

文章编号:1671-251X(2019)01-0052-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018060035

液压支架直线度检测机器人激光定位矩阵研究

杨学军, 王然风, 王怀法

(太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:针对煤矿井下无人工作面液压支架直线度检测问题,提出了液压支架姿态及直线度检测模型,重点对液压支架直线度检测机器人的激光定位矩阵进行了研究,阐述了激光定位矩阵的软硬件设计方案。通过分析实验结果,得出结论:对于采用直径12 mm的光敏电阻制作的激光定位矩阵,当光斑直径为9~30 mm时,其检测误差随光斑直径的增大而减小,最大检测误差为7.6 mm;综合考虑检测精度和有效检测范围,选择最佳光斑直径为12~18 mm;影响激光定位矩阵检测精度的因素主要包括系统误差和随机误差,可通过减小光敏电阻直径、在光敏电阻前增加小阻值电阻等方式来降低检测误差。

关键词:煤炭开采;无人工作面;工作面直线度检测;液压支架直线度检测;液压支架直线度检测机器人;激光定位矩阵

中图分类号:TD355.4 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.tp.20181217.1706.002.html>

Research on laser positioning matrix of straightness detection robot for hydraulic support

YANG Xuejun, WANG Ranfeng, WANG Huaifa

(College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: For straightness detection of hydraulic support in unmanned working face of coal mine underground, an attitude and straightness detection model of hydraulic support was proposed. Laser positioning matrix of straightness detection robot for hydraulic support was focused on, and software and hardware design schemes of the laser positioning matrix were expounded. Through analyzing experimental results, following conclusions are gotten: For laser positioning matrix made by photosensitive resistors with a diameter of 12 mm, when light spot diameter is from 9 mm to 30 mm, detection error decreases with the increase of light spot diameter, and the maximum detection error is 7.6 mm. Considering detection precision and effective detection range synthetically, the optimal light spot diameter is selected to be from 12 mm to 18 mm. Factors influencing detection precision of the laser positioning matrix are systematic error and random error mainly. Detection error can decrease by reducing diameter of photosensitive resistor, adding resistor with low resistivity before photosensitive resistor, etc.

Key words: coal mining; unmanned working face; straightness detection of working face; straightness detection of hydraulic support; straightness detection robot for hydraulic support; laser positioning matrix

0 引言

目前,煤矿开采正由综合机械化向自动化和智

能化方向发展,其追求的目标是少人化和无人化^[1-3]。工作面直线度检测和控制是实现工作面无

人化的关键技术^[4-7]之一。工作面直线度是综采工

收稿日期:2018-06-15;修回日期:2018-12-05;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51404167)。

作者简介:杨学军(1971—),男,山西河津人,博士研究生,主要研究方向为机器人在煤矿无人工作面的应用,E-mail: yangxuejun@tyut.edu.cn。

引用格式:杨学军,王然风,王怀法. 液压支架直线度检测机器人激光定位矩阵研究[J]. 工矿自动化,2019,45(1):52-56.

YANG Xuejun, WANG Ranfeng, WANG Huaifa. Research on laser positioning matrix of straightness detection robot for hydraulic support[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(1): 52-56.

作面工程质量评价的重要指标,是保证无人工作面能够自动连续推进的关键^[8],其包含3个方面的含义:煤壁直,刮板输送机直,液压支架直(“三直”)^[9]。其中液压支架直是“三直”的基础,它对工作面能否正常工作起决定性作用。液压支架直不仅指液压支架要排成直线,还指液压支架要直立支撑。只有保证液压支架直,才能保证与之互为支点进行推拉前进的刮板输送机直,进而保证以刮板输送机为运行轨道的采煤机走直线,把煤壁切直^[10-11]。按照工作面液压支架操作工操作规范要求,工作面直线度需达到 ± 50 mm^[12],才能保证液压支架、刮板输送机及采煤机正常工作。鉴此,本文提出液压支架姿态及直线度检测模型,如图1所示。液压支架直线度检测机器人携带2个平行的激光定位矩阵和1个激光雷达,当其行走在液压支架人工行走平台上时,以首尾架决定的激光线为基准,通过激光定位矩阵对自身进行定位,同时用激光雷达检测待测支架相对机器人的位置,从而得到每一架支架的姿态及整个支架群的直线度,为后续支架群调直控制提供依据。

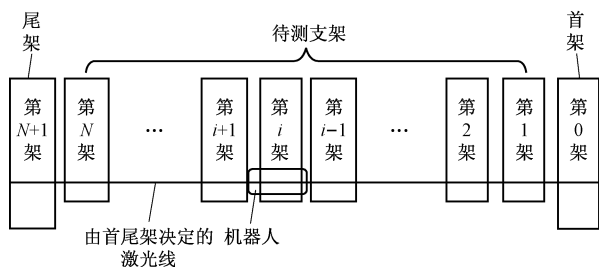


图1 液压支架姿态及直线度检测模型

Fig.1 Attitude and straightness detection model of hydraulic support

该模型在基本不改变液压支架结构的前提下,利用液压支架固有结构,基于移动机器人,以激光线为参考基准,对每架液压支架的空间姿态及整个液压支架群直线度进行检测,有效消除了累计误差。机器人还可携带摄像头或其他传感器,给工作面以外的人员提供视频图像和数据,使他们及时了解工作面情况。

本文主要围绕液压支架直线度检测机器人的激光定位矩阵进行研究。

1 激光定位原理

激光发射装置安装在液压支架的一端,由1组激光发射器和1个激光测距仪组成。当机器人在液压支架人工行走平台上行走时,通过被固定激光束(激光基准线)照射的激光定位矩阵来测量机器人相对激光束的偏移量,再接收激光测距仪测量的机器

人相对激光发射器的距离,从而获得机器人相对于安装激光发射器的支架的6个自由度姿态(绕右手直角坐标系三轴的旋转角度和沿三轴的平移距离)。

固定激光束由激光发射器发射的散射度很小的点状激光线形成,主要起固定参考作用。激光定位矩阵通过若干个光敏电阻形成的矩阵来指示激光照射的坐标,从而确定其相对固定激光束在径向的偏移量。

常用光敏电阻的暗电阻为 $1\ \Omega \sim 10\ M\Omega$,明电阻为几百至数千欧,利用该特性设计激光定位矩阵中1个点(电阻)的检测原理,如图2所示。当光敏电阻没有接收到激光时,其阻值很大,三极管基极电压很小,无法触发三极管工作,此时集电极电压为高电平;当光敏电阻接收到激光时,其阻值变小,三极管基极电压增大,触发三极管导通,集电极电压为低电平。

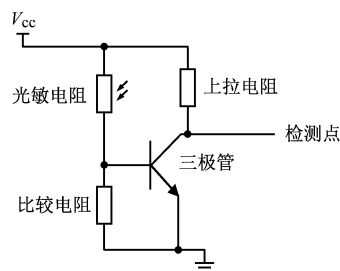


图2 激光定位矩阵单点检测原理

Fig.2 Single point detection principle of laser positioning matrix

2 激光定位矩阵设计

文献[13]利用光敏电阻矩阵的一维特征设计激光对位传感器,对液压支架移位进行了控制^[14]。本文主要利用光敏电阻矩阵的二维特征设计激光定位矩阵。

2.1 硬件设计

目前常见的环氧树脂封装光敏电阻直径有3, 4, 5, 7, 11, 12, 20, 25 mm等。光敏电阻直径越小,制作的激光定位矩阵分辨率和精度越高,但相同面积的矩阵所需光敏电阻较多,导致设计、制作、控制难度成倍增加。综合考虑精度需求、设计制作难度及成本,选择直径为12 mm的光敏电阻设计激光定位矩阵。

为便于制作和扩展矩阵面积,激光定位矩阵由数个相同的激光定位矩阵单元组成,每个单元由电源、光敏电阻面板、扫描电路、检测电路、控制器、数码管显示电路和数据输出电路组成,如图3所示。

激光定位矩阵单元的光敏电阻面板由64个光

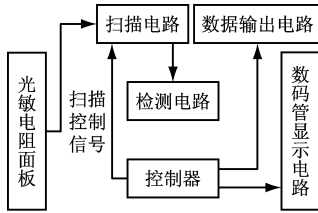


图3 激光定位矩阵单元硬件组成

Fig. 3 Hardware composition of laser positioning matrix unit

敏电阻以 8×8 方式排列而成,如图 4 所示。光敏电阻长边为 12 mm,短边为 10.5 mm。为使电阻排列紧密,光敏区域尽量均匀,相邻电阻横竖交错排列,相邻 2 个电阻中心距为 11.4 mm,每个激光定位矩阵单元尺寸约为 $91 \text{ mm} \times 91 \text{ mm}$ 。当待测量面积大于该值时,可将多个相同激光定位矩阵单元进行拼接,从而满足要求,如 4 个单元可拼成 1 个尺寸约为 $182 \text{ mm} \times 182 \text{ mm}$ 的激光定位矩阵。

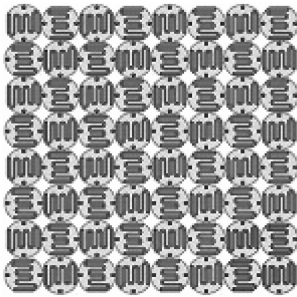


图4 光敏电阻面板电阻排列方式

Fig. 4 Resistor arrangement mode of photosensitive resistor panel

电源采用 DC5 V 可充电干电池,为整个激光定位矩阵单元电路供电。控制器采用 STC89C52 单片机。为了节省单片机端口,扫描电路由 9 个 CD4051 模拟开关组成,分两级控制,如图 5 所示。第一级控制包含 8 个模拟开关,其 8 个输入端分别接光敏电阻面板上每一行的 8 个光敏电阻,8 个输出端接第二级控制中模拟开关的 8 个输入端。第二级控制包含 1 个模拟开关,其输出端按图 2 方式代替光敏电阻接三极管基极,三极管集电极接单片机的 P3.2 端口。扫描电路控制方式:单片机 P2.0—P2.5 端口通过控制一级控制中模拟开关的 A, B, C 端口和二级控制中模拟开关的 A_1, B_1, C_1 端口,依次对光敏电阻面板中 64 个光敏电阻进行循环扫描,通过检测其电平高低即可判断出哪个光敏电阻接收到激光照射。单片机将接收到激光的电阻坐标采集到存储单元进行判别、计算等处理,得到激光照射点坐标,连续检测即可得到激光定位矩阵(即机器人)相对于激光束在 360° 方向上的距离偏移量,由数码管输出显示,并通过单片机 TXD 和 RXD 端口输出

到其他设备。

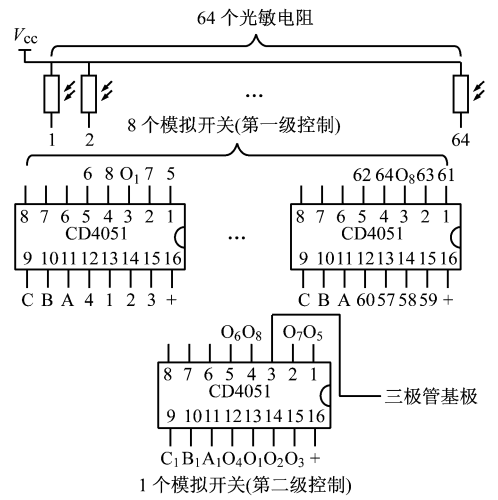


图5 激光定位矩阵单元扫描电路

Fig. 5 Scanning circuit of laser positioning matrix unit

2.2 控制程序设计

激光定位矩阵的控制程序基于 Keil 软件编写,主要由主函数、扫描控制函数和数据处理函数组成,控制流程如图 6 所示。

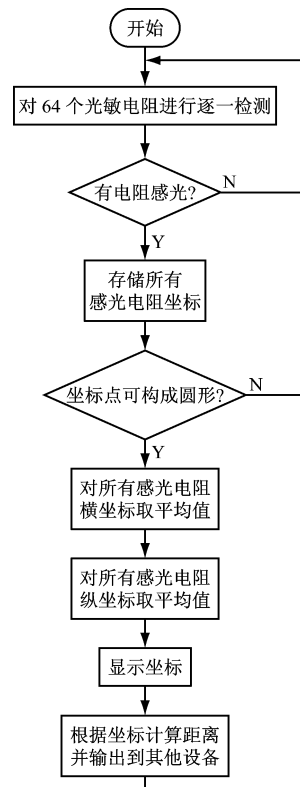


图6 激光定位矩阵控制流程

Fig. 6 Control flow of laser positioning matrix

数据处理函数是激光定位矩阵控制程序的核心。随着检测距离的增大,激光斑点会增大,此时激光定位矩阵上会有几个光敏电阻同时检测到激光,这时需要判断光斑形状,并判断是否有干扰,最后计算所有感光电阻坐标的平均值并输出。

3 激光定位矩阵实验研究

3.1 激光定位矩阵硬件制作

激光定位矩阵单元硬件分成3层制作。第一层为光敏电阻面板层,其上焊接64个共阳连接的光敏电阻;第二层为扫描电路层,其上安装9个模拟开关芯片;第三层为控制检测显示层,其上包含控制器、检测电路、数码管显示电路、数据输出电路等。

3.2 实验及分析

3.2.1 实验

用9个激光定位矩阵单元组成1个尺寸约为 $274\text{ mm}\times 274\text{ mm}$ 的激光定位矩阵进行实验。所用激光发射器型号为FU650AD100-GD24,其输出波长为650 nm的正圆形光斑,亮度和尺寸均可调,工作电压为DC2.8~5.2 V,管芯功率为100 mW。光斑直径最小可调值:50 m处,光斑直径 $\leq 5\text{ mm}$;100 m处,光斑直径 $\leq 12\text{ mm}$;200 m处,光斑直径 $\leq 30\text{ mm}$ 。

在光斑直径为3,6,12,18,24,30 mm情况下对激光定位矩阵的检测精度进行实验,结果如图7所示。

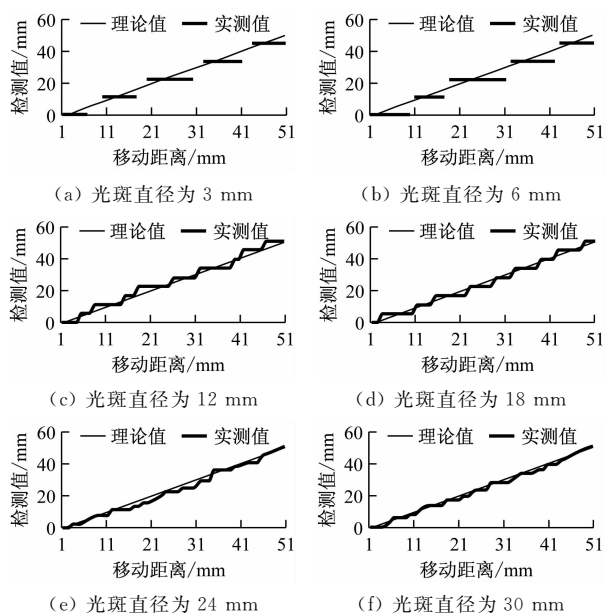


图7 不同光斑直径下激光定位矩阵检测精度实验结果

Fig. 7 Detection precision experiment results of laser positioning matrix under different light spot diameters

3.2.2 结果分析

从图7可看出,激光定位矩阵的检测精度与光斑直径有很大关系,当光斑直径为3,6 mm时,均有检测盲区,无法实现连续测量。当光斑直径大于12 mm时,其最大检测误差随着光斑直径增大而减小,对应的误差分别为6.70,5.80,3.92,2.90 mm。

这是由于随着光斑直径增大,光斑包含的光敏电阻增多,从而提高了检测精度。

光斑直径增加7,8,9,10,11 mm 5种,按相同方式进行实验。从实验结果可知,光斑直径从9 mm开始,激光定位矩阵不再出现检测盲区;9,10,11,12,18,24,30 mm光斑直径情况下,激光定位矩阵的最大检测误差为7.6 mm。实验结果表明,激光定位矩阵的检测精度与光斑直径正相关。

3.2.3 边界效应

当光斑落到激光定位矩阵边界时,对9~30 mm光斑直径范围内的激光定位矩阵逐一进行实验,结果表明边界效应产生的误差与光斑直径正相关,最大误差由10.7 mm逐渐增大到20.4 mm。这是由于光斑到达边界时,边界外的光斑照射处没有电阻,这时计算出的光斑中心与实际光斑中心出现偏差。为了避免该种情况,需要减小矩阵每个检测方向上的有效检测范围,减小值为1个光斑直径长度。

选择最佳光斑直径需要兼顾检测精度和有效检测范围。本文设计的激光定位矩阵在煤矿液压支架中移动,活动空间狭小,设计时在满足检测精度的情况下需重点考虑有效检测范围,因此选择最佳光斑直径范围为12~18 mm。

3.2.4 检测精度影响因素

通过大量实验和分析发现,影响激光定位矩阵检测精度的因素主要包括系统误差和随机误差。

系统误差包括光敏电阻直径及其感光材料的分布面积、排列方式,固定激光光斑大小、功率,比较电阻值,电源电压等。减小系统误差的措施:适当减小光敏电阻直径;合理排列光敏电阻,使感光材料分布均匀;适当增加激光发射器的功率、光斑聚焦度和圆度;稳定电源电压;安装可调比较电阻,以选择最佳电阻值。

随机误差包括外界光的干扰、光敏电阻明电阻的制造差异、实验误差等。减小随机误差措施:挑选明电阻值相近的光敏电阻;在光敏电阻前串联小阻值电阻,以减小三极管基极电压的波动。

4 结论

(1) 设计并制作了液压支架直线度检测机器人的激光定位矩阵。实验结果表明,对于采用直径12 mm的光敏电阻制作的激光定位矩阵,当光斑直径为9~30 mm时,激光定位矩阵的检测误差随光斑直径的增大而减小,最大检测误差为7.6 mm,满

足液压支架 50 mm 的直线度误差要求。

(2) 激光定位矩阵检测精度随光斑直径的增大而增加,但边界效应会更加显著,必须减小有效检测范围来保证检测精度。激光定位矩阵在煤矿液压支架中移动,活动空间狭小,综合考虑检测精度和有效检测范围,选择最佳光斑直径区间为 12~18 mm。

(3) 经实验分析,影响激光定位矩阵检测精度的因素主要包括系统误差和随机误差。提出了减小 2 种误差的措施,为下一步研究提供了理论和实验依据。

参考文献 (References):

- [1] 王国法. 综采成套技术与装备系统集成[M]. 北京:煤炭工业出版社,2016.
- [2] 张良,李首滨,黄曾华,等. 煤矿综采工作面无人化开采的内涵与实现[J]. 煤炭科学技术,2014,42(9):26-29.
ZHANG Liang, LI Shoubin, HUANG Zenghua, et al. Definition and realization of unmanned mining in fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 26-29.
- [3] 郝尚清,王世博,谢贵君,等. 长壁综采工作面采煤机定位定姿技术研究[J]. 工矿自动化,2014,40(6):21-25.
HAO Shangqing, WANG Shibo, XIE Guijun, et al. Research of determination technologies of position and attitude of shearer on long-wall fully mechanized coal mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(6): 21-25.
- [4] 索智文. 煤矿综采工作面无人化开采技术研究[J]. 工矿自动化,2017,43(1):22-26.
SUO Zhiwen. Study on unmanned mining technology of fully mechanized coal mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(1): 22-26.
- [5] 沈庆华. 试论煤矿无人工作面开采技术[J]. 能源技术与管理,2017,42(3):172-173.
- [6] 麻晓东. 煤矿无人工作面开采技术探讨[J]. 能源与节能,2017(5):140-141.
MA Xiaodong. Discussion on the mining technologies used at unmanned working face in coal mines[J]. Energy and Energy Conservation, 2017(5): 140-141.
- [7] 么会争. 综采工作面液压支架安装定位技术的研究[J]. 煤炭与化工,2016,39(2):119-121.
YAO Huizheng. Research on the positioning technology of hydraulic support installation of fully mechanized working face [J]. Coal and Chemical Industry, 2016, 39(2): 119-121.
- [8] 孙丙科,何勇华. 综采工作面自动化控制系统设计与应用[J]. 工矿自动化,2014,40(1):84-86.
SUN Bingke, HE Yonghua. Design and application of automation control system of fully mechanized coal mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(1): 84-86.
- [9] 李俊士. 一种基于多种传感器的工作面找直方法[J]. 煤矿机电,2014(6):11-12.
LI Junshi. A straightness control technology based on multi-sensor of fully mechanized coal face[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2014(6): 11-12.
- [10] 郭华栋. 浅析综采工作面保持“三直”的重要性和途径[J]. 科技信息,2012(22):423.
- [11] 朱真才. 采掘机械与液压传动[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2011.
- [12] 杨墨. 基于视觉测量的综采工作面直线度测量技术研究[J]. 煤炭工程,2016,48(9):134-136.
YANG Zhao. Research on measurement technology of working face straightness based on vision measurement[J]. Coal Engineering, 2016, 48(9): 134-136.
- [13] 赵世民,刘清. 用于工作面液压支架对齐的激光对位传感器设计[J]. 工矿自动化,2016,42(11):74-77.
ZHAO Shimin, LIU Qing. Design of laser alignment sensor for alignment of hydraulic supports on working face[J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(11): 74-77.
- [14] 牛剑峰. 综采工作面直线度控制系统研究[J]. 工矿自动化,2015,41(5):5-8.
NIU Jianfeng. Research of straightness control system of fully-mechanized coal mining face[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(5): 5-8.