

C波段集中式光纤喇曼放大器的研究*

薛飞** 邱昆

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】在 PTDS 仿真平台上,对 C 波段集中式光纤喇曼放大器特性进行了仿真试验,设计出一个参数得到优化的集中式光纤喇曼放大器,并对掺铒光纤放大器和光纤喇曼放大器在改善 10 Gb/s 系统性能方面作了比较。结果表明光纤喇曼放大器的性能优于掺铒光纤放大器。

关键词 波分复用; 掺铒光纤放大器; 集中式光纤喇曼放大器; 误码率

中图分类号 TN913.24

A Research of Discrete Optical Fiber Raman Amplifier for Band C

Xue Fei Qiu Kun

(College of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The paper studies the characteristics of the discrete optical fiber Raman amplifier on the base of PTDS, which is a simulation platform for optical transmission system emulation. Consequently, a discrete optical fiber Raman amplifier whose parameters have been optimized has been designed. Then a comparison of the improvement on the system capability has been carried through between EDFA and discrete FRA. From the comparison, the advantage of discrete FRA has appeared. At the end of the paper a project about achieving all Raman amplification in the optical fiber communication is presented.

Key words wavelength division multiplexing; erbium doped fiber amplifier; discrete raman fiber amplifier; bit error rate

在过去的10年中,掺铒光纤放大器(EDFA)取代了传统的光-电-光中继方式,实现了一根光纤中多路光信号的同时放大,大大降低了光中继的成本,同时 EDFA 可与传输光纤实现良好耦合,具有高增益大输出功率的优点^[1],因此成功地应用于波分复用(WDM)光通信系统中,极大地增加了光纤中传输的信息容量和传输距离^[2]。但是,随着计算机网络及其他新的数据传输业务的飞速发展,进一步提高光纤传输系统容量已经成为光纤通信领域研究的热点^[3]。解决这个问题有以下三种方案:增加每个信道的传输速率;进一步减小信道间距;增加总的传输带宽。采用第一种方案,例如从10 Gb/s 提高到40 Gb/s 将带来色散补偿问题,这里既有普通的色散又有偏振模式色散(PMD),同时电子器件还存在“电子瓶颈”问题。采用第二种方案,比如将信道间距从100 GHz 降到50 GHz 或更少将带来四波混频(FWM)等非线性效应,要求系统采取措施控制波长的稳定性。故两种方案实现起来都有一定的难度,所以更加关注第三种方案。由于受能级跃迁机制所限,EDFA 一般工作在1550 nm 窗口,不能很好地开发整个光纤低损耗区的带宽资源,而且 EDFA 的光信噪比也不高。光纤喇曼放

2002年4月5日收稿

* 教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划基金资助项目

** 男 23岁 硕士生

大器(FRA)由于其自身固有的全波段放大特性和利用传输光纤在线放大的优点,能很好地开发整个光纤低损耗区的带宽资源,增加总的传输带宽。如果采用集中式放大,还可以得到和 EDFA 几乎相同的增益值,所以光纤喇曼放大器能很好地改善整个光纤通信系统的通信容量和系统性能,可以用来实现在整个光纤低损耗区的放大,从而大大提高带宽利用率,适应信息容量的进一步增加。本文在 PTDS 仿真平台上研究了 FRA 的特性进行研究,设计出一个参数得到优化的 FRA,对 EDFA 和 FRA 在改善 10 Gb/s 系统性能上作一比较,从而可以看出 FRA 的优点所在。

1 PTDS 仿真平台及仿真系统

PTDS 是 Virtual Photonics Incorporated(VPI)公司在 Photonic Design Automation(PDA)光子自动化设计工具基础上开发而来的具有综合设计环境的光子传输设计套件。它提供了模块化的仿真工具,将光纤通信系统中从发射机到接收机的抽象成一个个的模块,同时提供了一套逻辑运算和数学运算工具,可以实现电域和光域的逻辑变换。本实验所用仿真系统的结构如图1所示。光源(SIGNAL)发出的信号光经环形控制(LOOP)后进入光纤,光纤由三段组成,从左至右分别是传输光纤(SMF)、色散补偿光纤(DCF)和 FRA。FRA 与 LOOP 相连,通过它可控制光波传输距离。光波经过3周传输后,经 LOOP 输出进入 PIN 光电二极管进行光电转换,得到的电信号再经过滤波,时钟提取得到信息。SMF 的色散系数为 $16 \times 10^{-6} \text{ s/m}^2$, DCF 的色散系数为 $-90 \times 10^{-6} \text{ s/m}^2$,两者的有效模场面积均为 $80 \mu\text{m}^2$ 。由于 193.1 THz 附近光纤具有最小损耗,因此仿真试验中的信号光频率均设计在该频率附近。在以下仿真试验中,设信号光功率都为 1 mW,以降低由于信号光所导致的非线性效应。FRA 用作集中式放大器时,其长度约为 1~2 km。由于后向泵浦的 FRA 比前向泵浦的 FRA 有更小的噪声,故本实验采用后向泵浦方式,泵浦功率一般设为 1~2 W。

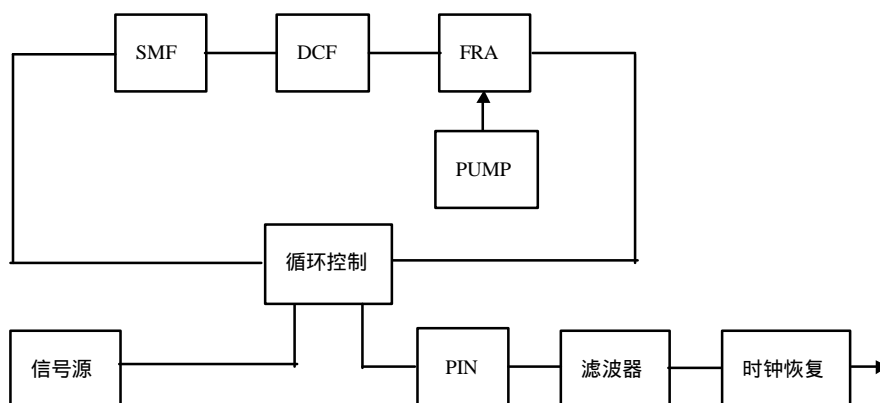


图1 FRA 仿真系统结构框图

2 集中式 FRA 的特性仿真研究

2.1 OSNR 与泵浦功率、FRA 长度、信号功率及信号频率的关系

经仿真研究,在考虑后向瑞利散射、自发喇曼散射、自相位调制、泵浦光源和信号源噪声以及其他一些随机噪声的情况下,FRA 泵浦功率在 1~2 W,FRA 长度在 1~2 km,信号功率在 1~10 mW 范围内变化时,OSNR 几乎不随泵浦功率、FRA 长度、信号功率及信号频率的变化而变化。造成这种情况的主要原因有:1) 强泵浦光使受激喇曼散射远远大于自发喇曼散射,从而可以认为通过该放大器所产生的自发喇曼散射噪声能忽略不计;2) 很强的泵浦功率对于极短的光纤可认为不变,

信号和噪声功率经过该放大器放大同等倍数而不引入其他附加噪声；3) 在 C 波段，光纤损耗差别不大，因此，在优化参数时仅考虑对增益的影响。

2.2 喇曼增益与泵浦功率、FRA 长度、信号功率及信号频率的关系

图2和图3给出了 FRA 增益 G 随后向泵浦功率 P 和 FRA 长度 L 的变化关系曲线。从图中可以看出，喇曼增益随后向泵浦功率和 FRA 长度的增加而接近线性增加。因此，为了得到较大的增益须选择较大的泵浦功率和较长的光纤。喇曼增益随信号功率 S 的变化关系曲线如图4所示。从图中可以看出，增益随信号功率的增加而单调增加，当信号功率较小(1~4 mW)时，增益增加较迅速，当信号功率继续增加时，出现一个增益随信号功率线性增加区域(6~8 mW)，但增加已经不如前一段迅速了，当信号功率再进一步增加时增益增加得更缓慢，此时已经进入了增益饱和区。FRA 的增益随信号频率 F 的变化关系曲线如图5所示。在193 THz 处，FRA 增益有一极大值，在191~193 THz 内，增益随信号频率的增加而单调增加，在193~196 THz 内，增益随信号频率的增加而单调降低，FRA 的这种增益分布在很大程度上由泵浦功率和泵浦波长决定。

2.3 系统 BER 与 SMF 长度的关系

系统 BER 与 SMF 长度 D 之间的关系在单信道系统和多信道系统中的情况各不相同，因此应分别进行研究，在本实验中，不失一般性选择16路 DWDM 系统作为多信道系统。在单信道系统中，信号频率为193.1 THz，信道速率为10 Gb/s，信号功率为4 mW。图6给出了系统 BER 随 SMF 长度的变化关系曲线。从图中可以清楚看到，BER 在单模光纤长度为60 km 时，还保持了较小的值，但是随着 SMF 长度的增加，光信噪比开始恶化，致使系统 BER 增加。在16路 DWDM 系统中，16路信号频率范围在192.725~193.475 THz，信道间隔为50 GHz，每信道速率为10 Gb/s，每信道信号功率为0.5 mW。图7给出了系统 BER 随 SMF 长度 D 的变化关系曲线。从图中可以清楚看到，BER 在 SMF 长度为49.4 km 时，还保持了较小的值，但是随着 SMF 长度的增加，光信噪比开始恶化，致使系统 BER 增加。

2.4 优化设计

根据仿真研究可以设计出一个参数得到优化的 FRA，其泵浦功率为2 W，光纤长度为2 km，工作频率为193.1 THz。该 FRA 在单信道系统中，在信号功率为4 mW，SMF 长度为60.2 km，DCF 长度为11.06 km 的条件下，有较高的 OSNR 和增益，系统具有较小的 BER；而在16路 DWDM 系统中，在每路信号光功率为0.5 mW，SMF 长度为49.4 km，DCF 长度为9.14 km 的条件下，FRA 同样具有较高的 OSNR 和增益，系统也具有较低的 BER。

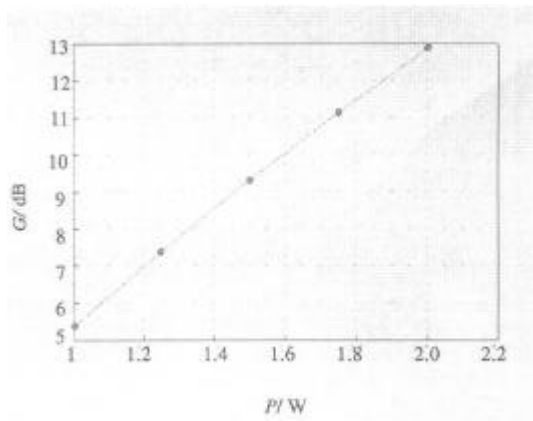


图2 FRA 增益随泵浦功率的变化曲线

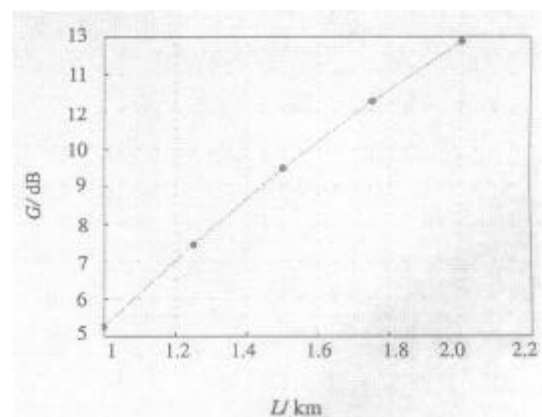


图3 FRA 增益随 FRA 长度的变化曲线

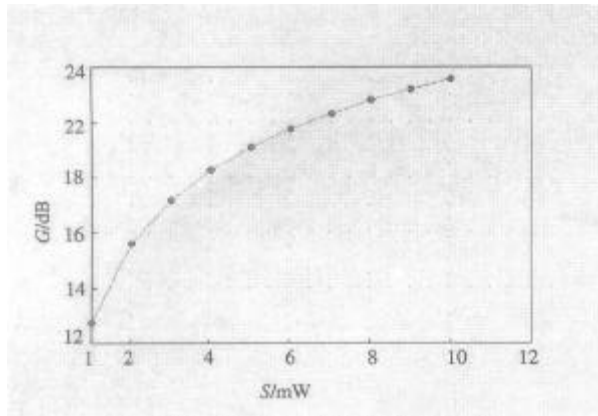


图4 FRA 增益随信号功率的变化曲线

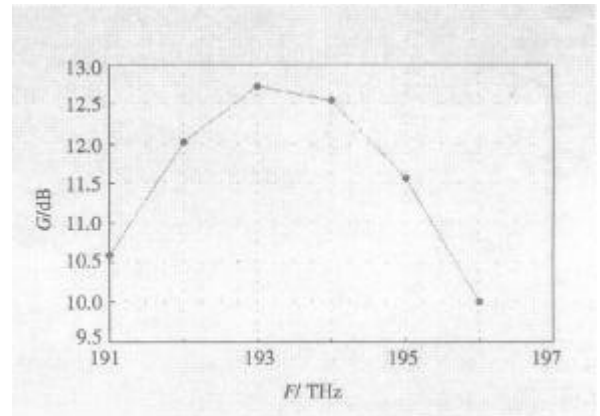


图5 FRA 增益随信号频率的变化曲线

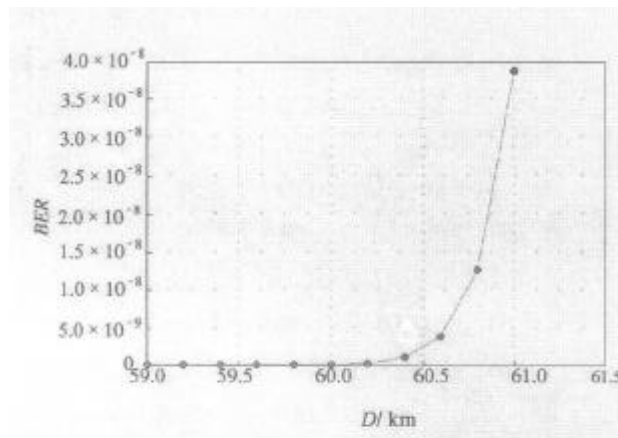


图6 单信道系统 BER 随 SMF 长度的变化关系曲线

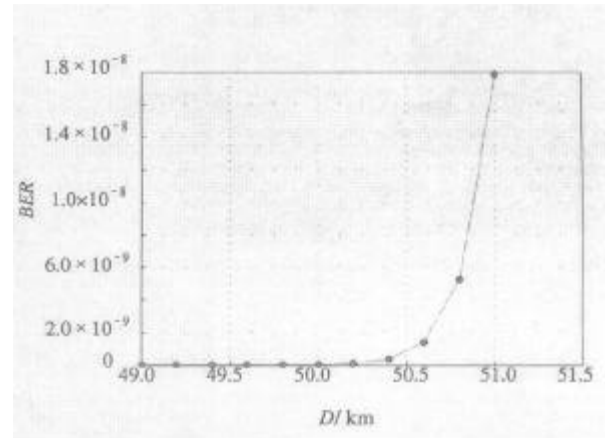


图7 16路 DWDM 系统 BER 随 SMF 长度的变化关系曲线

3 EDFA 和 FRA 对系统性能改善的比较

将参数得到优化的 FRA 分别应用于上述研究的单信道光纤传输系统和16路 DWDM 系统,再将一个经过同样方法优化后的 EDFA 代替 FRA 分别应用于两个系统,其他参数和模块均不变,经传输同样距离后,得到传输后的信号参数如表1所示。从表中可以清楚地看到在传输相同距离后,用 EDFA 作放大器的系统几乎不能正常工作,而用 FRA 作放大器的系统仍保持较低的误码率。可见,在以 BER 为评判标准时,无论是在改善单信道系统还是 DWDM 系统性能方面,FRA 比 EDFA 优越,因此更适合在大容量长距离传输系统中应用。

表1 EDFA 和 FRA 对系统性能改善的比较

	BER	Q 值	S/ μ W
经 FRA 放大传输后的信号(单信道)	4.01×10^{-14}	7.54	3.50
经 EDFA 放大传输后的信号(单信道)	2.43×10^{-6}	4.57	2.75
经 FRA 放大传输后的信号(16 路 DWDM 系统)	9.50×10^{-14}	7.35	1.20
经 EDFA 放大传输后的信号(16 路 DWDM 系统)	3.90×10^{-9}	5.76	0.90

4 结束语

本文借助 PTDS 仿真平台对集中式喇曼放大器进行了研究,得到了 C 波段集中式 FRA 增益和 OSNR 的一些特性,并且设计了一个优化参数的 FRA,将 FRA 和 EDFA 分别应用于一个单信道系统和一个16信道的 DWDM 光纤传输系统,经传输相同距离后,用 FRA 放大的系统仍有较小的误码率,因此 FRA 适合于长距离、大容量传输系统。但是 FRA 通常对泵浦源要求苛刻,这使其在实用化上受到限制,因此在未来的光纤通信系统中,FRA + EDFA 将是光放大技术的主流^[4]。

参 考 文 献

- 1 张宏斌,邱 昆,周 东. 波分复用光纤通信技术. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 337-340
 - 2 张宏斌,邱 昆,周 东. 光纤传输特性及其在光网中的应用设计分析. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 342-346
 - 3 Desurvire E, Zyskind J, Giles C. Design Optimization for Efficient Erbium-Doped Fiber Amplifiers. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1990, 8(11): 1730-1741
 - 4 薛 飞,邱 昆,张宏斌. 一种混合光纤放大器的设计. 电子科技大学学报, 2002, 31(1): 15-18
-