

# 新型光学对中自动测量装置的设计

张永超<sup>1</sup>, 赵录怀<sup>2</sup>, 谭仕强<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学 城市学院, 西安 710018; 2. 西安交通大学 电气学院, 西安 710018)

**摘要:** 针对光学对中器采用面阵或者黑白线阵 CCD 器件作为图像传感器以及其他方面的不足, 设计了一种新型光学对中自动测量装置; 测量装置由 N 型自发光目标、光学镜头、彩色线阵 CCD、处理电路、FPGA 和电源模块组成; 利用彩色线阵 CCD 和 N 型自发光目标协同工作进行二维位置测量; 通过实验验证了该装置在强干扰光时, 能区分有用目标信号和干扰信号; 论文还介绍了彩色线阵 CCD 器件的优点和 N 型自发光目标的尺寸设计; 最后, 对新型光电对中器的测量精度进行了实验验证和误差分析; 实验结果和现有文献结果相对比得出结论: 采用彩色线阵 CCD 器件作图像传感器和 N 型自发光目标协同工作时, 测量结果精确、稳定。

**关键词:** 光学对中器; 电荷耦合器件图像传感器; N 型自发光目标; 位置测量; 抗干扰性

## Automatic Measuring Device for Optical Alignment Based on Color Linear CCD

Zhang Yongchao<sup>1</sup>, Zhao Luhuai<sup>2</sup>, Tan Shiqiang<sup>1</sup>

(1. Xi'an Jiaotong University City College, Xian 710018, China;

2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710018, China)

**Abstract:** In view of the shortcomings of the optical alignment device, a novel optical alignment measuring device is designed, which USES a face array or a black and white line CCD device as an image sensor. The measuring device consists of N type spontaneous optical target, optical lens, color line array CCD, processing circuit, FPGA and power module. Two-dimensional position measurement was carried out by using color line array CCD and N-type spontaneous optical target. The experimental results show that the device can distinguish between useful target signal and interference signal when strongly interfering light. The paper also introduces the advantages of color linear array CCD device and the size design of N type spontaneous optical target. Finally, the measurement precision and error analysis of the new type of photoelectric centralizer are carried out. The results of the experiment are compared with the results of the existing literature. The results are accurate and stable when using the color linear array CCD device as the image sensor and N type spontaneous optical target to work together.

**Keywords:** optical centering device; CCD image sensor; N-type self-emission target; Position measurement; anti-interference

## 0 引言

当吊车转运存放大型物品的箱体模块时, 吊具与箱体对中情况决定着箱体能否安全转运。在进行对中作业时, 主要的方法有: 人工粗瞄法、垂球对中法、光学对中器对中法。当要求测量精度高时, 采用光学对中器对中法<sup>[1-2]</sup>。

有文献提出, 光学对中器的图像传感器采用面阵电荷耦合器件<sup>[3]</sup> (Charge Coupled Device, CCD) 或黑白线阵 CCD。面阵 CCD 和线阵 CCD 相比, 缺点是像元总数多, 而每行的像元数一般较线阵少, 帧幅率受到限制, 而且视场不够, 如果采用视场较大的面阵 CCD, 不仅价格高昂, 而且帧频不能满足实时测量的需要。同时, 由于生产技术的制约, 单个面阵 CCD 的面积很难达到一般工业测量对视场

的需求<sup>[4]</sup>。黑白线阵 CCD 同彩色线阵 CCD 相比, 在露天环境下, 反射光等强干扰时, 黑白线阵 CCD 不能区分有用目标信号和干扰信号, 使得转运工作不可靠。彩色线阵 CCD 同面阵 CCD 和黑白线阵 CCD 比较都具有优越性。同面阵 CCD 比较, 彩色线阵 CCD 的优点在于结构简单, 扫描速度快, 分辨率高, 而且价格低廉<sup>[5]</sup>。同黑白线阵 CCD 比较, 其优点是当转运的环境光照强度大时, 彩色 CCD 获得图像的比黑白 CCD 获得的图像要更加清晰, 光线的强弱对彩色线阵 CCD 的影响较小, 同时, 该 CCD 驱动时序关系更精确, 采样速率更快, 抗干扰性能更好、输出信号更稳定等优点<sup>[6]</sup>。

本文主要针对面阵 CCD 和黑白线阵 CCD 的不足, 以及其他缺点, 设计了一种基于彩色线阵 CCD 的光学对中自动测量装置, 使得对中的精度更高, 转运更安全。

## 1 测量装置组成

测量装置由“N”字形自发光目标、光学镜头、彩色线阵 CCD、处理电路、FPGA 和电源模块组成, 用于测量目标中心位置偏离的坐标距离。测量装置组成如图 1 所示。

收稿日期: 2018-07-05; 修回日期: 2018-08-06。

作者简介: 张永超(1977-), 男, 陕西西安人, 讲师, 硕士, 主要智能检测方向的研究。

赵录怀(1963-), 男, 陕西宝鸡人, 教授, 博士, 主要从事电力电子技术和智能检测方向的研究。

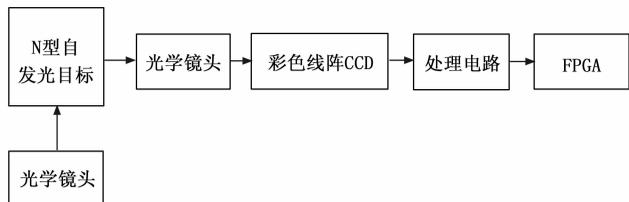


图1 测量装置组成

N型自发光目标发红光,光学镜头将N型目标成像到彩色线阵CCD靶面上,彩色线阵CCD将光学图像转换为模拟信号,模拟信号经放大、滤波、模数转换等处理电路后,再将信号传输给FPGA进行偏移量的计算,最后输出。

### 1.1 N型自发光目标

N型自发光目标的制作采用超高亮度LED。超高亮度LED具有长寿命、高发光效率、高电流密度和高亮度的特点。超高亮度LED是一种采用新型封装结构的面发光光源,和普通的大功率LED相比具有更高的亮度<sup>[7]</sup>,因此N型采用超高亮度LED制作。根据某型号导弹箱体模块稳妥、安全、转运的技术要求,设定其尺寸为50 mm×110 mm,在长方向上预留尺寸为5 mm,N字形中间线与边线的角度值设置为 $\alpha=13^\circ$ ,N型斜边与竖边相交的位置间距为5 mm,N字型的线宽为5 mm。当对中器中心处于测量范围最左边时,如图2所示。其最大视场为 $2\times 75\text{ mm}=150\text{ mm}$ ,预留余量为5 mm,则最终光学系统的视场 $2\times 80\text{ mm}=160\text{ mm}$ 。据此,对中器实际能够达到的测量范围应为 $110\text{ mm}\times 160\text{ mm}$ 。

### 1.2 光学镜头

#### 1.2.1 放大倍率的确定

光学镜头的作用不仅满足将N型自发光目标成像到CCD的要求,还需保证成像到CCD上的光学图像的大小不能超过CCD接收图像的范围,所以放大倍率是一个非常重要的物理量。

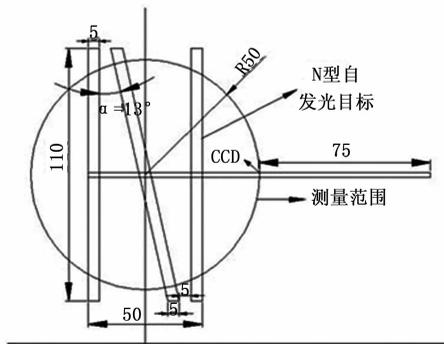


图2 N型自发光目标

由图2可知,在设计N型自发光目标的三条线段中,每条线段的大小是5 mm,光学图像到N型自发光目标的距离是900 mm,假设N型自发光目标的三条线段成像到在CCD中,占据的像元的数量分别为36个、24个和15个,每个像元的宽度为 $4\text{ }\mu\text{m}$ ,给根据垂轴放大倍率公式<sup>[8]</sup>:

$$\beta = \frac{l'}{l} = \frac{2y'}{2y} \quad (1)$$

式中, $l'$ 为像距; $l$ 为物距; $y'$ 为像高; $y$ 为物高。

代入数据,求得放大倍率为:

$$\beta_1 = \frac{36 \times 4 \times 10^{-3}}{5} = 0.0288;$$

$$\beta_2 = \frac{24 \times 4 \times 10^{-3}}{5} = 0.0192;$$

$$\beta_3 = \frac{15 \times 4 \times 10^{-3}}{5} = 0.012。比较三个放大倍率,结合$$

实际情况,本系统采用放大倍率 $\beta=0.0288$ 的光学透镜。

#### 1.2.2 焦距的确定

N型的竖线与斜线的距离为5 mm,如图2所示,当工作距离为900 mm,放大倍率 $\beta=0.0288$ 时,5 mm在CCD上占据的像元为42个。因此,光学系统的成像光斑不大于 $42 \times 4\text{ }\mu\text{m}=168\text{ }\mu\text{m}$ 。

当工作距离为900 mm,放大倍率为0.0192时,根据式1,得出像高:

$$y' = \frac{42 \times 160 \times 4 \times 10^{-3}}{5} = 5.38\text{ mm} \quad (2)$$

因为物高 $y=5\text{ mm}$ ,放大倍率 $\beta=0.0192$ 根据式1,得出像距:

$$l' = \beta \times l = 0.0288 \times 900 = 25.92\text{ mm} \quad (3)$$

根据高斯公式:

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'} \quad (4)$$

代入数据,可知焦距:

$$f' = 26.69\text{ mm}$$

#### 1.2.3 像方视场角的确定

根据像方视场角的计算公式<sup>[8]</sup>:

$$\tan \omega' = \frac{y'}{2l'} \quad (5)$$

代入 $l'=900\text{ mm}$ ,求得视场角 $\omega'=5.9^\circ$ 。

#### 1.2.4 分辨率

在本设计中,焦距 $f'=26.69\text{ mm}$ ,像方视场角 $\omega=5.9^\circ$ ,则像高 $y'=-f'\tan\omega=-2.77\text{ mm}$ 。选择三通道单边输出二相驱动的线阵CCD器件,每个通道共有5340个光敏元,像元尺寸为 $4\text{ }\mu\text{m}\times 4\text{ }\mu\text{m}$ 的线阵CCD,则远距离分辨率可达 $(275 \times 0.004) / (2 \times 2.77) = 0.20\text{ mm/像元}$ 。

### 1.3 彩色线阵CCD

ILX558K是日本SONY公司生产的具有较好的分辨率和性能品质,在价格上也有优势。本设计选用ILX558K作为彩色线阵CCD传感器,保证具有较高的采样速率及精度,还可以实现三通道RGB同时输出<sup>[10]</sup>。

ILX558K每个通道共有5340个光敏元,具有三通道单边输出二相驱动的线阵CCD器件。对于RGB中的任何一个通道来说,光敏元直接与每个移位寄存器相连接,且移位寄存器的像素数量与光敏元数量相等。内部结构示意图如图3所示。ILX558K直流12 V电源供电。

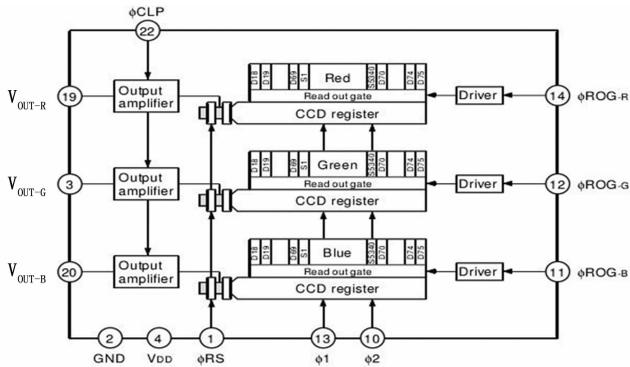


图 3 ILX558K 结构示意图

### 1.4 信号处理电路

信号处理电路实现的三个功能有：①模拟信号处理，主要完成彩色线阵 CCD 输出信号的放大、滤波和 A/D 转换；②数字信号处理，主要完成数字信号滤波以及三个像点的偏移量计算；③发送数据，主要将计算所得的偏移量输出。

### 1.5 信号处理器

本设计使用 Cyclone II 系列的 FPGA，它是 ALTERA 公司生产的，它具有彩色线阵 CCD 驱动、CCD 数字信号处理及偏移量计算等功能。优点是：新增加了嵌入式乘法器，DSP 处理能力得到了很大的加强；支持 DDR2 内存的高速存储器接口和高速差分接口，高速差分接口其 LVDS；可以达到 622 Mbit/s 发送端数据速率，可以达到 805 Mbit/s 接收端数据速率，集成更大的片上存储器；CYCLONE II 系列 FPGA 有关时钟资源部分主要包括全局时钟树和锁相环两部分。

本设计选用 CYCLONE II 系列型号为 EP2C8T144C8 的芯片。EP2C8 采用 3.3 V 外部供电，采用 1.2 V 电压内核供电，采用 TQFP44 封装形式。

### 1.6 电源模块

FPGA 内核电压、I/O 电压、内部锁相环电压和 CCD 图像传感器电压，分别是 1.2 V、3.3 V、模拟 1.2 V 和模拟 12 V，运算放大器正常工作所需电压为正负 12 V，模数转换器正常工作电压为模拟 5 V、数字 5 V；晶振、FPGA 配置芯片等均可采用 3.3 V 供电。

## 2 测量原理

根据系统测量原理，结合光学对中原理图，如图 4 (a) 所示，采用靶面板上刻画 N 字形目标的方法，如图 4 (b)，N 字形发射红光，靶面 N 字形周围涂成黑色，以增加目标与背景的对比度。由于光学系统视场范围大于靶面，为了便于安装，靶面的大小需要恰当，因此靶面周围的自然光反射也会在彩色 CCD 上成像。采用彩色线阵 CCD，N 字形目标与反射干扰光在红色感光区成像，CCD 同帧输出信号如图 5 所示，1、2、3 表示 N 型自发光目标成像，如图 5 (a)，如图 5 (b) 所示，4 表示干扰光成像，如图 5 (c) 所示，因此根据三色成像的区别就可以在有干扰光的情况下，

提取有效的目标图像，计算测量结果，提高系统的可靠性。为了确认彩色线阵 CCD 比黑白线阵 CCD 性能优越，本课题进行了实验验证，绿色感光的波形图如图 6 所示，红色感光的波形图如图 7 所示，通过比较两个信号，去掉干扰光，可以计算 X、Y 轴坐标。因此，可以得出结论彩色线阵 CCD 比黑白线阵 CCD 抗干扰能力更强。

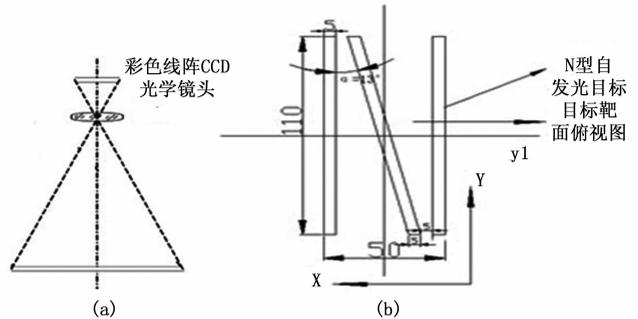
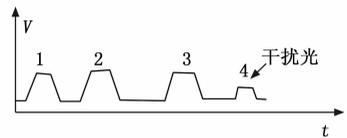
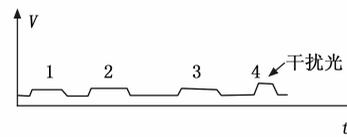


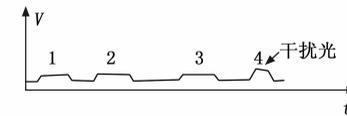
图 4 光学对中原理图



(a) 红光输出电信号波形



(b) 绿光输出电信号波形



(c) 蓝光输出电信号波形

图 5 CCD 同帧输出信号示意图



图 6 绿色感光输出波形图

结合图 4 和图 8 坐标位置计算图推算出 X 轴、Y 轴位置坐标，根据波峰 1 和波峰 3 在 CCD 中的位置，可以计算物像比例当量：

$$d = \frac{45}{n3 - n1} \quad (6)$$



图 7 红色感光输出波形图

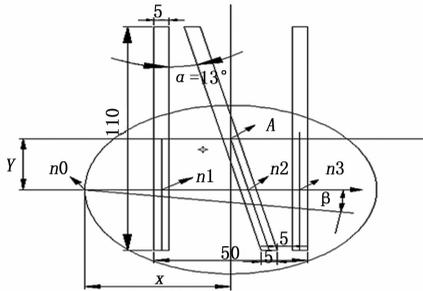


图 8 坐标位置计算图

该当量的物理含义是线阵 CCD 上的每一个像元对应在工作目标即物面的尺寸大小, 单位为 mm/pixel。则正常情况下可得出位置偏移量:

X 方向:  $d \times x$  (mm)      Y 方向:  $d \times y$  (mm)

根据 1、3 号波峰的中点在 CCD 上的绝对像元数, 结合物象比例当量, 可以计算得到靶面中点相对光学接收镜头光轴 X 方向的坐标。

$$x = \left[ \frac{(n_3 + n_1)}{2} - n_0 \right] \times \frac{45}{n_3 - n_1} \quad (7)$$

根据 X 方向坐标和 1、2、3 号波峰在 CCD 上的绝对值, 可以得到靶面中点相对镜头光轴 Y 方向的坐标。

$$y = \left\{ \left[ n_2 - \frac{(n_3 + n_1)}{2} \right] \cot \alpha \right\} \times \frac{45}{n_3 - n_1} \quad (8)$$

式中,  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  分别代表波峰 1、2、3 位置的绝对像元素,  $n_0$  代表激光光斑在 CCD 上的起始像元素,  $\alpha = 13^\circ$  为“N”字型中间线与边线的角度值。

### 3 实验与分析

#### 3.1 N 字精度实验测量

进行 N 字形精度实验测量的实验步骤如下图所示, 首先光经过光学系统成像后, 通过数字示波器能够找到信号, 在调整 CCD 的位置, 使得 CCD 刚好处于成像的位置, 再进行 N 字形 X 轴和 Y 轴精度的实验测量, 实验框图, 如图 9 所示。

该测量实验当中, 测量的范围为  $\pm 50$  mm, 利用平行导轨的移动表示 X 轴方向的变化, 其中平移导轨坐标为标准值, 重心算法换算值为测量值。利用升降架方向的移动表示 Y 轴方向的变化, 其中升降架坐标为标准值, 重心算法换算值为测量值。偏差是标准值和测量值之间的误差, 极

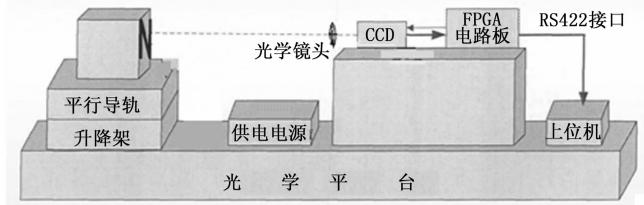


图 9 N 字形实验框图

差表示重心算法测量的最大误差的绝对值, 标准差表示重心算法测量的标准方差。图像传感器采用彩色线阵 CCD 时, 进行 N 字精度实验测量, 对所测量的数据进行处理得表 1, 表 1 为 X 轴和 Y 轴数据处理后的极差和标准差。

表 1 X 轴和 Y 轴数据处理后的极差和标准差

	正向		负向	
	极差	标准差	极差	标准差
X 轴	2.410	0.608	1.862	0.598
Y 轴	4.013	1.241	3.425	1.051

通过实验测量, 以及数据处理, 和文献 [11] 比得出结论, 采用彩色线阵 CCD 作为图像传感器时, 测出的 N 字精度更高, 误差更小, 使得对中更加的精确, 转运更加安全。

#### 3.2 误差分析与测量结论

测量值和真实值的偏差是测量的精度, 测量的精度反应了整个系统的测量的能力<sup>[11]</sup>。该光电对中器主要由光学系统部分和信号处理部分组成。因此, 在本设计当中, 组成系统的误差主要由光学系统误差和信号处理部分误差组成。

针对本设计的光电对中器, 误差主要由 ①原理误差, ②A/D 量化误差, ③环境误差, ④倾斜引起测量误差, ⑤旋转引起测量误差, ⑥测量仪器误差, ⑦电子线路噪声对其的影响, ⑧光学系统畸变造成的误差组成。

### 4 结语

1) 本文设计了一种基于彩色线阵 CCD 的光学对中自动测量装置, 该图像传感器具有结构简单, 扫描速度快, 分辨率高, 误差小;

2) 当环境光照强度大时, 该图像传感器获得的图像更加清晰, 环境光线的强弱对该图像传感器影响较小。同时, 该 CCD 驱动时序关系更精确, 采样速率更快, 抗干扰性能更好、输出信号更稳定;

3) 本设计采用 N 型自发光目标图案进行二维坐标测量, 整个系统的结构简单, 干扰信号减少, 测量误差减小。

#### 参考文献:

[1] 张文渊. 光学对中器快速对中方法简介 [J]. 水道港口, 2000, (1): 43-44.  
 [2] 高绍伟. 光学对中器使用方法简析 [J]. 北京测绘, 2000 (3): 47-48.

