

基于 CC2541 的脉搏测量仪的设计

何文德 杨凤年 刘华富

(长沙学院数学与计算机科学系 湖南 长沙 410003)

【摘要】设计了一款基于蓝牙低功耗 BLE CC2541 和**红外脉搏传感器 HKG-07A** 的脉搏测量仪,能在液晶屏上显示脉搏数,可将脉搏数据保存在缓存中,还可通过蓝牙将脉搏数发送到手机 APP 上。CC2541 作为核心处理器,通过其端口中断测量脉搏波的周期,实现脉搏数的计算和传送。实验结果表明,该脉搏测量仪具有体积小、功耗较低、操作简便等特点,性能和精度能满足普通用户的脉搏测量需求。

【关键词】蓝牙低功耗;CC2541;脉搏测量;OSAL

0 引言

人体的动脉血管随心脏的收缩与扩张而产生周期搏动,这种现象称为脉搏,脉搏在血管内传播形成脉搏波。脉搏是人体主要的生命体征,脉搏频率与心脏跳动频率相同,是体现心脏病患者健康程度的重要指标^[1]。目前,脉搏测量主要由医护人员在医院完成,面向普通用户使用的脉搏测量器械大多只能现场查看测量结果,无法远程查看和长期保存,不利于相关数据的汇集、追溯和大数据分析。因此,方便普通用户使用、监测数据可上传至网络保存的便携式脉搏测量仪具有广泛的社会需求。

本文提出一种采用光电传感器、基于 CC2541 的脉搏测量仪的设计方案。该脉搏测量仪体积小,可随身携带,利用低功耗蓝牙通信技术,可配合手机 APP,在手机上显示脉搏数和脉搏数折线图,若配合建立健康云平台,脉搏信息可通过手机 APP 上传至云平台长期保存。

1 系统方案设计

脉搏波的检测方式及检测传感器的选择对检测结果影响很大。目前,脉搏波检测方式有桡动脉压力检测和指端容积检测。脉搏波无创检测采用的传感器类型包括压力传感器、压电传感器和光电传感器(包括反射式和透射式)。虽然压电传感器和光电传感器都能采集良好的脉搏波信号,但是,压力传感器由于误差大、噪声大,以及难以精确定检测部位等原因已被逐渐淘汰。此外,临床实验证实,桡动脉压力脉搏波检测容易受检测部位和检测个体差异的影响,而指端容积脉搏波具有检测信号稳定、重复性好、操作简便等特点^[2]。

该脉搏测量仪利用光电传感器、指端容积脉搏波检测方式采集脉搏信号后,通过 SoC(片上系统)检测和处理后,在液晶屏上显示脉搏数,并将脉搏数保存在缓存中,可通过蓝牙通信将脉搏数发送到手机 APP,手机 APP 再通过无线通信方式,将脉搏数、个人运动信息等健康信息发送到云端服务器,存入健康信息数据库中。

2 硬件设计

测量仪硬件主要由电源模块、CC2541 及其外围电路(含蓝牙天线、按键和指示灯等)、液晶显示器、**HKG-07A 红外脉搏传感器**组成。其中, **HKG-07A** 是合肥华科电子技术有限公司生产的采集指端容积脉搏波的**光电脉搏传感器**。CC2541 是德州仪器(TI)2013 年推出的低功耗蓝牙 SoC,能充分满足消费类医疗、运动健身、家庭自动化等领域对蓝牙的应用需求。脉搏测量仪的

硬件架构如图 1 所示。

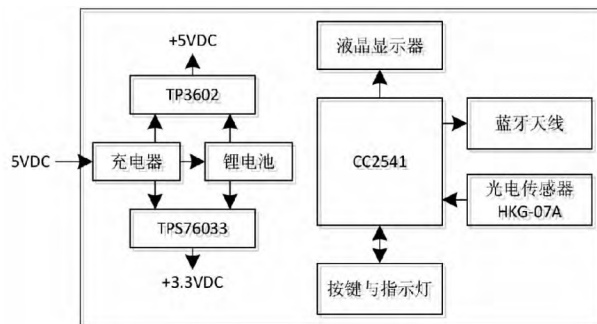


图 1 脉搏测量仪的硬件架构

2.1 脉搏信息的采集

HKG-07A 红外脉搏传感器通过红外线检测指尖血容积变化,输出与脉搏跳动同步的脉冲信号,该信号可直接和单片机的 I/O 口连接。将传感器的输出信号端连接到 CC2541 的外部中断输入管脚,传感器每感应到一次脉动,CC2541 就产生一次外部中断。因此,CC2541 在一分钟内的产生的外部中断次数,就是人体每分钟脉搏跳动的次数。

2.2 单片机模块及外围接口

CC2541 及外围电路是整个脉搏测量仪的核心。CC2541 将先进的 RF 收发器和一个增强型 8051 MCU、片内可编程 Flash、8kBRAM 和其它功能强大的外设组合在一起。CC2541 的电源电压范围为 2 V~3.6 V,适合于需要超低能耗的应用场景,有多种运行模式,运行模式间较短的转换时间进一步使低能耗变为可能。还拥有 23 个通用 I/O 口和 2 个 UART、3 个通用定时器、2 个具有 LED 驱动功能的 I/O 引脚等,构成了一个集成度高且完整的片上系统^[3]。

2.3 电源模块设计

本测量仪采用锂电池供电,首先需要锂电池充电电路,在充电期间,外部输入的 +5VDC 在为锂电池充电的同时,也可为其它需要 +5VDC 的电路供电,因此即使无锂电池也可靠外接电源工作。锂电池一般输出电压为 3.7VDC,在锂电池供电时,采用 TP3602 芯片为 **HKG-07A 红外脉搏传感器**提供 +5VDC 电源,采用 TPS76033 芯片为 CC2541 提供 +3.3VDC 电源。这两款芯片的特点是封装体积小,外围电路简单,转换效率和精度高。

3 系统软件设计

CC2541 能用单芯片实现 BLE 蓝牙协议栈的所有组件和应用程序。TI 提供了针对单模式蓝牙低功耗 (BLE) 解决方案的 V4.0 协议栈, 该协议栈包含了蓝牙 4.0 BLE 协议所规定的基本功能, 这些功能都是以函数的形式实现的, 为了便于管理这些函数集, TI 蓝牙 4.0 协议栈内加入了一个小的操作系统, 称为 OSAL(OS Abstraction Layer)。用户可借助 TI 提供的开发工具, 用 C 语言快速开发应用程序。

3.1 主函数 main

在 C 代码中, 程序的入口点为主函数 main。主函数 main 的流程图如图 2 所示。进入 main 函数后, 程序依次执行时钟等硬件初始化、冷启动(关闭 led 和中断)后板级初始化、驱动(按键、LCD、ADC、USB、UART 等)初始化、Flash 存储 SNV 初始化、OSAL 初始化、开启全局中断、设置标志初始化完毕、启动低功耗模式和启动 OSAL 等功能模块, 而 OSAL 作为调度核心, BLE 协议栈、profile 定义、所有的应用都围绕它来实现。其实, OSAL 并非操作系统, 而是一个允许软件建立和执行事件的循环。函数 osal_start_system 内部是一个死循环, 一直调用函数 osal_run_system() 函数实现代码如下:

```
voidosal_start_system( void )
{
    #if ! defined ( ZBIT ) && ! defined ( UBIT )
    for(;;) // 无限循环
    #endif
    osal_run_system();
}
```

在函数 osal_run_system 中, OSAL 检测每个任务是否有事件发生, 如果有则执行相应的任务处理相应的事件, 如果无事件需要处理且开启了低功耗模式, 则系统就进入低功耗模式。在 OSAL 中, 事件与任务的对应关系由指针数组 tasksArr 来决定, 该数组的成员是任务的执行函数, 按照任务的优先级排序, 并且在函数 osalInitTasks 中初始化, 且每个任务都有一个对应的初始化函数, 并传递了一个 taskID, 此 ID 从 0 开始自增, 初始化的顺序和任务数组的定义顺序必须相同, 这就保证了给任务发生消息或事件时能够准确的传递到相应的任务处理函数。

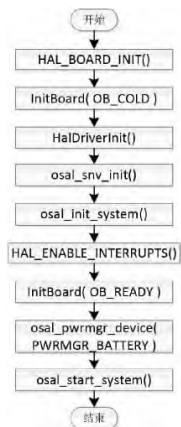


图 2 主函数流程图

3.2 蓝牙连接

CC2541 上电初始化完成后, 作为蓝牙从机开始循环广播 MAC 地址和设备名称等蓝牙信息, 等待智能手机的连接请求, 若有智能手机请求连接, 则进入握手环节, 若握手失败, CC2541 返回广播蓝牙信息, 若握手成功, 则表明连接已经建立, 蓝牙接口进入正常工作状态。

3.3 脉搏数测量

脉搏数通过测量传感器 HKG-07A 输出方波周期的方法获得。首先利用 HKG-07A 输出方波的上升沿, 触发 CC2541 的端口中断, 而两次相邻端口中断之间的时间间隔即为方波周期 t, 即脉搏信号周期。可通过定时器中断来测量方波的周期。

编程时, 首先要对定时器中断和端口中断进行初始化, 使定时器每 20 毫秒产生一次中断以便测量脉搏周期, 定义一个全局整型变量 n 来保存定时器中断发生的次数, 再编写相应的中断服务程序。其中, 定时器中断服务程序主要实现该中断发生的次数 n 值加 1; 端口中断服务程序则先读取定时器中断的次数 n, 计算脉搏信号周期 t 的公式为 $t = 0.02 \times n$ (秒), 然后将 n 清零以便为下一个脉搏周期计时做准备。

利用脉搏信号周期 t, 可计算出脉搏数 m, 计算公式为 $m = 60/t$ (次/分钟)。

采用 LED 灯指示脉搏数所处的范围: 如果脉搏数正常, 那么绿色指示灯亮, 否则红色指示灯亮, 若偏离正常值较多, 红色指示灯闪烁。

4 结论

采用蓝牙低功耗 BLE CC2541 芯片和红外脉搏传感器 HKG-07A 设计的脉搏测量仪, 不仅能在液晶屏上显示脉搏数, 而且可将脉搏数保存并通过蓝牙通信将脉搏数发送到手机 APP 上。CC2541 作为核心处理器, 通过测量 HKG-07A 输出脉搏波的周期, 计算出脉搏数, 还有 LED 灯指示脉搏数正常与否。实验结果表明, 该脉搏测量仪具有体积较小, 功耗较低, 操作简便等特点, 性能和精度能满足普通用户的脉搏测量需求。

参考文献:

[1] 黄世林, 孙明昇. 中医脉象研究[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: p25-26.
 [2] 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, 29(4): 436-439.
 [3] Texas Instruments. CC253x/4x User's Guide (Rev. F)[EB/OL]. (2014-04-09)[2014-04-09]. <http://www.ti.com/lit/ug/swru191f/swru191f.pdf>.

作者简介:

何文德(1964-), 男, 汉族, 湖南常德人, 工学硕士, 高级工程师, 研究方向为物联网、智慧健康。