

# 多线激光雷达在煤矿绞车预警机器人中的设计与应用

王金国 吴文宝 朱鹏

(上海大屯能源股份有限公司徐庄煤矿 江苏 徐州 221611)

**摘要:** 本文设计了一种用于煤矿井下防爆环境的本质安全型 32 线激光雷达, 将该激光雷达应用于绞车预警机器人对绞车巷道内侵入到矿车运动路径上的人员或者异物进行检测识别, 与优化后的深度学习算法相结合, 将基于视觉分析的人员检测的最大检测距离从 20m 提高到了 33m, 提升效果明显。多线激光雷达在煤矿井下绞车预警系统中的推广应用具有实际意义, 能够进一步提高绞车运行的安全系数。

**关键词:** 多线激光雷达; 3D 激光传感器; 煤矿绞车; 障碍物检测; 安全预警; 机器人

## 1 概述

在煤矿井下生产中, 绞车是必不可少的运输设备。然而, 运输中绞车司机无法实时获取现场的信息, 容易造成安全事故, 如提物过程中有人员入侵<sup>[1]</sup>、轨道上的杂物等障碍物导致矿车掉道等。

绞车预警机器人主要用于绞车等设备, 通过视觉分析的检测手段, 做到对危险区域人员及障碍物的实时监测并报警, 将巷道沿线的图像和音频实时上传到操控室, 保证绞车司机能够实时、清晰、直观地察看运输沿途的情况, 避免盲目开车。

然而, 由于受到技术水平及环境限制等因素, 通过视觉分析技术对矿车运行路径上的人员进行检测时, 最大可靠检测距离仅能达到 10m, 超过该距离后会受到环境的影响导致检测准确率降低。而 10m 的检测距离要小于绞车的一般平稳停车距离, 不能保证绞车平稳停车且不发生碰撞。因此, 需要一种检测精度更高的技术来解决这一问题。

多线激光雷达技术能够很好地解决上述问题, 该型雷达具有感知误差小、鲁棒性强的特点<sup>[2]</sup>, 目前该技术广泛应用于汽车的自动驾驶领域<sup>[3]</sup>, 是利用一组垂直均匀分布的水平激光线对周围环境进行扫描测量的一种技术。本文中采用的是 32 线多线激光雷达, 能够很好的满足绞车巷道内的环境检测需求。

## 2 防爆型 32 线多线激光雷达设计

多线激光雷达技术常用在无人驾驶领域, 通过阵列激光线的扫描得到交通工具周边环境的立体模型。利用算法比对前后帧环境的变化, 能够相对容易地识别出周围的车辆和行人。该型雷达另一特性是同步建图,

能够获得实时全局地图, 再与专业地图中的特征物进行比对, 来达到车辆导航及加强车辆定位精度的功能。

本文中多线激光雷达的应用与上述两种有较为明显的区别。首先, 环境上的区别。本文中的 32 线激光雷达的工作环境为煤矿井下, 属于爆炸性环境, 根据标准 GB 3836.1 中所述, 要求煤矿井下电气设备符合防爆要求, 因此, 32 线激光雷达需要进行防爆设计和处理, 以保证在煤矿井下环境安全使用。其次, 检测目标的区别。本文中主要利用 32 线激光雷达检测煤矿绞车巷道内绞车运行路径上的人员和障碍物, 同时测定人和障碍物距矿车的距离。

### 2.1 防爆方式对比和选择

通常电气系统的防爆实现方式分为两大类。一种是隔爆设计, 即把电气设备放在一个设计好的隔爆壳内部实现防爆。这种实现方式应用非常广泛, 几乎适用所有的电气系统。然而, 为了符合防爆要求, 隔爆壳通常很大很重, 会降低设备的便携性。因此, 常见于固定式设备。另一种防爆方式为本质安全, 即从电路原理上符合防爆要求, 避免在工作过程中产生高温和火花等不安全因素。本质安全型设备不需要从外部加装防爆壳体, 仅需改造内部电路, 因此, 在质量和体积方面有较大的优势, 是矿用防爆设备的一个发展趋势。

本文中的绞车预警机器人在使用过程中需要重复的拆卸和挂载, 要求机器人整机质量尽量小, 因此, 32 线激光雷达需采用本质安全型设计更符合使用要求。

### 2.2 本质安全设计

根据国标 GB 3836.4 中所述, 设备内部和暴露于潜在爆炸性环境的连接导线可能产生的电火花或热效应能量限制在不能产生点燃的水平。在标准规定的条件下, 包括正常工作和规定的故障条件, 产生的任何电

火花或任何热效应均不能点燃规定的爆炸性气体环境的电路。通常的放电电路有三种形式,电阻性电路放电、电感性电路放电、电容性电路放电。

电路放电能量  $W$ , 当  $W > W_{MIE}$  时, 则会引燃爆炸性气体, 对于煤矿环境,  $W_{MIE}=0.28\text{mJ}$ 。

评定本质安全电路温度, 利用电路参数及元件参数进行计算:

$$T=P_o R_{th}+T_{amb}$$

另外, 在电路板设计的过程中, 32 线激光雷达的电路板上的印制导线应符合 GB 3836.4-2010 中的 5.6.4。

由上述理论可知, 本质安全电路设计的原则是限压、限流、限能、隔离, 本质安全防爆技术实际上是一种低功率设计技术。

电阻电路设计中, 主要是选择合适阻值和种类的电阻。可靠限流电阻必须符合 GB 3836.4-2010 中 8.4。另外, 正温度系数的热敏电阻 (Positive Temperature Coefficient, PTC) 不能作为可靠限流器件使用。

电容电路设计中, 当电路中的电容超过标准中允许的电容时, 则应减小电容值, 电容值无法减小时, 则应在电容上并接稳压管。

电感电路设计中, 当电路中的电感超过标准中允许的数值时, 则应减小电感值, 电感值无法减小时, 则应在电感上并接整流二极管, 也可以并接电阻吸收能量, 在电感处还应注意使用局部胶封工艺。

在电路设计过程当中还需进行隔离设计, 隔离设计包括间距隔离和电气隔离。电路间距应符合 GB 3836.4-2010 中第 6 部分中关于各种间距的规定。电气隔离即使用隔离器件实现两部分电路模块之间的

隔离, 常用的隔离器件包括变压器、保险管和 TVS (Transient Voltage Suppressor, 瞬态二极管) 等。

### 2.3 本质安全型 32 线激光雷达性能指标

最终设计的本质安全型 32 线激光雷达利用多线激光束对水平  $120^\circ$  范围进行扫描实现三维立体探测成像。利用高精度激光回波信号测量技术, 实现远距测程, 高精度测量, 回波强度准确等特点, 并兼顾俯仰方向角度覆盖和角分辨率。探测距离最远可达 200m, 测距精度可控制在 2cm, 能有效抵抗环境背景光干扰, 目标反射回波强度标准 8bit, 功耗低于 8W。

## 3 多线激光雷达的应用

煤矿井下绞车安全预警系统包括绞车预警机器人、矿用隔爆型兼本安型计算机和矿用隔爆兼本安型无线基站。现场应用时, 将预警机器人挂载于矿车前端, 预警机器人实时检测矿车运行路径上的人员及障碍物。

激光雷达在机器人上的安装位置和姿态决定了障碍检测模块的感知范围和检测能力<sup>[4]</sup>。多线激光雷达安装于绞车预警机器人上方, 且俯仰角度可调整, 使多线激光雷达向正前方以最优角度探测。

### 3.1 多线激光雷达检测障碍物的算法选择

多线激光雷达检测障碍物的方式主要有两种, 一是基于深度学习<sup>[5]</sup>, 二是基于聚类。其中基于深度学习的方法检测准确度高, 但模型训练周期长且训练数据难以获取, 算法设计难度大; 而聚类方法因其强稳定性与实时性, 广泛应用于检测任务<sup>[6]</sup>。然而, 现场应用对检测精度要求较高, 要求机器人能够识别的最小障碍物尺寸为  $0.2\text{m} \times 0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ , 且要求识别距离尽可能大,

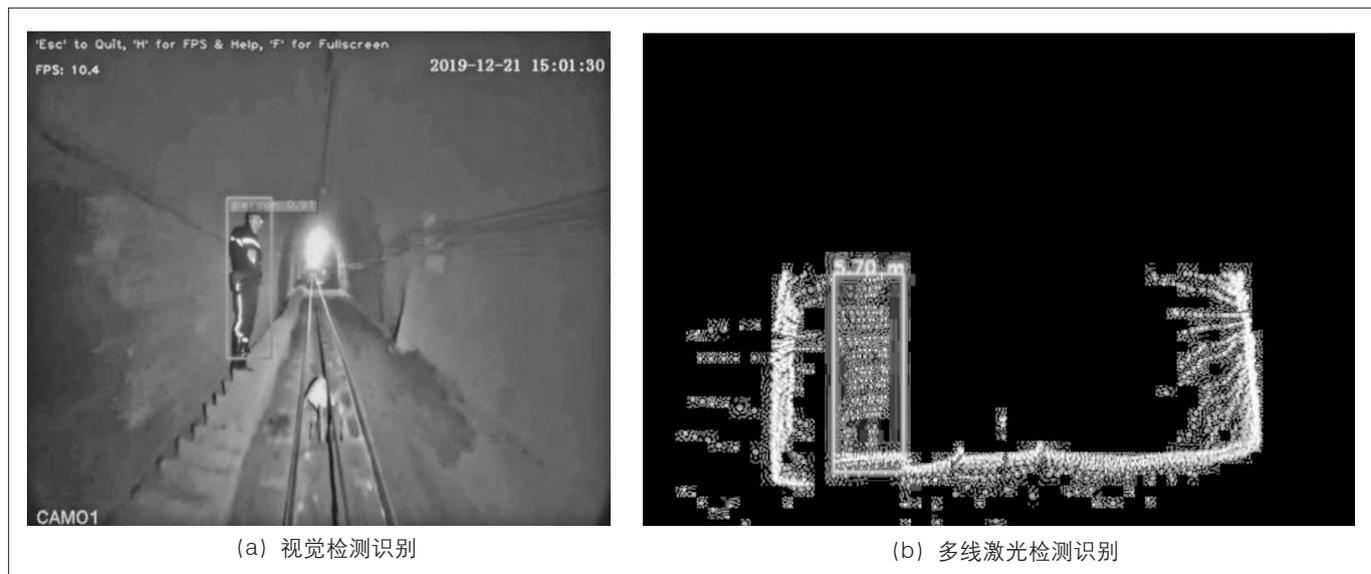


图 预警机器人对人员的识别

因此此处采用精度更高、难度更大的基于深度学习的方法检测异物。深度学习具有机器学习的主要特征,能够在实际应用过程中随着采集现场素材种类和数量的积累实现算法模型的自我优化。

### 3.2 煤矿井下应用效果

经过对煤矿井下绞车巷道内所采集的大量素材和数据的运算分析,首先得到较为精准的检测识别算法模型,然后运用该算法模型对巷道内的人和障碍物进行检测识别,识别效果如图所示。

经过大量的测试和数据统计,发现多线激光在人员检测方面具有明显的距离优势,最远检测距离可达33m,而基于光学变焦摄像机采集图像的视觉识别的最大距离为20m,各类检测结果如下表所示。

表 最远检测距离测试结果

检测功能	最远检测距离/m
激光检测障碍物	33
可见光检人(近)	11
可见光检人(远)	20
轨道上检测障碍物	10
轨道中间检测障碍物	9

## 4 结语

本文设计了一种用于煤矿井下防爆环境的本安型32线激光雷达,将该激光雷达应用于绞车预警机器人对绞车巷道内侵入到矿车运行路径上的人员或者异物

进行检测识别,从现场测试的效果可看出,多线激光雷达的引入,将人员检测的最大检测距离从20m提高到了33m,提升效果明显,因此,多线激光雷达在煤矿井下绞车预警系统中的推广应用也具有实际意义,能够进一步提高绞车运行的安全系数。

### 参考文献:

- [1] 王全新. 煤矿井下调度绞车安全预警装置的研制[J]. 同煤科技, 2016(3): 42-43+46.
- [2] 于金霞, 蔡自兴, 邹小兵, 等. 移动机器人导航中激光雷达测距性能研究[J]. 传感技术学报, 2006(2): 356-360.
- [3] 李博杨. 基于三维激光雷达的道路环境感知[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [4] 刘大学, 孙振平, 戴斌, 等. 多线激光雷达越野环境障碍检测[J]. 计算机仿真, 2009(7): 159-163.
- [5] Qi C R, Su H, Mo K, et al. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation[C]// 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2017.
- [6] 孔德明, 段呈新, 帕特·古森斯, 等. 基于车载16线激光雷达的障碍物检测方法[J]. 计量学报, 2021(7): 846-852.

**作者简介:** 王金国(1988-), 男, 汉族, 安徽滁州人, 本科, 工程师, 研究方向: 自动化。

## 更正

本刊2022年第28期(10月上旬刊)第13页,《真空夹具的设计与应用》(作者:王川)一文中,“ $P_a=105\text{Pa}$ ”应为“ $P_a=10^5\text{Pa}$ ”。特此更正并向作者致歉!

《中国机械》杂志社  
2022年11月