

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0137-05

基于大数据的施工人员健康监控自动化系统开发

李 洺, 牛 菁

(上海建工医院, 上海 200083)

摘要:为了实时监控施工人员健康,研究开发了基于大数据的健康监控自动化系统。系统采用高精度传感器收集生理和环境参数,如体温、心率、血压,以及工作环境的温度、湿度等。通过大数据技术处理和分析数据,发现潜在健康风险,为施工人员提供个性化健康建议。系统测试显示,采集点误差介于0.5%—3.4%,误差源自设备精度、环境因素和数据处理过程。尽管存在误差,但系统性能达标,有效监控施工人员健康。因此,该系统在施工现场应用,可以提升工作效率,降低事故率,保障施工人员健康安全。

关键词:大数据;施工人员;健康监控;自动化系统;系统设计

中图分类号: TP311.13; TP319

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)01-0137-05

Development of automatic system for health monitoring of construction personnel based on big data

LI Ming, NIU Jing

(Shanghai Construction Engineering Hospital, Shanghai 200083, China)

Abstract: In order to monitor the health of construction workers in real-time, a health monitoring automation system based on big data is developed. The system uses high-precision sensors to collect physiological and environmental parameters, such as body temperature, heart rate, blood pressure, as well as temperature and humidity in the working environment. By using big data technology to process and analyze data, potential health risks are identified and personalized health recommendations are provided for construction personnel. System testing shows that the collection point error ranges from 0.5% to 3.4%, and the error is due to equipment accuracy, environmental factors, and data processing processes. Although there are errors, the system performance meets the standards and effectively monitors the health of construction personnel. Therefore, the application of this system on construction sites can improve work efficiency, reduce accident rates, and ensure the health and safety of construction personnel.

Keywords: big data; construction personnel; health monitoring; automatic system; system design

0 引言

在快速发展的现代社会中,科技进步对施工行业安全与效率的提升起到了决定性作用。其中,人员健康监控系统的引入尤为关键,传统监控手段在数据处理和实时性方面的不足,成为推动基于大数据的自动化健康监控系统研发的重要驱动力。该系统旨在通过高效的数据收集、处理和分析,来提升监控效率,减少人为错误,并提供深入的健康风险预警。国内外的相关研究已经证明了科技在提高施工人员健康监控质量方面的重要性。罗苗健等通过物联网技术的应用,开发了建筑人员体征监测系统,提高了现场安全监管的能力^[1]。进一步地,陈小宁等通过结合Hadoop和Docker技术,提升了健康数据管理的效能,增强了复杂健康数据处理的能力^[2]。这些研究体现了大数据

技术在提升国内施工安全监控中的应用前景。与此同时,国外研究者如Nwaogu J M等则重点关注了心理健康干预措施对建筑工人的影响,他们的研究结果强调了工作场所心理健康一级干预措施的重要性^[3]。而Wang B等的研究则通过行为分析揭示了招标过程中的潜在串谋,为政府监管提供了新的视角^[4]。这些国外研究不仅补充了国内在数据分析和心理健康干预方面的研究,也为施工人员健康监控提供了新的思路。综合这些研究成果,研究的目标是开发集成最新大数据分析和机器学习技术的施工人员健康监控自动化系统。通过实时收集传感器数据,系统将自动处理和分析这些信息,识别健康风险,并提出预防策略。本研究的创新之处在于首次将大数据技术和自动化应用于施工人员健康监控领域,不仅增强了数据处理的能力,还拓宽了分析的深度和广度,为施工人员提供更全面

收稿日期:2024-04-22;录用日期:2024-07-08

基金项目:上海市科委科技攻关计划项目(03DZ12045)

作者简介:李 洺(1981—),男,副主任医师,研究方向:急危重症信息化。

引用本文:李洺,牛菁.基于大数据的施工人员健康监控自动化系统开发[J].自动化技术与应用,2026,45(1):137-141.(LI Ming, NIU Jing. Development of Automatic System for Health Monitoring of Construction Personnel Based on Big Data[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(1):137-141.)

的健康保护。研究的贡献在于极大提升了施工行业的安全性和工作效率。通过早期识别和预防健康风险,减少了工伤和健康问题的发生,同时,大数据和自动化的结合也为施工行业的现代化和智能化奠定了基础。

1 健康监控自动化系统构建

1.1 健康监控自动化系统硬件方案

健康监控自动化系统的硬件平台采用最新的英特尔 Xeon 处理器作为主控单元,利用其集成的模拟数字转换器(analog to digital converter, ADC)模块,通过健康数据采集设备对施工人员的心率、血压和体温等生理参数进行实时采集^[5-6]。这些生理参数的采集是通过对应的可穿戴式监测传感器来完成的,比如心率传感器(HRM-2103 穿透式心率指套)、血压传感器(电阻式压力传感器 MPS3117-006GA)和体温传感器(YSI-400 热敏探头)等。其中心率传感器采集的是手指的信号,该传感器外部有接地引脚、输出端引脚、+5 V 电源引脚,其通过测量心率的周期数来计算心率。血压传感器则需要与袖带、匀速放气阀、微型电磁阀、导气管、微型充气泵和通管等器件进行联合使用,借助示波法来测量血压。采集程序会对生理参数进行 AD 采样,对各个生理参数进行滤波、变换等软件处理。心率指套可直接套戴在手指上(多为食指或中指),该传感器内部有光敏二极管、红外发光二极管等,红外发光透过率会因心脏的跳动、动脉血管的收缩和扩张产生变化。光电探测器可通过测量光强度来分析心率变化。血压传感器多与血压袖带等设备一起使用,将该穿戴式设备围绕于上臂或腕部,使其紧贴皮肤,随后通过放气阀等施加压力,传感器能检测到该压力并将其转化为具体的数据读数。体温传感器在监测体温时,可将探头置于体腔(舌下)或体表(腋下),测量时确保探头放置正确并紧贴皮肤。采集脉搏、心率信号时将 STM32F105RBT6 的 A/D 口时钟频率设为 18 MHz,采样时间设置为 255 个时钟周期,采样频率为 18 MHz/255=70 kHz^[7]。监测的数据通过串口传输到主控制器 ARM9 系列的 STM32F105RBT6,生理参数数据可通过 Wi-Fi 模块传输到大数据平台或页面手机端进行查看。健康管理模块的硬件设计方案,如图 1 所示。

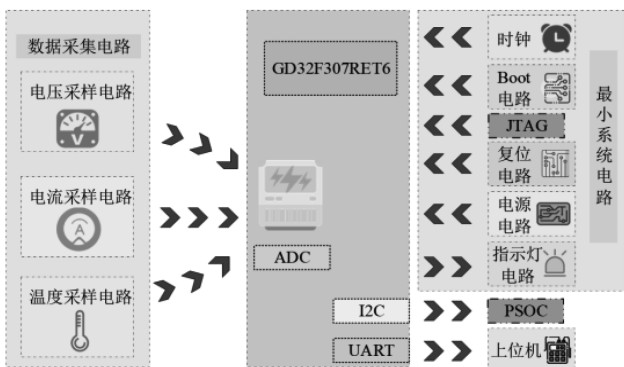


图 1 健康管理模块的硬件设计方案

Fig. 1 Hardware design scheme of health management module

在构建基于大数据的施工人员健康监控自动化系统中,硬件设计环节尤为重要。系统主要由最小系统电路和数据采集电路组成。最小系统电路是由一款基于最新处理器架构的主控单元驱动,该单元内置了高精度的 ADC,能够支持多通道模拟输入,满足大数据处理需求^[8]。数据采集电路能够无干扰地对施工人员的电压、电流和体温进行实时采集。其中,电压采样电路通过分压电路将采样电压限定在 ADC 的量程范围内,确保数据的准确性;电流采样电路将电流信号转换为电压信号,通过放大器将其放大到精确的量程内,再进行采样;体温采样电路则采用热敏电阻传感器(NTCS0603E3104FXT VISHAY),将体温变化转变为电压变化,以便进行数据采集此外,为了确保数据的准确传输,主控单元与处理器之间采用了高速(integrated circuit, IIC)总线进行通信,其中,处理器作为主设备,主控单元作为从设备。这种硬件设计充分考虑了大数据处理、实时性以及准确性,为施工人员的健康监控提供了强有力的支持。

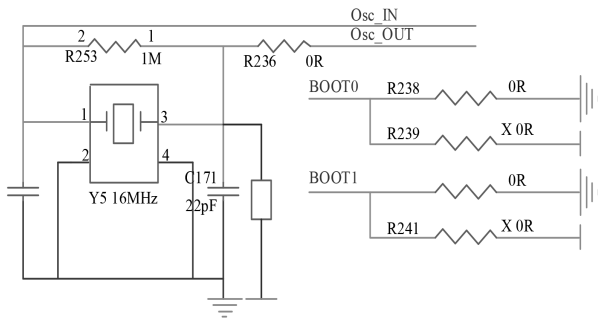
研究的健康监控自动化系统硬件设计充分考虑了大数据处理、实时性和准确性。研究采用最新的英特尔 Xeon 处理器和高速 IIC 总线,以确保数据处理的高效和准确,并采用特定的传感器和采样电路,实现对施工人员心率、血压和体温等生理参数的实时监控,并为施工人员健康监控提供有力保障^[9]。

1.2 健康监控自动化系统电路设计

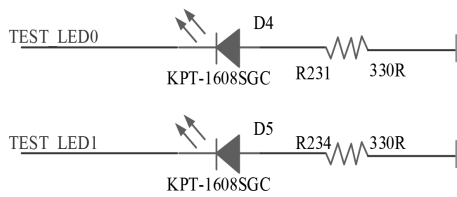
构建基于大数据的施工人员健康监控自动化系统,电路设计是关键部分。首先,主控单元采用高性能处理器,如 ARM Cortex-M4,支持多种复位方式,包括上电复位、外部引脚复位、系统异常和软件触发的复位,还能进入低功耗状态如休眠模式和睡眠模式,以保证系统稳定可靠^[10]。系统的启动模式应该灵活,以适应各种不同的场景需求。例如,可以采用高级存储技术如 eMMC 或者 UFS 启动、专用启动分区,或者是快速访问的 NOR Flash 启动^[11-12]。为了实时监测系统运行状态,设计了测试灯,用于验证处理器是否正常启动。测试灯选择高亮度的发光二极管,配合 330 Ω 的限流电阻,确保可靠性和视觉效果。为了方便系统调试和数据交互,处理器支持 JTAG 接口,使用了简化的 10 Pin JTAG 连接器,引脚间距为 2.0 mm,节省了 PCB 空间,同时保留了需要使用的五个引脚。各部分电路设计,如图 2 所示。

在构建基于大数据的施工人员健康监控自动化系统的电路设计中,电源系统是重要组成部分。设计考虑了输入电压、一级供电电压和二级供电电压的采集,以确保系统的稳定运行。输入电压范围为 12~36 V,标准输入则为 12 V。通过采用高性能的 DC/DC 转换芯片,将输入电压降压至 5 V,以供系统各模块使用。为了满足 ADC 模块的供电需求,其供电电源为 3.3 V,设计了分压电路,使输入电压范围保持在 ADC 参考电压量程内。这样的设计确保了电源系统的稳定性,为大数据采集和处理提供了可靠的

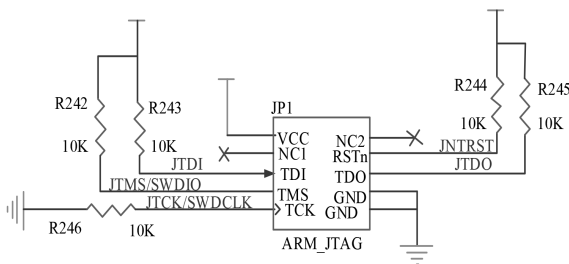
电源支持。电压监控设计硬件和输入电压采集电路技术处理,如图3所示。



(a) DOOT 模式下高速时钟设计



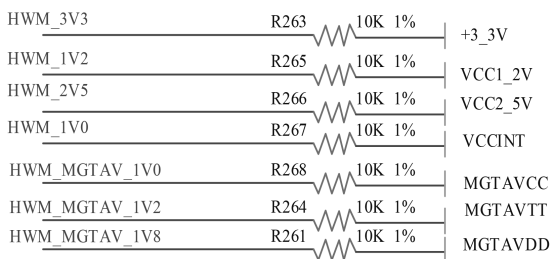
(b) LED 电路设计



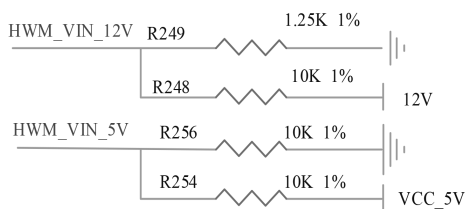
(c) JTAG 电路设计

图2 各部分电路设计

Fig. 2 Circuit design of each part



(a) 电压监控设计技术图



(b) 输入电压采集电路技术图

图3 电压监控设计硬件和输入电压采集电路技术处理
Fig. 3 Voltage monitoring design hardware and input voltage acquisition circuit technical processing

在基于大数据的施工人员健康监控自动化系统电路设计中,需要对包括 FMQL45 最小系统电路、DDR 电路、PCIE 接口电路和串口电路等功能电源进行电压采集,涉

及的电压值有 1.0 V、2.5 V、1.2 V、3.3 V 等。由于这些电压值都在新型 ADC 处理器的识别范围内,所以可以直接接入 ADC 通道。实际电压转换公式为

$$V_s = V_c \frac{R_H + R_L}{R_L} \tag{1}$$

式中, V_s 为采集点电压值, V_c 为采集电压值, R_H 、 R_L 为分压电阻。

从简单易用的角度出发,设计一种基于 ESP32 和 AD8232 的电信号采集卡,可作为心电监测的基础平台。IIC 总线的优势包括信号线数量少、占用管脚资源少、信号电平选择灵活以及信号驱动电流由偏置电源决定,非主端提供。在 I²C 设计中,MCU 作为从设备响应主设备的地址,成功匹配后通过 ACK 信号开始数据传输。UART 用于与上位机交换 ADC 处理的数据,使用 SN65HVD72 IC 进行 TTL 至 RS485 转换,以适应高速、远距离通信,增强系统的抗干扰能力和扩展性。并且输出受到保护,不会对地短路。

基于大数据的施工人员健康监控自动化系统采用高性能英特尔 Xeon 处理器和 ARM Cortex-M4 作为核心,结合多通道高精度 ADC 和高速 IIC 总线,实现了对工人心率、血压、体温等生命体征的实时采集与监控。系统通过精细设计的电源电路保障稳定供电,利用 FMQL45 最小系统电路及相关电压采集电路,确保各功能模块的精确电压输入。通过 IIC 总线简化数据传输,并使用 RS232 接口与上位机通信,整合了电源管理、信号采集、数据传输等关键技术,确保系统的实时性、准确性和稳定性,最终形成一个高效、可靠的健康监控框架,为施工人员提供全面的健康保障。

2 健康监控自动化系统分析测试

系统核心控制模块是处理器模块,与输出模块配合使用。专门设计的调试板卡提供与核心模块对接的接口,健康监控模块作为一个独立功能区域嵌入在处理器模块中。测试前,需检查模块外观和电路,确认无短路后加电,然后测量供电电源及晶体频率,无误后进行程序烧录。健康监控模块软件基于 keil 平台开发,首先从 GD32F307 的 ADC 通道中采集到模拟信息并转换为数字信息,然后将得到的数字信息依据相应的转换公式转换为原有信息准确的信息描述方式,最后将转换后的结果经过 IIC 通信接口传输到 PSOC 中。在进行健康监测测试时,微控制单元 (micro control unit, MCU) 中模拟量输入模块 (AD) 主要负责采集各个数据点的输入信号,并将其经由数据处理程序处理后还原真实数值,数据传输将采集的数据通过 IIC 总线传输到 PSOC 板卡中,其可以通过调试底板提供的视频接口连接屏幕提供屏幕显示功能。在测试之前先搭建好合适的调试环境,包括调试设备、调试板卡、上位机和调试线缆等。其中,调试设备包括万用表、示波器、GD32F307 开发板、J-LINK 仿真器、RS232 串口线等。佩戴者可通过可穿

戴式设备对采集到的信息进行查看,系统设有以太网接口作为调试窗口,用于实时通信和监控数据情况,以及 JTAG 接口用于烧录程序,对采集到的施工人员生理参数数据进行每日数据统计,以便后续实验测试。健康监控自动化系统设备及测试部分内容见图 4。

在测试阶段,使用 Python 编程语言和 PyQt 框架开发

后端处理软件具有快速开发、多平台兼容等优势。连接 JTAG 仿真器和 USB 转 RS232 串口线后,进行程序烧录,然后启动串口工具,查看主控单元收集到的数据。每隔 1 秒,系统就会打印出一组数据,每行代表一个采集点的数据,以 16 进制形式显示。基于大数据的施工人员健康监控自动化系统分析测试数据表,如表 1 所示。

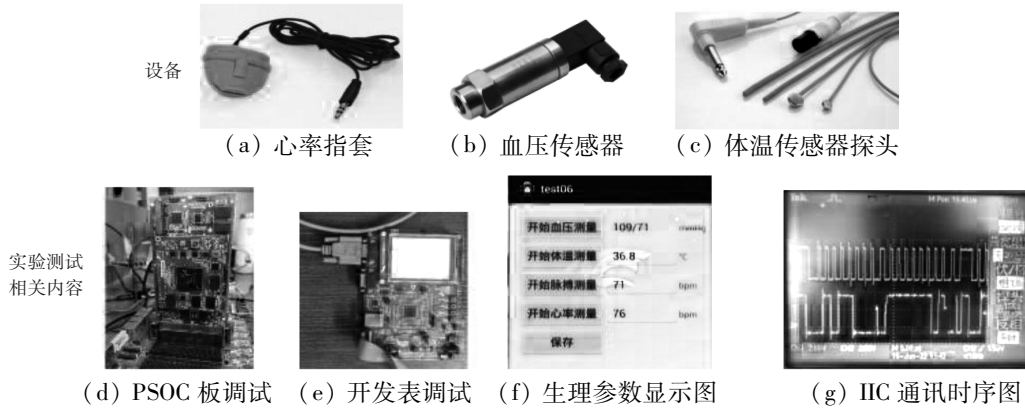


图 4 健康监控自动化系统设备及测试部分内容

Fig. 4 Health monitoring automation system equipment and testing parts

表 1 基于大数据的施工人员健康监控自动化系统分析测试数据表

Tab. 1 Analysis and test data of construction personnel health monitoring automation system based on big data

数据名称	十六进制数据	整型数据	实际数据	采集点
心率	0x7b	123	123 次/分	工人心率
体温	0xe6e	3 694	36.9 °C	工人体温
血压	0x12c	300	120/80 mmHg	工人血压
环境温度	0xdec	3 564	35.64 °C	工地环境温度
环境湿度	0x3e8	1 000	100% RH	工地环境湿度
噪声等级	0xfa	250	85 dB	工地噪声水平
环境 PM2.5	0x64	100	100 μg/m ³	工地空气质量
环境 CO2	0x3e8	1 000	1,000 ppm	工地空气质量
光照强度	0x1388	5 000	5,000 lux	工地光照强度
电源电压	0x2df8	11 768	11.768 V	自动化监控设备电源电压
设备运行电流	0x72	114	0.114 A	自动化监控设备运行电流
无线信号强度	0x3e8	1 000	-60 dBm	自动化监控设备信号强度
设备运行温度	0xdec	3 564	35.64 °C	自动化监控设备温度

表 1 中,第 2 列展示的十六进制数据,经过处理器转换为第 3 列的整型数据,再进一步转换为第 4 列的实际数据。这些数据包括施工人员的生理指标,工地环境参数以及自动化监控设备的运行状态。第 5 列明确了每个数据对应的采集点,验证了健康监控模块准确采集并处理了各采集点的数据。表 1 包含了工人的生理指标、工地环境参数以及

自动化监控设备的运行状态。这些数据经过最新处理器和主控单元的处理并存储,为施工人员提供了全面、实时的健康监控。测试需同步采集数据,并通过主控单元展示。主控单元运行的操作系统执行数据传输程序,但初期测试中,主控单元未完全接收到监控数据,暗示系统需优化以适应大数据处理。大数据处理过程时序图,如图 5 所示。

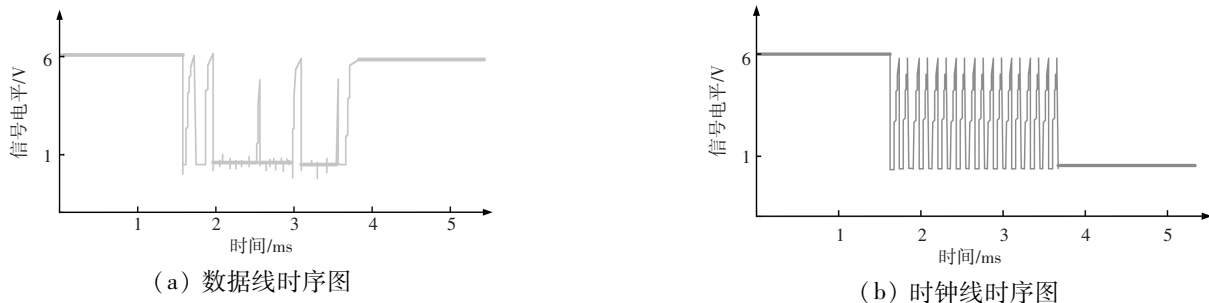


图 5 大数据处理过程时序图

Fig. 5 Sequence diagram of big data processing process

图5中,示波器显示的波形包括数据输入信号和数据处理时序波形。按照大数据处理协议,示波器抓取了2个字节,第一个为健康监控自动化系统的设备地址,第二个为系统的的核心处理模块的数据寄存器地址。主控单元经I2C向系统发出设备及寄存器地址,获ACK应答,但时钟线下拽致数据未发,指向系统时钟管理问题。电路设计中,MCU通过I2C与主设备交互,UART经RS485实现远程通信,借SN65HVD72实现电气隔离与抗干扰。修正后,再次通过主控单元发出大数据处理信号,数据接收成功。转换和对比数据后,验证了健康监控自动化系统的的核心处理功能。

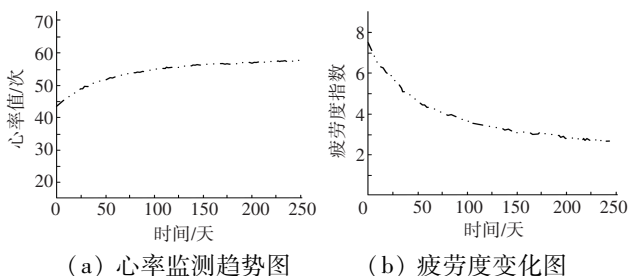
经过测试,基于大数据的施工人员健康监控自动化系统功能得到了有效的验证。最新的主控单元能从数据采集点获取数据,并通过IIC总线发送至处理器,处理器端准确接收数据。实地测量采集点数据进行对比,结果如表2所示。

表2 优化健康监控自动化系统分析测试结果

Tab.2 Analysis and test results of optimized health monitoring automation system

采集点	实际值	系统采集值	相对误差
工人体温	37.2 °C	37.0 °C	-0.5%
心率	80 次/分钟	78 次/分钟	-2.5%
血压	130/80 mmHg	128/78 mmHg	-1.5%
疲劳指数	3(满分5)	2.9(满分5)	-3.4%
电解质水平	4.5(满分5)	4.4(满分5)	-2.2%
工作环境温度	27 °C	26.5 °C	-1.9%
工作环境湿度	50%	49.5 %	-1.0%
工作环境噪声	75 dB	73 dB	-2.7%
工作环境二氧化碳浓度	400 ppm	396 ppm	-1.0%
工人体内水分	60%	59.4%	-1.0%
工人体内血氧饱和度	98%	97.6%	-0.4%
工作环境PM2.5浓度	20 μg/m ³	19.8 μg/m ³	-1.0%

表2中,采集点误差介于0.5%—3.4%,主要源自设备精度、环境因素和数据处理过程。例如,体温误差0.5%来自测量设备的精度差异,人体温度的自然波动,以及数据处理过程中的误差。同样,心率误差2.5%也来自这些因素。环境参数如温度、湿度等的误差,也可能由测量设备的精度、环境因素和数据处理过程带来。在健康监控系统中,误差控制是重要环节。必要时,研究需要优化系统并校准设备,以提高数据的准确性和可靠性。基于大数据的施工人员健康监控自动化系统的分析测试如图6所示。



(a) 心率监测趋势图 (b) 疲劳度变化图

图6 自动化健康监控系统的性能评估

Fig.6 Performance evaluation of automated health monitoring system

图6(a)和图6(b)分别展示了系统在实时监测施工

人员的健康状况时,针对心率和疲劳度的数据分析结果。结果表明,系统能够有效识别健康风险,并且随着数据积累,其预测的准确度不断提高。尽管系统的响应速度和数据处理能力随着时间的增长而略有减缓,但这一下降趋势并不显著。

3 结论

施工人员健康影响施工效率和安全,设立实时、有效的健康监控系统至关重要。为此,研究开发了基于大数据的健康监控自动化系统,用以实时收集、处理和分析施工人员的健康数据。系统通过高精度传感器实时收集施工人员的生理参数和环境参数,并利用大数据技术进行处理和分析。测试结果显示,体温误差0.5%和心率误差2.5%主要源自设备精度、人体或环境的自然波动,以及数据处理过程的误差。同时,系统按照大数据处理协议,示波器抓取了设备地址和数据处理模块的数据寄存器的字节数据。此项开发对施工人员的健康监控具有重大价值。它提供了一个实时、全面的健康监控手段,弥补了传统健康监控手段的不足。然而,设备精度和数据处理过程的误差是其未来主要不足,需在未来的工作中进一步改进。未来的研究希望能进一步优化该系统,提高数据采集和处理的精度,以更准确、更有效地监控施工人员的健康,提高施工效率,降低工作事故,保障施工人员的健康安全。

参考文献

- [1] 罗苗健,付晓奇,孙炳源,等. 建筑施工人员体征监测系统设计与实现[J]. 物联网技术, 2022, 12(12):79-82.
- [2] 陈小宁,郭进,罗文佳,等. 基于大数据框架的人体健康参数管理分析平台设计与实现[J]. 信息记录材料, 2021, 22(2):162-163.
- [3] NWAOGU J M, CHAN A P C, NASLUND J A. Measures to improve the mental health of construction personnel based on experts' opinion [J]. Journal of Management in Engineering, 2022, 38(4):1-17.
- [4] WANG B, ZHU J, XIE J, et al. Collusion suspicion among bidders of construction supervision projects in China: based on bidding big data and complex networks[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2023, 27(1):13-26.
- [5] 刘博,邓舒平,杨楠,等. 智能网络下职业健康风险大数据分析[J]. 信息技术, 2021, 354(5):128-134.
- [6] 张婷. 基于大数据挖掘技术的图书馆服务自动化感知模型[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(7):5-9.
- [7] 董俐君,岳恒. 基于大数据挖掘的用电异常特征自动化分析方法[J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(10):125-128.
- [8] 杨莉敏,赵君. 基于区域孕保系统的微信端孕保便民服务应用探讨[J]. 微型电脑应用, 2019, 35(1):125-128.
- [9] 金文忠,陆耀. 基于微信平台建设多方参与慢病管理模式研究[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(2):27-29.
- [10] 李春贺,陶帅. 基于大数据的采矿人员安全感知信息实时采集系统设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(7):19-23.
- [11] 李聪颖. 基于移动端位置和群体大数据的自动化定位研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(2):21-31.
- [12] 李峰,胡晋岚,陈铭. 基于大数据的变电工程全生命周期成本自动化辅助估算系统[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(5):68-72.