

光纤拉曼放大器在提高光纤使用带宽方面的应用方法研究

王元一, 夏军利, 韩仲祥
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:全光网是宽带网的基础,是未来通讯业发展的方向,但是全光网中的光放大器一直是传输中需要解决的一个关键问题。在分析了光纤拉曼(Raman)放大器工作特点的基础上,对光纤拉曼放大器(FRA)在扩展光纤带宽方面进行了分析研究,并对几种应用方法的试验情况做了介绍。

关键词:光放大器; 带宽; 拉曼放大器; 掺铒光纤放大器; 全光网

中图分类号:TP309 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)04-0073-04

目前,光纤传输系统中采用的光放大器多为掺铒光纤放大器(EDFA),带宽约为10 nm多,也有35nm的EDFA,但是增益谱不太平坦,而今后的通信容量将会越来越大,信道数越来越多,需要的带宽将会越来越宽,因此必须开发新型的超宽带光纤放大器。

受激拉曼散射(SRS)作为一种非线性效应本来是对系统有害的,因为它将较短波长的光能量转移到较长波长的光上,使WDM系统的各复用通道的光信号出现不平衡。但巧妙地利用它,可以使泵浦光能量向在光纤中传输的光信号转移,实现对光信号的放大。实验原理图及拉曼增益谱如图1、图2所示,石英光纤具有很宽的拉曼增益谱(达40 THz),并在13 THz附近有一较宽的主峰,如果一个弱信号与一个强泵浦光波同时在光纤中传输,并使弱信号波长置于泵浦波的拉曼增益带宽内,则弱信号即可被放大^[1]。

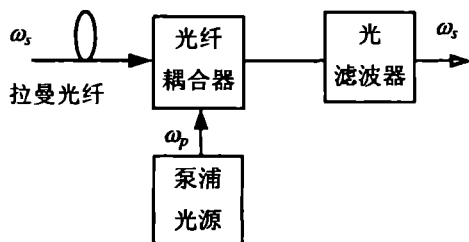


图1 光纤拉曼放大器原理结构图

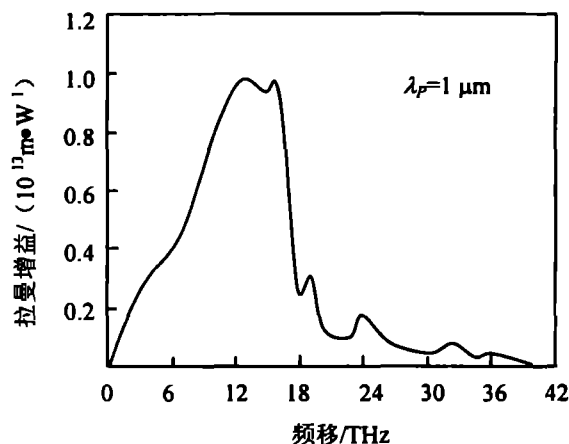


图2 熔融石英的拉曼增益谱

光纤拉曼放大器(FRA)被放大光的波长主要取决于泵浦光的发射波长,适当地选择泵浦光的发射波长,可以使其放大范围落入所希望的光波长区域。如选择泵浦光的发射波长为1 240 nm时,可对1 310 nm波长的光信号进行放大;选择泵浦光的发射波长为1 450 nm时,可对1 550 nm波长C波段的光信号进行放大;选择泵浦光的发射波长为1 480 nm时,则可对1 550 nm波长L波段的光信号进行放大等。原则是:泵浦

收稿日期:2003-01-22

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2001X31)

作者简介:王元一(1962-),男,江苏赣榆人,讲师,主要从事光纤通信与网络管理技术研究。

光的发射波长低于要放大的光波长的 70 ~ 100 nm, 如图 3 所示。

1 光纤拉曼放大器特性分析

1.1 光纤拉曼放大器具有的特性

1) 极宽的带宽。拉曼光纤放大器具有极宽的增益频谱, 在理论上它可以在任意波长产生增益, 但要选择适当的泵浦源; 另外在如此宽的波长范围内, 其增益特性不是非常平坦的。

实验表明, 使用具有不同波长的多个泵浦源, 使拉曼光放大器总的平坦增益范围达到 13 THz (约 100 nm), 从而覆盖石英光纤的 1 550 nm 波长区的 C + L 波段, 如图 4 所示。这与 EDFA 只能对 1 550 nm 波长区 C 波段 (或 L 波段) 的光信号进行放大形成鲜明对比。

2) 极低的噪声系数。与 EDFA 不同, 拉曼光放大器的噪声系数极低, 典型值 -2.0 dB; 它在 1 550 nm 波长区 C + L 波段的噪声系数如图 5 所示^[2]。如此低的噪声系数可使光接收机输入端的光信噪比大大降低, 有可能实现 2 000 km 以上的无中继传输^[3]。

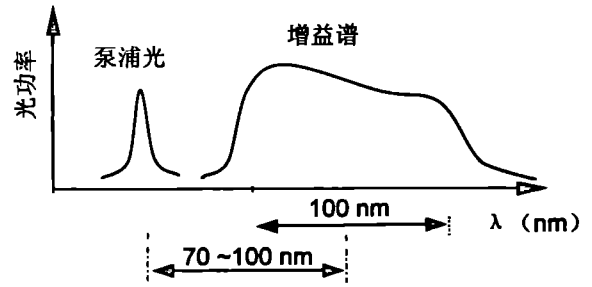


图3 泵浦光波长与拉曼放大光波长的关系

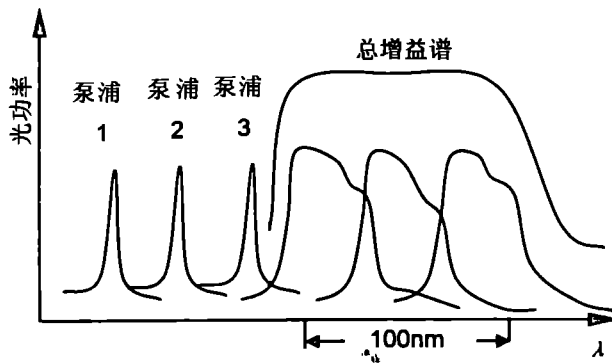


图4 拉曼光放大器的带宽图

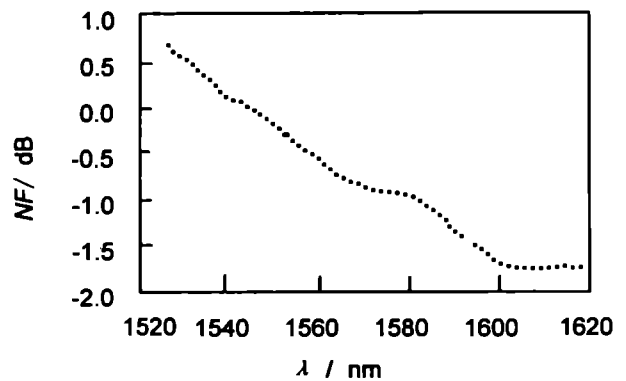


图5 拉曼光放大器的噪声系数(C+L波段)

3) 利用拉曼散射效应对光信号进行放大可以适用于任何光纤, 因此可以用线路光纤作为拉曼光放大器的增益媒质 (分布式), 外加大功率输出的泵浦光源, 就可以实现对线路光纤中的光信号放大。由于线路光纤本身就是放大器的一部分, 所以可以降低成本。

1.2 光纤拉曼放大器存在的问题

1) 泵浦效率低。拉曼光放大器的泵浦效率较低, 一般为 (10 ~ 20)%。

2) 增益不高, 一般低于 15 dB。

3) 高功率的泵浦输出很难精确控制。要想实现拉曼散射, 必须使泵浦光功率大于 500 mW; 如此高的光功率输出, 从目前技术水平来讲, 很难精确控制, 进而难以精确控制其增益。

4) 增益具有偏振相关特性。拉曼光纤放大器的增益与光的偏振态密切相关, 即与泵浦光的偏振态、被放大光的偏振态有关。而光的偏振状态一则取决于光源的发光特性; 二则被放大光的偏振态取决于光纤的保偏特性。增益的偏振相关特性给精确控制放大器的增益带来了难度。

2 光纤拉曼放大器扩展带宽的应用研究

2.1 分布式光纤拉曼放大器

分布式光纤拉曼放大器的具体结构如图 6 所示。直接用线路光纤作为光纤拉曼放大器的增益媒质, 发

射适当波长的泵浦光通过合波器反向泵入到线路光纤中,控制泵浦光的发射波长,使光能量向线路光纤中的光信号转移,以实现线路光纤中的光信号的放大。经光纤拉曼放大器放大后的光信号,再由 EDFA 作进一步放大。

实验表明,分布式光纤拉曼放大器具有以下特性:

1) 噪声系数低。虽然 EDFA 的噪声系数一般较高(商用约为 3 ~ 5 dB),但拉曼放大器的噪声系数却很低(如 -1.0 dB 以下),二者结合起来就可以获得很低的噪声系数(如 0 dB),从而可大大提高光接收端的 OSNR。

2) 低非线性。使用拉曼放大器后,使系统可以使用较小的输入信号功率,降低了信号之间的非线性效应;同时反向分布式放大器的特点使信号在整个传输长度内得到相对均匀的放大,避免了 EDFA 中强信号和强泵浦功率在放大点同时出现的情况,也有利于降低有害的非线性效应。

3) 实现简单、成本低。因线路光纤就是光放大器的增益媒质,所以可大大降低成本。

4) 增益平坦、特性好。仔细设计的多波长泵浦可以提供非常平坦的增益谱。

存在的不足是:分布式光纤拉曼放大器的带宽不够宽,因为整个放大器的带宽受 EDFA 带宽比较窄的限制。因此要用分布式来实现 1 550 nm 波长区 C + L 波段的超长传输,就需要使用 2 个 EDFA,1 个专门用于对 C 波段光信号的再放大,另 1 个则专门用于对 L 波段光信号的再放大^[4]。

2.2 分离式光纤拉曼放大器

分离式光纤拉曼放大器的结构如图 7 所示。信号光经隔离器 ISO1 输入到拉曼光纤中,而泵浦光则通过合波器反向注入,因泵浦光功率数值较大,使拉曼光纤产生拉曼散射现象,控制泵浦光的波长就可以使光能量向信号光转移,从而实现信号光的放大。

从图 7 可以看出,在结构形式上分离式光纤拉曼放大器与 EDFA 非常相似,但它们的工作机理却完全不同,EDFA 是利用掺铒光纤中的铒离子受激跃迁效应,而拉曼

放大器则是利用拉曼光纤的拉曼散射效应。二是增益媒质不同,EDFA 的增益媒质是掺铒光纤,拉曼放大器的增益媒质是光纤,因为拉曼放大的增益与光的偏振特性密切相关,所以对光纤的要求很高(如保偏特性、芯径很小等)。三是泵浦光源不同,EDFA 通常采用光功率较低的 1 480 nm 或 980 nm 波长的泵浦光,而拉曼放大器的泵浦光波长取决于被放大光信号的波长,而且其输出功率通常很大^[5]。

分离式光纤拉曼放大器的优点是带宽很宽,噪声系数极低。但分离式光纤拉曼放大器的缺点是增益不高、泵浦效率低、成本高等。

将分离式光纤拉曼放大器与分布式光纤拉曼放大器相结合。分离式光纤拉曼放大器允许从 1 520 nm(在当前 C 波段以下)到 1 620 nm(在当前 L 波段上沿)的连续的 100 nm 的带宽,连续的带宽可消除 C 波段和 L 波段耦合在一起时的差异,可以增加通道容量;分布式光纤拉曼放大器使系统可以传输更长的距离,可以在 300 km 至 1 500 km 的距离上进行操作。

2.3 40 nm 带宽 SOA + Raman 放大

半导体激光放大器(SOA)是利用受激辐射发光的原理对输入光信号进行放大,它既可以用于 1 550 nm 波长范围,也可用于 1 310 nm 波长范围,因具有结构简单、增益高、易驱动、体积小和功耗低等优点而潜力巨大。SOA 与 Raman 放大相结合可在城域网得到广泛应用。如图 8 所示,增益 20 dB,其中 Raman· - 4 dB、SOA· - 16 dB;带宽 40 nm - C 波段(1 526.38 ~ 1 568.92 nm);Raman 泵波长 1 465 nm;功率 300 mW。实验结果表明:FRA 与 SOA 的相对位置不同,放大性能亦不同,其中 Raman + SOA 性能优于 SOA + Raman^[6]。

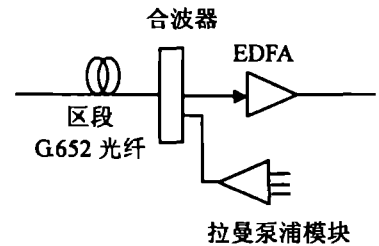


图 6 分布式拉曼光放大器

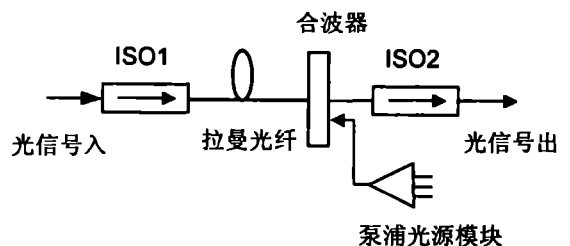


图 7 分离式拉曼光放大器

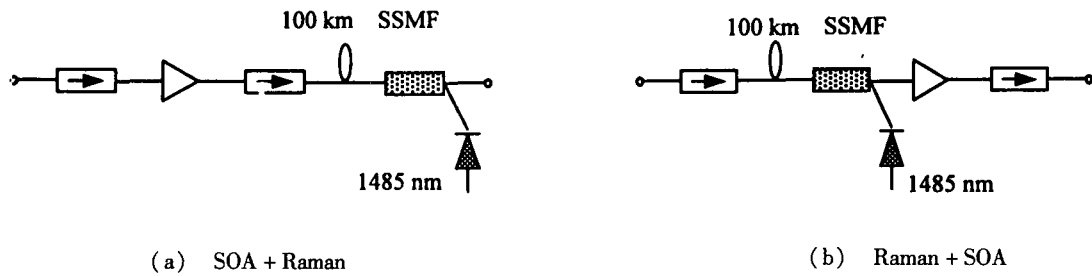


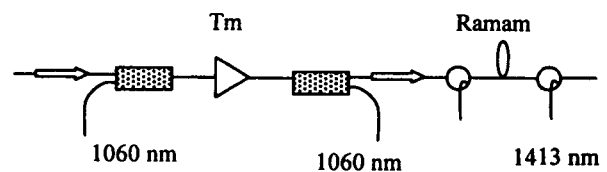
图 8 SOA + Raman 放大器

2.4 S 波段 Tm + Raman 混合光放大器

如图 9 所示。放大器带宽:1 450 ~ 1 520 nm, 增益:大于 20 dB,平坦带宽:1 455 ~ 1 505 nm,增益:大于 30 dB,噪声指数:5.5 ~ 7.8 dB。

3 结论

上述实验表明,光纤拉曼放大器在扩展光纤带宽方面具有很大的应用前景,如果再利用新的基质材料,得到 300 nm 的超宽带光纤放大器将不是梦想,5 Tbit/s 的 WDM 干线网络的系统目标也一定会实现。



注: Tm-Thulium 铥

图 9 Tm + Raman 混合放大器

参考文献:

- [1] 杨祥林. 光纤通信系统[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [2] 董新永,赵春柳. 分布式光纤拉曼放大技术及其在 WDM 系统中的应用[J]. 光通信技术,2002,(1):37-40.
- [3] 李维民,黄海清,郭超平. 光传输系统中的 SPM 与 XPM 效应分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(3):47-50.
- [4] 何敬锁,郭同文,顾晓仪. WDM 传输系统中泵浦配置对光纤拉曼放大器增益特性的影响[J]. 光通信技术,2002,(6):28-30.
- [5] 戴莱青. 光放大器的最新进展[J]. 电信科学,2000,(7):35-38.
- [6] 赵·锋. 几种新出现的光放大器技术简介[J]. 通讯世界,2000,(7):33-34.

(编辑:门向生)

Application of Optical Fiber Raman Amplifier to Improving the Bandwidth of Optical Fiber

WANG Yuan-yi, XIA Jun-li, HAN Zhong-xiang

(The Communication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: AON is the basis of the broadband network and is the direction of the future communication enterprise. But the amplifier in OPNET is a key problem to be solved in the transmission. This paper, on the basis of the discussion of working character of the Raman amplifier, analyzes the application of the optical fiber Raman amplifier to extending the bandwidth with the introduction to the experiments of the several application methods.

Key words: optical fiber amplifier; bandwidth; FRA; EDFA; AON