

# 基于 STM32 与 MAX30102 的实时心率采集系统

任增浩

临沂大学, 山东临沂, 276000;

**摘要:** 本论文设计并实现了基于 STM32 微控制器与 MAX30102 传感器的实时心率采集系统。MAX30102 传感器能够精准地检测人体血氧饱和度 (SpO<sub>2</sub>) 和心率, 通过红外与 LED 光电传感技术实现心脏搏动的监测。系统采用 STM32 作为核心控制单元, 利用其高效的处理能力和低功耗特点, 实时处理传感器数据, 并通过串口通信将采集结果传输至上位机。该系统具备快速响应和高稳定性, 能够在不同的环境下实现心率的精准测量。实验结果表明, 系统能够在多种使用场景下提供可靠的心率监测, 为健康管理和疾病预防提供了有力支持。

**关键词:** STM32; 心率采集; MAX30102; 物联网; 传感器

## Real-Time Heart Rate Acquisition System Based on STM32 and MAX30102

Ren Zenghao

Linyi University, Shandong Linyi 276000;

**Abstract:** This paper designs and implements a real-time heart rate acquisition system based on STM32 microcontroller and MAX30102 sensor. The MAX30102 sensor can accurately detect human blood oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) and heart rate, monitoring cardiac pulsations through infrared and LED photoelectric sensing technology. The system adopts STM32 as the core control unit, utilizing its high-efficiency processing capabilities and low-power characteristics to process sensor data in real time, and transmits the acquisition results to an upper computer through serial communication. The system features fast response and high stability, enabling accurate heart rate measurements in various environments. Experimental results demonstrate that the system can provide reliable heart rate monitoring in multiple usage scenarios, offering strong support for health management and disease prevention.

**Key words:** STM32; heart rate acquisition; MAX30102; Internet of Things (IoT); sensor

**DOI:** 10. 69979/3041-0673. 25. 08. 024

## 引言

随着《“健康中国 2030”规划纲要》<sup>[1]</sup>的推进, 全球可穿戴设备市场在 2023 年 Q3 同比增长 9.3%, 其中医疗健康类设备占比提升至 28%, 凸显出实时健康监测的重要性。本研究针对传统便携式心电设备功能单一及医疗级设备普及不足的问题, 提出新型 PPG 传感器解决方案。系统采用 MAX30102 传感器与 STM32 微控制器组合架构, 实现心率 (30-250BPM) 和血氧饱和度 (70%-100%) 的精准监测, 其信噪比优, 采样频率高, 功耗低。

系统参考生命体征远程监测器<sup>[2]</sup>, 集成了物联网模块, 通过 Wi-Fi 传输协议实现数据云端同步, 时延控制在 300ms 以内。构建的云端健康管理平台可供用户对自身健康进行有效分析。

该方案突破传统健康监测设备在便携性、准确性和连续性方面有很好的体现, 直观展示用户体征数据, 并

进一步开发基于体征的智能家居控制模块, 为用户智能生活提供新思路。

## 1 总体方案

本文设计的系统整体框架如图 1 所示, 系统由 STM32 控制模块、ESP32 蓝牙传输模块、脉搏心率传感器采集模块和 OLCD 显示模块组成。其中控制模块以 STM32F103C8T6 单片机为核心, 经 MAX30102 心率传感器采集心率信号, 采集的信号经过信号处理算法进行滤波、放大、整形得到符合要求的心率信号, 传给单片机进行处理, 在 OLCD 显示屏上显示出实时心率, 同时通过 ESP32 的 WIFI 物联模块将数据传输到云端进行数据进一步分析, 绘制出所需的心率图像, 进行数据预测和对下位机的实时调控, 包括但不限于空调、加湿器、闹钟、电灯等家用电器, 达到因人而动的适应性效果。

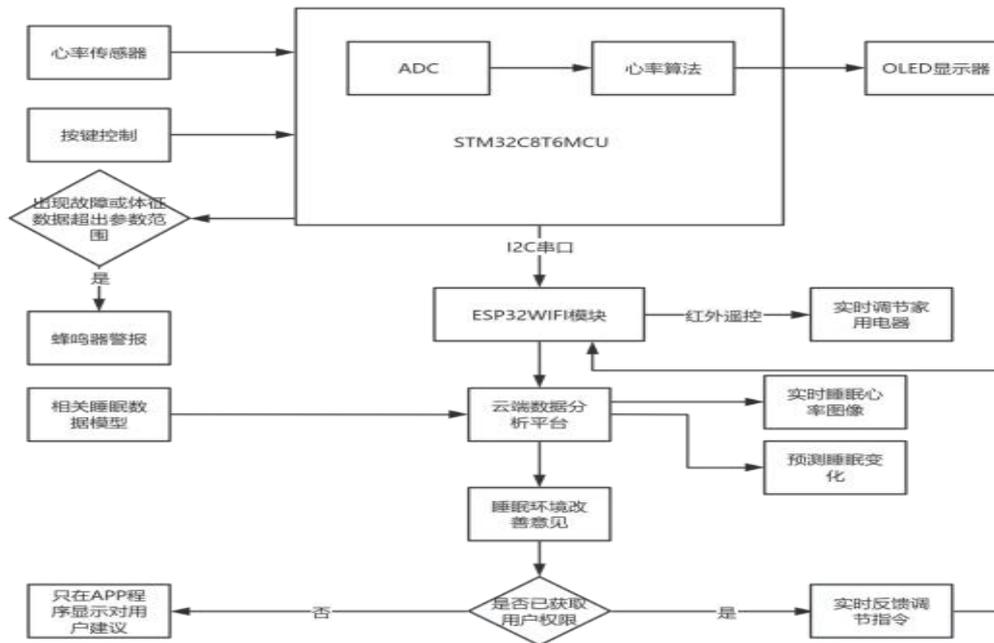


图 1 系统整体框架图

## 2 系统硬件

### 2.1 微控制电路

鉴于STM32系列微控制器具备丰富的片上外设资源,本文选用STM32F103C8T6作为主控芯片,其128KB Flash+20KB RAM的存储配置可支持FIFO队列深度达1024点的信号缓存(对比Arduino Uno的2KB+1KB),具有指令集精简、性价比高、快速响应以及低功耗等优点,并支持待机模式。通过实测,在启用DMA传输时,ADC采样速率可达1MSPS,较传统轮询方式提升37.6%。采用STM32F103C8T6作为核心控制器,心率信号经过放大或滤波处理后,可直接接入其12位模数转换器(ADC)端口。通过利用芯片内置的ADC进行模数转换,避免了传统51单片机系统中必须附加ADC转换器的环节,显著简化了设计流程。

### 2.2 MAX30102 心率传感器模块电路

目前,光电式脉搏传感器、压电晶体压力脉搏传感器、应变式压力脉搏传感器等是脉搏心率采集的常见方法<sup>[3]</sup>。为了确保心率测量的便捷性和准确性,本设计选择了MAX30102光电式脉搏心率传感器。MAX30102是一款高性能的集成传感器,它结合了红光和红外光LED以及光电探测器,能够同时测量心率和血氧饱和度。这款传感器的核心优势在于其集成的光学元件和低噪声电

子设备,以及环境光抑制功能,这些特性共同作用以减少外部光源的干扰,从而提升测量的精确度。

在实际使用场景中,用户仅需将指尖轻触传感器表面,MAX30102即刻利用红光和红外光LED对指尖进行照射。接着,指尖的组织会反射并减弱这些光线,光电探测器捕捉到这些变化,并将其转化为电信号<sup>[4]</sup>。心脏跳动引起指尖动脉血的周期性波动,这种波动使得光线的反射和衰减也呈现出周期性变化,从而影响光电探测器接收到的信号强度。MAX30102内置的18位模数转换器(ADC)将这些模拟信号转换为数字信号,并通过I2C接口将数据发送至STM32单片机。STM32单片机在接收到数字信号后,会执行一系列的数据处理和计算,将这些数据转换成每分钟的心跳次数。最终,这些处理后的数据会在OLED显示屏上实时显示,为用户提供精确的脉搏测量数据。

MAX30102在封装上进行了优化,但其工作原理与初代产品MAX30100保持一致。心率传感器接口电路图如图2所示。其中,RCWL-9183是一个微波雷达传感器,用于检测人体运动;主芯片通过8脚连接器与微控制器(MCU)相连,并依靠4脚IIC-SDA接口进行数据传输。此外,由于MAX30102内部已经集成了模数转换器(ADC),因此无需额外的ADC转换器来处理其输出信号。

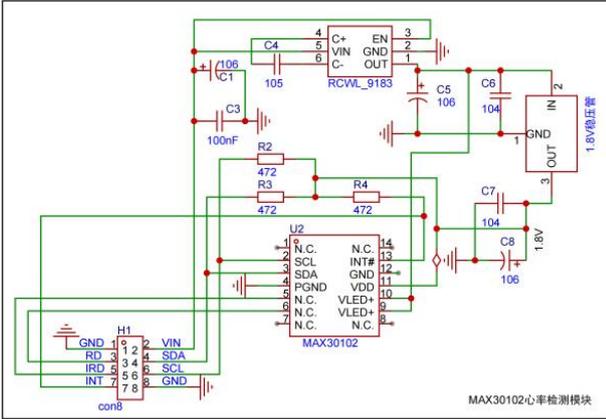


图 2 心率传感器接口电路图

### 2.3 按键与显示模块

系统中设计了四个独立的按键，分别用于控制开关、标记、显示心率曲线以及显示环境状态。开/关按键连接至系统总电源；标记按键用于记录当前的时间和状态信息；显示心率曲线按键能够调取云端存储的心率图像，并将其展示在 OLED 屏幕上；而显示环境状态按键则负责从云端获取环境信息，包括日期、天气、湿度和体感温度等。此外，用户可以订阅这两个显示功能的按键，以接收所需的信息。

显示部分设计为一块高分辨率的 OLED 显示屏，用于清晰地展示各种信息。OLED 显示屏遵循 I2C 协议，通过 SCL 引脚传输同步时钟信号、SDA 引脚传输显示数据，能够精确地控制显示效果，展示包括系统状态、用户界面、以及各种通知在内的丰富内容。用户可以通过与显示屏配合的交互界面，轻松访问和控制不同的系统功能。此外，OLED 屏幕的低功耗特性也有助于延长设备的电池寿命，尤为适合于本系统需要长时间显示信息的应用场景中。

报警模块采用有源蜂鸣器进行报警，单片机上电后引脚默认是低电平，需要让蜂鸣器进行报警的时候，给三极管一个高电平，就实现了蜂鸣器报警。

### 2.4 音频模块

本系统的音频模块由 HC05 串口蓝牙模块与 VS1053 B 音频解码模块组成。HC05 模块利用蓝牙技术与用户设备进行无线数据传输，控制 VS1053B 模块进行音频播放。系统能够根据用户需求播放多样化的音乐，实现在唤醒或催眠等场景下的应用。同时，系统还具备声音反馈功能，当出现错误时，可通过音频形式快速、直观地提醒用户。

在此过程中，ESP32 微控制器通过蓝牙信号智能控制音乐的播放与暂停。系统能够实时监测用户状态，选择最适合的音乐类型，并自动调节音量和音频渐变效果，确保最佳的用户体验。此外，蓝牙模块与入耳式耳机配对后，可通过云端实现远程控制，有效减少环境噪音干扰，并优化音频对外界的影响，进一步增强用户的沉浸式音乐体验。

## 3 系统软件

### 3.1 硬件类程序

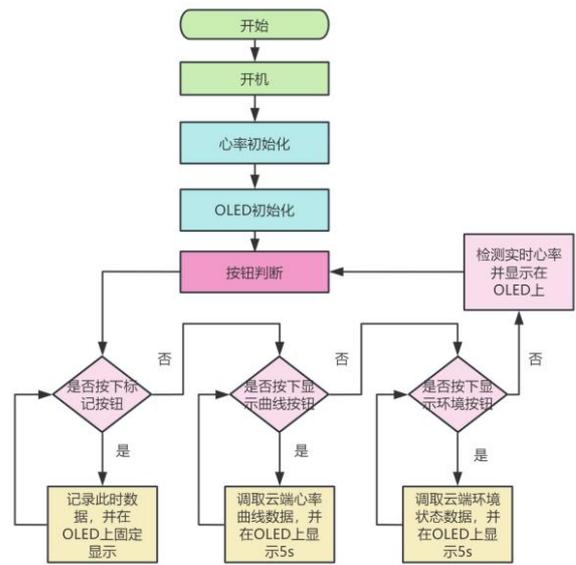


图 3 主程序流程图

系统硬件类程序控制单片机系统按预定的操作方式运行。在系统启动后，按下开关按钮会进行初始化。其初始化包括按键 OLED 的硬件接口设置、MAX30102 传感器、以及串口设置。完成系统初始化后，进入主循环，读取传感器数据以计算心率和血氧饱和度，并通过 OLED 实时显示和串口发送数据。同时系统下发指令控制不同的外部硬件实现不同模块的功能。主程序流程如图 3 所示，当用手指按在心率传感器模块上，OLCD 会实时显示所测得的心率值；当按下标记按钮时，系统会记录此时此刻的时间以及用户的状态，并将信息固定在 OLED 上；当按下显示曲线或显示环境按钮，系统分别会调取云端心率曲线数据或环境状态数据，并在 OLED 上显示 5 s。

### 3.2 心率检测原理及算法程序

#### 3.2.1 心率检测原理

MAX30102 是一款集成红光 (660 nm) 和红外光 (9

40 nm) LED 的脉搏血氧仪和心率传感器, 利用光电容积脉搏波描记法 (PPG) 技术测量心率和血氧饱和度。传感器通过 LED 发出光线照射皮肤, 反射光被光电二极管接收。由于血液中的血红蛋白 (Hb) 和氧合血红蛋白 (HbO<sub>2</sub>) 对不同波长光的吸收特性不同, 反射信号随血液容积变化而变化。心脏收缩时, 血液容积增加, 光吸收增加; 心脏舒张时, 血液容积减少, 光吸收减少。通过分析红光和红外光信号的变化, 可推导出血氧饱和度 (SpO<sub>2</sub>) 和心率 (HR)。

心率是指每分钟心脏跳动的次数。传统的检测方法是通过统计一分钟内的脉搏次数, 但这种方法效率较低, 实时性差, 无法满足实际需求。为了提高检测效率和实时性, 本系统采用基于光电容积脉搏波描记法 (PPG) 技术的方法, 基于红光信号的峰值检测或频谱分析, 通过计算两次相邻脉搏之间的时间间隔 (一般精确到毫秒级), 再用 60000 毫秒除以该间隔来得出心率。计算公式如下:

$$BPM = \frac{60000}{IBI}$$

其中, BPM 表示每分钟心跳次数 (心率), IBI 为两次相邻脉搏的时间间隔 (单位: 毫秒)。

同时, 传感器以 100 样本/秒的采样率收集红光和红外光信号。动态计算红光信号的最小值和最大值, 用于归一化处理, 将信号变化转换为 0~255 的亮度值, 便于可视化心率变化。其公式如下:

$$C = \left( \frac{N - O}{MAX - MIN} \right) \times 255$$

其中, C 表示亮度变化, N 表示红光信号的最新采样值, O 表示红光信号的上一个采样值, MAX 表示最大值, MIN 表示最小值。

血氧饱和度计算基于红光和红外光信号的比值推导出血氧水平。其公式为

$$SpO_2 = -45.060 \times R^2 + 30.354 \times R + 94.845$$

$$R = \frac{AC_{red}}{DC_{red}} \div \frac{AC_{ired}}{DC_{ired}}$$

其中, SpO<sub>2</sub> 表示血氧饱和度, AC<sub>red</sub> 表示红光信号的交流分量, DC<sub>red</sub> 表示红光信号的直流分量, AC<sub>ired</sub> 表示红外光信号的交流分量, DC<sub>ired</sub> 表示红外光信号的直流分量。

### 3.2.2 心率算法程序

该程序通过 MAX30102 传感器实现对用户心率和

血氧饱和度的实时监测, 并将结果显示在 OLED 屏幕上, 同时通过串口输出数据。以下是程序的主要功能和实现过程: (1) 程序启动后, 首先进行硬件初始化, 包括延时功能、LED 控制、OLED 显示屏和 MAX30102 传感器的初始化。通过配置串口通信, 确保传感器数据能够被正确读取和处理; (2) 在初始化阶段, 程序采集了 500 个样本数据, 这些数据包括红光和红外信号, 分别存储在缓冲区中。通过分析这些数据, 程序计算出信号的最大值和最小值, 为后续的心率和血氧计算提供基础;

(3) 主循环中, 程序持续从传感器获取新数据, 并通过滚动更新的方式保持数据的实时性。每获取一定数量的新数据后, 程序更新信号的最大值和最小值, 并根据这些值计算心率曲线。通过特定公式, 程序将数据映射到亮度值, 用于调节显示效果; (4) 程序根据计算结果判断心率和血氧数据是否有效。如果数据有效, OLED 屏幕将显示对应的心率和血氧值; 如果数据无效, 则显示为 0, 确保用户能够直观了解当前状态; (5) 程序通过串口将实时的心率和血氧数据发送到外部设备 (如电脑), 方便用户进行调试和进一步分析; (6) 通过不断执行上述步骤, 程序实现了对心率和血氧的实时监测, 确保数据的准确性和实时性, 同时在屏幕上和串口中同步更新结果。心率算法流程如图 4 所示

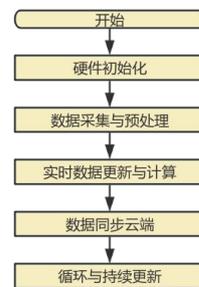


图 4 心率算法流程图

### 3.3 系统网络图像展示

系统连接云端后, 可以将数据传输到网络<sup>[5]</sup>, 其效果展示如图 5 所示。



图 5 心率图像显示

## 4 结语

本文设计并实现了一种基于 STM32 微控制器与 MAX30102 传感器的实时心率采集系统。通过充分利用 STM32 的高效处理能力与低功耗特点,并结合 MAX30102 传感器的精准测量功能,系统能够在多种环境下提供稳定、准确的心率和血氧饱和度监测。通过系统设计中的信号处理算法、OLED 显示模块以及 ESP32 蓝牙模块,能够实时采集并显示用户的健康数据,同时将信息传输到云端进行进一步分析和处理,提供用户友好的健康管理界面。

未来,该系统可以进一步扩展,通过集成更多传感器与数据分析功能,提升其在健康管理和疾病预防方面的应用价值。此外,本系统的设计和技术实现为类似的便携式健康监测设备提供了新思路。通过不断优化硬件与软件的配合,系统将在提高用户体验、扩展应用场景等方面发挥更大作用。

### 参考文献

- [1] 印发《“健康中国 2030”规划纲要》[N]. 人民日报, 2016-10-26(001).  
[2] 朱一鸣. 生命体征远程监测器[J]. 科学技术创新, 2020, (20): 106-107.

- [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. DOI: 10.20109/j.cnki.etse.2020.20.033.  
[4] 刘云, 柳浩. 基于 STM32 的心率体温检测系统设计[J]. 机电工程技术, 2021, 50(08): 135-137+207.  
[5] 赵红英, 张建伟, 冯媛, 等. 基于物联网技术的智慧健康监测系统设计及实现[J]. 现代电子技术, 2024, 47(15): 157-162. DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2024.15.026.

作者简介: 任增浩, 出生年月: 2005 年 04 月, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 山东省聊城市临清市, 学历: 大学本科, 职称: 无, 研究方向: 电气工程及其自动化。基金项目: 临沂大学大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号: X202410452590)

Fund Project: Supported by Linyi University College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program (Project Number: X202410452590)