

基于蓝牙 4.0 和 GSM 的无线心率监测仪设计

吴振宇, 李华龙, 李航

(大连理工大学 创新实验学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 针对现有的家用心率监测仪器便携性差、报警功能不完善、成本高等问题, 提出一种基于蓝牙 4.0 BLE 协议栈和 GSM 移动通信网络的新型无线心率监测仪设计方案; 系统可分为主机和从机两部分; 从机由光电式脉搏传感器和蓝牙模块组成, 负责测量心率和电量, 并将得到的数据实时无线发送给主机; 主机由蓝牙模块、单片机、液晶屏和 GSM 模块组成, 负责接收从机发送的信息, 并对数据进行监视, 同时完成人机交互; 实验测试表明, 系统可稳定实现心率测量、监视、显示及远程设置、查询和报警功能, 与市场上同类产品相比, 具有使用便携性好、功耗低、测量准确、多重报警方式及成本低等优点, 在家用智能监护领域具有广泛的应用前景。

关键词: 蓝牙 4.0; 全球移动通信系统; 心率监测; 远程控制

Design of Wireless Heart Rate Monitor Based on Bluetooth 4.0 and GSM

Wu Zhenyu, Li Hualong, Li Hang

(School of Innovation Experiment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on Bluetooth 4.0 BLE protocol stack and GSM mobile communication network, this paper proposes a novel design of wireless heart rate monitor to improve its portability, functionality and price competitiveness on the market. The system can be divided into two parts, namely, master controller and slave detector. The latter plays a role of collecting data about heart rate and electricity quantity and sending them to the former by using a photoelectric pulse sensor and a Bluetooth module. The former, which includes a Bluetooth module, a microcontroller, a LCD screen and a GSM module, is responsible for receiving and analyzing the data from the latter and displaying the analysis results to users. The experimental tests show that this design presents an effective solution of heart rate measurement and monitoring, display, inquiry, alarm and remote setting. It has wide application prospects in the field of home intelligent monitoring because of its advantages such as easy portability, low power consumption, accurate measurement, multiple alarm modes and cheap cost compared to similar products on the market.

Keywords: Bluetooth 4.0; GSM; heart rate monitoring; remote control

0 引言

卫生部心血管病防治研究中心披露的信息显示, 我国每年有超过 50 万人死于心脏性猝死, 居世界各国之首。心脏性猝死具有发病突然、进展迅速的特点, 在我国抢救成功率不到 1%, 绝大部分患者还没来得及到医院就已死亡。目前, 心脏性猝死的发生机制十分复杂, 也缺少一种有效、简捷的可早期识别心脏性猝死高危人群的方法^[1]。因此, 为有效防止心脏性猝死的发生, 发病时及时通知家人, 为患者赢得宝贵的抢救时间, 需要一款心率监测仪对心脏病人和老年人进行日常监护。但目前在这一领域的设计和 product 还较少, 且存在便携性差、报警功能不完善、成本较高等不足, 难以满足上述的需求^[2-3]。本文采用微型脉搏传感器检测脉搏信号, 利用蓝牙 4.0 模块测量信号并将数据无线传输至主机进行监视, 再通过 GSM 模块及移动通信网络实现远程设置、查询和报警功能^[4], 最终完成一种可以有效测量和监视心率、便携性好、成本低的新型家用

心率监测仪。

1 系统设计

基于蓝牙 4.0 的无线心率监测仪的系统总体如图 1 所示。工作时, 先由脉搏传感器检测人体的脉搏并转换为模拟电信号, 蓝牙模块上的低功耗 SoC 芯片 CC2540F256 通过内部集成的 ADC 不断地对信号采样量化, 再采用脉冲信号边沿检测方法和改进的中值滤波法处理得到一系列数值, 得到脉搏的周期, 接着利用集成的 RF 收发器将数据无线发给主机。主机上的蓝牙模块收到数据后直接通过串口转发给单片机, 单片机再进行转换得到心率值, 并与阈值比较, 若超出范围, 则采用多重方式报警。本设计属于可穿戴设备, 除监测脉搏信号外, 系统工作时还对从机的电池电量监测。

此外, 为了获得更好的用户体验, 在人机交互方面, 除采用液晶屏和按键实现系统的实时信息显示和设置外, 还加入了通过 GSM 模块收发短信的方式实现的远程系统设置和远程系统信息实时查询的功能。

2 硬件设计

2.1 主机电路设计

主机硬件包含主控板和 GSM 模块两部分。主控板负责数

收稿日期:2014-06-19; 修回日期:2014-07-25。

基金项目:教育部—中国移动科研基金项目(MCM20122071)。

作者简介:吴振宇(1971-),男,甘肃省定西市人,副教授,硕士研究生导师,主要从事智能检测与控制、数字通信技术方向的研究。

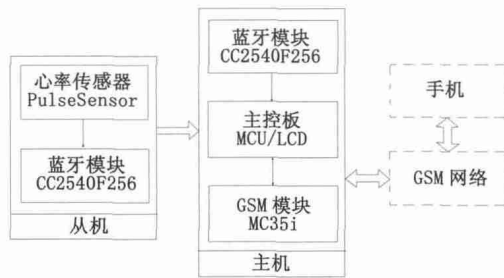


图 1 系统总体框图

据的接收与处理、系统设置与信息显示以及报警控制等工作；GSM 模块负责主机与手机之间的通讯，是系统实现远程设置、查询、报警等功能的基础。二者通过串口通信，还有一路触发信号 IGT，负责对 GSM 模块状态的控制。

2.1.1 主控板电路

主控板原理如图 2 所示。STC12LE5A60S2 单片机与液晶屏之间通过 IO 口模拟 SPI 通信，还有复位信号 RST、数据/命令模式选择信号 DC，背光控制信号 BL，均由单片机的 IO 控制。单片机采用串口 2 与蓝牙模块通信，通过 IO 口和三极管驱动电路控制蜂鸣器。整个主控板上各元件的工作电压均为 3.3 V，由 AMS1117-ADJ 线性稳压电源提供。

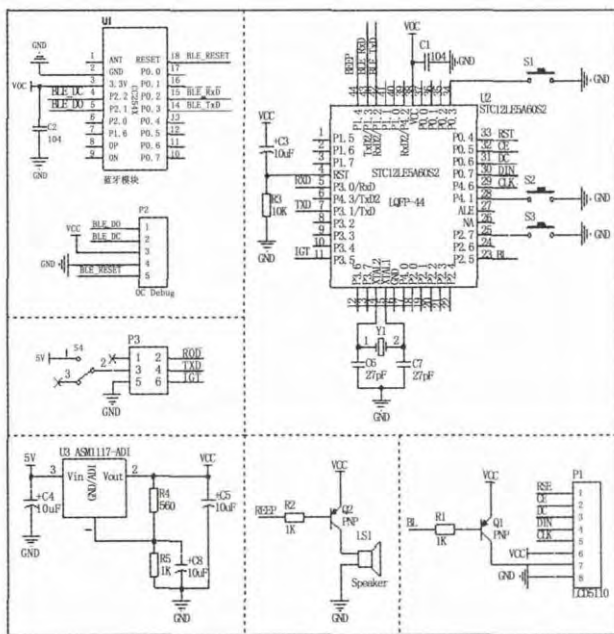


图 2 主控板原理图

2.1.2 GSM 模块

MC35i 是西门子推出的一款 GSM/GPRS 双模模块，易于集成、体积小、功耗低，可提供数据、语音、短信、传真功能，为远程测量和监控提供了一个理想的解决方案。

2.2 从机电路设计

从机原理如图 3 所示。脉搏传感器信号输出引脚经过一阶 -3dB 截止频率为 10 Hz 的 RC 低通滤波器后与蓝牙模块的 ADC 输入引脚相连。电路由一块 3.7 V 锂电池供电，为满足两个模块的工作电压，在电池正极串联一个 1N4001 二极管。

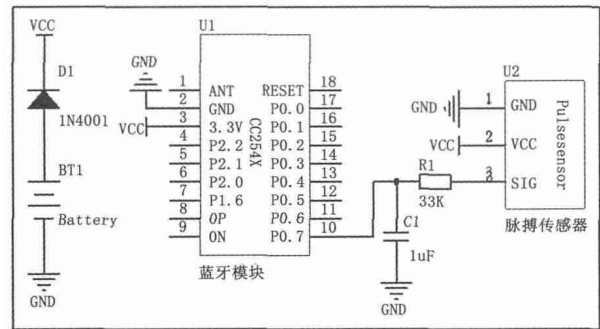


图 3 从机原理图

2.2.1 脉搏传感器模块

本设计采用光电反射式脉搏传感器 PluseSensor，通过对手指末端或耳垂等处血液漫反射回的光强度的检测，将脉搏信号转换成模拟电信号，具有结构简单、无损伤、可重复性好、精度高等优点。图 4 为采用 3.3 V 供电时使用安捷伦 DSO-X 2024A 型示波器测得的信号波形。

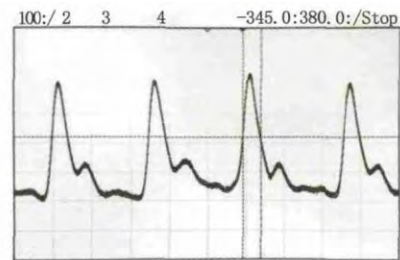


图 4 脉搏传感器输出的信号波形

2.2.2 蓝牙模块

本设计选用目前主流的蓝牙 4.0 BLE 单芯片解决方案 CC2540F256 模块，并充分利用其 SoC 特性，将脉搏信号和电池电压的测量、数据处理和无线发送分别由其内部集成的 ADC、增强型 8051 内核、RF 收发器完成，大大降低了系统的硬件复杂度、体积、功耗和成本。

3 软件设计

3.1 主机程序设计

主机的单片机程序主流程如图 5 所示。采用液晶屏显示系统信息，共 4 行。第一行为当前心率值，第二行滚动显示心率低阈值和高阈值，第三行为电池电量，第四行滚动显示设置的多个报警电话。当检测到有新短信时，单片机向 GSM 模块发送读取短信的 AT 指令，获取并根据短信的内容进行相应的操作^[5]。制定的短信控制协议如表 1 所示，每个符号 * 代表一位数字，不同的控制指令可任意组合发送，同时实现多个参数的设置或信息查询。如短信中含有“#CX”字段，系统会将当前心率、电量和设置的报警电话信息以短信的形式回复。

主机上设有 3 枚按键，1 枚用于控制液晶屏背光的开关，另 2 枚分别用于调小或调大心率的报警阈值。由于有高低两个阈值需要设置，因此将两个阈值分时复用液晶屏上的同一块区域滚动显示。按键调节时，根据当前液晶屏上显示的内容判断对哪个阈值设置。心率低阈值的调节范围为 25~80 次/分钟，

心率高阈值的调节范围为 50~150 次/分钟，但设置时须保证低阈值小于高阈值，否则设置无效。

表 1 短信远程控制协议

短信控制功能	协议格式
心率低阈值设置	#YZ***
心率高阈值设置	#YG***
报警电话设置	#DH*****
系统信息查询	#CX
收到报警确认	#SD

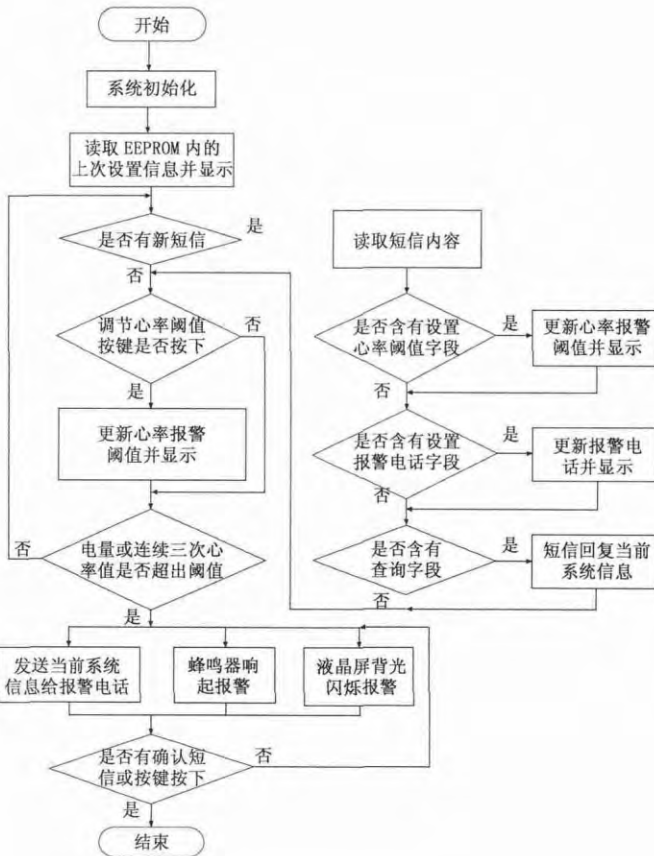


图 5 主机程序主流程图

达到报警条件时，为确保短信远程报警能被及时收到，系统支持最多设置 5 个报警电话并同时发送报警短信，每 50 秒循环一次，直到有任意报警电话回复确认短信“#SD”或任意按键被按下，结束报警。

主机上的蓝牙模块收到从机发来的数据后通过串口转发给单片机，并在串口中断服务函数内接收和处理数据，其流程如图 6 所示。

3.2 从机程序设计

从机程序的设计主要基于 TI 公司推出的蓝牙 4.0 BLE 协议栈^[6-7]，使用其提供的 API 进行应用程序的开发，而不过多地关注蓝牙 4.0 BLE 协议的具体实现细节，大大降低了程序的开发复杂度。从机程序流程图^[8]如图 7 所示。

3.2.1 脉冲信号边沿检测

传感器在每次脉搏时产生一个脉冲信号，如图 4 所示，通

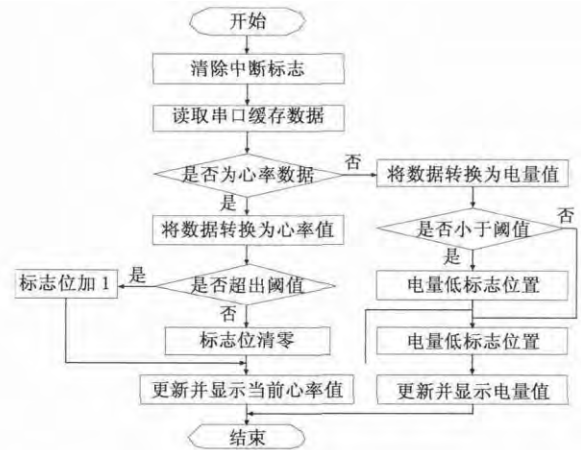


图 6 主机串口中断服务函数流程图

过检测并计算连续两个脉冲的时间差即可获得脉搏周期。由于信号存在小幅度高频噪声和毛刺，为减小对测量结果的影响，本文采用最小二乘法对采样量化得到的数据直线拟合，根据拟合后的斜率判断采样数据是否来自脉冲信号的边沿。基本思路如下：

- 1) 确定待拟合的坐标 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$;
- 2) 计算 $l = \sum_{i=1}^n x_i, m = \sum_{i=1}^n y_i$;
- 3) 计算 $p = \sum_{i=1}^n x_i^2, q = \sum_{i=1}^n x_i \times y_i$;
- 4) 拟合后得到的直线斜率为：

$$k = \frac{n \times q - l \times m}{n \times p - l^2} \quad (1)$$

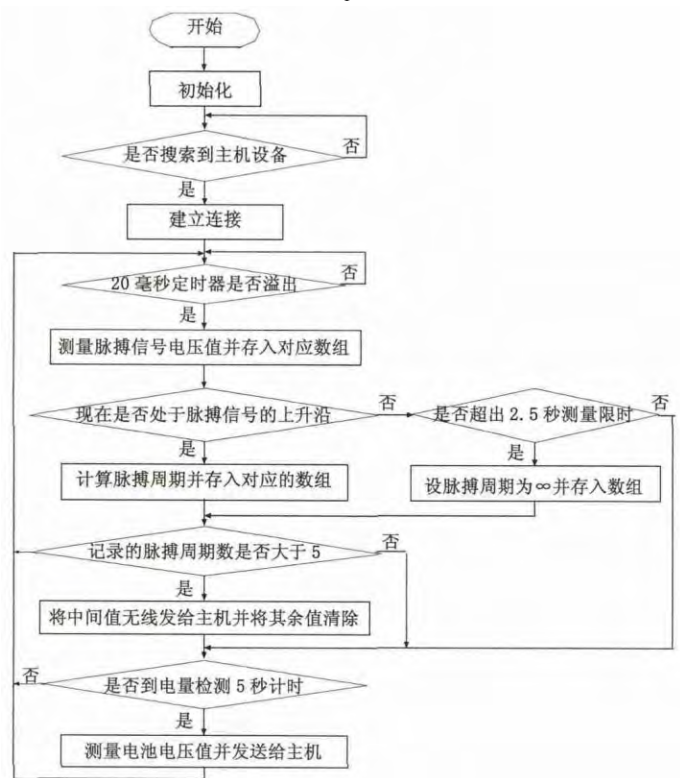


图 7 从机程序流程图

算, 选取直角坐标系横轴的时间单位为 10 ms, 纵轴的幅值单位为 V, 各采样点的坐标如表 2 所示。

表 2 进行直线拟合的 4 个采样点坐标

	采样点 1	采样点 2	采样点 3	采样点 4
横坐标/10 ms	$x_1 = 0$	$x_2 = 2$	$x_3 = 4$	$x_4 = 6$
纵坐标/V	y_1	y_2	y_3	y_4

因此, 可将公式 (1) 化简为:

$$20k = -3y_1 - y_2 + y_3 + 3y_4 (V) \quad (2)$$

由图 4 和式 (2) 可知对上升沿直线拟合后的斜率约为 0.5 V, 经测试取阈值为 0.3 V 时效果较好, 即如果按公式 (2) 计算拟合直线的斜率大于 0.3 V, 则认为被拟合的 4 个采样点来自脉冲信号的上升沿。

为避免对同一个脉冲信号的上升沿多次拟合, 造成测量错误, 在检测到上升沿后的 100 ms 内不再对信号进行采样和拟合。考虑到存在很长时间检测不到脉冲信号的可能, 人体脉搏的周期一般小于 1 s, 因此设定如果 2.5 s 内未检测到脉冲信号则认为检测超时, 此次测得的脉搏周期为 ∞ 。

3.2.2 改进的中值滤波

由于显示和监视心率值并不需要太高的数据更新频率, 同时为进一步减小测量误差和数据波动, 程序中采用稍加改进的中值滤波法对通过脉冲信号边沿检测获得的原始脉搏周期数据进行处理, 如图 8 所示。

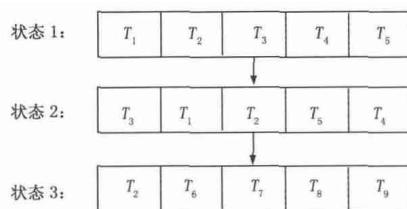


图 8 改进的中值滤波流程

程序中定义长度为 5 的一维数组临时存储待处理的脉搏周期数据。图 8 中状态 1 为初始时按时间先后存储 5 个脉搏周期, 采用冒泡法从小到大排序后如状态 2 所示, 选取中值 T_2 作为 $T_1 \sim T_5$ 这段时间内的脉搏周期发给主机, 并将该值作为下次中值滤波的第一个待处理数据, 如状态 3 所示, $T_6 \sim T_9$ 为接下来依次获取的原始脉搏周期数据。然后对 T_2 和 $T_6 \sim T_9$ 排序并选取中值作为 $T_6 \sim T_9$ 这段时间内的脉搏周期发给主机, 以及下次中值滤波的第一个待处理数据, 如此循环。

3.2.3 数据传输格式

由于脉搏周期以 20 ms 为时间单位, 最大 2.5 s, 因此其数值应小于 125, 只需 7 位二进制数即可表示, 并用 0x7F 表示检测超时。除每 20 ms 对脉搏信号进行一次采样外, 从机还会每隔 5 s 检测一次电池电压, 并采用 8 位二进制数对电池电压进行表示, 且最高位始终为 1。

所以从机每次只发送一个字节即可, 主机根据最高位判

断其类别, 即如果最高位为 1, 则该数据为电池电压, 否则为脉搏周期, 然后进行对应的数据转换, 得到电池电量或心率值。

4 系统测试

本设计制作完成后, 从机部分的硬件实际尺寸仅为 16 mm * 16 mm * 4 mm, 采用 M3500A 型六位半数字万用表实测平均功耗仅约 14 mA, 只需一颗 400 mAh 的 3.7 V 锂电池便可连续工作 24 小时以上, 并拥有电量检测功能, 具有较好的穿戴便携性。

在心率的测量精度方面, 由于脉搏传感器输出的是模拟信号, 可以准确地反映脉搏的跳动情况, 因此采用的测试方法为: 在系统工作时将该模拟信号引出接到示波器, 然后对比系统和示波器的测量值。测试结果表明, 本系统的心率测量误差在 ± 2 以内, 具有较高的精度, 满足心率监测的需求, 但当心率发生变化时, 要经过 2~5 个脉搏周期才能准确测到, 这是由信号的检测和滤波方法的延时导致的, 并不影响系统的正常功能。此外, 系统的心率实时监测与显示、多重方式报警、远程设置和查询等功能, 在实测中也均能按设计要求实现。

5 结论

本文将短距离低功耗无线通信技术蓝牙 4.0 和远程移动通信技术 GSM 有机结合, 提出一种基于蓝牙 4.0 BLE 协议栈和 GSM 移动通信网络的新型无线心率监测仪的设计方案, 具有体积小、功耗低、结构简单、穿戴方便、测量准确、实时性好和成本低等优点。远程报警、设置、查询功能的加入使得系统具有更好的实用性, 可有效解决现有的家用心率监测仪方案便携性差、报警功能不完善、成本较高等问题, 适用于日常家庭中对心脏病人和老年人的监护, 在家用智能监护领域具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 赵东升, 任景艳, 季 娣, 等. 心脏性猝死高危患者临床与社区早期干预研究 [J]. 中国医学创新, 2011, 8 (24): 187-190.
- [2] 杨 凯, 丛 林, 胡文东, 等. 基于 BMD101 的嵌入式无线心电监测系统 [J]. 电子技术应用, 2014, 40 (1): 122-124.
- [3] 郑争兵, 赵 峰. 基于 GSM 的远程心率监控系统设计 [J]. 计算机应用, 2012, 32 (7): 2082-2084.
- [4] 卢 超. 基于 GSM 多通道远程遥控开关的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (3): 905-908.
- [5] Mobile S. MC35i AT Command Set (version 01.02) [Z]. German: Siemens Mobile, 2003.
- [6] 钱志鸿, 刘 丹. 蓝牙技术数据传输综述 [J]. 通信学报, 2012, 33 (4): 143-151.
- [7] Instruments T. Texas Instruments CC2540/41 Bluetooth Low Energy Software Developer's Guide (version 1.3.2) [Z]. Dallas: Texas Instruments, 2013.
- [8] 欧阳骏, 陈子龙, 黄宁淋. 蓝牙 4.0 BLE 开发完全手册: 物联网开发技术实战 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.