

## 基于云端的远程随身电子听诊系统

林跃, 易子川, 黄嘉宇, 区宇祺, 陈太岱, 吴雄健, 马奕坚  
电子科技大学中山学院, 广东 中山 528402

**【摘要】目的:**提出基于云端的远程随身电子听诊系统。**方法:**通过ARM处理器对听诊信号进行预处理、编码存储,并通过WIFI网络把WAV文件格式封装的数据发送至云端服务器。服务器接收到的音频数据将在WEB上展示,并提供在线播放和波形展示功能。**结果:**在保留传统听诊器功能的同时,本系统实现了听诊信息的数字化和信息储存,以便与历史病情信息进行比较。通过听诊信号图形化展示,也可以更直观地对疾病进行诊断。**结论:**相较于传统听诊器,本系统既可用于实时听诊,也可用于离线听诊,提高了听诊的灵活性,对突发性疾病以及病患的远程监护有一定的优势。

**【关键词】**电子听诊器;云听诊;离线听诊;远程听诊;实时听诊

**【中图分类号】**R318.6;R197.39;TH776

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2017)05-0531-05

## Development of a cloud service-based remote portable electronic auscultation system

LIN Yue, YI Zichuan, HUANG Jiayu, OU Yuqi, CHEN Taidai, WU Xiongjian, MA Yijian

Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan 528402, China

**Abstract: Objective** To develop a remote portable electronic auscultation system based on cloud service. **Methods** The data of auscultation signals preprocessed and encoded by an ARM processor were encapsulated in WAV format and uploaded to the cloud server through WIFI network. The audio data received by the server were displayed on WEB to allow online playback and waveform display. **Results** While retaining the conventional functions of the stethoscope, this cloud service-based remote portable electronic auscultation system achieved the digitization and storage of the auscultation data to allow comparison with historical conditions. The graphical presentation of the auscultation signals also assisted in disease diagnosis in a more direct manner. **Conclusion** Compared with the conventional stethoscope, this electronic auscultation system can be used for both real-time and off-line auscultation and provides assistance in the management of emergent conditions and remote monitoring of the patients.

**Keywords:** electronic stethoscope; cloud auscultation; off-line auscultation; remote auscultation; real-time auscultation

### 前言

听诊器是医疗领域中不可或缺的诊疗用具,传统听诊器只能用于医生与患者面对面的场景中,极大地限制了诊疗器的应用。随着互联网技术的发展,智能医疗、远程监护逐步走进人们的生活当中,不断地提升人们的医疗健康水平。所以,在未来智能化的医疗社会中,基于云端的便携式听诊系统是十分必要的。

目前,国内外已在相关领域进行了一些研究,常见的电子听诊器有:(1)基于PC机上位机和需要通过

数据线连接PC机进行听诊的有线电子听诊器<sup>[1-2]</sup>,这类电子听诊器受到传输方式的局限,而且需要PC机软件支持,便携性差;(2)基于ZigBee协议的无线电子听诊器<sup>[3-5]</sup>或者基于蓝牙的便携电子听诊器<sup>[6-8]</sup>,这类电子听诊器穿透性不好,受传输功率的限制,通讯距离短,听诊输出设备只能在听诊输入设备周围100 m以内使用;(3)基于Android的便携电子听诊器<sup>[9-10]</sup>,这类电子听诊器通讯速率慢、实时性不足,依赖于手机,容易受手机通讯功能的影响。至今仍未见利用云服务进行远程听诊的电子听诊器,医生与患者仍然需要进行面对面听诊,因此研制出远距离离线式、功能齐全、性能优良、价格低廉的新型电子听诊器具有重要的意义。

针对这些情况,本文提出了一种基于WIFI的远程随身电子听诊系统。本系统利用麦克风对心房等微弱声音信号进行采集,将采集到的信号经压控型二

**【收稿日期】**2016-12-30

**【基金项目】**广东大学生科技创新培育专项(pdjh2016a0906);中山市社会公益科研项目(2016B2181)

**【作者简介】**林跃,助理工程师,研究方向:嵌入式应用,E-mail:linyuesky@126.com

阶低通滤波器进行滤波放大后转为数字信号,存储在MicroSD卡,通过WIFI将音频数据上传至云端,并通过显示屏进行相应数据的显示。医生可随时通过手机端或WEB端播放当前或历史声音信息,同时,WEB端能提供实时的心跳波形图,为远程会诊和多医生协同会诊提供极大的便利。

### 1 硬件设计

系统硬件设计原理框图如图1所示,主要包括4个模块:STM32主控(MCU)、音频处理模块(Audio Processor)、WIFI通讯模块(WIFI)以及存储模块(MicroSD)。其中MCU使用STM32F103系列单片机,运行uCOS ii实时操作系统,协调各部分功能正常工作。通过音频处理模块将采集到的听诊声音信息经滤波后进行PCM编码,然后对听诊信息进行量化编码,并以WAV文件格式封装音频数据<sup>[11]</sup>,存储在MicroSD卡上,最后WIFI通讯模块通过Internet将WAV文件上传至云端服务器,系统硬件实物图如图2所示。

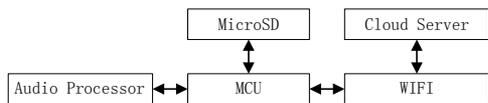


图1 系统硬件设计原理框图

Fig.1 Framework design of the electronic auscultation system hardware



图2 系统硬件实物

Fig.2 Hardware of the electronic auscultation system

#### 1.1 音频处理模块

音频处理模块主要由4部分组成:音频模数转换器(Audio ADC)、听诊信息采集模块(Auscultation input)、前置滤波器(Prefilter)以及功率放大器(Power Amplifier)组成的音频播放输出部分(图3)。

VS1053是VLSI Solution公司生产的一款高性能和低功耗的音频编解码芯片,内置PCM高保真解



图3 音频处理模块框图

Fig.3 Design of the processing module of the audio signals

码器,采样率可变。VS1053内部具有高信噪比DAC和低功耗,音质上也有了明显的提高,信噪比达90 dB以上,可以将存储的听诊音频信息进行高还原播放。通过SPI协议与主控芯片进行通讯,将声音以8 kHz采样频率、16位采样位数、单声道进行PCM编码,并以WAV文件格式进行封装存储。前置滤波器电路如图4所示。

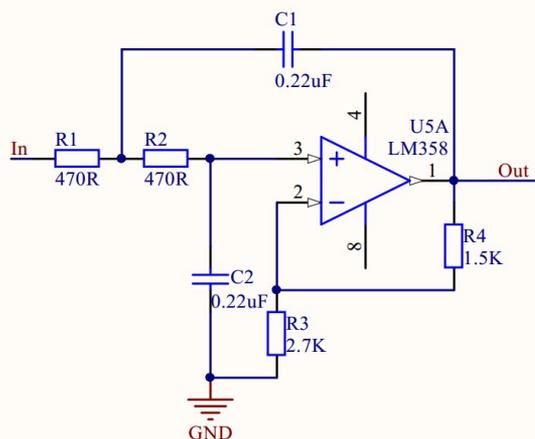


图4 前置滤波器电路

Fig.4 Circuit of the prefilter

听诊信息采集模块由听诊头和麦克风组成。由于心音频率为20~600 Hz,肺音频率为100~1 500 Hz,肠鸣音频率为20~1 500 Hz,均处于常见的声音频率范围内,可使用驻极体麦克风作为声音采集传感器<sup>[12]</sup>。由于听诊信号最大只有50 mV,听诊过程中的环境干扰以及其他各种人为因素常常会造成大量的干扰杂音,导致听诊出现偏差。为了减少高频噪声的干扰,需要对麦克风输入的声音信号设置有源低通滤波器进行预处理<sup>[13-14]</sup>,具体电路如图4所示,由压控电压源型二阶有源低通滤波器的传递函数为式(1)。

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{A_0}{\left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2 + \frac{1}{Q} \cdot \frac{s}{\omega_n} + 1} \tag{1}$$

$A_0 = A_u = 1 + \frac{R4}{R3}$ ,称为通带增益; $\omega_n$ 为角频率, $Q$ 为品质因素; $U_o(s)$ 为输出电压; $U_i(s)$ 为输入电压; $G(s)$ 传递系数。

令  $s = j\omega$ ,得到二阶低通滤波电路的频率特性为式(2)。

$$G(j\omega) = \frac{U_o(j\omega)}{U_i(j\omega)} = \frac{A_0}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j \cdot \frac{1}{Q} \cdot \frac{f}{f_0}} \quad (2)$$

其中,  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 470 \Omega \times 0.22 \mu\text{F}} = 1.54 \text{ kHz}$ , 通带电压放大倍数为式(3)。

$$A_0 = A_u = 1 + \frac{R4}{R3} = 1 + \frac{1500 \Omega}{2700 \Omega} = 1.55 \quad (3)$$

通带截止频率  $f_0$  计算为式(4)。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 470 \Omega \times 0.22 \mu\text{F}} = 1.54 \text{ kHz} \quad (4)$$

根据  $f_c$  的定义,  $f_c = 1.188f_0$  (3 dB 带宽指幅值等于最大值的  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  倍时对应的频带宽度), 当  $f=f_c$  时, 应有式(5)。

$$\left| \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j \cdot \frac{1}{Q} \cdot \frac{f}{f_0} \right| = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (5)$$

即  $f_c = 1.83 \text{ kHz}$ ,  $f_0 = 1.54 \text{ kHz}$ 。最终滤波效果如图5所示,黄色通道接滤波器输入通道,蓝色通道接滤波器输出通道,低通滤波效果明显。

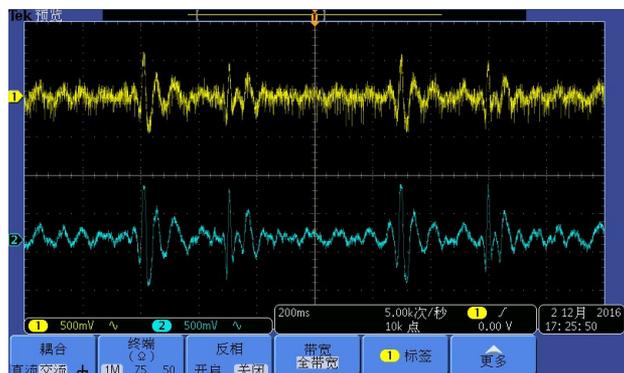


图5 滤波器效果

Fig.5 Performance assessment of the filter

### 1.2 WIFI通讯模块

随着物联网(Internet of Things, IoT)的兴起, WIFI成了智能硬件接入互联网的主要方式,同时也促进了IoT的发展,而且现在家家户户以及各商圈几乎都覆盖了WIFI热点,故本文的听诊器系统采用WIFI接入互联网,与云端服务器进行对接。CC3200是TI无线连接和IoT解决方案最新推出的一款单片无线MCU,是业界第一个具有内置WIFI、针对IoT应用、集成高性能ARM Cortex-M4的单片无线MCU。借助单片上WIFI、IoT和强大的安全协议,该单片无线MCU能在各种无线WIFI环境下都具有较强的适应性,并通过HTTP协议与服务器进行通讯,保证数据上传的实时性。

### 1.3 存储模块

因为听诊音频信息数量较大,故选择MicroSD卡对数据进行存储。MicroSD的优势体现在它的便携性,体积小,可以自由插拔,方便在嵌入式设备和PC机之间交换数据。为了便于对听诊信息的音频文件进行管理,使用FatFs通用文件系统模块对MicroSD卡进行数据存储管理。FatFs具有较高的可配置性,最小配置仅使用1K的RAM空间,非常适用于嵌入式设备,而且能提供丰富的常用文件操作API,以进行文件处理<sup>[15]</sup>。

## 2 下位机软件设计

下位机运行uCOS ii实时操作系统,主要由按键检测任务(Key Check Task)、数据采集与存储任务(Data Acquisition and Processing Task)、音频文件回放任务(Audio File Playback Task)和数据传输任务(Data Transfer Task)组成(图6)。

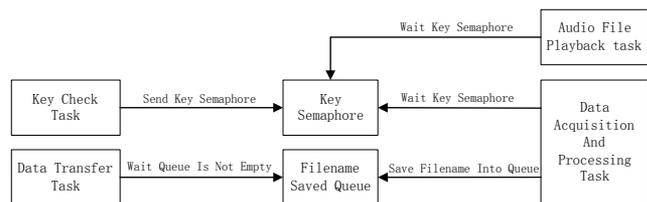


图6 任务调度逻辑

Fig.6 Task scheduling logic

### 2.1 按键检测任务

通过读取按键输入引脚的电平状态,检测按键按下的情况,并根据不同的按键触发,发送对应的信号量,包括“数据采集信号量”、“完成采集信号量”、“数据回放信号量”和“结束回放信号量”。任务检测周期为20 ms,优先级最低。

### 2.2 数据采集与存储任务

听诊信息数据采集后,WAV文件对听诊信息数据进行封装与存储,优先级最高,执行的开始与结束由按键触发的信号量进行控制。任务初始化后挂起,等待接收“数据采集信号量”后,驱动音频处理模块开始执行听诊信息的采样编码,并使用WAV文件格式对编码完的数据进行封装并保存于MicroSD卡中,按键触发“完成采集信号量”时,停止数据采集,并将数据存储的WAV文件放入传输队列中。

### 2.3 数据传输任务

检测传输队列中是否存在待传输文件,若检测到待传输文件,则从TF卡中读取文件,根据HTTP协议中的post方法进行组包,并通过WIFI网络将数据

发送至云端服务器。将完成封装的WAV音频文件通过WIFI通讯模块传输至云端服务器。任务检测周期为25ms,优先级次高。

### 2.4 音频文件回放任务

进行听诊信息数据的回放,优先级次低,通过按键触发“数据回放信号量”启动任务,通过“结束回放信号量”结束任务。从MicroSD卡中读取WAV文件并驱动音频处理模块通过功率放大器进行听诊信息数据回放。

## 3 服务器实现

云服务器端布置架构如图7所示,服务器端部署于Sina提供的Sina App Engine云计算应用引擎。使用PHP自主设计的Rest API为下位机提供数据接入和指令拉取服务,同时也为移动客户端提供数据接入服务。WEB端采用PHP编写,为用户提供良好的操作体验。数据储存于MYSQL数据库中,同时使用MemCached分布式缓存服务应对高并发的应用场景<sup>[16]</sup>。

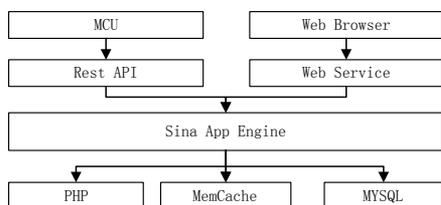


图7 云服务器端布置架构  
Fig.7 Framework of the cloud server

通过使用互联网来接入远端的服务器,简单的配置即可使用一个完整的平台。利用WEB端与云端服务器进行对接,不受设备运行环境限制,无需走动,

只需一台可以连接到网络的设备(包括PC机、手机、平板等)便可以更加方便、快捷、实时地对多患者病情进行监控、查看并进行相应诊断反馈。

## 4 实验结果

设备端如图8所示,通过麦克风对心脏、心房的微弱生物声音信号进行采集滤波,通过高性能音频编解码芯片将采集的声音信号转化为数字信号预存储在MicroSD卡中。通过WIFI将对应数字信号传送至远端服务器,当接收到医生诊断信息,便可通过显示器查看初步诊断结果。在没有网络的环境下,可通过耳机或者扬声器作为普通听诊器使用。WEB端使用PHP语言搭建一个网页平台,与服务器进行数据对接,实时接收并播放设备端上传的音频数据。医生通过查看WEB页面,可以实时监控患者心跳声音或者波形信息,也可调取历史信息进行对比(图9)。



图8 设备端实物  
Fig.8 The developed electronic auscultator

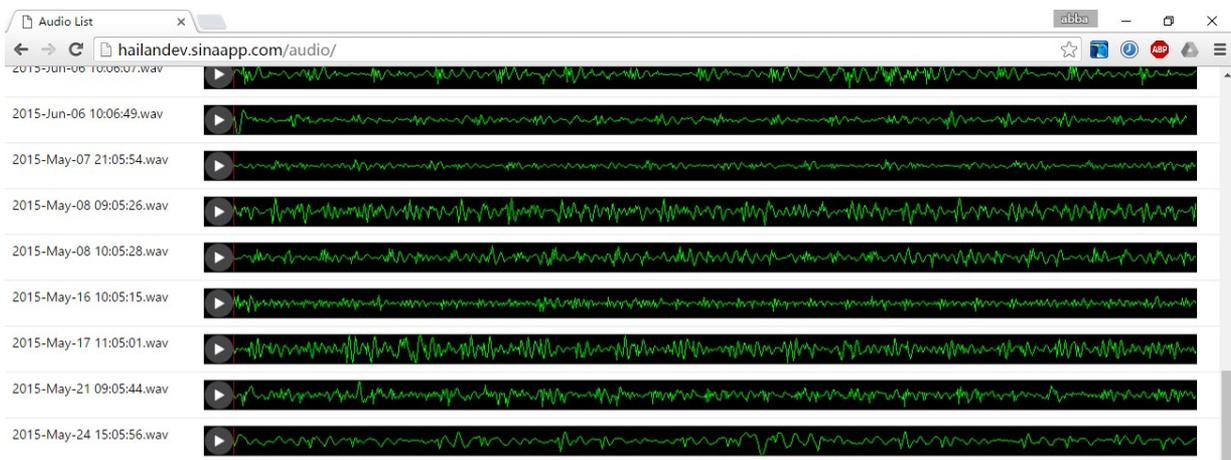


图9 WEB端所展示的听诊信息  
Fig.9 Presentation of the auscultation data in WAV format on the WEB

## 5 结论

传统的听诊设备只能应对医患面对面的场合,应用面小、使用不灵活,而且诊断过程中具有较大的主观性,使诊断结果的科学性下降。相对传统听诊器,本系统实现的下位机听诊器在保留传统听诊器功能的同时,能够有效地去除多余杂音,提高听诊的声音效果。系统中也加入了声音信息的数字化与信息储存的功能,方便与历史病情进行比较,同时可以将数据发送到云端服务器,医生只要通过Internet便能完成听诊,通过观察波形来分析病情。这不仅提高了医患间诊疗的灵活性,同时也提高了医生诊断的科学性,方便多医生协同会诊。将数据传输到云端也符合目前的互联网发展趋势,依托网络就能远程完成诊断。本项目提供的听诊方式,具有便捷、无时间与地域限制的特点,超越了传统意义的听诊,为远距离急诊提供了一种快捷的诊疗手段,在医疗领域内具有一定的应用前景。

### 【参考文献】

- [1] BRAVOZANO GUERA M E, MEDRANO Z Y, REYNACARRANZA M A, et al. Simultaneous capture and display of electrocardiogram and multi-site phonocardiogram [C]//Health Care Exchanges, Pan American. IEEE, 2009: 26-28.
- [2] ZHAO Z D, WANG J. Heart sound identification system [C]//Electronics, Communications and Control (ICE-CC), International. IEEE, 2011: 2079-2082.
- [3] NUR H M, SUHAIMIZAN W Z, JORET A, et al. Design and development of wireless stethoscope with data logging function [C]//Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), International. IEEE, 2013: 132-135.
- [4] TÜRK E, ÖZTAŞ A S, DENIZLULUŞAR U. Wireless bioacoustic sensor system for automatic detection of bowel sounds [C]//Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT), National. IEEE, 2015: 1-4.
- [5] SHI W Y, MAYS J, CHIAO J C. Wireless stethoscope for recording heart and lung sound [C]//Biomedical Wireless Technologies Networks and Sensing Systems. New York. IEEE, 2016: 24-27.
- [6] TANG Y, CAO G T, LI H. The design of electronic heart sound stethoscope based on bluetooth [C]//Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), International. IEEE, 2010: 1-4.
- [7] HUNG K, ZHANG Y T. Usage of Bluetooth™ in wireless sensors for tele-healthcare [C]//Engineering in Medicine and Biology, International. IEEE, 2002: 1881-1882.
- [8] LUO Y. Portable bluetooth visual electrical stethoscope research [C]//Communication Technology, International. IEEE, 2008: 634-636.
- [9] COMTOIS G, SALISBURY J I, SUN Y, et al. A smartphone-based platform for analyzing physiological audio signals [C]//Bioengineering Conference (NEBEC), Annual Northeast, 2012: 69-70.
- [10] AGUILERA-ASTUDILLO C, CHAVEZ-CAMPOS M, GONZALEZSUAREZ A. A low-cost 3-D printed stethoscope connected to a smartphone [C]//Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), International. IEEE, 2016: 4365-4368.
- [11] ACHKAR R, HAIDAR G A, DOURGHAM H. A comparative simulation study of the real effect of PCM, DM and DPCM systems on audio and image modulation [C]//Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET), International. IEEE, 2016: 144-149.
- [12] CHAO C T, MANEETIEN N, WANG C J. On the construction of an electronic stethoscope with real-time heart sound de-noising feature [C]//Telecommunications and Signal Processing (TSP), International. IEEE, 2012: 521-524.
- [13] ISKANDAR A S, PRIHATMANTO A S, PRIYANA Y. Design and implementation electronic stethoscope on smart chair for monitoring heart rate and stress levels driver [C]//Communications, Computers and Signal Processing (PacRim), Pacific Rim. IEEE, 2011: 1-6.
- [14] 桂静宜. 二阶有源低通滤波电路的设计与分析 [J]. 电子科技, 2010, 23(10): 15-17.  
GUI J Y. Design and analysis of the second order active low pass filter circuit [J]. Electronic Science and Technology, 2010, 23(10): 15-17.
- [15] 崔鹏伟, 闫学文. 基于SD卡的FATFS文件系统的研究与应用 [J]. 工业控制计算机, 2013, 26(11): 141-142.  
CUI P W, YAN X W. Research and application of file system FATFS based on SD card [J]. Industrial Control Computer, 2013, 26(11): 141-142.
- [16] YU X S, YI C. Design and implementation of the website based on PHP & MYSQL [C]//E-Product E-Service and E-Entertainment, International. IEEE, 2010: 1-4.

(编辑:谭斯允)