

基于 STM32 单片机的大学生体能 监测仪设计与实现

张中沉, 张 军

(伊犁师范大学 体育学院, 新疆 伊宁 835000)

摘要: 体能监测仪作为生命体征监测设备, 对于辅助大学生完成体能训练有很大帮助; 基于 STM32 单片机技术, 设计开发集成了多种传感器的一种大学生体能监测装备, 它能够有效的检测包括心率检测、人体的步数、运动圈速、消耗卡路里等信息; 该设计采用了 STM32 作为主控芯片, 采用模块化的设计思路; 在系统硬件设计方面, 设计了包括 STM32 控制系统、心率获取电路、三轴传感器电路、显示电路以及按键电路等; 同时将软件模块拆分成了初始化子程序、心率获取子程序, 步数获取子程序, 显示子程序等; Proteus 仿真结果显示, 使用 STM32 单片机技术设计的体能监测系统, 能够运行稳定, 测量心率范围 60 次/min~180 次/min, 可在心率异常时报警, 同时检测步数的准确率达 98%, 满足体能监测任务需要, 实验结果符合预期; 为 STM32 单片机在体育运动研究信息化中应用提供参考。

关键词: 体能监测仪; STM32 单片机; 心率监测; 步数记录; Proteus 仿真

Design and Implementation of College Students' Physical Fitness Monitor Based on STM32 Single Chip Microcomputer

ZHANG Zhongchen, ZHANG Jun

(College of Physical Education, Yili Normal University, Yining 835000, China)

Abstract: As a vital sign monitoring equipment, physical fitness monitor is of great help to assist college students to complete physical training. Based on STM32 single chip microcomputer technology, a college students' physical fitness monitoring equipment integrating a variety of sensors is designed and developed. It can effectively detect the information including heart rate detection, human steps, lap speed, calorie consumption and so on. The design uses STM32 as the main control chip and adopts the modular design idea. In the aspect of system hardware design, it includes STM32 control system, heart rate acquisition circuit, three-axis sensor circuit, display circuit, key circuit and so on. At the same time, the software module is divided into initialization subroutine, heart rate acquisition subroutine, step acquisition subroutine, display subroutine and so on. Proteus simulation results show that the physical fitness monitoring system by using STM32 single chip microcomputer technology can run stably, measure the heart rate range between 60 times/min~180 times/min, can alarm when the heart rate is abnormal, and the detection steps accuracy is up to 98%, which meets the needs of physical fitness monitoring tasks. The experimental results meet the expectations. STM32 single chip microcomputer provides technical reference for sports research informatization.

Keywords: physical fitness monitor; STM32 single chip microcomputer; heart rate monitoring; step number record; Proteus simulation

收稿日期:2021-08-12; 修回日期:2021-09-06。

基金项目:伊犁师范大学大学生体质监测中心重点实验室开放课题(2018TZYB02)。

作者简介:张中沉(1989-),男,河南商丘人,硕士,讲师,主要从事体育器材开发与教学理论方法方向的研究。

引用格式:张中沉,张 军. 基于 STM32 单片机的大学生体能监测仪设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(2): 292-298.

0 引言

教育部明确了中小学学生锻炼内容、时长、强度, 对体育和健康课程进行了刚性的要求^[1]。随着我国的素质教育的推广, 越来越多的主管部门和学校开始重视学生的体质训练。学生体能锻炼的有效落实, 一方面依赖于各方政策的制定和执行, 同时对学生体能锻炼过程中的保护措施提出了更高的要求。

迄今为止, 体能监测仪器的设计与开发取得了长足进步, 曹育森等^[2]利用 STM32 单片机进行 A/D 转换为数字信号设计了一种非接触式呼吸暂停检测与远程监护装置, 装置外形设计小巧、制作成本低、实时性与可靠性较高。周泽文等^[3]采用 STC89C52 单片机作为控制器核心, 通过心率传感器来输出方波, 当单片机收到相应脉冲波, 数码管即可进行计数向接收端发送信号。经实际测试, 脉搏测量仪成功实现相应功能。杜健宁^[4]等设计开发了基于 WeMos D1 Mini 开发板的脉搏与体温检测装置, 装置操作简单、成本低廉以及体积小。时昊等^[5]设计开发了基于单片机的红外热成像体温检测仪, 实现了实时体温显示、声光提示、超温图像采集、存储和 WIFI 访问功能。姜笑天^[6]搭建出腰部外骨骼样机作为试验平台, 对外骨骼关键部位进行应力应变测试和分析, 通过心率、肌肉收缩率和博格值的分析确定了外骨骼在缓解人体搬运疲劳方面的有效性。丁青锋等^[7]以 STC89C52 单片机为核心, 分别使用电容式压力传感器和温度传感器测量人体血压脉搏和体温, 避免了传统测量方式下因为人的主观因素影响测量结果的问题。马鸿斌等^[8] STM32 单片机设计开发了便携式生物阻抗相位角测量仪, 该测量仪的精度和测量速率都可以满足实用化要求。沙益夫^[9]开发的基于 AT89C51 单片机控制的动态血压测量系统可准确测量出人体血压, 具有体积小、使用方便、显示清晰等优点。

体能监测仪是一种能够对人体运动过程中的生理数据包括心跳、步数等进行记录的仪器, 一般具有小型化、集成化的特点。通过记录运动时的生理数据并对异常数据进行预警, 体能监测仪能够很好地保护学生在运动时免受伤害, 为后续指定锻炼计划提供依据。目前的体能监测仪存在功能单一、检测精度低等问题。

本设计针对学生体能监测领域的需求, 设计出一款基于 STM32 的大学生体能监测仪, 它集成了多种传感器, 包括六轴传感器 MPU6050、Pulse Sensor 心率检测传感器、LCD1602 显示屏等, 能够有效的检测包括心率检测、人体的步数、运动圈速、消耗卡路里等信息。本设计拟解决的人性化面临以下几个问题:

1) 体能监测仪需要监测多种的体能参数, 包括心率检测、人体的步数、运动圈速、消耗卡路里等信息, 多参数的监测能够全面的了解人体运动状态, 更好地评估运动结果。

2) 在设计方案时, 同样需要考虑监测设备的小型化和集成化。由于是运动时使用, 所以设备不宜过大。需要将系统集成到小型设备上, 便于运动时携带。

3) 作为一个体能监测仪, 良好的人机交互性也是必不可少的。应该使用多种方式, 提高设备的交互能力, 让使用者能够方便的获取设备采集到的信息。

使用嵌入式的技术手段, 设计一款基于 STM32 的大学生体能监测仪, 集成六轴传感器 MPU6050、Pulse Sensor 心率检测传感器等, 能够有效地获取学生的体能信息, 更好地反应学生体能的综合情况。以期为 STM32 单片机在体育运动研究信息化中应用提供参考。

1 系统结构与原理

1.1 体能监测仪功能设计

出于体能监测仪的便携性考虑, 本次设计使用了 STM32F103 作为核心处理芯片。根据体能监测仪的具体监测需要, 设计了人体参数监测、信息反馈和异常报警 3 大功能:

人体参数监测功能即使用传感器采集人体产生的心率、步数等数据, 具体实现则是由单片机通过各种接口包括 IIC、模数转换等, 与传感器进行通信, 从而获取传感器采集的人体参数信息, 并通过系统进行处理。

信息反馈功能则是将采集到的信息通过反馈给使用者, 具体实现是通过通信接口连接显示器件或者其他上位机等, 将采集到的信息进行展示。

异常报警功能则是通过微处理器实时的监测使用

者的运动数据,分析使用者运动状态,当检测到数据出现异常时,则及时的发出警报提醒使用者做好休息补水或者就医等工作。

1.2 传感器检测

传感器能够将观测对象的某种性质,如环境的温度、湿度、光照强度等,转换成电信号或者其他信号的装置。一般有某性质的敏感元件、信号调理转换电路组成。其中某性质的敏感元件能够将该性质特征转换成能够被检测的量,再由转换元件将该量转换成电信号,电信号通过信号调理转换电路转换成单片机或者其他处理器能够读取的量^[7]。

依照转换元件的不同,能够将传感器分为电阻式传感器、电容式传感器、谐振式传感器等等。以电容式传感器为例,常见的水滴传感器,当有水落在传感器上面时,面板的电阻特性会发生变化。经过信号转换和信号放大后,该信号能够被处理器获取,从而获知是否有水滴。

在本次设计中,使用的 MPU6050 六轴传感器为电容式传感器,当传感器的姿态发生变化时,内部的电容结构会随之改变,从而被其内部集成的电路处理并通过接口传输给单片机。Pulse Sensor 心率检测传感器属于光电传感器,该传感器能够向人的皮肤发射光线,并捕捉反射的光,当心率发生变化时,发射的光也会随之改变,从而被传感器获取。

2 硬件设计

2.1 硬件总体方案设计

根据体能监测仪的总体功能要求,终端设计由 MCU 最小系统、六轴传感器 MPU6050、心率监测传感器、数模转换模块、显示电路以及蓝牙电路等构成。

2.2 单片机最小系统电路设计

在本次设计中,考虑到各个传感器的通信接口兼容性,使用了 STM32 作为主控芯片,通过设计单片机的最小系统,完成了对大学生体能监测核心控制板的设计。核心控制板由 3.3 V 的电源电路、高速和低速时钟电路、系统复位电路以及程序下载电路等构成。3.3 V 的电源电路,采用了 ME6211-3.3 电源芯片,该芯片能够将 5V 的直流电转换为单片机工作需要的 3.3 V 的电压。C1、C2、C3、C4 用于稳定

电源,减少因为负载波动给电源带来的影响。STM32 的时钟电路,其中 Y1 为 8M 的高速晶振,给单片机系统内需要高速频率信号的器件提供信号,如 ADC、高级定时器等。Y2 为低速晶振,采用的是 32.768 KHz 的晶振,用于该频率的特殊性,能够为系统的 RTC 提供时钟信号^[8]。

在本次设计中,采用了按键这种经济便捷的方式设计系统的复位电路。STM32 的复位管脚 NRST 为复位管脚,采用为低电平触发方式。C7 作为电容应用在复位电路中,能够延缓电平变化,提供足够的上电复位时间。

对于 STM32 而言,能够使用多种下载方式,对芯片进行程序的更新和下载。使用管脚更少的 SWD 下载方式,相较于串口下载,SWD 能够进行在线仿真等优势,同时它与 JLINK 下载方式相比,它需要 SWIO 和 SWCLK 两个管脚,使用到的管脚更少。

2.3 六轴传感器电路设计

六轴传感器集成了加速度传感器和陀螺仪传感器,之所以被称为六轴,是因为加速度和陀螺仪包括来自 3 个坐标轴的数据,即 x 、 y 、 z 轴,所以一共是 6 个轴的方向信息被传感器采集。采用的 MPU6050 来自于 InvenSense 公司,其内部集成了 DMP 数字运动处理器,能够在硬件层面分析采集到的数据^[9]。其特点包括以下几个方面:

- 1) 体积小,MPU6050 芯片封装仅为 $4 * 4 * 0.9$ mm,能够适应各种姿态检测场景;
- 2) 内部集成了数字运动处理器,提高数据处理能力,能够减少处理器的负荷。
- 3) 能够支持两个 IIC 通信接口,便于拓展磁传感器等设备,同时 IIC 的最高速度能够达到 400 kHz;
- 4) 它还集成了温度传感器等。

由于 MPU6050 的这些特点,使得该芯片广泛应用于手机、体感游戏机、四轴飞行器等等。

其中 U3 为六轴传感器 MPU6050,R36 和 R37 为上拉电阻,C36 和 C38 为滤波电容,JP3 为接线端子,通过该端子能够将设备连接到单片机,进行控制和通信。AD0 管脚可以控制 MPU6050 的设备地址,当 AD0 连接低电平时,设备的地址为 0x68,当 AD0 连接高电平时,设备的地址为 0x69。通过改变 AD0

连接的电平状态能够有效地避免 IIC 总线上的设备地址冲突, 从而更好地拓展 IIC 通信业务^[10]。

2.4 心率传感器电路设计

使用的心率传感器为艾迪逊电子生产的光电反射式心率传感器, 该心率传感器采用了 APDS-9008 作为环境光传感器, 同时通过了 1 MHz 带宽的低功耗运放, 输出的信号为模拟信号^[11]。

由于 STM32 芯片上集成了 ADC 转换功能, 所以只需要将心率传感器的输出管脚连接 STM32 芯片上具有转换能力的管脚即可。

2.5 显示电路设计

在本次设计中, 使用了 LCD1602 作为显示器件。LCD1602 广泛适用于各类工控设备、仪器仪表等领域, 其具有以下特点:

1) LCD1602 最多能够显示两行字符, 同时每行字符不超过 16 个。结合按键使用, 能够使得 LCD1602 显示更多的参数和信息

2) LCD1602 自带字库, 使得开发人员不需要获取字模信息, 只需要通过数据管脚传输对应的 ASCII 编码, 就能够显示所需要展示的信息。

3) LCD1602 工作电压在 4.5~5.0 V, 工作电流为 20 mA^[12]。

2.6 蓝牙电路设计

蓝牙电路选择的是 TI 公司生产的 CC2541 芯片, 该芯片被广泛应用在低功耗的无线传输场景下, 如智能家居等。具有以下特点:

1) 该芯片是作用在 2.4 GHz 频段下的无线传输芯片, 能够满足多种通信速率的要求。

2) 其实基于 8051 内核的芯片, 能够支持 MCS-51 指令集^[13]。

3) 具有 24 通用的管脚, 8 KB 的随机存储内存, 能够满足很多场景下的业务需要。

3 软件设计

3.1 软件总体方案设计

考虑到体能监测仪的实际业务需要, 将系统软件进行模块化设计, 便于后续的软件迭代更新和系统维护。将软件划分为: 初始化子程序、步数检测子程序、心率检测子程序、显示子程序以及蓝牙通信子程序。软件总体框图 1 所示。

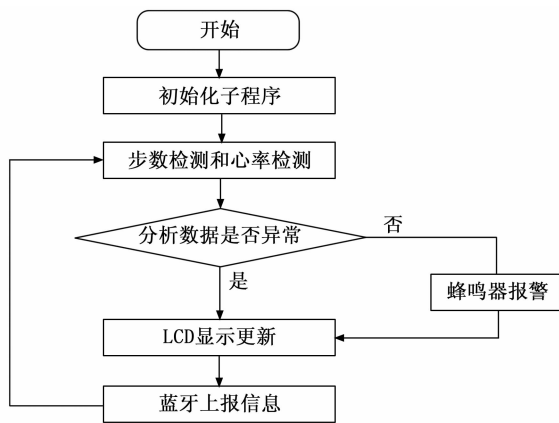


图 1 软件总体框图

具体的程序流程是: 初始化子程序完成对系统外设和缓存的初始化后, 使用步数检测子程序和心率检测子程序获取相关的体能监测数据, 然后将这些数据在 LCD 显示屏上进行更新显示, 并通过蓝牙通信子程序发送到手机等其他上位机。

通过将子程序模块进行封装成函数, 然后在使用时调用函数执行对应功能, 这样的程序能够便于阅读, 同时方便程序优化和移植, 这对于后续的产品迭代和程序维护具有重要的意义。

3.2 初始化子程序设计

在大学生体能监测仪的设计过程中, 对于 STM32 芯片需要使用合适的外设管脚与各个硬件模块进行通信, 同时在使用这些管脚前, 必须对相关的管脚进行初始化设置, 这样才能够执行对应的功能^[14]。表 1 为使用的硬件模块与 STM32 芯片连接的管脚。

表 1 初始化管脚表

传感器	管脚名称	初始状态	使用说明
六轴传感器	PA2	输出	IIC 的时钟管脚
	PA3	输入	IIC 的数据管脚
心率传感器	PA4	输入	模数转换
LCD 模块	PA8~PA15	输入	LCD 的数据管脚
	PB0	输出	RS
	PB1	输出	RW
	PB2	输出	EN
按键	PA5	输入	BUTTON1
	PA6	输入	BUTTON2
	PA7	输入	BUTTON3
	PA8	输入	BUTTON4
蓝牙模块	PB10	输出	USART3_TX
	PB11	输入	USART3_RX

3.3 步数检测子程序设计

在使用 MPU6050 时，由于其内部集成了 DMP，能够进行运动数据计算处理。在读取步数时，只需要按照规定读取 DMP 内存的数据寄存器即可。

在初始化子程序完毕后，PA2 被设置成为 IIC 的时钟管脚，PA3 被设置成数据管脚。读取寄存器时，一般发送起始信号，等待响应，然后发送写指令，写指令一般就是器件的地址，如本加速度的地址为 0x68，然后等待响应。得到响应后，在写入希望读取的寄存器，而获取步数需要读取的内存为 D_PEDSTD_STEPCTR 部分，即 0x3060 寄存器，然后连续读取即可，最后发送停止指令^[15]。

需要指出的是，由于 D_PEDSTD_STEPCTR 寄存器是 4 字节寄存器，所以在传入指针使用的是 unsigned long 类型的，通过 IIC 总线连续读取了 4 个字节。具体的写指令流程如图 2 所示。

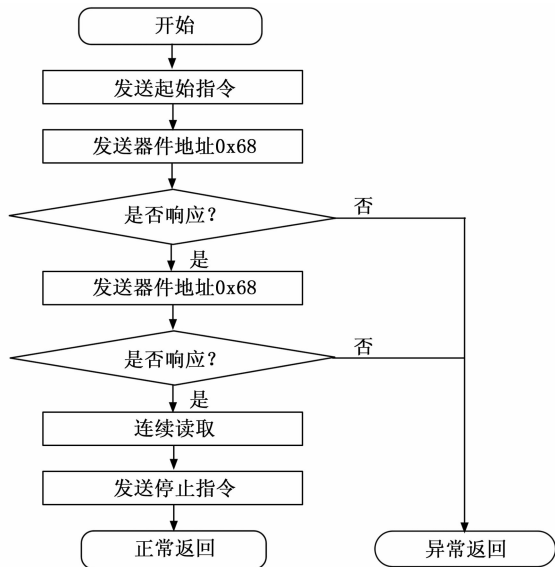


图 2 获取步数流程图

在读取 D_PEDSTD_STEPCTR 寄存器前，对存放步数的 count 指针进行了判断，如果为 NULL 则返回。由于读取到的是 4 个字节，存放在 tmp 变量中，需要对 tmp 变量进行处理，处理成为 unsigned long 类型的数据^[16]。具体操作是，将 tmp [0] 作为最高位，向右移 24 位，其次的字符向右移 16，8 以及 0 位，这样得到的数据为最终的步数。

3.4 心率监测子程序设计

心率监测子程序需要连接单片机的模数转换管

脚，在使用前需要调用模数转换功能，所以需要连接单片机的片上 ADC 进行采集和分析。首先需要初始化单片机上的 ADC，这里选择的是 ADC1 的通道 4，它被映射到了 PA4 管脚。

为了提高采集速度，开启了 DMA 功能，使用 DMA 能够使得采集到的数据不需要通过 MCU 上传输，避免了浪费 MCU 的资源。开启 DMA 后，只需要访问对应的 DMA 地址即可得到转换后的数字量了^[17]，心率检测子程序设计如图 3 所示。

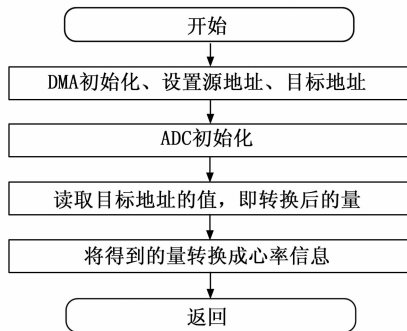


图 3 心率检测流程图

3.5 显示子程序设计

在本次设计中，使用 LCD1602 作为显示器件，用于显示体能监测仪检测到的步数、心率等相关信息。该显示屏模块需要 8 个数据管脚和 3 个控制管脚进行控制，在使用前需要的相关的管脚进行初始化设置。

LCD1602 在使用时，主要包括两个步骤，一个是对显示屏进行初始化，另外一个则是控制 LCD 显示指定的字符了。在对显示屏进行初始化时需要设置相关的显示参数，如显示区域、光标位移方向、以及清空显示屏等^[18]。具体流程如图 4 所示。

图 5 中，在控制 LCD1602 显示指定的信息时，首先会判断当前需要显示的字符是否为“\0”，如果是则表示字符串结束，退出显示子程序；如果不是，则写入需要显示字符对应的坐标信息，然后指向显示字符的指针自加 1，重新判断当前的字符串是否结束。

3.6 蓝牙传输子程序设计

图 6 使用蓝牙给上位机发送信息，通过蓝牙能够实现无线形式的数据传输，这样一样体能监测仪的实用性和便捷性大大提高。使用的蓝牙采用了串口通信

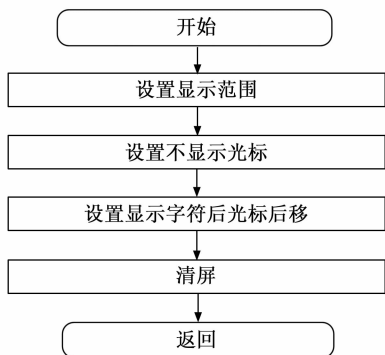


图 4 显示初始化流程图

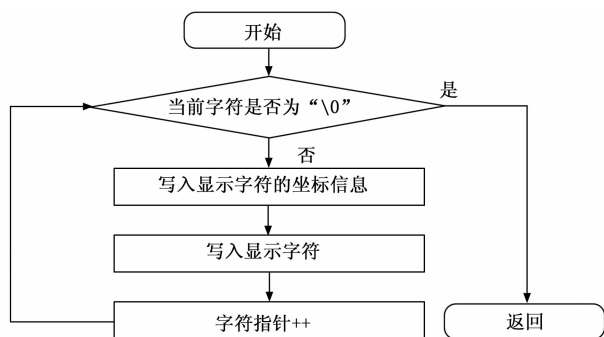


图 5 显示字符流程图

的方式, 并且默认的波特率为 9 600 bps, 所以在进行串口设置时, 需要将 STM32 的串口波特率设置为 9 600 bps^[19], 这样才能够完成双向的通信。具体的发送流程如图 6 所示。

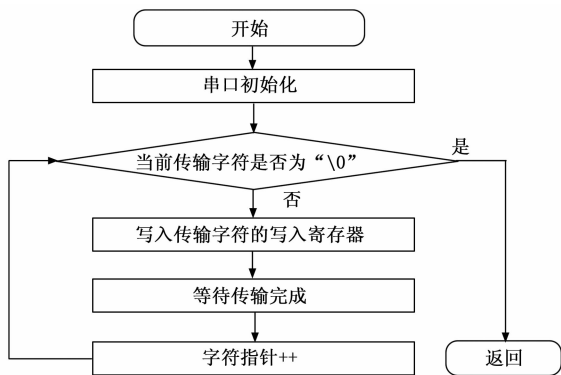


图 6 蓝牙的发送程序流程图

4 实验结果与分析

4.1 体能监测仪软件开发和烧写

在体能监测仪的软件开发过程中, 使用的集成开发环境为 KEIL, 该软件能够完成 STM32 芯片的程序编译、链接等操作, 同时支持在线仿真

和调试。其中 USER 目录为主程序以及各个外设的驱动程序, 对于文件的命名应该尽量做到见名知意^[20], 如 mpu6050.c 便是与六轴传感器 MPU6050 的驱动代码等。

4.2 体能监测仪验证

本次设计主要通过仿真对系统进行测试和验证, 使用的是 Proteus 软件, 这款软件广泛应用于电路仿真, 能够支持数万种类别的元器件, 可以对电路和单片机进行形象的仿真演示, 同时它也具备原理图绘制和 PCB 设计的功能^[21]。由于在 Proteus 软件中没有六轴传感器 MPU6050, 所以使用了按键进行模拟步数的增加^[22]。图 7 为仿真运行时效果图。

除了必要的时钟和电源电路外, 可以看出 RP1 为上拉电阻, 用于增加 PA 组管脚的驱动能力, 从而驱动显示屏的显示数据管脚。右下角的虚拟仪器为串口监视器, 能够监视 STM32 串口三输出的信息, 该信息在实物中会通过蓝牙无线信号发送给上位机。RV1 为可变电阻用于模拟心率传感器输出的模拟信号。

测试步骤和方法: 双击 STM32 芯片, 在选中 HEX 文件后, 点击仿真软件右下角的运行可以看见 LCD 显示屏显示采集到的体能信息。当修改心率传感器的值, 也就是滑动变阻器的阻值时, LCD1602

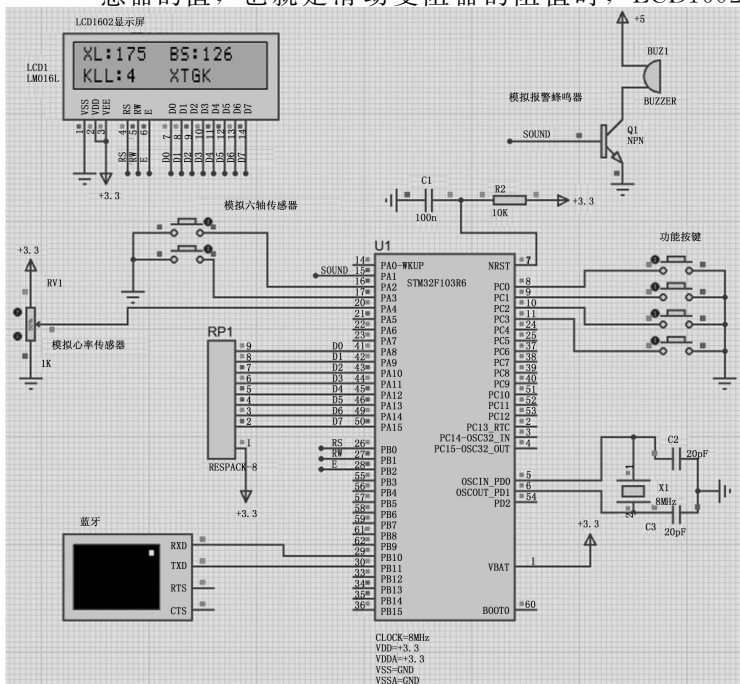


图 7 心率过快时仿真运行图

的值也随之改变。到超过阈值 170 次/min 时, 蜂鸣器会报警如图 7 所示。通过仿真可以看出本次设计功能完善, 仿真结果符合预设目标。能够实现体能采集参数显示和蓝牙传输等功能。

5 结束语

基于 STM32 的大学生体能监测仪设计与实现过程中, 调研现有的产品, 确定了需求, 从而设计了一款更加完备的方案。本文主要从系统构造, 硬件设计, 软件分析进行研究。

1) 采用 STM32 的单片机, 能够将体能监测设备小型化、便携化, 同时在传感器选择上, 考虑了通信接口的兼容性, 以及精度和功耗等方面的需求。

2) 在硬件设计上, 对各个模块电路进行了详细的论述, 包括单片机最小系统电路设计、六轴传感器电路设计、心率传感器电路设计以及显示电路设计和蓝牙电路设计。

3) 采用了模块化编程的方法, 将体能监测设备的各个功能模块封装成了函数, 提高了程序的可读性和可维护性。将软件模块拆分成了初始化子程序设计、步数检测子程序设计、心率监测子程序设计以及显示子程序设计和蓝牙传输子程序等。

随着我国高等教育的普及, 体能训练和体能监测将成为衡量学生综合素质的重要指标。基于 STM32 的大学生体能监测仪便于携带, 功能完善, 监测指标全面, 在未来有很大的应用前景, 值得推广和使用。

参考文献:

[1] 苏子美. 人体生物信息的实时监测与传输技术研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2021.

[2] 曹育森, 雷涛, 李钊, 等. 一种非接触式呼吸暂停检测与远程监护装置的设计 [J]. 中国医疗设备, 2021, 36 (6): 13-16, 44.

[3] 周择文, 邵婷婷. 基于 STC89C52 单片机的指环脉搏测量仪设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (2): 246-250.

[4] 杜健宁, 卢东生, 王梦娇, 等. 基于 WeMos D1 Mini 开发板的脉搏与体温检测装置设计 [J]. 中国医学装备, 2021, 18 (2): 1-4.

[5] 时昊, 窦艳芳, 崔月莹. 基于单片机的红外热成像体温检测仪 [J]. 佳木斯大学学报 (自然科学版), 2020, 38 (6): 29-32.

[6] 姜笑天. 面向重物搬运的气动腰部助力外骨骼机械结构与控制系统设计 [D]. 广州: 华南理工大学, 2020.

[7] 丁青锋, 王丽姚. 基于复合传感器的人体健康监测系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2019, 38 (11): 82-84, 88.

[8] 马鸿斌, 田常正, 蔡希昌, 等. 便携式生物阻抗相位角测量仪 [J]. 北京生物医学工程, 2019, 38 (1): 89-95.

[9] 沙益夫. 基于 AT89C51 单片机控制的动态血压监测系统的设计 [J]. 中国医学装备, 2018, 15 (6): 7-11.

[10] 尹雪, 杨璠, 李红梅, 等. 人体呼吸健康检测仪的设计 [J]. 工业控制计算机, 2019, 32 (7): 132-133.

[11] 辛明. 近红外光谱技术监测组织氧饱和度系统的研究 [D]. 郑州: 河南大学, 2019.

[12] 刘青, 马慧霞, 李芳芳. 基于单片机的心电信号的采集系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019 (3): 88-91.

[13] 张毅. 基于单片机系统的人体生理参数远程监控系统模拟设计 [J]. 长春师范大学学报, 2020, 39 (4): 28-31.

[14] 汤引生, 谢楠, 何建强. 基于三轴加速度传感器的老年人摔倒检测算法的设计与实现 [J]. 微型电脑应用, 2019, 35 (2): 42-44.

[15] 孟祥宇. 基于 Android 系统的人体生理参数监护仪的设计与研究 [D]. 济南: 山东农业大学, 2018.

[16] 毛钰. 基于单片机的远程监控脉搏测量仪设计 [D]. 大连: 大连理工大学, 2018.

[17] 李志伟, 张绘敏, 赵战国. 基于 51 单片机的脉搏检测仪设计 [J]. 机械工程与自动化, 2020 (6): 154-156.

[18] 毛伟, 沈桂. 可穿戴式多参数监护仪的设计 [J]. 医疗卫生装备, 2018, 39 (6): 33-38.

[19] 徐鹏杰, 张凤生, 刘延杰, 等. 基于 MPU6050 的人体倾角姿态数据检测系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2018, 37 (3): 117-120.

[20] 王军峰, 姚福安, 马源哲. 基于 MSP430 单片机的人体体质测量仪 [J]. 自动化与仪表, 2018, 33 (3): 97-100.

[21] 高明华, 许丽金, 柯成成, 等. 基于 Android 便携式人体健康监测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (12): 86-89.

[22] 周志向, 齐爱学, 耿荣, 等. 人体健康参数测定仪 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (10): 97-101.