

超长距离 DWDM 全光传输系统关键技术

曾智龙 吴锦虹 江尚军

(中国电子科技集团公司第 34 研究所 桂林 541004)

摘要 介绍了超长距离 DWDM 全光传输系统的若干关键技术,包括喇曼光放大技术、光纤色散补偿技术、偏振模色散 (PMD) 抑制技术、非线性效应抑制技术、前向纠错编码技术等,并对它们的技术特点进行了较全面的分析和比较。

关键词 喇曼光放大 光纤色散 偏振模色散 非线性效应 前向纠错

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

1 引言

目前世界各国正纷纷开展超长距离 DWDM 全光传输技术的研究和实验,我国也把超长距离 DWDM 全光传输技术列入国家 863 计划之中。据报道,美国 Tyco 公司采用 EDFA+喇曼光放大技术,实现了 3.73Tb/s 传输 11000km 的实验。我国的烽火通信公司也于 2003 年成功地在 G.652 常规单模光纤上完成了 1.6Tb/s 传输 3040km 的实验。

超长距离 DWDM 全光传输技术传输面临光放大器 ASE 噪声、光纤色散和非线性损伤积累严重、色散不均衡等诸多问题,需要多种先进的技术手段作为支撑,包括喇曼光放大技术、光纤色散补偿技术、偏振模色散 (PMD) 抑制技术、非线性效应抑制技术、前向纠错编码技术等。

2 喇曼光放大技术

对于超长距离 DWDM 全光传输系统来说,必需采用合适的光放大技术以补偿光纤和其它无源光器件对光功率的损耗。目前,EDFA 在 DWDM 全光传输系统中的应用已很成熟。EDFA 可在 C 波段实现 16、32 或更多波长 DWDM 系统的放大,它的主要优势在于输出功率较高,可同时放大多个 DWDM 信号;工作波长位于光纤最小损耗窗口,便于广泛应用;噪声系数较低(4~6dB)。EDFA 的主要缺陷在于可放大的波长

收稿日期:2005-03-17

作者简介:曾智龙 男,硕士,工程师,主要从事光网络方面的研究

范围有限,仅能放大 1550nm C 波段的光信号;固有的 ASE 噪声无法消除,当长距离传输经过多个 EDFA 时,其累积的 ASE 噪声将严重降低系统的光信噪比;EDFA 采用集中式放大,当输出功率超过一定值时,会引起非线性效应,直接限制了 DWDM 系统可复用波长数及传输距离。

喇曼光放大是一种分布式放大,能够显著降低信号的入纤功率,从而减少各种光纤非线性效应的影响,极大提高 DWDM 信号的光信噪比,增加系统的传输距离。喇曼光放大器的增益波长由泵浦光波长决定,理论上可对任意波长的信号进行放大,不但可对目前通常使用的 C 波段,而且也能对 S 波段和 L 波段信号放大,可完全满足未来 DWDM 系统全波段放大的需要。从 OFC 会议近几年的报道来看,在超长距离 DWDM 系统中,绝大部分都使用了喇曼光放大器,有些系统甚至完全使用喇曼光放大器。

当然,喇曼光放大也存在一些明显不足,主要表现在:首先,喇曼光放大需要很高的泵浦光功率,要求泵源提供几瓦甚至几十瓦的光功率,而目前如此高功率的泵源价格相当昂贵,直接造成喇曼光放大器价格高昂;其次,喇曼分布式放大的作用距离为几十到上百公里,增益只有几到十几个分贝,这就限定了它只能在长距离光纤通信系统中使用。

3 光纤色散补偿技术

对于色散补偿,目前可行的方法可以分为两大类,一类是基于光纤的色散补偿技术,如采用色散补偿光纤(DCF)、反色散光纤(RDF)等;第二类是采用特殊的色散补偿模块(DCM)对光纤的色散及色散斜率进行补偿,如光纤布喇格光栅(FBG)、虚像相位阵列(VIPA)、频谱反转、平面波导等。而最为广泛使用的还要数色散补偿光纤和光纤光栅两种方法。

色散补偿光纤(DCF)在 1550nm 波段有很大的负色散,选择斜率匹配的 DCF 不仅可以补偿单路信道的色散,还可同时补偿多路信道的色散。对于通常使用

G.652 光纤的系统,由于光纤本身的色散值较大,一般采用在光放大器中增加 DCF,对每个放大段分别进行色散补偿。而对于采用 G.655 光纤的系统,由于 DCF 的色散斜率与之不相匹配,需在几个放大段之后再加专门的色散斜率补偿光纤。DCF 在进行色散补偿的同时也会产生副作用,由于其衰减系数比普通单模光纤大,需要补偿的色散量越大,DCF 就越长,造成的附加损耗就越大,客观上减少了 DWDM 信号的传输距离。而要克服这些附加损耗,又必然要求光放大器提供更高的增益和输出功率,但一般 DCF 的纤芯直径比传输光纤小很多,这又容易产生非线性效应。不过,通过合理地安排 DCF 的位置,例如将 DCF 放置在光放大器前面,可以减轻非线性效应的影响。尽管 DCF 存在着一些缺点,但它能使光纤的总色散接近于零,因此在现阶段不失为一种理想的补偿器。

跟 DCF 不一样,光纤光栅补偿模块体积小、损耗低、与光纤连接方便、不易受非线性效应影响,尤其是啁啾光纤光栅,可以动态地改变色散值进行可调谐色散补偿,是较为理想的色散补偿方法。不过现阶段单个光纤光栅只能补偿单个或几个信道的色散,如果要实现宽带补偿,则需要长度超过 10m 的光纤光栅,而目前要解决 10m 长光纤光栅的稳定性是一件非常困难的事情。因此对于光纤光栅来说,目前比较好的用途是对单个信道进行可调谐补偿,相对于 DCF,在低通道数 DWDM 应用中更有优势。

4 偏振模色散(PMD)抑制技术

与具有确定性的光纤色散效应不同,PMD 效应是随机变化的,其瞬时的 PMD 值随波长、时间、温度、光纤的移动和安装条件等变化而变化,这就大大增加了 PMD 补偿的难度。因此,要想尽可能减轻 PMD 对系统性能的影响,就必须采用动态补偿方法。根据采用技术的不同可分为电域补偿和光域补偿,其实质都是利用光或电的延时来抵消 PMD 造成的两偏振模之间的群时延差。此外,采用一些新的调制码型和低 PMD 光纤也可以很好地抑制 PMD 效应。

5 非线性效应抑制技术

为了克服传输损耗及获得足够的光信噪比,超长距离 DWDM 传输系统需要足够高的入纤功率,这就容易引起光纤的非线性效应。光纤非线性效应主要有:散射效应,包括受激布里渊散射 SBS、受激喇曼散射 SRS;折射率效应,包括自相位调制 SPM、交叉相位

调制 XPM 和四波混频 FWM。

在实际超长距离 DWDM 系统中,单信道非线性效应(SPM、SBS)对系统性能的限制不是很明显,容易克服。但多信道非线性效应(XPM、FWM、SRS)却是系统的主要限制因素。特别是长距离 DWDM 系统,每个信道间距很窄,各种非线性效应常交织在一起,在系统设计时应综合考虑各种因素的相互影响。例如,为了减少 FWM 效应,各信道间距越大越好,但受 EDFA 放大器带宽限制,增大信道间距将使 DWDM 可复用信道数减少;而色散也会影响 FWM、XPM 效应。大的光纤色散,将使脉冲之间的离散距离变短,有利于减少 FWM、XPM 效应的影响,但大的色散又会限制系统的传输距离,因此在系统设计时需综合考虑色散和非线性效应的影响,选取最佳值。不过,无论哪一种非线性效应,采用大有效面积光纤都有利于减少纤芯内的功率密度,从而减小非线性效应的影响,改善系统性能。

6 前向纠错编码技术

随着超长距离 DWDM 系统的发展,迫切需要纠错能力更强的 FEC 编码技术。根据现有高速集成电路的复杂性和工艺水平,级联 FEC 编码方案是较好的选择。级联 FEC 编码由内码和外码两套不同的纠错码交织级联而成,可以更好地纠正多个连续出错的码字。与标准 RS(255、239)码相比,级联的 RS(255、239)+RS(255、239)能多获得 1.4dB 的编码增益,而采用 RS(255、239)+RS(255、223)则可提高增益 1.9dB。而更先进的 Turbo 乘积码通过对码块的行和列分别进行编码,并且在译码过程中采用软判决和迭代译码技术,能进一步提高编码增益。有报道说,采用基于 BCH 的 Turbo 乘积码(BCH(128、113、6)×BCH(256、239、6),码率为 0.82)可以获得高达 10.1dB 的编码增益。

7 结束语

要实现超长距离 DWDM 全光传输,除了上文所列的若干关键技术外,先进的信号编码调制与接收处理技术、动态增益均衡技术、新型光纤技术等,也对超长距离 DWDM 全光传输有重大影响。总之,只要将先进的喇曼光放大技术、光纤非线性抑制与色散补偿技术、前向纠错编码技术以及新型光纤和信号的编码调制技术等充分结合起来,超长距离 DWDM 全光传输就一定可以实现。

(版面原因,参考文献略)