

智能远程多生理参数健康监护仪*

甄超平, 曾思明

(广东工业大学 实验教学部, 广东 广州 510006)

摘要: 为了能让患者在家中长期地监测自身的各种生理参数, 随时捕捉突发性心率失常, 同时能将生理参数反映给医疗机构, 方便医务人员用于指导和协助治疗, 设计了一款基于单片机的智能远程多生理参数健康监护仪。通过血氧、脉搏和体温等数字信号采集模块采集原始数据, 由单片机进行算法处理, 在显示模块显示人体的血氧值、心率值和体温值等, 用户还可通过按键配置生理参数的阈值报警、按键发送生理参数至云端。最后, 与标准医用监护仪进行对比测试, 验证了该设计的准确性与可行性。

关键词: 健康监护; 单片机; 生理参数; 无线传输; MAX30102

中图分类号: TN792

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211677

中文引用格式: 甄超平, 曾思明. 智能远程多生理参数健康监护仪[J]. 电子技术应用, 2022, 48(4): 86-89.

英文引用格式: Zhen Chaoping, Zeng Siming. Intelligent remote multi physiological parameter health monitor[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(4): 86-89.

Intelligent remote multi physiological parameter health monitor

Zhen Chaoping, Zeng Siming

(Experimental Teaching Center, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to enable patients to monitor their own physiological parameters at home for a long time, capture sudden arrhythmia, and reflect the physiological parameters to medical institutions, which is convenient for medical staff to guide and assist in treatment, an intelligent remote multi physiological parameter health monitor based on single chip microcomputer(SCM) is designed. The original data is collected by the digital signal acquisition module of blood oxygen, pulse and body temperature, and processed by the SCM. The blood oxygen value, heart rate value and body temperature value of human body are displayed in the display module. The user can also configure the threshold alarm of physiological parameters and send the physiological parameters to the cloud by pressing the key. Finally, the design and standard medical monitor are compared and tested, which verifies the accuracy and feasibility of the design.

Key words: home care; SCM; physiological parameters; wireless transmission; MAX30102

0 引言

医疗健康问题覆盖全年龄阶段的人群, 上至部分有心脑血管、高血压等慢性疾病的老年人, 中至一些工作家庭压力较大、有亚健康症状的中年人和年轻人, 下至刚出生需要时刻监护的婴儿, 无不时刻地、日常地关注其健康水平。对自身各种生理参数及时有效的监测可以评估个人的健康状态, 以此调整作息方式、饮食结构或者及时就医, 避免一些疾病向着更严重的态势发展。

随着 5G 和物联网时代的到来, 远程式的医疗监护将成为趋势, 人们只需在家就能根据自身的健康生理参数向医生咨询健康问题, 医护人员只需通过监护中心的终端服务器即可查看病人的身体状况, 从而实现舒适、便携和友好的医疗交互的环境^[1-3]。

1 总体框架

本设计的总体框架如图 1 所示。

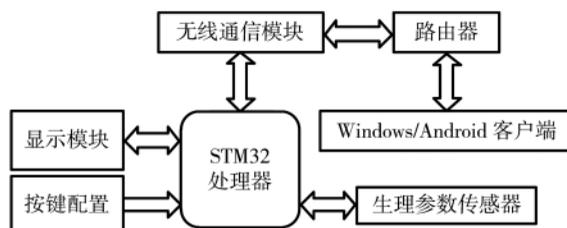


图 1 总体框架图

图 1 中, 监护仪采用以 ARM Cortex-M3 为内核 STM32 单片机作为核心处理单元, 分别将数字集成心率血氧采集模块、非接触测量温度的红外线传感器模块得到的心率信号、血氧信号、温度信号通过通用的通信协议传

* 基金项目: 广东省大学生创新创业训练计划项目(S202011845222)

输到核心处理单元进行特定的算法以及处理,得到当前测试者的心率值、血氧值、体温值,这些参数同时在 LCD 显示屏上实时显示与更新。测试者还可以通过独立按键配置生理参数的阈值提醒和将得到的生理参数通过无线通信模块实时发送至智能手机与电脑等终端设备,在云端可以实现这些生理参数的远程监测。

2 硬件设计

2.1 微控制单元

该设计使用的微控制单元为 STM32F103VET6 主控芯片,其内核 Cortex-m3 是 ARM 公司面向成本和功耗敏感同时满足相对高性能的市场产品而推出的。ST 公司基于 Cortex-m 内核推出了 STM32 的多个系列版本,有基本型、增强型、互补型和 USB 基本型等,其主流产品 STM32F103 增强型系列微控器广泛应用于电子电力系统、电机驱动、手持设备、空调系统、医疗电子等。STM32F103VET6 的工作频率最高可达 72 MHz,512 KB 的 Flash 容量作为程序存储器,64 KB 的 SRAM 静态随机存取存储器,同时,片上集成丰富的外设,如:USB、ADC、CAN、I²C、UART、TIMER 等。开发者可通过库函数、寄存器、STM32CUBEMX 等多种开发方式提高编程效率。综合以上多方面优点,STM32 从一上市就迅速发展并占领了 MCU 的中低端市场,受到国内外电子工程师的喜爱。文献[4]对 STM32 有更为详细的说明。

2.2 数字集成心率血氧传感器

MAX30102 是美信半导体公司于 2016 年专为可穿戴设备和健康医疗辅助设备设计的一款数字集成心率血氧传感器模块。该模组主要集成了双波长红光和红外光 LED、接收反射红光和红外光的光电探测器、环境光消除器件、分辨率可调的高精度 18 位 ADC、数字噪声消除器件、FIFO 存储器和 I²C 通信接口。单片机可通过 I2C 通信对 MAX30102 单独设置为心率模式、血氧模式或者共用模式,配置内部 ADC 分辨率、红光和红外光样本的采集速率、FIFO 中样本数量溢出的中断方式、低功耗待机模式等操作。美信官网有 MAX30102 的系统图和数据手册,MAX30102 模块的电路如图 2 所示。

该传感器测量心率和血氧的方法即光电容积法(PPG)。测量心率的基本原理^[5-6]是利用动脉血液中的脉动成分对红外光的吸光度随着心脏跳动而进行周期性的变化(红外光波长通常为 900 nm 附近),经过反射后的红外光光强被光电探测器接收后转化为数字信号,进而通过算法处理得到心率。而测量血氧需要用到两种波长不同的红光(波长通常在 660 nm 附近)和红外光。脉动血液中的还原血红蛋白(Hb)和氧合血红蛋白(HbO₂)对 660 nm 红光的吸收度差异较大,而对 900 nm 红外光的吸收度差异很小。依靠这两种蛋白对红光和红外光吸收度不同这一特性,将 a_{Hb}^{660} (Hb 对红光的消光系数)、 a_{Hb}^{904}

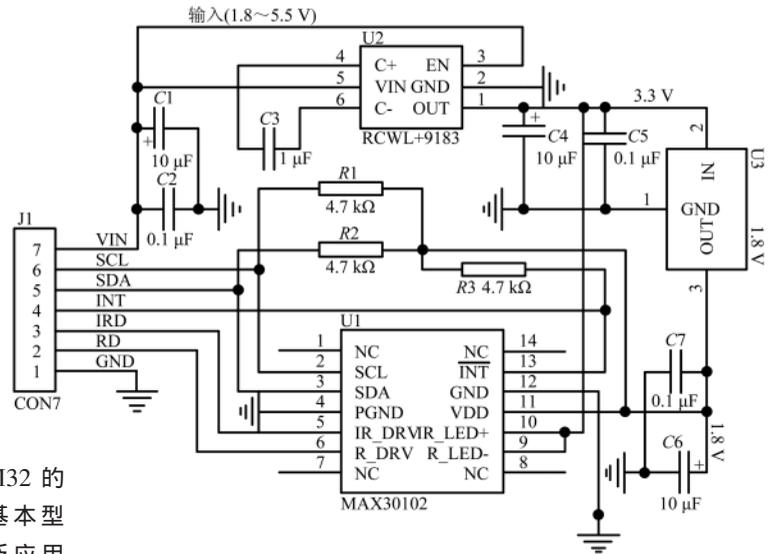


图 2 MAX30102 原理图

(Hb 对红外光的消光系数)、 $a_{HbO_2}^{660}$ (HbO₂ 对红光的消光系数) 以及用算法从原始样本中分离的交流信号和直流信号代入参考文献[6]的以下公式,即可得到血氧饱和度值。

$$SpO_2 = B_1 \times B_2 \times R \quad (1)$$

$$B_1 = 100 \times \frac{a_{Hb}^{660}}{a_{Hb}^{660} - a_{HbO_2}^{660}} \quad (2)$$

$$B_2 = 100 \times \frac{a_{Hb}^{904}}{a_{Hb}^{904} - a_{HbO_2}^{904}} \quad (3)$$

$$R = 100 \times \frac{I_{AC}^R / I_{DC}^R}{I_{AC}^{IR} / I_{DC}^{IR}} \quad (4)$$

2.3 红外非接触温度传感器

某些晶体可以因为温度变化而引起晶体表面电荷,辐射红外线。红外非接触传感器的工作原理为探测物体表面红外辐射能量,并将其转变为易于测量的电信号或其他形式的量。MLX90614 模组集成了用于探测目标温度和环境温度的热电偶 MLX81101 和用于处理热电偶输出模拟信号的专用集成芯片 MLX90302,由迈来芯公司研发和生产。该传感器系列有多个型号和封装方式,适用于不同领域的测量,专用于人体温度监测的医疗应用版本在适用范围内精度可达到 0.1 °C。在传感器开发方面,存储在 MLX90302RAM 中的目标温度和环境温度数据可由两线 SMBus 通信协议模式和 10 位 PWM 模式输出。文献[7]对 MLX90614 的 SMBus 协议及其温度采集程序作了说明,GY-90614 模块的电路如图 3 所示。

3 软件设计

3.1 用于配置阈值和选择发送数据的按键扫描算法

由于本监护仪设计的循环流程运行一次所需时间为 3~4 s,因此通常在主函数中的按键扫描算法无法精

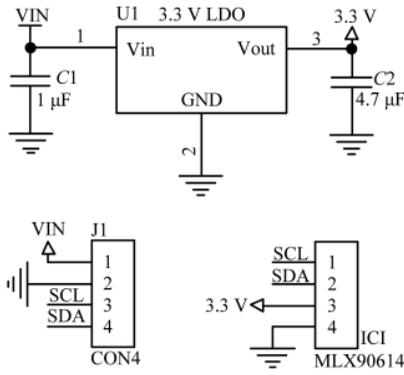


图3 MLX90614 原理图

准确地识别到测试者按键操作,故采用了外部中断嵌套定时器中断扫描按键的方法来检测测试者的按键动作。该方法能极大地减少用户进行单片机配置时所需要的按键数目,降低产品成本,同时提高了单片机运行程序的效率,提高硬件资源的使用率。

具体的按键扫描算法思想如下:测试者按下配置按键,单片机扫描到边沿信号,程序进入设置了打开定时器的外部中断服务函数,单片机处于扫描按键状态,测试者此时可进行各种生理参数的阈值配置(当阈值大于或小于测试者配置的数值时,单片机会实时响应并提醒测试者),或者选择关闭定时器的中断开关,从而使单片机退出配置模式,按键算法流程如图4所示。

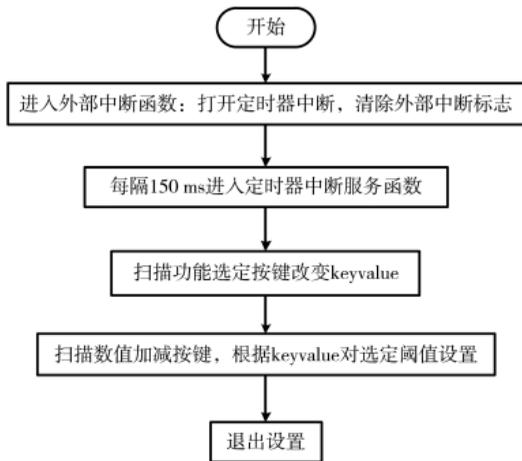


图4 按键算法流程图

3.2 心率血氧算法选择分析

从 MAX30102 中获取的数据信号为原始信号,需经过算法处理才能得到测试者的心率值与血氧值。对于从该模块采集出来的数据信号进行处理的方法,常用的有两种:一种是时域分析,即算出脉搏数据信号(PPG)的平均波峰距,再用一分钟除以这个波峰距即可得到心率值;另一种是通过 PPG 信号进行 FFT 变换得到频域中脉搏信号的频段,再将这个频率值乘以一分钟得到心率值。首先是第二种方法,经过了在 STM32VET6 使用

FFT(快速傅里叶变换)算法对 PPG 信号的处理后,发现这种方法计算心率值存在时间和精度相矛盾的问题,由以下公式可得出:

$$\text{heartrate} = 60 \times \text{Samples_per_second} \times s2_max_index \times \text{FFT_N} \quad (5)$$

其中, Samples_per_second 为每秒从 MAX30102 中采集的红外光样本数量, s2_max_index × FFT_N 为脉搏信号中交流成分信号的频率, FFT_N 为快速傅里叶变换的点数长度。若 Samples_per_second 设置为 100, FFT_N 设置为 1 024, 从 FFT 填满数据到计算出心率值需要花费 5 s, 但得到的各心率值间隔为 3。从监测测试者的心率的实时性和准确性来看,这都是没有参考价值的。若提高 FFT 的点数长度,虽然能提高测试心率值的精度,但这将大大增加了监测出心率的时间,同时加大了微控单元的负担。文献[8]中对采集的原始信号数据作了详细分析。本文设计心率算法使用的是第一种,计算心率血氧的算法流程如图5所示。

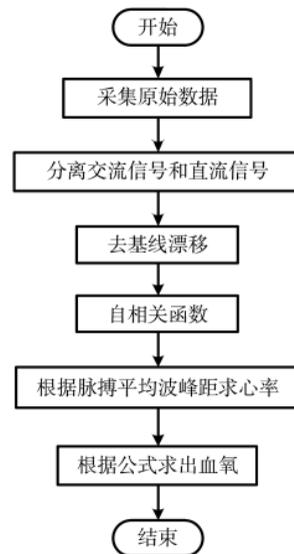


图5 心率血氧算法流程图

3.3 机智云平台 demoapp 的移植与调试

从下位机监护仪采集的测试者生理参数(如:心率、血氧和体温)在 LCD 模块实时显示,同时,还能将监护仪进行联网后在手机客户端和官方的网页界面监测到这些生理参数。物联网平台选择的是机智云,而联网设备选择的是乐鑫的 ESP8266。

ESP8266 广泛应用于各种物联网智能硬件的开发,如:传感器网络、智能家居设计和无线医疗电子设备等。其常用的固件 AT 指令作为微控单元和 WiFi 模组之间配置功能,连接与通信的底层指令。相应地,机智云物联网智能硬件云服务开发平台使用 GAgent 固件作为其与 WiFi 模组的桥梁。在 MCU 代码开发方面,机智云有官方的代码自动生成工具,该工具帮助开发者完成了 MCU

与 WiFi 模组通信连接的底层协议工作,适用于独立 MCU 方案和 SoC 方案,使开发者更专注于软硬件的功能开发。文献[9]对机智云平台的通信协议和开发流程作了详细说明。机智云数据点设置如表 1 所示,云端网页生理参数远程监测如图 6 所示,记录了测试者某天 21 时一段时间内生理参数随时间变化情况。

表 1 机智云数据点设置表

名称	标识名	读写类型	数据类型	数据点属性	备注
心率	heartrate	只读	数值	数组范围:0~200 分辨率:1 增量:0	心率值/(次/分)
血氧	spo2	只读	数值	数组范围:0~100 分辨率:0.01 增量:0	血氧值/%
温度	temperature	只读	数值	数组范围:-20~200 分辨率:0.1 增量:-20	温度值/℃

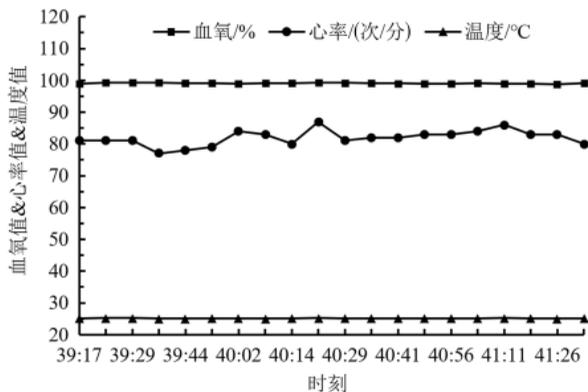


图 6 机智云后台监测图

4 测试验证

为了测试验证本次设计的监护仪的准确性,以同一测试者 10 个不同时间点的生理参数作为测试样本,每个时间点分别用参考监护仪和本监护仪进行 5 次采集,最后求平均值。测试者心率、血氧和体温的测试结果如

表 2 所示。

5 结论

智能远程多生理参数健康监护仪为社会上的一些特定人群提供了日常居家健康监护的可行性,监护仪采用数字集成心率血氧模块等采集人体的心率、血氧和体温等,通过下位机实时显示数据和波形,使用独立按键配置阈值提醒和配置联网,同时可通过云端网页监测记录。本设计具有操作简单、成本低、便携性好、扩展性丰富、测量较为准确等特点。

参考文献

- [1] 薛冰冰.多参数移动健康监护终端的设计与实现[D].广州:南方医科大学,2014.
- [2] 孙凯乐.多生理参数监护仪[D].济南:山东大学,2015.
- [3] 张海军.多参数家庭健康监护系统的设计[D].长沙:中南大学,2011.
- [4] 刘火良.STM32 库开发实战指南[M].北京:机械工业出版社,2013.
- [5] 吴磊,胡维平.基于 LoRa 的心率血氧实时监测系统的研究[J].电子设计工程,2019,27(14):97-101,106.
- [6] 方启超.血氧饱和度检测技术研究[D].南京:南京理工大学,2013.
- [7] 钟君,蔡黎明,于涌.基于 MLX90614 的无线温度采集系统设计[J].传感器与微系统,2015,34(3):87-89.
- [8] 白鹏飞,刘强,段飞波,等.基于 MAX30102 的穿戴式血氧饱和度检测系统[J].激光与红外,2017,47(10):1276-1280.
- [9] 高蒙.基于机智云平台的远程监控系统开发关键技术研究[D].西安:西安理工大学,2019.

(收稿日期:2021-04-21)

作者简介:

甄超平(1999-),男,本科,主要研究方向:微电子科学与工程。

曾思明(1981-),通信作者,男,博士,讲师,主要研究方向:光电子材料与器件, E-mail: zengsiming@gdut.edu.cn。



扫码下载电子文档

表 2 监护仪测试数据表

序号	参考监护仪			本监护仪			误差		
	心率/(t/min)	血氧/%	体温/℃	心率/(t/min)	血氧/%	体温/℃	心率/(t/min)	血氧/%	体温/℃
1	86	98	36.8	85	99	36.6	-1	1	-0.2
2	78	99	36.5	79	99	36.4	1	0	-0.1
3	69	98	37.1	68	99	37.0	-1	1	-0.1
4	75	99	36.9	75	99	36.7	0	0	-0.2
5	79	97	36.8	78	98	36.6	-1	1	-0.2
6	65	98	36.4	65	98	36.2	0	0	-0.2
7	81	98	37.0	82	99	36.8	1	1	-0.2
8	80	97	36.6	80	98	36.5	0	1	-0.3
9	71	96	36.6	73	97	36.4	2	1	-0.2
10	77	99	36.7	76	99	36.5	-1	0	-0.2

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所