

注：国家自然科学基金项目（项目编号：60971075, 61002047）；广东省自然科学基金项目（项目编号：S2011010005194）；汕头大学科研基金项目（项目编号：NTF10010, ITC12002）。

摘要：根据人体脉搏信号特征，以 **HKG-07B 脉搏信号传感器** 为基础，设计出一套便携式的人体脉搏生理信号数据采集系统。系统由采集板和上位机两部分构成，采集板包含电源供应模块、传感器接口、抗混叠滤波器、STM32 单片机系统等电路。上位机采用 C# 语言编写，能通过 RS232 串口或蓝牙适配器接收采集板的数据，在软件界面上绘图显示，并可以保存数据导入 Matlab 分析。本系统具有体积小、重量轻、成本低、携带方便等优点，在医疗监护中具有较好的应用价值。

关键词：**脉搏传感器**；STM32 单片机；生理信号采集

中图分类号：TP212.9 文献标识码：A 文章编号：1006-883X (2013) 08-0024-04

收稿日期：2013-05-28

基于 **HKG-07B 传感器** 的人体脉搏信号采集系统设计及实现

余泽峰 王军 林艺文 陈耀文

汕头大学工学院，广东汕头 515063

一、引言

脉搏信号是人体生理信号的一个重要组成部分，它包含了大量的具有临床医学参考意义的信息。准确、有效地采集和分析处理脉搏波信号，对利用脉搏信号观测人体日常生理信息变化和简便的日常健康监护有着重要实际意义^[1]。

本文将研制一套便携式的脉搏信号采集系统，系统采用 **华科电子 HKG-07B 脉搏信号传感器** 获取指端脉搏信号，经抗混叠滤波器滤波及单片机采集后，将数据上传至上位机绘图显示并保存成为 Matlab 格式的数据文件，可以使脉搏信号的采集更加方便，减少系统对环境的依赖性。

二、系统设计

本系统由采集卡和上位机构成。采集者佩戴 **HKG-07B 传感器**，传感器输出的信号经抗混叠滤波器

后由 STM32 单片机的 A/D 转换器采集，数据经编码后通过 RS232 接口或蓝牙适配器将数据传输给上位机。上位机软件接收到数据后，实时显示波形，并可以保存为文本形式的数据文件供 Matlab 读取，方便后期数据的研究工作。^[3] 系统框图如图 1 所示。

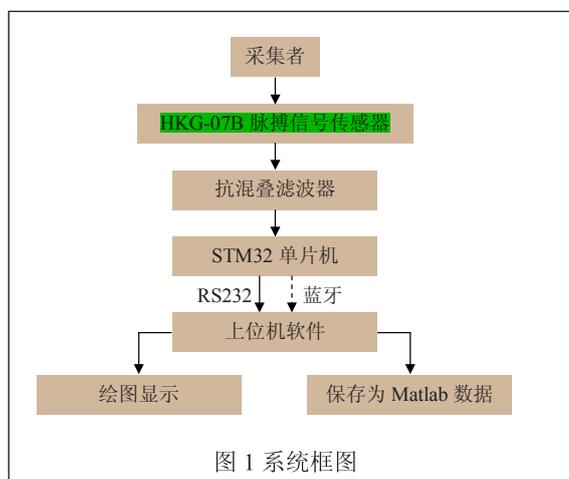


图 1 系统框图

三、硬件设计

1、电源部分设计

采集卡采用便携式电源适配器或电池组进行供电，输入电压范围 7.5V-12V，输入电压经 AMS1117 稳压芯片和 ICL7660 负压产生芯片转换后，产生 3.3V 电压给单片机及通信模块供电以及 ±5V 给模拟部分的电路供电。

2、脉搏传感器选取

脉搏传感器采用的是 **华科电子 HKG-07B 脉搏信号传感器**。

HKG-07B 红外脉搏传感器利用特定波长红外线对血管末端血液微循环产生的血液容积变化的敏感特性，检测由于心脏的跳动，引起手指指尖的血容积发生相应的变化产生的信号^[2]。经过信号放大、调理、整形输出同步于脉搏跳动的脉冲信号，从而计算出脉率。传感器的工作电压为 5V，输出电压约为 0.2V 到 1V 左右。目前，**HKG-07B 红外脉搏传感器**主要用于临床上脉率的计数、监测等。

3、抗混叠滤波器设计

抗混叠滤波器采用 4 阶有源正反馈增巴特沃斯滤波器，使得信号在阻频带边上幅度衰减得更陡峭，原理图如图 2 所示。设计滤波器的频率转折点为 500Hz，通带波动为 0.1dB，根据巴特沃斯 LPF 归一化表，滤波器的器件选择^[4]：

$$C_5=C_6=C_7=C_8=47\text{nF}$$

$$R_{17}=R_{18}=R_{20}=R_{21}=\frac{1}{2\pi \times 500\text{Hz} \times 47\text{nF}} \approx 6.8\text{k}\Omega$$

$$R_{12}=R_{14}=10\text{k}\Omega$$

$$R_{15}=\left(2-\frac{1}{0.618034}\right) \times 10\text{k}\Omega \approx 3.83\text{k}\Omega$$

$$R_{13}=\left(2-\frac{1}{1.618034}\right) \times 10\text{k}\Omega \approx 13\text{k}\Omega$$

4、单片机系统及通信接口设计

数据采集卡的主控芯片采用意法半导体公司的 STM32F103C8T6 单片机。该单片机具有 20kByteRAM 和 64kByteFLASH，能以 1MHz、12 位精度进行 A/D 采样。单片机串口 USART1 与 MAX232 芯片连接，将串口信号从 TTL 电平转为 RS232 电平^[5]。串口

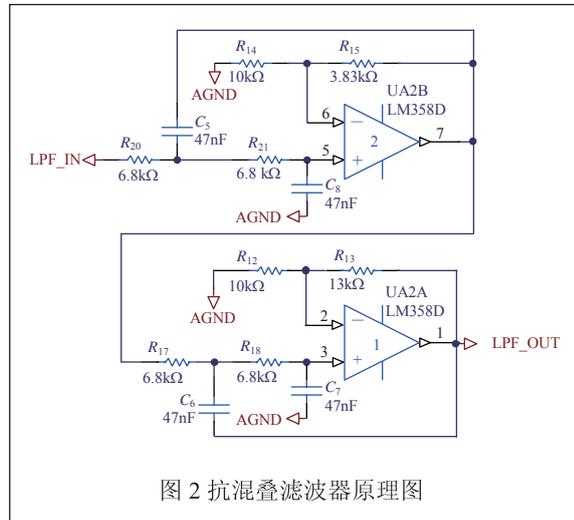


图 2 抗混叠滤波器原理图

USART2 与通深圳博陆科电子 BLK-MD-BC04-B 蓝牙模块连接，该模块遵循 V2.1+EDR 蓝牙规范，可通过指令集对模块进行配置以及控制数据传输。

四、软件设计

1、数据格式及协议

人体的心率一般为 60 ~ 100 次 / 分，婴儿的心率可达到 150 次 / 分 (2.5Hz)，一个脉搏的持续时间为 400ms。为了使获得的波形包含足够大的信息量，系统设计时将单片机的采样速率定为 1kHz，采样深度为 12 位比特，用两个字节的空进行数据保存。单片机程序与上位机软件通信时，通过特定的协议进行数据传输。通信速率为 115200bit/s。通信协议以帧为单位，帧结构包括帧开始标志，数据长度，数据域，校验码，帧结束标志。其中校验码为单字节，数值等于从帧开始标志到数据域最后一位的加和取 256 的模。通信时必须接收到一个完整帧包括校验码正确才能认为数据时可用的，否则做弃帧处理^[6]。

2、单片机软件设计

单片机部分的软件采用 C 语音编写，对底层硬件的操作则直接通过 STM32 的硬件函数库实现。串口采用中断方式实现自动发送并使用两个数据缓冲区。当一个缓冲区做数据采集时，另一个缓冲区做数据传输，以保证单片机可以不间断上传数据至上位机。

3、上位机软件设计



图 3 采集板实物图

上位机软件采用 C# 软件编写，框架包括以下几个部分：串口设备的控制、数据的获取及帧解析、脉搏信号数据提前和波形显示、采集者信息登记及数据保存。串口的控制采用 SerialPort 控件进行操作，软件启动时先扫描电脑存在的串口，并在下拉菜单中显示。启动对应的串口后，开始对接收的数据进行监听，当串口接收到数据时触发中断程序。

为保证尽可能将波形展现出来，上位机采用动态比例的方法显示波形。具体作法是：先对接收到的脉搏数据串进行最大值和最小值抽取，再根据下述公式将数据中的点映射到显示区域的点，使波形能完整直

观地重现出来。

$$V_{dis} = \frac{L_{dis} \times (V_{recv} - V_{min})}{V_{max} - V_{min}} \quad (1)$$

其中， L_{dis} —显示区域高度；

V_{recv} —接收到数值；

V_{dis} —显示的数值。

五、实物制作和测试效果

根据前面设计的硬件原理图制作 PCB 板，并焊接器件进行调试，采集卡在焊接完所有器件后，通过串口线与电脑连接，并进行测试，实物电路如图 3 所示。若使用蓝牙传输，需在电脑端使用蓝牙适配器，并主动与电路板的模块进行配对。配对成功后电脑端会生成一个新的串口号，使用该串口就能与采集卡进行串行数据传输。

实验邀请两位年龄分别为 25 和 20 岁的志愿者参与脉搏信号采集。实验方法为使用 **HKG-07B 传感器**和本文设计的采集卡采集脉搏信号，同时使用上位机采集波形数据，并在 Matlab 软件中重新绘制波形图。为了验证采集波形的正确性，将传感器与示波器连接，采集原始信号做对比。示波器采用的是泰克 TDS1002。测试者的原始波形和系统采集的波形对比，如图 4 所示。

六、结束语

研究的实验表明，本信号采集系统能将脉搏传感器的信号以低失真度的方式进行数据采集和保存，同时，本系统具有体积小、重量轻、成本低、携带方便等优点，在实时医疗监护中具有较好的应用价值。同时，**HKG-07B 红外脉搏传感器**利用红外线检测由于心脏跳动而引起的手指尖内微血管容积发生的变化，经过信号放大、调理、整形输出完整的脉搏波电压信号，本研究可进一步探索脉搏信号与生理疾病特征的关系，可应用于无创心血管功能检测、妊娠征检测、中医脉象诊断等。

参考文献

[1] 黄世林, 孙明异. 中医脉象研究 [M]. 北京: 人民卫生出版

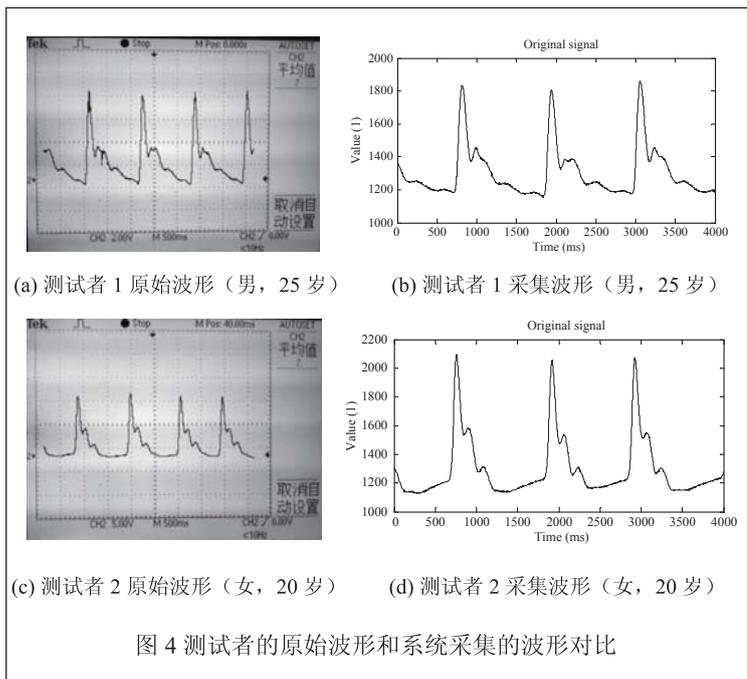


图 4 测试者的原始波形和系统采集的波形对比

社, 1991: p25-26.

[2] Vishal Nangalia, David R Prytherch and Gary B Smith. Health technology assessment review — Remote monitoring of vital signs current status and future challenges[J]. Crit Care, 2010, 14(5):233.

[3] 张爱华, 丑永新. 动态脉搏信号的采集与处理 [J]. 中国医疗器械杂志, 2012,33(02):79-84.

[4] 远坂俊昭著, 彭军译. 测量电子电路设计 - 滤波器篇 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.6:p40-47.

[5] 潘方. RS 232 串口通信在 PC 机与单片机通信中的应用 [J]. 现代电子技术. 2012,35(13):69-71.

[6] 刘跃军, 苏静. 基于串口通讯的打包数据的接收方案 [J]. 微计算机信息. 2007,24(5-3):118-119.

Design and realization of human pulse signal acquisition system based on HKG-07B sensor

YU Ze-feng, WANG Jun, LIN Yi-wen, CHEN Yao-wen
(College of Engineering, Shantou University, Shantou 515063, China)

Abstract: According to the characteristics of human pulse signals, a portable acquisition system for physiological pulse signals of human based on pulse signal sensor HKG-07B is proposed, which includes a signal acquisition board and a host computer. The signal acquisition board consists of power supply, sensor interface, anti-aliasing filter and STM32 MCU circuit. The host computer, the

software of which is written in C# language, is connected to the target board through RS232 interface or bluetooth adapter. The host computer could display the data in curve on the software interface, save them, and import them into Matlab for analysis. This system has the features of small size, light weight, low cost and portable package. The experiments demonstrates the application value in the real-time medical monitoring fields.

Keywords: pulse sensor; STM32 MCU; physiological signal acquisition

作者简介

余泽峰, 汕头大学工学院, 硕士研究生, 主要研究方向: 医学信号处理

王军, 汕头大学工学院, 副教授, 研究方向: 模式识别、自动测试

林艺文, 汕头大学工学院, 助教, 研究方向: 嵌入式系统及应用

陈耀文, 汕头大学工学院, 教授, 研究方向: 生物医学信号处理

通信地址: 广东省汕头市大学路 243 号汕头大学科技楼房 613 室

邮编: 515063

邮箱: ywchen@stu.edu.cn

SIAE 8TH 山东国际智能生产、自动化及动力传动展览会
SDIE intelligent manufacturing, automation and power transmission

迎合市场需求 缔造对口商机 4006-555-968



PTC ASIA

2013亚洲国际动力传动与控制技术展览会
POWER TRANSMISSION AND CONTROL 2013
时间: 2013年10月28-31日 地点: 上海新国际博览中心

可在此
报名

海名国际会展集团·济南信展展览有限公司
地址: 山东省济南市华龙路28号智能园 511、602室
邮编: 250 100
电话: 86+531-8816 0493
传真: 86+531-8816 0483
电邮: hmgroup2005@163.com
网址: http://www.simte.net

- ★ 工业自动化、仪器仪表展区
控制系统, PLC, SCADA 仪器仪表: 变频器、传感器
- ★ 动力传动展区
机械传动元件 流体动力系统及元件、液压元件

海名国际会展集团 Haiming International Exhibition Group 济南信展展览有限公司 JINAN XINZHAN EXHIBITION CO., LTD