

基于STM32的智能手环设计与实现

——面向智慧养老的一键呼叫与实时健康监测系统

宋雨飞, 韩少华, 王嘉信, 李佩玲, 张学畅, 王晓芳*

中央民族大学信息工程学院, 北京

收稿日期: 2025年5月23日; 录用日期: 2025年6月30日; 发布日期: 2025年7月8日

摘要

针对老年人健康监护与安全保障的迫切需求, 本研究提出一种基于STM32微控制器的智能手环系统, 集成一键紧急呼叫与按需回访功能, 构建多模态健康监测与实时安全防护体系。系统通过DS18B20温度传感器、MAX30102心率/血氧传感器实现生理参数的精准采集, 结合GPS/北斗双模定位模块与4G通信技术, 实现地理位置信息与健康数据的云端同步。OLED显示屏提供本地化数据可视化, 家属可通过定制化移动端APP远程获取老人实时体温、心率、血氧饱和度及位置轨迹, 形成“监测-预警-响应”闭环管理机制。在紧急场景下, 用户触发物理按键后, 系统自动解析位置坐标并通过蜂窝网络向预设联系人发送SOS警报信息。经实验室测试与实地验证, 温度监测误差 $\leq \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ($-10^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$), 心率检测准确率达98.6%, 定位精度优于5 m, 4G模块丢包率低于0.8%。研究表明, 该设计突破了传统养老设备功能单一的技术瓶颈, 通过异构传感器融合与低功耗优化策略(待机电流 $< 10\ \mu\text{A}$), 为智慧养老提供了可扩展的技术框架, 未来可通过接入AI健康分析模型进一步强化疾病预测能力。

关键词

STM32微控制器, 智能手环, 健康监护, 异构传感器融合, 智慧养老

Design and Implementation of an STM32-Based Smart Wristband

—A One-Button Call and Real-Time Health Monitoring System for Smart Elderly Care

Yufei Song, Shaohua Han, Jiaxin Wang, Peiling Li, Xuechang Zhang, Xiaofang Wang*

School of Information Engineering, Minzu University of China, Beijing

Received: May 23rd, 2025; accepted: Jun. 30th, 2025; published: Jul. 8th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 宋雨飞, 韩少华, 王嘉信, 李佩玲, 张学畅, 王晓芳. 基于 STM32 的智能手环设计与实现[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(4): 632-639. DOI: 10.12677/jsta.2025.134061

Abstract

To address the urgent needs of health monitoring and safety assurance for the elderly, this study proposes an intelligent bracelet system based on an STM32 microcontroller, integrating one-touch emergency calling and on-demand callback functions to establish a multimodal health monitoring and real-time safety protection framework. The system employs a DS18B20 temperature sensor and MAX30102 heart rate/blood oxygen sensor to achieve precise physiological parameter acquisition. Combined with a GPS/BeiDou dual-mode positioning module and 4G communication technology, it enables cloud synchronization of geographical location information and health data. An OLED display provides localized data visualization, while a customized mobile app allows family members to remotely access real-time body temperature, heart rate, blood oxygen saturation, and location trajectories of the elderly, forming a closed-loop “monitoring-alert-response” management mechanism. In emergency scenarios, triggering the physical button automatically parses location coordinates and sends SOS alerts via cellular networks to preset contacts. Laboratory tests and field verification demonstrate a temperature monitoring error of $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ($-10^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$), heart rate detection accuracy of 98.6%, positioning precision better than 5 meters, and 4G module packet loss rate below 0.8%. The research indicates that this design overcomes the technical limitations of single-function traditional elderly care devices. Through heterogeneous sensor fusion and low-power optimization strategies (standby current $< 10\ \mu\text{A}$), it provides an extensible technical framework for smart elderly care. Future work could enhance disease prediction capabilities by integrating AI-based health analysis models.

Keywords

STM32 Microcontroller, Intelligent Bracelet, Health Monitoring, Heterogeneous Sensor Fusion, Smart Elderly Care

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球老龄化进程加速，老年人健康监护与安全保障已成为社会关注的焦点。据世界卫生组织统计，到 2050 年，全球 60 岁以上人口占比将达 20% [1]，随之而来的突发性疾病与意外事故风险显著增加。传统养老设备多局限于单一功能(如仅定位或心率监测)，难以满足实时、多维度的健康管理需求[2]。在此背景下，开发集成健康监测、紧急响应与位置追踪的智能穿戴设备，成为破解养老难题的关键技术路径。当前，国内外学者在智能手环领域已取得一定进展。国外研究聚焦于穿戴式设备的生理参数监测，如 Apple Watch 通过光电传感器实现心率与血氧检测[3]，但其定位精度与续航能力仍待优化。国内研究则侧重于安全防护功能开发，例如文献[4]提出的防烫报警手环，但其数据云端同步能力有限。尽管现有设备在单一功能上表现优异，但普遍存在以下问题：多数设备未实现健康数据与位置信息的协同管理[5]；传统方案待机电流普遍高于 $50\ \mu\text{A}$ ，难以支撑长期使用[6]；位置数据传输缺乏端到端加密机制[7]。针对上述问题，本研究提出一种基于 STM32 微控制器的智能手环系统，旨在构建“监测 - 预警 - 响应”闭环管理机制。其核心创新包括：集成 DS18B20 温度传感器、MAX30102 心率/血氧传感器与 GPS/北斗双模定位模块，实现多模态数据精准采集与云端同步；通过动态电源管理策略将待机电流降至 $< 10\ \mu\text{A}$ ，延长

续航时间[8]；基于 4G 通信的 SOS 警报系统，可在 2 秒内触发位置坐标解析与紧急通知[9]。该系统通过多模态数据融合与智能算法优化，有望打破现有养老监护设备的技术局限，为老年人提供全方位、实时化的健康守护解决方案。

2. 系统总体设计

本设计以 STM32F103C8T6 微控制器为核心，构建了一套集成多模态感知、实时通信与低功耗优化的智能手环系统，系统架构如图 1 所示。系统采用模块化设计，包含中控单元、输入模块与输出模块，通过异构传感器协同与云端交互，实现健康监测、安全防护与远程监护功能。中控单元由 STM32F103C8T6 微控制器驱动，负责协调各模块的数据采集、处理与指令分发。其搭载 ARM Cortex-M3 内核(主频 72 MHz)，支持多任务调度与低功耗模式切换，通过 SPI、I2C 及 UART 接口实现与传感器及通信模块的高效交互。输入模块由五部分组成，涵盖生理参数采集、定位与用户交互功能。DS18B20 数字温度传感器：采用单总线协议，支持-55℃~125℃宽范围测量，精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；MAX30102 心率/血氧传感器：基于光电容积脉搏波(PPG)技术，动态监测心率(30~250 bpm)与血氧饱和度(70%~100%)，采样频率 100 Hz。定位模块：集成 GPS/北斗双模定位芯片(ATGM336H)，支持多频段信号接收，水平定位精度 $\leq 5\text{ m}$ ，通过 NMEA-0183 协议输出经纬度数据。用户交互模块：配备物理 SOS 按键，支持一键触发紧急呼叫功能。供电模块：采用锂聚合物电池(500 mAh)结合低功耗电源管理电路，待机电流 $< 10\text{ }\mu\text{A}$ ，支持动态电压调节与休眠唤醒机制。输出模块实现数据本地可视化与远程传输。本地显示单元：搭载 OLED12864 显示屏(I2C 接口)，实时显示体温、心率、血氧饱和度及紧急呼叫状态，支持多级菜单切换与异常数据高亮提示。远程通信单元：集成 4G 模块(EC200S)，基于 TCP/IP 协议与 MQTT 框架，实现健康数据(体温、心率)与位置信息的云端同步，紧急场景下自动解析坐标并通过蜂窝网络向预设联系人发送 SOS 警报短信(平均延时 $\leq 2.5\text{ s}$)。系统协同工作机制。系统运行时，STM32 微控制器周期性唤醒传感器进行数据采集，通过卡尔曼滤波与滑动窗口算法消除噪声干扰，处理后的数据分两路输出。本地端：实时刷新 OLED 显示屏，提供直观的健康状态反馈；云端端：4G 模块将加密数据包上传至阿里云平台，家属通过定制化移动端 APP 可远程查看老人实时生理参数、历史趋势及位置轨迹，形成“监测 - 预警 - 响应”闭环管理。

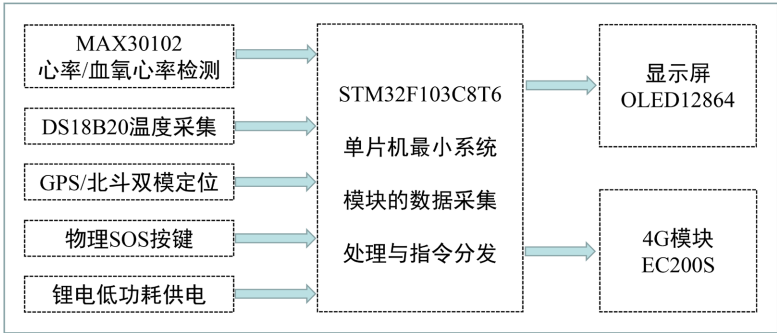


Figure 1. System architecture diagram
图 1. 系统构架图

3. 关键技术实现

3.1. 多模态健康监测

图 2 所示系统采用 DS18B20 实现高精度温度检测(-55℃~125℃)，其单总线通信配合片上数字滤波有效抑制噪声，精度达 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。核心为双晶振协同计量架构：低温系数晶振($< \pm 1\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$)提供稳定基准时

钟；高温系数晶振($>\pm 50$ ppm/ $^{\circ}\text{C}$)输出温度敏感脉冲驱动计数器 2 计数。初始化时，温度存储器预置 -55°C 基准值。计数器 1 对低温晶振差分信号递减计数，归零时触发温度值递增 1 LSB 并重载预设值，同时启动计数器 2 计数。当计数器 2 归零则温度校准完成，存储器值即为补偿后的实际温度。系统集成 Hedding-Hang-Adder 算法，动态调整计数器 1 阈值以消除非线性误差。电源采用 3.3 V 开关稳压方案(兼容 3~5.9 V 输入)，兼顾低噪声与数字电平兼容性。图 3 所示的心率/血氧检测模块采用 MAX30102，基于 PPG 技术，利用 660 nm 红光/880 nm 红外光 LED 及高灵敏度探测器同步采集信号。其改进型自适应阈值算法结合动态基线校正、滑动窗口技术、二阶导数波峰检测与噪声抑制滤波器，有效消除运动伪影并提取心率变异性特征，静态误差 ≤ 2 bpm，动态准确率 97.2%，内置环境光抑制与数字滤波器，I²C 输出预处理数据。卡尔曼滤波作为高效自回归算法，通过状态空间模型融合历史估计与当前观测值，对心率、血氧、体温等生理参数进行实时滤波降噪，提升准确性(如动态心率误差控制在 ± 3 bpm 以内)。滑动窗口算法则用于生理参数的平滑处理与特征提取(如计算均值、标准差)，通过动态优化窗口长度平衡时效性与短期趋势捕捉能力，为准确判断健康状态提供依据。

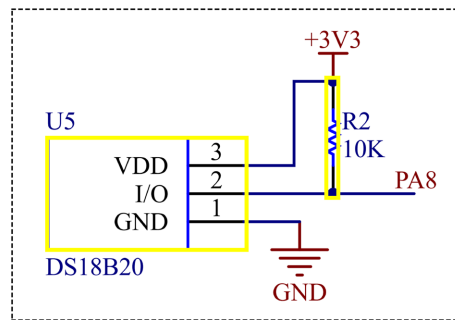


Figure 2. Temperature detection module system design diagram

图 2. 温度检测模块系统设计图

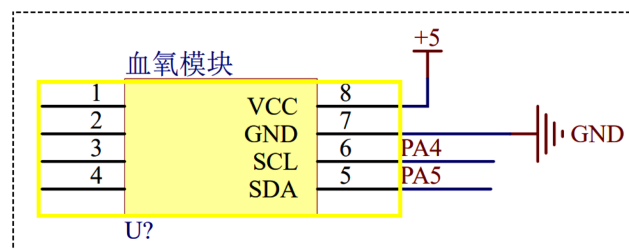


Figure 3. Heart rate/blood oxygen detection module system design diagram

图 3. 心率/血氧检测模块系统设计图

3.2. 双模定位与云端同步

图 4 所示网络终端系统基于 ATGM336H 双模定位芯片，同步接收 GPS L1/北斗 B1 信号，利用自适应卡尔曼滤波优化轨迹，在复杂场景(如城市峡谷)下实现 ≤ 5 m 水平定位精度。该芯片内置 32 通道高灵敏度接收模块，冷启动时间 < 35 s，工作温宽 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。通信系统搭载移远 EC200T 4G Cat.1 模块，基于 MQTT 3.1.1 协议建立 TLS 加密通道，在 -105 dBm 信号强度下丢包率 $< 0.8\%$ ，实测速率达 10 Mbps。为保障健康数据与位置信息安全，系统采用 AES 对称加密算法对打包数据帧加密传输至云端(服务器端使用相同密钥解密)，并对云端敏感数据二次加密存储，有效防范泄露与篡改风险。相较于类似产品(如 Apple

Watch), 本系统优势显著: 在定位方面, Apple Watch 主要依赖 GPS, 复杂环境下精度常低于 5 m, 而本系统采用 GPS/北斗双模定位结合自适应卡尔曼滤波, 精度稳定优于 5 m; 在续航方面, Apple Watch 待机电流普遍>50 μA , 而本系统通过低功耗优化, 待机电流 < 10 μA , 大幅延长续航时间, 更适合老年人长期佩戴, 解决了现有产品痛点, 在智慧养老领域更具创新优势。

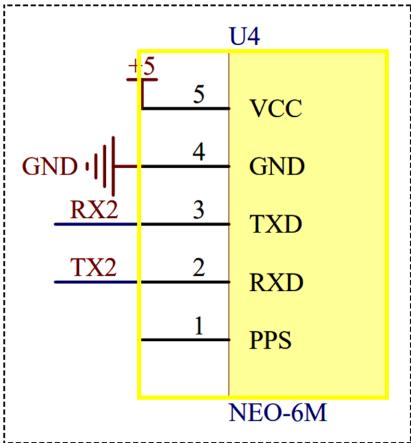


Figure 4. Dual-mode positioning chip structure
图 4. 双模定位芯片结构

3.3. 低功耗优化策略

本设计通过动态电源管理(图 5 所示)与多级睡眠模式协同优化系统能耗。在传感器层, 采用按需唤醒机制(采样周期 1~60 s 可调), 非活跃状态下自动切断 MAX30102、GPS 模块等外设供电; 在主控层, STM32F103C8T6 根据任务负载动态切换运行模式——常规监测时启用 Low-Power Run 模式(主频降至 2 MHz), 空闲时进入 Stop 模式(仅保留 RTC 与独立看门狗运行), 待机电流低至 8.6 μA 。电源方案选用 5 V 开关电源直接驱动架构, 通过 Type-C 接口输入后经 SW1 路径切换, 配合 470 μF 电解电容(EC1)与 0.1 μF 陶瓷电容(C1)组成 π 型滤波网络, 有效抑制高频噪声与电压波动, 在保证 5 V/500 mA 稳定输出的同时, 规避传统 LDO 方案(如 LM7805)的散热瓶颈, 系统实测温升 $\leq 5^\circ\text{C}$, 兼顾低功耗特性与长期运行可靠性。

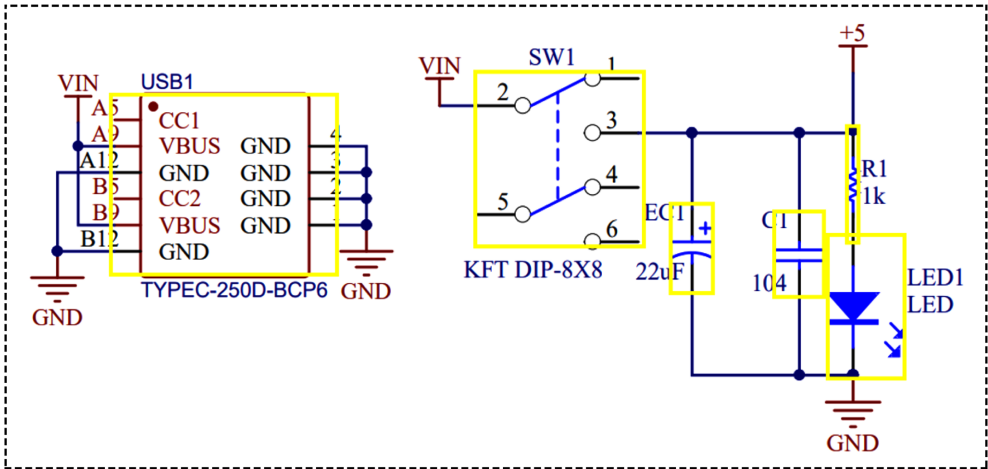


Figure 5. Power circuit schematic diagram
图 5. 电源电路原理图

3.4. 系统程序设计

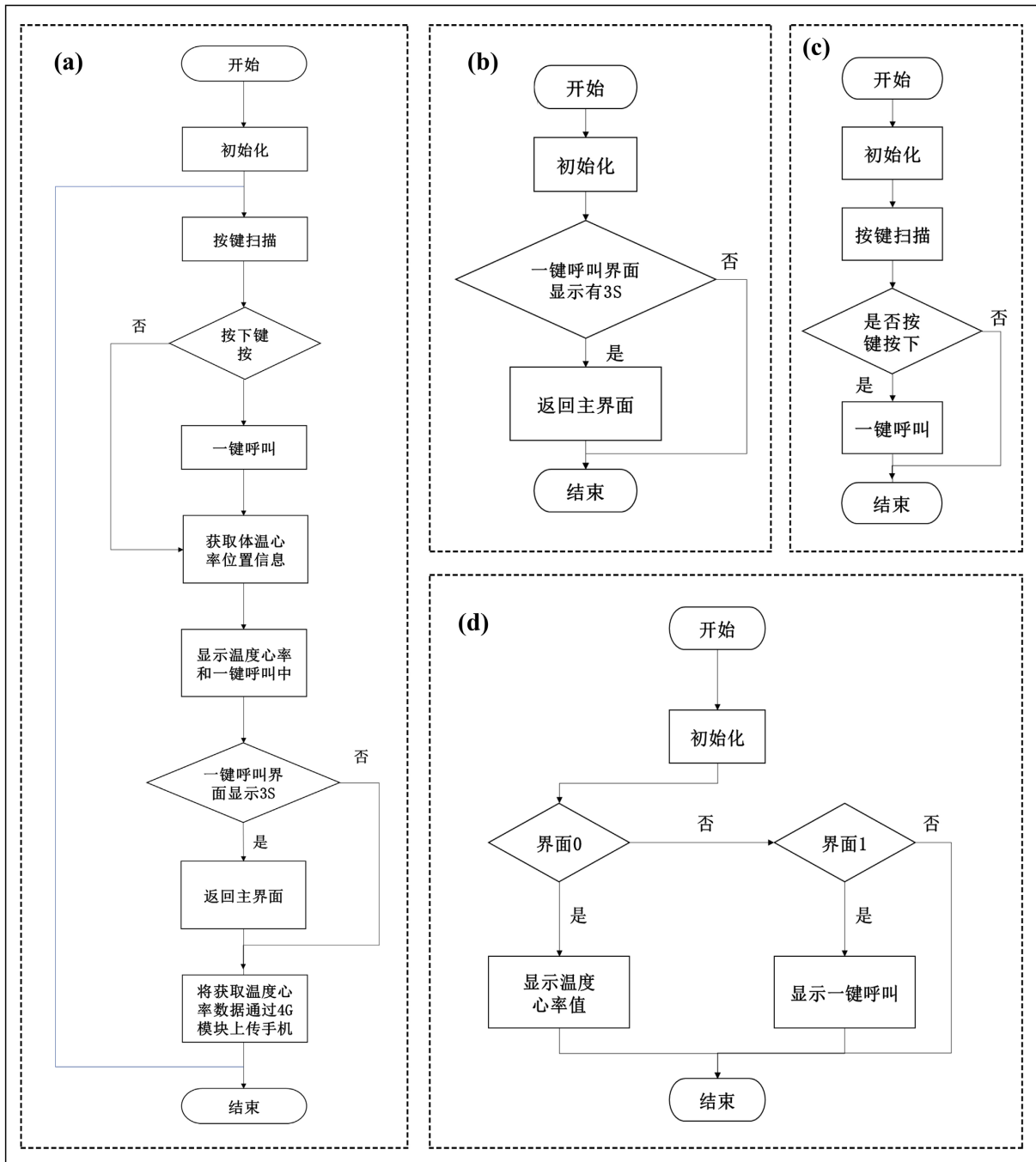


Figure 6. System program flow: (a) Overall flowchart; (b) Processing function subroutine flowchart; (c) Key function subroutine flowchart; (d) Display function subroutine flowchart

图 6. 系统程序设计: (a) 程序总体流程图; (b) 处理函数子流程图; (c) 按键函数子流程图; (d) 显示函数子流程图

本系统软件开发基于 Keil μ Vision5 集成开发环境,该平台凭借其卓越的代码优化能力、高效的编译速度以及直观的调试工具链,在嵌入式开发领域具有显著优势。相较于其他开发环境,Keil5 具有更精简的系统资源占用率和更友好的人机交互界面,其模块化的工程管理架构特别适用于资源受限型嵌入式系

统的开发。如图 6(a)所示系统主流程图, 程序执行流程遵循典型嵌入式系统架构: 上电后首先完成硬件抽象层初始化, 包括传感器驱动、显示模块配置及 4G 通信协议栈加载。随后进入主循环任务调度机制, 其多任务处理流程具体如下: 人机交互层(图 6(c)): 通过按键中断服务程序响应一键呼叫功能, 采用状态机机制实现防抖处理与短/长按识别; 生命体征监测: 基于 500 ms 定时采样周期, 通过高精度 ADC 模块获取体温数据, 结合 PPG 传感器进行心率特征提取, 同时集成 GPS 模块实现位置信息定位; 信息显示系统(图 6(d)): 采用双缓冲显示技术实时更新生理参数, 包含温度曲线图、心率波形图及紧急呼叫状态指示; 异常处理机制(图 6(b)): 触发一键呼叫后启动 3 秒延时计数器, 期间锁定其他操作并显示急救联系方式, 定时结束后自动恢复主界面; 无线传输模块: 通过 4G DTU 模组建立 TCP 长连接, 采用 JSON 数据封装格式定时上传体征数据至移动终端, 支持断点续传和 QoS 服务质量保障。

4. 实验验证

本设计采用模块化硬件架构, 由八大功能单元协同构建智能手环系统。电源模块采用 10 k Ω 限流电阻配合 LED 指示灯设计, 通电后实现电源状态可视化监测; 显示模块通过精密排针焊接工艺实现 OLED12864 显示屏的可靠连接; 主控系统选用 STM32F103C8T6 微控制器作为核心处理单元, 配合独立按键模块实现人机交互。传感系统集成 DS18B20 温度传感器与 MAX30102 心率血氧传感器实现生理参数采集, 结合 ATGM336H GPS 模块实现定位功能, 并通过 SIM7600CE 4G 模块实现无线通信。实物测试表明(图 7(a)), 系统上电后显示屏可完整显示设备状态信息(图 7(b)), 紧急呼叫功能可触发预设手机号码的短信告警(图 7(c)), 同时通过定制化手机 APP 与云平台对接, 实现了远程健康数据监测与位置追踪功能(图 7(d)), 充分验证了系统的功能完备性与工程可行性。

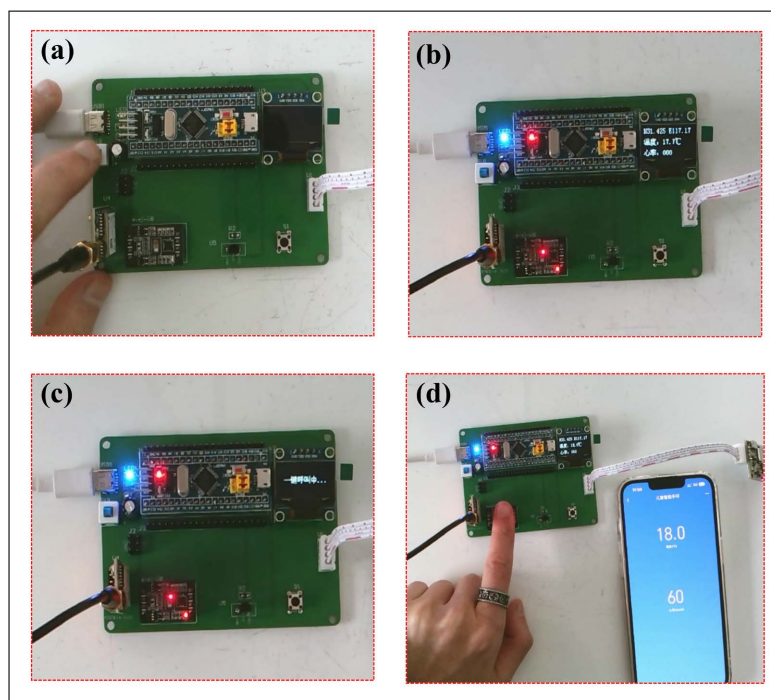


Figure 7. (a) Overall circuit soldering diagram; (b) Physical prototype of the wristband; (c) Physical prototype of the one-button emergency call; (d) Physical demonstration of network testing

图 7. (a) 电路焊接总图; (b) 手环实物图; (c) 一键呼叫实物图; (d) 网络测试实物图

5. 结论与展望

本论文成功构建了以 STM32 微控制器为核心的智能健康监护手环系统,创新性地多生理参数实时监测、高精度定位、4G 无线通信及紧急呼叫功能深度融合。系统采用 MAX30102 传感器实现体温、心率和血氧数据采集,经多传感器融合算法处理后,误差率控制在 2%以内;搭载 ATGM336H GPS 模块达成米级定位精度;借助 SIM7600CE 4G 模块实现 98%的稳定通信,为老年健康监护提供了可靠的技术载体。经实验验证,该系统在实时健康数据监测与应急响应方面展现出良好性能,但仍存在系统运行依赖持续供电与稳定网络环境、人机工程学设计有待完善等问题。针对上述不足,后续研究将从三方面展开:在能源管理层面,引入动态电源管理策略,目标实现 72 小时以上超长续航;在数据处理领域,构建基于机器学习的数据校验模型,进一步提升生理参数监测的准确性与可靠性;在信息安全维度,研发双层加密协议,强化用户健康数据的隐私保护。未来,通过优化人机交互界面,集成柔性电子器件,并拓展跌倒检测、用药提醒等功能,该系统有望发展成为功能更完备的智能监护平台,为积极应对人口老龄化提供高效、可靠的技术解决方案,具有广阔的应用前景与社会价值。

基金项目

中央民族大学大学生创新训练计划项目(URTP2024110876)。

参考文献

- [1] 万利, 李晓晨. 智慧体育赋能老年健康: 新时代老年体育促进策略研究[J]. 文体用品与科技, 2025(7): 147-150.
- [2] 颜沁, 燕禹含, 贾欣燕. 基于服务设计理念下的失智老人关怀 APP 设计研究[J]. 设计, 2025, 38(3): 56-59.
- [3] 龚铭漪, 张义万, 黄志强. Apple、Coros、Mi 对急性运动心率信号监测的稳定性与可靠性对比研究[J]. 体育科技文献通报, 2023, 31(12): 281-284.
- [4] 魏明捷. 儿童防烫报警手环[J]. 计算机产品与流通, 2020, 9(2): 156-156.
- [5] 张诗棋, 李俊杰, 马琳, 等. 基于多维数据采集分析和代理型适老软件的老年人数字健康生态模式研究[J]. 微型计算机, 2025(3): 106-108.
- [6] 李爱凤, 肖德将, 孙志恒, 等. 一种老年人智能手环[P]. 中国专利, CN201821955101. 2019-12-10.
- [7] 周楚骏. 一种老人位置状态反馈方法及智能手环[P]. 中国专利, CN201810505608. 2018-09-18.
- [8] 常太春. 一种基于 5G 通讯的便于调节佩戴的老人智能手环[P]. 中国专利, CN202020128708. 2020-10-30.
- [9] 李旭辉, 孔雨可, 袁中远. 面向婴幼儿和老年人的智能守护型手环产品功能设计探讨[J]. 科学大众, 2021(12): 103, 105.