

吉林大学仪器科学与电气工程学院
科技学术实践“六个一”训练项目

中文论文集

2017年上半年

目录

基于 GSM 的温室大棚温湿度监测系统设计	段清明; 张雅茹; 崔贞淑; 曾令旗	1
基于 ANSYS 的 ERT 电磁场仿真及优化设计	吴永宏; 宋爽; 嵇艳鞠	5
基于小波变换的核磁共振信号稀疏表示和重建方法研究	唐学伟; 彭博; 王昭阳	10
磁耦合谐振式无线电能传输系统设计	李鹏辉; 张原; 杨涛	16
基于 FPGA 的 1/f 低频电噪声采集系统设计	付仲豪; 尤鹤鸣; 王熙垚	22
基于树莓派的多传感器融合的智能倒车辅助系统	毕英琦; 柴子威; 侯佳伟	27
基于 MSP430 的新型室内空气净化器系统设计	朱喻南; 任晓闯; 柳国宏	31
住宅智能安全系统设计	孙明阳; 聂正安; 王立彬	38
模拟汽车防超速防超载系统设计	张泓; 陈明; 叶青	44
基于 RFID 的智能车锁的研究	张若曦; 石佳晴; 朱武芳	48
非接触式尺寸快速测量仪	马立冬; 李哲; 柳元	52
智能控制节能照明系统的设计与实现	周逢道; 张杰; 赵亮; 张晟毓	56
基于比色测温原理的火焰温度测量系统	陈晓津; 赵鹏飞; 李金奇	61
呼出气冷凝液收集器设计	陈鹤; 王冰利; 马军; 孔德怀	66
基于大数据的单文档关键词自动提取系统	吴冠良; 魏晋和; 党文杰	71
基于压电薄膜传感器的鼾声监测系统	韦德新; 安育廷; 王聘目	76
基于物联网远程控制通信智能插座	于一兵; 孔冀康; 于悦	86
基于 O2O 的外卖系统的研究	魏一鸣; 高志远; 王海洋	90
基于 GSM 的智能浇花器设计	冷彤; 秦绪键; 杨兴林	99
自习室信息采集与显示系统的设计	张荣光; 高辉; 屠志天; 王世隆	105
美国能源消耗与人均 GDP 的数学建模及预测	范思源; 黄艳静; 马爽	110

铅酸蓄电池充电器的研究与设计	喻 强; 韩 星; 兰 发 114
智能太阳能无线快速充电站*	胡新蕾; 余梦梦; 骆 砚 119
基于视觉识别的新型公交服务系统设计与实现	路中强; 刘韵韬; 刘英男 124
基于 ZigBee 无线传感网络的人员定位系统设计与实现	张希明; 徐丹琳; 陈钰佳 129
基于虚拟仪器技术的电工仪表设计	党继荣; 姜凯华; 王鸿飞 134
一种智能测谎系统的算法实现	仇铭婕; 吕泳庆; 朱明璞 141
基于嵌入式系统的多功能可控智能灯研究	艾永恒; 马 鑫; 朱 赫 146
基于 java 的电机学实验教学管理平台设计	侯雪征; 赵英达; 王艺颖 151
基于无线传感器网络的土壤墒情监测系统	宋大虎; 韩佳奇; 陈立锴 155
基于嵌入式系统的三坐标运动控制系统	陈无难; 杨 娜; 刘 浩 160
差分线圈式质子旋进磁力仪传感器及测试电路的设计	穆怀志; 朱 凯; 刘金鑫; 张春秀 164
基于 LabVIEW 的虚拟仪器教学系统和管理系统设计	王淑慧; 张文扬; 夏 珊 170
多层次可视化电机控制及测试实验开发平台	李 勃; 张振峰; 吴 茜 174
无人机载成像光谱仪 GPS 自动控制系统设计	张 培; 王谔衡; 吴艳勤 178
超声波水深测量的船模设计	程宇奇; 张书铭; 赵 成; 张伦源 181
无线电能传输的参数与效率优化	李 刚; 陈 乾; 伏 坚; 张 标 185
基于无线传感网的自动灌溉系统	徐明亮; 郑海洋; 于浩然; 李 哲 190
可编程倒立摆控制系统实验开发平台	王瑞健; 房 钰; 王靖翔 193
动车组电气电缆使用寿命研究	刘长英; 匡水益; 董克飞; 周 鑫 198
动车组空气开关使用寿命模拟与评估研究	刘长英; 刘振博; 李玉翔; 李 德 203
同步仿生软抓取机械臂的研究	孙德立; 王司潮; 张 晶 208
基于超声波测距的定位系统研究	龙 涛; 刘 坦; 吴羽珩 213
基于虚拟仪器系统的晶体管的输出特性测量	张秉仁; 蒋梦杰; 李玉武; 寇德理 217

小波变换在 PM2.5 气体检测中的噪声抑制	李凯艳; 李梁冰; 刘科伟 221
.....	
基于 GPU 与云存储技术的微动信号模拟软件开发	张鑫; 韩宇; 王猛 227
.....	

基于 GSM 的温室大棚温湿度监测系统设计*

段清明；张雅茹；崔贞淑；曾令旗

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要：近年来，温室大棚已经成为农业生产工程中的关键环节，大棚温湿度的管理水平直接影响着农产品的质量与产量。因此对温室大棚在生产过程中环境参数的监控具有重要意义。本系统设计采用 DHT11 数字温湿度传感器采集温湿度值，由单片机进行数据处理，利用键盘和液晶显示实现人机对话功能，超过上限值利用 GSM 进行短信报警，用户可以通过短信查询当前温湿度值、设置温湿度上限值、控制风扇水泵的开关。结果表明，该系统维护方便、体积小、功耗低、电路简易，具有较好的扩展性。

关键词：GSM、DHT11 温湿度传感器、温室大棚

Design of Humiture Measurement and Control System Based on GSM

Duan Qingming; Zhang Yaru; Cui Zhenshu; Zeng Lingqi

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Recently, greenhouse has already been a key factor in agricultural production engineering. Management level of greenhouse humiture impacts (has influence in) the quality and quantity of agricultural products directly. Therefore, it is important to control the environmental parameter in the production process of greenhouse. The design of used DHT11 digital humiture sensor to gather humiture, signal chip microcomputer was used to deal with the data, keyboard and LCD can implement man-machine conversational function, GSM was used to alarm a message once the humiture was beyond the upper. The users can inquire the current value of humiture, set up the threshold value and control the switch of the fans and pumps by messages. The result shows that the measurement and control system is maintained conveniently with small volume, low power consumption, simple circuit and good expansibility.

Keywords: GSM、DHT11 digital humiture sensor、Greenhouse

0 引言

在我国，有很大一部分的传统农业种植需要依靠大棚发展。大棚规模虽然很大，操作起来却费时费力。近几年来，利用物联网科学技术和自动控制技术来提高农业大棚的自动化控制水平，达到大棚内作物产量增加和人力资源劳动投入减少的目的^[1]。虽然我国农业大棚在自动化方面发展很快，但是仍存在监测范围小，远程控制信号不稳定，采集精度偏低等问题。随着科技的不断创新，也应该对

大规模的大棚技术进行改进，使之能够成为有利于科技控制，降低对操作者要求的智能型生产技术^[2]。

智能型大棚可使工作人员随时随地查看大棚内部温湿度的情况，从而能以最快的速度进行调整。其价格低与可靠性高，给改造农业带来了许多便利。用新技术改造农业生产，是我国农业和国民经济持续发展的根本大事。本文旨在对温室大棚温湿度监控控制系统的设计，通过高灵敏度的温湿度传感器检测大棚内的温湿度，并通过控制系统调整其温湿度^[3]。

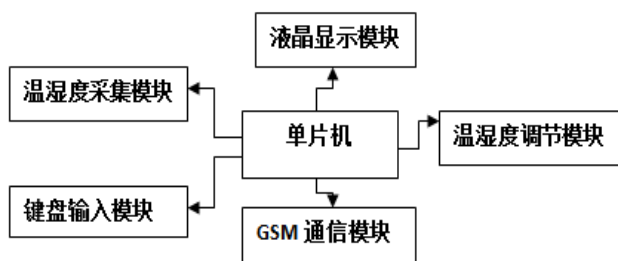
*指导老师：段清明

项目类型：大学生创新项目（2015651009）

1 远程监控系统组成

根据远程监控系统的设计功能，确定其结构如图一所示。本系统主要由单片机控制模块、温湿度采集模块、键盘输入模块、液晶显示模块、GSM 通信模块、温湿度调节模块组成。

该装置由 DHT11 温湿度传感器实现数据采集，然后送入单片机进行数据处理。利用键盘和液晶显示实现人机对话功能。当大棚温湿度超过所设上限值时，单片机通过 GSM 通信模块向用户发送短信进行报警，同时驱动风扇、水泵等对温湿度进行调节。用户还可以发送短信查询当前大棚内的温湿度值、设置温湿度上限、控制水泵风扇的开关。



图一 系统框图

Fig.1 System block diagram

2 系统硬件设计

2.1 温湿度采集电路设计

本系统设计采用 DHT11 温湿度传感器进行数据采集。该传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件，是含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器，具有响应快、抗干扰能力强、性价比高等优点^[4-5]。它采用单线制串行接口，可直接与单片机引脚相连，仅仅需要一个 I/O 口。由于其超小的体积和极低的功耗，它的信号传输距离可达 20 米以上。DHT11 温度测量范围：0 ~ 50°C；温度测量精度：±1°C ~ ±2°C；相对湿度测量范围：20% ~ 90% RH；相对湿度测量精度：±4% RH ~ ±5% RH。

2.2 GSM 通信电路设计

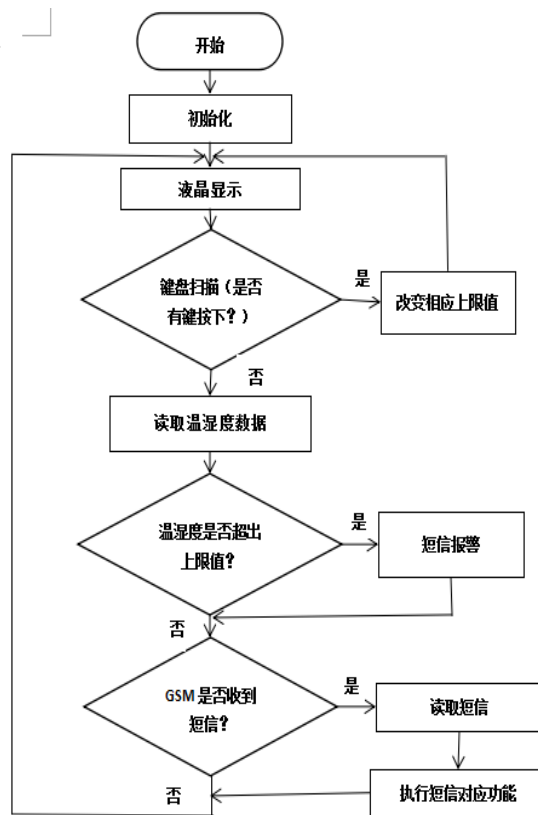
GSM 通信模块采用 SIMCOM 公司的 SIM900A 模块来实现。它是一个双频的 GSM/GPRS 模块，工作频段为：EGSM 900MHz 和 DCS 1800MHz。它支持 GPRS multi-slot class 10/class 8 和 GPRS 编码格式 CS-1, CS-2, CS-3 与 CS-4。SIM900A 采用 VBRT 为 3.4V 到 4.5V 的单电源供电，由于模块发射的突

发性会使电压跌落，这时电流峰值会达到 2A，因此电源必须能够提供足够 2A 的电流。本系统设计中，为保证 GSM 模块能正常启动，采用单独对其供电的方法。单片机通过串口对 SIM900A 发送 AT 指令来控制短信的收发，可直接将单片机与 GSM 模块的串口引脚相连接^[6-9]。

3 系统软件设计

3.1 主程序设计

软件采用模块化设计。全部程序由主程序、DHT11 温湿度测量子程序、串口通信子程序、液晶显示子程序、键盘扫描子程序组成。其主要流程为：单片机系统检测到 DHT11 温湿度值后，经处理将数据送到 LCD 液晶显示模块进行显示。与通过键盘所设置的设定温湿度值进行比较，判断是否超过所设定值，若超过，则单片机通过串口向 GSM 模块发送 AT 指令控制其进行短信报警。除此之外，单片机还可以通过 AT 指令读取 GSM 模块接收到的短信来执行相应功能，如查询当前温湿度值、设置温湿度上限、控制水泵、风扇的开关等。其中主程序是控制和管理的核心，其流程图如图二所示。



图二 主程序流程图

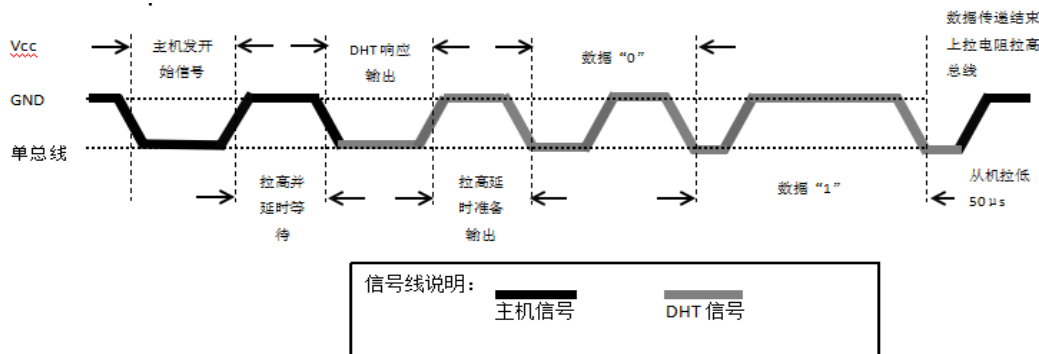
Fig.2 Main program flow chart

3.2 DHT11 温湿度采集模块

DHT11 与单片机互相通信使用的是单总线的数据方式，每次通信有 4 毫秒左右的时间。操作流程如下：

完整的数据传输为 40 比特，高位先出。数据格式：温度整数数据（8bit）+温度小数部分（8bit）+湿

度整数数据（8bit）+湿度小数数据（8bit）+校验和（8bit）。如果传送数据是正确的，校验和等于“湿度整数数据+湿度小数数据+温度整数数据+温度小数数据”，算出的结果取最后的 8 位^[10]。DHT11 与微处理器通讯过程如图三所示：



图三 DHT11 通信时序图

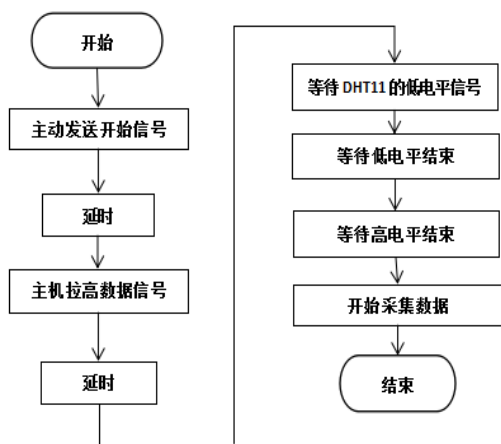
Fig.3 DHT11 Communication sequence diagram

根据 DHT11 与微处理器的通讯时序，其数据采

表一 温湿度采集数据

集的流程如图四所示

Table1 Temperature and Humidity Data Acquisition



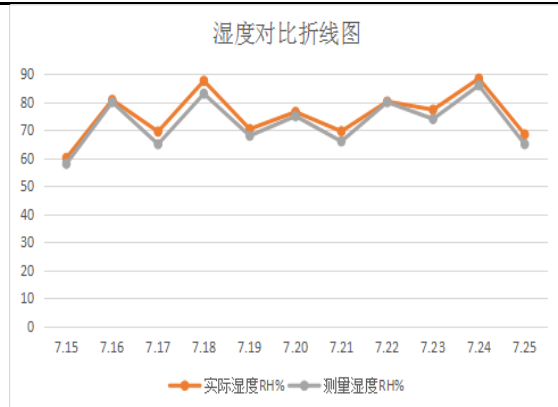
图四 温湿度数据采集流程图

Fig.4 Temperature and humidity data acquisition flow chart

日期	实际温度℃	测量温度℃	温度误差 δ_i	实际湿度 RH %	测量湿度 RH %	湿度误差 δ_i
7.15	29.2	28	-1.2	60.1	58	-2.1
7.16	29.8	28	-1.8	80.8	80	-0.8
7.17	28.5	28	-0.5	69.5	65	-4.5
7.18	29.6	28	-1.6	87.6	83	-4.6
7.19	28.1	27	-1.1	70.4	68	-2.4
7.20	28.9	27	-1.9	76.5	75	-1.5
7.21	28.8	28	-0.8	69.6	66	-3.6
7.22	28.3	27	-1.3	80.2	80	-0.2
7.23	28.5	27	-1.5	77.3	74	-3.3
7.24	29.8	28	-1.8	88.4	86	-2.4
7.25	28.5	28	-0.5	68.5	65	-3.5

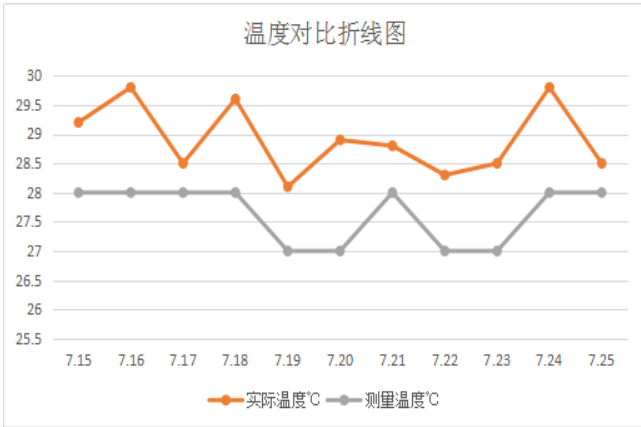
4 结果分析

通过 DHT11 温湿度传感器在一个时间段内对室内环境进行检测，所采集的温湿度数据如表一所示。利用精度为 2%RH 的湿度计测得的湿度作为湿度实际值，与 DHT11 传感器测得的湿度值对比如图五所示。利用精度为 0.1 的水银温度计测量的温度作为温度实际值，与 DHT11 传感器测得的温度值对比如图六所示。



图五 湿度对比折线图

Fig.5 Relative humidity chart



图六 温度对比折线图
Fig.6 Relative temperature chart

温度误差和湿度误差已经在表一中列出，根据

标准差计算公式 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}$ ，可以计算出温度和湿度的标准误差如下所示：

$$\sigma_{\text{温度}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} \delta_i^2}{11}} = 1.36$$

$$\sigma_{\text{湿度}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} \delta_i^2}{11}} = 2.77$$

5 结语

本文在提出基于 GSM 的温室大棚温湿度监测系统的总体设计方案的基础上，对系统的软件和硬件进行了具体的设计。该系统基于 SIM900A 短信收发模块，以单片机 STC89C51 为控制核心，实现了对温室大棚温湿度的远程监测。该装置具有温湿度远程监测报警、温湿度本地监测报警、温湿度自动调节等功能。测试结果表明，本系统使用简单、维护方便，具有功耗低、成本低、体积小、重量轻的特点，进一步提高了温室大棚的自动化管理水平，方便了人们的生产生活。

参考文献

1. 吴朋林.温室大棚智能控制系统研究[D].山东：山东大学，2015.
2. 田苗苗.温室大棚监控系统的研究[D].吉林：吉林大学，2013.
3. 邱增帅.温室大棚的环境参数控制[D].辽宁：沈阳工业大学，2013.

4. NI Tian-long. Application of single bus sensor DHT11 in temperature humidity measure and control system[J].Microcontrollers & Embedded Systems, 2011 (4) :45-46.
5. HAN Ying-mei , ZHAO Jian-ping. Desiggn of temperature humidity wireless sensor network node based on DHT11 [J].Journal of Jinggangshan University (Natural Science), 2011, 32 (1) :67-70.
6. 段荣霞,崔少辉.单片机与 GSM 模块通信技术的研究[J].国外电子测量技术, 2012,31 (1): 79-82.
7. 毛慧琴.基于 GSM 和单片机的远程家电控制[D].广西：广西大学，2008.
8. 何娟娟,代小磊,徐信.基于单片机和 SIM900A 采集装置的设计与实现[J].信息技术, 2015,8 (42): 160-163.
9. GAN Zhi -wei,YAN Kai.Wireless data acquisition card' s design and implementation based on SIM900A[J].Shanxi Electronic Technology ,2013(1):55-58.
10. 卜永波,罗小玲,陈一.基于 DHT11 传感器的温湿度采集系统[J].计算机与现代化, 2013,11 (32) :133-135.

基于 ANSYS 的 ERT 电磁场仿真及优化设计*

吴永宏；宋 爽；嵇艳鞠

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130000)

摘要: 电阻层析成像 (Electrical Resistance Tomography, 简称 ERT) 是一种基于电磁场理论的过程层析成像技术, 本论文主要研究了 ERT 电磁场仿真及优化设计, 针对 ERT 数学描述和有限元法进行了分析, 对于四电极、八电极和十六电极进行初步的研究, 并进行了二维及三维仿真, 确定以十六电极为核心目标展开后续工作。最终在电极的形状、高度、位置等方面取得了研究成果, 得到了电极优化的最佳选取方案。

关键词: 电阻层析成像 ERT 电磁场仿真 优化设计

Electromagnetic field simulation and optimization design of ERT based on ANSYS

WU Yonghong; SONG Shuang; JI Yanju

(School of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130000)

Abstract: Electrical Resistance Tomography (ERT) is a process tomography based on electromagnetic field theory. This paper mainly studies the ERT electromagnetic field simulation and optimization design. It is analyzed for ERT mathematical description and finite element method. Four electrodes, eight electrodes and sixteen electrodes were studied, and two-dimensional and three-dimensional simulation were carried out to determine the follow-up work with the sixteen electrodes, and the best choice of electrode optimization is obtained.

Key words: electrical resistance tomography ERT electromagnetic field simulation optimization design

0 前言

在化工、石油、冶金、石油和能源等部门以及医疗、卫生、食品等领域中, 普遍存在多相流流动过程。随着工业自动化生产水平的不断发展, 对两相流参数的测量需求日益迫切, 过程层析成像技术也在此时应运而生。而电阻层析成像就是其中的一种, 它适用于两相流中连续相为液相的生产过程中。

电阻层析成像 (ERT) 技术是基于敏感场中电导率的不同来获取多相媒质的分步信息。本文分析了 ERT 的数学描述及其正问题、电磁场仿真、电极优化等, 并且介绍了软件 ANSYS 及 APDL 语言。

1 ERT 数学描述

1.1 ERT 敏感场的数学描述^[1]

ERT 中的理论是建立在电磁场理论中的‘似稳场’的基础上, ‘似稳场’满足以下条件:

$$\begin{cases} \nabla \times H = J_f = \sigma E \\ \nabla \cdot D = 0 \\ \nabla \cdot B = 0 \\ \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

基于假设 (ERT 敏感场为‘似稳场’) 和恒定电场理论 (ERT 敏感场为恒定电场) 及其麦克斯韦方程, 在 ERT 敏感场中的任意一点上,

$$J = \sigma \cdot E \quad (2)$$

*指导老师: 嵇艳鞠

项目类型: 大学生创新项目 (2015650980)

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (3)$$

其中, σ 为电导率, E 为电场强度, J 为电流密度。又因为

$$E = -\nabla \phi \quad (4)$$

其中 ϕ 为敏感场内的电势分布, 而 ϕ 满足

$$\nabla \cdot (\sigma \cdot \nabla \phi) = 0 \quad (5)$$

$$\nabla \sigma \cdot \nabla \phi + \sigma \cdot \nabla^2 \phi = 0 \quad (6)$$

在均匀、各项同性、线性的媒质中, σ 是常数, 则 $\nabla \sigma = 0$, 所以公式 (6) 可以简化成拉普拉斯方程

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (7)$$

1.2 ERT 正问题分析^[2]

计算 ERT 正问题的方法可以分为两大类: 解析法和数值计算法。解析法需要理论推导求得详细的解析表达式, 进而解得解析解, 解析法的推导过程较复杂, 只适用于二维的均匀场的计算, 所以不适用于 ERT 正问题的求解。而数值计算法又分为有限元法(FEM)、边界元素法(BEM)和有限差分法(FDM)等等。而 ERT 正问题的求解适合用有限元法, 有限元法是基于变分原理的, 并将偏微分方程问题转变为泛函极值问题, 然后用数值方法解得极值问题进而求得数值解。其求解步骤包括:

① 设出与待求的边值问题相对应的泛函和等价的变分问题;

② 利用有限元法剖分场域, 并且选择相对应的差值函数;

③ 离散化为极值问题, 导出并列出代数方程组;

④ 用代数法解有限元方程, 求得数值近似解, 用后处理程序求得方程解, 得最终结果。

误差来源:

离散化误差: 在本质上有限元法将整个场域分解成很多个小的区域来求解, 将问题由连续转化为离散, 在转化过程中产生的误差即为离散化误差, 并且无法消除, 为有限元法所固有。

舍入误差: 在利用计算机工作时, 由于计算机本身的字长所限制, 原始数据会产生一定的误差, 而在计算过程中又会产生新的误差, 使输出结果不精准, 这种误差即为舍入误差, 无法消除。

1.3 ANSYS 介绍^[3]

软件 ANSYS 是集声、电、热、结构及液体于一

体的通用大型有限元法分析软件, 分为三个主要部分: 前处理模块、分析计算模块及后处理模块。可研究电场的三方面问题: 电路分析、静电分析和电流传导。可用于分析: 结构静力、结构动力学、结构非线性、动力学、热分析、电磁场分析、流体动力学、声场、压电分析等。

ANSYS 分析过程的主要步骤:

(1) 建立/读入几何模型;

(2) 规定材料属性;

(3) 划分网格;

(4) 施加载荷及求解, 设置载荷选项、设定约束条件;

(5) 查看并检验分析结果。

1.4 APDL 语言介绍

ANSYS 软件功能强大且复杂, 可以解决的问题广泛, 计算过程既快捷又简单。而 ANSYS 参数化设计语言 (ANSYS Parametric Design Language, APDL) 是实现 ANSYS 中批处理文件的一种语言, APDL 语言的编写也易于维护和修改, 它更扩展了 ANSYS 在有限元分析以外的能力, 省时方便。

2 ERT 电磁场仿真及优化设计^[4~9]

2.1 ERT 电磁场仿真

因为 ERT 的三维‘软场’特性 (敏感场随着被测介质分布的变化而变化), 我们借助大型仿真软件 ANSYS 通过 APDL 语言对 ERT 电极进行电场仿真。

ERT 成像是比较成熟的一种电学成像方式, 根据各种介质中电导率的不同而导出敏感场中电导率的分布。

ERT 电极采用电导率远大于被测媒质的金属, 故而实际测量中, 所用到的矩形电极是等势体。

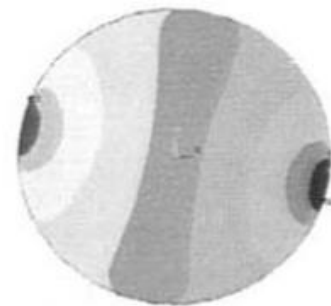


图 1 电极张角 16° 等势云图

Figure 1 electrode angle 16° isotonic cloud

由图 1 可知, 电场的等势线在电极的附近发生了偏移, 电极的表面强制为等势体, 不能反应点信息, 电极越宽, 等势线的偏移越严重, 易引入误差。

2.2 电极的选择

ERT 电极必须满足：

- (1) 导电性能良好；
- (2) 化学性质稳定；
- (3) 机械加工特性良好，易于加工，热应力小，成本低；
- (4) 具有一定耐磨性。

2.3 ERT 电极的优化目标

ERT 电极的优化目标从以下几方面考虑：

- (1) 空间分辨率：在不同的电导率下得到边界电压响应之差的范围与激励电流范围之比。

$$d(\sigma_1, \sigma_0, I_s) = \left\| \frac{U_1(\sigma_1, I_s) - U_0(\sigma_0, I_s)}{I_s} \right\| \quad (8)$$

其中 I_s 是激励电流， U_0 和 U_1 分别为某一点电

导率从 σ_0 变到 σ_1 的边界的电压测量值。空间分辨率应该越大越好。而由仿真结果可知，要使分辨率越大，电极覆盖率应越小，即电极张角越小。

(2) 敏感场的均匀性：改变敏感场的均匀性，可以改善 ERT 的不稳定性，故而系统越均匀越好。通过仿真可以知道，电极的张角越大，电极的覆盖率越大，敏感场的分布越均匀。

(3) 成像误差：重建图像的保真度 (SIE)。SIE 能够反应人眼能观察的重组图像与模型之间的差异。它是一个良好的评价指标。由仿真图像可知，电极的尺寸越大，求得解越逼近真实的解，效果越好。

2.4 点电极的优化设计

点电极是直径很小很小的圆形电极，能够测量‘点’的相关电位信息。本文用两个直径不同的点电极来对比，找寻合适的直径优化点电极。

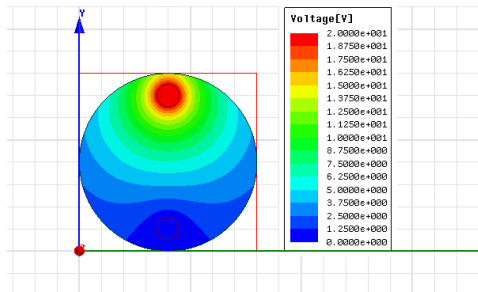


图 2 2.5mm 半径点电极电势仿真图

Figure 2 2.5mm radius point electrode potential simulation

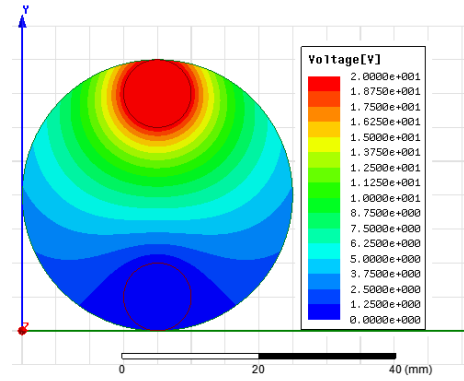


图 3 5mm 半径点电极电势仿真图

Figure 3 5mm radius point electrode potential simulation

2.5 电极高度不同的仿真优化设计

电极的高度影响管道轴向空间的电场分布的均匀性，但是电极高度越高，敏感场中空间的滤波效应越强，而我们难以在一个很薄的截面上得到敏感场内介质信息，只能得到电极所能覆盖区域里的平均信息。虽然截面上的精密信息难以获得，但是测量三维空间中较大的区域内的平均介质的信息还是可行的。故此处使用稍大的矩形电极，随着轴向尺寸的增加，中心场的均匀性越好，但是边缘效应依旧存在，场的空间范围随着尺寸的增加而增加，敏感区域增大，故应综合考虑。

本文用两个高度的电极作比较，在合适的范围内找到合适的优化高度。

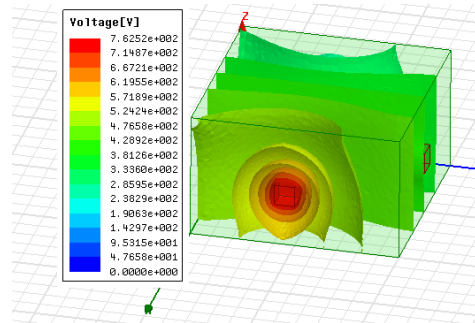


图 4 5mm 高电极仿真图

Figure 4 5mm high electrode simulation diagram

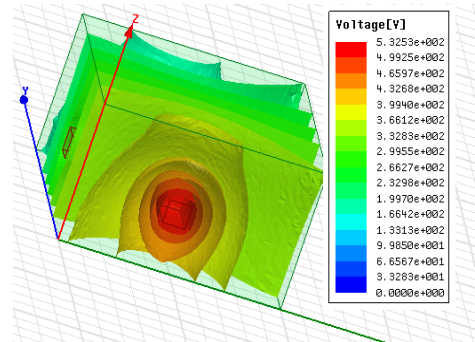


图 5 10mm 高电极仿真图

Figure 5 10mm high electrode simulation diagram

2.6 电极位置不同的优化设计

本文用 16 电极相对和相邻的两种位置关系来进行比较,看哪一种电极位置优化效果更好。

相对激励模式选取一个与激励电极相邻的非激励电极作为我们的参考电极,然后依次与其它电极组成测量电极进行测量;接着顺时针选取下一对相对电极,重复之前的步骤。可获得 $N \times (N-3)/2$ 个测量值。

相邻激励模式也叫作四电极模式,取相邻的两个电极上建立一个敏感场,测其它相邻的电极对的电压。

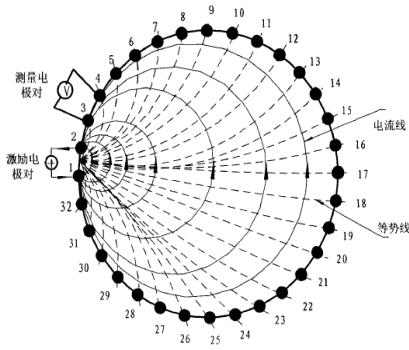


图 6 相邻激励模式

Figure 6 Adjacent excitation mode

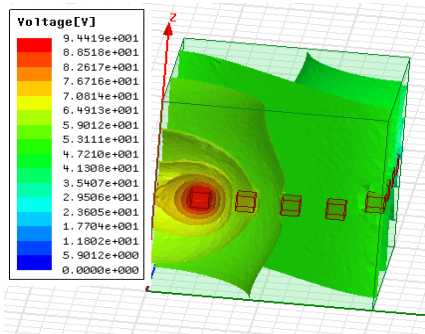


图 7 16 电极相对激励模式仿真图

Figure 7 16 electrode relative excitation mode simulation diagram

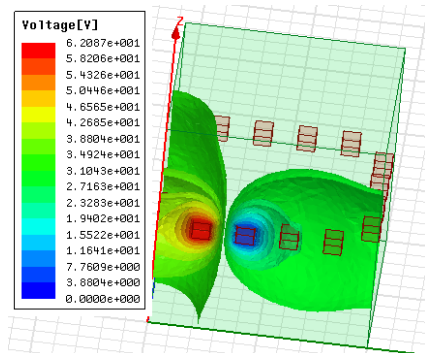


图 8 16 电极相邻激励模式仿真图

Figure 8 16 electrode adjacent excitation mode simulation diagram

相对模式和相邻模式做对比,其敏感场的电场的分布更均匀,中心域的灵敏度相对有所提高,灵敏度分布较好。

3 结论

(1) 采用有限元法计算复杂介质的 ERT 敏感场的问题,也适合 ERT 敏感场的仿真计算,改变网格数得到的精度较高。

(2) 本文主要对电阻层析成像 ERT 进行了数学描述,并介绍了辅助工具大型仿真软件 ANSYS 及其辅助性语言 APDL,在了解这些的基础上,对 ERT 进行电磁场仿真及优化设计,在电极的形状、大小、位置等方面进行重点分析,实验时也是在这几方面重点研究^[10]。

(3) 适合二维的一切推导均可适合三维场的。

(4) 建立了 16 电极的 ERT 仿真模型,得到了相邻与相对两位置下的仿真图,分析了不同直径下的点电极仿真图,以及高度不同的矩形电极的仿真图。

(5) ERT 电极优化总结:

- ①成像误差方面:电极的尺寸越大越好;
- ②场域的覆盖范围:电极的尺寸越大越好;
- ③分辨率方面:电极的尺寸越小越好。

参考文献

1. 问雪宁.基于 ANSYS 的 ECT/ERT 的电磁场仿真及阵列电极优化设计[D].2007,1,1.
2. 魏颖,夏靖波,王师,陆增喜.电阻层析成像(ERT)敏感场的仿真计算[J].东北大学学报.2000,8.
3. 金建铭.电磁场有限元方法[M].西安电子科技大学出版社.1998;20-45.
4. 燕增伟.32 电极电阻层析成像系统仿真研究[J].2009,6.
5. 肖理庆,邵晓根,王琳琳,张亮,石天明.电阻层析成像有限元仿真模型分析与设计[J].仪器仪表学报.2008,2.
6. 马艺馨.电阻层析成像系统敏感电极阵列的仿真研究[D].天津大学.1996.
7. 陈立成.层析成像的数字方法与应用[M].西安交通大学出版社.1994.
8. 张宝芬,彭黎辉,姚丹亚.过程层析成像技术[J].石油工业技术监督.2001,17(6):12-15.

9. 石英杰.电阻层析成像技术的研究[D].燕山大学.2007.
10. 贾秀权.ERT 系统电极阵列优化设计及单电极激励模式的研究[D].2006.1.

基于小波变换的核磁共振信号 稀疏表示和重建方法研究*

唐学伟; 彭 博; 王昭阳

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130000)

摘要: 核磁共振信号非常微弱, 容易受到噪声影响。要对核磁共振信号进行分析, 必须先对信号进行降噪处理。本课题利用小波变换的方法对核磁共振信号进行稀疏表示后采用适当的方法对其进行重建。小波变换将信号的能量集中在少数几个系数上, 而噪声的能量分散于整个小波域。信号的小波系数将大于噪声的。基于此, 对变换系数进行切割, 阈值处理等方法去噪声。最后利用阈值处理后的小波系数进行重构, 得到原始信号的估计值, 达到去除噪声的目的。

关键词: 稀疏表示 小波变换 Coif3 小波基 阈值 重构

Based on nuclear magnetic resonance (NMR) signal sparse representation of wavelet transform and reconstruction methods

Tang Xuwei; Peng Bo; Wang Zhaoyang

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: The NMR signal is very weak and easily affected by the noise. The NMR signal analysis, must first signal noise reduction processing. This paper using the method of wavelet transform, after sparse representation using appropriate methods to reconstruct the NMR signal. Wavelet transform signal energy is concentrated in a few coefficients however, the noise energy is dispersed throughout the wavelet domain. The wavelet coefficients of signal will be greater than the noise. Based on this, the cutting of transform coefficient, threshold processing method to noise. Finally using wavelet coefficient after threshold processing to reconstruct the original signal, obtain the estimated value, and achieve the purpose of removing noise.

Key words: Sparse representation Wavelet transform Coif3 wavelet basis Threshold Restructure

0 前言

核磁共振信号非常微弱, 容易受到噪声影响。要对核磁共振信号进行分析, 必须先对信号进行降噪处理。本文利用小波变换的方法对核磁共振信号进行稀疏表示后采用适当的方法对其进行重建。

磁共振信号的拉莫尔频率与地磁场有关, 而

MRS 信号的拉莫尔频率与地磁场成比例, 因而不同地方探测 MRS 信号的频率也会不一样, 它的范围在 1.3kHz-3.7kHz 内。另外, MRS 信号很微弱, 在上述频率范围内的信号就会受到工频谐波、尖峰噪声、随机噪声及其他各种复杂非平稳噪声的干扰^[1], 因此采用合适的滤波算法对核磁共振信号进行消噪处理, 去除噪声信号, 提取有效信号就变得至关重要, 它将影响后续特征参数的准确性, 进而影响反演

* 指导老师: 蒋川东

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65648)

解释结果是否可信。

小波变换将信号的能量集中在少数几个系数上，而噪声的能量分散于整个小波域。信号的小波系数将大于噪声的。基于此，对变换系数进行切割，阈值处理等方法去噪声。最后利用阈值处理后的小波系数进行重构，得到原始信号的估计值，达到去除噪声的目的。用小波变换有以下优点：(1)小波分解可以覆盖整个频域(提供了一个数学上完备的描述)；(2)小波变换通过选取合适的滤波器，可以极大的减小或去除所提取得不同特征之间的相关性；(3)小波变换具有“变焦”特性，在低频段可用高频率分辨率和低时间分辨率(宽分析窗口)在高频段可用低频率分辨率和高时间分辨率(窄分析窗口)；(4)小波变换实现上有快速算法(Mallat 小波分解算法)；(5)多分辨率特性：边缘、尖峰、断点等方法,所以可以很好地刻画信号的非平稳特性；(6)选基灵活性:由于小波变换可以灵活选择基、底,也可以根据信号特性和去噪要求选择多带小波、小波包、平移不变小波等；(7)小波变换的一个最大的优点是函数系很丰富,可以有多种选择,不同的小波系数生成的小波会有不同的效果。

1 磁共振信号消噪国内外研究现状

20 世纪 80 年代初，核磁共振找水方法由苏联研究成功，同时研制出第一代核磁共振层找水仪 hydroscope。2006 年，美国开展了核磁共振找水技术研究工作，首次提出采用自适应噪声抵消 (Adaptive Noise Cancellation, ANC) 思想实现噪声的滤除。通过自适应算法调整权系数来跟踪学习噪声的统计特性，实现从噪声中提取信号。1984 年法国的地质物理学家 Morlet 在分析地震波的局部性质时，首先引入了小波的概念对信号进行了解析。在上世纪 80 年代末与 90 年代初，Meyer、Grossman、Coifman 和 Daubechies 等人建立了小波分析的理论框架^[2]。小波变换因为具有良好的时频特性，它的出现彻底改变了傅里叶变换的垄断局面^[3]。

王希武等以医用核磁共振自由感应衰减(FID)信号的去噪处理为研究目标,基于小波变换技术,分析了有效信号和噪声的小波变换特性^[4]。孙灵川详细介绍了小波去噪的理论,应用 MATLAB 工具对仿真信号进行小波阈值去噪,并运用小波去噪方法对现场采集的核磁共振回波信号进行去噪研究^[5]。

2 稀疏重构算法理论基础

2.1 核磁共振信号的稀疏表示

方案一：离散傅里叶空间的稀疏表示

在一维的情况下，设离散信号 $N[n] \in \mathbb{C}^N$ ，则其离散傅里叶变换为：

$$[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-2\pi i k n / N} \quad X = \langle x, e_k \rangle, k = (0, 1, \dots, N-1) \in Z_N \quad (1)$$

其中， $\{e_k[n] = e^{2\pi i k n / N}\}$ 是 \mathbb{C}^N 上的一组正交基。离散傅里叶逆变换可以表示为：

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{2\pi i k n / N}, X[k] \in \mathbb{C}^N \quad (2)$$

由傅里叶反变换公式 2 可知，信号可以在频域空间 Z^N 中被精确重建。为了满足压缩的需要，信号 $x[n]$ 在正交基 $\{e_k\}$ 上的测量数越少越好，这样在最大化的压缩数据的同时，也能保证信号重建的精确性。

方案二：小波空间的稀疏表示

假设一维离散信号 $f(x)$ 的平方可积的矢量空间为 $L^2(\mathbb{R})$ ，则存在近似子空间 $V_i(i)$ ，并且它们之间是相互嵌套的，尺度函数 $\phi(t)$ ， $\phi(t)$ 是 V_0 的标准正交基，它经过伸缩以及平移变换可以得到子空间 V_i 的标准正交基，即 $\{\phi_{ik}(t) = 2^{i/2} \phi(2^i t - k)\}$ $t \in \mathbb{Z}$ ， $V_0 \subset V_1$ 的条件下，则尺度函数满足式：

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_k c_k \phi(2t - k) \quad (3)$$

其中 c_k 为展开函数，但是对于函数 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 而言， V_i 上的映射指标可以理解为该函数 i 尺度上的近似，剩下的细节部分映射于小波子空间 W_i 中，其中， $V_{i+1} = W_i \oplus V_i$ ，同样的，单一的小波函数 $\psi(t)$ 经过伸缩以及平移也可以获取 W_i 中的规范正交基，且 $\psi(t) = \sqrt{2} \sum_k d_k \psi(2t - k)$ ，其中 d_k 为展开函数，对 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 进行展开：

$$f(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} a_{i,k} \Phi_{i,k}(t) + \sum_{i \geq 1} \sum_{k \in \mathbb{Z}} b_{i,k} \psi_{i,k}(t) \quad (4)$$

加入可分离的多分辨率分析后有： $V_i^{(2)} = V_i^{(1)} \oplus V_i^{(2)}$ ，其中二维尺度函数

$$\phi_{i,k,l}(t,s) = \phi_{i,k}(t) \phi_{i,l}(s) \quad i,k,l \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

可以将二维小波子空间分解成三个方向的小波高频细节（水平、垂直、对角），即表示为正交小波基。选用双正交小波,它具有对称性,在各个尺度上小波系数之间基本没有冗余信息。

通过对核磁共振信号的稀疏表示的两种方案的

比较, 傅里叶变换不能将时域信号和频域信号有机的联系起来, 同时复杂的机构和运算限制了它的应用。相比于傅里叶变换不足, 小波基函数具有良好的多分辨率特性、对点奇异的最优逼近性、时频局域性等优点。小波变换可以更好的利用信号中的点状奇异特性, 通过平移变换和伸缩变换对信号进行最优表示, 常选用二维小波变换作为稀疏基来稀疏化 MR 图像, 因此这里采用小波变换。

2.2 重建方法

小波变换 Mallat 塔式算法可知小波分解算法:

$$\textcircled{1} C_k^0 = f_k \quad \textcircled{2} C_k^j = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^{j-1} h_{n-2k} \quad \textcircled{3} d_k^j = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^{j-1} g_{n-2k}$$

$k=0,1,2,3,4,\dots,N-1$

f_k 为原始图象信号采样序列, N 为采样点数, $h(n)$ 和 $g(n)$ 是一对镜像滤波器 H 和 G 的脉冲响应, j 表示分解的不同尺度, 选用不同小波时, 可通过选择不同的系数 $h(n)$ 和 $g(n)$ 实现。多分辨率分析是利用两组滤波器系数 $h^n g^n$, 将信号 $f(t)$ 分解为平滑信号和微细信号, h_n 为低通滤波器, 通过该滤波器得到平滑的低频信号, g_n 为带通滤波器, 通过该滤波器可得到信号的微细部分即高频分量。假设在系统中数据的采集频率为 f_s , 平滑信号经过滤波器系数 h_n 得到信号频率为 $[0 \sim f_s/4]$, 微细信号经过滤波器 g_n 得到信号频率为 $[f_s/4 \sim f_s/2]$, 进一步对平滑信号进行低通和带通滤波, 则可得到尺度为 2 的平滑信号和微细信号。这个分解过程可以无限进行下去。利用最低层的平滑信号和各个微细信号可以实现对原信号的重构还原。

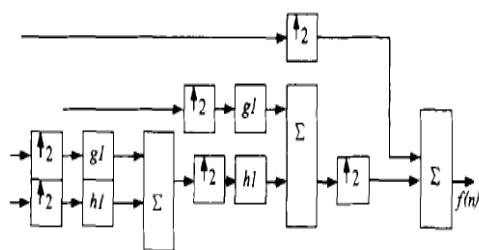


图 1 信号重建示意图

Fig.1 Schematic diagram of signal reconstruction

经 Mallat 塔式分解后, 可用重构算法对信号进行重构, 信号重构算法如下:

$$C_k^j = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n^{j-1} h_{n-2k} + \sum_{m=-\infty}^{+\infty} C_m^{j+1} g_{n-2k} \quad (6)$$

3 小波基的选择

寻找合适的小波基进行信号稀疏表示。应考虑: (1) 正交性, 严格的规范正交特性有利于小波分解系数的精确重构。(2) 紧支性和衰减性, 紧支性与衰减性是小波的重要性质, 紧支宽度越窄或衰减越快, 小波的局部化特性越好 (3) 对称性, 对信号做对称延拓时, 重构信号部分失真较小, 有利于获得高质量的重构信号。(4) 正则性, 对于大部分正交小波基正则性越高就意味着更高的消失矩。另一方面, 正则性刻画了小波的光滑度, 正则性与支撑集大小有关, 支撑越大, 正则性越好。小波基的正则性对最小量化误差是很重要的, 因此, 正则性越大的小波基越好。

这里通过对信号的数据进行小波变换, 然后将重构信号与原始信号的信噪比和峰值误差大小作比较来选取最优小波基。

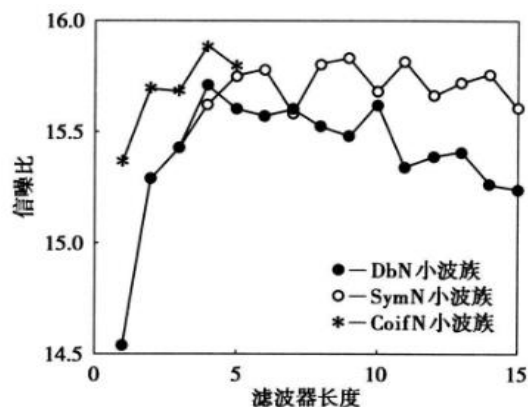


图 2 对 Bumps 采用不同的小波族不同滤波器

Fig.2 Different filters are used for Bumps

从图 2 可以看出, 对测试信号在去噪器长度相同的情况下, 考虑不同的小波家族, 比较信噪比可以看出, 基本上都是 CoifN 小波族较优。

且实测的 MRS 数据信噪比也在 -16dB 附近, 所以最终决定选取 Coif3 小波基。

4 典型信号的分解、重构过程

对含有工频干扰的调幅信号进行了算法的分解重构。调幅信号频率为 $R^{k+1} f$ 100Hz, 加了工频干扰。

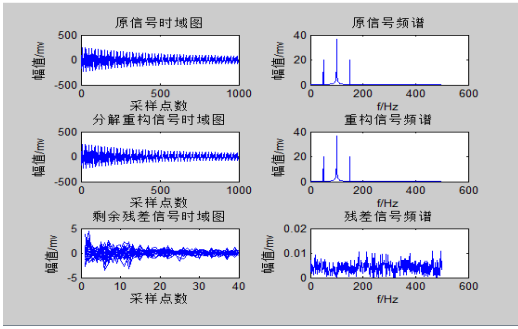


图3 信号时频图

Fig.3 Signal time-frequency graph

可以看出时域残差信号值小于 5mV，而原信号的量级是几百毫伏，频域残差信号幅值小于 0.01mV，所以可以确定，算法程序对信号分解重构的过程是正确的。

5 仿真核磁共振信号的稀疏分解

核磁共振 (MRS) 信号的表达式为:

$$E(t) = E_0 \exp(-t/T_2^*) \cos(\omega_0 t + \theta) \quad (7)$$

长春地区拉莫尔频率大概为 2325Hz, 工频谐波的频率设为 2250Hz 和 2350Hz^[7], 再加入随机噪声, 构成含噪声的核磁共振信号。有用信号频率 2325Hz, 采样率高达 25000Hz, 点数多至 6250 个点, 运行程序后发现点数太多, 使得原子库中的原子数量太多, 循环次数太多, 导致程序运行时间过长, 无法分解出信号^[8]。所以采用分段处理信号解决这一问题。

具体做法是选择适当的段长和段数, 根据数据的点数, 分成整段数, 每段数据的段长过长会使程序运行缓慢, 过短会丧失信号的一些特征。本次分为 250 段, 每段 25 个点, 结果如图 4。

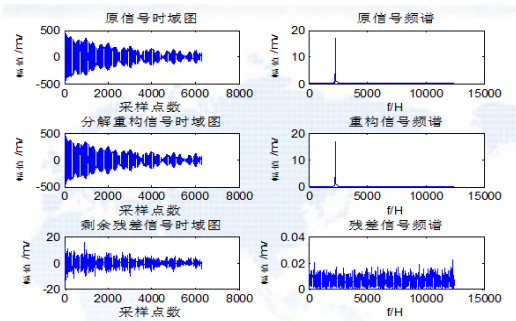


图4 信号时频域图形

Fig.4 Signal time-frequency domain graph

从时域图中可以看出, 分解重构后的信号跟原信号基本完全一样, 剩余残差的最大幅值也已经被

控制在 20 毫伏内, 从频域图来看重构后的信号的频点以及能量分布跟原信号一样, 而残差信号的频点的能量已经低于 0.005 毫伏, 所以我们可以认为这种方法的分解重构效果达到了要求。

6 仿真核磁共振信号的去噪重构

对信号去噪重构需要对分解出来的原子进行分析, 区分出哪些原子表征有用信号的成分, 哪些原子表征噪声信号的成分, 然后把属于噪声信号的原子去掉来达到去噪重构的目的。

(1) 窗函数滤波去噪效果

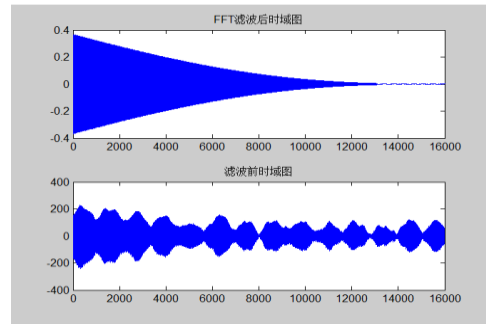


图5 FFT 去噪效果

Fig.5 FFT denoising effect

图 5 是利用窗函数对信号去噪的过程, 之前在分解信号的时候, 我们讨论过, 傅里叶变换不能将时域信号和频域信号有机的联系起来, 同时复杂的机构和运算限制了它的应用。从上图来看, 从时间域上来看, 可以发现一大部分噪声已经被消除, 有用的信号基本可以被显示出来, 对于频域图上, 工频谐波频率为 2250Hz 的干扰全部被滤除, 频率为 2350Hz 的工频谐波能量值降低了很多, 但是我们发现, 有用信号 2325Hz 频点的能量也下降了, 因此, 这种方法不是最好的。

(2) 小波稀疏重构去噪

重构的尺度参数的取值跟数据点数有关, 数据点数少, 参数取值少, 而且最大值也会减小, 去噪重构的尺度参数跟信号能量的分布又有关系, 去噪重构参数越大, 信号能量越集中, 换句话说, 就是频谱图上能量越集中在某个频点上, 而不是分布在某一个范围, 于是我们必须增加每段的数据点数, 同时为了使得在数据点数较多时信号分解仍能完成, 我们适当的降低了信号的采样率 $f_s=12500$, 采样点数 $N=3125$, 进行去噪重构。

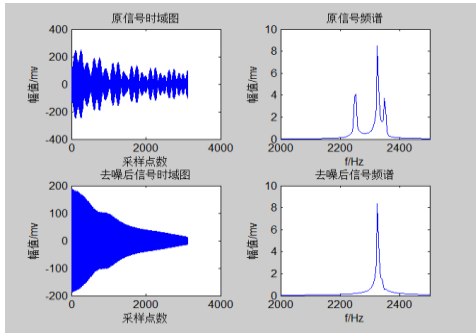


图 6 小波稀疏去噪重构

Fig.6 Wavelet sparse denoising reconstruction

图 6 是实际运行程序后的结果图，从时域图上看，基本上全部的噪声都被滤除，并且对有效信号的成分有很好的保留，使得去噪的时域图效果很好，从频域图上看，明显发现，工频谐波都被干净的滤除掉了，同时随机噪声也被滤除，因此最后采用这种方法重构去噪。

7 实测信号的噪声滤除研究

为了保证稀疏重构算法消噪的可实施性，对实测 MRS 信号进行噪声的滤除，以验证算法的有效性。

本次研究的实测数据有 1 组，为 102.text，包括 16 次单点数据，选取其中任意一次单点数据进行处理。实测信号的采样率 $f_s=128000\text{Hz}$ ，采样率太高，对本算法的负荷太大，因此降低了采样率，采样率降低到原来的 1/5，程序运行需要大概 30 分钟，时间过长，因此 f_s 设为 12800Hz，取 $N=3125$ 个点进行去噪处理。图 7 是 102.text 数据的处理结果。

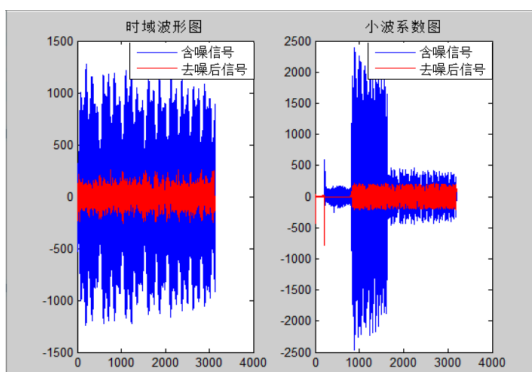


图 7 实测数据 102 信号时频图形

Fig.7 Measured data 102 signal time-frequency graph

从时域来看，算法很好的把有用信号从噪声当中提取出来了，从频域图看去噪之前，信号包含了

很多频率点的噪声干扰，尤其是工频谐波 $f=2350\text{Hz}$ 时的干扰非常大，并且有用信号的能量很小，但是经过算法去噪以后其他噪声都被去掉了，干扰最大的工频谐波也被很好的去除了，有用信号 $f=2325\text{Hz}$ 处的信号得到了很好的保留，并且能量值也没有损失，但是有效信号有所损失。

对实测信号进行 FFT 分析，将频率在 2325Hz 附近的点作为有效信号，其它点当成噪声信号，计算信噪比。

表 1 数据消噪前后信号信噪比 (dB)

Table1 Signal to noise ratio (dB)

数据组	去噪前信噪比	去噪后信噪比	信噪比提高
第 1 组 102 数据	-16.093	2.1051	18.1986

通过表 1 可以看出，该组数据信噪比提高的较少，但是也达到了 18.0dB，满足信噪比提高 5-15dB 的要求。

8 结论

MRS 信号中初始振幅、平均弛豫时间等参数表征含水的信息，而往往探测得到的数据中存在有大量噪声干扰，影响了含水信息的提取，稀疏重构算法对信号进行分解去噪重构，在保证有效信号不损失的情况下，得到更高的信噪比，此方法去噪具有十分重要的意义。

本文在查阅大量文献资料的基础上，提出了稀疏重构算法去噪。研究采用了构建完备原子库、分段处理、FFT 频谱分析等手段对 MRS 信号进行了处理，通过仿真和实测数据的处理验证了方法的有效性，并且通过与窗函数滤波算法的对比分析，进一步验证了稀疏重构算法去噪性能的优越性。

参考文献

1. Herrmann F J. Curvelet-domain matched filtering[C].Expanded Abstracts of Annual International SEG Meeting, 2008.
2. I.Daubechies.Ten Lectures on Wavelets.Journal of Approximation Theory,1994,78(3):460-461.
3. Liu X W, Nian J B, Liu H.Generalized S-transform based

- seismic Attenuation analysis[C]. Progress in Geophysics, 2006,29(1):20-24.
4. 王希武,董光波,谢桂海.基于小波变换的核磁共振 FID 信号的去噪方法研究 [J].核电子学与探测技术,2008,2(28):365-370.
 5. 孙灵川.基于 EMD 和小波变换的核磁测井回波信号去噪研究[D].东北石油大学,2014.
 6. 唐晓初.小波分析及应用 [M].重庆:重庆大学出版社,2006:58-70.
 7. 李鑫滨、马阳、邱建坤、张淑清.基于压缩感知弱匹配追踪算法的信号特征提取,中国机械工程,2014,25(24) 3314:3320
 8. 崔玲丽、莫代一、张建宇.基于匹配追踪的快速独立分析方法在轴承复合故障盲源分离中的应用,北京工业大学学报,2014,40(6)

磁耦合谐振式无线电能传输系统设计*

李鹏辉; 张 原; 杨 涛

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 本文基于磁耦合谐振原理, 设计了中功率无线电能传输系统。系统首先由高频正弦信号产生电路产生高频正弦信号, 产生的信号经前置运算放大电路进行电压放大, 再经过推挽式宽带线性功率放大电路对信号进行功率放大, 然后将放大后的信号经过四线圈耦合结构无线传输到负载接收端, 最后经过肖特基二极管搭建的高频整流桥及大功率 DC-DC 可调降压稳压电源模块处理后为负载提供稳定的直流电, 从而实现无线电能传输, 系统由 50V 直流电源供电。

关键词: 磁耦合谐振, 推挽式功率放大, 无线电能传输

Design of the Magnetically-coupled Resonant Wireless Transmission System

Li Penghui; Zhang Yuan; Yang Tao

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Based on the Magnetic-coupled resonant theory, we design a medium-power wireless transmission system. The system uses high/very high frequency sinusoidal signal generator to generate the desired sinusoidal signal. The signal goes through the push-pull wideband linear power amplifier, after the pre-amplifier. Then the amplified-signal is transferred by the four coils magnetic-coupled structure to the load receiving terminal. Finally we achieve the wireless power transmission using the rectifier bridge made of schottky diode and the DC-DC adjustable manostat module as the high frequency signal conditioning circuit. The system is power-supplied by the DC 50 voltage.

Keywords: Magnetic coupling resonance push-pull power amplifier wireless power transmit

0 引言

随着社会的发展, 基于电力技术的新发明广泛应用于生活和工业生产。传统的点对点金属导线传输和蓄电池供电等方式由于设备的磨损和老化大大降低输电线路的可靠性及安全性^[1]。一些特殊场合如水下、医疗等^[2]又迫切需要脱离导线, 无线电能传输技术应运而生。相比电磁感应式^[3,4]、电磁波辐射式^[3], 强磁耦合谐振式无线电能传输技术可在保证距离、功率和效率的同时对非谐振物体影响甚微, 逐渐成为最具发展潜力的无线能量传输技术^[1]。

自 2006 年麻省理工学院 Marin Soljagic 团队提出此技术并通过实验验证以来^[2], 国内外一些高

校和机构纷纷开展相应研究^[3,4,5], 但主要对传输效率的分析和小功率的实验验证, 对中功率以上的研究和应用相对较少。本文在对强磁耦合谐振工作原理分析的基础上设计一套无线充电系统, 并对获得的结果分析总结, 供后续研究参考。

1 电磁耦合谐振基本原理

1.1 磁耦合理论

如图 1 为实验原理示意图, 包括发射电路源线圈, 发射线圈, 接收线圈, 负载电路。系统工作时, 源线圈作为激励源产生高频磁场, 发射线圈和接收线圈在此作用下产生磁耦合谐振使能量从源端输送到负载回路。其中, 源线圈、发射线圈、接收线圈、负载线圈固有频率都相同。

*指导老师: 周逢道

项目类型: 大学生创新项目 (2015650983)

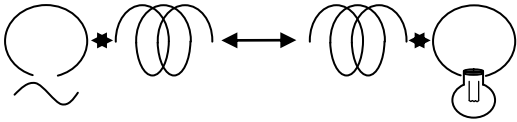


图1 强磁耦合谐振式无线能量传输系统原理示意图

Fig.1 Schematic of the wireless energy transfer system based on strongly coupled magnetic resonances

在无线电能传输系统实际应用中, 损耗不可避免, 主要来源包括线圈自身电阻损耗以及辐射损耗^[6,7], 此时耦合系统模型如图2所示。

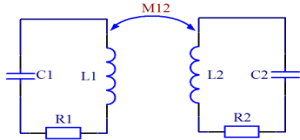


图2 无线电能传输系统有损发射、接收模型

Fig.2 Loss transmitter and receiver model of wireless power transfer

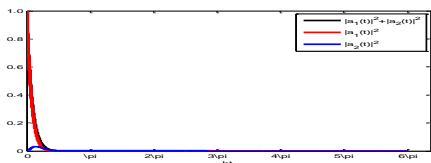
系统耦合模方程如式(1):

$$\begin{cases} \frac{da_1}{dt} = -(j\omega_1 + \Gamma_1)a_1 + j\kappa a_2 \\ \frac{da_2}{dt} = -(j\omega_2 + \Gamma_2)a_2 + j\kappa a_1 \end{cases} \quad (1)$$

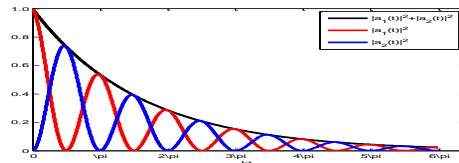
其中 a 为耦合系统中振荡器的振荡模幅度, ω 为固有角频率, Γ 为由于自身欧姆损耗、辐射损耗等产生的固有损耗系数, 1 和 2 分别表示发射器与接收器, κ 为发射器和接收器之间的耦合系数。

已知初始条件 $a_1(0) = 1, a_2(0) = 0$, 对(1)进行拉氏变换, 再对结果进行拉氏反变换得式(2)。

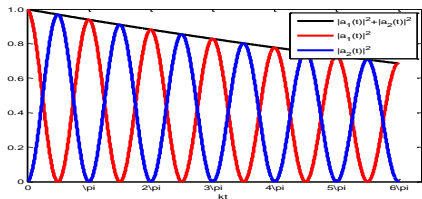
$$\begin{cases} a_1(t) = \exp(-j\omega_1 + \Gamma_1)t \cos(\kappa t) \\ a_2(t) = j \exp(-j\omega_2 + \Gamma_2)t \sin(\kappa t) \end{cases} \quad (2)$$



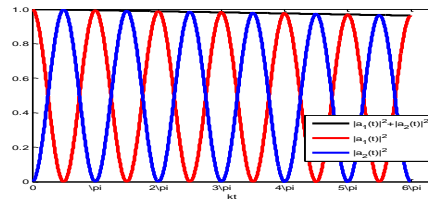
(a) $\gamma = 0.5$



(b) $\gamma = 10$



(c) $\gamma = 100$



(d) $\gamma = 1000$

图3 有损振荡系统中谐振时的能量变化曲线

Fig.3 Energy exchange when loss oscillators working under different coupling constant

系统处于谐振状态时, $\omega_1 = \omega_2 = \omega$,

$$\Gamma_1 = \Gamma_2 = \Gamma,$$

故系统发射器和接收器存储总能量为:

$$\begin{aligned} W(t) &= |a_1(t)|^2 + |a_2(t)|^2 \\ &= \exp(-2\Gamma t) \cos^2(\kappa t) + \exp(-2\Gamma t) \sin^2(\kappa t) \\ &= \exp(-2\Gamma t) \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3), 谐振器包含的能量由固有损耗系数 Γ 和耦合系数 κ 决定^[3,6]。

$$\text{记耦合强度 } \gamma = \frac{\kappa}{\sqrt{\Gamma_1 \Gamma_2}} = \frac{\kappa}{\Gamma_0}, \text{ 用来表征磁耦}$$

合谐振式无线电能传输系统中能量传输情况。如图3, 黑色曲线表示有损振荡电能传输系统谐振时发射和接收谐振器的总能量。当 $\gamma < 0.5$ 时, 总能量迅速衰减至 0, 能量衰减有速度大于能量传输的速度, 发射系统与接收系统无法建立起稳定的能量传输通道; 当 $\gamma > 1000$ 时, 能量传输的速度大于衰减的速度。根据仿真结果可知: γ 越大越有利于能量的传输。

谐振系统耦合系数公式^[3]可由式(4)计算, 则当线圈半径一定时, 减小线圈间距可增大耦合系数。

$$\kappa = \frac{1}{[1 + 2^{3/2} (d/(R_1 R_2))^2]^{3/2}} \quad (4)$$

系统固有损耗系数^[7]可由式(5)表示, 因此选用高品质因数的线材来减小衰减系数。

$$\Gamma = \frac{\omega}{2Q} \quad (5)$$

1.2 阻抗匹配

在功率放大和源线圈、负载线圈和整流稳压模块之间都要考虑阻抗匹配问题，因为这关系到传输能量的功率和效率。

记电源内阻抗 $Z_S = R_S + jX_S$ ，负载阻抗

$Z_L = R_L + jX_L$ ，负载电阻及电抗均可独立变化，

$$I = \frac{U_S}{\sqrt{(R_S + R_L)^2 + (X_S + X_L)^2}}$$

由此负载电阻功率

$$P_L = I^2 R_L = \frac{R_L U_S^2}{(R_S + R_L)^2 + (X_S + X_L)^2}$$

最大功率匹配^[7]，显然 $X_L = -X_S$ ，又 $\frac{dP_L}{dR_L} = 0$ 则

$$R_L = R_S, \text{ 综上 } Z_L = Z_S^*$$

2 方案总体设计

方案总体设计由信号发生模块、高频功率放大模块、谐振耦合模块、整流稳压模块、功率源模块以及负载构成。首先由信号发生电路为系统提供频率 1MHz 可调、输出电压幅值可调高频正弦信号，再由功率源供应能量的高频功率放大电

路中对信号进行功率放大，经过发射线圈在谐振状态将能量耦合到同样处于谐振状态的接收线圈，由整流稳压电路调理成直流稳定电压为本负载进行供电。系统整体原理框图如图 4 所示。

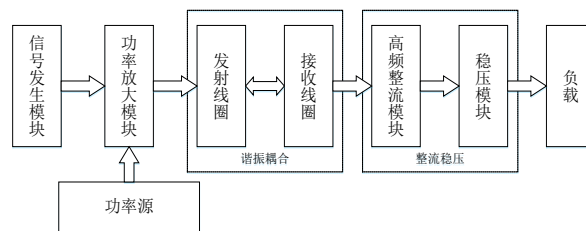


图 4 系统整体原理框图

Fig.4 The block diagram of the system

3 主要模块设计

高频信号源通常可以利用两种方式实现，一种是逆变电路，另一种是对信号发生电路产生的信号进行功率放大。正激式逆变电路，由于激起的电压波形中含较多高效谐波且无法通过谐振消除，通常以热的形式在回路耗散，效率较低。全桥式逆变效率比正激式逆变高，但控制复杂，成本较高。半桥式逆变由于驱动芯片开关频率的影响，无法达到很高的逆变频率。因此本文将信号发生与功率放大相结合作为高频信号源。

3.1 信号发生电路

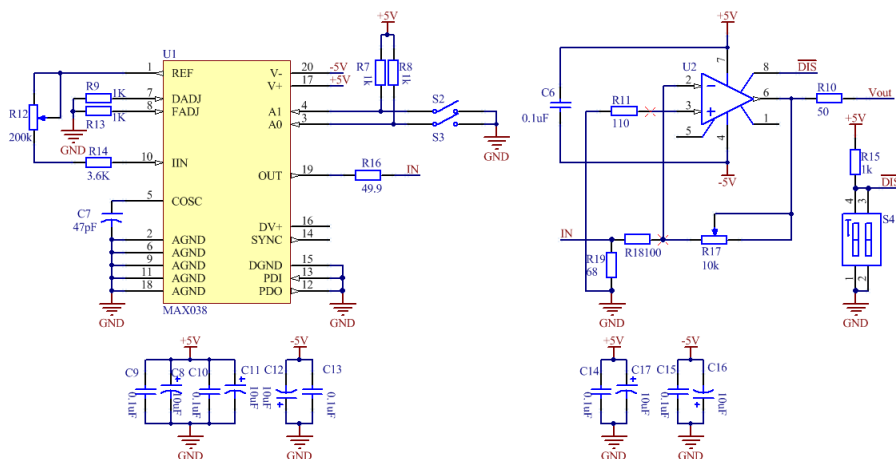


图 5 正弦波信号产生电路

Fig.5 Sinusoidal signal generator circuit

由于设计的无线电能传输系统需要频率为 1MHz 的正弦波信号，用美国马克西姆公司的函数信号发生器 MAX038 实现。该芯片频率可调范围 0.1Hz~20MHz，正弦波失真度小于 0.75%，占空比

调节时非线性度低于 2%，且低阻抗定压输出，输出电阻 0.1Ω，具有输出过载/短路保护。

如图 5，可以改变滑动变阻器 R12 对输入电流调整，由式 (6)，C₇ 一定时，输出信号频率与

IIN 成正比，改变电容值可以得到 1MHz 正弦波，但由于信号幅值较小，加一级基于运算放大器 OPA690 的信号放大电路。

$$F_0(\text{MHz}) = IIN(\mu\text{A})/C_7(\text{pF}) \quad (6)$$

处理后的高频正弦信号由功率放大电路进行放大，作为无线电能传输系统的较大功率高频信号源。根据阻抗匹配，模块输出阻抗设计为 50Ω。

3.2 功率放大电路

此部分用于将信号发生电路产生的幅值较小的高频正弦波信号利用功率放大器进行功率放大。由于功率在 60W 左右，普通的功放芯片无法满足要求，因此选择基于 NXP 公司的高频/甚高频功率 MOS 管 BLF177 的电路进行设计。

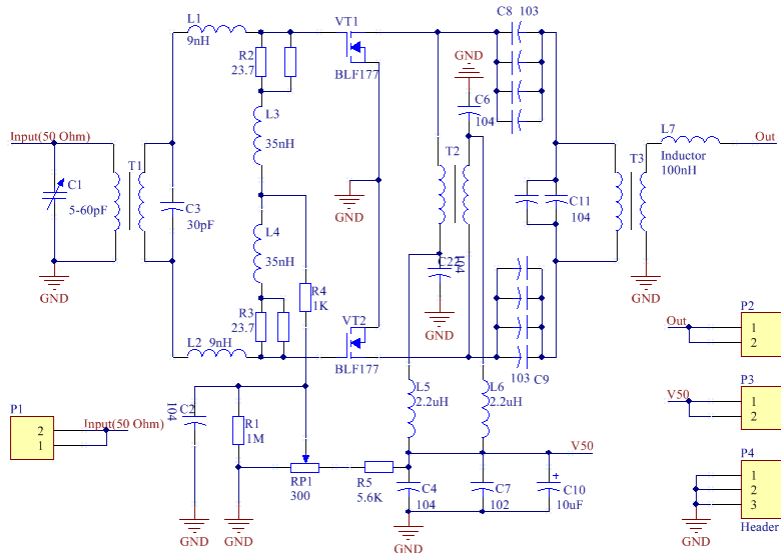


图 6 功率放大电路原理图

Fig.6 The diagram of power amplifier circuit

由 BLF177 核心芯片组成的线性宽带放大器电路如图 2 所示，该功放由两个 BLF177 芯片构成 AB 类功放，供电电源为 50V 直流电压，每个功放管静态电流 0.5A。根据阻抗匹配理论，该模块电路的输入阻抗和输出阻抗均设计为 50Ω。

3.3 谐振耦合线圈

采用四线圈传输结构：源线圈、发射线圈，接收线圈、负载线圈。源线圈采用串联谐振方式，负载线圈采用并联谐振方式。

串联谐振方式供电电压一定，谐振时电路总阻抗最小，能量传输效率高，电源只为电路中的阻性元件供电，电容或电感的局部电压可高于电源电压。而并联谐振方式电压一定的条件下，谐振时总阻抗最大，带载能力强。调谐比较稳定且容易控制，可以避免串联线路调谐过程中的电压震荡。

本设计中利用高品质因数的漆包铜线制作的密绕线圈^[8,9]电感大小可根据式（7）计算。

$$L = N^2 R \mu_0 [\ln(\frac{8R}{a}) - 1.75] \quad (7)$$

N 为线圈匝数， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 为真空磁导率，R 为线圈半径（m），a 为线圈导线半径（m）。

表 1 线圈参数

Tab.1 The paraments of the coupling coils

线圈直径	线圈直径	匝数	电感感	电容容	固有频率
30cm	2mm	12	64.4uH	390pF	1004 kHz

3.4 整流稳压电路

在无线电能传输系统中，电能传输通过正弦交流电压耦合进行，因而经过负载线圈耦合过来的信号为高频正弦交流信号。本设计中信号中心频率为 1MHz。若直接点亮白炽灯或电热转换的负载这可以接受，但大多情况下我们需要的是直流电压。因此需要先对接收的信号进行整流滤波^[10]。

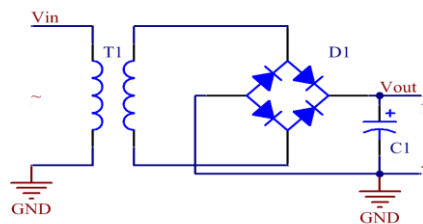


图 7 高频整流桥式电路

Fig.7 High frequency rectifier bridge circuit

另外直流能量信号可能随着线圈间距的微小变化、发射端电压的波动、系统工作频率的漂移等外界因素而发生改变，所以在接到负载之前常需 DC/DC 模块对信号进行稳压。

由于所需传输的功率较大，而 LM2596 模块设计功率 15W、XL4005 模块设计功率 50W 不足以满足系统需要，因此选用大功率 300W DC-DC 可调降压稳压电源模块，其输入电压范围为 DC3.5V~30V，输出电压范围为 DC0.8~29V，最大输出电流 10A，转换效率高达 90%。

经稳压后的信号纹波小，稳定性高，可以用于对负载进行直流供电。

4 结果分析

实验测得数据如图 8 和图 9。

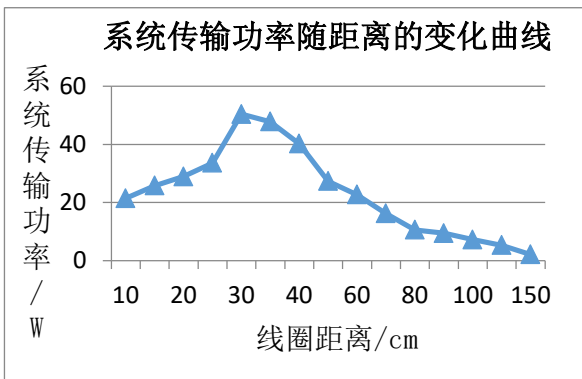


图 8 无线电能传输系统传输功率随距离的变化图

Fig. 8 The transmitting power of the system with the change of the distance of two coils

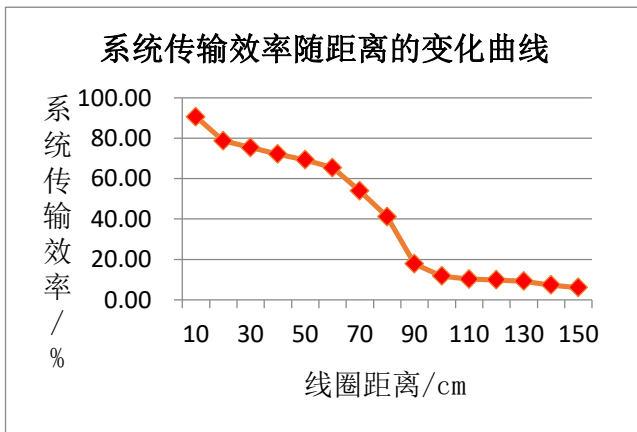


图 9 无线电能传输系统传输效率随距离的变化图

Fig.9 The transmitting efficiency of the wireless power transmitting system with the distance of the two coils

从图 8 中可以看出，系统传输功率随着两线圈距离的增大先增大后减小，在 30cm~35cm 之间有极值出现，表明系统参数确定之后功率传输与距离有最佳匹配点，可以在实验的过程中进行适当调整使

系统性能更优良。由图 9，与传输功率曲线不同，系统电能传输效率随着线圈间距的增大逐渐减小在 90cm 处迅速减至 5% 以下，因此实际应用中应根据要求对功率和效率进行权衡从而保证传输系统的整体性能。

5 总结与展望

经测试，系统基本实现了设计指标：以 30% 的传输效率点亮 60cm 外 60W 的直流灯，能够稳定地为负载进行充电。但是仍有一些需要改进的地方，如系统尚未实现频率跟踪功能，因此距离一定时效率并未达到最优；另外系统体积较大，若要实际应用需要进一步改进缩小体积；对于一对多充电及障碍物的影响仍有待测试与调整优化。

参考文献

1. 范兴明,莫小勇,张鑫. 磁耦合谐振无线电能传输的研究现状及应用[J]. 电工技术学报,2013,12:75~99.
2. Andre Kurs,Aristeidis Karalis,Robert Moffatt,J.D. Joannopoulos,Peter Fisher, Marin Soljagic. Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances[J]. Research Articles, Vol 317, 2007.7.6:83~86.
3. 丁卫东. 大功率电磁谐振式无线能量传输[D]. 电子科技大学,2015.
4. 王国东,原璐璐,王允建. 磁耦合谐振式无线电能传输系统的四线圈模型研究[J]. 电源学报, 2015.1, 13(1): 101~106.
5. 李晨东,黄守道,李中启,黄禹. 磁耦合谐振式无线电能传输功率与效率分析[J]. 电力电子技术,2014,03:28-31.
6. 汪强,李宏,陈东旭. 磁耦合谐振式无线电能传输系统的分析与设计[J]. 电源技术,2012,11:1741-1750.
7. 余梅. 一种磁耦合谐振式无线电能传输系统的研究[D]. 安徽理工大学,2015.
8. Keisuke Kusaka, Jun-ichi Itoh. Experimental verification of rectifiers with SiC or GaN for wireless power transfer using a magnetic resonance coupling[J]. IEEE PEDS 2011, Singapore, 5-8 December 2011:1094~1099.
9. David S.Ricketts, Matthew Chabalko, Andrew Hillenius.

Tri-Loop impedance and frequency matching with High-Q resonators in wireless power transfer[J]. IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters, Vol.13, 2014:341~344.

10. 康华光.电子技术基础（模拟部分）[M] 高等教育出版社.2002.

基于 FPGA 的 1/f 低频电噪声采集系统设计*

付仲豪；尤鹤鸣；王熙焱

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 吉林省 长春市 130021)

摘要: 电子器件的低频噪声通常与半导体表面缺陷和内部状态有关, 其中 1/f 噪声 (粉红噪声) 已经成为对电子器件可靠性评价的标准。文章通过分析 1/f 噪声本身的特性, 以及放大器的抗干扰设计思路, 提出了一种包含低噪声前置放大器及高精度 ADC 转换, 并利用 FPGA 作为逻辑控制芯片的低频电噪声采集系统。测试后发现, 系统在频率为 1Hz-10KHz, 幅值最小为 1mV 的情况下能够实现低噪声放大器的要求, 并且在频率为 10Hz 时, 采集系统实测等效输入噪声达到 $2.12\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, 电压噪声密度约在 33nV 左右。

关键词: 1/f 电噪声 低频 采集系统

A Noise Acquisition System based on 1 / f noise

Fu Zhonghao; You Heming; Wang Xiyao

(School of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130021)

Abstract: The low frequency noise of electronic devices is usually related to semiconductor surface defects and internal conditions, where 1 / f noise has become the standard for reliability evaluation for electronic devices. In this paper, a low frequency electrical noise acquisition system with low noise preamplifier and high precision ADC conversion, using FPGA as logic control chip, is proposed by analyzing the characteristics of 1 / f noise itself and the anti - jamming design idea of amplifier. After a actual test of the system, it is found that the system can realize the requirement of low noise amplifier at the frequency of 1Hz-10KHz and the minimum amplitude of 1mV. At about 10Hz, the system has the equivalent input noise of $2.12\text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}$, with noise density of about 33nV or so.

Key words: 1/f electronic noise low frequency Acquisition System

0 引言

1/f 噪声是指电子器件本身带来的低频电噪声^[1], 从某种程度上来说是评价其内部状态和设计工艺可靠性评价的重要标准之一^[2]。

美国安捷伦 2010 年推出的最新产品 E4725A 1/f 噪声测试系统, 可以提供业内领先的极低系统噪声及高精度的测试结果, 可以最大限度的提高系统的灵敏度, 使得该系统具有低至 $-177\text{dBV}^2/\text{Hz}$ 的系统噪声, 以及最低可测量至 $1\text{E}-25\text{A}^2/\text{Hz}$ 的噪声的优越性能^[3]。济南概伦电子 1/f 噪声测试系统 9812D, 可在 1Hz-10MHZ 频率范围内无衰减的测量半导体器件的低频噪声特性^[4], 包括 1/f 噪声和 RTS 噪声。还能够针对不同的器件种类采用不同的

低噪声放大器, 以确保针对不同的器件和测试条件都可以达到最高的测试精度。

本文所设计的低频电噪声采集系统包括低噪声前置放大电路、ADC 采集电路及与上位机通讯部分。其中前置放大电路和有源滤波电路作为硬件采集电路, 本身要求具有非常低的本底噪声^[5], 即需要设计一款低噪声放大器 (Low Noise Amplifier, 简称 LIA), 用于接收和放大电压幅度微弱的输入信号; 另外由于采集的信号频率集中在 1Hz-1kHz 之间, 所以 ADC 电路选用低采样率的 Sigma-Delta 式精密 ADC1251^[6], 采样率控制在 1k, 其内置的抗混叠滤波器能够极大的简化电路设计。主控制器部分采用 FPGA, 主要用于时序控制和通讯。

1 低噪声前置放大器设计

*指导老师: 龙云

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65677)

1.1 LT1028 等效噪声模型

由于需要放大非常微弱的信号，前置放大电路需要具有低噪声、低直流漂移的特点，故采用低噪声高精度放大器 LT1028 进行放大，LT1028 是 LINEAR 公司出产的低噪声放大器，也是目前市面上非常常用的放大器之一，其噪声频率特性及电压噪声密度如图 1.1 所示。

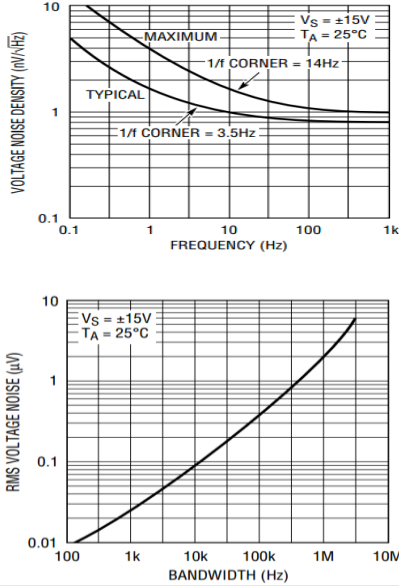


图 1.1 LT1028 噪声频率特性及电压噪声密度
Fig 1.1. Voltage noise density and RMS of LT1028

通过查阅芯片资料，能够得到 LT1028 的电压噪声密度及噪声功率谱密度与频率的对应关系如表 1.1 所示。

表 1.1 LT1028 的电压噪声密度及噪声功率谱密度
Table 1.1. NOISE DENSITY AND RMS OF LT1028

频率 f(Hz)	电压噪声密度 e_m	噪声功率谱密度 $S(v)$
0.1	-	1.5nV/√Hz
1	-	1.6nV/√Hz
10	-	1.0nV/√Hz
100	40nV	0.86nV/√Hz
1k	80nV	0.82nV/√Hz
10k	0.19uV	0.86nV/√Hz

由上表可以看出，LT1028 在 10Hz-1kHz 频率范围内电压噪声低至 1nV/√Hz，在频率可为 0.1Hz-10Hz 时，由于 1/f 噪声的影响，电压噪声达到 1nV/√Hz 以上，仍然具有出色的噪声特性。

1.2 仪表放大器设计及噪声分析

为了进一步提高前置放大的性能，采用仪表放

大结构^[7]，设计电路如图 1.2 所示，

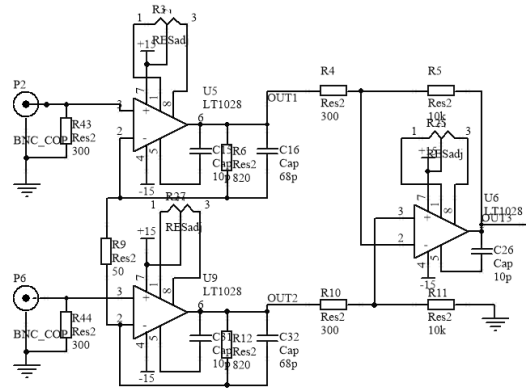


图 1.2 LT1028 仪表放大结构

Fig 1.2. Instrumentation amplifier structure

$R_5 = R_{11} = 10k\Omega$, $R_4 = R_{10} = 300\Omega$,
 $R_6 = R_{12} = 820\Omega$, $R_9 = 5k\Omega$, 计算可得电路增益 A_v 为

$$A_v = -\left(\frac{R_5}{R_4}\right) * \left(1 + 2\frac{R_6}{R_9}\right) = -20dB \quad (1)$$

1.3 实测电路性能指标

1.3.1 输出信噪比测试

输入 500Hz, 1mV 的正弦信号，利用 Agilent DSO-X 3024A 500MHz 示波器观察并存储测试数据。

经过仪表放大器放大 20dB，最终输出信号如图 1.3 所示（交流耦合）。

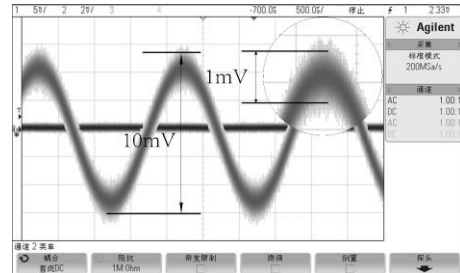


图 1.3 放大后信号输出图像

Fig 1.3. Amplified signal output image

估算在不考虑输入信号叠加的噪声信号时，输出信噪改善比为：

$$SNIR = 10\log \frac{\left(\frac{P_{S\ out}}{P_{S\ in}}\right)}{\left(\frac{P_{N\ out}}{P_{N\ in}}\right)} = 60dB \quad (2)$$

能够满足整体设计对低噪声前置放大器电路的要求。

1.3.2 带内平坦度测试

在 1.3.1 的测试基础上进行多频点测试，输入信

号幅值固定为 1mV，增益 20dB，利用（安捷伦 500Mhz）示波器观察并存储测试数据，得到输出幅值与频率关系如图 1.4 所示。

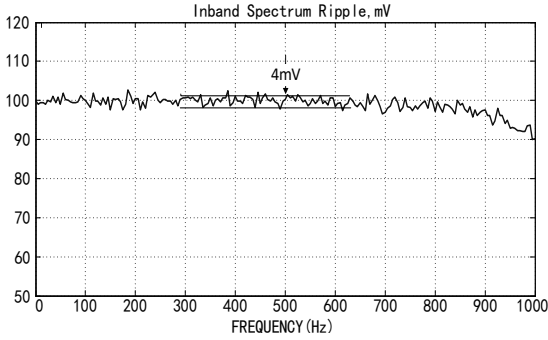


图 1.4 带内平坦度测试曲线

Fig 1.4. In-band flatness curve

由上图可知，在 0.1Hz-1kHz 范围内最大波动为 -0.34dB。

2 ADC 转换及时序逻辑控制设计

2.1 ADS1251 特性分析

ADS1251 是 TI (Texas Instruments) 公司的一款高精度、 $\Delta-\Sigma$ 结构的 ADC 转换器，采用单 5V 电源供电，数据传输速率最高可以达到 20kHz，并且仍然有 19 位的有效分辨率。ADS1251 的主要优势在于：

- 1、具有高精度 24 位无损数据码，

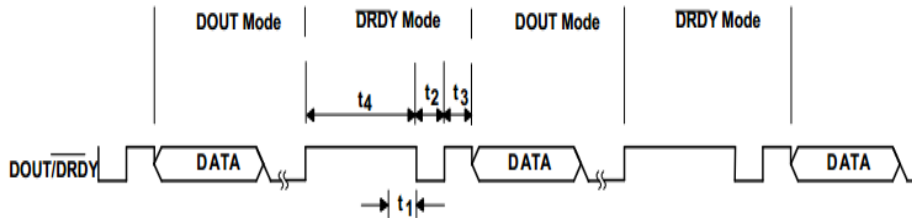


图 2.2 ADS1251 时序图

Fig 2.2. Timing diagram of ADS1251

每个 ADS1251 的转换周期共需消耗 384 个主时钟 (184CLK)，包括两个模式：/DRDY 模式及 DOUT 模式，其中 /DRDY 模式占用 36CLK 进行数据转换，DOUT 模式利用剩余的 348CLK 进行数据传输。

在 /DRDY 模式，数据准备周期 (t_4) 需要花费 24CLK，然后 ADS1251 将 DOUT 线拉低 6CLK (t_2)，再拉高 6CLK (t_3)，FPGA 通过检测 DOUT 线的状态，就可得知 AD 数据是否已经准备好，并进行读取。

FPGA 的 ADS1251 状态转移图如图 2.3 所示。

- 2、主时钟最高可达 8MHZ，数据传输速率可以达到 20kHz，并且仍然有 19 位的有效分辨率，
- 3、噪声低至 1.5×10^{-6} ，
- 4、具有内部抗混叠滤波器，
- 5、能够使用外部参考电压 0.5V-5V，
- 6、具有程控的掉电模式和同步模式。

图 2.1 为 ADS1251 与 FPGA 的接口连接图。

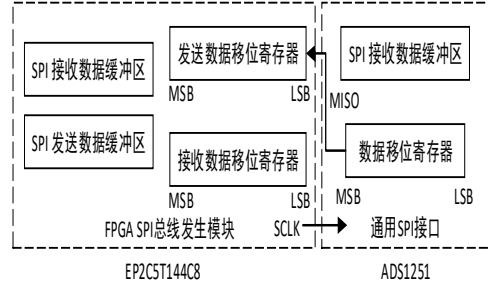


图 2.1 ADS1251 与 FPGA 接口示意图

Fig 2.1. Interface diagram between ADS1251 and FPGA

ADS1251 为 SPI 串行接口，降低了其控制的复杂性，FPGA 仅通过 CLK、SCLK 及 Dout 三根串行线可以实现的功能如下：

- 1、可控的上电及掉电模式，
 - 2、PFGA 与 ADS1251 实现同步，
 - 3、以可控的采样速率进行数据更新，采样速率由 FPGA 所提供的主时钟 CLK 控制。
- ADS1251 的时序图如图 2.2 所示。

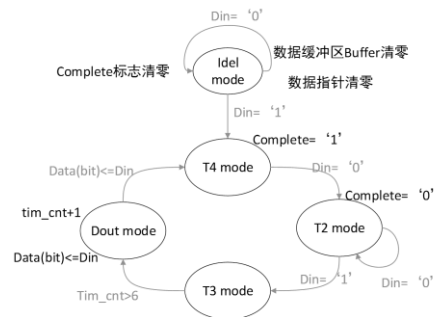


图 2.3 ADS1251 状态转移图

Fig 2.3. State transition of ADS1251

2.2 FPGA 内部时序设计

FPGA 内部逻辑控制主要包括 ADS1251 驱动、FIFO 缓冲接口及串口通讯程序。FIFO 接口及串口

通讯均调用第三方 IP 核，达到快速可靠设计的目的，本文主要介绍 FIFO 接口的设计及使用，由于串口通讯较为简单，在此不做介绍。

FIFO (First In First Out) 有同步 FIFO 与异步 FIFO 之分，其中异步 FIFO 读写分别采用互相异步的时钟，其主要优势是在于能够实现两个不同时钟系统之间的实时数据传输，通常在读时钟上升沿的时候读数据，写时钟上升沿的时候写数据。

FPGA 提供了 FIFO 核，可以由用户定制 FIFO 的宽度、深度、状态标志和存储器类型等，图 2.4 为 FIFO 数据传输机制示意图。

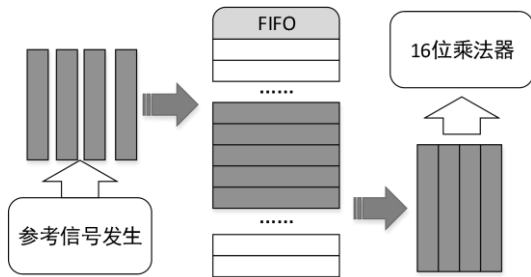


图 2.4 FIFO 传输机制

Fig 2.4. FIFO transfer mechanism

由上图可以看出，FIFO 模块主要在正余弦发生参考信号模块及乘法器模块之间其数据缓存作用，正余弦信号发生模块存储数据较快，而乘法器模块读取数据较慢。因此需要根据根据‘写满’标志和‘读空’标志来确定 FIFO 状态，并根据 $fifo_rd_req(fifo_wr_req)$ 信号来分别控制写入和读出。图 2.5 为子 FIFO 缓冲模块总读出的多周期正弦信号。

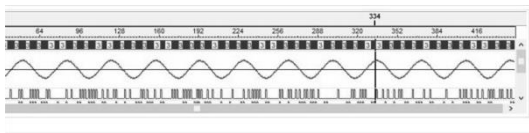


图 2.5 FIFO 信号缓冲数据

Fig 2.5. FIFO signal buffering data

2.3 Labview 上位机程序设计

利用串口通讯在 FPGA 与上位机之间进行数据传输，由于上位机平台 LabVIEW 中已经集成了完整的串口模块，即用户可以轻易的构建基于 VISA 节点函数的串口数据采集模块，具有方便快捷、稳定性高等优点。图 2.6 显示了通过 VISA 函数配置串口波特率等参数的方式。

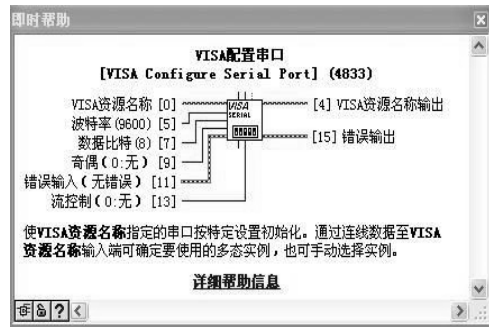


图 2.6 VISA 配置串口函数

Fig 2.6. VISA Configure a serial port function

完成串口配置后，通过串口采集到的数据经过数据类型转换等处理直接送入波形图表函数，即可完成对当前信号波形实时显示的功能。配合 LabVIEW 的各种文件处理函数，还可以将得到的数据进行记录保存，生成 txt 等格式的数据文件。最终完成各项功能的完整上位机 LabVIEW 程序以及交互界面如图 2.7-2.8 所示。

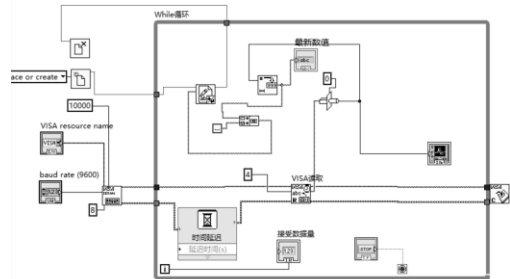


图 2.7 上位机 LabVIEW 程序

Fig 2.7. LabVIEW program

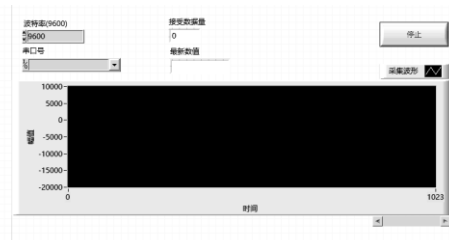


图 2.8 LabVIEW 交互界面

Fig 2.8. LabVIEW interface

3 实测数据分析

将输入接地，利用 Labview 上位机观察及保存最终输出，并将数据导入 MATLAB 进行频率分析，得到噪声特性曲线如图 3.1-3.2 所示。

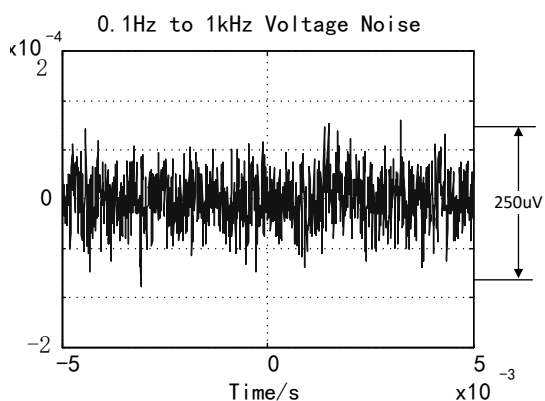


图 3.1 输入接地的白噪声频谱分析
Fig 3.1. White noise with zero input

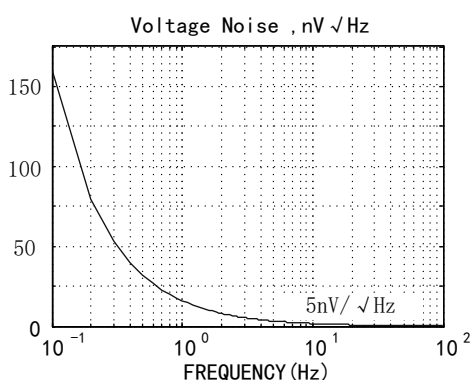


图 3.2 输入接地的白噪声频谱分析
Fig 3.2. Spectrum Analysis with zero input

根据图 3.2 频谱，能够得出关键频率点的等效输入噪声的等效输入噪声如表 3.1 所示：

表 3.1 采集系统等效输入噪声的等效输入噪声频率特性

TABLE 3.1. RMS OF THE ACQUISITION SYSTEM

频率 (Hz)	噪声功率谱密度 S (v)
1	15.5nV/√Hz
10	2.12nV/√Hz
100	300pV/√Hz

通过以上数据计算低频电压噪声密度：

$$\begin{cases} V_{n,rms}(F_L, F_H) = V_{nw} \sqrt{F_C \ln\left[\frac{F_C}{F_L}\right] + (F_H - F_C)} \\ F_L = 1\text{Hz}, F_H = 100\text{Hz}, V_{nw} = 3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}, F_C = 10\text{Hz} \end{cases} \quad (3)$$

$$V_{n,rms} = 33.14\text{nV} \quad (4)$$

文章分析了 1/f 噪声采集系统中需要注意的系统指标，并且针对低噪声前置放大部分进行了详细的参数分析，引入仪表放大器系统，在 LT1028 弱信号高精度运放的基础上，进一步提高了系统的电路性能。最终实现的 1/f 噪声采集系统具有良好的噪声特性。在频率为 10Hz 时，采集系统实测等效输入噪声达到 2.12nV/√Hz，电压噪声密度为 33.14nV。

参考文献

1. 用于检测 1/f 电噪声的低噪声放大器设计与仿真[J]. 李一帆,郭树旭,郜峰利. 现代电子技术. 2015(04)
2. 仪表放大器中电阻变化率与噪声的关系[J]. 孙逊,孙麟德. 数学的实践与认识. 2014(07)
3. 纳伏级微弱信号放大电路的设计[J]. 安慰东,刘杰,包德州,刘平安. 电子测试. 2012(08)
4. 仿真分析差分放大电路的性能[J]. 关秀丽,雷艳敏,任丽晔. 长春大学学报. 2012(06)
5. 仪表放大器在激光外差玻璃测厚系统中的应用[J]. 兰羽,卢庆林. 国外电子测量技术. 2012(03)
6. 分形分析 1/f 噪声性能[J]. 陈晓娟,唐龙泳,隋吉生,吴洁. 河南科技大学学报(自然科学版). 2012(01)
7. 仪表放大器电路设计[J]. 崔利平. 现代电子技术. 2009 (11) 2009

4 结语

基于树莓派的多传感器融合的智能倒车辅助系统*

毕英琦；柴子威；侯佳伟

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要：随着社会的发展和科技的进步，轿车已经逐渐走进了千家万户，但是对于新手来说倒车入库则是一件困难的事情。考虑到树莓派的强大功能以及其自身结构，采用多种传感器融合的技术，通过算法的解析来制定司机最佳的停车方案。树莓派自带音频输出接口，因此可以考虑外接音频播放设备，从而实现对司机如何倒车的提醒和引导。

关键词：倒车 树莓派 多传感器 融合

The intelligent parkassist system of multi sensors based on the Raspberry pie

Bi Yingqi; Chai Ziwei; Hou Jiawei

(The College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: With the development of society and the progress of science and technology, cars have gradually entered the thousands of households, But it is a difficult thing for the novice to enter garage. Considering the strong function of raspberry pie and its structure, using a variety of sensor fusion technology, through the algorithm to develop the best reversing program. Raspberry pie comes with audio output interface, so considering the external audio device to remind and guide the driver reversing.

Key words: reversing raspberry pie sensor fusion

车辅助系统的成本低，具有很良好的社会价值和经济价值。

0 前言

Raspberry Pi, 中文名为“树莓派”，是为学生计算机编程教育而设计的卡片大小的微型电脑，通过载装相应的 Linux 系统和相应的应用程序，可以实现强大的功能，树莓派还具有体积小，价格低等优点。目前，国内外大量存在倒车系统是由一个摄像头和一个显示器构成，当系统工作的时候，屏幕上会显示 2 条不会变化的标尺线，倒车的时候驾驶人员不能判断方向盘打多少度才不会碰到车后的墙面，不能判断出如何倒车才能顺利的到达正确的位置，并且现在市面上的倒车系统价格均比较昂贵。

开发研究树莓派的新功能，设计一款基于树莓派的多传感器融合的智能倒车辅助系统，目的在于实现智能化倒车，使倒车更加方便，更加安全；同时为驾车新手提供了更加便利的条件，使他们在还没有熟练掌握驾车技巧便可以正确的进行倒车，为他们提供了很好的练习条件；除此之外，此智能倒

1 总体设计方案

基于树莓派的强大功能以及其自身结构，设计基于树莓派的多传感器融合的智能倒车辅助系统。树莓派自带音频输出接口，因此使用外接音频播放设备，从而实现对司机如何倒车的提醒和引导。我们采用多传感器融合的技术，通过算法的解析来制定司机最佳的停车方案。系统主要应用传感器对所需要的数据进行采集，以树莓派为主控核心，通过相应的算法来为司机制定停车方案，通过语言的输出来告诉司机该如何操作，让司机即使是闭着眼睛也能成功地倒车入库^[1]。

* 指导老师：王远

项目类型：大学生创新项目（2016B65680）

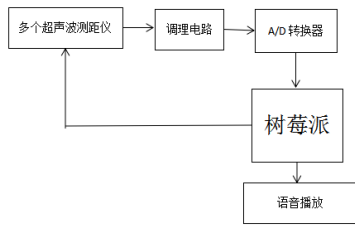


图 1 系统整体结构框图

Fig.1 The overall structure of the system

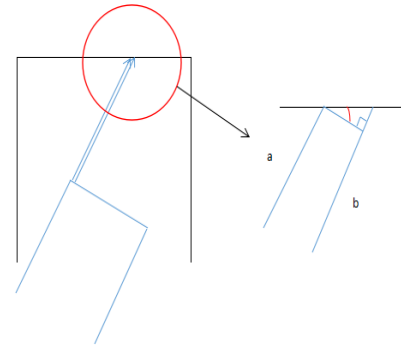


图 3 角度测量原理图

Fig.3 Principle of angle measurement

2 硬件设计

数据采集模块使用超声波测距仪 US-100 对数据进行采集，利用该传感器得到车辆距离墙面的距离与倒车角度^[2]。

US-100 超声波测距模块可实现 2cm-4.5m 的非接触测距功能，拥有 2.4-5.5V 的宽电压输入范围，静态功耗低于 2mA，自带温度传感器对测距结果进行校正，同时具有 GPIO，串口等多种通信方式，内带看门狗，工作稳定可靠。该超声波测距模块有电平触发和串口触发两种方式，本次设计中采用电平触发。

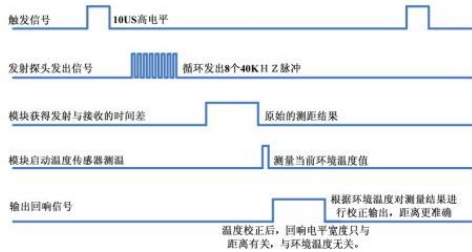


图 2 US-100 电平触发时序图

Fig.2 US-100 Timing diagram

测距模块的工作原理即为：给 Trig 管脚一个时长 10us 的高电平，传感器接到触发信号后发出信号，然后在接触到外界物体后信号被反射回来，再被传感器接收，传感器自己完成温度反馈校正，最后由 Echo 管脚输出一个高电平。由此得到高电平持续时间 t，由声速为 340m/s 进行计算距离 $s=(340m/s*t)/2$ 。

在测量倒车角度时利用超声波测距模块测得的距离信息进行角度计算，得到倒车角度。

由超声波测距仪分别测得距离墙面的距离 a 与 b，并通过判断 a 与 b 的大小，利用大的距离减去小的距离，并且两个超声波测距仪的距离是固定的设为 c（设 b 大于 a），则倒车角度为 $\theta = \arctan((b-a)/c)$ 。

本次设计通过按键来控制系统的运行，并且由于倒车方向得不同，所以通过不同按键进行选择左倒车还是右倒车。在系统对采集数据进行处理后，通过树莓派来进行判断，判断车辆在车库中所处的位置，并由此对司机进行语音提示，语音播报使用音响进行外放，对司机进行实时提醒^[3]。

3 软件设计

此系统使用树莓派作为控制中心，实现对采集到的数据进行处理和语音提示输出。树莓派是一款基于 ARM 的微型电脑主板，以 SD 卡为内存硬盘，卡片主板周围有两个 USB 接口和一个网口，可连接键盘、鼠标和网线，同时拥有视频模拟信号的电视输出接口和 HDMI 高清视频输出接口，以上部件全部整合在一张仅比信用卡稍大的主板上，具备所有 PC 的基本功能，系统为 Linux 系统。



图 4 树莓派

Fig.4 Raspberry pie

在司机进行倒车时，手动开启倒车开关，树莓派即开始工作。倒车分为左倒车和右倒车，不同的倒车方向右树莓派控制不同的超声波测距模块进行测量，程序设计流程图如下。

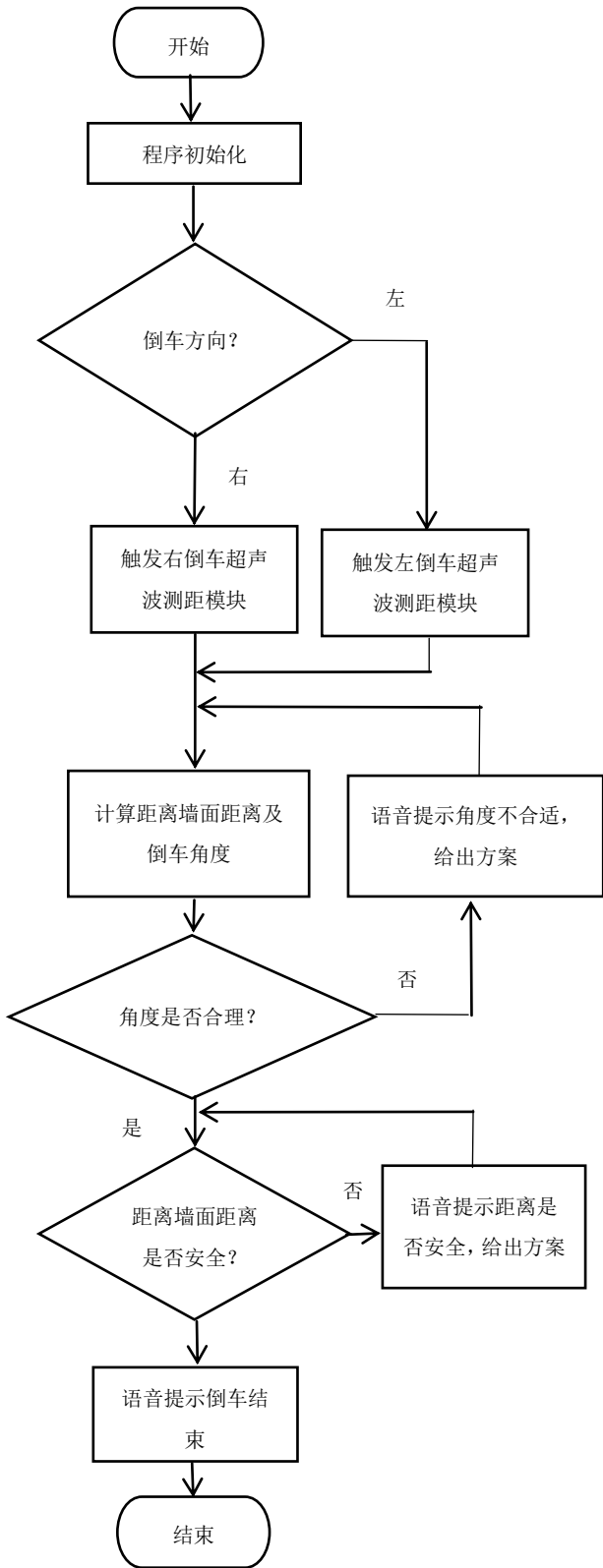


图5 软件流程图

Fig.5 Software flow chart

4 测试与分析

按照上述硬件与软件的设计方案，进行了分模块调试，测试距离与角度测量是否能正确进行。测

试结果各模块运行正常^[4]。

最后进行整机测试，利用工具模拟车库与车辆，人工模拟倒车环境，对不同倒车角度分别进行测试，测试结果良好，系统运行正常。在倒车角度大于45度时，语音提示倒车角度过大请重新倒车；在倒车角度为45度-25度之间是提示保持方向盘不动，请继续倒车；在倒车角度小于25度大于5度时语音提示请缓打方向盘；当角度小于5度时提示角度合理，可继续倒车。在距离上，当车距离左右及后方墙面小于40厘米时发出安全警告^[5]。

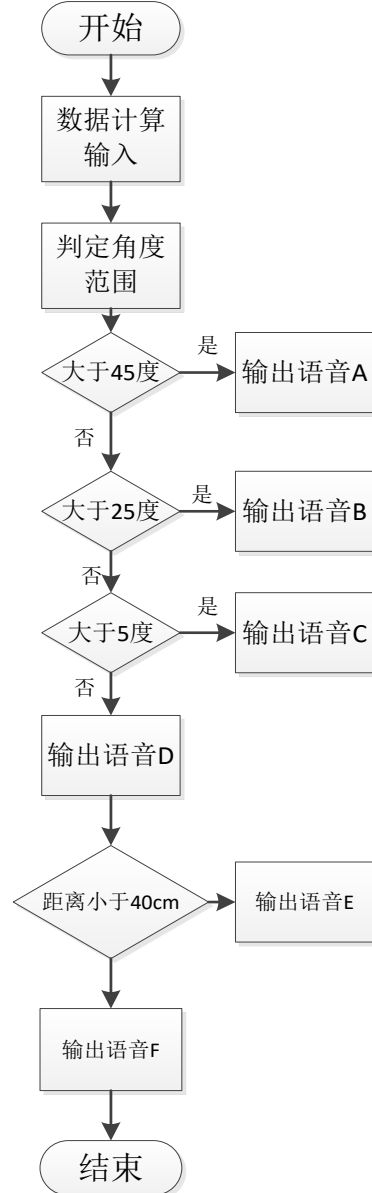


图6 流程图

Fig.6 flow chart

5 结论

本文提出基于树莓派的多传感器融合的智能倒车辅助系统，利用了树莓派强大的功能以及小体积

的自身结构, US-100 测距模块对距离的准确测量以及自身的温度补偿, 准确得到了倒车时距离墙面的距离以及角度, 并且利用树莓派的语音输出功能, 对司机进行语音提示, 使得司机可以简单、方便、安全的倒车入库。除此之外, 树莓派的功能十分强大, 还可以在此基础上根据需要添加其他功能, 实用性非常强^[6]。

参考文献

1. 李文胜. 基于树莓派的嵌入式 Linux 开发教学探索 [M]. 电子技术与软件工程, 2014.
2. 张萍. 超声波传感器的原理及应用 [M]. 考试周刊, 2011 (62) .
3. 李龙棋, 方美发, 唐晓腾. 树莓派平台下的实时监控系统开发 [W]. 闽江学院报, 2014.
4. M Richardson, S Wallace. Getting Started with Raspberry Pi [J], 2012.
5. E Upton, and G Halfacree. Meet the Raspberry Pi [J], 2012.
6. E Upton, and G Halfacree. Raspberry Pi user guide [C], 2014

基于 MSP430 的新型室内空气净化器系统设计*

朱喻南；任晓闯；柳国宏

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要: 现如今空气污染问题日益严重, 人们对室内空气质量愈发关注, 市面上的空气净化器也是种类繁多, 空气净化器的功能、技术、用户体验也是各有差异, 但是总体而言, 采用的净化材料单一, 净化效果不够好, 而且净化效率较低, 不够高效。最重要的是, 针对多人居住的小型室内空间, 控制 CO₂ 浓度十分重要, 而现有产品没有对 CO₂ 进行控制, 忽略了 CO₂ 浓度过高对人体的不良影响, 因此, 针对这些问题, 基于调研报告以及对市场需求的分析, 综合现有资源和条件, 我们研究设计了一款针对于居住环境空气质量检测及净化的装置, 利用 MSP430 作为控制器, 系统可在液晶屏上显示实时数据, 通过串口通信, 在上位机上显示净化结果。除这些基础功能之外, 我们增加了 CO₂ 控制模块, 对 CO₂ 浓度进行监测控制。同时设计使用了组合式复合材料构建过滤系统, 使得对多种污染均可进行净化, 净化纯净度较单一 HEPA 结构净化器有 50% 以上增强, 设计使用了立式双风机循环系统, 使得过滤效率较 EB 单离心风机结构提升了 30% 以上。

关键字: PM2.5 CO₂ MSP430 HEPA 净化

Design of New Type Indoor Air Purifier System Based on MSP430

ZHU Yu-nan; REN Xiao-chuang; Liu Guo-hong

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Now the air pollution problem is increasingly serious, people are increasingly concerned about the quality of indoor air, the market is also a wide variety of air purifiers, air purifier function, technology, user experience is also different, but overall, the use of purification Single material, the purification effect is not good enough, and the purification efficiency is low, not efficient enough. Most importantly, it is important to control CO₂ concentrations for small indoor spaces where people live, and existing products do not control CO₂ and ignore the adverse effects of high CO₂ concentrations on the human body. Therefore, for these problems, Report and the analysis of market demand, integrated existing resources and conditions, we have designed a design for the living environment of air quality testing and purification devices, the use of MSP430 as a controller, the system can display real-time data on the LCD screen, through Serial communication, the host computer shows the results of purification. In addition to these basic functions, we have added the CO₂ module to monitor and control the CO₂ concentration. At the same time, the design of the use of composite composite materials to build a filter system, making a variety of pollution can be purified, the purification capacity of more than 50% of a single structure of the purifier to enhance the design of the use of vertical double fan cycle system, making the filter efficiency Centrifugal fan structure increased by more than 30%.

Key words: PM2.5 CO₂ MSP430 HEPA purify

0 引言

随着生活水平的日益提高, 室内环境日益受到人们的重视, 室内空气质量检测装置已应用到居家,

办公等多个领域^[1]。而在电路设计中, 无论是开发者还是使用者, 都会更重视检测后对空气质量的净化处理^[2]。室内环境与人体健康密切相关, 而室内空气检测净化装置可有效提高室内空气质量。室内空气检测净化是指检测室内空气的污染物, 当污染物

* 指导老师: 陈祖斌

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65663)

超出一定范围时,净化器工作,从空气中分离或去除一种或多种空气污染物。室内空气净化器设备分工业、军用和民用三种,其中我国最早大约从 20 世纪 60 年代后期开始使用民用空气净化器^[3]。室内空气净化既涉及各类建筑物室内,也涵盖载人航天器、潜艇、飞机和各类车辆的内部空间^[4]。目前发展的几种净化技术包括吸附过滤技术、纳米材料光催化技术、低温等离子技术、臭氧技术、生物净化技术和膜分离技术^[5]。其中吸附过滤技术由于脱除效率高,富集功能强,适用于几乎所有的恶臭有害气体的处理^[6],因而是脱除有害气体比较常用的方法。也是本次课题研究使用的方法。近些年已研制出各种新型的活性炭吸附剂,目前的研究主要集中在活性炭的吸附应用和吸附性能的改进上^[7]。其中,ACF 由于吸附容量大、吸附速度快等优越的性能,备受人们关注。日本最先将 ACF 用于有机废气处理技术,此后这项研究得到了人们的重视。我国在活性炭吸附方面的研究也有很大的进展。在未来,室内空气质量检测净化系统必然朝着高精度,多功能,集成化与系统化的方向发展^[8]。

通过对空气质量检测净化系统研究现状的分析,我们知道国内的相关研究实践已经较为系统,但与国外仍有差距^[9]。国内研究的主要不足在于净化效果不佳,便携性和精确度上也有所欠缺,且不具备 CO₂ 检测的功能。然而,CO₂ 浓度相对较高,而长期处于 CO₂ 浓度高的环境会对人体造成头晕、恶心等危害(如表 1 所示)。

表 1 二氧化碳危害表

CO ₂ 浓度 (ppm)	350—700	700—1000	1000—2000	2000—5000	大于 5000
对人体危害	无	稍感不适	头晕,昏 昏欲睡	头痛、心 跳加快、 恶心	永久性脑 损伤、甚 至死亡

针对这些问题,基于调研报告以及对市场需求的分析,综合现有资源和条件,我们拟定研究设计一款针对于室内多人居住环境的空气质量检测及净化的装置,考虑到室内空间小人口多,我们在此增加了 CO₂ 模块,对 CO₂ 浓度进行监测控制。同时设计使用了组合式复合材料构建过滤系统,使得净化纯净度提高了 50% 以上,设计使用了立式双风机循环系统,使得过滤效率较普通结构提升了 30% 以上。

1 系统总体设计

本系统主要包括采集模块、控制模块、电源模块、净化模块、显示监控模块。系统的总体设计框图如图 1 所示。

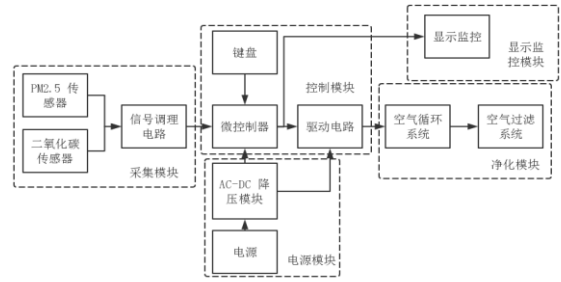


图 1 系统整体结构框图

Fig.1 The overall structure of the system

系统通过 PM2.5 传感器,CO₂ 传感器采集信息,经微处理器处理后,通过 MSP430 串口向上位机发送数据,同时在显示屏上显示实时数据,按键设置阈值,当数据高于设定上限时,控制器控制净化器工作,直到数据达到阈值下限,净化器停止工作。

出于系统功能以及实际情况的考虑,设计系统的技术指标参数如表 2 所示:

表 2 技术参数表

技术参数	工作环境	PM2.5 测量范围及精度	CO ₂ 测量范围及精度	净化能力
指标	-10 ℃ — 30℃	0—999μg /m ³ (±5%)	0—2000ppm (±50ppm)	30m ³ /h

2 系统硬件设计

2.1 采集模块设计

如图 2 所示,采集模块由 CO₂ 传感器、PM2.5 传感器,信号调理电路组成。主要任务是对数据进行采集,传送至主控制器。

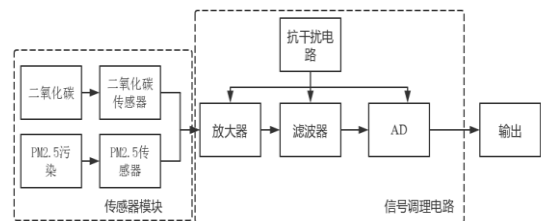


图 2 采集模块框图

Fig.2 acquisition module structure

2.1.1 PM2.5 传感器

PM2.5 传感器采用 DSL-01 激光粉尘传感器,

采用光散射原理，激光在颗粒物上产生散射光，由光电接收器转变为电信号，再通过特定算法计算出 PM2.5 质量浓度，该传感器为数字输出型，体积小，检测数值准确，一致性好，保证了 PM2.5 检测的准确性及系统的稳定性。

2.1.2 CO₂ 传感器

CO₂ 传感器采用 MH-Z14A CO₂ 传感器，它利用非色散红外原理对空气中存在的 CO₂ 进行探测，具有良好的选择性及无氧依赖性，寿命长，内置温度补偿。提供多种输出模式，价格较低，性能较好，完全符合本系统设计需要。

2.2 控制模块设计

控制模块主要包括键盘控制模块，MCU 模块。它对数据进行处理，分析。

2.2.1 MCU 模块

MCU 使用 MSP430F449 微控制器，它具有价格低廉，速度快、抗干扰、功耗低等优点，作为一款 16 位处理芯片，完全能够胜任本系统的性能要求，同时低功耗对于本系统也十分重要，因此选择 MSP430 作为主控制器。

2.2.2 键盘控制模块

键盘控制采用 8 个独立机械按键与 MCU 连接，分别用于 PM2.5 浓度上限设置，下限设置，CO₂ 浓度阈值设置，开始，停止。

2.3 净化模块设计

净化模块主要由过滤系统以及循环系统组成，该模块接收控制模块发出的指令，提供污染净化，清洁空气的功能，净化系统结构框图如图 3 所示，空气经循环系统进入净化器腔体，依次通过由静电滤网和粗滤网组成的初效滤网，活性炭滤网，高效 HEPA 滤网，达到净化空气的目的。

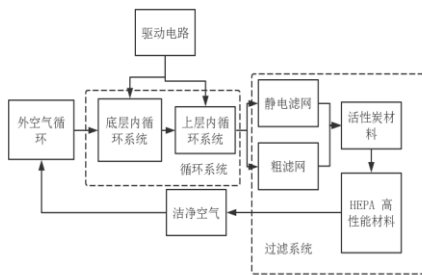


图 3 净化系统结构框图

Fig.3 purification system structure

净化系统的示意图如图 4 所示，空气在循环系统的作用下，被抽入净化器腔体，通过复合材料净化滤网，经立式双层风机送出，与室内空气进行交换，形成循环。达到净化空气的作用。

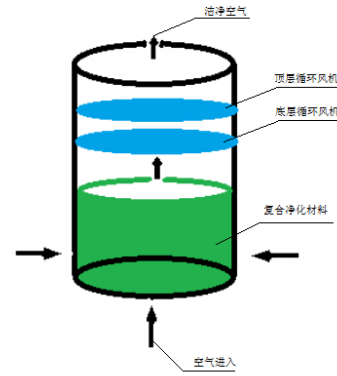


图 4 净化系统示意图

Fig.4 purification system diagram

传统的过滤系统技术、结构单一，净化效果不甚理想^[10]（如表 3 所示）。

表 3 传统过滤技术效果表

Table3 traditional filter consequent				
	悬浮颗粒物	有害气体	微生物	
	灰尘、花粉、香烟烟雾、油烟等	甲醛、苯、氨等	细菌	病毒
净化技术	直径： 0.01—100 μm	直径： 0.0001— 0.001μm	直径： 0.2—10 μm	直径： 0.01—0.3 μm
过滤	有效	无效	无效	无效
吸附	部分有效	高效	部分有效	无效
水洗净化	有效	部分有效	无效	无效
静电	有效	不明显	部分有效	无效
负离子	有效	不明显	部分有效	无效
光催化	不明显	有效	有效	有效
等离子体	不明显	有效	有效	有效
紫外线	无效	无效	高效	高效

我们设计的过滤系统采用复合吸附式过滤技术，如图 5 所示。

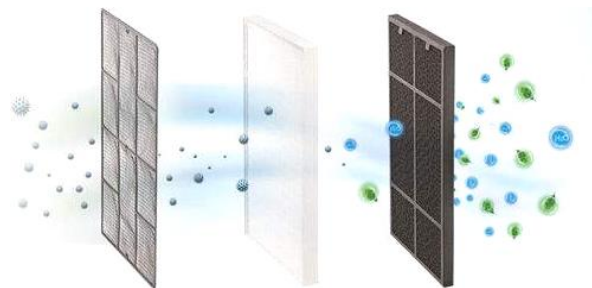


图 5 过滤系统材料示意图

Fig.5 Filter system material diagram

它采用了初效滤网+HEPA 高效滤网+高品质活性炭的结构，结合了多种材料的优点（表 4），对入肺颗粒物，可吸入颗粒物，以及刺激性化学气体等对人体有危害的空气污染源有很强的净化作用，针

对 0.3 微米以上的粒子净化率 $\geq 99.97\%$ ，使净化纯净度较单层 HEPA 材料提高了 50% 以上。

表 4 复合过滤材料过滤污染物表

Table4 Filter system material functions

结构	初效滤网	HEPA 高效滤网	高品质活性炭
净化污染物	灰尘、细屑、毛发等	入肺颗粒物、花粉等	甲醛、氨气、呋喃等

我们设计的循环系统为立式双风机循环系统，使室内空气更快，更有效地通过净化器进行循环，如图 6（红色）所示，在 300Pa 风阻下（HEPA200Pa 加其他损失 100Pa），理论循环风量较传统结构（对照组为 EBM30W 离心风机）提升 30% 以上。提高了空气循环速度，防止了 CO₂ 浓度过高对人体造成危害。

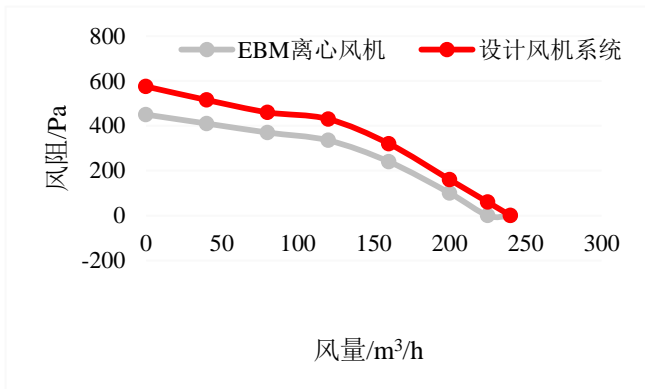


图 6 循环风机风量对比图

Fig.6 comparison of wind turbine air volume

2.4 显示监控模块

显示屏使用 Nokia5110 显示屏，显示 CO₂ 浓度值，CO₂ 设置阈值，PM2.5 设置上限值，PM2.5 设置下限值，当前 PM2.5 浓度值等内容。监控模块通过串口接收污染浓度值，发送至上位机，实现实时数据监控及数据记录。

2.5 电源模块

分为 220V 交流电和 AC-DC 模块。净化系统使用 24V 直流供电，控制器使用 5V 直流供电。

3 系统软件设计

3.1 总体程序设计

粉尘传感器检测数据送入 MSP430，MSP430 通过将其与阈值的比较，如果浓度超标，便会使继电器吸合，进而驱动净化器进行工作，如果浓度达标，就继续进行检测。当净化系统工作时，浓度降低到符合要求时，微处理器控制继电器断开，净化

结束。系统总体软件流程图如图 7 所示。

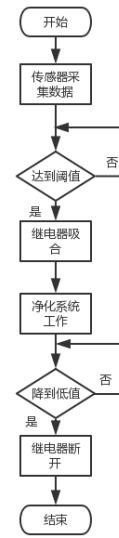


图 7 系统软件流程图

Fig.7 The software flow chart of the system

3.2 数据采集程序设计

PM2.5 数据为数字量，可直接将数值读出。CO₂ 数据为模拟量，使用 MSP430 内的 12 位 AD 将其转换为数字量，送入 MCU 进行处理。CO₂ 数据采集程序流程图如图 8 所示。

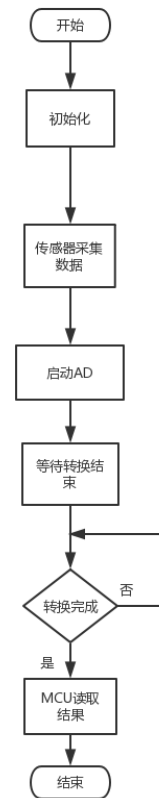


图 8 CO₂ 数据采集程序流程图

Fig.8 CO₂ Data acquisition program flow chart

3.3 上位机监控系统程序设计

上位机程序利用 MATLAB 编写，通过串口接收污染浓度数据，将其进行数值转换后实时显示在监控界面上。

4 测试与分析

4.1 空气检测净化测试

首先将系统线路连接，接通 24V 直流电源，通过一根点燃的香烟模拟 PM2.5 浓度控制信号的改变，通过 CO₂ 供气瓶模拟 CO₂ 浓度的改变，测试系统的工作条件，测量范围。随着时间增加，显示屏上 PM2.5，CO₂ 数值持续增加，当增加到阈值上限时，净化器开始工作，直到数值降至预设下限时，净化器停止工作。当 PM2.5，CO₂ 浓度达到上限时，警示灯亮起，浓度降至下限时警示灯熄灭。经过多次测试，系统工作情况良好。可以达到预期目标，CO₂、PM2.5 测量范围如图 9、图 10 所示。

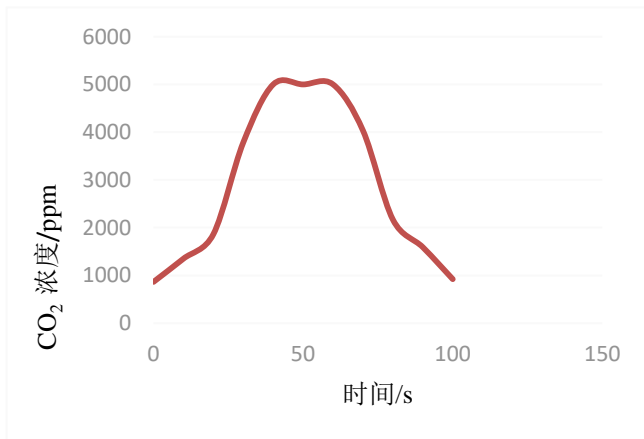


图 9 CO₂ 浓度测量范围测试图

Fig.9 CO₂ concentration measuring range test chart

由图 9 可知，CO₂ 测量浓度范围在 0—5000ppm 之间。

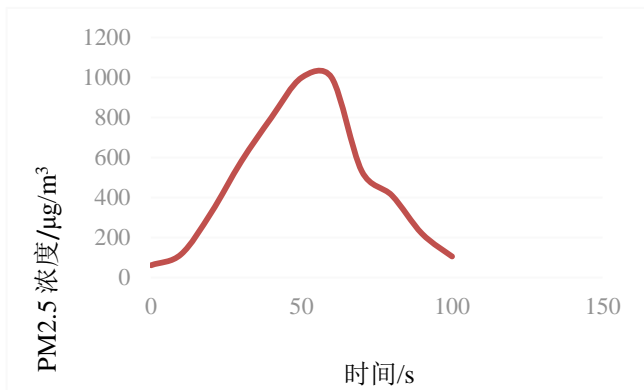


图 10 PM2.5 浓度测量范围测试图

Fig.10 PM2.5 concentration measuring range test chart

由图 10 可知，PM2.5 测量浓度范围在

0—1000μg/m³ 之间。

之后，依据技术指标，对系统的性能进行测试。在相同环境下，与 TSI8530 标准仪器进行对照，对 PM2.5 检测精度进行测试，测试时间为 100 分钟。测试结果如图 11 所示。

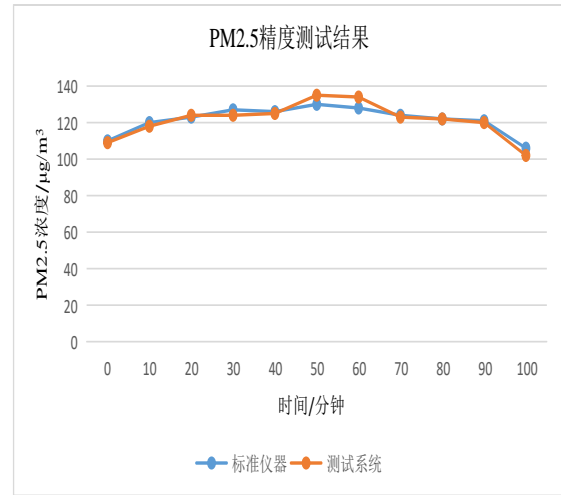


图 11 PM2.5 浓度测量范围测试图

Fig.11 PM2.5 accuracy test test chart

由图可知，与标准仪器对照，PM2.5 检测误差 <5%。

在相同环境下，与 HT2000 标准仪器进行对照，对 CO₂ 检测精度进行测试，测试时间为 100 分钟。测试结果如图 12 所示。

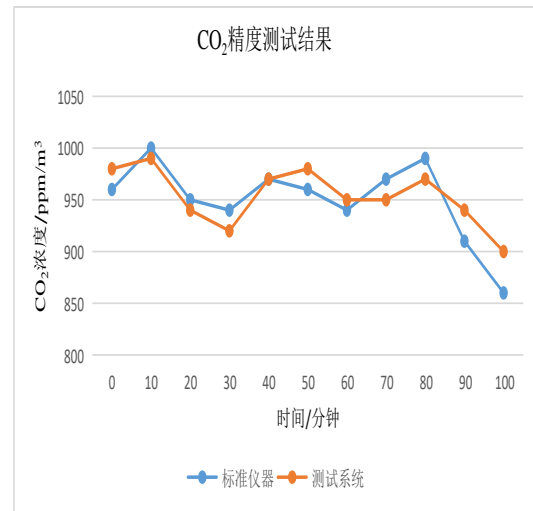


图 12 CO₂ 浓度测量范围测试图

Fig.12 CO₂ accuracy test test chart

经测试，与标准仪器对照，CO₂ 误差 <50ppm。在 40m³ 的室内空间，对系统净化能力进行测试，测试结果如图 13 所示。

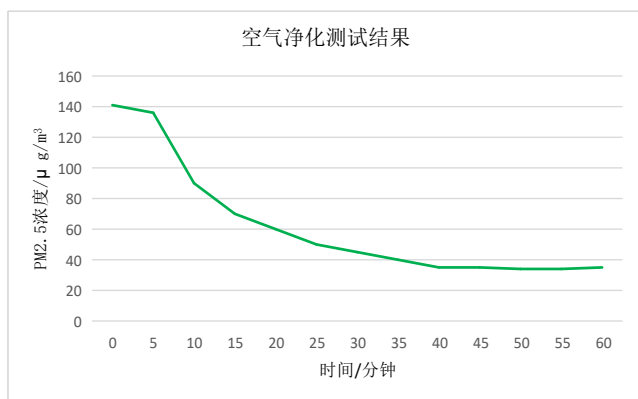


图 13 系统净化能力测试图

Fig.13 System performance test chart

由图可知，系统在 40 分钟以内将污染浓度降至正常水平，系统净化能力大于 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，符合并超越了技术指标的要求。

总体来说，系统的 PM2.5 检测范围 $0\text{--}999\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，误差小于 5%，而 CO_2 检测范围 $0\text{--}5000\text{ppm}$ ，误差小于 50ppm。系统净化能力大于 $40\text{m}^3/\text{h}$ 。各项结果如表 5 所示。

表 5 测试结果表

Table5 Test results list

技术参数	工作环境	PM2.5 测量范围及精度	CO ₂ 测量范围及精度	净化能力
结果	-10 ~ -40℃	0—999μg/m 3 (±5%)	0—5000ppm m (±50ppm)	大于 $40\text{m}^3/\text{h}$

我们测试了系统的净化纯净度，对同一环境下的室内空间进行净化，如图 14 所示，与单层 HEPA 结构普通净化结构进行对比，污染浓度最低可降至 20 以下，而单层 HEPA 结构将污染浓度最低降至 30 左右，由此可知，净化纯净度较 HEPA 单层结构提升了 50% 以上。

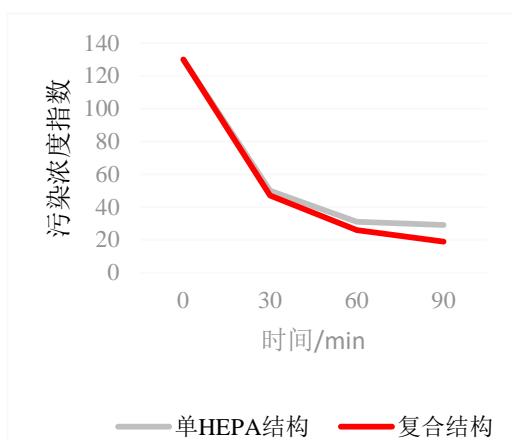


图 14 净化纯净度对比图

Fig.14 Comparison of purification purity chart

我们测试了系统的净化效率，对同一环境下，同一起始污染浓度的室内空间进行净化，如图 15 所示，与 EBM 普通单风机结构净化器进行对比，均在 40 分钟内污染浓度指数降至 30 以下，而对照组花费时间为 63 分钟。由此可知，净化效率较传统结构提升了 30% 以上。

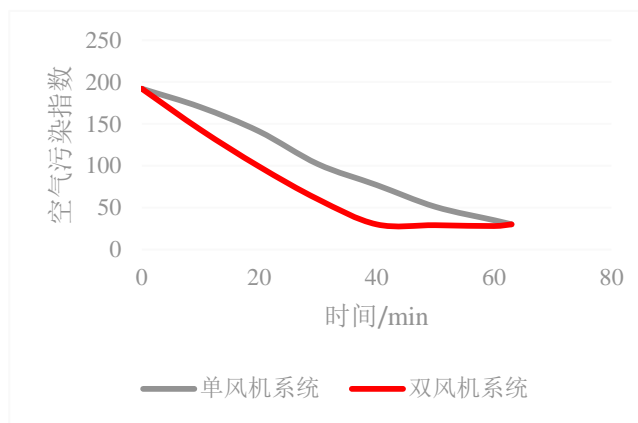


图 15 净化效率对比图

Fig.15 Comparison of purification efficiency chart

4.2 上位机系统测试

上位机通过串口接收 MCU 传送的数据，实现实时监控的功能。经过多次测试，上位机可以清晰、直观地显示 PM2.5 浓度的实时数值以及变化情况，系统运转良好，稳定性良好。

5 结论

本文提出一种室内空气质量检测净化器的设计方案，使用 MSP430 进行控制，应用串口通信，AD 技术等，通过 CO_2 传感器采集 CO_2 浓度，PM2.5 传感器采集 PM2.5 浓度，并与设置值进行比较判断，通过继电器的强电弱电转换，实现了净化系统的自动控制，通过 5110 显示屏，将 PM2.5、 CO_2 浓度状态值，设置的阈值显示出来，键盘可以对设置值进行操作，并将数值通过串口发送至上位机界面，实现了实时监控和数据记录。创新性地结合实际需要增设了 CO_2 模块，并将多种复合材料结合，制成过滤系统，使得对多种污染均可进行净化，净化纯净度较单一 HEPA 结构净化器有 50% 以上增强，设计使用了立式双风机循环系统，使得过滤效率较 EBM 单离心风机结构提升了 30% 以上。

参考文献

1. 曹媛媛,郭婷,耿春梅,于海瀛,王方园,许海亚. 室内空气污染新状况及污染控制技术[J]. 环境科学与技术,2013,(S2):229-231+235.
2. 马超. 室内空气污染净化技术的现状与发展趋势[J]. 环境工程,2011,(S1):168-170.
3. 秀峰,梅博,韦丽红,李占臣,康晓鸥,杨朔. 室内空气净化技术应用效果研究进展[J]. 安全与环境学报,2015,(06):202-206.
4. 石芳芳,邱利民,于川,张林,宋佳,严仁远. 室内空气净化技术及产品综述[J]. 制冷学报,2014,(05):14-18+37.
5. 余晓平,刘丽莹,李文杰. 室内外空气 CO₂ 浓度对最小新风量标准的影响分析[J]. 暖通空调,2015,(05):21-26.
6. 宣凯云,陈丽萍,龚延风,周斌. 室内细颗粒物(PM_{2.5})浓度影响因素的数值模拟[J]. 暖通空调,2016,(09):120-123+20.
7. 姚佳,张自嘉,朱莉. 智能室内空气净化系统设计[J]. 电子器件,2015,(01):203-208.
8. 谢慧,赵申,曹国庆. 国内外 PM_{2.5} 控制标准及对比[J]. 建筑科学,2014,(06):37-43.
9. 万国平,聂惠芬,万志强,王辉华. 基于 Atmega16 单片机的小型室内空气净化器的研制[J]. 制造业自动化,2012,(16):128-130.
10. 吴宁,尚坡利,蔡卓恩. 基于单片机的室内空气检测及净化系统研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表,2015,(02):105-106.

住宅智能安全系统设计*

孙明阳; 聂正安; 王立彬

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 将指纹识别、视频传输等多种技术应用于住宅安全系统的研究, 在相关模块的建立及程序的编写的基础上, 建立了整个完整的住宅智能安全系统。整个住宅智能安全系统在安全方面基于红外热释电装置, 视频传输装置以及指纹识别装置, 空调系统基于温控步进电机装置, 烟雾报警装置。整个系统环环相扣, 功能齐全。系统经过相关调试后, 功能达到相关要求及可以进一步扩展相关功能。

关键词: 单片机 视频传输 温控步进电机 指纹识别技术 红外热释电装置

Residential intelligent security system

Sun Mingyang; Nie Zhengan; Wang Libin

(College of Instrument science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: MCU and related video fingerprint sensor was applied to housing security system, in the establishment of the related module and program writing, on the basis of establishing the complete residential intelligent security system, after the relevant debugging, meet the relevant requirements, and can be further extended related functions.

Key words: single chip microcomputer sensors

0 前言

住宅智能安全系统是利用门窗探测器、人体移动探测器、燃气探测器和烟雾探测器等新型元器件, 配合一套完善的控制、通讯和报警系统所组成的能够对家居生活中容易产生的危险发出预警、警示作用的综合系统^[1]。

随着居民生活水平的提高, 人们越来越关注住宅安全, 因此住宅智能安全系统也就应运而生, 随着技术的发展, 系统实用性进一步提升, 住宅智能安全系统终究会得到社会广泛认可^[2]。

1 研究内容

1.1 烟雾报警装置

本设计以传感器和单片机作为烟雾报警器设计的核心器件, 配合其它器件即可实现声光报警、自动排烟换气和消防灭火等功能。设计中单片机选用

STC89C52 作为控制器件, 传感器选用 MQ-2 型半导体可燃气体敏感元件烟雾传感器实现烟雾的检测。烟雾报警器主要由烟雾信号采集及前置放大电路、模数转换电路、单片机控制电路、显示电路、声光报警电路和安全保护电路构成, 设计合理、简单易懂、价格低廉, 使单片机在烟雾报警系统的控制中得到充分应用, 具有一定的实用价值。电路总框图如图 1 所示:

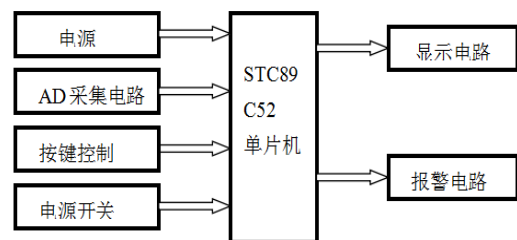


图 1 电路总框图

Figure 1 circuit diagram of the total

*指导老师: 孙彩堂

项目类型: 大学生创新项目 (2015650985)

1.2 温度控制步进电机驱动装置

本装置通过 DS18B02 数字测温传感器采集的温度来控制步进电机的转动。基于 51 单片机 DS18B20 为核心的温度自动控制系统，具有温度检测，温度显示功能，并且能够按照预先设定的程序控制运行功能，其中包括：搭建单片机的最小系统，包括其中的复位电路，供电电路，时钟电路，加入显示模块，使用 DS18B20 进行温度数据的采集，实现不同温度对步进电机转速的控制。系统设计结构框图如图 2 所示：

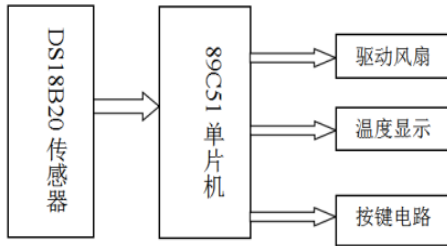


图 2 系统设计结构框图

Figure 2 system design structure diagram

1.3 视频实时传输功能

视频传输系统摄像头用于嵌入门内，形成监控装置，在门内视频采样端形成对视频画面的采集。在无障碍空间内实现对视频传输的模拟。

系统主要分为视频采样端和接收端两部分，视频采样端要求采集装置安装在固定位置，完成视频采集、图像压缩，以 PZP 的方式用数字传输的方式完成图像的无线传输。接收端在利用显示屏为主体，配合无线数据接受装置完成视频的接受、解压缩、保存和显示工作。整个系统运行时可将摄像区域的视频信号实时传输给接收端接收。

正交频分复用技术 (OFDM) 的基本思想是将多个并行的低速数据码流同时调制在对应个数的相互正交的子载波上进行传输。由于子载波之间相互正交，所以接收端在解调时各个子载波之间不存在干扰。因此此次选择的发射机与接收机均采用利用正交频分复用技术的 TS832 与 RC832。由于 5.8GHz 无线宽带接入系统可提供电话、视像、高速数据的综合接入；风险投资小，启动开销低，适应初始用户少的环境；易于扩容，扩大覆盖区，适应用户快速增加的需求；简单、可靠，减低维护开销；装、拆、搬迁简便快捷，保证投资不沉淀；具有灵活的接口能力，以适应与不同网络的连接等。因此我们选用 5.8GHz 频段的发射机与接收机设备。

1.4 热释电探测装置

热释电红外传感器通过目标与背景的温差来探测目标，其工作原理是利用热释电效应，即在钛酸

钡一类晶体的上、下表面设置电极，在上表面覆以黑色膜，若有红外线间歇地照射，其表面温度上升 ΔT ，其晶体内部的原子排列将产生变化，引起自发极化电荷，在上下电极之间产生电压 ΔU 。红外热释电装置单元框图如图 3 所示：

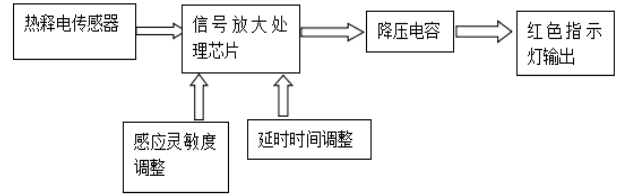


图 3 红外热释电装置单元框图

figure 3 Pyroelectric infrared device unit block diagram

1.5 指纹识别装置

以 STC89C52 单片机作为核心微控制器，通过单片机串口通信发送指令控制指纹识别模块进行存储指纹比对指纹的作业。具体工作原理如下：

(1) 指纹登陆的过程

指纹登陆时通过 STC89C52 单片机发出指令，通过光学传感器对每一枚指纹录入两次，将两次录入的图像进行处理，合成模板存储于模块中。

(2) 指纹匹配的过程

通过指纹头传感器录入要验证指纹的图像并进行处理，然后于模块中的指纹模板进行匹配比较（若与模块中指定的一个模板进行匹配，称为指纹比对方式，即 1:1 方式。若与多个模板进行匹配，称为指纹搜索方式即 1:N 方式），模块给出匹配结果（即通过或失败）。通过串口传输给单片机，同时单片机做出相应的反映控制液晶显示或控制继电器吸和指示灯点亮，并通过继电器来控制红外热释电报警装置的开关。

指纹识别装置具体组成单元框图如图 4 所示：

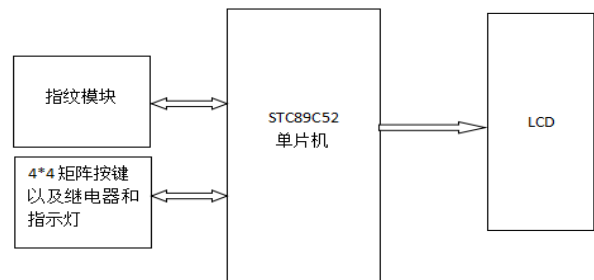


图 4 指纹识别装置单元框图

figure 4 The fingerprint identification device unit diagram

2 研究过程

2.1 烟雾报警

该报警系统的最基本组成部分应包括：信号采集模数转换电路、单片机控制电路、字符显示电路、声光报警电路和安全保护电路等部分组成。

报警器采用延时的工作方式，烟雾检测报警器以 STC89C52 单片机为控制核心，选用 MQ-2 半导体气体烟雾传感器采集烟雾浓度信息，配合外围电路构成烟雾报警系统。

从设计的要求来分析该设计须包含如下结构：烟雾检测部分、STC89C52 单片机主控部分、报警部分，AD 采集四大部分。

处理器采用 51 系列单片机 STC89C52。整个系统是在系统软件控制下工作的。设置在监测点上的烟雾检测探头将检测到的烟雾转换成电信号，送出模拟信号，给 AD 采集电路采集。在单片机内，经软件查询、识别判决等环节实时发出烟雾报警状态控制信号。驱动蜂鸣器及报警指示灯报警^[3]。

2.2 温度控制步进电机驱动装置

该装置由温度传感器，单片机，驱动装置，数码管显示，按键电路等硬件模块组成。通过按键电路设置装置的工作参数，如下限温度，手动自动等，通过 DS18B20 传感器实现对实时温度的采集，并将采集到的数据传输给单片机，单片机对温度进行分析处理，根据实时温度实现的风扇驱动速度档位的控制，与此同时，通过数码管模块实现实时温度及转速档位的显示。

基于单片机的风扇温控仪软件主要包括温度信息采集、硬件驱动，数码显示等部分。首先，将采集到的温度数据进行录入，判断当前温度在设定的某一区间，并输出与该区间相应的驱动输出信号，实现对不同温度下的步进电机速度控制的输出。由于步进电机的工作，温度会有所变化，反馈给温度传感器，进行转速控制的调整，最终实现对某一区间温度的控制。数据处理与速度调节模块如下所示：

```
{
    temp=get_temp();
    EA=1;
    dis_buf[1]=temp/100;
    dis_buf[2]=temp/10%10;
    dis_buf[3]=temp%10;
    xsd=2;
    if(temp<limt[0])          {grade=0;}
    //0 档转速
```

```
else if(temp<limt[1])
    //1 当转速
else if(temp<limt[2])
    //2 当转速
else if(temp>=limt[2])
    //3 当转速
    dis_buf[0]=grade;
    if(grade==0) dis_buf[0]=10;
}
}
if(grade>0)
    motor_ffw(G_value[grade]);
if(k) key_do(k);
}
```

2.3 视频实时传输功能

下面介绍分别的功能实现

1.用户端部分。将音频/视频捕捉设备得到的视频和音频信号送给 MPEG4 的编码器进行编码,编码器输出的数据进行加密之后,传送到 5.8GHz 无线传输系统的用户单元;

2.无线传输部分该无线网络信号传输应用的是 5.8GHz 的无线网桥设备,它是一种使用简易,即插即用型无线以太网通讯设备,它可为分散在几公里之内相邻楼宇之间的为人们提供良好和高性能的无线网络服务。无线网桥用以进行点对多点的无线连接;

3.VLAN 交换机部分 VLAN 交换机可以根据 SU 和 BSU 的 VLAN 标号,将同一虚拟组的信息输出到指定的端口。VLAN 交换机可以隔离不同计算机组之间的数据流,这有助于在信源和目的地之间建立单独的传输,从而在网络中不存在具有多个目的数据流,使得在同一个网络上,可以同时为多个用户的用户同时提供服务,使之能够更好地利用网络带宽。虚拟 LAN 还能够简化网络的管理。

监控主机用于视频监控系统。监控主机可以作为数字视音频监控服务器,包含 MPEG 视音频压缩及传输软件、MPEG 视频解压软件等,实现控制通道的复用。我们的视频传送装置便是以此为原理,在无障碍的住宅空间内进行对监控画面的实时传输。

2.4 热释电探测装置

热释电传感器是对温度敏感的传感器。人体具有约 37℃ 的恒定体温,所以会发出波长约 10 μm 左右的红外线。热释电红外传感器就是靠探测人体发射的 10 μm 左右的红外线而进行工作的。热释电红外传感器是一种具有极化现象的热晶体或称为“铁电体”。当红外光照射到已经极化的电铁体薄片表面

上时，引起薄片温度升高。使其极化强度降低。表面电荷减少。这相当于释放一部分电荷，所以叫做热释电红外传感器。如果将负载电阻与铁电体薄片相连，则负载电阻上便产生一个电信号输出。输出信号的大小取决于薄片温度变化的快慢，从而反映出入射的红外光的强度。从而，热释电红外传感器的电压响应率正比于入射红外光的变化率。当恒定的红外光照射在热释电红外传感器上时，传感器没有电信号输出，而只有铁电体处于变化过程中才有电信号输出。所以，必须有交变的红外光照射，不断引起传感器的温度变化，才能导致热释电产生并输出交变信号。我们应用这一特性来制作以此为原理的报警探测装置^[4]。

2.5 指纹识别装置

2.5.1 硬件系统具体架构设计

指纹识别模块需要有高辨识度、处理速度快、准确率高，所以确定使用 FM-70 光学指纹采集仪。液晶显示模块 LCD12864 能够显示 4*8 汉字，且界面清晰，所以采用 LCD12864。单片机需要快速计算和控制，以及较大存储空间，所以选择 STC89C52。电源采用 USB 线独立 DC-5V 供电，按键采用 4x4 独立式按键。

(1) STC89C52 核心处理器

P0、P1、P2、P3 总共 4*8=32 个引脚，这些引脚主要用作 I/O 输入输出，控制一些外接器件，例如 LED 灯、开关等等。其中 P3 口有特殊用途，可用于串口传输以及中断和定时器，本次的设计主要用到 P3 口。

(2) 时钟电路

时钟电路是单片机的核心，是动力源，控制着单片机的工作，单片机就是通过时钟信号来给其他的部件发送信号，推动着单片机的运行。

(3) FM-70 指纹识别模块

对于本系统指纹识别模块的选用，采用 FM-70 指纹识别模块。该系列光学指纹模块以高性能高速 DSP 处理器为核心，结合具有自主知识产权的光学指纹传感器，在无需上位机参与管理的情况下，具有指纹录入、图像处理、指纹比对、搜索和模板储存等功能。FM-70 的外部引脚共 6 个，各个引脚的功能如表 1 所示：

表 1 引脚的功能如表

Table 1 the function of the pins as table

引脚号	名称	类型	功能描述
1	Vtouch	In	触摸感应电源输入端。(线色：蓝)
2	Sout	out	感应信号输出。(线色：黄)
3	Vin	In	模块电源正输入端。(线色：红)
4	TD	Out	串行数据输出。TTL 逻辑电平。(线色：绿)
5	RD	In	串行数据输入。TTL 逻辑电平。(线色：白)
6	GND	-	信号地。内部与电源地连接。(线色：黑)

指纹识别模块的 VCC 端接到 5V 电源，GCD 端接地，RXD 串行数据输入接到单片机的 P3.0 口 (TXD)，TXD 串行数据输出端接到单片机的 P3.1 口 (RXD)。模块与单片机需要通信，通信方式采用串行通讯，从单片机发送指令，指令以字节为单位从串行口发送出去，模块接收指令，在运行指令，实现功能。单片机的指令、模块的应答和指纹数据的传输都要满足模块的规定包的格式。

(4) 继电器与 LED 模块

LED 通过一个 PNP 型的三极管连接到 P3.6 引脚上去，单片机复位后引脚都是高电平，若用 NPN 型三极管，在单片机复位之后就会处于导通状态，LED 灯亮起，所以需选择 PNP 型三极管。当 P3.6 引脚处于高电平时，三极管不导通，LED 灯不亮；当 P3.6 引脚处于低电平时，三极管导通，LED 灯亮起。

(5) LCD12864 液晶显示模块

液晶显示模块选用 LCD12864 型号，它是一个完整的模块，只需要对其发布指令便可以完成相应的工作。

LCD12864 液晶模块内涵字库和处理器，具有自己的一套指令系统，根据使用手册给出的指令系统，依照规定的指令格式，给模块发送指令，完成相应的功能。

2.5.2 系统软件实现

(1) 指纹识别模块的程序设计：

FM-70 作为一个指纹识别模块，内部已经完整，只需要对模块下达合适的命令就能够实现对模块的控制，进而实现相应的功能。不同的功能，需要不同的指令来实现，而每一条指令都有其规定的格式。

指纹识别模块需要完成的工作有：获取指纹图像，生成指纹特征模板，储存指纹特征模板和匹配指纹等工作，单片机根据模块的指令系统，给模块

发送指令信息，来控制模块完成相应的工作。指纹录入过程的流程图如图 5 所示：

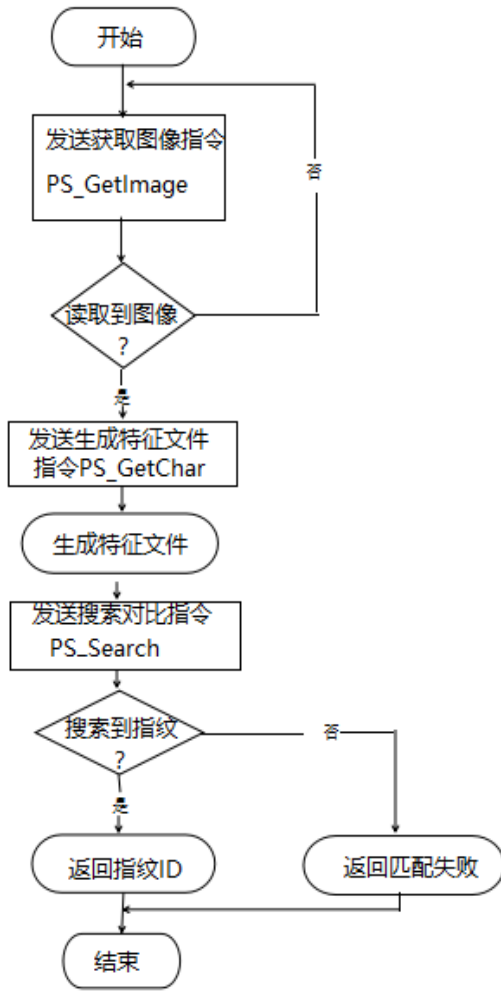


图 5 指纹录入过程流程图

Figure 5 fingerprint entry process flow chart

指纹录入过程，用于新用户的注册，当有新用户需要注册时，就先在指纹头处获取用户的指纹图像，再将之生成指纹特征模板，再储存起来，这样就完成了新用户的注册。

在指纹录入过程中主要的指令有：

- ① 录入图像 PS_GetImage: 扫描探测到的手指，并将其形成图像，用于后面步骤的进行。
- ② 生成特征 PS_GenChar: 将获取的指纹原始图像生成指纹特征文件。
- ③ 储存模板 PS_StoreChar: 将生成的指纹的特征的文件存放到 flash 中去，掉电不会丢失。

按照这三个指令的格式，在单片机的程序内设计相应的子程序，加以调用，便可以完成以上功能。指纹识别过程的流程图如图 6 所示：

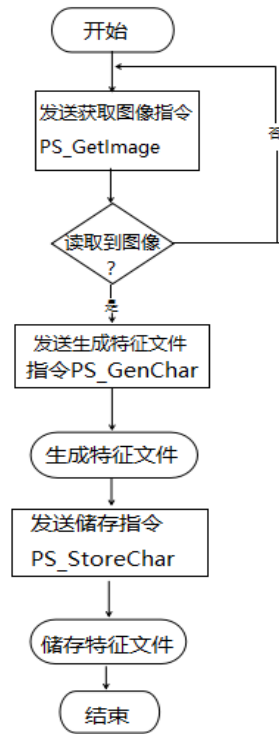


图 6 指纹识别过程流程图

Figure 6 fingerprint identification process flow chart

指纹识别过程与指纹录入过程部分相似，都是需要先获取指纹图像，再将获得的指纹图像生成成为特征模板。指纹识别过程在得到指纹特征模板之后，将之与指纹库中的模板向对比，若对比成功，就返回对应指纹模板的 ID；若失败，就返回失败。指纹识别过程用于门禁系统的开锁，当有用户时，首先在指纹头处获取指纹，在与指纹库中指纹相对比，若成功，就打开门；失败，就液晶提示指纹匹配失败。

搜索指纹 PS_Search: 以 charbuffer 中的指纹特征文件来搜索整个指纹库，并返回结果。

利用 FM-70 指纹识别模块给出的指令系统，设计出指纹识别模块部分的程序，通过这样的指纹录入和识别过程，便可以实现用户的指纹录入和指纹识别功能，进而利用单片机来控制门锁和与上位机通信等工作。

(2) 单片机的程序设计

单片机采用 STC89C52, 单片机的主程序主要是完成上位机与下位机通信、单片机与模块通信的任务，首先要将波特率设置为 9600bps (与模块相对应)，然后在根据模块的指令包格式，来发送命令。软件使用 Keil 4 版本，主程序采用 c 语言编写。单片机对指纹识别模块发送命令，得到识别结果，在根据这个结果来控制显示模块、继电器模块和电子锁模块。

单片机的初始化主要包括波特率的设置、定时

的设置以及中断的设置，如下所示：

```
void UART_Init()
{
    SCON= 0x50;           // 串口方式 1
    //REN=1; 允许接收
    PCON=0x00;           //SMOD=0
    TMOD= 0x21;          //定时器 1 定时方式
    2
    TH1= 0xFD;           //11.0592MHz 模
    块默认波特率为 9600bps
    TL1= 0xFD;

    TR1= 1;              //启动定时器
    EA=1;
}
```

完成单片机的初始化后，根据按键来触发子程序。比如按键选择管理员模式，通过调用管理员子程序再根据接下来的按键情况来选择调用；比如按键选择指纹录入，就调用采集指纹子程序，再调用生成特征文件的子程序，再调用储存指纹子程序，这样一连串下来便完成了整个的指纹录入过程。如果按键选择指纹识别，就先调用采集指纹子程序，进而调用特征文件生成子程序，最后调用指纹对比子程序，返回对比结果，完成指纹识别功能。如果按键选择删除功能，就调用删除子程序，并返回删除结果。

3 实验结果

烟雾传感器需要在加热状态下工作，温度越高，反应越快，响应时间和恢复时间就越快。为提高响应时间，保证传感器准确地、稳定地工作，需要向烟雾传感器持续供给 5V 的加热电压。烟雾报警器能在较宽的温度范围工作，可将烟雾浓度显示用 LED 数码管显示。当烟雾的浓度达到设定的浓度时，发出报警。

通过现场标定及测试，分析烟雾浓度信号的实验数据，计算本报警器显示烟雾浓度与实际浓度之间的误差为 2.55%LEL，在所规定误差范围 ±5%LEL 之内，满足检测要求，达到了预期的设计效果的结论。

步进电机驱动装置：基于 51 单片机的智能风扇，可以显示室内的温度，可以根据室内的温度自动调节风扇的转速以及按键控制，使用四位数码管显示风扇所处的模式状态，及其温度显示。通过温度传感器测量的温度值，对步进电机的转速实现控

制。

红外热释电探测装置：开关一可以调节红外探测反应时间，时间调节范围为 0s-18s，开关二可以调节灵敏度，最高可以调节至 8m，且各部分正常工作。

视频传输模块：当红外探测装置感应到信号后，视频装置即可开始工作。

指纹识别装置：本装置可以实现指纹录入、存储、识别等基本功能，并可输入密码进入“管理员模式”来实现增加、删去指纹样本、紧急开锁、修改密码等功能，同时通过继电器来控制红外热释电报警装置的开关，当以正常方式通过指纹识别时，红外热释电报警装置断开。

4 结论

我们所设计的房屋安全装置可精确检测室内外环境的变化，并根据变化自动调节装置状态，确保安全性，适合实际安装，并且为进一步的发展，以及相关功能的进一步扩充打下良好基础，提供正确思路。

本研究将多种检测功能集于一身，将指纹识别技术，红外测人体电释热装置，视频数据传送装置融合在一起，以及室内温度传感器，湿度传感器测量环境参数，并且控制空调转速，烟雾报警装置控制水阀。本研究可实现对房屋安全的高度保证，突破的传统，将新技术应用到日常生活。

参考文献

1. 国外家庭安防发展现状与趋势分析 2013 年 陈桂香 - 《中国安防》
2. 未来十年美国家庭安防系统用户将上升 10% 2014-02-26 安防知识网
3. 王进军,张永明,胡君健等.《点式离子感烟火探测器迟滞时间的实验》 [J]. 火灾科学, 2012
4. 热释电传感器原理与应用 - 《传感器世界》2010 07 期

模拟汽车防超速防超载系统设计*

张 泓; 陈 明; 叶 青

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林长春, 130000)

摘要: 道路交通安全问题是关系到每个人自身生命安全; 经过调查发现, 汽车的超速和超载现象是诱发交通事故的重大因素, 因此有必要设计一种预防与约束系统来有效解决这一问题。本项研究的目的在于有效检测汽车当前的装载与速度信息, 判断汽车是否超载与超速, 最后送到显示模块进行显示。超速超载后进行声光报警, 立即强制降速到规定值, 并在超载时切断电源使车辆不能发动。另外定期通过蓝牙模块向监控设备发送信息形成行车记录表, 方便公安机关查阅。经实验证明, 本设计综合考虑了超速超载的几个方面, 可以真正地满足“实时控制”的自动化需求。

关键词: 防超速 防超载 蓝牙 实时控制

Design of simulation system for vehicle overspeed and overload prevention

Zhang Hong; Chen Ming; Ye Qing

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: The problem of road traffic safety is related to the safety of each person's own life; after an investigation found that speeding and overloading of vehicle is the major factor to cause traffic accidents, so it is necessary to design a prevention and restraint system to effectively solve this problem. The purpose of this study is to effectively detect the current load and speed information, to determine whether the vehicle overload and overspeed, and finally sent to the display module to display. After the overload of the sound and light alarm, immediately forced to speed down to the specified value, and when the power supply is cut off so that the vehicle can not start. In addition, the Bluetooth module sends the information to the monitoring equipment regularly to form the traffic record table, which is convenient for the public security organs to consult. The experimental results show that this design takes into account several aspects of overload, which can truly meet the needs of real-time control.

Key word: Overspeed protection Anti overloading Bluetooth real-time control

0 前言

近年来, 随着人民生活水平的提高, 出行方式也在潜移默化的开始改变, 出门时乘坐或驾驶汽车越来越受到人们欢迎。但近年来发生的多起重大交通事故开始逐渐引起人们的注意, 因此在道路交通安全问题成了一个亟待解决的课题。经过调查发现, 汽车的超速和超载现象是诱发交通事故的重大因素, 因此有必要设计一种预防与约束系统来有效解决这一问题。

现在的市场上相关的产品仅仅考虑了某一个方

面, 并不能真正地满足“实时控制”的智能需求。综合上述考虑, 本项研究的目的在于有效检测汽车当前的装载与速度信息, 进行声光报警, 立即强制降速到规定值, 并在超载时切断电源使车辆不能发动, 同时向监控设备发送信息使其在一定距离内有效接收。

1 系统设计

本项目设计一种汽车防超速防超载装置, 检测车辆当前载重与速度信息, 判断汽车是否超载与超速, 最后送到显示模块进行显示, 同时将车辆当前

*指导老师: 张怀柱

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65676)

信息调制后通过蓝牙模块发射到监控设备上形成行车记录表，可防止司乘人员刻意隐瞒有关信息。项目研究内容主要包括由防超速模块，防超载模块和蓝牙收发模块组成。

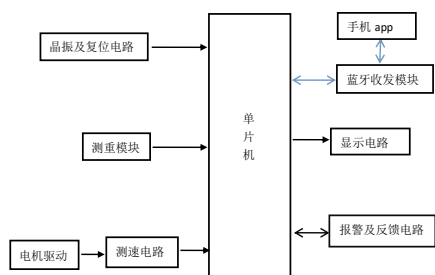


图 1 系统框图
Fig 1 System Block Diagram

2 方案设计及论证

根据要求，确定如下方案：在现有模拟小车的基础上，加装光电检测器，测重传感器和蓝牙模块，实现对小车的速度、载重，运行状况的实时测量，并将测量数据传送至单片机进行处理，然后由单片机根据所检测的各种数据实现对电动车的智能控制，将测得的数据通过液晶屏显示并通过蓝牙模块发送到手机 app 上。这种方案能实现对小车的运动状态进行实时监控，并能实现自动化控制，控制灵活、可靠；可满足对系统的各项要求。

2.1 电机驱动

小车使用的是直流电机。从单片机输出的信号功率很弱，即使在没有其它外在负载时也无法带动电机，所以在实际电路中我们加入了电机驱动芯片提高输入电机信号的功率，从而能够根据需要控制电机转动。直流电机常用 PWM 方式驱动。利用单片机调整出 PWM 脉冲和高电平对直流电机进行驱动和控制。

PWM 的理论基础是：采用 PWM 进行电机的调速控制，实际是保持加在电机电枢上的脉冲电压频率不变，调节其脉冲宽度。电机是一个惯性环节，它的电枢电流转速均不能突变，很高的频率的 PWM 加在电机上，效果相当于施加一个恒定电压的直流电^[1]。

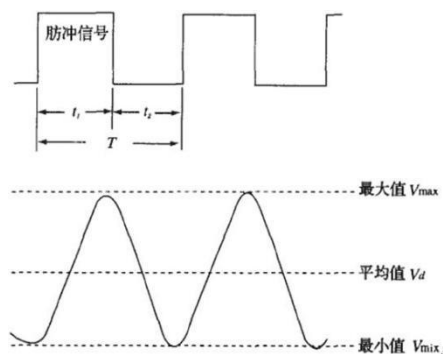


图 2 电压“占空比”与平均电压关系
Fig 2 Voltage "duty cycle" and the average voltage

$$V_d = V_{max} D \tag{1}$$

式中， V_d ——电机的平均速度；

V_{max} ——电机全通电时的最大速度；

$$D = t_1 / T$$

由公式(1)可见，当我们改变占空比 $D = t_1/T$ 时，就可以得到不同的电机平均速度，从而达到调速的目的。严格地讲，平均速度 n 与占空比 D 并不是严格的线性关系，在一般的应用中，可以将其近似地看成线性关系^[2]。通过改变直流电机电枢上电压的“占空比”来改变平均电压的大小，从而控制电动机的转速。因此，PWM 又被称为“开关驱动装置”。

2.2 测速电路

光电传感器是采用光电元件作为检测元件的传感器。它首先把被测量的变化转换成光信号的变化，然后借助光电元件进一步将光信号转换成电信号^[3]。

光电检测方法具有精度高、反应快、非接触等优点，而且可测参数多，传感器的结构简单，形式灵活多样；并且由于光电传感器的传感原理是基于光的传感器，则其还有抗干扰能力强、响应速度快、测量精度高等优点。因此，本设计选择使用光电式传感器测。

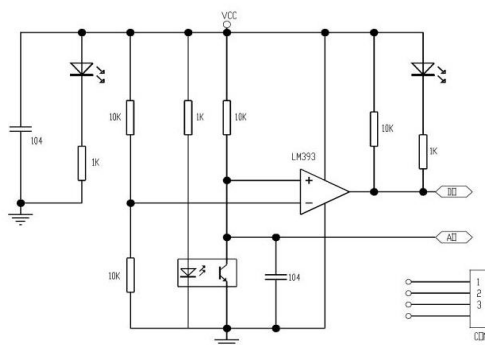


图 3 测速传感器电路图
Fig 3 Speed sensor circuit diagram

光电编码器是由一个红外发射接受装置和一个码盘构成。当红外光由发射器射出射于黑色条纹上时，将被间断地反射于接收器上，在接收器的输入端会受到通轮子转速为成正比关系的光脉冲信号，进而在接收器的输出端形成具有一定频率的电信号。再利用微处理器对电脉冲进行计算，就可以得到小车的移动速度^[4]。

$$v = \frac{\pi D}{n * t} N \quad (2)$$

公式(2)中 N 为实际测量中电脉冲政府跳变的次数，n 为码盘上黑白条纹的个数，D 为驱动轮的外径，t 表示时间。

2.3 测重电路

HX711 是一款专为高精度称重传感器而设计的 24 位 A/D 转换器芯片。与同类型其它芯片相比，该芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其它同类型芯片所需要的外围电路，具有集成度高、响应速度快、抗干扰性强等优点^[5]。降低了电子秤的整机成本，提高了整机的性能和可靠性。该芯片与后端 MCU 芯片的接口和编程非常简单，所有控制信号由管脚驱动，无需对芯片内部的寄存器编程。芯片内提供的稳压电源可以直接向外部传感器和芯片内的 A/D 转换器提供电源，系统板上无需另外的模拟电源。芯片内的时钟振荡器不需要任何外接器件。上电自动复位功能简化了开机的初始化过程。

稳压电路电源	VSUP	1	16	DVDD	数字电源
稳压电路控制输出	BASE	2	15	RATE	输出数据速率控制输入
模拟电源	AVDD	3	14	XI	外部时钟或晶振输入
稳压电路控制输入	VFB	4	13	XO	晶振输入
模拟地	AGND	5	12	DOUT	串口数据输出
参考电源输出	VBG	6	11	PD_SCK	断电和串口时钟输入
通道A负输入端	INNA	7	10	INPB	通道B正输入端
通道A正输入端	INPA	8	9	INNB	通道B负输入端

图 4 HX711 管脚封装图

Fig 4 HX711 pin package

2.4 显示及报警电路

根据要求，本设计需要实时显示小车速度，载重，以及限速值和限载值，所以选择液晶显示器。LCD1602 可以显示 32 个字符，而 Nokia5110 可以显示 15 个汉字，30 个字符。并且 Nokia5110 比 LCD1602 更便宜，性价比更高。Nokia5110 接口简单，仅四根 I/O 线即可驱动，速度快，工作电压 3.3V，正常显示时工作电流 200uA 以下，具有掉电模式，方便携带。



图 5 液晶 5110 显示

Fig 5 LCD 5110 display

报警电路采用声光报警，小车超速超载后报警指示灯亮，蜂鸣器报警。

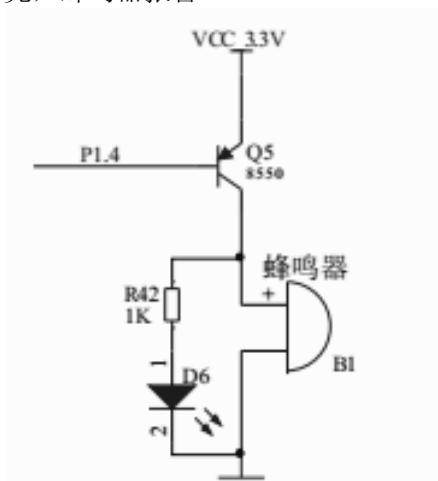


图 6 报警电路

Fig 6 Alarm circuit

2.5 蓝牙模块及手机 app 设计

ATK-HC05 是一款高性能的主从一体蓝牙串口模块，可以同各种带蓝牙功能的电脑、蓝牙主机、手机、PDA、PSP 等智能终端配对，该模块支持非常宽的波特率范围：4800~1382400，并且模块兼容 5V 或 3.3V 单片机系统，可以很方便与您的产品进行连接。使用非常灵活、方便^[6]。

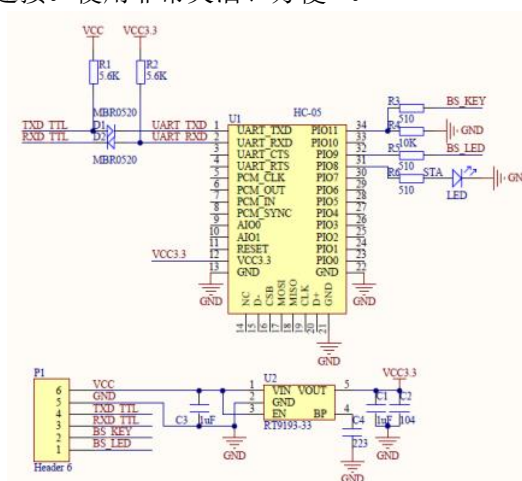


图 7 ATK-HC05 原理图

Fig 7 ATK-HC05 Schematic

3 实验成果

经过不断的改进调试,本设计最终完成了该课题预期要求。通过按键控制小车速度来模拟汽车的运行,利用光电传感器和 HX711 称重传感器分别测出小车当前速度及载重值,并且在 5110 上显示。同时,将小车实时状态通过蓝牙发送到手机 app 上,形成行车记录,通过手机可以设置小车载重和限速值,当小车当前运行状态超过限速值时,声光报警,小车自动减速到安全速度,当小车超载后,系统报警并对小车进行强行制动。

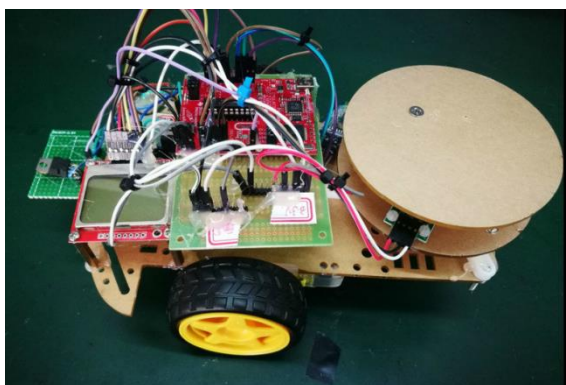


图 8 实物展示

Fig 8 Physical display



图 9 手机 app 界面

Fig 9 Mobile app interface

本设计在张怀柱老师的悉心指导和严格要求下已完成结题要求,从课题选择、方案论证到具体设计与调试,始终感受着导师的精心指导和无私的关怀,我们受益匪浅,在此向张老师表示深深的感谢!

参考文献

1. 许南雁,郝继飞,邢青青. PWM 控制方法研究[J]. 工矿自动化,2005,(04):22-25.
2. 冼凯仪,李先祥. 基于 PWM 控制的直流电机控制系统的设计[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2000,(03):16-19.
3. 高雁,郭红英. 光电传感器在电机测速表中的应用研究[J]. 数字技术与应用,2013,(08):63+65.
4. 李菊叶,纪留利. 光电测速装置的设计[J]. 海南大学学报(自然科学版),2012,(01):66-70.
5. 刘美娟,张琦,穆远威. 基于 HX711 的高精度电子秤的设计[J]. 信息通信,2017,(01):142-144.
6. 白云飞,王平,孙攀. 蓝牙通信模块的设计与实现[J]. 数字通信世界,2006,(09):72-74.

4 结束语

本文设计的防超载防超速系统能实时监测小车的运行状态,对超速超载情况报警并进行自动化控制。本设计方便实用,易于推广,有很大的实际意义。

基于 RFID 的智能车锁的研究*

张若曦；石佳晴；朱武芳

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130012)

摘要: 现在自行车车锁使用复杂,对于短途旅程十分不便。针对该问题,本文提出一种基于 RFID 的智能车锁,该车锁通过刷卡识别车锁使用者身份,判断该持卡者是否为真正车主,从而做出相应的判断。对于车锁能源问题采用太阳能供电。实验结果表明:该车锁通过 IC 卡可以识别持卡者身份,实现车锁的自动打开闭合,完成对车锁智能化的体现。与传统车锁相比,该车锁的使用更加便捷,从而方便出行。

关键字: RFID 车锁 自动化 智能

Research of intelligent vehicle lock based on RFID

ZHANG Ruo-xi; SHI Jia-qing; ZHU Wu-fang,

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, JiLin University, Changchun, 130012, China)

Abstract: Now the use of bicycle lock is complex, as for short distance journey, it can not be a smart choose. The paper proposes a smart car lock based on SCM, which locks users through the card identification, to determine whether the cardholder is the true owner, so as to make the corresponding instructions. Solar power is used for the lock energy. The experimental results show that the vehicle lock can identify the identity of the cardholder by the IC card, and realize the automatic opening and closing of the vehicle lock, and the realization of the intelligent vehicle lock. Apart from these, the lock also has an important function, if someone else aimed to move the bicycle deliberately, The lock will be issued a sharp warning sound. Compared with the traditional bike lock, the use of the lock is more convenient, and it can achieve the goal facilitating the travel.

Key words: RFID Bicycle lock Automation Intelligent

0 引言

目前车锁形式多为软链锁和 U 型锁,软链锁使用复杂,使用者将花费大量时间将车锁缠绕在车体上,这样对于短途行程而言十分不便。而 U 型锁相较于软连锁使用方便,但不具备防盗报警功能,因此经常会出现自行车丢失现象。目前国外对自行车锁的研究处于科技前沿的是 lock8,但由于造价较高,并且对手机过于依赖,目前还得不到很广泛的使用。

为了解决以上问题及改变传统的车锁使用方式,本文设计一种基于单片机的智能车锁,将使用者携带的接收装置与 IC 卡一体化,锁无需手动开锁和上锁,用户刷卡车锁自动打开,停止刷卡后闭合。

考虑自行车长期处在室外,受阳光照射的特点,采用太阳能电池为车锁供电^[1-2]。从而实现自行车的智能化,使车锁使用更加方便。

1 基于单片机的智能车锁

本项目设计的智能车锁以单片机为主控模块,主要通过对使用者所持 IC 卡 UID 的识别来判断使用者身份是否正确,同时根据使用者身份不同执行不同的指令,从而实现车锁的智能化及提高车锁的安全可靠性^{[1][3]}。再根据车锁的使用情况及使用环境进行其他功能部件的设计,车锁使用清洁能源,使整个车锁更加环保。

2 系统总体方案设

*指导老师: 张怀柱

项目类型: 大学生创新项目(2015650984)

该系统以 ARM 芯片为主体，通过与射频刷卡模块结合，实现车锁的自动识别功能。该设计主要包括主控模块、刷卡模块、显示模块、电源模块、机械结构模块。图 1 为车锁整体框图。

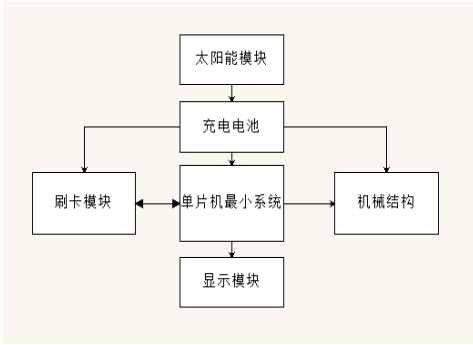


图 1 系统结构框图

Fig.1 System structure diagram

主控部分控制整个车锁的工作，首先根据持卡者所持 IC 卡进行使用者身份判断，根据使用者身份的不同，判断车锁是否执行开锁指令，同时在显示屏上有 UID 的显示，除此以外蜂鸣器和 LED 有相应反应。整个系统要求工作在 12V 电压环境下，考虑到自行车的使用环境问题，选择清洁环保的太阳能板作为电力来源，但太阳能板受天气、光照强度等影响较大，因此选择由太阳能板对可充电电池进行充电，而由可充电电池对整个系统提供稳定电压的方案。对于报警部分采用加速度传感器，通过传感器判断自行车是否被移动，从而实现报警。

3 硬件电路设计

3.1 主控模块

本设计以增强型 STM32F103C8T6 作为主控芯片。STM32 自带 72M 时钟，20KRAM，64KB 程序存储空间，自带多个 12 位 A/D 转换器，定时器，I/O 端口及通讯端口，实用性强，在 2-3.6V 范围内都能正常工作，且在目前市场上功耗最低，因此 STM32 对于本设计是一个非常好的选择。

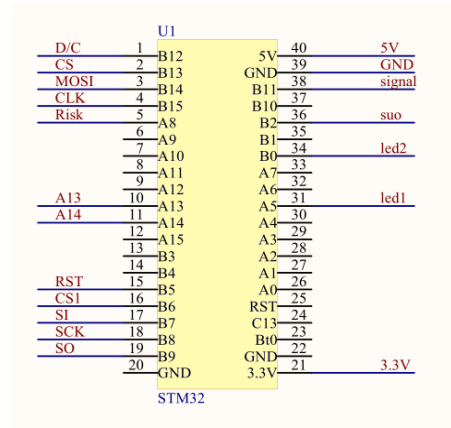


图 2 主控模块电路

Fig.2 Main control module circuit

3.2 电源模块

整个车锁系统需要稳定 12V 电源供电，因此采用可充电 12V 聚合物锂电池，具有较高的安全性能，化学性能更稳定^[4]。考虑到车锁长期在室外，可以采用太阳能电池对电池充电，由于锂电池对充电电源要求较高，因此采用 LM358 和 XL4005E1 芯片模块进行稳压，从而实现充电功能，使整个设计更加环保。

3.3 射频刷卡模块

射频刷卡模块采用非接触卡读卡机 FM1702SL。FM1702SL 集成度高，对于外部接线要求小，操作距离广，最大可达 10cm，内部加密，包含一个可编程定时器，一个中断处理器，512byte EEPROM 和 64 位 FIFO^[5]。FM1702SL 的硬件连接电路简单，相比其他射频通信模块，使用方便^[6]。图 3 为刷卡模块接口图。

IC 卡以卡片形式，将符合一定标准的微电子芯片嵌入基卡。结合 RFID 与 IC 技术的射频卡，能实现非接触刷卡工作^[7-11]。射频读写器发出的电磁波通过 LC 振荡电路共振及电荷累积，作为电源向其他部分供电，从而实现射频卡的读写操作^[12]。

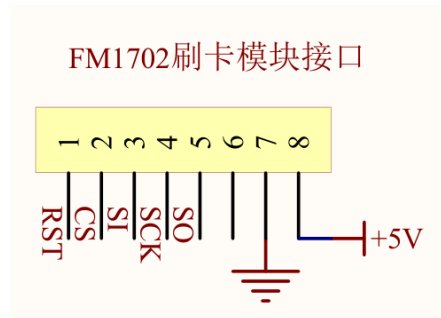


图 3 刷卡模块电路连接图

Fig.3 Card module circuit connection diagram

3.4 机械结构模块

机械结构采用电磁锁，电压为 12V，与系统工

作电压一致，不用另寻电源模块。为了减小整个系统功耗，选择车锁功率只有 5.2W，伸缩范围 20mm。

3.5 显示模块

显示模块采用 OLED12864 模块，OLED12864 不需要背光源，功耗低，节约 IO 口，内置驱动芯片，可实现中文的人机交互界面，具有 3 线 SPI 通讯方式，与 LCD 模块相比，在固定小体积的情况下可以实现较高的分辨率^[4]。

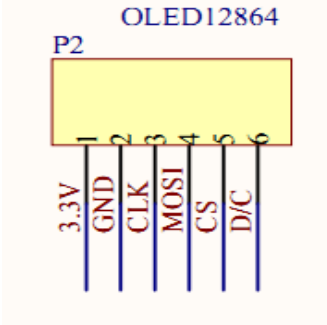


图 4 液晶模块电路图

Fig.4 LCD module circuit diagram

3.6 防盗报警模块

普通车锁不具备报警功能，无法保证车锁的安全性。对此，本车锁采用加速度传感器 ADXL202^[4]。通过加速度传感器对加速度峰值进行检测，其输出占空比与速度成一定比例，通过主控进行一定的逻辑分析，判断自行车是否处于被盗状态，如果认定为被盗状态，报警器就会发出尖锐的爆鸣声。

3 软件设计

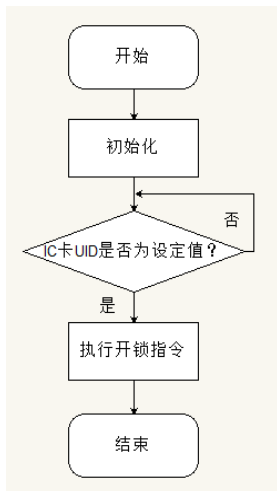


图 5 刷卡模块程序流程图

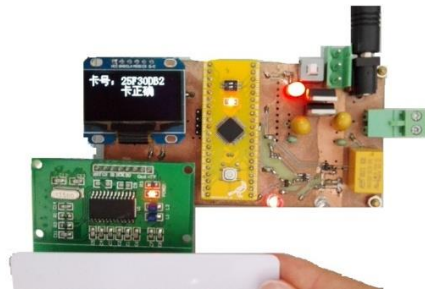
Fig.5 Card module program flow chart

首先对系统进行寄存器及 LED 的初始化，使各部分能正常工作，当与该车锁相对应的 UID 进行识别时单片机判断是否为正确的 UID 的的，若正确才会向车锁发出开锁指令。显示指示灯闪烁，蜂鸣器

发出有规律声响。否则错误显示灯亮，蜂鸣器发出报警声。

4 实验结果及其分析

实际结果表明，根据程序的不同设定，车锁可以识别不同的 IC 卡，也可以同时识别多张 IC 卡，显示屏显示相应的 UID 的。若使用者身份正确，显示灯红绿交替闪烁，蜂鸣器发出有规律的滴滴声，表明持卡人身份正确；反之，蓝色显示灯显示，蜂鸣器发出尖锐噪音，可以实现报警功能，同时表明使用者身份不正确。



(a) 正确 IC 卡刷卡效果



(b) 错误 IC 卡刷卡效果

图 6 不同情况下刷卡效果

Fig.6 Credit card effect under different circumstances

主要实验测试参数

2.1 工作电源

- a) 太阳能充电板最大输出电压: 15V
- b) 聚合物锂电池输出电压: 12V
- c) 聚合物锂电池充电电压: 12.6V
- d) 充电电池容量: 5500mAh

2.2 外形尺寸

- 车锁: 140X30mm
- 锁匙伸缩长度: 20mm
- 太阳能电池板: 240X160mm
- 刷卡区域: 14X12.5mm

2.3 刷卡距离

刷卡感应距离为 7.0~7.5cm

2.4 功率消耗

a) 车锁功率：5.2W

b) 系统总功率：<5.4W

5 结果的讨论

(1) 用户无需进行任何操作，车锁可以根据情况自动的开启和关闭，免去人们骑自行车开锁和上锁的麻烦。

(2) 将用户随身携带的接收装置与一卡通一体化，这样对于每天都需要使用一卡通的大学生而言非常方便，并且我们相信智能车锁未来将适用于广大人群。

(3) 自行车长期处在室外，受阳光照射，所以采用太阳能电池与可充电电池结合为车锁供电，这样使用者无需考虑车锁供电问题并且清洁环保。

(4) 本研究实现的方法简单并且成本低，为自行车锁智能化提供一种切实可行、易操作的方案。

6 结论

为改变传统的自行车车锁的开锁方式，解决普通车锁的使用复杂，不利于短途行程，防盗功能较差，不能及时报警等问题，本文提出一种新型车锁，采用嵌入式系统和非接触式射频通信技术来实现车锁的智能化，使整个车锁更加智能，使用更加方便，防盗更及时，从而保证车主的财产安全，具有很高实用性，适用于广大人群。

完成一项科学研究，一个人的努力是不够的，需要他人的帮助，感谢对本研究提供过资金设备以及文献资料等帮助的人。

参考文献

1. 许晓丽.无线通信原理[M].北京：北京大学出版社, 2014
2. 王文.新型车载防盗报警定位系统的设计[D]. 中北大学控制理论与控制工程.2013
3. 樊瑶.校园一卡通系统实务[M].北京：中国人民公安大学出版社, 2007
4. 杨素行.模拟电子技术基础简明教程[M].北京：高等教育出版社, 2008.4
5. Hussain Almossawi & Marin Myftiu;Hussain Almossawi. E-bike ncycle.[U] 2014.P2

6. 贾江叶. 物联网开放实验平台的设计与实现[D]. 北京邮电大学, 2013.
7. 潘绍明, 罗功坤, 劳有兰. 基于无线传感器网络的 RFID 系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(06):86-87.
8. Qi W K, Yu W D. A novel operation mode for spaceborne polarimetric SAR[J]. Science China Information Sciences, 2011, 54(4):884-897.
9. 卢安省. 校园手机一卡通系统的分析与设计[D]. 厦门大学, 2014.
10. 潘绍明,罗功坤,劳有兰.基于无线传感器网络的 RFID 系统[J].仪表技术与传感器,2012(06):86-87.
11. 本刊编辑.射频卡、IC 卡、磁卡的异同与应用范围[J]. 射频世界,2008(6):67-69.
12. 凌振宝, 李骄阳, 朴冠宇,等. 基于 RFID 的考勤系统的设计与实现[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2013, 31(05):470-476.

非接触式尺寸快速测量仪*

马立冬; 李 哲; 柳 元

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 该项目利用测光测距原理, 针对现代测量需求设计一款非接触式尺寸快速测量的仪器。通过激光传感器检测被测物体与仪器的距离信息; 通过微处理器进行处理与分析, 在液晶屏上显示被测物的尺寸; 通过蓝牙进行远程通信, 在手机上实时显示数据, 实现对被测物尺寸的远程实时观测。本仪器能够满足当前社会非接触测量的要求, 其实用性强、测量快速、成本较低, 具有一定的市场前景。

关键词: 激光测距 非接触式 蓝牙通信

The fast non-contact size measuring instrument

MA Li-Dong; LI Zhe; LIU Yuan

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: The project using the laser ranging principle, in view of the modern design a non-contact measurement demand size fast measuring instrument. By laser sensors measured the distance between the object and instrument information; Through the microprocessor for processing and analysis, the size of the analyte displayed on the LCD screen. Via bluetooth remote communication, real-time display data on mobile phones, remote real-time observation of the analyte in a sample size. The instrument can meet the requirements of current social non-contact measurement, the practicality is strong, rapid measurement, low cost, has certain market prospects.

Key words: Laser ranging Non-contact Bluetooth communication

0 前言

随着科技的发展, 测量仪器也在不断地进步, 人们往往趋向于更加简便、快捷、高精度的测量仪器。目前, 现有的尺寸测量仪器大多以接触式的游标卡尺、螺旋测微器等为主, 虽然仪器精度较高, 但是这在某些不能直接接触测量的情况下 (如待测物易形变、或造成腐蚀等) 并不能满足人们的要求; 而现在市场上的便携式激光测量仪很少见, 多数激光测长仪体积大、内部构成复杂。因此, 设计一款便于携带、采用非接触式测量的仪器具有重大意义^[1]。传统的激光测长仪较为复杂并且功耗较大。本仪器针对传统的两种测量仪器的优势与不足进行优化设计, 利用激光测距原理并使用未处理进行分析处理, 通过蓝牙通信实现远距离观测数据。该仪器

结构简单、低功耗、低成本, 具有实用性^[2]。

1 总体方案设计

非接触式尺寸快速测量仪主要包括控制模块、测量模块、蓝牙通信模块、液晶显示模块、供电模块。仪器的总体设计框图如图 1 所示^[3]。

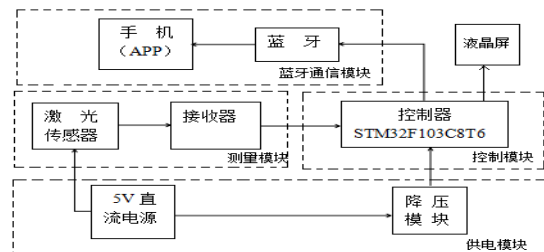


图 1 仪器总体结构框图

Fig.1 The overall structure of the instrument

* 指导老师: 赵静

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65651)

仪器通过激光传感器采集距离信息并由接收器接收，经过控制器处理后在液晶屏上显示被测物的尺寸并通过蓝牙向手机发送数据实现远距离观测数据^[4]。

2 硬件设计

2.1 控制模块

控制模块是整个仪器的核心，是仪器各个模块的控制中心^[5]。其控制器采用的是 STM32F103C8T6 微控制器。该控制器使用 ARM Cortex-M3 内核，ARM Cortex-M3 处理器是行业领先的 32 位处理器，它不仅拥有优秀的计算能力、快速的响应能力和卓越的稳定性，而且还满足实际环境中对低功耗、高性能的需求，已广泛应用在较高实时性的场景中。具有高性能、低成本、低功耗等特点^[6]。与传统的 51 单片机等相比，它的工作频率可达 72MHz，存储空间更大，运行速度更快，并且该微控制器的程序是模块化的，外围接口丰富，接口较为简单，处理器本身自带许多功能，节约了开发成本，性价比很高。因此，采用该微控制器作为本仪器的控制芯片^[7]。

2.2 测量模块

测量模块主要是利用激光传感器，激光具有良好的单色性和方向性，被广泛应用于测距领域^[8]。利用激光测距的原理：采用两个相向的测量模块，将彼此间距离固定（30cm），然后测量模块与被测物间的距离从而计算出被测物的尺寸。

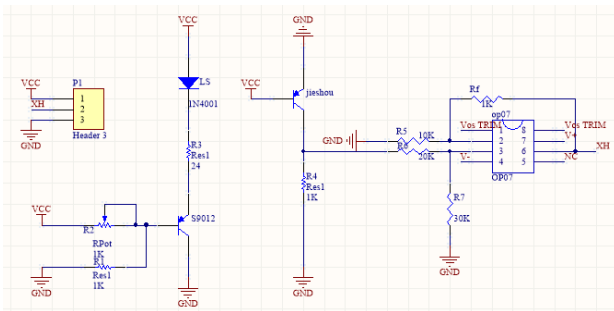


图 2 测量模块电路图

Fig.2 Measuring module circuit diagram

通电后，通过激光传感器对准被测物发射激光脉冲。经被测物反射后激光向各方向散射，部分散射光返回到接收器检测极其微弱的光信号，并将其转化为相应的电信号。由于转化的电信号范围较大，而 STM32 接收的电信号范围有限，所以增加了电压转化电路，保证电信号能够被 STM32 接收并加以分析处理^[9]。

2.3 蓝牙通信模块

通过蓝牙连接仪器与手机，实现远程观测数据。

蓝牙选择 Hc-05，Hc-05 是一款主从一体可以设置的蓝牙芯片，具有传统蓝牙技术的功能，模块的接口有串口、spi 接口、usb 接口，Hc05 经过测试在室内可达 10m 以内的通信距离^[10]。

2.4 液晶显示模块

仪器采用两种观测方式，一种是通过蓝牙实现的远程过程；另一种则是在仪器上安装液晶屏。由于只需要显示被测物的尺寸信息，故而对液晶屏没有特殊要求，本仪器选用 LCD1602 字符型液晶，低功耗、体积小，适用于本仪器。

2.5 供电模块

本仪器测量模块需采用 5V 直流电源供电，而 STM32 则需要 3.3V 的电源，因此，仪器整体采用 5V 直流电源供电引入降压模块为 STM32 供电。

3 软件设计

该仪器采用 STM32F103C8T6 微控制器进行数据处理，采用 C 语言对软件进行开发设计，使软件具有可读性好、可移植性高等优点；使用 JAVA 语言对手机 APP 设计，具有简单可靠、多线程等优点。在仪器软件设计过程中采用模块化设计是各模块相对独立降低程序复杂度，使程序设计、调试和维护等操作简单。仪器的软件流程图如图 3 所示。

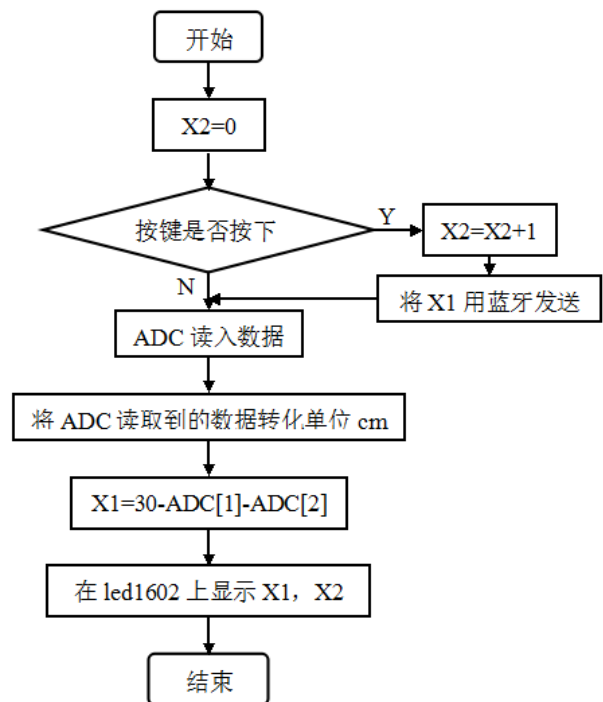


图 3 软件流程图

Fig.3 The software flow chart

在测量方面软件用 STM32 芯片的内置 ADC 进

行实时测量，但要通过按键才可以发送测量数据至手机，避免了垃圾信息占用储存空间。并且可以在 LED1602 上记录已经发送数据个数，断电归零，可以达到计数的功能。

3.1 手机 APP 设计

通过手机 APP 与 STM32 的蓝牙模块进行连接，接收数据并进行数据处理^[11]。APP 界面及数据处理界面如图 4 及图 5^[12]。通过手机的蓝牙模块，从 STM32 端接收测量采集到的数据并进行数据处理，最终显示在 APP 界面上^[13]。



图 4 APP 界面图
Fig.4 APP interface



5 数据处理界面
Fig.5 Data processing interface

4 测试与分析

仪器的整体由框架以及三块 PCB 板（仪器的主体部分和两个测量模块）构成。

4.1 测量模块测试

表 1 测量数据表

Table 1 Measurement data table

左侧激光		右侧激光		测量	实际
距离	电压值	距离	电压值	尺寸	尺寸
(cm)	(V)	(cm)	(V)	(cm)	(cm)
18	1.08	3	3.08	9.87	8.98
16	1.16	6	2.47	8.74	8.03
6	2.45	9	2.04	15.39	14.97
12	1.47	12	1.46	6.86	6.03
9	2.02	15	1.17	6.67	6.03

由于测量距离本身的误差，数据拟合时提供的原理误差，和读书误差等，测量的被测物尺寸与实际尺寸存在误差。且同一被测物在两个激光相距不

同距离下的测量模块的输出电信号，进行拟合得到计算公式为数据的处理与分析提供依据^[14]。经过实际测试，测量模块的拟合曲线如图 6 所示。

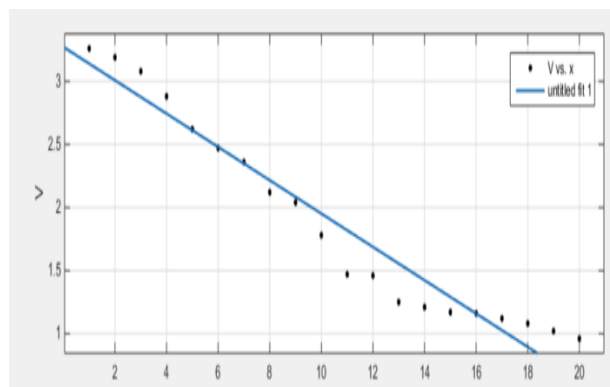


图 6 拟合曲线图

Fig.6 The fitting curve

该拟合曲线对应的计算公式为：

$$F(x) = -0.1321x + 3.272 \quad (1)$$

4.2 整体测试

仪器整体由框架支撑，各个模块相互连接，将仪器组装完成后接通电源。将非接触式尺寸快速测量仪的激光传感器对准被测物开始测量，显示屏上显示测得的尺寸数据；同时蓝牙发送数据，在手机上显示尺寸数据。

同距离时的测量尺寸也存在误差；在相距两个激光传感器的距离不变时，测量不同尺寸的被测物，由于尺寸大小的不同结果的误差也有一定的变化^[15]。

仪器在实际测量中由于数据处理方面的近似处理，以及仪器本身的影响，实际的测量结果会存在一定的误差^[16]。

5 结论

本文提出一种非接触式尺寸快速测量仪的设计方案，采用 STM32F103C8T6 为主控芯片，运用激光测距的原理测量被测物的尺寸信息，并将结果显示在仪器本身的液晶屏上，以及通过蓝牙通信发送到手机上进行显示。本设计实现了非接触测量以及便于携带的目的，弥补了现有测量尺寸的不足之处；仪器体积小、功耗低，具有实用性。

参考文献

1. 王闯. 基于 STM32 系列 ARM Cortex-M3 微控制器的微型热敏打印机固件开发[D]. 山东大学. 2015,04.
2. 丁华峰. 基于 CPLD 的高精度激光测长仪的设计与实现. 南京理工大学. 2009, 12
3. 魏有法. 基于 Android 的 LED 灯光控制器的研究与设计[D]. 华侨大学. 2015.6
4. Gerd Numitor . Stm32 Microcontroller, STMicroelectronics. Reduced instruction set computing[M]. Flu Press, 2012.
5. 周立功. ARM 嵌入式系统基础教程(第 2 版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
6. Shyh—Ming Jong . A Design of Automatic Speed Adjustable System for Five. Phase Hybrid Step Motor Driver[C]. 中国湖北武汉: [出版者不详], 2010.
7. 范书瑞. ARM 处理器与 C 语言开发应用(第 1 版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
8. Peter Van Der Linden . C 专家编程 ExpeIrt C Programming Deep C Secrets[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
9. 埃尔温(Kip R. Irvine). 汇编语言程序设计(第 6 版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
10. 邱铁. ARM 嵌入式系统结构与编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
11. 武玉坤. 基于 Android 移动学习平台的设计[J]. 计算机光盘软件与应用, 2013, (1).
12. 盖索林. GoogleAndroid 开发入门指南[M]. 第 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
13. 汪永松. Android 平台开发之旅[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
14. 宋继良主编. 实用计算机绘图程序设计及实例[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996.
15. AutoCAD Development System Programmer'S Reference, AutoDesk, Inc.
16. 郭朝勇. AutoCAD 定制与开发[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998

智能控制节能照明系统的设计与实现*

周逢道; 张 杰; 赵 亮; 张晟毓

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 吉林长春 130026)

摘要: 针对我国现今在路灯照明方面存在巨大的能耗, 提出了一种基于模糊算法智能控制的节能照明系统的设计。本系统将功率变换单元和智能控制系统相结合, 通过传感器分别采集路灯周围的光信号和噪声信号, 经 A/D 转换给模糊智能控制器处理后, 转换成控制信号传送至功率变换单元, 对照明路灯端电压进行调节, 进而使路灯照明系统可以根据环境状况改变照明的亮度。从而在不影响正常照明的情况下, 达到提高照明效率、节约能源的目的。同时通过功率变换单元可以实现照明路灯的软起动, 减少对灯具的冲击, 延长了路灯的使用寿命。

关键词: 智能模糊控制; 节能; 功率变换; 软起动

Design and implementation of an intelligent lighting system of energy-saving

Zhou fengdao; Zhang jie; Zhao liang; Zhang shengyu

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Aim at the huge energy consumption in street lighting in our country, the article proposes the design of an intelligent lighting system of energy-saving based on the fuzzy control algorithm. This system combines the power conversion unit and intelligent control system, it gather light signal and noise signal around the lamp by the sensor, the signal transform into control signal to the power conversion unit after the A/D conversion and the processing of the fuzzy intelligent controller, then to adjust voltage of the lighting lamp and to realize that the street lamp lighting system can change the brightness of the lighting according to the environmental conditions. Therefore, achieve the goal of improve the efficiency of lighting and save energy in the case of does not affect the normal lighting. At the same time, through the power conversion unit can realize soft starting of lighting lamps, to reduce the impact of the lamps and lanterns and prolong the service life of a street lamp.

Keywords: intelligent fuzzy control; energy saving; power conversion; soft starting

0. 引言

目前, 路灯照明系统耗电在我国整体用电量中占很大的比例, 随着社会的发展, 比重也越来越大。同时, 大部分地区仍采用传统落后的定时开关、人工看护等控制方式, 这不仅造成了电能浪费, 还大大降低了供电设备和灯具的使用效率^[1]。近年来针

对这种情况进行的一些改善, 也都存在实时性差或成本高等缺点而无法得到普及使用。

基于目前路灯照明系统的现状, 本系统通过感知照明路灯周围的实际情况, 进而实现对路灯的实时控制, 使得路灯照明状况在节能的前提下满足环境的需求, 同时提高了照明系统的效率, 降低系统维护和控制的成本, 真正实现路灯照明系统的动态节能, 达到绿色环保的目的。

*指导老师: 周逢道

项目类型: 大学生创新项目 (2015651011)

1. 基本原理

1.1 可变电抗器原理

可变电抗器由可变电抗变换器和功率变换单元两部分组成。其结构框图如图 1 所示。

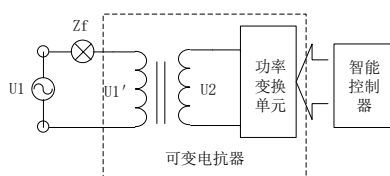


图 1 可变电抗器结构框图

Fig.1 The structure diagram of variable reactor

可变电抗变换器分为一次线圈和二次线圈，一次线圈与外接负载路灯串联形成一次阻抗电路，二次线圈与功率变换器连接构成二次阻抗电路[2]。由阻抗变换得到：

$$\frac{U_1'}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} U_2 / \left(\frac{N_2}{N_1} I_2 \right) = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \frac{U_2}{I_2} \quad (1)$$

假设一次线圈等效阻抗为 Z_1' ，功率变换单元阻抗为 Z_2 ， I_1 、 I_2 分别为一次线圈和二次线圈中的电流，线圈匝数比为 k ，则有

$$\left| Z_1' \right| = K^2 |Z_2| \quad (2)$$

则可变电抗变换器电路可等效为如图 2 的模型电路。

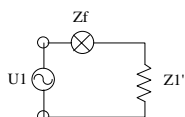


图 2 可变电抗器等效电路图

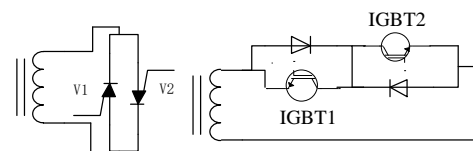
Fig.2 The equivalent circuit of variable reactor

因此功率变换单元接收智能控制器的控制信号，通过改变电抗值来调整二次阻抗电路电流的大小，从而改变一次阻抗电路电流的大小，在输入电压不变的情况下，达到改变一次线圈电抗器电抗值的目的[3]。此时，一次阻抗电路中的线圈阻抗值与负载路灯的阻抗值比例改变，路灯两端的电压也随之改变，实现调节路灯照明功率的改变。本系统通过可变电抗器改变路灯的端电压，从而实现路灯的软启动和照明亮度的实时控制，减小灯具所受冲击并节约能耗。

1.2 功率变换单元原理

传统功率变换单元采用晶闸管反向并联组成，晶闸管式功率变换单元如图 2a。通过调整晶闸管控制角，改变晶闸管的等效阻抗，从而改变二次阻抗

电路的电流大小，此时，晶闸管等效于一个可变电抗[4]。但由于晶闸管相控方式含有大量谐波，因此考虑采用一对 IGBT 管串联组成。其结构如图 2b 所示。IGBT 管为自关断全控器件，它在高频开关信号的控制下可以实现高频关断，此时产生的高频谐波可以较易滤去。同时，为大大减少谐波的含量，采用高频率 PWM 波占空比 D 控制 IGBT 管[5]，通过改变 Z_2 ，进而改变一次线圈等效阻抗，最终控制负载路灯端电压[6]。



(a) 晶闸管功率变换单元 (b) IGBT 功率变换单元

图 3 两种功率变换单元结构图

Fig.3 structural comparison between SCR and IGBT power conversion unit

设可变电抗器一次线圈输入为 U_1 ，二次线圈电压为原来为 U_2 ，为 U_{2m} ，周期为 T ，用于控制的 PWM 波周期为 T_w ，IGBT 导通时间为 τ ，占空比为 D 。经变换 U_2 变为 U_w 。设开关函数 f ，并设：

$$f = \begin{cases} 0. & \text{IGBT1 正向导通} \\ 1. & \text{IGBT1 正向截止} \end{cases}$$

将 f 用 Fourier 级数展开有：

$$f = D + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F(D,k)}{n} \cos(n\omega t) \quad (3)$$

式中 $D = \frac{\tau}{T_w}$ ； $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ； $k = \frac{T}{T_w}$ ；

$$F(D,k) = \sin(n\omega\tau) + \sin(n\omega(T_w + \tau)) + \dots - \sin\left(\frac{k-2}{2} n\omega T_w\right)$$

$$\text{二次电压 } U_w = f U_{2m} \sin \omega t \quad (4)$$

两式综合得 $U_w =$

$$U_{2m} \sin \omega t \left[D + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F(D,k)}{n} \cos(n\omega t) \right] \quad (5)$$

采用 IGBT 管则高次谐波被抑制，则二次电压 $U_w = U_{2m} \sin(\omega t) * D$ ，从而有二次线圈电流

$$I_2 = U_{2m} \sin(\omega t - \varphi_1) * \frac{D}{Z_2}$$

Z_2 为二次侧基波阻抗值， φ_1 为基波阻抗角。设可变电抗变换器的一次侧和二次侧的匝数比为 K ，则一次线圈电流

$$I_1 = U_{2m} \sin(\omega t - \varphi_1) * \frac{D}{K * Z_2} \quad (6)$$

又

$$U_{1m} = K * U_{2m} \quad (7)$$

故

$$Z_1 = \frac{U_{1m}}{I_1} = \frac{K^2 * Z_2}{D} \quad (8)$$

由上式可知可变电抗器一次等效阻抗随 PWM 波占空比 D 增大而减小^[7-9]。它的变化曲线如图 4 所示。

因此,通过改变 PWM 波占空比就可实现对可变电抗的一级等效电抗的调节,进而实现对照明系统的功率变换。

2. 智能控制系统硬件设计

2.1 系统组成框图

系统由光学与声音信号采集电路、信号调理电路、主控、功率变换单元和照明系统等部分组成,系统组成框图如图 4。

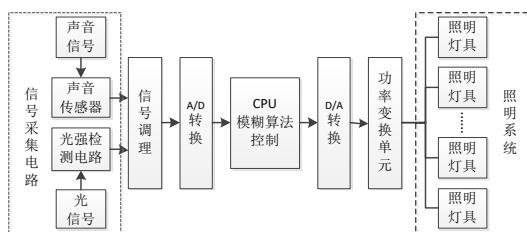


图 4 系统组成框图

Fig.4 The schematic diagram of system composition

主控通过实时对所采集到周围的光强与声音信号进行处理,从而产生控制信号,控制信号经过 D/A 转换成占空比变化 PWM 波, PWM 波控制功率变换单元实现对照明系统功率的实时控制。

2.2 信号采集电路设计

声音信号选用声音传感器模块,它可以检测到周围环境的声强。在环境声音强度达不到设定阈值时,声音传感器模块输出高电平,当外界声音强度超过设定阈值时,输出低电平。数字输出量可直接与单片机相连,通过单片机检测高低电平,由此来实现检测环境的声强变化。电路图如图 5。

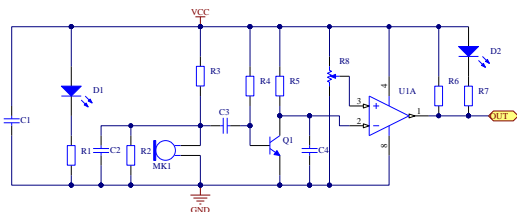


图 5 声音信号采集电路

Fig.5 The acquisition circuit of sounds

光信号采集电路利用光敏元件感应到的光信号变化转化为电信号的输出,系统中路灯的开启和关闭要靠光敏传感器检测到的环境亮度来控制,因此

选用普通的光敏电阻即可,其原理是有光照射电阻时,其阻值将会迅速变小,从而使其电流增大,无光照射时,光敏电阻的阻值很大。电路如图所示,通过光照有无,光敏电阻阻值变化,分压变化,三极管导通或截止,单片机检测输出高低电平从而判断是否要对路灯进行开关控制。电路图如图 6。

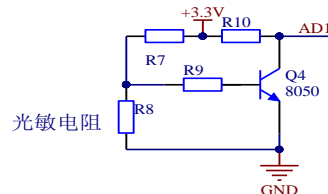


图 6 光信号采集电路

Fig.6 The acquisition circuit of optical signal

2.3 功率变换单元设计

系统功率变换单元对 IGBT 采用 PWM 控制,使用 ARM 内的 PWM 输出功能,单片机的 DAC 输出采用二级 RC 滤波,滤波电路如图 7 所示。利用高级定时器的互补输出功能,输出一对互补的 PWM 波形,通过 IGBT 专用驱动芯片 EXB841 驱动 IGBT,改变脉冲的占空比即可改变输出电压基波幅值,实现调压的目的。

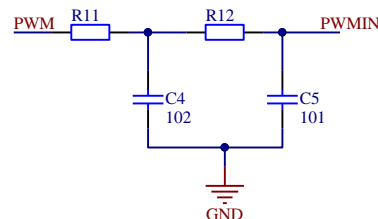


图 7 滤波电路

Fig.7 The filter circuit

同时,采用高速 IGBT 功率管,在集电极和发射极之间电压变化率太大的情况下, IGBT 可能出现击穿和误导通的现象,因此需要对 IGBT 进行过电压保护。而且 IGBT 的通态压降、开关时间、快开关损耗、承受短路电流能力等参数受 IGBT 的门极驱动电路的影响,并决定了 IGBT 静态与动态特性。因此使用 IGBT 的关键在于设计高性能的驱动与保护电路。保护电路如图 8。

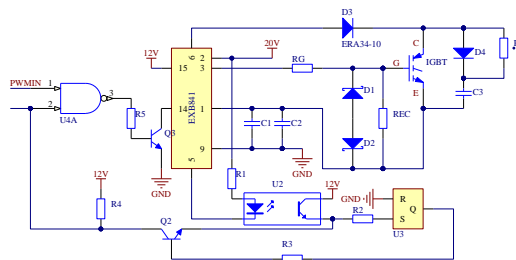


图 8 过流保护电路

Fig.8 Overcurrent and overvoltage protection circuits

3.系统算法及软件设计

系统需要对路灯周围环境的声信号进行实时采集,由于该声信号具有很强的时滞性和非线性,同时环境中干扰太大,因此很难得出具体的数学模型。因此采用模糊控制算法,模糊系统辨识是一种不依赖于被辨识对象数学模型的仿人思维的辨识技术^[10-11],这样不仅省略了数学模型建立的过程,同时又达到精度高、波动小的控制效果^[12]。系统程序流程图如图 9。

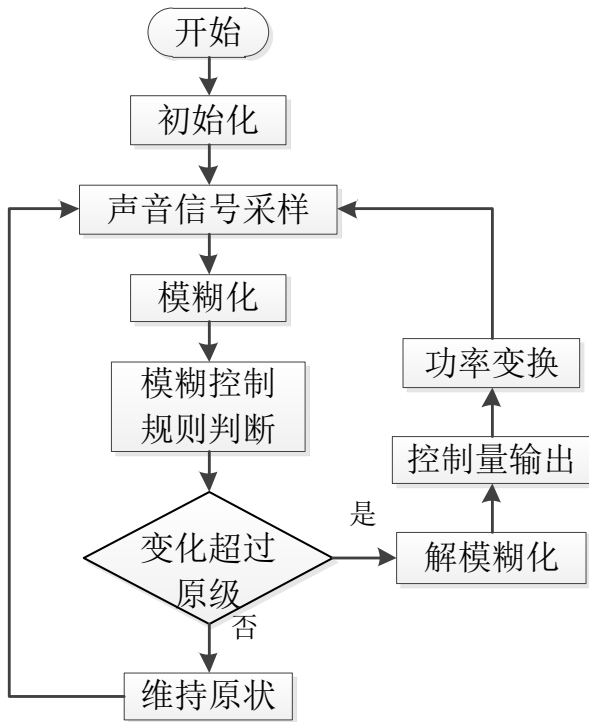


图 9 系统程序流程图

Fig.9 System program flow chart

系统模糊控制过程为主控先将采集的声音信号模糊化处理,然后进行预设的模糊规则判断,判断此时的声音信号较之前的状态变化是否足够大而需要输出变化控制量,从而对照明系统进行功率变换,改变灯具的照明亮度。

4.测试结果及分析

采用脉宽调制的脉冲(频率不变)触发 IGBT,可得到不同占空比 D 时路灯两端的电压电流值。以接入本控制系统的路灯为测试对象,测得在不同占空比 PWM 波控制下,路灯工作电压、电流及功率有如表 1 关系:

表 1 路灯工作功率测试
Tab.1 street lamp operating power test

实验组号	占空比 D/%	电压 U/V	电流 I/A	功率 P/W
1	0	200	0	0
2	20	109	0.33	36
3	40	118	0.35	41
4	60	179	0.54	96
5	80	190	0.57	108
6	90	200	0.6	120*
7	100	200	0.6	120

注:此时 IGBT 完全导通,功率达到最大值

同时,将本系统所控制路灯与传统控制方法路灯置于同一环境下进行十小时实时对比测试,得到对比曲线如下:

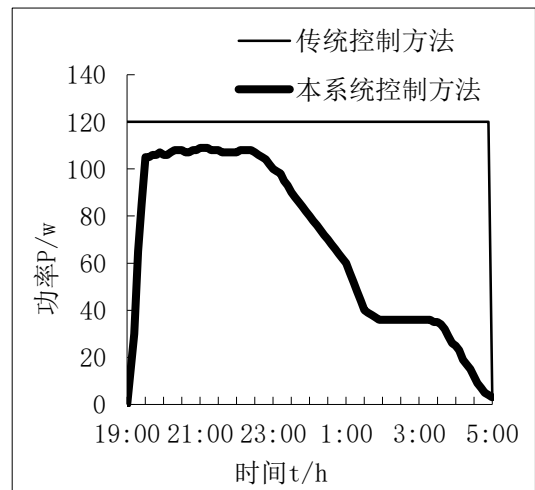


图 10 改进前后路灯功率对比图

Fig.10 The power comparison between algorithms before and after being improved

通过实验数据可知,采用可变电抗器进行功率变换,完全可以实现对照明系统灯具的功率进行实时控制,照明功率最大时也只到最大功率的 80%,

通过智能控制路灯不断随环境进行照度调节,取得了显著的节能效果。

5. 结语

在照明节能方面,在大力推广新型节能照明灯具的同时,也需要针对路灯照明系统的控制方式进行改进。本系统将基于模糊控制算法的智能控制器与电力电子功率变换单元相结合,通过二次线圈与二次线圈的阻抗变换,实现对路灯端电压的改变,从而达到实时控制路灯照度的功能。既满足了照度的需求,又利用其软启动方式避免了开启时电流过大造成路灯的损坏,节约可观的能源。同时,随着通信、节能和控制技术的发展,照明系统也必然朝着更加高效型、节约型、智慧型的方向不断转变^[13-15]。

参考文献

1. 贺一鸣,王崇贵,刘进宇. 智能路灯控制系统设计与应用研究[J]. 现代电子技术, 2010, 33 (1): 207-210.
2. 袁佑新,赵彦威,丁一,等. 基于模糊控制的交流电机软起动器研究[J]. 电气传动, 2006, 36 (5): 13-15.
3. 袁佑新,刘苏敏,费杰,等. 基于模糊控制的智能路灯节电器设计[J]. 机床与液压, 2007, 35 (7): 23-24.
4. 王亚兰. 智能路灯节能控制器研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
5. A. Mirvakili. High efficiency LED driver design for concurrent data transmission and PWM dimming control for indoor visible light communication[J]. Photonics Society Summer Topical Meeting Series, 2012IEEE. 9: 132-133
6. 肖义平. 基于功率变换的可变电抗器研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
7. 林渭勋. 现代电力电子电路. 杭州: 浙江大学出版社, 2002:200-240
8. 杨致泰,石翔,玛磊,等. 可变电抗式电机软启动器研究[J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2012, 26 (5): 84-87.
9. 陈坚. 电力电子学—电力电子变换和控制技术. 北京: 高等教育出版社, 2011:200-220.
10. 郭广颂. 智能控制技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014: 65-79
11. 陈佳洲,曾碧,何元烈. 基于模糊控制的 LED 舞台灯自适应调节系统. 计算机应用与软件, 2016, 33(4): 84-87
12. J. J. Buckley. Universal fuzzy controllers[J]. Automatica. 1992. 28(6): 1245-1248
13. 张堃, 栾卉, 蒋明杰, 等. 具有环境监测功能的智能路灯控制系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34 (12): 61-64.
14. 李伟, 朱新磊. 智能路灯节能控制系统研究[J]. 科技视界, 2015 (21): 324-324, 31.
15. 邱法超, 陈显平. 基于物联网智能控制的节能路灯系统. 机械工程与自动化, 2016, 0(2): 201-202

基于比色测温原理的火焰温度测量系统*

陈晓津；赵鹏飞；李金奇

（吉林大学，仪器科学与电气工程学院，长春，130012）

摘要：本项目设计了基于比色测温原理的火焰温度测量系统，用数字图像处理技术、光学和辐射学知识，建立了比色法测量温度的计算模型。使用一个 CMOS 摄像机，获取酒精灯燃烧火焰图像，从火焰图像中得到温度场。使用 MATLAB 软件作为编译程序，实现了控制摄像头进行酒精灯火焰图像采集、火焰图像预处理、温度场计算及显示等功能。通过比色算法得出温度场，并输出伪彩色图和等温线图。

关键词：比色法，温度测量，火焰图像，CMOS，数字图像处理

The Flame Temperature Measurement System Based on Principle of Colorimetric Temperature Measurement

Chen Xiaojin; Zhao Pengfei; Li Jinqi

(The College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: This project designs a flame temperature measurement system based on the principle of colorimetric temperature measurement. Based on the digital image processing technology, optical and radiological knowledge, a calculation model of two-color temperature measurement is established. Use a CMOS camera to capture the alcohol lamp flame and get the temperature field from the flame image. Using MATLAB to program, to achieve the control of the camera for alcohol lamp flame image acquisition, flame image preprocessing, temperature field calculation and display and other functions. The temperature field is obtained by the colorimetric algorithm, and outputs pseudo-color maps and isotherms.

Keywords: Colorimetric Method Temperature Measurement Flame Image CMOS Digital Image Processing

0 引言

近年来，随着计算机技术的不断发展，国内外的研究者越来越把眼光投向了可视化的燃烧监控系统，即将数字图像处理技术应用于燃烧火焰处理中，主要做法是通过摄取燃烧火焰瞬时的火焰图像，借助光学、辐射理论和计算机图像处理技术计算出整个温度场，实现非接触式的火焰温度场测量。

传统的非接触式测温一般是基于 CCD 的比色测温方法。随着 CMOS（互补金属氧化物半导体）技术的日益成熟，CMOS 感光器件的成像质量得到提高，并且具有电源要求较低、动态范围更大、感光度更好、系统集成度更高等优点^[1]，所以本文选

用 CMOS 摄像头来进行火焰图像的采集。

比色测温根据同一时刻测量到的两个相邻波长辐射能的“比值”确定温度值，使之在两个波段中光程的影响因素相同，即消除了恶劣环境的影响，例如镜头污染、器件特性漂移等时变因素相互抵消，使测量过程可重复、可延续，这是它适用于燃烧火焰测量的独到之处。本项目正是利用了比色测温原理，采用比色测温法，即直接提取彩色 CMOS 所摄取图像的 RGB 三色值来测量温度。

本系统的开发研究旨在提高火焰温度探测的可操作性。系统以酒精灯火焰为测量对象，以 MATLAB 作为编译程序，以数字图像处理技术、光学和辐射学知识为基础，制作了比色法火焰温度测量系统，本文介绍了其原理及结构。且本系统构造

*指导老师：李春生

项目类型：大学生创新项目（2016A65297）

简单，无需复杂的硬件架设，软件界面相对简单，容易操作，整个系统容易实现。

1 比色法测温原理

辐射体燃烧火焰的辐射能：

$$M(T) = \int_{-\infty}^{+\infty} M_{\lambda}(T) d\lambda \quad (1)$$

$M_T(\lambda)$ 为火焰单色辐射能，根据辐射定律，可

由普朗克辐射公式表示如下：

$$M_T(\lambda) = \frac{\xi(\lambda, T) C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (2)$$

式中： λ 为辐射电磁波长(m)； $\xi(\lambda, T)$ 为辐射体的光谱发射率； T 为温度 (K)；
 $C_1 = 3.7411844 \times 10^{-16} (\text{W} \cdot \text{m}^2)$ ；
 $C_2 = 1.438833 \times 10^{-2} (\text{m} \cdot \text{K})$ 。

在燃烧火焰辐射的波长范围 380~780nm 内，温度范围 3000K 以下时，普朗克辐射定律可由维恩辐射定律取代，因此有

$$M_T(\lambda) = \frac{\xi(\lambda, T) C_1}{\lambda^5 e^{\frac{C_2}{\lambda T}}} \quad (3)$$

所以燃烧火焰的辐射能可表示为^[2]：

$$M(T) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\xi(\lambda, T) C_1}{\lambda^5 e^{\frac{C_2}{\lambda T}}} d\lambda \quad (4)$$

如果在两个波长 $M_T(\lambda_1)$ 和 $M_T(\lambda_2)$ 下同时测得同一点发出的单色辐射能 λ_1 和 λ_2 ，则由两者比值可得该点的温度

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{M_T(\lambda_1)}{M_T(\lambda_2)} - \ln \frac{\xi(\lambda_1, T)}{\xi(\lambda_2, T)} - 5 \ln \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) + K} \quad (5)$$

在辐射体灰性假设的条件下：

$$\frac{\partial (\lambda, T)}{\partial \lambda} = 0 \quad (6)$$

所以 $\xi(\lambda_1, T) = \xi(\lambda_2, T)$ ；K 为标定的系数

常量。

故可得比色测温公式：

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{M_T(\lambda_1)}{M_T(\lambda_2)} - 5 \ln \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) + K} \quad (7)$$

2 K 值标定

K 值测温方法标定过程为^[3]：采集多个温度下的光学图片，选取其中一组(R/G,T)值代入式 (8)，可得到一 K 值，将得到的其他图片的 R/G 值代入用 K 值标定后的公式，便可得到了相应图片的比色温度^[4]：

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \frac{M_T(\lambda_1)}{M_T(\lambda_2)} - 5 \ln \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) + K} \quad (8)$$

3 测温系统的组成与功能

本系统既有图像对酒精灯火焰形态的直观反应，同时还能通过计算机分析处理得到火焰的温度场。主要有图像采集部分 (CMOS 摄像头)、计算机和图像处理软件 (见图 1)。

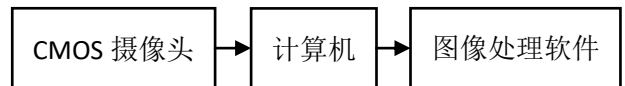


图 1 系统组成框图

Fig.1 System block diagram

3.1 CMOS 摄像头

CMOS 摄像头是一种采用 CMOS 图像传感器的摄像头。在采用 CMOS 为感光元器件的产品中，通过采用影像光源自动增益补强技术，自动亮度、白平衡控制技术，色饱和度、对比度、边缘增强以及伽马矫正等先进的影像控制技术，完全可以达到与 CCD 摄像头相媲美的效果。本系统选用了 Microsoft 公司的 LifeCam Studio 摄像头。

3.2 系统软件的实现

本系统以 MATLAB 作为编译程序，实现的功能主要包括控制摄像头进行酒精灯火焰图像采集、火焰图像预处理、温度场计算及显示等，软件流程

图如图 2。本软件系统还能实现火焰实时监控、截图保存、保存处理后图像等功能。

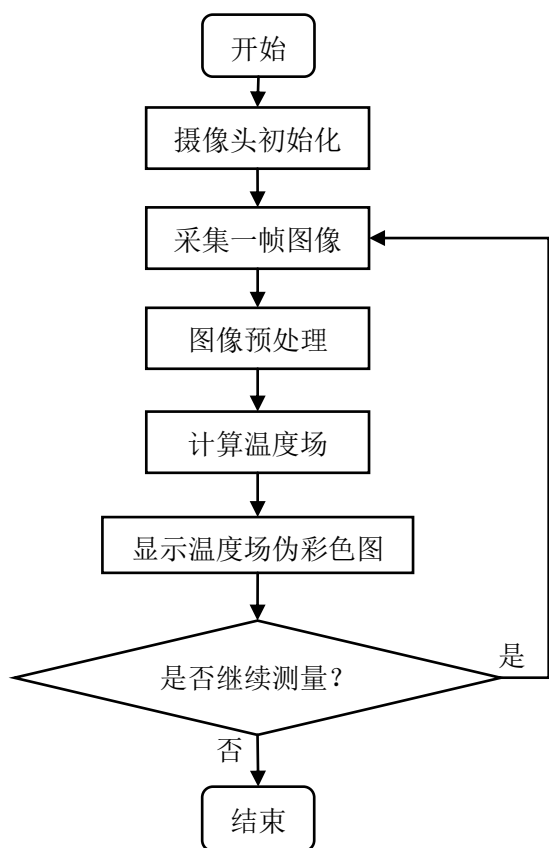


图 2 软件流程图

Fig.2 Software flow chart

3.3 火焰图像处理

针对不同的应用需求，有不一样的图像处理方法。本温度测量系统主要是要获取燃烧火焰温度场分布，为了提高计算机的视觉功能，有必要的情况下会根据意图进行一些增强和优化。

火焰图像处理包括了图像预处理以及温度场伪彩色图的显示。图像预处理包括彩色图像灰度化、中值滤波处理、灰度变换拉伸、二值化处理等，这一系列处理的目的在于能够有效地提取出火焰部分的图像，以便后续温度算法的实现。采集到的火焰图像原图与处理后的图像如图 3、图 4。



图 3 处理前原图

Fig.3 The original image before processing

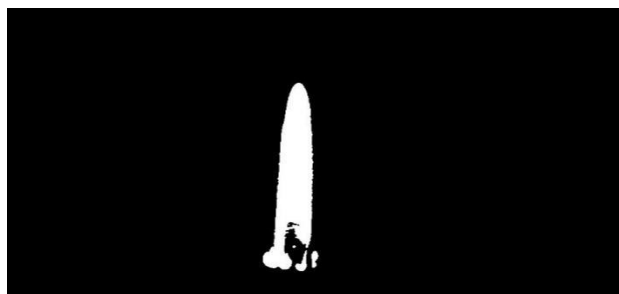


图 4 处理后图像

Fig.4 Post-processing images

3.4 温度场计算与显示

在计算火焰温度前，需要得到火焰图像中各像素点的红、绿色分量。红色分量与绿色分量图像如图 5、图 6。系统通过图像中各像素点的 R、G 值与标定得到的 K 值，将它们代入到比色测温公式中，得到各像素点的比色温度。

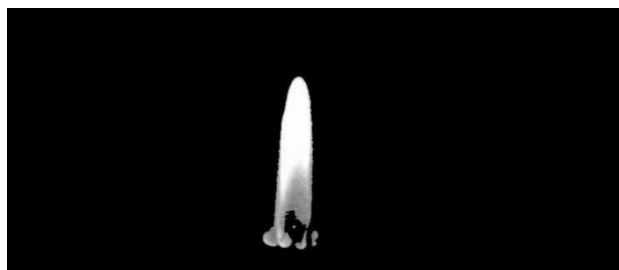


图 5 红色分量图像

Fig.5 Red component image

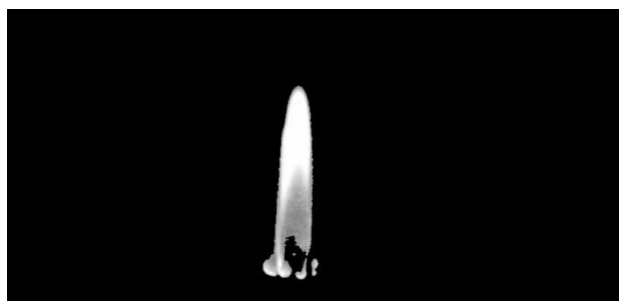


图 6 绿色分量图像

Fig.6 Green component image

计算出比色温度后，为了更好地实现酒精灯火焰温度场在视觉上的显示、增强视觉效果，系统利用伪彩色图以及等温线图来反映温度场的分布。

伪彩色图不是真正直接获得的目标彩色图像^[6]，图像每个像素值代表的是一种索引值，通过某种算法后去 CLUT 色表查找到三基色 RGB 值，然后合成得到彩色的视觉效果。其实体现的是一种映射的思想，这种处理方法称为伪彩色处理，得到的视图称为伪彩色图。伪彩色增强的主要方法灰度级——彩色变换。根据颜色分析原理，首先把目标灰度图像按照一定的标准分成若干的小段，通过算法得到对应的三基色 RGB 值，之后通过组合显示得到

目标的伪彩色图。

经温度算法计算后，温度场的计算结果通过伪彩色图以及等温线图来显示，如图 7 所示。

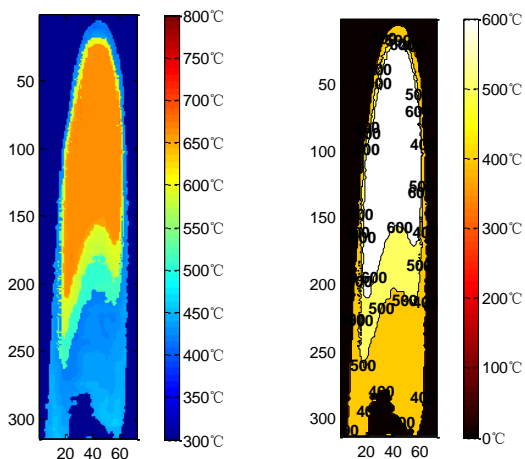


图 7 伪彩色图（左）与等温线图（右）

Fig.7 Pseudo color chart (left) and isotherm diagram (right)

4 软件测试

我们选择酒精灯和 K 型热电偶测温仪来对整个系统进行测试，测试装置结构图如图 8 所示。

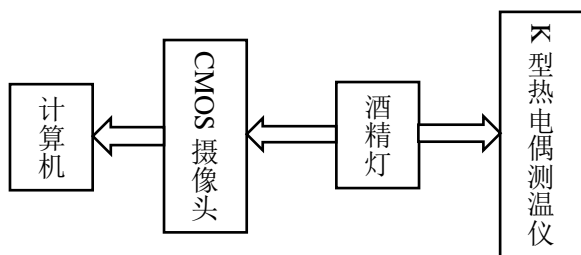


图 8 测试装置结构图

Fig.8 Test device structure chart

4.1 测试过程

(1) 火焰图像的获取：打开软件后，点燃酒精灯火焰，确定好 CMOS 摄像头与火焰的位置。通过软件的实时监控界面观察火焰形态，拍摄火焰图像并进行保存，同时记录下热电偶测温仪所测数值。

(2) 选择所需测量的火焰图像，经一系列预处理后，得到火焰部分图像并进行温度场的计算，显示出相应的温度场伪彩色图及等温线图。

4.2 测试说明

(1) 为了使测量过程更加直观清晰，本软件对于酒精灯火焰以外的区域在计算时都作为零处理。

(2) 测试过程所标定的 K 值大小为 4.8614。

4.3 测试结果及分析

表 1 系统测试结果

Table 1 System test results

测试次数	热电偶测温仪/ $^{\circ}\text{C}$	比色测温系统/ $^{\circ}\text{C}$	相对误差/ $^{\circ}\text{C}$	绝对误差
1	639.0	633.72	-5.28	-0.83%
2	630.1	644.56	14.46	2.29%
3	655.1	650.90	-4.20	-0.64%
4	633.2	619.31	-13.89	-2.19%
5	624.2	617.12	-7.08	-1.13%
6	637.5	638.64	1.14	0.18%
7	624.7	648.57	23.87	3.82%
8	627.2	635.03	7.83	1.25%

从系统测试结果可看出，比色测温系统测出的酒精灯火焰温度值与 K 型热电偶测温仪的测试结果存在一定差异，系统存在一定误差。

5 结论

本系统的实现提高了火焰温度探测的可操作性。系统以火焰图像作为求取温度场的依据，使用比色测温法来测量燃烧火焰的温度场。软件测试显示，在酒精灯火焰以外的区域温度值均做零处理，使观测更为直观清晰。所检测点温度值在正常范围之内，达到温度测量的目的。系统构造简单，无需复杂的硬件架设，软件界面相对简单，容易操作，整个系统容易实现。本系统不仅能够检测出酒精灯火焰对象的温度，且能够计算出其 R、G、B 值，为火焰图像的其他检测和判断提供了依据。

参考文献

1. 牟向阳, 江海鹰, 李保珠等. 便携式 CMOS 辐射测温系统的研究[J]. 电子测量技术, 2010, 33(3): 102-105.
2. 常丹华, 赵春河, 王伟艳. 基于虚拟仪器技术的辐射测温系统的研究[J]. 仪表技术与传感器, 2007(3): 41-42.
3. 张华. 图像比色法温度实时检测的研究[J]. 机械工程学报, 1998, 34(2): 1-7.
4. 全惠云. 数值分析与应用程序[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 28-32.
5. 钱扬义, 陈健斌, 吴宗志等. 在掌上实验室探究酒精灯火焰温度——得出不同的结论[J]. 化学教育, 2003(1): 39-41.
6. 成晓北, 郗涛, 曾志斌. 从火焰图像求取温度场的双色

法测量系统[J]. 汽车安全与节能学报, 2014, 5(1): 83-90.

7. 曾志斌. 基于火焰图像求取温度场的双色法测温系统设计[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
8. 陈晓娟, 卜乐平, 李其修. 基于图像处理的明火火灾探测研究[J]. 海军工程大学学报, 2007, 19(3): 6-11.
9. 张宏林. 数字图像模式识别技术及工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
10. 王飞. 基于计算机图像处理技术的火焰温度场测量和燃烧诊断[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.

呼出气冷凝液收集器设计*

陈 鹤; 王冰利; 马 军; 孔德怀

(吉林大学仪器科学与电气工程学院长春 130061)

摘要: 呼吸系统疾病作为危害人民健康和生命的常见病和多发病, 如何采集标本以准确反映气道炎症状态及治疗前后的变化, 一直是呼吸系统疾病诊治过程中的难题。呼出气冷凝液(exhaled breath condensate, EBC)检查目前成为新的呼吸道疾病检测方法, 它作为一项完全无创的检测技术, 对了解气道炎症, 有可靠性、安全性、简便性等特点, 而且能连续收集气道呼出气冷凝液。本课题通过气路部分, 制冷部分和单片机部分设计。通过改进实验使我们自主研究设计的 EBC 收集器能够商品化最终为我国呼吸系统疾病患者提供便利。

关键词: 呼吸系统疾病 EBC 呼出气冷凝液收集器 自主研究

Exhaust gas condensate collector design

CHEN He; WANG Bing-li; MA Jun; KONG De-huai

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Respiratory diseases are harmful to people's health and life as a common and frequently occurring disease, how to collect samples to reflect the changes before and after the treatment of airway inflammation accurately is always a difficult problem in the process of diagnosis and treatment of respiratory diseases. Exhaled breath condensate detection has become a new method for monitoring respiratory diseases. As a completely non-invasive detection technology, it has the advantages of reliability, safety and simplicity in understanding airway inflammation, also it can collect exhaled breath condensate continuously. This topic designs through the gas path part, the refrigeration part and the monolithic integrated circuit. By improving the experiment we can make the EBC collector designed by ourselves to become commercialized so that it can provide convenience for patients with respiratory diseases.

Key words: respiratory disease EBC exhalation gas condensate collector independent research

0 引言

呼吸系统疾病作为危害人民健康和生命的常见病和多发病, 如何采集标本以准确反映气道炎症状态及治疗前后的变化, 一直是呼吸系统疾病诊治过程中的难题。目前, 用于检测炎症性呼吸道疾病气道分泌物的标本采集方法主要有痰液收集, 和支气管肺泡灌洗液收集。其中, 痰液收集包括普通的痰标本和诱导的痰标本^[1]。众所周知, 在很多情况下, 受病人具体情况限制, 普通痰标本很难达到临床检验的要求, 例如, 部分病人的病症表现为少痰或无痰; 部分危重病人或婴幼儿患者无力或不会咯痰,

这样得到的痰标本并不能真实地反映下气道的情况。诱导痰技术虽为无创性检查, 但雾化吸入高渗盐水本身为一种炎性刺激物, 对支气管有激发作用, 即使提前使用 β_2 -受体激动剂, 患者在激发过程仍可能出现呼吸道原有疾病的加重。此外, 诱导痰技术在儿童及重症哮喘患者中禁用。支气管镜肺泡灌洗液(BALF)虽最能反应下呼吸道气道炎症的变化, 但由于是一种侵入性检查, 患者接受性很差, 尤其对于轻症、反复发作的疾病(如哮喘)患者, 很难反复进行上述检查。正是由于现有呼吸系统疾病检测技术的落后, 呼出气冷凝液(EBC)检测是近年来新出现的呼吸道炎症状态检测方法, 它是评价气道炎症和氧化应激程度的无创手段, 具有简便, 易

* 指导老师: 赵静

项目类型: 大学生创新项目(2016B65652)

行，重复性好等优点，越来越受到国内外的广泛关注和研究。针对这些问题，基于调研报告以及对市场需求的分析，综合现有资源和条件，我们拟定研究设计呼出气冷凝液收集器。

1 系统总体设计

本实验研制的 EBC 收集器通过以下方法实现：装置气路部分、制冷部分和单片机系统 3 个部分构成：

(1) 气路部分：由可换进气嘴、吸气单向阀、唾液残液收集器皿、阻唾液套管组成。

(2) 制冷部分：EBC 的采集是通过低温使患者呼气中的水蒸气液化，本发明的呼出气液化实在装置制冷部分实现的。该部分由制冷腔及其外层的导热层、保温层、半导体制冷片^[2]、散热部件组成。

(3) 单片机系统：由调理电路、模数转换、微处理器、时钟电路、键盘、驱动电路和显示器构成。系统通过 DS18B20 传感器采集温度信息，经微处理器处理后，发送数据，同时在显示屏上显示实时数据，按键可调节设置预定温度，当数据低于设定下限时，控制器控制制冷系统工作，直到数据达到阈值上限，停止工作。

2 系统硬件设计

2.1 系统采集模块

2.1.1 传感器的选择

DS18B20 温度传感器，DS18B20 是常用的温度传感器，具有体积小，硬件开销低，抗干扰能力强，精度高的特点。我们需要的温度范围在 -30°C -- $+40^{\circ}\text{C}$ ，它的可用范围在这区间^[3]。

2.1.2 传感器工作原理

低温度系数晶振的振荡频率受温度影响很小，用于产生固定频率的脉冲信号送给计数器 1。高温系数晶振随温度变化其振荡率明显改变，所产生的信号作为计数器 2 的脉冲输入。计数器 1 对低温度系数晶振产生的脉冲信号进行减法计数，当计数器 1 的预置值减到 0 时，温度寄存器的值将加 1，计数器 1 的预置将重新被装入，计数器 1 重新开始对低温度系数晶振产生的脉冲信号进行计数，如此循环直到计数器 2 计数到 0 时，停止温度寄存器值的累加，此时温度寄存器中的数值即为所测温度。斜率累加器用于补偿和修正测温过程中的非线性，其输出用于修正计数器 1 的预置值。

2.1.3 温度采集

应用相应的传感器对温度信号进行检测，并将这些非电量参数转换为相应的电信号；再经过信号调理电路传送到单片机进行采集和存储并发送到数据传输模块，从而实现信息的传输。

2.1.4 采集系统框图

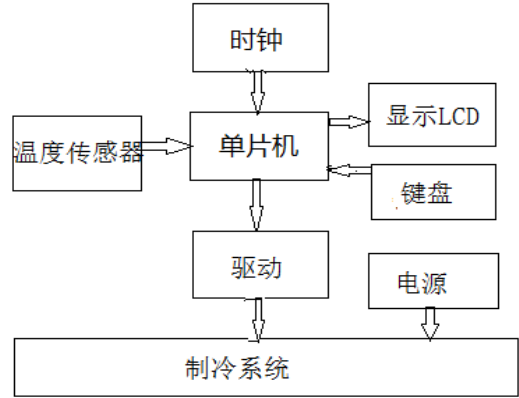


图 1 采集系统框图

Fig.1 block diagram of the acquisition system

2.2 控制模块设计

控制模块主要包括键盘控制模块，驱动控制模块，MCU。

2.2.1 MCU 模块

MCU 使用 AT89-C51 微控制器，它具有价格低廉，速度快、抗干扰、功耗低等优点，作为一款 8 位处理芯片，完全能够胜任本系统的性能要求，同时低功耗对于本系统也十分重要，因此选择 AT89-C51 作为主控制器。

2.2.2 键盘控制模块

键盘控制采用 4 个独立机械按键与 MCU 连接 4 个按键控制总开关，实时温度，设定温度及温度调节。

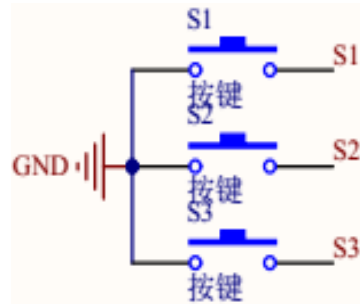


图 2 按键控制电路图

Fig.2 button control circuit diagram

2.2.3 驱动控制模块

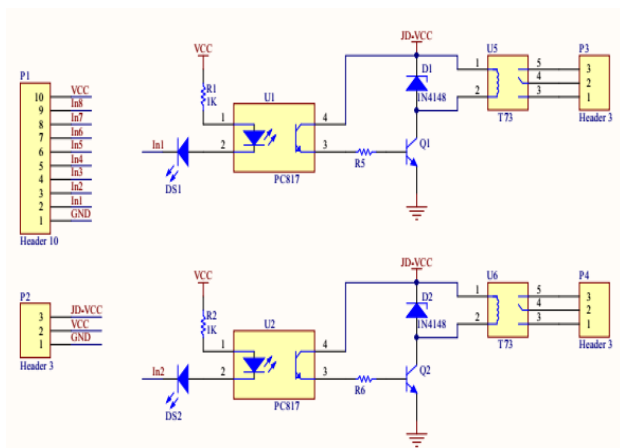


图 3 驱动模块电路图

Fig.3 drive module circuit diagram

2.3 显示模块

显示屏使用 JM12864M 液晶，分行显示吉林大学，实时温度及设定温度。JM12864M 是在单片机的应用设计中最常用的显示器件，它属于字符型液晶显示模块，是专门用于显示汉字，字母，数字，符号等的点阵式液晶显示模块^[4]。

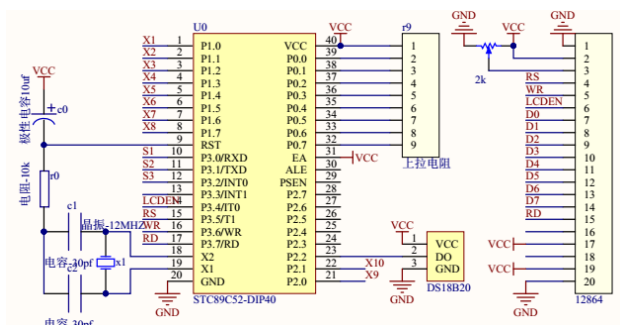


图 4 显示模块电路图

Fig.4 shows the module circuit diagram

3 系统机械部分设计

3.1 冷腔

冷腔部分用铝块设计，铝块采用方形，便于制冷片的粘贴，铝块中间镂空，可以让试管插入其中，用来收集呼出气冷凝液，整个冷腔要保证很好的气密性，既要使其内部能达到预期的温度，也要保证呼出气不会有其他污染物进入^[5]。

3.2 进气口结构设计

3.2.1 设计要求：

- (1) .良好的密闭性。
- (2) .当患者呼气时，进气口的容器与制冷装置相连，与外界隔离。呼出气体进入制冷系统冷凝。
- (3) .当患者吸气时，进气口的容器与外界相连，与制冷装置隔离。外界气体进入容器，供患者吸入。

3.2.2 设计方法

采用制作工艺简单、使用方便的进出气和阻唾效果佳的直管型阻唾液进气口。该设计的主要优点是聚四氟乙烯制品，制作简单，方便，实用，可仰卧位使用^[6]。

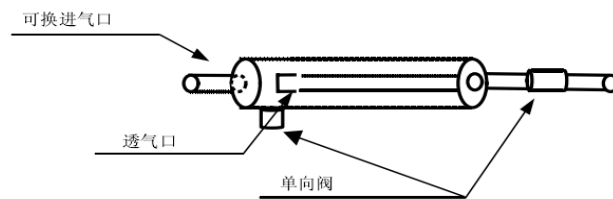


图 5 进气口设计

Fig.5 air inlet design

4 系统软件部分设计

4.1 总体程序设计

系统总体软件流程图如图 6 所示。

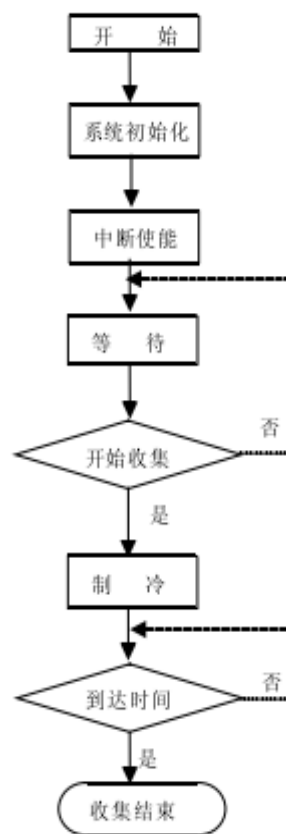


图 6 系统软件流程图

Fig.6 The software flow chart of the system

4.2 系统程序设计

模拟信号要经过单片机内部的 A/D 转换后才能进行数据的处理或显示，而数字信号也要经过单片机内部的计数器计数后进行数据处理，所以这些都要靠软件进行实现，这里我们采用了中断方式进

行软件设计。在进入系统后先通过初始化函数对单片机的端口、AD 和定时器等进行相应的初始化。在进入 EBC 收集测量菜单后，先控制半导体器件对收集装置进行制冷，当达到预设温度时提示操作人员开始测量，此时单片机的 AD 中断开启，并将测量到的冷腔内的温度实时显示在液晶屏上，当到达设定的温度时停止 AD 中断。系统进入按键等待状态，可退出系统。软件的程序编写用 Matlab 软件完成，采用最早学过的，应用最熟练的 C 语言完成。

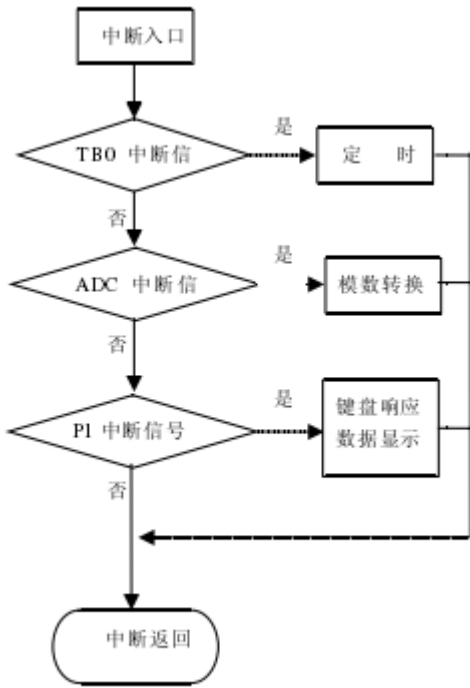


图 7 中断流程图

Fig.7 interrupt flow chart

5 测试与分析

5.1 系统整体实物图



图 8 系统整体实物图

Fig.8 System overall physical map

图中液晶实时显示温度及设定温度，塑胶水管连接进气口与冷腔内试管，吹气或呼气收集冷凝液。内部采用水冷散热的方式。

5.2 温度及收集装置测试

在室温 32° 的情况下，冷却液采用水，进行冷腔温度测试。得出表 1：

表 1 冷腔实时温度及达到该温度所需时间

Table 1 cold chamber real-time temperature and the time required to reach the temperature

制冷温度/°C	30	20	15	10	5	0	-5	-10
时间/m	2	5	9	14	18	26	33	45

由实验数据可得：当冷腔的温度降到五度以上时，降温的速率是比较快的，当到五度以下时，降温的速度开始减慢。原因可能是保温散热措施未完善，或者降温系统未能完全作用^[7]。

在制冷温度为零下五度和零下十度的情况下进行冷凝液收集，实验者为小组成员，得出表 2：

表 2 不同情况下收集液体体积

Table 2 Collect the liquid volume in different cases

实验温 度/°C	吸气方式	持续时间/m	收集液体 体积/ml
-5	口吸	10	2.54
-5	鼻吸	10	1.43
-10	口吸	10	2.63
-10	鼻吸	10	1.74
-10	口吸	15	3.01
-10	鼻吸	15	2.25

由以上数据可得，温度越低，收集到的冷凝液越多，吸气方式对收集液体也有影响，口吸方式收集的液体多。持续时间越长 收集的液体越多。

5.3 温度控制系统测试

温度控制系统能控制冷腔内的温度，并能显示冷腔内的温度。经过测试水银温度计在冷腔内的测试，与显示屏上的温度比较，两者温度一直，温度误差小于±1°C。^[8]温度控制系统也能控制冷腔内的温度，误差也为±1°C。达到设计要求。

6 结论

呼吸道疾病是危害人民健康的常见病与多发病。在临床诊断的过程中常常根据患者的临床症状以及肺功能情况去判定病症的严重程度和治疗效果。但是临床症状和肺功不一定能够及时并准确的

反映肺脏的病症和生理变化，故限制了疾病诊断的确定性和治疗的及时性^[9]。呼出气冷凝液检测是这些年来新出现的检测呼吸系统疾病的措施，它也是评价气道炎症和氧化应激程度的一种无创手段，具有简便、易行、重复性好等优点，适用于病情严重患者和儿童，包括婴儿在内。为监测肺部疾病的进展和治疗效果提供了新途径。本设计很好的完成了冷凝器的设计工作，具有很好的实用性。

参考文献

1. 吕晓红.新型呼出气冷凝液收集器的开发及其在临床中的应用研究[D].吉林大学博士学位论文, 2008.
2. 胡建邦.浅议半导体制冷器[J].家用电器.2001, 8: 40-42.
3. 倪美琴, 陈兴华, 庄斌舵.关注半导体制冷研究[J]制冷与空调.2001.
4. 王君, 凌振宝.传感器原理及检测技术[M].长春: 吉林大学出版社, 2003.
5. 康华光.电子技术基础(第四版)[M].北京: 高等教育出版社, 1999.
6. 李玉东, 李茂德, 李伟江.两级半导体制冷性能优化设计[J].应用能源技术, 2006, 5(101) 62-66.
7. 王金静,刘自军,张之翠,赵佳平,吴宪宏,王加和.呼气装置的改装和呼出气的消毒[J].中国医疗器械信息. 2004(04)
8. 欧阳金生,刘少滨.呼出气冷凝液技术的临床应用[J].福建医药杂志. 2006(03)
9. 许金美.采集呼出气冷凝液的简易方法[J].中华护理杂志.2004(11)
10. 乔华, 王广发, 丁翠敏. 呼出气冷凝液收集器的设计及其临床应用探讨 [J]. 临床内科杂志, 2005, 22(9): 625-626.

基于大数据的单文档关键词自动提取系统*

吴冠良；魏晋和；党文杰

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130000)

摘要：信息化时代迅速增长的信息给人们带来了便利的同时也带来了困难。为了快速处理海量的信息，本项目设计了一个基于大数据的关键词自动提取系统。首先在 Linux 系统下搭建了 Hadoop 平台，其次在此平台上设计了综合分词系统、词频统计以及权重计算等技术的关键词自动提取系统。经实验验证，该系统提取的关键词查全率和查准率均可满足实际使用，而且系统的提取时间非常短，具有可行性。

关键词：Hadoop 平台 词频统计 分词 权重

Single document keyword automatic extraction system based on big data

Wu Guanliang; Wei Jinhe; Dang Wenjie

(School of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130000, China)

Abstract: The rapid growth of the information age has brought convenience to the people, but also brought difficulties. In order to deal with massive information quickly, an automatic keyword extraction system based on large data is designed. In the Linux system to build a large data Hadoop platform. Keywords automatic extraction system on this platform to design integrated word segmentation system, word frequency statistics and weight calculation technology. Verified by experiment, the system meets the extracted keywords recall and precision can be used, and the extraction time is very short, it is feasible.

Key words: Hadoop platform word frequency count participle weight

0 引言

随着网络的发展，各种信息以每天百万数量级的增长速度成倍增长。人们在大量信息中如果想要发现并找到自己关心的信息，困难也随之而来。因此，我们必须想出一个有效的办法来帮助我们能高效的、准确的识别以及区分这些大量的信息，并且找到自己真正需要的。这也是目前计算机自然语言处理技术领域面对的一个很大的挑战。而且在文档自动聚类、文档检索、文档自动摘要等领域都需要高质量的关键词作为起点，为整个体系系统作支撑，所以自动提取文本关键词是非常重要的。随着关键词自动提取技术的研究逐渐深入，一方面全文索引的功能越来越难以满足用户实际需求^[1]；另一方面很多的文档信息服务，如自动摘要、文档分类与聚类、文本分析、主题检索等都对关键词自动提取结果具有很强的依赖性，而且关键词在文档中能够表征文档的重要信息和核心内容，方便读者迅速

的理解文档的摘要信息并快速的检索具体文档，对于新闻阅读、广告推荐、历史文化研究、文本处理、机器翻译、输入法词汇选取等一系列产业和研究都有着至关重要的作用，因此要从根本上提高信息服务质量唯有更好的解决关键词提取问题。

目前关键词自动提取方法研究的主流趋势是基于语言学的关键词自动提取和基于统计的关键词自动提取。基于统计的关键词自动提取是运用统计学的方法，计算独立的词汇在文档中出现的频率来得到关键词。而基于语言学的关键词自动提取则是运用自然语言处理技术，如词法分析，句法分析，语义分析，篇章分析等方法^[2]。但词法分析需要解决未登录词和词表维护问题，句法分析和语义分析准确度不高，影响词语识别，篇章分析对格式要求严格，很难达到解决通用问题的目的，所以依靠语言学提取关键词的方法效果不太理想。基于统计方法的优势在于统计学已经发展的较为完善，通过分析学术论文中各种统计指标可以方便的得出各种统计指标结果^[3]，根据这些统计指标可以综合分析得出

*指导老师：王永志

项目类型：大学生创新项目（2016B65665）

候选关键词。

因汉语语言无明显的词边界等特点, 导致中文关键词的自动提取较难实现, 若不考虑中文分词过程, 英文关键词自动提取方法可直接使用。在国外自动提取关键词研究的基础上, 国内学者对关键词自动提取进行深入研究及发展, 提出了很多有代表性的算法与模型。都云程等(2011)提出基于字同现频率的关键词自动抽取算法^[4], 根据词的位置和文本长度改进 TF/IDF 算法, 由字同现频率计算词的信息量, 运用特征加权计算词的权重, 选取权重大的词作为关键词。谢晋(2011)提出基于词跨度的中文关键词提取方法^[5]。孙兴东等(2014)提出基于聚类获取微博关键词的方法^[6]。

本文在以上基础上设计了一个基于 Hadoop 平台, 并采用面向对象程序设计语言 (Java 语言), 综合应用文档处理、分词、词频统计、权值计算等技术的单文档关键词自动提取系统来提高信息服务质量。

1 大数据平台 Hadoop

大数据时代, 所谓大数据, “大”, 说的并不仅是数据的“多”! 不能用数据到了多少 TB, 多少 PB 来说。对于大数据, 可以用四个词来表示: 大量, 多样, 实时, 不确定。也就是数据的量庞大, 数据的种类繁多多样, 数据的变化飞快, 数据的真假存疑。根据以上特点, 于是就诞生了这样一个平台 Hadoop。它具有以下几个特点: 能够存储大量数据, 快速的处理大量数据, 从大量数据中进行分析。

Hadoop 平台具有高可靠性、高扩展性、高容错性和高效性等诸多优势, 而且它还是开源免费的, 非常适合科学研究, 因此本文选择 Hadoop 平台来搭建大数据存储系统。其中 HDFS 主要用来存储海量数据, 它把文件分成若干个相同大小的文件块, 然后将这些文件块分别存储在不同的节点中。而 Map/Reduce 主要负责在海量数据上的计算。

Hadoop 实现了一个分布式文件系统 (Hadoop Distributed File System), 简称 HDFS。HDFS 有高容错性的特点, 并且设计用来部署在低廉的 (low-cost) 硬件上; 而且它提供高吞吐量 (high throughput) 来访问应用程序的数据, 适合那些有着超大数据集 (large data set) 的应用程序。HDFS 放宽了 POSIX 的要求, 可以以流的形式访问 (streaming access) 文件系统的数据。

Hadoop 得以在大数据处理应用中广泛应用得益于其自身在数据提取、变形和加载(ETL)方面上的天然优势。Hadoop 的分布式架构, 将大数据处理引擎尽可能的靠近存储, 对例如像 ETL 这样的批处理操作相对合适, 因为类似这样操作的批处理结果可

以直接走向存储。Hadoop 的 MapReduce 功能实现了将单个任务打碎, 并将碎片任务(Map)发送到多个节点上, 之后再以单个数据集的形式加载(Reduce)到数据仓库里^[7]。

2 关键词自动提取相关技术

关键词提取也称关键词标引^[8], 是一种识别有意义且具有代表性的词汇的技术, 是指从文本中提取出若干个能够涵盖原文主题或概括原文中心思想的重要词汇。本文采用一种基于词频的关键词自动提取方法, 文章经过分词和去除停用词之后, 统计词频以及位置信息, 最后根据词语的词频, 出现位置以及分词距离次序等影响因素, 计算出各个词语在文章中所占权重, 由权重大小提取出关键词。

2.1 中文分词技术

中文分词, 顾名思义就是指对中文的句子进行词语切分^[9], 其中计算机是处理工具。举个例子: 英文句子中一般是用空格来分隔单词的, 那么我们的中文分词就是用分隔符来切分开一个个中文单词, 因为中文句子中除了标点符号之外没有其他的分隔符, 而且标点符号也只是分开一段, 并不是单词。中文信息处理是自然语言处理中的一个方向, 而中文分词则是中文信息处理的第一步, 也是最基本最关键的一个环节。

中文分词是中文文本处理过程中的一项基础性工作, 分词结果的优劣直接影响机器对中文句子的理解。目前, 中文自动分词的方法有很多, 尽管名称各异, 分词效果也各不相同, 但据其基本原理大致可归为词典切分法、统计分析法、语义语法规则分词法和人工智能法四类^[10]。

2.1.1 汉语词法分析系统 ICTCLAS

中文词法分析是中文信息处理中的基础与关键。本文中采用了汉语词法分析系统 ICTCLAS 对文本进行预处理, 为便于词语特征的提取, 在分词的同时进行位置分析, 分词次序标注。ICTCLAS(Institute of Computing Technology, Chinese Lexical Analysis System), 由中国科学院计算技术研究所研制, 主要功能涵盖了中文分词、词性标注、命名实体识别、新词识别, 同时支持用户词典^[11], 目前已经升级到了 ICTCLAS3.0。

ICTCLAS 的优势主要体现在以下四个方面:

(1) 综合性能最优

ICTCLAS 应用了完美 PDAT 大规模知识库管理技术^[53], 在高速度与高精度之间取得了重大突破, 可以管理百万级别的词典知识库, 单机每秒

可以查询 100 万词条，而内存消耗不到知识库大小的 1.5 倍。基于该技术，ICTCLAS3.0 分词速度单机 996KB/s，分词精度 98.45%，API 不超过 200KB，各种词典数据压缩后不到 3M，是当前世界上最好的汉语词法分析器。

(2) 统一的语言计算理论框架

ICTCLAS 采用了层叠隐马尔可夫模型 (Hierarchical Hidden Markov Model)，将汉语词法分析的所有环节都统一到了一个完整的理论框架中 [53]，获得最好的总体效果，相关理论研究发表在顶级国际会议和杂志上，从理论上和实践上都证实了该模型的先进性。

(3) 全方位支持各种环境下的应用开发

ICTCLAS 全部采用 C/C++ 编写，支持 Linux、Free BSD 及 Windows 系列操作系统，支持 C/C++/C#/Delphi/Java 等主流的开发语言 [12]。

(4) 应需而变，量身定做

所有功能模块均可拆卸组装，用户可以根据自己的需求，进行量身自助式定做适合自己的分词系统。

2.1.2 插入用户词典

对于特定领域的文章，如医学领域、电力领域、地质领域等，其中必定含有一些此领域中所用的专有名词。这些专有名词在分词系统中可能会被分割成几个词语，如“可再生能源”被分割为“可”、“再生”和“能源”三部分，这与原词所表达的意思相去甚远。为解决这个问题，本文允许插入用户词典。用户词典应尽可能收录相关领域的一些专有名词，分词时与此词典相对照，专有名词就不会被分割。

2.1.3 去除停用词

停用词是指那些不能反映主题的功能词，比如“的”“这就是说”“于是”等，虽然在文章中它们出现的次数很高，但是他们不能反映文献的主题，而且还会对关键词的提取造成干扰，所以有必要将其滤除 [13]。停用词确定为所有虚词以及标点符号，定义停用词表并根据这些表进行分词过滤是很好理解的。那么词性过滤的目的是什么呢？在汉语言中，能标识文本特性的往往是文本中的实词。而文本中的一些虚词，对于标识文本的类别特性并没有贡献。如果把这些对文本分类没有意义的虚词作为文本特征词，将会带来很大误差，从而直接降低文本分类的效率和准确率。比如“非常”“已经”等等，它们在文中出现的次数往往会很高，会影响关键词提取的准确率。因此，在提取文本特征词时，首先考虑剔除这些对文本分类没有用处的虚词，在文本预处理阶段就可避免对提取结果的干扰，使提取结果更

加准确。

2.2 词频统计

在关键词提取过程中主要通过计算关键词候选项的权重来确定关键词。分析词语的词频、词语的相对词频、反文献频率因子、位置、词性、词语本身的价值、词语长度等信息 [14]，同时引进一定的统计方法，如互信息、TFIDF、最大熵等，对词语进行加权操作，最后按权重大小对词语排序，输出权值较大的词语，即为提取的关键词。

为此本文采用了两种方法来统计词频：中科院汉语词法分析系统 ICTCLAS 和 Word Count。并分析了两种方法的优缺点。

ICTCLAS 在上面已经提到过，此处不再赘述。文本预处理之后，继续调用此系统的词频统计模块来统计各个词语在文本中出现的次数（即词频），并将词频标注在各个词的后面。此方法具有高速、准确的优点，在实际使用时可节省大量时间，统计结果也更加精确。其缺点是词频统计结果直接被用于其系统本身的关键词提取模块，不能抽取出来，为下一步工作带来困难。

Word Count 是利用 Hadoop 平台的 map-reduce 编写的一个程序，用以统计文本词频。在实验中，此统计方法运行较缓慢，且统计结果准确率相比中科院 ICTCLAS 较差，故在实际使用中，对准确度要求不是很高的情况下可以使用该方法。其优点是可将统计结果抽取出来，并用于系统其他模块的分析与计算。

3 关键词提取算法 TFLD

3.1 特征项

对于单个文本而言，能体现词语对文本的重要性的特征项有多个，除常用的词频 TF 之外，词语出现的位置、词长、词性以及分词距离次序等特征项也对反映文章主题有一定价值 [15]。经过分词和停用词过滤之后文本的词语集合，为提取该文本的关键词，本文选取了以下 3 个特征项用以计算各个词语所占权重值。

(1) 词频 tf：是关键词提取中最常用的参数之一，是对词语最简单的测度。本文中词频采用非线性函数来计算：

$$tf_i = \frac{f_i}{1+f_i} \quad (1)$$

式中 f_i 是各个词语在文本中出现的次数。非线性处理的优点有以下几点：1) 词频特征值随着出现次数

的增加而增加,词频收敛于 1,说明其出现的次数越多。2) 当一个词出现的次数相对较高时,其后词频特征值不会随着这个词出现次数的持续增加而大幅度变化,如此一来该词作为关键词的概率不会随着出现次数持续的增加而出现大幅度增加,更加符合语言实际。

(2) 位置 *area*: 经研究发现一个词或者短语出现在文本中的位置对判断其价值有重要作用,在不同的位置有着相对不同的重要性。出现在标题和摘要中的词比出现在正文词更有可能成为关键词,而正文中出现在段首或断尾的词比出现在其他部分的词更能反映文章主题。因此可用下面的公式来计算位置特征项:

$$area_i = (X_1 \times 5 + X_2 \times 3 + X_3 \times 2) / L \quad (2)$$

其中 X_1 为出现在标题或摘要中的次数, X_2 为出现在段首句中的次数, X_3 为出现在段尾句中的次数, L 为文本总词数。

为区分对反映文章主题的重要性,此处对于在不同位置出现的词 X 的次数赋予不同的权值。

(3) 分词距离次序 *dis*: 在关键词提取过程中总是提取出很多不是关键词的词,这些词出现的原因是它们具有和真正的关键词相似的特征: 高词频、在重要的地方出现等等。经过统计研究发现^[16], 一个词第一次出现的位置距离文章开头的距离对关键词的提取也非常有意义的。因此本文也将此因素作为特征项来反映词在文章中的权重。本文采用一个线性函数: $v_i = a \times i + b$ 来表示分词距离次序。其中 i 为词语在文本中出现的次序, a 、 b 为可调常数因子。再由下式给出的非线性函数计算其所占权重:

$$dis_i = v_i / \ln v_i \quad (3)$$

3.2 权重计算

经过以上各特征项的分析和量化,采用线性加权的方式将以上各特征项都加入到下面的权重计算公式中:

$$W_i = tf_i \times A + area_i \times B + dis_i \times C \quad (4)$$

其中 W_i 为词语 i 在文本中所占权重值, A 、 B 、 C 为比例系数,用来表明各特征项在权重公式中所占比重。经过语言学的研究,词频在各个特征项中是最重要的,故 A 赋值为 1.5; 位置占其次, B 赋值为 1.0; 分次距离次序再次之, C 赋值为 0.8。最后,以此公式计算出各个词的权值,并按照降序排列即可得出候选关键词,根据权值大小可在候选关键词集合中抽取关键词。

4 分析

为检验系统的可用性,本文选取了若干篇在中国知网上下载的有关电力系统的文章进行了测试。提取关键词时,插入了电力系统用户词典,分词结果比不加用户词典时更加准确。

4.1 评价标准

对关键词自动提取系统的评价办法是将提取的关键词与知网和文章给出的关键词进行匹配。本文用两个评价标准来判断提取系统的性能,分别是查准率和查全率。其中查准率 P = 自动提取正确的关键词数目 / 自动提取的关键词数目,它能反映系统的准确性; 查全率 R = 自动提取的正确关键词数目 / 知网和文章给出的关键词数目,它能反映系统的完整性。

4.2 评价结果

通过分析实验结果,与文章和知网给出的关键词相比较,计算出查准率和查全率。经计算分析,查全率分布在 70-85% 之间,查准率分布在 65-75% 之间。经多次测试分析发现,系统提取结果稳定、可靠,可以满足实际使用需求,并且关键词提取运行时间比较短,提取效率较高。

5 结束语

本研究在 Linux 系统下搭建了 Hadoop 平台,在该平台下设计了一个关键词自动提取系统。系统采用中科院汉语词法分析系统 ICTCLAS 和插入用户词典对文章进行分词预处理,并在分词结果上通过插入停用词表去除了停用词,使分词结果更加准确;在此基础上,选取词频 TF 、位置、分次距离次序为特征项作为衡量关键词权重的主要因素,并且为每一个特征项构建了非线性函数,使其更符合自然语言规律。在测试中,通过多次试验,不断调整权重计算公式中的比例系数,提高了系统的性能。在实际使用中,也取得了较好的效果。

参考文献

1. 高燕. 关键词自动标引方法综述 [J]. 电子世界. 2012, (6): 118-120.
2. 郑家恒, 卢娇丽. 关键词抽取方法的研究 [J]. 计算机工程, 2005, 18(9): 194-196.
3. 潘丽敏, 吴军华, 林萌, 等. 融合多特征的中文关键词提取方法 [J]. 信息安全, 2014, (8): 40-44.
4. 都云程, 周伟, 韩艳铎, 吕学强. 基于字同现频率的关键词自动抽取 [J]. 北京信息科技大学学报 (自然科学

- 版),2011(6):35-38.
5. 谢晋.基于词跨度的中文文本关键词提取及在文本分类中的应用[D].浙江工业大学,2011.
 6. 孙兴东,李爱平,李树栋.一种基于聚类的微博关键词提取方法的研究与实现[J].信息安全,2014,(12):27-31.
 7. <http://www.hadoop.org> last accessed by 2017.1.20
 8. Cohen J D.Highlights:Language and Domain-independent Automatic Indexing Terms for Abstracting[J].Journal of the American Society for Information Science, 1995,46(3):162-174.
 9. 奉国和,郑伟.国内中文自动分词技术研究综述[J].图书情报工作.2011,55(2):41-45.
 10. 黄昌宁,赵海.中文分词十年回顾[J].中文信息学报,2007(3):8-19.
 11. Multilingual Entity Task Conference(MET). http://www.itl.nist.gov/iaui/894.02/related_projects/tipster/met.htm.
 12. 郑家恒,卢娇丽.关键词抽取方法的研究[J].计算机工程,2005,18(9):194-196.
 13. 张玉芳,陈小莉,熊忠阳.基于信息增益的特征词权重调整算法研究[J].计算机工程与应用,2007,43(35):159-161.
 14. 何新贵,彭甫阳.中文文本的关键词自动抽取和模糊分类[J].中文信息学报,1999,13(1):9-15.
 15. 管瑞霞,陆蓓.TFLD一种中文文本关键词自动提取方法[J].机电工程,2010

基于压电薄膜传感器的鼾声监测系统*

韦德新; 安育廷; 王骋目

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 打鼾, 是一种常见而又容易被人忽视的睡眠现象,其本质是呼吸削弱的表现,也是健康出现问题的征兆。打鼾的人都会伴有明显的呼吸暂停或低通气现象,正常人睡眠过程中偶尔出现短暂的呼吸阻塞是很常见的,但是如果阻塞或低通气发生的非常频繁、阻塞情况严重,就属于病理现象,我们称这种疾病为睡眠呼吸暂停低通气综合症(OSAHS)。本文研究的内容是设计一款能对人体在夜间呼吸时打鼾现象进行实时监测,对人体呼吸打鼾现象进行记录显示,并能自动识别并报警提示的基于压电薄膜传感器的人体鼾声监测系统。

关键字: 打鼾 呼吸暂停 压电薄膜 监测

A system for monitoring snoring based on piezoelectric thin film sensors

Wei Dexin;An Yuting;Wang Chengmu

(College of Instrument Science and electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Snoring is a common sleep phenomeno which is easily ignored. Actually it is theperformance of breathing weaken and a sign of health problems.People who snore areassociated with significant apnea or hypopnea phenomenon,for most people,occasional transient respiratory obstruction is very common,but if the obstruction orhypopnea is very frequent and the respiratory obstruction is in serious condition,thenthis will become a disease we called Sleep Apnea Hypopnea Syndrome(SAHS). The contents of this paper is to design a snore monitoring system based on piezoelectric film sensor which can real time monitoring of snoring phenomenon at night,can record and display the snoring phenomenon,and can automatically identify and alarm prompt.

Key words: Snore Apnea PVDF Monitor

0 引言

近些年来,一些慢性呼吸疾病、心血管疾病在人群中的发病率逐年上升,渐渐引起了社会的重视,因而非侵入式呼吸和脉搏监测技术得到了快速发展,在慢性疾病的早期发现以及诊断中得到了广泛应用,如睡眠呼吸暂停综合症,慢性阻塞性肺病。在日常生活中,很多应用场合要求在不占用更多时间的情况下能够达到实时监测预防的目的,因而需要设计一种更加方便携带,功耗小,操作方便的检

测装置^[1,2]。本课题设计的目的在于将PVDF压电薄膜传感器以较好的方式与腰带、腕带等结合在一起达到可穿戴地检测人体的呼吸,并且以人体生理参数动态监测技术为支撑,达到准确度较高的检测结果。这种基于体域网的动态呼吸监测系统通过无线传输相关的信号,能够满足被检测者的自由活动的需要;更为重要的是,此种检测系统能够实时监测、采集并且处理、发送人体的生理参数,检测呼吸情况,一定程度上发现与预防一些慢性呼吸疾病。

1 国内外研究现状

* 指导老师: 辛毅

项目类型: 大学生创新项目(2016B65653)

目前对睡眠过程中呼吸状态进行观测的设备主要有几类:(1)心电图仪(Electrocardiogram,ECG):威廉·爱因托芬(W.Einthoven)^[3]等人最先利用该方法对呼吸进行了观测。他将心电图仪贴附在胸口,通过电极来检测心室给血流的压力变化从而对血压,心跳及呼吸状况进行记录。通过该仪器可以间接的观测到呼吸的状况,但无法监测到呼吸的强弱等信息,从而无法判断出病人阻塞或低通气的严重程度。(2)胸部阻抗体积描述计(Transthoracic impedance plethysmography signal, IP):该设备通过贴附在人身体的电极来传导小幅电流,当人呼吸时胸腔电阻会发生改变,从而改变电流的传导路径,以此来观测呼吸状态。就是通过呼吸过程胸部阻抗的变化来检测呼吸状态。这种方法的缺点是人体的阻抗受到很多其他因素的影响,如身体的运动、睡姿的改变等,因此观测的数据往往不准确,含有很多噪声^[4]。(3)光学体积描述计(Photoplethysmography signal, PPG):PPG 通过测量动脉脉搏的周期震动来观测血压, Frey 等人^[5]及 Hartert^[6]等人通过研究 PPG 信号与呼吸间的关系,从而利用 PPG 来观测呼吸周期。该方法也非直接观测呼吸信号,并难以测量呼吸的强度及准确的时长。(4)气导麦克风:这种方法受周围环境影响很大,麦克风与呼吸系统的距离也很难保证,都会影响信号的采集。如 Alshaer 等人利用指向性气导麦克风来记录人睡眠时鼾声的声学信号,通过对声学信号的分析来对鼾声进行检测。(5)多导睡眠监测(PSG):目前 PSG 检查是 SAHS 诊断中的“金标准”,被检查的患者佩戴各种传感器,进行整晚在监控室的监测,包括对血氧饱和度、胸式及腹式呼吸运动、脑电图(EEG)、心电图(ECG)、肌电图(EMG)、眼电图(EOG)、鼻气流、鼾声指数、体位等进行监测。并根据不同传感器的采集数据,能够方便医生进行全面的、综合的诊断,所以现在几乎被所有医生采纳,并作为业界的权威诊断手段。当然还有通过纤维鼻咽喉镜检查、影像学检查(CRM, CT 及 MRI)、食道内压检测等诊断方法。

2 设计原理及系统总体设计方案

2.1 压电传感器原理

2.1.1 压电效应

某些电介质材料在沿一定方向上因外力的作用而产生变形时,其内部会产生极化现象,同时将会有正负相反的电荷出现在其两个相对表面上^[8]。当外力消失,又会恢复到不带电的状态,称这种现象

为正压电效应^[9]。相反,当在该极化方向上施加电场,这些电介质材料会发生变形,电场去掉后,变形也随之消失,我们这种现象称为逆压电效应^[7]。如图 2.1,2.2 所示。

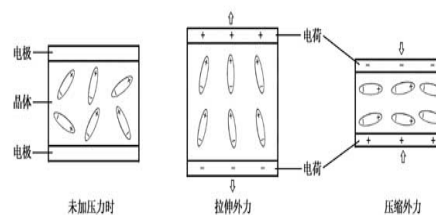


图 2.1 正压电效应

Fig. 2.1. Positive piezoelectric effect

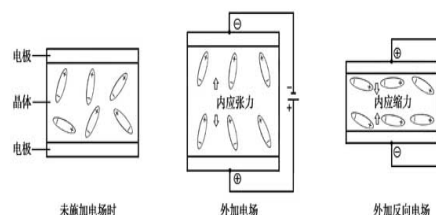


图 2.2 负压电效应

Fig. 2.2. Negative piezoelectric effect

2.1.2 实验用传感器

压电传感器是依据电介质材料压电效应研制的一类传感器。压电材料大体分为压电晶体、压电陶瓷以及压电聚合物三类。本设计中运用了正压电效应原理,应用的压电薄膜属于压电聚合物, PVDF 压电薄膜传感器是以聚偏氟乙烯为主要材料,以压电效应为基础的新型高分子力敏元件。PVDF 薄膜材料具有良好的耐化学腐蚀性、耐高温性、抗氧化性、耐候性、耐射线辐射性能^[10]。其由四部分组成:金属电极、压膜、引线和屏蔽层。其结构图如图 2.3 所示。

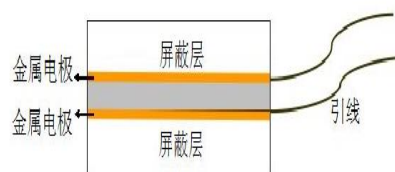


图 2.3 压电薄膜传感器结构示意图

Fig.2.3. piezoelectric film sensor structure

当晶体受力形变时,内部产生电极化现象,同时在两个表面上产生符号相反的电荷;当外力撤去,晶体恢复到不带电的状态;当外力方向改变时,电荷的极性也随之改变;晶体受力所产生的电荷量与外力的大小成正比。PVDF 压电材料受力关系图如

图 2.4 所示。

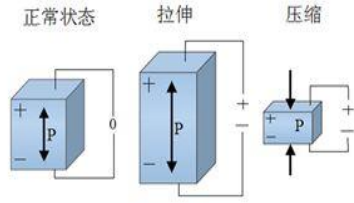


图 2.4 PVDF 压电材料受力关系图

Fig.2.4. PVDF piezoelectric material force diagram

$$P = d\sigma \quad (1)$$

其中, P 为晶体的电极化率, 单位是 C/m^2 , d 为压电常数, 单位是 C/N , σ 为应力, 单位是 N/m^2 。

2.2 电荷放大器原理

由上文可知直接由 PVDF 压电薄膜传感器输出的信号为电荷量, 故需要有与之相匹配的前置电路与其相连接才能输出完整的信号。PVDF 压电薄膜具有较高的内阻, 因而要求前置电路中的第一级放大电路能够将传感器输出信号转换成低阻抗输出信号, 同时将弱电荷信号放大成电压信号^[11]。故在设计在前置电路时, 采用电荷放大电路作为第一级放大电路。电荷放大电路是一种具有深度负反馈的高增益放大电路, 其基本电路如图 2.5 所示。

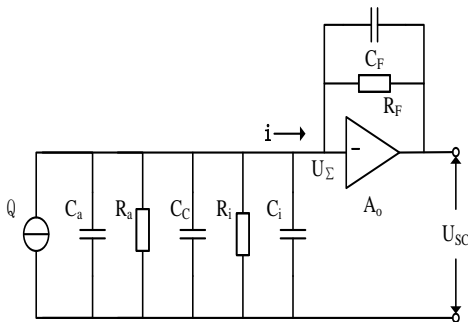


图 2.5 电荷放大器等效电路图

Fig.2.5. Equivalent circuit of charge amplifier

图中, C_a 传感器电容; R_a 为包括连接导线在内的传感器绝缘电阻; C_c 为连接导线对地电容; R_i 为前置放大器输入电阻; C_i 为前置放大器输入电容。当放大器的开环增益 A_0 足够大, 且输入阻抗很高, 则放大器输入端几乎没有分流, 运算电流仅流入反馈回路中的 C_F 和 R_F 。可知 i 的表达式为:

$$i = (U_\Sigma - U_{sc}) \left(j\omega C_F + \frac{1}{R_F} \right) = [U_\Sigma - (-A_0 U_\Sigma)] \left(j\omega C_F + \frac{1}{R_F} \right) \quad (2)$$

$$= U_\Sigma \left[j\omega(A_0 + 1)C_F + (A_0 + 1)\frac{1}{R_F} \right]$$

再由“密勒效应”可以求出节点 U_Σ 和电压输

出 U_{sc} :

$$U_\Sigma = \frac{j\omega q}{\left[\frac{1}{R_F} + (A_0 + 1)\frac{1}{R_F} \right] + j\omega[C_F + C_c + (A_0 + 1)C_F]} \quad (3)$$

$$U_{sc} = -A_0 U_\Sigma = \frac{-j\omega q A_0}{\left[\frac{1}{R_F} + (A_0 + 1)\frac{1}{R_F} \right] + j\omega[C_F + C_c + (A_0 + 1)C_F]} \quad (4)$$

由(4)可知, 若忽略电缆电容 C_c , 输出电压 U_{sc} 只决定于输入电荷 q 及反馈回路参数 C_F 和 R_F , 电容 C_F 的容量应在 100~104pF 范围内选择。

2.3 整体设计方案

系统的信号采集主要通过基于 PVDF 压电薄膜的传感器来实现, 传感器通过弹性织物与人体接触来获取信号;再由电路板上的硬件电路处理。电路板上集成有信号调理电路、MSP430 最小系统电路以及蓝牙模块, 整个电路板由士 3.7V 锂电池组稳压供电;采集的信号通道进行放大调理、A/D 转换, 所得数据经单片机软件滤波、数值转换, 再通过蓝牙与计算机进行无线通讯, 相应的数据会在计算机上通过 LabVIEW 软件再一次处理, 最终以波形图的形式实时显示并判断是否打鼾及呼吸暂停。系统总体设计简图如图 2.6 所示。

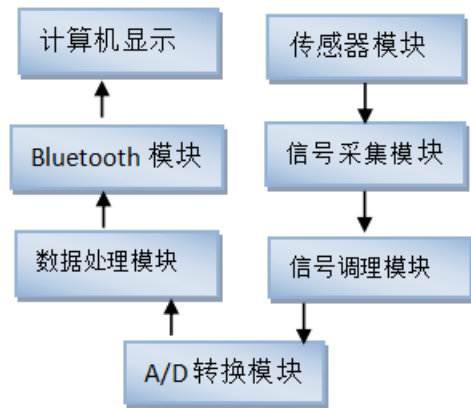


图 2.6 系统总体设计简图

Fig. 2.6. System overall design diagram

其中信号调理电路电路包括第一级电荷放大电路、第二级电压放大电路、低通滤波电路以及电压抬升电路;单片机数据处理模块主要完成控制执行 A/D 转换、数值转换以及执行蓝牙通讯等;上位机开发主要基于 LabVIEW 的串口数据接收、软件滤波、人机界面设计、信号的波形显示以及判断处理。

3 单元模块方案设计

3.1 信号采集模块设计

信号采集模块主要由 PVDF 压电薄膜传感器、绝缘弹性织物组成，实物如图 3.1 所示。

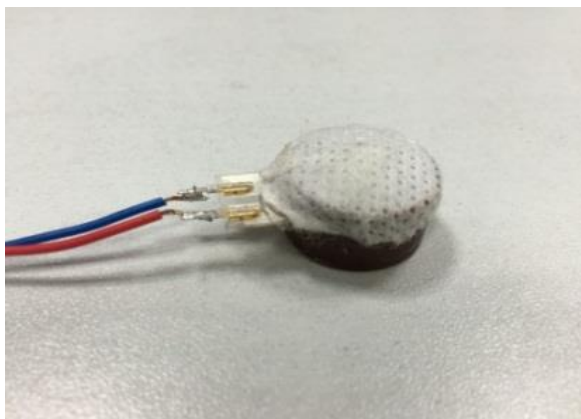


图 3.1 传感器实物图

Fig.3.1.physical Sensor

(1) PVDF 压电薄膜传感器为此模块最重要的部分，是信号采集的主要感受部件。传感器放置于弹性织物内部，并且一面完全贴合在拱形结构上，另一面与人体直接接触；从压电薄膜的上下两面电极引出两条线路接入腰带、腕带另一侧的电路板，压电信号便由此产生并进入信号调理电路。

(2) 为了使传感器更好地贴合人体，更灵敏地感受压力变化，特别设计一种拱形结构置于传感器与弹性织物之间，这种拱形结构的材料也具有一定的弹性，能够使 PVDF 压电薄膜更加准确地采集信号。

3.2 信号调理模块设计

由信号采集模块输出的压电信号需经过电荷转换、放大抬升等调理才能形成理想的模拟信号^[12]。信号调理模块包括：电荷放大电路、电压放大电路、低通滤波电路以及电压抬升电路。

3.2.1 电荷放大电路

由第二章的内容可知，要将 PVDF 压电薄膜因压电效应而产生的电荷量转换为电压量，以便进一步的信号调理、模数转换，则应采用电荷放大器作为信号调理电路的第一级电路。电荷放大电路作为信号调理电路的第一级电路的主要作用有：(1) 将难以测量、调理的电荷弱信号转换并放大成电压信号；(2) 与 PVDF 压电薄膜传感器的模电特性相匹配，将其高阻抗输入转换为低阻抗输出；PVDF 压电薄膜传感器的输出阻抗约为 $10^{13} \Omega$ ，因此选用的电荷放大电路的核心器件应为输入阻抗高，噪声低的电压控制电流型场效应管集成型的放大器为宜。

本课题设计选用 Intersil 公司的 CA3140 放大器，其结合了压电 PMOS 晶体管工艺和高压电双授晶体管的优点，正常工作时的输入阻抗约为 $1.57T \Omega$ ，工

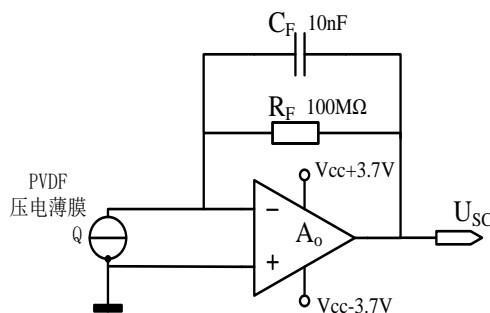


图 3.2 电荷放大电路图

Fig.3.2 The charge amplification circuit diagram

作电压为 $4V \sim 36V$ （无论单电源或双电源）。本设计采用的电荷放大电路的基本电路图如图 3.2。

图中，电荷放大电路输出电压 U_{SC} 为：

$$U_{SC} = -\frac{Q}{C_F} \quad (5)$$

电路中 R_F 的引入一方面为积分电容 C_F 提供直流反馈；另一方面使电荷放大电路具有负反馈的功能，提高系统的稳定性。另外， C_F 的选取也将影响信号放大的效果，若 C_F 太小，则将使整个系统噪声增大，使信号发生畸变，进而影响信号的采集；若 C_F 过大，则放大的效果不明显，使有效信号淹没在噪声中，将会对后续滤波及放大电路提出更高要求。电容 C_F 的容量应在 $100 \sim 104pF$ 范围内选择。

经过实际多次测试所得， C_F 选用 $10nF$ 电容， R_3

选用 $100M\Omega$ 电阻可以很好的达到电荷放大的理想效果，以降低随后各级调理电路的工作难度。

3.2.2 电压放大电路

经由上一级电荷放大电路转换所得的电压量，虽然已有所放大，但在电荷放大电路中，我们更注重的是将电荷信号转换成电压信号的低噪声和稳定性，因而 R_F 和 C_F 两项指标的确定更多的是用于防止信号畸变、稳定输出。所以，需要在前置电路的第二级放置电压放大电路，以便将电压信号放大到理想稳定的幅度。电压放大电路的基本电路图如图 3.3。

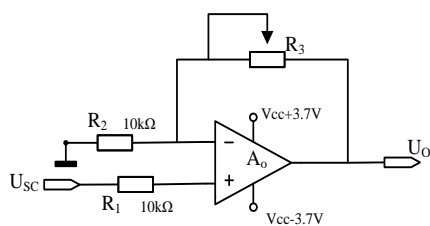


图 3.3 电压放大电路图

Fig.3.3. The voltage amplification circuit diagram

图中 U_{SC} 为电荷放大电路的输出，即本电路的输入电压， U_O 为输出电压，二者存在如下关系：

$$\frac{U_O - U_{SC}}{R_3} = \frac{U_{SC} - 0}{R_2} \quad (6)$$

$$U_O = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) U_{SC} \quad (7)$$

设 $K = \frac{R_3}{R_2}$ ，经过多次测试可知，在以上放大电路正常工作时， K 值取 15~45 时放大效果最佳。由于电路工作时，放大器本身的工作特性会受到供电电压变化的影响，因而当供电电压不是绝对的稳定值时，电路的放大有效值也将出现一些差异，需要通过调节 K 值来达到最好的放大效果，图 3.3 的电路中 R_3 采用可调电位器来代替固定阻值电阻，以提高信号调理系统的灵活性与可操作性。

3.2.3 低通滤波电路

健康成年人的呼吸频率为 0.20Hz~0.33Hz。在采集呼吸、脉搏信号的同时，会受到其他噪声的干扰，如人体的热噪声、其他电器的工频噪声等等，这些噪声将会影响信号检测的准确性以及信号波形的精确度。由于这些噪声的频率相对于呼吸信号和脉搏信号的频率较高，因此采用二阶有源低通滤波器来滤除模拟信号中的噪声干扰。本课题设计采用的是有源低通滤波电路，有源滤波电路的负载不影响滤波特性，有源滤波电路一般由 RC 网络和集成运放组成，因而需要在合适的直流电源的供电情况下才能使用，同时还能够进行放大。在低电压小电流低功耗的信号处理场合，有源低通滤波电路可以较好的满足要求。如图 3.4。

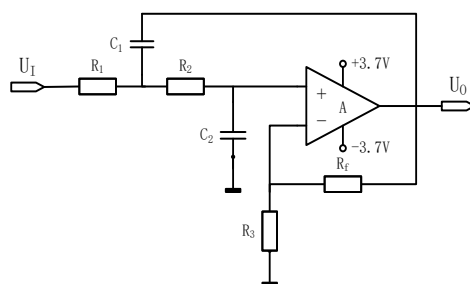


图 3.4 二阶有源低通滤波电路图

Fig.3.4. Two order active low-pass filter circuit diagram

对于上图的所示的低通滤波器，其截止频率为：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (8)$$

若简化参数，令 $R_1=R_2=R$ ， $C_1=C_2=C$ ，即可得到截止频率为：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (9)$$

其电压增益为：

$$A_0 = A_{VF} = 1 + \frac{(A_{VF} - 1)R_1}{R_2}, \quad A_{VF} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (10)$$

选定电容 $C_1=C_2=C=0.1 \mu F$ ，电阻 $R_1=R_2=R=18k\Omega$ ，故所得截止频率为 88.46Hz，符合电路参数和系统指标要求，为单片机与上位机的软件滤波降低了难度。

二阶低通滤波器电路结构简明且输入阻抗高，输出阻抗低，在各电路参数设置合理的情况下，可以在满足系统精度要求的同时达到理想的滤波效果^[13]。

3.2.4 电压抬升电路

根据测试可得，由 PVDF 压电薄膜传感器采集所得的呼吸、脉搏信号的幅值存在负值，且电压负值也是信号中需要采集处理的部分，但由于 MSP430 单片机的只能识别、处理电压正值，所以需要采集所得的呼吸、脉搏信号的电压负值部分抬升成正值，通过电压抬升电路实现，如图 3.5。

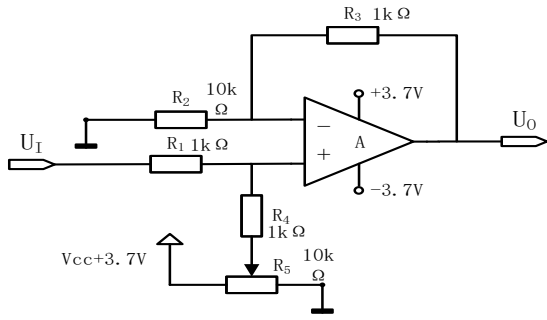


图 3.5 电压抬升电路图

Fig.3.5. Voltage uplift circuit diagram

3.3 单片机数据处理模块设计

3.3.1 MSP430 最小系统设计

MSP430 系列单片机是 1996 年美国德州仪器公司开始对外推广的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集 (RISC) 的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor)。本课题设计采用的是 MSP430F149 型号的单片机，最小系统电路图如图 3.6。

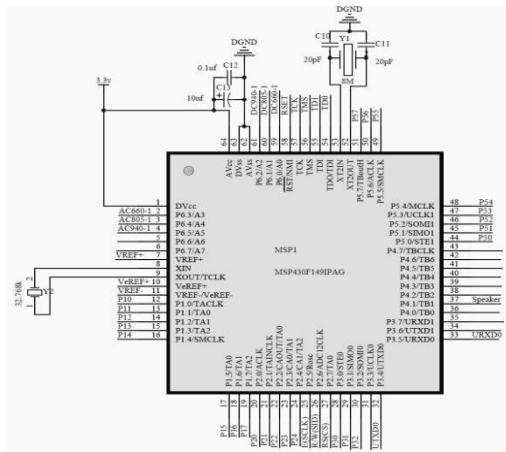


图 3.6 MSP430F149 单片机最小系统电路图

Fig.3.6.MSP430F149 microcontroller minimum system

MSP430F149 型号单片机有 48 个 I/O 口，96 段 LCD 驱动，基于闪存或 ROM 的超低功耗 MCU，提供 8MIPS，可实现两路的 12 位 D/A 转换；实现硬件 I2C 串行总线接口的存储器串行扩展；同时为了提高数据传输速度，采用的 DMA 模块。工作电压为 1.8V - 3.6V，具有高达 60KB 的闪存和各种高性能模拟及智能数字外设^[14]。具有处理能力强、运算速度快、超低功耗、片内资源丰富等优点，能够满足本次课题设计的相关指标要求。

3.3.2 A/D 转换设计

PVDF 压电薄膜传感器把呼吸、脉搏信号（物理量）测量出来，转换成电信号，经过模数转换编程数字量，这样模拟量才能被 MSP430 处理和控制在 A/D 转换程序设计如图 3.7。

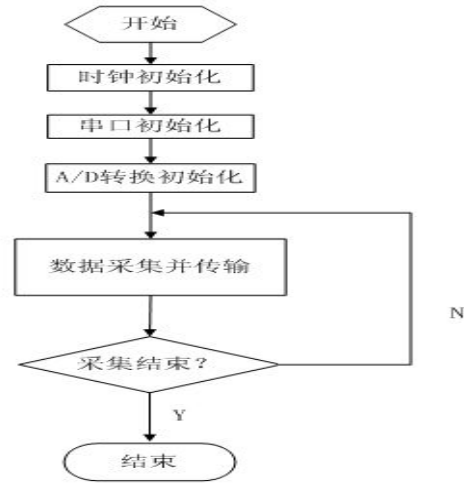


图 3.7 A/D 转换设计流程图

Fig.3.7 A/D conversion design flow chart

首先，定义延时子函数和串口发送数据函数；然后进行 MSP430 单片机初始化，包括 ADC12 模块初始化，采用序列通道依次转换自动触发方式，首次转换采样定时器需要 SHI 信号的上升沿触发，而后将在前一次转换完成后立即进行，打开内部参考电压发生器，设置内部参考电压为 2.5V，打开 ADC12 内核，上升沿触发转换，采样输入信号同向输入，单通道多次转换模式；时钟初始化，设置 SMCLK=8M,使用外部晶振 8M；串口初始化，发送寄存器设置为时钟极性相同，时钟源选择 SCLK（8MHZ），无触发沿检测，接收寄存器设置：（默认）无帧错误，校验正确，不允许中断以及 IO 口初始化。初始化完毕后，A/D 转换器等待模拟信号上升沿触发，触发生后 A/D 采样器开始采样，采样所得模拟量由转换器进行模数转换，转换所得的数字量再经过数据转换以字节数组形式存入单片机内存地址，随后首地址被处理器访问，数据以字符串字节形式开始向计算机发送。当寄存器标志位 UTXIFG0 为 1 时，一个字节发送完成，实验表明，此时应将标志位 IFG2 清零准备下一字节的发送。如此周而复始，呼吸和脉搏的信号被不断地采集，转换，处理和发送至下一节点，以到达实时的检测和显示。

3.4 Bluetooth 蓝牙模块设计

在实际设计中，为了达到方便穿戴以及最大程度降低对人体自身正常活动的影响，在选择信号传输的方式时应当尽量避免实体线路的使用，因而采用无线传输的方式来进行 PC 机与穿戴部分的数据传输，本课题设计采用 Bluetooth 无线蓝牙传输技术作为支持，进行实时数据传输。蓝牙，是一种无线个人局域网（Wireless PAN），是一种支持设备短距离通信（一般 10m 内）的无线电技术，它使无线通信能够在小范围内进行带有通信端口的电子设备之

间。蓝牙使用的是通用射频频率为 2.45GHZ 的无线电接口，IEEE802.15 协议。

本课题设计中蓝牙模块采用的是静默状态进行数据传输工作；波特率设置为 9600；无校验位；计算机部分的蓝牙串口与单片机部分的蓝牙串口都设置为主从一体模式^[15]。蓝牙模块的设计结构图如图 3.8。



图 3.8 蓝牙模块结构简图

Fig.3.8. The Bluetooth module structure diagram

4 上位机软件开发

上位机软件开发采用虚拟仪器设计，LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 是一种程序开发环境，由美国国家仪器 (NI) 公司开发研制，类似于 BASIC 和 C 开发环境，但 LabVIEW 明显区别于其他计算机语言的地方在于，其他计算机语言生成代码几乎都是采用文本的语言，而 LabVIEW 以框图形式的程序且使用的是图形化源代码编写程序^[16]。LabVIEW 软件是 NI 设计平台的核心，也是控制系统或开发测量的良好选择。LabVIEW 软件不仅是虚拟仪器开发的优秀平台，同时也是工程设计和研发的有力工具^[17]。本课题设计中，运用 LabVIEW 进行的主要工作包括读取蓝牙传来的数据，对读取的数据进行类型转换，软件滤波，波形实时显示以及判断计算。

4.1 读取串口数据程序

由 MSP430 单片机处理呼吸、脉搏数据经一对一蓝牙串口发送至计算机，并且直接由软件读取串口数据。因此需要设计相关的 LabVIEW 模块将其读取出来，以便后续的数据处理。读取模块的程序框图如图 4.1。

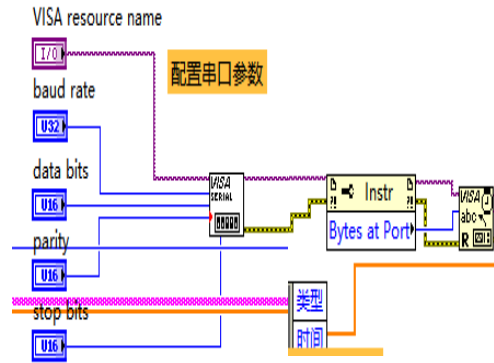


图 4.1 LabVIEW 文件读取程序框图

Fig.4.1. LabVIEW file read block diagram

4.2 数据类型转换程序

经蓝牙串口接收的呼吸、脉搏数据属于连续字符串数据，没有分隔标识，因此计算机还无法将其转化成二维波形图表的形式显示。故需要设计 LabVIEW 程序将这些字符串数据还原成相互分隔的有限字符串；另外，LabVIEW 的滤波器模块无法直接处理字符串型数据，因此还需要将单独的字符串转换成单独的双精度实数，即字符串至数组的转换。数据类型转换程序框图如图 4.2。

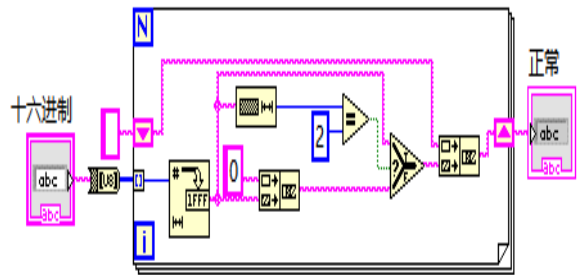


图 4.2 LabVIEW 数据类型转换程序

Fig.4.2. LabVIEW data type conversion program

4.3 低通滤波程序

在前面已提到，人体的呼吸是低于 10Hz 的低频信号，因此应使用低通滤波器滤除信号中人体的热噪声和其他电器的工频噪声。低通滤波器在数字图像处理领域中，在频域的应用中，低通滤波能够对图像处理进行平滑去噪处理；金融领域中移动平均数 (moving average) 所起的作用相当于低通滤波在信号处理中的作用等同于其它领域如。低通滤波器有很多种，巴特沃斯滤波器和切比雪夫滤波器是其中最通用的。本课题设计采用的是巴特沃斯低通滤波器模块，主要程序框图如图 4.3。

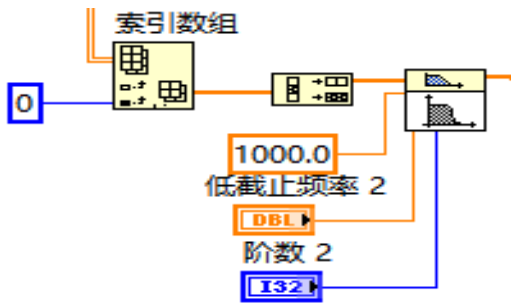


图 4.3 LabVIEW 低通滤波程序框图

Fig.4.3. LabVIEW low pass filter block diagram

4.4 判断程序

接收到的数据需要用条件结构判断是否呼吸正常，设定正常人的呼吸频率和振幅，超出了或达不到就表明呼吸不正常，当每分钟超过 3 次每次超过 10s 的时间时，就会报警，以免对人的生命造成伤害。判断程序框图如图 4.4 所示。

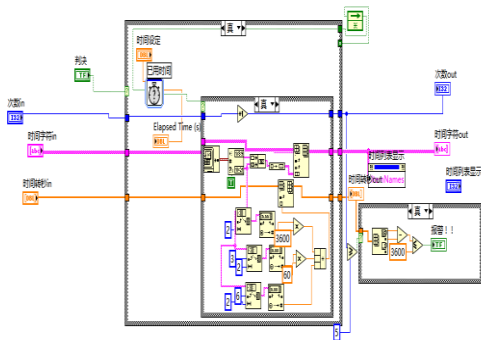


图 4.4 判断程序框图

Fig.4.4. Judgment block diagram

4.5 while 循环程序

在整个 LabVIEW 程序的运行过程中，上位机系统需要配合单片机模块及硬件系统进行不间断地循环运作，从而使相关 TXT 文件中的呼吸、脉搏数据不断地、即时地被提取、转换、计算和显示。基于这一目的，整体程序在运行时所采用的执行结构应为自动循环结构，因而需要利用 LabVIEW 中的 while 循环模块来实现这一效果，主要的程序框图如图 4.5。

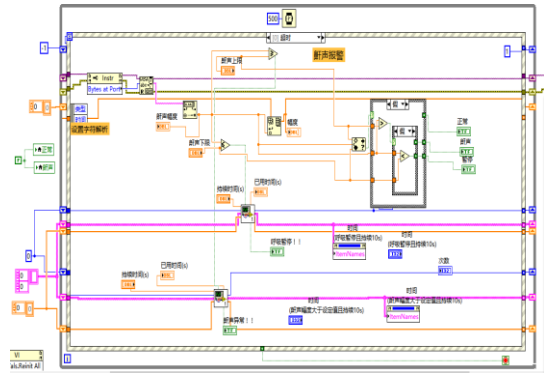


图 4.5 while 循环总体程序框图

Fig.4.5. A while loop general program block

该程序框图在 while 循环里面还加入了事件结构，以便处理多个事件。如等待事件呼吸不正常发生，并执行相应条件分支，处理（报警）该事件。事件结构包括一个或多个子程序框图或事件分支，结构处理时间时，仅有一个子程序框图或分支在执行。等待事件通知时，该结构可超时。

4.6 人机交互界面显示

在界面上可根据不同的人群如小孩、老人等设置不同的鼾声振幅，通过程序判断其是否呼吸正常，是否有打鼾以及呼吸暂停。如果呼吸正常，指示灯显示绿灯，如果有呼吸不正常现象，指示灯亮起红灯，并响起警报，提醒人们注意，以免危及生命健康。人机交互界面如图 4.6 所示。

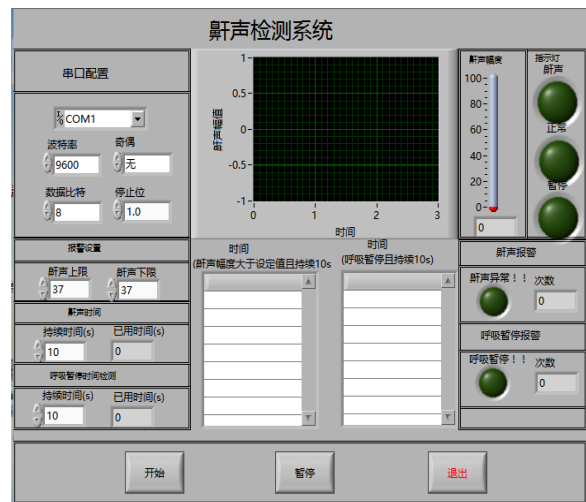


图 4.6 人机交互界面

Fig.4.6. interaction interface

5 实验测试

系统测试是本课题设计的重要步骤，同时也是必经环节。整个系统的软、硬件以及通讯部分是否达到预期的运行效果，系统指标是否达到预期要求

等等，都需要经过测试来确定。本章对系统的主要功能模块进行测试，包括硬件部分的信号调理电路所提取的呼吸、脉搏信号的效果测试，上位机 LabVIEW 对信号数据的滤波效果测试以及上位机 LabVIEW 整体用户界面的人机交互测试。

5.1 信号调理电路测试

用示波器测量传感器输出的原始信号，得到如图 5.1 左边所示波形。然后测量经过信号调理电路处理后的信号，得到如图 5.1 右边所示波形。通过两图信号的对比判断可知信号调理电路工作正常。

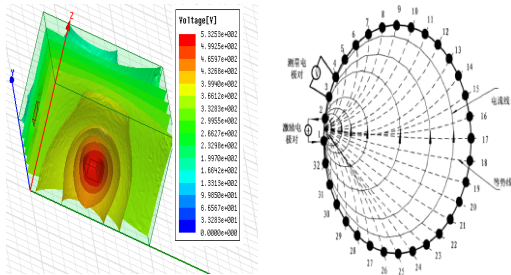


图 5.1 原始信号（左）与处理后（右）的信号对比

Fig.5.1. Signal comparison between the original signal (left) and the processed (right)

由上述测试结果可知，硬件电路部分对呼吸进行了有效的放大和提取，并且经过低通滤波电路的处理，已然可以明显分辨出呼吸信号的波形，但是调理后输出的波形中依然带有人体的热噪声信号和其他直流干扰信号，因此需要上位机软件对该信号进行进一步的软件滤波，使所检测的呼吸、脉搏信号能够更直观被观察以及作进一步的呼吸率与脉率的计算显示。

5.2 LabVIEW 低通滤波程序测试

由信号调理电路的测试可知调理后输出的波形中依然带有人体的热噪声信号和其他直流干扰信号，需要对上位机软件 LabVIEW 的低通滤波程序进行测试。以呼吸信号的测试为例，打开腰带处电源开关，打开 LabVIEW 程序中的数据类型转换程序，运行上位机程序前面板，观察低通滤波之前的信号波形；再打开低通滤波程序，运行上位机 LabVIEW 程序前面板，观察低通滤波之后的信号波形。滤波前后的波形如图 5.3。

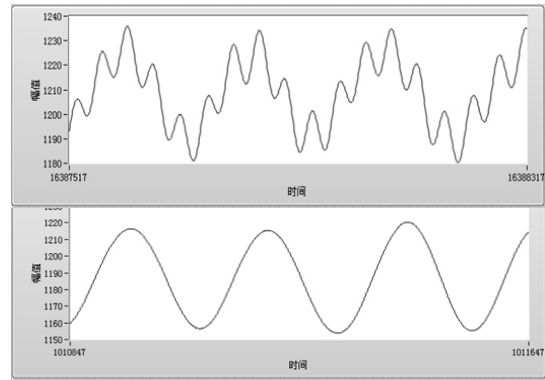


图 5.2 LabVIEW 低通滤波前（上）后（下）的呼吸信号对比

Fig.5.2. the Comparison of breathing signals before and after

由以上测试结果可知，带有高频干扰信号的呼吸信号，经过 LabVIEW 数据类型转换程序和低通滤波程序处理后，干扰信号能够被有效滤除，呼吸信号可以被较好地显示出来，提高检测质量，达到本课题设计的要求。

5.3 功能测试

功能测试主要检验整体监测系统是否能够完成呼吸数据实时的采集、传送以及显示，并给出正确的生理参数值。

1) 测试者佩戴好呼吸测量实验装置，计算机与蓝牙主从设备连接到位，随后打开整体监测系统的开关电源，此时蓝牙设备指示灯应为快速闪烁状态。随后观察连接计算机和监测带的蓝牙模块指示灯闪烁规律，待其从快速闪烁转为一秒闪烁一次的时候，代表配对成功。

2) 打开串口调试助手，接收串口设置为 COM1，波特率为 9600bps，8 位数据位，1 位停止位，上位机直接接收数据。

3) 数据经蓝牙串口一对一发送至计算机，LabVIEW 设计的相关读取模块将其读取出来，随后对呼吸波形进行实时显示并存储波形。整体上微机界面具有波形显示、波形滤波、波形存储、以及生理参数计算的功能。当呼吸出现异常的时候，还具备一定的报警提示功能。

6 总结

本课题设计主要基于 PVDF 压电薄膜传感器，通过 LabVIEW 进行上位机软件开发，并且采用无线蓝牙传输技术实现了对人体呼吸实时检测显示。完成设计的过程中，包括硬件设计、软件设计、造型结构设计以及通信方式设计。总体上，本设计完成所得的系统装置可以实现实时采集呼吸信号，并

且可以通过 LabVIEW 用户界面以波形方式直观清晰地加以显示, 同时还能进行简单的反馈, 达到了预期的检测效果。在完成本次课题设计的过程中, 并非一帆风顺, 遇到困难或暂时难以解答的问题时, 我通过查阅文献、请教师长或者动手实践等方式逐一解决。在这样一种学习方式中, 我不仅巩固了本科期间所学的一些基础知识, 还对本科后期掌握的专业知识有了更加深刻的理解, 并且在硬件和软件设计实践设计方面也有了很大的收获。

参考文献

1. 孟仁俊,丁辛.可嵌入服装的 PVDF 压电传感器的研制与应用[J].产业用纺织品, 2010.2
2. 吴丹,徐效文,王磊,等.穿戴式动态睡眠呼吸监测系统的设计[J].传感技术学报, 2010,23(3):322-325.
3. Goldshtein,E.,Tarasiuk,A.,Zigel,Y., "Automatic detection of obstructive sleep apnea using speech signals, "Biomedical Engineering,IEEE Transactions on,vol.58,no.5, pp.1373,1382,May 2011
4. 曾祥龙, 高雪梅, 阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征的口腔医学研究现状 [J] 北京大学学报(医学版), 2009,01
5. L R Rabiner, A tutorial on Hidden Markov Models and selected applications in speechrecognition, Proc.of the IEEE, 1989,77(2):257 — 285
6. Fang Zheng,Guoliang Zhang, Zhanjiang Song, Comparison of different implementations of MFCC,Journal of computer science and technology, 2001,16(6): 582589
7. 胡渊,龚国斌,曹东升,等.压电/磁致伸缩/环氧树脂层合复合材料的磁电效应及其频响特性[J].复合材料学报,2007,24(4):29-33.
8. 凌振宝, 齐晓慧, 辛毅.基于 PVDF 的呼吸信号检测腰带研究[J].压电与声光, 2014, 36(1): 72-75.
9. Y.Y.Chiu, W.Y.Lin,H.Y.Wang. Development of a piezoelectri polyvinylidene fluoride (PVDF) polymer-based sensor patch for simultaneous heartbeat and respiration monitoring [J]. Sens Actuat A-Phy, 2013,189:328-334.
10. 吴锦武,姜哲.基于 PVDF 压电传感器测量振动结构体积位移[J].振动工程学报, 2007, 20(1): 73-78.
11. 樊春玲, 李志全. 一种新型电荷放大器的设计与研究[J].传感技术学报,2000, 13(4): 297-302.
12. 程德福, 王君, 凌振宝, 王言章等, 传感器原理及应用 [M], 北京: 机械工业出版社, 2007,12.
13. 康华光, 陈大钦, 张林, 电子技术基础(模拟部分) [M], 北京: 高等教育出版社, 2006,01.
14. 沈建华,艳琴,晓曙,等.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M].清华大学出版社,2004.
15. 李伟,吴效明.基于蓝牙技术的嵌入式多生理参数监护仪 [J].微计算机信息, 2006(01Z):29-31.
16. 郑对元等,精通 LabVIEW 虚拟仪器程序设计[M],北京:清华大学出版社, 2012,5.
17. 李欣, 齐晶瑶.基于 LabVIEW 的水质监测虚拟仪器的开发与应用[J].给水排水.2002, 28 (10)

基于物联网远程控制通信智能插座*

于一兵；孔冀康；于悦

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130000)

摘要: 智能家居是物联网的主要应用之一, 它实现了家居的智能化和信息化。智能插座是智能家居的重要组成部分, 目前市场上的智能插座只具有供电远程控制的功能, 还达不到智能家居系统的要求, 因此我们需要加入新的功能以对传统智能插座进行改进。我们设计的智能插座主要采用 AT89C51 单片机及 SIM900A、MQ-2、HC06 等模块, 应用 GSM 技术和蓝牙技术等控制方式, 不仅实现了利用手机 APP 对插座进行远程通断控制的目的, 同时还具有检测烟雾自动报警和远程调节 LED 灯光亮度两种功能, 这样的智能插座更具有实用性和普及性, 符合智能插座的市场前景。

关键词: 手机 APP 烟雾报警 灯光调节

Remote control communication intelligent socket based on Internet of things

Yu Yibing; Kong Jikang; Yu Yue

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130000 China)

Abstract: Smart home is one of the main applications of the Internet of things, it has realized the smart home and information technology. Smart socket is an important part of smart home, at present market of smart socket has only the function of remote power supply control, is not up to the requirements of the smart home system, so we need to add new features of traditional intelligent socket improve. We design the intelligent socket mainly adopts the module of AT89C51 microcontroller and sim900a and mq-2, HC06 etc., the application of GSM and Bluetooth control mode, not only realize the outlet remote on-off control using the mobile app, and at the same time it also has two functions of automatic smoke detection alarm and remote control LED brightness of the light, such a smart socket is more practical and universal, in line with the market prospect of smart socket.

Key word: Mobile phone APP smoke alarm light adjustment

0 前言

电子信息技术、控制技术的日益提升, 社会信息化的逐步加快, 促使人们的生活、工作、学习以及通讯的关系日渐紧密, 信息化社会在改变人们生活习惯和工作方式的同时, 也对我们的传统住宅提出了挑战。人们对家居的要求早已不再只是简单的物质空间, 更为关注的是一个高度安全、舒适以及美观方便的居住环境。先进的通信设施, 完备高效的信息终端, 自动、智能的家电, 网络化的资源管理及购物方式才更适合现代人的生活节奏。

这其中以智能插座为最方便实用。虽然目前智

能插座有了一定的发展, 并且市场上也开始出现相应的产品, 但从总体的发展来看, 还处于刚起步的阶段, 特别是统一标准和权威产品的缺乏严重影响了发展。随着科技的提高、经济的发展, 人们的物质生活水平的提高, 对家居环境的要求也越来越高, 现今社会人们日益膨胀的需求使得插座智能化已然成为一种趋势。因此, 我们设计出了短信型智能插座和蓝牙型智能插座, 能够实现高智能化的远程通信, 方便人们的日常生活。

1 绪论

1.1 研究背景及意义

* 指导老师: 关珊珊
项目类型: 大学生创新项目 (2015650993)

随着经济的发展以及科技的进步，我们的生活也一步步走向高质量、高层次的新天地。因此，人们对于生活环境尤其是住宅环境的要求也逐步提高。人们不仅仅关心住宅面积、装修程度，而对于住宅的智能化、安全性提出了更高的要求。由此，智能家居应运而生。

以物联网为技术支撑的智能家居早在上个世纪的 80 年代初就已经被提出，直至今日，智能家居逐渐被人们所认可并受到广泛的关注。家居智能化控制尤其是远程控制的实现，将大大改善人们的生活质量，为人们提供更加舒适、便利的生活体验。而这其中智能插座因其小巧，使用方便，价格便宜而得到广泛的应用，本文着重介绍短信型智能插座和蓝牙型智能插座。

目前市面上的智能插座主要是 WiFi 控制的，但是 WiFi 的使用范围很局限，难以实现大范围的覆盖面，但是短信拥有大量的使用人数基础，作为最基本的手机功能，会使用短信的人数很多，如果能用短信控制智能插座的话，则相当于扩大了插座的控制控制距离，可能会增加使用的人数，极大的提高了使用的简便性和方便性。而蓝牙主要在调节方面突出其实用性和便捷性，例如用蓝牙对灯具进行调光就非常方便简洁^[1]。

2 系统总体设计

2.1 智能插座的基本工作原理

本文所提出的短信型智能插座和蓝牙型智能插座，能分别用手机 APP 发送短信或者用蓝牙发送指令以达到控制其通断，从而控制家用电器的开启和关闭。都是使用可调的稳压电源进行供电，单片机主芯片的一个引脚控制继电器模块，而继电器模块又与智能插座里面的继电器相连，只要控制设定的单片机引脚的高低电平即可控制插座的开关^[2]。

短信型智能插座具有开断功能，而且当室内的烟雾浓度达到系统预设值时，该智能插座能够自动断电，使插在其上面的家用电器断电，减小损失。在正常情况下，同样可以用短信进行远程开断，使人们的生活更加便利。

蓝牙型智能插座在控制距离上远远小于短信型智能插座，但是它在调节上具有很大优势。首先蓝牙型智能插座可以在一定距离内控制智能插座的开关，而且可以对插在插座上的灯具进行调光，使光亮保持在人眼适应的亮度，方便人们的生活，更加的人性化。

2.2 系统总体设计方案

短信型智能插座控制系统原理框图如图 1 所示。它是由 MCU 控制模块，稳压电源模块，烟雾传感器模块，继电器模块，GSM 模块以及可控插座构成的短信型智能插座。

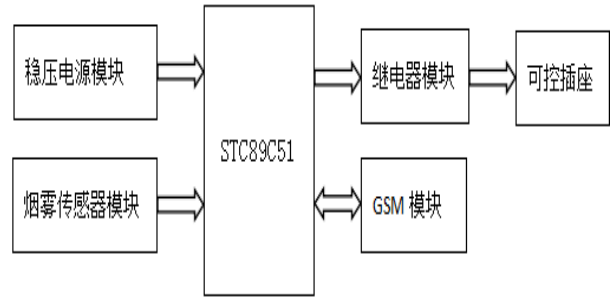


图 1 短信型智能插座原理图

Figure 1 the Schematic diagram of SMS smart socket

蓝牙型智能插座控制系统原理框图如图 2 所示。它是由 MCU 控制模块，稳压电源模块，蓝牙模块，继电器模块，放大模块，可控插座构成的蓝牙型智能插座。

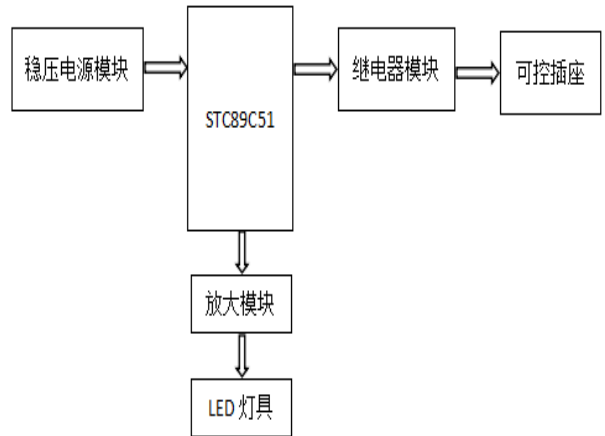


图 2 蓝牙型智能插座原理图

Figure 2 the Schematic diagram of Bluetooth smart socket

2.2.1 短信 GSM 型智能插座

通电后烟雾传感器对室内空气环境中的烟雾含量进行实时监测，当某时刻烟雾含量超过预期值时，烟雾传感器就将高电平信号传送到单片机，单片机接收并识别该信号，并通过控制继电器对家庭用电进行开断，以防止火灾的发生。同时在另一个引脚将信号传送至 GSM 主模块，GSM 模块发送短信至用户手机终端，以进行报警。

用户可通过手机 APP 发送短信指令，通过 GSM 模块将指令传输给单片机，单片机对指令的状态字进行解读，了解用户需求，并实现对插座的开断。通过控制继电器对家庭用电进行开关，实现远距离智能控制，方便了人们的生活。

2.2.2 蓝牙型智能插座

手机 APP 与蓝牙模块匹配，用户通过访问蓝牙

Android 客户端发送控制指令，指令传输到蓝牙模块后，单片机对指令的状态字进行解读，了解用户需求，并通过控制继电器来进行插座的通断或直接对灯具进行调光控制。

2.3 系统硬件设计

对于短信型智能插座和蓝牙型智能插座的主控芯片都选择 51 单片机，51 是最基本的单片机，入手很快，功能全面，足以实现本文所要实现的功能。利用 LM317 和变压器做成的可调稳压电源对单片机以及其他模块供电，通过手机 APP 给蓝牙模块或者 GSM 模块发送命令，使单片机某个引脚的电平发生变化从而控制与它相连的继电器模块的通断，再把继电器模块的常开或者常闭触点与智能插座内部的继电器的触点相连，从而实现了控制智能插座的开断的功能。短信型插座的烟雾传感器采用 MQ-2 型烟雾传感器，它对空气中的烟雾浓度具有很高的灵敏度^[3]。

2.4 系统软件设计

2.4.1 单片机软件编程

本设计中用到的单片机是 STC89C51RC，为了使编写的程序更加简单明了，采用 C 语言进行编程，用 Keil 软件进行编译，采用 stcisp 软件下载和烧录程序。

单片机编程包括 GSM 模块发送短信和接收短信，控制插座通断，检测烟雾^[4]；也包括蓝牙控制插座通断和蓝牙调光程序。

2.4.2 手机 APP 开发

下载 eclipse 软件以及 Android Tool 等 Android 手机 APP 开发软件，并且安装 java 语言等开发环境，进行 java 编程。

主要需要实现接收和发送短信的功能，以及蓝牙 APP 的开发。包括 XML 界面设计编程，按钮跳转功能编程，文本输入和文字显示编程。蓝牙方面，需要有蓝牙搜索配对功能，输入接收数据编程，还有广播申明的要求。

3 系统测试

3.1 硬件调试

首先在面包板上搭接硬件电路，进行数据测试，一切正常。之后用洞洞板焊接完成实际电路，并进行实际测试。测试中我们发现，继电器对电压和电流都有一定的需求，单片机的引脚虽然标定为 5V，但实际电流过小，无法满足开闭继电器的需求，因此经过多次试验和调整，选择利用三极管将电流放大的方法，解决了开闭继电器的问题^[5]。

同时，通过多次排查和修改，也解决了接地不稳，电阻大小不合适等一系列问题，最终实现正常工作，即插座可在控制下通断，烟雾传感器正常工作，蓝牙连接稳定，GSM 信号正常。

3.2 软件调试

在软件设计前，先把大致的程序流程理清，然后再分模块调试，将各模块部分的程序先调试可行后再整合到一起，编写主程序。

首先，需要编写短信型智能插座的程序。在程序编写过程中，需要利用 AT 指令对 GSM 模块进行设置和更改，因此具有较大难度。经过多次的修改与调试，成功编写出所需的程序，能够使 GSM 模块能在烟雾浓度大于设定值时给用户发短信，同时插座自动断电的功能。另一方面，实现 GSM 模块收到短信命令，控制插座开断的功能。

其次，需要编写蓝牙控制灯具的程序。通过程序编写，我们实现了蓝牙控制插座通断的功能，在经过多次试验后，我们发现进行调光时灯具的电压明显不够，需要一种放大设备。通过查找资料，我们选择在灯具前加 L298N 模块来进行放大，满足了电压的需求。

经过反复调试和完善，系统已经可以达到预期的效果。

3.3 数据测试

蓝牙型智能插座实物图如图 3，智能插座给 LED 灯供电，可以对进行灯的亮度进行调节。其主要方法是对灯具的供电电压进行调节，分为 5 个等级，每个等级的供电电压不同，使得灯的亮度不同，表 1 记录了不同亮度等级下供电电压的大小。

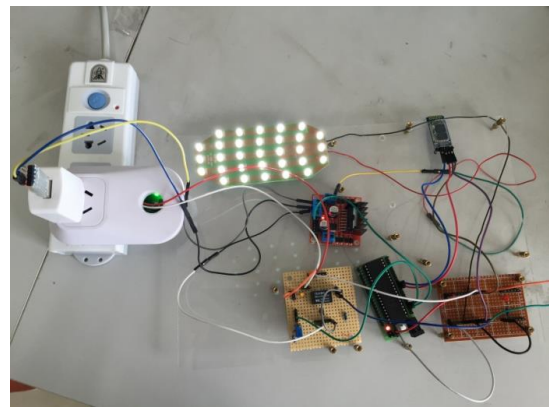


图 3 蓝牙型智能插座实物图

Figure 3 Physical map of Bluetooth smart socket

表 1 灯具亮度与电压关系

Table1 the relationship between Lamp brightness and voltage

亮度等级	1	2	3	4	5
电压 (V)	0.721	1.301	1.861	2.412	2.997

4 结论

我们已经提出了通过手机短信和蓝牙技术控制插座以实现远程智能通信的方案，其中主要应用 GSM 模块和蓝牙模块实现通信功能，应用继电器实现通断功能。此外，传感器和执行器网络的行程可以通过部署该智能插座连同其他传感器节点进入家庭环境。该远程通信智能插座的基本功能已经全部测试完毕并基本实现。实验结果表明，我们所提出的智能插座成功地实现了远程控制各类家电的基本功能，同时具备了烟雾报警和调节灯光亮度的功能，具有一定的创新性和实用性。它提供了更快、更灵活的方式来建设和部署家庭自动化网络，让人们的日常生活变得更加便利，具有良好的应用价值。

参考文献

1. 项粤生, 高瑞霞, 郭杨波, 等. 基于单片机的智能插座的设计与实现 [J]. 工业控制计算机, 2012, 25(9):129-131.
2. 郑佳宝, 郭艳玲, 汤寒宇, 等. 基于手机遥控的智能插座设计[J]. 科技创新与应用, 2015(17):56-56.
3. 聂巍, 李晓青. 智能火灾报警系统设计[J]. 信息通信, 2012 (2) :92.
4. 李忠望. 一种智能火灾报警系统的设计方案[J]. 安防科技, 2008 (2) :48-49.
5. 康华光. 电子技术基础 (模拟部分) 第六版[M].北京: 高等教育出版社, 2013.12.

基于 O2O 的外卖系统的研究*

魏一鸣；高志远；王海洋

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 本文介绍了建立三方客户端外卖系统, 实现用户注册、用户登录、用户订餐、商户更新餐品、商户确认订单、送餐员送餐等的功能。系统采用 JavaWeb 技术, 主要利用 JSP+SERVLET 来完成系统功能, 将数据储存进数据库中, 并通过 WebView 将网页内嵌进入移动客户端。最终可以完成外卖系统的整个订、配、送餐的流程, 解决订餐及送餐效率问题, 为利用具体技术实现外卖系统提供一定的参考。

关键词: O2O 订餐 外卖系统

The Research of Delivery system based on O2O

Wei-Yiming, Gao-Zhiyuan, Wang-Haiyang

(College of Instrumentation and Electrical Engineering Jilin University, Changchun 130012)

Abstract: This paper introduces the establishment of the three party client delivery system, Implementation of user registration, user login, user ordering, business update food businesses to confirm the order, delivery room. System uses JavaWeb technology, the main use of JSP+SERVLET is to complete the system function, the data stored in the database, and through the WebView will be embedded into the mobile client. Finally it can complete the whole system of order, delivery, delivery process, solve the problem of ordering and delivery efficiency, provide a reference for the implementation of delivery system using specific technology.

Key words: O2O Ordering Delivery system

0 前言

随着都市化生活节奏的加快, 许多上班族没有时间吃饭, 而外卖成了他们的首选。我国外卖市场广阔, 利用各自的优势, 针对不同人群, 中洋快餐都有生意可做^[7]。一到午饭时间, 在各大写字楼里, 都能看到送餐者的身影。事实上, 叫外卖如今已成为众多消费者, 尤其是年轻上班族习以为常的餐饮方式。

外卖系统是利用互联网将商家与用户相互联系起来的订餐平台。通过线上用户订餐, 商家接单, 线下商家送餐, 用户接收来完成整个订餐交易流程^[3]。自从外卖 O2O 这种模式的兴起, 外卖系统以其

订餐的方便快捷受到了追捧和广泛的应用。但是, 目前的外卖系统由于其只着眼于商家和用户, 建立了两者的客户端, 而忽视了送餐员这一在送餐过程中起着重要作用的对象, 难以有效地管理并鼓励送餐员, 提高效率; 采用传统打印的纸质订单, 难以利用网络将订单信息在三者之间进行流转及保存。在送餐量过大的时候, 电话依次通知效率低下。

后来随着移动互联网的发展, 外卖行业得到了飞速的发展。2009 年, 饿了么成立, 直到 2011 年, 整个行业处于萌芽的阶段。2011 年, 移动互联网正值爆发之年, 外卖行业开始进入了成长期。到了 2013 年, 饿了么开始疯狂的扩张。于此同时, 美团外卖正式成立, 转过来, 百度外卖的加入, 使整个市场的竞争更加激烈。到了 2015 年, 开始了外卖

* 指导老师: 孙彩堂

项目类型: 大学生创新项目 (2015650989)

行业的补贴大战，地推大战也愈演愈烈。2015 年后，外卖行业进入了成熟的阶段^[6]。

现如今，受追捧的外卖系统主要有饿了么、美团外卖和百度外卖。而三者的外卖系统也各不相同。饿了么客户端结构简洁清晰，子模块的深度保持在 2 层。预定早餐，夜宵，新店优惠等热门功能组成外卖置于首页，突出外卖特色，方便用户使用。相较饿了么，美团外卖的布局更为丰富，超市购和水果生鲜等热门采购置于首页，面向人群更广，不像饿了么主打简餐，提供土豪馆供不同的人群消费。百度外卖和美团外卖的结构布局相似，首页功能多，商家分类排序清晰，智能推荐的吃啥作为特色功能作为一级 Tab，方便使用^[4]。

相较于以上几种外卖系统，笔者提出一种可以有效管理送餐员及订单信息的方案。即建立商家，送餐员，用户三方的客户端，以及用于保存利于流转的存储订单信息的二维码。

1 外卖系统描述

1.1 外卖系统交易

外卖系统采用货到付款的交易模式。为的是整个订餐环节能够顺利进行，用户在进行注册时需进行电话认证，认证通过之后才能获得在外卖系统中订餐的权限。已经认证的用户自由选择所需的商品，并填写商品种类、数目的订餐信息，及地址，姓名的个人信息来确认订单。商家作为在用户下单后确认订单，制作并按照地址进行送餐，用户验明并付款。

1.2 功能流程

具体功能流程如图 1 所示

(1) 订餐者通过订餐客户端下订单。订单下达后，将具体的订餐信息发给后台服务器。

(2) 后台服务器接受订单信息之后，发送给餐馆客户端。餐馆再将确认信息以及送餐人信息发给后台服务器。

(3) 后台服务器将接收到的信息进行整理，生成二维码，并将信息和二维码发送给送餐客户端和订餐客户端。

(4) 送餐客户端将已出发信息发送给后台服务器，供订餐客户端查询。餐到之后以同样的方式发送餐到信息供订餐客户端确认。

(5) 订餐客户端确认餐到信息，反馈给后台服务器，交易结束，并将结束信息发给餐馆客户端。

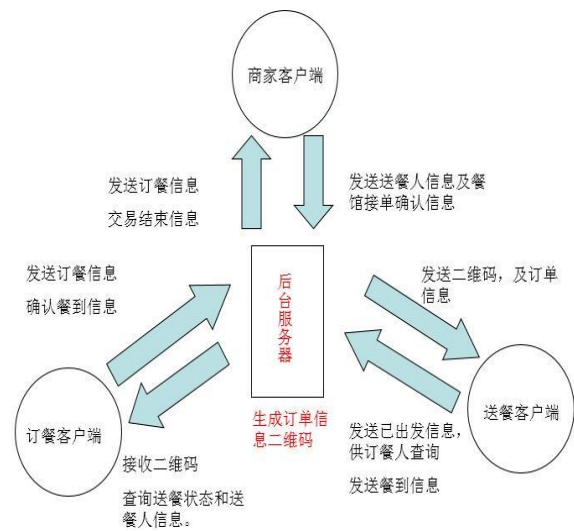


图 1 系统功能流程图

Figure 1 System function flow chart

1.3 外卖系统需求分析

根据上述对网上订餐业务的描述，网上订餐工作主要包括三个客户端呢的用户登录（注册），以及各个不同客户端的浏览、下单、处理订单等环节，因此外卖系统应能够对订餐的各环节提供如下基本的技术支持或服务（1）用户管理。为用户提供注册和登录功能，并对其应有的权限和功能进行管理。（2）发布商品信息。包括店铺、商品信息和通知等。（3）选择商品。用户通过浏览网页信息来选菜。（4）订单信息管理。用户下单，商家确认并处理订单，送餐员接受订单并送餐。

2 订餐系统的设计

2.1 商家客户端设计

如图 2 所示，商家客户端功能分为五个模块，分别是用户管理模块，餐品管理模块，订单管理模块，留言板模块及送餐员管理模块。

每个模块分别有对应不同的功能。（1）用户管理模块中对应有用户注册，用户登录及用户信息修改功能。用来确定每家商户不同的账号信息。（2）餐品管理模块对应有增加餐品，删除餐品，更新餐品，查询餐品等功能。用来向订餐者提供餐品信息。（3）订单管理模块对应具有订单确认，送餐人添加，订单查询，保存二维码功能。（4）留言板模块对应有查看留言，回复留言功能。可以对订餐的留言进行回复，提高商家的服务。（5）餐员管理模块具有送餐员雇佣，送餐员解雇功能。用来维系与送餐客户端之间的关系。

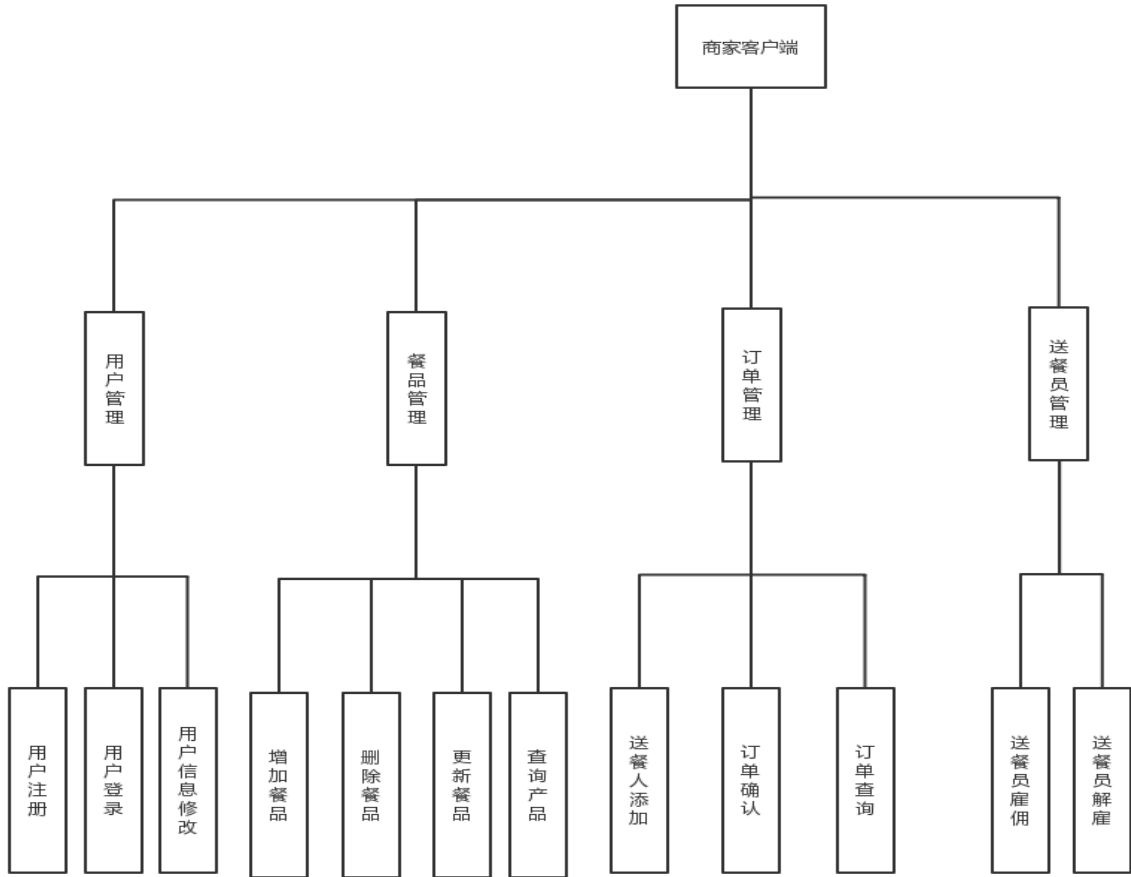


图 2 商家客户端功能框图

Figure 2 Merchant client function diagram

2.2 订餐客户端设计

如图 3 所示，订餐客户端功能分为四个模块，分别是用户管理模块，用户订餐模块，订单信息模块及交易完成模块。

每个模块分别有对应不同的功能。

(1) 用户管理模块中对应有用户注册，用户登录及用户信息修改功能。用来确认每个用户不同的账户

(2) 用户订餐模块对应浏览系统及购物车，

浏览系统中具有商家及菜品简介，商家具体信息，评价，菜品信息功能，购物车具有添加至购物车，益处餐品，清空购物车，确认餐品功能。用来完成最主要的订餐环节。

(3) 订单信息模块对应具有查询订单，保存二维码功能。可以将二维码保存下来作为订餐的凭证。

(4) 交易完成模块具有餐到确认及评价的功能。完成整个送餐流程，及对商家进行反馈，提供餐品和送餐员服务评价。

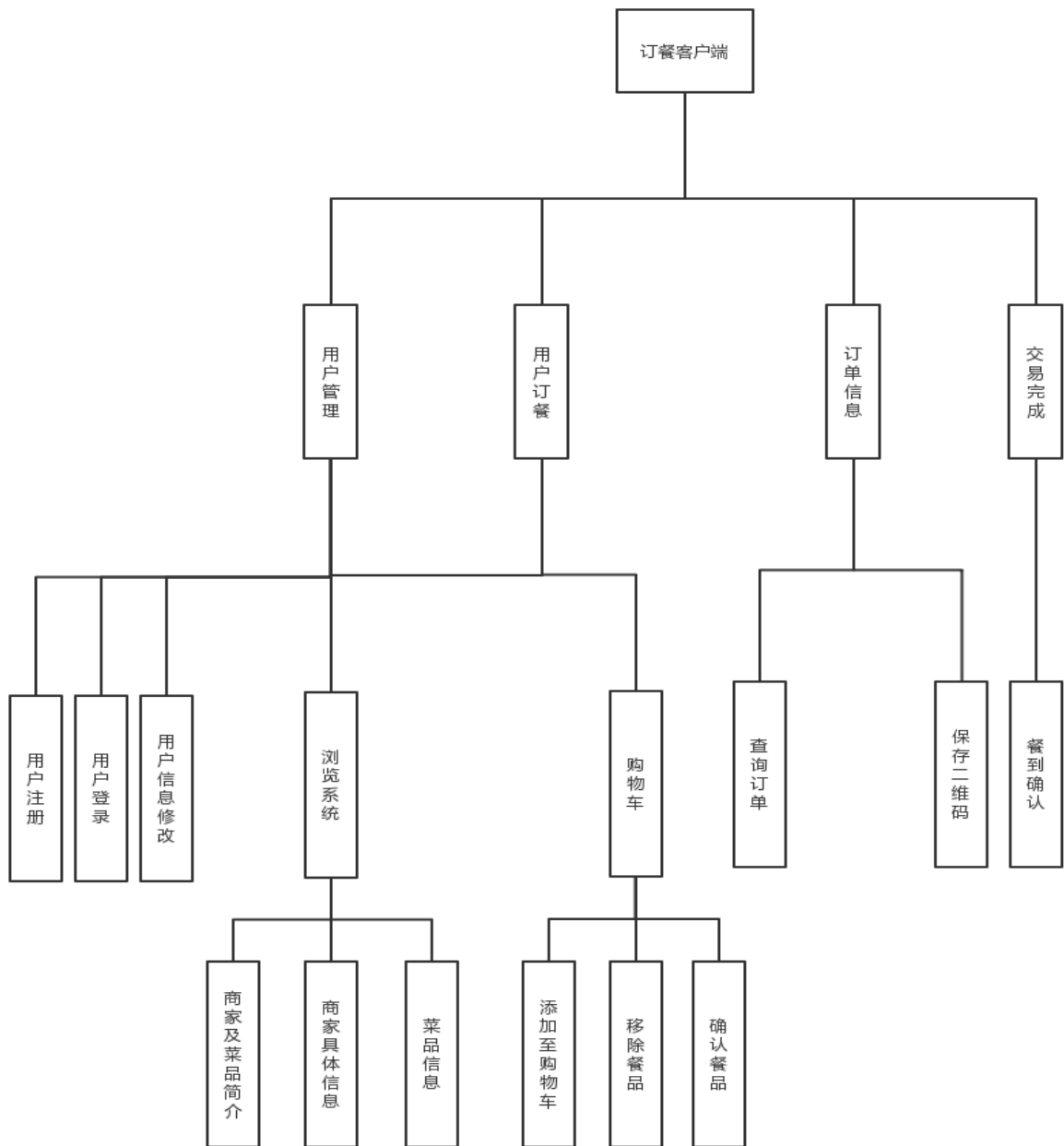


图 3 订餐客户端功能框图

Figure 3 Ordering client function chart

2.3 送餐客户端设计

如图 4 送餐客户端功能分为三个模块，分别是用户管理模块，送餐管理模块和订单查询模块。

每个模块分别有对应不同的功能。(1) 用户管理模块中对应有用户注册，用户登录，用户信息修

改及商家归属的功能。用来确认订餐员不同的账号信息。(2) 送餐管理模块对应有用发送已发出信息，送餐到信息等功能。用来提高送餐时的效率。(3) 订单查询模块具有查询订单内容的功能。用来在送餐阶段，送餐员进行地址查询的功能。

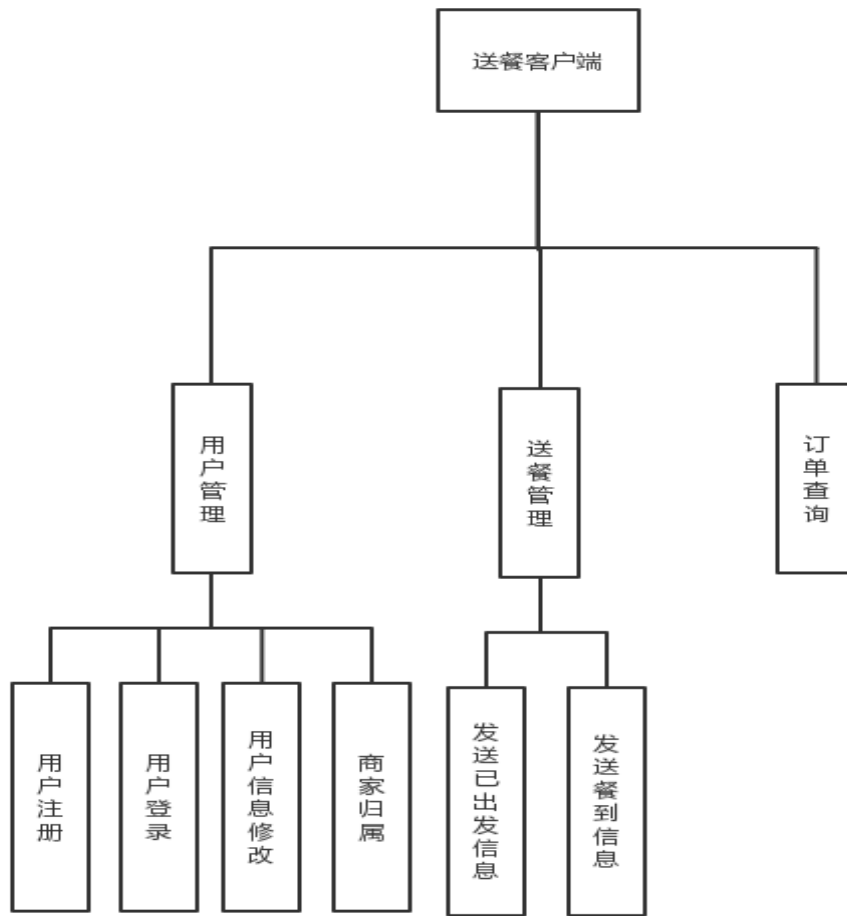


图 4 送餐客户端功能框图

Figure 4 customer service function chart

2.4 核心技术

采用 J2EE 的架构，利用 JavaWeb 技术，建立网站和后台服务器，再通过 WebView 将网页内嵌进入移动客户端，数据库采用 mysql，来储存处理所需要的数据，最终完成整个外卖系统的设计。

餐厅客户端和后台通过 JSP+SERVLET 来实现整个的功能。采用 Tomcat 服务器作为整个系统的服务器，通过 Servlet 交互数据（读取请求，处理请求访问数据库，发送数据），生成动态 Web 内容，每当服务器再接收到一个 Servlet 请求产生新线程，在这个线程中让 Servlet 对象调用 Service 对象检查 HTTP 请求类型（get, post），并在 service 方法中根据请求类型调用 doGet, doPost 方法，完成用户交互操作^[3]。

移动客户端同样通过 JSP+SERVLET 的技术，放入进 Tomcat 容器。然后在安卓客户端（送餐 APP 和订餐 APP）中，通过 Webview 将网页嵌入当中，

并在 Activity 中获得 webview 的引用^[3]。当启动客户端时，加载服务器的相应网址，然后完成订餐当中的注册、登录、查看订单等操作^[4]。

数据库和客户端之间的数据交换主要通过 JDBC 来进行，建立相应的，对数据库进行操作的 Servlet,然后在 Servlet 当中写入对 mysql 数据库进行操作的语句。在实际流程当中，商家、订餐者、送餐员的生成的实体可以通过调用对数据库操作的 Servlet 来改变相应存储的数据^[5]。

二维码的实现采用开源的技术，利用 QRCode。在外卖系统的工程当中，导入名为“core”的和 Qrcode_swetake.jar 包^[2]。在相应的对订单生成二维码的 Servlet 当中，通过调用两个 jar 包中生成二维码的方法，将需要的数据生成所需要的二维码图片。然后在 JSP 中需要显示二维码的地方，通过 imageIO 流将生成的二维码显示出来。

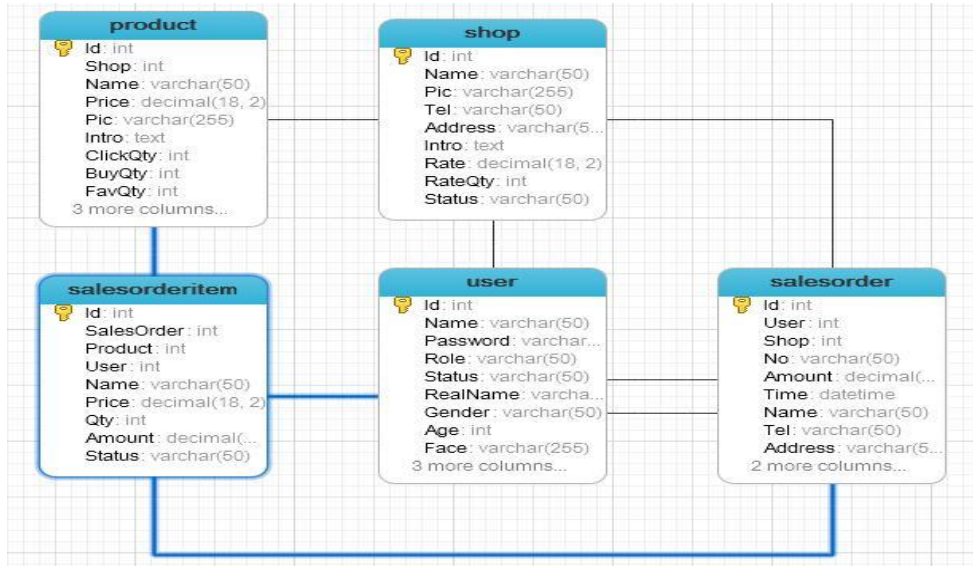


图 5 数据结构

Figure 5 data structure

2.5 系统业务流程

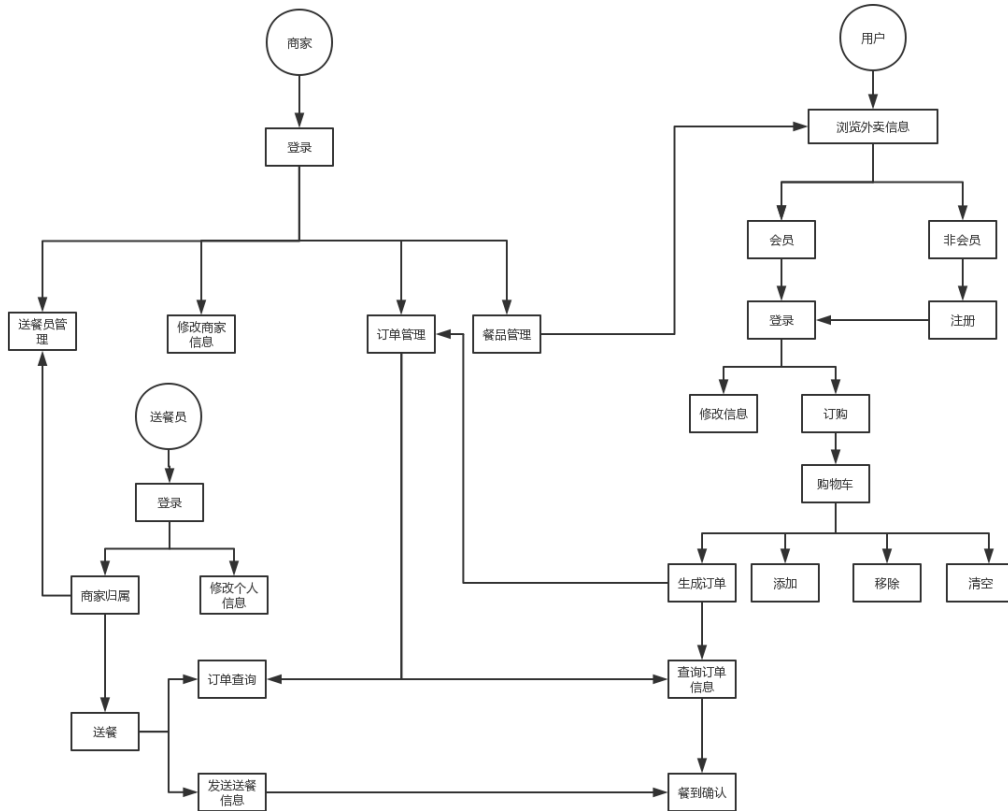


图 6 系统业务流程图

Figure 6 system business flow chart

如图 6，系统业务流程如图。

用户可以浏览商家提供的餐品信息，用户通过注册登陆可以进行修改信息及订购将餐品加入购物车，对购物车进行操作确认后生成订单发送至商家。商家同时将订单信息发送至送餐员。（商家通

过登录可以实现对送餐员，留言板，餐品及订单的管理。）

送餐员登陆后查看订单信息进行送餐，餐到后发送送餐信息，餐到确认。最后用户进行评价。

3 功能界面

如图 7 所示为网站及商家管理系统，可以在该系统添加商家信息，实现对商家的管理。



图 7 商家管理界面

Figure 7 Business management interface

如图 8 所示，商家可以在餐品管理界面修改餐品信息，同时也可以送餐员管理等界面添加、派遣送餐员。



图 8 餐品管理界面

Figure 8 Food management interface

如图 9、10 所示，用户登录手机 APP，进入商家进行下单，将所需的餐品添加至购物车，完成下单流程。



图 9 选择商家界面

Figure 9 Choose a business interface



版权所有© XXXXX

图 10 购物车界面

Figure 10 Shopping cart interface

如图 11 所示，商家登录客户端，对用户订单进行确认并指派送餐员。



图 11 确认订单界面

Figure 11 Confirm the order interface

如图 12、13 所示，送餐员登录送餐 App 进行确认订单，送到后发送餐到信息。订餐人收到后确认订单，交易完成，生成订单信息二维码作为交易凭证，完成交易。



图 12 送餐员界面

Figure12 Sender client interface



图 13 完成订单界面

Figure 13 Shopping cart interface

4 总结

不同于如今的外卖网站和客户端，本外卖系统基于外卖的三方，更好地确定餐馆、订餐者、外卖员之间的关系及责任。在订单确认，外卖开始运送之后，外卖员的责任就开始确立起来，而餐馆多采用雇佣外卖员的方式。而针对外卖员设立外卖员账户，有利于餐馆更好地管理供职的各个外卖员。而外卖员从一家餐馆离职之后，还可以与其他餐馆进行绑定。不同的外卖员获得不同的送餐反馈，这样就可以提高外卖员的效率。

不同于如今的外卖网站和客户端，在订单下达之后，会给订餐者二维码作为日后起纠纷的凭证。二维码内的信息主要包括：订餐的内容，下单时间，下单用户，餐馆信息，接单时间，外卖员信息等等。

为了节省外卖员在楼下发送信息以及打电话的时间，解决由于电话信号不好，导致无法接收外卖电话

的问题，在外卖员客户端中可以一键向指定的订餐者发送客户端“餐已到达，请取餐。”的消息，等待订餐者确认。这样就节省了外卖员在等待订餐者取餐时的时间，使外卖员能够将时间利用率最大化，专心地送外卖。

5 结论

本文对整个外卖系统的实现进行了阐述，结合订餐流程对平台进行了功能需求分析，设计了系统的总体架构以及具体功能，分析了业务流程，完善了外卖系统，能够为利用具体技术实现外卖系统提供一定的参考。

参考文献

1. 徐凤,邓楠,王鹤翔,赵博雅. 基于 MOSS 的网上订餐系统的设计与实现. 《计算机光盘软件与应用》,2013(6).
2. 胡桂珍.O2O 模式在我国餐饮企业中的应用研究[J].中国商贸, 2013(7).
3. 飞思科技产品研发中心.JSP 应用开发详解(第二版)[M].北京: 电子工业出版社, 2004.
4. 张响, 杨三成. 关键技术: JSP 与 JDBC 应用详解[M].中国铁道出版社, 2010.11.
5. 祝定泽,张海,My SQL 核心内幕[M].北京: 电子工业出版社.2009.11: 35-50.
6. 张新曼.精通 JSP-Web 开发技术与典型应用[M].1 版.北京: 人民邮电出版社,2007: 2-1.
7. 影视门. 2016 餐饮外卖行业的发展趋势? [EB/OL]. <http://mt.sohu.com/20160101/n433239874.shtml>, 2016-01-01
8. CherLee.饿了么&美团外卖&百度外卖&口碑外卖竞品分析报告 [EB/OL]. <http://www.chinaz.com/manage/2015/1105/466594.shtml>.

基于 GSM 的智能浇花器设计*

冷 彤；秦绪键；杨兴林

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130022)

摘要：本项目主要通过 YL-69 湿度计进行土壤湿度的测量，然后由 ADC0832 将湿度信息存入 51 单片机，再通过 NRF24L01 进行无线传输将不同测点间信息传输汇总，并利用 GSM 实现信息的传输与控制，最后手机上的 APP 程序将信息提取绘制成表格，使用户能直观的看到自己的花卉的环境情况，并还具有可以用手机控制浇水方式的功能。

关键词：无线传输 GSM APP

GSM-based intelligent design watering

Leng Tong; Qin Xujian; Yang Xinglin

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: This project mainly through the YL-69 hygrometer for soil moisture measurement, and then by the ADC0832 the humidity information into the 51 single-chip, and then through the NRF24L01 wireless transmission of different data transmission between the summary, and the use of GSM to achieve information transmission and control, The last mobile device on the APP program will extract the information into a table, so that users can intuitively see their own flower environment, and also has a mobile phone can control the way watering function.

Key words: Wireless transmission GSM APP

0 前言

现如今，天然植被越来越少，盆栽花卉种植兴起，智能浇花器也因此产生。智能浇花器是采用一定的电子设备，来检测和控制土壤的湿度^[1]。目前，市场上的智能浇花器一般为全自动定时浇水器或湿度检测自动浇水器，同时电脑控制的大规模灌溉系统也已经产生。本项目利用 51 单片机编程、GSM 通讯技术、NRF24L01 无线收发技术以及手机 APP 编程实现手机监控的智能浇花器的设计。

GSM 实现信息的传输与控制，最后手机上的 APP 程序将信息提取绘制成表格，使用户能直观的看到花卉的环境情况。另外，该系统还具有用手机控制浇水方式的功能。项目研究内容主要包括四部分：单点数据信息采集；不同测点间信息传输汇总；基于 GSM 的信息传输与控制；基于 APP 的手机控制软件。总体技术路线图如图 1 所示。

1 系统设计

1.1 系统结构

本项目主要通过单点测量土壤湿度，通过无线传输的方式将不同测点间信息传输汇总，并利用

*指导老师：万云霞

项目类型：大学生创新项目(2015650992)

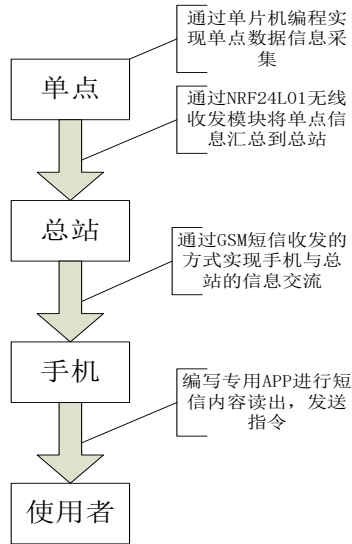


图1 总体技术路线图

Fig. 1. The overall technology roadmap

1.2 器件选择

(1) 湿度传感器: YL-69 是一个简单的土壤湿度传感器, 其原理为湿敏电容, 当环境的湿度发生改变时, 会使得湿敏电容存在的环境中的介质发生改变, 导致湿敏电容中的电容数值产生变化, 电容的数值正比于湿度值。由于湿敏电容有着很高的灵敏度、响应速度快、滞后量小的特点, 所以湿敏电容很容易小型化和集成化。在本系统中, 土壤湿度数据的采集是由 YL-69 完成的^[2]。

(2) A/D 转换: ADC0832 电路连接简单, 只需要三根线与单片机连接, 即可完成 AD 转换。加之, 其有着性价比高、耗能低的特点, 适合使用在小型的智能设备中。ADC0832 是 8 位分辨率的, 其分辨率最高级能够达到 256 级, 能满足本项目设计要求。

(3) 继电器选择: 设备在设计过程中需要一个继电器来控制电磁阀的工作。由于工作电压需要 5V 左右, 并且成本相对而言比较低, 所以选择了型号为松乐 SRS-05VDC-SL 型号的继电器。

(4) 无线传输模块的选择: 在多种无线传输方式中, NRF24L01 功耗低, 在以 -6 dBm 的功率发射时, 工作电流也只有 9 mA; 接收时, 工作电流只有 12.3 mA, 多种低功率工作模式(掉电模式和空闲模式)使节能设计更方便。因此, 通过 NRF24L01 建立无线传输。

(5) GSM 模块的选择: 在 GSM 网络日臻完善的今天, TC35i 的应用较为广泛, 易于集成, 系统开发成本低, 开发时间短。因此, 本系统采用 TC35i 实现短信通信功能。

1.3 系统硬件结构图

从系统结构和器件构成可知, 本系统的组成部

分较多, 包括手机 APP、短信收发模块、总站 51 单片机、无线收发模块、单点 51 单片机等, 其具体构成与连接关系如图 2 所示。

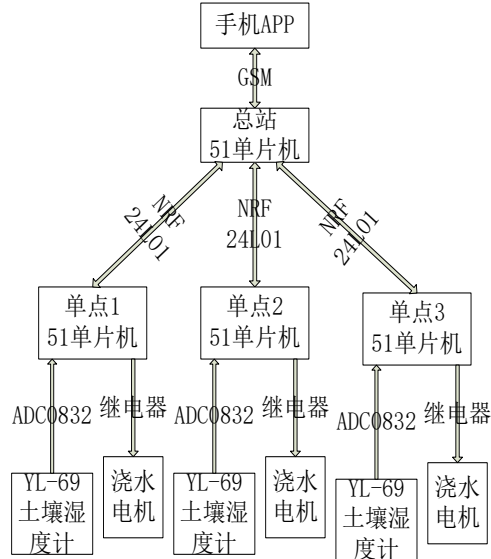


图2 系统硬件结构图

Fig. 2. System Hardware Structure

2 单点数据信息采集

单点单片机具备以下功能:

(1) 浇水器实现浇水动作的工作模式分为两类: 通过监测花盆土壤的湿度, 当湿度低于预设的数值时, 可以实现自动浇水; 设置时间自动浇水。不同的工作模式的控制实现不同的土壤湿度控制。

(2) 本系统可以对使用者发送过来的指令产生相应的响应, 进行相应的功能切换。

2.1 单点电路工作流程

通过土壤湿度由 YL-69 湿度计进行采集, 然后通过 ADC0832 进行模数转换将湿度信息读入单片机, 然后与当前设置的工作模式进行对比, 通过继电器控制浇水电机的工作。

2.2 浇水电机控制电路

浇水电机的转与停直接由继电器控制, 继电器又由单片机的输出控制, 浇水电机的控制电路如图 3 所示, 当 Q2PNP 型三级管的 b 基级低电位时, 三极管导通, 继电器控制 K1 单刀双掷开关向右边偏离, 电机 M 水泵通电, D2 的 LED 灯亮起, 水泵开始工作。

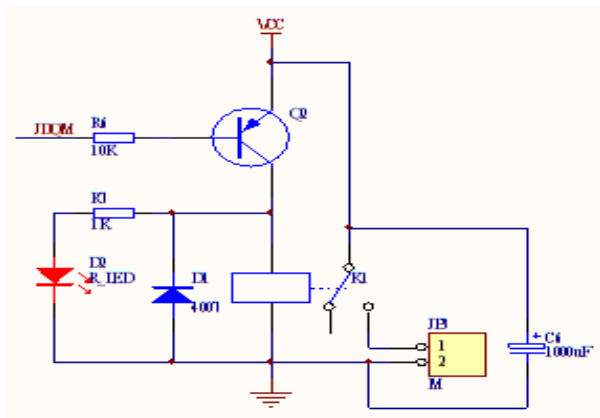


图3 浇水电机控制电路

Fig. 3. Watering motor control circuit

3 基于 GSM 的信息传输与控制

3.1 GSM 模块的选择

目前, GSM 是移动通讯体制中比较成熟、完善、应用最广泛的一种系统。

(1) 使用 GSM 进行信息传输的覆盖范围广。在我国 GSM 蜂窝数字移动通信系统已经遍布全国各地, 覆盖全国 98% 以上的城市和广大农村地区。

(2) GSM 模块 TC35i 有着良好的应用前景。随着全球移动通信系统和通信网络的迅速普及以及竞争的日益激烈。新技术和新业务的开发和应用十分重要。如果把 TC35i 模块与单片机结合, 就可以实现单片机上的数据远距离传输, 这在现实的应用中是十分有用的。

(3) TC35i 的使用较为简单。TC35i 的电路设计十分简单, 只需要进行少量的线路连接即可使用。TC35i 的系统的软件设计以 C 语言编程为基础, 简单的 AT 指令即可实现短信收发。

所以, 总站与手机之间的信息传递最终选择 GSM 模块进行^[3]。

3.2 GSM 模块的工作流程

GSM 模块会将总站的信息通过短信的形式发送给用户, 同时将用户发来的信息传给总站。GSM 的短信业务 SMS 利用信令信道传输, 不必拨号建立连接, 把要发的信息加上目的地址发送到短信服务中心, 经短信服务中心存储后再发送给信宿^[4]。

3.3 GSM 模块的设计

TC35i 模块与 PC 机联机测试成功后, 将 TC35i

模块与 51 单片机连接, 通过程序编写把 PC 机的指令转化为单片机能识别的指令, 然后进行软件调试来实现短信收发功能。因此, 通过使用 RS232 接口与 PC 机连接, 再通过串口调试软件即可实现 TC35i 模块的短消息发射操作^[5]。

4 无线收发

4.1 无线收发模块的选择

本系统采用无线收发出于以下几点考虑:

(1) 本系统的服务对象是多盆花, 需要信息汇总后再与手机建立联系, 因此设置了总站进行单点信息汇总;

(2) 单点之间有一定的间隔, 甚至分布在不同房间, 总站建立后与单点之间通过有线传输进行信息交流并不方便。

(3) 家庭养殖的花卉有一定距离, 但也不会太远, 若使用无线模块进行信息汇总, NRF24L01 的传输距离可达到数十米到上百米, 若增加功放芯片, 可达上千米^[6], 完全可以覆盖整个家庭。

4.2 单点无线信息传输

由于土壤湿度信息的采集是周期的, 所以需要设置一个时钟。而信息交流在单点与总站之间进行, 单点与单点之间不存在信息交流, 所以将时钟设置在总站 51 单片机中, 这样更利于系统同步。

如图 4 所示, 单点处的 NRF24L01 闲置时应当处于接受模式, 随时准备接受总站发送过来的指令。单点应当对总站的不同指令做出不同相应:

当总站时钟满周期时, 总站会向单点发出指令, 单点接收到后, 切换为发送模式, 并向总站发送当前的湿度信息, 发送完毕后切换回接收模式, 等待总站的下一个指令。

当总站接受到 GSM 的模式切换指令后, 会向单点发送模式切换指令, 单点接收到指令后回改变浇花器的工作模式, 然后继续等待总站的下一个指令。

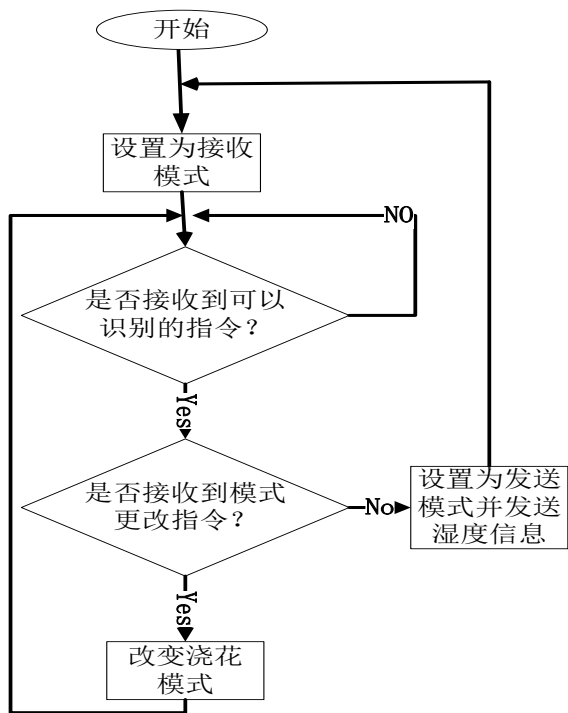


图 4 单点 NRF24L01 工作流程图

Fig.4. Single point NRF24L01 working flow chart

4.3 总站无线信息传输

总站无线信息传输工作流程比单点处复杂的多，这是因为每个单点只与总站通信，但总站要与多个单点进行通讯，同时还要与 GSM 模块进行通讯。总站无线信息传输工作模式如图 5 所示。总站中需要设置一个时钟，这个时钟作为整个系统的时钟。

首先，要对是否接收到短信进行判断，如果从 GSM 模块接受到更改模式模式的指令，则直接向三个单点发送模式更改指令，每个单点读出自己对应的单点的模式信息，做出相应模式变换，之后再继续判断是否收到短信。

若未收到短信命令，则进行时钟判断。如果时钟未满足周期，则返回上一步，继续进行短信命令判断。如果时钟满足周期，则总站切换为发送模式，向单点 1 发送指令，命令单点 1 切换为发送状态并向总站发送土壤湿度信息，同时，总站切换为接收模式，等待接受单点 1 发送过来的土壤湿度信息，接收到后，切换为发送状态，依次对单点 2、单点 3 进行同样操作。全部单点湿度信息采集完成后，则返回判断是否接受到短信命令，开始下一个周期循环。

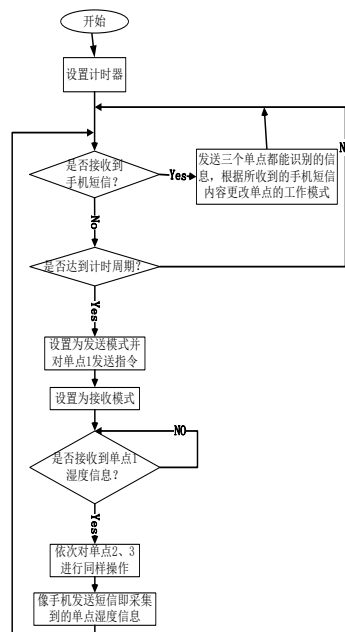


图 5 总站 NRF24L01 工作流程图

Fig.5. Terminator NRF24L01 working flow chart

5 APP 部分

5.1 界面介绍及功能

(1) 主界面介绍

主界面右侧为三盆花卉的湿度显示刻度盘，湿度信息为最近一次接收到的数据。并配有三个按钮于左侧，用于分别控制三盆花卉的浇花器的工作模式^[7]。主界面如图 6 所示。

(2) 主界面湿度信息的实时更新

在接收到短信后，随即进行刷新湿度仪表盘操作^[8]。

(3) 退出应用提示

用户在主界面时，若点击物理返回键时，会跳出由 AlertDialog 显示的提示信息，若不想让程序后台运行，即不想让应用程序接收任何湿度数据，可点击“OK”，否则点击“Cancel”^[9]。退出提示界面如图 7 所示。

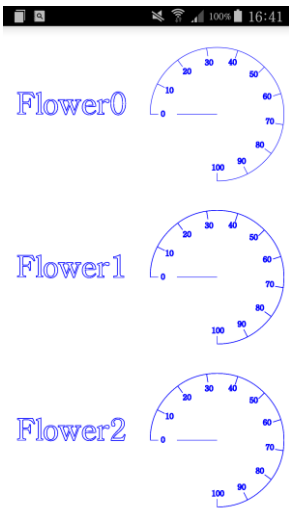


图 6 主界面

Fig.6. Main interface

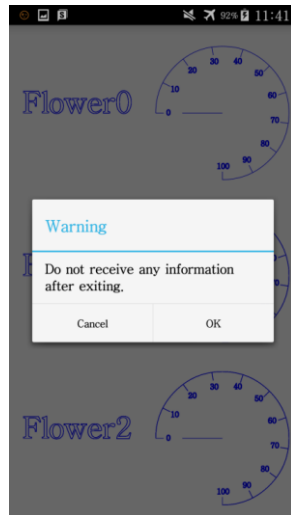


图 7 退出提示界面

Fig.7. Exit the interface

(4) 浇花器工作模式选择

选择工作模式界面采用带单选列表项的对话框进行控制，用户可点击列表里不同工作方式，随后应用程序即可发送控制命令短信到总站（无需用手机自带短信应用），实现模式的切换。列表右侧蓝点可记忆切换前模式。模式切换界面如图 8 所示，浇花器模式包括自动和周期浇水。

用户点击后会出现由 ProcessDialog 提供的“正在切换”的提示，如图 9 所示。此时表示应用程序正在发送短信到总站。

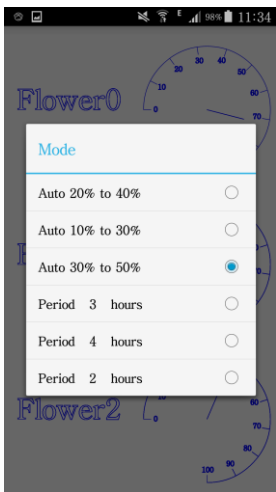


图 8 模式切换界面

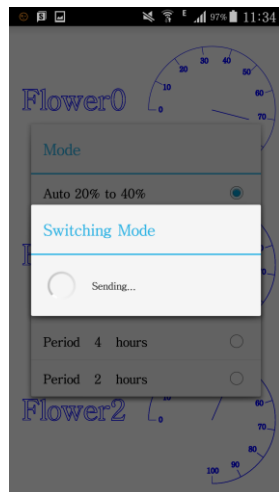


图 9 发送过程界面

Fig.8. Mode switch interface Fig.9. Send the process interface

短信发送结束后，有两种情况，即成功或失败。发送后在屏幕下方显示由“面包条”提供的发送状态提醒。若成功，如图 8 所示，应用程序会记忆切换后的状态，用户不可重复点击同一项；若由于信号、欠费等原因发送失败，如图 9 所示，应用程序不会记忆模式的切换，用户可再次点击同一项再次尝试发送。此举保证了手机上记忆的当前工作模式

与家中浇花器的实际工作模式相同步^[10]。

(5) 湿度信息汇总折线图

该界面以折线图的方式显示各个时间节点的花卉土壤湿度值^[11]，如图 10 所示。

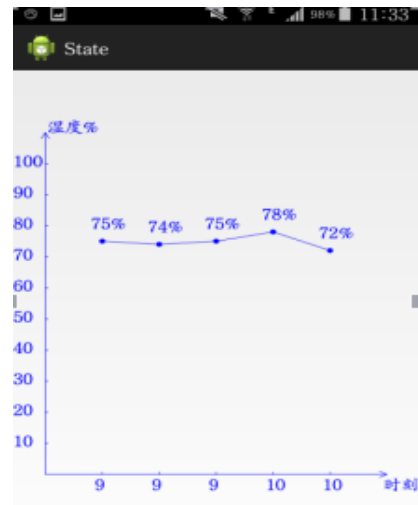


图 10 湿度折线图

Fig.10. Humidity line chart

6 结论

整个系统可以完成以下功能：

- (1)单点浇花系统可以完成土壤湿度采集，并且可以根据当前所处的模式完成对应的浇水功能。
- (2)NRF24L01 模块可以实现多机半双工通信，即总站可以定时获得每一个单点的湿度信息，并且可以调节单点的工作模式。
- (3)手机可以通过 APP 监测花卉土壤湿度信息以及改变浇花器的运行模式。

参考文献

1. 张兆朋.基于 AT89S52 的家庭智能浇花器的设计.电子设计工程.2013,5:39.
2. 岳学军, 刘永鑫, 洪添胜, 王叶夫, 全东升, 陈柱良.基于土壤墒情的自动灌溉控制系统设计与实验.农业机械报.2015, S2:241
3. 江杰, 宋宏龙.基于 GSM 短信的烟雾传感报警系统.测控技术.2014, 1:1
4. 林添成, LINTian-cheng. 基于 GSM 的远程家居控制系统[J]. 装备制造技术, 2010(5):75-76.
5. 朱丹. 基于 GSM 短信模块的家庭防盗报警系统[J]. 绍

兴文理学院学报, 2010, 30(10):69-72.

6. 李世红. 基于 nRF2401 的多点无线温湿度报警系统的设计[J]. 温州科技职业学院学报, 2015(2):53-57.
7. 郭霖. 第一行代码. 北京: 人民邮电出版社, 2013
8. 孙燮华. Java 程序设计教程. 北京: 清华大学出版社, 2008
9. 孙涛. Java 语言程序设计实践教程. 北京: 清华大学出版社, 2012
10. 陶阳. 基于 Android 平台的 APP 设计与实现[J]. 电脑编程技巧与维护, 2014(9):23-27.
11. 汪永松. 安卓手机 APP 开发套路之信息处理[J]. 电脑编程技巧与维护, 2014(20):57-62.

自习室信息采集与显示系统的设计*

张荣光；高 辉；屠志天；王世隆

(吉林大学 仪器与电气工程学院 长春 130022)

摘要：为了能实时监测教室人数、温度，方便同学们快速准确的找到适合学习的自习室，设计了一种基于 WiFi 技术，用于统计教室人数、温度且能够进行实时查询的系统。该系统由三个部分组成：信息采集部分、信息传输部分、分析显示部分。信息采集部分包括统计人数，采集教室温度，确定教室的使用情况，信息传输部分将各个教室采集到的信息传输到控制中心，分析显示部分通过将收集到的信息进行整理分析，最终利用网站将各个教室的信息显示出来。同学们可以很方便地在手机、电脑等终端上登录网站，查询到各个自习室的信息。

关键词：自习室 校园网 室内人数统计

Information collection and display system in the study room

Zhang Rongguang; Gao Hui; Tu Zhitian; Wang Shilong

(College of instrumentation and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to monitor the population and temperature of classroom, a system based on WiFi has been designed to count the number of people. The system consists of three parts. Information collecting part, information transmission part and analysis part. Information collecting part comprises a number of statistics to determine the situation of classroom. Information transmission part transmitted the collected information to control center. The analysis part analyses collected information and use the website to display the information of each classroom. Students can easily log on site through computers and mobile phones to know the information of each study room.

Key words: Self-study room Campus network Indoor number of people

0 引言

教室作为大学生最为熟悉的学习场所，其环境的优劣直接关系到学生的学习效率。教室人数统计系统作为出勤率统计的辅助系统，一方面，服务于教师，使教师能将精力集中于教学活动而非出勤率考量活动；另一方面，便于学校管理部门实时获得教室利用率等信息，从而合理安排教室资源，同时也有助于同学快速了解教室使用情况。在现阶段，国内外在统计人数方面采取的技术主要有：一种基于人脸检测的人数统计技术^[1]，这种技术计算量大影响统计速度，同时统计误差较大；另外，应用较多的是红外线感应人数统计

技术，这种技术检测设备简单，速度灵敏，在本设计中采用相似的技术，并且做了相关改进使得精度更高。在数据传输方面可以采用的技术有 ZigBee 无线技术^[2-3]，但是，这种技术传输距离受限制。在本设计中利用校园网，通过 WiFi 模块实现数据传输。在数据显示方面，自己搭建网站，建立数据库实现数据的分析与显示，用户通过登录网站即可快速了解到自习室的信息。

1 总体设计方案

整个系统可分为三大部分：第一部分主要是获取自习室的信息，包括人数，温度，自习室的使用情况。第二部分主要是将测量到的数据传输

* 指导老师：王世隆

项目类型：大学生创新项目(2015650990)

到服务器。第三部分主要是搭建网站，将采集到的数据显示在网站上。总体硬件结构图如图 1，总体软件结构图如图 2 所示。

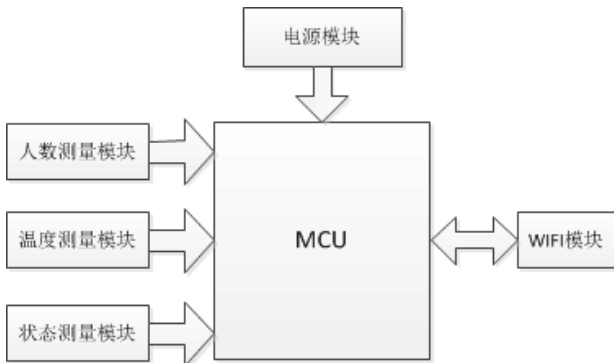


图 1 总体硬件结构图

Fig.1 Overall hardware structure

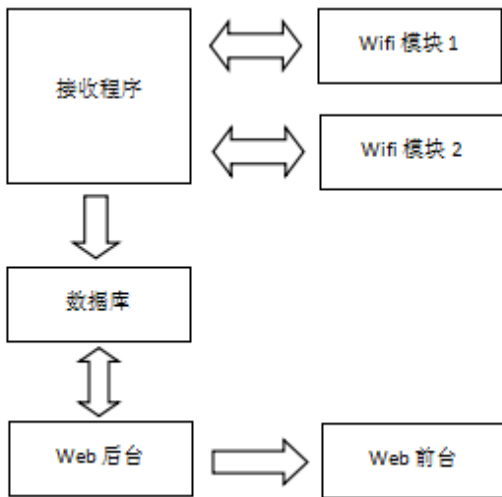


图 2 总体软件结构图

Fig.2 Overall software structure

2 硬件设计

2.1 人数统计模块

在统计人数时采用对射式红外光电开关。对射式红外光电开关由发射器和接收器组成，其工作原理是：通过发射器发出的红外光线直接进入接收器，当被检测物体经过发射器和接收器之间阻断光线时，光电开关就会产生开关信号。在该系统中采用两组对射式红外光电开关，通过检测人体经过两组光电开关的次序及时间，从而判断人进出的方向，利用编程实现人数的统计。人数统计算法如图 3 所示。

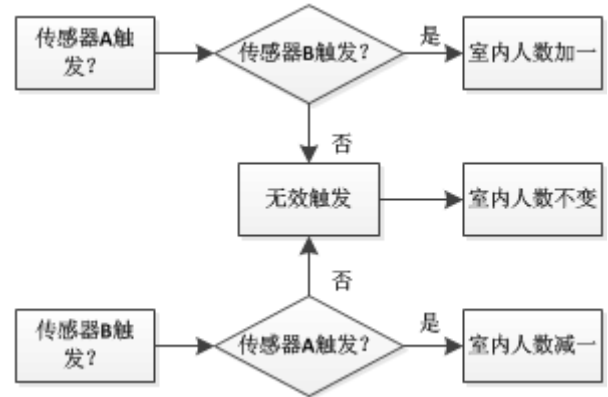


图 3 人数统计算法

Fig.3 Statistical flow chart

2.2 温度采集模块

测量温度时采用数字输出型集成温度传感器 DS18B20^[4]。其内部的低温度系数振荡器能够产生准确而稳定的频率信号 f_0 ，而高温系数振荡器则将被测温度转化为频率信号 f_0 。当计数器打开时，DS18B20 对 f_0 进行计数，而计数器的开通时间则由高温系数振荡器决定。

2.3 数据传输模块

在进行数据传输的时候采用 ESP8266 串口 WIFI 无线模块。目前市场上出售的 ESP8266 无线 WiFi 模块有 8 个引脚，在使用时 VCC 和 GND 分别接 3.3V 电源的正极和地，UTXD 和 URXD 为其串口发送和接收引脚，分别接单片机的 RXD 和 TXD，最后还要将 CH_PD 引脚与 VCC 相连，而剩余的三个引脚悬空即可。同时，需要对 ESP8266 进行一系列初始化。将其与 USB 转 TTL 模块相连，并连接到电脑的 USB 口上，通过电脑上的串口调试助手可以给 ESP8266 发送一系列 AT 指令对其进行设置。AT+CWMODE=1 指令用来设置工作模式为 1，其中 1 是 STA 模式，即作为客户端模式；2 是 AP 模式，即作为接入点模式；3 是两者同时具有。这里选择客户端模式。下一条指令是 AT+CWJAP="JLU.PC", ""，它的作用是让 WiFi 模块连接上校园网，第一个参数是需要连接的网络名称，第二个是密码，如果没有密码就为空。只要连接上一次，WiFi 模块就可以记住此连接，下次开机时就可以自动连接。到此 ESP8266 的初始化工作已经结束。接下来就可以将其与单片机相连。最后 WiFi 模块将数据传输到服务器上还需要根据 IP 地址连接到相应的主机上。相关指令 AT+CIPSTART="TCP", "202.198.156.55", 8080，第一个参数是采用 TCP 的方式连接，第二个参数为需要连接的主机 IP 地址，第三个参数为需要连

接的主机的端口。成功连接到主机上后就可以发

送信息了。实际硬件电路图如图 4 所示。

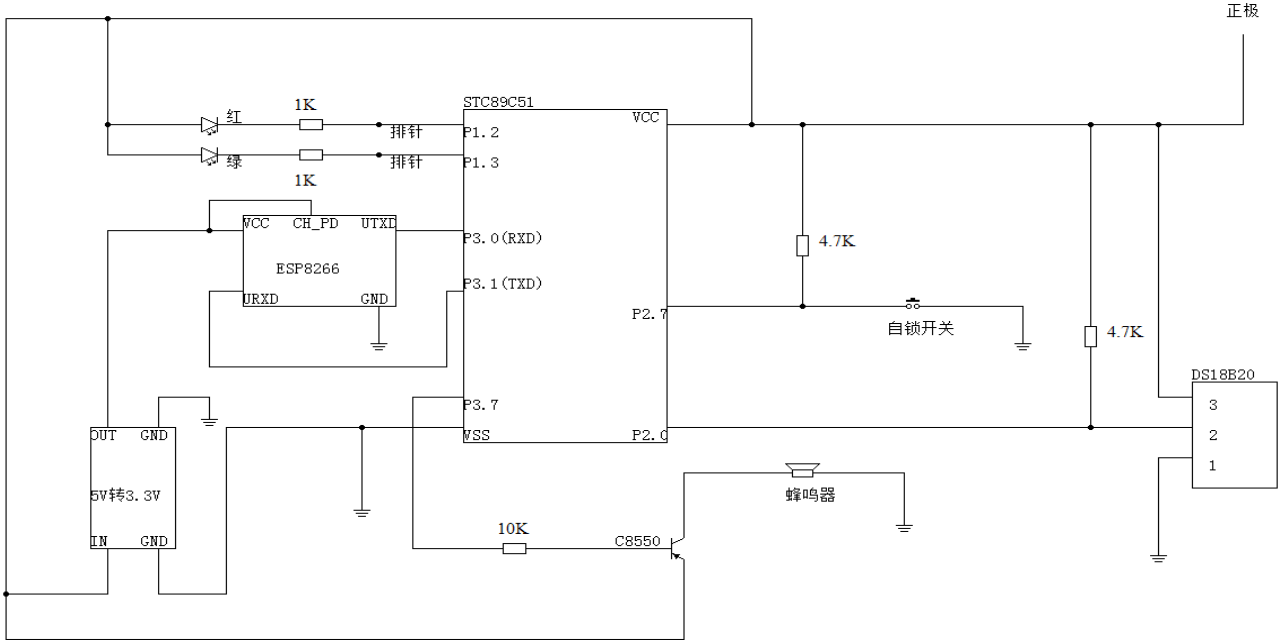


图 4 硬件电路图

Fig.4 Circuit diagram

3 软件设计

3.1 数据传输

局域网 (Local Area Network, LAN) 是指在某一区域内由多台计算机或移动设备互联成的网络。一般情况下, 两个局域网之间是互相不可见的, 即不同局域网之间是无法互相访问的。

就校园网而言, 每个教室都可以搜到无线 WiFi, 但是这样的网络只是一个局域网, 如果把服务器搭建在这样的环境下, 那么其它教学楼里的设备就无法访问到此服务器了。因此要想每个硬件设备都能将数据传输到服务器, 服务器就需要有一个公网 IP。但是服务器又不能完全搭建在外网中, 因为一方面访问外网很慢, 很难实现数据的实时更新; 另一方面校园网设备要想访问外网需要经过客户端认证, 且每个账号只能登录一次, 单片机性能很弱, 根本无法运行客户端, 也就无法访问外网。

本系统利用校园网的特点, 在校园网内使用公网 IP 搭建服务器, 所以任何一个连入校园网的设备都不需要登录就可以访问到此服务器, 从而实现数据的实时传输。

3.2 电脑端数据接收程序

WiFi 模块通过校园网将数据传输到电脑时, 电脑端需要一个程序来接收 WiFi 模块发送过来的数据并保存下来。此程序的设计使用 Java 语言, Eclipse 作为开发工具, 是基于 TCP/IP 协议的 socket 网络编

程。具体工作流程为: 绑定本机端口, 等待 WiFi 模块的连接, 每当一台设备连接进来就为此设备开辟一条线程单独进行处理, 采用 TCP 进行数据传输, 根据传输过来的数据实时更新数据库, 每隔一段时间就将实时数据单独保存一次, 作为历史记录。接收程序逻辑框图如图 5 所示。

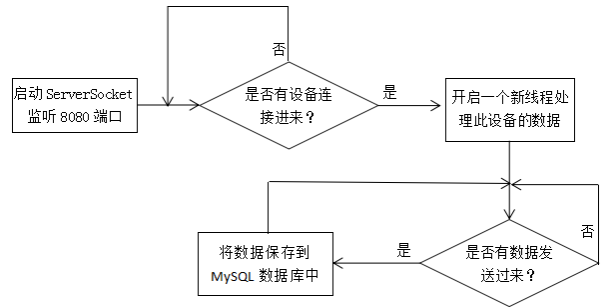


图 5 接收程序框图

Fig.5 Receiver block diagram

3.3 网站服务器的搭建

本系统的数据显示采用网页方式, 相比于 Windows 桌面客户端的方式优点是: 可以通过校园网使用手机或者电脑进行访问, 查看到教室的数据, 更加符合实际应用。

在本设计中搭建 Web 服务器时没有选择租用第三方服务器而选择自己搭建, 主要是因为数据是实时变化的, 比如单片机测量的温度, 这些实时变化的数据不容易实时地传送到第三方服务器, 延迟比较高。而本系统由于是使用 Java 语言进行网站后台

开发，所以选用 Tomcat 作为 Web 服务器，它是一个免费开源的小型服务器，在中低访问量时性能非常好。

3.4 Web 程序的编写

Web 程序使用 MyEclipse 工具进行开发，包含两部分：前台和后台。前台主要功能就是为用户提供一个查询页面，可以查询到各个教室实时的温度、人数、使用情况等信息，采用 Ajax 每隔 0.1s 刷新一次，保证了数据的实时性。页面使用 Html, CSS, JavaScript 语言编写。后台主要是使用 JavaWeb 开发，前台访问后台的一个 servlet，此 servlet 负责从数据库中读取数据传送给前台。Web 程序逻辑框图如图 6 所示，查询页面如图 7 所示。

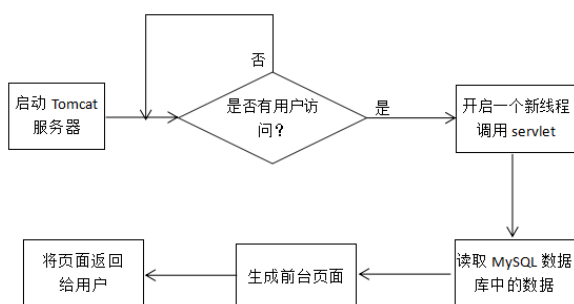


图 6 Web 程序框图

Fig.6 Web program block diagram

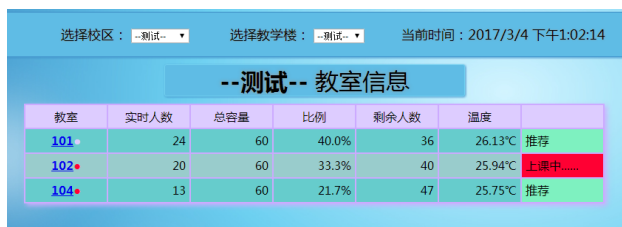


图 7 客户端界面

Fig.7 Client interface

3.5 数据库设计

本项目的数据库采用的是 MySQL 数据库，数据库中设计了 2 张表：current_data 表和 history_data 表。current_data 表保存着当前每个教室的实时人数，客户端程序接收 WiFi 模块发送过来的数据实时更新这张表，而 web 程序以 0.1s 的时间间隔从这张表里取数据来刷新页面。history_data 表用来保存历史数据的，每隔一段时间(这个时间可以动态设置)，就将 current_data 表中各教室的数据保存到 history_data 表中一次，作为历史记录，是为了系统维护 and 数据分析做准备的。两张表详情如下所示。

表 1 实时数据 current_data 表

Table 1 Real-time data table

字段	描述
id	主键 id
name	教室名称
num	人数
temperature	温度
state	状态 (是否被占用)
flag	标志位

表 2 历史数据 history_data 表

Table 2 Historical data table

字段	描述
id	主键 id
name	教室名称
num	人数
temperature	温度
state	状态 (是否被占用)
time	测量时间

4 数据记录与分析

4.1 人数统计系统稳定性测试

以容量为 150 人的教室 101 为实验对象，在教室唯一的进出口通道安装本文所设计的信息采集系统进行实验。实验时间从 18 点 30 分开始到 22 点 00 分结束。因为该系统的根本目的在于使同学快速找到合适的自习室，影响的主要因素是人数，且温度采集模块和教室状态控制按钮结构简单，稳定性高，所以这里只对人数采集模块进行试验。在实验过程中分别通过人工和系统同时记录教室室内人员的流动情况，实验记录的数据包括：实际教室人数、系统显示的人数、人数测量的时刻等。测试数据结果如图 8 所示。

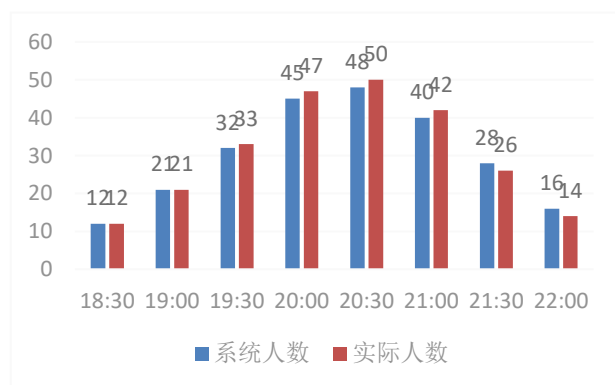


图 8 测试数据

Fig.8 Test data

4.2 数据分析

根据图 5 的数据计算人工和系统统计人数的相对误差。结果如表 3 所示。由计算数据可知，本系统在近 3 个半小时的实验过程中运行稳定，相对误差小。测量结果和实际数据基本吻合。引起误差的可能原因是手臂摆动遮挡了光电开关。

表 3 相对误差

Table 3 Relative error chart

人工统计数据	系统统计数据	相对误差
13	12	7.7%
22	21	4.5%
33	32	3.1%
47	45	4.3%
50	48	4.0%
42	40	4.8%
26	28	7.7%
15	16	6.7%

5 结论

该系统将采集到的信息通过网页显示，使得学生可以快捷方便地查询到各个自习室的信息，从而选择合适的自习室。同时，通过统计得到的数据可以了解各个教室的利用情况，有利于学校教务部门合理分配教室资源，提高利用率。且通过比较人工和系统统计的数据，可知该系统稳定性好，统计精度高。

参考文献

1. 钱鹤庆, 陈刚, 申瑞民. 基于人脸检测的人数统计系统[J]. 计算机工程, 2012, 38(13):188-191.
2. 金中朝, 苏本跃, 江伟, 蒋玉娥. 基于 ZigBee 的自习室人数智能查询系统设计与实现[J]. 贵州大学学报, 2014, 31(6):85-88.
3. 解亚军, 李建荣, 王慧芳. ZigBee 无线通讯技术在 AMR 系统中的应用[J]. 电力学报, 2009, 24 (5): 435-436.
4. 程德福, 王君, 凌振宝, 王言章. 传感器原理及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

美国能源消耗与人均 GDP 的数学建模及预测*

范恩源; 黄艳静; 马 爽

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130026)

摘要: 本文介绍了美国近几十年来能源消耗与人均 GDP 的关系; 并且以此为基础利用神经网络算法、遗传算法建立了能源消耗与人均 GDP 关系的数学模型, 揭示美国进入能耗“零增长”背后深层次的原因及其能源消耗与人均 GDP 之间的一系列重要规律; 利用该模型对美国未来中长期能源走势做出了准确的预测, 模型可以预测、验证到 2020、2025、2030 年美国的能耗情况; 使用 C#语言实现了数学模型的计算、仿真、可视化展示等。

关键字: 能源消耗 人均 GDP 模型预测 BP 神经网络

Energy consumption GDP per capita model prediction BP neural network

Fan Enyuan; Huang Yanjing; Ma Shuang

(College of Instrument science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: This paper introduces the energy consumption and GDP per capita in recent decades; And on this basis, using the neural network algorithm and genetic algorithm to establish the mathematical model of the relationship between energy consumption and GDP per capita, reveal the United States into the deep reasons behind "zero growth" energy consumption and energy consumption and GDP per capita between a series of important laws; By using the model to the United States made accurately predict future long-term energy movements, the model can predict, validation, to 2020, 2025, 2030 American energy consumption; The mathematical model was implemented using c # language computing, simulation, visual display, etc.

Key words: Energy consumption GDP per capita Model prediction BP neural network

0 前言

能源作为重要的物质要素, 与经济和社会的发展密切相关。从上世纪 80 年代中期发达国家集中完成工业化至今, 英、美、德、意、日等国的人均能源消费先后呈现出“零增长”甚至是负增长的态势。作为先期工业化的代表, 发达国家能源消耗的变化趋势, 对未来全球能源消耗有着借鉴意义。而美国作为一个对全球经济有着举足轻重作用的典型发达国家, 发展过程具有明显的代表性^[1-3]。

定量的预测依据预测选取的途径不同可分为部门预测法、能源消费强度法、弹性系数法、投入产出法、能源总量数学模拟法等几种主要方法, 上述这些方法存在的共同缺陷是缺乏对能源需求与经济发展间长尺度定量关系的把握, 仅用以往数学模拟或推演来类比未来, 预测缺乏科学性和准确性, 结

果偏差大。本研究采用定量分析来构建能源消耗预测的数学模型, 是基于美国能源消耗与人均 GDP 的数学模型, 用于预测美国的中长期能源消耗。所建立的数学模型将会解决定性预测具有较强主观性, 缺乏严谨性与科学性问题, 以完善王安建等一批研究人士所发明的“S”形物理模型, 提高中长期能源消耗预测的准确性^[4-5]。

1 美国能耗与人均 GDP 关系分析

* 指导老师: 王永志

项目类型: 大学生创新项目(2015651015)

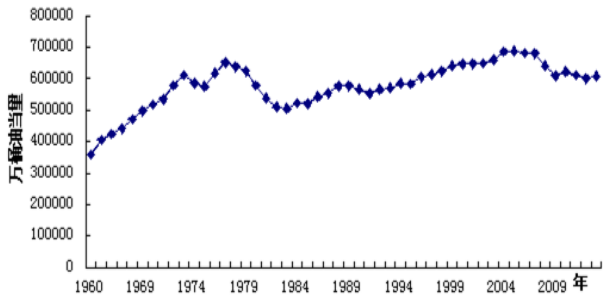


图 1 石油消耗曲线

Fig.1 Oil consumption curve

图中展示了美国 1960 年至 2013 年能源石油消耗的走势。1960 年到 1973 年这 13 年，美国各类石油消耗都呈现出快速的增长速度。1973 年美国发生了第一次石油危机，之后美国石油消耗呈下降趋势。第一次石油危机引起的油价剧烈波动和供应极其不稳定，使美国经济受到重创。1981 年至 2005 年，能源消耗趋势有回升。但 2005 年至 2013 年，由于美国实施的“石油独立”战略，美国国内石油消耗持续递减。2012 年降到 6767 百万桶，低于 1997 年的 6796 百万桶的消耗量。在过去 50 年中，美国石油的消耗量从 1960 的 3586 百万桶上升到 2005 年的 7593 的百万桶，总量上升了 111.74%。由图一也可见，美国不同时期，其石油消耗增长量和增长百分比是不同的。总体上说，上世纪 80 年代前，石油消耗增长量明显快于 80 年代后。

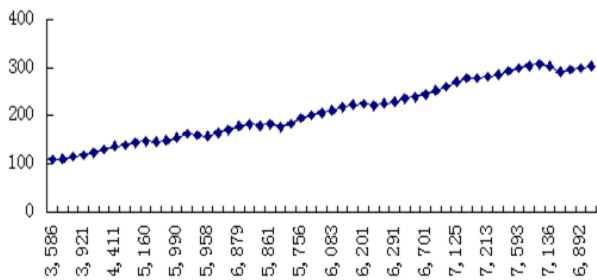


图 2 美国能源消耗与人均 GDP 关系

Fig.2 The energy consumption and GDP per capita diagram

美国的能源石油消耗，在一定程度上刻画了国家能源消耗的科学指标。消除人口膨胀或萎缩因素影响后的石油能耗量，与人均 GDP 的动态分析对比研究能够更加的深刻揭示经济发展与石油消耗的内在联系。对图三进行相关分析结果显示，二者表现为明显的线性关系。这种良好的线性增长关系表明，经济发展过程中随着人均 GDP 的增长，石油消耗也会以一定的较大的比例增加，是一种客观存在的基本通则。

2 数学模型建立

2.1 BP 神经网络算法

人工神经网络可以拟合出任意复杂的非线性关系，不需要复杂的数学建模。BP 神经网络能学习和

存储大量的输入输出模式映射关系，而无需事前解释描述这种映射关系的数学方程。BP 网络是一种多层前馈神经网络，它的名字源于在网络训练中，调整网络权值的训练算法是反向传播算法，据统计，80% 左右的神经网络模型采用了 BP 网络或者它的变异形式。

基于 BP 神经网络的非线性函数拟合算法流程可以分为 BP 神经网络构建、BP 神经网络训练和 BP 神经网络预测三步。

MATLAB 软件中包含 MATLAB 神经网络工具箱。它是以前人工神经网络理论为基础，用 MATLAB 语言构造出了该理论所涉及的公式运算、矩阵操作和方程求解等大部分子程序以用于神经网络的设计和训练。

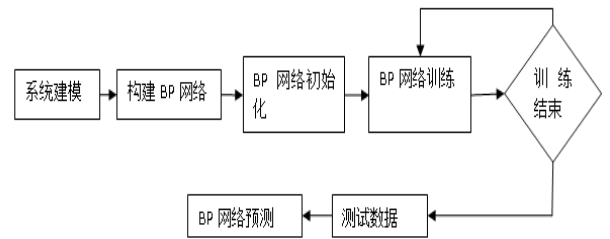


图 3 BP 神经网络算法框图

Fig.3 The BP neural network algorithm flow chart

由于模型为能耗与人均 GDP 的关系及预测，人均 GDP 作为自变量，在预测能源消耗时必须先进行人均 GDP 的预测。而人均 GDP 的 BP 神经网络模型的建立方法与能耗的基本一致。

BP 神经网络训练用训练数据训练 BP 神经网络。共有 50 组数据，从中选择 50 组数据（1960—2009）作为训练数据训练网络，3 组数据（2010—2012）作为测试数据测试网络预测能力。

基于神经网络算法，采用 Matlab 初步实现对能耗数据的拟合及预测（图形）。

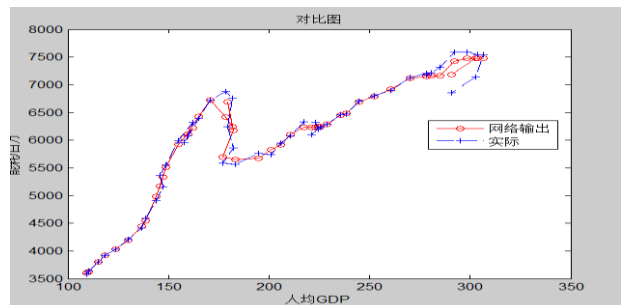


图 4 神经网络算法数据的拟合及预测图

Fig.4 Neural network algorithm of data fitting and forecast figure

2.2 遗传算法

遗传算法是一种仿生算法，即模拟生命演化的算法。它是从一个初始种群出发，不断重复执行

选择, 杂交和变异的过程, 使种群进化越来越接近某一目标。如果视种群为超空间的一组点, 选择、杂交和变异的过程即是在超空间中进行点集之间的某种变换, 通过信息交换使种群不断变化。遗传算法通过模拟达尔文“优胜劣汰, 适者生存”的原理激励好的结构, 同时寻找更好的结构。

遗传算法求解问题时, 首先在搜索空间中随机产生初始种群, 计算个体的目标函数, 再优化得到合适的适应度值, 通过变异、交叉等操作来产生下一代个体, 达到最大迭代次数次500, 输出最好的个体, 然后终止整个算法

采用遗传算法, 进一步优化神经网络对能耗数据拟合与预测的实现结果。

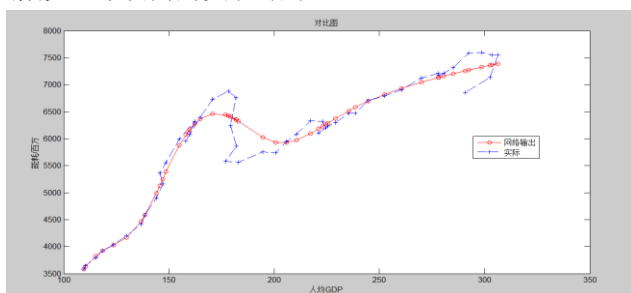


图 5 遗传算法拟合曲线图

Fig.5 Genetic algorithm fitting curve

利用该模型进行预测 2015—2030 年的能耗, 如下图所示:

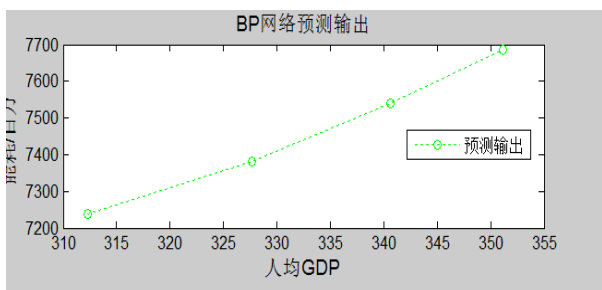


图 6 遗传算法预测趋势图

Fig.6 The genetic algorithm to predict trend chart

通过查询相关资料, 学习 c#语言相关知识, 进而了解如何使用 winform 进行可视化程序界面及后台程序编写。以 excel 数据导入导出, 图片调用, 数据处理为主, 最终完成可视化程序的编写工作。

3 Winform 可视化编程实现

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
```

```
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.OleDb;
using System.IO;
using System.Drawing.Drawing2D;

namespace WindowsFormsApplication14
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog fd = new
            OpenFileDialog();//首先根据打开文件对话框, 选择excel
            表格
            fd.Filter = "表格|*.xls";//打开文件
            对话框筛选器
            string strPath;//文件完整的路径名
            if (fd.ShowDialog() ==
            DialogResult.OK)
            {
                try
                {
                    strPath = fd.FileName;
                    string strCon =
                    "provider=microsoft.jet.oledb.4.0;data source=" + strPath +
                    ";extended properties='Excel 8.0;HDR=YES;IMEX=1'";//红
                    色区域
                    OleDbConnection Con =
                    new OleDbConnection(strCon);//建立连接
                    string strSql = "select *
                    from[Sheet1$]";
                    OleDbCommand Cmd =
```


铅酸蓄电池充电器的研究与设计*

喻 强; 韩 星; 兰 发

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 本文基于正负脉冲充电理论提出了一种针对 12V 铅酸蓄电池的充电器的设计, 以开关电源技术为基础, 采用超低功耗的 MSP430 单片机实现控制, 给出了总体设计方案, 并就其中涉及到的主功率变换结构的选择, 控制电路设计、充放电回路的设计等做了介绍。将整个充电过程分为预充电、脉冲快速充电、补足充电和涓流充电 4 个阶段。实验表明能够实现对 12V 铅酸电池的无损快速充电, 并通过液晶屏实时显示充电过程中的电流、电压、温度等充电信息。此外, 电路含有过压、过流、短路保护。

关键词: 铅酸蓄电池 正负脉冲充电 PFC 校正 反激拓扑

Research and Design of Lead Acid Battery Charger

Yu Qiang; Han Xing; Lan Fa

(College of Instrumentation and Electrical Engineering Jilin University, Changchun 130012)

Abstract: This paper presents a design of 12V lead-acid battery charger, which is based on the positive and negative pulse charging theory. This charger is based on the switching power supply technology, and the MSP430 single chip microcomputer with ultra low power is used to realize the control, the overall design scheme is given. And we have given the design of main power transformation structure, the design of control circuit, the design of charging and discharging circuit Introduction. We have divided the entire charging process into pre pulse charging, fast charging, charging up and trickle charge in 4 stages. Experiments show that it can realize nondestructive quick charge for 12 v lead-acid battery, and the charging information of the current, voltage and temperature can be displayed in real time through the LCD screen. In addition, the circuit contains over-voltage, over-current, short circuit protection.

Key words: Lead-acid batteries Positive and negative pulse charging PFC correction Flyback topology

0 前言

铅酸蓄电池由于其成熟的技术、可靠的安全性及较高的再利用率, 目前广泛使用于电动汽车、电瓶车、电动玩具等领域中, 是市面上最常见的一种蓄电池^[1,2]。针对铅酸蓄电池的充电器的设计也层出不穷。随着应用领域的不断拓广, 对于铅酸蓄电池充电的要求也越来越高。人们不断提出新的充电方式, 以提高充电速度, 同时减小对充电器和蓄电池的损害, 延长其使用寿命。

本研究设计了一种针对 12V 铅酸蓄电池的快速

充电器。采用正负脉冲快速充电方法, 以开关电源技术为基础, 以 MSP430 单片机作为主控制器, 软硬件相结合, 通过放电去极化, 提高蓄电池的充电速度, 减少充电损耗和对电池的损害, 并实时显示充电过程中的电流、电压、温度等充电信息。因此, 具有较大的实用价值。

1 充电理论

蓄电池充电的第一目的在于尽快使蓄电池恢复容量。为达到这个目的, 希望达到较大的充电速率, 但是大的充电速率必然要引起过充, 产生析气, 损

*指导老师: 王远

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65659)

害电池寿命。采用小的充电速率固然可以防止过充反应，对蓄电池的寿命影响也小，但是不能达到快速性的要求^[3]。因此，先进的充电技术应当处理好这个矛盾。

铅酸蓄电池充电过程中会发生极化反应，极化阻碍蓄电池的充电，并使蓄电池的出气率和温升大大提高，从而影响充电的速度和使用寿命。目前，解决极化问题的主要措施是在充电过程中间歇性停充，或者采用负脉冲进行放电^[4]。本设计采用的正负脉冲充电方法就是这样提出来的。通过在正脉冲充电的过程中加入放电负脉冲，去除蓄电池极化，从而提高蓄电池接受电流的能力，使其尽快恢复容量，减少对电池的损害。

2 充电过程

本文介绍的充电装置所采用的充电方法将整个充电过程分为了预充电、脉冲快速充电、补足充电、涓流充电 4 个阶段。

2.1 预充电

充电器刚开始投入工作时，为了保护电池组和充电器都不受强电流冲击的损害，先以稳定小电流充电，使蓄电池电压上升。当电池电压上升到能接受大电流充电的阈值时再进行大电流快速充电。

2.2 脉冲快速充电

在脉冲快速充电过程中，充电器工作在正负脉冲充电程序，正脉冲平均宽度 900 毫秒，负脉冲平均宽度 20 毫秒，正负脉冲交替充电过程中，各有 40 毫秒的间隔，负脉冲的幅值约为正脉冲的 1.5 倍，这个过程大约完成电池 85% 以上的充电量。在这个充电过程中，电池电压上升较快，当电压上升至次充电电压阈值的时候，转入补足充电阶段。

2.3 补足充电

脉冲快速充电程序终止后，电池并不一定充足电，为了保证电池充入 100% 的电量，对电池还要进行补足充电。此阶段充电采用恒压充电，可使电池容量进一步恢复。此时充电电流逐渐减小，当电流下降至某一阈值时，转入涓流充电阶段。

2.4 涓流充电

此阶段主要用来补充蓄电池自放电所消耗的能量，只要电池接在充电器上并且充电器接通电源，充电器就会给电池不断补充电荷，这样可使电池总处于充足电状态。此时也标志着充电过程已结束。

3 充电器总体结构设计

考虑本设计采用正负脉冲快速充电的方法，结合当前充电器的普遍研究情况^[5]，本文提出的充电器结构如下图 1 所示。

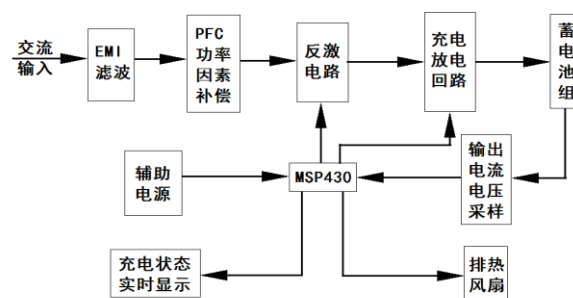


图 1 充电器总体结构图

Fig.1 The overall structure of the charger

本设计采用了 AC/DC-DC/DC 的总体结构。首先接入 220V 交流市电，先后经过 EMI 滤波和 PFC 校正电路，然后接主电路。主电路采用反激隔离拓扑结构。反激电路的输出经滤波后接充放电回路，最后经导线接蓄电池充电。由 MSP430 单片机作为控制单元的中心，单片机主要功能有：第一，单片机输出信号调节反馈，实现对反激电路输出的控制；第二，单片机输出两路控制信号，分别控制充电回路和放电回路；第三，单片机接收电压、电流、温度检测信号；第四，单片机控制液晶显示、风扇运行、连接按键；此外，单片机还参与实现电路的过压、过流、短路保护和防反接保护等。

4 主要电路设计

4.1 PFC 电路设计

该部分采用的是 boost 升压型有源 PFC 校正电路，控制芯片采用的是 UC3854，通过搭建 UC3854 芯片的外围电路，来控制 boost 电路中开关管的通断，使输入电流的波形跟随输入电压波形的变化而变化，电压电流的相位基本保持一致，从而极大地提高了功率因数，并且降低了对电网的污染^[6]。

4.2 反激电路部分设计

DC/DC 变换是整个充电器的关键部分。通常充电器直接接在电网上，设计时鉴于人身安全的考虑，会选择使用隔离拓扑结构。本充电器针对的是 12V 铅酸蓄电池。考虑到一般 12V 铅酸蓄电池充满后的电压可超过 14V，以及 MOS 管的压降等因素，主电路的最大输出设置为 16V。设计输出功率为 120W。根据这些设计目标，反激电路是比较合适的选择。反激电路的优点是元器件少，结构简单，体积小，输出电压受占空比的调制幅度比较高，成本

低，一般设计功率在 200W 以下多采用^[7]。因而本设计采用反激拓扑结构。该部分主要包括变换主电路、驱动电路、反馈电路、检测电路等，如图 2 所示。

变换主电路中，最核心器件的是高频变压器。高频变压器的设计决定着反激电路的优劣^[8]。本反激电路设计频率 100kHz，高频变压器采用 EI40 的磁芯，原边匝数 29 匝 2 股并绕，副边匝数 4 匝 16 股并绕。采用三明治绕法，减少漏感，并有助于改善 EMC 特性。从电路的稳定性考虑，按 DCM（断续模式）设计，实际工作中，随着负载电流输出增大，由断续过渡到（CCM）连续模式。MOS 管选用的

是 IRFPE50，耐压 800V。输出经肖特基二极管整流，然后经过 Π 型滤波电路。

驱动电路控制芯片采用的是 UC3842。UC3842 是目前比较理想的电流型脉宽调制器。这里采用 2 脚接地的方法。1 脚接反馈电压信号，3 脚接电流检测信号。如图 2，经电阻 R6 提供给 UC3842 启动电压。正常工作时，由高频变压器引出专门绕组给芯片供电。经过 D3 整流的为正激，经过 D4 整流的为反激，两个绕组同时给芯片供电。实际工作时，轻载情况下主要靠正激绕组，重载情况下主要靠反激绕组^[9]。

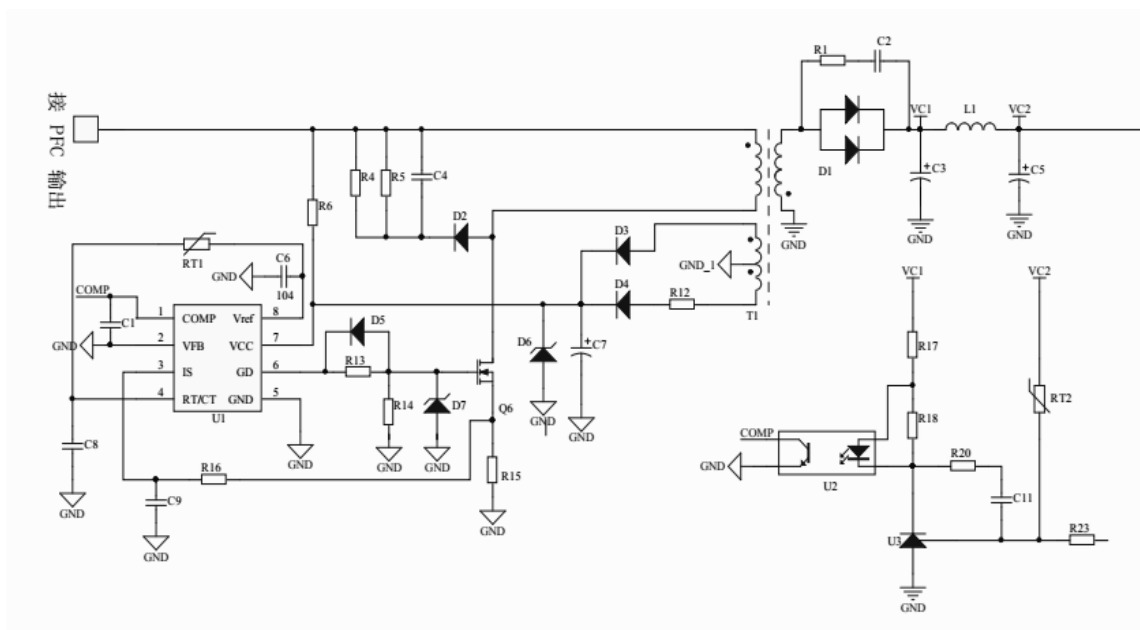


图 2 反激电路部分

Fig.2 Part of the flyback circuit

反馈电路采用线性光耦 PC817 和 TL431 的稳压结构。它把输出最大电压限制在 16V，因而构成了一个限压环。正常工作时，该反馈环不起作用，因为充电输出总是低于 16V，是由单片机参与的反馈环控制的。单片机的输出经过 DAC0832，转换成模拟信号，再经过两级运放，转变成正电压信号，经过光耦 PC817 反馈给 UC3842，实现对反激电路输出的控制。

检测电路主要包括电压检测电路、电流检测电路、温度采样电路。利用 MSP430 单片机内部自带的 12 位精度的 AD，把检测模拟信号转换成数字信号。

4.3 充放电电路部分设计

充放电电路实际上是两个电路的组合，包括充电回路和放电回路。如图 3 所示。三极管和电阻构

成驱动电路。Q1 和 Q3 分别为充电回路和放电回路的 MOS 管。正常充电时，Q1 打开，控制正脉冲充电。然后 Q1 关闭。一段停歇之后，Q3 打开，蓄电池经过电阻 R3 放电。这样就实现了正脉冲充电和负脉冲放电。其中正脉冲占一个周期的 90%。负脉冲时间很短，主要是给电池一个很小的放电时间间隙。

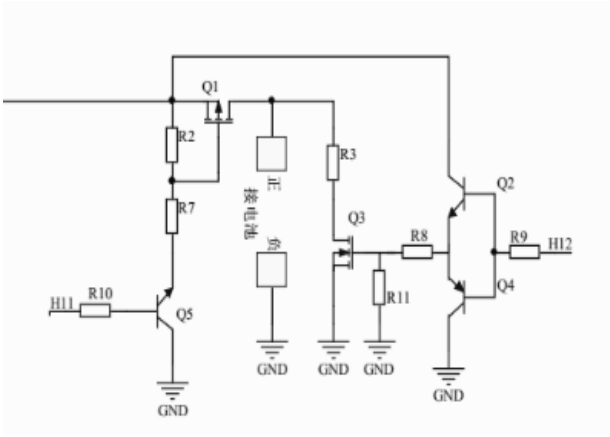


图 3 充放电回路

Fig.3 Charge and discharge circuit

软件部分主要是对整个充电过程的控制程序设计，以及实现电路的保护、液晶的显示等功能。采用 MSP430 单片机作为控制中心。单片机需要控制实现充电过程中的 4 个阶段的转换。这就要求实时检测电压、电流和温度信号，进行判断，然后调节反馈以及控制充放电回路的输出。同时要把检测的电压、电流等信息实时显示在液晶屏上。软件流程如图 4 所示。

单片机上电后会先进行初始化，包括初始化液晶屏信息，检测是否连接电池以及极性是否连接正确。只有在达到充电条件以后，才会进入充电程序。

5 软件部分设计

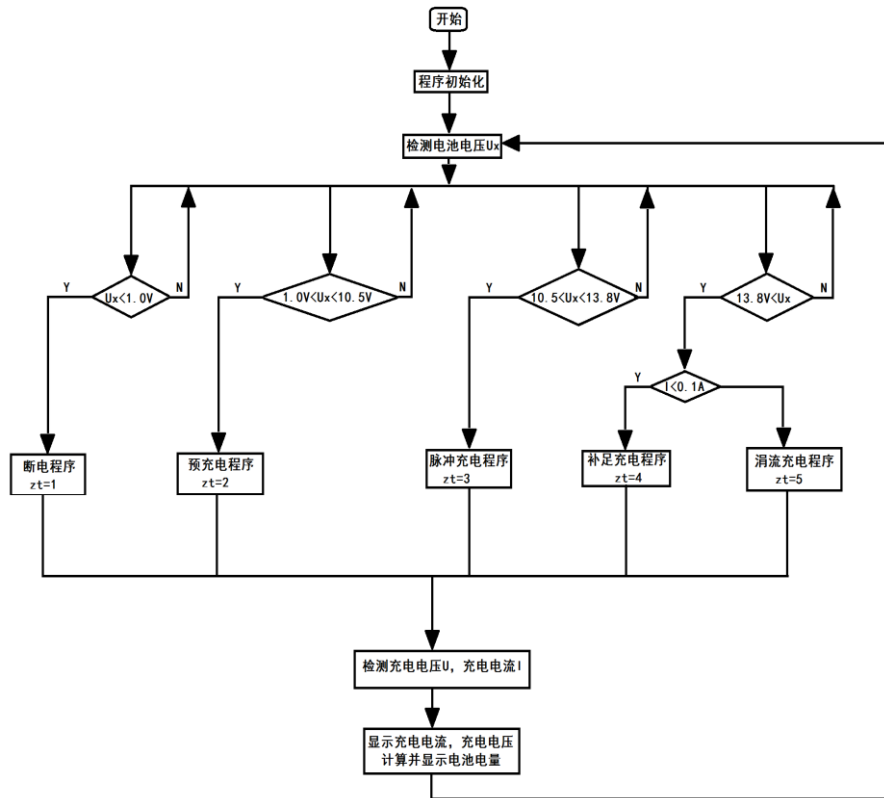


图 4 软件流程图

Fig.4 Software flow chart

在整个充电过程中，单片机会不断检测电池电压和电流信息，进行判断，实时调节充电电流和电压。液晶屏会显示检测信息。当发生短路、过压等异常情况，会立即响应应急程序，切断电路的输出，确保电路安全。液晶屏会显示故障指示。要使系统正

常工作，需要断电，然后重新开机。当温度达到 65 度，会启动风扇进行散热。直至最后蓄电池充满电，液晶屏显示充电完成。此时充电程液晶屏会显示检测信息。当发生短路、过压等异常情况，会立即响应应急程序，切断电路的输出，确保电路安全。液

晶屏会显示故障指示。要使系统正常工作，需要断电，然后重新开机。当温度达到 65 序处于涓流充电

表 1 功率因数随输出功率的变化

Table 1 The power factor varies with the output power

功率 (W)	≤20	20-50	50-80	80-100	100-120
功率因数	0.93-0.94	0.94-0.97	0.97-0.98	0.98-0.986	0.986-0.99

表 2 不同负载下电压、电流和纹波的变化

Table 1 Variation of voltage, current and ripple under different loads

输出电压 (V)	12.8	12.6	12.4	12.2	12.0	11.9
输出电流 (A)	0.25	1.0	2.8	5.05	7.8	9.1
纹波电压 (mV)	8	20	50	90	160	250

6 结果

经实际测试，如表1所示数据，电路经PFC校正后，输入电流很好地跟随输入电压成正弦波，电路具有很高的功率因数，不小于0.93。开关管的波形与理论上分析的一致，在开关管关断瞬间电压尖峰较小，说明变压器的漏感较小，以及RCD吸收回路参数设置较合理，功率转换的损耗小。表2所示的是实测的不同负载下的电压、电流和纹波的变化数值。可以看到，随着输出功率的增大，纹波也不断增大。当输出功率高于100W时，纹波已经超过了200mV，这对于电池充电的影响是很大的。所以实际充电输出功率要低于设计值。整个装置的效率约为80%。总体来说，整个充电器能比较好地完成对12V铅酸蓄电池的充电。电路基本实现了预期功能。

7 结论

文章设计的铅酸蓄电池充电器，基于正负脉冲充电理论，不同于传统的恒压充电或三段式充电等方式，它将整个充电过程分成4个阶段，通过在正脉冲充电的过程中引入放电负脉冲，去除蓄电池的极化，有效提高蓄电池接受电流的能力，能加快充电速度，提高电池容量，实现铅酸蓄电池快速无损伤充电的要求。在具备基本的充电和电路保护功能的同时，还采用了液晶显示屏，实时显示充电过程中的电压、电流、电量等信息，以及故障指示信息。整个系统还加入了EMI滤波、PFC校正等多种改善性能的措施，体积小，可靠性高，符合通用规范。

综上，该铅酸蓄电池充电器具有很强的应用价值和广泛的市场前景。

参考文献

1. 刘超.HEV 车载铅酸蓄电池快速充电系统研究[D].哈尔滨: 哈尔滨工业大学,2007.
2. Harwood R C, Manoranjan V S, Edwards D B. Lead-Acid Battery Model Under Discharge With a Fast Splitting Method[J]. Energy Conversion IEEE Transactions on, 2011, 26(4):1109-1117.
3. Deveau J, White C, Swan L G. Lead-acid battery response to various formation levels – Part A: Recommended formation levels for off-grid solar and conventional applications[J]. Sustainable Energy Technologies & Assessments, 2015, 11:1-10.
4. 宋云庆.智能大功率快速脉冲充电器设计[D]. 南京: 东南大学,2008.
5. 董运红,赵忠民.一种大功率充电电源的设计[J].航空计算技术, 2001, 31 (1): 52-54
6. 杨婷,景占荣,高田.电动汽车车载智能快速充电器的研究与设计[J].现代电力, 2010,10.
7. 王萌萌,刘斌,王丹.计算机测量与控制[J].2013,21[8].
8. 赵效敏编.开关电源的设计与应用[M].上海:上海科学普及出版社,1995.9.
9. 高智军.自动电压识别的智能充电器设计[D].苏州:苏州大学, 2015.

智能太阳能无线快速充电站*

胡新蕾；余梦梦；骆 砚

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要：目前随着便携式移动设备种类的日益增多，各种不同规格的数据线交织在一起，给人们生活带来了很大不便。鉴于此问题，本文提出将绿色太阳能能源技术与目前研究较为主流的无线能量传输技术相结合，根据 Qi 无线充电标准搭建基于电磁感应式无线能量传输原理的智能太阳能无线快速充电平台系统。此系统具有绿色环保，节约电力资源，模块化程度高等特点，对无线能量传输技术的应用实践具有重要意义。

关键词：太阳能 Qi 标准 无线充电 全桥逆变 STM32

Intelligent wireless fast charging station based on solar energy

HU Xin-lei; YU Meng-meng; LUO Yan

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: At present, with the increasing number of portable mobile devices, a variety of different specifications of the data line intertwined, bringing great inconvenience to people's lives. In view of this problem, this paper put forward that the green solar energy technology and the current research on wireless power transmission technology should be combined, and according to the Qi wireless charging standard and electromagnetic induction--wireless energy transmission principle, set up the intelligent wireless charging system based on solar energy. The system has many advantages, such as green environmental protection, saving power resource, high degree of modularization, and so on.

Key words: Solar energy Qi standard Wireless charging Full bridge inverter STM32

0 前言

自 1840 年电磁感应定律被发现以来，人们便开始了对无线输电技术的研究^[1]。以手机、网络为主的通信技术已经完成了从有线到无线的飞跃，然而能量的无线传输却发展地极为缓慢。另外，随着不可再生的化石能源日益枯竭，全球都在向着新能源方向不断研发。太阳能作为一种新能源，在开发和利用时，不会产生废渣、废气、废水，也没有噪音污染，更不会影响生态平衡^[2]。因此对太阳能和无线输电技术结合运用的研究也就显得尤为重要。

智能太阳能无线快速充电站采用太阳能绿色能源，提高电能传送和转换效率，通过自主设计的无线发送及接收单元，实现多终端快速充电功能，以

此搭建绿色环保，方便快捷充电系统。此系统应用场合较为广泛，可安置在车站、机场等公众场合为手机等小功率移动设备充电，也可作为家居电能来源之一，还可为野外科研实验所用小功率设备供电，有较好的发展前景。

1 太阳能无线充电器设计原理

1.1 无线充电原理

目前，无线输电原理主要有三种：电磁感应式、磁耦合谐振式和电磁波式。电磁感应式无线输电根据初次级线圈电磁感应原理进行能量传输，主要运用在近距离小功率能量传输方面；磁耦合谐振式无线输电是通过初次级线圈发生谐振现象进行能量传输，对初次级线圈参数要求较高；电磁波式无线输

*指导老师：杨泓渊

项目类型：大学生创新项目(2015651014)

电通过定向天线进行远距离大功率能量传输^[3]。Qi 标准是全球首个推动无线充电技术的标准化组织——无线充电联盟（WPC）推出的“无线充电标准”，采用了最为主流的电磁感应式技术，具备便捷性和通用性两大特征^[4]。此外，电磁感应式无线充电技术已经通过安全与市场验证，在生产成本上低于后两种技术，因此本文基于电磁感应式无线输电技术进行智能太阳能无线快速充电站的设计与制作。

1.2 系统总体设计

典型的电磁感应式无线能量传输框图如图 1 所示：

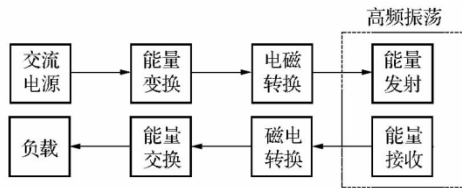


图 1 电磁感应式无线能量传输框图

Fig.1 Electromagnetic induction wireless energy transfer diagram

电磁感应式智能太阳能无线快速充电系统主要由能量来源、能量发射、能量接收、能量管理和用户交互各部分组成。输入发射单元的直流电通过逆变电路进行逆变，逆变电路所产生的交变电压输入分离式变压器的初级线圈，次级线圈进行耦合，从而在次级线圈中产生感应电动势。然后通过整流滤波电路为负载供电，用户可通过按键调整发射功率大小。本系统整体框图如图 2 所示：

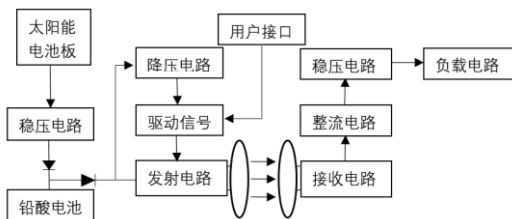


图 2 系统整体框图

Fig.2 System block diagram

2 系统各模块设计与制作

2.1 电能来源管理单元

太阳能电池板输出的直流电压含有较大的波动成分，必须首先经过 12V 稳压电路输出，对铅酸电池进行充电。当稳压电路输出电压高于铅酸电池电压时，太阳能电池板输出电压经过稳压后直接给发射电路供电；当稳压电路输出电压低于铅酸电池电压时，发射电路电源自动切换到铅酸电池，不影响系统正常供电。该部分电路如图 3 所示：

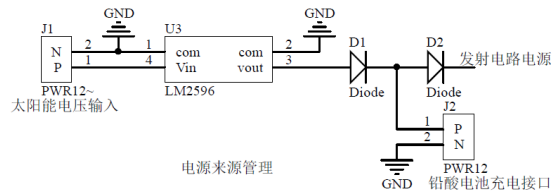


图 3 电源管理电路图

Fig.3 Power management circuit

LM2596-ADJ 是德州仪器（TI）生产的 3A 电流输出降压开关型集成稳压芯片，它内含固定频率振荡器（150KHZ）和基准稳压器（1.23v），并具有完善的保护电路、电流限制、热关断电路等，通过外接一个滑动变阻器，可实现输出电压连续可调功能。本系统中将输出电压调节至稍高于铅酸电池充电电压 12.7V，目的是补偿反向二极管 D1 压降。当 LM2596 输出电压低于铅酸电池电压时，供电电源通过 D2 自动切换至铅酸电池，实现系统不间断供电功能。

2.2 发射电路单元

发射电路需要将太阳能电池板稳压输出的 12V 直流电压转换为正负交替的交变电压，施加在发射线圈两段，在线圈中产生交变电磁场以在接收线圈中耦合出感应电动势。发射线圈采用 Qi 标准的 A11 发射线圈，其结构和尺寸如图 4 和表 1 所示。

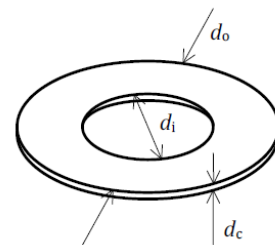


图 4 发射线圈结构

Fig.4 Structure of transmitting coil

表 1 发射线圈尺寸

Table 1 Dimensions of transmitting coil

参数	名称	值
线圈外径	do	44mm
线圈内径	di	20.5mm
线圈厚度	dc	2.1mm
每层绕数	N	10 圈

经实测，线圈电感量为 10.07uH，与线圈并联

的电容为 0.1uF，由 $\omega = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 知，谐振频率 $f=158.6\text{KHz}$ ，当驱动信号频率与线圈谐振频率相同时，此时传输功率最大。

2.2.1 交直流转换电路

交直流转换电路采用全桥逆变的方式将 12V 直流电压转化为±12V 交替的交变电压，全桥电路如图 5 所示：

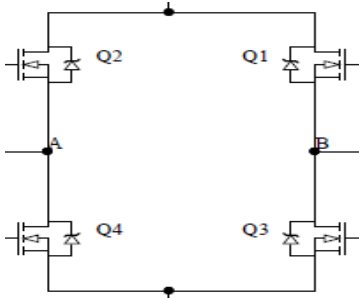


图 5 全桥电路原理图

Fig.5 Full bridge circuit schematic

全桥电路由四个 MOS 功率管组成，其中 Q1 和 Q4 组成一组桥（记作 K1），由信号 PWMA 控制，Q2 和 Q3 组成另一组桥（记作 K2），由信号 PWMB 控制。K1 和 K2 两个桥分时导通，分别给 A、B 两端施加正向电压和负向电压，当两个桥都断开时，发送器停止工作。两个桥不能同时导通，因此 A、B 必须为极性相反的控制信号。PWMA、PWMB 和 AB 两端电压如图 6 所示：

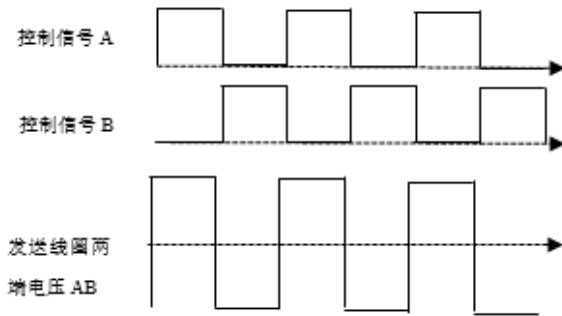


图 6 驱动信号时序图

Fig.6 Driving signal timing diagram

2.2.2 驱动电路

IR2103 是 IR 公司生产的自带死区时间控制的高速半桥驱动器芯片，拥有独立的高端和低端控制通道，兼容 3.3V、5V、15V 逻辑电平，也可以由两个组成全桥驱动。典型半桥驱动电路图如图 7 所示：

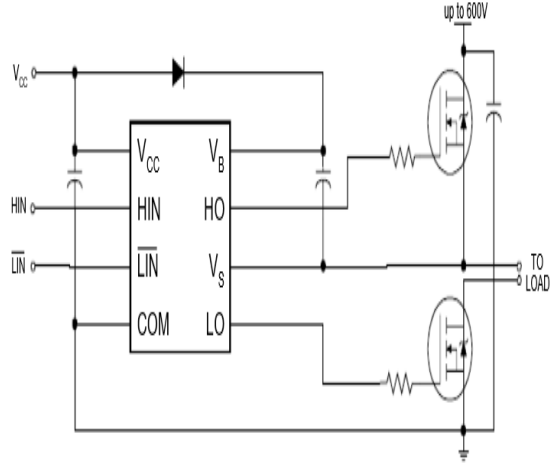


图 7 驱动电路原理图

Fig.7 Driving circuit schematic

HIN 输入高电平，HO 相对于 Vs 就输出高电平；LIN 输入低电平，LO 相对于 COM 就输出低电平。Vb 和 Vs 之间的电容起自举作用，提供高端驱动电源 Vb：高端驱动输出端 Vs 是高频振荡的，当上管导通时是高压端电压，当下管导通时是地电平，当 Vs 为地电平时，由 Vcc 经二极管给自举电容充电至接近 Vcc 电压，Vcc 同时给 Vb 供电，当 Vs 为高电平时，二极管截止，自举电容放电给 Vb 供电。

本文采用两片 IR2103 组成全桥驱动电路，进行 DC-AC 变换，电路如图 8 所示：

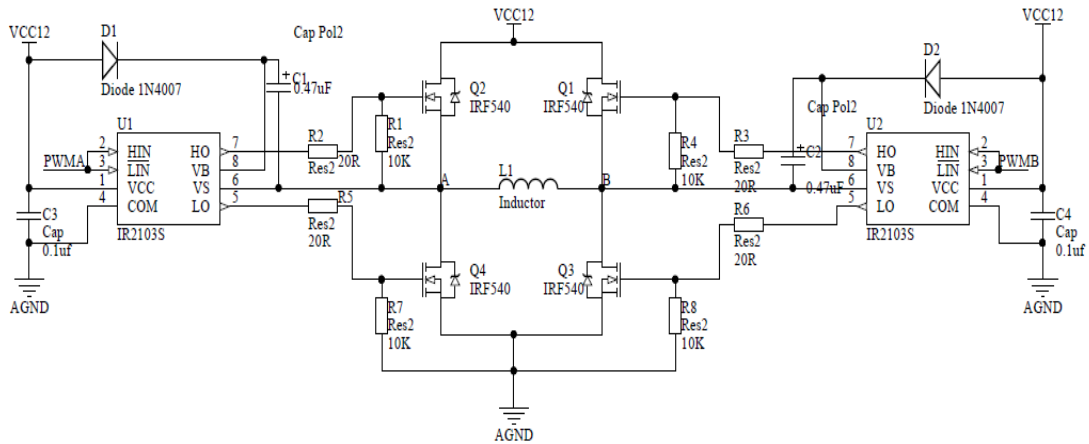


图 8 发射电路原理图

Fig.8 The transmitting circuit diagram

全桥电路芯片采用 IRF540N 沟道 MOS 管，导通电阻只有 55mΩ，漏极电流可以达到 22A，发热量极小，可以有效提高能量传输效率。

2.3 驱动信号产生单元

相比于用模拟器件搭建驱动信号产生电路，数字电路使用起来更方便，具有控制简单、精确、维护方便等特点。本系统主控芯片采用 ST 公司生产的 STM32C8T6 嵌入式 32 位微处理器芯片，产品家族种类繁多，资源丰富，大大简化了本系统的设计。STM32C8T6 控制器外围电路如图 9 所示：

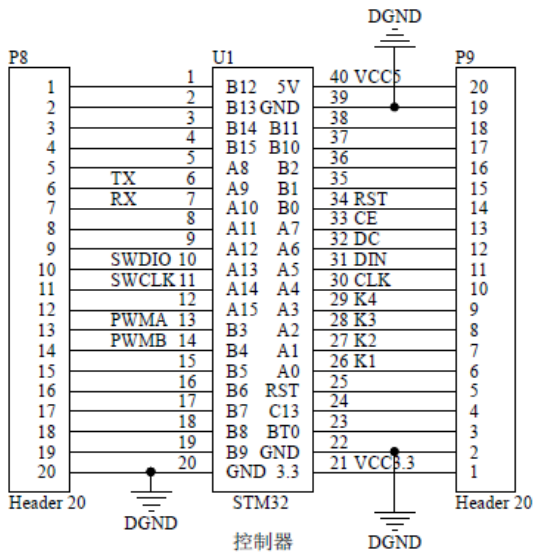


图 9 控制器外围电路

Fig.9 Controller peripheral circuit

STM32C8T6 采用 LQFP48 管脚封装，最多可有 36 个普通 IO 供用户使用，CPU 主频可达 72MHz，片上拥有 64KB 的 Flash 和 20KB 的 RAM，不需要外部拓展存储器。有三个 16 位普通定时器和一个 16 位高级定时器，每个普通定时器拥有四个独立输入输出通道，用于输入捕获和比较输出，高级定时器拥有带死区时间控制和紧急停车的六通道 PWM 输出通道，专用于电机控制。本系统使用微处理器的高级定时器 1，两路互补 PWM 输出，死区时间 20us。PWM 方波信号频率范围 50KHz-250KHz 连续可调，步进频率为 2KHz，精度 1%；占空比范围 10%-90%连续可调，步进为 1%，精度 1%。

2.4 用户接口

用户接口主要用于系统信息显示和调整系统发射功率。用户接口电路如图 10 所示：

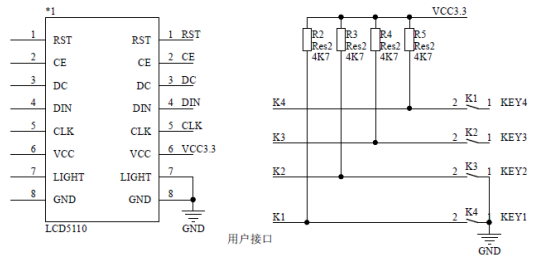


图 10 用户接口电路

Fig.10 User interface circuit

系统显示使用 LCD5110 显示屏，该显示器采用串行接口与主处理器进行通信，接口信号线数量大幅度减少，传输速率高达 4Mbps，可全速写入显示数据，无等待时间。LCD5110 可以显示 4 行汉字，用于显示系统当前驱动信号频率和占空比。系统发射功率的调整通过四个独立按键，加上拉电阻连接至处理器的四个普通 IO 上，IO 工作在中断模式，用于实时响应用户操作，改变系统的发射功率。

2.5 接收整流稳压单元

次级线圈中耦合的感应电动势为近似于正弦的交变电动势，需要经过整流、滤波、稳压后供负载使用，电路如图 11 所示：

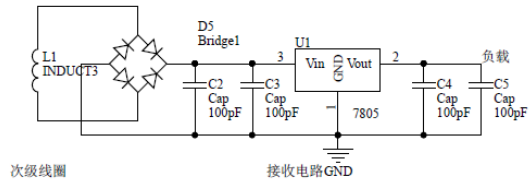


图 11 接收电路

Fig.11 Receiving circuit

接收线圈采用符合 Qi 标准的 A11 接收线圈规格，直接连在整流桥交流端，C2、C3、C4、C5 为滤波电容，LM7805 为 5V 输出线性稳压器，最大电流可达到 800mA。为了减小整个接收电路体积，携带方便，所有器件均采用贴片封装。

3 结果测试

以下测试均在铅酸电池供电、实验室条件下进行，本系统样品如图 12 所示

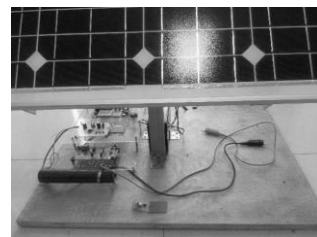


图 12 原理样机

Fig.12 Principle prototype

3.1 手机充电测试

该测试下,手机型号为 lenovoA378t,电池容量为 2000mAh,剩余电量 15%。发射功率调至 10W,接收线圈中心与发射线圈中心重合,记录电池电量充至 20%所用时间。

表 2 充电距离与充电时间关系

Table 2 Relationship between charging distance and charging time

手机型号	充电距离	充电时间
LenovoA378t	5mm	10min
LenovoA378t	10mm	25min
LenovoA378t	15mm	58min
LenovoA378t	20mm	>60min
LenovoA378t	25mm	--

3.2 负载测试

该测试下,接收线圈中心与发射线圈中心重合,距离 5mm。负载为 50Ω100W 滑动变阻器,改变滑动变阻器阻值,记录负载电流与负载电压的关系。

表 3 负载电流与负载电压的关系

Table 3 Relationship between load current and load voltage

负载电 流/mA	负载电 压/V	发射功 率/W	接收功 率/W	效率
100	5.0	6.0	0.5	8%
120	5.0	7.2	0.6	8%
160	5.0	9.6	0.8	8%
220	5.0	9.6	1.1	11%

经上述测试,本系统基本可以实现给手机充电功能,在一定程度上可以解决有线充电接口不兼容,携带不便的问题。

4 结束语

本文阐述了一种智能太阳能无线快速充电站系统,可以实现小功率移动设备的充电功能,经过进一步的研究与改进,可以很好的解决不同设备充电接口不兼容、充电器携带不便等问题。系统中的硬件与软件均采用模块化设计,易于调试与拓展,便于设备升级与改造。目前尚存在的问题是充电效率不高,传输距离不够远。这一问题可从器件及参数选取、软件优化、增大发射功率得以进一步解决。

参考文献

1. 苏青,敬石开,吴晓琦,陈广仁,田若松,侯米兰. 30 项引领未来的科学技术[J]. 未来与发展,2008,(08):44-48.
2. 方创琳,杨玉梅. 绿色太阳能时代的呼唤[J]. 百科知识,1997,(02):25-26.
3. 程时杰,陈小良,王军华,文劲宇,黎静华. 无线输电关键技术及其应用[J]. 电工技术学报,2015,(19):68-84.
4. 张宝群,李香龙. 电动汽车非接触式充电研究概况及实用化分析[J]. 电子测量技术,2012,(03):1-6.

基于视觉识别的新型公交服务系统设计与实现*

路中强；刘韵韬；刘英男

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 将人脸检测与跟踪技术应用到人数统计与公交服务系统的研究中, 首先对人脸分类器的训练过程和使用方法进行了研究, 对基于扩展类的 Haar 特征进行了改进, 使得人脸检测的更加准确, 辨识度更高。对 Adaboost 训练人脸分类器的方法进行了深入的研究, 并加以改进和使用。利用 Hue 信息建立人脸区域举行框图, 并利用 CamShift 算法对人脸区域进行追踪, 根据人脸的位置判断乘客是否上车, 将人脸检测跟踪技术应用于公交车载客量统计中。将 GPS 定位导航技术融入到公交服务系统中, 完成针对服务系统一定的辅助作用。

关键词: 人脸检测 动态物体跟踪 GPS

The design and implementation of the new bus service system based on visual identification

Lu Zhongqiang; Liu Yuntao; Liu Yingnan

(College of Instrument science and Electrical engineering, Jinlin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Apply face detection technology tracking technology to bus service system of study, first of all, study the use a method and training process of face classifier, Characteristics of Haar based on extended class was improved. Makes face detection more accurate, identification degree is higher. In-depth study face classifier Adaboost training methods, and improve and use it. Use Hue information to establish face region held a block diagram, and use the CamShift algorithm to track of face region, according to the position of human face whether passengers get on the bus. Apply face detection technology tracking technology to the bus carrying statistics. Put GPS navigation and positioning technology into the bus service system, to complete certain auxiliary function for service system.

Key words: Face detection Dynamic object tracking GPS

0 前言

对于现存的公交服务系统不够完善, 公交车载客量统计方法落后, 统计算法精确度太低, 检测时漏检误检较多。针对上述现象本文将人脸检测与跟踪技术应用到公交车载客量统计中, 并将 GPS 技术应用到公交车定位, 设计一个更为先进更为完善的公交车服务系统。在对现有的一些人脸训练方法深入研究和比较后, 本文采用目前更加先进与完善的 Adaboost 算法进行人脸训练, 并对该算法加以改进应用到乘客人脸检测中。对于人脸跟踪方法, 本文

使用了 Camshift 算法, 该算法可以用于多目标跟踪。根据人脸在摄像头中的位置判断乘客是否上车, 并加以统计载客量。

1 视觉识别方案

系统首先调用摄像头信息, 并将图像信息进行初步处理。之后进行人脸检测部分, 本文参考了 Viola-Jones 算法, 首先提取目标图像的 Haar-like 特征, 然后采用强分类器与弱分类器级联的方法, 检测出人脸区域, 并使用 Hue 信息建立人脸彩色框图。使用 Camshift 算法对人脸区域进行跟踪。在提取的

*指导老师: 易晓峰

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65650)

摄像头图像中界面左边划定一条界线，在人脸区域越过该界线时则表示乘客已上车，并自动统计人数。

Haar 特征仅与一个矩形区域内像素取值的和有关,其特征取值为白色区域对应图像的像素值之和减去黑色区域对应图像的像素值之和^[7]。

对于 Haar-like 特征 Viola 采用的是 12 中不同的人脸像素特征。

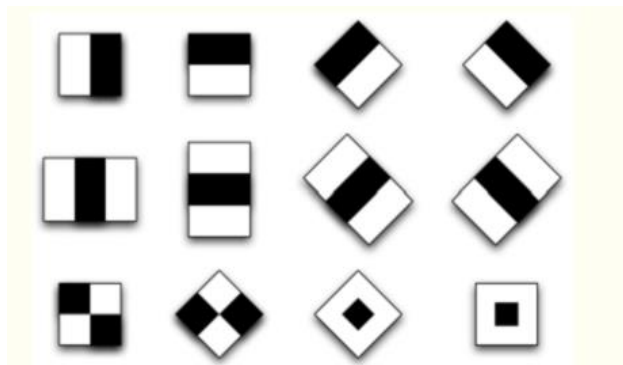


图 1 Haar-like 人脸像素特征

Fig. 1 Haar-like face pixel feature

本文对于该特征加以改进，将 Haar-like 特征减少为八种，并将该特征重新设计改进，提高检测效率和检测准确性。

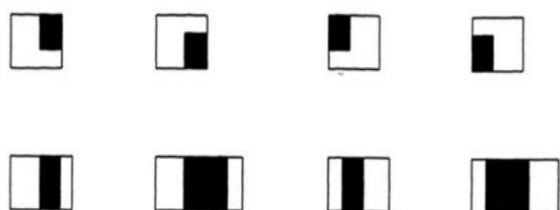


图 2 改良的 Haar-like 特征

Fig. 2 Modified Haar-like feature

根据 Haar-like 特征值检测出人脸区域，并用 Hue 信息建立人脸区域矩形框图将人脸区域框出，并采用 CamShift 算法对该目标区域进行追踪。

CamShift 算法源于 MeanShift 算法，其全称是 "Continuously Adaptive Mean-SHIFT"，即：连续自适应的 MeanShift 算法^[10]。其基本思想是对视频序列的所有图像帧都作 MeanShift 运算，并将上一帧的结果（即搜索窗口的中心位置和窗口大小）作为下一帧 MeanShift 算法的搜索窗口的初始值，如此迭代下去。简单点说，MeanShift 是针对单张图片寻找最优迭代结果，而 CamShift 则是针对视频序列来处理，并对该序列中的每一帧图片都调用 MeanShift 来寻找最优迭代结果^[13]。正是由于 CamShift 针对一个视频序列进行处理，从而保证其可以不断调整窗口的大小，如此一来，当目标的大小发生变化的时候，该算法就可以自适应地调整目标区域继续跟踪

[2]。

Meanshift 算法是一种密度函数梯度估计的非参数方法，通过迭代寻优找到概率分布的极值来定位目标。

2 人脸检测与跟踪详述

2.1 检测算法详述

Haar-like 特征值在人脸检测中的应用中如图 3 所示，中间的图表示人眼睛区域的颜色比人脸颊区域的颜色深，最后一张表示人鼻梁两侧比人鼻梁的颜色要深，同样还可以用其他矩形特征表示人脸其他区域^[3]。

Voial 采用的 Adaboost 分类器是一种将多个弱分类器级联形成的强分类器，弱分类器的数学结构如下：

$$h(x, f, p, \theta) = \begin{cases} 1 & pf(x) < p\theta \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

一个弱分类器由子窗口图像 x，一个特征 f，指示不等号方向的 p 和阈值组成。p 的作用是控制不等式的方向，使得不等式左侧为较小值，形式方便。

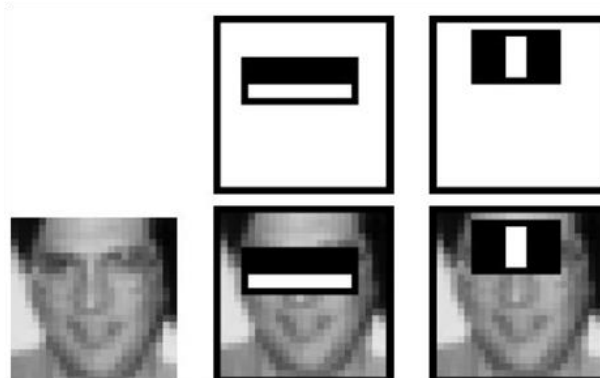


图 3 Haar-like 检测示例

Fig. 3 Haar-like detecting example

从数学结构上可以看出，当特征值小于阈值时，弱分类器输出为 1，即判定为人脸，大于阈值时，判定为非人脸^[4]。由此可见训练最优弱分类器的关键就在于寻找合适的阈值，使该分类器对所有样本的判读误差最低。

级联强分类器的原则是，将若干个强分类器由简单到复杂排列，希望经过训练使每个强分类器都有较高检测率，而误识率可以放低。^[1]比如几乎 99% 的人脸可以通过，但 50% 的非人脸也可以通过，这样如果有 20 个强分类器级联，那么他们的总识别率为 $0.99^{20}=81\%$ ，错误接受率也仅为 $0.5^{20}=1E-6^{[2]}$ 。

2.2 追踪算法详述

Camshift 利用目标的颜色直方图模型将图像转换为颜色概率分布图，初始化一个搜索窗的大小和位置，并根据上一帧得到的结果自适应调整搜索窗口的位置和大小，从而定位出当前图像中目标的中心位置^[11]。前面说过 Camshift 是对视频序列的所有图像帧都进行 Meanshift 运算。

Meanshift 算法是一种密度函数梯度估计的非参数方法，通过迭代寻优找到概率分布的极值来定位目标^[9]。

算法过程为：

(1) 在颜色概率分布图中选取搜索框 W

(2) 计算零阶距：

$$M_{\infty} = \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (2)$$

计算一阶距：

$$M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y) \quad (3)$$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y) \quad (4)$$

计算搜索框的质心：

$$x_c = M_{10} / M_{\infty} \quad (5)$$

$$y_c = M_{01} / M_{00} \quad (6)$$

(3) 调整搜索框的大小：

长度为 1.2s，宽度为

$$s = \sqrt{M_{\infty} / 256} \quad (7)$$

(4) 移动搜索窗的中心到质心，如果移动距离大于预设的固定阈值，则重复 2)3)4)，直到搜索窗的中心与质心间的移动距离小于预设的固定阈值，或者循环运算的次数达到某一最大值，停止计算。

2.3 计数算法

在视频图像的左边框位置设定一条界线 $cline$ ，设定 $cline$ 在图像左 1/3 处，当人脸矩形框的中心位置，即 $camshift$ 搜索框的中心从右至左移过该条边界时则计数。并将每个越过该界限的人脸累加，由此达到人数统计的目的。

3 实验结果

为了检测系统的性能，本文首先对单人脸进行了检测，然后对多人脸检测，最后保证检测、跟踪与计数整体系统的完整性与稳定性。序列图像的像素尺度分别使用了 'YUY2_1280x720'、'YUY2_160x120'、'YUY2_176x144'、

'YUY2_320x240'。实验表明，像素选用为 'YUY2_1280x720' 时检测准确性最高，但运行速度较慢，无法达到要求，像素选用为 'YUY2_160x120' 时运行效率高，但准确性较低。经权衡检测效率与检测准确性二者后，选用像素尺度为 'YUY2_320x240'。实验选用平台为戴尔笔记本电脑，处理器为 i5-7337U，1.80GHz CPU，4G 内存。上述系统满足公交车检测乘客是否上车的可靠性与实时性。为了系统的美观性和直观性，实验采用 GUI 界面设计。

下图为部分实验检测结果。



图 4 单人脸检测

Fig. 4 Single face detection

表 1 单人人脸检测试验结果

Table.1 Single face detection test results

人脸总数	正确检测的人数	漏检人数	误检人数	处理速度(帧/s)
202	196	6	4	32~38
	准确率	漏检率	误检率	
	97%	3%	2%	

实验表明检测准确率较高，检测跟踪速度满足实时性。但在侧脸检测时有一定缺陷，当人脸偏转角度大于 90 度时，漏检率较高。

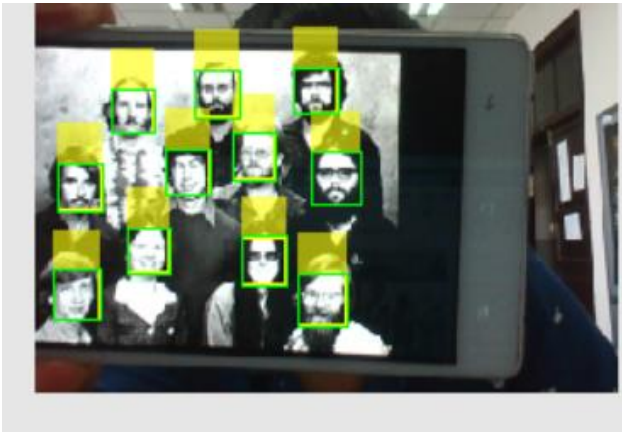


图 5 多人脸检测

Fig. 5 Multi-face detection

表 2 多人脸检测试验结果

Table.2 Multi-face detection test results

人脸总数	正确检测的人数	漏检人数	误检人数	处理速度(帧/s)
378	366	12	14	32~38
	准确率	漏检率	误检率	
	96.8%	3.2%	3.7%	

4 结论

近年来，随着我国工业化的发展，空气污染严重，而大量的私家车涌现不但加重空气污染，更导致交通拥挤。此时公交车则成为人们更好的选择，如何完善公交服务系统刻不容缓，本文从公交车载客量统计的角度设计了以人脸检测、识别为基础的新型公交服务系统，帮助公交公司合理化、智能化分配各时段各路段的公交车车次。与以往的公交车载客量统计方法不同，本文基于更加现代化、智能化的人脸检测、跟踪计数设计的统计方法具有精确性、智能化等特点。系统综合动态图像中的人脸像

素特点利用公交车的监控摄像头有效的检测、跟踪识别乘客人脸，记录乘客乘车情况，并依据公交服务系统中的 GPS 定位模块，将各时段各路段的路况信息实时上传显示，为更好地服务乘客提供基础。

参考文献

1. Prashanth Kumar G.,Shashidhara M.. Real Time Detection and Tracking of Human Face using Skin Color Segmentation and Region Properties[J]. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing(IJIGSP),2014,6(8):.
2. Juan A Bot í ,a,Hedda Schmidtke,Tatsuo Nakashima,Mohammed R. Al-Mulla,Juan Carlos Augusto,Asier Aztiria,Matthew Ball,Victor Callaghan,Diane J. Cook,James Dooley,John O'Donoghue,Simon Egerton,Pablo A. Haya,Miguel J. Hornos,Eduardo Morales,Juan Carlos Orozco,Otniel Portillo-Rodr í ,guez,Alejandro Rodriguez-Gonz á ,lez,Oscar Sandoval,Paolo Tripicchio,Minjuan Wang,Victor Zamudio,Hector Vargas,Esperanza Medina,Daniel Martinez,Edson Olmedo,Gerson Beristain. Human-Robot Interface using Face Detection and Recognition, for the Service Robot, "Donaxi" [J]. Ambient Intelligence and Smart Environments,2012,13:.
3. Qingshan Liu,Jing Yang,Jiankang Deng,Kaihua Zhang. Robust facial landmark tracking via cascade regression[J]. Pattern Recognition,2016,:
4. Ghulam Ali,Muhammad Amjad Iqbal,Tae-Sun Choi. Boosted NNE collections for multicultural facial expression recognition[J]. Pattern Recognition,2016,:
5. 韩乐, 何焯秋, 高文华. 基于 Matlab 的人脸检测实验设计[J]. 电脑知识与技术, 2016, (22):165-166+184.
6. 齐光景. 基于 fast-AdaBoost 算法的人脸检测与识别方法研究[D].太原理工大学, 2014.
7. 李长风. 基于 AdaBoost 算法的人脸检测研究[D].兰州理工大学, 2014.
8. Yi Hu Huang, Ji Xiang Ma, Xiao Dong Han, Ning Hu, Xi

- Mei Jia. Design of Human Tracking Algorithm Based on Improved Camshift[J]. Key Engineering Materials,2013,2445(561):.
9. Zhiyu Zhou,Dichong Wu,Xiaolong Peng,Zefei Zhu,Kaikai Luo. Object Tracking Based on Camshift with Multi-feature Fusion[J]. Journal of Software,2014,9(1):.
 10. Quan Tang,Shu Guang Dai,Jie Yang. Object Tracking Algorithm Based on Camshift Combining Background Subtraction with Three Frame Difference[J]. Applied Mechanics and Materials,2013,2594(373):.
 11. Shwu Huey Yen,Jui Chen Chien,Hsiao Tsung Lin. An Improved CAMSHIFT Tracking Algorithm Applying on Surveillance Videos[J]. Advanced Materials Research,2013,2455(717):.
 12. 潘杰. 视频序列中的多角度人脸检测与跟踪[D].上海交通大学, 2010.
 13. 刘新永, 蔡凤丽, 王志杨. 基于 MATLAB 的人脸检测定位算法研究[J]. 通化师范学院学报, 2015, (12):11-13.
 14. 曹永辉. 视频序列中的人脸检测与跟踪[D].电子科技大学, 2008.

基于 ZigBee 无线传感网络的人员定位系统设计* 与实现*

张希明；徐丹琳；陈钰佳

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要：针对现有无线传感器网络定位系统精度不高的问题，系统采用基于校正模型的三边测距质心定位算法实现人员定位。通过研究 ZigBee 无线通信技术，分析无线电传播路径损耗模型，结合实验测试得到 RSSI 测距模型。引入高斯滤波模型和自校正模型修正测距值，在三边测量法的基础上结合质心定位思想，以三圆相交部分的质心作为盲节点的估算位置。经试验测试，系统的定位误差小于 10%，有效地降低了环境引起的盲节点位置误差，提高了定位精度。

关键词：三边测距质心定位算法；高斯滤波；自校正模型；ZigBee；RSSI

Design and implementation of personnel positioning system based on ZigBee wireless sensor network

Zhang Ximing; Xu Danlin; Chen Yujia

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Aiming at the problem of low accuracy of the existing wireless sensor network positioning system. In the system, the three side location algorithm based on the calibration model is used to realize the positioning of the personnel. Through the research of ZigBee wireless communication technology, analysis of radio propagation path loss model, combining RSSI (Received Signal Strength Indication) ranging model by experiment test, and introducing the Gaussian filter model and the self correction model to correct the range values. On the basis of the three side measurement method which combined with the idea of centroid localization, using the estimation position of the centroid of the three circle intersection as the blind node. By testing, the positioning error of the system is less than 10%, which reduces the blind node position error caused by the environment effectively and improves the positioning accuracy.

Key words: three side ranging centroid localization algorithm Gaussian filter; self correction model ZigBee

0 前言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是一种分布式传感网络，由节点、网关和软件三部分组成，能够实现大范围，低成本，灵活铺设的实时数据采集^[1]。目前已有的大多数 WSN 仅限于采集光强、温度、湿度、压力等标量数据^[2]。在 WSN 的许多应用场合诸如环境监测、目标监视以及安全监控等，传感器节点的位置信息十分重要，很多其他

的服务都是基于位置的，信息要和位置捆绑在一起才有意义。在不增加成本投入的前提下，利用 WSN 的自身特点，完成节点定位功能具有广阔的发展空间和重要的应用研究价值。

本文利用近年新兴的短距离、低功耗、低成本的 ZigBee 无线通信技术组建无线传感网络，采用基于校正模型的三边测距质心定位算法实现人员定位系统的设计。

*指导老师：易晓峰

项目类型：大学生创新项目(2015651013)

1 算法模型

三边测距质心定位算法由测距过程、定位过程和修正过程三部分组成。具体描述如下：

- 1) 利用 RSSI 模型获取无线网络中盲节点与信标节点的间距；
- 2) 由定位模型得到盲节点的位置信息；
- 3) 对测距模型和定位模型进行修正，减小定位误差。

1.1 RSSI 测距模型

RSSI 是接收信号强度指示值。公式(1)表示信号的发射功率和接收功率之间的关系，PT 是信号的发射功率，PR 是信号的接收功率，d 是收发芯片的距离，n 是传播路径衰减因子，由当前无线电传播环境决定^[3]。

$$P_R = P_T / d^n \tag{1}$$

$$\begin{aligned} P_R (dBm) = \\ P_T (dBm) - 10n \lg r \end{aligned} \tag{2}$$

$$P_R (dBm) = P_{R_1} (dBm) - 10n \lg r \tag{3}$$

PR₁ 是收发芯片相距 1 m 时的接收功率，由公式 (3) 可看出收发芯片的间距与 RSSI 值的关系由 1 m 处的接收功率和传播路径衰减因子决定。在传播过程中，各种媒质对无线电信号的干扰越小，基于 RSSI 的测距就会越精准。

1.2 三边测距质心定位模型

三边测距质心定位算法是在三边测量定位算法的基础上引入质心算法的思想^[4]，解决了三边测量定位算法中方程组无解的问题，使得估算出的节点坐标值更加准确。

1.2.1 三边测量法

如图 1 所示，设 D 点坐标是(x,y)，A、B、C 三点的坐标分别为(x_a,y_a)、(x_b,y_b)、(x_c,y_c)，它们到 D 点的距离分别是 d_a、d_b 和 d_c。

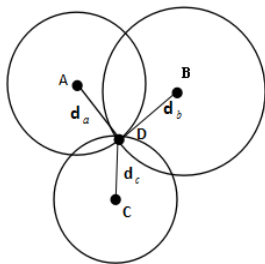


图 1 三边测量法模型示意图

Fig.1 Schematic diagram of three edge measurement mode

根据以上信息可得下列方程组，联立可求得 D 的坐标。

$$(x-x_a)^2+(y-y_a)^2=d_a^2 \tag{4}$$

$$(x-x_b)^2+(y-y_b)^2=d_b^2 \tag{5}$$

$$(x-x_c)^2+(y-y_c)^2=d_c^2 \tag{6}$$

1.2.2 质心算法

质心算法是一种基于 WSN 连通性的室外定位算法，由美国南加州大学的布鲁斯等人提出：以定位节点通信范围内的所有参考节点几何质心作为其估算位置^[5]。假设其监听到的与之连通的信标节点的坐标分别为 (x₁,y₁)、(x₂,y₂)、(x₃,y₃)、(x₄,y₄)、(x₅,y₅)，其质心坐标即为：

$$\left(\frac{x_1+x_2+x_3+x_4+x_5}{5}, \frac{y_1+y_2+y_3+y_4+y_5}{5} \right)$$

1.2.3 三边测距质心定位算法

在实际定位过程中由于测距带来的误差常得到如图 2 所示的情况^[6]。

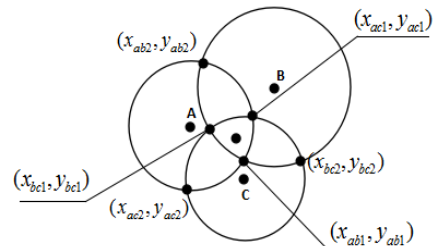


图 2 三边测距质心定位模型示意图

Fig.2 Schematic diagram of centroid location model based on triangulation

根据公式(4)、(5)、(6)可分别求得圆 A 与圆 C 的交点(x_{ac1},y_{ac1})、(x_{ac2},y_{ac2})，圆 A 与圆 B 的交点(x_{ab1},y_{ab1})、(x_{ab2},y_{ab2})，圆 B 与圆 C 的交点(x_{bc1},y_{bc1})、(x_{bc2},y_{bc2})。

分别将两圆的交点及第三圆圆心坐标代入公式 (7)，判断距离值找出两点中靠近第三圆圆心的点。如图 2 所示，判断可得离圆 A、圆 B 和圆 C 圆心较近的点分别为(x_{bc1},y_{bc1})、(x_{ac1},y_{ac1})和(x_{ab1},y_{ab1})。依据质心思想，以三圆相交部分的质心作为盲节点的估算位置，由公式(8)计算盲节点的坐标值。

$$d=(x-x_0)^2+(y-y_0)^2 \tag{7}$$

$$(x,y)=\left(\frac{x_{ab1}+x_{ac1}+x_{bc1}}{3}, \frac{y_{ab1}+y_{ac1}+y_{bc1}}{3} \right) \tag{8}$$

1.3 三边测距校正模型

在定位系统的实际应用中，由于环境因素干扰，

会导致 RSSI 值不稳定，在不同的环境下电磁波传播路径衰减因子也会发生变化。针对这些问题，提出高斯校正模型和信标节点自校正模型修正定位结果，提高定位精度。

1.3.1 高斯校正模型

信号在传输过程中受突发事件干扰是小概率事件，此时 RSSI 值与正常值偏差较大，对测距的影响较大。通过高斯滤波选择概率较高的 RSSI 值之后再取其平均值[7]，可以降低环境扰动对测距值的影响，减小定位误差。具体校正流程如图 3 所示：

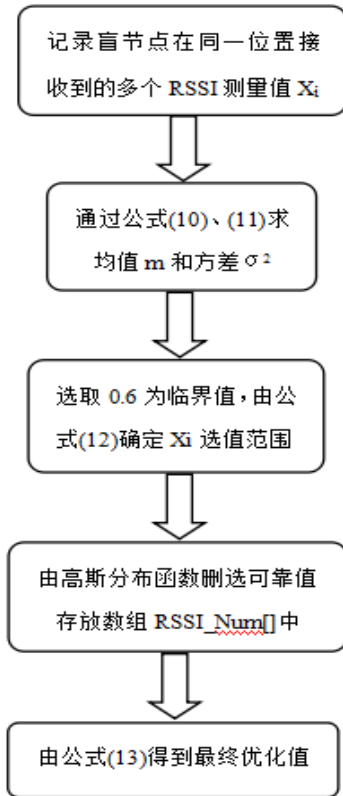


图 3 高斯校正模型流程

Fig.3 Gaussian correction model flow

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (10)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - m)^2 \quad (11)$$

$$0.6 \leq F(x) \leq 1 \quad (12)$$

$$RSSI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Rssi_Num[i] \quad (13)$$

1.3.2 信标节点自校正模型

系统中信标节点的位置信息是已知的，利用信

标节点相互通信，分别记录对应的发射功率、接收功率和收发芯片的间距，由公式（1）可求得传播路径衰减因子 n 值。将测量得到的 n 值作为当前环境下传播路径衰减因子，提高系统的自适应性。校正流程如图 4 所示：

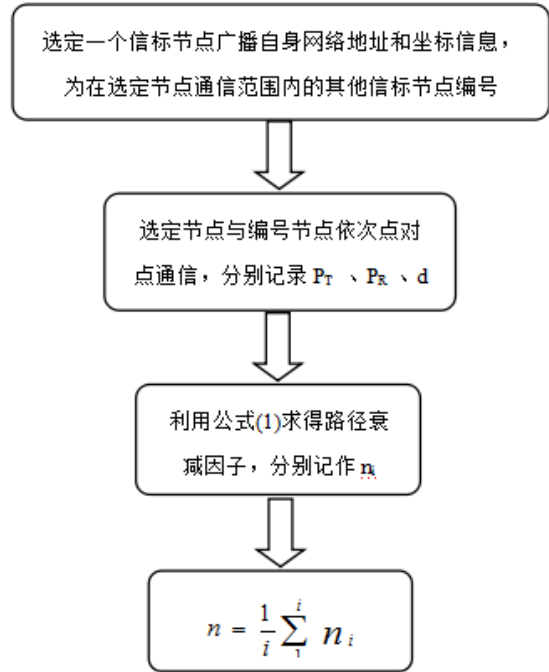


图 4 信标节点自校正模型流程

Fig.4 Beacon node self-tuning model flow

2 算法实现

算法的实现分为组建无线传感网络、测距、修正和定位 4 个步骤。考虑到实际定位系统对功耗、成本的要求，系统采用 ZigBee 技术搭建无线传感网络，设计与实现人员定位系统。算法的具体实现流程如图 5 所示：

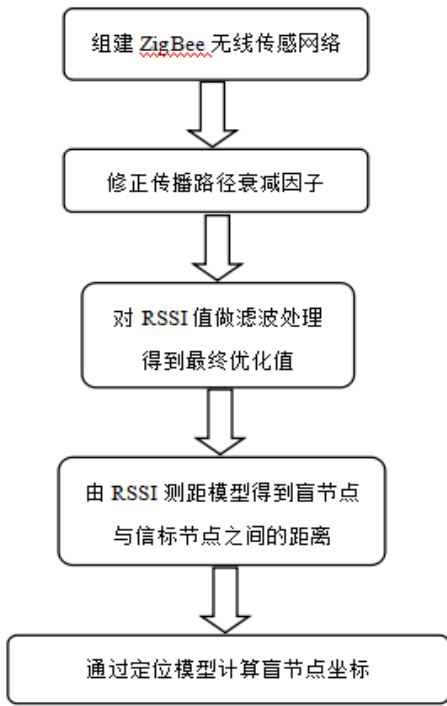


图 5 算法实现流程

Fig.5 Algorithm implementation process

2.1 无线传感网络的组建

ZigBee 无线传感网络中有协调器、路由器和终端 3 种功能节点。协调器负责网络的组建，路由器负责网络内信息帧的路由，终端节点负责具体功能的实现[10]。

系统中信标节点由已知位置信息的路由器节点充当，其数量和密度决定了定位精度。盲节点由终端节点充当，绑定在人员身上，每隔固定时间在网络中广播自身的 ID 信息。

2.2 信标节点自校正过程

在组建好的网络中将所有信标节点加入同一组内，选定其中一个信标节点执行图 4 所示的校正过程，得到当前环境下的传播路径衰减因子 n 。

2.3 测距过程

- ① 盲节点广播自身身份标识及网络地址；
- ② 信标节点收到上述广播信息帧后返回自身的坐标信息、网络地址作为应答；
- ③ 盲节点接收应答信息，统计可直接与自身通信的信标节点；
- ④ 盲节点依次与符合条件的信标节点点对点通信，记录 RSSI 值和相对应信标节点的坐标上传至上位机；
- ⑤ 上位机利用高斯滤波模型对上述步骤记录的几组 RSSI 值做滤波处理之后由测距模型转换为盲节点与众多信标节点的间距。

2.4 定位过程

上位机采集盲节点与在其通信范围内的信标节

点之间的距离并选取其中距离较短的三点。利用三边测距质心定位模型，由式 (4) - (8) 可得盲节点坐标值。

3 实验测试

实验采用 TI 公司的 CC2530 射频收发芯片搭建无线通信平台。该芯片兼容 IEEE802.15.4 规范，结合了德州仪器的 ZigBee 协议栈 (Z-Stack™)，实测可靠通信距离在 30 m 以上。实验中设计了 1 个协调器节点、4 个信标节点、1 个盲节点和 1 个简单的上位机监测系统。协调器负责网络的组建，与 PC 通过有线的方式连接，将网络中的数据实时发送给上位机。上位机对收集到的数据分析处理后计算出盲节点的坐标存储并显示。实验分成以下两部分：

3.1 对 RSSI 测距校正模型效果的验证：

实验选定两个节点进行点对点通信，测试不同校正模型的测距误差。在 0-10 m 的范围内每隔 0.5m 选定一个测试点，采用不同的校正算法：

- ① 不使用校正模型；
- ② 采用高斯校正模型；
- ③ 采用信标节点自校正模型修正传播路径衰

三种模型的测距效果如图 6 所示。可见使用信标节点自校正模型修正传播路径衰减因子之后再采用高斯校正模型的效果明显优于其余两种。

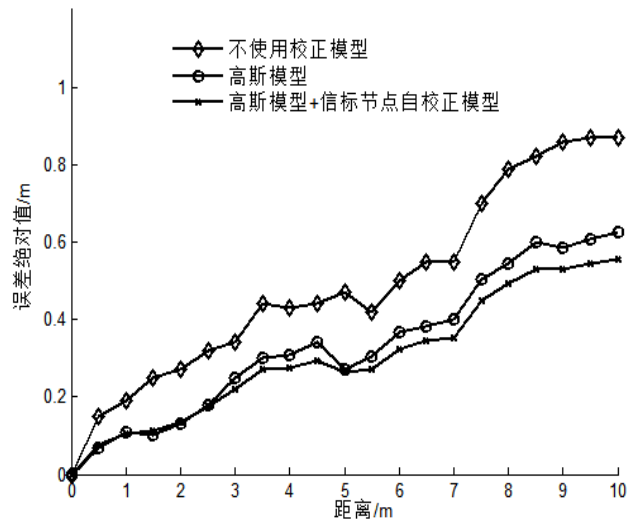


图 6 测距效果测试图

Fig.6 Ranging effect test chart

3.2 定位效果综合检测

将 4 个信标节点分别放置在边长为 2.5 m 的菱形顶点处，盲节点在菱形范围内移动，分析采用校正模型后的系统定位精度，测试结果见图 7、表 1：

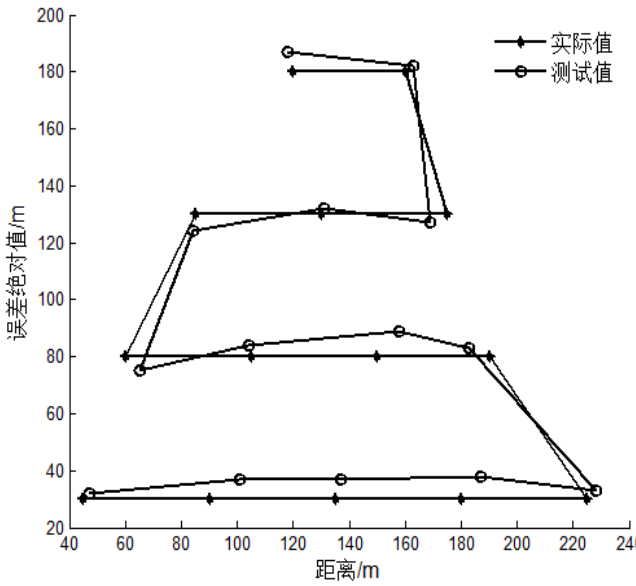


图 7 定位效果测试图

Fig.7 Location effect test

表 1 测试结果与实际值对照表 (cm)

TABLE I TEST RESULTS AND THE ACTUAL VALUE OF THE

TABLE (CM)

节点序号	实际坐标	测试结果
1	(45, 30)	(47,32)
2	(90,30)	(101,37)
3	(135,30)	(137,37)
4	(180,30)	(200,38)
5	(225, 30)	(228,33)
6	(190,80)	(183,83)
7	(150,80)	(158,89)
8	(105,80)	(104,84)
9	(60,80)	(65,75)
10	(80,130)	(84,124)
11	(130,130)	(131,132)
12	(175,130)	(169,127)
13	(160,180)	(163,182)
14	(120,180)	(118,187)

4 结论

本文在三边测距质心定位算法基础上引入高斯校正模型和信标节点自校正模型实现人员定位。通

过高斯滤波模型避免了在测距过程中一些小概率事件的干扰，利用信标节点自校正模型修正传播路径衰减因子，减小环境对系统定位精度的影响。

经试验测试，系统的定位误差小于 10%，有效地降低了环境引起的盲节点位置误差，提高了定位精度。在后续的研究中可以结合 CC2591 功率放大芯片提高 CC2530 芯片的收发灵敏度，进一步扩展定位范围，使系统更具有实用价值。

参考文献

- 柴淑娟,赵建平.基于无线传感网络的水质监测系统的研究[J].曲阜师范大学学报(自然科学版), 2008, 34(11):214-224.
- 李顺辉.无线传感网络测量中的数据分发和时间同步研究[D].湖南大学硕士学位论文, 2009
- 方震,赵湛,郭鹏,张玉国.基于 RSSI 测距分析[J].传感技术学报, 2007,20(11).
- 高雷,郑相全,张鸿.无线传感器网络中一种基于三边测量法和质心算法的节点定位算法[J].重庆工学院学报,2009,23(7):139-141.
- 刘京,宋家友.无线传感器网络中基于 RSSI 的质心定位算法的改进[J].计算机光盘软件与应用, 2012(7): 33-34.
- 林玮,陈传峰.基于 RSSI 的无线传感网络三角形质心定位算法[J].现代电子技术,2009(2):180-182.
- 朱明辉,张会清.基于 RSSI 的室内测距模型的研究[J].传感器与微系统, 2010,29(8):19-22.
- 章坚武,张璐,应瑛,高锋.基于 ZibBee 的 RSSI 测距研究[J].传感技术学报, 2009,22(2):285-288.
- Mohebbia M,Barouei J,et al.Modeling and optimization of viscosity in enzyme modified cheese by fuzzy logic and genetic algorithm[J].Computer and Electronics in Agriculture,2008,62(2):260-265.
- Saeid S,Abbas T,Josep S.Spectrum sensing using correlated receiving multiple antennas in cognitive radios[J].IEEE Trans on Wireless Communications, 2013,12(11):5754-5766.

基于虚拟仪器技术的电工仪表设计*

党继荣; 姜凯华; 王鸿飞

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 本设计采用虚拟仪器技术,从丰富完善吉林大学自主研发的虚拟电子测试平台出发,以设计现代智能化数字万用表为目的,依照虚拟电子测试平台的机械规范与总线协议,完成了虚拟数字万用表的研制。设计采用模块化的思想,将虚拟数字万用表设计为 3U 尺寸的模块板卡,利用 FPGA 制作的双口 RAM 实现与控制器之间的通信。主测量部分由单片智能数字万用表集成电路构成,可达到以最简洁方式构成高性价比数字万用表的目的。仪器驱动采用动态链接库的形式设计^[1],将与仪器有关的 I/O 操作都封装成函数,封装后的函数通过访问 USB 驱动,实现数据的输入输出。采用动态链接库的形式设计仪器驱动,使编写应用程序时不必了解仪器的具体实现细节,提高了编程的灵活性和编程的效率。应用程序采用 LabVIEW8.6 开发,通过用 CLF 节点调用动态链接库的方式,实现与 USB 控制器通信,达到控制虚拟数字万用表的目的^[2]。设计的虚拟数字万用表不但具有传统数字万用表的基本测量功能,还兼有数据分析、存储、报表、网络通信等优点,可应用于电工电子测量相关领域。

关键词: Labview 数字万用表 虚拟数字

Design of electrical instrument based on Virtual Instrument Technology

Dang Jirong; Jiang Kaihua; Wang Hongfei

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: This design adopts the virtual instrument technology, starting from the perfect virtual electronic test platform developed by Jilin University, in the design of modern intelligent digital multimeter for the purpose, in accordance with the mechanical specification and protocol virtual electronic test platform, developed the virtual digital multimeter. The design adopts the idea of modularization, and designs the virtual digital multimeter as the module board of 3U size, and realizes the communication between the controller and the controller by using the dual port RAM made by FPGA. The main measuring part is composed of a single chip intelligent digital multimeter integrated circuit, which can achieve the purpose of forming a high performance digital multimeter in the most concise way. The instrument driver design in the form of dynamic link library, and the instrument packages the I/O operation into function, function after package is accessed through the USB driver, realize the input and output data. The use of dynamic link library in the form of instrument design, so that the application program does not need to understand the specific implementation details of the device to improve the flexibility of programming and programming efficiency. The application program is developed by LabVIEW8.6, using the CLF node in the way of calling dynamic link library to achieve communication with the USB controller to control the virtual digital multi objective design of the virtual digital multimeter table has a traditional digital universal meter basic measuring function, also has the functions of data storage, analysis, reporting, network communication etc. the advantages, can be applied to electrical and electronic measurement field.

Keywords: Labview digital multimeter virtual number

0 前言

电工仪表作为电子工程技术人员和电子设备检测人员的常用工具,已被越来越多的人应用起来,随着电力建设的不断加速,我国的电工仪表也进入

*指导老师: 张秉仁

项目类型: 大学生创新实验项目(2016B65679)

了一个快速发展的时期,电工仪表制造企业紧跟时代步伐,在一些技术领域达到了世界先进水平,企业的集中度不断提高,生产规模不断扩大,技术核心竞争力也在不断增强,已具备了相当的优势^[3]。随着电力事业的发展,电工仪表的进一步发展也是可以预见的。不断发展的电力事业对电工仪表行业形成了新的挑战,同时也是电工仪表业的一个重要机遇和新的发展空间。

1 绪论

1.1 国内外研究现状分析

电工仪表主要经历了模拟阶段——数字阶段——智能万用表三个阶段。模拟式电工仪表造价低,价格便宜,功能全,但却存在着测量精度低、体积较大、容易损坏等问题。模拟式电工仪表一般由表头、测量电路、转换装置三部分组成,通过表盘上的旋钮调解,能够满足直流、交流、电阻等不同的测量需求。智能万用表是在数字电工仪表的技术基础上研发的,智能万用表和数字万用表相比,增加了微处理器或者单片机智能控制单元。智能万用表继承了数字电工仪表的诸多优点,并且更加准确、功能更加强大,具有自动校准、自动测量、自动数据处理等功能。智能万用表还实现了与计算机相连,能够帮助技术人员完成技术测量和实时监控等工作需要。当今电工仪表市场中,模拟仪表已经逐渐被数字仪表所淘汰,虽然智能仪表的功能更加强大,但由于造价和成本较高,因而并没有数字万用表流通性好^[4]。虽然当今我国电工仪表市场是以数字仪表为主,但随着我国信息技术和微处理技术的发展,智能化仪表的造价必然会有所降低,逐步实现数字仪表的智能化,为社会的进步和发展做出更大的贡献。

1.2 论文研究的意义

用虚拟仪器技术的优势来弥补数字万用表的不足是设计现代智能化数字万用表的一个良好的解决方案。虚拟仪器技术的引入,可以让开发者自定义仪器功能,将测量与误差计算融为一体,显示了易操作性和灵活性的特点^[5]。设计基于虚拟电子测试平台的虚拟数字万用表的意义在于:

- (1) 完善丰富吉林大学自主研发的虚拟电子测试平台,使其更好的为电子测试测量服务;
- (2) 虚拟数字万用表有无限的显示选项,灵活、便利,使其不受硬件电路设计限制;
- (3) 可以数字、指针等多种形式显示测量结果,结合数字的直观与指针的形象,并且可以直接成图、

制表,便于记录、编辑和形成报告;

(4) 不仅能进行数字万用表的一般性测量,而且还能对测量结果进行诸如平均值、极值统计分析以及更加复杂的数据分析与处理;

(5) 使万用表智能化,实现量程的自动切换、自动调零、校准,并且具备良好的人机对话能力,能够显示出仪器的运行状况、工作状态等信息;

(6) 能够长时间的观测数据,进行测量数据的存储、显示回放;

(7) 利用虚拟电子测试平台可重构的优点,很容易实现组合式测量,并且可与虚拟电子测试平台现有模块化板卡配合使用,完成更多的测量任务;

(8) 虚拟数字万用表是数字万用表网络化与远程实验教学的良好解决方案。只要研究具有网络接口的虚拟电子测试平台控制器,虚拟数字万用表和虚拟电子测试平台中的测试测量仪器达到网络化和远程实验教学是很容易的

1.3 论文主要研究内容:

a. 直流电压与电流的测量范围较小,现有的直流电压的量程为 0-400v, 直流电流的量程为 0-100A, 我们现在需要将直流电压的量程增加到 0-500v 左右, 将直流电流的量程增加到 0-200A.

b. 交流电压与电流无法正常测量,我们需要将它能够正常测量,使交流电压的测量范围大概为 0-500v, 交流电流的测量范围为 0-100A 左右,, 我们可以将它测量结果与市面上通用的测量仪表的数值进行比对,来检测它的正确性。

c. 以数字、指针、图形等多种形式显示测量结果;

d. 能对测量结果进行诸如平均值、极值统计分析等数据分析与处理;

e. 可实现量程的自动切换、自动调零、校准;

f. 具备良好的人机对话能力,能够显示出仪器的运行状况、工作状态等信息;

g. 能够长时间的观测数据,进行测量数据的存储、显示回放;

h. 能够实现网络通信。

2 基于虚拟仪器技术的电工仪表的总体设计方案

2.1 整体设计思路:

本设计采用虚拟仪器技术,从丰富完善吉林大学自主研发的虚拟电子测试平台出发,以设计现代

智能化数字万用表为目的,依照虚拟电子测试平台的机械规范与总线协议,完成了虚拟数字万用表的研制。设计采用模块化的思想,将虚拟数字万用表设计为 3U 尺寸的模块板卡,利用 FPGA 制作的双口 RAM 实现与控制器之间的通信(7)。主测量部分由单片智能数字万用表集成电路构成,可达到以最简洁方式构成高性价比数字万用表的目的。仪器驱动采用动态链接库的形式设计,将与仪器有关的 I/O 操作都封装成函数,封装后的函数通过访问 USB 驱动,实现数据的输入输出。采用动态链接库的形式设计仪器驱动,使编写应用程序时不必了解仪器的具体实现细节,提高了编程的灵活性和编程的效率。应用程序采用 LabVIEW 开发,通过用 CLF 节点调用动态链接库的方式,实现与 USB 控制器通信,达到控制虚拟数字万用表的目的。设计的虚拟数字万用表不但具有传统数字万用表的基本测量功能,还兼有数据分析、存储、报表、网络通信等优点,可应用于电工电子测量相关领域(8)。虚拟万用表板卡主要分为软件和硬件两部分。硬件部分以 PC 机以及虚拟万用表硬件模块组成;软件部分由应用程序、虚拟万用表驱动、USB 控制器驱动三部分组成

2.2 硬件设计思路:

本次硬件设计采用模块化的思想,将虚拟数字万用表设计为 3U 尺寸的模块板卡,利用 FPGA 制作的双口 RAM 实现与控制器之间的通信。主测量部分由单片智能数字万用表集成电路构成虚拟万用表设备板卡硬件电路主要由前端和功能转换模块、控制和接口通信模块、测量模块三部分组成。虚拟万用表硬件的总体结构图 1 如下:

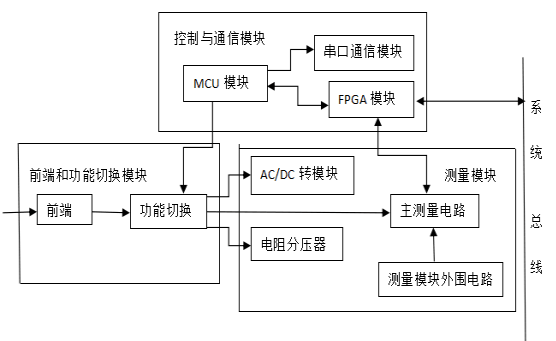


图 1 硬件总体结构图

Figure 1 Overall hardware structure

(1) 前端和功能转换模块:主要完成对输入信号的衰减和实现主要测量功能的切换。

(2) 测量模块:主要完成输入信号测量功能。根据具体功能,测量模块又包括电压测量模式电路、电流测量模式电路、AC/DC 转换电路、二极管测量和

电阻测量电路。由 MAX134 组成的虚拟数字万用表还有一些外围元件,主要有电阻分压器、积分器及有源滤波器的阻容元件、参考电压源等。

(3) 控制和接口通信模块:主要由 FPGA 和 MCU 组成,完成系统控制和总线接口通信功能。微处理器通过双口 RAM-IDT7130 实现和系统总线的接口,通过中断机制实现和系统控制器模块的通信。双口 RAM 具有配置空间和数据存储空间。微处理器负责系统的初始化(包括向双口 RAM 写入配置信息、设置电路初始状态)并处理总线发送过来的命令,控制相应的电路单元。

2.3 软件设计思路如图 2 所示:

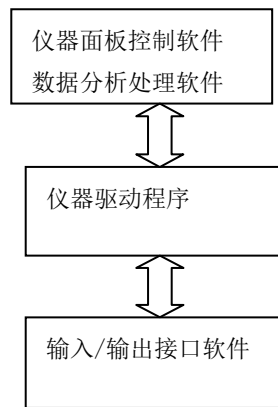


图 2 软件框架

Figure 2 Software framework

软件是虚拟仪器技术的关键,通过运行在计算机上的软件,一方面实现虚拟仪器图形化仪器界面,给用户提供一个检验仪器通信、设置仪器参数、修改仪器操作和实现仪器功能的人机接口;另一方面使计算机直接参与测试信号的产生、测量、特征的分析,完成数据的输入、存储、综合分析和输出等功能。

虚拟仪器软件一般采用层次结构,包含以下三部分:

(1) 输入输出(I/O)接口软件。存在于仪器与仪器驱动程序之间,是一个完成对仪器内部寄存单元进行直接存取数据操作、为仪器驱动提供信息传递的底层软件,是实现开放的、统一的虚拟仪器系统的基础和核心。

(2) 仪器驱动程序。仪器驱动程序的实质是为用户提供用于仪器操作的较抽象的操作函数集。对于应用程序,它和仪器硬件的通信、对仪器硬件的控制操作是通过仪器驱动程序来实现的,仪器驱动程序对于仪器的操作和管理,又是通过调用 I/O 软件所提供的统一基础与格式的函数库来实现的。

(3) 应用软件。顶层应用软件主要包括仪器面板控制软件和数据分析处理软件,完成的任务有:利

用计算机强大的图形功能实现虚拟仪器面板,给用户
提供操作仪器、显示数据的人机接口,以及数据采集
分析处理、显示和存储等。

3 基于虚拟仪器技术的电工仪表的硬件设计

3.1 虚拟电工仪表电流测量模式电路如图 3 所示：

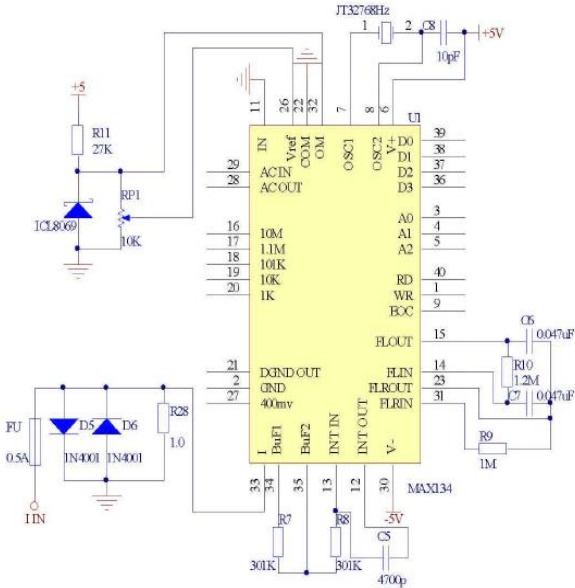


图 3 电流测量模式电路
Figure 3 Current measurement circuit

在图 3 中 MAX134 的 33 脚输入电路为电流
测量模式输入电路,400mA 量程时, R 28 取 1.0 欧、
1W;(对于 4A 档,R=0.1 欧,10W)。输入端还增加了
0.5A(对于 4A 档,FU 取 5A)的保险丝作为过流保护,
D5、D6 作为过压保护电路。参考稳压源 ICL8069
提供了电阻测试时的参考电压(1.2V),同时 ICL8069
通过一个精密电位器分压得到 655mV 的
基准电压 VREF 送入 MAX134 的 26 脚,用来抑
制工频干扰(50 H Z 工频时选择 VREF=655mV,60
H Z 工频时选 VREF=545mV)。另外电路中 R 7、
R 8、C 5 为 MAX134 内部积分器的外围积分元
件;R 9、R 10、C 6、C 7 为其滤波放大电路的
外围滤波元件。

3.2 电压测量模式电路如图 4 所示：

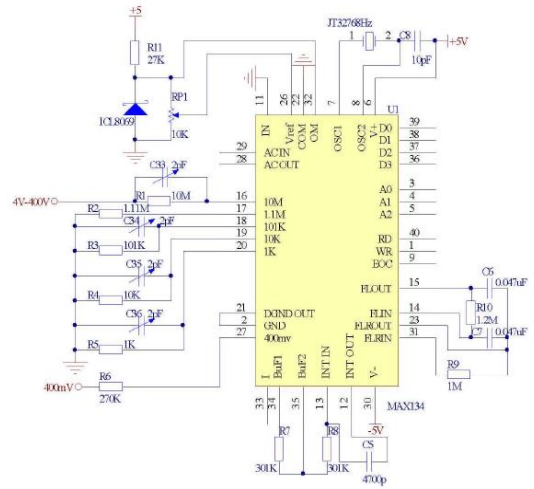


图 4 电压测量模式电路
Figure 4 Voltage measurement circuit

虚拟数字万用表的电压测量模式电路如图 4 所
示,测 DCV 时只有 400mV 量程为直接输入,4V-4000V
量程须经过分压网络 R 1~ R 5(设计采用 0.25%,1/4W
的精密电阻)输入。而 R 1 ~ R 5 与 C 4 ~ C 7 (用于频率
补偿)构成 RC 型宽带不失真衰减器。

3.3 AC/DC 转换电路如图 5 所示：

MAX134 在测量交流的时候还需要外接
AC/DC 转换电路,其电路图如图 5 所示,其中 C 28、
C 29 为隔直电容;D 4、D 5 双向限幅二极管;D 6、
D 7 起到整流保护作用;R 24、R 25、C 32、C 33
组成两级 RC 滤波器。

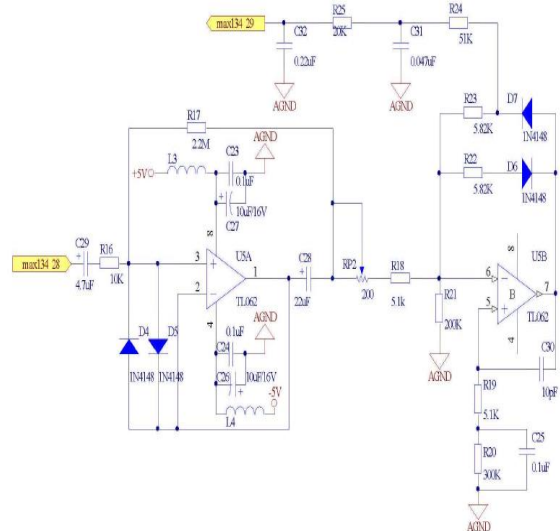


图 5 AC/DC 转换电路

Figure 5 AC/DC conversion circuit

3.4 单片机及串口通信的硬件电路图如 6 所示： 设计加入串口通信方式,在测量模块和虚拟电

子测试平台总线接口通信模块之间架起一座桥梁,这不但大大方便了前端测试电路的调试,还给总线通信模块的设计带来了实验对比数据,为整个系统的设计起到了推动作用。

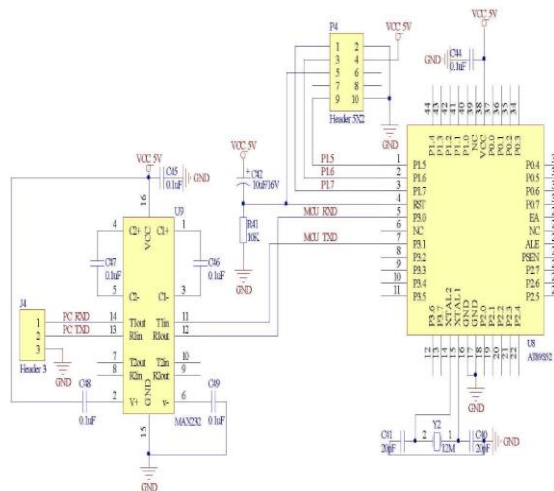


图 6 串口通信的硬件电路图

Figure 6 Hardware circuit of serial communication

3.5 电路设计中的电压匹配问题:

在本系统中,虚拟电子测试平台可提供的电源为±12V 和±5V,使用的 FPGA 其工作电压需要 3.3V/1.5V,这里就需要特别注意电压转换问题。电压转换一般设计时最常用的三种解决方案

(1) 采用低压差线性稳压芯片。线性稳压芯片是一种最简单的电源转换芯片,基本上不需要外围元件。使用方便、成本低、纹波小、无电磁干扰。

(2) 设计开关电源。开关电源也是实现电源转换的一种方法,且效率很高,但设计要比使用线性压器复杂得多。不过对于大电流高功率的设计,建议采用开关电源。现在开关电源里面的同步整流技术可以很好地解决低压、大电流的问题。

(3) 电阻分压。利用电阻分压的方法比较简单、成本低。但是,电阻分压电路产生的电压会随着负载的变化而变化,输出电压也会产生波动。另外,这种电路的功耗也比较大。然而,其成本比较低并且结构简单,可以作为一种应急的方案。对于低功耗的系统和对电源要求高的系统,不适合采用这种方案。综合分析,本设计采用低压差线性稳压芯片 REG1117-3.3 和 REG1117-ADJ 将系统提供的 5V 电源转换为 3.3V 和 1.5V 供 FPGA 使用,3.3V 和 1.5V 电源产。

在设计中,除了 FPGA 外,MAX134 的数字接口是 5V TTL 电平,AT89S52 工作电压也是 5V TTL,因此还要注意不同电平信号的驱动问题。

EPIC3T144C8 的供电电压为 3.3V,当 VCCI NT 接 3.3V 时,输入口的逻辑电平范围为-2V~5.75V,输出口的逻辑电平范围为 0V~VCC IO, VCC IO 可以接 2.5V 或者 3.3V。由于 5V TTL 和 3.3V 的转换标准是一样的,而 EPIC3T144C8 是能承受 5V 电压的。因此,从电平上来说是完全可以直接相连的。但是为了使设计更安全起见,设计时在 FPGA 与 MAX134,FPGA 与 AT89S52 之间串联了 150 欧的阻排进行分压,使设计更加的合理和安全。

综合分析,本设计采用低压差线性稳压芯片 REG1117-3.3 和 REG1117-ADJ 将系统提供的 5V 电源转换为 3.3V 和 1.5V 供 FPGA 使用,3.3V 和 1.5V 电源产生电路图如图 7 和图 8 所示

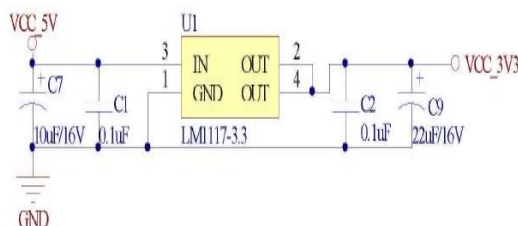


图 7 3.3V 电源产生电路

Figure 7 3.3V power supply circuit

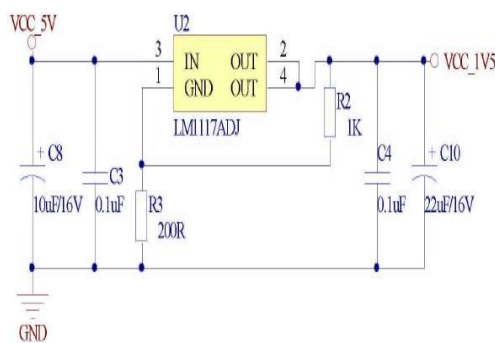
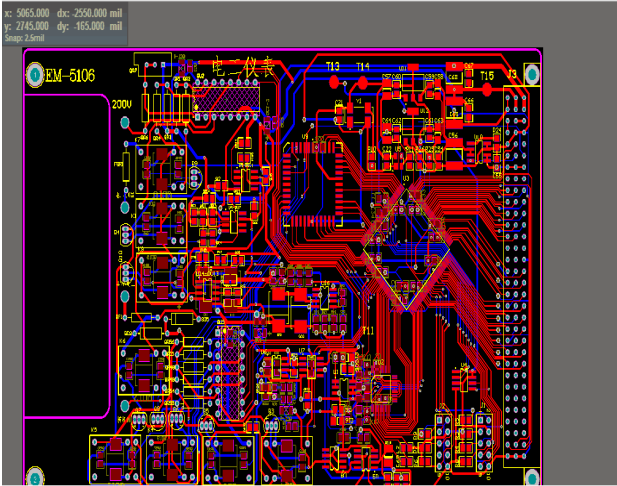


图 8 1.5V 电源产生电路

Figure 8 1.5V power supply circuit

3.6 硬件电路 PCB 图



4 基于虚拟仪器技术的电工仪表的软件设计

整个虚拟数字万用表软件设计思想是:驱动程序设计时将与硬件操作相关的命令封装成函数,以动态链接库的形式供应用程序调用。用户通过操作图形化应用程序界面,通过 CLF 节点调用动态链接库,调用模块驱动程序,实现与 USB 控制器的通信,达到对硬件模块的程序控制。驱动程序设计包含了 USB 控制器驱动和 DMM 驱动两部分,其中 USB 控制器驱动包含了实现对 USB 控制器模块基本读写操作的函数,DMM 驱动包含了实现对其硬件模块控制的函数。应用程序采用图形化软件 Lab VIEW 8.6 开发,DMM 驱动和 USB 控制器驱动均采用 VC6.0 开发^[11]。

4.1 虚拟数字万用表设备驱动

虚拟万用表驱动包含了实现对虚拟数字万用表模块控制的函数,通过调用 USB 控制器驱动来实现对数字万用表板卡的控制,其也是以动态链接库的形式给出。下面介绍实现主要测试功能所调用到的几个主要的操作函数。

- (1)查找仪器
- (2)虚拟数字万用表测量输入设置函数
- (3)虚拟数字万用表接收函数
- (4)测量功能
- (5)AD/DA 测量设置函数
- (6)电压量程设置函数
- (7)电阻量程设置函数

4.2 应用程序设计

使用美国 NI 公司推出的基于图形编程语言的开发环境 LabVIEW8.6,作为开发数字万用表的应

用软件。Lab VIEW 图形化编程灵活、简单,并且带有丰富的、强大的功能软件包,包括数值函数运算、数据采集、信号处理、输入/输出控制、信号生成、图像的获取、处理和传输等等,是开发数字万用表上层应用软件的最佳选择功能需求分析

根据设计需求,数字万用表应用程序应具有以下功能:

- (1)系统设置:包括开始、结束采集设置、设备槽号设置等;
- (2)测量功能设置:包括电压、电流、电阻、二极管、线路通断等;
- (3)测量模式设置:包括单次、平均、连续;
- (4)采样率设置:包括 5S/s, 10S/s, 15S/s;
- (5)测试量程设置:实现针对每种测试功能设置不同的测试量程;
- (6)测量结果显示功能:具有数字和图形双显功能;
- (7)测量数据处理功能:能对数据进行均值、极值分析;
- (8)存储和回放功能:能够实现对波形的存储、生成报表、回放。
- (9)网络传输功能:能够实现网络连接。

4.3 虚拟万用表软件面板设计

数字万用表的软件流程如图 9 所示

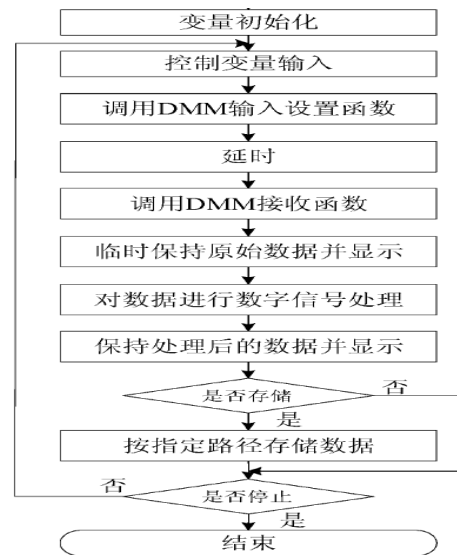


图 9 数字万用表的软件流程

Figure 9 Software flow of digital multimeter
虚拟数字万用表软件面板如图 10 所示

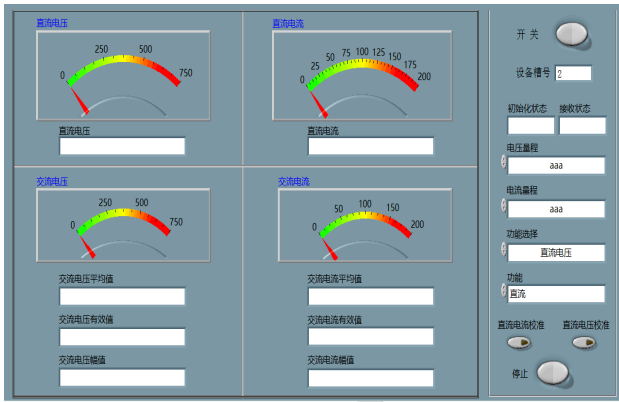


图 10 虚拟数字万用表软件面板

Figure 10 Virtual digital multimeter software panel

4.4 该界面主要包括以下几个部分:

- (1)数据显示区能以波形、指针、数字三种形式显示测量数据,可以直观的显示数据变化趋势。
- (2)参数设置及功能选择区,这一个区域包括了虚拟数字万用表的基本功能如图 11 所示:
- (3)工作状态显示区当仪器运行出现错误时,针对于不同的错误情况,系统会通过初始化函数和接收函数返回不同的状态值,以提示什么地方运行错误。

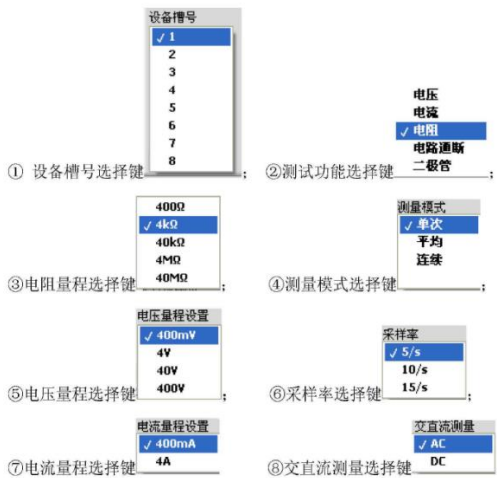


图 11 虚拟数字万用表的基本功能

Figure 11 Basic functions of virtual digital multimeter

5 结论

本次大创所设计的基于虚拟仪器技术的电工仪表,不但可以完成传统数字万用表的基本测试功能,还可以数字、指针等多种形式显示测量结果,使显示直观、明了,并且可以直接将测量的结果绘制成图,便于记录、编辑和形成报告。虚拟数字万用表还可以对测量结果进行诸如平均值、极值统计分析以及更加复杂的数据分析与处理能力,具有存储和报表

生成功能,同时可以实现网络通信。

通过实际测试,其结果显示加上测量的时候选用的电阻、电流源、电压源等的误差,设计的虚拟数字万用表满足设计要求的。但是同时也反映了一些问题,测交流电压的时候要比测直流的时候的误差大,这有可能是由 AC 到 DC 转换而产生的。测电流的误差要比测电压的时候误差大,这有可能是由电流输入量切换电路所带来的。

通过本次的大创项目设计,熟练地掌握了 Labview 的使用方法,对硬件电路设计也有了充分的理解,为实现项目要求如交流电压,交流电流的监控,单位量程的切换提供了有力的技术支持。本项目最终由一个软件交互系统以及测量电路组成,方便了测量的过程,提高了测量的准确度。

参考文献

1. 林君, 谢宣松等.虚拟仪器原理及应用 [M].科学出版社.2006. 8, 第一版:2-6.
2. 吴忠杰, 林君, 韦建荣, 谢宣松.虚拟测试系统中模块化仪器关键技术研究[J].仪器仪表学报.2005. 8, 第 26 卷第 8 期:280-283.
3. 谢宣松, 随阳轶, 林君.图形化语言结构及运行模型[J] 吉林大学学报(工学版).2006. 3, 第 36 卷第 2 期:219-223.
4. 谢宣松, 随阳轶, 林君.G 语言的硬件虚拟模型[J].仪器仪表学报.2006. 3, 第 27 卷第 9 期:1112-1115.
5. 吴忠杰, 林君, 刘长胜.基于 USB 总线的微型虚拟示波器的研制[J].计算机工程与应用.2005. 11:109-111.
6. 吴忠杰、林君、韦建荣、朱虹, 基于虚拟仪器技术微型阻抗测试仪的设计[J], 电测与仪表, 2005 (1): 38-41.
7. 韦建荣.可重构测控系统的研究与设计 [D].吉林大学.2006.10: 1-67.
8. 胡传波, 董跃升, 张传红, 张玉芳, 马成才.数字万用表的原理及选取原则 [J].工业计量.2003. S1 期:320-321.
9. 林占江. 电子测量技术 [M]. 电子工业出版社.2003.9.133-156.
10. 李学义译.数字万用表的发展现状及趋势 (J).国外电子测量技术.1992. 2 期 44, 47.
11. 沙占有, 刘阿芳, 王科.智能数字万用表的电路优化设计 (J).电源技术应用.2005. 10 第 8 卷第 10 期.

一种智能测谎系统的算法实现*

仇铭婕；吕泳庆；朱明璞

(吉林大学仪器科学与电气工程学院长春 130021)

摘要：基于测谎技术的广泛应用以及测谎精度的要求，本文在既定的下位机及硬件系统的基础上，提出了该测谎系统的算法设计原则。系统选取呼吸波、脉搏信号和皮肤电阻三组参量为测量数据，建立基于 MATLAB 数据处理软件的算法，算法可以实现对三组参量特征值的滤波和提取，并将数学建模常用的判别分析法应用于算法设计中，实现对说谎情况的分类并计算说谎的概率，保证在较高精度下判断被测者的说谎情况，最后设置模拟实验进行验证，实验结果表明此算法可以较准确地判定说谎的概率，具备可行性。

关键词：测谎系统算法呼吸波脉搏信号皮肤电阻

Algorithm of intelligent polygraph system

Qiu Mingjie; LvYongqing; Zhu Mingpu

(College of Instrumentation & Engineering, Jilin University)

Abstract:Based on the widespread application of polygraph and the accuracy requirement of the lie detector, the algorithm design principles of the polygraph system are put forward in this paper on the basis of the established components and processing chip. Respiratory wave, pulse signal and the skin resistance are selected for measurement to establish an algorithm based on MATLAB data processing software. The characteristic value of three sets of parameters can be filtered and extracted by the algorithm. To ensure the accuracy of the test and prediction, discriminant analysis method for mathematical modeling algorithms is applied to the design to achieve the classification of lying and calculate the probability of lying. Finally, the feasibility of the algorithm through the simulation is verified.

Key words: Polygraph system Algorithm Respiratory wave Pulse wave Skin resistance

0 引言

测谎技术在司法领域有着广泛的应用，随着测谎装置和测谎技术的不断发展，测谎仪的集成度不断加深，精确度要求也越来越高，传统的测谎算法有^[1]：(1) 辩识函数，1952年，Ellson首次提出将辩识函数合成多特征量应用于测谎研究。1981年，Kircher开发出CPS系统加权组合特征量构建辩识函数，并将特征量由5个压缩为3个：皮肤电导幅值、心电基线增幅和复合呼吸信号。(2) 逻辑回归，1993年，Devitt和Honts采用逻辑回归这一方法，与辩识函数法的差别仅在于加权系数的计算方法差

异。(3) 神经网络，1993年，神经网络法被Devitt和Honts采用，但测谎准确率远远达不到要求。(4) 最近邻法，2000年，清华大学自动化系将最近邻法用于测谎。生理信号采用皮肤电导、脉搏和呼吸幅度。

但传统的测谎方法无法判断被测者说谎的概率，只能在一定精确度下判断被测者是否说谎，这在一定程度上降低了测谎的精确度。为了对基于呼吸波、脉搏信号和皮肤电阻三组生理信号的测谎算法进行改进，本文提出了一种新的基于判别分析法的测谎数据提取及分析算法，算法利用小波变换及FIR数字滤波器等方法对测试的生理信号原始数据进行滤波及提取特征值，以此得到去噪后较为准确的呼吸线长、心率、和皮肤电阻值特征值数据，同

*指导老师：程宇奇

项目类型：大学生创新创业训练项目(2015650953)

时计算每组数据的变异系数分析信号相对于基线的离散程度, 为了对被测者是否说谎作出判定, 本文将数学建模中常用的“判别分析法”引入测谎算法, 根据误判率和文献[2]中所述的三组参量对于测谎结果的影响权重综合计算出被测者说谎的概率, 在较高准确度下确定测谎的结果, 提高测谎的说服力。

1 算法设计

1.1 生理参量提取算法设计

提取算法设计中涉及的参数计算公式如下:

线长 L 的计算公式为:

$$L = \sum_{i=1}^{N-1} |X_1(i+1) - X_1(i)| \quad (1)$$

式中 $X(i)$ 为数据序列, L 为参量的线长。

幅度 R 的计算公式为:

$$R = \text{MAX} - \text{MIN} \quad (2)$$

式中 R 指一组数据的变化幅度, MAX 为数据的最大值, MIN 为其最小值。

变异系数 $C.V$ 的计算公式为:

$$C.V = (\text{SD} \div \text{MN}) \times 100\% \quad (3)$$

式中 $C.V$ 指一组数据的变异系数, SD 为数据序列的标准偏差, MN 为其平均值。

1.1.1 呼吸线长特征值提取算法设计

研究表明呼吸线长与被测人回答真实性之间存在一定的联系^[3]: 在某一特定时间内, 呼吸线越短, 则表明呼吸的抑制程度越高, 被测人的心理压力越大, 也就是说被测人的回答越有可能是谎言。且人的情绪不同, 其呼吸波信号序列的变异系数和呼吸数据的幅度等参数也不同, 可以作为呼吸数据的特征值。

利用一组测谎问题对被测者进行测试, 根据相关研究^[3], 提问结束后十秒钟的呼吸信号与此问题的相关度最高, 因此试验中每个问题的间隔选为 10s, 其中某一问题提问结束到下一问题提问开始采集的呼吸波信号为 $X(i), i=1, \dots, N$ 。呼吸波信号的提取算法步骤为:

(1)对 $X(i)$ 序列进行小波去噪分析, 滤除信号中的噪声得到 $X_1(i)$ 序列。

(2)利用公式 (1) 对去噪后的信号序列 $X_1(i), i=1, \dots, N$ 求得呼吸线长 L_1 。

(3)利用公式 (2) 计算 $X_1(i)$ 序列呼吸信号幅度 R_1 。

(4)利用公式 (3) 计算 $X_1(i)$ 的变异系数 $C.V_1$ 。

1.1.2 脉搏信号提取算法设计

在人的循环系统中, 心率、血容量和血压是由于心肌的收缩和舒张形成, 因此三个参数密切相关, 心率的快慢、脉搏的强弱、血压的高低与心肌搏动的强度和幅度相对应, 同时也都会随着心理状态变化而变化^[4]。人在心理紧张时, 心输出量增加, 心率加快, 收缩压升高, 而且紧张心理也会对血液循环的外周阻力带来影响, 使外周阻力增加, 从而使舒张压也升高, 引起短时血容量的降低。因此算法选取血压参量、血容量参量和心率参量作为脉搏信号特征值。

利用一组测谎问题对被测者进行测试, 经过大量科学实验研究, 在提问问题结束后的十秒时间内的脉搏信号与此问题的相关度最高。因此每个问题间隔 10s, 这一组测谎问题采集到的总的脉搏信号为 $y_1(i), i=1, \dots, N$, 首先对该序列进行去噪, 步骤如下: 对 $y(i)$ 序列进行小波去噪分析, 滤除信号中的噪声得到 $y_1(i)$ 序列。

1.1.2.1 血压参量的提取

人在情绪紧张时, 血压会升高, 升高的程度和紧张的程度成正比。本设计中选取一组问题对被测者进行测试, 测试所得的脉搏信号进行低通滤波得到血压信号, 比较得出这组问题中血压信号的最小值 $y_2(i)_{\min}$, 用每个问题血压信号的最大值减去 $y_2(i)_{\min}$, 所得序列即为血压特征值度量, 血压参量的提取算法步骤为:

(1)依据人体脉搏信号频率, 使去噪后的脉搏信号 $y_1(i), i=1, \dots, N$ 经过截止频率为 1 Hz 的低通滤波, 得到血压信号 $y_2(i)$ 。

(2)在 $y_2(i)$ 序列中找到最小值 $y_2(i)_{\min}$ 。

(3)在 $y_2(i)$ 序列中将每个问题的血压信号记为 $Y_1(i)$, 找出序列的最大值 $Y_1(i)_{\max}$ 。

(4)根据公式

$$A = Y_1(i)_{\max} - y_2(i)_{\min} \quad (4)$$

计算每个问题的血压参量。

1.1.2.2 血容量参量的提取

脉搏信号经过下截止频率为 1 Hz、上截止频率为 3 Hz 的带通滤波得到血容量信号, 人体在紧张情况下血容量会减小, 采用每个问题血容量的信号线长作为血容量参量的度量, 血容量参量的提取算法步骤为:

(1)使去噪后的脉搏信号 $y_1(i), i=1, \dots, N$ 经过下截止频率为 1 Hz、上截止频率为 3 Hz 的带通滤波, 得到血容量信号 $y_3(i)$ 。

(2)在 $y_3(i)$ 序列中将每个问题的血容量信号记为 $Y_2(i)$, 根据公式 (1) 计算每个问题的血容量参量线长 L_2 。

1.1.1.2.3 心率参量的提取

人的心率, 即人体每分钟心脏跳动的次数。本设计中所用脉搏传感器的采样频率为 25 Hz, 为了提高频率分辨率, 将上述的血容量信号在每个问题结束后的 250 个采样点进行周期延拓到 1000 个点, 进行离散傅里叶变换, 并计算出幅度谱, 找出和实际频率 1 Hz 到 3 Hz 相对应的幅度谱当中的两个点 (也就是第 40 个点到第 120 个点) 之间的最大值所对应的频率点 k , 利用公式

$$f_k = 60 \times \frac{k}{N} f_s \quad (5)$$

计算这一区间内被测者的平均心率。平均心率越高, 被测试者在此问题上越紧张。血压参量的提取算法步骤为:

(1)将每一问题的血容量信号 $y_3(i)$ 序列周期延拓到 1024 个采样点信号。并且根据公式

$$Y_3(k) = DFT[y_3(n)] = \sum_{n=0}^N y_3(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad (6)$$

进行傅里叶变换。

(2)利用公式 (2) 计算 Y_3 的幅度和相位。

(3)找出和实际频率 1 HZ 到 3 HZ 相对应的幅度谱当中的两个点之间的最大值所对应的频率点 k , 然后使用公式(5)计算出所有问题当中被测者的平均心率 f_k 。

1.1.3 皮肤电阻信号提取算法设计

研究表明^[5], 当人呼吸变得急促, 或受到情绪上的刺激时, 交感神经系统促使皮肤立毛肌收缩, 汗腺的汗液分泌加强, 真皮层的纵向电阻阻值降低, 导致人体皮肤电阻下降, 可将每个问题皮肤电阻的平均值作为度量参量。且人体在受到刺激时, 被测者皮电信号波形的峰值及波动程度也会发生改变, 因此每个问题下被测者皮肤电阻的幅度序列也可作为皮肤电阻信号的特征值。对被测者设置一组问题进行测试, 其中某一问题开始到 10 s 的采集的皮肤电阻信号为 $Z(i), i=1, \dots, N$ 。则皮肤电阻的生理参量提取算法步骤为:

(1)对 $Z(i)$ 序列进行小波去噪分析, 滤除信号中的噪声得到 $Z_1(i)$ 。

(2)使 $Z_1(i)$ 序列经过上截止频率为 35HZ 的低通滤波器, 滤除皮肤电阻信号中的高频噪声得到 $Z_2(i)$ 序列。

(3)求取 $Z_2(i)$ 序列的平均值即每个问题的皮肤电阻平均值 AVG_3 。

(4)利用公式 (2) 计算这组问题的皮肤电阻幅度 R_3 。

(5)利用公式 (3) 计算 $Z_2(i)$ 的变异系数 $C.V_3$ 。

1.2 被测者说谎概率判断算法设计

1.2.1 判别分析法原理简介

为了对被测者的说谎的可能性作出评估, 本文提出了计算其说谎概率的算法, 算法运用“判别分析法”实现, 判别分析法的原理如下:

从概率论的角度看, 可把判别问题归结为如下模型。设共有 n 个总体:

$$\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$$

其中 ζ_i 是 m 维随机变量, 其分布函数为:

$$F_i(x_1, \dots, x_m), i=1, 2, \dots, n$$

而 (x_1, \dots, x_m) 是表征总体特性的 m 个随机变量的取值。在判别分析中称这 m 个变量为判别因子。当有一个新的样本点 $x=(x_1, \dots, x_m)^T$, 即可用判别分析法判断此样本点属于哪一个总体, 判别分析法采用贝叶斯判别法, 基本思想如下^[6]:

设有 m 个总体, G_1, G_2, \dots, G_m , 它们的先验概率分别为 q_1, q_2, \dots, q_m , 密度函数为 $f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)$, 在观测到一个样品 x 的情况下, 可用贝叶斯公式计算它来自第 g 个总体的后验概率:

$$p(g/x) = \frac{q_g f_g(X)}{\sum_{i=1}^m q_i f_i(X)}, g=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

并且当

$$p(h/x) = \max_{1 \leq g \leq m} p(g/x) \quad (8)$$

时, 判定 X 来自第 h 个总体。

1.2.2 算法设计及分析

判别分析法的应用前提是一组已知特性的样本数据, 因此此算法要求对被测者首先进行一组参照问题实验, 根据已知的实验结果进行未知问题的测谎判别^[7]。

(1)对于呼吸波提取数据, 选取每一问题的呼吸线长 L_1 、变异系数 $C.V_1$ 、呼吸信号幅度 R_1 作为判别因子。

(2)对于脉搏提取数据, 选取每一问题的血压参量 A 、血容量参量线长 L_2 、平均心率 f_k 作为判别因子。

(3)对于皮肤电阻提取数据, 选取每一问题的皮电参量平均值 AVG_3 、皮肤电阻幅度 R_3 、变异系数 $C.V_3$ 作为判别因子。

(4)利用 MATLAB 中的判别函数 classify 分别对皮电、脉搏、呼吸三组参量未知说谎情况的数据进行判别, 每组参量又分为三个判别因子, 其中每组的判别因子如上。记录运行命令输出的每个问题的分类结果, 即归类为说谎还是未说谎一类, 并记录输出的误判率, 皮电、脉搏、呼吸三组参量测试结果的误判率分别记为 ERR_1, ERR_2, ERR_3 。

(5)在对皮电、脉搏、呼吸评分后, 计算被测者说谎概率时还要计算一定的加权值, 参考 Poly Score(一种评分软件)系统 1, 其中, 皮电权重占 71%, 脉搏占 11%, 而呼吸则仅占 18%。对于上述判定为说谎的问题, 被测者说谎的概率计算公式为

$$P=0.71 \times (1-ERR_1)+0.11 \times (1-ERR_2)+0.18 \times (1-ERR_3) \quad (9)$$

对于判定为未说谎的问题, 被测者说谎的概率计算公式为:

$$P=0.71 \times ERR_1+0.11 \times ERR_2+0.18 \times ERR_3 \quad (10)$$

2 实验验证

2.1 实验结果

为了验证本文所提出的测谎系统的算法的有效性和可行性, 设计一组模拟案例进行试验。模拟案例为抽数字实验, 被测者从 1-7 的数字卡片中随机抽取一个数字, 被测者记下抽取的数字之后对其展开询问, 为了符合算法要求, 首先对其进行 5 个对照问题的询问, 分别设置为: ①你的名字是...吗; ②你是男生/女生吗; ③你今天早上吃饭了吗; ④你今天有课吗; ⑤你刚刚没有抽数字。5 个对照问题的答案均设定为“是”, 其中第 4 个和第 5 个问题认定为一定说谎的问题, 可在判别分析法中将前 5 个已知问题的分类设定为: (1,1,1,2,2), 其中 1 表示说谎的分类, 2 表示未说谎的分类。然后对被测者依次进行 7 个数字问题的提问, 提问模式为: 你抽的是 (1-7) 吗? 要求被测者在所有问题上均回答: 不是。则被测者必定在某个问题上撒谎。试验所得参量变化如下:

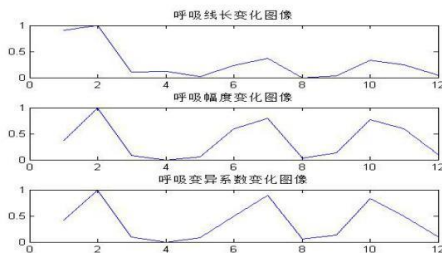


图 1 呼吸参量变化

Fig. 1 The Change of the breathing data

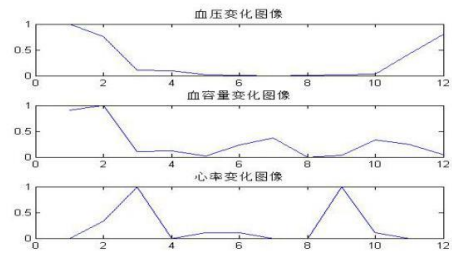


图 2 脉搏参量变化

Fig. 2 The Change of the pulse data

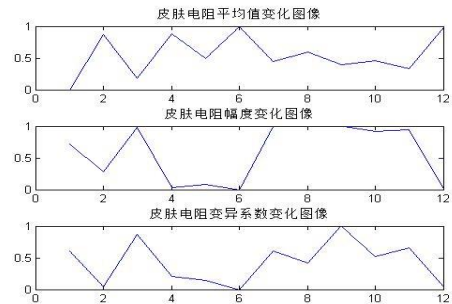


图 3 皮肤电阻参量变化

Fig. 3 The Change of the skin resistance data

测定所得数字问题分类如下:

(1)对于呼吸波, $class=[1;2;1;1;2;2;2]$, $err=0.25$ 。

(2)对于脉搏参量, $class=[1;1;1;2;2;2;2]$, $err=0.1667$ 。

(3)对于皮肤电阻参量, $class=[2;2;1;2;1;2;2]$, $err=0.15$ 。

根据公式 (7), 得 7 个被测问题的说谎概率如表 1:

表 1 实验所得测谎概率数据

1	2	3	4
33.32%	24.32%	83%	25.99%
5	6	7	
66.69%	16.98%	16.98%	

2.2 实验分析

已知在数字问题提问中被测者在第 3 个问题上说谎, 即图中第 8 个数据, 分析图 1、2、3, 第 3 个问题上 3 组参量均产生显著变化: 呼吸线长、幅度、变异系数减小; 血压降低、血容量、心率减小; 皮肤电阻平均值呈现减小趋势。分析算法所测是否说谎的分类情况及说谎概率的结果, 3 组参量的分类均表明被测者在第 3 个问题上说谎, 说谎概率的计算结果显示被测者在第 3 个问题上的说谎概率为 83%, 与实验真实情况相符, 验证了此测谎算法的可行性, 但本次试验中未说谎的问题 5 所得说谎概率也较大, 试验精度有待进一步提高。

进行多组实验记录实验结果如表 2:

表 2 多组实验所得测谎概率数据

Table 2 Lying probability data from several sets of experiments

组数	问题序号						
	1	2	3	4	5	6	7
1	14.58%	32.58%	67.41%	14.58%	14.58%	32.58%	14.58%
2	12.78%	23.78%	12.78%	12.78%	76.22%	18%	12.78%
3	27.33%	85.67%	16.33%	16.33%	29%	18%	16.33%

第一组为 3 号问题说谎，测得说谎概率为 67.4%；第二组为 5 号问题说谎，测得说谎概率为 76.22%；第三组为 2 号问题说谎，测得说谎概率为 85.67%，由表中记录可知，其余未说谎问题所测概率值均较小，表明测谎结果与真实情况相符。

3 结束语

本文提出了一种基于测谎系统生理参数研究的算法，通过理论分析和实验证明了该算法的有效性和准确性。算法具有如下特征：①采用小波变换、傅里叶变换等方法，实现对呼吸波信号、脉搏波信号和皮肤电阻信号参量特征值的准确提取，最大程度滤除了原始信号中的噪声；②运用判别分析法原理，通过对提取的被测者在测谎实验中测得的信号特征值的分析处理，在较高准确度下实现对被测者说谎情况的分类以及说谎概率的计算，进一步通过参量之间的比较最终较为精确地判定测谎的结果。经过实验验证，此算法的分析结果符合实验的真实情况，算法具备实用性和可行性。

由于受到被测者心理素质、测试环境、测试问题和测谎人员的技术等多方面影响，测谎算法所分析的结果还存在一定偏差，尤其是在皮肤电阻参量的分析上。因此，本研究下一步的任务就是优化算法，提高测谎精确度，同时排除实验中的无关干扰，使测谎系统的可靠性得到进一步的保证。

参考文献

1. 姚志刚. 测谎算法比较研究及其 ASIC 集成实现[D]. 苏州: 姚志刚, 2008; 8-14
2. 佟长松, 安福元. 呼吸线长(RLL)在评图中的应用[J]. 吉林公安高等专科学校学报, 2007; 22(5): 109-111
3. 张晨光. 对多道心理测试仪生理参数提取算法的研究[D]. 燕山: 张晨光, 2009; 26-37

4. ZhaoXincan, ZuoHongfu, Ren, Yongjun. A review of Eye Tracker and Eye Tracking Techniques [J]. Computer Engineering and Applications. 2006; (12): 118-121
5. 李豪, 刘杰. 人体皮肤电阻与呼吸、情绪关系的测量及分析[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(3): 662-665
6. Jhxucn. 判别分析的基本原理[EB/OL]. 百度文库

基于嵌入式系统的多功能可控智能灯研究*

艾永恒; 马 鑫; 朱 赫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 为了解决传统灯具功能单一、不智能的问题, 将嵌入式系统和安卓 APP 结合在一起应用于灯具的控制研究, 安卓 APP 或者遥控器通过蓝牙向 51 系列单片机发送控制信号, 从而单片机对 WS2812B 芯片进行控制。在对灯光 RGB 码的控制基础上, 实现蓝牙控制各种场景模式的变换、智能感应关灯、定时关闭的功能。

关键词: 嵌入式 安卓蓝牙控制 可控灯

Multi-function controllable intelligent lamp based on embedded system

Ai Yong-heng; Ma Xin; Zhu He

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to solve the traditional lamps that is single function and not smart, the embedded system and android APP together applied to the control research of lamps, the android APP or remote device sent control signal to 51 series single chip microcomputer by bluetooth, and single chip microcomputer control of the WS2812B chip, based on RGB code control of lighting, bluetooth control all kinds of scene change, intelligent sensor to turn off the lights, the function of timing closure.

Key words: Embedded system Android Bluetooth control Controllable light

0 前言

21 世纪的居室灯具设计将会是以 led 照明灯泡设计为主流, 同时充分体现节能化、健康化、艺术化和人性化的照明发展趋势^[1], 成为居室灯光文化的主导。智能灯作为一种多功能的智能照明器具, 由于其具有节能化、联动化、人性化的特点, 在国内外都被广泛地应用于各大领域。目前有许多家具用灯都不具备智能化, 容易造成能源的浪费, 与当今节能环保的必然要求不符, 与此同时, 信息技术的发展为人们提供了极大的便利, 智能灯也能够做到这点, 它不仅能完成简单便捷的远程开关控制, 还具有许许多多其它普通家具灯所不具备的功能。因此, 我们设计一种通过蓝牙和红外控制的智能多功能灯具, 此灯具采用了 WS2812B 智能芯片。

1 智能灯光系统

1.1 智能灯光系统方案分析

目前最主流的控制方式有两种。

其一, 以 SDMX5124 为基础的全彩 LED 灯具组成级联控制方式, 每个芯片的控制数据为 12 位, 控制 RGB 三种颜色。每一种颜色为 4 位控制数据, 16 级灰度等级。SDMX5124 是一颗单芯片高集成度, 低功耗 LED 照明灯具控制芯片, 它采用了独创的同步 DMX512 单线 LED 照明控制机制^[2], 使 LED 灯具的级联控制变得灵活和简单。SDMX5124 内部由通信控制模块和三路数字 PWM LED 调光控制两部分组成。

其二, 是使用 WS2812B 的级联控制方式。WS2812B 是一个集控制电路与发光电路于一体的智能外控 LED 光源。其外型与一个 5050LED 灯珠相同, 每个元件就是一个像素点。像素点内部包含

* 指导老师: 段清明

项目类型: 大学生创新项目 (2015650996)

了智能数字接口数据锁存信号整形放大驱动电路，还包含有高精度的内部振荡器和 12V 高压可编程定电流控制部分，有效保证了像素点光的颜色高度一致。数据协议采用单线归零码的通讯方式，像素点在上电复位以后，DIN 端接受从控制器传输过来的数据，首先送过来的 24bit 数据被第一个像素点提取后，送到像素点内部的数据锁存器，剩余的数据经过内部整形处理电路整形放大后通过 DOUT 端口开始转发输出给下一个级联的像素点，每经过一个像素点的传输，信号减少 24bit。像素点采用自动整形转发技术，使得该像素点的级联个数不受信号传送的限制，仅仅受限信号传输速度要求。LED 具有低电压驱动，环保节能，亮度高，散射角度大，一致性好，超低功率，超长寿命等优点。将控制电路集成于 LED 上面，电路变得更加简单，体积小，安装更加简便。

本控制系统采用的是 WS2812B 芯片，此芯片可以满足智能灯的控制要求，相对于另一芯片在价格上也满足性价比的需求，而且此芯片控制起来比较容易方便。

表 1 LED 特性参数

Table 1 LED Characteristic Parameter

发光颜色	主波长 (nm)	发光强度 (mcd)	工作电流 (mA)	工作电压 (V)
红光	620-630	550-700	20	1.8-2.2
绿光	515-530	1100-1400	20	3.0-3.2
蓝光	465-475	200-400	20	3.2-3.4

1.2 WS2812B 灯珠控制

对于 WS2812B 控制^[3]，首要是明白其基本原理。此芯片对于输入的信号是利用对于 1 码和 0 码的识别，通过高电平时间不同，实现 1 码和 0 码的区分。每一个控制信号有 24bit，分别是 GRB 三种码，每种颜色码是 8bit，分别是从小位到高位进入芯片内^[13]。若是想要刷新控制数据，需要至少 50us 的低电平才可以刷新。

表 2 数据传输时间

Table 2 Data Transfer Time

TH0	0 码，高电平时间	0.35us	±150ns
TL0	0 码，低电平时间	0.8us	±150ns
TH1	1 码，高电平时间	0.7us	±150ns
TL1	1 码，低电平时间	0.6us	±150ns
Res	帧单位，低电平时间	50us 以上	

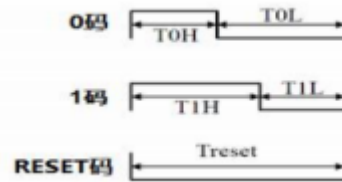


图 1 时序波形图

Fig.1 Temporal waveform figure

根据以上图表可知，实现芯片控制需要用单片机实现 0 码和 1 码的输出，由于 0 码和 1 码是 us 级别的，通过试验和示波器的观测，发现至少应该选择 24M 的晶振才能实现正确控制，然而 51 单片机所能用的最大晶振是 24M，因此选用 24M。然后通过单片机输入 0-255 的 RGB 码就可以控制 WS2812B 的颜色变换了。

2 智能控制系统方案

2.1.1 控制系统功能需求

主控制器要求实现功能具有图形操作界面，界面操作简单易用，并带有常用灯具库，具有灯具总体布局设计功能，具有常规灯具效果功能，具有灯具参数设置功能，具有控制数据发送功能。

2.1.2 智能控制系统的技术要求

首先该智能灯光控制系统需要一个人机交互界面，即控制面板，应采用液晶显示屏显示，这就要求该系统的和操作系统支持显示功能。其次，该系统处理数据信息量大，且要求实时性要好，这就要求系统要有一个高效率的数据处理模块，具有较高的频率并选择合适的通信协议进行通信。

2.2 红外感应开关

对于智能感应关灯技术方面，有微波技术和红外技术。将两种技术经行对比，由于红外在人体和移动热源以及在性价比方面表现出色，因此选用红外感应^[4]。而在此方面，采用 HC-SR505 红外模块，此模块有三个引脚，分别是正极，感应输出，负极。因此，可以用单片机通过高低电平控制红外模块的工作状态，然后接收从模块中感应输出的信号，当信号为高电平时，证明有人体或者移动热源^[12]。若此时灯的设置是感应模式，灯也就同时开启；若信号返回为低电平，则灯就关闭。

2.3.1 蓝牙通信控制实现多种模式转换

对于遥控来讲，首要解决的就是控制数据的传输问题，先今，主流的数据传输方式有 zigbee, bluetooth, wifi 三种方式。将三种方式经行对比，结合中国的国内现状，开放式 wifi 不是很普及，而 zigbee 无法和手机相结合。因此，选用蓝牙通信，

这使得在后续的手机 APP 开发上方便许多^[5]。在蓝牙部分, 选用了 HC-05 模块, 此模块是主从一体机。其有三种工作状态, 主, 从, 回环三种方式。当处于命令响应模式时, 其能执行所有 AT 指令, 通过 AT 指令可以设置其工作状态^[11]。

数据传输选择, 8 为传输方式, 没有奇偶校验和开始结束字符^[6-7]。此方式是比较流行的一种传输方法, 此方法也容易和 51 单片机相结合。对于控制方面, 设计了两种控制方式: 蓝牙控制器以及安卓 APP。

2.3.2 蓝牙遥控器设计

对于遥控的设计, 需要满足主控制器的各种需求, 即前文所提, 不再赘述。这一块又可以分为三个主要部分, 分别为显示部分, 键盘部分, 蓝牙部分。

显示部分, 显示内容要有至少 6 种模式控制, 而每种模式下, 要有其他功能显示, 并且还有显示时间, 显示 RGB24bit 码值的位置。因此, 此部分经过对比筛选, 针对于要显示的功能和可以满足人眼清晰观察的需求, 选用了 LCD5110。此液晶显示器多用于 Nokia, 也是比较经典的。此显示器是 84*48 点阵, 可以显示四行汉字, 采用低电压供电, 正常显示时的工作电流在 200 μ A 以下, 且具有掉电模式。这些特点非常适合于电池供电的便携式通信设备和测试设备中。通过 51 系列单片机可以很好的控制 LCD5110。

键盘部分, 应用了 4*4 的键盘, 通过用 51 单片机的不断扫描, 进行数据的输入, 从而控制显示器的显示内容以及蓝牙所要发送的数据。

蓝牙部分, 此部分和受控部分相似, 使用 AT 指令, 将和灯相连的设置为从机, 遥控器部分的设置为主机, 当电源上电之后, 两个蓝牙会自动连接到一起。此时当控制器中接收到键盘的控制信息后, 单片机的引脚会串行发出控制数据进入主机蓝牙, 然后传送到从机蓝牙, 实现控制功能^[8-9]。

2.3.3 安卓 APP 设计

通过 Ecilipse 开发软件, 实现控制系统的搭建。其功能模块大致如下:

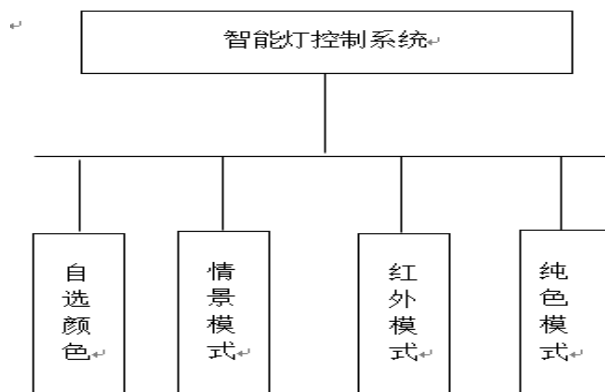


图 2 系统结构功能图

Fig.2 Structure of system function

主界面分为三个大部分, 分别为顶端的蓝牙连接部分, 以及中间的各种模式功能部分, 最后的包括退出以及定时退出的部分。主界面如下图:

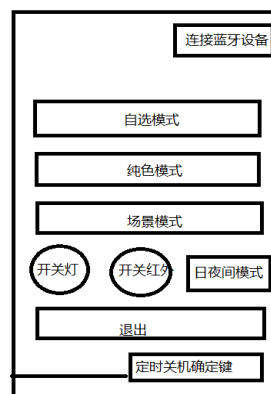


图 3 APP 的主界面

Fig.3 APP main UI

自选模式下界面如下:

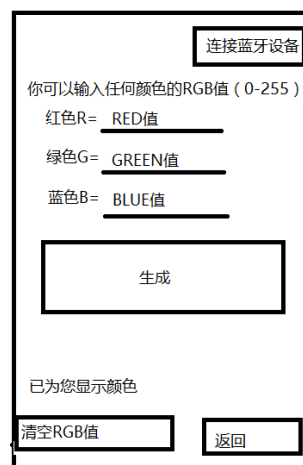


图 4 自选模式界面

Fig.4 Optional Modle UI

在自选模式中, 可以输入 RGB 的码值(0-255), 然后点击中间的生成部分, 就会在“已为您显示颜色”字体上显示灯应该显示的颜色。最下方是清空 RGB 值和返回主界面按钮。而场景模式与纯色模式

就在此不一一赘述了。

Andriod 平台提供 API 来实现蓝牙各设备之间的连接，蓝牙设备之间的连接主要分为四个步骤：设置蓝牙设备，寻找局域网内可能或者匹配的设备，连接设备以及连接设备的数据传输^[10]。建立蓝牙需要用到以下几个基本类：**BluetoothAdapter** 类：代表了一个本地的蓝牙适配器。它是所有蓝牙交互的入口点。**BluetoothDevice** 类：代表了一个远端的蓝牙设备，使用它请求远端蓝牙设备连接或者获取远端蓝牙设备的名称、地址、种类和绑定状态。**Bluetoothsocket** 类：代表了一个蓝牙套接字的接口，他是应用程序通过输入、输出流与其他蓝牙设备通信的连接点。**Blueboothserversocket** 类：代表打开服务连接来监听可能到来的连接请求，为了连接两个蓝牙设备必须有一个设备作为服务器打开一个服务套接字。**Bluetoothclass** 类：描述了一个蓝牙设备的一般特点和能力。他的只读属性集定义了设备的主、次设备类和一些相关服务。然而，他并没有准确的描述所有该设备所支持的蓝牙文件和服务，而是作为对设备种类来说的一个小小暗示。

3 备用电源

为了应对突发情况（停电），我们设计了备用电源这个部分。正常工作时，电源是由 220v 家用电经过降压整流后提供的。当出现意外断电时，通过继电器控制将会由三节 1.5v 干电池供电，然后当来电后，又切回原来的供电方式^[14]。其继电器部分电路如下：

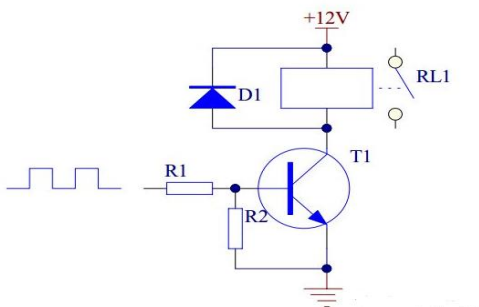


图 5 继电器驱动电路

Fig.4 Relay Drive Circuit

4 结论

本文提出了一种新型的灯具呈现模式，将灯具和手机的 APP 或者遥控器联合起来，将以前功能单一的普通灯具，变成多功能可控的灯具。实现了通

过手机 APP 控制灯的关闭、自选颜色、场景变换，同时系统采用了红外技术，当没有人体移动时，自动关灯。经过验证，此灯具有一定的实用性。

表 3 成果

Table 3 Achievements

目标功能	手机 APP 控制开关灯	APP 控制场景变换	APP 控制自选颜色	单独遥控器控制	红外监测自动关闭
是否实现	√	√	√	√	√

根据最后的实验结果进行分析，目标基本功能已经实现，与原定标准相差无几。但是由于，当初选定灯珠芯片，导致在光很强的情况下亮度不够。下一步，拟解决光强问题，使用新的灯珠芯片或者增加灯珠等等。

参考文献

1. 陈元灯.LED 制造技术与应用[J].电子工业出版社, 2009.(10): 36-42.
2. 钱明光.DMX512 信息格式及应用新视界广播电视技术[J].新视界广播电视技术, 53-54.
3. 杨恒.LED 照明驱动器设计步骤详解[J].中国电力出版社.2010.1(1):20-24.
4. 杨帆.传感器技术.[J].西安电子科技大学出版社.2008.(9):67-73.
5. 朱晓荣.无线网络技术原理与应用.[J].电子工业出版社.2008.(7):112-118.
6. 孙松.基于 Android NDK 的智能灯光系统设计与实现[D].重庆:重庆大学, 2014.
7. 化腾飞.基于高性能单片机的无限 LED 彩灯控制系统的设计与实现[D].太原:太原理工, 2012.
8. 王鹤.智能灯光控制系统的研制[D].西安:长安大学, 2010.
9. 张曙光智能照明系统及其工程应用建筑电气[J].建筑电气, 2004,5 (1):122-124.
10. 李刚.疯狂 Android 讲义[M].北京:电子工业出版社, 2015: 1-412
11. 胡越,周腾鹤,梁东升.基于蓝牙的安卓平台智能灯控

制系统设计与实现[J].物联网技术.2016.(5) :14-16.

12. 单成祥, 牛彦文, 张春.传感器设计基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
13. 王宜怀. 单片机原理及其嵌入式应用教程[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002
14. 张吉. 基于物联网的自动气象信息采集技术研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2013.

基于 java 的电机学实验教学管理平台设计*

侯雪征；赵英达；王艺颖

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 传统的课堂教学模式授课形式单一、呆板, 对学生的培养往往一刀切, 忽视了学生的个性差异, 不能体现因材施教的思想, 不能很好地激发学生的潜能而全面培养学生素质; 并且电机学课程是电气工程及其自动化专业的一门主要专业基础课, 本课程教学不仅需要课堂讲授, 更需要同学有更多的感性认识, 加强实践教学环节, 基于 java 的电机学实验教学管理平台设计将课堂教学与实践教学进行有利融合, 打破单一教学形式, 对实验教学课前预习、实验过程、结果分析进行协调, 大大提高教学效率, 方便教师教学, 利于学生对专业学习的全方位认识。本设计基于 java 语言、通过 ecilipse 软件实现了学生\教师不同权限登录、学生信息查询、电机学实验仿真、教师在线答疑、学生在线提交作业、参考作业答案等功能, 是一个完整的管理平台。

关键词: java 语言、教学管理平台设计、电机学实验仿真

Design of motor experiment teaching management platform based on Java

Hou Xue-zheng ;Zhao Ying-da ;Wang Yi-ying

(College of instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: The traditional classroom teaching mode is single and inflexible, The cultivation of students is only a simple indoctrination, it has ignored the students' personality differences. Therefore, it can not reflect the thinking abilities, which can stimulate students' potential and good quality cultivation of students. And the course of electrical engineering is an important basic course of electrical engineering and automation. The teaching of this course requires not only the classroom teaching, but also to make the students have more perceptual knowledge, and strengthen the practical teaching. Design of motor experiment teaching management platform based on Java combines classroom teaching with practice teaching. Breaking the single teaching form, it will be the experimental teaching preview, the experimental process, the results of the analysis of coordination, so it can greatly improve the teaching efficiency, facilitate teaching, and benefit to students to know all kinds of professional learning. The design is based on Java language, by ECILIPSE software, which realizes the student / teacher different permissions login, student information query, motor learning, simulation, teacher answering questions, students submit online homework, answer and other functions, is a complete management platform.

Key words: java program, Design of teaching management platform, Experimental simulation of electrical machine

0 前言

计算机网络的迅速发展, 极大地改变了常规教学方式与手段, 高校教学网络化已成为未来教学的一种趋势。网络化教学与传统教学相比, 具有不可比拟的优势。电机学课程是电气工程及其自动化专业的一门主要专业基础课, 电机学课程实践性强,

但由于资源有限, 实验室不能满足每位同学有一个实验台, 将在一定程度上影响同学们的学习效果。以往的电机学实验过程中, 由于同学们对实验台不熟悉、误操作导致实验台器件损坏, 也给学校带来了经济损失。在实际工程中如何使学生学会运用综合知识, 优化控制系统, 满足生产的要求是课程的任务, 这就使教学不仅需要课堂讲授, 更需要同学有更多的感性认识, 加强实践教学环节, 包括实验和课程设计, 但是由于受到教学学时, 实验设备,

*指导老师: 关珊珊

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65682)

实验人员，和实验条件的限制，教学要求有时难于完全达到，而虚拟实验和设计则没有这方面的限制。我们可以将 MATLAB/Simulink 仿真技术和 GUI 界面设计^[1]引入到教学中，开发了可视化的实验平台。通过仿真学生可以对各模块性能，电路连接情况有所了解并直观地看到仿真结果，从而一举两得。

设计的电机学实验仿真软件，它将理论教学与实验过程整合在一起，不仅可以提高课堂效率，也让同学学习电机学这门课程多了一种学习工具，提高同学们的学习兴趣，同时也为老师及时了解同学们的预习、学习这门课程提供了条件。

1 系统功能

基于 java 的电机学实验教学管理平台设计^[2]，基于 java 语言、通过 ecilipse 软件实现了学生\教师不同权限登录、学生信息查询、电机学实验仿真、教师在线答疑、学生在线提交作业、参考作业答案等功能。教师通过自己帐号\密码登录后可以在线答疑、在线接收学生提交的作业、查看学生信息等功能；学生通过自己学号密码登录可以选择实验进行仿真、在线答疑、在线提交作业等功能。

教师学生等信息存储在数据库中^[3]，可以通过本管理平台访问远程数据库，教师可以修改删除添加数据库中数据。具体结构如图 1 所示。

2 系统体系结构

教学管理平台采用 C/S 模式^[4]，并设计适合的数据库，将数据库作为服务器端。在此模式下采用标准的网络通讯协议 TCP/IP 协议，客户端通过 ip 地址访问服务器端数据库。

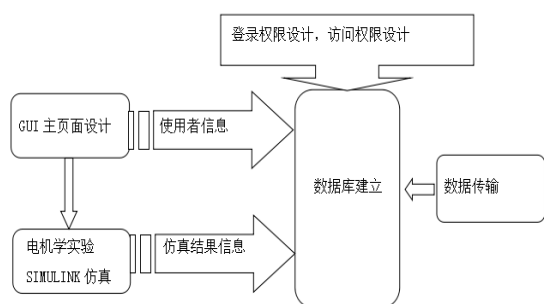


图 1 管理系统结构框图

Fig.1 Structure of management system

教学管理平台使用 Eclipse 进行开发，数据库采用 SQL Server 2005 数据库。Eclipse 是一个开放源代码的、基于 Java 的可扩展开发平台。就其本身而言，它只是一个框架和一组服务，用于通过插件组件构建开发环境。Eclipse 附带了一个标准的插件集，包括 Java 开发工具 (Java Development Kit, JDK)^[5]。

关键技术：

2.1 人机界面采用 java-AWT(Abstract Window Toolkit)

中文译为抽象窗口工具包，该包提供了一套与本地图形界面进行交互的接口，是 Java 提供的用来建立和设置 Java 的图形用户界面的基本工具。

2.2 远程访问采用 TCP/IP 协议

Transmission Control Protocol/Internet Protocol 的简写，中译名为传输控制协议/因特网互联协议，又名网络通讯协议，是 Internet 最基本的协议、Internet 国际互联网的基础，由网络层的 IP 协议和传输层的 TCP 协议组成。TCP/IP 定义了电子设备如何连入因特网，以及数据如何在它们之间传输的标准。

2.3 java 与数据库的连接

JDBC (Java Data Base Connectivity, java 数据库连接) 是一种用于执行 SQL 语句的 Java API，可以为多种关系数据库提供统一访问，它由一组用 Java 语言编写的类和接口组成。JDBC 提供了一种基准，据此可以构建更高级的工具和接口，使数据库开发人员能够编写数据库应用程序。

3 教学管理平台模块介绍

此平台包括以下几个模块：

3.1 权限登录模块

学生老师具有不同的登录权限。教师可以查看学生与教师的个人信息，并且可以对信息进行添加/修改/删除，并可以在线为学生答疑、接受作业；学生可以选择自己的实验，查看实验指导，查看参考答案，打开仿真软件 Matlab，并可以在线请教问题、提交作业。登录界面如图 2 所示。

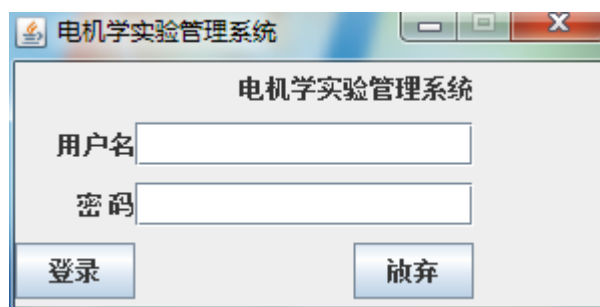


图 2 电机学实验管理系统登录界面

Fig.2 Motor experiment management system login interface

3.2 在线答疑模块

本模块采用 TCP/IP 协议^[6]，服务器端创建 Socket 套接字，选择可用端口进行监听，客户端通过创建 Socket，访问服务器 ip 地址指定的端口号进行访问、连接。连接成功进行信息传输。答疑模块如图 3 所示。



图 3 答疑通信模块界面

Fig.3 Communication module interface

3.3 在线提交作业模块

类似与在线答疑模块，服务器创建套接字，选择可用端口，客户端通过套接字连接到服务器 ip 地址的指定端口进行连接，连接成功后客户端选择作业文件、发送。服务器端选择作业存储位置。文件传输模块如图 4 所示。

3.4 数据库建立

通过 SQL Server 2005 数据库简历数据库，简历学生信息表、教师信息表、参考答案表。Java 通过 jdbc 对数据库进行访问。数据库如图 5 所示。

4 平台特色

4.1 改变了以往的教学模式

传统的课堂教学模式是以教师为中心，以教师



图 4 文件传输模块界面

Fig.4 File transfer module interface

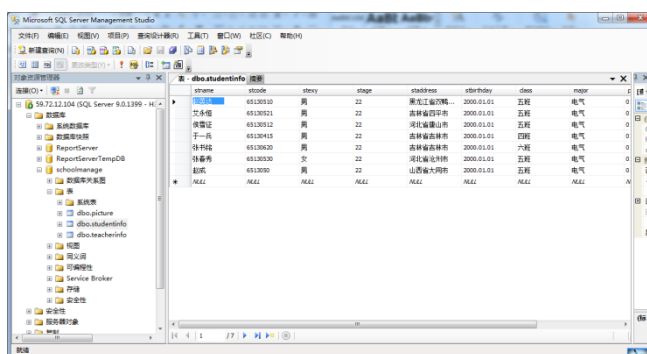


图 5 数据库软件图

Fig.5 Database software diagram

为主导统领整个课程的讲述，很少考虑学生的个体情况，这不利于学生个性化的培养。学生的基础不同，素质不同，爱好不同，我们不能一刀切下来进行知识的灌输。

4.2 改变了以往的工作模式

此综合教学管理平台充分利用了已有的网络技术与网络资源，将课程信息、学生信息、教师信息、教材信息、教学档案信息等多个功能模块整合为一体，每一个功能模块既有相互独立性又有相互协调性。教师与学生之间工作的协调只需借助此平台就可轻松完成。

5 本平台设计的重大意义

“基于 JAVA 电机学实验教学管理系统”的开发，对于高校人多资源少背景下的学生管理工作具有非常积极的意义。

5.1 有利于提高业余制学生学习质量

该系统着力解决了在知识经济背景下，学员的生活学习节奏越来越快，函授教育、业余教育学生数量越来越大，面授教育方式不能满足学员对知识的渴求情况下，如何利用现有的网络技术和计算机资源，包括网上学习、查阅资料、浏览信息、下载信息等。方便了学生与老师之间的远程教学中的智能答疑要求，解决了规模化下面授教育受时间、场地限制的难题，随时掌握学习效果，及时调整学习重点，更好的提高学习水平。

5.2 有利于学生提高自我管理素质养成和综合素质评价

该系统在学生规模化学生管理工作中，找到了一种新型的、高效的管理方式，提出学生自我约束、素质积分管理系统的模式。到期末对学生的各项测评结果、成绩管理等进行整理，对照素质积分，找出自我差距，实现自我管理和自我提升。

5.3 有利于规范化、科学化的提高学生信息管理水

平；有利于教师及时掌握学生的信息，加强学生的管理；有利于规范学生信息管理，提高工作效率。

6 结束语

基于 JAVA 的电机学实验教学管理平台设计，在我院提高教学质量的过程中必将发挥他的作用。能完成本设计很感谢老师还有学院的支持。但是本设计在一些细节方面还需进一步完善，本设计还会更加完善、更加人性化的呈现在使用者面前。

参考文献

1. 童佳,丁立军.基于 MATLAB 中 GUI 功能设计电机仿真实验系统[J]. 中国电力教育. 2010,185(34) : 160-162
2. 顾建荣.基于 JAVA 教育教学综合平台的设计与实现[D]. 电子科技大学.2012
3. 裘昌利.基于网络 B/S 结构的学生信息管理系统的设计与实现[J].现代情报, 2009 (4) .
4. 朱利红.基于 Java 的教学事务平台[D].电子科技大学,2007
5. 阎宏.Java 与模式[M] 北京: 电子工业出版社 2002.
6. 姜利群,姜淑娟,沈琦.Java 网络编程实例教程[M].清华大学出版社,2005,第 1 版.

基于无线传感器网络的土壤墒情监测系统*

宋大虎；韩佳奇；陈立锴

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 在农业生产中, 实时掌握农作物所处的环境信息对于农作物的产量具有重要意义。现阶段, 我国的精确农业发展还处于初期, 但是农业的机械化、智能化发展必然是未来农业发展的主要趋势。现有的农业信息监测系统大多采用有线数据传输方式, 这样的方案对于复杂的农田环境有很大的局限性。因此, 本文研究更加适合农业信息采集的无线通信方式, 结合 ZigBee 技术组网简单、低能耗的特点, 研究基于 ZigBee 技术的土壤墒情监测系统^[1-2]。

关键词: 无线传感网络 ZigBee 数据采集

Soil Temperature and Humidity Monitoring System Based on Wireless Sensor Network

SONG Da-hu; HAN Jia-qi; CHEN Li-kai

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In agricultural production, it is important to grasp the environmental information of crop crops in real time. At present, China's precision agriculture development is still in its infancy, but the mechanization and intelligent development of agriculture must be the main trend of future agricultural development. Most of the existing agricultural information monitoring system uses wired data transmission, such a program for the complex farmland environment has great limitations. Therefore, this paper studies the wireless communication method which is more suitable for agricultural information collection. Based on the simple and low energy consumption of ZigBee technology, the soil moisture monitoring system based on ZigBee technology is studied.

Key words: Wireless sensor network ZigBee Data acquisition

0 前言

对农田土壤信息的监测与采集是农业自动化和信息化的重要组成部分。目前, 农田信息监控系统主要有两类: 一种是基于集散控制结构, 另一种是基于现场总线技术, 它们都有一个致命的问题, 就是通过有线的方式传输数据。两种结构都是通过线缆、各类传感器和执行机构等连接方式传输信号。由于布线复杂, 农田的光照强, 且土壤具有一定酸性, 使得系统的可靠性和抗干扰性能有所降低, 增加了后期维护的难度, 而采用无线方式可以有效地

避免这些问题^[3-5]。

ZigBee (又称紫蜂协议) 是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议, 根据国际标准规定, ZigBee 技术是一种短距离、低功耗的无线通信技术^[6]。作为一种新兴的无线通信技术, 与蓝牙和 WIFI 相比, ZigBee 技术具有距离短、复杂度低、功耗低、数据速率低、成本低和自组网等特点, 适合于自动控制领域的传感器和执行机构等设备的联网。在农田监控系统中应用基于 ZigBee 技术的无线传感网络, 实现了对农田土壤信息的自动检测和控制, 能有效地避免有线系统问题。

*指导老师: 李哲

项目类型: 大学生创新项目 (2015651018)

1 方案设计

根据土壤墒情监测系统的需要，复杂度低、功耗低、成本低成为系统设计的重要考虑因素。系统总体设计主要完成以下工作：

(1) 设计一个基于 ZigBee 技术的无线网络，该网络中有三种 ZigBee 设备，分别是协调器、路由器、终端节点。处于农田环境中的终端节点负责将传感器接收到的土壤墒情数据通过无线的方式经过路由器或者直接传输到协调器，协调器将接收到的数据通过串口传输到上位机进行显示。ZigBee 技术标准的传输距离是 75 米，并且支持扩展，可以很好地解决农田土壤信息的监测问题^[6]。

(2) 针对环境复杂的农田土壤墒情的信息监测，必然要求监测设备具有很高的可靠性，同时要求低功耗。CC2530 具有不同的运行模式，能够很好地确保低能源消耗，并且 CC2530 结合了德州仪器的业界领先的黄金单元 ZigBee 协议栈 (Z-Stack)，提供了一个强大和完整的 ZigBee 解决方案^[5]。

(3) 对 ZigBee2007 规范的 Z-Stack 协议栈进行分析和研究，开发了网络搭建，设备绑定，数据采集，数据传输和数据接收等各节点应用程序，实现土壤墒情数据的采集，传输，接收。通过开发上位机软件，对土壤墒情数据包进行解析、显示和储存。

(4) 对网络的实测。

2 系统硬件设计

2.1 系统整体方案

本文设计的 ZigBee 无线传感器网络是由一台 PC 机，一个协调器，若干个路由器和若干个终端节点组成。根据系统的需要，终端节点一般处于不同且较远的环境中，当终端节点和协调器之间的直接通信由于距离太远而达不到时，添加路由器作为中继，进行数据的透明传输。系统的整体结构如图 1 所示。

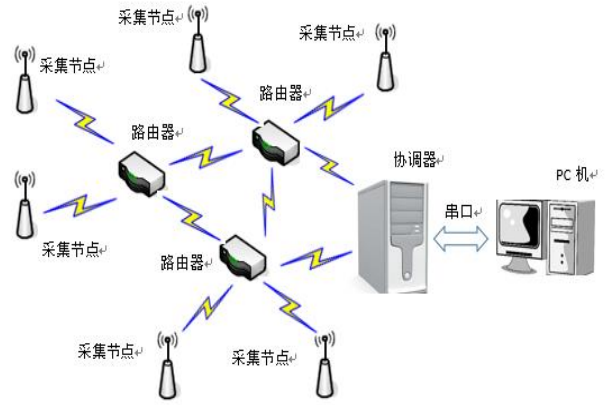


图 1 系统整体结构图

Fig.1 The overall structure of the system

首先给协调器上电，协调器建立好网络，等待其他节点加入网络；传感器节点经过验证加入网络之后，将被赋予一个 16 位网络地址，此后这个地址就作为该设备的标识。传感器节点将传感器上采集的温湿度数据进行读取，并连同 16 位短地址组成数据包通过网络传给协调器，协调器通过固定的格式将数据包通过传输给 PC 机，运行在 PC 机的上位机软件对数据包进行解析，对其中的温湿度数据进行显示和储存。工作人员可以通过上位机软件对整个系统进行监控，并实时获得每个节点所处位置的温湿度数据。

2.2 系统硬件选择与设计

2.2.1 温湿度传感器选择

本系统采用 DHT11 数字式温湿度传感器。选择 DHT11，主要是考虑到其响应超快，抗干扰能力强，性价比较高^[2]。相对于模拟式温湿度传感器基于模拟信号的测量，数字式温湿度传感器测量更加准确。

2.2.2 CC2530 核心电路设计

CC2530 的核心电路设计严格按照 TI 公司的参考电路，电路图如图 2 所示。

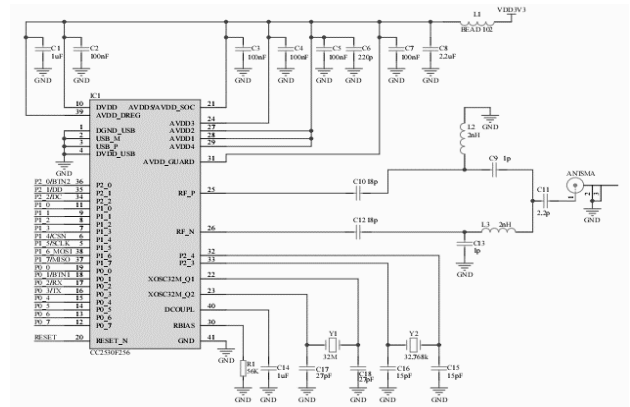


图 2 CC2530 核心电路电路图

Fig.2 Circuit diagram of the CC2530 core circuit

3 系统软件设计

本文设计的基于 ZigBee 的无线传感器网络，主要由协调器，路由器，终端节点构成。协调器是这个网络的中心，负责接收从终端节点传来的数据，并将其通过串口传输到 PC 机，上位机完成对数据的解析、显示和储存。系统软件设计主要包括：ZigBee 协议栈的配置、网络搭建程序设计、数据的收发、温湿度数据采集和上位机软件开发。

3.1 系统软件开发平台概述

3.1.1 ZigBee 协议栈

结合本文设计的系统，考虑到开发成本、难易程度以及协议栈功能等多种因素，本文选择 TI 公司的 Z-Stack2007 协议栈，它支持协调器、路由器和终端节点三种设备。ZStack 被 ZigBee 测试机构国家技术服务公司评为 ZigBee 联盟最高业内水平，为全球众多的 ZigBee 开发人员广泛使用^[1]。

3.1.2 ZigBee 设备开发软件

本文采用 IAR Embedded Workbench for MCS-8051 V8.10 Evaluation(IAR-EW)作为系统的软件开发平台，该软件集编译和调试于一体，支持以 8051 为内核的芯片编程。IAR-EW 提供了 CC2530 等 SoC 芯片的相关配置文件，可省去相当一部分工作量。同时还支持 CC2530 开发套件的 USB 接口，方便程序下载和调试。

3.1.3 上位机开发软件的选择

本文采用 labview2010 进行上位机显示存储界面的设计。Labview 是由美国国家仪器 (NI) 公司研制开发的程序开发工具，具有编程简便，可读性强的特点，方便了编程人员的设计开发^[7-8]。

3.2 ZigBee 设备通信设计

3.2.1 ZigBee 协议栈配置

ZigBee 网络中的各种操作需要利用协议栈各层所提供的原语操作来共同完成。用户在进行具体的应用开发时，只能通过调用 API 接口来进行，而无权知道 ZigBee 协议栈实现的具体细节。本文用 ZStack-CC2530-2.3.0-1.4.0 协议栈的 SampleApp 进行设计开发。

Z-Stack 由 main()函数开始执行，main()函数完成系统初始化和开始执行轮询式操作系统，如图 3 所示。

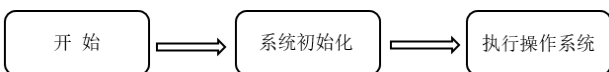


图 3 main()函数执行过程

Fig.3 Main () function to perform the process

3.2.2 网络搭建程序设计

本系统采用拓扑结构，可以有效增大网络的覆盖面积，增强系统稳定性和可靠性。在程序 SampleApp.c 中加入代码 “afAddrType_t SampleApp_P2P_DstAddr;” 实现各设备之间通过点播的形式通信。对 “SampleApp_P2P_DstAddr” 进行重新配置，增加如图 4 代码。

```

SampleApp_P2P_DstAddr.addrMode = (afAddrMode_t)Addr16Bit; //点播
SampleApp_P2P_DstAddr.endPoint = SAMPLEAPP_ENDPOINT;
SampleApp_P2P_DstAddr.addr.shortAddr = 0x0000; //发给协调器
  
```

图 4 SampleApp_P2P_DstAddr 中加入代码

Fig.4 Add the code in SampleApp_P2P_DstAddr

在上述代码中，Z-Stack 协议栈规定协调器设备的网络地址是 0x0000。

3.2.3 数据的收发

本系统中设备间进行通信的数据包的格式是：设备的 64 位扩展 IEEE 地址+温湿度数据。

(1) 获取设备的 64 位扩展 IEEE 地址

ZigBee 协议栈中有几种获取设备 64 位扩展 IEEE 地址的方法，本系统采用 OnBoard.c 定义的全局变量 aExtendedAddress 获取。

(2) 数据的发送和接收

数据发送方面，ZigBee 协议栈中的点对点函数 “SampleApp_Send_P2P_Message” 使终端设备将收集到的数据发送给协调器。

数据接收方面，搜索 SampleApp_ProcessEvent，找到代码 if (events & SAMPLEAPP_SEND_PERIODIC_MSG_EVT)，在其中增加点播的发送函数。对于接收方面，搜索找到 SampleApp_MessageMSGCB，增加如图 5 代码。

```

case SAMPLEAPP_P2P_CLUSTERID:
  HalUARTWrite(0, pkt->cmd.Data, pkt->cmd.DataLength);
  break;
  
```

图 5 SampleApp_MessageMSGCB 中加入代码

Fig.5 Add the code in SampleApp_MessageMSGCB

3.2.4 温湿度数据采集

本系统采用 DHT11 数字式温湿度传感器。DHT11 采用单总线数据通信。一次通信时间 4ms 左右，其数据包由 5B (40Bit) 组成。数据分整数和小数部分，高位先出。数据格式：8bit 湿度整数输+8bit 湿度小数数据+8bit 温度整数数据+8bit 温度小数数据+8bit 校验和数据。校验数据和等于前 4 个字节相加的末 8 位。

根据 DHT11 的传输时序编写温湿度采集程序，程序主要包括：延时函数、8 位数据写入、DHT11 传感器启动、读取函数。

3.3 Labview 上位机设计

协调器将终端上传的数据处理、汇总，然后通

过串口上传到 PC 机，上位机用 Labview2010 来编写。通过前后面板设计了上位机温湿度显示界面，同时也可以对采集的温湿度数据进行储存。Labview 前面板主要是一些输入输出控件，界面的布局等；后面板是程序框图，主要的串口数据读取、数据包解析、数据的存储都是在后面板进行操作。

4 系统测试和分析

经过前面的工作，已经完成了基于 ZigBee 的温湿度传感器网络的设计。本章将对系统的组网和数据传输等方面的功能进行测试和分析，以检测系统的可靠性和稳定性。

4.1 组网测试

对系统的组网能力进行测试，检验网络的可靠性和稳定性。协调器上电，组建一个简单的网络，一个路由器和两个终端节点也陆续上电并通过验证接入网络。利用底板上的 LED 灯来显示联网是否成功：常灭标识联网失败，闪烁表示正在联网，闪烁完成熄灭表示联网成功。联网完成如图 6 所示。

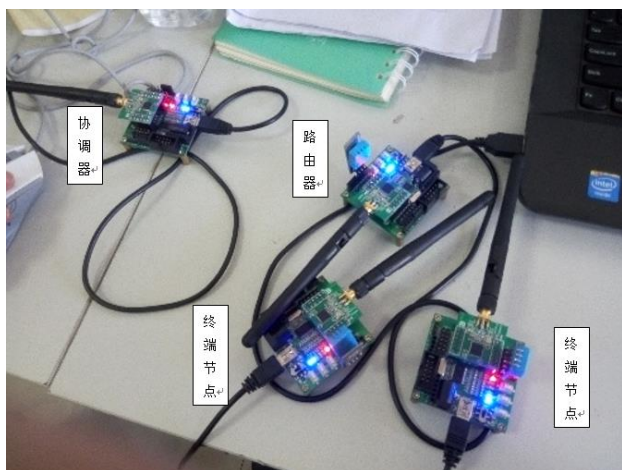


图 6 ZigBee 网络连接完成图示

Fig.6 ZigBee network connection complete icon

4.2 数据传输和显示测试

待组网完成之后，安装温湿度传感器的路由器和两个终端采集节点将其采集的温湿度信息传到协调器，协调器通过串口进行显示，数据显示的结果如图 7。

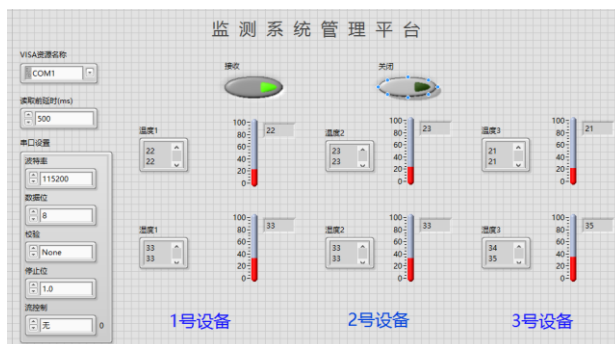


图 7 数据接收显示界面

Fig.7 Data receiving display interface

5 结语

本文设计了基于 ZigBee 的土壤墒情监测系统，主要完成了一下工作：

(1) 简要叙述了近年来 ZigBee 技术及其应用在国内外的情况，并提出了利用 ZigBee 技术搭建无线传感网络对土壤墒情情况进行监测。

(2) 参考 TI 公司提供的案例，给出了无线传感器网络设计的方案，采用 DHT11 数字式温湿度传感器，移植温湿度采集函数；分析 ZigBee 协议栈，设计协调器、路由器和终端节点的程序；编写上位机程序，设计上位机软件。

(3) 对系统进行实地测试，完成了温湿度数据的采集和显示。

由于知识、能力等方面的限制，本系统还有一些方面有待提高：

(1) 本系统只是完成了对温湿度数据的监测，功能较为单一，加入对环境的控制和调节将是一个改进方向。

(2) 本系统的上位机软件的功能有待进一步加强，考虑到数据的实时性和对数据的存储，建立计算机数据库将是一个很好的方向。

参考文献

1. 贾科进,王文贞,杜太行,钱春阳,刘龙飞. 基于 ZigBee 无线传感器网络的土壤墒情监测系统[J]. 节水灌溉,2014,(03):69-71+74.
2. 颜丽娜,王顺忠,张铁民. 基于 DHT11 温湿度测控系统的设计 [J]. 海南师范大学学报(自然科学版),2013,(04):397-399.
3. 孙玉文. 基于无线传感器网络的农田环境监测系统研

究与实现[D].南京农业大学,2013.

4. 卜永波,罗小玲,陈一. 基于 DHT11 传感器的温湿度采集系统[J]. 计算机与现代化,2013,(11):133-135.
5. 韩丹翱,王菲. DHT11 数字式温湿度传感器的应用性研究[J]. 电子设计工程,2013,(13):83-85+88.
6. 代媛. 基于 ZigBee 无线传感器网络的农田信息监测研究[D].西北农林科技大学,2010.
7. 吕向锋,高洪林,马亮,王新华. 基于 LabVIEW 串口通信的研究[J]. 国外电子测量技术,2009,(12):27-30+42.
8. 徐超. LabVIEW 在实时测控系统中的应用研究[D].重庆大学,2005.应用研究[D].武汉理工大学,2008.
9. 王建勋,周青云. 基于 DS18B20 和 LabVIEW 的温度监测系统[J]. 实验室研究与探索,2012,(03):47-50.
10. 赵奇峰,闵涛,杨黔龙,田亚军. 基于 LabVIEW 串口数据采集系统设计 [J]. 计算机技术与发展,2011,(11):224-226+230.
11. 张奇松,尹航. Z-Stack 剖析及其在无线测温网络中的应用[J]. 计算机系统应用,2009,(02):103-105.
12. 鲍军民. ZigBee 技术在温室监控系统中的应用[J]. 农机化研究,2008,(02):184-187.

基于嵌入式系统的三坐标运动控制系统*

陈无难; 杨 娜; 刘 浩

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 运动控制是在科学技术发展和工业兴旺的基础上综合应用机械、微电子、信息、自动控制、传感测量、电力电子、接口与编程等技术, 并对运动机械进行高性能、高质量、高精度、高可靠性、低能耗意义上的综合性系统设计及实现的工程技术^[1-2]。研究并开发三坐标运动控制系统有利于提高三坐标测量机的测量精度及其效率, 从而为产品质量提供保证。因此我们设计了一种基于 msp430 单片机的三坐标运动控制系统, 通过 LABVIEW 软件设计控制系统的上位机对步进电机进行控制, 从而实现空间上三坐标的定位运动。

关键词: 上位机 步进电机 三维系统 定位控制

Three - dimensional coordinate motion control system Based on Embedded System

CHEN Wu-nan; YANG Na; LIU Hao

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Motion control is a comprehensive application of mechanical, microelectronics, information, automatic control, sensor measurement, power electronics, interface and programming technology on the basis of scientific and technological development and industrial prosperity, and high performance, high quality and high Precision, high reliability, low energy consumption in the sense of a comprehensive system design and implementation of engineering technology. The research and development of the coordinate motion control system is helpful to improve the measurement accuracy and efficiency of the coordinate measuring machine, so as to guarantee the product quality. Therefore, we design a three-dimensional coordinate motion control system based on msp430 single chip microcomputer. The LABVIEW software is used to control the stepping motor of the control system to realize the positioning motion of the three-dimensional coordinates in space.

Key words: Host computer Stepper motor Three-dimensional system Positioning control

0 前言

三坐标运动控制系统多用于精密控制, 来实现在不适合人工操作的情况下, 对物品进行测量和定位, 它研究的对象包括一切被控量是位移、速度或加速度等机电变量的反馈控制系统^{[4][5]}。通过对上位机进行输入指令, 经过串口通信将指令发送给下位机执行。本文使用 LABVIEW 设计上位机界面, 输入 X、Y、Z 三维坐标, 自动判断正反转, 到达指定位置。

1 系统工作原理

*指导老师: 李哲

项目类型: 大学生创新项目 (2015651019)

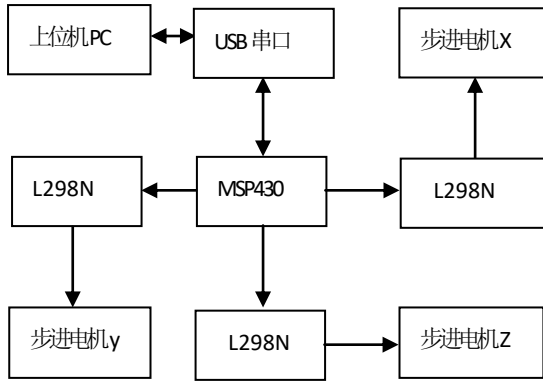


图1 系统总体结构框图

Fig. 1. The overall structure of the system block diagram

如图1所示：在PC机上使用labview软件设计上位机控制界面通过USB串口通信，向MSP430单片机发送控制命令，经单片机解码后将控制信号发送到L298N驱动模块，从而向步进电机发出控制脉冲控制三个方向步进电机的自动识别正反转和移动距离，即实现系统的三维定位功能^[7]。

2 系统硬件设计

2.1 通讯部分

由于本系统主要由上位机进行控制，所以下位机和上位机之间要进行通讯,选择使用RS-232协议进行通信，PC机串行口输出的RS-232信号是一个基于3~7V的正电压、3~7V负电压的脉冲链。此电压信号需要转化成0~5V的脉冲链,以便处理器读取，转换电路应用MAX232芯片。MAX232芯片含有一个电源电压转换器,可以将+5V电压变换为RS-232输出电平需要的-10~+10V的电压。因此只需要一个的+5V电源对系统供电就可以了。

要实现上位机与下位机的数据通信，上位机与下位机的通信格式、波特率必须一致，我们采用的是MSP430的UART模式，用USB转RS232串口线实现与PC机的通信，数据格式8,1,N,波特率4800，数据的传输依靠中断来完成。UART是通用异步串行接口的简称，其结构为：

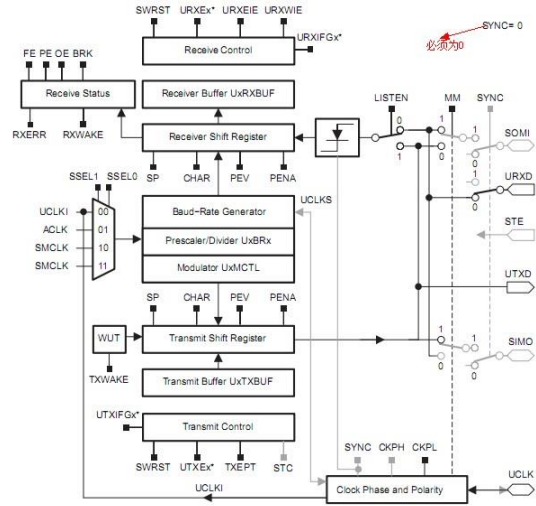


图2 UART原理图

Fig. 2. Schematic diagram of UART

由于实验要求实现定位，16进制不易对位移量的换算，而且只能传输8位数据，因此只能传输16进制数或者字符即其所对应的ascii码，所以需要上位机输入字符串，下位机解码成数字。

2.2 L298 驱动电路

L298驱动器，L298N是ST公司生产的一种高电压、大电流电机驱动芯片。该芯片采用15脚封装。主要特点是：工作电压高，最高工作电压可达46V；输出电流大，瞬间峰值电流可达3A，持续工作电流为2A；额定功率25W。内含两个H桥的高电压大电流全桥式驱动器，可以用来驱动直流电动机和步进电动机、继电器线圈等感性负载；采用标准逻辑电平信号控制；具有两个使能控制端，在不受输入信号影响的情况下允许或禁止器件工作有一个逻辑电源输入端，使内部逻辑电路部分在低电压下工作；可以外接检测电阻，将变化量反馈给控制电路。使用L298N芯片驱动电机，该芯片可以驱动一台两相步进电机或四相步进电机，也可以驱动两台直流电机。

为了避免电机对单片机的干扰，本模块加入光耦，进行光电隔离，从而使系统能稳定可靠的工作。如下图所示。

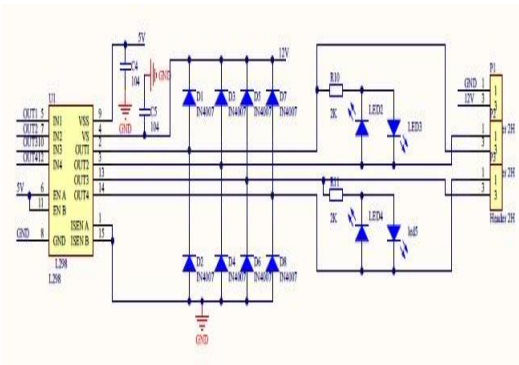


图 3 L298 驱动电路

Fig. 3. L298 drive circuit

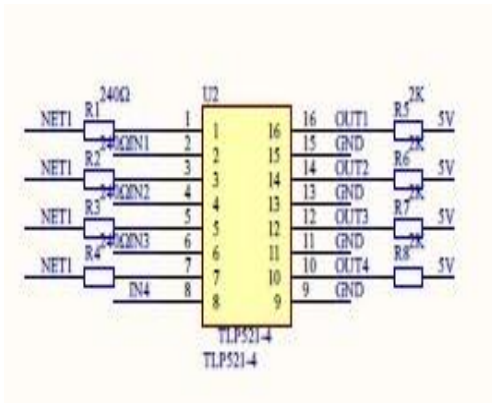


图 4 光耦隔离电路

Fig. 4. Optocoupler isolation circuit

3 上位机设计

在 PC 机上安装好 LABVIEW 软件后，还需要安装 VISA 驱动和 VISA 程序包，驱动安装成功后，才能出现我们通信所需要的串口。程序包安装好后，我们需要设计出界面简单，易于操作的，具有良好人机交互的界面。

首先设计出与通讯有关的串口通讯模块，在前面板控件→ I/O→VISA 资源名称设置串口，然后进行串口设置，并将其值初始化，设置波特率、数据位、校验位、停止位和流控制，进行相应设置与下位机通讯，在后面板程序框图中写入 VISA 串口设置，位于函数面板→仪器 I/O→串口→VISA 配置串口，VISA 配置串口函数可以通过连线与串口资源和串口设置连接，VISA 写入函数、VISA 读取函数、VISA 关闭函数位于函数面板→仪器 I/O→串口中，VISA 写入函数使写入缓冲区的数据写入 VISA 资源名称指定的设备和接口；VISA 读取函数从 VISA 资源名称指定的串口中读取指定数量的字节，并将数据返回至“读取缓冲区”；VISA 关闭函数关闭指定串口的会话句柄或事件对象。在程序结束处加一个简易错误处理器，从而更好地进行报错。在整个上位

机程序设置好之后与下位机进行联调，将定位坐标输入到前面板上进行控制步进电机的运动使之达到制定位置^{[3][8][9][11][12]}。

程序前面板与程序框图分别如下图所示：



图 5 上位机控制界面

Fig. 5. Host computer control interface

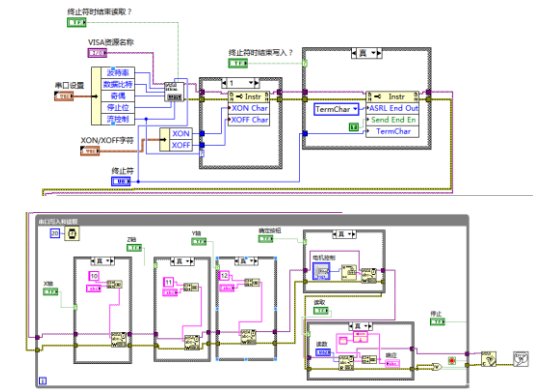


图 6 上位机后面板程序界面

Fig. 6. Host computer rear panel program interface

4 软件部分

4.1 步进电机控制

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载的变化。我们采用的 57BYG 型号的混合式（永磁感应子式）步进电机是一种两相四线步进电机，它的工作方式有整步距方式和半步距方式。整步距可分为单四拍和双四拍，半步距是和单、双八拍。八拍的步距角小，为了让系统具有更精确的定位，所以本文采用了八拍工作方式即：A、AB、B、B/A、/A、/A/B、/B、/BA。步进角为 0.9 度，电机旋转一周需要 400 个脉冲，通过脉冲的频率来

控制电机的转速，通过控制脉冲的顺讯来控制电机的转向，通过控制脉冲的个数来控制电机停止的位置，从而达到定位的目的。

4.2 单片机程序流程图

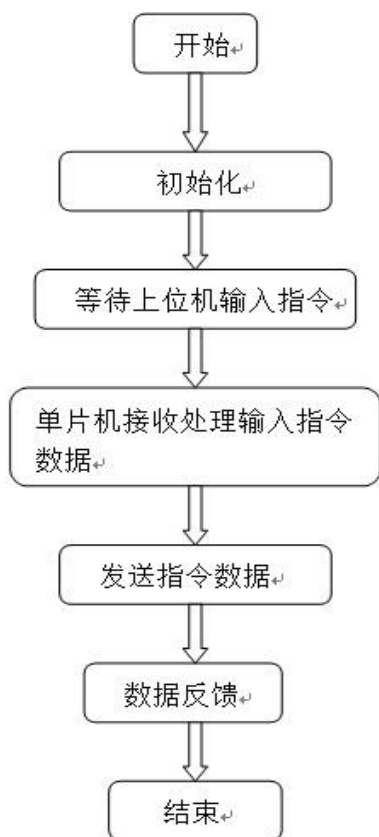


图7 软件流程图

Fig. 7. Software flow diagram

通过上位机界面对 X,Y,Z 三轴的选择,单片机选择输出口,输入步数的指令,通过丝杠及步进电机的步距角的规定,可以计算出步进电机所行转动的距离,通过单片机相应的给步进电机一定的脉冲个数^{[6][10]}。

5 测试结果与分析

上位机控制界面设计完成,下位机程序编写完成,将上位机与下位机通过串口连接,将硬件驱动电路,步进电机,下位机进行连接,检查连接线路无误进行测试,打开上位机 LABVIEW 控制界面输入三维坐标指令,点击确认指令步进电机根据指令进行运动并到达指定位置。经过测试,电机到达指定位置,虽有一定误差,基本实现所设计的功能。

6 结束语

在指导老师李哲老师的帮助下,我们设计的三

坐标运动控制系统,具有人机交互界面友好、编程简单、效率高等特点。通过测试,我们设计的三坐标运动控制系统能够精确的控制步进电机的运动状态,取得了理想的效果。在此感谢李哲老师的帮助和团队成员的努力付出。

参考文献

1. 高邓波. 运动控制技术发展及趋势探讨[J]. 科技信息, 2007, 32: 72
2. 阮毅, 陈维钧主编. 运动控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006
3. 王俊峰, 宋文爱, 刘哲. 基于 LabVIEW 的信号处理虚拟实验系统[J]. 国外电子测量技术. 2006(10)
4. 郝志刚, 周宏甫. 运动控制器的发展与现状[J]. 机床电器, 2005, 4: 5-10
5. 吴宏, 蒋仕龙, 龚小云, 吕恕, 李晓卉, 杨照辉, 王瑞, 李久林. 运动控制器的现状与发展[C]. CMES(制造技术与机床)2003 年会专辑, 2004: 24. 27
6. 冷增祥. 运动控制系统概述[J]. 江苏机电工程, 1995, (3):35-44.
7. 冯习宾. 基于 ARM 与 DSP 的嵌入式运动控制器[J]. 制造业自动化, 2009, 31(4):27-28
8. 陈宏, 陈新. 基于 LabVIEW 的单片机脉冲发生器[J]. 现代电子技术. 2008(03)
9. 陈龙, 张新政, 邓婵. Lab VIEW 控制步进电机的并口通讯研究[J]. 电子测试. 2007(10)
10. 项荣, 单越康, 张志, 张显成. 钢卷尺自动切零位系统研究[J]. 中国计量学院学报. 2006(04)
11. 赵冬梅, 张宾. LabVIEW 控制步进电机自动升降速[J]. 微计算机信息. 2006(28)
12. 陈方泉, 李建周, 马思文, 方宇栋. 基于 LabVIEW 的步进电机驱动设计及其应用[J]. 上海大学学报(自然科学版). 2006(01)

差分线圈式质子旋进磁力仪传感器 及测试电路的设计*

穆怀志; 朱 凯; 刘金鑫; 张春秀

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院 长春 130061)

摘要: 质子旋进磁力仪根据氢质子的拉莫尔旋进制成, 主要用于地磁勘探, 是应用最广泛的磁力仪之一。磁力仪传感器的设计是质子旋进磁力仪研究中的关键。目前, 国产磁力仪性能较进口磁力仪性能上差距明显。针对国产磁力仪抗干扰能力和稳定性差的问题, 本文设计了差分线圈式质子旋进磁力仪传感器, 采用赛钢材料包装固化处理。并探究测试电路, 包括极化电路, 配谐电路, 前置放大电路, 滤波电路等信号调理电路和频率测量电路。实验结果表明, 该传感器在性能上优于国内同类传感器。

关键词: 差分线圈 磁力仪传感器 拉莫尔旋进 抗干扰能力 稳定性 信号调理

Design of the sensor for proton rotation magnetometer based on differential coil mode and test circuit

Mu Huaizhi; Zhu Kai; Liu Jinxin; Zhang Chunxiu

(College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Proton rotation magnetometer is developed according to the principle of Larmor rotation of proton, used for magnetic exploration in major, which is one of the most widely used magnetometer. Design of the sensor for proton rotation magnetometer is the key to the research of proton rotation magnetometer. Currently proton rotation magnetometer which is made in China significantly inferior to import ones. Aiming at the poor anti-interference ability and stability of domestic sensors, the test design a sensor for proton rotation magnetometer based on differential coil mode, solidification use POM material. Explore test circuit, including polarization circuit, tuned circuit, pre-amplification circuit, filter circuit and frequency measurement circuit. The experimental results show that the sensor's performance is better than that of domestic sensor.

Keywords: differential coil, sensor for proton rotation magnetometer, Larmor rotation, anti-interference ability, stability, signal conditioning

0 引言

质子旋进磁力仪根据拉莫尔进动原理而制成。拉莫尔进动原理是指具有自旋与磁矩特性的原子核在外界磁场作用下, 将受到一个垂直于导磁率与磁通密度形成平面的力矩 T , 自旋角动量 P 的方向在力矩 T 的作用下模不变, 方向连续变化^[1-3]。在我国质子旋进磁力仪主要应用于电磁勘探, 工程勘察等

方面。

目前, 加拿大 GSM 公司生产的磁力仪灵敏度和测量精度等技术指标均高于同类产品, 垄断了整个行业。质子旋进磁力仪传感器作为仪器的最前端, 其性能起决定性因素。而国内磁力仪传感器由于起步晚, 当前的研究还存在许多问题, 如工艺和测试水平不达标, 接收线圈大都采用传统结构, 固化材料性能较差等。由此造成了国内磁力仪在性能上与进口产品差距明显, 国内诸多研究仍然需要依赖进

* 指导老师: 林婷婷, 滕飞

项目类型: 大学生创新项目 (2015650957)

口磁力仪。因此对质子旋进磁力仪传感器的研究任重道远。

1 质子旋进磁力仪测磁原理

由物理学可知，带有正电荷的质子具有自旋特性，因此质子在自旋时会产生闭合电流进而产生磁矩。质子磁矩在外界磁场的作用下会绕外界磁场作拉莫尔旋进如图 1 所示。本文采用经典物理学理论在直角坐标系中分析质子磁矩的旋进情况。

质子磁矩 \vec{M} 在地磁场 \vec{T} 的作用下的力矩的动量矩 \vec{P} 的一阶微分等于该力矩，由于 $\vec{M} = \gamma_p \vec{P}$ (γ_p 为质子旋磁比常数)，可以导出下式

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma_p \frac{d\vec{P}}{dt} = \gamma_p [\vec{M} \times \vec{T}] = \begin{vmatrix} \dot{i} & \dot{j} & \dot{k} \\ M_x & M_y & M_z \\ T_x & T_y & T_z \end{vmatrix} \quad (1)$$

为了方便计算，令 $T_z = T$ (地磁场), $T_x = 0$, $T_y = 0$ 。将此条件带入至 (1) 式解得磁矩的三个分量如式 (2) (3) (4) 所示。

$$\frac{dM_x}{dt} = \gamma_p M_y T \quad (2)$$

$$\frac{dM_y}{dt} = -\gamma_p M_x T \quad (3)$$

$$\frac{dM_z}{dt} = 0 \quad (4)$$

对 (2) 式进行一阶微分可得 $\frac{d^2 M_x}{dt^2} + \gamma_p^2 T^2 M_x = 0$ ，其

解为：

$$M_x = A \cos(\gamma_p T t + \varphi) \quad (5)$$

$$M_y = -A \sin(\gamma_p T t + \varphi) \quad (6)$$

$$M_z = \text{常数} \quad (7)$$

所以有

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = A = \text{常数} \quad (8)$$

由式 (5) - (8) 可以看出，磁矩 \vec{M} 在按余弦规律投影在 x 轴，按正弦规律投影在 y 轴；磁矩 \vec{M} 在 z 轴的投影为定值。由图 1 可以看出磁矩 \vec{M} 在 xy 平面上模不变，方向连续变化，即在 xy 平面旋

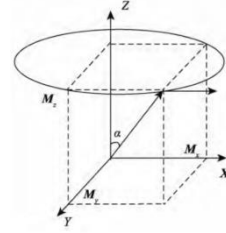


图 1 磁矩 \vec{M} 旋进示意图

Fig.1 Schematic diagram of precessing of magnetic moment \vec{M}

综上所述，质子磁矩 \vec{M} 在地磁场 \vec{T} 的作用下，绕地磁场旋进，旋进的角频率为 ω ，称为拉莫尔频率 (Larmor frequency) [4]。

根据式 (5)、(6) 可得 $\omega = \gamma_p T$ ；由 $\omega = 2\pi f$ 可得旋进信号频率如式 (9) 所示。

$$f = \frac{\gamma_p T}{2\pi} \quad (9)$$

式中 $\gamma_p = (2.67513 \pm 0.00002) \text{ S}^{-1} \text{ T}^{-1}$ ，因此得出地磁场强度 T 与旋进信号频率 f 的关系如式 (10)、(11) 所示。

$$T = 23.4874 f (\text{nT}) \quad (10)$$

$$f = 4257.8 T (\text{Hz}) \quad (11)$$

由上式可以看出，旋进频率 f 与地磁场强度 T 成正比，若要求出地磁场 T 的大小，需要间接测得测得旋进频率 f 的数值。

本文设计的传感器可测磁场范围为 20K-80KnT 对应拉莫尔信号频率范围为 852.52-3406.08Hz。

2 传感器设计

2.1 线圈缠绕方式

传感器在实际使用的过程中，会受到各种外界干扰，例如工频干扰和高频干扰等。线圈所接收到的微伏级别 (小于噪声幅度) 的旋进信号很容易被噪声淹没 [5]。本文在进行传感器设计时采取了两个反向线圈串联的差分结构形式以取代常规传感器的单线圈模式，同时采用收发一体式，如图 2 所示。其优点如下：

(1) 降低分布电容：首先线圈的层间、匝间存在着不可忽略分布电容，而这种现象的存在会造成后续信号处理时谐振回路的中心频率点偏离，严重时旋进信号得到衰减，而噪声信号则获得较大增益

[6-7]。

(2) 抑制外界干扰^[8]: 理论上设两个反向线圈参数完全相同。由楞次定律可知, 因外界干扰在传感器输出端产生的感应电动势 E_1 和 E_2 绝对值相等, 相位相同, 方向相反, 即完全抵消。实际两个线圈并不能保证参数完全相同, 但这种差分结构也能在一定程度上抑制噪声, 提高传感器抗干扰能力。

(3) 传感器的极化与旋进信号的接收是不同步进行的, 若分别制作极化线圈与接收线圈, 则传感器尺寸增大不利于携带使用。因此为减小传感器体积, 将极化线圈与接收线圈合并成一个, 即收发一体线圈。

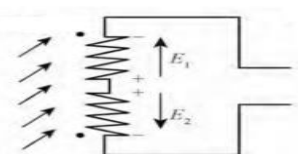


图 2 传感器线圈示意图

Fig.2 Schematic diagram of sensor coil

2.2 氢质子溶液选择

根据质子旋进磁力仪测磁原理, 被极化物质需要富含氢质子。表 1 列举了几种富含氢质子的溶液及其弛豫时间, 稳定性等参数^[9]。

表 1 富含氢质子溶液及其参数

Tab.1 Parameters of solution rich in hydrogen proton

溶液	化学式	纵向弛豫时间 T1/s	横向弛豫时间 T2/s	凝固点/℃	其他
甘油	$C_3H_8O_3$	0.04	0.03	17	不易挥发
煤油	C_8H_{18}	0.50	1.00	-47	易挥发
酒精	C_2H_5OH	2.00	3.60	-114	易挥发
水	H_2O	2.30	3.00	0	易挥发 不稳定

在原子物理学中, 原子核从激化的状态回复到平衡排列状态的过程叫弛豫过程, 它所需的时间叫弛豫时间^[10]。弛豫时间分为自旋-点阵或纵向弛豫时间 T1 (反应氢质子被完全极化所需时间) 和自旋-自旋或横向弛豫时间 T2 (反应旋进信号衰减速度)。观察表 1 中各种溶液的参数可知, 甘油的横向弛豫时间短, 且常温下为固态, 不利于后期的信号处理与测量; 酒精和水的横向弛豫时间与纵向弛豫时间

均较长, 且易挥发。因此都不适合做为被极化物质。煤油的各参数均满足设计要求, 因此选择煤油作为被极化物质。

2.3 传感器固化材料

采用赛钢作为传感器固化材料, 以解决材料易变形的问题, 提高传感器野外使用的稳定性及抗压能力, 同时赛钢材料耐航空煤油的腐蚀^[11]。

3 系统硬件电路

本文设计的系统硬件电路由控制器, 信号调理模块和频率测量模块组成。其中控制器由 STM32 和 FPGA 组成; 信号调理模块由控制器, 极化电路, 配谐电路, 前置放大电路, 滤波网络, 加法电路组成^[12]; 频率测量模块由控制器, 整形电路, 显示屏组成。系统硬件框图如图 3 所示。

3.1 极化电路

由于地磁场非常微弱, 因此直接用线圈感应微弱旋进信号并不可行, 通常采用极化法来建立新的质子宏观磁矩, 以增强信号幅度^[4]。所谓极化是指线圈在外部磁场的激励下, 溶液中质子磁矩将向垂直地磁场方向的偏转的过程。

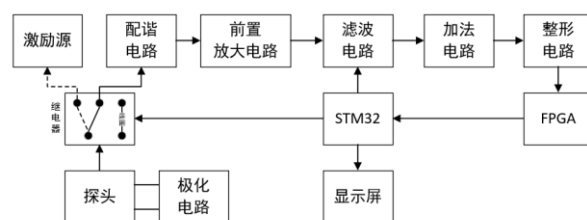


图 3 系统硬件框图

Fig.3 System hardware block diagram

本文采用的极化方法是控制极化线圈中恒定强电流的通断用来控制激励场开启和关断。极化结束后需要尽快切断激励场, 并使线圈与开关连接处电压迅速降低以保证质子绕地磁场的正常旋进。如果单独使用继电器开关控制电流通断, 则极化结束后线圈两端电压由于线圈的感性将产生一个很大的负感应电动势, 长期使用将损坏继电器, 而且这对后续信号的接收造成很大的影响。由上本文所设计的极化电路采用了如图 4 所示电路, 在传感器首尾并联稳压二极管和普通二极管^[13]。

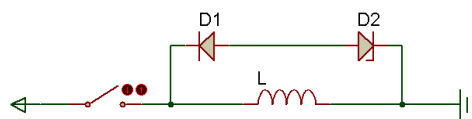


图 4 极化电路简易原理图

Fig.4 Simple schematic diagram of polarization circuit

如图可以看出当极化开始时，由于二极管的单向导电性，线圈会正常产生激励场。当极化结束后，产生的负感应电动势会击穿稳压二极管，隔离了线圈与开关接触处的电压。

3.2 配谐电路

当极化结束后，传感器线圈会接收到质子旋进信号即拉莫尔信号。拉莫尔信号是一个随 e 指数衰减的正弦信号，在测量时通常会伴随外界环境的噪声干扰，实测拉莫尔信号频谱如图 5 所示。

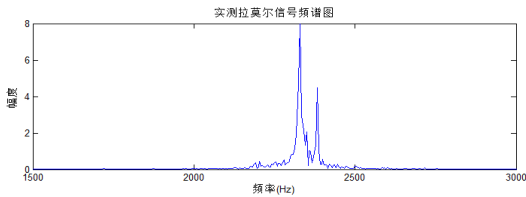


图 5 拉莫尔信号频谱图

Fig.5 Spectrum of Larmor signal

从频谱图可以看出，信号由许多频率分量组成。其中频谱图中最大值所对应的频率分量为待测频率。需要从拉莫尔信号中选择出该频率分量。

本文采用 LC 串联谐振的方法对信号进行选择 and 放大。LC 串联谐振电路简易原理图及其幅频特性曲线如图 6-7 所示。

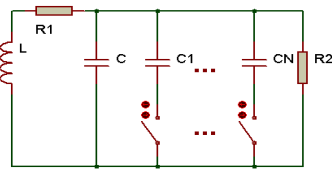


图 6 LC 串联谐振电路简易原理图

Fig.6 Schematic diagram of LC series resonant circuit

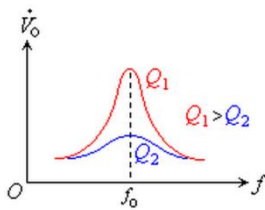


图 7 LC 串联谐振电路幅频特性曲线

Fig.7 Amplitude frequency

characteristic curve of LC series resonant circuit

由幅频特性曲线可知，当回路谐振时，信号可在谐振频率处得到放大，在带宽外其他频率处增益迅速衰减。谐振的条件如下所示。

$$j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = 0$$

得出谐振频率为

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

可以看出探头电感量为常数，只需控制开关的状态来改变配谐电容的大小，就可以改变谐振频率，达到选频的目的。

其中谐振回路品质因数为

$$Q' = \frac{R_2 Q}{Q^2 R_1 + R_2}$$

谐振回路带宽为

$$BW = \frac{f}{Q'} = \frac{R_1}{2\pi} + \frac{2\pi f^2}{R_2} \quad [14]$$

因此若只放大谐振频率处的信号分量，则带宽越小越好，品质因数越大越好。

式中探头电感量 $L=34.2\text{mH}$ ，探头内阻 $R_1=5.9\ \Omega$ ，选频电阻 $R_2=1\text{K}$ ，因此配谐电容 C 的取值范围为 $60\text{-}1030\text{nF}$ 。

3.3 前置放大电路等

当信号进过选频后，虽有放大效果，但信号幅度仍比较微弱，需要进行进一步放大，最终将信号放大至可测量范围内。在信号放大过程中又引入一系列噪声，需要经过滤波网络进行处理。基于 LM258 设计的放大滤波电路如图 8 所示。经过放大和滤波之后的信号，需通过加法电路引入偏置，才能得到最终可测量的正弦信号。

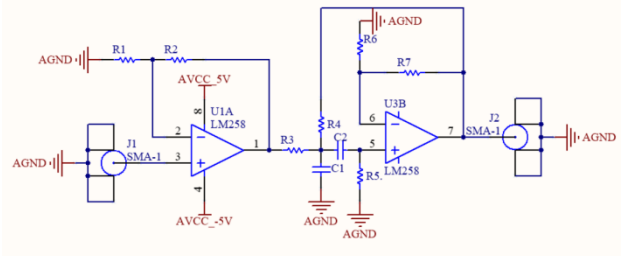


图 8 放大滤波电路

Fig.8 Amplifying and Filtering Circuit

3.4 频率测量模块

本文设计的频率测量模块以 FPGA 为核心器件，完成信号的频率参数的测量。前级过零比较和迟滞比较将被测信号调理至可测方波。基于 ADA4817 和 AD8561 设计的调理电路如图 9 所示。

FPGA 与 STM32 通过 SPI 协议进行通讯, STM32 通过发送不同的指令码完成对 FPGA 不同测量参数的读取。STM32 完成测量数据的后级处理并将测量结果显示到 TFT 液晶屏上。

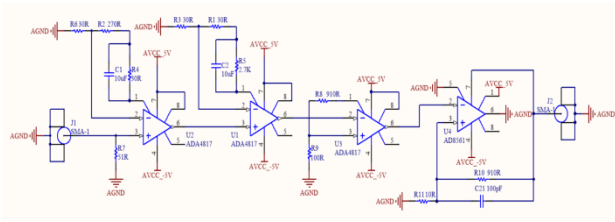


图 9 调理电路

Fig.9 Conditioning Circuit

4 实验结果分析

本文首先对部分模块进行分别测试, 再进行整机测试, 并对各结果给出合理分析。

4.1 配谐电路测试

使用动态信号分析仪, 对配谐电路进行特性测试, 输入信号为高斯白噪声。测试数据如表 2 所示。

表 2 配谐电路测试数据

Tab.2 The data of testing of tuned circuit

中心频率/Hz	带宽/Hz
850	10.3
1000	11.2
2000	8.8
3000	12.6
3410	11.0

根据前文, 传感器设计可测磁场范围 20000-80000nT, 对应拉莫尔信号频率范围 852.52-3406.08Hz。观察数据可知配谐电路可在 850-3410Hz 内实现选频功能。

4.2 频率测量电路测试

输入信号由 SIGLENT 公司的 SDG5162 型信号发生器提供, 测试数据如表 3 所示。

由测试结果可以看出本文设计的频率测量电路可以在 800-3500Hz 频率范围内进行频率精确测量, 测量相对误差小于 0.01%。

表 3 频率测量电路测试数据

Tab.3 The data of testing of frequency measurement circuit

输入信号 频率/Hz	输入信号 有效值/V	测量值/Hz
800	1	800.0039
1000	1	1000.0005
1500	1	1499.9989

2000	1	2000.0002
2500	1	2500.0017
3000	1	3000.0006
3500	1	3500.0000

4.3 整机测试

对吉林大学地质宫电磁实验室进行 5 次测量实验, 地磁场采用亥姆霍兹线圈产生, 实测数据如表 4 所示。分析该实验结果, 可以看出本文设计的质子磁力仪传感器, 对比 GSM 公司代表的进口磁力仪传感器仍存在一定差距, 但优于国内同类传感器。

表 4 整机测试数据

Tab.4 The data of testing of the complete machine

序号	本传感器/nT	GSM-17T/nT
1	54701.5	54702.2
2	54701.7	54702.1
3	54702.3	54702.2
4	54701.5	54702.2
5	54703.0	54702.3

测试得旋进信号波形如图 10 所示。

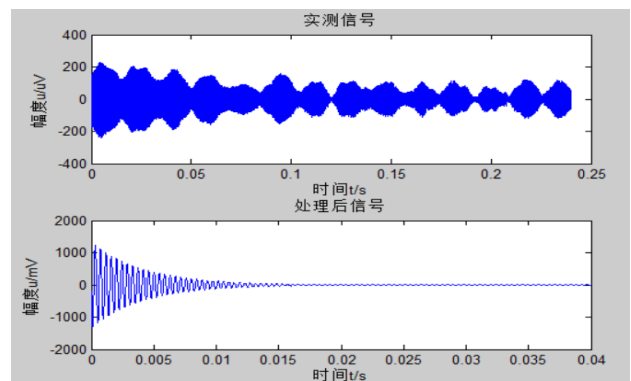


图 10 旋进信号波形图

Fig.10 Spectrum of rotation signal

5 结语

本文对质子旋进磁力仪测磁原理进行了详细的阐述。针对传统质子旋进磁力仪传感器抗干扰能力以及稳定性差的问题, 设计了差分线圈结构, 并采用赛钢材料作为传感器骨架。分析了不同被极化溶液参数的区别, 使用航空煤油作为样品溶液, 以增强旋进信号的初始幅度并提高信噪比。本文还设计了测试电路, 包括极化电路, 配谐电路, 前置放大电路, 滤波网络等, 分析了各个模块在测试电路中的功能, 并分别测试其性能, 均达到预期目标。整机测试时, 观测接收到的拉莫尔信号, 及其频谱图。通过测试拉莫尔信号的频率, 间接得出地磁场强度,

对比发现优于国内同类传感器。

参考文献

1. 吴苍生,戴光曦,刘功淳,等.弱磁场中质子的自由进动和一个野外测磁场的实验[J].物理学报, 1965, 21(6): 1175-1187.
2. 管志宁.地磁场与磁力勘探[M].北京:地质出版社, 2005.
3. 孙淑琴,林君,张庆文,等.氢质子弛豫过程[J].物探与化探, 2005, 29(2):153 — 156.
4. 葛健,赵志卓,董浩斌,等.直流脉冲极化质子旋进磁力仪磁场传感器的设计[J].仪器仪表学报, 2014, 35(4):850-858.
5. 张帆,胡一帆,等.核磁共振技术测量超强磁场的研究[D].华中科技大学, 2009.
6. 邵英秋,王言章,程德福,等.基于磁反馈的宽频带磁传感器的研制[J].仪器仪表学报, 2010,31(11) : 2461-2466.
7. 郭玉,鲁永康,陈波.高性能低频交变磁场传感器的研究与制作[J].传感技术学报, 2005,18 (3) : 493-495.
8. 王应吉,李伟,孙淑琴,等.基于MSP430的质子旋进式磁力仪设计[J].吉林大学学报:信息科学版, 2006, 24(3):336-340.
9. PAWAR V P,MEHROTRA S C.Dielectric Relaxation Study of Dimethylene Chloride Withethanol Using Time Domain Reflectometry[J].Journal of Molecular Liquids,2003,108(3):95-105.
10. 易晓峰,林君,段清明.基于双匝线圈的轻便式核磁共振找水仪研制[J].仪器仪表学报, 2013,34(1) : 1-10.
11. 程焯华,李云勇,刘莹.国内外聚甲醛产品的开发及应用[J].工程塑料应用, 2009,37(9):59-64.
12. 赵志鹏,董浩斌,等.低功耗高精度质子旋进式磁力仪的设计[J].石油仪器, 2007, 21(2):13-15.
13. 任庆辰.质子旋进磁力仪电路设计[D].吉林大学, 2012.
14. 肖平.JPM-1型质子旋进磁力仪模拟电路的设计与实现[D].吉林大学, 2014.

基于 LabVIEW 的虚拟仪器教学系统和 管理系统设计*

王淑慧；张文扬；夏 珊

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130061)

摘要: 介绍了虚拟仪器在实验教学中应用的先进性和必要性, 详细阐述了基于 LabVIEW 的网络化虚拟仪器实验教学管理系统的实现方法。通过建立虚拟仪器实验系统, 结合数据库技术和网络技术, 开发网络化的虚拟实验管理系统, 充分发挥了虚拟仪器的优势, 最大限度地实现了硬件资源共享。以一个用当今流行的虚拟仪器开发软件 LabVIEW 开发的虚拟仪器实验系统为例, 分析了网络化的虚拟仪器在实验教学中的优势。

关键词: LabVIEW 虚拟仪器 实验管理系统

Teaching System of Virtual Instrument Based on LabVIEW Design and Management System

Wang Shu-hui; Zhang Wen-yang; Xia Shan

(College of instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Introduces the application of virtual instrument in experiment teaching of nature and necessity, detailed experimental teaching management system of virtual instrument based on LabVIEW implementation. Through the creation of virtual instrument test system, combined with database technology and network technology, development of network virtual laboratory management system, give full play to the advantages of virtual instruments, to maximize hardware resource sharing. Based on a popular virtual instruments development software developed by LabVIEW virtual instrument test system, for example, analyzes the networking of virtual instrument in the experiment teaching of advantage.

Key words: LabVIEW virtual instrument experimental management system

0 前言

在计算机和网络时代, 利用计算机和网络技术对传统的实验教学模式进行改造, 已是大势所趋, 而虚拟仪器系统正是计算机和网络技术与传统的仪器技术进行融合的产物, 虚拟仪器 Virtual Instrument(简称 VI)作为当前自动化仪表领域研究的热点, 正日益受到人们的广泛关注。高等院校肩负着为国家培养创新型人才的重任, 但是目前, 在中国许多高等院校中使用的教学实验仪器, 大多数仍然是相当落后的传统仪器, 价格昂贵、更新慢、

功能不可自定义。为了改革实验教学方法、降低设备成本、提高设备利用率, 把虚拟仪器引入实验教学已成为一种新的趋势。

1 基于 LabVIEW 的虚拟仪器简介

1.1 虚拟仪器

虚拟仪器, 是指以计算机为核心, 将计算机和测量系统融合于一体, 用计算机软件代替传统仪器的某些硬件的功能, 用计算机的显示器代替传统仪器屏幕面板的测量仪器。“虚拟”可以从两方面来理解: 其一, 传统仪器中的部分硬件被软件所代替,

*指导老师: 刘名扬

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65687)

但功能依然存在；其二，改变软件即可改变仪器功能，从而用同一套硬件系统可实现多种传统仪器的功能。因此，虚拟仪器能最大限度的满足各种测量系统的需要，可以很方便地通过修改软件来修改或增减仪器的功能，从而真正体现了“软件就是仪器”这一新概念。虚拟仪器的组成与传统仪器一样，包括数据采集与控制、数据分析和处理、结果显示三部分^[1]。

1.2 虚拟仪器开发软件 LabVIEW

LabVIEW 是一个图形化的开发环境，带有大量的内置功能，能够完成仿真、数据采集、仪器控制、测量分析和数据显示等任务^[7]。利用 LabVIEW，还可以通过因特网、ActiveX、DLL、共享库、SQL、TCP/IP、XML、OPC、无线通讯或其它方式与不同的应用程序建立连接。使用 LabVIEW 开发平台编制的程序称为虚拟仪器程序，简称为 VI。VI 包括 3 个部分：程序前面板、框图程序和图标 / 连接器。程序前面板用于设置输入控制数值和观察输出量，模拟真实仪表的面板。每一个程序前面板都对应着一段框图程序。框图程序用 LabVIEW 图形编程语言编写，可以把它理解成传统程序的源代码。图标 / 连接器是子 VI 被其它 VI 调用的接口^[2]。

2 实验管理系统设计

2.1 实验管理系统的方案

在 LabVIEW 平台上进行虚拟仪器开发，利用 LabVIEW 自身设置可以进行远程发布，后台使用 Access 数据库进行数据管理。学生在实验过程中，利用 LabVIEW 所开发的虚拟仪器，将实验数据及波形实时地写入本地机器的文件中。整个系统结构如图 1 所示。

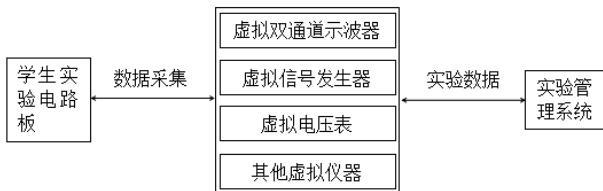


图 1 基于 LabVIEW 的实验室管理系统结构

Fig.1 The Structure of Laboratory Management System Based on LabVIEW

如图 2 所示，学生从学生客户端登陆进入实验，在实验进行的过程中，利用 LabVIEW 强大的文件读写功能，将实验数据及波形实时地写入本地机器的文件中。实验完成时学生按照实验要求填写实验数据，上传实验报告给应用服务器。

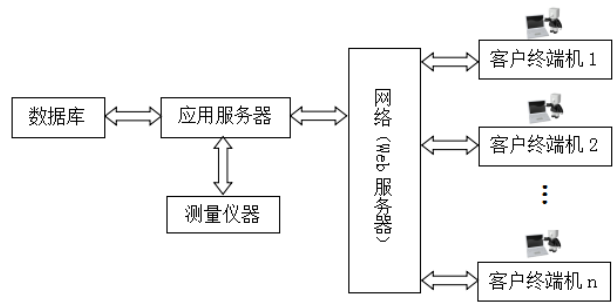


图 2 网上虚拟实验室的实现模式

Fig.2 Implementation Mode of Online Virtual Lab

2.2 实验管理系统的功能

该实验室管理系统功能模块有以下几部分：

(1) 实验报告电子化登录模块

作为一个完整的系统，自然就必然要有一个对客户端进行验证的顶层程序，这个程序就是登录程序。它包括登陆和注册。登陆需要正确的用户名和密码，会与后台的 access 数据库进行比对，匹配成功则登陆成功。注册则需要学生创建一个自己用户名和密码。实验管理系统用户分为二类：管理员和学生。管理员是最高的一级，他保证系统的正常运行，负责数据库中相应表格的创建，他可以添加或删除学生账号、教师账号。登陆界面如图 3 所示。

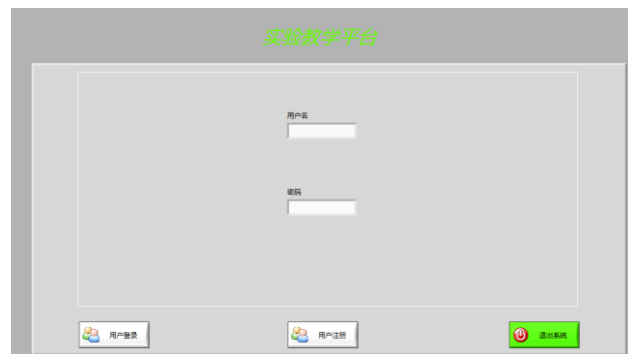


图 3 登录界面

Fig.3 login interface

(2) 实验选择模块

当用户验证登录成功后，系统将自动跳转到实验选择界面，在这里用户可以根据对应要做的实验进行选择，每个实验对应一种虚拟实验仪器，如图 4 所示。其中每个实验都可以单独被选择，每个实验都是一个独立的 VI 程序，其中包含的实验信息以及数据填写的格式都是针对实验的不同单独设计的。点开每个实验会出现对应的实验目的、要求和步骤。每个实验中都提供虚拟仪器给学生使用，例如信号发生器等。如图 5 所示。学生可自行完成实验，实验后需填写实验数据，然后自动生成实验报告^[3]，存在本地，学生可选择上传到服务器，供教师批改。

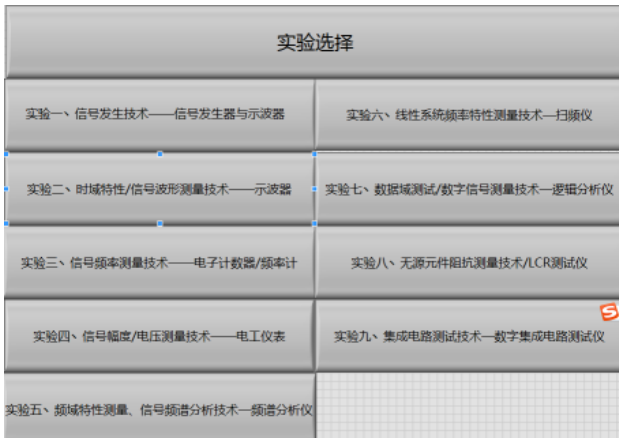


图 4 实验选择界面图

Fig.4 Experiment selection interface diagram



图 6 实验通讯教师端图

Fig.6 Experimental communication teacher chart

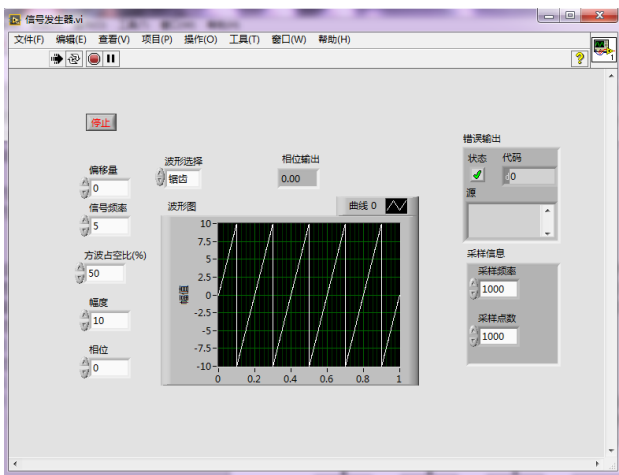


图 5 信号发生器

Fig.5 Signal generator

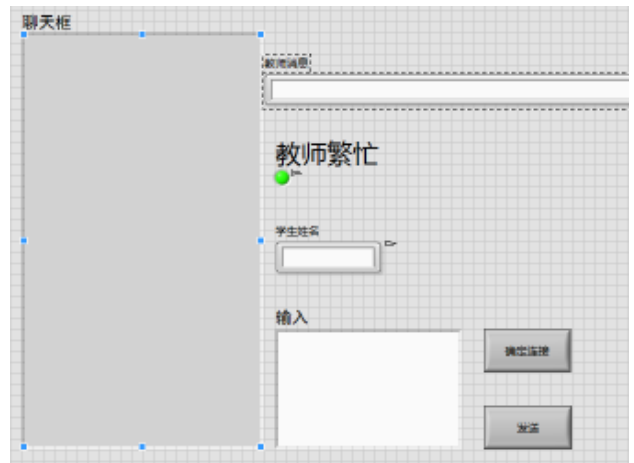


图 7 实验通讯学生端图

Fig.7 Experimental communication student chart

(3)实验通讯模块

实验通讯模块主要有 TCP 通信协议、UDP 通信函数、DataSocket 通信以及共享变量组成。LABVIEW 提供的 TCP 函数是建立在 TCP 协议上面的，优势是可以保证传输过程中可靠、数据不丢失。TCP 通讯过程要先设置服务名称、端口号、IP 地址进行连接，连接之后才可以通信。由于 TCP 的这些特点，我们在设计通信部分的时候采用分别设计学生端和教师端的程序框图^[4,5,8]。教师通过设定服务器的名称和端口号来创立 TCP 侦听器，等待学生的连接，学生通过 IP 和端口号连接到教师端，然后进行提问。

通讯模块上的学生姓名、繁忙按钮、以及广播输入框均是采用了共享变量方法，即都两两对应绑带在了共享变量。其中教师端的广播框和学生端的教师信息框对应，广播允许教师输入一些通知消息，而学生端只能从教师消息框对应。老师端和学生端的程序框图如图 8、图 9 所示。

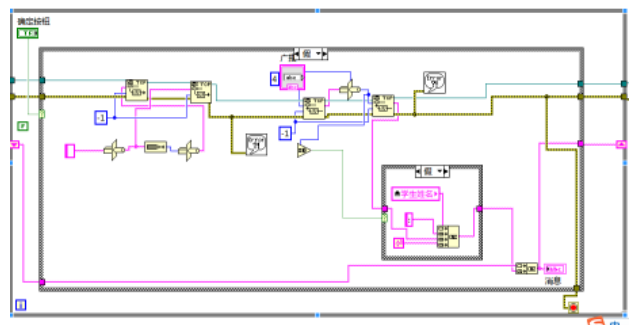


图 8 教师端程序框图

Fig.8 Teacher-side block diagram

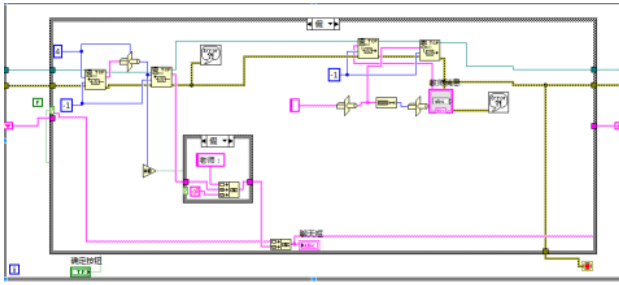


图9 学生端程序框图

Fig.9 Student side block diagram

(4)报告一键上传模块

报告一键上传主要的技术有 FTP 协议，即文本传输协议，它是微软最早推出来用于在 Internet 上实现文件传送服务的协议^[6]。互联网上任意一台计算机都可以通过进行设置，变成小型的 FTP 服务器，为客户端所访问的存储和下载文件。FTP 服务器的访问方式有两种，一种是通过远程登陆验证 ID 和密码，验证通过后，远程服务器给予登录权限，才能进行文件操作。而另一种方式是匿名登录，即用户不进行 ID 和密码的验证，直接访问远程服务器，这时远程服务器会自动为来访者创建一个 ID，叫做 anonymous，任何人都可以使用这个 ID 进行登录访问。而鉴于 FTP 在网络上的重要性，LABVIEW 对 FTP 服务也进行了单独的开发，在 LABVIEW 的网络通信中包有专门针对 FTP 开发的一系列函数。

本模块的编写设计如下，当学生点击上传实验报告按钮时，自动调用 FTP 上传程序。上传结束后，教师即可在任何一个接入网络的浏览器上输入 ftp://6513.220idc.cn 跳转页面后输入登录 ID 和密码即可看到上传的实验报告文档并可以下载到本地电脑上进行批阅。

3 结论

本实验教学管理系统的设计是基于 LabVIEW 可视化编程平台开发上位机虚拟仪器系统，提高了实验仪器设备的利用率。该系统分为登录模块、实验选择模块、实验信息显示模块、实验数据填入模块、实验报告生成模块，并且经实验验证可行；学生通过该系统可以在现场或通过校园网提交实验报告，实现了报告的一键上传；实验通讯功能允许教师和学生实验过程中进行一对一的通讯，提供实时指导，及时互动，有效地防止少数学生实验报告抄袭等不良情况，有利于老师更客观地给出实验成绩；实现了网络化管理，提高了高校实验管理水平，对高校的实验教学改革提出了一个切实可行的发展方向。

参考文献

1. 严浩. 基于 LabView 的网络虚拟仪器在实验教学中的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
2. 黄进文. 虚拟仪器新技术及其在我国发展现状与展望[J]. 科技创新导报, 2008, (31): 8-10.
3. 黄凤良, 徐明, 吴文婷, 夏春梅, 冯丽, 吴菲. 实验报告自动生成系统设计[J]. 实验科学与技术, 2011, (9): 48-52.
4. 王群燕. 基于网络的虚拟实验室的研究与构建[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2007.
5. 明繁华. 基于虚拟仪器的在线实验系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
6. 朱文忠. 基于 Web 的虚拟实验室的设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
7. 杨乐平, 李海涛, 杨磊. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2005.
8. 张洪生. 基于网络的远程虚拟实验室[J]. 现代远程教育研究, 2005 (2): 76-78.

多层次可视化电机控制及测试实验开发平台*

李 勃; 张振峰; 吴 茜

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 近年来随着高校办学规模的不断扩大, 传统的教学实验设备已逐渐不能满足当前高校的发展步伐。教学方式以验证性居多, 存在着实验模式落后、内容单一、效率不高、资源利用率较低等问题。本项目拟设计开发一套针对电机和自动控制类课程的实验教学平台, 系统包括: 上位控制机 (PC 电脑), 电机 (直流有刷电机, BLDC, 步进电机), 以 stm32 为核心的下位机控制系统, 测功机 (模拟负载) 和基于虚拟仪器的数据采集和 Labview 可视化人机控制界面。可实现对电机进行编程控制, 并实现在上位机的仿真虚拟实验, 和对应的下位机上的编程控制实验相结合的多层次可视化教学研究开发的功能。基于该平台学生可以进行自主创新性实验, 教师可以通过从不同角度去应用此教学平台进行实验教学。

关键词: stm32 开发板 Labview 可视化人机界面 电机控制

Multi-level visualization motor control and test development platform

LI bo; ZHANG Zhen-feng; WU Qian

(College of instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In recent years, with the continuous expansion of the scale of running a university, the traditional teaching and experimental equipment has been unable to meet the current pace of development of colleges and universities. Teaching methods to verify the majority, there are experimental mode behind, single content, efficiency is not high, low utilization of resources and other issues. his project is intended to design and develop a set of experimental teaching platform for motor and automatic control courses. The system includes: upper computer (PC), motor (DC brush motor, BLDC, stepper motor), stm32 as the core Machine control system, dynamometer (analog load) and virtual instrument based data acquisition and Labview visualization man-machine control interface. Which can realize the programming control of the motor and realize the function of multi-level visualization teaching research and development combined with the simulation experiment of the host computer and the programming control experiment on the corresponding lower computer. Based on the platform students can carry out independent innovation experiments, teachers can from different angles to apply this teaching platform for experimental teaching.

Key words: Stm32 development board Labview Visualization of human - machine interface motor

0 前言

“电机学”实验教学有必要开发一套通用的, 多层次的集电机控制和测试于一体的实验教学平台。首先, 学生可以直接通过所提供的 ARM 单片机控制板, 自己编写程序对电机进行控制, 了解各种电机的原理和控制方法。同时, 学生也可以利用计算机自动进行检测、处理和绘图, 快速完成每台

电机参数曲线的绘制, 连续地监测电机实验过程。我们将实验中电机的三相电流、电压和转速等参数模拟显示出来。因此, 该实验平台不仅能够适用于各型电机, 并能够推广应用于工业应用。目前常用的计算机自动检测、处理和绘制的软件中, LabVIEW 是一款功能强大的虚拟仪器设计平台软件, 我们利用该软件做出可视化的人机界面, 能够与上位机仿真系统所做的虚拟实验进行比对, 实时显示处点击的参数^[6]。在设计中, 综合考虑了上位机与下位机通信等相关问题。该软件平台既可以应

* 指导老师: 刘卫平

项目类型: 大学生创新项目 (2015650955)

用他电机教学实验领域，也可以应用和电机设计领域。

1 系统功能设计

多层次可视化的电机控制及测试实验平台，硬件方面由电源模块，降压模块，驱动模块，下位机模块，三种电机模块，测功机（模拟负载）模块组成，分别实现对直流有刷、直流无刷、三相步进电机进行驱动控制；软件方面由 Labview 可视化人机界面，MATLAB Simulink 仿真系统组成，实现数据的控制和实时显示。在实验平台上，学生既能通过对各个硬件模块的拆解，组装连接学习三种基础性电机的工作性能和工作方式，又能够通过下位机 stm32 开发板的编程控制，实现对电机的设计性控制；软件方面能够通过 labview 可视化人机界面，观测电机的三相电流、三相电压、转速等参数，可以与 MATLAB Simulink 仿真的特性曲线进行对比，实现理论与实践的结合，具体结构如图 1 所示。

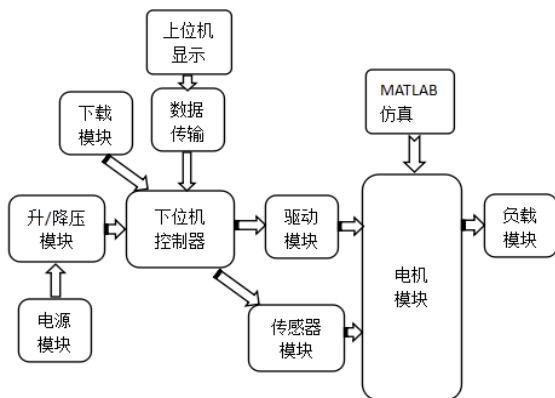


图 1 实验平台系统结构框图

Fig.1 Structure of experiment platform

2 系统硬件设计

2.1 系统整体方案

电机学试验系统开发及测试平台，其硬件主体主要由电源模块、升/降压模块、下位机控制器模块、驱动模块、电机模块、直流负载电机、传感器模块、数据传输模块构成。根据不同构成模块之间的要求进行搭建，构成一个集模块搭建、电机实验、数据显示为一体的电机学教学平台。实际的硬件整体结构图，如上文图 1 所示。

2.2 系统硬件选择与设计

2.2.1 电源及升降压模块选择

电源部分采用 24V 150W，允许通过最大电流 2A 的开关电源，通过一个 12V~32V 升降压模块，可以满足对三种电机的电压需求。

2.2.2 下位机控制模块选择

采用 stm32 开发板，实现对不同种电机驱动电路的控制，JTAG 下载模块与 PC 进行连接，同时可以通过 USB 传输实现电机参数的实时传输。

2.2.3 电机驱动模块选择

直流无刷电机驱动模块采用 MOSFET 栅极驱动 IR2110S,最大驱动电机功率 500W,接线与 stm32 控制板 MCU 进行连接^[10]。

直流有刷电机和三相步进电机均采用 L298N 驱动电路进行控制，直接与 stm32 开发板连接，采用 5V 电源进行供电。L298N 驱动如图 2：

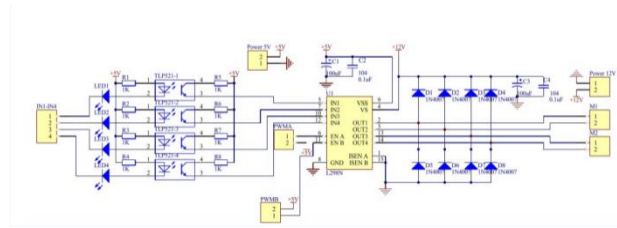


图 2 L298N 驱动电路图

Fig.2 L298N drive circuit diagram

2.2.4 电机模块的选择

BLDC 直流无刷电机采用 24V 1.5A 的有霍尔元件的器材，能够通过 stm32 控制板公地检测出三相电压，通过电流传感器直接检测出三相电流。

三相步进电机采用 42 步进电机 42BYGH48-401A 力矩 0.55N.M，长 48MM + DM422，额定工作电流 1.5A，通过 L298N 电机驱动板进行驱动。

直流有刷电机采用 385 标准电机，电机的线圈直流电阻 11 欧姆，工作电压从 3V 到 30V，在 24V 时的额定电压转速为 8700rpm。

2.2.5 电流传感器模块的选择

电流传感器采用 3A 量程的 MAX471 型传感器，内部有精密的检测电阻。若检测范围超出 3A 可以将电流传感器并联以增大检测范围。

3 系统软件设计

3.1 系统上位机设计

系统上位机是基于 Labview 可视化人机控制界面。LabVIEW 是虚拟仪器技术的领域里一个功能强大而又灵活的仪器和分析软件应用的开发工具^[2]。用 LABVIEW 平台来编程设计上位机软件，通过串口通信控制单片机进行转速的调节，同时还能监测电机的实时转速、直观地观察到电机转速变化的过程。LabVIEW 是一种标准化的数据采集和虚拟仪器

控制软件，该软件不仅提供了遵从 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 协议的硬件及数据采集卡，而且还内置了支持 TCP /IPActiveX 等软件标准的库函数。本文选择该软件用于开发测试平台软件。上位机界面设计如图 3:

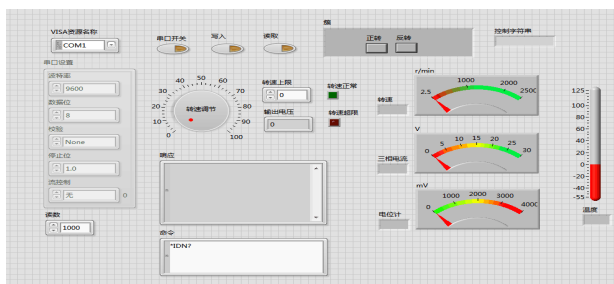


图 3 实验平台上位机显示界面图

Fig.3 Experimental platform PC display interface map

3.1.1 控制算法

本系统的上位机由 LabVIEW 平台开发的软件实现，由于上位机承担着最主要的 PID 控制算法的任务，其实现的方式就是应用 LabVIEW 平台自身包含的 PID 工具包来编写程序。

3.1.2 上位机串口通信

上位机软件通过串口向下位机控制器发送测试命令。控制器接收到指令后，启动电机进行测试，并将测试的数据存储下来，等测试实验完成后，将实验数据传回上位机。上位机接收到数据后将数据显示在表格中，拟合曲线呈现出来。利用 LabVIEW 的波形显示功能，设计界面显示软件，结合功能选择模块，进行各种特性的测试。在 LabVIEW 中，VISA 称为虚拟仪器软件体系结构，作为 LabVIEW 程序中驱动程序间相互通信的底层功能模块，可以连接不同标准的 I/O 设备，是一个用来在串口通信设备、VXI 设备、GPIB 设备以及其它基于计算机设备之间通信的函数库。我们可以在 LabVIEW 中的 Instrument I/O 中的 Serial 找到与串口 VI 相对应的模块，其中比较常用的是 VISA Configure Serial Port、VISA Write、VISA Read 等模块，分别实现串口设置、串口写、串口读等功能。通过对这几个功能模块的配置和连接，就能开发出符合要求的 LabVIEW 串口通信软件。

上位机波形显示界面如图 4:

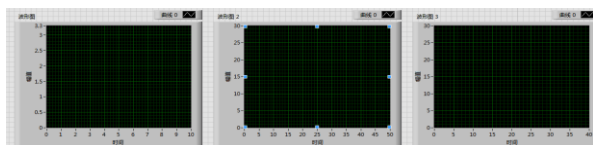


图 4 实验平台上位机波形显示界面图

Fig.4 Experimental platform on the host computer waveform display interface map

3.2 系统下位机设计

本设计中下位机是以 STM32 为核心进行编程控制。实现与上位机进行串口通信，产生并发送 PWM 波来控制电机转速:

3.2.1 PWM 波的产生

本设计利用软件生成 PWM 信号。利用系统的定时器，通过对定是其中的自动重装载寄存器赋不同的值来改变 PWM 的不同占空比，从而改变电动机的转速。

直流有刷无刷电机只需二路 PWM 波就可以控制其正反转以及转速调控功能。正转时一路输出 PWM 另二路置零，反转则一路置零二路正常输出 [10]。

两相四线步进电机采用 8 拍控制方式。即八个状态:

- 1.A 与 A-正电压，B 与 B-不给电悬空;
- 2.A 与 A-正电压，B 与 B-也给正电压;
- 3.A 与 A-不给电压悬空，B 与 B-正电压;
- 4.A 与 A-给负电压，B 与 B-给正电压;
- 5.A 与 A-给负电压，B 与 B-不给悬空;
- 6.A 与 A-给负电压，B 与 B-给负电压;
- 7.A 与 A-不给电悬空，B 与 B-给负电压;
- 8.A 与 A-给正电压，B 与 B-给负电压;

按以上八个状态轮流供电，控制一下脉宽应该就可以了。步进电机的反转这调换一下供电顺序即可。

3.2.2 电机转速的计算

电机转速计算的实现，本系统采用的是定时加计数的方法。通过单片机内部的定时器 T0 来定时，然后用外部中断 INT1 来记接收到的反馈脉冲的数量，通过在一定时间内接收到的脉冲数来算出转速 [7]。

将转速量通过 send[i]函数发送给连接的串口进行通讯。

```

u8 send[64];
//DMA_Cmd(DMA1_Channel1,DISABLE);
for(k=0;k<6;k++)
{
    for(j=0;j<64;j++)
    {
        for(i=0;i<64;i++)
        {
            send[i]=SendBuff[i+j*64][k]*165/4095;
        }
    }
}
    
```

图 2 8 位转速量的转换发送代码

Fig.2 The speed of the sending code

4 平台特色

4.1 编程对电机进行控制

学生可以直接通过提供的单片机控制板，自己编写程序对电机进行控制。通过仿真器完成编写程

序的烧写，更加自主地学习掌握电机的控制原理。

4.2 数据的采集、实时显示

该实验平台能够具有数据采集功能，包括电机三相电压实时显示、电机三相电流实时显示、电机振动实时显示以及电机工作温度实时显示等。并且给出每个时刻的参数值。

5 结束语

该实验平台以培养学生的实际动手能力、设计能力和创新研究能力为目标，学生可通过该实验平台进行电机驱动系统组装实训、控制实训、电机控制编程，系统调试，新型控制策略的探索等。学生能够通过可视化界面更加直观的在实训、实验过程中去反思、重新认识电机的基本原理及控制策略，利用回放对比等功能对多次实验的结果进行对比思考，培养学生的创新思维能力。有利用规范化、科学化的提高学生学习能力，加强学生学习效率。

参考文献

1. 张大华. 锁相环集成电路 CD4046 及其在自动化仪表中的应用 [J]. Industrial Measurement. 2003 . (6) : 30 - 32.
2. 雷振山. LabVIEW 7 Express 实用技术教程 [M]. 北京: 中国铁道出版社. 2004.
3. 赵丹群, 唐任远, 路战红. 电机瞬态转矩转速测试技术及装置. 沈阳工业大学学报. 1990 年: Vol.12(第 4 期).
4. 陈雅文. 实用电机转矩测试系统. 机电工程. 1990 年: 第一期.
5. Negenborn R. Robot. localization and Kalman filters on finding your position in a noisy world [D/ OL]. [http : // www. negenborn.net/ kal - loc/ thesis. pdf](http://www.negenborn.net/kal-loc/thesis.pdf). 2005.
6. 张金美. 基于虚拟仪器的电机测试系统的研究[D]江苏: 江南大学. 2008.
7. 祝龙记. 控制的电动机转速测量方法的实现[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版). 2005(3):45-49.
8. 杨乐平, 李海涛. LabVIEW 程序设计与应用. 北京. 电子工业出版社. 2001. 7.
9. NI Corporation. PID Control Toolset User Manual. 2003. 11.
10. 期刊论文 金江, 袁晓明, 李大明. JIN Jiang, YUAN Xiaoming, LI Daming 应用 LabVIEW 自动控制直流电机调压器的方法 - 现代电子技术. 2007. 30(18).
11. Paul I-Hai Lin, Member, IEEE, and Edward E. Messal, Ph.d. Indiana University-Purdue University at Fort Wayne. Design of a Real-Time Rotor inertia Estimation System for DC Motors with a Personal Computer. 1993: 59~63 .

无人机载成像光谱仪 GPS 自动控制系统设计*

张 培; 王谥衡; 吴艳勤

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 与传统遥感技术相比, 无人机载成像光谱仪具有灵活性高、应急能力强、成本低、受天气影响小以及高分辨率等优点, 但存在数据量过大、有效数据少的不足。采用通过 GPS 数据实时控制曝光的办法设计了外触发系统, 实验表明, 该方法得到的结果有效解决了数据量过大、有效数据少的问题。

关键词: 无人机遥感; GPS 数据解析; 自动控制

Design of GPS Automatic Control System for Unmanned Aerial Vehicle Imaging Spectrometer

Zhang Pei; Wang Xuheng; Wu Yanqin

(College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Compared with traditional remote sensing technology, unmanned aerial bearing imaging spectrometer has the advantages of high flexibility, strong emergency capability, low cost, small weather and high resolution, but there are too large data and less effective data. The experiment proves that the result obtained by this method can effectively solve the problem that the data volume is too large and the effective data is small. The external trigger system is designed by using the real-time control of the GPS data.

Key words: UAV remote sensing; GPS data analysis; Automatic control

0 引言

无人机与遥感技术的结合, 即无人机遥感, 是利用先进的无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通讯技术、GPS 差分定位技术和遥感应用技术, 具有自动化、智能化、专题化快速获取国土、资源、环境等的空间遥感信息, 完成遥感数据处理、建模和应用分析能力的应用技术。其应用领域从最初的侦察、早期预警等军事领域扩大到水位监视与检测、交通、灾害评估、空气污染监测、考古、油气管道监测、农业、高压输电线检查、三维建模等非军事领域^[1]。无人机遥感的高时效、高分辨率等性能, 是传统卫星遥感所无法比拟的, 越来越受到研究者和生产者的青睐, 大大扩大了遥感的应用范围和用户群, 具有广阔的应用前景^[2]。

成像光谱仪是获取遥感数据的仪器, 它能够同

时采集被探测目标的二维空间信息和一维光谱信息, 形成三维数据立方体(Data cube), 成像光谱仪采集海量数据, 因此数据的有效性尤其重要, 将成像光谱仪搭载在无人机平台上, 由于无人机的遥测功能只能由无人机飞行控制与管理自主完成, 如果将成像光谱仪设置为连续拍照模式, 数据的有效性无法得到保障, 而 GPS 接收机能够以连续或定时方式输出纬度、经度、高度、速度、航向、时间及卫星状态等信息, 可利用以上参数对成像光谱仪的拍照方式进行实时控制。GPS 为飞控系统提供两个功能, 一个功能就是把曝光时刻相机的三维定位等参数传送给成像光谱仪, 供成像光谱仪给记录的图像加参数标签用; 另一个功能是给可编程外部触发电路提供触发信号源, 从而可以实现用 GPS 信号触发相机曝光。可编程外部触发电路可根据项目需求等对触发条件进行控制, 由此获得的遥感数据不仅有效性大大提高, 而且总体数据量也会减小。

* 指导老师: 刘玉娟

项目类型: 大学生创新项目 (2015650995)

1 系统结构设计

利用无人机的 GPS 数据实时自动控制成像光谱仪的电子学系统,即通过无人机的 GPS 数据包中的信息(经纬度、高度)提取成像光谱仪外触发信号,根据实际应用需求实现成像光谱仪的实时外触发控制,其内容主要包括三个方面:GPS 数据筛选及实时提取方法研究、控制系统电子学平台设计、接口通讯协议及其相关算法研究。如图 1 所示:

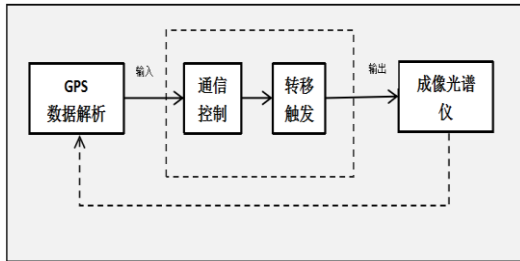


图 1 系统框图

Fig.1 System diagram

在系统运作过程中, GPS 接收机获取到的 GPS 数据根据特定协议通过串口输入到控制系统,控制系统将接收到的 GPS 数据进行解析,利用解析完成的 GPS 数据作为参数编写算法,通过参数反应无人机飞行姿态,当无人机平稳飞行或满足飞行轨迹等预定条件时,将触发信号输出到成像光谱仪。另外, NMEA 格式的 GPS 数据直接输入到成像光谱仪,成像光谱仪有专用的匹配接口来接收。

2 系统硬件

系统中使用 SIMCom 公司的 SIM908 模块作为 GPS 数据接收机。SIM908 采用高性能工业级 GSM/GPRS 四频模块,集成 GPS 功能,其工作频段为: GSM850 /EGSM900 /DCS1800 /PCS1900 MHz。可以实现 GPS 定位、GSM 通信、GPRS 数据传输等功能。其 GPS 模块具备 42 个通道接收、高跟踪灵敏度(灵敏度在-160dBm)、启动时间快(冷启动为 30s,热启动为 1s)以及精确定位(<2.5 米 CEP)的特点。模块为 80 脚封装,接无源天线,将 PWRKEY 引脚接地实现自启动,也可将其与主控芯片的 GPIO 口连接实现自主控制启动。

主控芯片选用 STM32F103RBT6,该芯片为 ARM 32-bit Cortex-M3 内核,具有 72MHz 最大频率,128Kb 闪存以及 9 个通信接口。在该系统中具备足够的运行速度和通信资源。

成像光谱仪选用 ADCAir。

在 STM32F103RBT6 芯片的控制下,增加一些辅助设备,构成一个完整的系统。如图 2 所示:

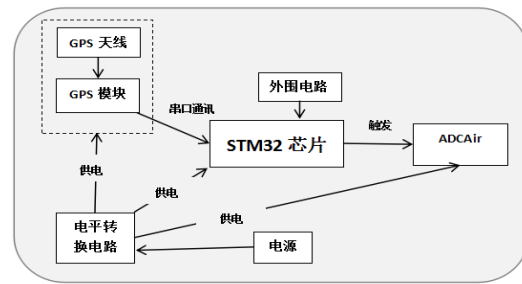


图 2 硬件系统框图

Fig.2 Hardware system diagram

3 系统程序

3.1 GPS 数据实时解析

GPS 接收机以 1Hz 的频率输出 GPS 数据,控制系统可以通过两种方式与 GPS 接收机通讯。其一,通过 SIM908 模块的 TXD 和 RXD 接口,即该模块的主串口(Serial Port),发送 AT 指令的方式查询 GPS 数据;其二,通过 SIM908 模块的 GPS/DBG-TXD 和 GPS/DBG-RXD 接口,即该模块的调试串口(Debug Port),该接口输出的 GPS 数据为 NMEA0183 格式。输出次序为 \$GPZDA、\$GPGGA、\$GPGLL、\$GPVTG、\$GPGSA、\$GPGSV、\$GPRMC。控制系统可以通过主串口控制调试串口的输出模式,发送 AT+CGPSOUT=n (n=0~255) 输出不同模式的数据。bit1=1 输出 \$GPGGA; bit2=1 输出 \$GPGLL; bit3=1 输出 \$GPGSA; bit4=1 输出 \$GPGSV; bit5=1 输出 \$GPRMC; bit6=1 输出 \$GPVTG; bit7=1 输出 \$GPZDA。

软件系统中使用了 \$GPRMC 和 \$GPGGA 两条语句。

GPRMC 数据详解:

\$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*hh

<1> UTC 时间, hhmmss(时分秒)格式

<2> 定位状态, A=有效定位, V=无效定位

<3> 纬度 ddmm.mmmm(度分)格式(前面的 0 也将被传输)

<4> 纬度半球 N(北半球)或 S(南半球)

<5> 经度 dddmm.mmmm(度分)格式(前面的 0 也将被传输)

<6> 经度半球 E(东经)或 W(西经)

<7> 地面速率(000.0~999.9 节,前面的 0 也将被传输)

<8> 地面航向(000.0~359.9 度,以真北为参考基准,

前面的 0 也将被传输)

<9> UTC 日期, ddmmyy(日月年)格式

<10> 磁偏角(000.0~180.0 度,前面的 0 也将被传输)

<11> 磁偏角方向, E(东)或 W(西)

<12> 模式指示(仅 NMEA0183 3.00 版本输出, A=自主定位, D=差分, E=估算, N=数据无效)

GPGGA 数据详解:

\$GPGGA,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*xx

\$GPGGA: 起始引导符及语句格式说明(本句为 GPS 定位数据);

<1> UTC 时间, 格式为 hhmmss.sss;

<2> 纬度, 格式为 ddm.mmm(第一位是零也将传送);

<3> 纬度半球, N 或 S(北纬或南纬)

<4> 经度, 格式为 dddmm.mmm(第一位零也将传送);

<5> 经度半球, E 或 W(东经或西经)

<6> 定位质量指示, 0=定位无效, 1=定位有效;

<7> 使用卫星数量, 从 00 到 12(第一个零也将传送)

<8> 水平精确度, 0.5 到 99.9

<9> 天线离海平面的高度, -9999.9 到 9999.9 米 M 指单位米

<10> 大地水准面高度, -9999.9 到 9999.9 米 M 指单位米

<11> 差分 GPS 数据期限(RTCM SC-104), 最后设立 RTCM 传送的秒数量

<12> 差分参考基站标号, 从 0000 到 1023(首位 0 也将传送)。

例 (吉林大学, 实验室):

\$GPGGA,014015,4352.721987,N,12518.148164,E,1,5
2.737684,-10.920469,M,12.050686,M,0000。

数据解析过程为: (一)配置串口接收格式为 8 位数据位, 1 位停止位, 无数据校验, 波特率为 112500; (二)寻找起始符 ASCII 码 '\$', 寻找结束符 ASCII 码 '\0', 添加结束标志数字 0; (三)利用字符串处理函数 char * strtok(char *s, const char *delim)找到参数的起始位并返回地址; (四)利用格式转换函数 double atof(const char *str)将字符串转换成浮点数; (五)动态储存数据, 完成解析过程。

3.2 触发算法

成像光谱仪 ADCAir 与控制系统的通讯接口如图 3 所示, 其中 pin5 为外触发拍照线 (picture taking line), 低电平触发; pin8 为 RS232RX 接口, 该接口接入 NMEA0183 格式的 GPS 数据。

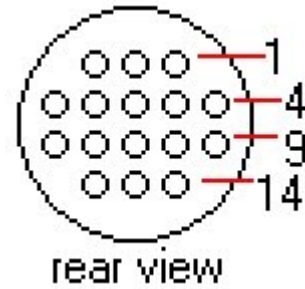


图 3 ADCAir 通讯接口示意图

Fig.2 Schematic diagram of ADCAir communication interface

从内存中读出 GPS 数据, 利用经纬度进行无人机的轨迹跟踪, 利用速高比 (速度和高度的比值) 对无人机的飞行姿态进行监测。将主控芯片的一个空闲 GPIO 口设置为推挽输出模式, 并设置为高电平状态。控制系统一直处于监测模式, 成像光谱仪搭载在无人机上, 无人机进入作业状态时各参数 (速高比) 满足触发条件, 控制系统将 GPIO 口拉低, 作为触发信号源, 成像光谱仪检测到触发信号后触发完成拍照。根据不同的地理环境, 速高比值不同, 以吉林大学为例, 将速高比设在 0.05 到 0.13 之间进行试验, 结果表明: 成像光谱仪能够按照预期外触发拍照。

4 结论

本设计利用了 GPS 数据实时刷新特性, 创新性地将其作为触发源, 成功地实现了无人机载成像光谱仪的实时触发。结果表明: 成像光谱仪获取的数据量一定程度上减少, 有效数据率增高。

参考文献

1. 王峰, 吴云东. 无人机遥感平台技术研究与应用[J]. 遥感信息, 2010, (02): 114-118.
2. 金伟, 葛宏立, 杜华强, 徐小军. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感信息, 2009, (01): 88-92.

超声波水深测量的船模设计*

程宇奇；张书铭；赵 成；张伦源

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 针对深度较浅、水下状况不明、水体污染等水域的水深测量, 提出了一种船模搭载超声波测距系统进行水深测量的设计。超声波进行水深测量的过程如下, 高频电信号激励换能器发射超声波, 遇障碍物反射后产生回波, 换能器接收回波并将其转换为电信号, 经过滤波和放大电路处理, 最后由 A/D 采集回单片机进行处理。在此期间, 利用温度传感器实时测量水温。在对数据的后期分析处理中, 利用软件滤波和采用小波变换等处理方法使渡越时间的测量结果更加准确, 并根据温度值与超声波的对应关系及时修正波速, 从而提高水深的测量精度。该设计在人工作业不便时, 可代替人工进行水深测量, 在未知水域深度测量等方面有一定的应用价值。

关键词: 超声波 水深测量 船模 小波变换 温度补偿

Design of ship model with ultrasonic bathymetry

CHENG Yuqi; ZHANG Shuming; ZHAO Cheng; ZHANG Lunyuan

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Jilin Changchun 130026, China)

Abstract: A design of ship model with ultrasonic ranging is developed for depth survey in some critical operational areas, such as shallow waters, undiscovered and contaminated regions. The process of underwater ultrasonic ranging is as follows. Transducer is forced by high frequency electrical signal to emit ultrasonic and receive echo. Then the transducer converts it into electrical signal. Next, A/D sample on the signals produced by filtering and amplification circuit. Finally, a microprocessor analyze the data sampled by A/D and get the result. During this period, temperature shall be measured using temperature sensor in real time. In the later processing of data analysis, it makes the measurement of transit time more accurate by using the software filtering and wavelet transformation. In addition, the velocity of ultrasonic is corrected in time according to the corresponding relationship between temperature and velocity. The design has certain application value in unknown waters measurement, which can replace artificial bathymetry when the artificial operation is inconvenient.

Key words: Ultrasonic Bathymetry Ship model Wavelet transformation Temperature compensation

0 引言

随着传感器和单片机控制技术的不断发展, 非接触式检测技术已被广泛应用于多个领域。目前, 典型的非接触式测距方法有超声波测距、CCD 探测、雷达测距、激光测距等^[1]。其中, CCD 探测具有操作简便、无需信号发射源等特点, 但结构复杂, 视觉测距需要额外的经济开销^[2]。雷达测距具有全天候工作, 可恶劣的环境中进行短距、高精度的测距作业, 但缺点是很容易受到电磁波的干扰^[3]。激

光测距的测量速度快, 方向性和单色性强, 对雨雾有一定的穿透能力, 但其成本高, 且测量精度受时间测量精度影响, 数据处理过程较复杂^[4]。

与前几种测距方式相比, 超声波测距不受光线、电磁场、烟雾等因素的影响, 对于恶劣环境有较强的适应能力, 比其它方式更易获得近距离的信息, 特别是在水深测量作业中应用更广^[5]。然而困难区域的水深测量, 常常给传统依托母船、人工参与的水深测量方式带来巨大困难, 实时、无人、自动测量是现代水深测量的一个发展趋势^[6-8]。在本文中, 笔者提出了适用于困难水域水深测量的超声波水深

*指导老师: 程宇奇

项目类型: 大学生创新项目 (2015650994)

测量的船模设计。其中，船模是一个测量平台，可搭载超声波水深测量技术进行相关测量，为进一步研发提供了参考。

1 超声波测距原理

超声波测距的主要原理是：超声波换能器向某一方向发射超声波，与此同时开始计时，传播过程中遇到障碍物立即反射，换能器接收到反射波的同时停止计时，从而得到渡越时间 t 。假设超声波的速度为 v ，由超声波在介质中传播的时间 t ，推出测量距离 L （如图 1 所示），得到公式 $L=vt/2$ ^[9] (1)。

为了提高水深测量的精度，一方面，通过对超声波波速进行较为准确的选取，另一方面，要准确捕捉回波反射到换能器的时刻，以提高对渡越时间的测量精度。对超声波而言，在不同的介质中的传播速度不同。与湿度、压力等影响因素相比，超声波对温度的变化更为敏感^[10]。查阅文献资料可知，超声波在水中的传播速度近似为 $v=1449.2+4.61T-0.055T^2+0.00029T^3$ (2)，式中 T 为环境摄氏温度^[9]。为了合理选取波速 v ，使用温度传感器 DS1624 对水温进行实时测量，以此对波速进行温度补偿。

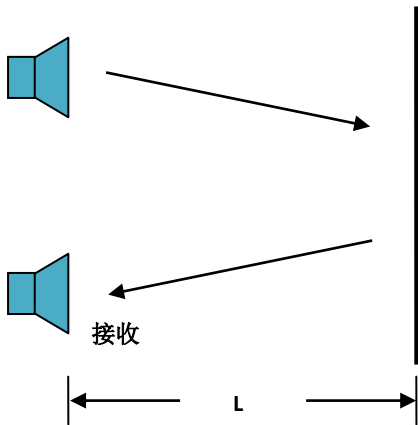


图 1 超声波测距示意图

Fig.1 Schematic diagram of ultrasonic distance measurement

除了对超声波的传播速度进行温度补偿外，还可以通过对测得数据进行小波变换的处理方式来准确捕捉回波反射到换能器的时刻。小波变换能够提供一个随频率改变的“时间—频率”窗口，能对时间频率进行局部化分析，即低频时小波变换的时间分辨率较低，而频率分辨率较高；高频时小波变换的时间分辨率较高，而频率分辨率较低，这正符合信号变化的特点。将小波基与回波信号进行卷积运算，计算后可找到一个采样点，其小波系数的模值最大，则该点即为回波到达的起点^[11]。

2 系统硬件设计

2.1 系统总体设计

本测量系统是由换能器、超声波发射和回波接

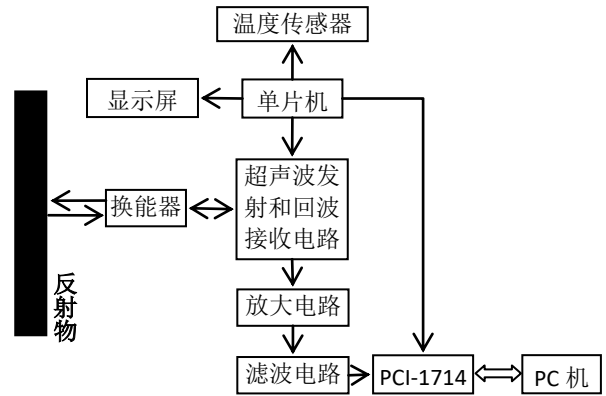


图 2 水深测量系统结构图

Fig.2 Structure chart of bathymetry system

收电路、测温电路、显示电路、数据采集卡（PCI-1714）、主控电路、PC 机等部分组成，如图 2 所示。

2.2 超声波发射和回波接收电路设计

本系统中采用的是收发一体的超声波换能器，使用连续波发射电路。单片机控制 NE555 产生高频的脉冲串，经功率管放大，并通过适当的匹配电路激发换能器发射超声波，发射电路如图 3 所示。

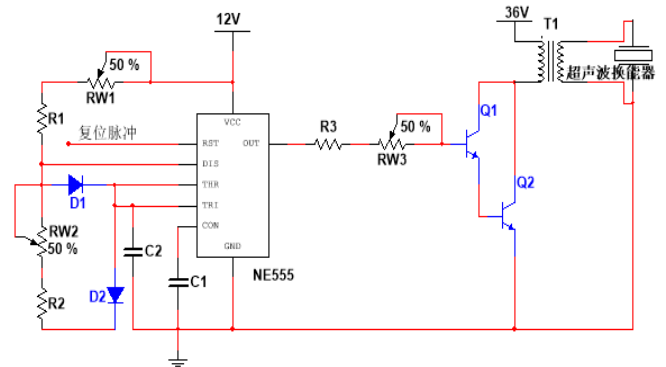


图 3 超声波发射电路

Fig.3 Circuit of ultrasonic emission

接收电路先将回波信号进行放大，分两级放大，第一级 100 倍，第二级 10 倍，共放大 1000 倍（60dB），电路如图 4 所示。其中，放大器选用的是 LM833N，具有高动态、低失真的特点。

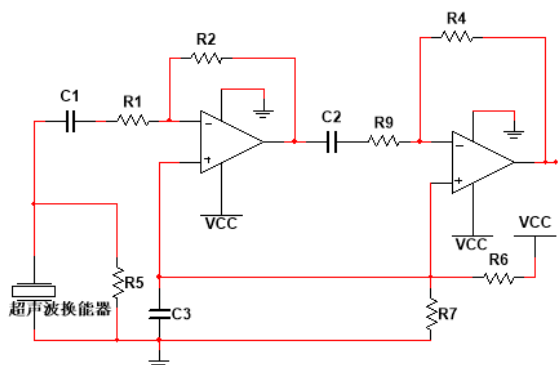


图 4 回波接收和信号放大电路

Fig.4 Echo receiving and signal amplifying circuit

2.3 滤波、显示和测温电路设计

系统采用的是由 OP07 运算放大器和 RC 阻容网络构成的双二次型带通滤波电路，如图 5 所示。滤波器的中心频率为 500kHz，通频带宽为 500Hz，通带增益为 1。

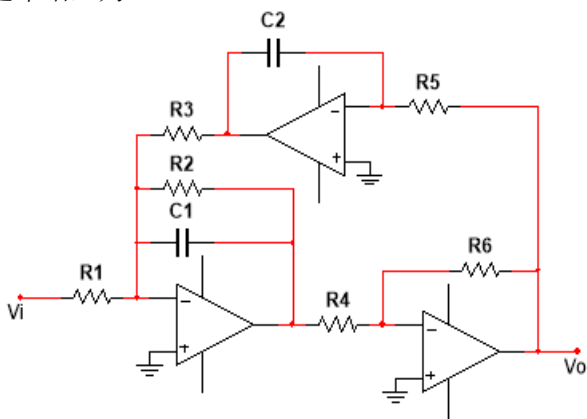


图 5 带通滤波电路

Fig.5 Band-pass filter circuit

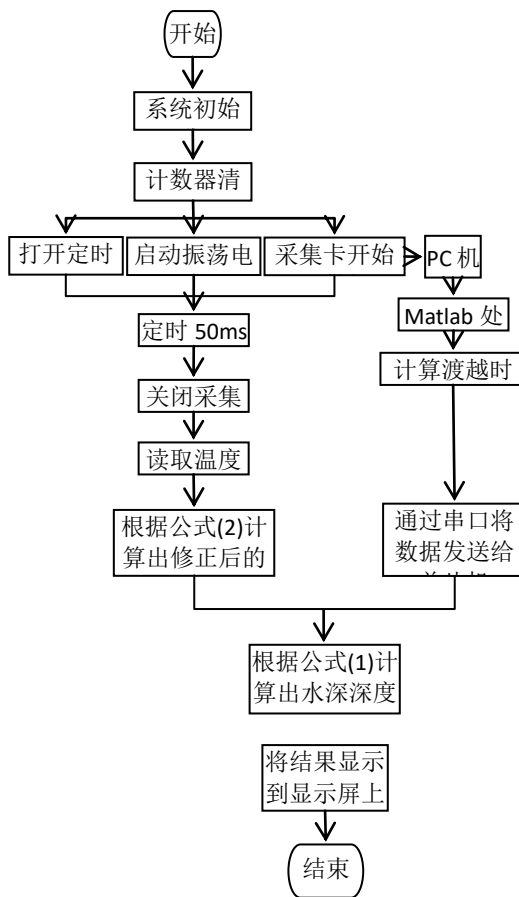


图 6 测量程序流程图

Fig.6 Program flowchart of bathymetry

系统采用的温度传感器为 DS1624，可直接测量温度值，并与单片机以 I²C 的通信方式传递数据。显示屏采用 Nokia 公司生产的 5110 显示屏，具有体积小，功耗低的优点。

3 系统软件设计及数据处理

PC 机准备就绪后，根据实际环境情况，控制船模行驶至测量局域，测量系统开始运行，程序流程图如图 6 所示。

4 测量试验数据及结果分析

系统采用的超声波换能器型号为 DYW-500-E，中心频率为 500kHz。测试时，在 20℃、23℃、26℃ 的条件下测量 50cm—500cm 范围距离，测试结果如表 1 所示。

表 1 测试实验结果

Table 1 experimental results

实际距离/cm	20℃ 测量值 /cm	23℃ 测量值 /cm	26℃ 测量值 /cm
50.0	50.5	50.6	50.6
70.0	70.3	70.5	70.4
100	103	101	101
130	132	133	132
150	151	151	153
170	172	172	171
200	206	206	205
250	262	263	265
300	343	343	346
500	562	564	564

由上表可知，当测量结果在 200cm 范围内时，在 20℃、23℃、26℃时所测得的距离值差异很小，几乎相同，且相对误差均小于 1%。这表明，对超声波传播速度进行温度补偿以及对采样数据进行小波变换处理，可以明显提高超声波水深测量的精度。同时从测量结果可以看出，当测量范围超过 200cm 时和实际距离差异较大，这与超声波的频率特性有关。超声波在传播过程中，其衰减特性与自身频率有关，即频率越高，衰减越快，传播距离越短。因此，若要测量大范围的水域深度，应使用低频的超声波换能器进行测量。

5 结论

本设计的核心理念是设计出一款可以代替人力进行水下测距工作的船模，便捷实用，克服了人为测距的缺陷。经测试试验结果表明，实际试验结果与理论分析基本吻合，达到了测量浅水水深的功能，可适用于小区域或困难水域的深度测量，无需人工下水。本设计聚焦于水深测量工作，将超声波水深测距技术和船模平台相结合，将非接触式测量技术简易地应用到了生活中。

参考文献

1. 李戈,孟祥杰,王晓华,王重秋.国内超声波测距研究应用现状[J].测绘科学,2011,36(4):60-62.
2. 李艳晓,张磊,张红刚,胡磊力.基于双 CCD 探测的外场高精度激光光斑测试技术 [J]. 红外与激光工

程,2015,44(1):59-64.

3. 姜海娇,来建成,王春勇,李振华.激光雷达的测距特性及其测距精度研究[J].中国激光,2011,38(5):1-7.
4. 施智勇,潘晓声,张谦.利用延时法进行高精度脉冲激光测距[J].光学精密工程,2014,22(2):252-258.
5. 兰羽.具有温度补偿功能的超声波测距系统设计[J].电子测量技术,2013,36(2):85-87.
6. 金久才,张杰,马毅,官晟.一种无人船水深测量系统及试验[J].海洋测绘,2013,33(2):53-56.
7. 李肃江,董江,裴文斌,李宝森,郭文伟.RTK 三维水深测量精度分析及试验验证[J].海洋测绘,2012,32(5):22-24.
8. 朱良君,张光辉,胡国芳,王兵.坡面流超声波水深测量系统研究[J].水土保持学报,2013,27(1):235-239.
9. 王兆强,张晨曙,叶建雄.高精度水下测距研究[J].新余学院学报,2011,16(6):71-74.
10. 胡延苏,高昂.超声波测距误差分析及校正研究[J].计算机测量与控制,2015,23(8):2820-2823.
11. 邓跃红,聂双双.基于小波变换的水下超声波测距方法研究[J].郑州大学学报(工学版),2007,28(4):75-79.

无线电能传输的参数与效率优化*

李 刚；陈 乾；伏 坚；张 标

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 基于磁耦合谐振式无线电能传输原理, 利用 DDS 技术产生频率可调的高频正弦信号, 经过模拟电路将其转换为 PWM 波以驱动全桥电路将直流逆变为高频大功率交流送至线圈, 通过磁耦合谐振实现电能传输, 经整流、滤波、升压等进行电能变换将电能输送至基于 Buck 电路的 LED 驱动模块以验证无线电能传输效率与稳定性。基于磁耦合谐振式的无线电能传输装置优化了无线电能传输的距离等参数和效率。

关键词: 磁耦合谐振 DDS 技术 全桥电路 电能变换 Buck 电路

The optimization of parameters and efficiency of Wireless Power Transmission

LI Gang; CHEN Qian; FU Jian; ZHANG Biao

(College of materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract:Based on the principle of Magnetic coupled resonant wireless power transmission ,high frequency sinusoidal signal frequency can be produced by using DDS technique, it can be converted to the PWM wave after the analog circuit.Then let the PWM wave drive the DC inverter full bridge circuit for high frequency AC power to the emissive coil.Power transmission can be realized throughthe magnetic coupling resonance. The electrical energy through rectification, filtering, boost processing is transported to the LED driver module based on the BUCK circuit to verify the stability and efficiency of wireless power transmission.The Wireless Power Transmission device based on magnetic coupling resonance can optimize the parameters and efficiency of Wireless Power Transmission.

Key words:Magnetic coupling resonance DDS technology Full bridge converter Conversion of electrical energy Buck circuit

0 前言

伴随着电力工业革命的日益深化, 无线电能传输技术作为新兴技术处在理论研究向实际应用的过渡阶段。其应用领域还在不断拓展: 照明、太阳能电站以及航空航天系统等都将作为无线电能传输的新领域^[1]。

本次项目研究以无线电能传输系统设计与参数及效率优化两个方向为指导, 重点在于无线电能传输系统的研制以及系统参数与效率优化的关系, 包括高频信号发生模块的设计, 传输线圈的参数设计、传输距离的匹配等, 并设计一套 LED 驱动器以验证无线电能传输系统的性能。最终达到项目预期要求, 完成对传输距离等参数的优化。

1 基本原理

1.1 电能发射原理

利用 DDS 技术产生频率可调的高频正弦信号, 再将其通过各类模拟电路变换成可驱动全桥电路的 PWM 波, 通过全桥电路将直流逆变为高频大功率交流, 根据指标合理设计线圈, 将大功率交流加载到发射线圈上以传输能量。

1.2 电能传输原理

电能传输基于 LC 并联谐振磁耦合设计发射、接收线圈。发射端产生高频信号驱动发射线圈谐振, 将发射线圈产生的磁场能量, 通过磁场耦合转换成接收线圈中的电场能量, 接收线圈谐振, 电场能量在接收线圈的电感和电容之间相互交换, 由于二者谐振频率

*指导老师: 李刚

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65684)

相同,产生共振,将能量源源不断地在线圈之间进行传输。

将获得的电场能量进行桥式整流、电容滤波,直流升压且尽可能地减少功率损耗,从而为 LED 驱动模块传输足够的电能。

1.3 驱动工作原理

LED 是典型的非线性元件,加在 LED 上的电压稍微增加,导通电流就会明显增加,如果不对流经 LED 的电流加以限制,LED 很容易过流烧坏。可结合纹波补偿及电流反馈控制环节,形成恒流源控制回路^[2]。

2 方案确定

从项目设计要求出发,对系统进行分块设计,方案图如下^[3]:

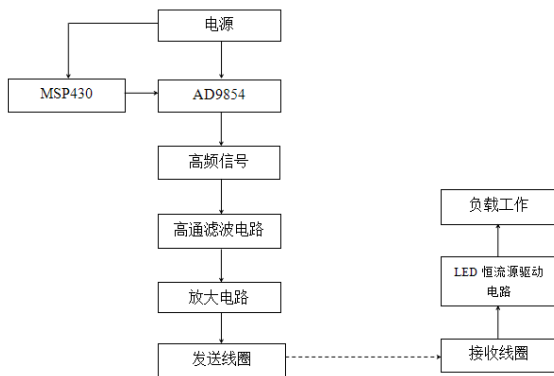


图 1 系统方案示意图

Fig.1 Schematic diagram of system

2.1 高频信号发射方案

2.1.1 电源模块

根据安全标准及功能将电源分为:总电源,两个彼此隔离的驱动电路电源,MSP430f14 电路板供电电源,AD9854 集成电路板供电电源。

2.1.2 高频信号发生模块

利用 MSP430 控制 AD9854 芯片产生频率在 1.2MHz~2MHz 之间可调的高频正弦信号,此频率范围内,无线电能传输的效率较高。

2.1.3 放大比较电路

由于 AD9854 仅产生了一路频率精确的正弦波,故应将其转化为频率相等的两路驱动脉冲 PWM 波。AD9854 产生的正弦波的电压范围为 0~0.5V,可将其先放大,再经过两个不同的比较器产生不同的 PWM 波,以提高比较器的抗干扰能力。

2.1.4 驱动放大电路

产生两路 PWM 波后,将其分别通过四个相同

的驱动电路产生可驱动全桥彼此隔离的 MOS 管的驱动信号

2.1.5 全桥电路

同一桥臂的两个开关管互补导通,斜对角相对的两个开关管同时导通,通过控制四个开关管的开通与关断,就可以在输出侧产生幅值等于输入电压的交流方波电压,输出侧构成 LC 并联谐振电路,就可以产生有效值等于输入电压的正弦电压。

2.2 传输线圈设计方案

采用 LC 并联谐振磁耦合的方式来实现电能的发送与接收,线圈采用多股导线并联多匝线圈结构来增大线径,达到减小趋肤效应,减小电感,提高线圈固有频率的作用。10 股导线去除绝缘层,两个端口连接实现导线并联,再从端口并接高频电容。保证两个 LC 网络要有近似相同的参数,以保证网络可以发生谐振实现能量的最大的效率传输。

整流电路采用桥式整流,滤波电路通过并联多个小电容得到稳定的直流电流,同时并联一个合适的电解电容以达到为后续电路储存能量的作用。

升压电路首先利用 PTN04050CAD 升压模块实现将整流获得的 3V 电压升至 12V,后采用 Boost 电路实现将 12V 的直流电压升至 24V,这样的设计在保证为 LED 驱动提供合适电压的同时尽可能的减少功率损耗。

2.3 恒流驱动设计方案

调整线圈及运放参数使接收端电压大于 20V,将此电压直接用于 LED 驱动电路,驱动 led 工作。

1.LED 选取:1W,350ma,导通电压为 3V,压降为 3.2-3.4V。

2.采用基于 Buck 电路的恒流 LED 驱动电路,用 MOS 管作为主控器件,借助 UC3843 生成控制 PWM 波,结合纹波补偿及电流反馈控制环节,输出端为恒流源。

3 具体电路及参数确定

3.1 电能发射参数设计

AD9854 数字合成器是高集成度的器件,片内整合了两路高速、高性能正交 D/A 转换器通过数字化编程可以输出 I、Q 两路合成信号。在高稳定度时钟的驱动下,AD9854 将产生一高稳定的频率、相位、幅度可编程的正弦和余弦信号。

放大电路和比较器电路均采用 LM7121 运放,LM7121 运放是一种高速运放,供电电压有 5V 供电和 ±15V 供电,压摆率 1300V/us,带宽 235MHz

光耦选用 6N137。6N137 光耦合器是一款用于

单通道的高速光耦合器，转换速率高达 10MBit/s，压摆率高达 10kV/us，扇出系数为 8，逻辑电平输出，集电极开路输出,电源电压+5V。

全桥电路 MOS 管采用 IRF540， I_d 的最大值为 33A， V_{ds} 最大值 100V， $R_{ds(on)}$:0.04ohm，拥有优越的 dU/dt 的性能。

3.2 电能传输参数设计

3.2.1 线圈参数设计

每平方毫米的漆包线所承载的电流是 6--8A，在本次项目中流过线圈的电流不超过 3A，因此采用 10 股型号 QA-1 155,截面外径 0.44mm 的铜线材绕着外径为 20cm 的有机玻璃管制作线圈，一共绕制 10 匝，测得绕制线圈的电感值分别为 36.56uH 和 36.42uH。根据信号频率在 1.2MHz~2MHz 之间，由计算公式 $C=1/(2\pi f)^2 * L$ 可以选择的高频电容值在 180pH~500pH 之间。整流二极管选取 MBR1545 (45V/15A/10ns)，滤波电容选取 104 (0.1uF)，电解电容选取 35V 100uF^[4]。

3.2.2 升压模块参数设计

(1) PTN04050CAD 升压模块：

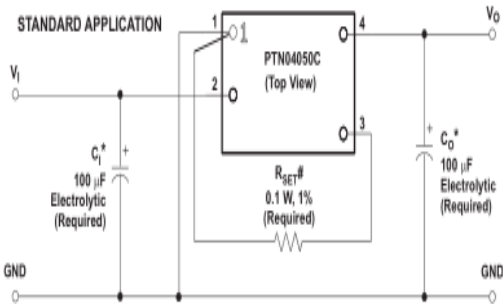


图 2 PTN04050CAD 升压模块

Fig.2 PTN04050CAD Boost module

输入电容 C_1 : 100uF; 输出电容 C_0 : 100uF，为确保稳定性此电容由陶瓷和电解式电容器组合而成。精密电阻 (0.1W, 1%); 精密电阻尽可能的接近调节器的 1、3 脚。

$$R_{SET} = 15k\Omega \times \frac{2V}{V_O - 5V} - 2.94k\Omega$$

(2)BOOST 升压电路：

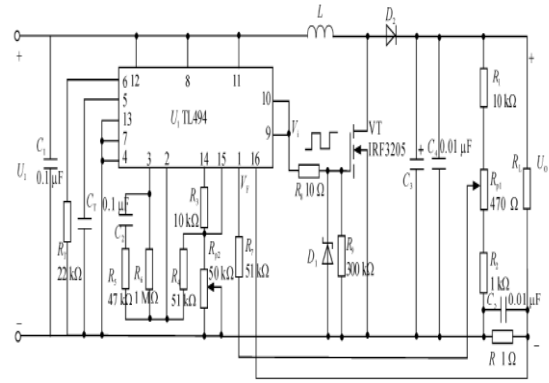


图 3 Boost 电路

Fig.3 Boost Circuit

由 $U \geq (2 \sim 3) * 1.1 * 1.2 * U_0$; $I \geq (2 \sim 3)I_1$; 选择 N 沟道功率场效应管 IRF3205(55V/110A); 根据

$C \geq I_0(U_0 - U_1) / (fU\Delta U_0)$, $f = 50KHz$, 选择 100uF/50V 的电容; 根据 $f = 50KHz$,

$$L \geq \frac{U_1 T_{on}}{1.4 I_1} \geq \frac{U_1(U_0 - U_1)}{1.4 U_0 I_0 f U_0} \geq \frac{U_1^2 (U_0 - U_1)}{1.4 f U_0^2 I_0}$$

感; 续流二极管选用型号为 MBR10100CT 的肖特基二极管(100V/10A)^[5]。

3.3 LED 驱动电路及特征参数

3.3.1 主控制回路

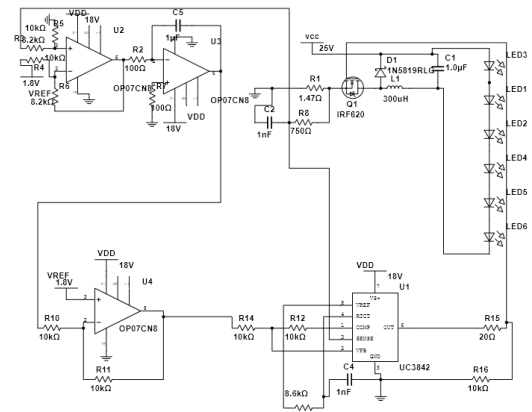


图 4 LED 驱动电路图

Fig.4 Circuit diagram of LED driver

3.3.2 芯片供电电压及参考电压获取

由于参考电压的稳度直接关系到电流的恒定，故采用稳压芯片配合外部电路效果最佳。而芯片供电电压要求较高且均来自于 25V 输入电压，故两种电压的获得都经过稳压芯片 LM317 配合外围电路得到。

3.3.3 电路主要原件参数确定

计算步骤:

(1) 根据相关资料手册中 UC3843 芯片计算工作频率对应的外围电路及驱动 MOS 管需要的外围电路: 由式①得到芯片工作平率为 200kHz 时的电阻及电容值。R=6.8KΩ C=1uF.

$$f_s = \frac{1.72}{R_T C_T} \quad (1)$$

(2) 由下列公式②代入相应数据求得 Buck 主电路电感值, 为 300uH;

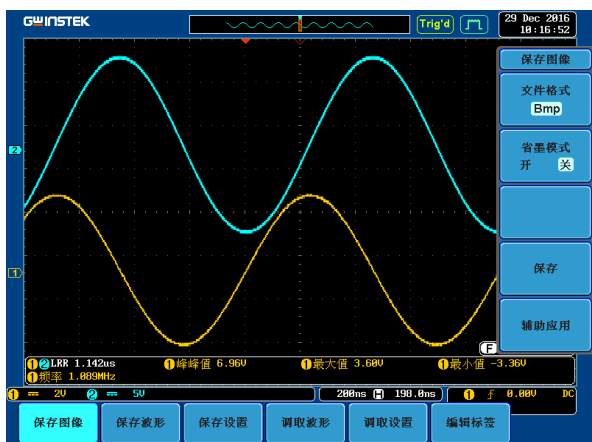
$$L = \frac{(V_{in} - V_o)T}{dI} = \frac{(V_{in} - V_o)D}{0.2I_{on}f_s} \quad (2)$$

(3) 主电路参数的设计中功率器件的选择是主要环节。根据相关运算及耐压限流值选取得到如下参数: MOS 管采用 IRF630, 二极管采用齐纳二极管 1N5819, 电容采用 50V/1uF^[6]。

(4)

4 实验结果及结论

4.1 系统电能波形结果



注: 图中上侧曲线为输入波形, 下侧为输出波形

图 5 系统电能波形

Fig.5 System Power waveform

4.2 系统工作参数

4.2.1 系统最优工作频率

在本次设计中, 耦合线圈 L=36.55uH, 并联电容 C=470pF. 以 30cm 传输距离为目标, 在 V_{in}=10V 条件下确定最佳工作频率:

表 1 系统最优工作频率选择

Table1 Choice of the Best Frequency

f/MHz	1.0	1.03	1.06	1.07	1.08
V _{out} /V	1.36	1.92	3.12	3.76	4.40
f/MHz	1.09	1.10	1.11	1.12	1.15
V _{out} /V	4.56	4.16	3.52	2.96	1.84

4.2.2 系统工作距离验证

在 f=1.09MHz, V_{in}=10V 条件下, 测量不同工作距离时 V_{out}. 数据如下:

表 2 系统工作距离验证

Table2 system working distance verification

d/cm	20	22	24	26
V _{out} /V	7.5	6.4	5.4	5.0
d/cm	28	30	32	34
V _{out} /V	4.8	4.4	3.6	3.1

由表 2 结果可以看出, 传输距离可达到 30cm, 满足设计要求^[7]。

4.2.3 LED 驱动电路结果

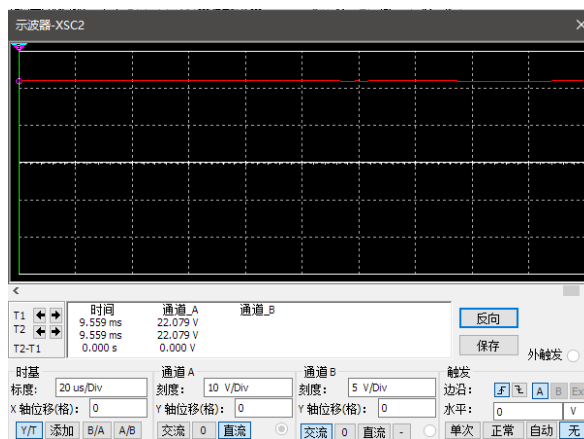


图 6 LED 驱动电流波形

Fig.6 Current Waveform of LED Driver

由图 6 得到 LED 驱动恒流工作结果, 也可通过旋转滑动变阻器改变参考电压大小, 从而改变 LED 亮度。

参考文献

1. 杨庆新, 章鹏程, 祝丽花, 薛明, 张献, 李阳. 无线电能传输技术的关键基础与技术瓶颈问题[N]. 电工技术学报, 2015
2. 张献, 杨庆新, 陈海燕, 李阳, 蔡燕, 金亮. 电磁耦合谐振式无线电能传输系统的建模、设计与实验验证[D]. 中

- 国电机工程学报, 2012
3. 张超.磁耦合谐振无线电能传输系统共振器的仿真和实验研究[D].天津:河北工业大学,2011.
 4. 李素环, 廖承林, 王丽芳, 郭彦杰, 朱庆伟.无线电能传输中线圈设计对效率的影响综述[D]. 电工技术学报, 2015
 5. 贾正松, 罗凌, 余青松.基于 TL494 升压型 DC-DC 稳压电源的设计[J].兵工自动化,2014
 6. 罗静华.大功率 LED 驱动控制技术[N]. 2008
 7. 张小壮.磁耦合谐振式无线能量传输距离特性及其实验装置研究[D].哈尔滨工业大学,2009 杨民生,王耀南.新型无接触感应耦合电能传输技术研究综述[J].湖南文理学院学报:自然科学版,2010, 22(001): 44-53.
 8. 李阳,杨庆新,陈海燕,闫卓,张献,薛明. 无线电能传输系统中影响传输功率和效率的因素分析[J]. 电工电能新技术,2012,03:31-34.
 9. 冯慈璋,马西奎.工程电磁场导论[M]. 北京: 高等教育出版社,2000.
 10. 李弘昌.磁共振无线电能传输系统的稳态控制策略:效率优化控制[J].西安交通大学.
 11. Zhang J, Zeng H, Jiang T. A primary-side controlscheme for high-power-factor LED driver with TRIAC dimming capability[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(11): 4619-4629. Gacio D, Alonso J M, Calleja A J, et al. A universal input single-stage high-power-factor power supply for HB-LEDs based on integrated buck-flyback converter[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011,58(2): 589-599.
 12. Singh B, Shrivastava A, Chandra A, et al. A single stage optocoupler-less buck-boost PFC driver for LED lamp at universal AC mains[C]//IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. Lake Buena Vista: IEEE, 2013: 1-6.
 13. Sun Tianjia,Xie Xiang,Wang Zhihua,Wireless Power Transfer for Medical Microsystem[M].Springer Verlag,2013
 14. Zhang Yiming,Zhao Zhengming,Yuan Liqiang,etal.Comparison of two basic structures in magnetically-coupled resonant wireless power transfer[J].Transactions of China Electrotechnical Society,2013,28(S2):18-22.
 15. Brown W C,The history of power transmission by radio-waves[J],IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques,1984, 32(9): 1230-1242.
 16. Eugenio Culurciello,Andreas G.Andreou.Capacitive Inter-Chip Data and Power Transfer for 3-D VLSI[J]. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS-II:EXPRESS BRIEFS,VOL.53,NO.12,DECEMBER 2006.

基于无线传感网的自动灌溉系统*

徐明亮; 郑海洋; 于浩然; 李哲

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 针对目前农业灌溉系统的缺点, 设计一种利用无线传感器网络来控制农业智能灌溉的系统方案, 该系统主要由上位监控单片机、ZigBee 协调设备(网关节点)、温湿度传感器、灌溉电机控制节点以及阀门控制设备等组成。系统利用温湿度传感器感应环境条件, 利用单片机处理, 随后经 ZigBee 网络将环境湿度经无线模块传送至上位机, 并接收上位机命令对执行机构进行控制, 从而实现对整个温室系统的自动控制。

关键词: 温度 湿度 远程监控 ZigBee 组网

Automatic irrigation system based on Wireless Sensor Network

Li Zhe; Xu Mingliang; Zheng Haiyang; Yu Haoran

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130012)

Abstract: Aiming at the shortcomings of current agricultural irrigation system, a system scheme of using wireless sensor networks to control agricultural intelligent irrigation, the system is mainly composed of the host monitoring MCU, ZigBee coordination equipment (gateway node), temperature and humidity sensors, irrigation motor control node and valve control equipment. The temperature and humidity sensor is used to measure the environmental conditions, MCU processing. Then through the ZigBee network, the environmental humidity is transmitted to the host computer through the wireless module. And the host computer command is received to control the actuator. In order to realize the automatic control of the whole greenhouse system.

Key words: temperature humidity ZigBee network remote control

0 前言

随着我国经济的发展, 我国对农业的发展需求逐年增长。我国水资源缺乏, 如何节约水资源已经是急需解决的难题, 而现有的农田水资源灌溉存在着一个普遍资源利用率不高的问题。所以利用无线网络实现温湿度的实时监控, 了解土壤的一系列有价值的信息, 科学有效的控制水资源的利用, 可以大幅度节省水资源, 实现高效的节水灌溉。但是, 与很多发达国家相比, 我国在无线灌溉系统的发展程度上有明显的差距。本系统针对传统监控系统中的各种缺点进行了优化设计, 采用 ZigBee 技术设计了一个针对温室的远程自动灌溉系统。通过 ZigBee 技术和无线传感器网络技术的结合, 可以实现系统的

远程监控。该系统的布线非常简单, 降低了种植成本^[1]。

1 灌溉系统总体设计

根据无线传感网络的自动灌溉系统的主要功能, 可以分为以下 6 个模块: 环境采集模块、无线模块、显示模块、控制器模块、功率放大模块、执行器模块。系统的总体设计框图如下图 1 所示。

*指导教师: 李哲

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65660)

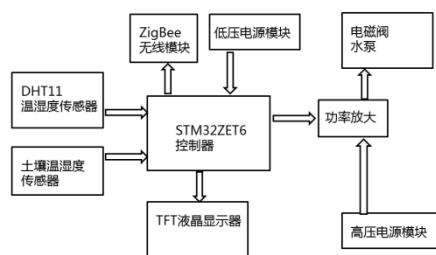


图1 系统整体设计图

Fig.1 System diagram

该系统通过对土壤温湿度的测量，采集土壤信息，经过控制器进行处理，然后通过 ZigBee 网络，无线传输到液晶屏上显示数据，当数据不满足于所设定的数值下限时，STM32 控制器打开电磁阀，对土壤进行灌溉，直到数据满足设定的数值上限，控制器关闭电磁阀^[2]。

2 系统硬件设计

该系统的各个模块说明如下：

(1) 控制模块：控制模块是整个系统的核心，是将整个系统的各个模块连接在一起的控制中心。控制模块由控制器和传感器构成，其中控制器采用 STM32F130ZET6 微控制器，传感器采用 DHT11 土壤温湿度传感器和土壤湿敏电阻传感器。STM32F130ZET6 型号微控制器价格低廉，却又具有高速、超强抗干扰、功耗较低等优点，十分适合作为该系统的主控芯片。与传统的 8051 微控制器相比，此型号的微控制器在成本与计算速度上均有显著地优势。因此，采用此型号微控制器作为本系统的主控芯片^[3]。DHT11 土壤水分温度传感器是一种新型的温湿度传感器。DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器，它应用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术，确保产品具有极高的可靠性和卓越的长期稳定性。传感器包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件，并与一个高性能 8 位单片机相连接。因此该产品具有品质卓越、超快响应、抗干扰能力强、性价比极高等优点。每个 DHT11 传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式存在 OTP 内存中，传感器内部在检测信号的处理过程中要调用这些校准系数。单线制串行接口，使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗，使其成为该类应用中，在苛刻应用场合的最佳选择。产品为 4 针单排引脚封装，连接方便^[4]。

(2) 远程监控模块：通过 ZigBee 节点和中心节点，利用触摸屏实现远程监控。通讯主机选用 RS232 转

ZigBee，从机选用 RS232 转 ZigBee。通讯距离可达 1600m 触摸屏选用型号为 3.2 寸 TFT 触摸屏。触摸部分为四线电阻式。此种触摸屏理论上可以满足该系统的远程监控。

(3) 浇灌模块：由控制模块控制水泵进行浇灌。经实验，可以满足浇灌需求。

(4) 电源模块：分为 220V 交流电和降压模块。由于触摸屏不能使用 220V 供电，因此引入了 AC-DC 模块，采用 3.3V 供电。

3 系统软件设计

该系统采用 STM32F103ZET6 微控制器进行数据处理，采用 C 语言对软件进行开发设计，使软件具有可读性好，可移植性高等优点。使用模块化的思想设计整个系统，使各个程序模块相对独立，便于程序的阅读、移植以及后期的完善。系统软件流程图如图 2 所示。

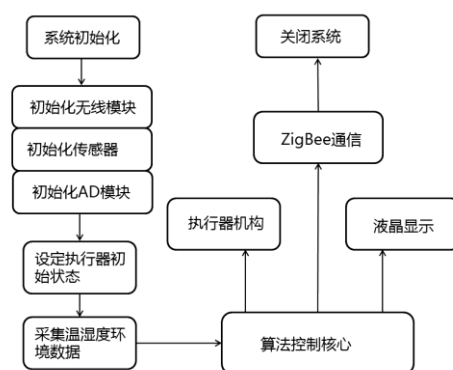


图2 软件总体结构图

Fig.2 Soft structure chart

3.1 温湿度采集处理模块

土壤水分温度传感器采集的温湿度数据经 A/D 转换后，通过单片机计算仲裁后通过无线模块将数据传送到主机进行处理。数据传送的通信协议 MODBUS-RTU 协议，该协议是主从协议，一个总线上有一个主站和多个从站，各个站点之间的通讯参数必须一致，包括数据位数、校验位校验方式、波特率及停止位数。因此需要在程序中，将各个站点的这些参数设置成一致。此外，每个从站设置的站地址必须不同，否则会引起从站之间的冲突^[5]。

3.2 上位机处理模块

图 3 为监控参数界面。界面分为两个板块，左侧板块中可选择种植区域、种植品种、以及植物所对应的各种参数，包括专家参数和实时温度、湿度和光照的显示。右侧板块为实时显示温湿度的特性曲线，可更直观了解温湿度的变化。

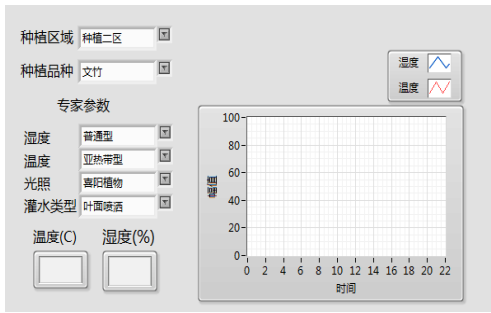


图 3 参数监控图

Fig.3 Parameter monitoring chart

4 测试与分析

对土壤温湿度的测量过程: 将湿敏电阻传感器插入待测土壤之中, 开启硬件电路, 用液晶屏实时显示当前的温、湿度, 当土壤的湿度低于设定的湿度下限时, 控制器打开电磁阀对土壤进行灌溉, 此时液晶屏实时显示湿度值, 湿度逐渐上升到设定的湿度上限时, 控制器关闭电磁阀^[6]。

采集的结果在上位机中显示如下: 将系统初始化后, 控制器将土壤温湿度传感器采集到的数据通过 ZigBee 网络传送给上位机, 并在上位机中显示, 如图 4 所示。因为该湿度值低于设定阈值, 水泵开始工作, 对土壤进行浇灌, 到达上限阈值时, 水泵停止工作。从该图可以看出, 系统可以清晰、直观地、快速、准确的反映当前土壤的情况。经过多次测试, 系统稳定性良好, 能够实现预期目标。

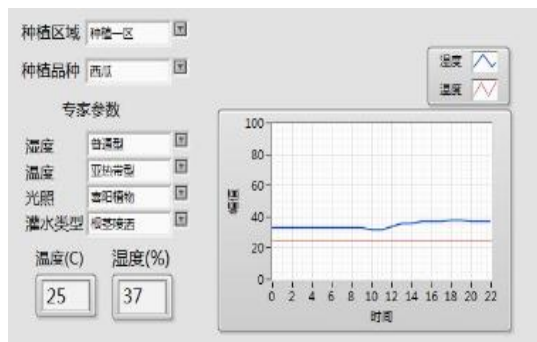


图 4 具体参数图

Fig.4 Specific parameter diagram

5 结论

本文设计一种基于无线局域网 ZigBee 的自动灌溉系统的方案, 采用 STM32F103ZET6 为主控芯片, 结合湿敏电阻土壤水分温度传感器实现对土壤温湿度的测量, 通过 TFT 触摸屏显示不同位置传感器的测量值, 选择一种电机活电磁阀后, 利用采集到的

土壤温湿度, 并且利用 ZigBee 组网技术, 在上位机上实时显示, 并在上位机完成相关的逻辑仲裁, 利用水泵对湿度进行调节, 保持土壤处于一定温湿度范围内, 提高作物的生产质量和产量^[7]。

参考文献

1. 刘奎. ZigBee 技术与应用[J]. 科技资讯. 2006(06)
2. 刘雅举, 蔡振江, 张莉, 李东明, 赵秋霞. 基于射频芯片 ZigBee 无线传感器网络节点的设计[J]. 微计算机信息. 2007.
3. 周益明. 基于无线传感器网络的温室群监测与控制系统的的核心技术研究[实现][D]. 浙江大学, 2009.
4. 冯友兵, 张荣标, 谷国栋. 无线网络在节水灌溉中的应用研究[J]. 中国农村水利水电, 2007.
5. 宋磊. 基于无线传感网络的温室作物监测系统研究[D]. 天津科技大学检测技术与自动化装置, 2013.
6. 熊丽萍. 基于无线传感网络的农田土壤温湿度监测[J]. 电子世界, 2014.
7. 王萌萌, 刘斌, 王丹. 计算机测量与控制[J]. 2013, 12.

可编程倒立摆控制系统实验开发平台*

王瑞健；房 钰；王靖翔

(吉林大学仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130000)

摘要: 本文开发一套针对学生的自主创新型倒立摆控制系统实验开发平台, 系统包括上位控制机, 基于 DSP 的下位控制器, 旋转倒立摆, 直流驱动电机, 和基于 LabView 的可视化人机控制界面。该平台给出倒立摆小车控制例程, 学生可以方便地在上位机进行自主创新性实验, 实时观测状态参数。也可对所使用的摆车进行建模和仿真, 直接对在上位机编写程序对摆车电机进行控制, 实践各种控制方法。学生可通过该实验平台进行控制编程实训, 系统调试, 新型控制策略的探索等。

关键词 旋转倒立摆 实验平台 控制理论

Experimental platform of programmable inverted pendulum control system

Wang Rui-jian; Fang Yu; Wang Jing-xiang

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: This paper develops a set of experimental platform for students of the inverted pendulum control system, including the host computer, slave machine based on DSP, inverted pendulum, DC motor and human-machine interface based on LABVIEW. The platform gives the inverted pendulum control routines, and students can easily carry out independent innovation experiments on the host computer with real-time observation of state parameters. It can also be used to modeling and simulation of the pendulum, and we can directly compile the host computer to control the invented pendulum motor and practice varieties control methods. Students can also carry out the programming training, system debugging, exploration of new control strategy through the experimental platform.

Key words: Rotary inverted pendulum Experiment platform Control theory

引言

作为一个典型的不稳定、高阶次、强耦合、多变量非线性系统, 倒立摆模型是控制领域内众多专家学者关注和研究的对象。通过倒立摆模型可以对已有的控制方法和理论进行模拟和验证, 从而提出一些新的理论方法¹。倒立摆是控制理论研究中的一个很好的实验平台, 为自动控制理论的教学和科研实验创造了很好的环境, 以便于用来查验某种控制方法与理论, 从而加快了新控制思想理论的发展。

由于控制理论的应用非常广泛, 该系统的研究产生的技术方法将运用在机器控制技术领域、半导体精密仪器加工、导弹拦截、人工智能领域、卫星

的飞行控制、航空对接的控制技术中姿态的控制和工业应用等各个方面有着很大的发展前景。

1 旋转倒立摆的数学模型

在忽略各种阻力和摩擦的条件下, 旋臂和摆杆可以抽象为的两个匀质杆, 简化后的旋转倒立摆如图 1 所示²。

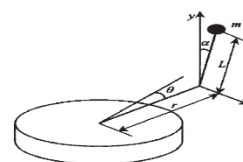


图 1 旋转倒立摆模型

Fig.1 The model of rotary inverted pendulum

*指导老师: 刘卫平

项目类型: 大学生创新项目 (2015650998)

表一 相关物理参数

Table 1 Relevant physical parameter

符号	含义
r	旋转臂长
θ	水平方向角位移
L	摆杆质心到铰链距离
α	垂直方向角位移

摆杆质心在 x 及 y 方向的速度分量为:

$$\begin{aligned} V_x &= r\dot{\theta} - L\cos\alpha(\dot{\alpha}) \\ V_y &= -L\sin\alpha(\dot{\alpha}) \end{aligned} \quad (1)$$

应用 *Lagrange* 方程可推导出系统的动态方程。以旋臂所在水平面为零势能面, 则系统的势能为摆杆的重力势能:

$$V = mgl\cos\theta \quad (2)$$

系统的动能由 4 部分组成, 包括: 旋臂在水平面内的转动, 摆杆在竖直平面内的转动, 摆杆质心沿 x 轴方向的速度、沿 y 轴方向的速度。对应的动能分量分别用 T_1, T_2, T_3, T_4 表示。

$$\begin{aligned} T_1 &= J_1 \frac{\dot{\theta}^2}{2} \\ T_2 &= J_1 \frac{\dot{\alpha}^2}{2} \\ T_3 &= \frac{m(r\dot{\theta} - L\cos\alpha(\dot{\alpha}))^2}{2} \\ T_4 &= \frac{m(-L\sin\alpha(\dot{\alpha}))^2}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

根据细杆转动惯量公式 (转动轴在杆的一端):

$$J = \frac{mR^2}{12} \quad (4)$$

式中 $R = 2L$, R 为摆杆长。

Lagrange 方程:

$$L(q, \dot{q}) = T(q, \dot{q}) - V(q, q) \quad (5)$$

L 为拉格朗日算子, q 为广义坐标, T 为系统动能, V 为系统势能。将上述量代入拉格朗日公式, 整理得状态方程

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -4G & 3rg & 0 \\ 0 & \frac{4J_1 + mr^2}{4J_1 + mr^2} & \frac{4J_1 + mr^2}{4J_1 + mr^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{-3rG}{(4J_1 + mr^2)L} & \frac{3(J_1 + mr^2)}{(4J_1 + mr^2)L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ \alpha \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{4\eta_m\eta_gK_iK_g}{(4J_1 + mr^2)R_m} \\ 0 \\ \frac{3r\eta_m\eta_gK_iK_g}{(4J_1 + mr^2)LR_m} \end{bmatrix} V_m$$

式中

$$\begin{aligned} G &= \frac{\eta_m\eta_gK_iK_mK_g^2 + B_{eq}R_m}{R_m} \end{aligned} \quad (7)$$

表 2 式中参数含义

Table 2 Meaning of the parameter

符号	含义
B_{eq}	粘性阻尼系数
η_m	电机效率
η_g	减速器效率
K_i	电机力矩比系数
K_g	电机减速比系数
V_m	电机电枢电压
K_m	电机反电势系数

由状态方程可知, 控制量为电机输入电压, 测量量为旋转臂转角 θ 和摆杆转角 α , 并得到结论: 旋转倒立摆控制系统为双输入量、单控制量闭环控制系统。

2 PID 控制器设计

PID 控制技术是几个发展比较早的控制策略中的一个, PID 控制它的算法简单明了而且具有很好的适应性与鲁棒性, 在工业控制过程中应用广泛, 在上世纪三十年代之前, 除了在最简单的环境下应用开关控制之外, PID 控制基本是唯一的控制方式。在此之后, 随着现代技术的飞速发展, 越来越多的控制方式也应运而, 生比如模糊 PID³、神经网络控制技术等等。

由上述分析可知, 旋转倒立摆的稳定控制包含两个方面, 一是平衡控制, 二是旋转臂位置控制,

因此需要设计两个控制回路分别对位置和平衡进行控制，采取平衡内环、位置外环的双 PID 闭环控制，控制回路如图 2 所示：

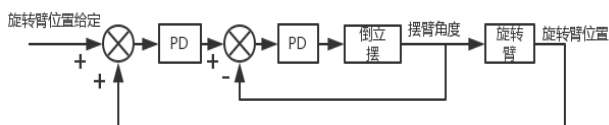


图 2 系统控制回路

Fig.2 System control loop

图中内环为摆臂角度控制环，为负反馈环节，外环为旋转臂位置控制环，为正反馈。内环的控制频率较外环高 1-5 倍。在位置控制与平衡控制的矛盾中，“位置”与“平衡”是矛盾的两个方面，而“平衡”是矛盾的主要方面，位置控制是矛盾的次要方面，因此将其置于内环，尽管外环形成了局部正反馈，但在内环负反馈的控制与倒立摆本身特性的作用下，倒立摆的位置和平衡问题得到了解决⁴。系统在 MATLAB 中建模仿真结果如图 3 所示。

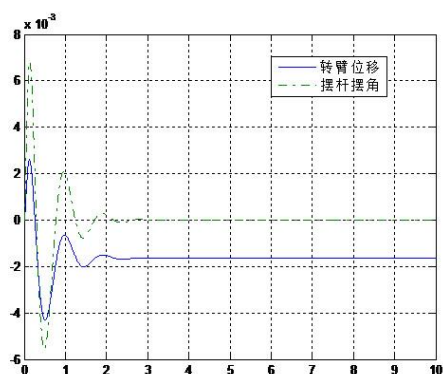


图 3 系统阶跃响应

Fig.3 Step response of the system

3 实验平台设计

旋转倒立摆如图 4 所示。倒立摆有两个平衡状态，一个是摆杆自然下垂的静平衡状态，另外一个就是摆杆竖立起来的动平衡状态。因此首先需要打破原来的自然静平衡状态，即起摆过程，使之进入倒立的动平衡状态。

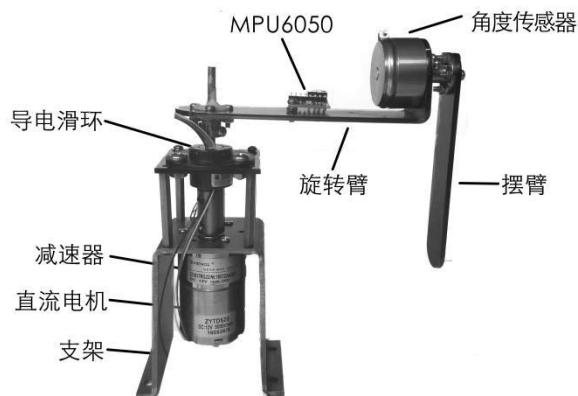


图 4 倒立摆实物

Fig.4 Actual object of reverted pendulum

倒立摆系统的输入为旋转臂的角度（即位置）和摆杆的倾斜角度期望值，传感器（导电塑料电位器和 MPU6050）在每一个采样周期中采集来自传感器的旋转臂与摆杆的实际位置信号，然后由实时控制器（TMS320F2812）按照预先设计的 PID 控制算法进行计算并输出 PWM 信号，经 TB6612 电机驱动放大后驱动电机转动，进而实现摆杆角度和旋转臂位置的闭环控制。

TMS320 F2812 是 TI 公司 C2000 系列中性价比较高的一款器件。该器件集成了丰富而又先进的外设，如 128kB 的 Flash 存储器、4kB 的引导 ROM、数学运算表、电机控制外设、串口通信外设、2kB 的 OTP ROM 以及 16 通道高性能 12 位模数转换模块，提供了两个采样保持电路可以实现双通道信号同步采样，同时具有很高的运算精度（32 位）和系统处理能力（达到 150MIPS），可广泛应用于电力自动化、电机控制和变频家电等领域⁵。

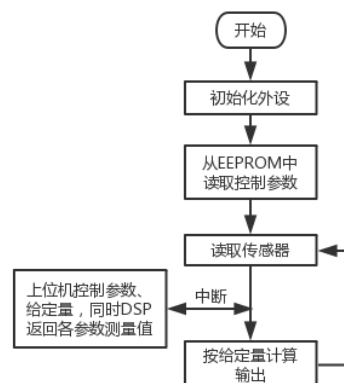


图 5 下位机软件流程图

Fig.5 Flow chart of the slave software

系统的关键执行机构是电机，电机驱动旋转臂转动，进而实现摆杆起摆和倒立。本实验平台选用

性能优异的直流减速电机作为驱动电机，既可满足转矩要求，又有控制电路简单的优点。

摆杆由导电塑料角位移传感器与旋转臂连接⁶。摆杆摆动时带动电位器转动，输出与摆杆角度一一对应的电压，此电压经滤波后送入控制器，控制器中的 AD 转换单元可将电压信号转换为数字信号，从而检测出摆杆的角度，并进行进一步的处理。

由于要求旋转臂既能够自由旋转，又保证与底座之间可靠的电气连接，避免在旋转过程中由于旋转角度过大而产生绕线现象，因而采用导电滑环来解决这个问题。此导电滑环有 6 路导线，通过其内部相互隔离的六路电刷-滑环，将随着旋转臂旋转的角度传感器、MPU6050 与位于底座上的静止的控制器可靠地连接起来，解决了这对矛盾。

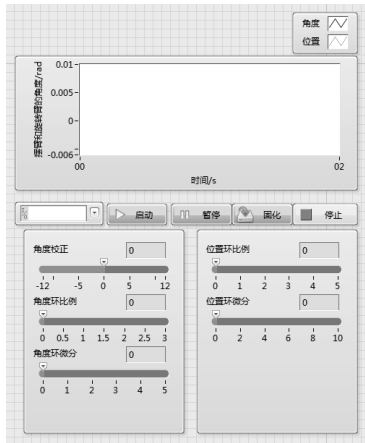


图 6 LabView 上位机界面

Fig.6 Host GUI of LabView

上位机由 LABVIEW 设计，通过串口与控制器通信⁷。在上位机的控制下，控制器将旋转臂与摆杆的角度信息传回上位机，以便实时显示倒立摆的状态，控制器对电机控制信号产生不同占空比的 PWM 信号和转向逻辑信号，电机驱动器 TB6612 再由此信号驱动电机，实现旋转臂的转动。

4 系统测试

经过测试，实验平台能快速实现起摆倒立，承受一定的干扰，并能自动跟踪给定的位置。如上图所示为实际测得的已稳定的倒立摆受到干扰时的摆角、旋转臂运动情况，可看出在受到干扰时，摆臂（蓝色曲线所示）角度正向增大，而旋转臂则以更快的速度、更大的幅度向正向转动，试图将倾斜的摆臂调整回直立状态。摆臂速度降到 0 时，旋转臂反向运动，试图回到最初给定的位置处，并形成过冲，经过一轮调整，摆臂最终回到稳定的倒立状态，旋转臂也回到给定的位置处。

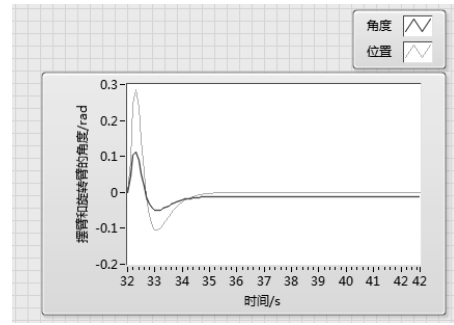


图 7 测试数据

Fig.7 Data measured

5 结语

倒立摆装置被公认为自动控制理论中的典型实验设备，也是控制理论教学和科研中控对象，运用控制手段可使之具有良好的稳定性。通过对倒立摆系统的研究，不仅可以解决控制中的理论问题，还能将控制理论所涉及到的三个基础学科：力学、数学和电学（含计算机）有机的结合起来，在倒立摆系统中进行综合应用。在多种控制理论与方法的研究和应用中，特别是在工程实践中，也存在一种可行性的试验问题，将其理论和方法得到有效的经验，倒立摆为此提供一个从控制理论通往实践的桥梁。可编程倒立摆控制系统实验开发平台包含上位机与倒立摆两总分，学生可在上位机编写控制算法，进行仿真后可直接控制倒立摆进行控制实验，实时观察实验参数，实验方便，控制精度高，结果准确，降低了学生实验开发门槛，加速了实验进程。

参考文献

1. 宋国杰.采用自适应模糊 PID 的二阶倒立摆控制[J].华侨大学学报(自然科学版),2016,37(1):74-75
2. 基于 Lagrange 方程建模的单级旋转倒立摆控制.中国工程科学.2005.Vol7.No710:11-15
3. Bryson, A. E., Luenberger, D. G. The Synthesis of Regulator Logic Using State-Variable Control[J]. Proceeding of the IEEE, 1970, 58(11):1803-1811.
4. 阮晓钢等著.两轮自平衡机器人的研究与设计 [M].2012:2
5. 高翠云,江朝晖,孙冰等.基于 TMS320 F2812 的 DSP 最小系统设计[J].电气电子教学学报,2009:83-85.
6. 李杰.导电塑料电位器的应用 [J]. 自动化与仪

表,1990:47-49.

7. 马银平,王长坤,叶志斌等.基于 LabVIEW 的串口通信系统设计[与实现[J].工业控制计算机,2015,28:61-62

动车组电气电缆使用寿命研究*

刘长英；匡水益；董克飞；周 鑫

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要: 根据 Arrhenius 热老化方程, 对动车组电气电缆的使用寿命进行预估。使用 Matlab 软件, 采用最小二乘法对热老化实验数据进行拟合并采样, 通过粒子群算法对数据进行优化处理, 建立评估模型, 最后通过 Matlab 软件编程显示界面。

关键词: 动车组 电气电缆 最小二乘法 粒子群算法 寿命评估

Study on the service life of the electric cables in EMU

Liu Changying; Kuang Shuiyi; Dong Kefei; Zhou Xin

(College of materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: According to The Arrhenius Thermal Aging Equatin,the project achieves the aim of assessing the service life of electrical cable on EMUs.Based on Matlab,the project uses the least square method to fit the experimental data and takes sample,then uses particle swarm method to optimize the data.Finally we set a systematic assessing model which can be displayed on the interface programmed by Matlab.

Key words: EMUs Electrical cable The least square method Particle swarm method Service life assessing

0 前言

进入二十一世纪以来, 轨道交通已经成为人们出行的重要交通方式之一, 因此, 轨道交通的安全运行直接影响到广大人民群众的出行安全, 而电力电缆就是影响轨道交通安全运行的关键性因素之一, 所以对电力电缆使用寿命的评估就显得至关重要。目前, 对电缆使用寿命进行评估主要采用统计法和加速试验法, 加速试验法主要依据是 Arrhenius 热老化方程, 在计算电缆老化使用寿命时, 计算量大, 工作繁琐, 不利于技术人员掌握^[1], 本文主要依据 Arrhenius 热老化方程, 用 Matlab 软件进行数据拟合, 编辑优化算法的程序, 并通过界面对评估结果进行显示, 简化了繁琐的工作量, 使技术人员便于掌握和操作。

1 基本原理

依据绝缘热老化机理和 Arrhenius 模型, 电缆绝缘材料发生热反应造成的性能退化速率与激活能的指数成反比, 与温度的倒数的指数成反比, 如下:

$$\Delta m / \Delta t = A_0 \exp[-E_a / (kT)]$$

式中: m 为产品某特征值得退化量 (我们采用电缆绝缘材料的断裂伸长率为电缆绝缘材料发生热反应造成的性能退化量), k 为玻尔兹曼数, T 为绝对温度, 为 A_0 常数, t 为反应时间, E_a 为反应激活能。

令反应材料的初始退化率为 m_0 , 对应的时间为 t_0 , 材料发生反应到时间 t_1 , 退化率为 m_1 , 当温度 T 固定是有:

$$m_1 - m_0 = \int_{t_0}^{t_1} A_0 \exp[-E_a / (kT)] dt$$

得:

*指导老师: 刘长英

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65664)

$$m_1 - m_0 = A_0 \exp[-E_a / (kT)](t_1 - t_0)$$

令 $t = (t_1 - t_0)$ ，则可得：

$$t = [(m_1 - m_0) / A_0] * \exp[E_a / (kT)]$$

当材料的退化率 m_1 变为某一退化率值 M 时，则可以认为材料完全失效，及到达使用寿命，对公式的两边取对数，可得^[2-4]：

$$\ln t = \ln[(m_1 - m_0) / A_0] + E_a / (kT)$$

令 $A = \ln[(m_1 - m_0) / A_0]$ ， $B = E_a / k$ ，则可得：

$$\ln t = A + B/T$$

其中， A 、 B 为未知参数。上式表示了电缆绝缘材料热老化寿命 t 与热老化温度的关系，即热老化寿命的对数与热老化温度的倒数呈线性关系，称为 Arrhenius 方程的衍生方程^[5]。

参数 A 表示电缆绝缘材料在高温热老化试验中退化率的变化量 $m_1 - m_0$ ，（即断裂伸长率的变化量）与常数 A_0 的比，在取对数。参数 B 表示热老化试验中反应的活化能与玻尔兹曼常数 K 的比。

2 热老化试验

在电缆老化过程中，绝缘材料的分子链不断降解，断裂伸长率也不断降低，因此，断裂伸长率客观的反应了绝缘材料的热老化反应程度。

选取电力电缆绝缘材料为热老化试验材料，由以下公式计算出电力电缆绝缘材料的断裂伸长率。

$$k = k_1 / k_0; k_1 = \Delta l_1 / l_0 * 100\%;$$

$$k_0 = \Delta l / l_0 * 100\%$$

式中： k 为断裂伸长保留率， k_1 为老化后实验材料的断裂伸长率， k_0 为初始实验材料断裂伸长率平均值。 l_0 为式样标线间距， Δl_1 为老化后式样断裂前标线间距变化值， Δl 为式样断裂前标线间距变化值^[6-7]。

为了短时间实现电缆绝缘老化过程，实验室采用高温加速绝缘材料热老化，实验材料主要选取了 204025/A，152083/B，152082/A，264080/C，

152002/C，-LL/DI，101025/A，162001/A，352080/A 等九种动车组常用的电缆，实验数据：

表 1 135℃热空气老化后断裂伸长率保留率/%

Table1. 135 °C hot air aging elongation retention rate after aging /%

型号 时间	0h	216h	456h	648h	984h	1104h
204025/A	100	97.11	89.64	78.12	45.93	25.17
152083/B	100	98.93	91.78	85.42	58.12	36.18
152082/A	100	96.19	88.04	76.47	42.15	28.49
264080/C	100	91.24	90.68	69.94	35.69	17.12
152002/C	100	98.92	92.46	87.52	60.43	38.14
-LL/DI	100	96.59	89.72	80.43	55.96	34.29
101025/A	100	99.24	94.27	89.26	70.43	51.28
162001/A	100	96.48	89.11	74.29	40.96	30.24
352080/A	100	95.19	87.64	75.29	41.18	20.64

表 2 150℃热空气老化后断裂伸长率保留率/%

Table1. 150 °C hot air aging elongation retention rate after aging /%

型号 时间	0h	144h	192h	264h	337h	408h
204025/A	100	90.02	78.14	60.93	47.15	28.17
152083/B	100	91.59	80.57	62.84	49.26	30.92
152082/A	100	88.43	71.84	58.26	40.18	25.43
264080/C	100	85.19	66.43	49.15	35.29	19.96
152002/C	100	92.43	80.96	64.19	52.76	39.18
-LL/DI	100	91.59	78.63	59.17	46.64	29.54
101025/A	100	95.28	87.14	75.64	55.84	46.74
162001/A	100	90.96	80.15	64.19	50.64	31.72
352080/A	100	89.64	76.19	60.47	47.26	29.54

表 3 165℃热空气老化后断裂伸长率保留率/%

Table1. 165 °C hot air aging elongation retention rate after aging /%

型号 时间	0h	24h	48h	72h	96h	120h
204025/A	100	93.77	82.46	70.18	47.82	30.47
152083/B	100	94.82	85.96	75.46	60.72	41.83
152082/A	100	91.46	78.49	68.17	45.62	28.59
264080/C	100	89.18	77.42	64.92	44.13	26.59
152002/C	100	95.78	87.14	80.29	71.23	54.82
-LL/DI	100	94.77	86.24	74.18	61.05	40.29
101025/A	100	97.14	92.18	88.65	79.24	67.28
162001/A	100	92.57	83.14	71.29	49.28	31.84
352080/A	100	90.48	80.22	65.41	41.29	30.85

表 4 180℃热空气老化后断裂伸长率保留率/%

Table1. 180 °C hot air aging elongation retention rate after aging /%

型号 时间	0h	12h	24h	36h	48h	60h
204025/A	100	91.78	66.85	38.17	20.43	18.69
152083/B	100	92.06	67.14	39.85	21.99	20.43
152082/A	100	90.47	65.72	36.82	19.74	16.43
264080/C	100	87.64	60.41	35.29	18.14	15.42
152002/C	100	92.78	69.14	41.25	25.41	20.79
-LL/DI	100	91.92	67.44	39.02	20.79	19.14
101025/A	100	94.77	70.28	45.29	31.46	25.94
162001/A	100	91.11	67.42	39.46	22.18	19.06
352080/A	100	89.47	61.26	37.26	19.17	18.02

实验数据处理以 101025/A 型号电缆为例,其余型号的数据处理过程相同。

使用 Matlab 软件,以老化时间为横坐标,以断裂伸长率为纵坐标,对 101025/A 型号电缆的热老化数据进行曲线拟合,拟合结果如图 1。按断裂伸长保留率要求,截取不同实验温度下电缆相应的失效时间,即老化时间,假设当电缆绝缘材料的断裂伸长保留率为 70%时,电缆到达相应的失效时间,通过 Matlab 软件截取不同实验温度下电缆的相应失效时间,截取数据如表 5。

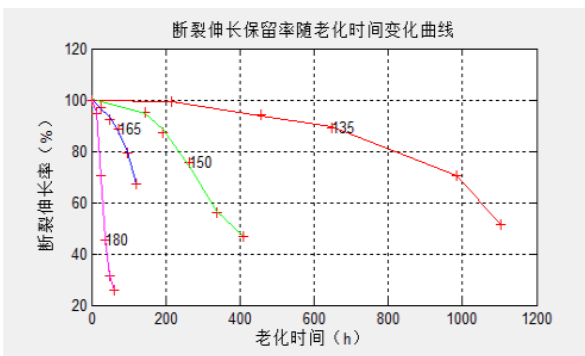


图 1 不同实验温度下 101025/A 电缆断裂伸长保留率随老化时间的变化曲线

Fig.1 Curve of elongation at break of 101025 / A cable at different experimental temperatures with aging time

表 5 断裂伸长保留率为 70%时 101025/A 电缆在不同实验温度下老化时间

Table 5 Erosion elongation retention rate of 70% 101025 / A cable at different experimental temperatures aging time

温度/°C	135	150	165	180
时间/h	986.163	281.352	115.386	23.9938

3 优化算法及优化误差分析

3.1 粒子群算法

已知四种不同实验温度 T 和不同实验温度下断裂伸长保留率为 70%时的老化时间 t,根据 Arrhenius 方程的衍生方程:

$$\ln t = A + B/T$$

可以优化求解未知参数 A 和 B,优化方法采用粒子群算法。

粒子群算法是将群体中的个体看作是 D 维空间上以一定的速度运动的粒子,所有粒子都有一个由被优化函数决定的适值,粒子运动的速度决定粒子的运动方向和位置,并且向着自身历史最佳位置和群体历史最佳位置聚集。粒子群算法初始化是一群随机粒子,通过不断的迭代寻找最优解。

算法主要步骤:

(1) 初始化,设定学习因子 c_1 、 c_2 ,最大进化代数 $\max DT$ (最大迭代次数),初始化群体数目 N,空间维数 D (未知数个数)。

(2) 计算每个粒子的适应度值 $F_{(xi)}$ 。

(3) 将当前适应度值 $F_{(xi)}$ 与个体历史最佳位置 P_{best} 比较,若 $F_{(xi)}$ 优于 P_{best} ,置 P_{best} 为当前 $F_{(xi)}$,并置 P_{best} 为当前粒子的位置。

(4) 将当前适应度值 $F_{(xi)}$ 与群体历史最佳位置 g_{best} 比较,若 $F_{(xi)}$ 优于 g_{best} ,则置 g_{best} 为当前 $F_{(xi)}$ 。

(5) 更新粒子的速度 V_i 和位置 X_i ,粒子的速度更新公式和位置更新公式为:

$$V_{id} = w \times V_{id} + c_1 \times r_1 \times (P_{id} - X_{id}) + c_2 \times r_2 \times (P_{gd} - X_{id})$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id}$$

公式中: w 是惯性权重, c_1 、 c_2 为学习因子, r_1 、 r_2 为固定区间内的随机数, P_{id} 为 d 粒子的个体最佳位置, P_{gd} 为群体最佳位置, X_{id} 为 d 粒子当前位置。

(6) 如果满足结束条件或达到最大迭代次数,则结束运算,否则从 (2) 循环迭代^[8-11]。

3.2 参数设置及运行结果

算法初始化参数设置：

$C1=C2=2.8, D=2, \max DT=300, N=400$

适应度函数：

$sum=sum+abs(A1(j)*x(2)+x(1)-B1(j));$

在式中 sum 为函数返回值，初始化为 $sum=0$ ， $x(1)$ 、 $x(2)$ 为优化参数， A 为不同实验温度组成的数组 $A=[180 \ 165 \ 150 \ 135]$ ，定义 B 为不同试验温度下断裂伸长保留率为 70% 时老化时间组成的数组 $B=[27.37 \ 91.74 \ 300.87 \ 907.35]$ ，则适应度函数中 $A1=1./(A+273.15)$ (1 为单位数组)， $B1=log(B)$ 。

算法运行结果：

$x(1)=28.490764, x(2)=14442.220376$ 。

则可以得到 101025/A 型电缆的寿命评估方程为：

$Lint=28.490764+14442.230376*(1/T)$ 。

假设 101025/A 型电缆的实际工作温度为 75℃，以断裂伸长保留率为 70% 作为电缆寿命的终点，代入上式对 101025/A 型电缆做使用寿命评估，结果为：

$t=446801h=18616.7$ 天=51.0047 年。

3.3 误差分析

将实验温度 135℃ 和断裂伸长保留率为 70% 时 101025/A 的实验数据带入程序运行，运行结果如图 2。

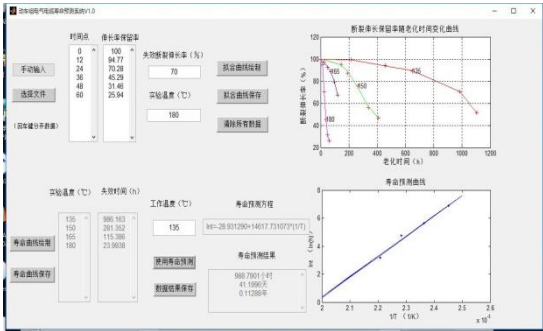


图 2 101025/A 型电缆在 135℃ 断裂伸长保留率为 70% 时的运行结果

Fig 2. 101025 / A cable at 135 °C elongation retention rate of 70% of the operating results

程序运行结果显示 101025/A 型电缆在 135℃ 断裂伸长率为 70% 时拟合曲线得到的使用寿命为 986.163 个小时，经过粒子群优化算法后估算的 101025/A 型电缆的使用寿命为 988.7901 个小时，可见优化结果与实际结果存在误差。经过多组数据的多次运行计算，误差约为 1%，并且温度越低误差越小。

误差的存在原因个主要有：

- 数据拟合使用的 Matlab 软件对实验所得数据

进行拟合曲线，然后在拟合曲线上截取断裂伸长率对应的使用寿命数据，这项过程中不可避免会存在误差。

- 优化算法采用的是粒子群算法，优化算法本身就具有一定的不确定性，因此也会导致一定的误差。
- 电缆的热老化实验仅仅在 135℃、150℃、165℃、180℃ 四组温度下进行，得到的数据相对较少，优化算法仅能根据四个点来进行优化，相对来说就存在一定的不确定性，导致存在误差。

4. 系统界面及功能描述

为了避免繁杂的操作，减少操作过成，便于使用，设计软件操作界面如图 3。

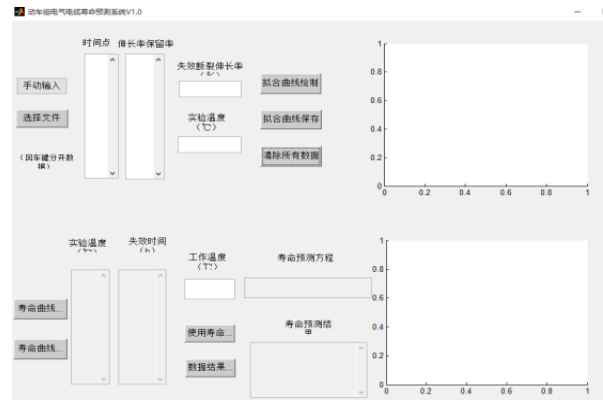


图 3 软件操作界面图

Fig 3. software operation interface map

4.1 实验数据处理功能

实验数据的输入有手动输入和文件输入 (txt 和 excel) 两种，手动输入数据时，数据点之间用回车隔开，数据文件同样要求 txt 文本数据分为两列，分别是时间数据点和断裂伸长保留率数据点。

实验数据曲线拟合可以拟合不同实验温度下的电缆断裂伸长保留率和对应实验时间的关系曲线，将不同温度实验下的拟合曲线绘制在同一坐标系内，可以清晰的看出不同温度下电缆断裂伸长保留率随实验时间变化的趋势，如图一所示。

通过实验数据拟合出断裂伸长保留率随时间变化的曲线，按断裂伸长保留率要求，截取不同实验温度下电缆相应的失效时间，即老化时间，截取的时间数据在相应的数据显示区显示。

4.2 电缆寿命预测与方程拟合功能

通过对数据的处理最终可以得到电缆寿命的拟合曲线与相应的拟合方程，通过拟合方程可以对不同工作温度下的电缆寿命进行预测，输入电缆预期

工作温度，即可得到相应的电缆寿命时间。

4.3 数据保存及清除功能

本软件设计流程中，共有两个拟合曲线坐标系，拟合曲线作为中间结果和最终结果，要求可以根据实际需要进行选择性存储，存储格式默认为 JPG 图片格式。软件最终结果为电缆拟合方程与电缆一定温度下的寿命，根据实际需要进行中间数据点和最终拟合方程及电缆寿命结果的保存，默认为 txt 文本格式，各结果用回车换行符隔开，数据文本保存如图 4。

文件(F)	编辑(E)	格式(O)	查看(V)	帮助(H)
实验温度	135℃	150℃	165℃	180℃
失效时间	986.163小时	281.352小时	115.386小时	23.9938小时
拟合方程	ln t = -28.490764 + 14442.220376 * (1/T)			
工作温度	75℃			
预测寿命	446801小时=18616.7天=51.0047年			

图 4 数据 TXT 格式保存结果图

Fig 4 . Data TXT format to save the results

本软件数据清除功能用于某一型号电缆预测完毕，进行下一型号电缆预测，或者中间输入操作失误等，可以进行数据清除，方便再次进行电缆寿命预测。

参考文献

1. 张道朋, 张山弟, 张晓强, 李斌寅 电缆寿命的快速计算方法[J] 第十七届中国科协年会——分7 综合轨道交通体系学术沙龙论文集 2015 U269 P5.
2. 陈东, 张鹏, 程伟, 黄敏建 电力电缆绝缘老化寿命评估模型的研究[J] 光纤与电缆及其应用技术 2015 第 5 期 P37-38, 46.
3. 张铁岩, 王承民, 孙秋野, 张化光 一类基于改进 Weibull 分布模型电力电缆寿命评估方法[J] 中国工程科学(发文年影响因子: 1.1709) 2008 第 10 卷 10 期 P42-4.
4. 赵聪 对高压交联聚乙烯电缆的寿命评估及展望[J] 电气技术 2014 第 4 期 P60-65.
5. 俞钟祺 电缆工作寿命的评定方法[J] 天津商学院学报 2002 第 22 卷第三期 P32-34.
6. 俞瑾华, 于宝明, 边筱春, 欧阳本红, 景钰, 李巍巍, 李建英. 基于显著性检验法的 XLPE 电缆绝缘老化参量提取技术研究[J]. 华东电力, 2013, (06):1279-1282.
7. 周辐捷, 李红雷, 王琦梦, 余盈荧, 李建英. 加速热老化对

XLPE 电缆绝缘力学性能和介电性能的影响研究[J]. 华东电力, 2014, (08):1606-1610.

8. 田野. 粒子群优化算法及其应用研究 [D]. 吉林大学, 2010.
9. 徐青鹤. 改进粒子群算法及其应用研究 [D]. 杭州电子科技大学, 2009.
10. 方峻. 粒子群算法及其应用研究 [D]. 电子科技大学, 2006.
11. 黄婉平. 自适应粒子群优化算法及其应用研究 [D]. 浙江大学, 2006.

动车组空气开关使用寿命模拟与评估研究*

刘长英；刘振博；李玉翔；李 德

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 无论是住宅中的家庭电路, 还是工业上的生产线路, 甚至电车、船舶和航空器等各类交通工具上的电路系统, 都离不开空气开关的控制和保护, 空气开关的质量安全和使用寿命就必须得到相当的重视和严格的保障。本课题对空气开关进行了机械寿命试验和电寿命试验。硬件方面, 对空开试验电源、阻抗负载等的要求设计了试验主电路; 设计了以 PLC 控制的操作机构进而实现对空开合分闸操作的驱动电路; 基于数据采集卡的状态监测电路, 在空开电寿命试验过程中实时检测电压和电流。软件方面, 基于 LAVIEW, 设计了寿命试验控制软件, 完成试验参数的设置, 以及装置的调试和寿命试验的自动进行等功能。试验装置能实现空开的故障自动检测, 可以进行空开的寿命试验, 并提高了试验效率。为开展空开可靠性在线预测的研究提供了一种有效的试验手段。

关键词: 空气开关 寿命试验 状态监测 故障检测

The service life of the emu air switch simulation and evaluation research

LIU Chang-ying; LIU Zhen-bo; LI Yu-xiang; LI de

(College of materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Both family circuit of residential and industrial production lines, even trains, ships and aircraft and other kinds of even the circuit on the transportation system, cannot leave the air switch, so the control and the protection of the quality safety and the service life of the air switch must be attached great importance to. In this topic, the mechanical operating life test and the electrical life test of the Air switch is performed. In the aspect of hardware, according to the open source, impedance load test are the requirements of the test of main circuit is designed, Design for PLC control of operating mechanism to realize the drive circuit of empty close break-brake operations. Based on condition monitoring circuit of data acquisition card, detect voltage and current in the process of open electrical life test In real time. In the aspect of software, Based on the LAVIEW, Life test control software is designed. It has a test parameter Settings, as well as the device debugging and life test automatically, and other functions. The test device can realize open automatic fault detection, do the operating life test of air switch and improve the test efficiency. It is reliability online prediction of open research provides an effective means of test.

Key words: Air switch Operating life test Condition monitoring Fault detection

0 前言

随着城市轨道交通的快速发展, 特别是高铁正以超常规的速度发展, 以及城市轨道线路的不断延伸, 覆盖范围越来越广, 影响的区域人群也将越来越多。如何确保安全、正点、快捷、舒适的服务标准中的舒服, 提高服务质量, 那么如何对城市轨道运营所产生的电器损耗加以预防和控制, 对提高人民的生活质量

就显得尤为重要。目前, 全球轨道交通技术的飞速发展, 人们生活和工作发生了日新月异的变化。空气开关在轨道交通车辆上的应用也愈加广泛。空气开关, 又名空气断路器^[1-2], 是断路器的一种, 在低压^[3]配电网和电力拖动系统中非常重要的一种电器。它集控制和多重保护功能于一身。除了能完成接触和分段电路之外, 它也能对电路和电气设备发生的短路、严重过载以及欠电压等进行保护, 或者用于不频繁的启动电机。无论是住宅中的家庭电路, 还是工业上的生产

*指导教师: 刘长英

项目类型: 大学生创新项目 (2016B65643)

线路,甚至电车、船舶和航空器等各类交通工具上的电路系统,都离不开空气开关的控制和保护。空气开关在直接地控制和保护电路系统的同时,也间接地保护着生产生活的安全,保护着人民的生命安全。所以,空气开关的质量安全^[4]和使用寿命^[5-8]就必须得到相当的重视和严格的保障。因此,如何从各方面较为准确地综合评估轨道交通空气开关的使用寿命就是本次研究与设计的主要课题。

1 系统总体设计

空气开关寿命试验装置结构如图 1, 总体主要包括上位机、驱动电路、检测电路以及主电路 4 个模块。

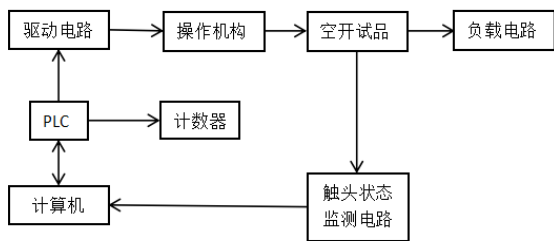


图 1 空气开关寿命试验装置结构图

Fig.1 Air switch life test device structure

运用 PLC 控制驱动电路, 驱动电路在控制开关操作机构来实现空气开关试品的合分闸操作, 操作机构尽可能模拟手动操作, 使开关无冲击地操作。这是整个机械操作过程, 再用触头状态监测电路监测空气开关试品的电流电压的相关电气信息参数, 进行采集、分析和处理, 反馈给计算机, 计算机根据反馈的信息对 PLC 做出指示控制空开试品。以此循环直至监测电路检测到电路故障, 计数器记录其循环过程。根据得到的信息在计算机上绘制空气开关使用寿命曲线。

2 系统硬件设计

2.1 主电路设计

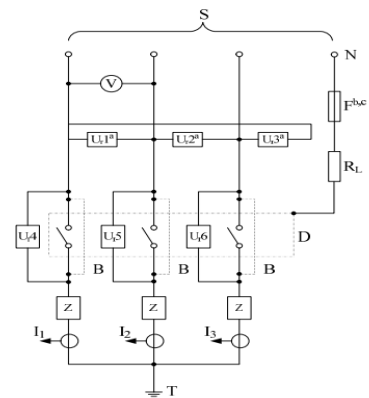


图 2 主电路

Fig.2 Main circuit

S—电源; V—电压测量器; $U_1 \sim U_6$ 电压器

N—电源中性点; R_L 限制故障电流的电阻器;

Z—负载阻抗; D—开关试品; $I_1 \sim I_3$ —电流传感器;

B—整定用临时连接线; T—接地点;

A、 $U_1 \sim U_3$ 可以改为连接相与中性点之间。

B、如只要一个试品试验, 电路可直接精简为一条支路。

C、直流情况下, F 应该接电源负极端。

空气开关试品在试验过程中接通条件和分断条件相同, 其电寿命试验的主电路与其进行验证接通和分断能力试验的电路相同。

试验时空开试品工作在正常的情况, 所以模拟负载阻抗 Z 应接在试品之后, 这样, 在试验过程中触头间存在电弧的情况下, 试品各极间的电压将接近于电路的额定电压, 使相间飞弧的条件接近实际情况。反之, 如果将 Z 放在试品之前, 则在试验时试品各极的电压要比额定电压低的多, 从而减少了产生飞弧的可行性, 降低了考核条件。

根据电寿命试验中规定的电压值、电流值及功率因数, 负载电阻 R 和负载电感 L 可以由公式求得:

$$R = \frac{u}{\sqrt{3}I} \cos \phi (\Omega) \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{314} \frac{u}{\sqrt{3}I} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} (H) \quad (2)$$

式中 U 为电寿命试验条件中规定的接通或分断电压; I 为电寿命试验条件中规定的接通或分断电流; $\cos \phi$ 为电寿命试验条件中规定的接通或分断时电路的功率因数。

2.2 状态监测设计

本试验装置可以实时采集试验空气开关的电压电流值, 并能够根据电压电流值得变化情况迅速

判断出空开试品是否发生故障。这要求数据采集的速率。另外得到的数据要传送给上位机程序，上位机根据接收的信息，PLC 发出指令，PLC 再发出控制信号传递给驱动电路，实现空开试品分合闸。本试验选用简单的数据采集卡，同时提供包括 A/D 转换、数字量输入、数字量输出等常用的检测和控制功能。所用数据采集卡如图 3。

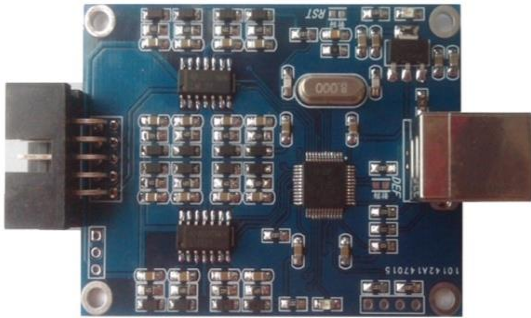


图 3 数据采集卡实物图

Fig.3 Data acquisition card physical figure

用该数据采集卡对工作时的空气开关的电流电压就行实时采集，并将所采集的电压电流数据传送给上位机，能够绘制出空开工作时电流电压的变化图，为上位机发出控制指令提供数据支持。

2.3 驱动电路设计

驱动电路接收到上位机发出的指令，并将指令转换为对应的电信号，从而驱动相应的器件做出机械动作。在空气开关寿命试验中，驱动电路主要是来实现空开的合分闸操作。使用 PLC 西门子 2000，控制舵机，来实现空气开关的合分闸。PLC 西门子 S7-200 如图 4 所示。



图 4 S7-200 实物图

Fig.4 S7-200 Real figure

上位机根据所采集到的空气开关工作时的电流电压数据变化情况，发出指令，传送给西门子 2000，PLC 将接受到的指令转换成对应电信号，控制舵机旋转的角度，使空开合分闸从操作结构做出相应的机械动作。实现空开的合分闸。空开正常工作时，连续实现合分闸动作，而空开故障时，立即停止工作。

3 系统软件设计

3.1 系统软件

空气开关寿命试验装置的系统软件在 Windows 操作系统下，基于 LAVIEW，设计了友好的人机交互界面。用户只需要按照试验要求输入相对应的试验参数，并参考试验软件使用方法，就能够对式样装置进行操作。系统软件操作简单明了，易于用户熟悉和掌握。空开寿命试验系统主界面如图 5 所示。



图 5 空气开关寿命试验装置系统软件主界面

Fig.5 Air switch device life test system software main interface

3.2 试验参数设定

系统软件包括参数设置、寿命试验以及版本信息。参数设置主要是对机械寿命试验和电寿命试验进行试验要求参数数据的设置。机械寿命试验参数设计界面如图 6 所示。



图 6 机械寿命参数设置界面

Fig.6 Mechanical life parameter Settings interface

电寿命试验参数设置界面如图 7 所示。与机械寿命相比，参数设置多了电流电压参数。

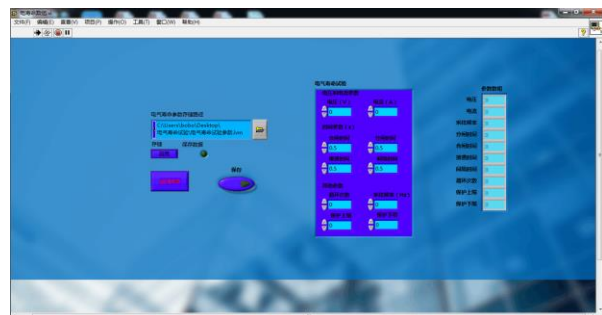


图 7 电寿命参数设置界面

Fig.7 Long-life electrical parameter Settings interface

参数设置主要包括合分闸的频率、保护上下限以及对应的电流电压设置。并且能够设置试验数据的存储地址。

3.2 试验界面

对应的机械寿命试验界面和电寿命试验界面如图 8 和图 9 所示。



图 8 机械寿命试验界面

Fig.8 Mechanical life test interface

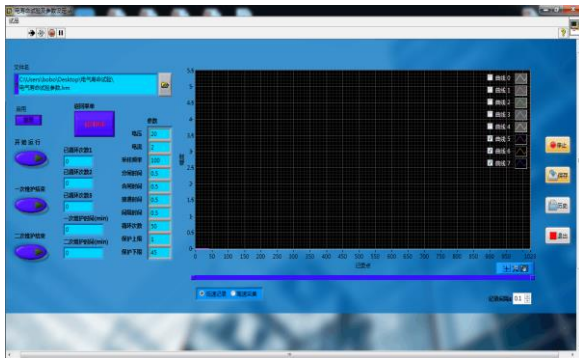


图 9 电寿命试验界面

Fig.9 Electrical life test interface

试验界面都会显示之前参数设置界面所设置的各个对应参数，并且设有暂停维护按钮以应对空气开关试品的试验维护要求。还设有数据存储按钮。能够更改数据存储地址。电寿命试验界面与机械寿命试验界面相比，多了电流电压的实时监测坐标图。能够实时记录空气开关工作时电流电压的变化情况，并能将相应的数据存入文件中。

4 性能测试与结果

按上述方案设计完成了空气开关寿命测试装置样机。利用 LABVIEW 编程设计了用户操作界面，实现了上位机与数据采集卡以及 PLC 的实时通讯，数据存储和人机交互，系统显示直观，使用简单方便。对空开试品进行寿命试验，空开工作电流电压变化情况如图 10、图 11 所示。

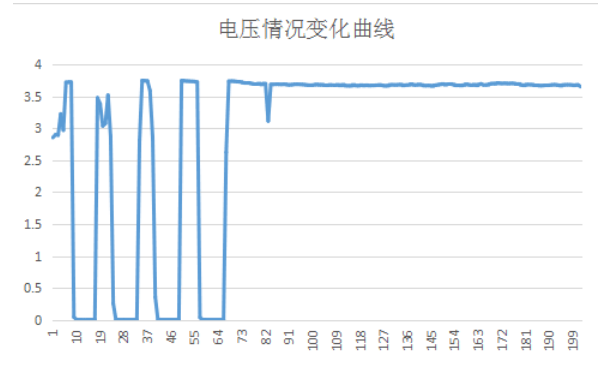


图 10 电压变化图

Fig.10 Voltage variation

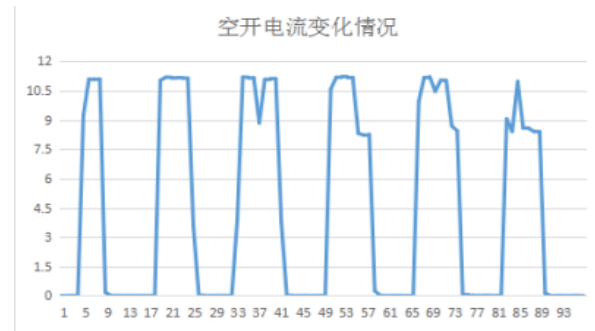


图 11 电流变化图

Fig.11 Current variation

软件实时记录空气开关工作时电流电压的变化情况。图 10 和图 11 横坐标为数据采集的次数，纵坐标为对应的电流值和电压值。根据电流电压变化能分辨空气开关是否故障。图 10 中，1 到 60 多次数据采集显示空开正常工作。64 次后所采集的数据表征空开故障，一直开断。电流值和电压值相互对应，也能判断故障。

5 结束语

空气开关是保护类电器，负责接通、承载以及分断正常条件或非正常条件下的电流。空开寿命试验^[9]是验证空开操作性能能力的试验项目，是检验其质量的重要方法。通过对空开工作时电流电压进行监测，能使试品合分闸故障自诊断，试验数据自动保存，具有一定的自动化。该空气开关寿命试验装置设计思想合理，基本满足寿命试验要求，提高了试验效率。能够进行空气开关的寿命试验。具有一定的实用性。但是整个试验较为粗糙，试验有待完善。例如试验环境（湿度、温度、空开试品的固定等）对空气开关寿命的影响。对于以后的研究，应该将这些因素都进行详细的分析，使得整个试验更加严谨。

参考文献

1. 陆俭国. 低压电器可靠性概况及其发展. 电工技术杂志, 2004.1:5-8.
2. 陆俭国, 李文华. 低压电器的可靠性试验与型式试验技术. 河北工业大学学报, 2004, Vol.33No.2:1-8
3. 陆俭国, 张乃宽. 国外低压电器可靠性研究与应用工作概况. 低压电器, 1996, No.1:7-10.
4. 李利巧. 低压电可靠性试验数据统计分析: [硕士学位论文]. 河北工业大学, 2007.
5. 杜太行, 朱俊乔, 王金伟, 等. LabSQL 在电寿命试验设备中的应用. 低压电器, 2010, No.12: 57-6.
6. 吾文明, 沈建位, 汪家养. 一种智能型断路器寿命试验设备的研制. 电工电气, 2009, No.5:54-56.
7. 王鹏. 一种新型断路器电寿命在线监测系统. 电力系统自动化, 2009, Vol.33No.17:109-111.
8. 徐炜. 基于 Rogowski 线圈的断路器电寿命监测系统的研究: [硕士学位论文]. 华北电力大学, 2009.
9. 孟凡钟. 真空断路器实用技术. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.

同步仿生软抓取机械臂的研究*

孙德立; 王司潮; 张 晶

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 同步仿生软抓取机械臂是现如今科研以及工业领域的热点, 本设计利用固定在臂环上的加速度传感器采集人手臂运动信息, 由单片机对采集信号进行模数转换与滤波处理, 运用控制算法生成可以控制舵机运动的 PWM 波信号并输出至伺服舵机, 以此来实现四自由度机械臂的同步仿生运动的实验装置。

关键词: 同步运动 数据采集 稳定抓取

Research on synchronous bionic soft grasping manipulator

Sun Deli; Wang Sichao; Zhang Jing

(College of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Synchronous bionic soft grabbing manipulator is now a hot spot in the field of industry and scientific research, the design of the use of acceleration sensor acquisition of human arm motion information in the fixed armlet, the signal for analog-to-digital conversion and filtering processing by the MCU, using the control algorithm to generate PWM wave motion control signal and output to the servo actuator, experimental device in order to realize the synchronous movement of bionic robot arm with four degrees of freedom.

Key words: Synchronous motion Data acquisition Stable grasp

0 前言

随着社会发展和科学进步, 机械臂越来越成为人们研究的热点, 应用也愈加广泛。而传统机械臂存在应用复杂, 设计繁琐等不足, 针对这种现象设计一套由 MCU、加速度计、直流舵机等构成的仿生机械^[1], 并进行试验验证。

本设计利用 stm32 单片机^[4]编程实现对三轴加速度传感器的数据采集, 通过对数据的整合处理得到人手臂的具体姿态。通过采集压电薄膜的电荷信号找出能够稳定夹持的最小正压力, 并且通过舵机控制实现人体手臂与机械臂的动作同步^[2]。

1 系统总设计

该系统共分为三个模块如图 1.1 所示, 分别为采集模块、控制器模块以及舵机控制模块。采集模块根

据人手臂的运动角度, 传感器输出不同的数据, 输出的数据经过卡尔曼滤波后整合成手臂姿态的角度值输出至单片机。单片机经过运算后产生用于控制舵机的角度值, 由单片机将计算好的角度值发送到舵机控制板中控制机械手臂的姿态。

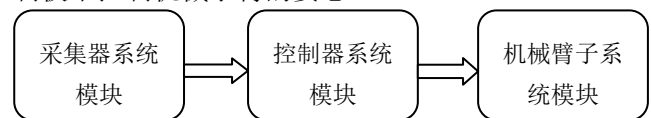


图 1.1 系统总设计框图

Fig1.1 Flow Chart of Overall Design

同时前端使用压电薄膜^[3]以及压敏电阻来判断抓取时的压力和是否发生抓持不稳定或者相对滑动, 随后经单片机处理后计算出合适的夹持力度。

1.1 姿态采集器系统模块

本设计采用 MPU6050 六轴传感器, MPU6050 六轴传感器芯片集成了 3 轴 MEMS 陀螺仪和 3 轴 MEMS 加速度计, 每个轴对应有一个 16 位 AD 转换器, 测量范围达 +/-16g, 其高分辨率(3.9mg/lsb)能够

* 指导老师: 栾卉

项目类型: 大学生创新项目 (2016A65290)

测量不到 1.0° 的倾斜角度变化，芯片正常工作时，陀螺仪和加速度计分别采集 x 轴 y 轴和 z 轴的电压值，然后通过 AD 转换，转换成数字信号，最后通过 I2C 总线传送到控制芯片，但此时得到的值并不是实际的角度和角速度值，还必须经过一定的比例关系进行转换，才能得到实际的角度和角速度值，其电路如图 1.2 所示。

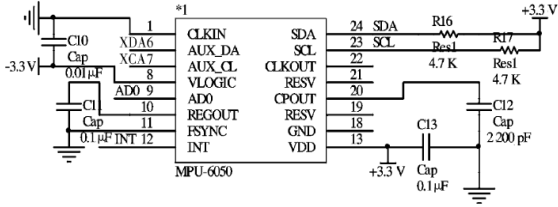


图 1.2 MPU6050 接口电路

Fig1.2 Interface Circuit of MPU6050

为获得准确的手臂倾角值，需对加速度计和陀螺仪的输出值进行融合，系统采用一种简易的卡尔曼滤波方法进行数据融合，卡尔曼滤波器是一种递归的估算，例如要估算 X 时刻手臂的实际角度值，首先要根据 X-1 时刻的角度值预测得到 X 时刻的角度值，再根据 X 时刻的预测角度值和高斯噪声的方差，进行递归运算，直到获得最优的手臂角度值。

1.2 压力传感模块

压力传感器分为两部分。第一部分采用 FSR400 压力感应电阻采集正向压力。



图 1.3 FSR400 压力感应电阻

Fig1.3 FSR400 Force Sensing Resistor

Force Sensing Resistor 压力感应电阻是著名 Interlink Electronics 公司生产的一款重量轻，体积小，感测精度高，超薄型压力传感器。当压力感测电阻器感应面的压力增加时，其阻抗就会减少，从而取得压力数据。其可用于机械手末端夹持器感测夹持物品有无，仿生机器人足下行走地面感测，哺乳类动物咬力测试生物实验，应用范围及其广泛。其物理特性如图 1.4 所示。

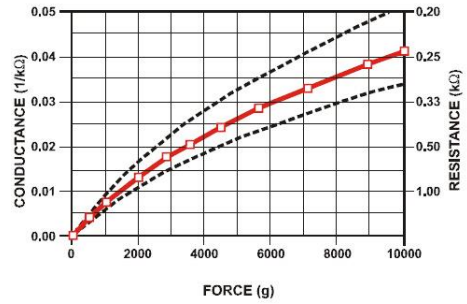


图 1.4 FSR400 压力特性曲线

Fig1.4 FSR400 Pressure Characteristic Curve

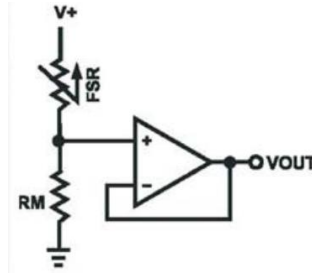


图 1.5 电压跟随器

Fig1.5 Voltage Follower

使用 FSR400 采集信号使用的放大电路。使用 $R_m=10k$ 运算放大器选择 Op07，Op07 芯片是一种低噪声，非斩波稳零的双极性运算放大器集成电路。由于 OP07 具有非常低的输入失调电压，所以 OP07 在很多应用场合不需要额外的调零措施。OP07 同时具有输入偏置电流低（OP07A 为 $\pm 2nA$ ）和开环增益高（对于 OP07A 为 $300V/mV$ ）的特点，这种低失调、高开环增益的特性使得 OP07 特别适用于高增益的测量设备和放大传感器的微弱信号等方面。因此使用 Op07A 作为前级压力信号的放大器。

第二部分拟使用 PZT 压电陶瓷作为滑动传感器。但是由于机械结构不稳定，空间干扰过强，电机运行产生的噪声较大等问题。最后选择了灵敏度稍差但是抗干扰能力更强的 PVDF 压电薄膜。

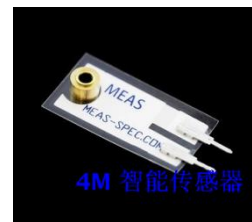


图 1.6 FSR400 压力感应电阻

Fig1.6 FSR400 Force Sensing Resistor

PVDF 在受到压力或拉伸时会在两表面产生电荷，通过电荷的变化情况可分辨轻触或是滑动。本项目应用 PVDF 压电薄膜设计制作一种新型触滑觉识别传感器，并设计实现其调理电路。将微弱的电荷信号转换为直观的电电压信号来反映薄膜的电荷量

变化情况，进而实现触滑觉的识别。

其调理电路如图 1.7 所示：

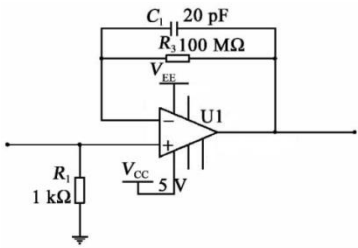


图 1.7 电荷放大器

Fig1.7 Charge Amplifier

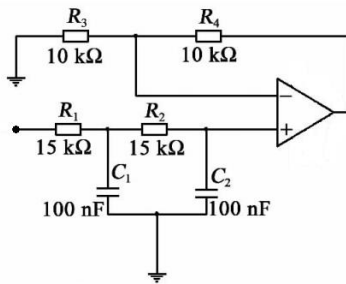


图 1.8 100Hz 低通滤波电路

Fig1.8 100Hz Low Pass Filter Circuit

1.3 机械臂舵机控制模块

机械臂子系统由机械臂框架、舵机和舵机驱动板组成。舵机驱动板使用 PCA9685 16 路舵机驱动板



图 1.9 PCA9685 舵机驱动板

Fig1.9 PCA9685 Servo Drive Plate

PCA9685 是一款 I2C 总线接口的 16 位 PWM 控制器，每个 PWM 输出都有自己 12 位分辨率(4096 级) 固定频率的独立 PWM 控制器。该 PWM 控制器运行在 40Hz 到 1000Hz 范围的频率下，占空比在 0% 到 100% 范围内可调，用于设置舵机旋转到特定的角度。由 stm32 生成控制信号经由 IIC 总线发送至控制板控制舵机的输出姿态。

其中在机械臂框架的搭建时要注意在不影响机械臂正常运动的同时，要尽量采用短 U 型支架来减小关节的自身力矩，以减轻舵机的负载和防止舵机出现的大幅度抖动。设计时采用了 RDS3115 舵机，安装孔依据其尺寸设计，制作时可依据舵机尺寸进行适当修改。机械臂（未安装舵机）框架如图 1.10 所示：

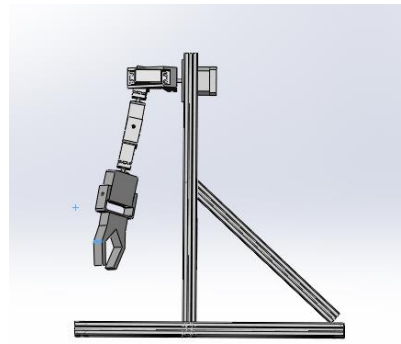


图 1.10 机械臂框架图

Fig1.10 Frame Diagram of Arm

舵机是一种位置伺服的驱动器，适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统。其工作原理是由接收机或者单片机发出信号给舵机，其内部有一个基准电路，产生周期为 20ms，宽度为 1.5ms 的基准信号，将获得的直流偏置电压与电位器的电压比较，获得的电压差输出到电机驱动芯片决定电机正反转。一般舵机旋转的角度范围是 0° 到 180°。RDS3115 舵机的转动的角度是通过调节 PWM（脉冲宽度调制）信号的占空比来实现的，利用占空比的变化改变舵机的位置。舵机控制如图 1.11 所示：

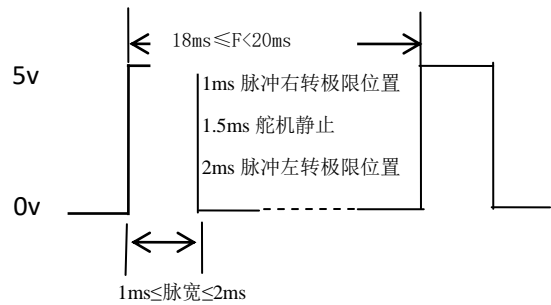


图 1.11 舵机的控制要求

Fig1.11 Steering Gear Control Requirements

2 舵机控制的实现方法

2.1 PWM 波的生成

用 STM32F103ZET6 单片机作为舵机的控制单元，使 PWM 信号^[6]的脉冲宽度实现微妙的变化，从而提高舵机的转角精度。STM32F103ZET6 单片机完成控制算法，再将计算结果转化为角度输出到 PCA9685 舵机控制板单元中，由舵机控制板产生需要的控制信号从而对机械臂进行姿态控制。

3 机械臂系统组装及调试

关节电机参数确定后，对机械臂系统进行组装

调试，在机械臂的调试中，需要对每个关节进行分别调试，确保每个关节都能够稳定的运行。在实验中，当手臂姿态发生改变时，机械臂姿态能够跟随人手臂动作，并能完成抓取动作；能够在 LCD 屏幕上显示当前的机械爪压力数值；机械手能在比较短的时间里稳定；能够迅速定位，有较快的响应速度。

3.1 姿态测试实验

自然状态下舵机处于受力最小的位置，此时机械臂自然向下。

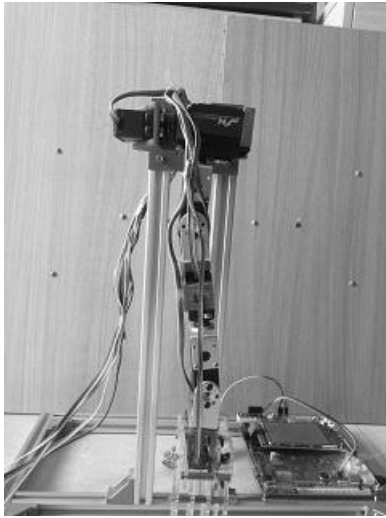


图 3.1 系统初始状态

Fig3.1 System Initial State

机械臂动作模拟人手臂姿态，当实验者手臂姿态如图 3.2 所示时，机械臂动作如图 3.3 所示。模拟姿态选用了多个不同姿态进行模拟。在人手运动过程中机械结构有较为明显的抖动现象。实验证明设计的机械臂能够跟随人手臂的姿态进行移动。



图 3.2 实验者手臂姿态

Fig3.2 Experimenter Arm Posture

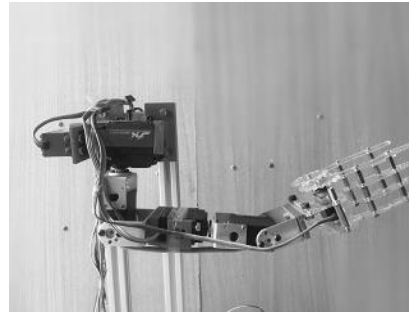


图 3.3 手臂姿态 1

Fig3.3 Arm Gesture 1

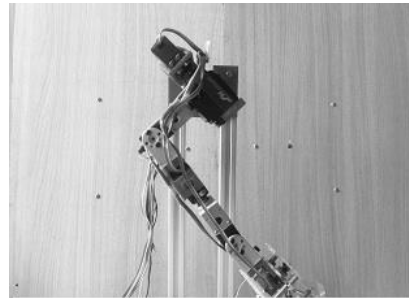


图 3.4 手臂姿态 2

Fig3.4 Arm Gesture 2

3.2 压力及触觉传感器

经过电荷放大后得到的触觉信号如图所示。通过单片机对于 AD 采样的阈值判定。判断是否接触到物体。

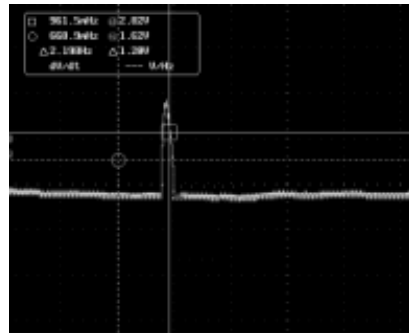


图 3.5 触觉信号

Fig3.5 Tactile Signal

3.3 压力信号的读取与上位机显示

```

压力=6.738090g
压力=6.738090g
压力=6.749688g
压力=6.734233g
压力=6.734233g
压力=6.749688g
压力=6.745818g
压力=6.745818g
压力=6.749688g
压力=6.745818g
    
```

图 3.6 上位机显示压力数值

Fig3.6 PC Display PressureValue

通过 FSR400 压力传感器采集压力并通过串口打印到上位机进行显示。可以看出虽然在运动过程中存在震动。但是仍然能保证压力数值稳定在 6.7g 附近。采集的压力数据每 20 次求取一次均值来消除数据过多对单片机计算产生的负担以及因为误码产生的数据误判。

4 结论

在实际应用中,采用 STM32 单片机简单方便地实现了手臂姿态的采集、机械爪压力的采集以及手臂姿态的解算。经过舵机控制板方便迅速的生成了舵机的控制信号。对机器臂舵机控制的测试表明,舵机控制系统工作稳定, PWM 占空比 (0.5 ~ 2.5ms 的正脉冲宽度) 和舵机的转角 (-90° ~ 90°) 线性度较好。在机械结构运动的过程中压电薄膜采集的数据存在较大干扰。因此只在抓取阶段读取压电薄膜的数据,在运动阶段屏蔽对其信号的采集。

由于受到机械结构及电机扭矩限制,在人手臂高速移动时机械臂不能及时的响应人手臂的动作,会发生比较剧烈的抖动现象,需要进一步改善控制算法,以期得到更好的跟随效果。

参考文献

1. 张雨薇,林雄民.基于仿生机械臂的体态遥控与可视化系统设计[J].电子技术应用,2015,(12):22-24.
2. 云彩霞,李珊,宋晓华,李昆.同步仿生机械臂设计[J].电子测试,2014,(17):10-11+9.
3. 魏承,赵阳,王洪柳.基于滑模控制的空间机器人软硬性抓取[J].机械工程学报,2011,(01):43-47+54.
4. 郑文超,陈文辉.基于 STM32 的机械臂控制系统设计与实现[J].工业控制计算机,2016,(10):20-21+24
5. 华家凯,陈旭东,徐晶晶,张嘉明,曹晓岚.四自由度机械臂控制系统及设计[J].科技与企业,2016,(10):92
6. 时玮.利用单片机 PWM 信号进行舵机控制[J].今日电子,2005,(10):80-82.
7. 张昊,王超亮,田文龙,李擎.同步仿生机械臂设计[J].兵工自动化,2015,(05):77-80.

基于超声波测距的定位系统研究*

龙涛；刘坦；吴羽珩

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022)

摘要: 本文主要阐述了一种以超声波测距技术为基础的超声波定位系统。利用无线通讯模块 Si4432 和 STM32F103 微控制器产生控制电路硬件部分, 利用 processing 进行上位机软件开发, 构建了一个超声波定位系统。为了提高超声波定位系统的精度, 采用了多点定位互相补偿, 使定位系统更加智能化与精确化。

关键词: 超声波 定位 无线通讯

Research on positioning system based on ultrasonic distance measurement

Long Tao; Liu Tan; Wu Yuheng

(College of Instrumentation and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: This paper mainly introduces a kind of ultrasonic positioning system based on ultrasonic ranging technology. Using the wireless communication module Si4432 and STM32F103 microcontroller to control the hardware part of the control circuit, and using processing to carry out the development of the host computer software, an ultrasonic positioning system is constructed. In order to improve the accuracy of ultrasonic positioning system, the positioning system becomes more intelligent and accurate with the use of multi-point positioning mutual compensation.

Key words: Ultrasonic Location Telecommunications

0 前言

超声波技术由于成本低、结构简单易于实现而被人们广泛采用。目前, 市场上的超声波收发器技术成熟且价格低廉, 因此应用较为广泛。目前无线定位系统得到广泛的应用, 它的基本原理是通过接收几个固定位置的发射点的无线电波, 从而得到主体的位置。超声波定位的原理与无线电定位系统相仿, 只是由于超声波在空气中的衰减较大, 只适用于较小的范围。超声波在空气中的传播距离一般只有几十米。短距离的超声波测距系统已经在实际中广泛应用。基于超声波测距技术, 设计了一种能够用于小范围中移动物体定位的系统^[1]。

1 超声波定位系统原理和结构

1.1 系统原理

如今可以实现超声波对于距离的测量方法有很多种: 比如渡越时间检测法 TOF (time of flight)、幅度相位联合检测法、相位检测法、声波幅值检测法。

本设计中, 选用渡越时间检测法 TOF (time of flight) 来实现超声波对于距离的测量以及最终目标体的定位。其工作原理是: 超声波发射装置固定安装在定位目标体上, 超声波发射端的一个发射装置首先通过无线通讯模块发射一个同步信号, 该无线信号到超声波接收端的各个接收装置的时间延迟可以忽略, 发射完同步信号后, 再开始发射超声波信号。当超声波接收端的接收装置接收到同步信号时, 超声波接收端的单片机立即启动它的定时器, 作为计时初始值; 当超声波接收端的接收装置接收到超声波信号时, 超声波接收端的单片机立即关闭它的定时器, 作为计时终值。其所经历的时间就是超声波发射装置发出超声波到超声波接收装置接收到超声波所经历的时间, 即渡越时间。用渡越时间与超声波在空气介质中传播的速度相乘, 所计算出的值就

* 指导老师: 栾卉

项目类型: 大学生创新项目 (2015650954)

是超声波声源与接收器的距离，因此通过测量渡越时间就可以测量出距离^[2]。

在本文讨论和设计的以超声波测距技术为基础的超声波定位系统中，超声波发射端有一个超声波发射装置，超声波接收端有四个超声波接收装置。超声波接收端的任意三个超声波接收装置的位置信息可以确定一次超声波发射装置的位置信息。以设计中超声波发射端有一个超声波发射装置，超声波接收端有三个超声波接收装置的超声波定位系统为例，超声波定位原理图如图 1 所示：

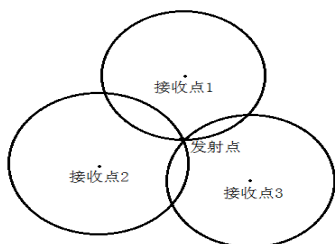


图 1 超声波定位原理图

Fig.1 Ultrasonic positioning schematic

传感器节点定位过程中，未知节点在获得对于临近信标节点的距离后，通常使用三边测量法计算自己的位置。已知 A,B,C 三个节点的坐标分别为 (x_a, y_a, z_a) , (x_b, y_b, z_b) , (x_c, y_c, z_c) 以及它们到未知节点 D 的距离分别为 d_a , d_b , d_c ，假设节点 D 的坐标为 (x, y, z) 。那么，存在以下公式

$$(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 + (z - z_a)^2 = d_a^2$$

$$(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 + (z - z_b)^2 = d_b^2$$

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 = d_c^2$$

通过解三元二次方程组即可得到发射点的坐标^[3]。

1.2 系统结构

定位系统由接收模块、接收控制模块、发射模块、发射控制模块、无线传输模块组成。系统的结构图如图 2 所示。

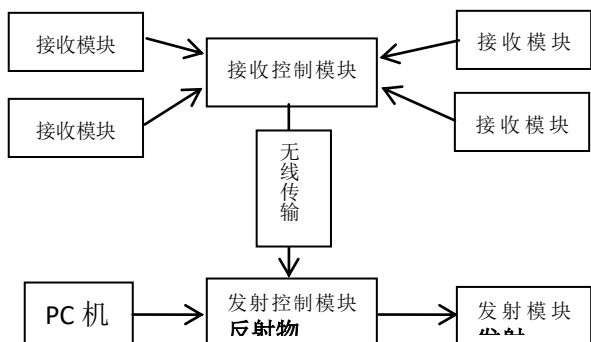


图 2 超声波定位结构图

Fig.2 Ultrasonic positioning structure

根据上图所示，所构思的定位方式为：PC 机为

核心，由其控制完成定位过程，依次实现：

- 1、PC 机发送启动测量命令给发射端，延时等待；
- 2、发射端发送超声波，并通知接收端启动计时；
- 3、PC 机延时结束后，从接收端读取距离数据、根据接收点布置计算坐标，并根据需要发布坐标和显示。

2 系统硬件设计

系统包括三个模块：超声波发射模块、超声波接收模块、超声波控制模块。超声波控制模块是一个单片机系统，包括信号发射功能、信号判断和分析功能等，在超声波控制模块上还集成了 Si4432 无线通讯模块，用来实现对超声波定位系统的测量误差进行补偿。该系统各个模块工作情况说明如下：

2.1 超声波发射模块

本设计中，超声波发射装置的发射头选用了压电陶瓷换能，它是电压驱动型，其功率与驱动电压成正比。基于上述原理，采用升压比为 1:20 的升压变压器来升高电压，最终可以输出约为 50V 峰值的电压。

另外，大多数的经典 51 系列单片机产生方波型的脉冲驱动信号，然而该超声波发射装置需要正弦波型的信号，所以要把方波驱动信号转换成正弦波驱动信号。利用谐振原理，通过超声波发射装置的发射头和升压变压器的匹配，进而达到把方波驱动信号近似转换成正弦波驱动信号的目的^[4]。其电路设计如图 3。

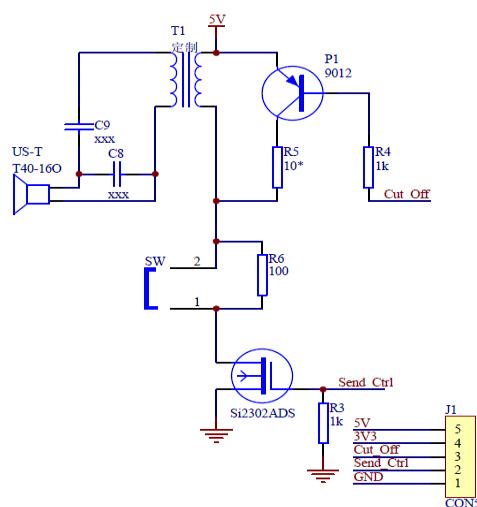


图 3 发射模块电路图

Fig.3 Transmission module circuit

2.2 超声波接收模块

超声波定位系统中的超声波接收电路设计为谐

振电路,当超声波接收装置接收到 40KHz 的超声波脉冲信号时,就产生与超声波发射端相同频率的很弱的电压信号。超声波接收装置检出所接收到的微波信号后,要经过放大电路将信号放大,所产生的脉冲信号被送到超声波接收端单片机的中断端,一旦超声波接收端的单片机接收到中断信号,超声波接收端的单片机就停止它内部的定时器,表示计时停止。其电路图如图 4 所示。

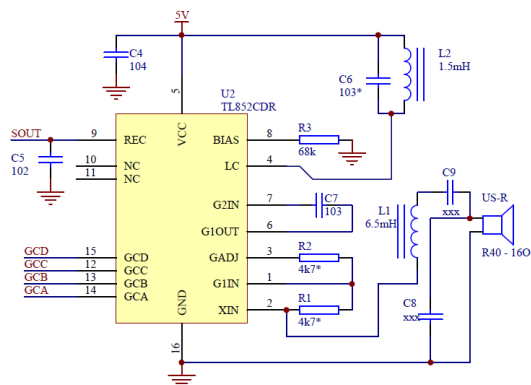


图 4 接收模块电路图

Fig.4 Receive module circuit

2.3 超声波控制模块

该系统中,超声波发射模块和超声波接收模块是按功能分开进行设计的。在两者的设计中都没有加入控制超声波实现发射、传播与接收的部分,为此设计了超声波定位系统控制模块。该模块由增强型的 51 系列单片机 STC12F103 所组成,其功能就是用来控制超声波发射端的一个超声波发射模块和超声波接收端的四个超声波接收模块。因为超声波发射模块的控制部分和超声波接收模块的控制部分在功能实现上基本是一样的,只是控制信号插座等不同,所以为了设计简单,超声波发射模块和超声波接收模块的控制部分使用了能同时满足两者功能需求的一样的两个控制模块。在该控制模块上还集成了 Si4432 无线通信模块,用来实现对超声波定位系统的测量误差进行补偿。

3 系统软件设计

当 PC 上位机接收到超声波发射端发射出的数据后,首先需要判断此次超声波传感器测距所得的数据是否全部有效,如果数据明显过大或者过小,则不符合要求,需要剔除无效数据。例如当所测距离值为最大值时,则可能是因为超声波接收端的任一超声波接收装置长时间无法接收到超声波脉冲信号而因为软件程序设计被处理成最大值。此外,还可根据三角形三边的关系来判断数据的有效性。当

确定好所有的有效数据后,就利用超声波定位的工作原理和定位算法来计算定位目标的具体位置坐标,然后再在 PC 上位机显示界面中进行描点,显示出目标的移动轨迹图,实现实时的位置显示。最后将得到的位置数据返回到超声波发射端的单片机,以方便供需要定位的装置使用。

4 误差分析

引起超声波测距系统不同距离下响应时间不同的因素有很多,一般可以归结为如下三种主要误差:

4.1 超声波新号在传播过程中的衰减

超声波信号在传播过程中,随着检测距离的增大。超声波信号减弱,导致声波信号检测难度加大,测距精度降低。

4.2 收到超声波到被检测出的滞后

该项误差源于检测电路的灵敏度和判断偏差,从收到实际声波到电路确认并输出相应信号肯定存在滞后。这和声波信号强弱、检测电路原理及判断电路的敏感性相关,也是超声波测距的核心。如果超声波传感器灵敏度过低,大大限制了检测距离。声波衰减是距离的平方关系。由于判断滞后会随着声波的强弱而变化,故这部分误差是导致数据不稳定的主要来源。

4.3 启动计时与启动超声波发射之间的偏差

由系统原理可知,从超声波模块启动计时到超声波发射实际上是先后完成的,存在微小时差。

5 结论

本文介绍了基于超声波测距的定位的系统,运用超声波传感器及无线电装置实现了定位目标的实时跟随。由于 PC 机的开发环境和运算能力均优于单片机,坐标计算更容易实现,且可以方便的实现定位对象的运动轨迹显示,这是许多定位系统所需要的,使定位系统更加智能化。

参考文献

1. 顾娟娟. 无线传感器网络超声波定位技术的研究[D]. 东南大学, 2008.
2. 张婷. 超声波定位系统的设计[D]. 长安大学, 2014.
3. 华蕊, 郝永平, 杨芳. 超声波定位系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2009, (06): 65-67.

4. 蔡磊,周亭亭,郭云鹏,陈素芳,吴汉帮. 基于超声波定位的智能跟随小车[J]. 电子测量技术,2013,(11):76-79.

基于虚拟仪器系统的晶体管的输出特性测量*

张秉仁；蒋梦杰；李玉武；寇德理

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130012)

摘要：虚拟仪器技术就是利用高性能的模块化硬件，结合灵活高效的软件来完成各种测试、测量和应用，实现讲仪器装入计算机，随着科技的发展应用越来越广泛。本文介绍结合吉林大学 VII-EM 自主系统设计一款测量晶体管输出特性测量图示仪。通过动态数据链接库的方式驱动 USB 设备实现上位机和数据采集卡的通信，达到数据采集和处理的要求，同时基于 LabVIEW 的虚拟仪器应用程序的设计,最终完成晶体管的输出特性测试。

关键词：虚拟仪器 数据采集 LabVIEW 图示仪 晶体管

Measurement of transistor output characteristics based on Virtual Instrument System

Zhang BingRen Jiang mengjie; Li yuwu; Kou deli

(College of Instrument Science and electrical engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Virtual instrument technology is the use of high-performance modular hardware, combined with flexible and efficient software to complete a variety of testing, measurement and application, the realization of the instrument into the computer, with the development of science and technology more and more widely used. In this paper, we introduce a VII-EM based autonomous system of Jilin University to design a measuring instrument for measuring transistor output characteristics. Realization of communication between computer and data acquisition card through the DLL mode USB driver, to achieve data acquisition and processing requirements at the same time, based on the design of LabVIEW virtual instrument application, finally completed the test transistor output characteristics.

Key words: virtual instrument data acquisition LabVIEW Graphic instrument transistor

0 前言

在电子产品中，和电阻、电容、电感一样，一般用于信号的放大、转换等作用晶体管也是电路中基础的组成部分之一。随着现代科技的迅猛发展，晶体管逐渐大规模集成化、复杂化，其形式和用途更加广泛，晶体管作为半导体器件中重要组成部分，它们的精确使用是科研人员重视的问题，面对种类繁多，功能各异的晶体管，科研人员为了满足需求，需要用到专用仪器设备检测其特性参数，根据检测结果筛选使用。原始的晶体管特性测量图示仪，具有动态性好、实时跟踪、晶体管特性图示直观等优点，

但它笨重、操作不便、读数误差大，不能对测量数据进行存储与深入处理。为克服模拟式晶体管图示仪的不足，结合测试技术、微控制器技术及虚拟仪器技术设计出数字式晶体管图示仪。该图示仪具有数据直观、测试结果精确、分析功能强大等优点^[1]。

1 试验方法和实验方案

1.1 整体设计

基于吉林大学虚拟电子仪器集成系统开发了 9 种模块化电子测量仪器，如：信号发生器、示波器、LCR 测试仪、逻辑分析仪等等，本课题模块化仪器与上述仪器方案与技术路线大体相同。如图所示虚

*指导老师：张秉仁

项目类型：大学生创新项目（2016B65685）

拟仪器测量子系统主要包括被测对象（晶体三极管），虚拟信号发生器，外围电路，数据采集卡以及 PC 主机平台。

虚拟电子测量仪器多种多样，如模拟信号发生器^[2]，虚拟示波器，虚拟频谱分析仪，虚拟电路测试仪等。本文着重介绍了以虚拟示波器，虚拟图示仪以及以相对应的 USB 数据采集卡为连接枢纽的测量有源电子器件的输出特性的虚拟仪器测量子系统。本文中的整个测量子系统是以 PC 主机为硬件搭建平台，在兼容于之前的虚拟电子测量系统的条件下的新增测量模块。

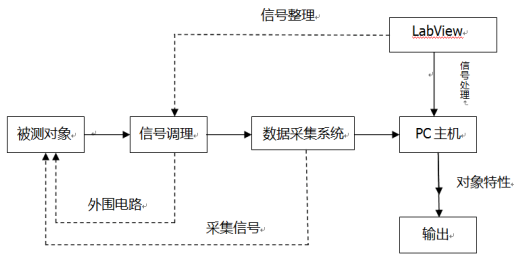


图 1 整体设计框图

Figure 1 The overall block diagram

①被测对象：即本文中的研究目标有源电子器件，其中以晶体管，为主要研究对象。

②信号调理：为了满足测量有源电子器件的输出特性（以晶体管为例）的要求，需要特定的阶梯波形^[3]。阶梯波形的产生需要对原始信号进行放大、隔离、滤波、激励、线性化以及时域和频域的转换得到。

③数据采集系统硬件：基于兼容之前数据采集系统新增加用于采集有源器件输出信号特性的 USB 数据采集卡。

④虚拟图示仪构建：以虚拟仪器软件开发平台 Lab View 为工具构建的有源器件输出信号特性测量的虚拟仪器，该图示仪通过直观明了的图形显示被测对象的输出特性，同时又具备数字化的高精度的特点。

1.2 硬件部分设计

根据系统原理框图，在基于吉林大学虚拟仪器的平台，采用数据采集卡构成数据采集模块，以 C9018 晶体管为例，采用典型测试电路构成晶体管外围电路如图 2 所示。

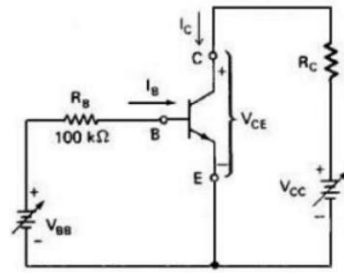


图 2 晶体管特性典型测试电路

Figure 2 Typical circuit

根据上面硬件电路可知，要想测量出晶体管的输出特性曲线需要两路输入信号：固定电流值基极电流和光滑变化的集电极扫描电压；为了完整得解释晶体管的输出特性需要测出在不同固定电压值 I_B 值下集电极电流 I_C 随集电极扫描电压变化时的数值，即此时则需要改变基极电流值 I_B 的值，即固定周期的阶梯跳跃信号^[4]。

1.3 软件部分设计

根据系统原理以及硬件设计的要求，基于吉林大学虚拟仪器平台可对系统软件进行：

- (1)、基极阶梯波形和正弦半波的设计；
- (2)、集电极正弦半波扫描电压波形的设计；
- (3)、虚拟仪器图示仪实验面板及程序框图的设计；

2 具体实施方案

(1) 信号调理：Lab VIEW 虚拟平台提供的基本信号源有正弦波、方波、锯齿波和三角波。从基础信号到目标信号需要经过一系列的算法处理。其中算法处理包括 Express Numeric 子模板的数字逻辑运算和 Time Domain Math 模块的时域分析运算。最终所得到的目标信号阶梯波形和正弦半波波形^[5]。

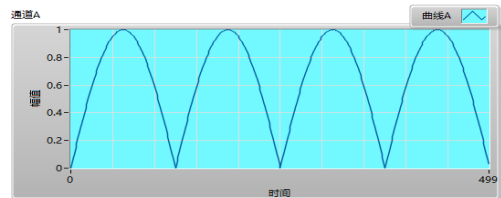


图 3 正弦半波信号

Figure 3 sinusoidal half-wave signal

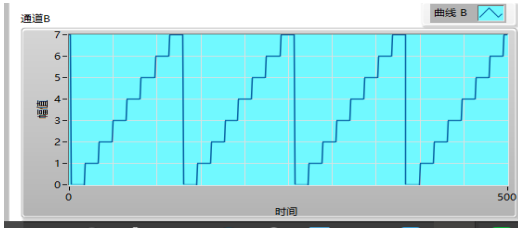


图 4 阶梯信号

Figure 4 ladder signal

(2) 信号同步:

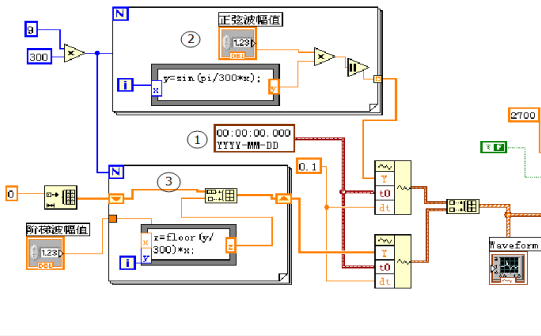


图 5 信号同步程序框图

Figure 5 Block diagram of signal synchronization

如上图所示，其中：①代表保持输出信号正弦半波电压和阶梯信号保持同步，②表示正弦半波信号③表示阶梯信号

(3) 图示仪工作原理及作用

基于吉林大学虚拟仪器测量系统实验平台，对已有的虚拟示波器模块进行改良。虚拟示波器是对模拟输入信号通过调理电路转化为 AD 输入的电压范围，再通过高速 AD 转换器将模拟信号前端快速采样，经过 FIFO 的缓存，并利用其数字信号处理技术对所存储的数据进行实时快速处理，得到信号的波形参数，并由示波器显示。

示波器显示的是随时间变化的波形曲线即显示的是时域信息。因此在改进示波器时需要修改实验前面板的 X、Y 坐标的参数含义，即 X 轴代表采集的是信号发生器发射的正弦半波扫频电压，Y 轴代表流经场效应管的漏极电流。为此在原有基础上所需修改的程序框图如下。

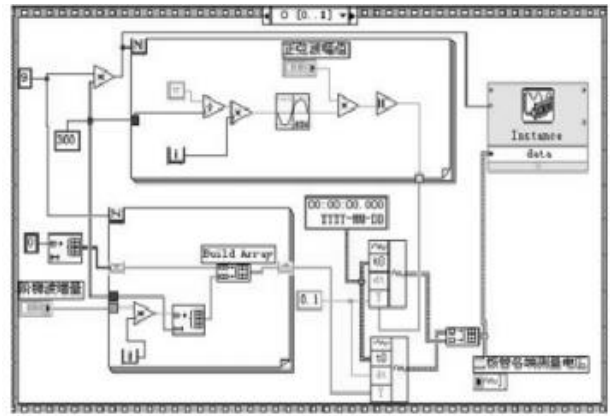


图 6 修改程序框图之一

Figure 6 Modify one of the block diagrams

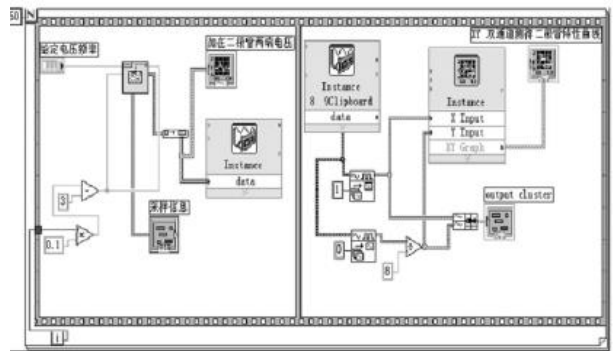


图 7 修改程序框图之二

Figure 7 to modify the program block diagram of the two

通过捆绑将所采集的两组数据分别作为波形图的 X、Y、轴数据以曲线形式显示在面板上面，从而形象直观的观察晶体管的输出特性曲线特点。

(4) 最终图示仪所得图像显示：通过上位机接收下位机图示仪硬件模块所采集的信号进行数据整理在 Labview 前面板上显示出一簇表征晶体管的曲线^[6]。

3 计算结果与比较

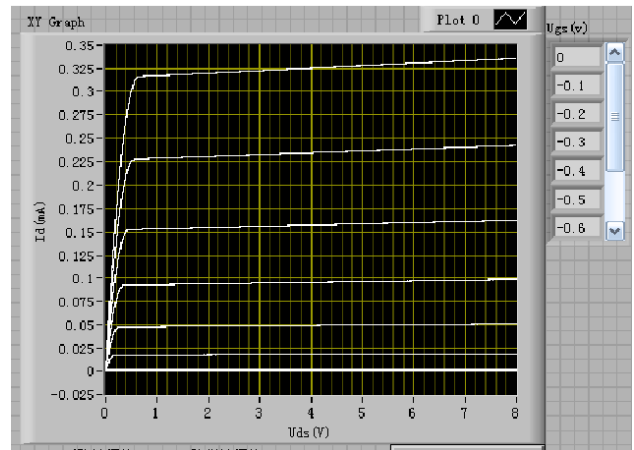


图 8 实验结果

Figure 8 Experimental results

图 7 为 C9018 晶体管的输出特性曲线, 显示了用虚拟图示仪测量晶体管的测量结果, 设定扫描电压范围为 8V, 阶梯电流增量为 20 μ A, Y 轴刻度单位为毫安, 阶梯级数为 7 级。完成整幅图的扫描大约需要 10 秒钟。曲线由离散的点组成, 由于液晶屏幕分辨率有限, 相邻的点大都无变化而成一段直线。从图中可以看出整个仪器工作正常。和器件的产品规格书基本吻合。

4 结论

虚拟仪器技术应用越来越广泛, 从教学实验仪器实际需求出发, 设计采用 USB 接口的廉价、便携、易用的虚拟晶体管特性图示仪, 通过整个研究设计过程, 基本掌握了晶体管特性图示仪的原理、数据采集技术和虚拟仪器技术并且进一步加深了软件编程的能力, 对于软硬件协调工作和系统开发有了深刻的认识, 为今后从事科研工作打下了良好的基础^[7]。

测试结果表明: 所开发的基于 LabVIEW 和 USB 接口的虚拟晶体管特性图示仪可以正常运行。系统总体误差在允许范围以内。整个系统具有可扩展性, 日后可以在此基础上继续完善仪器测试功能。

参考文献

1. 赵中义. 半导体管特性图示仪原理、维修、检定与应用. 北京: 电子工业出版社, 1994, 1-3
2. 刘君华. 基于 Lab VIEW 的虚拟仪器设计. 北京: 电子工业出版社, 2003, 1-5
3. 周继勇. 基于 USB 的虚拟测试仪器: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2005
4. 李泽永, 刘卫玲, 常晓明, 基于 LABVIEW 环境的简易晶体管图示仪的设计与实现, 山西, 太原理工大学, 2013
5. Cypress Semiconductor Corporation. The EZ-USB Technical Reference Manual. 2000
6. Anchor Chip Inc. Anchor EZ-USB Frameworks. Anchor Chip Inc. 1998
7. 侯国屏, 王坤, 叶齐鑫. Lab VIEW7.1 编程与虚拟仪器设计. 北京: 清华大学出版社, 2005, 1-2
8. Analog Device, Inc. AD420 Datasheet. 1999
9. 李忠明. 一个高精度简洁后向控制通道解决方案. 电气

- 传动自动化, 2004, 26(4): 36-38
10. 颜荣江. EZ-USB2100 系列单片机原理、编程及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002, 2-8
11. 陈锡辉, 张银鸿. 基于 Lab VIEW8.20 程序设计从入到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008
12. 陈树学, 刘萱. Lab VIEW 宝典 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011
13. 岂兴明, 田京京. Lab VIEW 入门与实战 100 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

小波变换在 PM2.5 气体检测中的噪声抑制*

李凯艳；李梁冰；刘科伟

(吉林大学 仪器科学与电气工程, 长春 130012)

摘要：在气体浓度检测领域，噪声干扰一直是影响检测精度的重要因素。尤其对于浓度低，信号峰较小的样本，真正的信号被噪声掩蔽，导致检测精度降低。在硬件层面上进行的噪声抑制，效果并不理想，并且会使成本增加。而简单的软件滤除噪声的算法，只能在时域或者频域进行单方面的处理，不能达到兼顾的作用。小波算法在数据处理方面得到了非常广泛的应用，能够在时域和频域同时进行处理。本文将小波算法应用于 PM2.5 气体检测过程中的噪声抑制，主要通过确定合适的小波基，最佳分解层数和阈值对信号进行分解和重构。基于小波变换的特性，利用 Mallet 分解算法将信号分解成不同频率带的信息，设定一个阈值，将有用信号所在的频率带保留，其他向量置零。此种处理方法可以有效地保留气体检测过程中的有效峰，滤除噪声产生的干扰峰，在普通低通滤波器的基础上提高均方差和信噪比 12 个百分点。

关键字：小波变换 分解 重构 阈值 小波去噪。

Noise suppression of wavelet transform in PM2.5 gas detection

Li Kaiyan;Li Liangbing;Liu Kewei

(College of materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In the field of gas concentration detection, noise interference is an important factor affecting the accuracy of detection. Especially for the low concentration of the signal peak to a smaller sample, the real signal masked by noise, resulting in reduced noise detection accuracy. At the hardware level of the suppression effect is not ideal, and will add to the cost. But the software simple noise the algorithm can only unilateral processing in time domain or frequency domain, can not achieve the role of both. The wavelet algorithm is widely used in data processing, in both time domain and frequency domain processing. The noise using wavelet algorithm to PM2.5 gas detection process Suppression, mainly by determining the appropriate wavelet, the optimal decomposition level and threshold of the signal decomposition and reconstruction. Based on the characteristics of wavelet transform, using Mallet decomposition algorithm to decompose the signal into different frequency bands, setting a threshold, the useful signal's frequency band retained zero vector. The other treatment the method can effectively preserve the effective peak gas detection process, the interference peak filtering noise generated by the increase in the variance and the signal noise based on ordinary low-pass filter on more than 12 percentage points.

Key words: Wavelet transform The decomposition and reconstruction The threshold The wavelet to mania.

0 引言

近年来，我国空气中颗粒物浓度大量增加，尤其是以细颗粒物（PM2.5）的增加量最为显著，对人们的健康课生活带来了极大的困扰。因此对大气

中污染物浓度的检测也引起了相关专业人员的关注，如何强化检测仪的检测效果，优化检测方法已经称为领域内研究关注的热点^[1]。

从上个世纪中期，研究人员就已经开始对大气中污染物浓度的检测进行了研究。发展到今天，典型的粉尘浓度检测方法主要有重量法， β 射线吸收法，

*指导老师：陈祖斌

项目类型：大学生创新项目(2015650982)

压电晶体振荡法,光衰减法和光散射法^[2]。早期具有代表性的产品包括美国 SCK 公司的 EPA-5000 粉尘浓度测试仪, 采样 β 射线吸收法对颗粒物浓度进行检测^[3]。TE 公司的 DR-400, TSI 公司的 MOLD8520, 都是采样光衰减法, 通过对在线滤膜传感器的结构以及采集电路的改进, 使采样灵敏度达到了 0.001。国内主要有宾达绿创科技有限公司生产的 LD-5C。但是这些仪器都是在硬件设计和仪器结构上进行的改进, 成本较高, 不适用于普遍使用^[4]。随着软件和算法的发展, 慢慢的出现了通过软件滤波的仪器。主要有应该 CEL 公司的 Microdust, 采样傅里叶变换对采样信号进行分析和滤波, 江苏三恒的 GC100 采用卡尔曼滤波法进行处理。但是这些算法只能对对数据在时域或频域进行分别处理。不能对噪声进行全面的分析和滤除, 滤波效果不明显, 精度不高^[5]。

随着小波理论的不断发展和完善, 近些年, 在数据处理领域得到了广泛应用。从 1984 年法国地质学家 A. Grossmann 和 J. Morlet 第一次小波变换的思想应用于地震数据处理, 再到后来 Y. Meyer 和 S. Mallat 提出多分辨率分析的思想, 发展到今天, 小波理论逐步完善, 小波算法在地震数据处理, 图像处理, 机械检测等很多方面得到了应用^[6]。

在测控监测技术对信号处理的过程中, 经常会用到小波变换的思想, 以提高检测的精度和灵敏度。这种通过软件提高检测精度和灵敏度的方法不仅能够减少相应经费的开支, 还能有效地提高监测数据的准确度, 得到了广泛的应用^[7]。应用小波变换算法对收集到的有干扰的信号进行滤波, 去噪, 以及基线校正, 只要选取合适的小波函数以及阈值处理方法, 就能够有效地去除杂质信号对所采集的信号的影响, 进而达到提高监测精度的目的。

PM2.5 信号浓度低, 数据幅值较小, 变化缓慢, 有用信号很容易受到外部噪声的干扰, 对有用信号的分析采集造成很大的影响。本设计采用小波变换算法, 结合硬件上面的优化, 以此达到滤除噪声, 提高检测精度的目的。

1 小波变换算法

设 $\psi(t)$ 是平方可积函数, 若 $\psi(t)$ 的傅里叶变换 $\Psi(\omega)$ 满足条件:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty$$

则称 $\psi(t)$ 为一个基本小波或小波母函数, 将小

波母函数 $\psi(t)$ 进行伸缩和平移得到:

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a > 0, b \in R$$

其中, a 为伸缩因子, b 平移因子, 通过调整 a 和 b 的大小来符合信号分析; 小波分析方法是窗口大小固定, 但其形状可改变; 在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率, 在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率, 即有多分辨率特点^[8]。

f(t) 可由小波变换 $W_{\psi} f(a,b)$ 完全重构出来, 重构公式为:

$$f(t) = \frac{1}{c_{\psi}} \int_{-\infty}^{+\infty} W_{\psi} f(a,b) \psi_{a,b}(t) db$$

气体检测系统中, 利用小波变换进行信号处理主要有两种方法一种是利用 Mallat 分解算法将信号分解为不同频带信息. 设定一个检测信息频带, 使频率处于此频带的信息分离出来, 而其他空间向量全部置为零, 可达到有用频带信号检测而其他频率信号去除的作用. 另一种是运用小波分析对遍历于整个频带范围内的噪声(如高斯白噪声)进行信号去噪处理, 利用小波分解的阈值达到去噪目的^[9]。

2 噪声分析

滤除噪声的第一步就是对采集到的信号进行分析, 确定噪声的类型, 才能有针对性的进行处理。

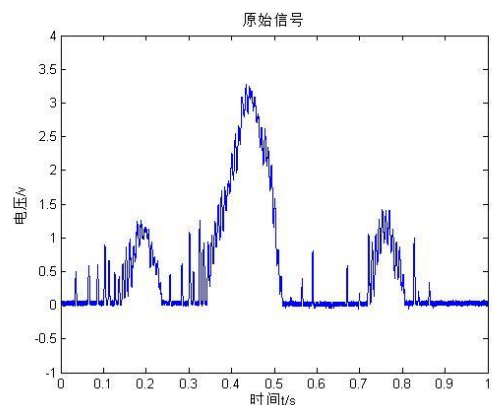


图 1 粉尘传感器采集信号

Fig1 Dust sensors signal

图 1 是采集到的含有噪声的 PM2.5 信号。其中幅度较大的信号是所要保留的有用信号, 两边幅度达到 1.2V 的信号是由于气体流动造成的信号的浮

动。有用信号幅度达到了 3.4V，但是由于噪声的存在，真正的信号幅值没有这么高。尖峰和毛刺则是噪声信号，这些噪声频率较高，谐波多在时域和频域中和有效信号相互叠加，降低了有效信号的检测准确性。

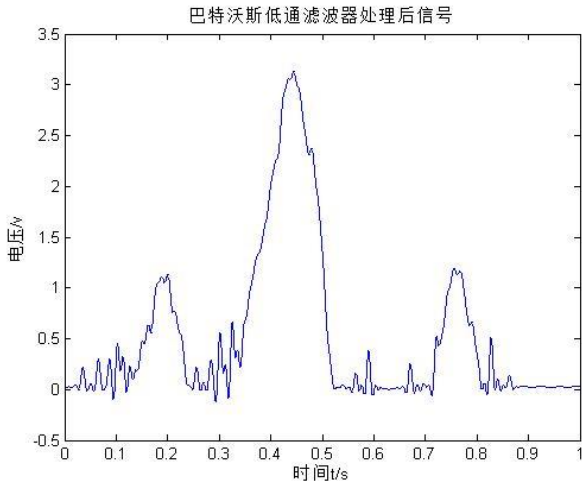


图2 巴特沃斯低通滤波器滤波效果图

Fig2 Butterworth low-pass filter

图2所示为经过巴特沃斯低通滤波器的滤波效果图。此滤波器的截止频率为 80hz 和 190hz,滤波效果只滤除了 190hz 以上的噪声干扰, 190hz 以下的噪声干扰夹杂在有效信号中无法滤除, 当继续减小低通截止频率则会造成有效信号的失真。由此, 单单的采用时域或者频域处理的方法只能滤除时域或者频域里的部分干扰波, 很难将这些噪声以及谐波信号滤除干净。采用小波算法通过噪声分解, 可以在时域以及频域同时进行处理。针对此信号的噪声特点, 小波算法适合于此信号的噪声滤除。

3 小波参数选取

3.1 信号分解

小波变换主要是对信号进行噪声分解, 当选用 db8 小波基, 分解层数选取 8 层时, 分解效果图如图所示:

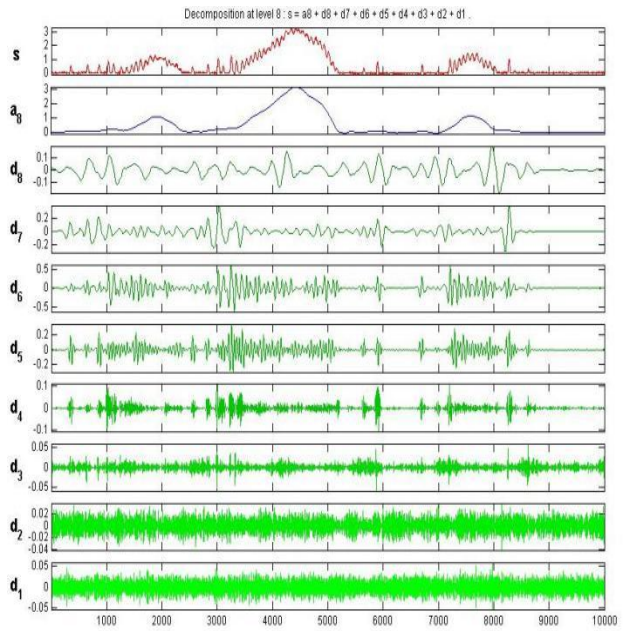


图3 小波变换分解效果图

Fig3 Wavelet decomposition effect

经过分解, 高频和低频信号被分开, 其中有用信号主要体现在第 8 层, 第 1 层到第 7 层主要包含了噪声信息。这些噪声相互叠加, 在不同的层面信号强弱程度不同。低频系数 a8 有效反映了信号的特征。以下对小波变换所选取的参数进行比较选定。

3.2 小波基的选取

小波函数不同, 去噪效果也不同。去噪效果与小波函数的正交性及基函数是否对称有关。采用对称性比较好的小波不产生相位畸变, 正交性好的小波信息的冗余量较小, 选择对称性和正则性均较好的小波系进行去噪能得到更好的去噪效果^[10]。

几种常见的小波基性质比较如表一所示:

表一 几种常见小波基性质

Table 1 Several common wavelet properties

小波基	Haar	Db	Bior	Coif	Sym
正交性	Y	Y	N	Y	Y
双正交性	Y	Y	Y	Y	Y
紧支性	Y	Y	Y	Y	Y
对称性	对称	近似	不对称	近似	近似

注: Y 为有, N 为无

经过不同小波基进行处理后的信号的信噪比和均方差如表二所示:

表二 不同小波基处理后信号的信噪比和均方差

Table2 Different wavelet base after processing the signal of signal to noise ratio and mean square error					
小波基	SNR	MSE	小波基	SNR	MSE
Db2	28.999	0.177	Sym2	28.999	0.177
Db3	29.573	0.171	Sym3	29.573	0.171
Db4	30.078	0.166	Sym4	29.904	0.168
小波基	SNR	MSE	小波基	SNR	MSE
Coif2	29.750	0.169	Bior2.2	29.454	0.172
Coif3	29.857	0.168	Bior2.4	29.626	0.170
Coif4	29.921	0.168	Bior2.6	29.658	0.170

注: SNR 是信噪比, MSE 是均方差

信噪比(SNR)和最小均方差(MSE)是判断去噪效果的依据。信噪比越大,均方差越小,滤波效果越好。不同小波对信号处理之后的信噪比 Db4>Coif4>Sym4>Bior2.6,均方差对比结果 Db4<Coif4<Sym4<Bior2.6.Db4 处理后的信号信噪比最大,均方差最小,使得信号不会被噪声淹没,并有效滤除噪声,由此选用此小波基对信号进行处理。

3.3 分解层数的确定

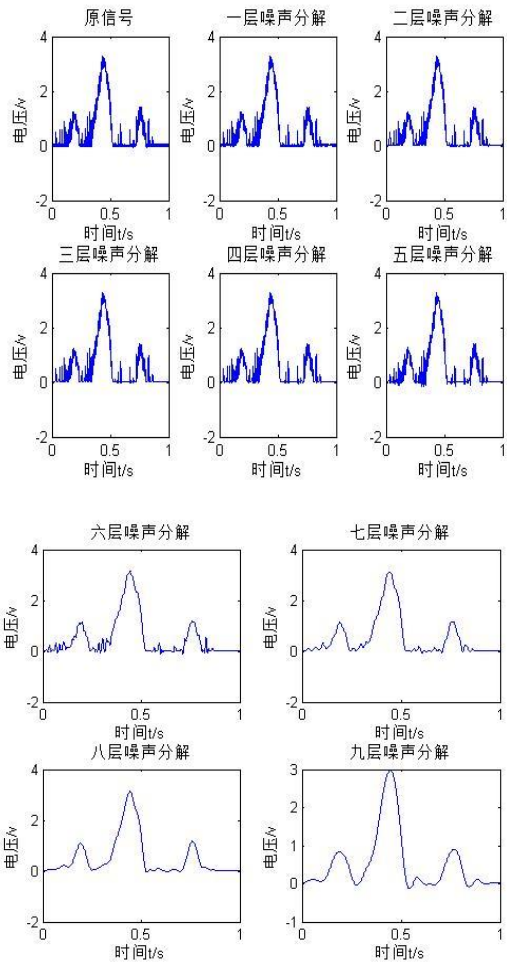


图 4 不同分解层数处理效果图

Fig4 Different decomposition layer rendering

通过比较用不同的分解层数对信号消噪后的效果图,1层到5层分解时,由于分解层数较少,分解后的结果与原信号差别不大,尖峰和毛刺依然突出。达到6层和7层分解后,噪声干扰有了很好的抑制,大部分高频噪声被滤除,大的尖峰和毛刺不再存在。但是一些与有用信号频率极为接近的噪声信号依然存在,在时域图上体现为一些小的波动和干扰。增加到8层以后,小的波动和干扰也被滤除,但是继续增加分解层数,达到9层分解后,原有信号遭到了破坏,幅值减小,因此可以得出,小波分解层数越大,滤波效果越好,但是分解层数过大则会损坏有用信号,并且计算量也会有所增加。由此,8层分解效果最好。

3.4 阈值选取

在利用小波变换对信号进行消噪分析时,阈值的选择对消噪效果是重要的是硬阈值和软阈值硬阈值:

$$W_{a,j}S(n) = \begin{cases} w_{a,j}S(n) & |w_{a,j}S(n)| > \lambda \\ 0 & |w_{a,j}S(n)| \leq \lambda \end{cases}$$

软阈值：

$$W_{a,j}S(n) = \begin{cases} \sin(w_{a,j}S(n)) & |w_{a,j}S(n)| > \lambda \\ 0 & |w_{a,j}S(n)| \leq \lambda \end{cases}$$

利用 Matlab 函数库对信号进行消噪处理的方法主要有以下三种：

(1) 默认阈值消噪处理：主要通过函数 `ddencmp()` 得到信号的默认阈值，然后利用函数 `wdencomp()` 对信号进行消噪处理；

(2) 给定阈值消噪处理，主要通过函数 `appcoef()` 得到各层分解系数，通过函数 `thselect()` 函数得到给定阈值，最后用 `wthresh()` 对信号进行消噪；

(3) 强制消噪处理：主要是通过将小波分解后的高频系数强制置零，这种方法能够有效滤除高频噪声，但是这种方法容易丢失信号中的有用成分。

不同消噪方式得到的效果如下：

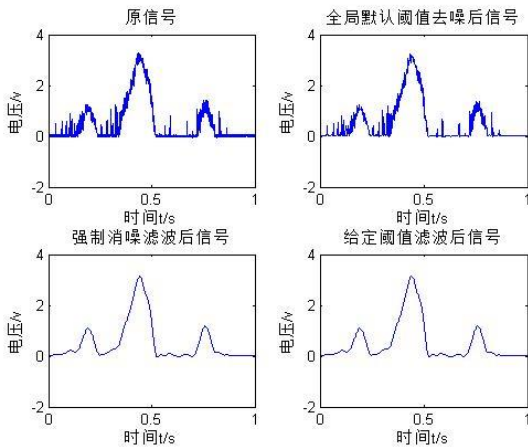


图 5 不同消噪方式滤波图

Fig5 Different ways of de-noising filter graph

当选用全局默认阈值去噪时，滤波之后的效果和原始信号差别不大，大部分高频信号依然保留，尖峰和毛刺突出。而用强制消噪和给定阈值滤波时，滤波效果明显。高频干扰被滤除，有效信号突出。强制消噪和给定阈值消噪都能很好的滤除噪声，这里选取给定阈值消噪。不同的给定阈值滤波效果也各有不同，以下为给定阈值下四种不同阈值选择规则滤波效果图。

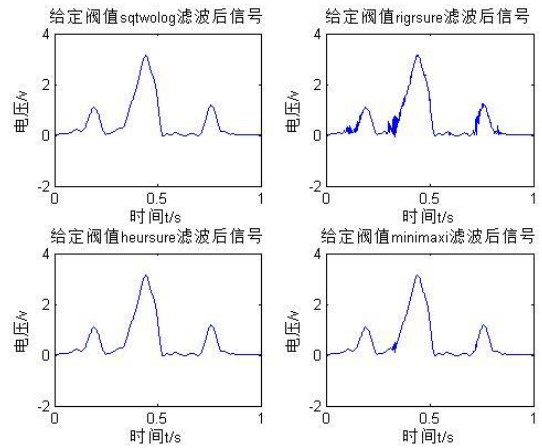


图 6 不同默认阈值处理效果

Fig6 Different default threshold processing effect

不同的阈值选择规则的滤波效果是不同的，给定阈值 `rigrsure` 虽然滤除了大部分高频噪声，但是仍然存在剩余干扰与有效信号叠加，是信号中依然有毛刺的存在。给定阈值 `minimaxi` 虽然比 `rigrsure` 的效果好，将叠加的干扰滤除一部分，但是仍然对有效信号有影响，毛刺依然存在，使有用信号的幅值拉低。给定阈值 `sqrtwolog` 和 `heursure` 消噪效果明显。很好的滤除了顽固的叠加噪声。但是 `sqrtwolog` 滤波的效果与 `heursure` 相比不够平滑。采用给定阈值 `heursure` 滤波效果最好。

最终滤波效果：

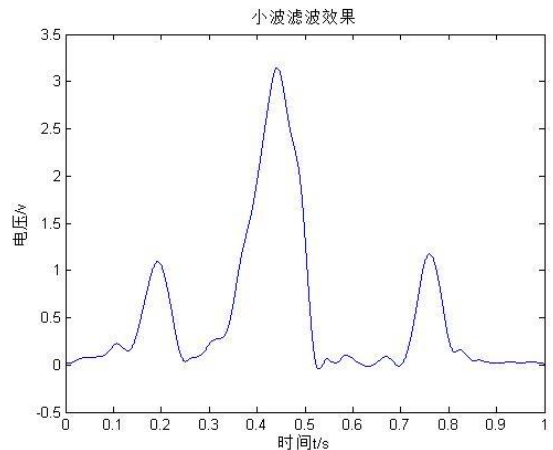


图 7 小波变换处理后信号

Fig7 The signal after wavelet transform processing

与巴特沃斯低通滤波器相比，小波变换信噪比 30.078，低通滤波器 26.681，信噪比提高了 12%。均方差降低了(小波变换 0.166, 低通滤波器 0.189)，滤波效果更好。

4 结论

①.通过对 Db, Coif, Sym, Bior 四种不同小波基不同作用于采样信号得到的信噪比和最小均方差的对比, 选取 Db4 作为小波基函数。

学:合肥工业大学, 2016. 20-50

②.不同分解层数分析, 8 层分解最为合适。低于 8 层不能完全滤除噪声干扰, 高于 8 层则会损坏有效信号峰。

③.给定阈值 heursure 的消噪方式相比于默认阈值消噪方式和强制消噪方式, 能够有效的保留有效信号峰, 滤除干扰信号。并且达到了平滑滤波的效果, 最为接近真实信号。

小波函数与巴特沃斯低通滤波器对比, 经过小波变换处理后的信号很好的保留了原有信号中的有用信号, 成功的滤除了噪声信号, 提高了信噪比, 降低了均方差, 使所要采集的有用信号更加突出。并且达到了平滑滤波的效果, 很好的表现了真实信号的特点。

参考文献

1. 陈魁等.我国环境空气质量标准与国外标准比较.环境与可持续发展, 2011,1:47-50
2. 傅敏宁, 郑有飞, 徐星生, 等 PM2.5 监测及评价研究进展[J].气象与减灾研究, 2011, 34 (4) :1 — 6
3. 崔延青, 王春迎, 尚永昌大气细粒子((PM2.5)监测技术进展[J].中国环保产业, 2012 (4) :8 — 13
4. 杜世勇,白志鹏,侯鲁健,著. PM2.5 监测方法与应用[M].北京:科学出版社, 2016.1-143
5. 尹向飞.中国城市 pm2.5 效率[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016,0(4): 49-57
6. 谢东,张兴,曹仁贤.基于小波变换与神经网络的孤岛检测技术[J].中国电机工程学报,2014,34(4): 537-544
7. 马敏,张彩霞,陆成超,王化祥.基于小波变换的 ECT 图像处理[J].中南大学学报(自然科学版),2016,47(6): 1947-1952
8. 田中大,李树江,王艳红,高宪文.基于小波变换的风电场短期风速组合预测[J].基于小波变换的风电场短期风速组合预测,2015,30(9):112-120
9. 吴秋玲,吴蒙.基于小波变换的语音信息隐藏新方法[J].电子与信息学报,2016,(4): 834-860
10. 陈欢.基于小波变换的谐波检测与分析[D].合肥工业大

基于 GPU 与云存储技术的微动信号模拟软件开发*

张 鑫¹；韩 宇²；王 猛¹

(1.吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 长春 130022;

2.吉林大学 计算机科学与技术学院, 长春 130022)

摘要：本项目意图开发一款可以根据相关算法模拟微动信号在地质结构中传播的情况并且可以直观观察的软件。结合 GPU 加速方法还有云的思想相辅助更加完善的进行相应算法的实践。主要采用 C++ 和 MATLAB 混合编程的方法完成程序主干，利用 Python 语言的快捷性完成网络编程，并用 Qt 完成界面和内部核心接口的编译。在某种意义上是一次多种编程语言联合编程的大胆探索，也是新型编程技术在优化解决其他学科数学问题中的一次实验。

关键词：模拟微动信号 C++ 网络编程 GPU 加速

Development of Micro Motion Signal Simulation and Data Processing Based on GPU and Cloud Storage Technology

Zhang Xin¹; Han Yu²; Wang Meng¹

(1. College of Instrument Science and Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China;

2. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: This project intends to develop a software that can simulate the situation of micro-motion signals in the geological structure according to the relevant algorithms and can be observed intuitively. Combined with the GPU acceleration method and the idea of the cloud to help more perfect to carry out the corresponding algorithm practice. Mainly using C++ and MATLAB mixed programming method to complete the program backbone, the use of Python language fast to complete the network programming, and use Qt interface and internal core interface to complete the compiler. In a sense is a multi-programming language programming a bold exploration, but also a new programming technology in the optimization of other disciplines to solve the problem of mathematics in an experiment.

Key words: simulated jogging signal C++ network programming GPU acceleration

0 前言

在平时人们生活的地面时时刻刻都有不为人们感觉到的微小振动，这种地面微动，应用高灵敏度的仪器可以观测和记录到。这类震动分为两类。人们一般把短周期微动称为常时微动、把长周期微动称作地面脉动^[1]。

1983年5月发生的震级为7.7级的日本海中部地震，使日本的秋田县、青森县等地遭受了很大的破坏，其中，地基液化造成的震害比较突出。野越

三雄等在液化震害最严重的能代市以常时微动测试为主，结合表层波速度测定，土质调查等，详细地研究了液化震害与常时微动特性间的关系。在归纳和总结后，证明常时微动的观测有可能成为地震液化预测研究的一个重要手段。

随着现代技术的进步，对于常时微动的探测越来越方便，但是在研究过程中需要对地震记录数据进行浏览分析。处理这么大规模的数据是一件十分棘手的问题。

与采集仪器捆绑一起的数据处理软件，一方面功能往往过于简单，无法满足复杂的数据分析。依

*指导老师：周晓华

项目类型：大学生创新项目（2015650997）

靠传统的做法，工程技术人员不得不掌握一定的计算机编程知识和一定的计算机算法，从而带来了一定的困难。并且对于采集到的场地常时微动记录通常很难满足平稳随机过程的假设。Matlab 提供了一批功能强大的库函数，易于调试，不需要高深的编程技巧和数学知识，从而有效的解决上述问题^[2]。

于是总结相关的知识，编写程序采用计算机处理大规模的数据。形成软件自动对微动信号记录数据进行异常特征拾取、记录、分析，并形成形象、直观的图像信息。相对于费事费力的分析与要求较高的计算机基础，有必要开发一款界面友好的、高效的、实时的、操作简易的、便于后期开发与拓展的分析软件^[3]。以便微动勘探野外实验数据的实时处理。

1 系统功能设计

本项目意图开发一款可以根据相关算法模拟微动信号在地质结构中传播的情况并且可以直观观察的软件。结合 GPU 加速方法还有云的思想相辅助更加完善的进行相应算法的实践。主要采用 C++ 和 MATLAB 混合编程的方法完成程序主干，利用 Python 语言的快捷性完成网络编程，并用 Qt 完成界面和内部核心接口的编译。在某种意义上是一次多种编程语言联合编程的大胆探索，也是新型编程技术在优化解决其他学科数学问题中的一次实验。

2 微动信号模拟算法

目前数值模拟中常用的波动方程可分为二阶弹性波波动方程和一阶位移应力弹性波方程组两组。本软件采用额是一阶位移应力弹性波方程交错网格差分算法^[4]。波动方程的数值模拟就是根据给定的地下介质结构模型和相应的参数，对地质模型进行网格离散化，在利用理论数值计算的方法可以得到计算区域内所有网格点在各个时间层上的弹性波波长值，进而模拟研究地震波在地下介质中的传播规律。

针对差分格式，按照给定的初始条件和边界条件，利用算式先得到应力分量值，接着利用这一时刻的应力分量值，进而递推求出所有网格节点上的任一时刻的波长值。本文中的检波器在地面接收，以地面所观测到的雷克子波波场值为我们最终求解的目标。即每一点在不同时刻的位移沿水平和垂直方向的分量和每一点不同时间的正应力和切应力为我们信号模拟的值^[5]。可以利用某一固定时刻的波

场值，得到波场快照，模拟出波在介质中的传播规律。这是因为我们通过递推计算得到的是一个数据体，可以根据不同的观测、处理要求，抽出所需要的部分数据，形成不同的剖面，方便研究^[6]。

3 GPU 加速技术

鉴于程序的可移植性，程序并行算法部分采用了兼容度更高的 OpenCL 标准库。OpenCL 是一个为异构平台编写程序的框架，此异构平台可由 CPU, GPU 或其他类型的处理器组成。OpenCL 由一门用于编写 kernels（在 OpenCL 设备上运行的函数）的语言（基于 C99）和一组用于定义并控制平台的 API 组成。OpenCL 提供了基于任务分割和数据分割的并行计算机制。算法的核心思想是根据本地计算机的可用设备数量及种类，自动识别和生成相应的计算环境。将计算设备和宿主机分离。搭建独立的计算空间。根据所要进行的同步点的数量分割计算网格粒度粗细。结合目前可用计算设备的核心数量，由人为设计计算模型，然后设备自动将命令由宿主机传递给计算设备，待计算设备计算完成后讲数据读出。整个过程类似批处理机，其精髓在于编写适当的 kernels。OpenCL 将计算资源划分为不同层次的网格，将实际问题的核映射到由工作组到工作项的逻辑模型当众。例如针对地层结构当中，由于计算当前时刻的速度应力需要上两个时刻的对应数据。OpenCl 是可以共享内存的，将某一时刻的速度，与前一时刻的应力数据分成两张网格，形成交错网格。由于每个点的计算只与前两个时刻的对应点有关，同一时刻的点之间计算独立。可以针对其编写对应的内核程序，将每一个点都划分一个计算核心，同时进行计算。在数据量较小的情形由于写入内存与建立环境与记忆体的时间消耗，进行并行计算并不一定比传统串行更能节省时间与计算资源。但是随着计算规模的进一步增大又会加大算法复杂性与内存泄露的问题，需要及时控制好内存的释放与申请。

具体模型是先建立两个容器，如果计算的时间较短以及规模较小可以不用释放然后可以对任意时刻的结果进行访问。考虑到存储成本，本程序只是针对选择时刻的数据进行计算，通过 OpenCl 计算数据，计算完成后将实验数据通过 MATLAB 引擎导入到 MATLAB 中。利用相应的绘图函数绘制波场快照图，以观察波形的扩散。并自动存储进相应的文件夹，以保证日后再读取。在创新上采用了 OpenCl 进行并行计算，用 MATLAB 引擎进行图形

绘制，充分发挥了两种不同语言优点。但是在数据传输衔接的时候由于水平限制，无法完成在同一编译环境下编译程序。采用 Xcode 的 clang 和 g++ 分别编译并行计算部分和 MATLAB 引擎部分。还存在类似的问题。

4 局域网搭建

局域网部分采用 Python 编写。鉴于 Python 语言的便捷性以及运行环境的限制较小。采用 Python2.7 版本。利用 HTML 书写网页界面，Python 编写后台。利用 HTTP 协议负责协调通信。使用时用终端或者 SHELL 运行对应的解释 Python 程序。开放本计算机的 8001 端口，将 Python 文件所在的文件夹映射成一个数据列表。对这个文件进行的操作同时会显示在编写好的网页上。只要在同一 WiFi 环境下的设备，不论是手机或者电脑、平板。通过浏览器访问提出的网址就能访问此文件夹。也可以通过网页向此文件夹传送数据。并实时更新。对于需要时间较长的计算过程。可以不必等待结果，通过此功能可以利用手机随时监控结果的生成。同时由于采用 HTTP 协议可以传送任意格式的文件。本质上就是通过程序建立了一个本机到外机的管道，采用流传输传输数据。结构简单，运行稳定。运行时如图：

```

Serve -- python.MHTTTPServerWFM.py 8001 -- 80x12
Last login: Fri Mar 3 15:17:07 on ttys000
bogon:~$ Seele$ cd /Users/apple1/Desktop/Serve
bogon:Serve Seele$ python MHTTTPServerWFM.py 8001
[2017-03-03 15:18:35] [INFO] - Load file info success
[2017-03-03 15:18:54] [INFO] - IP address: 10.151.148.94, pid: 2149
[2017-03-03 15:18:54] [INFO] - Serving HTTP on: 0.0.0.0, port: 8001
    
```

图 1 局域网运行图

Figure 1:LAN operation diagram

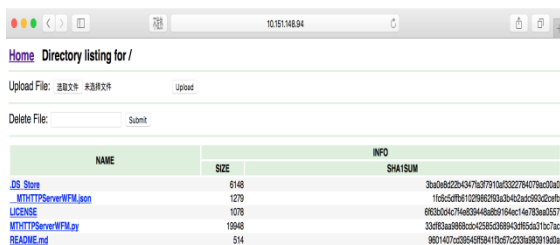


图 2 局域网端显示图

Figure 2 :LAN display

5 界面设计

界面部分，采用 Qt5 进行封装。将内核程序分别封装编译完成，利用 Qt 的控制台命令通过点击按钮激发预先设置好的槽机制。采用非阻塞式生成相应的进程。界面生成采用最新的 Qt-Designer 手动拖拽窗口与设置槽，代码自动生成。除了后台的代码编写，前台界面完全可以自动生成。即使刚刚学习的初学者也可以很容易的利用强大的 Qt 库生成出心仪的界面。由于 Qt 利用的是 C++ 语言编写而成的。并不需要再额外安装虚拟机与运行时环境，可以做到很容易的跨平台。

界面由主屏幕与功能按钮组成。最上方可根据选择修改要进行计算的时间。选择显示波场快照还是波场视图。由于存在 Vx 与 Vy 两种速度。根据选择刷新主屏幕显示的内容。打开本机与云端的存储文件夹。以及一键将本机文件夹上传至云端的功能。



图 3 界面设计图

Figure 3 interface design

6 MATLAB 成图

点开软件之后，根据在微动信号传播过程中在不同的时刻所成的波场视图的不同，在显示时刻的对话框里输入具体的微动信号传播的具体时刻。点击之后调用 MATLAB 生成各时刻的微动信号模拟正演图，分为 x y 两个方向。以 0.6s,0.8s,1.0s,1.8s 时刻为例，生成波场试图如下图所示。

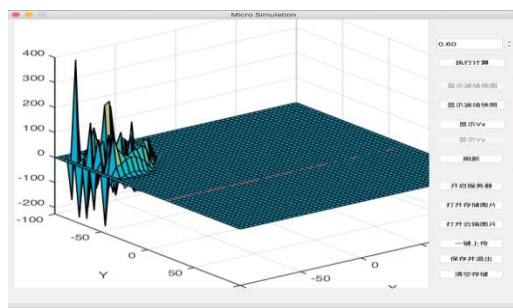


图 4 0.6s 时刻波场视图

Figure 4 0.6s moment wave field of view

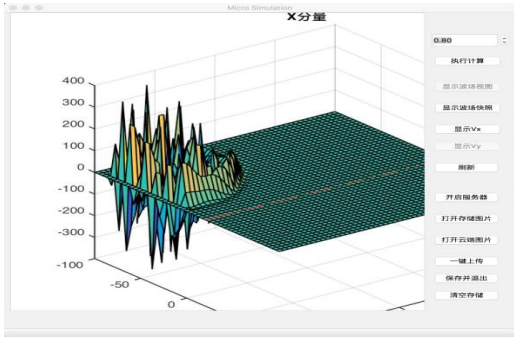


图 5 0.8s 时刻波场视图

Figure 5 0.8s moment wave field of view

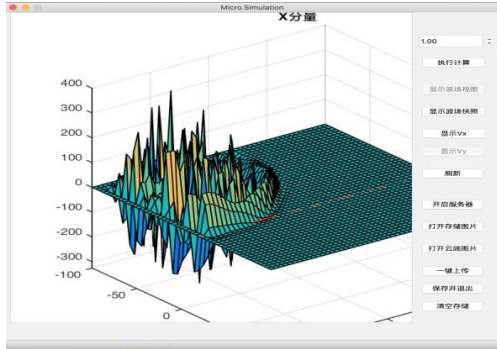


图 6 1.0s 时刻波场视图

Figure 6 1.0s moment wave field of view

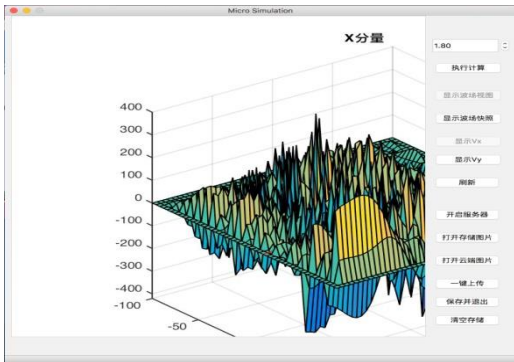


图 7 1.8s 时刻波场视图

Figure 7 1.8s moment wave field of view

1. 彭远黔, 李雪英, 高登平. 场地脉动观测数据处理方法的差异性研究[J]. 山西地震, 2000, (2).
2. 孙勇军, 徐佩芬, 凌甦群, 李传金. 微动勘察方法及其研究进展[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(1).
3. 杨博雄, 胡新和, 陈志高, 刘海波, 路杰, 欧同庚. 微动信号的数据处理与岩土频谱特性分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(3).
4. 武英婷. 交错网格高阶有限差分的弹性波波场数值模拟[D]. 西安:西安理工大学, 2010.
5. 周晓华, 陈祖斌, 曾晓献, 焦健. 交错网格有限差分法模拟微动信号[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(3).
6. 李洋森, 孟凡顺. 弹性介质瑞雷面波交错网格有限差分法数值模拟[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2012, 14(5).

7 结束语

软件中采用交错网格有限差分的方法模拟信号, 可以得到在观测时间内任一时刻的波长快照图。在模拟过程中, 需要的数据计算量偏大, 采用 GPU 计算来辅助进行运算。局域网的搭建部分, 可以使得连在同一无线的设备共享, 上传, 和下载数据。但是对于各种底层设备和逻辑对上层设计的影响还认识不足。在这次项目的开发中表现的十分明显。

参考文献