑快讯

希格斯研究未能挽救 LEP 的命运

据英《自然》2000 年第 6810 期报道,在经过了 11 年正常运行和 3 个月延期运行之后,欧洲大型正负电子对撞机 LEP 终于在 2000 年 11 月寿终正寝。

此前一周,CERN 总主任 Luciano Maiani 拒绝了 LEP 再运行 1 年的请求,命令按计划在年初将它拆除。

LEP 得到延期运行一个月的经费,以便获得更多的数据来支持初步的观测结果。由于数周前,LEP 首次真正观测到希格斯粒子存在的可能性,CERN 管理机构受到各方的压力,要求延长运行 1 年。

但是,延长 1 年运行将需经费 1 亿瑞士法郎,而且还要推迟建造大型强子对撞机 LHC。LHC 非常强大,如果真如 LEP 实验所言希格斯粒子具有 115GeV 的质量,LHC 将能证实它的存在。

高能物理学家们未能就是否冒险延长运行达成

一致意见。由 LEP 研究人员(包括 LHC 实验的研究人员)组成的 LEP 科学委员会对是否向 CERN 研究委员会申请延长运行一事的表决结果为 50 对 50。而负责平衡 CERN 整个实验计划的 CERN 委员会也没有形成一致意见。就连 CERN 科学政策委员会也没得出肯定结论。这就要总主任来负责拍板了。他做出了决定。他说,他不是从经费方面考虑的,而是从实验室的总的最佳科学回报方面考虑的。

延长 1 年,不能保证肯定发现希格斯粒子,所以总主任认为,延期建造 LHC 风险太大,会使从事 LHC 实验的科学家无所适从。而 LHC 能让科学家们研究希格斯粒子的特性并鉴别它。CERN 的研究主任也说,CERN 最好的前程是尽快建造 LHC。要想改变一项很好的研究计划,必须有一整套很强的理论,但 LEP 委员会未能提供。

但 CERN 的物理学家 Chris Tully 认为总主任的决定是 CERN 的悲剧。他认为 CERN 领导层低估了所看到的希格斯证据的翔实性。

(卞吉 秦宝 编)

现代物理知识