



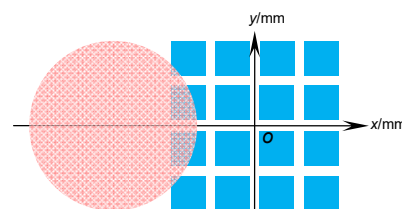
DOI: 10.12086/oe.2021.210039

# 大视场阵列探测器归心算法研究

刘好伟<sup>1,2</sup>, 吴志勇<sup>1,2\*</sup>, 吴佳彬<sup>1</sup>, 陈云善<sup>1,2</sup>,  
高世杰<sup>1,2</sup>, 霍力<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049



**摘要:** 为了实现空间光通信系统小型化、一体化设计, 建立了基于阵列探测器和快速偏转镜的一体化跟踪系统, 通过分析阵列探测器的光斑位置检测原理提出了一种归心算法。首先通过设置阈值, 设计了光斑不完全覆盖探测器的粗归心策略; 然后采用数据库查询的方法完成精归心, 最后采用无穷积分法使光斑归至原点附近; 通过搭建试验平台验证了算法的正确性和可行性。实验结果表明: 跟踪视场可达 70.3 mrad, 较原算法视场扩大了约 3 倍, 跟踪最大误差优于 1.8  $\mu$ rad, 为空间光通信系统的进一步工程化应用奠定了基础。

**关键词:** 阵列探测器; 光斑位置检测; 归心算法; 快速偏转镜

**中图分类号:** TB872; TN929.1

**文献标志码:** A

刘好伟, 吴志勇, 吴佳彬, 等. 大视场阵列探测器归心算法研究[J]. 光电工程, 2021, 48(6): 210039

Liu H W, Wu Z Y, Wu J B, et al. Research on centering algorithm of array detector with large field of view[J]. Opto-Electron Eng, 2021, 48(6): 210039

## Research on centering algorithm of array detector with large field of view

Liu Haowei<sup>1,2</sup>, Wu Zhiyong<sup>1,2\*</sup>, Wu Jiabin<sup>1</sup>, Cheng Yunshan<sup>1,2</sup>, Gao Shijie<sup>1,2</sup>, Huo Li<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China;

<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** In order to realize the miniaturization and integration design of space optical communication system, an integrated tracking system based on the array detector and the fast deflection mirror is established. By analyzing the principle of spot position detection of array detector, a centering algorithm is proposed. Firstly, the coarse centering strategy is designed by setting the threshold value. Then, the fine centering is completed by using the database query method. Thirdly, the infinite integral method is used to make the spot return to the origin. Finally, the correctness and feasibility of the algorithm are verified by building an experimental platform. The experimental results show that the tracking field of view can reach 70.3 mrad, which is about 3 times larger than that of the original algorithm, and the maximum tracking error is better than 1.8  $\mu$ rad, which lays a foundation for further engineering application of the space optical communication system.

**Keywords:** array detector; spot location detection; centering algorithm; fast steering mirror

收稿日期: 2021-01-27; 收到修改稿日期: 2021-04-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52075520)

作者简介: 刘好伟(1994-), 男, 硕士, 主要从事激光通信方面的研究。E-mail: lhwfpga@163.com

通信作者: 吴志勇(1965-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事光电测控总体技术和光通信技术的研究。E-mail: wuzy@ciomp.ac.cn

版权所有©2021 中国科学院光电技术研究所

## 1 引言

自由空间光通信(Free space optical communication, FSO)具有通信速率高、安全保密性好和抗干扰能力强等优点, 广泛用于应急和军事通信领域中, 一体化和小型化成为当前空间光通信系统的发展趋势之一<sup>[1-3]</sup>。

当前捕获(acquisition)、对准(pointing)、跟踪(tracking)(APT)系统主要采用复合轴的跟踪控制策略, 粗跟踪常采用相机完成捕获和粗跟踪任务, 以满足 mrad 量级的大视场要求<sup>[4-5]</sup>。精跟踪常采用四象限探测器利用高精度的光斑位置算法以提供  $\mu\text{rad}$  量级精度的脱靶量信息<sup>[6-9]</sup>。为进一步实现 FSO 小型化目标, 多位学者提出了粗、精跟踪一体化的方案, 粗跟踪和精跟踪共用一个探测器实现。文献[10]和[11]用面阵电子耦合器件(charge-coupled device, CCD)和开窗方式建立了粗、精跟踪一体化系统, 跟踪视场可达 1.9 mrad, 跟踪精度优于 2  $\mu\text{rad}$ 。但面阵 CCD 开窗数据处理复杂, 精度受到像元尺寸限制。文献[12-14]采用阵列探测器和快速偏转镜搭建了一体化跟踪系统, 最大跟踪视场达到 21.3 mrad, 跟踪精度优于 4.9  $\mu\text{rad}$ 。但仅讨论了光斑完全在探测器中的情况, 跟踪视场受到制约<sup>[12-14]</sup>。

本文在前人研究的基础上, 提出一种基于阵列探测器和快速偏转镜的归心算法, 不仅实现了粗、精跟踪一体化, 而且可实现不全在探测器中的光斑归心, 保证精度的同时, 进一步扩大了视场。并搭建实验验证系统, 实验结果表明捕获跟踪视场可达 70.3 mrad, 相比于原算法的视场扩大约 3 倍, 跟踪精度优于 1.8  $\mu\text{rad}$ , 对空间光通信系统的工程化应用具有重要意义。

## 2 阵列探测器光斑位置检测原理

阵列探测器光斑位置检测原理是根据各个探测单

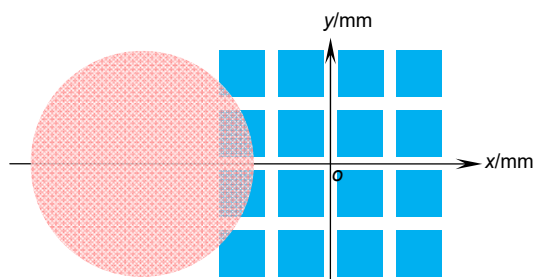


图 1 光斑位置检测原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the spot position detection

元输出的电流值计算得到光斑的相对位置和归心位移量。由于 X 轴和 Y 轴的检测原理相同, 且相互独立, 本文仅讨论 X 轴坐标值代表光斑位置的情况, Y 轴与 X 轴结论类似。

如图 1 所示, 高斯光斑照在探测单元边长为  $w$  的  $4 \times 4$  阵列探测器上, 其中死区宽度为  $d$ , 若光敏面( $x, y$ )处的光能量表示为

$$D(x, y) = \frac{I^2 \exp(-2 \frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{R^2})}{R^2}, \quad (1)$$

则每个探测单元的光电流可以表示为

$$I_{ij} = P_\lambda \int_{A_{ij}}^{B_{ij}} \int_{C_{ij}}^{D_{ij}} D(x, y) dx dy, \quad (2)$$

其中:  $I$  是光斑中心能量,  $(x_0, y_0)$  是光斑中心的位置,  $R$  是束腰半径, 其中  $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$ 、 $C_{ij}$ 、 $D_{ij}$  分别为被积分探测单元 X 轴和 Y 轴的积分上下限。 $P_\lambda$  是阵列探测器的响应度。 $I_{ij}$  代表第  $i$  行第  $j$  列探测单元的光电流, 其中  $i, j=1, 2, 3, 4$ 。

根据每列电流值的大小可判断 X 轴光斑的移动方向, 即:

$$I_- = \sum_{i=1}^4 I_{i1} + \sum_{i=1}^4 I_{i2} - \sum_{i=1}^4 I_{i3} - \sum_{i=1}^4 I_{i4}, \quad (3)$$

其中:  $I_- < 0$ 、 $I_- > 0$  和  $I_- = 0$  分别代表光斑向左移动、向右移动和在探测器中心。若采用小步长多次移动或大步长 Y 轴衰弱震荡可以使光斑到达探测器中心, 但用时较多。因此本文提出了归心算法。

## 3 算法及仿真

### 3.1 基于阵列探测器的跟踪系统及归心算法

基于阵列探测器和快速偏转镜的跟踪系统框图如图 2 所示, 激光照射在快速偏转镜上, 反射的光经过透镜聚光投影在离焦使用的阵列探测器上, 电移动平

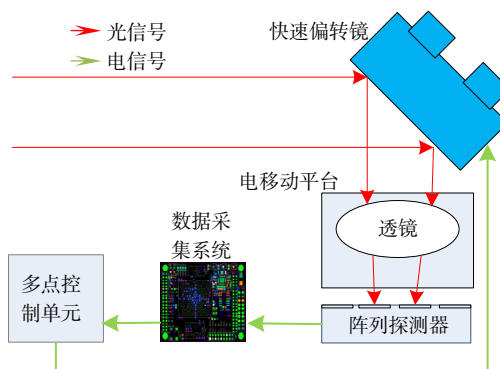


图 2 跟踪系统框图

Fig. 2 Tracking system block diagram

台可控制透镜与阵列探测器的距离, 从而改变照射在阵列探测器上的光斑大小, 探测器输出的电信号经过数据采集系统传给多点控制单元, 进而控制快速偏转镜构成闭环跟踪系统。

根据以上系统提出归心算法, 在设定阈值后分三步进行: 粗归心、精归心和归原点。

归心算法框图如图 3 所示。

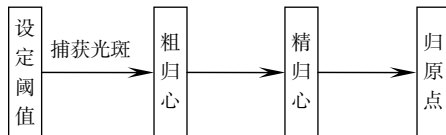


图 3 归心算法框图

Fig. 3 Block diagram of the centering algorithm

### 3.1.1 粗归心算法

首先利用式(3)判断移动方向, 将未完全覆盖探测器的光斑移动至探测器的范围内, 具体算法如下:

- 1) 选择出各列探测单元最大电流值:

$$I_{j\max} = \max(I_{1j}, I_{2j}, I_{3j}, I_{4j}) \quad (4)$$

- 2) 判断有几个  $I_{j\max}$  大于或等于阈值:

$$n_j = \begin{cases} 0, & I_{j\max} < I_{CT} \\ 1, & I_{j\max} \geq I_{CT} \end{cases} \quad (5)$$

$$n = \sum_{j=1}^4 n_j \quad (6)$$

- 3) 计算移动距离:

$$l = (4 - n) \times (w + d) \quad (7)$$

其中:  $I_{CT}$  代表电流阈值(current threshold), 光斑直径为  $D_{\max} = 4w + 3d$ , 光斑中心在  $(3R + 3d, 0)$  时, 第二行第二列探测单元的电流值  $I_{22}$ ,  $n$  代表光斑覆盖的探测器的列数,  $l$  代表光斑的移动距离。例如  $n_1=1, n_2=0, n_3=0, n_4=0$  则  $n=1$ , 代入式(7)中, 得到:  $l=3 \times (w+d)$ ,  $w$  和  $d$  为定值,  $l$  即粗归心移动距离。

### 3.1.2 精归心算法

在得到粗归心移动距离后, 利用数据库查询法, 将光斑移动到横坐标轴  $\pm 0.1$  mm 范围内, 图 4 是数据库的标定和测量过程。

首先是标定数据库, 当光斑同时覆盖 4 列探测器时, 根据文献[12]可以得到:

$$l_{\min} = \frac{(I_1 + I_2) - (I_3 + I_4)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (8)$$

其中:  $I_j$  代表第  $j$  列电流值, 当光斑中心在  $\pm 1.3$  mm 的范围内时, 每隔 0.1 mm 求一次解算值  $l_{\min}$ , 建立光斑移动步长、方向和  $l_{\min}$  对应的数据库, 检测时可根据

解算值  $l_{\min}$  将光斑移动到  $\pm 0.1$  mm 的范围内。举例说明, 如表 1 所示。

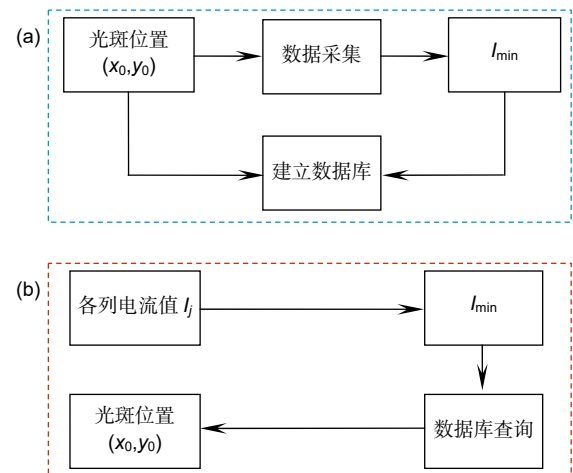


图 4 数据库的标定(a)和测量(b)过程

Fig. 4 Calibration (a) and measurement (b) process of the database

表 1 数据库查询表

Table 1 Database query table

| 边界         | 1               | 2             | 3             |
|------------|-----------------|---------------|---------------|
| $l_{\min}$ | $[-0.65, -0.6)$ | $[0.5, 0.55)$ | $[0.2, 0.25)$ |
| 步长/mm      | 1.3             | 1.1           | 0.5           |
| 方向         | 向左              | 向右            | 向右            |

当  $l_{\min}$  的取值范围在  $[-0.65, -0.6)$  时, 光斑向左移动 1.3 mm; 当  $l_{\min}$  的取值范围在  $[0.5, 0.55)$  时, 光斑向右移动 1.1 mm; 当  $l_{\min}$  的取值范围在  $[0.2, 0.25)$  时, 光斑向右移动 0.5 mm。移动后光斑在  $x$  轴  $\pm 0.1$  mm 范围内。

### 3.1.3 归原点算法

在精归心后, 通过调节透镜后焦距将光斑直径调为  $D_{\min} = d + w$ , 归原点算法是使归心精度提高到  $\mu\text{m}$  量级, 具体算法如下。由探测器中心的四个探测单元的电流值  $I_{22}$ 、 $I_{23}$ 、 $I_{32}$ 、 $I_{33}$  可以得到解算值:

$$\sigma_x = \frac{(I_{22} + I_{32}) - (I_{23} + I_{33})}{I_{22} + I_{32} + I_{23} + I_{33}} \quad (9)$$

将式(1)和式(2)代入到式(9)中结合无穷积分法得到解算值:

$$\sigma_x \approx \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^0 D(x, y) dx dy - \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} D(x, y) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(x, y) dx dy} \quad (10)$$

$$\sigma_x \approx \frac{\frac{I^2 \pi}{4} (1 + \operatorname{erf}(\frac{\sqrt{2}}{R} x_0)) - \frac{I^2 \pi}{4} (1 - \operatorname{erf}(\frac{\sqrt{2}}{R} x_0))}{\frac{I^2 \pi}{2}} \quad (11)$$

$$\sigma_x \approx \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{2}x}{R}\right), \quad (12)$$

其中  $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$  为误差函数, 函数关系是‘S’曲线, 对式(12)左右两边取反函数化简得到:

$$x_1 = \frac{\operatorname{erf}^{-1}(\sigma_0)R}{\sqrt{2}}. \quad (13)$$

根据  $x_1$  将光斑移至探测器中心。

### 3.2 归心算法仿真

本系统阵列探测器的视场如图 5 所示。光斑直径为  $D_{\max}$  时透镜的后焦距是

$$L_{\max} = \frac{f \times (H - 2D_{\max})}{H}. \quad (14)$$

光斑直径为  $D_{\min}$  时透镜的后焦距是

$$L_{\min} = \frac{f \times (H - D_{\min})}{H}. \quad (15)$$

光斑的位置坐标转换成快速偏转镜的角度

$$\alpha = \arctan\left(\frac{x_1}{L}\right), \quad (16)$$

式中:  $\alpha$  是光斑位置对应的角度,  $L$  是透镜后焦距,  $H$  是入瞳口径, 采用归心算法粗、精跟踪探测最远距离  $x_1$  分别是  $2 \times (D_{\max} + d)$ 、 $D_{\min}$ , 采用文献[12]中传统算法粗跟踪探测最远位置  $x_0$  是  $D_{\max} - D_{\min}$ , 将式(14)、式(15)代入式(16)中, 得到归心算法粗、精跟踪视场分别为 68.812 mrad、6.097 mrad, 传统算法粗跟踪视场为 21.3 mrad。

对光斑直径为  $D_{\max}$  的情况进行仿真, 光斑移动 1 mm 对应快速偏转镜转动 6.619 mrad, 光斑在  $\pm 34.406$  mrad 范围时, 每隔 1  $\mu$ rad 取一个点, 这些点设定为光斑的原始坐标, 然后对每个点依次采用粗归心、精归

心算法归心, 记录每次移动后的角度。仿真结果如图 6 所示。横坐标代表试验次数, 纵坐标代表光斑位置对应的角度, 经过粗、精归心后的光斑分别在  $\pm 8.605$  mrad、 $\pm 0.662$  mrad 范围内, 达到预期指标。

其次是对光斑直径为  $D_{\min}$  的情况进行仿真, 横坐标  $\sigma_x$  是电流解算值, 纵坐标  $x_1$  是采用无穷积分法解算出的光斑位置, 仿真如图 7 所示。其中位置理论值是光斑质心的实际位置, 位置解算值是光斑通过解算电流值求到的光斑位置。可知在  $\pm 4.965$  mrad 范围内具有良好的线性度, 在  $\pm 0.662$  mrad 范围内的最大误差是 1.7209  $\mu$ rad。

## 4 搭建试验平台并验证

### 4.1 搭建试验平台

本文搭建的实验平台, 如图 8 所示。FC-850-020-SM 单模激光器发出能量连续可调的激光, 经过平行

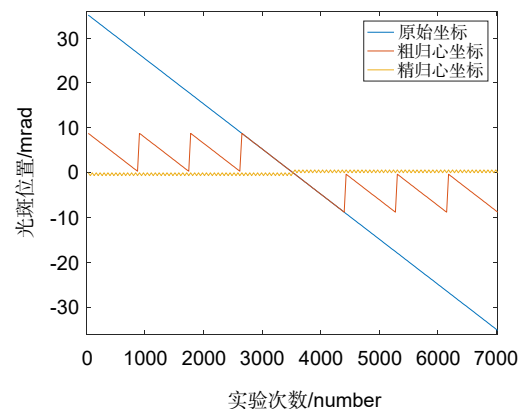


图 6 原始、粗归心、精归心坐标的对比图

Fig. 6 Comparisons of the original, coarse, and fine centering coordinates

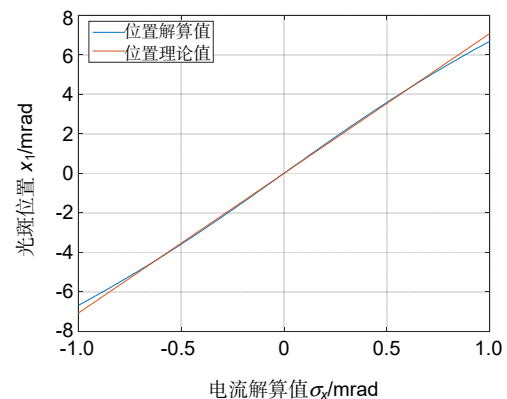


图 7 解算值与理论值对比图

Fig. 7 Comparisons of the calculated value and the theoretical value

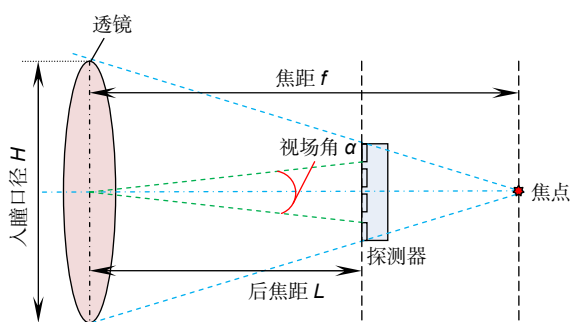


图 5 阵列探测器视场原理图

Fig. 5 Schematic diagram of the field of view for array detector

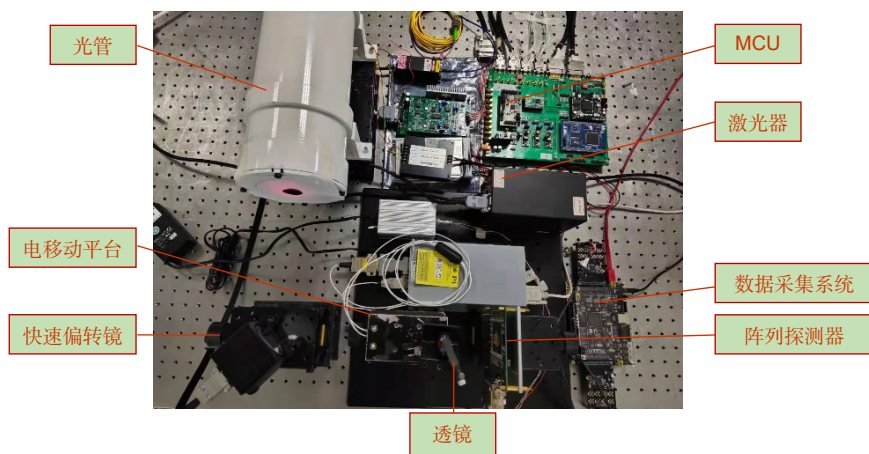


图 8 实验平台实物图

Fig. 8 Physical picture of the experimental platform

光管, 照射在由多点控制单元闭环控制的快速偏转镜(分辨率为  $1 \mu\text{rad}$ )上, 经过焦距为  $200 \text{ mm}$  的透镜(位置受到 PI 公司的 N-644.3A 电移动平台控制)聚光后, 光斑投影在离焦使用的  $4 \times 4$  阵列探测器(型号为 MOD1-25)上, 阵列探测器输出光电流传给数据采集系统, 数字信号传给多点控制单元, 进而控制快速偏转镜, 实现归心算法。

#### 4.2 归心算法试验验证

搭建好实验平台后, 调节光斑直径为  $D_{\min}$ , 对粗跟踪视场范围内的实验点按照归心算法依次进行粗归心、精归心和归原点, 记录每次移动后的光斑位置, 接下来详细介绍以上步骤。

##### 4.2.1 粗归心的算法试验验证

按照粗归心算法确定阈值  $I_{CT}$ 。调整快速偏转镜在

$\pm 35.15 \text{ mrad}$  范围内每隔  $0.1 \text{ mrad}$  进行一次粗归心, 记录每次移动前后快速偏转镜的角度。

如图 9 所示, 横坐标是光斑初始位置, 纵坐标是光斑粗归心后的位置。移动后的光斑均在  $\pm 8.603 \text{ mrad}$  范围内, 变化趋势也和仿真结果相同, 此时光斑同时覆盖 4 列探测器, 为精归心做好准备。

##### 4.2.2 精归心的算法试验验证

精归心算法采用的是数据库查询法, 首先将光斑调整在  $\pm 8.605 \text{ mrad}$  范围内, 每隔  $0.662 \text{ mrad}$  选一个点测定解算值  $l_{\min}$ , 建立每个点角度和解算值  $l_{\min}$  之间的数据关系。其次让光斑中心在  $\pm 8.603 \text{ mrad}$  范围内, 每隔  $0.001 \text{ mrad}$  按照精归心算法进行归心, 归心后调节光斑大小为  $D_{\min}$ , 结果如图 10 所示。因为采用的是数据库查询法, 共分为 26 个区间, 每个区间的结果类似。

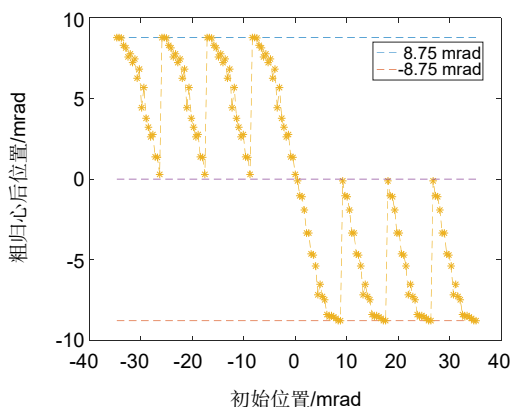


图 9 粗归心算法实验结果

Fig. 9 Experimental results of rough centering algorithm

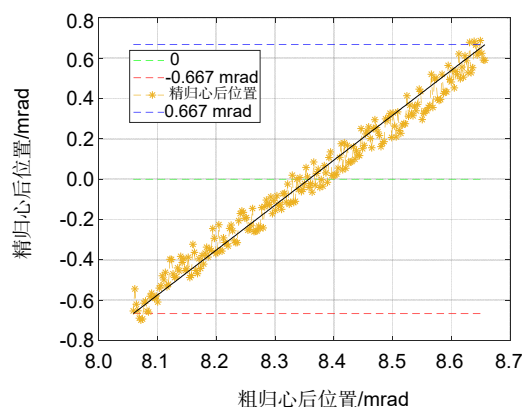


图 10 精归心后光斑位置折线图

Fig. 10 Line chart of the spot position after fine centering

因此图 10 只给出了光斑在 8.059 mrad 到 8.662 mrad 范围的光斑位置结果。横坐标代表光斑粗归心后的角度, 纵坐标代表精归心后的角度, 试验结果表明精归心后的光斑均在 $\pm 0.662$  mrad 范围内, 在仿真结果的线性范围内, 变化趋势与仿真结果一致。

#### 4.2.3 归原点的算法试验验证

调整光斑直径为  $D_{\min}$ , 光斑在 $\pm 0.662$  mrad 范围时, 每隔  $1 \mu\text{rad}$  取一个测试点。按照归原点算法调整光斑位置, 记录移动前后光斑的位置信息。横坐标是精归心后光斑位置, 纵坐标是光斑归原点后的误差, 结果如图 11 所示, 最大误差为  $1.8 \mu\text{rad}$ , 和仿真结果最大误差  $1.7209 \mu\text{rad}$  一致。

#### 4.2.4 跟踪视场的实验验证

在设定阈值为  $0.1 \text{ mA}$  的情况下, 可以采用归心算法实现归心, 此时光斑归心前的最大测量角度是  $35.15$

mrad。如图 12 所示, 横坐标代表光斑角度, 纵坐标代表每列探测单元最大电流值, 从图 12 可知粗跟踪视场为  $70.3 \text{ mrad}$ , 从图 13 可知精跟踪视场为  $6.667 \text{ mrad}$ , 文献[12]中视场为  $21.3 \text{ mrad}$ , 试验结果和仿真结果相差不大, 在误差允许范围内。

## 5 结 论

本文基于阵列探测器提出了光斑的归心算法, 由粗归心、精归心和归原点三步完成。搭建了基于阵列探测器和快速偏转镜的一体化系统。研究结果表明, 系统可对不完全在探测器中的光斑归心, 归心后可直接进行精跟踪, 归心算法粗跟踪视场可达  $70.3 \text{ mrad}$ , 精跟踪视场可达  $6.667 \text{ mrad}$ , 归心后的最大误差优于  $1.8 \mu\text{rad}$ 。本研究为空间光通信系统的进一步工程化应用奠定了基础。

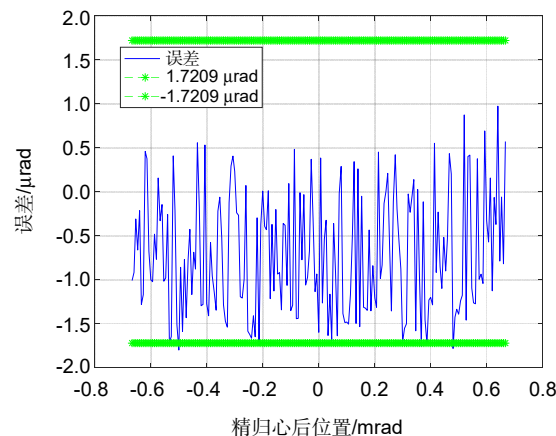


图 11 归原点算法误差折线图

Fig. 11 Error line chart of the homing algorithm

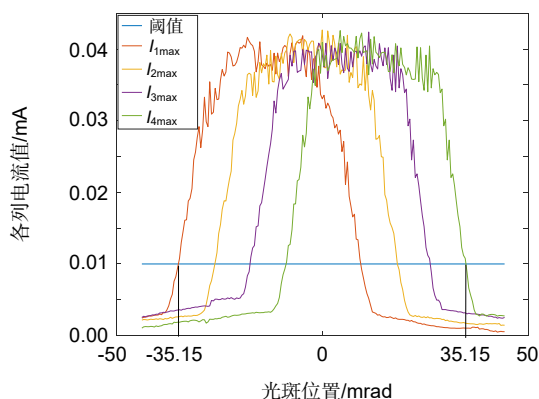


图 12 粗跟踪视场实验图

Fig. 12 Experimental picture of rough tracking field of view

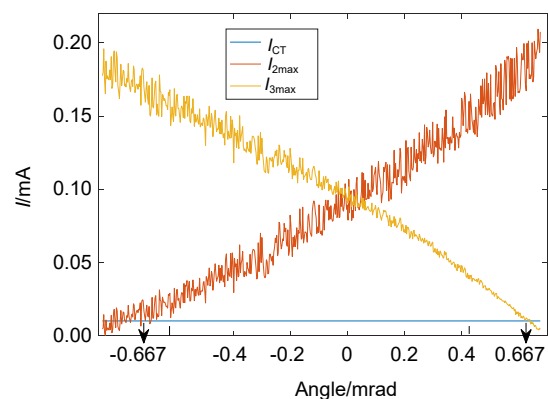


图 13 精跟踪视场判断图

Fig. 13 Carefully track the field-of-view judgment map

## 参考文献

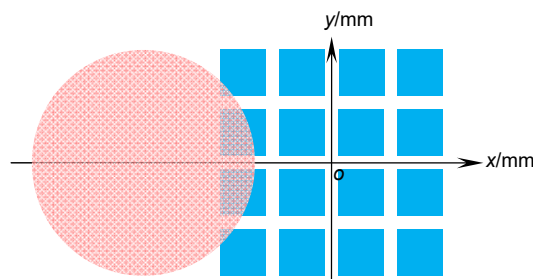
- [1] Wang T S, Lin P, Dong F. *et al.* Progress and prospect of space laser communication technology[J]. *Strateg Study CAE*, 2020, **22**(3): 92–99.  
王天枢, 林鹏, 董芳, 等. 空间激光通信技术发展现状及展望[J]. 中国工程科学, 2020, **22**(3): 92–99.
- [2] Guo Q, Song P, Zhang Z Q. *et al.* Research on the key technology of turbulence suppression for atmospheric optical laser communication based on OFDM[J]. *Opto-Electron Eng*, 2020, **47**(3): 190619.  
郭倩, 宋鹏, 张周强, 等. 基于 OFDM 的大气激光通信湍流抑制关键技术研究[J]. 光电工程, 2020, **47**(3): 190619.
- [3] Tong S F, Jiang H L, Liu Y Q. *et al.* Optimum design of bandwidth for the APT coarse tracking assembly in free space laser communication[J]. *Opto-Electron Eng*, 2007, **34**(9): 16–20.  
佟首峰, 姜会林, 刘云清, 等. 自由空间激光通信系统 APT 粗跟踪伺服带宽优化设计[J]. 光电工程, 2007, **34**(9): 16–20.
- [4] Gong W. Swevo conttol system of peripheral coarse tracking turntable for satellite optical communication[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2019.  
龚龙. 卫星激光通用潜望式粗跟踪转台伺服控制系统[D]. 长春: 长春理工大学, 2019.
- [5] Shan F H, Tong S F, Lv C L. Beacon detection technology of APT system in free space optical communications[J]. *J Changchun Univ Sci Technol (Nat Sci Ed)*, 2013, **36**(3–4): 53–55, 59.  
单风华, 佟首峰, 吕春雷. 自由空间光通信 APT 系统信标探测技术[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2013, **36**(3–4): 53–55, 59.
- [6] Chen Y S. Position resolution of quadrant detector for uniform spot[J]. *Opt Precis Eng*, 2015, **23**(10): 112–118.  
陈云善. 四象限探测器的均匀光斑位置分辨率[J]. 光学精密工程, 2015, **23**(10): 112–118.
- [7] Lu Q, Ren B, Bian J Y. Research on acquisition and tracking technology for the four-quadrant detector[J]. *Opto-Electron Eng*, 2020, **47**(3): 190559.  
鲁倩, 任斌, 边晶莹. 四象限探测器的信号光捕获与跟踪技术研究[J]. 光电工程, 2020, **47**(3): 190559.
- [8] Hu Y B, Wang M. Study on the mutual alignment technology based on four-quadrant detectors[J]. *J Optoelect Laser*, 2015, **26**(11): 2193–2199.  
胡亚斌, 王苗. 基于四象限探测器的互瞄技术研究[J]. 光电子·激光, 2015, **26**(11): 2193–2199.
- [9] Wu J B. The research for technology of high precise laser facula position detection based on the quadrant detector[D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences), 2016.  
吴佳彬. 基于四象限探测器的高精度激光光斑位置检测技术研究[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2016.
- [10] Meng F T. The research on facula detecting technology base on single area CCD in compound axis system of coarse and fine[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2009.  
孟范涛. 基于单片面阵 CCD 实现粗精复合光斑检测技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2009.
- [11] Zhang M, Tong S F, Teng Y J. Research on single-sensor and multiple-axis tracking control system for spatial laser communication[J]. *Laser Infrared*, 2019, **49**(8): 983–986.  
张敏, 佟首峰, 滕云杰. 空间激光通信单探测器复合跟踪控制技术研究[J]. 激光与红外, 2019, **49**(8): 983–986.
- [12] Li Q, Wu Z Y, Gao S J. *et al.* Application of APD array detector in free space optical communication[J]. *Laser Infrared*, 2018, **48**(1): 10–17.  
李千, 吴志勇, 高世杰, 等. APD 阵列探测器在自由空间光通信上的应用研究[J]. 激光与红外, 2018, **48**(1): 10–17.
- [13] Xue Y B. The hardware development of High-precision displacement measurement system[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.  
薛一博. 高精度位移测量系统的硬件研制[D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [14] Li Q. Research on spot position detection technology of space laser communication based on array detector[D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences), 2020.  
李千. 基于阵列探测器的空间激光通信光斑位置检测技术研究[D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所), 2020.

# Research on centering algorithm of array detector with large field of view

Liu Haowei<sup>1, 2</sup>, Wu Zhiyong<sup>1, 2\*</sup>, Wu Jiabin<sup>1</sup>, Cheng Yunshan<sup>1, 2</sup>, Gao Shijie<sup>1, 2</sup>, Huo Li<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China;

<sup>2</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China



Spot location detection schematic

**Overview:** Free space optical communication (FSO) system refers to a communication system that uses laser light wave as an information carrier and free space as an information transmission medium. In recent years, FSO systems are developing towards miniaturization and integration. Acquisition, pointing, and tracking (APT) system is an important part of the FSO system, in order to meet the development of the miniaturization and integration of FSO systems, a photodetector is used in the APT system to replace the original coarse tracking and fine tracking detectors. The coarse tracking system and the fine tracking system are combined into one which simplify the system structure. The array detector has the advantages of high position resolution, small junction capacitance, short response time, and simple processing circuit. It is an ideal photodetector integrating coarse and fine tracking of the APT system. In this paper, the array detector is used as the core component, and the fast steering mirror is used as the auxiliary component to build a laser spot position detection system. In order to improve the field of view and tracking accuracy of spot position detection, by analyzing the principle of spot position detection of the array detector, a homing algorithm for the large field of view array detector is proposed. First, by setting the threshold, a rough centering strategy is designed in which the light spot is not completely on the detector, and the center of the light spot is moved to the  $2 \times 2$  detection unit in the center of the array detector. Then the database query method is used to complete the fine centering, and the center of the light spot is moved to the detection center within  $\pm 0.1$  mm. Finally, the infinite integration method is used to calculate the position of the spot centroid, and the spot is moved to the center of the detector. In order to verify the correctness and feasibility of the algorithm, experiments are carried out on the laser spot position detection platform. The experimental results show that the tracking field of view can reach 70.3 mrad, which is about 3 times larger than the original algorithm field of view, and the maximum tracking position error is better than 1.8  $\mu$ rad, reaching the tracking accuracy index. It has theoretical guiding significance for the miniaturization of FSO system, and lays the foundation for the further engineering application of FSO system.

Liu H W, Wu Z Y, Wu J B, *et al.* Research on centering algorithm of array detector with large field of view[J]. *Opto-Electron Eng*, 2021, 48(6): 210039; DOI: 10.12086/oe.2021.210039

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (52075520)

\* E-mail: wuzhy@ciomp.ac.cn