科研成果

文章编号:1671-251X(2018)09-0001-04　　DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018040007

矿井机车防撞预警系统设计

方崇全[1,2]

(1.中煤科工集团重庆研究院有限公司,重庆　400039;
2.瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室,重庆　400037)

摘要:针对现有井下机车防撞系统对于弯道、坡道、道岔等复杂地形没有相应的处理措施、易引起误报的问题,设计了一种矿井机车防撞预警系统。该系统利用二维扫描激光雷达实现了障碍物检测,雷达扫描角度为 270°,识别距离大于 60 m;通过 RFID 技术实现了弯道等特殊地形的检测及机车实时定位,并可获取机车速度、方向、所在轨道等运行状态;通过 Lora 无线数据透传技术实现了与相邻机车间的信息交互。现场工业性试验结果表明,该系统能够实现机车准确定位,特殊巷道地形识别、障碍物/地形识别实时性好,可满足井下应用需求。

关键词:矿井机车;防撞预警;障碍物检测;机车定位;激光雷达;RFID

中图分类号:TD524.3　　文献标志码:A

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.tp.20180816.1108.004.html

Design of anti-collision warning system for mine locomotive

FANG Chongquan[1,2]

(1.CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China;
2.State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China)

Abstract: In view of problem that existing underground locomotive anti-collision system had no corresponding treatment measures for complex terrain such as corners, ramps and ballasts, and it was easy to cause false alarms, an anti-collision warning system for mine locomotive was designed. The system uses two-dimensional scanning laser radar to realize obstacle detection, radar scanning angle is 270° and recognition distance is more than 60 m. Special terrain detection such as corners and real-time positioning of the locomotive are realized by RFID technology, and operating status of the locomotive speed, direction, and track can be obtained. Information interaction with adjacent locomotive is realized by Lora wireless data transparent transmission technology. The on-site industrial test results show that the system can accurately locate the locomotive, and the special roadway terrain identification and obstacle/terrain recognition have good real-time performance, which can meet the needs of underground applications.

Key words: mine locomotive; anti-collision warning; obstacle detection; locomotive positioning; laser radar; RFID

收稿日期:2018-04-02;**修回日期**:2018-07-20;**责任编辑**:胡娴。

基金项目:重庆市社会民生科技创新专项资助项目(cstc2016shmszx0008)。

作者简介:方崇全(1978—),男,四川广安人,副研究员,硕士,主要研究方向矿山自动化、煤矿安全监测监控,E-mail:279214626@qq.com。

引用格式:方崇全.矿井机车防撞预警系统设计[J].工矿自动化,2018,44(9):1-4.

FANG Chongquan. Design of anti-collision warning system for mine locomotive[J]. Industry and Mine Automation,2018,44(9):1-4.

0 引言

近年来，煤矿机车运输的伤亡事故呈现不断上升的趋势[1]。现有的煤矿轨道运输监控系统只针对机车运行信号进行监控，而忽视机车行驶环境安全，存在机车撞人、车物相撞等安全隐患。为了实现对机车周围环境的感知，目前主要采用超声波[1-2]、电磁波雷达[3]、摄像头[4-6]和激光雷达等对机车前方障碍物进行检测。现有的机车防撞系统设计通常考虑机车在直线轨道中运行的情况，对于弯道、坡道、道岔等复杂地形没有相应的处理措施，容易引起误报。

针对井下机车可能在复杂地形运行的情况，在参考借鉴汽车防撞预警技术[7-9]和列车防撞预警技术[10-11]的基础上，设计了基于二维扫描激光雷达、RFID 技术和 Lora 无线通信技术的机车防撞系统。二维扫描激光雷达的测量范围可以覆盖机车周围环境，而且激光雷达相比于电磁波雷达，测距精度更高，指向性更强；相比于摄像头，无需外加照明设备，可以应用在低照明和无照明环境中。利用 RFID 技术可以实现对井下复杂地形的识别，避免因地形复杂引起的误报。该系统成功实现了障碍物检测、弯道识别及定位机车所在轨道、位置、速度和运行方向等功能。当机车前方出现障碍物时，能够及时报警提醒司机，避免机车撞人、车物相撞等事故。

1 系统工作原理

矿井机车防撞预警系统主要包括二维扫描激光雷达、标签采集器、速度传感器、告警终端、Lora 无线数据透传模块、2 台摄像机及布置在机车运行轨道上的电子标签。系统结构如图 1 所示。

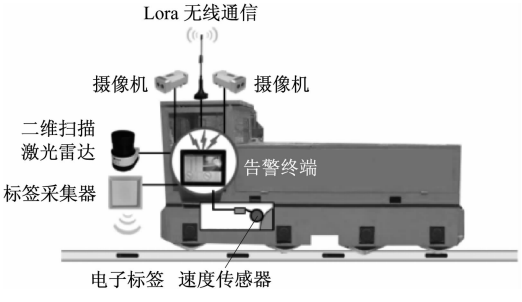

图 1 矿井机车防撞预警系统结构

Fig. 1 Structure of anti-collision warning system for mine locomotive

在机车运行过程中，二维扫描激光雷达持续对机车周围 270°范围进行扫描，输出点云数据到告警终端。告警终端对点云数据进行相应的处理，并根据告警算法和预设的告警区域实现障碍物准确识别，输出告警信号。标签采集器定时扫描有无新标签。告警终端根据电子标签信息和速度传感器信息融合解算出机车的位置、速度、方向和运行轨道等状态信息。Lora 无线数据透传模块用于广播当前机车信息和接收附近机车的关联信息。机车司机在驾驶室内视野有限，故采用摄像仪增大司机视野，监测机车周围环境。

2 系统硬件设计

2.1 二维扫描激光雷达

矿井机车防撞预警系统采用二维扫描激光雷达实现障碍物的准确识别。所选激光雷达的激光波长为 905 nm，扫描角度为 270°，扫描频率为 25 Hz，能够测量的距离范围为 0.5～100 m，整机功耗小于 8 W。经测试和计算，所采用的二维扫描雷达的角分辨率为 0.25°，光发散角为 0.6°。因此，在扫描过程中，相邻扫描光束的光斑之间存在重叠，没有盲区，如图 2 所示。激光雷达在巷道中所呈现的点云如图 3 所示，可以看到，巷道壁对激光雷达光束遮挡，从而形成清晰的巷道图案。

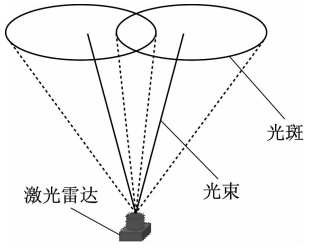

图 2 二维扫描激光雷达光束及光斑

Fig. 2 Beam and spot of 2D scanning laser radar

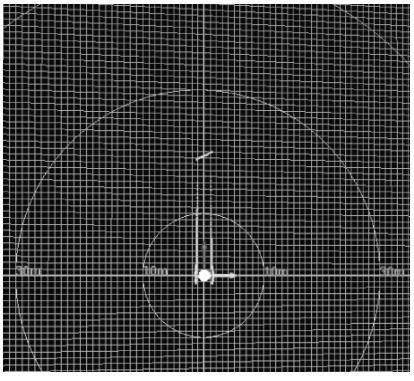

图 3 二维扫描激光雷达点云

Fig. 3 Point cloud of 2D scanning laser radar

2.2 超高频 RFID 电子标签

特殊地形如弯道、岔道、巷道壁等会对障碍物识别造成影响，故需根据机车的位置、所在轨道、运行

方向等信息调整预设的告警区域,防止误报。在弯道、道岔等地方,机车需要减速通过。故采用 RFID 技术对特殊地形进行识别,提前对机车司机进行告警提示,防止机车脱轨等事故。

在机车运行轨道上布置 RFID 电子标签,在机车上安装标签采集器。在机车运行过程中,标签采集器读取电子标签,得到机车所在轨道、运行方向及位置信息。RFID 系统工作频率包括低频、高频和超高频 3 种,相比于低频和高频,超高频 RFID 系统具有读写速度快和读写距离远等优点。所以,标签采集器采用超高频中距离 RFID 技术,读卡距离可以通过调整输出增益进行更改。针对井下湿度大、轨道容易被煤灰覆盖的情况,同时为了避免铁轨和机车外壳带来的电磁干扰,电子标签采用超高频 ABS 抗金属标签。

2.3　速度传感器

标签采集器在识别过程中存在一个识别范围。由于标签的布置距离大于阅读器射频识别距离,在 2 个标签中间,机车无法判断实时位置。RFID 电子标签布置如图 4 所示。为了提高机车定位精度并获得机车实时运行速度,采用霍尔式速度传感器监测机车运行速度。测量机车的实时运行速度有以下作用:① 机车超速行驶时,提醒司机降速,尤其是在弯道等特殊地形处。② 通过基于卡尔曼滤波器的速度和位置的融合算法,得到机车的准确位置。

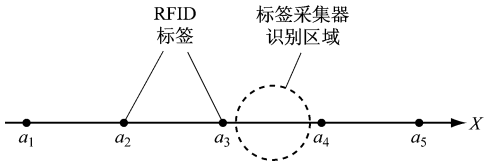

图 4　RFID 电子标签布置

Fig. 4　RFID tag deployment

速度测量通常通过编码器实现,现有的旋转编码器可分为有轴型和轴套型。有轴型旋转编码器需通过联轴器与机车轮轴连接,轴套型旋转编码器则直接套装在需测速的机车轮轴上。通过实地调研发现,上述安装方式在实际安装过程中均存在较大难度,需要对机车轮对进行拆装,不易实现。因此,本文提出了一种新的易于实现的安装结构。首先,编码器码盘设计为带有磁钢的胶轮,安装在机车轮对附近,通过与机车轮对的摩擦带动胶轮转动。其次,在小轮附近安装霍尔传感器,通过计算霍尔开关元件在单位时间内的脉冲数,得到当前机车的运行速度。

3　系统软件设计

矿井机车防撞预警系统软件主要包括障碍物识别告警和机车定位 2 个部分。

3.1　障碍物识别告警流程

基于二维扫描激光雷达的障碍物识别步骤:① 告警终端从标签采集器中读取电子标签的卡号,获取关于告警区域的信息,对告警区域进行设置。② 告警终端从二维扫描激光雷达中读取点云数据。③ 通过多边形告警算法判断在预设告警区域内是否存在障碍物。④ 如果存在障碍物,则进行语音告警,提示机车司机减速;如果不存在障碍物,则返回继续检测。障碍物识别告警流程如图 5 所示。

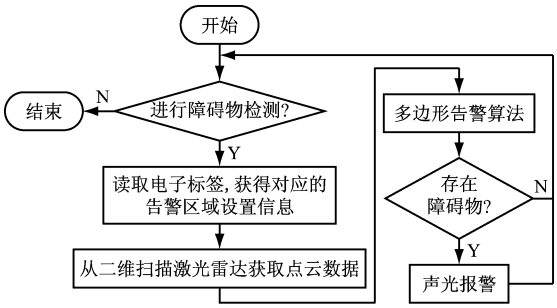

图 5　障碍物识别告警流程

Fig. 5　Flow of obstacle identification and alarm

井下巷道中包含直道、岔道、坡道和弯道等,考虑到在不同路况下,扫描激光雷达的成像不同,机车在直道和其他复杂地形中行进时采用的告警算法有所不同。在直道中,采用方形告警算法,告警区域的尺寸由所在巷道的宽度和相关的告警技术参数来确定。在其他复杂地形中,需要结合巷道的地图信息确定当前地形,然后根据地形实时调整多边形设置点的参数。

3.2　机车定位算法

机车定位算法用于实现机车在井下轨道运行时的精确定位。其输入为来自速度传感器的实时车速信息和来自标签采集器的机车位置、方向和轨道信息,输出为通过卡尔曼滤波器融合后的机车位置、速度、方向和所在轨道信息。基于传感器融合的机车定位算法步骤:① 从标签采集器处读取初始位置。② 从速度传感器处读取机车实时运行速度。③ 对速度进行积分,预测机车位置。④ 如果有新标签出现,则根据新标签的位置信息对机车位置、速度、方向和所在轨道等信息进行更新,然后返回步骤②。

3.3 告警终端界面

告警终端软件采用 Windows Presentation Foundation/C♯进行开发，可显示告警信息、机车运行状态及周边环境，如图 6 所示。告警终端界面主要分为 4 个部分。左上部分显示的是当前机车和相邻机车在轨道上的位置。当出现告警信号时，左上部分的背景会呈现红色，并发出语音提示，提醒司机进行相应操作。右上部分显示的是实时视频图像。左下和右下部分显示的是当前机车在轨道的运行状态，包含速度、位置、方向和轨道。

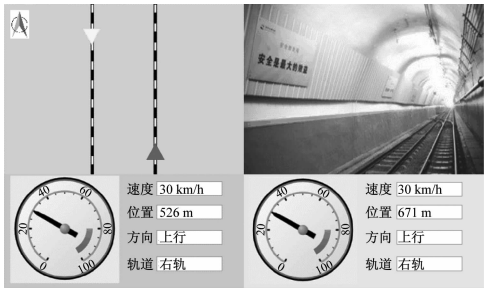

图 6 告警终端界面

Fig. 6 Interface of alarm terminal

4 系统功能特点

(1) 采用基于二维扫描激光雷达的障碍物识别方法，实现人、车等多种障碍物的识别与告警。识别范围广，可实现 270°范围内障碍物的准确识别，且识别距离大于 60 m。

(2) 采用 RFID 定位技术实现了井下机车的精确定位及弯道、岔道等特殊地形的识别，以及机车运行状态、位置、速度、运行方向及所在轨道的实时监控。

(3) 采用工业级平板电脑进行各项运算，运算能力强大，障碍物识别和弯道等特殊地形识别的实时性好，均小于 1 s。

5 结语

基于二维扫描激光雷达的矿井机车防撞预警系统解决了现有轨道运输监控系统无法提供实时的机车周围障碍物情况的问题。该系统无需外接照明设备，适用于井下低照明或无照明的情况。该系统已在四川芙蓉集团实业有限责任公司杉木树煤矿现场进行了工业性试验，结果表明，该系统能够实现机车准确定位，特殊巷道地形识别、障碍物/地形识别实时性好，可满足井下应用需求。

参考文献(References)：

[1] 牛犇. 基于单目视觉的矿井机车防撞预警系统设计[D]. 重庆：重庆大学，2009.

[2] 王壬. 基于机器视觉的井下机车防撞系统研究[D]. 重庆：重庆大学，2012.

[3] 王登贵，杨艳. 基于激光测距的矿井机车防撞测距系统研究[J]. 工矿自动化，2014，40(7)：80-83.
WANG Denggui，YANG Yan. Research of collision avoidance and ranging system of mine locomotive based on laser ranging [J]. Industry and Mine Automation，2014，40(7)：80-83.

[4] 杨娟. 煤矿井下机车防撞系统设计[J]. 煤炭技术，2014，33(11)：197-199.
YANG Juan. Design on anti-collision system of coalmine underground tramcar[J]. Coal Technology，2014，33(11)：197-199.

[5] 王方杰，房乾龄. 基于无线视频的机车监控系统设计[J]. 煤炭与化工，2017(5)：91-94.
WANG Fangjie，FANG Qianling. Locomotive monitoring system design based on wireless video[J]. Coal and Chemical Industry，2017(5)：91-94.

[6] 杨鑫，马斌，王健生，等. 基于单目视觉的矿井机车障碍物检测和测距方法[J]. 工矿自动化，2014，40(11)：96-99.
YANG Xin，MA Bin，WANG Jiansheng，et al. Obstacle detection and ranging method of mine locomotive based on monocular vision[J]. Industry and Mine Automation，2014，40(11)：96-99.

[7] 赵立厂. 露天矿山卡车防撞预警系统设计[J]. 工矿自动化，2015，41(2)：100-102.
ZHAO Lichang. Design of collision warning system of truck for open pit mine [J]. Industry and Mine Automation，2015，41(2)：100-102.

[8] 钟霞，于灏. 汽车防撞雷达对弯道行驶目标的车道识别[J]. 工业仪表与自动化装置，2011(3)：72-75.
ZHONG Xia，YU Hao. Roadway judgement of aim car in curve road with automotive anti-collision radar [J]. Industrial Instrumentation & Automation，2011(3)：72-75.

[9] 王葵. 无人车前方障碍物的检测方法研究[D]. 合肥：安徽大学，2012.

[10] 郑策. 列车防撞辅助预警系统的研究与实现[D]. 北京：北京交通大学，2015.

[11] 樊家良. 机车防撞雷达的信号处理与目标检测技术研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2014.