

L波段喇曼光纤放大器的增益平坦化研究

刘阳, 周雪芳*

(杭州电子科技大学 通信工程学院, 杭州 310018)

摘要: 由于单个泵浦源的喇曼光纤放大器(RFA)输出增益不平坦且增益较低, 导致光纤通信系统的性能变差, 设计了一个正向三泵结构的RFA。围绕合适的泵浦个数、泵浦波长和泵浦功率对RFA输出增益的影响, 并结合OptiSystem软件对L波段RFA的增益进行优化设计与仿真分析。仿真结果表明: 所设计的RFA实现了在L波段大于10 dB的增益且较为平坦, 最大增益为18.9 dB, 最大噪声系数为8.0 dB。

关键词: 喇曼光纤放大器; 泵浦; 增益; 平坦度; 仿真; OptiSystem

中图分类号: TN722 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2020)11-0039-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.11.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on gain flattening of L-band Raman fiber amplifier

LIU Yang, ZHOU Xuefang*

(School of Communication and Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Due to the uneven output gain and low gain of single pump Raman fiber amplifier (RFA), the performance of optical fiber communication system becomes worse. A forward three pumps RFA is designed. Focusing on the influence of the appropriate number of pumps, pump wavelength and pump power on the output gain of RFA, and combining with OptiSystem software, the gain of L-band RFA is optimized and simulated. The simulation results show that the designed RFA achieves a gain of more than 10 dB in L-band and is relatively flat. The maximum gain is 18.9 dB and the maximum noise figure is 8.0 dB.

Key words: Raman fiber amplifier; pump; gain; flatness; simulation; OptiSystem

0 引言

20世纪80年代后期, 掺铒光纤放大器(EDFA)的出现代替了光-电-光混合中继器, 并在多波长激光器中有广阔的应用背景^[1]。虽然EDFA具备了输出增益高、噪声指数低和输出功率高等优点, 但是EDFA并不能对全波段的信号光进行放大, 而且它的饱和功率很低。喇曼光纤放大器(RFA)是密集波分复用(DWDM)通信系统的重要组成部分^[2], 因此在DWDM系统中, 通过RFA来弥补EDFA的不足, 已成为业界共识^[3-4]。

目前, 国内厂家所研制的RFA在平均喇曼增益、增益平坦度和偏振相关增益等性能方面比国外厂家

的同类产品弱。因此, 改善RFA的输出增益、增益平坦度和偏振相关增益, 不仅可以带来更高的经济效益, 而且对国内RFA以及通信技术的发展具有重大意义^[2]。2008年, 黄宇等人^[5]使用啁啾布喇格光栅作为增益平坦的滤波器, 虽然能获得较高的增益, 但是该方案的成本较高。2013年, 巩稼民等人^[6-8]采用多段光纤级联的方法改善RFA的输出增益和增益平坦性, 但是该方法获得的平均增益较低(低于10 dB)。2017年, 蒋亮等人^[9]提出可以采用多波长泵浦源来增益带宽, 但该方案只考虑了传输带宽为25.6 nm的C波段信号光。因此, 本文通过选择合适的泵浦数量和功率来提高输出增益, 改善增益平坦度, 并且采用多波长泵浦源对L波段的信号光进行放大。

1 L波段多泵浦RFA原理

多泵浦RFA原理图如图1所示。多个不同的泵浦源和不同波长的信号光经过波分复用器耦合到RFA中, 通过光纤中的受激喇曼散射效应, 泵浦光的能量

收稿日期: 2020-05-21。

作者简介: 刘阳(1996—), 女, 江苏泰州人, 硕士研究生, 现就读于杭州电子科技大学通信工程学院电子与通信工程专业, 主要研究方向是L波段喇曼光纤放大器的输出增益平坦化以及C+L波段多波长掺铒光纤激光器的稳定输出。

* 通信作者: 周雪芳(E-mail: zhouxuf@hdu.edu.cn)。



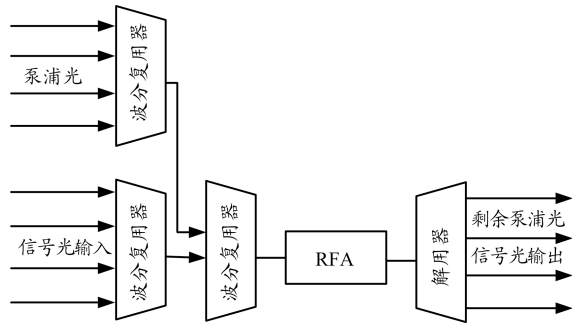


图 1 多泵浦 RFA 原理图

向信号光转移,实现输出增益的放大。

虽然使用多个泵浦源可以获得较大的光学增益带宽,但是多增加一个泵浦源会增加系统的成本,计算量也会增加,因此 RFA 一般只采用 25 个泵浦源^[10-11]。基于本课题组前期开展的研究,本文使用了 2 个相同功率、不同波长的泵浦源 P1 和 P2,对 L 波段 RFA 进行了设计与仿真,泵浦源 P1 和 P2 的功率均为 600 mW,泵浦源 P1 的波长为 1470 nm,设置泵浦源 P2 与泵浦源 P1 的波长差分别为 5 nm、10 nm、15 nm、20 nm、25 nm 和 30 nm。实验结果如图 2 所示,可以看出当波长差大于 20 nm 时,波动较小,但是增益平坦度较低。

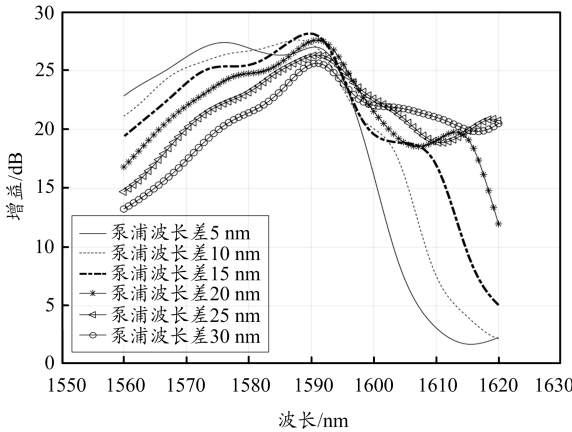


图 2 不同泵浦波长差的双泵浦结构 L 波段 RFA 增益

2 实验结果分析

为了进一步提高输出增益并且优化增益平坦度,本文根据图 1,利用 OptiSystem 软件选择器件搭建了三泵浦 RFA 仿真框图如图 3 所示,其中各器件的参数如表 1 所示。本文通过 3 个泵浦源对 L 波段的 RFA 进行设计与仿真分析。

2.1 三泵浦结构下泵浦波长对增益的影响

为了研究三泵浦结构下泵浦波长对增益的影响,本文选择功率均为 600 mW 的泵浦源 P1、P2 和 P3,根

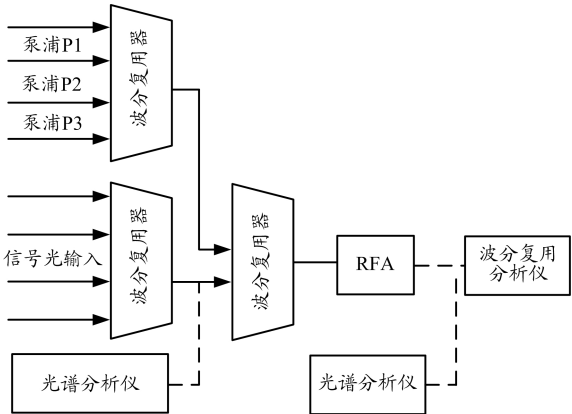


图 3 三泵浦 RFA 仿真框图

表 1 L 波段多泵浦 RFA 各项参数

参数	数值
信号光波长	1565~1624 nm
信号光通道数	80
信号光功率	-20 dBm
信号光波长间距	0.8 nm
激光器噪声阈值	0 dB
光纤放大器种类	RFA
光纤长度	25 km
光纤衰减系数	0.2 dB/km
光纤有效面积	72 μm^2
喇曼增益峰值	1×10^{-13}
瑞利反向散射	$5\times 10^{-5} \text{ km}^{-1}$
泵浦激光器 P1 工作波长	1470 nm

据图 2 的实验结果可知,在双泵浦结构下当泵浦源 P1 与泵浦源 P2 的波长差为 25 nm 和 30 nm 时增益曲线在 1590~1620 nm 范围内比波长差为 5 nm、10 nm、15 nm 和 20 nm 时增益波动平坦,是适当的泵浦波长。因此,本文选择泵浦源 P1 的波长为 1470 nm,泵浦源 P2 的波长为 1495 nm,设置泵浦源 P3 与泵浦源 P2 的波长差分别为 5 nm、10 nm、15 nm、20 nm、25 nm 和 30 nm。仿真结果如图 4 所示,随着泵浦源 P3 与泵浦源 P2 的波长差逐渐增加,1560~1600 nm 范围内的增益在降低。当泵浦源 P3 与泵浦源 P2 的波长差小于等于 15 nm 时,增益曲线在 1590~1620 nm 范围内平坦性较好。当泵浦源 P3 与泵浦源 P2 的波长差大于 15 nm 时,增益曲线近似于线性增大,输出增益平坦性差。因此,当泵浦源 P3 与泵浦源 P2 的波长差分别为 5 nm、10 nm 和 15 nm 时为合适的泵浦波长。本文选择泵浦源 P3 与泵浦

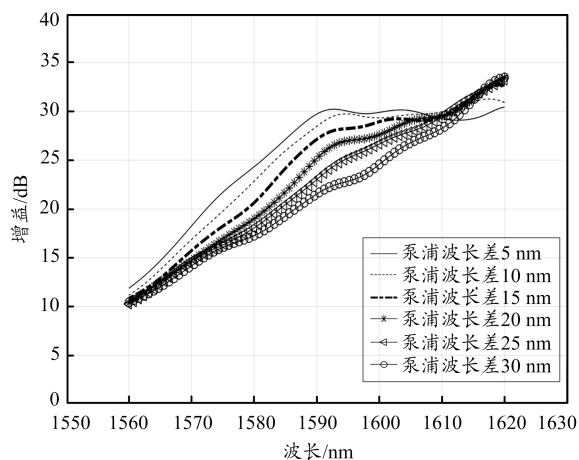


图4 不同泵浦波长差的三泵浦结构L波段RFA增益

源P2的波长差为5 nm这一组合,即泵浦源P1的波长为1470 nm,泵浦源P2的波长为1495 nm,泵浦源P3的波长为1500 nm,增益最大为30.4 dB,噪声系数最大为7.7 dB。

2.2 三泵浦结构下泵浦功率对增益的影响

为了研究三泵浦结构下泵浦源功率对增益的影响,泵浦源P1的波长为1470 nm,泵浦源P2的波长为1495 nm,泵浦源P3的波长为1500 nm,改变泵浦源P1、P2和P3的功率,任意选取300 mW或600 mW的泵浦功率进行组合仿真,仿真结果如图5所示。

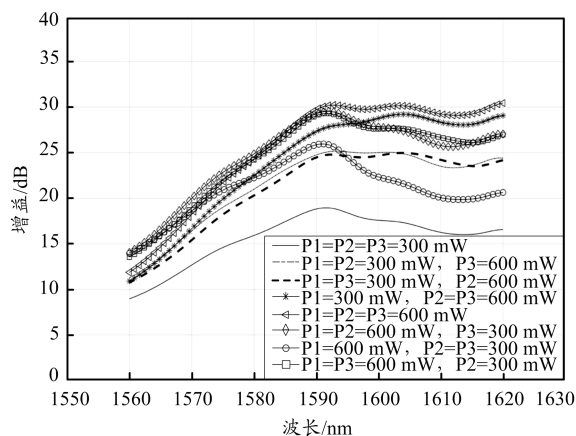


图5 不同泵浦功率配置的三泵浦结构L波段RFA增益

从图5可知,当泵浦源P1、P2和P3的功率均为600 mW时,输出增益在L波段最大,并且在1590~1620 nm范围内的平坦性较好。但是,纵观整个L波段,当泵浦源P1、P2和P3的功率均为300 mW时,增益曲线波动最小,整体输出增益大于10 dB,并且噪声指数低。为了确保在获得较高输出增益的同时又能改善增益平坦性,因此选定泵浦源P1、P2和P3的功率

均为300 mW,增益光谱如图6~图8所示。图6为泵浦源波长分别为1470 nm、1495 nm和1500 nm,泵浦功率均为300 mW的信号光未经过RFA的输入光谱图;图7为泵浦源波长分别为1470 nm、1495 nm和1500 nm,泵浦功率均为300 mW的信号光经过RFA的输出光谱图;图8为信号光在1560~1620 nm的增益图。三泵浦结构的RFA实现了L波段的输出增益大于10 dB,增益最大为18.9 dB且增益波动较小,通过波分复用分析仪的测量结果可知噪声系数最大为8.0 dB。

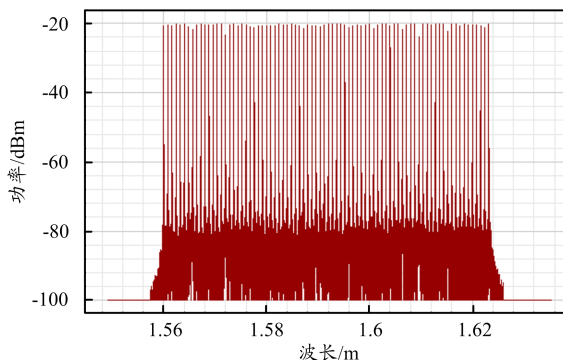


图6 最佳泵浦波长及功率配置的三泵浦结构L波段RFA输入光谱

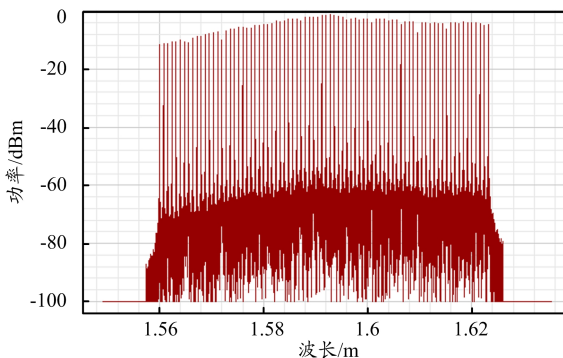


图7 最佳泵浦波长及功率配置的三泵浦结构L波段RFA输出光谱

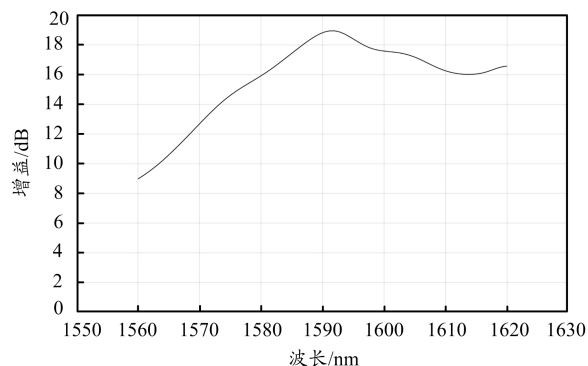


图8 最佳泵浦波长及功率配置的三泵浦结构L波段RFA各波长增益

刘阳,周雪芳:L波段喇曼光纤放大器的增益平坦化研究

3 结束语

本文在对 L 波段 RFA 的输出增益进行优化、设计与分析的同时,考虑了光纤通信系统的结构复杂度和成本,设计了一个正向三泵结构的 RFA。仿真结果表明:当泵浦源 P1、P2 和 P3 的波长分别为 1470 nm、1495 nm 和 1500 nm,且三泵浦源的功率均为 300 mW 时,实现了 L 波段的信号光平均输出增益大于 10 dB,噪声系数最大为 8.0 dB,且输出增益较为平坦。该结构简单、成本较低。但是,在进行无中继长距离传输时增益不佳,在后续的实验中可以将该结构与高阶 RFA 进行结合,提高远距离传输的输出增益。

参考文献:

- [1] 孔玉微,李齐良,尹韬策,等. 2 μm 波段基于四波混频宽可调的多波长激光器[J]. 杭州电子科技大学学报(自然科学版),2019,39(3):15-20.
- [2] 方音佳,赵蕊月. 拉曼光纤放大器的发展现状[J]. 科技创新与应用,2018(19):76-77.
- [3] CHERNIKOV S V, LEWIS S A E, TAYLOR J R. Broadband Raman amplifiers in the spectral range of 1480-1620 nm[C]//Optical Fiber Communication Conference, February 21-26, 1999, San Diego, USA. San Diego: OSA Technical Digest Series, 1999: 117-119.
- [4] SRIVASTAVA A K. System margin enhancement with Raman gain in multi-span WDM transmission[J]. Optical Fiber Communication Conference, 1999(FC2): 53-55.
- [5] 黄宇,戴碧智,张在宣,等. 宽带光纤拉曼放大器的增益平坦化实验研究[J]. 光电工程,2008(3):126-130.
- [6] 巩稼民,左旭,袁心易,等. 喇曼光纤放大器的增益谱平坦技术[J]. 光子学报,2013,42(12):1408-1413.
- [7] 巩稼民,赵云,冷斌. 基于高非线性光纤的增益谱平坦拉曼光纤放大器研究[J]. 应用光学,2014,35(2):353-358.
- [8] 巩稼民,王杰,张晨,等. 多泵浦的碲基喇曼光纤放大器增益研究[J]. 光通信技术,2020,44(6):41-45.
- [9] PERLIN V E, WINFUL H G. Optimal design of flat-gain wide-band fiber raman amplifiers [J]. Journal of Lightwave Technology, 2002, 20(2): 250-254.
- [10] 赵雯逸,唐棣芳. 多泵浦宽带拉曼光纤放大器优化设计的研究[J]. 电子技术,2011,38(10):75-78.
- [11] 王春华,李凤勤,葛旭亮,等. 三波长泵浦实现平坦 C+L-band 光纤拉曼放大 [C]// 第二届中国光纤器件发展研讨会,2004 年 5 月 1 日,中国北京. 天津:光电子激光,2004:150-153.