

智能蓝牙心率检测贴片*

胡金通 杨 淼

(淮海工学院电子工程学院 连云港 222000)

摘要:针对游戏玩家及电脑使用者的健康需求,设计了一种小巧、轻薄,可贴于鼠标侧面及其他平面的手持设备之上,也可贴于人体手臂等皮肤较为平滑处的心率监测贴片。心率贴片采用反射式光电传感器照射拇指来采集心率,通过内置控制器的低功耗小封装蓝牙芯片对信号进行分析测量得出使用者的心率数值,通过蓝牙4.0与手机通信将心率值传送至APP或PC端实时显示,并具有报警提醒功能,实现了心率监测超低功耗以及体积最小化集成方案。将心率贴片贴覆于鼠标拇指侧,可以实现对现有鼠标智能化一贴升级。

关键词:可穿戴; 蓝牙; 心率监测; 贴片

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

Intelligent bluetooth heart rate detecting patch

Hu Jintong Yang Miao

(Huaihai institute of technology, Lianyungang 222000, China)

Abstract: According to the health needs of computer users and gamers, design a kind of heart rate monitoring patch which is compact and light, which can be attached to the side of the mouse and other plane, and can also be applied to the skin of the human arm. The photoelectric sensor is used to irradiate the thumb to collect the heart rate, and the user's heart rate value is obtained by analyzing and measuring the signal through the low power consumption small package Bluetooth chip with a built-in controller. Through Bluetooth 4.0 and mobile communication heart rate values are transmitted to the app or PC terminal real-time display, and with an alarming function of heart rate. Achieve the ultra low power and volume minimization integration scheme for heart rate monitoring. The heart rate patch is applied to the thumb side of the mouse, realize the upgrading of the existing intelligent mouse.

Keywords: wearable; bluetooth; heart rate detecting; patch

0 引言

随着网络技术的发展,电脑游戏(电竞)成为人们日常休闲娱乐的主要方式,过度沉迷电脑游戏而带来的健康问题也越来越引起了人们的关注,在长时间的电脑操作或网络游戏过程中,保持久坐将有可能引起深层静脉栓塞及诱发由血块进入肺部而导致的猝死等。另外,游戏的声光刺激造成的情绪波动也可能会危及人们的健康。而对那些患有心脏病的用户在操作电脑过程中的健康监测就显得非常重要。

随着移动终端的普及,监护设备朝着便携式方向发

展,小型化、低功耗及无线数据传输是信号采集系统的关键,系统多以“信号采集系统”为前端、“移动智能设备”为终端的结构形式^[1-5]。目前具有心率监测功能的便携式设备主要包括智能手表和运动手环,90%以上的可测心率的手表或手环都采用光电式心率检测方法。通过采集分析用户的脉搏波得到用户心率值,脉搏波所表现出来的形态、强度、速率与节律等方面的综合信息的确在相当程度上反映出人体心血管系统的许多生理和病理特征^[6]。

在使用这些可测心率的手表或手环中可以普遍发现存在以下弊端:

1)在进行心率测量时需要将手表或手环收紧或者移

收稿日期:2017-05

* 基金项目:2015年度省级大学生实践创新训练项目(201511641103002)、校级教改课题“工科类专业大学生创新创业能力培养实践体系研究”(XJG2015-2-5)项目资助

至手腕上方,让皮肤紧贴心率传感器,需要双手配合,使用十分不便。

2)在所有可测心率的手表或手环中,80%以上的设备不具有实时心率监测功能,用户需配合 APP 开启心率检测功能,在心率检测结束后,心率传感器会自动关闭。

3)可检测心率的手表或手环大多是为了用户在运动时了解心率或者运动后计算能量消耗而设计出心率检测功能,但日常生活中人们使用电脑时间往往远远超过运动时间,所以监测使用者使用电脑时的静态心率更加重要。

也有专家学者针对电脑用户的需求设计出一些可测心率的产品,柴波等人^[7]设计出一种可测人体脉搏波及心率的健康鼠标,具有正常鼠标功能及脉搏波采集功能,但用户必须为此更换自己的鼠标,造成一定的不便与浪费。

针对心率监测设备以上缺点以及需要购买鼠标的麻烦,本文设计一款可贴覆在鼠标侧面的柔性智能蓝牙心率检测贴片,对已有鼠标进行功能升级,实时监测电脑用户心率情况,并在用户心率异常时给予报警提示。

1 心率贴硬件电路设计

心率检测贴片硬件系统主要分为6部分:基于 ARM-Cortex-M0 内核的 NRF51822 蓝牙芯片主控电路、光电式心率传感器电路、运放电路、电源稳压模块电路、电量检测电路以及蓝牙天线电路。

硬件各部分的功能如下:基于 ARM-Cortex-M0 内核的 NRF51822 蓝牙控制电路是心率监测贴片设计的核心部分,主要完成心率数据的处理、计算、存储以及蓝牙传输;光电传感器电路与运放电路,主要完成心率信号的采集、滤波、放大和整形;电源稳压电路与电量检测电路,主要完成电压降压、稳压以及电池电量的检测功能;蓝牙天线电路,主要用于增强蓝牙传送和接收信号强度。心率贴片硬件系统的总体结构如图1所示。

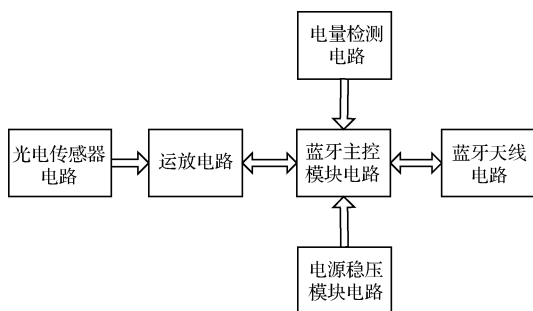


图1 整体总体结构

在本设计中,SON7015 心率传感器要求电压 2.3~6 V,NRF51822 蓝牙芯片要求电压 1.8~3.6 V。而可充电锂电池的电压约为 4.2 V。考虑既要满足系统低功耗以及带负载能力的要求。又要提高电压系统的转换率。因此采用 2.3 V 直流电源供电。在 4.2 V 转换为 2.3 V

的过程中,采用带轻载优化的 DCDC(直流变直流)芯片 TPS62260,避免了传统的 LDO(low dropout regulator,低压差线性稳压器)的输入输出压差大,效率低的问题。

SON7015 是一款低功耗的心率传感器,采用高灵敏度光感 IC 以及 2 个绿色 LED 以及低噪声前置放大器,功耗更低,工作电流低于 0.5 μ A,采用光电式容积描记(PPG)的方式感应人体的心跳信息并加以提取,最后输出心率波形。光电式容积描记(PPG)是利用光电检测技术记录的人体组织中血液容积变化的波形,从中可以分析出心搏功能、心血管状态、动脉硬化程度等反映血管健康情况的生理信息^[8-11]。

NRF51822 蓝牙芯片配备 256 kB 的 Flash 和 16 kB 的 RAM,相比其他蓝牙芯片,具有更大的 Flash 空间,无需外接存储器就可以存储心率数值。同时具备 32 位 ARM Cortex M0 内核,具有更强大的运算处理能力。蓝牙协议栈有单独的存储空间,调用方便快捷。

SON7015 心率检测信号输出波形如图2所示。经滤波放大后波形为图2下方锯齿波形,再经过整形后可以得到图2上方方波波形。每一个矩形脉冲对应人体心跳一次波动,时间间隔约为 800 ms,经放大后的脉冲幅值约为 3.8 V。

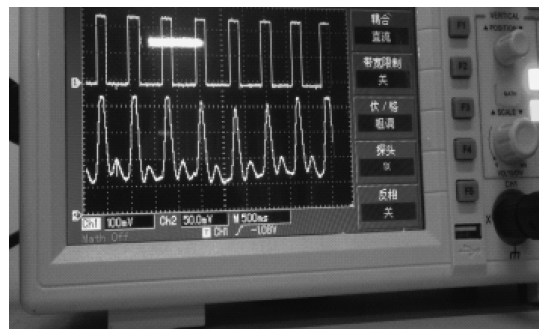


图2 心率检测电路输出波形图

2 心率监测算法简介

心率监测算法是针对图2下方锯齿波波形所设计。锯齿波信号由 SON7015 心率传感器采集到的心率信号滤波放大所得,失真度小,更接近心率信号,通过对该信号的分析处理,主要分析脉搏波形的主波峰、主波谷、重搏波峰等^[12-13],可以得到较为精确的心率数值,具体算法设计如下:

1) 设波形波峰值记为 P ,波谷值记为 T 。每 2 ms 采集心率信号数据一次,及时比较峰值,并更新峰值。250 ms 后确定一次峰值。

2) 设阈值记为 T_{thresh} ,心跳值记为 H ,两个心跳值之间的时间间隔为心拍间隔,记为 B 。

$$T_{\text{thresh}} = (P - T)/2 + T \quad (1)$$

当检测心率信号为电压值超过阈值 T_{thresh} 且小于波峰

值 P ,持续时间大于 $3/5$ 心拍间隔时间的脉冲信号时,该脉冲信号为心跳值。采集第1个心跳值的同时开启计时器 T_{imer1} 和 T_{imer2} ,并记录一次心跳数 X_1 ,当检测出第二个心跳值时记录计时器 T_{imer1} 的值,两次 T_{imer1} 的时间差值则为一个有效心拍间隔时间,若出现一次心跳值后 250ms 内未再次发现心跳值,则将波峰值 P 、波谷值 T 、阈值 T_{thresh} 以及计时器 T_{imer1} 和 T_{imer2} 恢复为初始值。重新开始检测。

3) 计算10个有效心拍间隔 B 的平均值,记为 A_{verage} 。设心拍数记为 N_i ,记录数组1记为 H_{cart1}

$$BP = 60/A_{verage} \quad (2)$$

$$H_{cart1} = [N_1, N_2, N_3, N_4, \dots, N_i] \quad (3)$$

同时利用计时器 T_{imer2} 可以记录采集这10个有效心拍间隔 B 所用时间,记为 T_{ime} 。

4) 设心率计数值为 X_2 ,在每个 T_{ime} 的计时时间里,若检测到电压幅值超过阈值 T_{thresh} 的脉冲信号则心率计数值加1, T_{ime} 结束时,记录检测到的心率数记为 M_i ,设记录数组2为 H_{cart2} 。

$$H_{cart2} = [M_1, M_2, M_3, M_4, \dots, M_i] \times (60/T_{ime}) \quad (4)$$

从获得的 N_i 超过5个开始,执行1维窗口3,重叠1的中值滤波,去掉奇点,取平均值计算每分钟心率 P ,比较序列 H_{cart1} 和 H_{cart2} ,去掉差值较大 H_{cart2} 中的数据,计算 H_{cart1} 序列均值 P_{mean} 获得平均心率,同时记录每秒心跳周期的平均值,用于心跳健康信息对比。比较 H_{cart1} 与均值 P_{mean} ,得到 ΔP 序列,最后心率值 P_{real} 。

$$\Delta P = H_{cart1} - P_{mean} \quad (5)$$

$$P_{real} = \begin{cases} P_{mean} + \Delta(N_{\Delta正} > N_{\Delta负}) \\ P_{mean} - \Delta(N_{\Delta正} > N_{\Delta负}) \end{cases} \quad (6)$$

5) 算法中还添加了3种报警功能。分别为心率异常报警、使用超时报警和关闭传感器报警。

① 心率异常报警

一个健康成年人的心率会稳定在 $50\sim 100$ 次/s。当每分钟的脉搏数(即心率)低于50次时称为心动过缓,高于160次称为心动过速,心动过缓和过速都可能会直接带来生命危险^[14-15]。所以程序设定 $50\sim 120$ 次/s之间的心率值为正常值,当超出这个范围时,心率贴蓝牙芯片会发送一个心率异常报警至APP端,提醒用户注意。

开启心率传感器时由于光线变化问题前3次统计存在较大误差,系统设计时会忽略前3次心率值。

② 使用超时报警

用户可以通过APP端设定检测时间,当使用时间过长时,蓝牙芯片也会发送一个超时报警至手机APP端。

③ 关闭传感器报警

当系统检测到60s内没有检测对象时,系统会关闭心率传感器以降低功耗,同时会发送关闭传感器报警。

心率监测算法流程如图3所示。

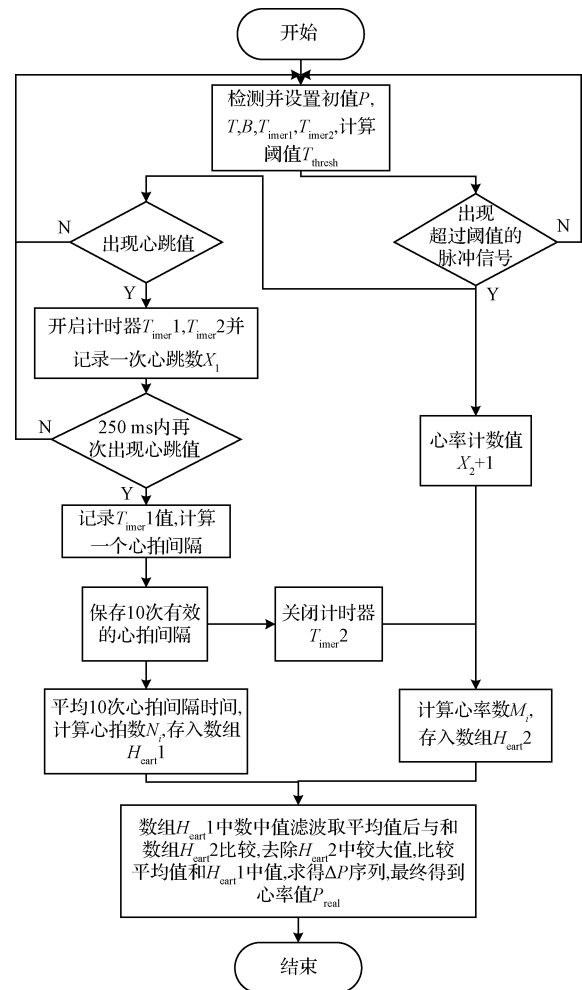


图3 心率监测算法流程

3 心率贴片功能调试

蓝牙心率检测贴片使用基于IOS平台开发的LightBlue进行通信调试。完成蓝牙配对连接后,可以在LightBlue界面看见设备的基础UUID,自定义服务以及相应的特性和描述符,点开自定义的控制服务

在属性write里输入一个十六进制数0x31(由程序自定义的启动信号),点击后LightBlue会将这个数值发送至蓝牙芯片,蓝牙芯片接收到数据后,点亮心率检测传感器。将拇指按于心率传感器上。同时在LightBlue端打开设备心率服务中notify属性就可以接收心率数值。心率贴每6s将计算出的心率值发送至LightBlue端,手机端显示已测的心率值。LightBlue中将心率值以十六进制数的形式显示出来。

为了验证测量结果的准确性,在使用心率贴监测心率的同时采用人工搭脉的方法对同一测试者进行心率计数。分别对10名志愿者进行5min的心率测试。最后结果取平均值,算出每分钟心率数据。实验数据如表1所示。

表1 心率计数对比表

编号	搭脉法计数/次	心率贴计数/次	相对误差/%
1	61	64	4.92
2	67	71	5.97
3	63	66	4.76
4	70	66	-5.71
5	68	64	-5.88
6	71	73	2.82
7	61	63	3.28
8	77	78	1.30
9	88	84	-4.55
10	64	66	3.13

经过实验测量,本文设计的心率算法所得的心率计数误差不超过±6%。测量方法较为准确。

4 结论

本文设计了一款可贴覆在鼠标侧面的柔性智能蓝牙心率检测贴片,设计长度 5.4 cm,宽度 2 cm,最薄的厚度仅为 1 mm,小巧轻便,是具有报警提醒功能的最小心率检测电路设计方案。内部电路板采用柔性压延铜材质制作,具有极好的延展性,可弯折。能适应不同曲面的鼠标侧面,还可以贴覆在其他手持设备上实现实时的心率监测。使用超低功耗蓝牙主控芯片,在 2.3 V 工作电压下收发电流仅 8 mA。光电心率传感器工作电流 0.4 mA,连续收发模式下系统整体电流小于 9 mA。使用 CR2023 纽扣电池(容量 210 mAh)可在连续收发模式下工作 24 h。智能蓝牙心率贴无需佩戴,只需将手指置于光电心率传感器上方即可监测用户心率,使用方便快捷。

参考文献

- [1] 陈妮,张国栋,颜焕欢. 便携式无线光电容积脉搏波采集系统设计[J]. 电子测量技术,2017,40(1):101-104.
- [2] JAKUB P, ILKKA K. Evaluation of wearable consumer heart rate monitors based on photo-plethysmography[C]. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society,2014:3670-3673.
- [3] 石磊,孙朋,庞宇,等. 基于光电容积脉搏波描记法的

心率变异性分析系统前端装置设计[J]. 生物医学工程学报,2016,33(1):14-17.

- [4] 鲍贤亮,陈年海,徐一凡,等. 基于 ZigBee 技术的无线脉搏传感网[J]. 电子测量技术,2015,38(2):105-108.
- [5] 陈帝良,方震,赵湛,等. 集成多生理参数监测的终端设计[J]. 传感器与微系统,2016,35(1):95-97.
- [6] 王东明,张松,杨益民,等. 脉搏波的无创检测方式[J]. 北京生物医学工程,2010,29(4):436-439.
- [7] 柴波,邵常哲,黄森,等. 一种可监测人体脉搏波及心率的健康鼠标[J]. 现代电子技术,2012,35(5):170-172.
- [8] 洋洋,陈小惠,王保强,等. 脉搏信号中有效信号识别与特征提取方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(1):126-132.
- [9] 季忠,刘旭. 基于波形特征和小波的脉搏波特征点识别研究[J]. 仪器仪表学报,2016,37(2):379-386.
- [10] 丑永新,张爱华,杨晓华. 基于改进滑窗迭代 DFT 的动态脉率变异性提取[J]. 仪器仪表学报,2015,36(4):812-821.
- [11] 卮国荃,王咏宁. 人体脉搏测试系统的设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2011,30(5):55-58.
- [12] LIU S, MA H T, CHEN L, et al. A compensation method for blood pressure estimation by pulse transit time[C]. 2013 IEEE Region 10 Conference, TENCON 2013, IEEE, 2013:1-3.
- [13] WOO S H, YUN Y C, KIM D J, et al. Tissue-informative mechanism for wearable non-invasive continuous blood pressure monitoring[J]. Scientific Reports,2014(4):6618-6618.
- [14] 郭晏玮,王新玲. 基于蓝牙传输的心率监测系统的设计[J]. 电子测试,2011(8):84-87.
- [15] 刘俊微,庞春颖,徐伯鸾. 光电脉搏血氧仪的设计与实现[J]. 激光与红外,2014,44(1):50-55.

作者简介

胡金通,1993 年出生,工学硕士在读,主要研究方向为单片机技术与应用、数字图像处理等。

E-mail:hjt2218@163.com

杨森,1978 年出生,工学博士,副教授,主要研究方向为电子通信、图像处理和水下视觉等。