「监测系统」

基于LPC2138的改进时差法三维测风系统

文/国网河南省电力公司建设管理中心　康基伟　徐　敏
国网青海省电力公司西宁供电公司　楚亚博

基于模块化思想设计了一套三维风速风向测量系统，以微处理器LPC2138为控制核心，以超声波为风信息载体，通过对超声波收发信号的调理、量化，利用均值滤波改进时差法测量风速风向，并增设键盘、显示屏、串口和GPRS等外围辅助单元，可实现矢量风参数的精确测量，并具有实时显示及远传通信等功能。

随着经济社会的蓬勃发展，无论日常生活还是工农业生产、科学研究，对风速风向的监测与控制均提出了新的要求。传统的机械式、热敏式、皮托管式等测风方式因受转动磨损、热平衡稳定性及低速敏感性等诸多因素制约，其推广性和普适性在不同场合有所局限。基于微处理器的改进时差法三维测风系统采用超声波为风信息载体的测量方式，克服了仪器本体及外界环境的绝大部分不良影响，不仅响应快、精度高、可靠性强、寿命长、规模化成本低，而且可实现三维矢量测量，尤其在微环境中使用时对风场的干扰很小，适应能力极强。依托微处理器的强大信息处理功能扩展外围人机交互接口后，更具有人性化、智能化的优势。本文将在介绍测量原理的基础上，全面阐述系统的硬件组成方案及软件设计流程，以期为该方面的进一步研究提供参考。

三维时差法超声波测风原理

超声波是一种依靠弹性媒介进行传播的机械波，频率$f>20$ kHz，其传播速度与媒介特性密切相关，并随媒介内部运动即时变化。风的实质是三维空间内的空气运动，超声波在其中传播时会在顺风与逆风方向出现一个速度差，若传播距离固定，此速度差反映为一个时间差，该时间差与待测风速具有线性关系。

三维测量中，分3组设置6只收发一体式超声波探头，两两垂直，通过正、逆压电效应实现声能与电能的相互转换。每对探头间距离均固定为L（满足远大于超声波波长），然后以固定频率f顺序交替发射超声波，同时配对探头顺序交替接收超声波，经测量分别得到3个垂直方向上顺逆风时的超声波传播时间，再由软件换算得到3个垂直方向上各自的风速值，经矢量合成可最终确定三维风速及风向。一维风速的测量原理如图1所示。

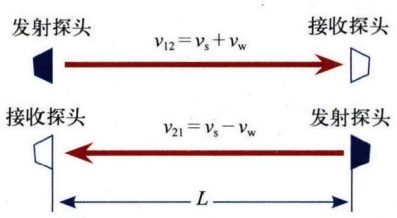

图1　时差法超声波一维风速测量原理图

A、B为超声波探头，先A发射，B接收，传播时间为t_{12}，再B发射，A接收，传播时间为t_{21}。记v_w、v_s分别为风速和无风时超声波波速，有：

1）顺风时，v_s与v_w相叠加，超声波从A到B的传播速度为$v_{12}=v_s+v_w$，传播时间为$t_{12}=L/v_{12}=L/(v_s+v_w)$。

2）逆风时，v_s与v_w相抵消，超声波从B到A的传播速度为$v_{21}=v_s-v_w$，传播时间为$t_{21}=L/v_{21}=L/(v_s-v_w)$。

因此，一维风速$v_w=L/2(1/t_{12}-1/t_{21})$。

同理，可得两两垂直的三维方向上的风

速分量v_{wx}、v_{wy}和v_{wz}，经矢量合成得三维风速$v_w=\sqrt{v_{wx}^2+v_{wy}^2+v_{wz}^2}$，风向角$\theta=\arctan(v_{wy}/v_{wx})$或$\theta=\arctan(v_y/v_x)+\pi$。三维风速风向测量原理如图2所示。

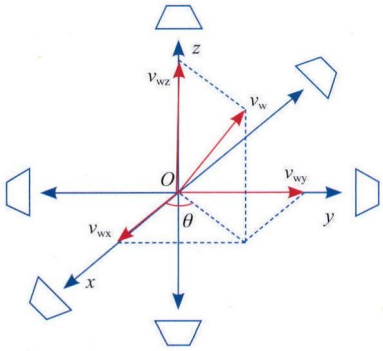

图2　三维超声波风速风向测量原理图

环境温度T会影响静风超声波波速v_s。根据超声波测风原理可知，该方法与$v_{水\pm}$无关，只需测得超声波在固定距离内顺风、逆风的传播时间，即可求得风速和风向，因此有效地消除了环境温度对测量的影响，省去了复杂的静风速度修正环节。

系统硬件方案及组成

本系统主要由超声波换能器及驱动电路、信号接收电路、信号调理电路、人机接口、多机通信电路、电源电路，以及系统的运算与控制核心LPC2138微处理器等组成。系统总体结构框图如图3所示。

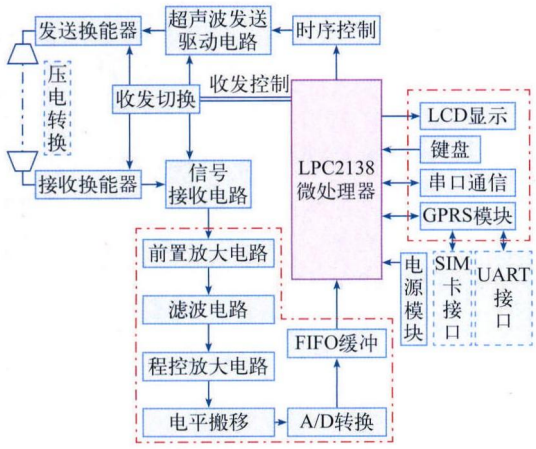

图3　系统总体结构功能框图

整个设计方案按功能可分为3个单元。

1. 超声波发送与接收单元

采用涡流效应很小的TCF40－10TR收发一体式超声波换能器，根据正、逆压电效应实现电能与高频声能相互转化。系统通过LPC2138控制内部定时器和脉宽调制器产生合适功率、脉宽及频率的激励电压脉冲去控制激励电路中MOSFET的导通与截止，用其产生的高压脉冲去驱动超声波换能器发出所需要的超声波信号。由于发射信号的幅值远大于接收信号，设计由限流电阻及二极管构成的并联限幅电路，隔离发射信号对后级精密运放的冲击及干扰；并在发射时，适当延时后开启接收电路来进一步躲避发射信号的直达干扰。超声波发射信号在空气中传播并加载风速风向信息，经接收换能器压电效应产生一个与风速信息有确定关系的弱电信号，通常该信号电压只有毫伏级。接收和发射电路的切换由CPU控制CD4051的地址线选择实现。系统共设置3对超声波收发电路，其中一对收发电路如图4所示。该单元的主要功能是实现稳定、高质量的超声波发送与接收，并精准地进行收发切换。

2. 信号调理及量化单元

空气媒介并不是完全纯净的，漂浮有粉尘、水汽等杂质，超声波发射信号在其中传播时不可避免的会因吸收、反射、散射而衰减；同时，外界环境也总是存在各种电磁、振动噪声。当携带有风速风向信息的超声波信号到达接收电路转换为电压信号时，仅有毫伏级，并夹杂各种不良噪声。因此，为使接收信号达到CPU处理的范围，并提高信噪比，需要对其采取一系列的放大滤波预处理。系统的信号调理模块设计为两级放大电路（前置放大及PGA程控放大）、一级模拟滤波和一级电平搬移模式，并做量化及缓冲处理。

前置放大电路使用了高增益高共模抑制比、低噪声低漂移的精密仪用运放OP37A，具有强抗干扰能力及高输入阻抗特性。电路在对携带有风速信息的有用信号放大的同时放大了噪声，为利于后续电路对信号的处理，需提高信噪比。系统超声波换能器中心频率为40 kHz，在设计中由MAX275内部的2个二阶节级联成1个四阶带通滤波器实现信号选频。模拟滤波电路设计如图5所示。

风速的变动引起等效声阻时时变化，导致接收的测量信号强弱不同。系统将OP37A和DAC0832相结合，构成“固定增益放大＋程控增益衰减式”的PGA电路，如图6所示，由软件调节放大器增益，智能化地自适应不同风速时所接收

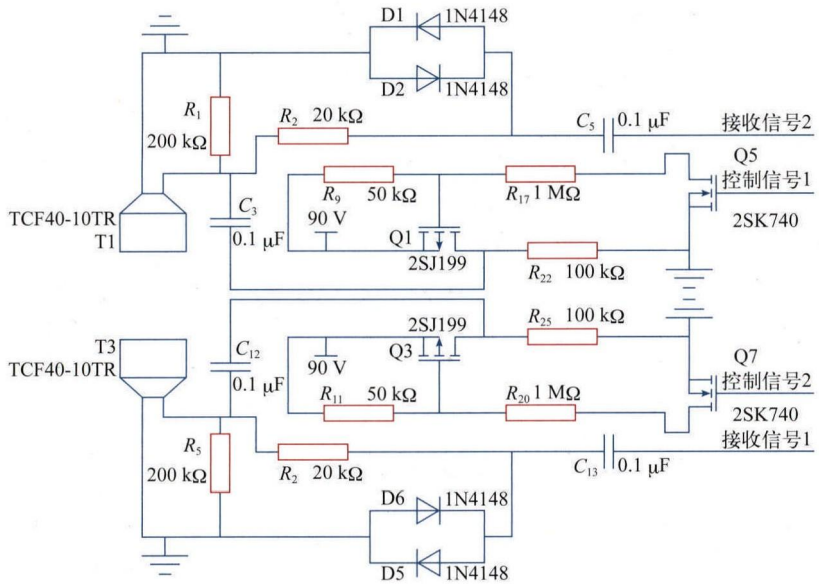

图4　超声波发射与接收电路

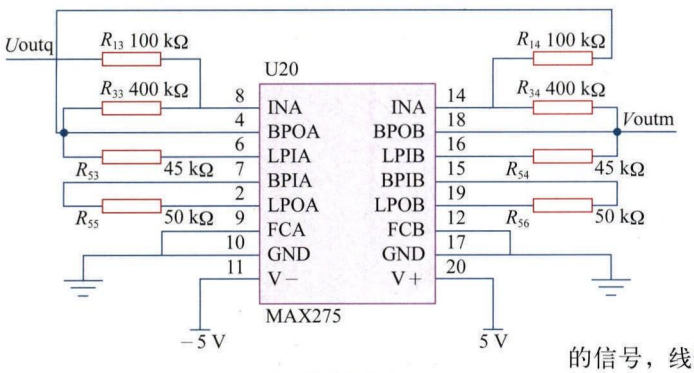

图5　模拟滤波电路

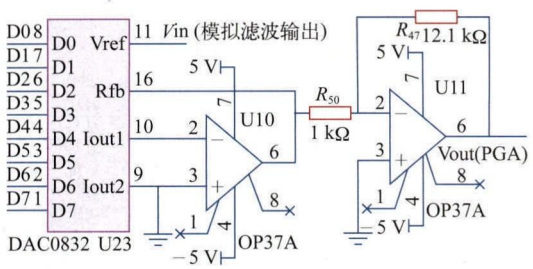

图6　PGA数字程控增益电路

的信号，线性度好，可实现高速、高精度、宽增益范围的信号放大处理，显著提高了系统的环境

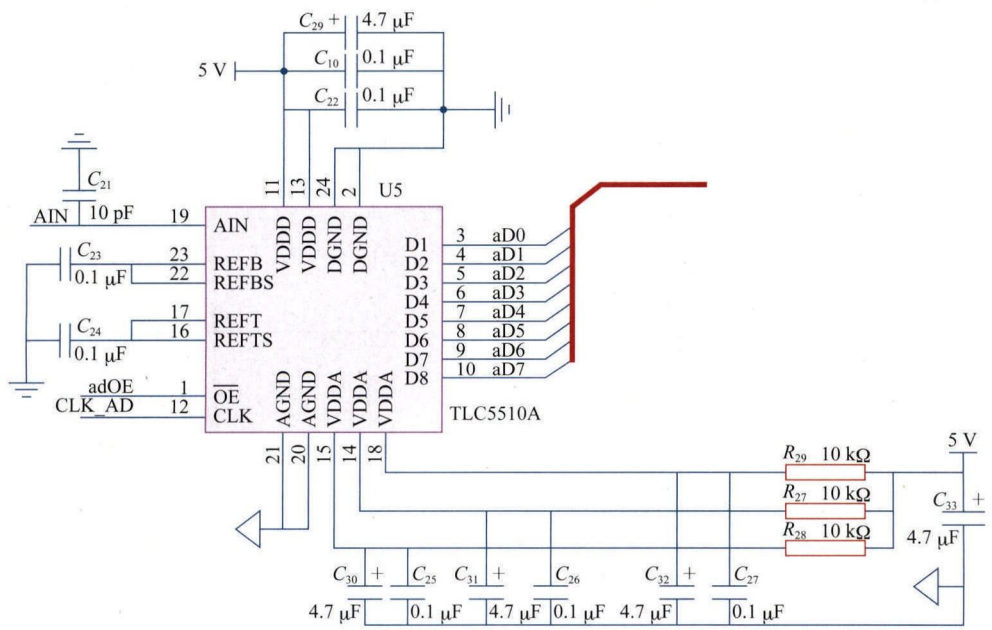

图7　A/D转换电路

www.eage.com.cn

适应力。

对放大、滤波处理后的信号采用模拟加法电路进行电平搬移，以达到下级A/D的模拟输入范围，进而通过A/D转换对模拟信号进行量化，满足LPC2138对信息运算和判别的要求，图7所示为A/D转换电路。综合考虑信号的转换速率和转换精度、芯片的功耗和成本、LPC2138的数据运算能力以及数据对存储容量的要求等，选定10 MSPS的采样频率，并选用TI公司生产的具有20 MSPS高采样能力、8位分辨率的新型高阻抗并行A/D转换芯片TLC5510A，以实现超声波接收信号到达时刻的精确定位。该芯片采用CMOS工艺及半闪速结构，大量减少了比较器的使用，缩小了电路规模，在实现高速转换的同时保持了较低的功耗（130 mW）；它内部集成有采样保持电路，外围电路的设计得到了简化。

为解决A/D数据转换与CPU数据处理速率的差异，避免速率不匹配可能造成的数据处理不及时，或导致数据丢失或误读，增设异步FIFO（先进先出）缓冲，如图8所示，保证A/D转换后的数据有序、正确的读入LPC2138，同时降低对其实时性的要求。

3. 外围辅助单元

在系统外围设置了显示屏、键盘、串口及GPRS等接口模块，以便风速风向的直观显示、软件参数的设置和输出信息的选择，更好地满足人机交互和多机通信。

系统软件方案及测量实现过程

1. 软件流程方案

系统程序包含初始化、主程序、测量子程序（含超声波收发控制及数据处理）、UART通信子程序、LCD显示子程序及GPRS通信子程序等。主程序流程如图9所示。

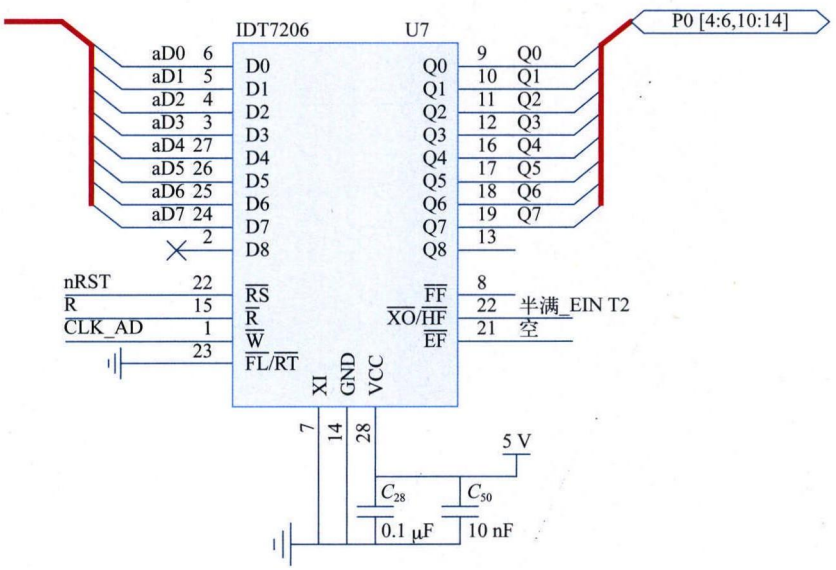

图8 FIFO缓冲电路图

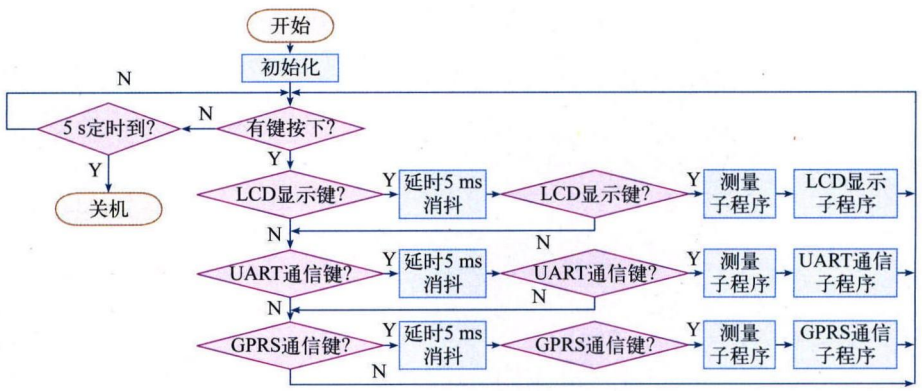

图9 系统主程序流程

超声波收发子程序是系统的核心子程序，实质上是微控制器LPC2138通过对其内部定时器Time1和脉宽调制器PWM5通道的联合控制实现超声波双脉冲的精确发送，并完成接收通道的切换及A/D器件TLC5510A的开启与关闭，最终将数据提供给后续的数据处理子程序进行接收信号的数字滤波和超声波到达时刻的定位，其收发流程及一路收发时序如图10、图11所示。

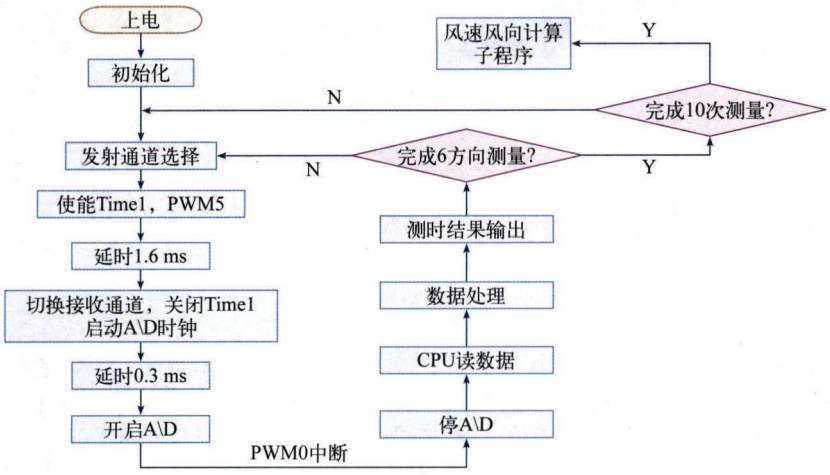

图10 超声波收发程序流程

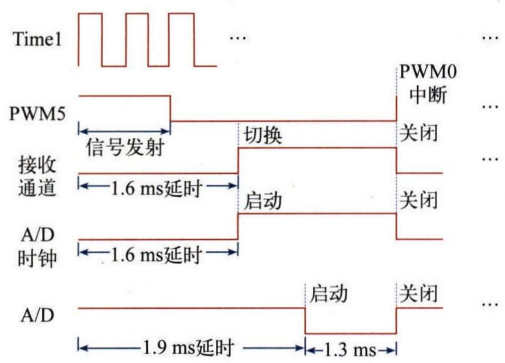

图11 一路超声波收发时序

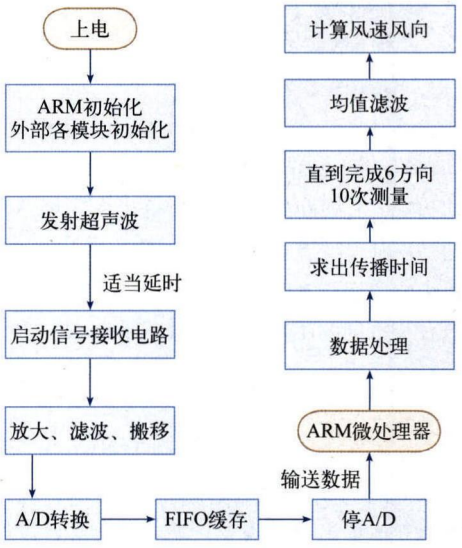

图12 测量实现过程

2. 测量实现过程

软件对常规时差法的改进：共进行了10×6次测量，每个方向各重复10次，数据处理采用均值滤波算法，并进行了一定的改进，具体步骤为：分别对各方向上的10个数据按大小排序，去除最大的2个和最小的2个，然后对6个中间数据做均值计算，之后对6个滤波后数据进行误差补偿，得到三维空间6个方向上的传播时间，传递给风速风向计算子程序进行本次风速、风向的测量（图12）。

结束语

系统充分考虑了各种误差引入因素并进行了适当分析，采取了相应的改进措施及误差补偿，在达到设计指标的基础上进行了整机优化。系统选取参数合适、质量可靠的晶振、换能器、A/D等元器件，并尽量合理布局电路结构，提高软件执行效率，采用数值内插小波算法对接收信号进行峰值奇异分析，精确定位信号起点，加强软硬件抗干扰设计，并采用软硬件延时，增强了系统的环境适应力，测量精度得到显著提高。随着社会需求的不断发展，该方面的研究必将在气象监测、航空航海、风力发电、电器制造、建筑设计、田径运动、军事军工等诸多领域发挥重要作用。**EA**

（收稿日期：2016.07.08）

（编辑：杨得润）