

引用格式: 胡 荣, 罗小青, 何尚平. 基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(3): 253—258

Hu Rong, Luo Xiaoqing, He Shangping. Automatic detection and alarm system for rail collapse based on ARM cortex M3 [J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(3): 253—258

电子技术、通信技术

基于 ARM cortex M3 铁轨塌方 自动检测报警系统

胡 荣 罗小青* 何尚平

(南昌大学科学技术学院, 南昌 330029)

摘 要 当前铁轨塌方检测通常采用人工检测方法,令专业技术人员定期对铁轨进行安全检查,通过经验判断是否会发生塌方。人工检测危险系数高;且因主观性导致误差较大。为此,设计了一种新的基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统,所设计系统主要由传感器检测模块、CPU 控制模块、GSM 无线传输模块、太阳能供电模块以及 GPS 定位模块构成,详细介绍了关键模块的设计过程。将 ARM cortex M3 作为整个系统的主要控制芯片,通过塌方传感器对塌方情况进行检测;利用 GPS 定位模块对塌方位置进行定位;通过远程无线传输模块实现报警,利用最小二乘法多项式曲线拟合方法对传感器检测过程中出现的误差施行补偿。实验结果表明,所设计系统不仅能有效实现报警,而且不易出现故障、维修成本低、实时性高。

关键词 ARM cortex M3 铁轨 塌方 自动检测 报警

中图法分类号 TN702;

文献标志码 A

目前铁路运输是我国最主要的运输方式之一。随着技术的不断更新,铁路运输也在不断的发展,给人们出行带来很大的便利;但铁路运输仍存在一些危险因素^[1-2]。火车在高速行驶时,一些普通的自然灾害就能危害到人们的生命安全,为了最大限度降低塌方对铁路运输的影响,在铁轨上安装自动检测报警系统等安全防护措施是必然的^[3]。

文献[4]提出一种 M-correlator 关联系统对铁轨塌方进行自动检测报警;该系统能够对被检测对象特点和严重程度等信息进行收集,并把收集的信息反馈到相应的安全设施中,实现报警;该系统可以准确对塌方等自然灾害进行自动检测报警,但最大的缺点是必须通过人工分析进行确定。文献[5]提出一种基于关联主机漏洞信息的铁轨塌方自动检测报警系统。依据静态资产信息对报警结果进行筛选,滤除无关报警,将处理后结果聚集在一起,依据被攻击主机是否存在对应漏洞来判断攻击是否已经成

功,从而确定报警的真实性。该系统准确性高,但效率低下。文献[6]提出了一种结合了物联网、移动通信以及 WebGIS 技术的铁轨塌方自动检测报警系统,该系统利用物联网采集技术获取塌方数据,将采集数据通过移动通信信息传输技术进行传输,把得到的数据与历史数据结合在一起,利用 WebGIS 技术进行处理,生成灾情实情图。该系统实时性较高,但数据在传输过程中会丢失,降低报警准确率。

针对上述系统的弊端,设计了一种新的基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统,所设计系统主要由传感器检测模块、CPU 控制模块、GSM 无线传输模块、太阳能供电模块以及 GPS 定位模块构成。实验结果表明,所设计系统不仅能有效实现报警,而且不易出现故障、维修成本低、实时性高。

1 基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统

1.1 系统总体结构

所设计的基于 ARM cortex M3 的铁轨塌方自动检测系统由 5 个模块构成,分别为传感器检测模块、CPU 控制模块、无线传输模块、太阳能供电模块以及 GPS 定位模块,系统总体结构用图 1 进行描述。

1.2 微处理控制器模块

将 ARM cortex M3 作为整个系统的主要控制芯

2017 年 3 月 14 日收到

江西省教育厅科学技术研究项目

(151503) 资助

第一作者简介:胡 荣(1986—),女,汉族,江西瑞昌人,硕士,讲师。研究方向:数字图像处理。

* 通信作者简介:罗小青(1983—),男,汉族,江西新余人,硕士,副教授。研究方向:计算机控制与嵌入式智能仪表研究。E-mail: hulu-roong@sina.com。

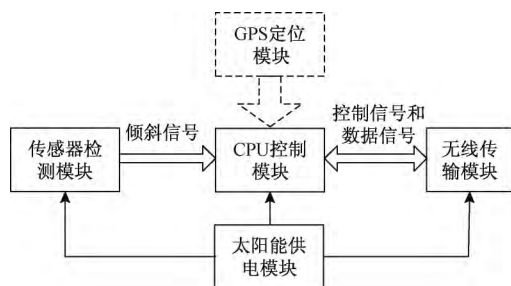


图1 系统总体结构

Fig. 1 System architecture

片,它具有功能强、节能性强以及成本低等特点^[7]。所设计系统主要通过塌方传感器检测技术进行检测报警;它能准确检测出因每段铁轨以及铁轨周边土壤与支撑体等出现变化引起的角度变化情况。当出现塌方时通过GPS定位模块对塌方发生地进行准确判定,通过GSM远程无线传输进行报警^[8]。ARM cortex M3主控芯片配置了超大内存存储器、加强型电源、I/O扩展,具有64位超高计算能力,超大内存的存储器可以对收集的信息进行充分存储;加强型电源保证系统可以持续工作;64位计算能力加快了数据处理速度。同时ARM cortex M3有12位A/D转换功能,可完成对倾斜传感器倾斜角度的测量。

1.3 塌方传感器检测模块

针对全段铁路选用专业倾角模块STM124A-A06P塌方传感器进行检测,该传感器广泛应用于角度测量、位移测量等安全检测设施,能快速精确地测出塌方位置的细节信息^[9,10],其电路图如图2所示。

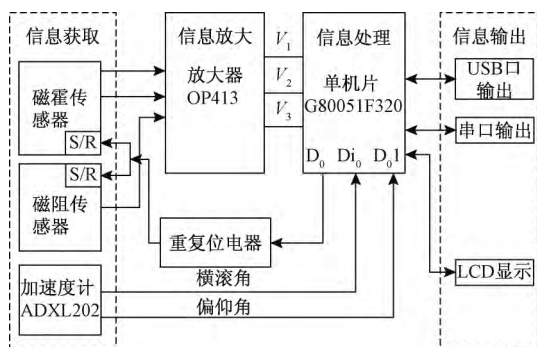


图2 塌方传感器电路图

Fig. 2 Collapse sensor circuit

1.4 GPS定位模块

GPS定位技术各个领域已被广泛用,该技术具有抗外界干扰性强与准确度高特点^[11]。通过GPS定位技术对铁路塌方具体位置进行确定,将获得的位置信息通过TTL电平串口传递给主控芯片ARM cortex M3上,主控芯片根据得到的信息,结合从传感器接收到的信息判断是否需要报警。

GPS定位模块以NEO_5Q芯片为核心,该芯片具有成本低、准确度高以及处理速度快等特点,其一旦接通电源就会不间断的工作,因此必须利用I/O总线对电源转换芯片进行控制,在无需GPS提供信息的情况下,对其进行断电处理,使能耗降到最低^[12]。图3描述的是GPS定位电路原理图。

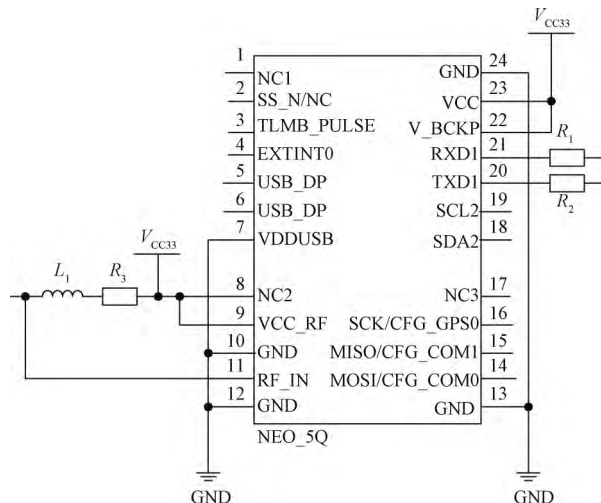


图3 GPS定位电路原理图

Fig. 3 Schematic diagram of the GPS positioning circuit

1.5 GSM无线传输模块

GSM无线传输模块是整个系统的桥梁,它串联着各个环节准确进行,具有速度快、成本低以及准确度高特点^[13,14]。该模块以MMA7455芯片为核心,其工作电压在3.3~5.5V范围内,只运行于800MHz与1600MHz,大大降低了能耗以及外界因素的干扰。除此之外该模块还存在语音识别等辅助功能,利用独特的引脚与连接器完成不同请求和控制信号的双向传输^[15]。图4描述的是GSM无线传输模块电路图。

1.6 误差补偿

通过塌方传感器对铁轨塌方进行检测时会出现一定的误差,导致整个系统报警准确度降低^[16]。利

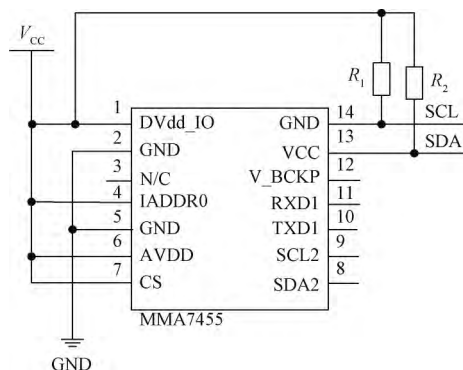


图4 无线传输模块电路图

Fig. 4 Wireless transmission module circuit diagram

用最小二乘法多项式曲线拟合方法对出现的误差施行补偿。该方法计算公式为:

$$f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i \tag{1}$$

式(1)中, x 用于描述测量点; n 用于描述测量次数。该方法在绘制曲线图时不用使每个测量点都在绘制的曲线上,只需使曲线尽可能靠近每个点,将彼此函数关系充分体现即可,从而获得最准确的拟合精度^[17,18]。该方法主要实现过程为:

首先进行 n 次测量,对获取的每个测量点数据 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 进行计算^[19,20],计算公式为

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_{n-1} x^{n-1} + a_n x^n \tag{2}$$

根据式(2)确定 x 与 y 之间的函数关系,在给定的 $x_0, x_1, \dots, x_n, x_m$ 上计算误差平方和,其计算公式为:

$$E = \sum_{j=0}^m [f(x_j) - y_j]^2 = \sum_{j=0}^m \left[\sum_{i=0}^n a_i x_j^i - y_j \right]^2 \tag{3}$$

式(3)中, E 用于描述测量点拟合值和原始值之间的误差平方和。只有当 E 最小时检测误差最小,检测数据最准确。

2 现场实验

2.1 测试环境

为了验证本文设计的基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统的有效性,需要进行相关的实验分析。

实验选择某地某路段铁轨作为研究对象,将 M-correlator 系统和 WEBGIS 系统作为对比进行测试,实验现场如图 5 所示。

所设计的报警器如图 6 所示。

2.2 塌方传感器测试

本文系统、M-correlator 系统和 WEBGIS 系统选用了不同的塌方传感器,塌方传感器是整个自动检

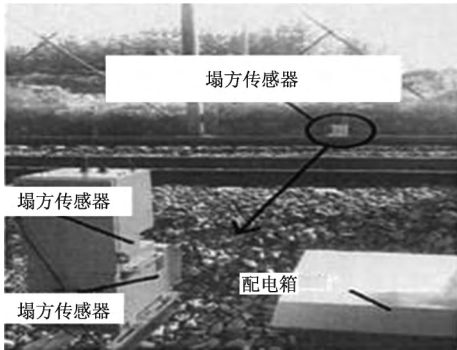


图 5 实验现场图

Fig. 5 Experimental site map

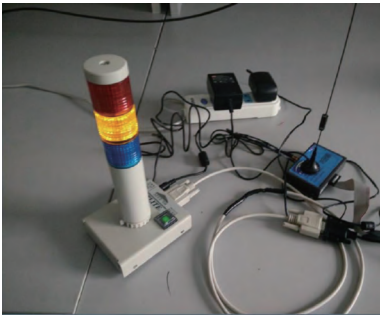


图 6 报警器示意图

Fig. 6 Schematic diagram of alarm

测报警系统的关键部分,因此本节对塌方传感器的准确性进行测试。

首先将塌方传感器放平,然后多次改变传感器倾斜角,比较输出端输出结果与实际结果之间的差异,如果绝对误差在允许误差范围内(低于 0.2),则认为塌方传感器准确性高,适于实际应用。

表 1 描述的是本文系统、M-correlator 系统和 WEBGIS 系统的传感器测试结果。

表 1 三种系统传感器测试结果
Table 1 Test results of three kinds of sensors (°)

实际 倾斜 角	本文系统		M-correlator 系统		WEBGIS 系统	
	检测倾 斜角	绝对 误差	检测倾 斜角	绝对 误差	检测倾 斜角	绝对 误差
1	1.19	0.19	1.36	0.36	1.41	0.41
2	2.14	0.14	2.29	0.29	2.22	0.22
3	3.1	0.1	3.51	0.51	2.81	0.19
4	4.09	0.09	4.7	0.7	4.13	0.13
5	5.16	0.16	5.39	0.39	5.29	0.29
6	6.12	0.12	5.81	0.19	6.37	0.37
7	7.07	0.07	7.19	0.19	7.25	0.25
8	8.06	0.06	8.32	0.32	7.82	0.18
9	8.83	0.17	9.26	0.26	9.33	0.33
10	9.82	0.18	9.71	0.29	10.15	0.15

分析表 1 可以看出,本文系统检测倾斜角和实际倾斜角之间的绝对误差最高不超过 0.2,在允许误差范围内。而 M-correlator 系统的最高绝对误差为 0.7,远远高于允许最高误差,且只有两次检测结果绝对误差在允许范围内,检测精度较低,大大干扰报警准确性。WebGIS 略优于 M-correlator 系统,其最高绝对误差为 0.41,且有四次检测结果在允许误差范围内,但整体检测性能仍明显低于本文系统,说明本文系统选用的塌方传感器可靠性最高。

2.3 报警性能测试

截至目前,本文研究铁路营运线路达 253 km,铁路平交道口 100 个,其中安装报警系统的共 85 个,本节实验挑选了 6 个具有代表性的铁路道口,其

中包含 2 个单股道道口、2 个 2 股道道口、2 个 3 股道道口,共进行半年的实验,对实验结果进行统计跟踪。在实验的过程中,依次对本文系统、WebGIS 和 M-correlator 系统作用下的漏报、迟报、误报、信号灯不亮和维护费用等指标平均至每个月进行比较分析,结果用表 2 进行描述。

分析表 2 可知,本文系统针对不同类型道口的误报、漏报和迟报次数明显少于 WebGIS 和 M-correlator 系统,且没有出现信号灯不亮的系统故障,稳定性很高,同时系统维护费用较低。说明本文系统不仅能有效实现报警,而且不易出现故障,维修成本低。

分析表 2 可以看出,本文系统还有一定的误报、漏报和迟报行为,为了进一步验证本文系统的有效性,本节重点针对报警系统的准确性进行分析,通过准确率 A_{cc} 、误检率 W 和漏检率 M 对 85 个安装报警系统的道口进行报警准确性测试实验。

$$A_{cc} = \frac{J_z}{S} \tag{4}$$

$$W = \frac{J_c}{J_q} \tag{5}$$

$$M = \frac{B}{S} \tag{6}$$

式中, J_z 用于描述准确报警样本数量; S 用于描述实际发生的样本数量; J_c 用于描述错误报警样本数量; J_q 用于描述所有样本数量; B 用于描述没有报警的样本数量。

表 3 描述的是本文系统、WEBGIS 系统和 M-correlator 系统的报警准确性比较结果。

分析表 3 可以看出,本文系统的报警准确率为

96.3%,明显高于 M-correlator 系统的准确率 87.5% 和 WebGIS 的准确率 91.5%;而本文系统的误检率和漏检率明显低于 WEBGIS 系统和 M-correlator 系统,说明本文系统报警准确率很高,能够满足实际需求。

2.4 报警实时性测试

铁轨塌方自动检测报警系统在实际应用中需达到实时性的要求,所以本节针对实时性问题进行实验测试。

本节针对单股道道口、2 股道道口和 3 股道道口进行实时性测试,分别采用本文系统、WebGIS 和 M-correlator 系统对三种不同类型道口进行塌方检测报警,三种道口总体数量为 85 个,将不同类型道口报警实时性平均值作为最终测试结果,三种系统报警实时性比较结果用表 4 进行描述。

分析表 4 可以看出,针对不同类型道口,本文系统检测频率最高为 18 次/s,明显高于 WEBGIS 系统的 15 次/s 和 M-correlator 系统的 13 次/s,且报警时间明显低于其他两种系统,说明本文系统实时性很高,能够满足实际应用对实时性的要求。

3 结论

本文设计了一种新的基于 ARM cortex M3 铁轨塌方自动检测报警系统,所设计系统主要由传感器检测模块、CPU 控制模块、GSM 无线传输模块、太阳能供电模块以及 GPS 定位模块构成,详细介绍了关键模块的设计过程,利用最小二乘法多项式曲线拟合方法对传感器检测过程中出现的误差施行补偿。实验结果表明,所设计系统整体性能高。

表 2 三种系统应用效果比较
Table 2 Comparison of the effect of the three systems

指标	系统	2 股道道口	单股道道口	3 股道道口	2 股道道口	3 股道道口	单股道道口
漏报次数/次	本文系统	0	0	1	0	0	0
	M-correlator 系统	2	3	4	3	2	3
	WebGIS	1	2	2	4	3	1
误报次数/次	本文系统	0	0	0	1	0	0
	M-correlator 系统	1	3	2	3	2	4
	WebGIS	0	2	1	0	1	3
迟报次数/次	本文系统	1	0	0	0	1	0
	M-correlator 系统	1	0	2	1	3	2
	WebGIS	2	2	3	0	1	3
信号灯不亮次数/次	本文系统	0	0	0	0	0	0
	M-correlator 系统	1	2	4	2	3	2
	WebGIS	3	2	1	3	2	3
维修费用/万元	本文系统	0.11	0.13	0.12	0.1	0.1	0.1
	M-correlator 系统	0.51	0.55	0.53	0.56	0.57	0.62
	WebGIS	0.35	0.37	0.32	0.36	0.37	0.35

表 3 三种系统报警准确性比较结果
Table 3 Comparison results of alarm accuracy of the three systems

指标	本文系统	M-correlator 系统	WebGIS
准确率	96.3	87.5	91.5
误检率	1.2	5.2	3.7
漏检率	1.6	6.9	3.5

表 4 三种系统实时性比较结果
Table 4 Comparison results of real time of the three systems

道口类型	本文系统		M-correlator 系统		WebGIS	
	检测频率/(次·s ⁻¹)	报警时间/s	检测频率/(次·s ⁻¹)	报警时间/s	检测频率/次·s ⁻¹	报警时间/s
单股道口	18	0.06	13	0.12	15	0.1
2 股道口	15	0.1	10	0.16	12	0.15
3 股道口	12	0.088	8	0.13	9	0.17

参 考 文 献

1 Motesharrei S ,Rivas J ,Kalnay E. Human and nature dynamics (HANDY) : modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies. *Ecological Economics* ,2014; 101 (4) : 90—102

2 陈 茹. 电子线路板卡自动检测系统输入输出扩展电路的设计. *电子设计工程* 2016; 24(12) : 121—123
Chen Ru. Electronic circuit board automatically detects the system input and output expansion circuit design. *Electronic Design Engineering* 2016; 24(12) : 121—123

3 常文萃. 大型船舶水线面视觉图像检测自动化系统设计. *计算机仿真* 2015; 32(8) : 199—202
Chang Wencui. Design of automatic detection system for visual image of large ship waterline. *Computer Simulation* 2015; 32(8) : 199—202

4 Sgambi L. Influence of degradation at the base of a support post in a collapse of an old guardrail: a forensic analysis. *Engineering Failure Analysis* 2014; 42(4) : 284—296

5 刘 坤 张晓峰 陈海永 等. 带钢表面质量在线检测系统研究与设计. *计算机测量与控制* 2015; 23(6) : 1881—1884
Liu Kun Zhang Xiaoyi Chen Haiyong *et al.* Study and system design for steel surface defect detection online. *Computer Measurement & Control* 2015; 23(6) : 1881—1884

6 王迎超 李亚博 乔 伟 等. 基于层次分析法的隧道塌方影响因素的定量评估研究. *科技通报* 2016; 32(5) : 180—186
Wang Yingchao Li Yabo Qiao Wei *et al.* Study on the quantitative evaluation of influencing factors of tunnel collapse based on analytic hierarchy process. *Bulletin of Science and Technology* ,2016; 32(5) : 180—186

7 Micheal A A ,Vani K Sanjeevi S. Automatic graben detection in lunar images using hessian technique. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 2014; 42(2) : 445—451

8 徐振辉 周世海 赵富全 等. 一种基于改进视觉注意模型和局部自相似性的目标自动检测算法研究. *科学技术与工程* ,2014; 14(25) : 115—118
Xu Zhenhui Zhou Shihai Zhao Fuquan *et al.* Research on target detection algorithm based on improved visual attention model and local self-similarity character. *Science Technology and Engineering* ,2014; 14(25) : 115—118

9 Boudemagh N ,Hammoudi Z. Automatic censoring CFAR detector for heterogeneous environments. *AEU-International Journal of Electronics and Communications* 2014; 68(12) : 1253—1260

10 刘 洋 余 刃 张 耀 等. 核反应堆非保护信号停堆自动检测报警装置设计. *四川兵工学报* 2016; 37(1) : 82—86
Liu Yang Yu Ren Zhang Yao *et al.* Design of automatic detection and alarm device for nuclear reactor non-protection signal shutdown. *Journal of Sichuan Ordnance* 2016; 37(1) : 82—86

11 杨 光 刘敦文 褚夫蛟 等. 基于云模型的隧道塌方风险等级评价. *中国安全生产科学技术* 2015; 11(6) : 95—101
Yang Guang Liu Dunwen Chu Fu-jiao *et al.* Evaluation on risk grade of tunnel collapse based on cloud model. *Journal of Safety Science and Technology* 2015; 11(6) : 95—101

12 Mera C ,Branch J W. A survey on class imbalance learning on automatic visual inspection. *IEEE Latin America Transactions* ,2014; 12(4) : 657—667

13 冯迎军. 碳质板岩隧道塌方处理方案探讨. *现代隧道技术* 2014; 51(2) : 178—181
Feng Yingjun. Discussion of the treatment of collapse in a tunnel passing through carbonaceous slate. *Modern Tunnelling Technology* , 2014; 51(2) : 178—181

14 董亚宁 王帮策 陈能革. 软弱岩层巷道塌方区防渗加固治理技术. *安徽冶金科技职业学院学报* 2014; 24(1) : 27—30
Dong Yaning Wang Bangce Chen Nengge. Anti-seepage reinforcement and control technology of roadway landslide area in soft rock stratum. *Journal of Anhui Vocational College of Metallurgy and Technology* 2014; 24(1) : 27—30

15 尹 强. 新型火灾报警系统在向家坝水电站的应用. *水力发电* , 2014; 40(1) : 57—59
Yin Qiang. Application of new fire alarm system in Xiangjiaba hydropower station. *Water Power* 2014; 40(1) : 57—59

16 Jacquet D ,Hasbani F ,Flatresse P *et al.* A 3 GHz dual core processor ARM Cortex TM-A9 in 28 nm UTBB FD-SOI CMOS with ultra-wide voltage range and energy efficiency optimization. *IEEE Journal of Solid-State Circuits* 2014; 49(4) : 812—826

17 赵 斌 周 军. 基于改进棋盘的角点自动检测与排序. *光学精密工程* 2015; 23(1) : 237—244
Zhao Bin Zhou Jun. Automatic detection and sorting of corners by improved chessboard pattern. *Optics and Precision Engineering* , 2015; 23(1) : 237—244

18 李冠志 万贤福 汪 军 等. 基于机器视觉的坯布疵点实时自动

- 检测平台. 东华大学学报(自然科学版) 2014; 40(1) : 11—16
- Li Guanzhi , Wan Xianfu , Wang Jun , *et al.* The machine vision-based platform for real-time grey fabric defect detection. Journal of Donghua University (Natural Science Edition) , 2014; 40 (1) : 11—16
- 19 Molodova M , Li Z , Núñez A *et al.* Automatic detection of squats in railway infrastructure. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2014; 15(5) : 1980—1990
- 20 Dou J , Li X , Yunus A P *et al.* Automatic detection of sinkhole collapses at finer resolutions using a multi-component remote sensing approach. Natural Hazards 2015; 78(2) : 1021—1044

Automatic Detection and Alarm System for Rail Collapse Based on ARM Cortex M3

HU Rong , LUO Xiao-qing^{*} , HE Shang-ping

(College of Science and Technology , Nanchang University , Nanchang 330029 , China)

[Abstract] The current rail collapse detection usually adopts manual detection method , the professional and technical personnel conduct regular safety inspections of the tracks , judge whether it would collapse by experience , artificial detection and high risk , and because of subjective errors caused. Therefore , an automatic detection and alarm system based on ARM cortex M3 rail collapse new design , the design system is composed of sensor detection module , CPU control module , GSM wireless transmission module , solar power module and GPS positioning module , introduces the design process of the key module. The ARM cortex M3 as the main control chip of the whole system , to detect collapse collapse by sensor , using GPS positioning module to locate the collapse position through the remote wireless transmission module to achieve the alarm , using the least squares polynomial curve fitting method of error compensation implementation in the process of detection sensor. The experimental results show that the designed system not only can effectively realize the alarm , but also is not easy to malfunction , low maintenance cost and high real-time performance.

[Key words] ARM cortex M3 rail collapse automatic detection alarm