

基于嵌入式与表情识别的人体生理参数监测系统设计

张璐¹, 李冰鹃¹, 段特¹, 李宁娟¹, 董军堂^{1,2}

(1. 延安大学 物理与电子信息学院, 陕西 延安 716000;

2. 陕西省能源大数据智能处理省市共建重点实验室, 陕西 延安 716000)

摘要: 为满足对人体健康信息实时且多维度监测, 提高监护人员工作效率, 设计了一套人体生理参数和表情识别的健康监测系统; 通过传感器、摄像头等设备, 实时收集人体生理指标和视频资料, 核心控制层和服务器进行集中分析处理, 监测结果通过 PC 端界面展示, 帮助监护人员实时关注被监护人体状况和情绪变化, 及时采取干预措施; 实验结果表明该系统对人体血氧饱和度监测平均误差在 0.6% 以内; 对人体心率监测平均误差在 0.3 bpm 以内; 对人体体温监测平均误差在 0.13 °C 以内; 对人脸表情识别的准确率为 96.62%, 其具有监测人体多维度健康信息的能力, 可以解决实时监测人体生理参数和情绪变化的问题, 有效提高监护人员的工作效率。

关键词: 嵌入式; 生理参数; 表情识别; 健康监测; 传感器

Design of Human Physiological Parameter Monitoring System Based on Embedded and Expression Recognition

ZHANG Lu¹, LI Bingjuan¹, DUAN Te¹, LI Ningjuan¹, DONG Juntang^{1,2}

(1. School of Physics and Electronic Information, Yan'an University, Yan'an 716000, China;

2. Energy Big Data Intelligent Processing Provincial and Municipal Key Laboratory in Shaanxi Province, Yan'an 716000, China)

Abstract: In order to meet the real-time and multi-dimensional monitoring needs of human health information and improve the work efficiency of guardians, a health monitoring system for human physiological parameters and expression recognition is designed. Through sensors, cameras and other equipment, human physiological indicators and video data are collected in real time. The core control layer and server perform centralized analysis and processing, and the monitoring results are displayed through the PC interface, which helps guardians pay real-time attention to the physical condition and emotional changes of the ward and makes timely intervention measures. Experimental results show that the average error of the system in monitoring human blood oxygen saturation is within 0.6%, the average error in monitoring human heart rate is within 0.3 bpm, the average error in monitoring human body temperature is within 0.13 °C, and the accuracy of facial expression recognition is 96.62%. The system has the ability to monitor multi-dimensional health information of the human body, can detect human physiological parameters and emotional changes in real time, and effectively improve the work efficiency of guardians.

Keywords: embedded; physiological parameters; expression recognition; health monitoring; sensors

0 引言

随着人工智能和嵌入式技术的快速发展, 智能健康监测管理系统变得越来越重要。近年来, 我国老年人口

和慢性病患者数量显著增长。根据国家统计局和国家卫生健康委公布的数据显示, 2020 年我国 60 岁及以上老年人口已经达到 2.5 亿人, 占总人口的近 18%。预计

收稿日期: 2023-12-28; 修回日期: 2024-03-11。

基金项目: 国家自然科学基金(62264015); 延安大学教改项目(YDJGZD22-06); 延安大学研究生创新计划项目(YCX2024090)。

作者简介: 张璐(2001-), 女, 硕士研究生。

通讯作者: 董军堂(1973-), 男, 硕士, 副教授。

引用格式: 张璐, 李冰鹃, 段特, 等. 基于嵌入式与表情识别的人体生理参数监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(3): 45-53.

到 2035 年, 60 岁以上老年人口将超过 4 亿, 占比将近三分之一^[1]。与此同时, 根据 2018 年的统计, 我国 2 型糖尿病和高血压患者数量也在持续增长。数据显示, 目前我国 2 型糖尿病患者已达 1 亿人, 高血压患者约 8.5 亿人^[2]。与日俱增的慢性病人口以及人口老龄化对医疗资源的需求越来越大。但是, 现有的医疗体系难以面对个体长期定期的监测需求。其次, 这些群体普遍在身体和心理上也面对诸多困难, 如认知功能衰退、抑郁和孤独感等, 这对社会的心理健康服务体系提出了新的要求。

在当前信息技术高速发展的背景下, 传感器、人工智能、云计算等技术领域都取得长足进步, 为建设现代医疗体系提供了有利条件。一些科研工作者借助这些成熟技术, 研发出一系列智能健康监测系统。这些系统能够实现多维度监测生命体征, 不仅可以及时发现个人健康问题, 同时也可以定制个性化的健康管理与干预方案。文献 [3] 中提出了一种用于收集用户心率和血氧数据的硬件电路设计方案, 作者通过 Proteus 仿真软件对设计进行了验证, 证实该监测方法的实用性和有效性。然而, 尽管方案有效, 但监护人无法实时查看用户的心率和血氧值数据。文献 [4] 提出了一种基于物联网技术的人体健康和家庭环境监测系统, 它利用 ESP32 微控制器获取数据, 并通过移动设备进行上报, 移动端还能向终端设备发出控制指令。然而, 该系统并未包括被监护人日常情绪的监测, 因此无法观察到被监护人的情绪状态。文献 [5] 中介绍了一种基于人工智能技术的养老院老年人情绪检测系统, 它主要通过测量老年人的生理指标, 如心率、血压等身体数据, 并结合个人档案信息和日常活动, 最终对老年人的情绪状态进行综合分析。尽管该方案可以为老年人提供一定程度的情绪健康评估, 但情绪健康评估需要人工结合数据分析, 人工参与可能会引入主观因素影响判断, 因此该方案在现实应用中存在一定的错误率。

因此, 为了更好地实现对人体生理参数和情绪状况的实时监测, 本文提出了一种由数据采集层、核心控制层和服务器处理层组成的人体生理参数监护系统。该系统利用传感器、摄像头等设备对人体的生理指标数据和面部视频信息进行采集, 并将数据传输至核心控制层和服务器进行分析 and 处理。最终, 通过 PC 端进行存储和处理结果呈现。系统测试结果显示, 该系统能够实现人体生理参数和情绪状态的实时监测, 给监护人员提供被监护人的身心状况的参考, 并据情况及时采取精准的干预措施。

1 系统结构及原理

该系统由数据采集层、核心控制层和服务器处理层

3 个部分组成。数据采集层包括心率与血氧采集模块、体温采集模块和视频图像采集模块, 核心控制层包括主控制器和网络传输模块, 服务器处理层主要为电脑处理器。系统整体结构如图 1 所示。

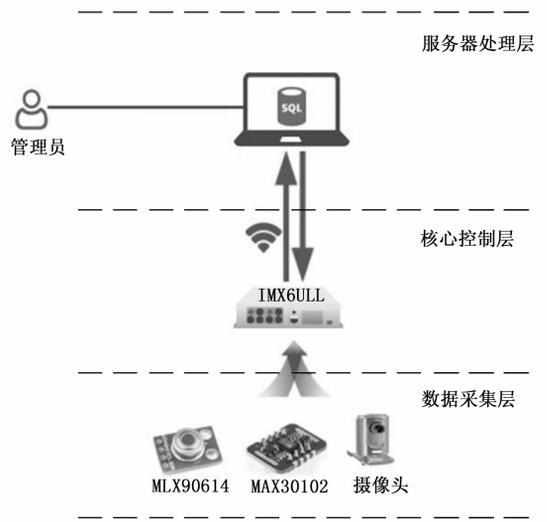


图 1 系统整体结构图

首先, 在数据采集层, 生理参数采集模块收集人体的心率、血氧饱和度、体温和视频图像等信息, 其中心率、血氧饱和度和体温信息以 I2C 的通信方式传输至核心控制层, 视频信息以 USB 通信方式传输至核心控制层^[6]。接下来, 在核心控制层, IMX6ULL 主控制器对被监护人员心率、血氧饱和度、体温等数据信息进行初步分析和处理, 提取有用的健康信息, 并通过 TCP/IP 协议传输至 PC 端进行存储和展示。同时, 视频信息通过 MT7601 WI-FI 模块上传至 PC 端, 依靠人工智能算法的支持, 服务器上部署的程序实现对视频每帧图像的识别处理, 抓取人脸信息并进行表情检测, 将识别结果返回至 PC 机端的网页界面展示。最后, PC 终端提供了前台访问入口, 监护人员可以查询数据库中存储的个人数据和生理指标, 以便及时采取必要手段保障其身体健康和情绪状况。

2 系统硬件设计

本系统的硬件结构主要包括主控模块、体温采集模块、心率和血氧饱和度采集模块、图像采集模块以及 WIFI 通信模块。主控制器在整个系统中扮演核心角色, 负责关键功能, 如系统控制、数据接收、数据处理和指令传输等。体温采集模块作为系统的数据输入部分, 利用 MLX90614 传感器采集人体温度数据, 心率和血氧饱和度采集模块使用 MAX30102 传感器完成对人体心率和血氧饱和度数据的采集, 这两个模块为系统提供关键的健康监测数据。WIFI 通信模块是系统的联网设备,

连接局域网或广域网,实现数据传输的加密机制,从而保障数据传输过程的安全性和稳定性。

2.1 主控模块

本系统选用了恩智浦公司生产的IMX6ULL作为主控模块。它采用了ARM Cortex-A7架构,主频可达900 MHz,具备强大的计算能力和响应速度^[7]。IMX6ULL集成了丰富的外设、接口和多媒体加速引擎,拥有多个UART、SPI、I2C等通信接口,方便与其他设备进行数据交互;支持以太网、USB、CAN等通信标准,提供了多个GPIO引脚,可用于控制外部设备和传感器。IMX6ULL采用先进的低功耗技术,可以长时间运行,支持多种低功耗模式。IMX6ULL开发板如图2所示。

为了充分发挥IMX6ULL的优势,本设计将Linux 5.4版本操作系统移植到该控制器上。主要利用了Linux操作系统提供的USB、UART、I2C和WI-FI驱动框架,实现了数据模块间交互。将Linux 5.4系统移植到IMX6ULL后,利用Linux内置的串口、I2C、USB及WIFI驱动框架建立模块间通信机制,提高系统稳定性和灵活性。

2.1.1 IMX6ULL的I2C通信设计

在本系统中,IMX6ULL与MAX30102、MLX90614传感器之间的数据传输采用I2C总线进行。I2C总线使用两条信号线,一条为串行时钟线SCL,另一条为串行数据线SDA,两条线采用上拉电阻,空闲状态下SCL和SDA均为高电平。以MLX90614传感器为例,数据

传输过程如下:IMX6ULL检测总线空闲后,通过发送启动信号(START)开始通信。随后发送MLX90614地址,MLX90614接收后与自身地址比对后回应ACK应答信号,IMX6ULL接收到ACK后,确认连接成功。在后续数据传输中,MLX90614向IMX6ULL传输数据时IMX6ULL回应ACK,当IMX6ULL完成接收数据后,向MLX90614发送一个NAK,MLX90614收到非应答信号后便停止发送数据,随后IMX6ULL再发送一个停止信号(STOP),释放总线结束通信。

2.1.2 IMX6ULL的USB通信设计

在本系统中,主控制器IMX6ULL通过USB通信方式与摄像头和MT7601WIFI模块进行数据传输。以下是以IMX6ULL驱动USB摄像头为例的具体步骤:首先,将USB摄像头连接到IMX6ULL的USB接口上,在终端上使用lsusb命令识别出摄像头的产品ID等信息;接着,在设备树(Device Tree)中添加USB和摄像头的配置信息,将摄像头驱动程序编译为内核模块,并通过lsmod命令检查摄像头驱动模块是否已加载,如未加载,则需利用modprobe命令加载;最后,采用OpenCV库实现图像采集、处理和显示功能。

2.2 体温采集模块

体温是监测人体健康的重要指标。为了实现准确测量,采用体积小、成本低的MLX90614传感器作为体温采集单元^[8]。该传感器利用热辐射原理的算法来测量温度。首先,通过读取环境温度进行初步温度修正,然后接收人体发出的红外辐射信号,并测量热敏电阻的电

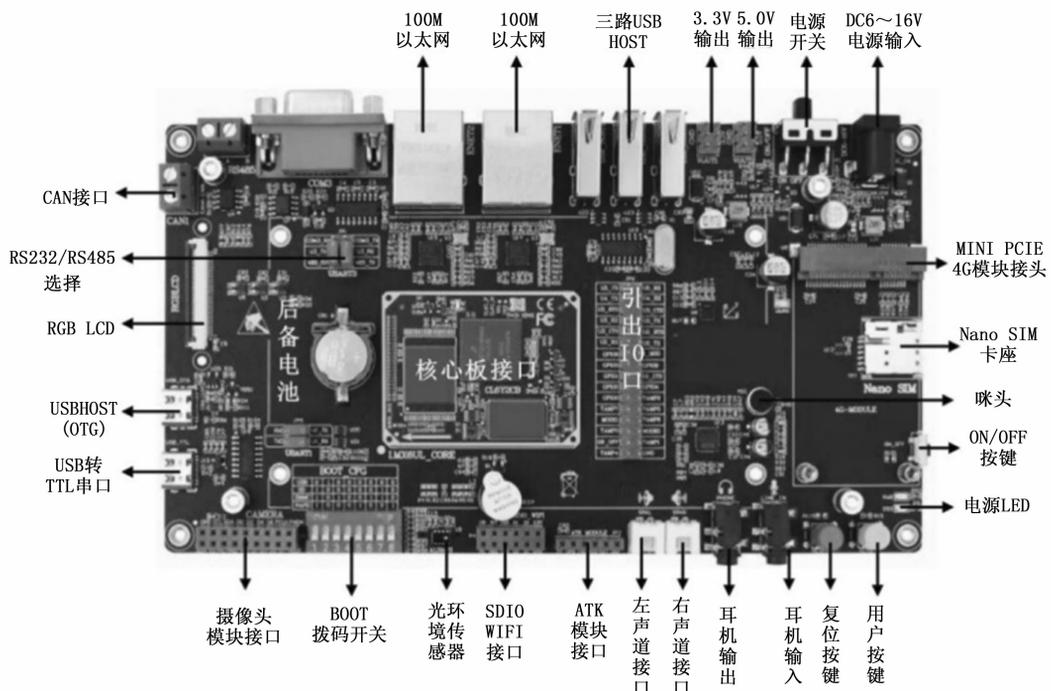


图2 IMX6ULL开发板

阻值来获取红外辐射强度。数据未经进一步处理，会受环境温度影响，因此，运用前面得到的环境温度值，对上一步获取的红外线强度进行二次修正。最终，利用初步获取的环境参考温度，对红外信号强度的数据进行两次修正，从而得到体表真实温度数据。体温采集模块接口电路如图 3 所示。

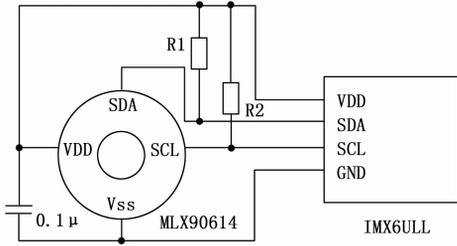


图 3 MLX90614 接口电路图

主要工作流程如下：主控制器向 MLX90614 传感器发出体温采集指令，传感器应答并开始读取采集点数据。传感器将采集到的数据以 I2C 的方式传送至主控制器。若传感器无应答，则主控制器会继续发送开始指令。主控制器接收到数据信息后，通过 TCP/IP 协议将其传输至电脑端数据库内，实现对体温数据的记录和管理。监护人员可以通过人机交互窗口查询数据来了解体温变化情况，从而实现及时监测和诊断。

2.3 心率和血氧饱和度采集模块

为了采集心率 (HR) 和血氧饱和度 (SpO₂)，使用 MAX30102 模块。它是一款集成了血氧饱和度和心率监测功能的传感器模块，采用光学传感技术通过 LED 发射器和光电二极管接收器，可以非侵入性地测量人体的血氧饱和度和心率^[9]。该模块内置了专用的信号处理引擎，能够实时采集和分析红外和可见光的散射和吸收特性，从而计算出血氧饱和度和心率指标。同时，该模块也提供了灵活的配置选项，可通过 I2C 接口进行参数设置和数据读取。MAX30102 模块具有低功耗和小尺寸的特点，非常适合嵌入式系统和便携式设备的应用。MAX30102 模块接口电路如图 4 所示。

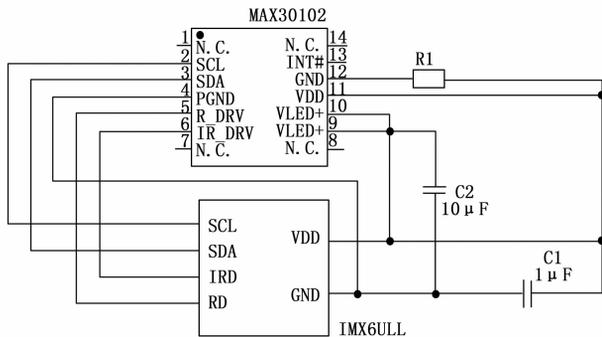


图 4 MAX30102 模块接口电路图

MAX30102 模块采用了两种不同波长的光源：红色 LED 和红外 LED。红色 LED 主要用于检测皮肤中的脉搏信号，而红外 LED 则用于抵消环境光的影响，提高信号的质量。当 LED 发射器照射到皮肤表面时，光线将穿过皮肤并被血液吸收。由于血液的吸收特性与氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的比例有关，因此当血氧含量发生变化时，反射回来的光信号也会随之变化。MAX30102 模块内置的信号处理引擎通过对反射回来的红色和红外光信号进行多次采样和滤波，并使用峰值检测算法来确定心率值，如式 (1) 所示：

$$HR = \frac{6\,000}{\sum_{i=0}^{M-1} \frac{\text{crest}[i+1] - \text{crest}[i]}{M-1}} \quad (1)$$

式中，HR 代表心脏每分钟跳动的次数，单位是次/分钟；M 表示波峰的总数量；crest [i] 表示第 i 个采样数据中的波峰的数值。

当这两个波长的光经过人体组织后反射回来，经过光电二极管转换为电信号后，可以得到两个波长的反射强度值 R 和 IR。通过计算 IR/R 的比值来推算氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的比例，根据该比例计算出血氧饱和度。如式 (2) 所示：

$$SpO_2 = \frac{\frac{ACred}{DCred}}{\frac{ACred}{DCred} + \frac{ACir}{DCir}} \times 100\% \quad (2)$$

式中，ACred 表示红光信号的交流分量，DCred 表示红光信号的直流分量，ACir 表示近红外信号的交流分量，DCir 表示近红外信号的直流分量。同时，通过可见光的反射程度来监测心率，因为心脏跳动会引起血液体积的变化，进而影响皮肤的反射光强度。

2.4 WI-FI 通信模块

为了实现将数据采集层采集到的数据发送到 PC 机端，选择 MT7601 USB-Wi-Fi 模块，它支持 IEEE 802.11 b/g/n 标准，工作在 2.4 GHz 频段，传输速率最高可达 150 Mbps，并具有良好的安全性能和支持加密方法^[10]。

Linux 操作系统已经为 MT7601 提供了驱动程序，其中包括内核驱动、固件和用户空间工具三部分。内核驱动部分由 MT7601U 和 MT76x2u 两个驱动模块组成。MT7601U 负责加载 MT7601 芯片的固件以及管理无线功能，MT76x2u 则负责支持 MT7601 芯片的扩展功能，如 MIMO 和 Beamforming。驱动固件部分包括 mt7601u.bin 和 mt7601u_rom_patch.bin 两个文件，前者是 MT7601 芯片的主要固件，后者则是 ROM 补丁文件，用于修复芯片硬件缺陷。用户空间工具部分包括 iw 和 wpa_supplicant 两个工具，其中 iw 用于配置和管理无线网络参数，而 wpa_supplicant 则用于实现

WPA/WPA2 加密协议。

MT7601 与主控制器 IMX6ULL 通过 USB 接口相连。作为一个 USB 无线网卡, MT7601 可以直接插入 IMX6ULL 的 USB 接口中。连接后, 操作系统内置的 USB 驱动程序即可自动识别 MT7601, 并启动相应的网络服务, 从而实现对 MT7601 的控制和数据传输。因此, IMX6ULL 通过使用 MT7601 提供的无线网络功能, 可以接入局域网或广域网, 实现 Wi-Fi 通信。

3 系统软件设计

本系统的软件程序主要分为两部分: 嵌入式子系统和 Web 后端子系统。嵌入式子系统程序是使用 C/C++ 语言编写的, 运行在主控制器上, 由网络通信线程、数据采集线程和数据收发线程组成, 主要负责系统通信、数据采集和传输等功能。Web 后端子系统则是基于 Java 和 Python 语言开发的, 运行在 PC 机的服务器上, 并采用了目前主流的组件与框架。Web 后端系统的主要任务包括展示数据结果、存储数据以及进行表情检测等功能。

3.1 嵌入式子系统软件设计

嵌入式子系统的软件程序主要包括数据获取层、控制层和网络调用层。数据获取层由多个数据采集线程组成, 其中包括人体温度采集线程、心率与血氧饱和度采集线程以及视频信息采集线程。控制层承担着清洗和转换采集数据的任务, 实现数据的纠正错误和格式转换。同时, 控制层利用同步与互斥机制(如信号量、条件变量、互斥锁和自旋锁等)和位图机制来确保线程之间的安全执行。网络调用层的主要功能在于通过调用 Linux 系统提供的相关 API, 实现主控制器和 PC 机端之间数据的加密与传输。

具体而言, 主控制器上电后, 会自动启动 Uboot 引导程序, 并加载 Linux 内核镜像、设备树和根文件系统, 进入到最小的 Linux 操作系统环境^[11]。此时系统会自动执行存放在 “/etc/init.d/” 目录下的 rcs 脚本文件, 运行相应的配置和连接 WIFI 命令。如果成功联网, 系统会继续执行相关的应用程序命令。首先, 程序会对各个数据采集模块进行初始化, 包括具体的 I2C 和 USB 通道号以及双方通信速率等。接下来, 程序会循环接收来自 PC 机端的指令数据包, 并对其进行解析。如果解析结果为真, 则程序会依次执行各个数据采集线程。随后, 程序会执行数据处理程序, 使用转换公式将采集到的数据转换为标准格式, 以方便后续分析。最后, 处理后的传感器数据和视频信息通过 TCP/IP 传输协议和基于 HTTP 的 MJPEG-Streamer 流媒体服务器传输到 PC 机端。嵌入式子系统软件流程图如图 5 所示。

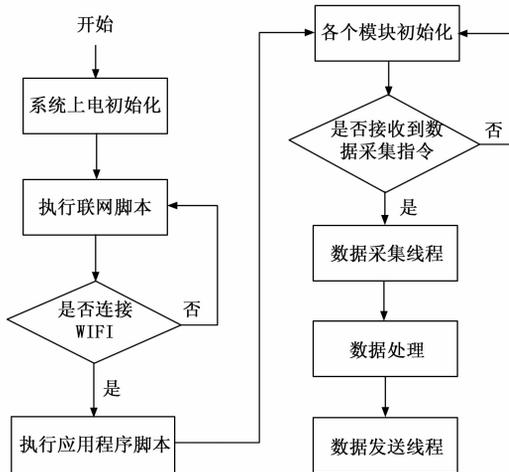


图 5 嵌入式子系统软件设计流程图

3.2 Web 后端子系统软件设计

Web 后端子系统采用 B/S 架构, 是基于 Vue 框架和 SpringBoot 框架构建的。其中, Vue 框架负责前端网页界面设计, 而 SpringBoot 框架则为整个系统的服务端提供支撑。图 6 为 Web 后端子系统框架图。

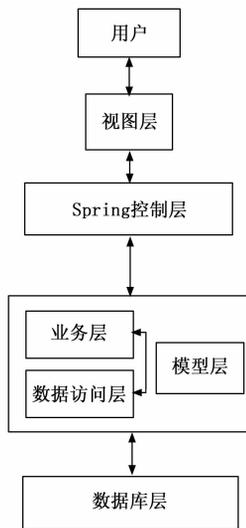


图 6 Web 后端子系统框架图

为了有效分离代码并确保系统的可维护性, 该子系统采用了四层结构, 分别是视图层、控制层、业务逻辑层和数据库层。视图层, 用于最终数据的展示和用户的浏览。控制层负责响应用户的请求, 并进行相应的数据显示。业务逻辑层, 包含了持久层 (Dao 层)、业务层 (Service 层) 和模型层 (Controller 层)。这一层主要用于完成服务端的业务逻辑处理。最后, 数据库层采用 MySQL 数据库进行数据存储, 并使用 MybatisPlus 框架来简化事务自动封装, 从而避免繁琐的 JDBC 编程^[12]。

3.2.1 数据库设计

关系型数据库 MySQL 作为系统数据存储和管理工具，能支持系统各模块正常运行与持久化保存监测数据，关系模型更符合监测数据之间存在一定关系的属性，有利于系统功能模块之间数据的交互利用。此外，MySQL 在开源领域占据明显优势，采用 MySQL 数据库作为系统数据后台，有助于满足监测业务功能和数据需求^[13]。图 7 为系统设计的数据库 E-R 图，展示了数据库的结构和关系。

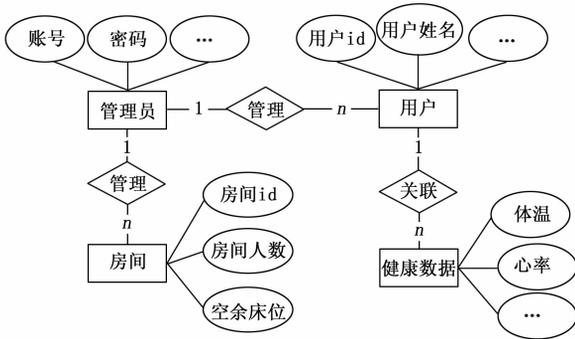


图 7 系统实体 E-R 图

综合上述 E-R 图，健康监测系统最重要的两张数据表为人员信息表 (tb_user) 和生理参数信息表 (tb_data)。在人员信息表 (tb_user) 中，包含了被监护人的基本信息，如姓名、性别、年龄、联系方式等。这些信息是为了方便管理和联系被监护人的家属收集。而在生理参数信息表 (tb_data) 中，存储了被监护人的体温、心率、血氧饱和度等生理参数信息。这些信息是通过外部设备采集得到的，各传感器会将获取到的数据存储在表中。通过以上两个表的设计，健康监测系统能够有效地管理人员的基本信息和生理参数信息。人员信息表和生理参数信息表如表 1~2 所示。

表 1 人员信息表

字段名称	字段类型	字段描述	备注
id	int(11)	人员 ID	主键
name	varchar(16)	姓名	非空
gender	varchar(4)	性别	非空
age	int(11)	年龄	非空
phone	varchar(20)	家属联系方式	非空

表 2 生理参数信息表

字段名称	字段类型	字段描述	备注
id	int(11)	数据 id	主键
user_id	int(11)	人员 id	外键
data_tem	float(5)	体温	非空
data_oxy	int(5)	血氧饱和度	非空
data_heart	int(5)	心率	非空
data_face	text	表情	非空

3.2.2 后端服务器设计

本系统采用了 SpringBoot 框架和 MyBatisPlus 框架进行开发，并使用了三层架构来划分代码功能，包括控制层 (Controller)、服务层 (Service) 和数据访问层 (Dao)。在三层架构中，Controller 层负责接收用户的请求并转发到 Service 层进行业务处理，最终将处理结果封装成适当的响应格式返回给用户。Service 层负责处理具体的业务逻辑，保证业务逻辑的独立性和复用性。Dao 层负责执行数据库操作，与具体的数据库进行交互，执行相应的增删改查操作。而 MyBatisPlus 框架的使用，则可以简化数据库操作，提高开发效率。通过以上的架构和分层设计，本系统的后端程序能够清晰地划分代码功能，降低模块之间的耦合度，并提高代码的可维护性和可扩展性^[14]。

为了使用该系统，首先需要在数据库中创建所需的表格，并在应用程序的配置文件 (application.yml) 中配置 MySQL 数据库的数据源信息。MyBatisPlus 框架将根据数据库中的表格自动生成三层架构所需的基础代码和实体类。在 Controller 层，需给类添加 @RestController 注解和 @RequestMapping 注解，以便处理 HTTP 请求，并指定请求路径。在定义的方法中，使用 @Autowired 注解来自动装配服务类的实例，以便进行业务逻辑处理，调用 Service 层服务类的方法。当浏览器发起请求时，该 Controller 类会将请求参数传递给 Service 层服务类的方法进行处理，并将处理结果的响应对象返回给浏览器。

图 8 是添加人员时序图的示例，首先，控制层从浏览器端接收到添加用户请求后，将请求参数传递给服务层的方法。服务层在验证数据有效性后，通过数据访问对象的接口，调用 JDBC 将数据保存到数据库中。验证和存储完成后，服务层将处理结果组装成 JSON 格式，返回给控制层，控制层再将结果响应返回给发起请求的浏览器客户端。整个流程分别利用控制层、服务层和接口层三部分进行请求传递、数据处理、结果响应，最后用户端得到相应提示，从而实现用户新增功能。通过按序调用控制层、服务层和接口层来完成具体操作，最后以 JSON 格式返回浏览器，完成了从前端发起到后端处理再到前端响应的全过程，实现了添加人员的功能需求。

3.2.3 前端界面设计

本系统前端采用 Vue 框架，它是一款流行的前端 JavaScript 框架，用于构建现代化的 Web 应用程序。Vue 的设计目标是简单易用、灵活高效，能够帮助开发者快速构建交互性强、响应式的用户界面。Vue 采用了

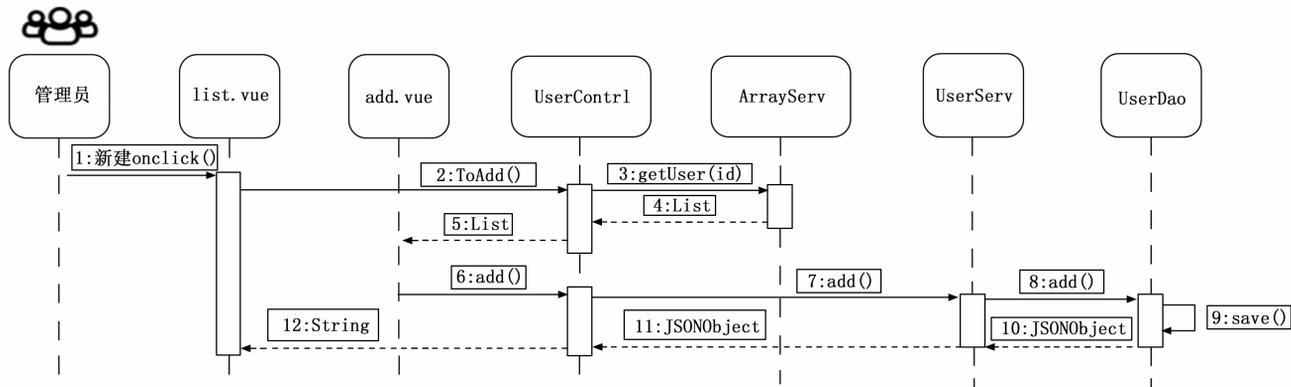


图 8 添加人员时序图

组件化的开发模式, 将页面拆分成多个可复用的组件, 每个组件都包含自己的 HTML 模板、CSS 样式和 JavaScript 逻辑。这种组件化的架构使得代码可维护性更高, 同时复杂的应用也更易于开发和维护^[15]。

在开发 Vue 项目之前, 先安装 ElementUI 和 Axios 插件^[16]。ElementUI 提供了各种常用 UI 组件, 同时还提供了专业数据展示组件, 满足了系统大部分业务需求。Axios 负责与后端程序的交互, 进行数据传输。Vue 框架可以将前端内容直接封装为一个对象以 JSON 格式通过 Axios 进行传递。采用 ElementUI 和 Axios 插件可以极大地提高开发效率, 减少开发成本。通过健康监测界面, 管理人员可以对被监护人基本信息进行增添改查, 同时可以随时查询生理参数, 查看被监护人身体状况。图 9 为系统界面图。



图 9 系统界面

3.3 表情识别算法

系统通过摄像头获取图像后, 人脸表情识别模块首先使用 Dlib 库检测图像中的人脸, 运用人脸关键点提取算法, 快速准确提取人脸 68 各特征点并通过 get_face_location() 方法获取人脸的坐标。随后, 系统利用训练好的 MiniVGGNet 表情识别模型, 对人脸表情进行识别, 并将结果输出至 MySQL 数据库。表情识别流程图如图 10 所示。

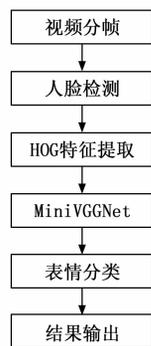


图 10 表情识别流程图

3.3.1 HOG 特征提取

本系统选择使用 HOG (Histogram of Oriented Gradients, 梯度方向直方图) 算法进行人脸特征提取。HOG 特征提取方法适用于目标检测和图像分类任务, 具有良好的旋转不变性和光照不变性, 主要思想是通过计算局部区域的梯度或边缘反向密度来描述物体的形状特征, 适合于人体检测、行人检测等领域^[18]。

HOG 算法实现过程: 首先将图像转为灰度图像, 为了使图片的亮度变化不影响特征提取的准确性, 用 gamma 方法对图片进行归一化处理, 然后使用 Sobel 算子计算图像中每个像素点的水平和垂直方向的梯度。通过计算梯度, 可以捕捉到图像中的边缘信息, 根据计算得到的梯度, 计算每个像素点的梯度幅值和梯度方向。接下来, 将图像划分为 8×8 像素的小单元并计算每个细胞单元的方向梯度直方图, 将相邻的固定数量细胞单元合成为 2×2 的区间, 将区间内的所有细胞单元的方向梯度直方图串联起来并归一化处理, 得到了该区间的 HOG 特征, 串联图像上所有区间的 HOG 特征, 组合成该图像的 HOG 特征。

3.3.2 MiniVGGNet

VGGNet 由 Simonyan 和 Zisserman^[19] 提出。VGG-

Net 中所有卷积层均使用 3×3 的卷积核^[20]，证明了网络深度的增加会在一定程度上影响网络的最终性能，提升网络对特征的学习能力。但是 VGGNet 模型卷积层数多，导致模型计算量大，损失函数收敛较慢。Mini-VGGNet 是一种简化版的 VGGNet，比原始的 VGGNet 更浅。

本系统选用的 MiniVGGNet 的网络结构为 [CONV =>RELU] * 2 => POOL => [CONV =>RELU] * 2 => POOL => FC => RELU => FC => SOFT-MAX。其中，CONV 表示卷积层，RELU 表示激活函数，POOL 表示池化层，FC 表示全连接层，SOFT-MAX 表示输出层的激活函数。MiniVGGNet 主要由连续的卷积层、池化层和全连接层组成。在池化层、全连接层之后插入 Dropout 层，激活函数之后插入批归一化 (Batch Normalization, BN)。前两个卷积层为 32 个卷积核，每个卷积核的大小为 3×3 ，后两个卷积层为 64 个卷积核，每个卷积核的大小同样为 3×3 ，POOL 层是大小为 2×2 步长为 2 的最大池化。相比于其他 VGGNet，MiniVGGNet 很好的减少了模型的大小。Mini-VGGNet 的特点是具有相对较小的模型大小和较高的准确性，适用于中小规模的图像分类任务。

4 系统测试与分析

本系统的核心关键点在于生理参数采集和人脸表情识别，所以系统测试主要分为两部分进行。(1) 测试生理参数采集模块的准确度及稳定性；(2) 测试人脸表情识别模块，评估表情识别结果的准确度。

4.1 生理参数采集模块测试

为验证本系统生理参数采集模块的测量精度，采用重复和对照实验方法。对三位不同年龄段的人进行体温、心率、血氧饱和度重复测试并计算各指标平均值，三位测试人的年龄分别为 20 岁、45 岁和 73 岁。同时使用鱼跃 YX303 便携指夹式脉搏血氧仪和 DT-8806S 电子体温枪与本系统的体温采集模块和心率血氧采集模块进行对比测试。对比结果如表 3、4、5。对照组为 YX303 便携指夹式脉搏血氧仪和 DT-8806S 电子体温枪

表 3 20 岁青年人生理参数对比表

组别	体温/℃	心率/bpm	血氧饱和度/%
对照组	36.76	81.2	98.2
实验组	36.69	81.5	98.8

表 4 45 岁中年人生理参数对比表

组别	体温/℃	心率/bpm	血氧饱和度/%
对照组	36.29	76.8	97.3
实验组	36.42	76.6	97.5

表 5 73 岁老年人生理参数对比表

组别	体温/℃	心率/bpm	血氧饱和度/%
对照组	36.53	68.7	98.5
实验组	36.58	69.0	98.8

测试结果的平均值，实验组为本系统生理参数采集模块测试结果的平均值。

从以上 3 个表格可以明显看出，本系统所采用的心率血氧传感器和体温传感器在测量结果方面具有较高的准确性。具体而言，心率测量的平均偏差仅为 0.3 bpm，血氧饱和度的测量结果偏差在 0.6% 以内，体温测量的偏差则控制在 0.13℃ 以内。通过对不同年龄群体的生理参数进行监测和比较，研究结果显示与其他设备所得数据基本一致，三项主要生理指标的采集误差均在可接受范围内且表现出较高的稳定性。综上所述，该系统的生理参数采集模块整体效果良好，值得进一步深入研究和应用。

4.2 表情识别算法测试

对系统的人脸表情识别进行测试，实验采用的深度学习框架为 Pytorch 1.13.0，编程语言为 Python 3.9.12，所有实验均在 Windows10 操作平台下进行。选用 CK+数据集对表情识别模型进行训练，CK+数据集由多名采集者的动态表情片段构成，共采集了 593 个面部表情，记录了受试者的 7 种表情，分别为愤怒、中性、厌恶、恐惧、快乐、悲伤和惊讶。为验证表情识别精准度，从 CK+数据集中选取 30 张随机面部图像作为模型的测试数据，将这些测试图片输入模型进行表情判断与识别，并通过与人工识别人物心情对比，获得其精确度。图 11 为算法识别结果。表 7 为部分测试结果对比。



图 11 法识别结果

从测试结果得出，全部表情识别准确率为 96.62%。其中 happy 表情的识别准确率较高，但是 contempt 表

情识别准确率相对较低,因为CK+数据集中contempt表情占比仅5.5%左右且contempt易于fear和disgust表情混淆。整体来讲,contempt表情对此系统表情识别参考意义较小,且训练模型对表情分析具有较低的混淆效果,可以准确对情绪进行判断。

表7 部分测试结果

图片	程序识别	人工识别	是否正确
1	happy	快乐	是
2	neutral	中性	是
3	contempt	蔑视	是
4	sad	悲伤	是
5	neutral	中性	是
6	angry	愤怒	是
7	neutral	中性	是
8	sad	悲伤	是
9	fear	厌恶	否
10	happy	快乐	是
11	surprise	惊讶	是
12	angry	愤怒	是

5 结束语

本文针对基于嵌入式与表情识别的人体生理参数监测系统进行分析研究,实现了对人体基本生理参数的监测,以及通过分析人员面部表情变化,辅助监护人员判断被监护人情情绪状态,同时设计PC端界面显示和存储功能,数据还可用于后续研究和分析提供依据。健康监测系统能够应用于养老院、医院病房、独居老人或长期慢性疾病缠身的病人等多种场景下,在一定程度上可以减轻监护人的监护压力,提高医疗救治效率。但系统还存在一些不足之处,表情识别算法仅适用于中小规模的图片分类任务,在大量图片中进行分类所需时间较长,后续将继续在表情识别处加以改进,提高识别准确率,提高识别效率,使系统更加智能便捷化。

参考文献:

- [1] 杜鹏. 中国人口老龄化现状与社会保障体系发展[J]. 社会保障评论, 2023, 7(2): 31-47.
- [2] SHANTHI M, STEPHEN D, BO N. Organizational update: the world health organization global status report on noncommunicable diseases 2014; one more landmark step in the combat against stroke and vascular disease[J]. Stroke, 2015, 46(5): e121-2.
- [3] 董静涵. 用于人体健康监测的检测系统设计与开发[J]. 电子技术与软件工程, 2020(20): 75-77.
- [4] 凌信航, 王航蜀, 吴俊. 基于物联网的人体健康及家庭环境监测系统[J]. 电子器件, 2022, 45(5): 1272-1278.
- [5] SONG S. Emotion detection of elderly people in nursing homes based on AI robot vision[J]. Soft Computing, 2023: 1-14.
- [6] 赵锦程. 基于多功能传感器的健康检测系统研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2022.
- [7] 赵晓峰. 基于IMX6ULL的机械扫描成像声呐数字系统的设计与研究[D]. 昆明: 云南大学, 2022.
- [8] 高雪娟, 董小倩, 石萌, 等. 基于MLX90614的智能体温安检系统[J]. 现代信息科技, 2020, 4(24): 171-173.
- [9] 姬军, 王景华, 曾毅东, 等. 基于MAX30101芯片的脉搏血氧监测研究[J]. 中国医学装备, 2020, 17(10): 27-31.
- [10] 姜义重, 杨宏红, 杨子, 豪. 基于2.4G频段WIFI模组通信性能的研究[J]. 电子测试, 2022, 36(9): 5-8.
- [11] 王春程, 田羽, 方誉, 等. Linux系统容器兼容性应用研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(20): 224-226.
- [12] 冯晓波. 基于嵌入式与SpringBoot技术的生理参数监测系统的软件设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2022.
- [13] 熊群毓. 大数据时代MySQL数据库的应用分析[J]. 信息与电脑(理论版), 2023, 35(14): 209-212.
- [14] 欧阳宏基, 葛萌, 程海波. MyBatis框架在数据持久层中的应用研究[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(1): 73-75.
- [15] 褚建萍. 基于Vue的数据可视化系统研究[J]. 电子技术与软件工程, 2022, (18): 234-237.
- [16] 王志文. Vue+Elementui+Echarts在项目管理平台中的应用[J]. 山西科技, 2020, 35(6): 45-47.
- [17] 孙洋, 孙新宇, 李珺珺, 等. 基于Dlib库的驾驶员疲劳及心率血氧检测系统设计[J]. 电子技术与软件工程, 2021, (2): 108-110.
- [18] 徐天宇, 熊超. 基于特征点检测的面部情感分析应用与研究[J]. 电脑与信息技术, 2020, 28(3): 13-16.
- [19] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[J]. Computer Science, 2014, 26(14): 21-29.
- [20] NHAT-DUC H, NGUYEN Q, TRAN V. Automatic recognition of asphalt pavement cracks using metaheuristic optimized edge detection algorithms and convolution neural network[J]. Automation in Construction, 2018, 94203-213.