

多传感器融合的人体健康监测系统设计 与实现

叶忠儒*, 李 萌, 蔡宪东, 季维瀚, 吕 军#

浙江理工大学信息学院, 浙江 杭州

Email: wanfan3000@126.com, #lv_jun@zstu.edu.cn

收稿日期: 2021年2月4日; 录用日期: 2021年3月30日; 发布日期: 2021年4月7日

摘 要

设计与实现了一个人体健康智能监测系统, 该系统包括数据采集模块、单片机主控模块、显示模块、传输模块和监测终端。利用STM32单片机驱动ADS1292心电传感器、LMT70温度传感器以及MPU-6050运动处理传感器测量人体健康数据, 并通过ESP8266Wi-Fi芯片将采集数据发送到OneNet服务器, 采用HTTP协议实现PC端和移动终端对数据采集设备的管理及查看健康信息的功能。经系统测试发现, 心率、体温和运动步数的平均测量误差分别为0、 $\pm 0.09^{\circ}\text{C}$ 和 ± 0.6 米, 整个系统可实时的将数据显示在本地TFT液晶屏、手机APP和PC端。系统可靠性高, 能够满足个体家庭和管理机构对特殊群体健康监测的需求, 为物联网系统开发与应用提供参考。

关键词

传感器, 物联网, 监测系统, 无线传输, 手机APP, PC终端

Design and Implementation of Human Health Intelligent Monitoring System with Multi-Sensor

Zhongru Ye*, Meng Li, Xiandong Cai, Weihan Ji, Jun Lv#

School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Email: wanfan3000@126.com, #lv_jun@zstu.edu.cn

Received: Feb. 4th, 2021; accepted: Mar. 30th, 2021; published: Apr. 7th, 2021

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

A human health intelligent monitoring system includes data acquisition module, MCU module, display module, transmission module and monitoring terminal was designed and implemented. The health data of human were acquired by STM32 MCU, ADS1292 ECG sensor, LMT70 temperature sensor and MPU-6050 motion processing sensor, after the data were sent to OneNet server through ESP8266Wi-Fi chip, the health data from different equipment were displayed on the PC and mobile terminals by the HTTP protocol. The result showed that the average measurement errors of heart rate, body temperature and exercise steps were 0, $\pm 0.09^{\circ}\text{C}$ and ± 0.6 meters, and the data could be displayed on the local TFT LCD screen, mobile phone APP and PC in real time. The system has high reliability and can meet the needs of special group health monitoring system for individual families and management institutions, and provide reference for the development and application of IoT system.

Keywords

Sensor, IoT, Monitoring System, Wireless Transmission, Mobile Phone APP, PC Terminal

Copyright © 2021 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

随着人民生活质量的提高和生活节奏的加快, 人体健康监测成为全球关注的焦点之一。基于物联网的人体健康监测系统已被广泛应用于老人健康监护、肥胖患者运动健康监测和慢性病患者健康监护等方面。系统一般由数据采集传感器获取脉搏、心率、温度等数据[1] [2] [3]后, 由单片机及外设电路实现数据处理、显示和异常报警, 并通过 Wi-Fi、蓝牙、ZigBee 等传输模块[4] [5] [6]实现数据与监测终端[7] [8] [9]的信息共享。目前大部分监测系统主要围绕系统硬件电路的设计或监测终端系统的开发, 很少涉及多个应用系统的数据显示和终端实时监测。

制作基于 STM32 和复合传感器的人体健康数据采集电路, 利用 Android 和 LabVIEW 分别开发了手机监测 APP 和 PC 端上位机, 采集的人体健康数据经 Wi-Fi 同步传输至云存储, 并显示在监测终端。家庭监护人可通过手机 APP 实时查看被监护人的健康指标; 养老院等管理组织利用 PC 端识别具有不同标识码的监测设备后, 监测多名被管理人员的健康指标。人体健康智能监测系统总体框图如图 1 所示。

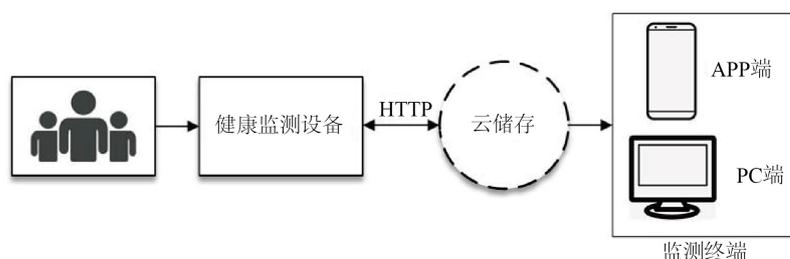


Figure 1. General block diagram of human health intelligent monitoring system

图 1. 人体健康智能监测系统总框图

2. 系统硬件电路设计

人体健康智能监测系统硬件电路集成了心电信号采集器、体表温度传感器和运动检测模块，用于实施采集人体心率、体温和运动步数等数据；选用 ST 公司的 STM32F103 芯片作为主控，控制各个传感器模块对人体健康信息进行采集和处理，在 TFT 液晶显示屏实时显示，并通过无线通信模块发送至云端。整个硬件电路供电由锂电池和电源转化模块组成。系统硬件电路框图如图 2 所示。

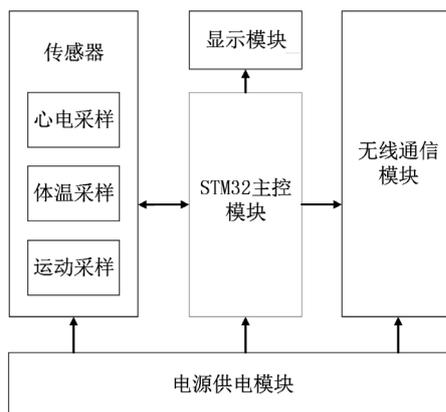


Figure 2. Hardware circuit design block diagram of human health intelligent monitoring system

图 2. 人体健康智能监测系统硬件电路设计框图

2.1. 心电信号采集模块的设计

采用 TI 公司的 ADS1292 芯片作为心电信号模块主控，该芯片是多通道同步采样 24 位模数转换器 (Analog-to-Digital Converter, ADC)，具有内置的可编程增益放大器 (programmable gain amplifier, PGA)、内部基准和板载振荡器等心电采集所需要的部件。在低功耗模式下，每个通道功率仅有 335 μW ，足以支持长时间的移动监控，且内置右腿驱动放大器，能有效减小心电信号受噪声的干扰。

该模块通过三导联线捕获心电信号，经前置滤波和 ADS1292 芯片内部的电磁干扰滤波器 (Electromagnetic Interference filter, EMI) 后输入可编译的 PGA 放大器，再经过高精度的 ADC 模数转换为数字信号，通过 DRDY, DOUT 等管脚与单片机进行通信与数据传输。考虑医疗产品具有漏电流限制，在低通滤波电路中添加限流电阻以满足电流输出要求；考虑在干燥且没有外伤破损状态下人体电阻大约在 120 k Ω 到 200 k Ω 之间，选择了 10 M 的上拉、下拉电阻，有利于捕获心电信号。该模块信号采集电路与芯片电路需要进行电源的隔离，采用 2 片线性稳压芯片 AMS1117-3.3 对 5 V 的供电电压分别进行转换来达到隔离数字地与模拟地的效果。心电信号采集模块原理图如图 3 所示。

针对获取的心电信号(如图 4 所示)，采用搜索心电信号峰值点的方法定位 R 波，将相邻两个 R 波顶点记为特征点 Lb 和 Sc，计算出相邻特征点间的时间间隔，再计算这些时间间隔的均值，从而获得这段时间内的平均心率 BMP 值[10]，单位(次/分)。具体计算公式为：

$$BMP = \frac{60000}{\left(\sum_{i=1}^{10} Sc(i) - Lb(i-1)\right) / 10} \quad (1)$$

2.2. 体温数据采集模块的设计

采用 LMT70 芯片作为人体体温数据采集模块的主控，该芯片是一款带有输出使能引脚的超小型、高

采用三阶线性拟合来提高测量精度，拟合公式如下所示：

$$T_M = A(V_{TAO})^3 + B(V_{TAO})^2 + C(V_{TAO}) + D \quad (2)$$

其中， V_{TAO} 为温度采集模块输出电压值， T_M 为计算后的人体体温值，A、B、C 和 D 为拟合系数，由多次实验数据代入拟合后获得： $A = -1.809628 \times 10^{-9}$ ， $B = -3.325395 \times 10^{-6}$ ， $C = -1.814103 \times 10^{-1}$ ， $D = 2.055894 \times 10^2$ 。在单片机工作过程中，利用此函数将 V_{TAO} 管脚的模拟信号转化成代表人体体温的数字信号。

2.3. 人体运动数据采集模块的设计

使用 MPU-6050 作为人体运动数据采集模块的主控芯片，该芯片是全球首例 9 轴运动处理传感器，集成了 3 轴 MEMS 陀螺仪，3 轴 MEMS 加速度计，以及一个可扩展的数字运动处理器(Digital Motion Processor, DMP)。传感器陀螺仪的可测范围在 ± 250 ， ± 500 ， ± 1000 ， $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ ，加速度计可测范围为 $\pm 2 \text{ g}$ ， $\pm 4 \text{ g}$ ， $\pm 8 \text{ g}$ ， $\pm 16 \text{ g}$ ，可测量范围远远大于人体正常行走中能产生的加速度。

该模块采用 IIC 通信模式与单片机通信，其 SDA\SCL\AD0\INT 管脚分别串接一个 120Ω 的保护电阻与单片机相连，同时 SDA\SCL 管脚输出端分别接一个 $4.7 \text{ k}\Omega$ 上拉电阻，以得到更大的电流输出，进而提高通信的稳定性。设计时不采用外部时钟接入，CLKIN 脚接地无效。具体设计如图 6 所示。

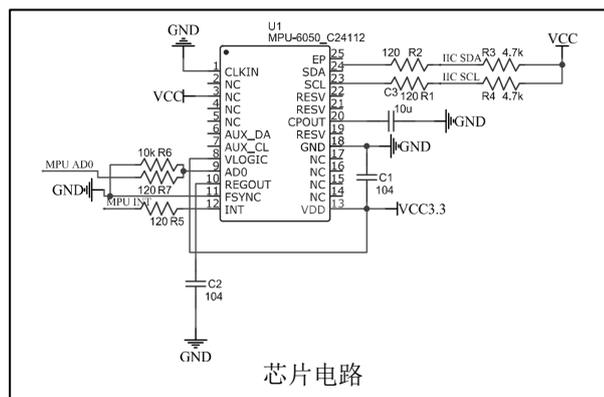


Figure 6. Schematic design of human motion data acquisition module

图 6. 人体运动数据采集模块设计原理图

2.4. 通信模块设计

使用 ESP8266 芯片通过 Wi-Fi 与 OneNet 云端服务器建立连接，进行数据交互[12] [13]。首先对 ESP8266 模块进行初始化配置，设置成 station 模式，作为节点与无线路由器连接，通过无线路由器转发数据包的方式连接到 OneNet 服务器。当 STM32 通过传感器得到数据后，按照 HTTP 协议将数据打包，通过串口通信的方式传输给 ESP8266，然后 ESP8266 将数据包转发给无线路由器，最后上传到 onenet 平台。终端应用可以访问云端服务器获取数据，进行数据的展示，比如移动端 App，和 PC 端网页显示。通信模块结构设计如图 7 所示。

2.5. 电源模块电路设计

整个系统采用 12 V 的锂电池供电，并通过 LM7805 [14]和线性稳压芯片 AMS1117-3.3 分别转换成 5.0 V 电压与 3.3 V 电压，以满足单片机主控模块、传感器采样模块、无线通信模块的供电要求。

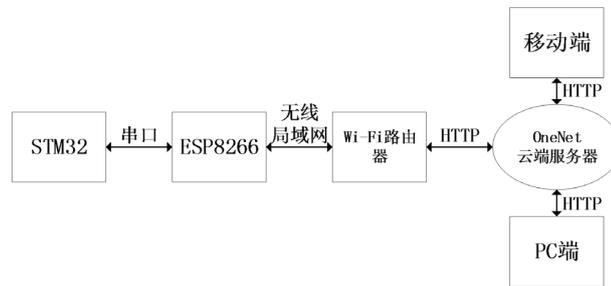


Figure 7. System communication module design block diagram
图 7. 系统通信模块设计框图

3. 系统软件设计

3.1. 单片机主控程序流程图

本系统使用 STM32F103ZET6 作为主控芯片，当系统启动时，会首先驱动 ESP8266 加入网络，成功后启动外设并初始化，进入待机界面之后通过按键操作启动人体信息的测量采集处理，软件控制流程图如图 8 所示。

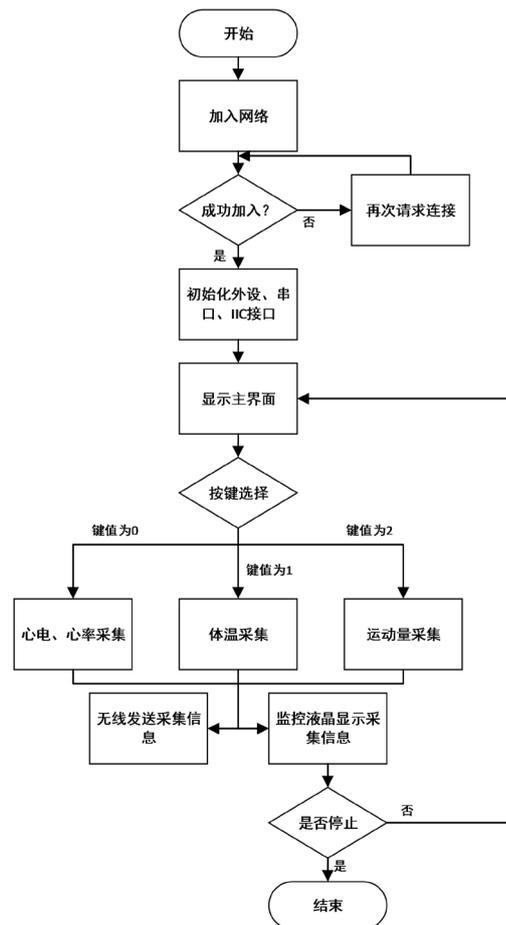


Figure 8. Flow chart of main control program of single chip microcomputer
图 8. 单片机主控程序流程图

3.2. 人体健康智能监测 APP 开发

在 XML 里使用 TextView 显示文本框、Button 按键、EditView 可编辑文本框、ImageView 显示图片等控件搭建 UI 界面。在 Android 端创建 URL, HttpURLConnection 的对象, 在 URL 中设置服务器的 IP 和调用服务器的数据请求方法, HttpURLConnection 的对象调用 HTTP 协议的 post 和 get 方法向服务器发送 URL 请求, 服务器根据收到的 URL 请求中的数据请求方法调用数据库的数据, 完毕后向 Android 端返回执行结果和数据库数据, Android 端再调用接收数据流方法收到结果, 经过数据处理后将其显示在 UI 界面上[15]。UI 界面设计如图 9 所示, 可显示被测对象的心率、体温、运动步数等数据。该 APP 可安装于 Android 6.0 及以上系统的移动终端(手机或平板)。



Figure 9. Android UI
图 9. 安卓端 UI 界面

3.3. 基于 LabView 的人体健康监测 PC 端设计

利用 LabView 创建一个 web 服务资源, 再创建一个 VI 用作可视化界面显示数据[16]。在启动时, LabView 平台利用自带的 HTTP 协议函数与 OneNet 服务器建立连接, 发送一个请求信息, 当服务器收到请求并回复一个状态行表示连接成功时, LabView 平台发送一个设备号信息, 即可开始接受该设备上传到服务器中的信息, 利用工具平化还原字符串—平化至 json 对数据进行解码, 截取对应长度的字符串分别归类至心率、运动步数、体温等类别显示在前面板中, 并实时保存至本地文件夹以便使用结束后查阅。

4. 系统测试

4.1. 心电心率模块的测试

测试时, 在左胸、右胸、左腿处贴上电极片, 利用三导联线将人体心电信号引入设备输入端, 通过单片机控制计算实时心率和驱动 TFT 液晶屏显示心电波形。该系统可以较好地显示正常和心律不齐心电信号波形, 如图 10 和图 11 所示。以徐州铭昇电子科技有限公司的 SKX-2000G 心电信号模拟仪产生不同 BPM 值的心电信号为参考, 系统测试误差为 0。

4.2. 体表体温模块的测试

为提高体温测量的稳定性、精确性与易测量性, 选择人体掌心作为测量位置。随机选取 30 个不同年

龄段的人作为被测对象，编号 1~30，分别用市面上销售的测温枪与本模块进行测温比较，统计测量值并计算以测温枪为标准值的误差。统计得该模块的绝对误差在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内，平均误差为 $\pm 0.09^{\circ}\text{C}$ ，满足一般体温测量的需求。测量数据比较折线图如图 12 所示。

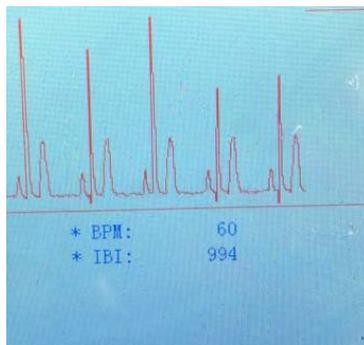


Figure 10. Normal ECG signal

图 10. 正常心电信号测试

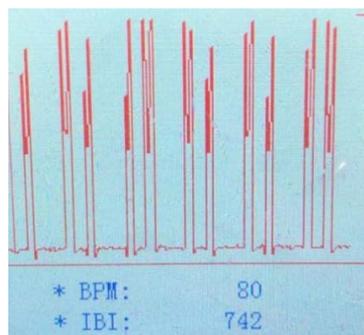


Figure 11. Arrhythmia signal

图 11. 心率不齐信号测试

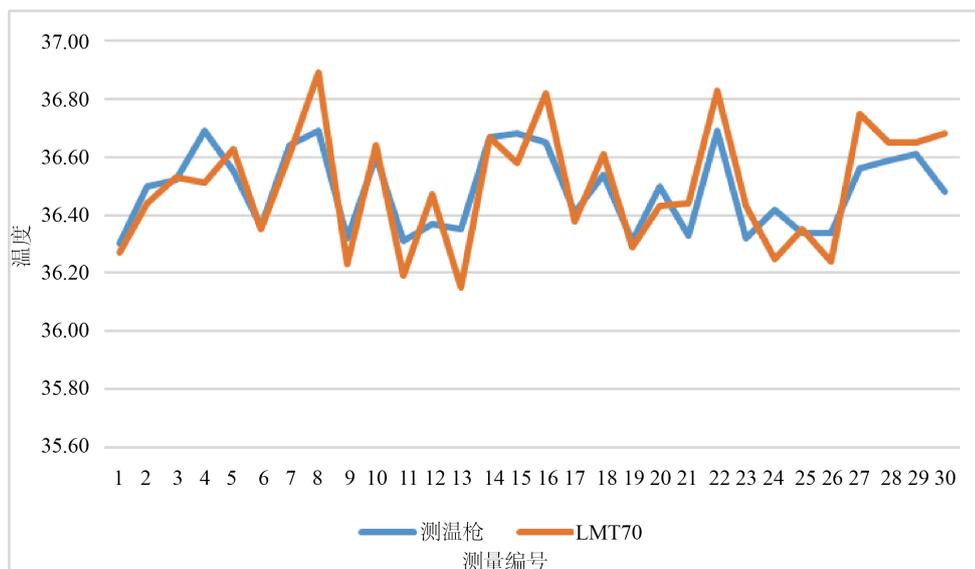


Figure 12. Data comparison chart of module and temperature measuring gun

图 12. 模块与测温枪数据比较图

4.3. 运动量测量模块的测试

该模块测量时设定测量距离分别为 5 m, 10 m, 20 m, 每种测量距离测量五次, 将每次理论数据和实际数据进行比较, 并计算平均误差, 测试结果如表 1 所示。

Table 1. Test data of motion error module

表 1. 运动量误差模块测试数据

	5 米		10 米		20 米	
	测量步数/步	实际步数/步	测量步数/步	实际步数/步	测量步数/步	实际步数/步
1	7	7	14	15	27	27
2	7	7	13	14	25	26
3	7	7	12	13	27	27
4	9	8	14	14	27	26
5	8	8	12	14	27	28
平均误差			0.6			

4.4. 系统整体功能测试

本系统利用单片机和复合传感器实时采集人体心率、体温和运动数据, 经 Wi-Fi 通信模块传输至服务器。APP 端可实时查看被监测人员的健康指标, PC 端利用 LabVIEW 从云端读取数据, 并根据独特的设备码识别设备信息, 对数据进行拆分译码并在可视化界面显示。系统整体测试如图 13 所示。

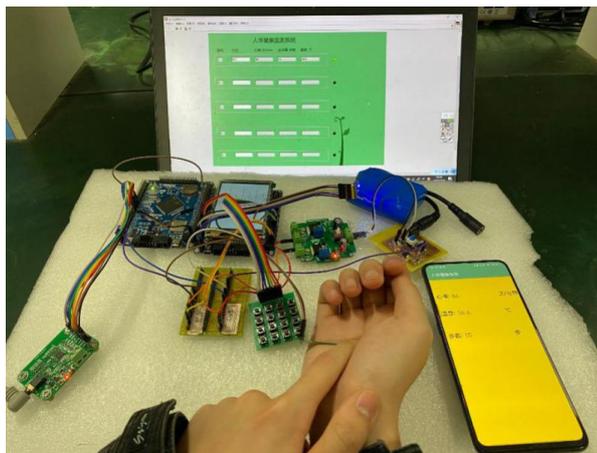


Figure 13. Overall system test diagram

图 13. 系统整体测试图

5. 结语

设计与制作了人体健康监测系统, 该系统以 STM32 控制器为核心, 搭载心电信号处理模块、体表温度测量模块和运动测量模块等多个传感器模块, 实现了人体心率、体温和运动步数的测量与显示。通过无线通信方式将不同设备、不同传感器的数据传至云存储空间, 采用 HTTP 协议实现服务器与手机端和电脑端的数据共享。基于 APP 的人体健康智能监测适用于个体家庭, 而基于 PC 端的人体健康智能监测系统能够在识别不同设备标识码的基础上, 显示各设备的监测数据, 更适合于需监护多人的管理机构。

该设计系统稳定, 功能较为齐全, 但在便携式可穿戴、功能和 UI 设计等方面还需进一步提高与完善。

基金项目

教育部 2019 年第二批产学研合作协同育人项目(201902249004); 浙江省高等教育“十三五”教学改革研究项目(jg20190138); 浙江理工大学本科生科研创新计划项目。

参考文献

- [1] 梁竹君. 无线体域网老人健康监护系统设计[J]. 信息通信, 2019(12): 286-288.
- [2] 王晴. 便携式老年人健康监护系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.
- [3] Hu, J.-X., Chen, C.-L., Fan, C.-L. and Wang, K.-H. (2017) An Intelligent and Secure Health Monitoring Scheme Using IoT Sensor Based on Cloud Computing. *Journal of Sensors*, 2017, Article ID: 3734764. <https://doi.org/10.1155/2017/3734764>
- [4] 熊金婷, 李猛, 张鑫梅, 等. 基于物联网的穿戴式运动健康监护系统[J]. 电子技术与软件工程, 2018(4): 105-106.
- [5] 王平, 秦威. 基于蓝牙无线传感网络的病人身体状态实时监护系统设计[J]. 西安科技大学学报, 2015, 35(1): 128-131.
- [6] 吴金奖, 陈建新, 田峰, 周亮. 可穿戴无线生理参数监测设备的设计与实现[J]. 计算机应用, 2014, 34(S2): 330-332.
- [7] 林国, 刘学锋, 毛建华, 张亚平. Sensor Web 支持下的远程健康监护系统客户端设计与实现[J]. 电子测量技术, 2018, 41(13): 69-73.
- [8] 郑贤娴. 基于可穿戴设备的移动监护 APP [J]. 电子技术与软件工程, 2019, 169(23): 42-43.
- [9] 吴勇灵, 杨娜, 潘晓慧, 王文江. 基于 LabVIEW 双通道湿度监测系统的设计[J]. 电子科技, 2016, 29(7): 61-63, 67.
- [10] 仇悦. 基于循环神经网络的胎儿心电图提取方法研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [11] Liu, A.D. and Yu, Q. (2019) Embedded Design of Pilot Multi-Physiological Parameter Acquisition Module. *Proceedings of 2019 3rd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering*, Clausius Scientific Press, Canada, 2019, 187-192.
- [12] 周炜杰, 周媛, 余佳琦, 等. 基于 Wi-Fi 的多路二维码读取系统设计[J]. 科技创新与应用, 2020(35): 27-28.
- [13] 王沈皓, 戴文君, 陈思哲, 等. 一种基于 STM32 的云端服务器设计[J]. 常州工学院学报, 2020, 33(1): 32-36
- [14] Divya, M., Saravanan, K., Gowthaman, N.B. and Pandian, C. (2018) Light Weight & Low Cost Power Bank based on LM7805 Regulator for Hand Held Applications. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 7, 201-205.
- [15] 李涛. 基于 Android 的智能家居 APP 的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [16] 蒋玉想, 李振华. 基于激光散射特性的路面识别智能车设计[J]. 自动化与仪表, 2020, 35(1): 5-9.