

基于 BP 神经网络的超声测流量系统精度提升

刘 涛,王红亮

(中北大学 电子测试技术国家重点实验室,山西 太原 030051)

摘 要: 基于超声波测流量的时差法测量原理,分析了换能器凹凸安装和安装位置偏差引起的测量误差,建立了流量的系统模型,提出了基于 BP 神经网络的流量计算方法以补偿测量误差。以 Senscomp Tao2008 超声波探头为例,在基于神经网络算法设计的系统软硬件中测量流量。从探头安装位置偏差、凹凸安装以及不同流速等方面进行分析,实验结果表明,神经网络比传统的权重系统拥有更强的非线性补偿能力。

关键词: 神经网络;超声波;测流量;影响因素;精度

中图分类号: TN911

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.190975

中文引用格式: 刘涛,王红亮. 基于 BP 神经网络的超声测流量系统精度提升[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 55-58.

英文引用格式: Liu Tao, Wang Hongliang. The accuracy upgrade of ultrasonic flow measurement system based on BP neural network[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(6): 55-58.

The accuracy upgrade of ultrasonic flow measurement system based on BP neural network

Liu Tao, Wang Hongliang

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Based on the principle of time difference method of ultrasonic flow measurement, the measurement errors caused by the convexity and convexity installation and installation position deviation of transducer are analyzed, the system model of flow measurement is established, and the flow calculation method based on BP neural network is put forward to compensate the measurement errors. Taking Senscomp Tao2008 ultrasonic probe as an example, the flow is measured in the software and hardware of the system designed based on the neural network algorithm. The experimental results show that the neural network has stronger nonlinear compensation ability than the traditional weight system.

Key words: neural network; ultrasonic; flow measurement; influencing factors; accuracy

0 引言

超声波气体流量计作为一种非接触式的测量仪器,因其具有高精度、无内置阻流、对管径适应能力强等优势,在流量测量领域尤其是天然气测量系统占据着重要位置^[1]。其工作原理是当超声波在介质中传播时会携带流体的流速信息,因此可以通过测量超声波的传播时间来计算流速,进而得知流量^[2-5]。虽然超声波流量计拥有各种优势,但在实际应用中,探头的安装方式、安装位置偏差、安装角度都会造成测量误差,影响超声流量计的测量精度^[6-8]。因此,近年来针对硬件设计和信号处理过程的改进从而提高流量测量的精度已经成为科研工作者的重点^[9]。本文针对探头安装效应引起的误差,采用神经网络的测量系统来提高测量精度。

1 基本原理和系统方案

1.1 基本原理

根据对超声波信号检测的不同原理,超声波测流量

的方法可以分为相关法、多普勒法、波束偏移法、时差法等^[10]。其中时差法超声波流量计是利用超声波信号在介质中顺流传播时间与逆流传播时间之差来计算流速,其基本原理如图 1 所示。

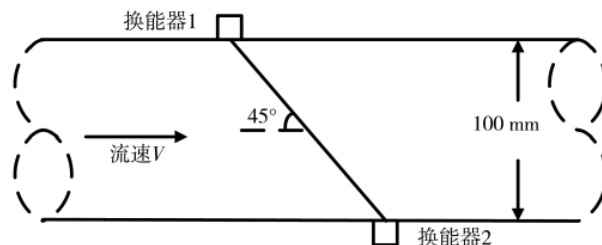


图 1 时差法测量原理图

顺流传播时间:

$$t_{12} = \frac{L}{c + v \cos \theta} \quad (1)$$

式中, L 为声道长度, c 为超声波传播速度, θ 为传播声

测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

道与管道轴向夹角。

逆流传播时间：

$$t_{21} = \frac{L}{c - v \cos \theta}$$

经推理得流体流速计算公式为：

$$v = \frac{c^2 \Delta t}{2L \cos \theta}$$

式中, Δt 为顺逆流时间差。

1.2 系统方案

超声波测流量系统框图如图2所示,采用单片机+FPGA的方案,其中单片机主要负责控制整个系统的有序运行并对数据进行处理,FPGA主要作用是对超声波在管道内的传播时间进行高精度计时。从电路功能的角度,整个系统主要包括放大、滤波模拟处理模块,自动增益控制模块,数字信号处理模块以及串口通信模块。

传感器选用 Senscomp Tao2008 探头,用来发射和接收超声波。系统工作时,为了防止接收噪声,首先关闭模拟开关,单片机控制发射电路发射激励脉冲,FPGA开始计时;接着执行延时子程序,当延时时间长度超过接收噪声信号的范围时,开启模拟开关,使超声波传感器能够接收到回波信号;然后执行自动增益控制程序,使信号幅值基本相同(包括峰值采样、电压调整、自动增益芯片);接着单片机接收FPGA的计时数据,对FPGA复位,准备其他通道的测量。

2 神经网络补偿方法

在流量测量系统中,传统的流量计量算法受探头的凹凸安装方式和安装位置偏差两种安装效应影响较大,安装方式带来的误差得不到很好的补偿。

神经网络最大的优点是无需先验公式,在已有的输入输出样本中通过不断迭代更新参数找到数据内在的规律,然后将学习的结果存储在网络的突触节点中,从而获得强大的非映射能力,最终利用合成的神经网络对数据进行分析^[11-13]。单个神经元的结构一般包括权重系数、阈值系数、激活函数,由多个神经元组成的神经网络

结构如图3所示,由输入层、隐含层、输出层组成。

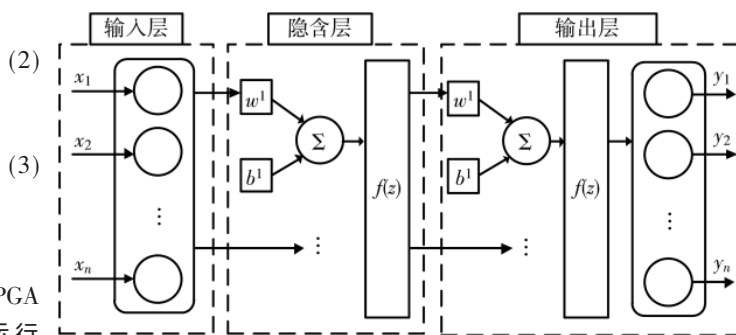


图3 神经网络结构示意图

BP神经网络属于前馈神经网络,它只会在训练过程中产生反馈信号,而在数据分类过程中只会继续传送,直至输出层,期间不会产生向后的反馈信号。神经网络学习是将样本训练集送入神经网络,在根据网络的实际输出与期望之间的差别来调整网络的权重系数。图4为构建流程,通过将样本集训练得到管道内截面的平均流

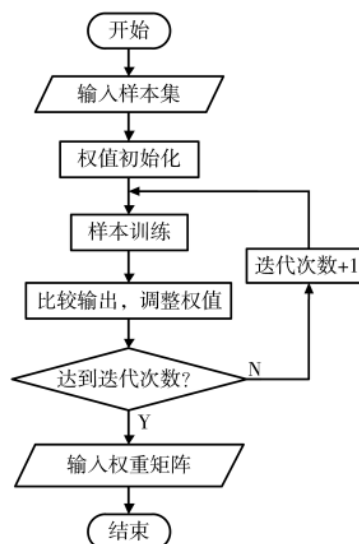


图4 构建神经网络工作流程图

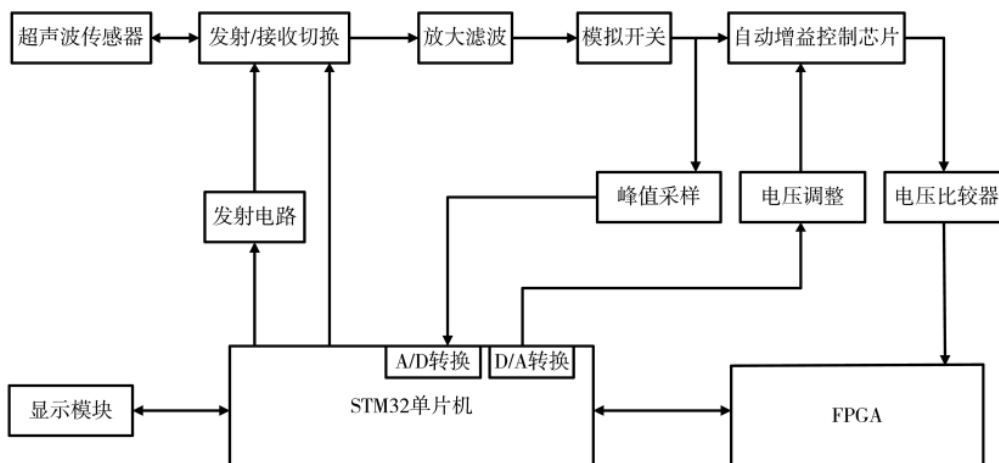


图2 系统总体结构框图

测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

速,然后通过对流速度,运用梯度下降法调整权值,由重复多次输入训练集来不断迭代调整权值,从而得到能够拟合输出与输入之间非线性关系的最终权值系数。

3 硬件设计

超声波测流量过程中,硬件电路会产生很多噪声,加上超声波在管道介质中的衰减十分严重,最终接收到的回波信号很可能被埋在噪声中。因此,硬件电路的设计尤为重要。超声流量测量的硬件电路分为激发电路模块、控制模块、声道切换模块、数据处理模块、电源模块。

3.1 激发电路模块

Senscomp Tao2008 超声换能器的中心频率为 200 kHz,因此在激发换能器的脉冲信号选取时需要使用同频 200 kHz,本文选择稳定性高、激励信号能量强的方波激励电路来激发超声波换能器。为了减少电路产生的噪声对信号接收产生的影响,选用 TDC-GP2 芯片来简化电路设计。激发电路外围连接图如图 5 所示。

3.2 接收电路模块

超声波接收电路模块主要完成对接收信号的放大和滤波处理,使经过处理后的超声波接收信号能够满足后续电压比较器的要求。由于经过管道介质的超声波信号会有很大的衰减,以及伴随着许多干扰信号,因此,系统采用三级接收信号处理电路。接收电路模块如图 6~图 8 所示。首先,通过一级放大电路对信号进行初步放大,接着二级带通滤波电路进一步提高信噪比,对信号进行滤波放大,三级同相放大保证接收的超声波信号达到接下来电压比较器的检测幅值。

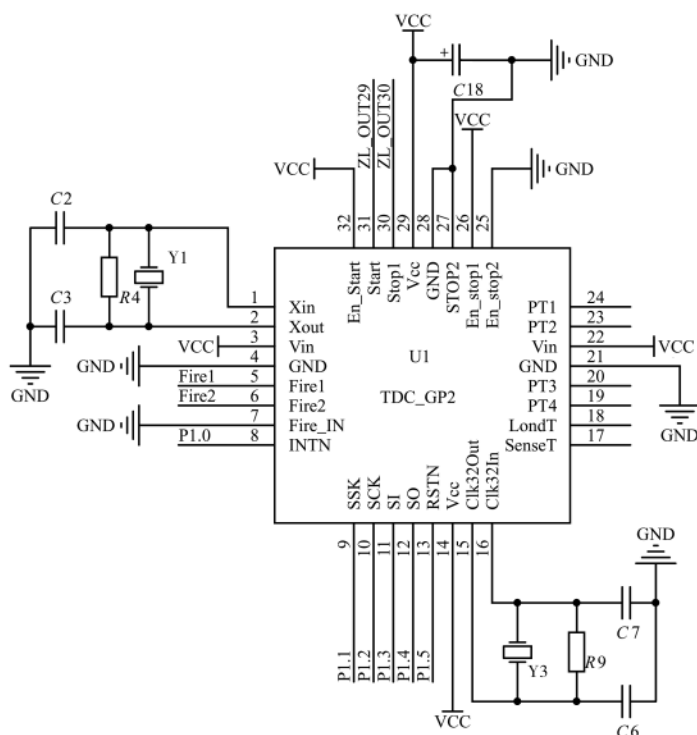


图 5 激发电路外围连接图

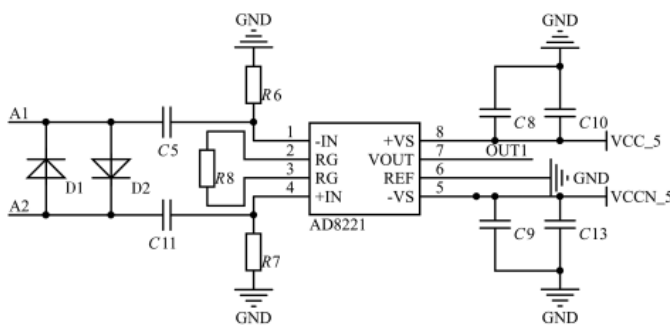


图 6 一级放大电路

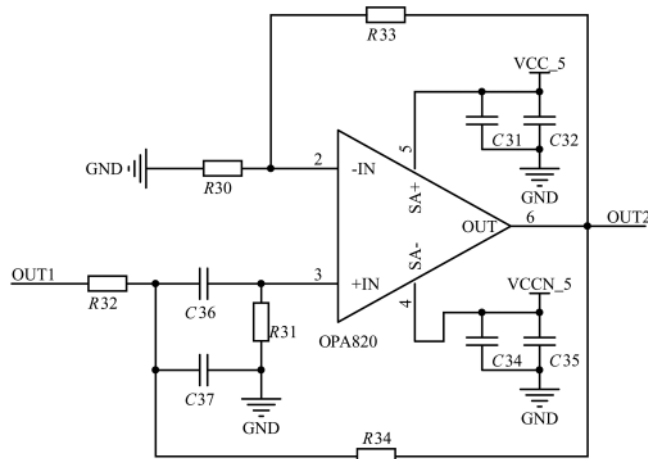


图 7 二级带通滤波

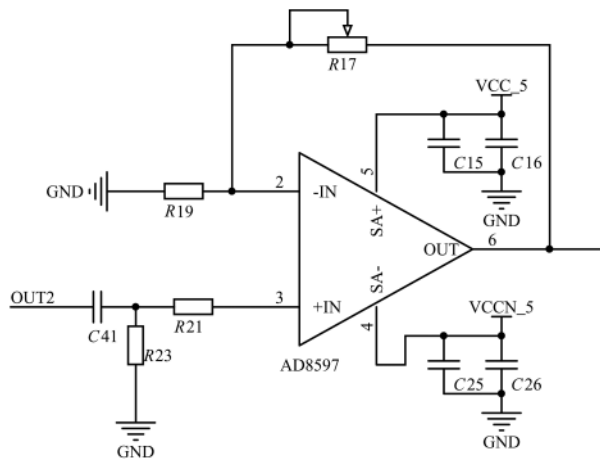


图 8 三级同相放大电路

4 验证实验

为了实现测量实验的气体按指定流量流动,首先通过真空泵组负压吸气,储气罐储存气体,然后通过背压容器、音速喷嘴、滞止容器、阀门的配合。本实验采用的测量管段外径为 100 mm,为了减少探头安装效应对气流的影响,探头选择凹陷安装,安装角度为 45°,因此超声波传播的有效声道长度为 175 mm。将基于神经网络建立的新的流量测量系统测量数据与传统权重系数测量方法所测数据进行比较。

由表 1 数据可以看出,实测数据多小于实际流速。

测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

表1 系统改善前后测量数据对比

| 参考流速/ (m/s) | 权重系数法 | | BP神经网络 | |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| | 实测/(m/s) | 误差/% | 实测/(m/s) | 误差/% |
| 0 | -0.003 5 | \ | 0.002 2 | \ |
| 0.370 5 | 0.325 7 | -12.092 | 0.366 5 | -1.079 6 |
| 0.790 5 | 0.714 2 | -9.652 1 | 0.796 2 | 0.721 1 |
| 1.161 1 | 1.023 3 | -11.868 | 1.138 1 | -1.980 8 |
| 1.457 9 | 1.294 8 | -11.198 | 1.438 4 | -1.337 5 |
| 1.754 6 | 1.638 1 | -6.639 7 | 1.788 2 | 1.914 9 |
| 2.596 6 | 2.319 1 | -10.687 | 2.571 5 | -0.966 6 |
| 3.201 6 | 3.016 4 | -5.784 6 | 3.211 5 | 0.309 2 |
| 3.919 5 | 3.531 6 | -9.896 6 | 3.917 6 | -0.048 5 |
| 4.844 7 | 4.323 1 | -10.766 | 4.797 1 | -0.982 5 |
| 6.596 1 | 5.938 9 | -9.963 4 | 6.592 6 | -0.053 1 |
| 7.710 9 | 6.995 7 | -9.275 2 | 7.766 8 | 0.724 9 |
| 8.877 8 | 7.931 3 | -10.661 | 8.806 5 | -0.803 1 |
| 9.461 6 | 8.513 9 | -10.016 | 9.453 8 | -0.082 4 |
| 10.091 1 | 9.124 5 | -9.578 7 | 10.132 1 | 0.406 3 |

这可能由于声道的长度确定不准确,在以后研究中应该首先对静态管道进行研究,从而准确确定声道长度。

通过权重系数得出的测量数据误差在10%左右,权重系数法不能很好地弥补由安装效应带来的系统误差。通过BP神经网络测量系统所得数据误差基本在1%左右,远远小于传统权重系数所得数据,可见BP神经网络测量系统能有效地补偿安装效应带来的误差。低流速时管道内的气体处于层流状态,高流速时管道内的气体处于湍流状态,气体流速分布更加均匀。另外,高流速基数较大,相对得到的误差会更小。

5 结论

本文通过改善超声波流量计的硬件软件设计来提高系统测量的精度,选用TDC-GP2芯片来简化电路设计,从而减少复杂电路产生的噪声对测量精度的影响;引入BP神经网络补偿由于安装效应带给测量的负面影响。通过试验得出采用本文方法将传统的权重系数法的10%误差降低到了1%,大大提高了气体流量测量的精度。

参考文献

- [1] CHOI H M, YOON B R, KIM C G, et al. Evaluation of flowmeters for heat metering[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2011, 22(5): 475-481.
- [2] BRASSIER P, HOSTEN B, VULOVIC F. High-frequency transducers and correlation method to enhance ultrasonic gas flow metering[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2001, 12(3): 201-211.
- [3] O'SULLIVAN I J, WRIGHT W M D. Ultrasonic measurement of gas flow using electrostatic transducers[J]. Ultrasonics, 2002, 40(1-8): 407-411.
- [4] 姚滨滨, 张宏建, 唐晓宇, 等. 基于时差法和TDC-GP2的超声波流量测量方法[J]. 自动化与仪表, 2011, 26(8): 17-20.

- [5] 唐晓宇, 张宏建, 谢翔, 等. 多声道超声波气体流量计声平面安装角度对测量影响的模型仿真和实验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(7): 1923-1929.
- [6] 李广峰, 刘昉, 高勇. 超声波流量计的高精度测量技术[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(6): 644-647.
- [7] YANG B, CAO L, LUO Y. Forced oscillation to reduce zero flow error and thermal error and thermal drift for non-reciprocal operating liquid ultrasonic flow meters[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2011, 22(4): 257-264.
- [8] CHEN Q, LI W, WU J. Realization of a multipath ultrasonic gas flowmeter base on transittime technique[J]. Ultrasonics, 2014, 54(1): 285-290.
- [9] LI W, CHEN Q, WU J. Double threshold ultrasonic distance measurement technique and its application[J]. Review of Scientific Instruments, 2014, 85: 004905.
- [10] WILLATZEN M. Sound propagation in a moving fluid confined by cylindrical walls— a comparison between an exact analysis and the local-plane-wave approximation[J]. Journal of Sound and Vibration, 2001, 247(4): 719-729.
- [11] 王安琦. 基于神经网络的气体超声波流量计安装效应补偿研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [12] 于耕, 方鸿涛. 基于BP神经网络改进UKF的组合导航算法[J]. 电子技术应用, 2019, 45(4): 29-33.
- [13] 字云飞, 李业丽, 孙华艳. 基于深度神经网络的个性化推荐系统研究[J]. 电子技术应用, 2019, 45(1): 14-18, 22.

(收稿日期: 2019-08-31)

作者简介:

刘涛(1992-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 硬件电路设计、传感器设计及工艺。

王红亮(1979-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 数据采集存储、测试系统集成、超声成像。

欢迎订阅

电子技术应用 月刊

订阅代号: 2-889

定价: 30元/期

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所