

文章编号: 0258-7025(2009)06-1442-06

自适应锁相光纤激光阵列的湍流大气传输性能

周 朴¹ 刘泽金¹ 许晓军¹ 习锋杰¹ 储修祥^{1,2} 马浩统¹

(¹国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)
(²中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要 研究一种具备校正活塞和倾斜像差能力的自适应锁相光纤激光阵列,利用多相位屏法对其在不同强度湍流大气中的传输性能进行数值计算,引入光束质量因子 BPF 对湍流大气的传输影响进行定量分析。当湍流强度较弱(折射率结构常数为 $C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 传输距离为 10 km, 相干长度为 4.3 cm)时,湍流大气对激光阵列传输的影响较小,光强分布与在真空中传输效果基本一致。当湍流强度较强(折射率结构常数分别为 $C_n^2 = 5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ 和 $1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, 相干长度分别为 1.6 cm 和 1 cm)时,自适应锁相光纤激光阵列的 BPF 分别为理想情形下的 86% 和 70%;对应的未校正活塞像差和倾斜像差的光纤激光阵列传输至远场处的 BPF 值分别为理想情形下的 55% 和 38%。计算结果表明,由于校正了活塞和倾斜像差,在较强湍流大气中传输时,自适应锁相光纤激光阵列能够显著提高远场光强的能量集中度。

关键词 大气光学; 大气湍流; 相干合成; 光束传输; 相位屏

中图分类号 TN012 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093606.1442

Propagation Performance of Adaptive Phase-Locked Fiber Laser Array in Turbulent Atmosphere

Zhou Pu¹ Liu Zejin¹ Xu Xiaojun¹ Xi Fengjie¹ Chu Xiuxiang^{1,2} Ma Haotong¹

¹College of Optoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China

²Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Science, Hefei, Anhui 230031, China

Abstract An adaptive phase-locked fiber laser array with piston and tip-tilt error correction capability is investigated. The propagation performance of the adaptive phase-locked fiber laser array in different turbulent atmosphere is numerically studied by using multiple phase screen method. BPF is introduced as beam quality factor to study the effect of turbulence atmosphere on the propagation performance quantitatively. The influence is neglectable and the field intensity distribution remains unchanged compared to free space when the intensity of turbulence is weak ($C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, propagation distance $z = 10 \text{ km}$, coherence length = 4.3 cm). The BPF value becomes 86% and 70% of the idea case when $C_n^2 = 5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ and $1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ (corresponding coherence length are 1.6 cm and 1 cm, respectively), while the BPF value for the fiber laser array propagating in the same atmosphere without correcting piston and tip-tilt error are 55% and 38% of the idea case. The calculation results reveal that the energy centrality can be advanced evidently by the adaptive phase-locked fiber laser array.

Key words atmosphere optics; atmosphere turbulent; coherent combination; beam propagation; phase screen

1 引 言

自适应锁相的光纤激光阵列作为一种新型的高能激光系统结构,近年来成了激光技术领域的研究

热点^[1~4]。在这种结构中,传统的单一大口径光束被若干路小口径相干合成锁相的光纤激光阵列取代。相干合成不仅可以解决单路光纤激光的功率上

收稿日期: 2008-06-18; 收到修改稿日期: 2008-06-25

基金项目: 国防科技大学研究生创新基金(B070701)资助课题。

作者简介: 周 朴(1984-),男,博士研究生,主要从事光纤激光器及光束合成等方面的研究。E-mail: jnck621@163.com

导师简介: 刘泽金(1963-),男,教授,博士生导师,主要从事高能激光技术等领域的研究。E-mail: zejinliu@vip.sina.com

限问题^[5,6],还为整个系统的热管理提供了便利。相干合成光束在传输过程中仍不可避免地将受到湍流大气的影响^[7~10],随着湍流强度的增大,远场光斑的能量集中度也急剧降低^[9,10],为此,除了使用相干合成技术锁定各路光束之间的相位之外,各路子光束的发射系统还必须具备校正湍流大气的功能,才能保证远场光斑具有较高的功率和能量集中度。本文研究一种具备校正活塞和倾斜像差能力的自适应锁相光纤激光阵列,采用相位屏法计算光纤激光阵列在不同强度湍流大气中的传输过程,通过多次计算取平均的方法分析远场光强分布的统计特性,并引入BPF作为光束质量评价因子,对该自适应锁相光纤激光阵列的湍流大气传输进行定量分析。

2 理论模型

2.1 激光阵列系统结构

自适应锁相光纤激光阵列系统结构如图1所示。主振荡激光器的输出光束经过初级预放后由分束器分成 N 路子光束(讨论 $N=7$ 的情形,阵列的排布方式如图1右上方所示)。光束经过相位控制器后被放大至较高功率,再经过光纤位置调节器^[11](fiber positioner)后扩束准直输出。每路子光束的活塞像差和倾斜像差可利用SPGD算法^[2~4]向相位控制器和光纤位置调节器输出相应的控制电压信号分别进行控制。这种自适应锁相光纤激光阵列使用算法对像差进行间接补偿,具备锁定各路子光束之间的相位以及控制各路子光束倾斜像差的功能,无需引入波前传感器和利用变形镜进行波前重构,从而降低了整个系统结构的复杂性。

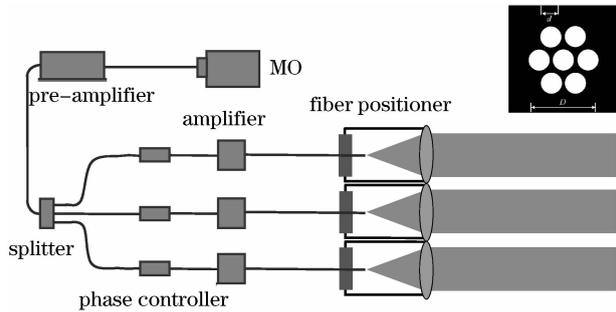


图1 自适应锁相光纤激光阵列的结构图

Fig.1 System configurations of adaptive phase-locked fiber laser array

每路子光束经扩束准直后口径为 d ,整个激光阵列的口径为 D 。假设单元光束的光强近似平顶分布,其在出射端的复振幅分布用超高斯分布描述

$$E_n(x, y, 0) = \exp\{-4\{[(x - a_n)^2 +$$

$$(y - b_n)^2]/d^2\}^{16} \quad n = 1 \cdots 7, \quad (1)$$

式中 a_n, b_n 为第 n 束激光的中心坐标位置。

激光阵列在出射端总的光场复振幅分布为

$$E(x, y, 0) = \sum_{n=1}^7 E_n(x, y, 0). \quad (2)$$

2.2 激光阵列在湍流大气中的传输及评价方法

文献^[7,8]利用广义惠根斯-菲涅耳原理推导了高斯光束阵列在湍流大气中传输的解析表达式。利用广义惠根斯-菲涅耳原理得到的是统计平均意义上的光强分布^[10]。相比之下,利用泽尼克(Zernike)多项式构造相位屏^[12],并利用“多相位屏”法模拟光束在湍流大气中的传输^[13],可以用来分析各阶种像差的具体影响。“多相位屏”法把传输路径 z 分为 n 段,在每一段距离 Δz 中近似将本段大气湍流对传输光束的影响作为一个放在中间的薄屏。光束波通过屏时,只有相位受折射率随机起伏的影响,产生强烈的相位调制,振幅保持不变。即光束在经过 $\Delta z/2$ 的自由空间传输后,加上本段大气湍流对相位造成的畸变,再传播 $\Delta z/2$ 的自由空间,即完成了本段的传输,如图2所示。

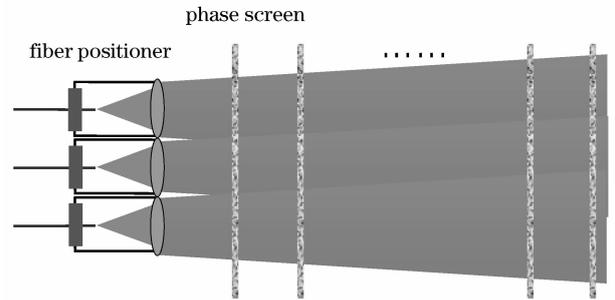


图2 利用多相位屏法分析自适应锁相光纤激光阵列的大气传输

Fig.2 Propagation of adaptive phase-locked fiber laser array in the turbulent atmosphere using multiple phase screens

根据上述过程,在传输方向上从 $z = z_{i-1}$ 的平面到达 $z_i = z_{i-1} + \Delta z$ 平面的光场复振幅分布可描述为^[14]

$$E(x, y, z_i) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \exp \left[-\frac{j\Delta z}{2k} (K_x^2 + K_y^2) \right] \cdot \right.$$

$$\left. \mathcal{F} \{ \exp [j\psi(x, y, z_i) E(x, y, z_{i-1})] \} \right\}, \quad (3)$$

式中 $\psi(x, y, z_i)$ 即为该段路径对应的相位调制, $k = 2\pi/\lambda$ 为波数, λ 为激光波长, K_x, K_y 为空间波数在 x, y 方向上的分量。

对于本文讨论的自适应锁相光纤激光阵列的湍流大气传输,光场复振幅分布的演化过程可描

述为

$$E'(x, y, z_i) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \exp \left[-\frac{j\Delta z}{2k} (K_x^2 + K_y^2) \right] \cdot \mathcal{F} \left\{ \exp [j\psi'(x, y, z_i) E(x, y, z_{i-1})] \right\} \right\}, \quad (4)$$

式中 $\psi'(x, y, z_i)$ 为该段路径对应的相位调制, 与 $\psi(x, y, z_i)$ 不同的是, $\psi'(x, y, z_i)$ 不含活塞像差和倾斜像差。 $\psi'(x, y, z_i)$ 和 $\psi(x, y, z_i)$ 的构造方法将在下节进行简单介绍。

2.3 相位屏的构造

受大气湍流影响的**光学波前**可以认为是服从一

定已知模式和统计规律的二维函数, 这些函数可以被分解为在圆域内正交的 Zernike 多项式形式

$$\psi(x, y) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i Z_i(x, y). \quad (5)$$

不含活塞像差和倾斜像差的光学波前表达式为

$$\psi'(x, y) = \sum_{i=4}^{\infty} a_i Z_i(x, y), \quad (6)$$

其中 $Z_i(x, y)$ 为各阶 Zernike 多项式, a_i 为第 i 阶 Zernike 多项式系数。系数向量 \mathbf{a} 的协方差矩阵 $\mathbf{\Gamma}_a$ 的元素为^[12]

$$a_i a_j = \begin{cases} \frac{2.2698(-1)^{n_i+n_j-2m_i/2} \sqrt{(n_i+1)(n_j+1)} \delta_{ij} \mathbf{\Gamma}[(n_i+n_j-5/3)/2] (D/r_0)^{5/3}}{\mathbf{\Gamma}[(n_i+n_j+17/3)/2] \mathbf{\Gamma}[(n_i-n_j+17/3)/2] \mathbf{\Gamma}[(n_i+n_j+23/3)/2]} & i-j \text{ 为偶数}, \\ 0 & i-j \text{ 为奇数} \end{cases}, \quad (7)$$

式中 m, n 为 Zernike 多项式的角向次数和径向次数, D 为光束口径, r_0 为大气相干长度, 平面波的相干长度 $r_0 = (1.4572k^2 C_n^2 z)^{-3/5}$ ^[14], z 为传输距离, C_n^2 为大气的折射率结构常数。 $\mathbf{\Gamma}_a$ 为实对称矩阵, 可以进行奇异值分解

$$\mathbf{\Gamma}_a = \mathbf{U}^{-1} \mathbf{S} \mathbf{U}, \quad (8)$$

系数向量 \mathbf{a} 可表示为^[15]

$$\mathbf{a} = \mathbf{U}^{-1} \mathbf{b}, \quad (9)$$

\mathbf{b} 是满足均值为 0, 方差为 S 对角线上对应元素值的一组随机数。根据(7)~(9)式可以求出任意相干长度下 Zernike 多项式系数, 代入(4), (5)式即可构造相应的相位屏。 Zernike 多项式取到第 100 阶。

3 数值分析

根据理论模型, 对 7 单元自适应锁相光纤激光阵列在湍流大气中的传输进行计算。扩束准直后单路光束的口径取 $d=6$ cm, 整个激光阵列的口径为 $D=18$ cm。传输距离为 $z=10$ km, 在此段传输路径上设置 10 个相位屏, $\Delta z=1$ km。垂直于传播方向上光场的复振幅分布用大小为 512×512 的网格来描述, 为了防止传输过程中由于随机散射作用造成的能量逸出^[14], 在计算网格周围设置与网格同样大小的零能量“防护墙”, 实际计算时网格大小为 1024×1024 。

为了比较激光阵列在不同强度的湍流大气中的传输特性, 研究了折射率结构常数 $C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, $5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ 和 $1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ 的三种情形。利用 Zernike 多项式产生的部分湍流相

位屏如图 3 所示。

利用湍流相位屏可以对自适应锁相光纤激光阵列的传输进行数值计算。由于湍流相位屏的随机性, 对 100 次的计算结果取平均作为最终的光强分布。对折射率结构常数分别为 $C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, $5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ 和 $1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ 的三种不同强度的湍流大气, 活塞像差和倾斜像差得到校正的自适应锁相光纤激光阵列经过 10 个相位屏后传输至 $z=10$ km 处的远场光强分布如图 4(a), (c), (e) 所示。相应地, 对于未校正活塞像差和倾斜像差的相干合成光纤激光阵列, 经过三种不同强度的湍流大气后, $z=10$ km 处的远场光强分布如图 4(b), (d), (f) 所示。

图 5 为自适应光纤激光阵列在真空中传输 10 km 后远场的光强分布。比较图 4, 5 可以得出, 当湍流强度较弱(如 $C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$) 时, 湍流大气对激光阵列的传输影响较小, 光斑的形状基本保持不变, 活塞像差和倾斜像差的校正与否也基本不影响光斑的能量集中度。随着湍流强度的增强, 光斑扩展和能量的弥散速度加快, 光束的能量集中度降低。与未校正活塞像差和倾斜像差的相干合成光纤激光阵列相比, 自适应锁相光纤激光阵列的远场光强能量集中度具有明显的优势。

为了定量分析湍流强度对自适应光纤激光阵列传输的影响, 引入光束质量因子(BPF)^[16~18]用于评价合成光束的质量。BPF 定义为

$$\text{BPF} = P/P_{\text{DL}}, \quad (10)$$

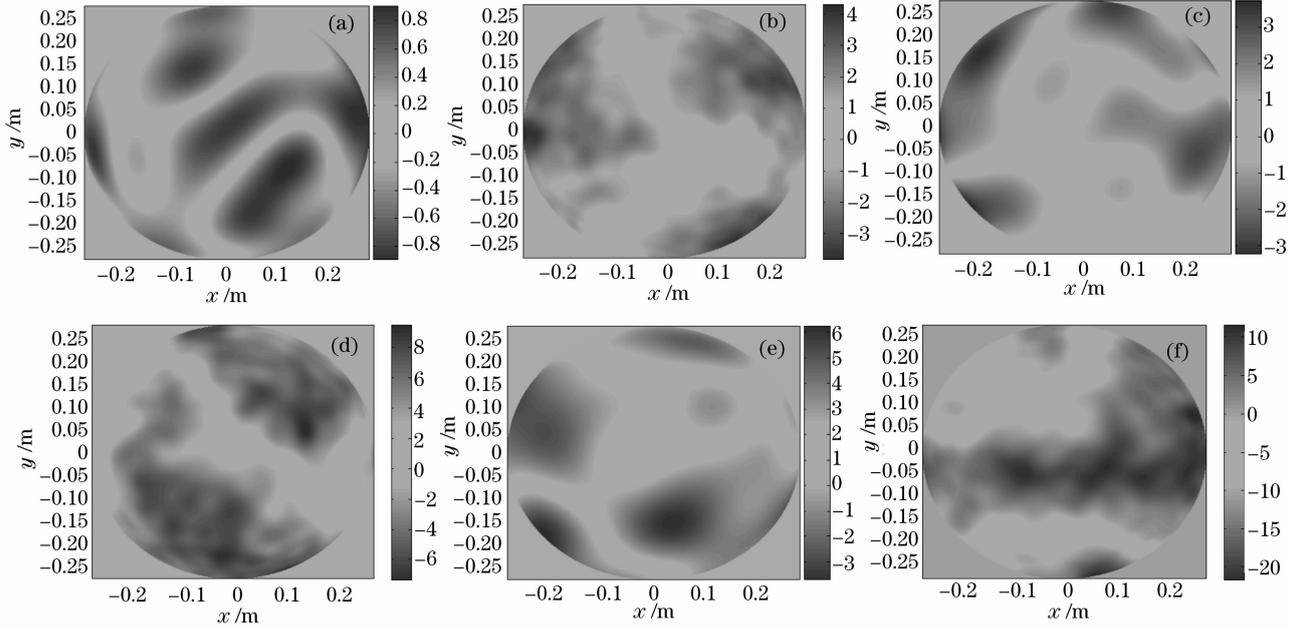


图 3 利用 Zernike 多项式产生的湍流相位屏。(a) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 不含活塞和倾斜像差; (b) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 含活塞和倾斜像差; (c) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 不含活塞和倾斜像差; (d) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 含活塞和倾斜像差; (e) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, 不含活塞和倾斜像差; (f) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, 含活塞和倾斜像差

Fig. 3 Phase screens generated by using Zernike polynomials. (a) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, excluding piston and tip-tilt errors; (b) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, including piston and tip-tilt errors; (c) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, excluding piston and tip-tilt errors; (d) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, including piston and tip-tilt errors; (e) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, excluding piston and tip-tilt errors; (f) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, including piston and tip-tilt errors

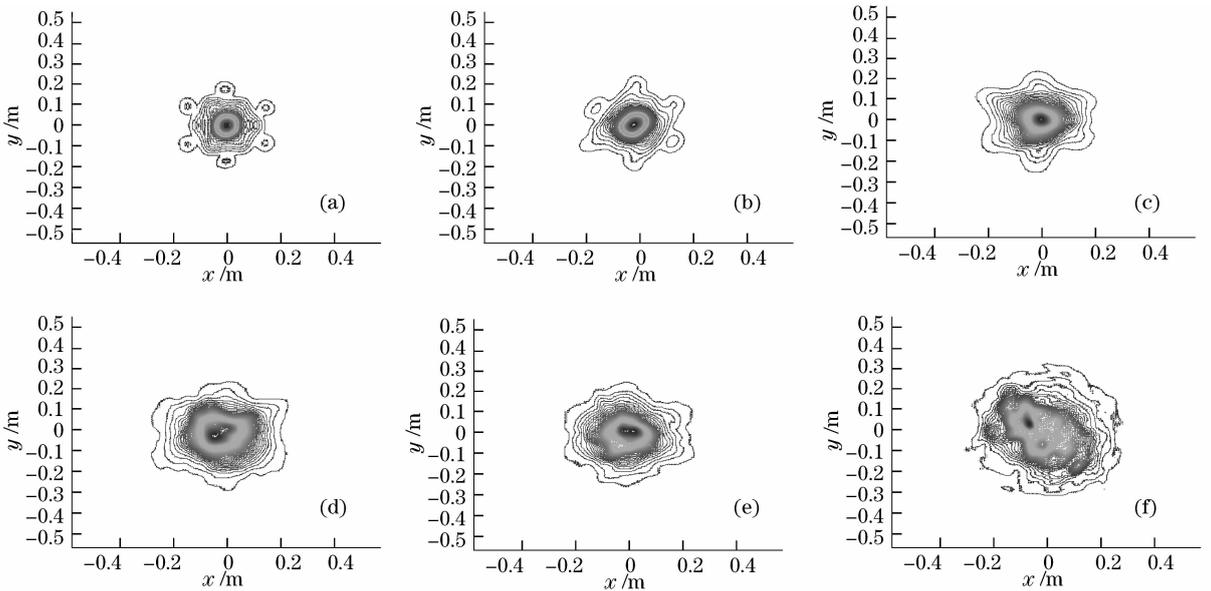


图 4 光纤激光阵列传输至远场处的光强分布。(a) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 不含活塞和倾斜像差; (b) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 含活塞和倾斜像差; (c) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 不含活塞和倾斜像差; (d) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, 含活塞和倾斜像差; (e) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, 不含活塞和倾斜像差; (f) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, 含活塞和倾斜像差

Fig. 4 Far-field intensity distribution of fiber laser beam array propagating in different turbulent atmosphere. (a) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, excluding piston and tip-tilt errors; (b) $C_n^2=1\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, including piston and tip-tilt errors; (c) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, excluding piston and tip-tilt errors; (d) $C_n^2=5\times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$, including piston and tip-tilt errors; (e) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, excluding piston and tip-tilt errors; (f) $C_n^2=1\times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$, including piston and tip-tilt errors

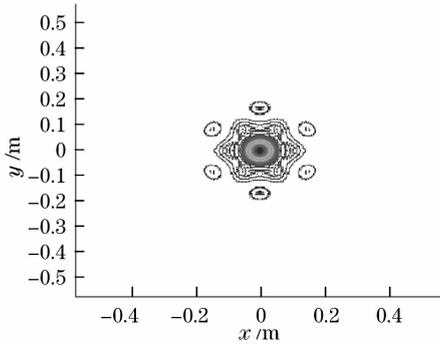


图5 光纤激光阵列在真空中传输至远场处的光强分布

Fig. 5 Far-field intensity distribution of fiber laser beam array propagating in free-space

其中 P 定义为远场半径为 $(1.22\lambda L/D)$ 大小的桶中能量; P_{DL} 为激光器阵列输出光束的总能量。实际上,远场半径为 $(1.22\lambda L/D)$ 是从理想均匀平面波的圆孔衍射极限环的大小,判断这个半径内远场能量的多少从本质而言就是光纤激光阵列与阵列相同口径的理想均匀平面波在真空中传输效果的差别。表1给出了光纤激光阵列在不同强度湍流大气中传输至10 km 远场处的 BPF 值。当 $C_n^2 = 5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ 时,未校正活塞像差和倾斜像差的光纤激光阵列传输至远场处衍射极限环内的能量仅为理想情形下的一半左右,而此时自适应锁相光纤激光阵列的 BPF 大小为理想情形下的 86%;当 $C_n^2 = 1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ 时,自适应锁相光纤激光阵列的 BPF 大小仍为理想情形下的 70%。需要说明的是,在计算自适应锁相光纤激光阵列的大气传输性能时,假设自适应光学校正是完全的,即利用 SPGD 算法能够完全校正每路光束的活塞像差和倾斜像差。实际上各种像差特性是时变的,而 SPGD 算法需要执行一定的迭代步骤才能给出正确的像差补偿信号^[4],因此自适应锁相光纤激光阵列对像差的校正带宽有限,文章尚未考虑系统对动态误差的校正特性。

表1 光纤激光阵列在不同强度湍流大气中传输至 10 km 远场处的 BPF 值

Table 1 BPF value for fiber laser array propagating in different turbulent atmosphere

	BPF without correcting piston and tip-tilt error	BPF of adaptive phase-locked fiber laser array
Free space	0.60	0.60
$C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$	0.58	0.59
$C_n^2 = 5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$	0.33	0.52
$C_n^2 = 1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$	0.23	0.42

4 结 论

分析了自适应锁相光纤激光阵列的湍流大气传输性能,利用多相位屏法对自适应锁相光纤激光阵列在不同强度湍流大气中的传输进行了模拟和数值计算,引入 BPF 对湍流大气的影响进行定量分析。计算结果表明,当湍流强度较弱(如 $C_n^2 = 1 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$) 时,湍流大气对激光阵列的传输影响较小,光强分布与在真空中传输效果基本一致。当 $C_n^2 = 5 \times 10^{-15} \text{ m}^{-2/3}$ 时,自适应锁相光纤激光阵列的 BPF 大小为理想情形下的 86%,当 $C_n^2 = 1 \times 10^{-14} \text{ m}^{-2/3}$ 时,自适应锁相光纤激光阵列的 BPF 大小仍为理想情形下的 70%;对应的未校正活塞像差和倾斜像差的光纤激光阵列传输至远场处的 BPF 值分别为理想情形下的 55% 和 38%。尽管随着湍流强度的增强,自适应锁相光纤激光阵列在远场处光斑扩展和能量的弥散速度加快,光束的能量集中度降低,与未校正活塞像差和倾斜像差的相干合成光纤激光阵列相比,自适应锁相光纤激光阵列的远场光强能量集中度具有明显的优势。

参 考 文 献

- Mikhail Vorontsov. Adaptive photonics phase-locked elements (APPLE): system architecture and wavefront control concept [C]. *SPIE*, 2005, **5895**: 589501
- Svetlana L. Lachinova, Mikhail A. Vorontsova performance analysis of an adaptive phase-locked tiled fiber array in atmospheric turbulence conditions [C]. *SPIE*, 2005, **5895**: 589500
- Terry A. Dorschner. Adaptive photonic phase locked elements [R]. MTO Symposium March, 2007
- Ling Liu, Mikhail A. Vorontsov, Ernst Polnau *et al.*. Adaptive phase-locked fiber array with wavefront phase tip-tilt compensation using piezoelectric fiber positioners [C]. *SPIE*, **6708**: 67080K
- Bing He, Qihong Lou, Jun Zhou *et al.*. 113-W in-phase mode output from two ytterbium-doped large-core double-cladding fiber lasers[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(7): 412~414
- He Bing, Lou Qihong, Zhou Jun *et al.*. Phase-locking and high coherent power output of two fiber lasers[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(9): 1153~1158
何兵,楼祺洪,周军等.两个光纤激光器的相位锁定及高相干功率输出[J]. *中国激光*, 2006, **33**(9): 1153~1158
- Chu Xiuxiang, Liu Zejin, Wu Yi. Propagation of a general multi-Gaussian beam in turbulent atmosphere in a slant path[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2008, **25**(1): 74~79
- Y. Cai, Y. Chen, H. T. Eyyuboglu *et al.*. Propagation of laser array beams in a turbulent atmosphere[J]. *Appl. Phys. B*, 2007, **88**: 467~475
- Zhou Pu, Xu Xiaojun, Liu Zejin *et al.*. Propagation of coherently combined laser beam in turbulent atmosphere[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(11): 2051~2056
周朴,许晓军,刘泽金等.相干合成光束在湍流大气中的传输[J]. *光学学报*, 2008, **28**(11): 2051~2056
- Pu Zhou, Zejin Liu, Xiaojun Xu *et al.*. Influence of turbulent

- atmosphere on the far-field coherent combined beam quality[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2009, **7**(1): 39~42
- 11 Leonid A. Beresnev, Mikhail A. Vorontsov. Design of adaptive fiber optics collimator for free-space communication laser transceiver[C]. *SPIE*, 2005, **5895**: 58950R
- 12 R. J. Noll. Zernike polynomials and atmospheric turbulence[J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**: 207~211
- 13 J. A. Fleck, J. R. Morris. Time-dependent propagation of high energy laser beams through the atmosphere[J]. *Appl. Phys.*, 1976, **10**: 129~160
- 14 Rao Ruizhong. Light Propagation in the Turbulent Atmosphere [M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2005
饶瑞中. 光在湍流大气中的传播[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2005
- 15 N. Roddier. Atmospheric wave-front simulation using Zernike polynomial[J]. *Opt. Eng.*, 1990, **29**: 1174~1180
- 16 <http://www.darpa.mil/mto/programs/adhels/index.htm>. Architecture for Diode High Energy Laser Systems.
- 17 Svetlana L. Lachinova, Mikhail A. Vorontsov. Laser beam projection with adaptive array of fiber collimators. II. Analysis of atmospheric compensation efficiency[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2008, **25**: 1960~1973
- 18 Svetlana L. Lachinova, Mikhail A. Vorontsov. Laser beam projection with adaptive array of fiber collimators. I. Basic considerations for analysis[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2008, **25**: 1949~1959

《中国激光》“激光医学与生物光子学”专题征稿启事

光学技术特别是激光技术的快速发展给生物医学成像、传感以及诊断学领域带来了重大变革,并产生了巨大影响。激光医学与生物光子学作为一门新兴的交叉性学科,为生物医学的应用发展及基础理论研究提供了有利的条件。它结合多个学科,探索光子学技术在生物研究及医学诊断与治疗中的应用,已成为国际上迅速发展的领域并取得了诸多令人兴奋的成就。《中国激光》计划于2009年9月正刊(EI核心收录)上推出“激光医学与生物光子学”专题栏目,现特向国内外广大读者以及作者征集“激光医学与生物光子学”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该领域基础理论的研究进展以及最先进的临床试验水平。

征稿范围包括:

- 激光医学与生物光子学的基础研究
- 激光治疗
- 生物光学成像技术
- 非侵入性光学诊断
- 生物光学传感技术
- 生物光学器件
- 光动力学疗法
- 其他

特邀组稿专家(以姓氏笔划为序):

丁志华 教授 浙江大学信息科学与工程学院 E-mail: zh_ding@zju.edu.cn

张镇西 教授 西安交通大学生命科学与技术学院 E-mail: zxzhang@mail.xjtu.edu.cn

瞿佳男 教授 香港科技大学电子及计算机工程系 E-mail: eequ@ust.hk

截稿日期: 2009年6月30日

投稿方式以及格式:

可直接将稿件电子版发给“激光医学与生物光子学”专题组稿专家(主题标明“光医学与生物光子学专题”投稿),或通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“激光医学与生物光子学专题”投稿),详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/zgig.htm>。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用 MS-word 格式,有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn ;电话: 021-69918427。

《中国激光》编辑部