

喇曼光纤放大器的优化设计与仿真

雒明世, 金浩

(西安石油大学 计算机学院, 西安 710065)

摘要: 为了增加喇曼光纤放大器(RFA)的输出带宽, 减小增益平坦度。利用 OptiSystem 软件仿真分析了不同参数设置下的增益特性与泵浦源的关系, 对泵浦功率、泵浦波长、光纤长度和有效作用面积进行了优化设计与仿真。仿真结果表明: 提出的优化方法可使 RFA 的增益在设定范围内获得最大值, 并且通过改变相关参数得到较好的增益平坦度。

关键词: 喇曼光纤放大器; 受激喇曼散射; 喇曼增益; 非线性效应; 仿真优化设计

中图分类号: TN929.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2023)02-0068-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.02.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optimization design and simulation of Raman fiber amplifier

LUO Mingshi, JIN Hao

(College of Computer Science, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to increase the output bandwidth of Raman fiber amplifier (RFA) and reduce the gain flatness. The relationship between the gain characteristics and the pump source under different parameter settings is analyzed by using OptiSystem software. The pump power, pump wavelength, fiber length and effective area are optimized and simulated. The simulation results show that the proposed optimization method can maximize the gain of RFA within the set range, and obtain better gain flatness by changing the relevant parameters.

Key words: Raman fiber amplifier, stimulated Raman scattering, Raman gain, nonlinear effect, imitation and optimization design

0 引言

目前, 社会的发展对信息传递速率的需求越来越高, 光纤通信正朝着高速率、大容量、长距离的方向发展^[1-3]。喇曼光纤放大器(RFA)是一种新型的光放大器, 能覆盖极宽的带宽范围, 大大增加了系统的传输能力。

波分复用系统中使用的 RFA 除了具备足够的带宽、高输出功率和低噪声系数等特性外, 还对增益平坦度提出了更高要求^[4]。因此, 如何增加 RFA 的输出带宽和减小增益平坦度, 是目前放大器需要解决的重要

问题^[5]。

本文应用 OptiSystem 仿真软件搭建仿真模型, 分析 RFA 的增益特性, 对各个参数进行优化, 以达到特定范围内更好的增益平坦度。

1 RFA 性能分析

本文采用反向泵浦结构建立 RFA 的增益特性仿真布局, 具体如图 1 所示。为了提高 RFA 的增益平坦度, 改变泵浦源的波长、功率等相关参数, 并使用光谱仪和波分复用(WDM)分析仪分别分析 RFA 的增益特性和 RFA 增益的变化曲线^[4]。

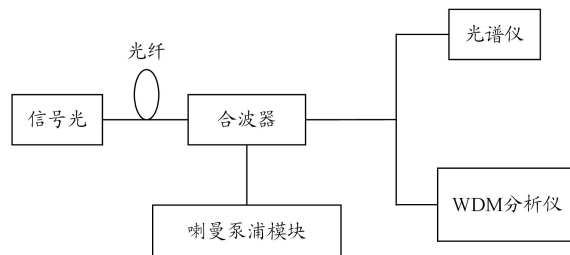


图 1 RFA 的增益特性仿真布局图

收稿日期: 2022-07-10。

基金项目: 陕西省 2020 年重点研发计划项目(S2020-YF-YBGY-0242)资助。

作者简介: 雒明世(1966—), 男, 陕西礼泉人, 硕士, 副教授, 中国通信学会高级会员。曾主持和承担国家和省部级项目等科研课题 10 余项, 发表学术论文 20 余篇。主要研究方向为现代通信网理论、宽带无线通信技术、工业互联网新型通信协议与组网技术等。近三年指导本科生参加“大唐杯”全国大学生移动通信技术大赛, 荣获国赛本科组一等奖 1 项, 二等奖 6 项。



首先,保持初始布局界面的参数设置不变,100个激光器的工作波长均为1520 nm,通道间隔为0.8 nm,输出功率为-8 dBm;光纤偏振因子为2,光纤长度为20 km;泵浦源初始设置为8个泵浦,功率分别为225、220、205、200、170、110、90、80 mW。仿真得到的RFA增益谱(初始)如图2所示。然后,分别从泵浦功率、泵浦源波长、泵浦源数量这3个方面对RFA增益谱的影响进行分析并优化。

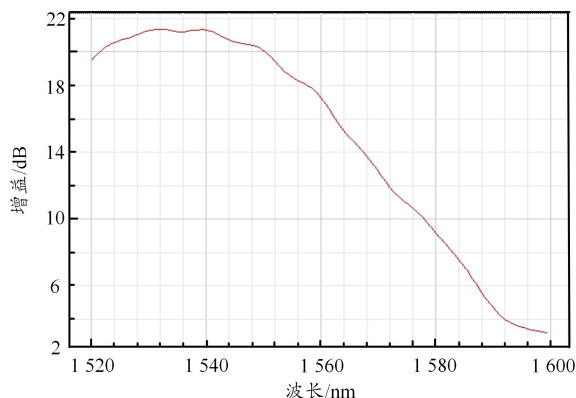


图2 RFA增益谱(初始)

1.1 泵浦功率的影响

本文在WDM分析仪上得出RFA增益的最大值和最小值,将两者相减就能得到放大器的增益平坦度。初始条件下RFA的增益平坦度为18.18 dB。在初始参数设置的基础上,保持波长、通道间隔等参数设置不变,仅增加泵浦功率,得到的仿真结果如图3所示。RFA的增益平坦度为18.55 dB。设置所有泵浦功率分别为200、220、240 mW,仿真结果如图4所示,这3种情况的增益平坦度分别为17.56、25.35、44.79 dB。由图4可知,当增加泵浦功率200、220 mW时,增益平坦度不会变化太多,且能够得到较好的增益平坦度;当增加泵浦功率为240 mW时,增益平坦度会发生明显的变化,得到的增益平坦度较差。

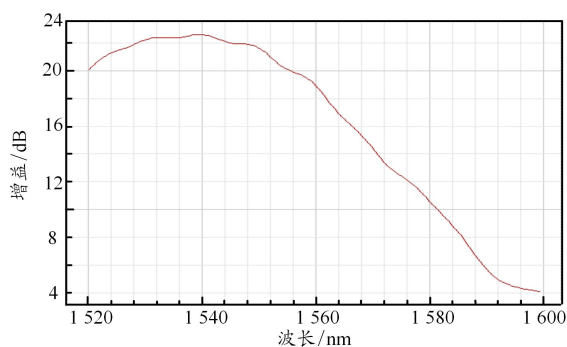
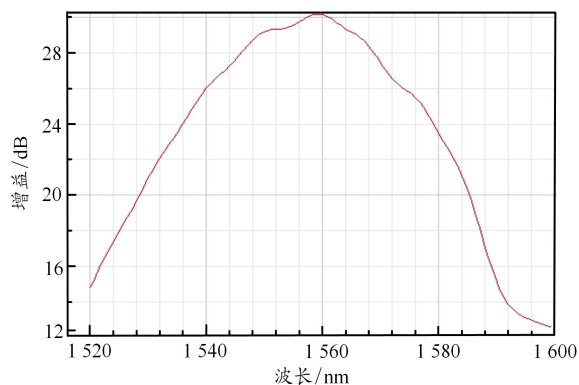
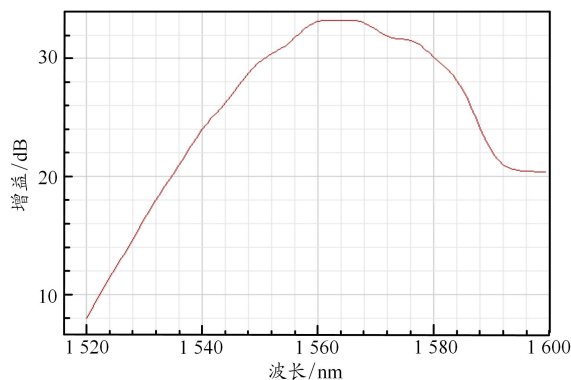


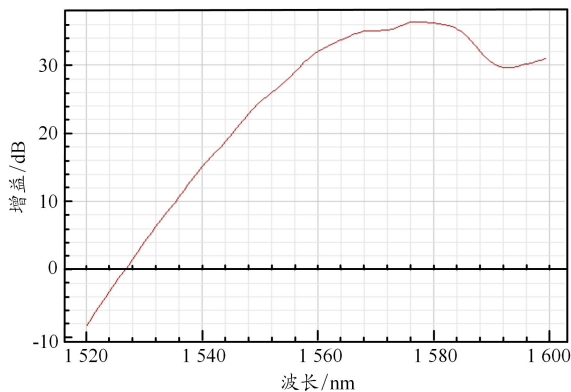
图3 增益谱(增加泵浦功率)



(a) 泵浦功率为200 mW



(b) 泵浦功率为220 mW



(c) 泵浦功率为240 mW

图4 不同功率下RFA增益谱

1.2 泵浦波长的影响

初始条件下,泵浦波长分别为1410、1417、1425、1433、1441、1448、1456、1463 nm,此时的RFA增益平坦度为18.18 dB(如图2所示)。保持功率不变,改变泵浦波长,仿真后得到的增益谱如图5所示,增益平坦度为14.59 dB。由此可见,泵浦源波长对增益谱也存在一定的影响。

1.3 泵浦源数量的影响

泵浦功率、波长不变,仅改变泵浦源数量,观察增

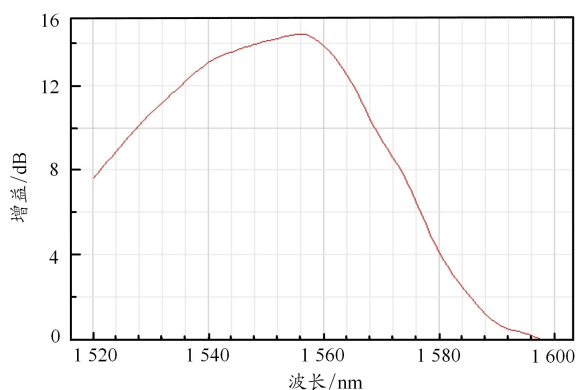
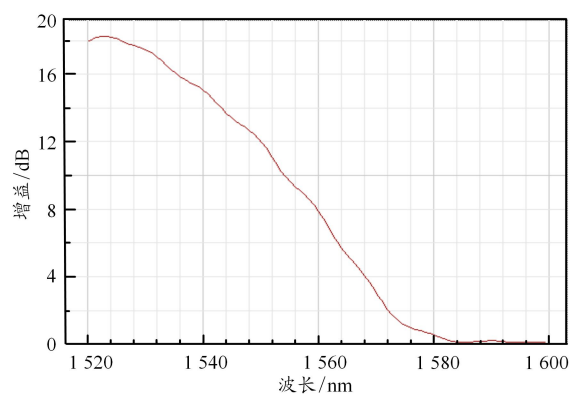


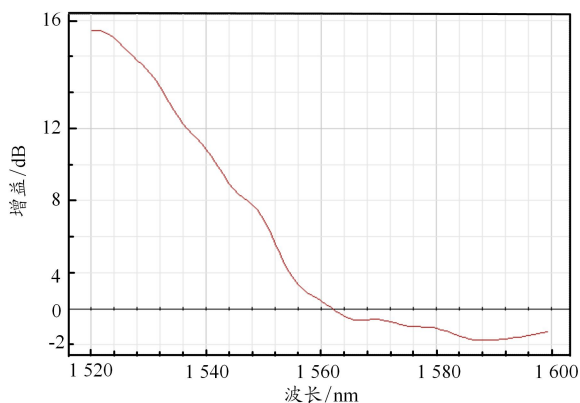
图5 不同泵浦波长下的增益谱

增益谱的变化趋势,并使用WDM分析仪分析增益值。泵浦源分别为6个和4个的RFA增益谱如图6所示。

由图6(a)可知,在1520~1588 nm内,6个泵源的RFA增益平坦度均为18.26 dB;由图6(b)可知,在1520~1572 nm内,4个泵浦源的RFA增益平坦度为17.21 dB^[5]。因此,泵浦源数量同样对增益特性存在影响,相比于初始增益谱得到的增益平坦度,使用4个泵源的增益平坦度更好。



(a) 6个泵浦源



(b) 4个泵浦源

图6 泵浦源分别为6个和4个的增益谱

2 RFA的优化与仿真

本文使用后向泵浦结构模型对RFA的增益平坦度进行优化设计,应用OptiSystem软件的优化功能,在一定的范围内改变泵浦功率、泵浦波长、光纤有效作用面积和光纤长度的数值,并保持其它条件不变,实现最大增益^[6]。

优化结果如图7所示。由图7(a)可知,随着泵浦功率增加,增益一直增加,当功率为1000~1700 mW时,增益的变化幅度较大;由图7(b)可知,增益在500~1250 nm内增加的幅度不大,在1250 nm处开始大幅增加,在波长为1625 nm时达到最大值,即增益值为14.05 dB。然后,随着波长增加,增益越来越小;由图7(c)可知,当光纤有效作用面积在54 μm^2 时增益值达到最大,即增益值为8.621 dB;由图7(d)可知,在37.5 km处增益最大值达到8.623 dB。综上所述,通过OptiSystem仿真软件得到的各项优化结果如下:泵浦功率为1700 mW,泵浦波长为1625 nm,光纤有效作用面积和长度分别为54 μm^2 和37.5 km。

本文将上述优化得到的数据再次使用OptiSystem仿真,得到增益谱如图8所示。对比优化参数后的与初始参数设置下的RFA增益谱可知,优化后的增益平坦度为10.43 dB左右,相比较初始增益谱的增益平坦度(18.18 dB),优化后RFA的增益平坦度更好^[7]。

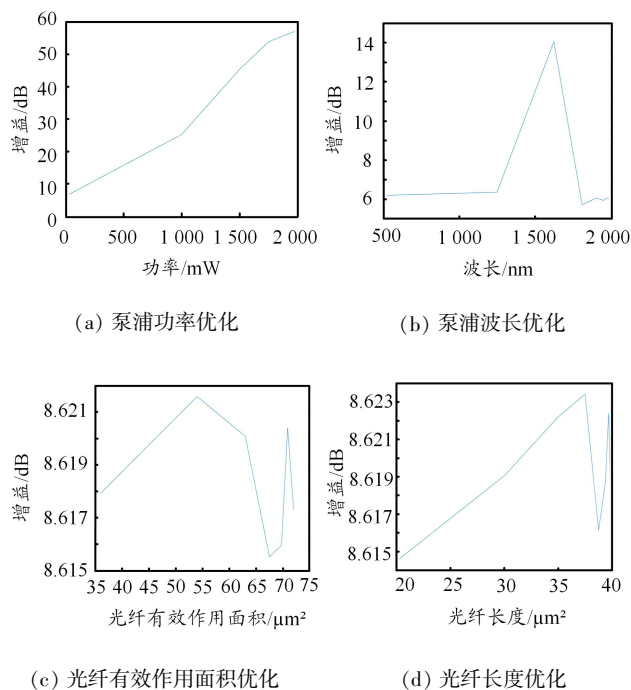


图7 优化结果

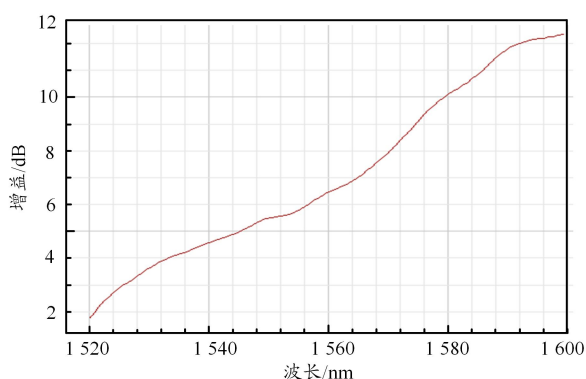


图8 优化后 RFA 的增益谱

3 结束语

为了得到增益平坦的 RFA 增益谱,本文首先使用 OptiSystem 仿真软件对后向泵浦结构的 RFA 进行性能仿真,分析了 RFA 的增益特性和增益与泵浦源之间的关系;然后,对相关参数进行了优化。但是,本设计仍有许多不足之处,例如 OptiSystem 软件版本不同,得

到的优化结果与理想的优化结果存在偏差。此外,由于优化过程需要大量时间来运行程序,所以本设计只是在较小的范围内验证。

参考文献:

- [1] 熊伦. 拉曼光纤放大器的应用与研究进展 [J]. 现代电子技术, 2007 (2): 186-188.
- [2] 林睿, 徐自闲, 田霖. 基于长距离光纤传输的关键技术研究[J]. 中国新通信, 2019, 21(24): 67-67.
- [3] 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.
- [4] 马晓娟. 拉曼光纤放大器的增益平坦化综述[J]. 西安邮电学院学报, 2010, 15(1): 86-89.
- [5] 巩稼民, 张晨, 郝倩文. 基于粒子群优化的二阶拉曼光纤放大器研究[J]. 光电工程, 2020, 47(11): 71-78.
- [6] 姜涛. 光纤放大器的研究与应用[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- [7] 邱琪, 史双瑾, 苏君. 光纤通信技术实验[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [8] 陈海燕, 陈聪, 罗江华, 等. 光纤通信技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.