

基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统设计与实现

孙志刚¹, 高萌萌¹, 王亚宁³, 张敏¹, 王国涛^{1,2}

(1. 黑龙江大学 电子工程学院, 哈尔滨 150080;

2. 哈尔滨工业大学 电器与电子可靠性研究所, 哈尔滨 150001;

3. 苏州科技大学 地理科学与测绘工程学院, 江苏 苏州 215009)

摘要: 为了有效监测养殖场内肉鸡的健康状况, 需要采集现场的音频信号, 从中识别出鸣叫声与咳嗽声等生命体征信息, 本研究设计了一种基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统; 系统由采集终端、无线通信模块与远程服务器组成; 无线通信模块作为采集终端与远程服务器之间的通信媒介, 用于建立两者之间的 Socket 连接; 远程传输正常时, 采集终端工作于定时或实时工作模式, 将采集的音频信号经带通与谱减法滤波后发送至远程服务器存储; 远程传输异常时, 采集终端将不同工作模式下采集与处理的音频信号保存至 SD 卡存储模块; 现场测试表明: 采集终端能够根据设定的工作模式进行 5 min 时长音频信号的采集, 采集的音频信号能够在 10 s 内快速传输至远程服务器保存, 滤波前后音频信号的信噪比平均提升幅度为 1.862; 统计一个月时间内传输与保存的音频信号, 得出总丢包率在 0.3% 以内; 该系统为后续肉鸡健康状况监测的研究提供了重要的音频 (数据) 来源, 因而具有较高的实用价值。

关键词: 音频采集; 无线传输; Socket 连接; 带通滤波; 谱减法滤波; 远程服务器

Design and Implementation of Audio Collection System for Broiler Farm Based on Wireless Transmission Technology

SUN Zhigang¹, GAO Mengmeng¹, WANG Yaning³, ZHANG Min¹, WANG Guotao^{1,2}

(1. School of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150080, China;

2. Reliability Institute for Electric Apparatus and Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

3. School of Geography Science and Geomatics Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China)

Abstract: In order to effectively monitor the health of broilers in the farm, it is necessary to collect live audio signals to identify vital signs information such as chirping and coughing. An audio collection system for broiler farm based on wireless transmission technology is designed in this paper. The system consists of the collection terminal, the wireless communication module and the remote server. The wireless communication module is used as the communication medium to establish a Socket connection between the collection terminal and the remote server. When the remote transmission is normal, the collection terminal works in a timing or real-time working mode, and the collected audio signal is filtered by Bandpass and Spectral Subtraction and sent to the remote server for storage. When the remote transmission is abnormal, the collection terminal saves the audio signals collected and processed in different working modes to the SD card storage module. The test results show that the collection terminal can collect 5 min-long audio signals according to the set working mode. The collected audio signals can be quickly transmitted to the remote server for storage within 10 s. The average increase in signal-to-noise ratio of the audio signals before and after filtering is up to 1.862. Counting the audio signals transmitted and saved within a month, it is concluded that the total packet loss rate is within 0.3%. The system provides an important source of audio (data) for the follow-up study of broiler health monitoring, so it has high practical value.

Keywords: audio collection; wireless transmission; socket connection; bandpass filter; spectral subtraction filter; remote server

收稿日期: 2021-12-17; 修回日期: 2021-12-30。

基金项目: 国家自然科学基金(51607059); 黑龙江省自然科学基金(QC2017059, JJ2020LH1310); 黑龙江省博士后基金(LBH-Z16169); 黑龙江省高校基本科研业务费(HDRCCX-201604, 2020-KYYWF-1006); 黑龙江省教育厅科技成果培育(TSTAU-C2018016); 七台河市科技计划项目(20308C); 黑龙江大学研究生创新科研项目(YJSCX2021-067HLJU)。

作者简介: 孙志刚(1996-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 主要从事信号处理、机器学习方向的研究。

通讯作者: 王国涛(1982-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士(后), 教授, 主要从事机器学习、故障诊断方向的研究。

引用格式: 孙志刚, 高萌萌, 王亚宁, 等. 基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(5): 221-230.

0 引言

随着经济社会的发展,经济社会对畜牧肉类的需求也持续增长。在肉类产业和结构方面,肉鸡占有较大比重。中国作为全球第二大禽肉生产国,2020 年肉鸡年产量为 1 485 万吨,较 2019 年产出的 1 375 万吨大幅增长 8%。相比世界上其他的肉鸡主产国,我国是肉鸡生产增长数量和增长率最大的国家^[1]。虽然我国的肉鸡养殖生产规模较大,但是自动化水平还需要不断提升。目前,国内肉鸡养殖场主要依靠人工观察来对肉鸡的生活环境和健康状况进行评判,养殖人员经验水平的不同、观察时间的偏差不可避免地引起误判和漏检等情况。所以,仅仅依靠人工观察的方法进行检测,人工成本高且检测效率较低^[2]。因此,实现肉鸡养殖场自动化检测是非常有意义的。随着检测理论和技术的发展,高精度传感器和集成通信模块的出现,再加上其高效率、低成本的优点,使得在肉鸡养殖场内搭建小型监测系统对肉鸡生活环境和健康情况实现自动监控成为了可能。

在区域范围内对动植物的生长或环境状况进行参数采集或状态监测,可以采用单片机来设计微控制系统,通过控制多种类型的精密传感器获得所需的监测信息,并借助于 WiFi、4G、ZigBee、蓝牙、NB-IoT 等无线传输技术进一步将监测信息发送至管理平台,管理人员在平台端对数据进一步分析或存储。国内外很多学者对此进行了深入研究,如文献 [3] 采用 STM32 微控制器和多个功能传感器来获取牛舍当前的温度、湿度、光照、有害气体浓度等环境参数,并通过 ZigBee 网络将上述参数及时传输到远程 PC 机服务器上,实现了对牛舍环境的远程无线实时监测。文献 [4] 根据猪用自动饮水碗的结构和饮水时的场景,设计了集水流量传感器、RFID 阅读器和 ZigBee 模块于一体的无线监控节点,并开发了在猪只饮水的同时自动进行体温测量的监测系统,该系统可以满足集中式养猪场的精细化管理要求。文献 [5] 设计了基于 IPSO 优化 BP 神经网络模型的有害气体精确监测系统,通过选用无线 ZigBee 模块、传感器模块和 STM32 模块,搭建了蛋鸡舍各点数据采集硬件平台,并利用 GPRS 远程通信模块将平台采集到的数据传输至服务器,同时开发手机 APP 软件实现对有害气体的实时监测。文献 [6] 采用 Arduino uno 为微控制器,控制 DHT22 传感器采集养鸡笼内的温湿度信息,并协调 DS3231 RTC 模块和电机伺服器实现笼内自动化定时喂食和实时控温。文献 [7] 开发了一套用于生猪生长的远程监控系统,该系统将收集生猪的体重和饲料摄入量等数据,通过无线通信模块实时传输到远程服务器,服务器端由计算机处理数据来生成各种报告,并自动绘制生猪的生长性能曲线。文献 [8] 设计了一种无线传感器网络技术,该技术可以监控家禽饲养笼中的温湿度条件。系统由 3 个传感器节点和一个星形拓扑的协调器节点组成。I. A. Ashari 等人^[9]设计了一个在线监控系统来实时检测农场环境中氨气的浓度状况,通过建立一个无线网络系统,将实时监测的

氨气浓度信息应用 Internet 连接传输到 Web 服务器,并提出了一种反距离权重插值法来精确计算氨气的浓度。

本研究在现有的基础上,设计了一套基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统,系统包括采集终端、无线通信模块和远程服务器三部分。其中,采集终端用于放置在肉鸡养殖场内,定时或实时对养殖场内的肉鸡声音信号(音频信号)进行采集,并添加滤波算法,从而达到采集高质量音频信号的目的。据养殖场内是否事先覆盖局域网,无线通信模块具体包含 GSM/GPRS 通信模块和 WiFi 通信模块,用于建立采集终端与远程服务器之间的 Socket 通信连接,将采集的音频信号由采集终端发送至远程服务器。远程服务器接收到信号后,在外存储器中对其进行存储,以便管理人员后续对该信号进一步处理。此外,该系统在无线通信模块工作异常、网络异常等远程传输异常情况下,提供本地存储的功能,采集终端采集的音频信号会直接存储在 SD 卡存储模块内,管理人员通过移动拷贝的方式存储到远程服务器的外存储器中,进行集中统一管理。该研究是笔者参与的某市厅级项目中一部分,项目最终是从本系统采集的一段音频信号中识别出肉鸡咳嗽声与鸣叫声的具体个数和差值比例,进而得出该采集终端所在区域范围内肉鸡的健康状态,实现对大规模肉鸡养殖场内肉鸡健康状态的有效监测。本研究的成果是该项目有效开展的基础,因而具有极重要的实际意义。同时,该系统可移植性、拓展性强,可以推广应用于其他畜牧类动物养殖厂的监测,具有较高的应用价值。

1 系统总体方案设计

本研究提出的基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统,主要由采集终端、无线通信模块和远程服务器三部分组成,涵盖物联网层面的感知层、传输层与应用层。无线通信模块作为采集终端与远程服务器之间的通信媒介,负责将采集终端采集的音频信号高效准确的发送至远程服务器。无线通信模块包括可选择的 GSM/GPRS 通信模块与 WiFi 通信模块,可根据养殖场内是否事先覆盖局域网进行选择,由此搭建的系统架构如图 1、图 2 所示。

如图 1 所示,如果肉鸡养殖场内未事先覆盖局域网,则选择 GSM/GPRS 通信模块建立采集终端与远程服务器之间的 Socket 通信连接,GSM/GPRS 通信模块在硬件层面通过 GPIO 口与采集终端的微控制器相连接,在软件程序中通过 TCP/IP 的套接字完成采集终端与远程服务器之间的 Socket 通信连接。采集终端定时或实时采集的一段音频信号会编码成一串字符流信息,微控制器对数字式的字符流信息进行滤波处理,并将处理后的字符流信息通过串口发送至 GSM/GPRS 通信模块。GSM/GPRS 通信模块根据远程服务器的 IP 地址和端口号,将该串字符流信息经最近的通信基站接入移动网络,最终发送到指定的远程服务器,运行在远程服务器上的上位机软件会将字符流信息反向解码为音频信号的文件格式存储到外存储器中,用于后续的

分析处理。同时,采集终端可以外接 SD 卡存储模块,在 GSM/GPRS 通信模块工作异常或网络连接异常的情况下,系统提供音频信号的本地存储功能,此时采集终端定时或实时采集的一段音频信号先会编码成一串字符流信息,经过滤波处理后再由微控制器解码为音频信号的文件存储在 SD 卡存储模块中,管理人员通过定期插拔的方式循环更换 SD 卡存储模块,防止内存溢出或存储覆盖,拔出的 SD 卡可以通过外接存储器的方式连入远程服务器,将前期存储的音频信号及时拷贝到远程服务器的外存储器中,该过程作为远程传输异常情况下的一种补救措施。

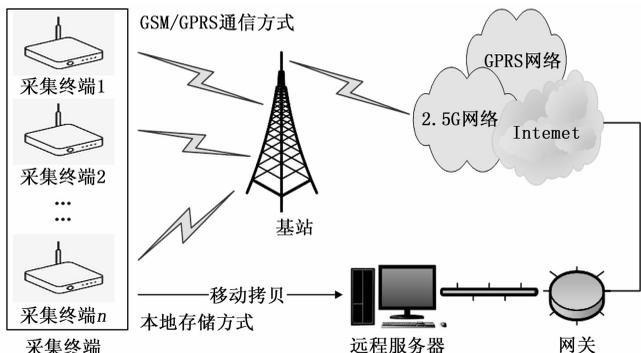


图 1 基于 GSM/GPRS 通信模块的系统架构图

如图 2 所示,如果肉鸡养殖场内已事先覆盖局域网,则选择 WiFi 通信模块建立采集终端与远程服务器之间的连接。两者在硬件层面的连接方法一致,在软件程序中也建立了 Socket 通信连接。采集终端定时或实时采集的一段音频信号,同样会被编码成一串字符流信息和进行滤波处理,并通过串口发送至 WiFi 通信模块。WiFi 通信模块根据远程服务器的 IP 地址和端口号,将上述字符流信息发送到远程服务器。该情况下,外接的 SD 卡存储模块会在 WiFi 模块工作异常或局域网异常的情况下,实现本地存储音频文件,通过定期移动拷贝的方式转存到远程服务器的外存储器中。

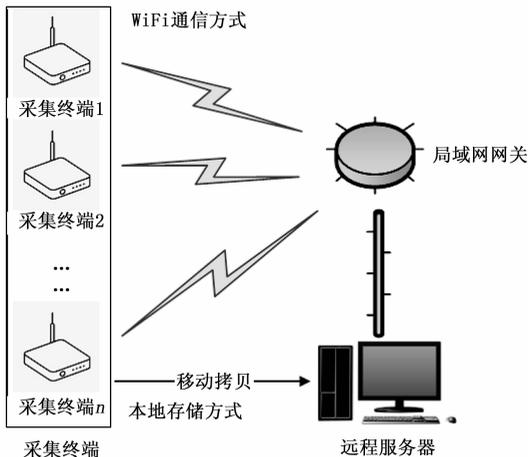


图 2 基于 WiFi 通信模块的系统架构图

2 系统硬件设计

系统硬件设计部分主要包括采集终端与无线通信模块,

它们在硬件层面上是通过串口连接在一起的,其整体的硬件设计效果影响采集系统的可靠和高效运行^[10]。采集终端的硬件设计包括微控制器、音频采集模块、按键模块、SD 卡存储模块、液晶屏和其他功能模块。音频采集模块通过 GPIO 引脚与微控制器相连接,用于完成养殖场内的音频采集;按键模块通过 GPIO 引脚与微控制器相连接,实现设置定时或实时音频采集的时长和频率;SD 卡存储模块通过卡槽接口与微控制器相连接,在远程传输异常的情况下及时存储音频信号;液晶屏通过 GPIO 引脚与微控制器相连接,提供界面显示,方便工作人员设置定时或实时音频采集信息;其他功能模块包括电源模块、晶振回路、串口模块等,属于微控制器的外围电路,整体形成基本的最低控制系统,本研究对此不进行赘述。无线通信模块的硬件设计包括可选择的 GSM/GPRS 通信模块和 WiFi 通信模块,它们都是通过串口及 GPIO 引脚与微控制器相连接,用于建立采集终端与远程服务器之间的 Socket 通信连接,并将采集终端定时或实时采集的音频信号进行及时发送。其中,采集终端与无线通信模块组成的系统硬件结构见图 3。

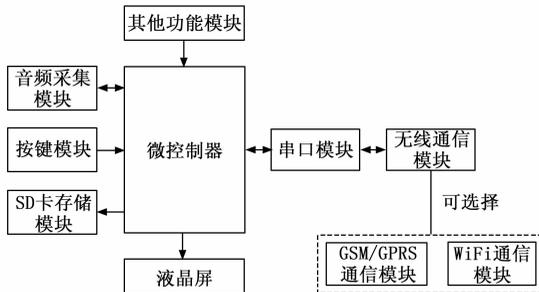


图 3 系统硬件结构图

2.1 微控制器电路设计

微控制器选用 STM32F103RCT6 型号的芯片,其与电源模块、晶振回路、串口模块等其他功能模块形成微控制器(系统),电路原理见图 4。芯片的微控制器实际工作时的频率可达 72 MHz,并且具有 256 k 字节的系统可编程 Flash 存储器,以及 48 k 字节的 RAM 空间,具备 SPI、CAN、I²C、UART 等通信方式的外设功能,最高配备 9 个通信接口^[11]。在本研究中,微控制器需要实现的功能包括:定时或实时控制音频采集模块完成音频信号的采集、对音频信号进行滤波处理、将处理后的高信噪比的音频信号通过串口发送至无线通信模块、控制无线通信模块与远程服务器建立 Socket 通信连接、配备按键模块设置定时或实时音频采集的时长和频率、本地音频信号的存储等。本研究选用的微控制器完全满足上述功能实现的性能要求。

2.2 音频采集模块电路设计

音频采集模块选用 VS1053B 型号的芯片,其与咪头、稳压芯片、电源接口等基本的外设形成音频采集模块。在本研究中,该模块通过 SPI 通信接口与微控制器相连接,支持 MP3、WAV、OGG、WMA 等音频格式的编解码^[12]。音频采集模块的 DAC 分辨率为 18 位,总谐波失真 (THD)

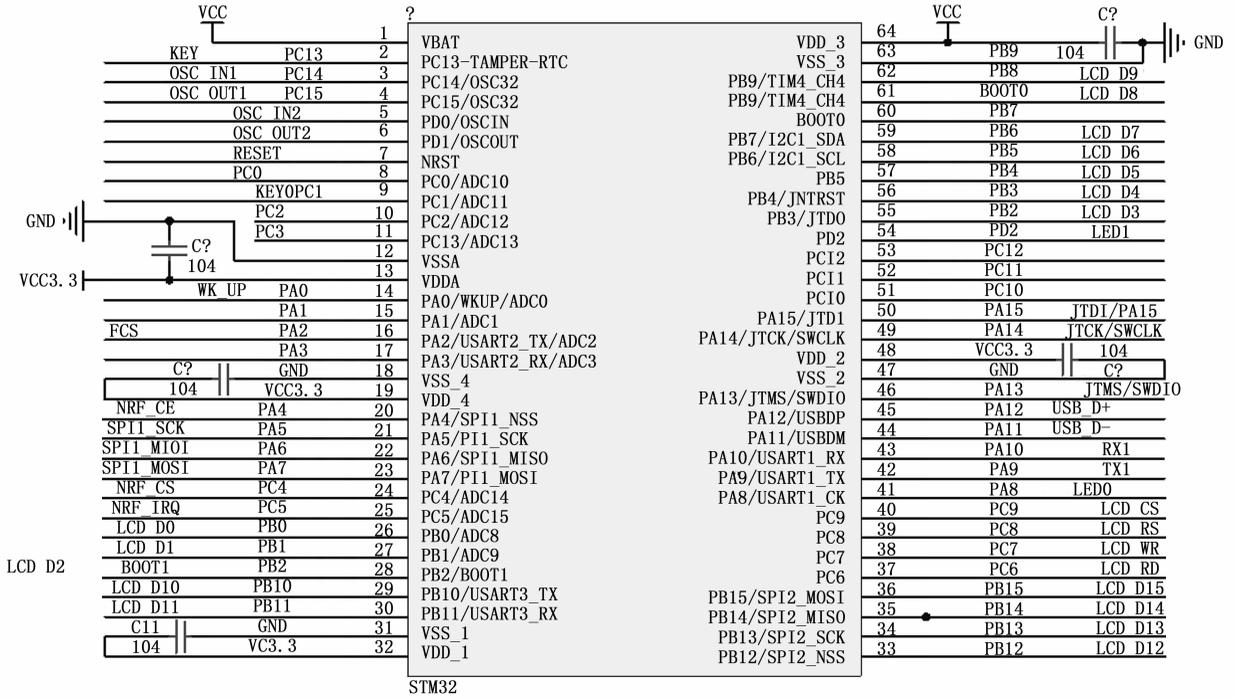


图 4 微控制器电路原理图

为 0.07%，信噪比为 94 dB，满足本研究中肉鸡养殖场的高保真音频采集需求。音频采集模块的电路原理见图 5。本研究中，音频采集模块与微控制器通过 7 个 GPIO 引脚进行连接，如图中红线标注所示，分别是：RST、XCS、XDCS、

SI、SO、SCK 和 DREQ。其中，RST 是音频采集模块的复位控制线，低电平有效。DREQ 是数据请求线，用于通知微控制器音频采集模块是否准备好可以开始接收数据。SI（图中 MOSI）、SO（图中 MISO）SCK 则是音频采集模块的 SPI 通

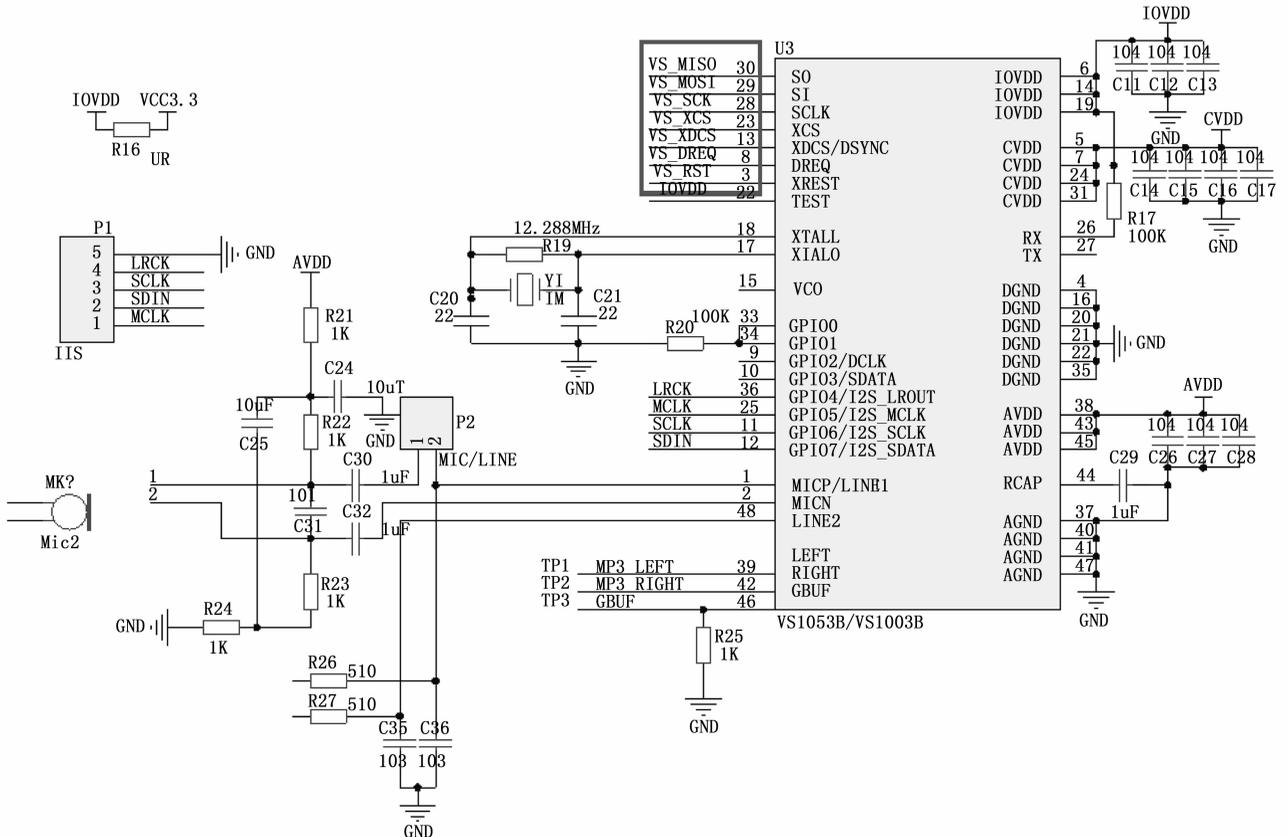


图 5 音频采集模块电路原理图

信接口, 它们在 XCS 和 XDCS 的控制下执行不同的数据通信。最终, 音频采集模块定时或实时采集的音频信号通过 SPI 通信接口传输至微控制器进行后续的滤波处理。

2.3 GSM/GPRS 通信模块电路设计

GSM/GPRS 通信模块选用 SIM800C 型号的模块, 模块板载 5 V 至 24 V 的直流电源输入接口、Micro SIM 卡座、RS232 串口、天线等外设, 其电路原理见图 6。此外, 该模块工作在 4 个频段, 分别是: 850 MHz、900 MHz、1 800 MHz、1 900 MHz, 可以在低功耗状态下实现语音、SMS、MMS、蓝牙数据信息的传输^[13]。在本研究中, 微控制器控制 GSM/GPRS 模块经最近的基站与远程服务器建立 Socket 通信连接, 从而建立两者之间的数据通信链路, 这样, 音频采集模块通过串口发送至微控制器的字符流形式的音频信号, 再次通过串口发送至 GSM/GPRS 通信模块的内部缓存中, 最终通过 SEND_BUFF 接口函数发送至远程服务器。

2.4 WiFi 通信模块电路设计

WiFi 通信模块选用 ESP8266 型号的芯片, 其电路原理见图 7。该模块通过串口与微控制器进行数据通信, 模块内置 TCP/IP 协议栈, 能够实现串口与 WiFi 之间的转换。具体的, 该模块支持串口转 WiFi STA、串口转 WiFi AP、串口转 WiFi STA+AP 3 种模式, 可以快速构建串口-WiFi 的数据传输方案^[14]。此外, 该模块符合多个无线传输标准, 工作在 2.4 GHz 频率范围, 完全满足本研究对音频信号传输需求。在本研究中, WiFi 通信模块与远程服务器接入同一局域网, 并工作于 STA 模式, 从而建立两者之间的 Socket 通信连接, 借助串口-WiFi 的数据传输方案将字符流形式的音频信号发送至远程服务器。

3 系统软件设计

系统的软件设计主要包括采集终端、无线通信模块以及远程服务器三部分。

3.1 采集终端软件设计

采集终端软件设计部分包括音频采集流程和谱减法滤波两部分。在音频采集流程部分, 本研究主要介绍系统上电后采集终端的默认工作流程, 介绍其在定时、实时、本地音频存储模式下的工作流程。在谱减法滤波部分, 本研究主要介绍通过带通与谱减法滤波的方式对字符流形式的音频信号进行降噪处理, 达到去除背景噪声、提高信噪比的目的。

3.1.1 音频采集工作流程

采集终端音频采集工作流程见图 8。系统上电工作后, 默认处于定时音频采集状态, 即定时工作模式, 微控制器会读取 RAM 中存储的上次掉电前设置的定时工作信息, 如: 每整点进行一次 2 分钟的音频采集、以 1 小时为时间间隔进行一次 1 分钟 30 秒的音频采集等, 并控制无线传输模块与远程服务器建立 Socket 通信连接, 同时加载本地 SD 卡存储模块。微控制器读取设置的定时工作信息后, 实时判断是否到达设置的时间节点, 若到达时间节点, 则控制音频采集模块按照时长要求完成一次音频采集, 最终通过串口发送至远程服务器。若未到达时间节点, 则继续进行判断。需要说明的是, 在无线通信模块与远程服务器建立 Socket 通信连接后, 微控制器可以实时获取当前的网络时间, 其中, GSM/GPRS 通信模块可以通过 GPRS 网络获取时间, WiFi 通信模块可以通过接入局域网获取时间, 由此

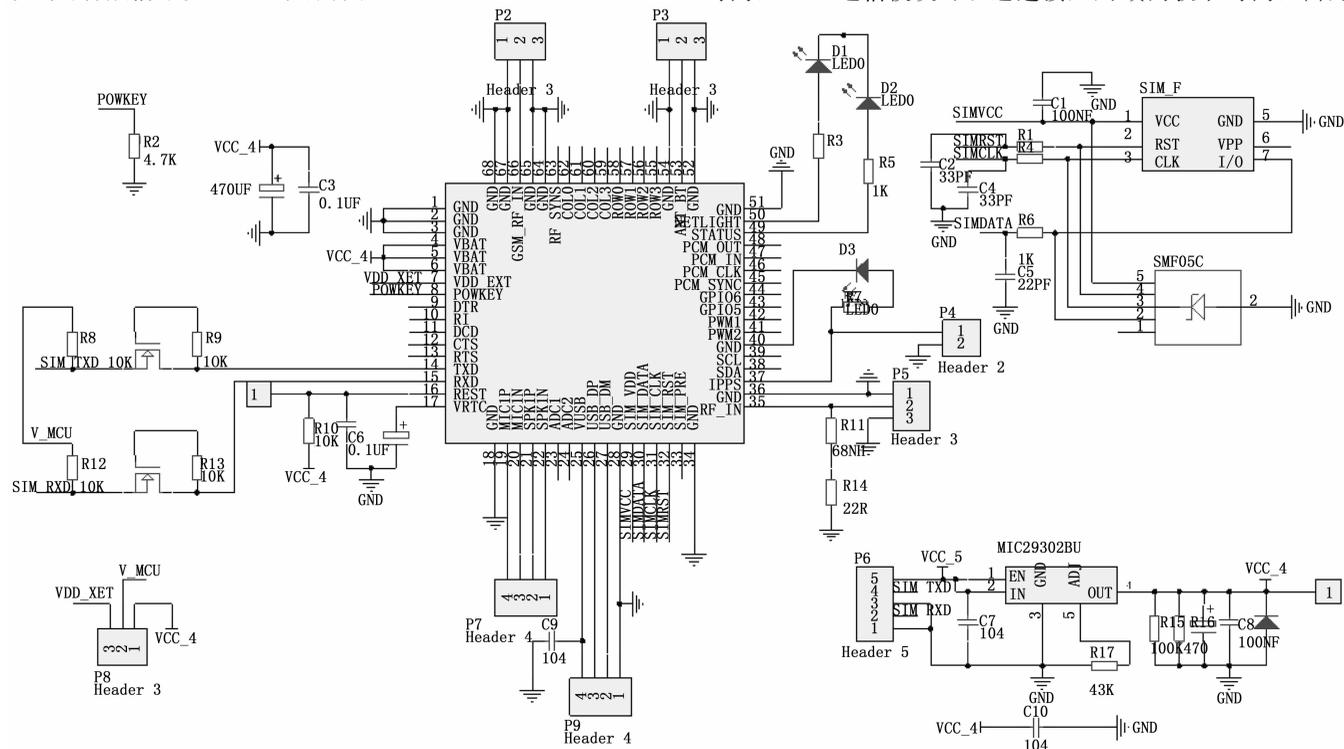


图 6 GSM/GPRS 通信模块电路原理图

工作信息, 微控制器根据新设置开始正常工作, 最终将采集的音频信号保存至 SD 卡存储模块中。需要说明的是, 因为此时不能获取网络时间, 工作人员设置的定时工作信息只能是以多长的时间为间隔进行一次规定时长的音频采集, 对于设置的时间间隔和采集时长, 微控制器需要开启本地计时器与定时器进行实时判断, 该情况下工作人员的定时工作设置不更新到微控制器的 RAM 中。在本地音频存储模式下, 工作人员依然可以随时通过按键更改设置定时工作信息, 设置完后, 微控制器将根据最新的定时工作信息进行正常工作, 重新设置的定时工作信息同样不会更新到微控制器的 RAM 中。同样的, 在远程传输异常的情况下, 工作人员通过按键还可以切换系统工作于实时工作模式, 同样通过开启或关闭中断进行, 并将采集的音频信号保存至 SD 卡存储模块中。在远程传输恢复正常后, 系统会自动切换回此前的定时工作模式。

3.1.2 滤波算法处理

对采集终端采集的一段原始 (未经滤波处理) 音频信号进行分析, 借助于 GoldWave 音频剪辑软件, 可以从该段音频信号中得到单个鸣叫声和咳嗽声的音频片段。利用 MATLAB 对得到的音频片段进行频谱分析, 由此绘制的频谱分别见图 9。

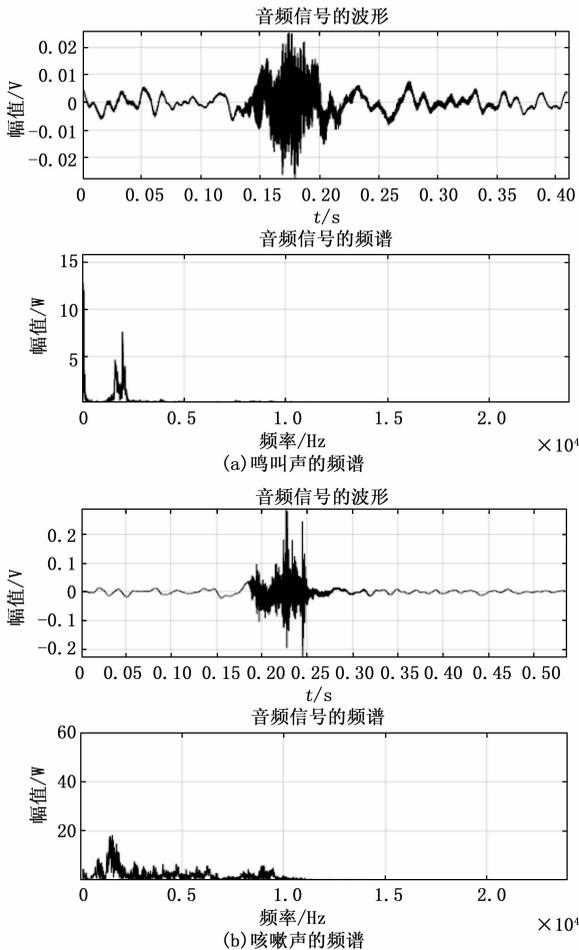


图 9 肉鸡鸣叫声与咳嗽声的原始频谱图

图中可以看出, 采集的原始音频信号中含有一定的背景噪声, 需要对其进行滤波处理以得到高信噪比的音频信号。从图中同样可以发现, 肉鸡鸣叫声与咳嗽声的频率主要集中在 1 200 Hz 至 3 000 Hz 的范围内。因此, 在微控制器的软件程序中, 首先添加了带通滤波器的算法设计, 频带范围设置为 1 000 Hz 至 3 200 Hz, 有效保留了有效肉鸡声音信号, 并实现了对音频信号的初步滤波, 其次, 利用了谱减法滤波算法, 对经过初步滤波后的音频信号进一步进行深度信号滤波处理, 得到具有较高信噪比的音频信号。

谱减法是最直观和最常用的去噪声思想, 即利用带噪声信号的频谱减去噪声的频谱, 进而得到干净信号的频谱^[15]。设声音信号为 $x(n)$, 经过加窗分帧处理后, 得到 i 帧帧长为 N 的声音信号 $x_i(m)$ 。声音信号 $x_i(m)$ 经过离散傅里叶变换处理 (DFT, discrete fourier transform) 后为 $x_i(k)$, 其计算公式为:

$$x_i(k) = \sum_{m=0}^{N-1} x_i(m) \exp\left(-j \frac{2\pi mk}{N}\right) \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

对 $x_i(k)$ 的每个分量的幅值和相角进行计算, 可得幅值为 $|x_i(k)|$, 相角为:

$$X_{angle}^i(k) = \arctan\left[\frac{\text{Im}(X_i(k))}{\text{Re}(X_i(k))}\right] \quad (2)$$

根据前导无话段时长 IS 和对应的帧数 NIS , 可以求得该噪声段的平均能量为:

$$D(k) = \frac{1}{NIS} \sum_{i=1}^{NIS} |x_i(k)|^2 \quad (3)$$

谱减算法为:

$$\begin{cases} |\hat{X}_i(k)|^2 = |X_i(k)|^2 - a \times D(k) & |X_i(k)|^2 \geq a \times D(k) \\ b \times |X_i(k)|^2 & |X_i(k)|^2 < a \times D(k) \end{cases} \quad (4)$$

其中: a 和 b 是两个常数, a 为过减因子, b 为增益补偿因子。

谱减法的核心思想为: 对谱减法后的幅值 $|\hat{X}_i(k)|$ 和 $X_{angle}^i(k)$ 进行傅里叶逆变换, 最终求得谱减后的语音序列 $\hat{x}_i(m)$ 。基本谱减法的原理图见图 10。

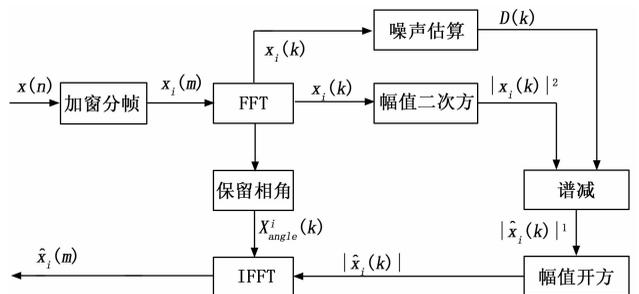


图 10 基本谱减法的原理图

这样, 经过“带通+谱减法”的组合信号滤波处理后的音频信号, 一方面由无线通信模块从微控制器发送至远程服务器进行本地保存, 另一方面直接存储在 SD 卡存储模块中。需要说明的是, 此时采集的音频信号具有较高的信

噪比, 利于音频信号的后续处理。

3.2 无线通信模块软件设计

无线通信模块作为采集终端与远程服务器之间的通信媒介, 主要完成将微控制器通过串口发送的字符格式的音频信号发送至远程服务器, 本质上属于数据通信。在本研究中, 无线通信模块包括 GSM/GPRS 通信模块和 WiFi 通信模块, 并采用面向有连接 (TCP/IP) 的 Socket 通信作为两者的通信方式。Socket 通常翻译为“套接字”, 实际是一个句柄, 存在于内存中的一个标识符, 作为网络通信的一个符号^[16]。为了能区分不同的网络应用服务, TCP/IP 协议引入了端口号, 把 IP 地址和端口号组合成通信的端点, 即套接字, 一对端点就表示相互通信的应用程序之间的网络连接^[17]。在本研究中, 采集终端作为客户端, 它的套接字称为 ClientSocket, 远程服务器作为服务器端, 它的套接字称为 ServerSocket。根据连接启动的方式以及套接字要连接的目标, 套接字之间的连接过程包含以下 3 个步骤: 服务器监听, 客户端请求, 连接确认。

在本研究中, 系统上电工作后, 由采集终端板载的直流电源给无线通信模块供电, 并在微控制器的软件程序中实现无线通信模块与远程服务器之间通信连接的建立和后续音频文件的传输。其具体的工作过程如下: 首先, 根据远程服务器端的 IP 地址和端口号, 发送连接请求, 在远程服务器同意后, 建立两者之间的通信连接。其次, 在建立通信连接之后, 无线通信模块会及时的将通过串口发送过来的经过滤波处理的字符流形式的音频信号发送至远程服务器。具体的, GSM/GPRS 模块经最近的基站通过 GPRS 网络进行传输, WiFi 模块通过接入同一局域网进行传输。最后, 若采集终端或远程服务器向对方发送断开连接的指令, 无线通信模块及时结束通信连接。在此过程中, 若远程传输突然出现异常情况, 则无线通信模块及时反馈网络异常的信息至采集终端, 采集终端的微控制器及时捕捉该信息, 暂停音频采集, 等待工作人员进行设置。需要说明的是, 若无线通信模块上电工作之初就出现远程传输异常的情况, 即无线通信模块发送连接请求后未得到回复, 则无线通信模块同样及时反馈网络异常的信息至采集终端。上述流程见图 11。

3.3 远程服务器软件设计

在本研究中, 远程服务器为具有网络连接功能的计算机, 管理人员可以根据实际需求定点设置或移动设置, 当计算机连接上网络之后, 采集终端可以通过无线通信模块发送连接请求至计算机设备, 计算机设备在同意连接请求后, 开始音频信号的传输。当 GSM/GPRS 通信模块作为无线通信模块时, 计算机设备在任意地点建立两者的通信连接; 当 WiFi 通信模块作为无线通信模块时, 计算机设备需在同一局域网覆盖范围内建立两者的通信连接。上述过程在硬件层面上保证了远程服务器与无线通信模块接入全球通信系统或同一局域网。类似于在采集终端的微控制器的程序中实现控制无线通信模块完成软件层面的 Socket 通信, 远程服务器也需

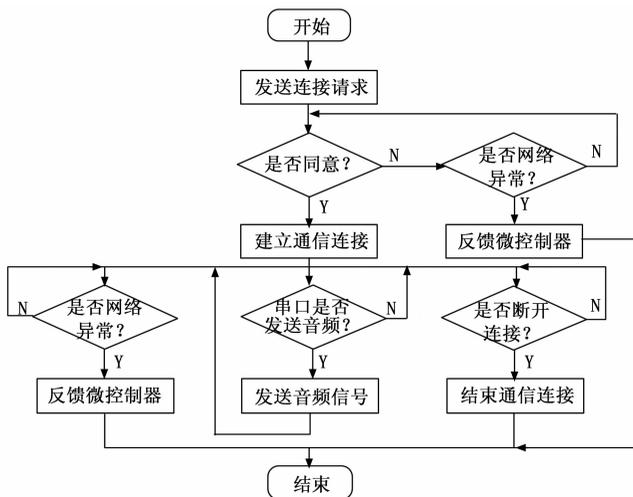


图 11 无线通信模块工作流程图

要设计上位机软件配套完成 Socket 通信的全过程。在本研究中, 上位机软件采用 C# 语言编程, 在 Visual Studio 2010 环境下进行开发, 考虑到本研究设计的重点在于整个音频采集系统, 所以此处对上位机软件的具体设计过程不做过多介绍, 但对其运行后与采集终端进行通信连接和音频传输的工作流程进行描述。其工作流程见图 12。

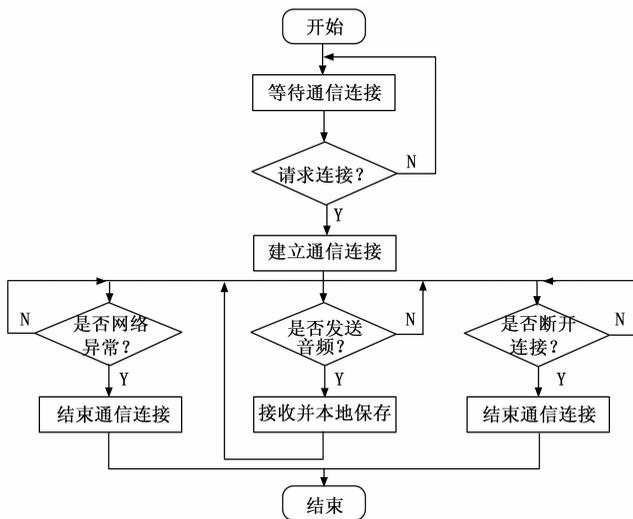


图 12 远程服务器工作流程图

首先, 远程服务器在连接上网络之后, 运行上位机软件启动网络监听并等待采集终端的通信连接请求, 在接收到请求之后建立通信连接。其次, 对无线通信模块发送的音频信号进行判断, 判断其是否为数字式格式, 当判断为真时, 对其进行接收并存储到外存储器中。最后, 在接收到断开连接的指令时, 需要说明该指令包括采集终端下发和自身下发, 则结束通信连接。在此过程中, 若出现网络异常情况时, 同样结束通信连接。

4 系统测试与分析

4.1 功能测试过程

本研究的音频采集系统完成后, 在黑龙江省牡丹江市

林口县汇兴养殖场进行了现场测试。由于该养殖场地处偏远, 未能覆盖局域网, 因此选用 GSM/GPRS 模块作为通信模块。远程服务器设置为黑龙江大学电磁兼容实验室内的一台计算机, 该计算机已接入以太网, 并已运行上位机软件进入了等待连接请求的状态。图 13 为林口县汇兴养殖场现场测试图。



图 13 林口县某肉鸡养殖场现场测试图

图 14 为运行在远程服务器上的上位机软件。需要说明的, 图中“音频网络通信”部分是与本研究相关的远程传输部分, 其他部分为本研究依托项目的其他功能模块。从图中可以看出, 远程服务器的 IP 地址为: 192.168.0.10, 端口号为: 8899, 并且已经处于监听状态, 等待采集终端的连接请求。



图 14 远程服务器的上位机软件测试图

采集终端正常工作后, 对其进行初始化设置, 每次采集时长为 2 分钟的音频信号, 且采集频率为每整点采集一次, 笔者测试时的时间为 11 时 41 分, 当时间为 12 时整时, 采集终端对音频进行采集, 并在 12 时 02 分结束音频采集。如图 15 所示, 上位机软件接收到通过 GSM/GPRS 通信模块发送的音频信号, 并将其存储在外存储器中。



图 15 接收音频信号并存储到外存储器中

随后, 笔者按下按键将采集终端切换至实时工作模式, 并随机采集了一段时长 17 秒的音频信号, 最终同样发送至远程服务器并存储到外存储器中。现场测试过程中, 笔者将 GSM/GPRS 模块的 SIM 卡拔出, 人为造成无线传输中断的状态, 此时采集终端及时调整工作状态, 等待笔者进行新的定时工作信息的设置, 笔者将其设置为每 5 分钟采集一次时

长 10 秒的音频信号, 则其在设置完成后的 15 分钟内, 共采集了 3 端音频信号, 并存储在了 SD 卡存储模块中, 笔者按下按键将采集终端切换至实时工作模式, 同样成功地采集一段时长 8 秒的音频信号存储在 SD 卡存储模块中, 远程服务器读取的 SD 卡存储模块内的部分音频信号见图 16。

名称	修改日期	类型	大小
REC00000.wav		媒体文件(.wav)	3,432 KB
REC00001.wav		媒体文件(.wav)	310 KB
REC00002.wav		媒体文件(.wav)	109 KB
REC00003.wav		媒体文件(.wav)	240 KB
REC00004.wav		媒体文件(.wav)	240 KB
REC00005.wav		媒体文件(.wav)	417 KB
REC00006.wav		媒体文件(.wav)	194 KB
REC00007.wav		媒体文件(.wav)	661 KB
REC00008.wav		媒体文件(.wav)	1,310 KB

图 16 SD 卡存储模块中的音频信号

接着重新插入 SIM 卡, 并且将采集终端重新启动。此时无线传输恢复正常工作状态, 即可以正常读取断电前设置的工作信息: 采集频率为每整点采集一次且采集时长为 2 分钟的音频信号, 可以进行正常工作, 则表明测试达到了预期的效果。最后, 随机选择一段音频信号, 并借助于 GoldWave 音频剪辑软件, 从原始信号中剪辑出单独的鸣叫声和咳嗽声片段, 利用 MATLAB 进行频谱分析后得到的频谱如图 17 所示。

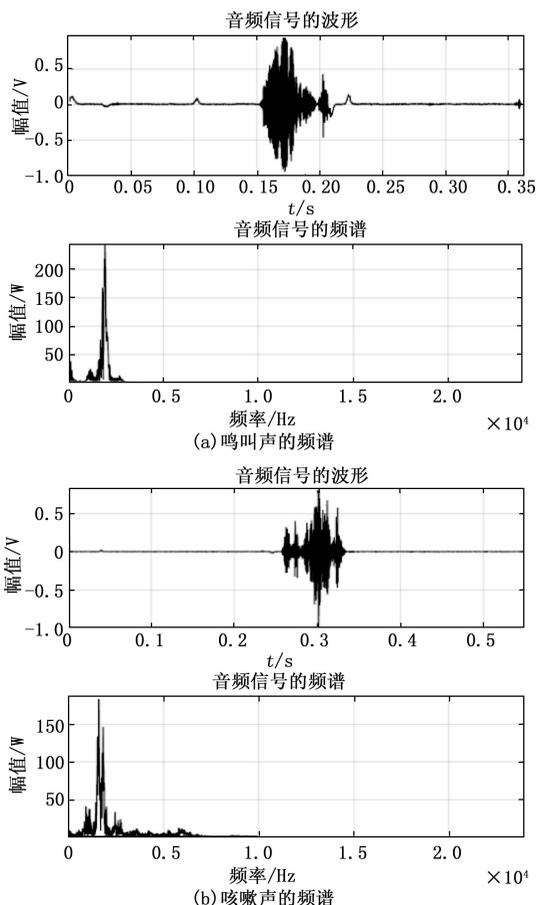


图 17 滤波处理后的鸣叫声与咳嗽声频谱图

与图 19 相比, 可以看出, 经过谱减法滤波后的音频信

号中的噪声被有效抑制, 音频信号的信噪比明显提升, 且集中在 1 200 Hz 至 3 000 Hz。至此, 本系统的所有功能测试结束。

4.2 测试分析

上述测试表明, 本研究设计的基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统经过现场测试, 较好地实现了预期效果。系统在接通电源后, 采集终端会根据设置的工作信息, 在指定时间点进行指定时长的音频采集; 当按下按键触发中断时, 采集终端会切换至实时工作模式, 根据中断开启的时长进行音频采集。采集终端的微控制器会将采集到的音频信号编码为一段字符流, 利用带通滤波和谱减法对其进行滤波处理, 最后利用无线通信模块完成采集终端与远程服务器之间的字符流传输, 由上位机软件将字符流解码为音频信号, 并将其存储在外存储器中。若远程传输发生异常, 采集终端会根据重新获得的工作信息进行正常工作, 并在触发中断时切换至实时工作模式进行工作。在这种情况下, 在采集到音频信号并对其进行滤波处理后, 由微控制器解码为音频信号, 并将其存储在 SD 卡中, 后续通过移动拷贝的方式存储至外存储器中。通过对滤波前后音频信号的频谱分析可得, 滤波后的音频信号的整体信噪比有所提升。

5 结束语

对肉鸡咳嗽声与鸣叫声进行识别和分析处理, 可以有效分析其健康状况, 本研究的基于无线传输技术的肉鸡养殖场音频采集系统, 是作为获取音频信号来源的重要环节, 由采集终端、无线通信模块与远程服务器组成。在无线传输正常的状态下, 采集终端可以工作于定时或实时工作模式, 并将采集的音频信号经滤波处理后发送至远程服务器进行存储; 在无线传输异常的状态下, 采集终端也可以工作于定时或实时工作模式, 并将采集的音频信号经滤波后保存至 SD 卡存储模块中, 通过移动拷贝的方式存储到远程服务器。本研究作为某市厅级项目一部分, 是该项目的开展后续研究的重要基础。同时, 设计的系统可移植性、拓展性强, 可以推广应用于其他畜牧类动物养殖厂的监测或监控系统的设计中, 具有较高的应用价值。

下一步阶段工作的展望, 一方面, 在采集终端经过带通滤波与谱减法滤波的音频信号, 还存在些许的干扰噪声, 这些噪声可能是因为采集终端自身的无线通信或电压供电产生的机械噪声或电磁干扰, 笔者打算进一步在服务器端对音频信号进行二次滤波处理, 进一步提高音频信号的信噪比, 方便后续研究。另一方面, 笔者将同课题组成员一起, 在本研究采集保存的音频信号的基础上, 利用语音识别技术对其中的肉鸡鸣叫声与咳嗽声进行有效提取, 最终通过阈值比对等手段实现区域范围内肉鸡健康状况的监测。

参考文献:

[1] 辛翔飞, 郑麦青, 文杰, 等. 2020 年我国肉鸡产业形势分析、未来展望与对策建议 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57

(3): 217-222.

- [2] 郑纪业, 崔太昌, 王风云, 等. 肉鸡健康养殖环境监测控制系统研建 [J]. 山东农业工程学院学报, 2019, 36 (3): 29-32.
- [3] 刘忠超, 范伟强, 常有周, 等. 基于 ZigBee 和 Android 的牛舍环境远程监测系统的设计 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018 (17): 61-64, 234.
- [4] 张国锋, 陶莎, 于丽娜, 等. 基于植入式 RFID 感温芯片的猪体温与饮水监测系统 [J]. 农业机械学报, 2019, 50 (S1): 297-304.
- [5] 杨断利, 李今, 陈辉, 等. 基于 IPSO 优化 BP 神经网络的蛋鸡舍有害气体监测系统 [J]. 农业机械学报, 2021, 65 (2): 1-22.
- [6] FAROQI A, UTAMA A N, RAMDHANI M A, et al. Design of a cage temperature monitoring system and microcontroller base on automatic chicken feeder [C] // 2020 6th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta, Indonesia; IEEE, 2020.
- [7] SHIPU X, YUNSHENG W, WENWEN H, et al. Design and implementation of pig growth monitoring system based on wireless communication [C] // 2020 IEEE 3rd International Conference on Computer and Communication Engineering Technology (CCET), Beijing, China; IEEE, 2020.
- [8] WICAKSONO D, PERDANA D, MAYASARI R. Design and analysis automatic temperature control in the broiler poultry farm based on wireless sensor network [C] // 2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, Indonesia; IEEE, 2017.
- [9] ASHARI I A, WIDODO A P, SURYONO S. The monitoring system for ammonia gas (NH₃) hazard detection in the livestock environment uses inverse distance weight method [C] // 2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Semarang, Indonesia; IEEE, 2019.
- [10] 朱代先, 王力立, 刘冰冰, 等. 基于 NB-IoT 的智慧井盖监测系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (10): 55-59.
- [11] 高萌萌, 孙志刚, 李硕, 等. 基于 NB-IoT 的区域空气质量监测系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (10): 55-59.
- [12] 王锐. 基于云服务平台的媒体设备控制系统研究 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20 (6): 42-45, 48.
- [13] 孙志刚, 王国涛, 蒋爱平, 等. 基于信息融合技术的行车安全监测系统 [J]. 计算机科学, 2020, 47 (S2): 642-650, 661.
- [14] 王淦, 朱玉杰, 黄天祺, 等. 疫情期间的基于 Arduino 智能考勤终端设计 [J]. 物联网技术, 2021, 11 (2): 72-73.
- [15] 彭鹏, 吴晓文, 陈炜, 等. 基于小波分解与谱减法的变压器噪声测量预处理方法 [J]. 高压电器, 2019, 55 (11): 177-183.
- [16] TONG Y, LI Z. Design of intelligent socket based on WiFi [C] // 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), Changsha, China; IEEE, 2017.
- [17] 马辉, 黄秋波, 苏厚勤. TCP Socket 通信与 Web 服务结合实现高效可靠的数据分发 [J]. 计算机应用与软件, 2011, 28 (9): 144-147.