



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102608831 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 25

(21) 申请号 201210089526. 2

(22) 申请日 2012. 03. 30

(71) 申请人 中国人民解放军国防科学技术大学
地址 410073 湖南省长沙市开福区砚瓦池正街 47 号

(72) 发明人 许晓军 熊玉朋 李霄 粟荣涛
周朴 王小林

(74) 专利代理机构 长沙正奇专利事务所有限责任公司 43113

代理人 魏国先

(51) Int. Cl.

G02F 1/35 (2006. 01)

G02B 27/28 (2006. 01)

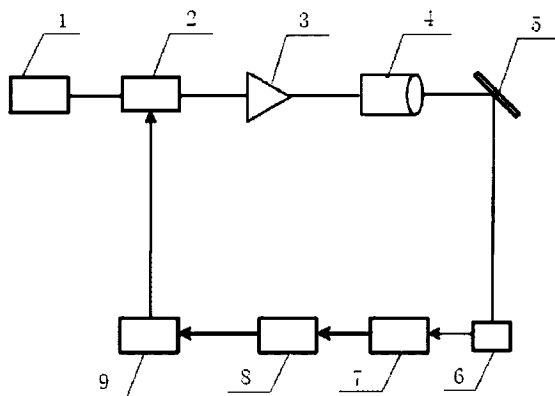
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统及其控制方法,涉及非保偏光纤放大器的偏振自适应控制技术,非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统包括种子源、偏振控制器、非保偏放大器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、SPGD 算法控制器、偏振控制器的驱动器,种子源发射出线偏的激光光束,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息,偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器,偏振控制器的驱动器根据 SPGD 算法控制器的驱动信号控制偏振控制器对种子光的偏振态进行控制来补偿系统偏振噪声,上述过程反复进行,达到获得期望的偏振光输出的目的,本发明原理简单,操作方便,性能可靠。



1. 一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统,包括种子源、偏振控制器、非保偏放大器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、SPGD 算法控制器、偏振控制器的驱动器,其特征在于,种子源通过光纤与偏振控制器连接,偏振控制器、非保偏放大器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、SPGD 算法控制器、偏振控制器的驱动器依次连接构成偏振自适应控制系统的闭环。

2. 根据权利要求 1 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统,其特征在于,所述非保偏放大器包括泵浦源、合束器,泵浦源通过光纤与合束器连接,合束器的信号端口与偏振控制器连接,合束器的输出端口通过非保偏掺杂光纤与准直器连接。

3. 根据权利要求 1 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统,其特征在于,所述探测器为消光比测试仪,或偏振分析仪,或者是偏振分束镜、波片、起偏器与光电探测器的组合。

4. 一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,该方法为:种子源发射出线偏的激光光束,线偏激光光束经过偏振控制器后,进入非保偏光纤放大器中放大,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息,偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器,SPGD 算法控制器根据反馈信号产生驱动信号,驱动器根据驱动信号控制偏振控制器对种子光的偏振态进行控制来补偿系统偏振噪声,上述过程反复进行,达到获得期望的偏振光输出的目的。

5. 根据权利要求 4 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

1) 种子源发射出线偏的激光光束,线偏激光光束经过偏振控制器后,进入非保偏光纤放大器中放大,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息;

2) 偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器;

3) SPGD 算法控制器随机生成扰动向量 $\delta \mathbf{u}^{(k)} = \{\delta u_1, \delta u_2, \dots, \delta u_n\}^{(k)}$,其中 δu_i 相互独立,满足均值为零、方差相等且概率密度关于均值对称;

4) 依次将正向 $\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 和负向 $-\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 的扰动施加到偏振控制器上,通过探测器获得扰动引起的性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$;

5) 根据性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$ 更新控制参数 \mathbf{u} ,进行 $k+1$ 次迭代;

6) 重复步骤 3) ~ 5),当系统评价函数取得最大值的时候,结束。

6. 根据权利要求 3 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,所述步骤 4) 中,性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$ 的表达式为:

$$\delta J^{(k)} = \frac{J_+^{(k)} - J_-^{(k)}}{2} = \frac{J(\mathbf{u}^{(k)} + \delta \mathbf{u}^{(k)}) - J(\mathbf{u}^{(k)} - \delta \mathbf{u}^{(k)})}{2},$$

其中: J_+^k 和 J_-^k 分别代表在偏振控制器上施加正向扰动 $\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 和负向 $-\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 时系统的性能评价函数值。

7. 根据权利要求 3 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,所述步骤 5) 中,控制参数 \mathbf{u} 更新按下式进行:

$$\mathbf{u}^{(k+1)} = \mathbf{u}^{(k)} + \gamma \delta \mathbf{u}^{(k)} \delta J^{(k)}$$

其中: γ 为步进增益。

8. 根据权利要求 3 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,所述步骤 6) 中,系统评价函数为期望偏振方向的光强 J 或者消光比 ER 。

9. 根据权利要求 6 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,期望偏振方向的光强 J 的表达式为:

$$J = \int \int_{\Omega} I(x, y) dx dy,$$

其中: $I(x, y)$ 代表积分平面上空间某一点的光强。

10. 根据权利要求 6 所述的非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法,其特征在于,消光比 ER 的表达式为:

$$ER = 10 \log \frac{I_x}{I_y},$$

其中: I_x 和 I_y 分别代表 X 和 Y 两个方向上的偏振光的光强。

一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及非保偏光纤放大器的偏振自适应控制技术,特别是一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 在光学精密测量、干涉测量、光通信、光传感、光学非线性频率变换、激光组束、生物医疗诊断等方面,需要高功率高消光比的偏振光,因此,能够输出线偏光的保偏光纤放大器以其独特的优势得到了人们的青睐,但是高功率保偏高功率器件制作难度大,高功率保偏光纤放大器的系统成本十分昂贵,而非保偏光纤放大器由于自身存在着退偏作用以及外界环境的干扰,所以不能保持线偏特性输出,这大大限制其应用范围。应用偏振自适应控制技术实现非保偏光纤放大器的高消光比偏振光输出对于降低系统成本和拓展非保偏光纤放大器的应用范围具有现实意义,国外工作人员针对该技术进行了相关研究,没有公布控制算法等重要技术细节,国内还未见到针对于高功率非保偏光纤放大器的偏振自适应控制的报道。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是,针对现有技术不足,提供一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统及其控制方法,降低光纤放大器的系统成本,拓展非保偏光纤放大器的应用范围。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明所采用的技术方案是:一种非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统,包括种子源、偏振控制器、非保偏放大器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、SPGD 算法控制器、偏振控制器的驱动器,种子源通过光纤与偏振控制器连接,偏振控制器、非保偏放大器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、SPGD 算法控制器、偏振控制器的驱动器依次连接构成偏振自适应控制系统的闭环。

[0005] 非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法为:种子源发射出线偏的激光光束,线偏激光光束经过偏振控制器后,进入非保偏光纤放大器中放大,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息,偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器,SPGD 算法控制器根据反馈信号产生驱动信号,驱动器根据驱动信号控制偏振控制器对种子光的偏振态进行控制来补偿系统偏振噪声,上述过程反复进行,达到获得期望的偏振光输出的目的。

[0006] 该方法的具体步骤如下:

[0007] 1) 种子源发射出线偏的激光光束,线偏激光光束经过偏振控制器后,进入非保偏光纤放大器中放大,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息;

[0008] 2) 偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器;

[0009] 3) SPGD 算法控制器随机生成扰动向量 $\delta u^{(k)} = \{\delta u_1, \delta u_2, \dots, \delta u_n\}^{(k)}$,其中 δu_i 相互独立,满足均值为零、方差相等且概率密度关于均值对称;

[0010] 4) 依次将正向 $\delta u^{(k)}$ 和负向 $-\delta u^{(k)}$ 的扰动施加到偏振控制器上,通过探测器获得扰动引起的性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$;

[0011] 5) 根据性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$ 更新控制参数 u ,进行 $k+1$ 次迭代;

[0012] 6) 重复步骤 3) ~ 5),当系统评价函数取得最大值的时候,结束。

[0013] 本发明的装置结构简单,稳定性好,实用性强,利用 SPGD(随机并行梯度下降算法, Stochastic Parallel Gradient Descent, SPGD) 算法控制偏振控制器,通过对种子光的偏振进行控制来实现对整个非保偏光纤放大器链路的偏振噪声的补偿,达到获得期望的偏振光输出的目的,适用于任意波长的偏振控制领域,可实现任意功率水平的非保偏光纤放大器的偏振控制,且原理简单,操作方便,性能可靠,对实验环境和仪器设备没有特殊要求。

附图说明

[0014] 图 1 为本发明一实施例非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统结构框图;

[0015] 图 2 为本发明一实施例非保偏放大器结构框图;

[0016] 其中:

[0017] 1:种子源;2:偏振控制器;3:非保偏放大器;4:准直器;5:分束镜;6:探测器;7:A-D 转换电路;8:SPGD 算法控制器;9:偏振控制器的驱动器;10:泵浦源;11:合束器;12:非保偏掺杂光纤。

具体实施方式

[0018] 如图 1 所示,本发明一实施例非保偏光纤放大器偏振自适应控制系统包括种子源 1、偏振控制器 2、非保偏放大器 3、准直器 4、分束镜 5、探测器 6、A-D 转换电路 7、SPGD 算法控制器 8、偏振控制器的驱动器 9,种子源 1、偏振控制器 2、非保偏放大器 3、准直器 4、分束镜 5、探测器 6 通过光纤依次连接,探测器 6、A-D 转换电路 7、SPGD 算法控制器 8、偏振控制器的驱动器 9 依次连接,偏振控制器的驱动器 9 与偏振控制器 2 连接。

[0019] 非保偏放大器包括泵浦源 10、合束器 11,泵浦源 10 通过光纤与合束器连接 11,合束器 10 的信号端口与偏振控制器 2 连接,合束器 10 的输出端口通过非保偏掺杂光纤 12 与准直器 4 连接。

[0020] SPGD 算法控制器是整个系统的核心控制部分,它接收经 A-D 转换电路反馈回来的评价函数信息,按照算法输出电压,控制偏振控制器产生相应的偏振补偿。SPGD 算法控制器的核心模块为 FPGA 和 DSP 芯片,主要执行评价函数计算程序及主控程序。

[0021] 偏振控制器具有将输入的偏振态转化为任意偏振态输出的能力,便于进行闭环自适应控制。

[0022] 偏振控制器的驱动器主要包括 D/A 转换电路和电压放大电路两个部分,其中 D/A 转换电路将 SPGD 算法控制器的数字控制信号转换为模拟控制信号,电压放大电路将控制信号放大用于驱动偏振控制器实施偏振控制。

[0023] 偏振控制器、非保偏放大器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、SPGD 算法控制器、偏振控制器的驱动器依次连接构成偏振自适应控制的闭环。

[0024] 探测器可以是消光比测试仪,也可以是偏振分析仪,或者是偏振分束镜、波片、起

偏器等偏振器件与光电探测器的组合,具备提取出射光束偏振信息的能力。

[0025] A-D 转换电路能够将模拟信号转化为数字信号传递给 SPGD 算法控制电路,生成控制信号。

[0026] 种子源为能够输出高消光比的偏振光的激光器。

[0027] 准直器可以将从光纤中输出的激光光束准直输出。

[0028] 种子源、偏振控制器、准直器、分束镜、探测器、A-D 转换电路、偏振控制器的驱动器均可在市场上直接购买。

[0029] 非保偏光纤放大器偏振自适应控制方法为:种子源发射出线偏的激光光束,线偏激光光束经过偏振控制器后,进入非保偏光纤放大器中放大,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息,偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器,SPGD 算法控制器根据反馈信号产生驱动信号,驱动器根据驱动信号控制偏振控制器对种子光的偏振态进行控制来补偿系统偏振噪声,上述过程反复进行,达到获得期望的偏振光输出的目的。

[0030] 具体包括以下步骤:

[0031] 1) 种子源发射出线偏的激光光束,线偏激光光束经过偏振控制器后,进入非保偏光纤放大器中放大,经非保偏放大后出射至探测器,探测器提取出射光束的偏振信息;

[0032] 2) 偏振信息经 A-D 转换电路转换为电信号传递给 SPGD 算法控制器;

[0033] 3) SPGD 算法控制器随机生成扰动向量 $\delta \mathbf{u}^{(k)} = \{\delta u_1, \delta u_2, \dots, \delta u_n\}^{(k)}$,其中 δu_i 相互独立,满足均值为零、方差相等且概率密度关于均值对称;

[0034] 4) 依次将正向 $\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 和负向 $-\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 的扰动施加到偏振控制器上,通过探测器获得扰动引起的性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$;

$$[0035] \quad \delta J^{(k)} = \frac{J_+^{(k)} - J_-^{(k)}}{2} = \frac{J(\mathbf{u}^{(k)} + \delta \mathbf{u}^{(k)}) - J(\mathbf{u}^{(k)} - \delta \mathbf{u}^{(k)})}{2}$$

[0036] 其中: J_+^k 和 J_-^k 分别代表在偏振控制器上施加正向扰动 $\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 和负向 $-\delta \mathbf{u}^{(k)}$ 时系统的性能评价函数值;

[0037] 5) 根据性能评价函数变化量 $\delta J^{(k)}$ 更新控制参数 \mathbf{u} ,进行 $k+1$ 次迭代,其中控制参数的更新按下式进行:

$$[0038] \quad \mathbf{u}^{(k+1)} = \mathbf{u}^{(k)} + \gamma \delta \mathbf{u}^{(k)} \delta J^{(k)}$$

[0039] 其中, γ 为步进增益;

[0040] 6) 重复步骤 3) ~ 5),当系统评价函数取得最大值的时候,结束。

[0041] 系统评价函数为期望偏振方向的光强 J 或者消光比 ER ;期望偏振方向的光强 J 的表达式为:

$$[0042] \quad J = \int \int_s I(x, y) dx dy;$$

[0043] 其中: $I(x, y)$ 代表积分平面上空间某一点的光强。

[0044] 消光比 ER 的表达式为:

$$[0045] \quad ER = 10 \log \frac{I_x}{I_y}.$$

[0046] 其中: I_x 和 I_y 分别带表 X 和 Y 两个方向上的偏振光的光强。

[0047] 随机扰动向量 $\delta \mathbf{u}$ 和性能评价函数 J 的选取将对 SPGD 算法产生重要影响,常见的

随机扰动分布有伯努利分布、离散均匀分布、均匀分布和正态分布,当 δu 服从伯努利分布时具有最快的收敛速度。

[0048] 中心波长为 1064nm 的单频连续激光的种子源激光器输出消光比达 25dB 的线偏光,线偏光经过偏振控制器传到非保偏光纤放大器中,种子光经过非保偏光纤放大器放大到 10.2W,10.2W 的激光经由准直器输出。在系统处于开环状态下,各种扰动造成非保偏光纤放大器的偏振不稳定,输出光束的消光比很低,实验测得输出光束的平均消光比仅为 2.28dB;系统由开环状态转为闭环状态后,SPGD 算法根据控制流程,驱动偏振控制器对种子光偏振态进行控制来补偿各种扰动造成的偏振不稳定性,偏振自适应控制系统的控制参数具体设置如下:增益系数 $r = 4$,扰动电压 $\delta u = 2$,性能评价函数取期望偏振方向的光强最大。当偏振自适应控制系统达到稳定工作状态时,输出光束的平均消光比提高到 11.54dB,提高了 9.26dB,这意味着期望方向的偏振光的光强占总光强的 93.4% 以上。

[0049] 综上所述,本实施例的偏振自适应控制方法能够有效地解决非保偏放大器中偏振不稳定的问题,可以在很大的程度上提高消光比;与保偏光纤放大器相比,这种非保偏光纤放大器的偏振自适应控制系统可有效降低系统成本,适用于连续激光和脉冲激光,而且不受波长限制,可广泛应用于对光纤放大器输出光偏振特性有特殊要求的领域。

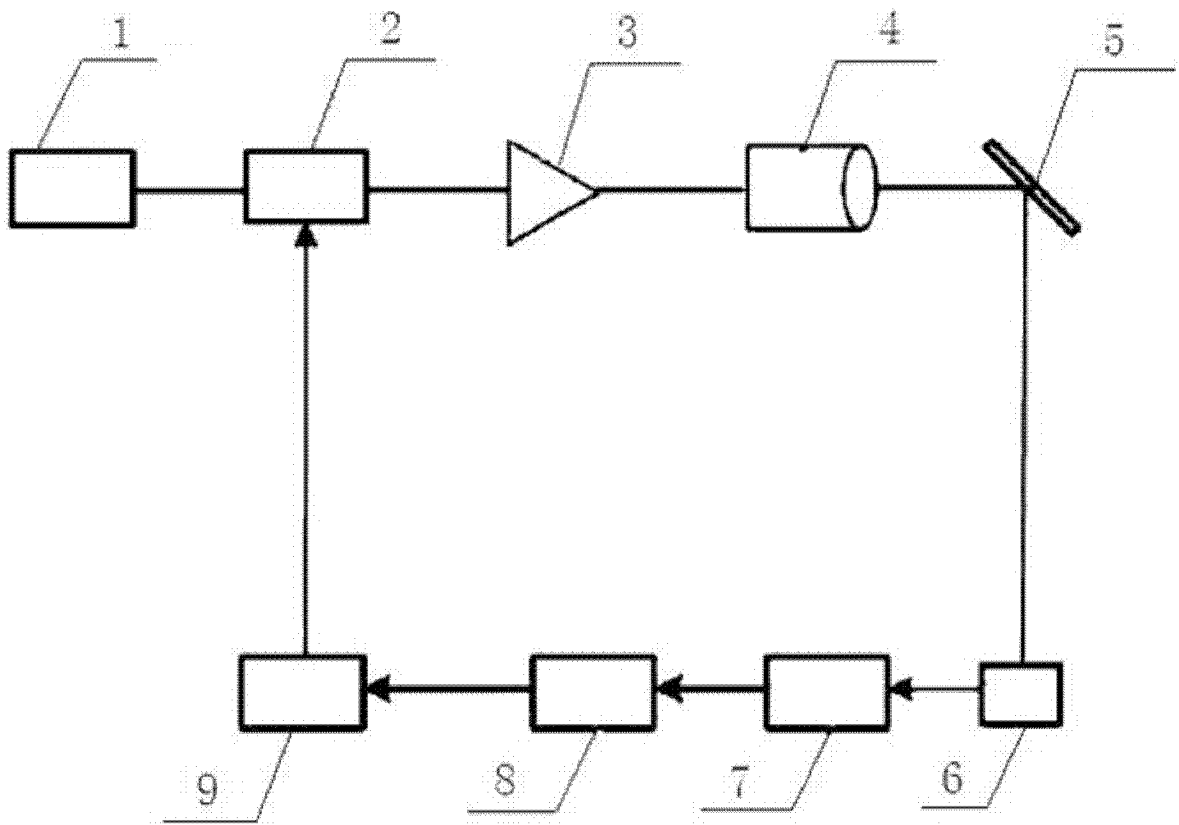


图 1

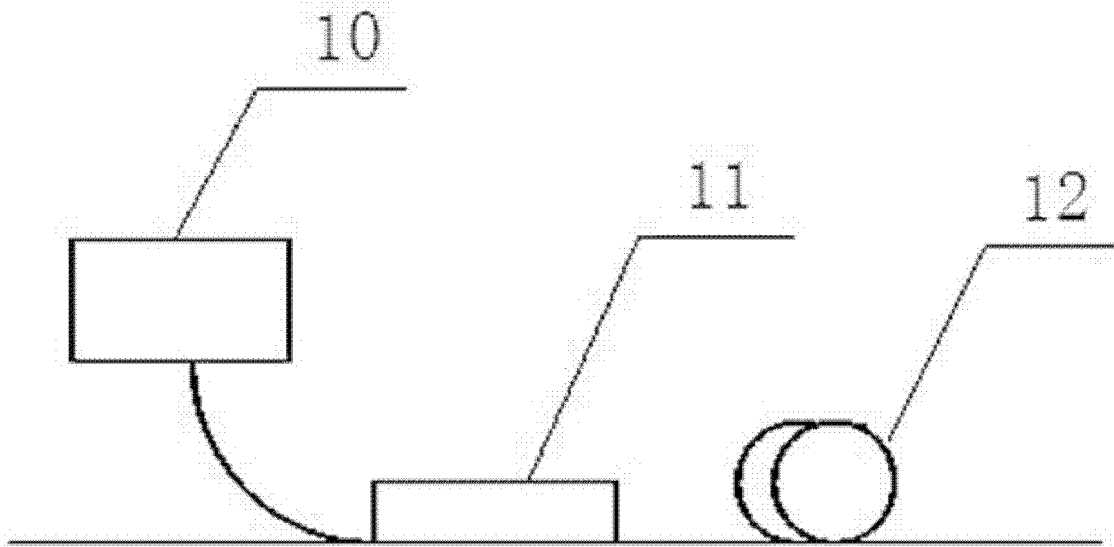


图 2