

光通信的未来生力军——光孤子通信

李 卿

(华中师范大学物理科学与技术学院 01 级通信工程 武汉 430079)

自从 1966 年英籍华人高锟提出光纤通信的概念以来,光纤通信有了长足的发展,这种以光代电的传输手段是通信史上的一场深刻革命,在信息基础设施方面扮演着重要的角色。20 世纪 90 年代以后涌现出了一批极具生命力的光纤通信新技术,如光波分复用、光放大器、光孤子通信等。本文则主要介绍光孤子的产生,光孤子通信系统的构成、部件特点、主要技术和发展现状等。

众所周知,在光纤通信中,其传输距离和传输速率受到光纤色散和非线性效应的影响,当色散和非线性效应单独作用时均会限制光通信系统的性能。色散使传输波形展宽,特别是高速传输会引起码元重叠产生误码;而非线性效应会使光纤放大器产生噪声累积,导致波形变陡,妨碍传输距离。但是如果选择适当的相关参数,使两种效应相互平衡,就可以提高系统性能。

光孤子的产生正是光纤的群速度色散和非线性效应相互平衡的结果,它是一种经光纤长距离传输后,幅度和宽度都保持不变的超短光脉冲(ps 数量级)。光孤子通信就是利用光孤子作为载体的通信方式,它的传输距离可达上万公里,乃至几万公里。

1. 光孤子通信系统的构成

图 1 示出光孤子通信系统的构成:孤子源是一个光孤子激光器,用来发射光孤子;调制器用来对光孤子进行编码,使之承载信息;孤子放大传输线路包括传输光孤子的色散移位光纤和周期性地放大孤子

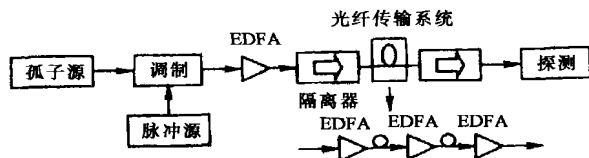


图 1

的光纤放大器;探测器对光孤子进行探测;除此之外,还有光隔离器、超高速光电子继承电子线路等。其工作原理是,光孤子源产生一系列脉冲宽度很窄的光脉冲,即光孤子流,作为信息的载体进入光调制器,使信息对光孤子流进行调制。被调制的光孤子流经掺铒光纤放大器和光隔离器后,进入光纤进行传输。为克服光纤损耗引起的光孤子减弱,在光纤线路周期地插入 EDFA,向光孤子注入能量,确保光孤子的稳定传输。在接收端,通过光检测器和调制装置,恢复光孤子所承载的信息。

1.1 光孤子源

典型的光孤子源有色心孤子激光器、半导体孤子发生器与增益开关、掺铒光纤孤子激光器、喇曼孤子激光器及参量孤子激光器等。光孤子通信系统要求光孤子源工作在接近 1.55 μm 波长区,因为该窗口光纤损耗最小,并且可采用 EDFA 实现光纤损耗的补偿。

以下介绍现在应用较广的两种孤子源:

掺铒光纤孤子激光器,在掺铒光纤激光器中引入有源的或无源的锁模器件即可实现光纤激光器锁

具有优秀传统文化及重视辩证唯物主义的中国科学家应该而且一定能够作出自己的特殊贡献。

以上浅谈了复杂性科学研究的三个主要学派:欧洲学派、美国学派和中国学派,他们在研究思路和方法上风格各异,本文从哲学角度分析了他们研究的基本特征,作为现代复杂性科学研究前沿的典型代表,我们应当汲取各个学派理论思想中的精髓,只有这样,才能对复杂性科学有一个更深层次的认识,把我国的复杂性科学研究推进到世界的最前列,并服务于 21 世纪祖国的社会主义建设。

作者简介

柴立和,男,1972 年 7 月生,汉族,现为天津大学环境科学与工程学院副教授,1995 年东南大学本科毕业,2000 年 3 月获清华大学硕士和博士学位,2000 年 4 月至 2002 年 4 月于日本东京大学任日本学术振兴会特别研究员,主要研究方向为环境科学与工程、航空航天领域下的微重力热科学及相变传热的现代非线性理论、环境化学和复杂系统理论等,从事过多项国家自然科学基金项目的研究。在国内外刊物及会议上发表学术论著近 70 篇。

模并输出高斯型超窄光脉冲。由于这种全光纤型孤子源与传输光纤耦合容易,特别是光纤型光调制器的研制成功,使这种孤子源更具实用性。

外腔锁模孤子激光器通过在激光谐振腔内插入有源锁模期间来实现对激光纵模的锁定,其输出再经过光纤放大器放大,可得到 15~100mW 的峰值功率输出,注入光纤后足以形成光孤子。孤子源可提供速率为 2.4~4Gb/s,脉宽为 64~75ps 的孤子流。

1.2 光纤损耗补偿

光孤子能在存在光纤色散时也保持其宽度不变的特性是以忽略光纤损耗为条件的。当光纤有损耗时,光孤子能量的减少将导致光孤子展宽。因为减少的峰值功率减弱了抵消群速度色散所必需的非线性影响。

光纤损耗的存在导致光孤子脉冲的展宽和幅度减少,从而限制了传输距离,需要对光孤子周期性的放大以便恢复它们最初的宽度和峰值。于是将光放大器周期性地插入光纤线路中,调整其增益正好补偿两个放大器之间的损耗。

光孤子通信光纤损耗的补偿方法主要分为集中式放大法(局部地增强光孤子能量)和分布式放大法(光孤子在光纤上一边传输一边放大)。由于集中式放大法具有明显优势,以下则主要介绍集中式补偿方法中运用较广的掺铒光纤放大器(EDFA)。

1985 年英国南安普顿大学首次研制成功掺铒光纤,1988 年低损耗掺铒光纤技术已相当成熟。由于其工作波长在靠近光纤损耗最小的 1.55μm 波长区,它比其他光放大器更具实用价值。它的投入使用也成为光纤通信发展史上一个重要的里程碑。

EDFA 采用掺铒离子的单模光纤作为增益介质,在抽运光激发下产生粒子反转,在信号光诱导下实现受激辐射放大。其结构如图 2 所示。

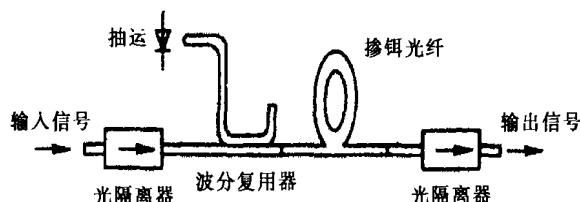


图 2

抽运光由半导体激光器提供,与被放大信号光一起通过波分复用器注入掺铒光纤。光隔离器用于隔离反馈光信号,提高稳定性。光滤波器用于滤除放大过程中产生的噪声。EDFA 的增益特性与抽运

方式及其光纤掺杂剂有关。通过实验证明,0.98μm 和 1.48μm 的半导体激光最有效。使用这两种波长的光抽运 EDFA 时,只用几毫瓦的抽运功率就可获得高达 30~40dB 的放大器增益,抽运效率可达 11dB/mW 和 5.0dB/mW。

1.3 光检测

光孤子是一种超窄相干光脉冲,因此对超窄光脉冲的测量方法同样适用于光孤子。其主要测量方法有直接测量、相关测量和条纹照相法等。

直接测量法是用高速光电探测器直接将光脉冲变为电脉冲进行探测,虽然简单,但其测量十几或几十个吉比每秒以上的光孤子有困难,目前无法使用。

条纹照相法是用同步扫描的原理,将时间域的光脉冲在空间域扫描展开成一光斑,把光脉冲转化成空间域测量。现在可测量到 PS 级的光脉冲。

相关测量法是目前探测和分析光孤子最有效的方法。光二次谐波法是主要的一种。它利用光孤子脉冲在与物质作用时产生的倍频效应(一种二阶非线性光学效应,即输入二个频率为 ω 的光子产生一个频率为 2ω 的倍频光子)对其脉宽进行测定。其原理如图 3。

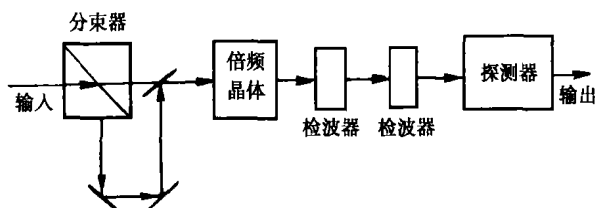


图 3

输入光孤子脉冲经分束器分束,使两束光孤子脉冲流历经不同的光程 L_1 、 L_2 之后,在一块匹配的非线性倍频晶体上重新汇合,并因此导致二次谐波效应的产生。光孤子脉宽可表示为

$$T_{FWHM} = 2\alpha(L_2 - L_1) / C。$$

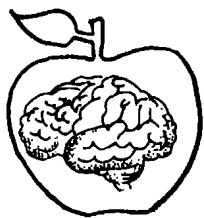
(α 为二次谐波法波形因子)

这种检测法的特点是测量精度高,处理数据简单,分辨率高等。

2. 光孤子通信的实验进展与成果

(1) 美国贝尔实验室 Mollenauer 研究小组的实验系统是世界上最早的光孤子实验系统,首次检测出脉宽为 10ps 的光孤子经 10km 传输无明显变化,从而首次从实验上证实了光孤子传输的可能性。

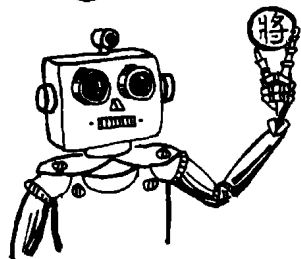
(2) 1995 年,在日本东京地区的光纤局域网上,NTT 公司首次实现了 10Gbit/s、2000km 的光孤子现



会思考的机器人向我们走来

朱海星

(扬州教育学院物理系 江苏 225002)



未来的人工智能并不像好莱坞电影里描写的那样属于巨型计算机,而是属于看似脆弱的机械虫子,它们代表着通向人工智能

和机器人的一个崭新领域。例如麻省理工大学人工智能实验室研制的阿蒂拉,体重3.6磅,看起来像一只丑陋的六条腿大蟑螂,包括10台计算机和150个传感器,整天像臭虫一样到处爬,最快可以达到每小时1.5英里,能够成功地避开前面的任何障碍。这是麻省理工大学人工智能实验室研究的成果,代表了一种新的实现方法,称为“自下而上”法——利用在自然界中发现的典型样式来模拟智能;与具有预程序的机器人不同,它们是真正的自动机,能够做出自己的决定。

传统的行走机器人在行动前要输入大量的计算机程序,阿蒂拉却是从零开始自己学习。它甚至要学习如何行走。当它第一次开动的时候,它的脚向各个方向试探,像个喝醉了的蟑螂。慢慢地经过一系列失败之后,它学会了如何让六条腿协调前进,像个真正的虫子一样,阿蒂拉只用一个反馈装置就能学习如何在实验室里爬行。这种新型机器人被形象地称为“insectoid(爬虫)”或“bugbot(臭虫机器人)”。

进化使得昆虫的脑力比普通计算机弱,但这些昆虫却能比它们在麻省理工大学的竞争对手更出色。与遍布地球的小昆虫相比,传统的人工智能机

器人都是笨拙的机械物体。新的研究不再用冗长的计算机程序来模仿人类思考及其“推理”过程;相反,研究者们创造的是有一点头脑的电路能学习在真实世界中最擅长的能力,如四处游荡,时而撞在什么物体上:美国太空总署按照阿蒂拉定型了第一台火星探测器名叫索基纳(Sojourner)。

索基纳1996年12月搭载Delta II型火箭被送往火星。它重22磅,有6个轮子,能够爬过陡峭的火山口和巨石,只需要很少的地球指挥。因为无线电信号从地球发送到火星需要大约10分钟,当探测器漫游在火星上的时候,不可能对它远程遥控,它要成为荒芜星球上第一个能够自己运动的登陆装置。

这一设计思想的来源于三大革命的交叉作用。

以仿生学为基础的人工智能称为“自下而上”的学派。这种学说不只是从昆虫得到了启发,还有生物学和物理学中发现的许多简单结构,如蛙眼、神经元和神经网络、DNA、进化论和动物大脑。而最神奇(和最有希望)的启示来自核物理的量子学说。许多物理学家期望用量子物理理论解释大脑如何工作,把神经元作为原子对待。

许多自下而上的方法都有一个共性:他们让机器人自己从零开始学习,像生物一样。这种原理可以总结为:学习就是一切,逻辑推理和编程不值一提;首先要创造一个能够学习的机器,然后它通过不断地在真实世界中碰撞而学到逻辑和物理上的规律。

自上而下的一方认为,能够编写出让机器具备

场直通测试,从而将实验室内的实验转升为现场实验,为实用化进程迈出了十分重要的一步。

(3) 美国贝尔实验室已成功地将激光脉冲信号传输了5920km,还利用光纤环实现了5Gbit/s、传输15000km的单信道孤子通信系统和传输11000km总码速达到10Gbit/s的双信道波分复用孤子通信系统;美国光谱物理公司已制成能产生 4×10^{-13} s的孤立波脉冲信号器件。

(4) 日本利用普通光缆线路成功地进行了超高

20Tbit/s、远距离1000km孤立波通信;日本电报电话公司在1992年推出速率为10Gbit/s、能传输12000km的直通光孤子通信实验系统。

大量实验证明,光孤子通信系统具有超长距离传输的能力,传输速率大幅度提高,可用于WDM系统,海底光缆通信等。虽然由于在实用化的过程中总还存在许多具有挑战性的技术难题,目前还处于研究实验阶段,但光孤子通信巨大的潜力和未来广阔的应用前景是毋庸置疑的。