

基于物联网与神经网络的健康监测与身体活动识别系统

王崇瑞¹ 解晓东¹ 刘永文² 丁运良³ 李炳生⁴ 张磊^{1*} (通讯作者)

1. 河南工业大学电气工程学院 河南郑州 450001; 2. 郑州轻工业大学软件学院 河南郑州 450001;
3. 郑州泰普科技有限公司 河南郑州 450001; 4. 郑州新鼎自动化科技有限公司 河南郑州 450001

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18521

[摘要] 本研究设计了一套面向学生的物联网可穿戴生命体征监测系统, 该系统集成了 DS18B20 温度传感器、MAX30102 心率和血氧饱和度传感器以及 DS1302 实时时钟芯片, 以 STM32F103C8T6 单片机作为核心控制器件。系统通过 OLED 显示器实时展示监测数据, 并通过 HC-05 蓝牙模块与移动设备进行无线通信。系统包括一个 8050 蜂鸣器报警电路, 用于在检测到异常健康指标时发出警报。引入基于神经网络的负载分类模型, 模型能够自动识别学生在不同活动状态下的负载类型, 为个性化体育教学提供科学依据。结果表明, 系统能够准确监测并及时报警, 为学生校园健康管理提供了有效的技术支持。

[关键词] 物联网; 可穿戴设备; 生命体征监测; 神经网络; 负载分类; 健康监测系统

引言

智能手环作为健康监测的重要工具, 能够实时追踪学生的心率、血压等生理参数, 不仅有助于及时发现学生的健康隐患, 更为个性化教学计划与活动设计提供了数据支撑。通过对监测数据的分析, 智能手环可生成学生体能状况的统计报告, 帮助教师精准把握学生的运动能力与体能水平, 进而科学规划体育活动内容与强度, 保障学生在安全健康的环境中完成体育学习^[1]。

传统教学中, 运动负荷的控制方法存在明显局限性: 其一, 依赖对学生身心特征、机能状况及个体差异的预判, 主观性较强; 其二, 通过观察脸色、呼吸、精神状态等表象判断, 准确性受教师经验影响较大; 其三, 借助心率等机能指标判断时, 直接接触测量精度不足, 而专业运动仪器又因成本或操作复杂性难以普及; 其四, 通过学生自述运动心情、疲劳度等进行判断, 易受主观感受偏差影响。智能手环的应用则有效弥补了上述不足^[2]。

小学生的生理特征与健康需求显著区别于青年群体, 这要求其生命体征监测需构建更具专业性与场景适配性的技术方案。心率的动态监测是日常健康管理的基础, 而危险预警与紧急救援功能则是应对校园意外风险的关键保障, 二者共同构成了小学生健康监测的核心内容^[3]。考虑到小学生群体的行为特点——佩戴依从性较低且易发生误操作, 相关设备需融入防误触机制与便捷穿戴设计以提升实用性^[4]。

基于此, 本研究设计一套基于物联网技术的可穿戴设备, 通过软硬件协同研发, 实现体温、心率等健康指标的常态化监测, 并重点攻克跌倒检测算法的准确率优化问题, 从技术底层保障生命体征监测系统的综合效能, 为小学生校园健康管理提供系统性解决方案。

1. 系统总体方案设计

本系统采用 STM32F103C8T6 单片机最小系统作为核心控制器件, 搭配 DS18B20 传感器与 MAX30102 传感器, 实现对小学生心率和血氧等关键健康指标的数据采集。显示模块选用 OLED 显示器, 通过通信模块与单片机建立连接以实时呈现监测数据。通过 DS1302 设置运动时间, 时间到后蜂鸣器进行报警提醒, 同步配置蜂鸣器报警电路作为声音报警装置^[5]。系统整合无线发射模块与简易键盘模块, 单片机通过蓝牙把当前的数据发送到主机端进行显示与分析。结合防误触设计与轻量化穿戴需求, 系统硬件架构在保障监测精度的同时兼顾安全性与易用性, 总体方案设计如图 1 所示。

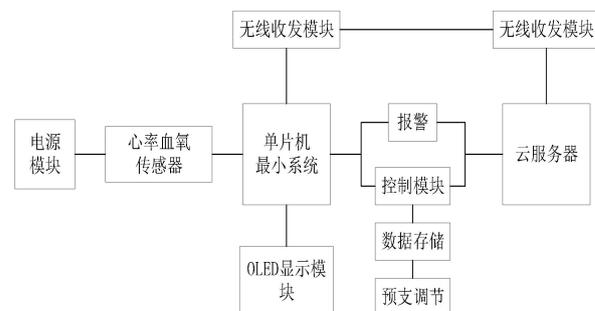


图1 系统总体设计

2. 程序设计

系统程序基于 STM32 单片机开发，以“初始化+循环监测交互”为核心逻辑，实现心率、血氧、温度、加速度、时间等多参数的采集、显示、无线传输及异常报警功能。初始化阶段通过外设配置库完成引脚初始化，对 MAX30102（心率血氧）、DS18B20（温度）、DS1302（时钟）等传感器及液晶模块、HC-05 蓝牙模块完成通信与工作模式配置；主循环中，系统先将采集的多参数按格式通过蓝牙无线传输，再经液晶实时显示数据，同时检测按键以实现时间校准、阈值设置等功能，并行判断“时间/里程达标”“生理参数异常”“数据清零触发”三个条件，对应执行蜂鸣器声光提醒、参数异常报警或数据清零操作，最终返回循环持续完成实时监测。

3. 系统测试

3.1 心率检测测试

系统通过握持 DS18B20 传感器探头实现体温的实时测量。OLED 显示屏实时显示各参数的具体数值，并将相关信息上传至主机。为验证静止状态下心率测量数据的准确性，将本系统测量得到的手腕心率与 PPG 心率仿真器输出的参考心率进行对比，结果如图 2 所示。从折线趋势来看，手腕心率与 PPG 输出心率的变化规律具有较高相似性，说明系统能够较好地跟随心率的动态波动特征；从误差分布分析，两者差值范围为-31~+26 bpm，平均差值为 7.4bpm，整体平均误差处于较低水平，表明静止状态下本系统的心率测量结果与参考值契合度较好，能够满足基础心率监测的准确性要求。



图 2 腕式与 PPG 心率对比及误差分析图

3.2 运动时间及报警功能测试

为验证系统运动时间与心率报警功能的准确性，设计了慢走、快走、慢跑、快跑 4 种典型运动状态，并分别匹配 5min、15min、30min 三种定时时长，开展共 12 组功能测试。

测试结果显示：慢走（最大心率 76~82 bpm）、快走（最大心率 88~93 bpm）、慢跑（最大心率 99~102 bpm）状态下，各定时时长对应的“时间到是否报警”均为“是”，“最大心率是否报警”均为“否”，说明定时功能稳定触发，且该强度运动的心率未达到报警阈值；快跑状态下，5min、15min、30min 对应的最大心率达 169~177 bpm，“最大心率是否报警”与“时间到是否报警”均为“是”，表明快跑时心率触发报警阈值的同时，定时功能仍正常生效。综上，系统在不同运动状态与定时时长下，运动时间与心率报警功能均可准确响应，符合设计预期。

3.3 蓝牙数据传输与神经网络模型分析测试

为实现生理数据的智能化分析与深度挖掘，系统设计蓝牙数据传输模块，将前端采集的多维度生理参数（心率、运动状态等）实时上传至主机，依托主机部署的大模型完成数据的智能解析与决策输出。

首先，蓝牙通信模块基于 BLE (Bluetooth Low Energy) 低功耗蓝牙协议构建传输链路，兼顾数据传输可靠性与设备续航能力。设备端将采集到的心率、运动负载、时间戳等特征数据封装为“时间戳 - 多参数”组合数据包，以 10Hz 的频率持续向主机上传；同时，在通信层加入循环冗余校验 (CRC) 与重传机制，有效降低无线环境干扰导致的数据丢失率。

为实现“低、中、高”三类负载的自动分类，本研究构建了多层全连接神经网络模型，输入为 18 维特征数据（如心率、血氧等生理特征），输出为负载类别预测结果。模型采用`Sequential`结构，设计为`64→32→16→3`的维度递减形式，前三层隐藏层以 ReLU 为激活函数完成特征提取，输出层通过 Softmax 激活函数输出三类负载的概率分布。训练阶段，利用`StandardScaler`对输入特征做标准化处理，消除特征量级差异的干扰；引入`EarlyStopping`早停机制（以验证损失为监控指标）防止过拟合；选取`categorical_crossentropy`作为损失函数，结合 Adam 优化器开展训练，并记录训练过程（`history`）用于性能可视化。

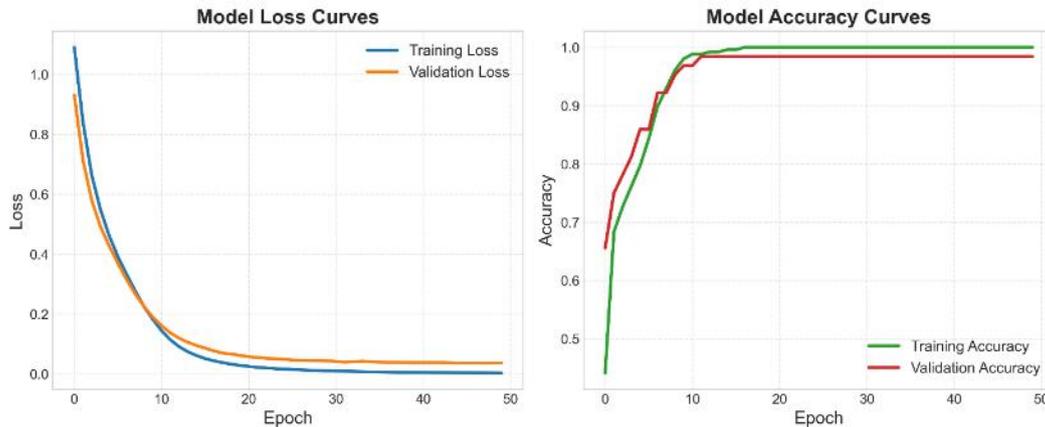


图3 损失迭代曲线和准确率迭代曲线

训练与验证损失迭代曲线显示, 训练损失与验证损失随 Epoch (迭代次数) 增加快速下降并逐渐趋于平稳, 最终训练损失接近 0, 验证损失也维持在极低水平, 这表明模型在训练过程中对数据的拟合能力持续提升, 且因早停机制的约束未出现过拟合现象; 训练与验证准确率迭代曲线中, 二者均快速上升并在迭代后期稳定于接近 1 的高水平, 同时训练准确率与验证准确率差距微小, 进一步验证模型不仅收敛速度快, 还具备良好的泛化能力, 能够稳定适配训练集外的测试数据。

4. 结论与讨论

本设计面向学生的物联网可穿戴生命体征监测系统, 通过集成 DS18B20、MAX30102 及 DS1302 等传感器模块, 实现了体温、心率等健康指标的精准监测与运动时间检测。引入的负载分类神经网络模型能够基于系统采集的多维度体征数据, 对学生“日常活动、轻度运动、剧烈运动”等不同活动负载进行精准分类——模型训练过程收敛快速、泛化能力优良, 各类别分类精确率、召回率等核心指标均接近 1, 三类负载在精确率、召回率、F1 分数上的表现高度均衡。系统实测显示, 心率及体温测量值与实际值一致性高, 心率检测、计时功能准确率良好, 且系统心率测量值与 PPG 输出参考值变化趋势吻合度高、整体稳定性强; 负载分类模型的融入, 进一步提升了系统对学生活动状态的智能化识别能力。未来, 研究将聚焦“算法-硬件”协同优化。通过双向迭代, 系统将为学生提供更精准、及时的健康与活动状态监测数据, 为物联网可穿戴设备在青少年健康监测领域的研究与实践, 贡献更具落地价值的方案。

[参考文献]

[1]陈丽丽. 智能手环在小学体育中的应用[J]. 文体用品

与科技, 2024, (12): 190-192.

[2]刘婧. 智能手环改变体育教学中“小学生负荷控制”的研究[J]. 文理导航(下旬), 2019, (08): 83.

[3]Smith J, Brown L, Davis R. The role of wearable technology in physical education: A review[J]. Journal of Educational Technology, 2023, 44 (3): 112-120.

[4]Jones M, Taylor S, Anderson P. Gamification in physical education: Enhancing student engagement through wearable technology[J]. International Journal of Sport Science, 2024, 34 (4): 78-85

[5]陈平, 吴国盛, 陈晓宇. 基于 FPGA 的老年人健康安全监测系统设计[J]. 医疗卫生装备, 2023, 44(01): 47-52. DOI: 10.19745/j.1003-8868.2023008.

通讯作者: 张磊 (1990-), 男, 河南郑州人, 博士副教授, 研究方向滑模变结构控制, 鲁棒控制, 非线性控制。

作者简介: 王崇瑞 (2003-), 男, 河南柘城人, 研究方向物联网技术;

解晓东 (2005-), 男, 河南开封人, 研究方向机器人控制;

刘永文 (1979-), 男, 河南濮阳人, 博士讲师, 研究方向大数据与人工智能;

丁运良 (1991-), 男, 河南项城人, 中级, 研究方向人工智能与大数据;

李炳生 (1982-), 男, 河南登封人, 中级, 研究方向物联网技术。

课题项目: 河南工业大学本科生科研训练(科教融汇)项目“基于物联网的人体生命健康监测系统”; 河南工业大学青年骨干教师培养计划项目以及河南省科技副总项目资助。