

一种人体脉搏远程医疗监测系统设计与实现

孙松丽, 周 军, 瞿志俊, 倪文彬, 闵晨阳

(南京理工大学泰州科技学院 智能制造学院, 江苏 泰州 225300)

摘要: 脉搏是人体重要的生理参数和了解人体生理状况的重要指标; 互联网+时代下, 远程医疗监护已成为研究热点; 基于光电容积法脉搏波检测原理, 以 Pulse Sensor 脉搏传感器为基础, 以 STM32 单片机为控制核心, 设计了便携式人体脉搏检测仪, 可完成脉搏信号的实时采集与本地 LCD 触摸屏显示; 基于图形化虚拟仪器工程设计平台 LabVIEW, 设计了远程社区医疗监测系统, 可完成远程脉搏信号的接收、显示、存储和回放; 两者基于 TCP/IP 网络协议, 共同构成了人体脉搏远程医疗监测系统; 该系统的成功初步搭建, 为人体生理信号远程医疗监测研究提供了新的设计思路和方向。

关键词: 脉搏检测仪; 远程; LabVIEW; 医疗监测

Design and Realization of Human Pulse Remote Medical Monitoring System

Sun Songli, Zhou Jun, Qu Zhijun, Ni Wenbin, Min Chenyang

(School of Intelligent Manufacturing, Taizhou Institute of Science & Technology, NJUST.

Taizhou 225300, China)

Abstract: The pulse is an important physiology parameter of human body and an important index to comprehend the physiological condition of human body. At Internet plus age, remote medical care has become a hot research topic. A portable tester for pulse signals of human body based on the principle of photoelectric volume method is proposed, which uses Pulse Sensor as pulse signal sensor and uses STM32 microcontroller as the control core. This tester can complete the real-time acquisition of pulse signals and the touch screen display of local LCD. Remote community medical monitoring system is developed on an engineering design platform named LabVIEW, which is a virtual instrument based on graphic language. This system can complete the reception, display, storage and playback of the remote pulse signals. Based on TCP/IP network protocol, both of them constitute the human pulse remote medical monitoring system. The success of system preliminary build provides a new design idea and direction for the study of human physiological signal remote medical monitoring.

Keywords: pulse tester; remote; LabVIEW; medical monitoring

0 引言

利用当前日益普及的网络技术和通信技术开发远程医疗监测系统, 将人体心电、脉搏、血压等生理体征参数监测从医院扩展到社区、家庭, 既避免了一些老年人、慢性病患者经常去医院进行常规检查的不便, 也满足了忙碌职场人士对健康保健的需求, 同时还有利于改善整个社会医疗资源的均衡利用, 更好地服务大众^[1]。远程医疗监测有助于推动传统有病就医治疗模式向以社区家庭为中心、预防监护为主的医疗模式的转变, 具有非常重要的现实意义和推广价值。在人体诸多体征参数中, 脉搏是最常见重要的生理参数, 是心脏和血管状态等重要生理信息的外在反馈依据。脉搏检测无论是对于临床诊断、病人的监护还是对于脉搏医学研究, 均非常重要^[2]。

因此, 本文以人体脉搏检测为切入点, 开发了一种远程医疗监测系统。该系统能动态实时跟踪了解监护对象的脉搏健康状况, 在异常情况发生时提出预警或及时救治, 具有广阔的应用前景。

1 系统总体架构

本系统基于 TCP/IP 网络协议, 由基于 STM32 的便携式人体脉搏检测仪和基于 LabVIEW 的远程社区医疗监测系统平台共同组成。前者作为客户端, 后者作为服务器端。监测对象在指端佩戴脉搏心率传感器, 通过便携式脉搏检测仪完成脉搏信号的实时采集、处理、本地客户端显示以及脉搏数据的远程传输, 远程社区医疗监测系统平台接收检测仪发送的脉搏数据并将其显示或存储起来, 同时根据预设值提出报警。系统总体架构示意如图 1 所示。

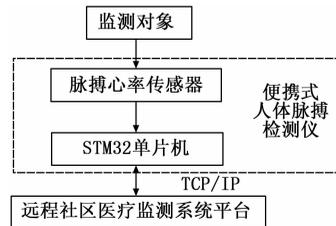


图 1 系统总体结构框图

2 便携式脉搏检测仪

2.1 总体设计

便携式脉搏检测仪总体结构如图 2 所示, 硬件基于以 STM32F407ZGT6 芯片为控制核心的 STM32 开发板, 通过 Pulse Sensor 脉搏心率传感器采样人体脉搏信号, 经滤波、整形、放大后输出模拟电压信号, 通过主控器内部 ADC 将其处

收稿日期: 2017-07-20; 修回日期: 2017-08-29。

基金项目: 江苏省泰州市科技支撑计划项目(社会发展)(TS201519、TS201620)。

作者简介: 孙松丽(1975-), 女, 山东莱州人, 学士, 副教授、高级工程师, 主要从事机电一体化、机电控制系统方向的研究。

理成数字信号, 在 ATK TFT LCD 触摸屏上显示实测值及波形, 同时利用配置的 WiFi 模块经由路由器通过 TCP/IP 与远程社区医疗监测平台进行通信, 实现脉搏信号的远程数据传输、显示、保存与回放。

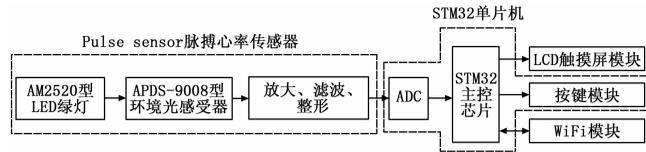


图 2 便携式人体脉搏检测仪结构示意图

2.2 人体脉搏测量

传统的脉搏测量主要有 3 种方法, 从心电信号中提取、测量血压时利用压力传感器测到的波动计算得出、光电容积法。利用光电容积脉搏波描记进行无损检测是生物医学研究中的一个典型应用, 具有操作简单、无损伤、性能稳定性高和适应性强等特点^[3]。光电容积脉搏波 (photo plethysmography, PPG) 检测方法主要分为反射式和透射式, 其中反射式测量法成为获取脉搏波并对其进行分析处理的技术热点^[4]。反射型脉搏传感器的发光管和光敏接收器件置于所测量组织同侧, 通常采用对动脉血中氧和血红蛋白有选择性的一定波长 (500 nm ~ 700 nm) 的发光二极管作光源, 采用光电变换器接收经人体组织反射的光线并将其转变为电信号。

基于红外光谱和红光作为光源测量获取脉搏波的设计方案很多, 但是也存在一些问题。有研究分析了绿光作为光源测量脉搏波的特性, 发现与红外光和红光相比较, 绿光受皮下组织的干扰更小, 获取的脉搏波波形更加完整^[5], 并以波长为 523 nm 的绿色二极管作光源, 开发了基于绿光的可穿戴光电容积式脉搏波测量系统^[6]。

本文选用的 Pulse Sensor 脉搏传感器则是一种采用峰值波长为 515 nm 的 AM2520 型绿色 LED 作为光源, 利用光电容积法测量脉搏信号的光电反射式模拟量传感器。同时, 它以感受峰值波长为 565 nm 的 APDS-9008 型环境光感受器作为光接收器。由于光源与光接收器峰值波长相近, 灵敏度较高。此外, 脉搏信号取自人体表面, 具有信号源内阻较大、信号微弱且背景噪声强的特点^[7], 因此增加了低通滤波、整形和放大功能, 输出的电压信号为 0~3.3 V。处理后的信号可以很好地被 STM32 的 AD 采集到。实际测量时, 将传感器佩戴在手指、耳垂等人体皮肤浅部微动脉处即可。图 3 为 Pulse Sensor 脉搏传感器实物图。



图 3 Pulse Sensor 脉搏传感器实物图

2.3 数据采集与处理

STM32F40X 系列大容量芯片带有 3 个 ADC 控制器, 将 Pulse Sensor 脉搏传感器模拟电压输出端与 ADC1 的 PA5 端口硬件连接, 通过内部 ADC 采集该通道上的电压值, 然后转换

为数字信号。数据的采集与处理主要通过软件实现。

主程序流程图如图 4 所示。单片机上电复位以后, 程序开始初始化, LCD 触摸屏显示初始界面, 之后主程序将循环更新新显示界面, 在定时器达到设定时间后, 单片机产生中断, 在中断程序中, 进行 ADC 数据采集与处理, 并将处理后的数据值及波形 (描点连线) 显示在 LCD 界面上。人体的心率一般为 (60-100) 次/分, 婴儿的心率可达到 150 次/分, 一个脉搏的持续时间为 400~1 000 ms^[8]。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频率定为 500 Hz, 即 2 ms 中断采样一次。采样深度为 12 位, 用两个字节的空进行数据保存。

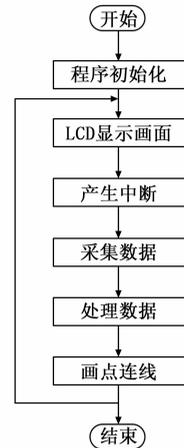


图 4 主程序流程图

每 2 ms 采集到的数据进行处理后可以得到心率或脉搏值 BPM (beats per minute)。此环节中最关键点是识别每一个有效脉搏波并记录相邻两个脉搏波之间的时间差 IBI (time between heartbeats in ms)^[9], 然后通过公式 $BPM = 60 * 10^3 / IBI$ 计算得出脉搏。软件编程思路是首先查找脉搏波波峰、波谷, 然后确认一个有效脉搏波。为消除脉搏波中切中峡和重搏波对脉搏周期信号识别的干扰, 以中间值作为每个脉搏周期时间记录的参照点, 其中, 中间值 = (波峰值 - 波谷值) / 2 + 波谷值。

记录波峰波谷的代码如下:

```
signal = H_ADC_GetValue(&hadc1); //记录采样值
samplingtime += 2; //每 2ms 采样一次, 记录采样时间
num = samplingtime - lastbeattime; //num 用来记录本次采样时间与上次心跳时间之差
H_ADC_Start(&hadc1); //复位 ACD 转换
if(signal < thresh && num > (IBI * 3/5)) // thresh 为上次心跳记录的中间值 thresh = (P-T)/2 + T
if (signal < T)
T = signal; //T 即为波谷值
if(signal > thresh && signal > P)
P = signal; //P 即为波峰值
```

2.4 脉搏信号传送

采集到的脉搏波信号需要远程传送给社区医疗系统平台进行实时显示与监测, 此功能通过配置 ATK-ESP8266-12F WiFi 模块来实现。ATK-ESP8266-12F WiFi 模块是一款高性能的 UART-WiFi (串口转无线) 模块, 采用串口与 MCU 通信, 内嵌 TCP/IP 协议, 能够实现串口与 WiFi 的转换。

WiFi 模块原理图见图 5，通过 P1 接口与 STM32 开发板直接连接。通过此模块，传统的串口设备经过串口配置，可以通过互联网传送数据。

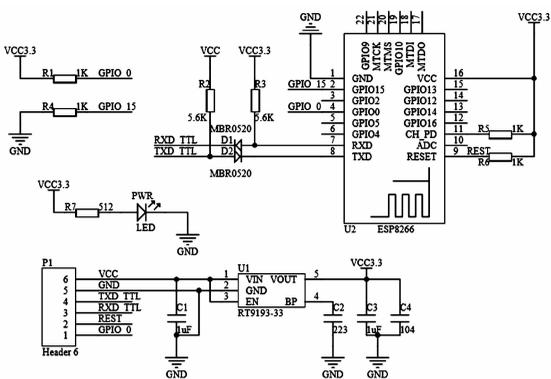


图 5 ESP8266 模块原理图

ATK-ESP8266 WiFi 模块支持 STA/AP/STA+AP 三种工作方式。STA 模式，ESP8266 模块通过路由器连接互联网，电脑通过互联网实现与设备的远程通信；AP 模式，默认 ESP8266 模块为热点，电脑直接与模块通信，实现局域网无线控制；STA+AP 模式，既可以通过路由器连接到互联网，并通过互联网与设备通信，也可作为 WiFi 热点，将其他 WiFi 设备连接到此模块，进而实现局域网和广域网的无缝切换^[10]。根据本设计功能实现需要，采用 STA 模式。在 STA 模式下，根据应用场景不同，可以设置 3 个子模式：TCP 服务器、TCP 客户端、UDP。此处选择 TCP 客户端模式。在简单的硬件连接完成后，通过一系列 WiFi 模块的 AT 指令（基础指令、功能指令、TCP/IP 工具箱指令）应用，便可实现串口无线 STA 模式、TCP 客户端的配置及数据传送。配置流程如表 1 所示。

表 1 串口无线 STA 模式、TCP 客户端配置流程表

发送指令	作用
AT+CWMODE=1	设置 WiFi 模块工作模式为 STA 模式
AT+RST	重启模块并生效
AT+CWMJAP="ALIENTEK","12345678"	设置连接对象路由器 ssid 和 password
AT+CIPMUX=0	开启单连接
AT+CIPSTART="TCP", "192.168.1.xxx", 8080	建立 TCP 连接到"192.168.1.xxx", 8080
AT+CIPMODE=1	开启透传模式
AT+CIPSEND	开始传输

需注意的是：如果需要模块上电自动连接到某个 IP 并进入透传模式，此时需要在模块连接到路由器之后，发送 AT+SAVETRANSLINK=1,"192.168.1.xxx",8080,"TCP",设置模块为上电自动连接到 TCP Server（远程社区医疗中心监测平台）：192.168.1.xxx,8080，并直接进入透传模式。

3 社区医疗监测平台

社区医疗监测平台采用 LabVIEW 应用软件设计实现。LabVIEW 是美国国家仪器公司（NI）推出的虚拟仪器开发平台，是计算机辅助测试（CAT）领域的一项重要技术。LabVIEW 使用图形化编程语言 G 编写程序，产生的程序是框

图形式^[11]。基于 G 语言的 LabVIEW 提供了功能强大的函数模块库，包含数学、仪器 I/O、信号处理（如滤波）等方面的函数。TCP/IP 协议是当前使用最为广泛的网络协议，LabVIEW 已提供了基于 TCP/IP 的通讯函数，直接调用 TCP/IP 函数并设置相关参数便可实现互联网通讯。因此，基于 LabVIEW 开发远程人体体征监测系统具有广阔的应用前景。

3.1 平台界面设计

LabVIEW 程序由前面板、框图程序与图标/连接器 3 个部分组成，前面板即为用户界面。前面板用来放置相关输入框和输出量结果显示，尽可能地模拟了真实仪器的面板。前面板上的每样控件与指示器都会在框图程序上对应显示，而框图部件均可用连线产生联系，以决定程序具体的执行顺序。因此，每个前面板（用户界面）都对应一个 LabVIEW 框图程序。

根据社区医疗监测系统平台功能实现要求，前面板需设置的功能区有：操作按键区（开始、停止、保存、回放）、脉搏波显示区（实时显示、回放显示）、心率值（实时心率、平均心率）、心率极限值设置、报警显示、通信连接设置等。其中，通过点击保存按钮可以保存当前脉搏波图形与数据，两者将分别生成一个图形文件与记录数据的 EXCEL 文件，并存储在该医疗监测系统对应的文件夹中。保存功能的程序实现如图 6 所示。保存过的波形图可以通过点击回放按钮进行回放查阅。

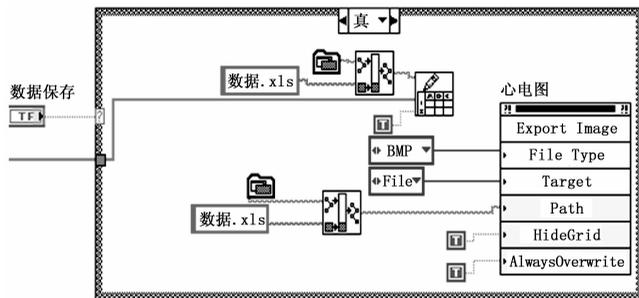


图 6 LabVIEW 保存功能程序框图

3.2 LabVIEW 的 TCP/IP 通讯

LabVIEW 的 TCP 网络通讯可直接调用 TCP/IP 的通讯函数并采用 C/S（客户端/服务器）通信模式实现。监测系统平台作为处理主机工作于服务器（server）模式，完成数据接收和数据处理。远程便携式人体脉搏检测仪工作于客户端（client）模式，进行数据传送。

LabVIEW 的 TCP 函数可以在编程环境下方便找到，方法是：右击前面板→打开菜单→函数选板→数据通信→协议选项→TCP。TCP 函数主要包括 TCP 侦听、打开 TCP 连接、读取 TCP 数据、写入 TCP 数据、关闭 TCP 连接等等。本次监测系统设计主要使用了 TCP 侦听、读取 TCP 数据、关闭 TCP 三种 TCP 通信函数，程序框图如图 7 所示。

图 7 程序框图中使用了一个 while 循环，在 TCP 侦听上引出了两个输入框图，一个为端口号输入框，另一个为 IP 地址输入框，系统运行后输入本地地址和端口号后方可打开 TCP 通讯连接，再经由读取 TCP 数据获取需要的数据。数据接收的时间间隔可根据需要设置，图中显示设置为 100 ms。另需说明的是，程序框图中显示的原始心电图仅用于 TCP 通讯测试，正常工作时被隐藏，不会出现在监测系统平台前面板上。此外，LabVIEW 中所使用的 TCP/IP 所能传送的数据格式只