

Design of Two-Dimensional Ultrasonic Wind Speed Measurement System Based on STM32F103ZET6

Weidong Wang

School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: 2212587648@qq.com

Received: Oct. 26th, 2018; accepted: Nov. 8th, 2018; published: Nov. 15th, 2018

Abstract

The accuracy of wind speed measurement is important for the observation of the ocean-atmosphere interface. This paper briefly describes the advantages of the time difference ultrasonic wind speed measurement method, and based on the two-dimensional V-structure ultrasonic measurement principle of time difference method, a two-dimensional ultrasonic wind speed measurement system based on STM32F103ZET6 is built. Compared with traditional wind measurement systems, the design introduces the Hilbert Huang Transform algorithm to process the measurement data, which can ensure the accuracy of the wind speed measurement. The experimental results show that the design has strong adaptability and can achieve high precision wind speed measurement. It has high reference value and practical significance in the observation of complex meteorological environment such as air-sea interface.

Keywords

Air Sea Interface, Ultrasonic Wave, Time Difference Method, STM32F103ZET6, Hilbert Huang Transform

基于STM32F103ZET6的二维超声波风速测量系统设计

王威栋

天津工业大学电气工程与自动化学院, 天津
Email: 2212587648@qq.com

收稿日期: 2018年10月26日; 录用日期: 2018年11月8日; 发布日期: 2018年11月15日

摘要

风速测量的准确性对于海洋-大气界面的观测有着重要意义。本文简述了时间差超声波风速测量方法的优点,并运用时间差法的二维V型结构超声波测量原理,搭建了一种基于STM32F103ZET6的二维超声波风速测量系统。与传统的测风系统相比较,该设计引入希尔伯特黄变换对测量数据进行处理,能够保证风速测量的准确性。实验结果表明:该设计适应性较强,可实现较高精度的风速测量,在海气界面等复杂气象环境的观测中具有较高的参考价值 and 实用意义。

关键词

海气界面, 超声波, 时差法, STM32F103ZET6, 希尔伯特黄变换

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,传统的风速测量仪大多是利用机械构件的转动来衡量风速[1]。与超声波风速仪相比,存在几点缺陷:1) 旋转部件会产生摩擦损耗;2) 存在启动风速,需要启动时间;3) 在海气界面中机械旋转构件的抗浸蚀性能较差[2]。

超声波风速仪与 HHT 算法相结合,不仅弥补了以上缺陷,而且在风速测量精度上有所提高、抗恶劣海况能力增强,成为当下的研究热点。本文简单介绍了一种基于微控制器 STM32F103ZET6、运用时间差法设计的二维超声波测风仪,并引入 HHT 算法对测量数据进行处理。该系统测量精度高、体积小、频率快、稳定性强,十分适用于海洋大气界面等海洋环境的风速测量。

2. 时间差测风方法

目前时间差法最为成熟,运用也最为广泛,同样也适用于在海洋环境下的风速测量。当波程一定时,分别在顺、逆风的情况下,超声波的输送有一个速率差,而这个速率差就对应一个时间差,两者之间是线性关系[3]。

本方法为:4个收发同体的超声波换能器分别放置在东西南北四个方位,两两间隔分别相等[4]。如图1所示,本设计采用V型安装位置,这样在缩小仪器体积的同时,固定了超声波的传播方向、扩大了超声波声程。

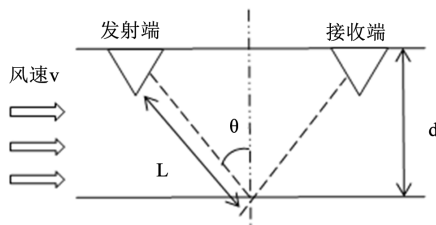


Figure 1. V-type measurement schematic

图 1. V 型测量原理图

当静风时, 设超声波波速为 c , 真实风速为 v [5]。当有风时, 顺、逆风向的时长 t_1 , t_2 和一维风速 v 的关系为:

$$\frac{2L}{t_1} = c + v \sin \theta \quad (1)$$

$$\frac{2L}{t_2} = c - v \sin \theta \quad (2)$$

$$v = \frac{L}{\sin \theta} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad (3)$$

在二维情况下, 在一个平面的 X 和 Y 方位上垂向放置两对换能器 [6]。 v_x 和 v_y 依次对应实际风速在 X 、 Y 方向上的分解 (如图 2 所示)。

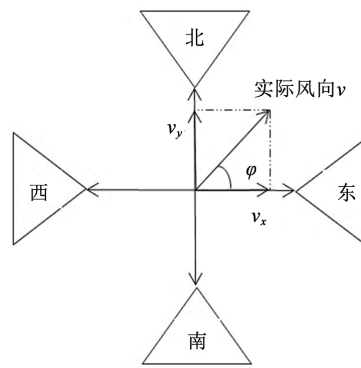


Figure 2. Wind speed vector
图 2. 风速矢量图

假设顺风向时东西方向上的输送时长是 t_{12} 、逆风向时为 t_{21} , 那么同样 t_{34} 和 t_{43} 分别为南北方向上输送的的顺、逆风时长 [6]。

$$v_x = \frac{L}{\sin \theta} \left(\frac{1}{t_{12}} - \frac{1}{t_{21}} \right) \quad (4)$$

$$v_y = \frac{L}{\sin \theta} \left(\frac{1}{t_{34}} - \frac{1}{t_{43}} \right) \quad (5)$$

实际风速为:

$$v = \frac{L}{\sin \theta} \sqrt{\left(\frac{1}{t_{34}} - \frac{1}{t_{43}} \right)^2 + \left(\frac{1}{t_{12}} - \frac{1}{t_{21}} \right)^2} \quad (6)$$

时间差法的原理较为简单, 在测量中不易受环境等因素的影响。不仅电路容易实现、具有稳定的性能, 而且方便提高电路集成度, 降低板上设计面积。

3. 系统方案设计

3.1. 整体方案设计

本方案以 STM32F103ZET6 为核心, 通过产生时序信号来激励发生端工作 [7]。如图 3 所示, 整个系统由电源模块、超声波发射驱动模块、超声波接收模块、滤波放大模块、UART 通信模块和 A/D 采样模

块等组成[8]。

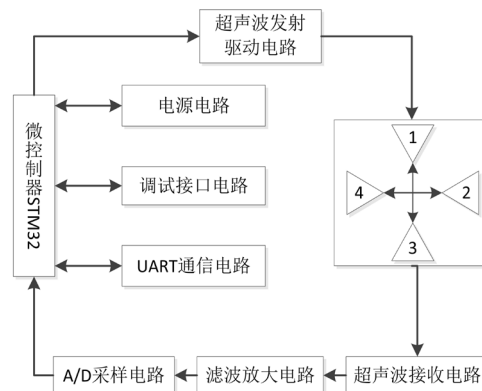


Figure 3. System overall composition
图 3. 系统总体构成图

3.2. 硬件设计

3.2.1. 超声波发射驱动模块

本设计用激励信号 PWM 波配合 LC 滤波来共同实现 DAC 输出[9] (如图 4 所示)。

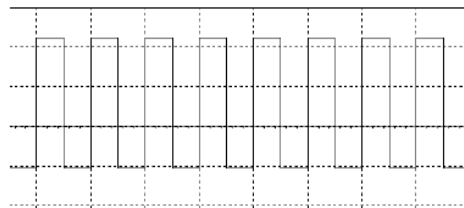


Figure 4. Typical PWM waveform of the actual circuit
图 4. 实际电路的典型 PWM 波形

3.2.2. 超声波接收模块

LC 选频电路如图 5 所示：左侧是一个 74HC238D 译码器，而右侧是发射、接收电路。1、2 和 3 分别是由 STM32F103ZET6 控制的地址输入；K1、K2、K3 和 K4 作为输出端。S1、S3 与收、发兼具的声波探头相连接，CH1 和 CH3 为收到的信号[10]。E1、E2、E3 是译码器的势能点，连接控制器 I/O 口 PB3 与 PB4。由 S3 侧的探头接收，测得 CH3 的回波信号数据并保存[11]。

3.2.3. 信号采集保存

本设计采用 TI 公司的 ADS1298 芯片用于多路信号的同时取样，整合了 8 通道同时采样的 24 位 Delta-Sigma ADC、增益放大器(PGA)、reference voltage 和 oscillator [9]，数据速率 250 SPS 到 32 kSPS。特点是性能优越、取样精确。

3.3. HHT 算法简介

为了更好地应对非线性或非平稳性数据的处理数据方法，Huang 等人在 1998 年首次提出将希尔伯特变换(HT)和经验模态分解(EMD)相结合的方法，NASA 称之为希尔伯特 - 黄变换(HHT)。该方法不需要对基函数预先设定，首先，通过经验模态分解，将任何繁复的信号分解成有限个 IMF 分量和一个剩余分量，能够反映各个时间尺度的变化；其次，对 IMF 分量运用希尔伯特变换，从而得出每个模态的瞬时频率。

该频率能反映数据随时间的变化特性。

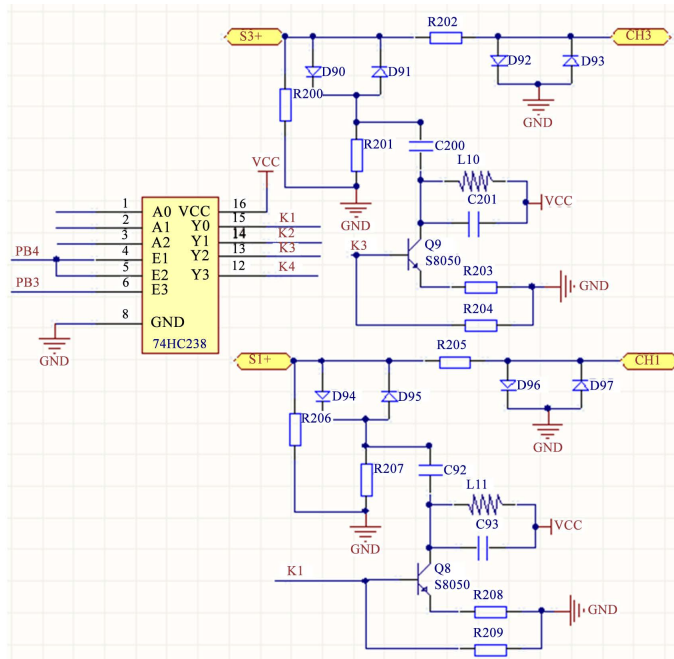


Figure 5. Ultrasonic receiver module
图 5. 超声波接收模块

如图 6 所示，EMD 基本步骤如下：

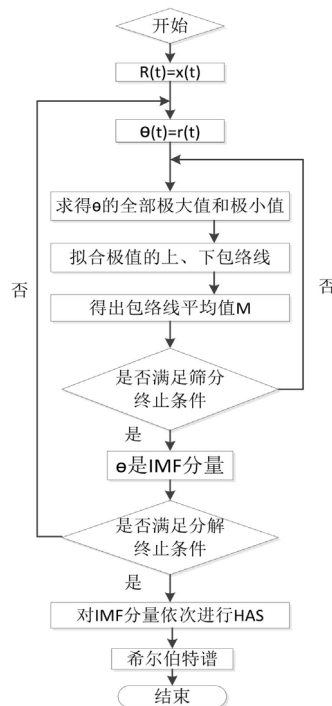


Figure 6. HHT flow chart
图 6. HHT 流程图

1) 基于原始信号 $x(t)$ ，通过三次样条插值法处理极大值和极小值点，得到上、下包络线的平均值为：

$$r_1(t) = \frac{1}{2}(\alpha_1(t) + \alpha_2(t)) \quad (7)$$

2) 计算原始信号 $x(t)$ 与平均值 $r_1(t)$ 的差值：

$$\theta_1(t) = x(t) - r_1(t) \quad (8)$$

3) 如果满足 IMF 条件，那么分解停止；如果不满足 IMF 条件，那么将上述步骤重复直到满足条件，令剩余分量为 $r_1(t)$ ：

$$r_1(t) = x(t) - c_1(t) \quad (9)$$

4) 用剩余分量作为新的信号反复以上的步骤，分离出来所有的 IMF 分量与剩余分量的关系如下：

$$\begin{cases} r_1 - c_2 = r_2 \\ M \\ r_{n-1} - c_n = r_n \end{cases} \quad (10)$$

4. 实验结果与分析

按照海滨观测规范中规定的观测和记录方法，分别在顺风向和逆风向的条件下，每 3 秒采集一次，记录到 0.1 m/s，从 4 个不同测量点上分别选取一定的数据进行对比。如图 7 所示。

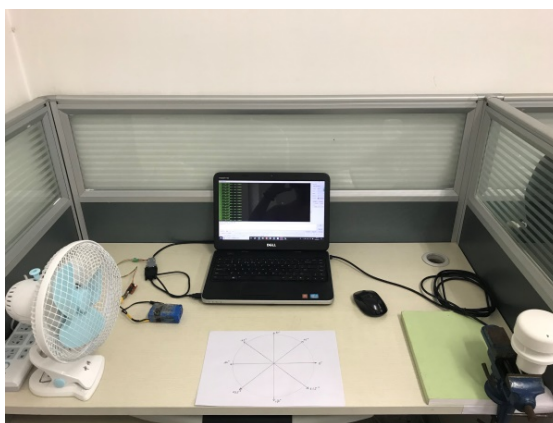


Figure 7. System test physical chart
图 7. 系统测试实物图

由实验数据分析可知，实验区域为 0~3 m/s，每隔 0.1 m/s 选取一个点进行试验，总共 30 个测量点，各测量点符合在 0~5 m/s 的范围内，风速测量准确度在 ± 0.5 m/s 的测量精度要求。将所得数据导入上位机进行滤波，图 8 为顺风向超声波接收信号波形图，图 9 为逆风向超声波接收信号波形图。

4.1. 实验结论

1) 在低风速情况下，采用时差法超声波测风原理能够分别测量出超声波换能器接收到的顺风和逆风时的超声波回波信号，从而测量出风速值；

2) 基于一定数量的试验，运用 HHT 算法进行数据处理，验证了本文设计的具有较高精确度和稳定性。已知空气中的波速 340 m/s，本设计里两对换能器之间传输声程均是 140 mm，可得传播时间间隔为 0.41 ms [10]；相比较而言，STM32F 的最高时钟为 72 MHz，可知时间精确度最高可达 14 ns。

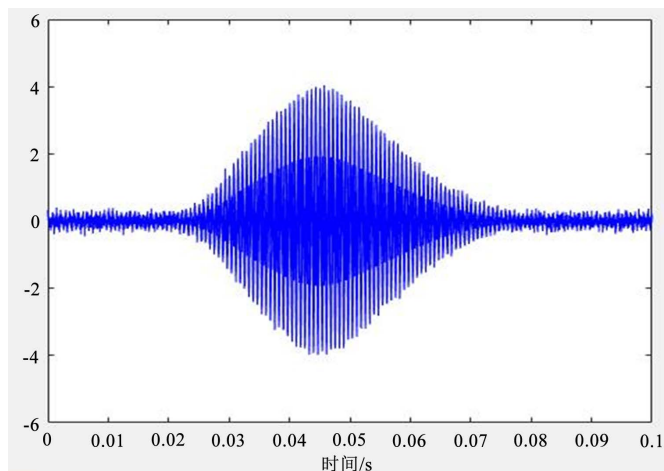


Figure 8. Downwind wave receiving signal waveform

图 8. 顺风向超声波接收信号波形图

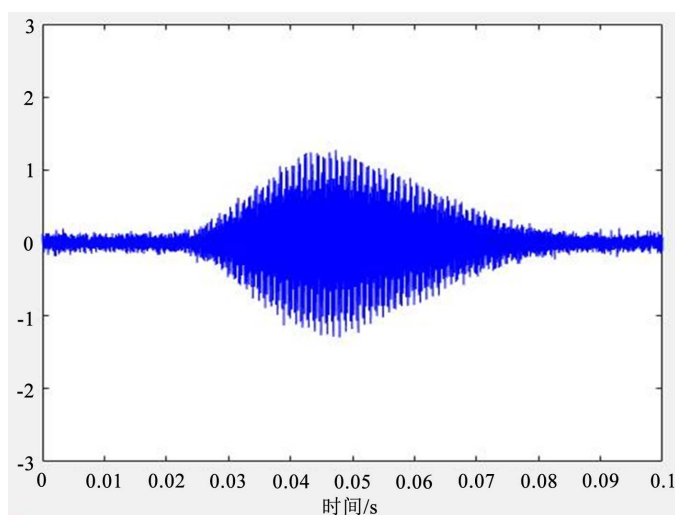


Figure 9. Upwind direction ultrasonic receiving signal waveform

图 9. 逆风向超声波接收信号波形图

4.2. 误差的原因分析

1) 受电路板面积的影响, 实时的温度补偿电路并没有添加, 而是将测得的外部环境温度写入程序中, 从而将测量误差引入系统[12];

2) 用时间差法测量出的低风速值精度基本满足要求。但是在中、高风速情况下, 还需要进一步的验证测试[13]。

5. 结束语

在海气界面的复杂天气中, 由于传统仪器存在偏差大、保障难度大等问题, 本文对超声波测风系统的原理和硬件设计进行了较为详细的介绍, 整体设计电路简单, 易于调试。本设计虽然实现了测量风速的基本功能, 但在某些方面也需要改进:

- 1) 外界温湿度也会影响风速, 可以添加温湿度补偿器来增强测风仪的性能;
- 2) 在数据处理方面引入新的算法来提高准确性。

参考文献

- [1] 陈志洲, 刘小河, 田雨聪. 基于 STM32 单片机测风系统的设计[J]. 电气技术, 2016(5): 31-35+44.
- [2] 刘德荣, 王瑛, 王铁流, 张炳洋. 基于 STM32F 的超声波风速风向仪设计[J]. 测控技术, 2017, 36(6): 97-100.
- [3] 温玉波. 海洋环境基础数据格式转换的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [4] 李聪, 国红玉, 王峰. 二维超声波风速仪[J]. 仪表技术与传感, 2015(2): 29-32.
- [5] 梁家怡. 超声波二维风速风向测量系统设计[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2013.
- [6] 崔国恒, 赵金超, 曹可劲, 等. 基于凹面反射的超声风速测量系统设计与实现[J]. 声学技术, 2014, 33(4): 336-340.
- [7] 行鸿彦, 于祥, 邹水平, 等. 风杯式风速传感器启动风速校准实验箱的分析与设计[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(9): 1996-2004.
- [8] 高中华, 赵湛, 杜利东, 等. 超声波风速风向仪的电路设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(1): 19-20.
- [9] 杨帆. 嵌入式系统在智能便携式自动气象站中的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [10] 全鹏程, 易仕和, 武宇, 等. 激波与层流/湍流边界层相互作用实验研究[J]. 物理学报, 2014, 63(8): 239-243.
- [11] Kim, M. (2015) Test Bench Development for Acquisition Module FPGA of Ultrasonic Flow Meter. 2015 *International Conference on Pervasive Computing*, 1-6.
- [12] Bucci, G., Ciancetta, F., Fiorucci, E., *et al.* (2013) A Low-Cost Ultrasonic Wind Speed and Direction Measurement System. 2013 *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 505-510.
- [13] 陈子建, 王振涛, 许杰斌. EMD 技术在船舶液压设备故障诊断中的应用研究[J]. 机械工程与技术, 2017, 6(4): 324-335.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org