

文章编号:1671-251X(2012)12-0062-04

王荣荣,杨海忠. 超声测距误差补偿算法研究[J]. 工矿自动化,2012(12):62-65.

超声测距误差补偿算法研究

王荣荣¹, 杨海忠²

(1. 西京学院基础部, 陕西 西安 710123; 2. 西安财经学院统计学院, 陕西 西安 710100)

摘要:分析了超声测距原理及其存在误差的原因,提出了一种采用BP神经网络的超声测距误差补偿算法。该算法可对给定的输入向量和目标向量进行样本训练,在训练过程中不断调整权值、阈值,最终达到一定的映射关系以修正误差。仿真结果验证了该算法的有效性。

关键词:超声波传感器; 超声测距; 测距误差; 补偿算法; BP神经网络

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2012-11-29 15:21

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20121129.1521.017.html>

Research of Ultrasonic Ranging Error Compensation Algorithm

WANG Rong-rong¹, YANG Hai-zhong²

(1. Department of Basic of Xijing University, Xi'an 710123, China.

2. School of Statistics of Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710100, China)

Abstract: The paper analyzed principle of ultrasonic ranging and its main error causes and put forward an error compensation algorithm of ultrasonic ranging based on BP neural network. The algorithm trains samples of given input vector and target vector, and adjusts weights and threshold in process of training constantly, so as to reach a mapping relationship to correct error. The simulation result verified effectiveness of the algorithm.

Key words: ultrasonic sensor, ultrasonic ranging, ranging error, compensation algorithm, BP neural network

0 引言

超声波传感器是以一种频率为 20 kHz 以上的

声波发生器和接收器为基础,利用渡越时间法测量距离的装置。它的方向性差,但相对于其他类型的传感器有以下优点:适应环境能力很强,可实时准确

收稿日期:2012-09-04

基金项目:陕西省自然科学基金研究计划项目(SJ08A26);中小企业技术创新基金项目(08C26226102372)

作者简介:王荣荣(1971-),女,陕西西安人,讲师,硕士,主要研究方向为电子技术应用和系统故障诊断。E-mail:331880660@qq.com

参考文献:

- [1] 王学伟,邵亚琴,汪云甲. 基于 ArcGIS Engine 的矿井巷道三维自动建模方法的研究与实现[J]. 工矿自动化,2009,35(5):22-25.
- [2] 陈学工,张文艺,张驰伟. 一种 GIS 缓冲区矢量生成算法及实现[J]. 计算机技术与发展,2007,17(3):13-17.
- [3] 张宏. 地理信息系统算法基础[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [4] 姚建海. 煤矿三维巷道建模技术研究[J]. 太原科技大学学报,2009,30(1):80-86.
- [5] 石奉华. 巷道三维可视化建模技术——以东滩煤矿为例[D]. 青岛:山东科技大学,2007.
- [6] 王建民. 三维巷道建模及其应用研究[D]. 太原:太原理工大学,2005.
- [7] 张志华. 矿山巷道三维网络模型的构建及其路径分析方法研究[D]. 西安:西安科技大学,2010:30-80.

地探测到障碍物信息,并可将信息反馈给信息处理设备,具有较强的抗电磁干扰能力。其工作原理是根据超声波传播理论,当障碍物的尺寸小于超声波波长的 $1/2$ 时,超声波将发生绕射,只有障碍物尺寸大于波长的 $1/2$ 时,超声波才会反射^[1]。

但超声波测距系统中存在一定的局限性,主要表现在2个方面:一是因为超声波的波长相对较长,对于稍大的扁平的障碍物可以发生镜面反射,传感器由于接收不到反射信号,使此障碍物不能被检测到,进而待测试距离无法获得;二是由于超声波受环境温度、湿度等条件的影响,以及超声固有的宽波束角,超声传感器在测距时,所测量的值与实际的值误差较大。如果在温度、湿度变化大、精度要求高的作业环境下,应同时考虑这两个因素对声速的影响,算法复杂。而BP(Back Propagation)网络是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络,能学习和存贮大量的输入—输出模式映射关系,而无需事前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用最速下降法,通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值,使网络的误差平方和最小。

为此,本文提出用BP神经网络法对超声测距误差进行补偿。

1 超声测距原理

本文采用超声测距最常用的方法,即渡越时间探测法,在声速已知的情况下,通过测量超声波回声所历经时间获得距离,原理如图1所示。

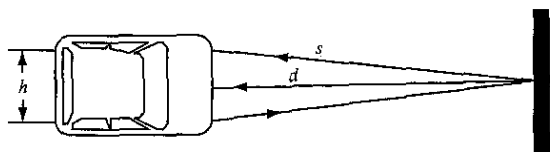


图1 超声波测距原理

超声测距的工作原理^[1]:根据超声波传播理论,当障碍物的尺寸小于超声波波长的 $1/2$ 时,超声波将发生绕射,只有障碍物尺寸大于波长的 $1/2$ 时,超声才发生反射。

超声波向空气中发射声脉冲,声波遇到被测物体反射回来。已知声速为 v ,若能测出第一个回波到达的时间与发射脉冲时的时间差 t ,则传感器与反射点之间的距离 s 为

$$s = \frac{1}{2}vt \quad (1)$$

测量距离 d :

$$d = \sqrt{s^2 - \left(\frac{h}{2}\right)^2} \quad (2)$$

式中: h 为车辆的宽度。

当 $s \gg h$ 时,则 $d \approx s$,即

$$d = s = \frac{1}{2}vt \quad (3)$$

典型超声波测距系统一般由超声换能器、换能器驱动电路及数据采集系统组成,其原理如图2所示。超声换能器的主要作用是发射和接收超声信号;换能器驱动电路是用来产生一定频率的交变电压作为换能器的工作电源;数据采集系统主要是用来捕捉并采集回波信号,一般由触发电路、采样电路、微处理器组成。随着大规模集成电路技术的发展,出现了超声波测距专用集成电路。

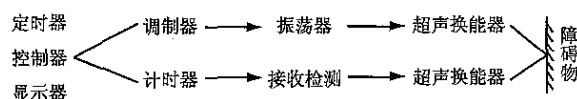


图2 典型超声测距系统原理

2 超声测距系统误差分析与修正

由超声波测距原理可知,影响测距精度的因素较多,在计算方面,距离与声速、时间有关系;在硬件方面,处理电路和处理方法等也有影响,同时硬件响应时间和换能器之间的间隔等也是影响精度的重要因素。

(1) 温度湿度分析修正

超声测量得到的距离与超声波的声速和渡越时间有关,而超声波的声速与环境温度、湿度都是有关系的。在一些测量精确度要求较低的情况下,声速可以取 340 m/s ,在对速度有要求时,多数用拟合公式^[4]:

$$v = 331.4 \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad (4)$$

式中: T 为绝对温度,K。

在非常温、常湿状态下的声速与测量得到的值会有很大的差异。而且,当湿度不同时,同一温度下的声速也是有很大变化的。若将温度补偿得到的声速用于计算距离,将有可能引起很大的误差。

(2) 时间分析修正

由于收发电路对信号的处理和单片机采集信号的过程均会对回声时间产生一个固定的延迟时间 Δt ,从而引出一定的测量误差。采用下面的方法对

延迟时间进行修正^[5]。

设 S_1 、 S_2 是已知的固定距离, t_1 、 t_2 分别对应与 S_1 、 S_2 这两个固定距离采集到的回声, 则超声波在距离内往返传播所用的实际时间分别为 $t_1 - \Delta t$ 和 $t_2 - \Delta t$, 故有

$$S_1 = \frac{1}{2}v(t_1 - \Delta t) \quad (5)$$

$$S_2 = \frac{1}{2}v(t_2 - \Delta t) \quad (6)$$

则由式(5)、(6)可以得到

$$\Delta t = \frac{S_2 t_1 - S_1 t_2}{S_2 - S_1} \quad (7)$$

在实际测量中, 将测得的 S_1 、 S_2 、 t_1 、 t_2 代入式(7)即得 Δt , 再将测得的回声时间减去 Δt , 就可以消除时间对测量结果的影响了。

3 超声测距补偿算法

为了消除超声波传感器带来的误差, 同时鉴于神经网络对控制领域具有吸引力的特征, 本文引入前向传播、后向反馈的 BP 神经网络, 在不建立方程的基础上, 直接通过标定数据建立网络后训练, 并在训练好的网络基础上得出某种环境下的声速, 进而可算出更为可靠的测量距离^[6]。

超声波补偿算法采用 BP 算法, 利用一个 2 层的前向神经网络(隐含层和输出层), 对于给定的输入向量和目标向量进行样本训练, 网络在训练的过程中不断调整权值、阈值, 最终达到一定的映射关系^[7]。

3.1 BP 算法推导

BP 算法推导主要分为 2 步: 前向传递和后向反馈^[8]。

(1) 前向传递

设输入层为 M 层(任一神经元用 m 表示), 隐含层为 I 层(任一神经元用 i 表示), 输出层为 P 层(任一神经元用 p 表示); 输入层与隐含层的权值用 w_{mi} 表示, 隐含层与输出层的连接权值用 w_{ip} 表示, 神经元输入用 u 表示, 激励输出用 v 表示。

输出层的第 p 个神经元的误差信号: $e_{np} = d_{np}(n) - y_{np}(n)$; 则输出层所有神经元的误差能量

$$\text{总和为: } E(n) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P e_{np}^2(n)。$$

(2) 后向传递

信号误差从后向前传递, 在反向传播过程中, 逐

渐修改连接权值。

① 隐含层 I 与输出层 P 之间的权值修正, 权值的修正量与误差对权值的偏微分呈正比 $\Delta w_{ip} \propto \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ip}(n)}$ 。根据 Delta 学习规则, $w_{ip}(n)$ 的修正量为

$$\Delta w_{ip} = -h \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ip}(n)} = h \delta_p^p(n) v_i^i(n) \quad (8)$$

式中: h 为学习步长; $\delta_p^p(n)$ 为局部梯度。

② 隐含层 I 与输入层 M 之间的权值修正与①相似, 从而得到修正量为

$$\Delta w_{mi}(n) = h \delta_i^i(n) x_m(n) \quad (9)$$

则下一次迭代时的权值就变化为

$$w_{mi}(n+1) = w_{mi}(n) + \Delta w_{mi}(n) \quad (10)$$

3.2 每层神经元个数

本文选用典型的 3 层神经网络, 即输入层、隐含层、输出层。

算法中用温度和湿度 2 个向量作为输入, 那么输入层有 2 个神经元; 输出只有 1 个神经元, 即为声速; 对于中间隐含层神经元, 选择合适的隐含层节点数在理论上并没有明确的规定。如果选取个数太少, 网络难以处理较为复杂的问题, 反之, 如果选取个数太多, 网络训练的时间增加。在具体设计时, 比较实际的做法是通过对不同神经元数进行训练对比, 然后适当地加上一二余量, 即在能够解决问题的前提下, 再加上 1~2 个神经元以加快误差的下降速度。所以, 在多次反复仿真的基础上, 本文隐含层神经元个数选择为 6。

3.3 神经网络参数设置

网络初始权值选在 $(-1, 1)$ 之间的一个随机值; 学习速率决定每一次循环训练中所产生的权值变化量。大的学习速率可能导致系统的不稳定, 但小的学习速率导致较长的训练时间, 可能收敛很慢, 不过能保证网络的误差值不跳出误差表面的低谷而最终趋于最小误差值。所以在一般情况下, 倾向于选取较小的学习速率以保证系统的稳定性。学习速率的选取范围在 0.01~0.80, 本文取 $lr=0.05$, 迭代次数 $\text{epochs}=1\ 000$, 平方和误差目标 $\text{goal}=0.01$ 。

4 算法仿真与结果分析

在 Matlab 中, 应用 BP 算法, 以标定的温度值和湿度值作为神经网络的输入, 以超声波的声速作为输出值。将 0℃、10℃时的样本作为网络检测值, 其他温度下的值作为训练样本。通过神经网络

的训练得到如表1所示的仿真结果。实际速度和BP补偿算法得到的预测速度如图3所示,将所得的速度进行计算后,取 $t=10\text{ s}$,得到距离、误差仿真结果如图4所示。

表1 BP补偿算法下的仿真结果

湿度/%RH	温度/ $^{\circ}\text{C}$			
	0		10	
	补偿算法值	实际值	补偿算法值	实际值
0	425.37	426.5	429.81	431.8
20	365.55	369.4	376.04	374.6
40	315.66	312.3	314.95	317.4
60	258.71	255.2	266.35	260.2
80	201.19	198.1	209.28	203.0

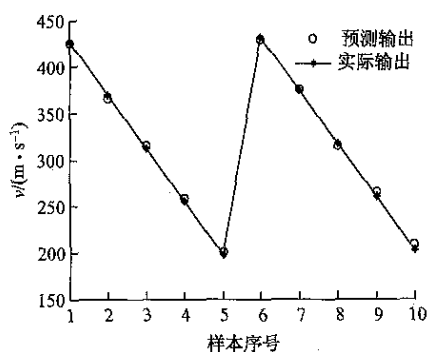


图3 实际速度与预测速度对比曲线

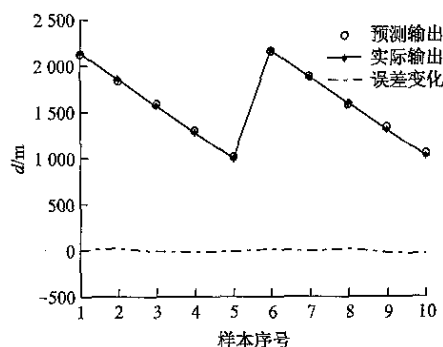


图4 BP补偿算法下距离、误差仿真曲线

从表1和图3、4可以得到以下结论:实际值与补偿算法得到的数值误差均值在1.182%左右,而最大误差为3.09%,最小误差仅为0.26%,从实际应用来讲,已经可以达到测量的精度范围,具有一定的可用性。

5 结语

首先讨论了超声测距系统的工作原理,介绍了测距系统误差产生的原因,给出修正方法,最后通过BP算法对误差进行补偿,从而提高了误差精度和稳定性。仿真结果验证了该算法的可行性和有效性。

参考文献:

- [1] YANG M, WANG H, HE K. Obstacle Avoidance Using Range Data in Autonomous Navigation of Mobile Robot[C]//Proc. of the 1999 International Symposium on Test and Measurement. Xi'an: Int. Academic Publishers, 1999: 929-933.
- [2] 杜晓坤,陈锋. 超声传感器补偿算法在机器人避障的应用[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(3): 111-113.
- [3] 隋卫平. 高精度实时超声测距技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2003.
- [4] 曾一民. 基于超声波的机器人避障和目标跟踪方法的研究[D]. 成都:电子科技大学, 2008.
- [5] 杨武强. 机器人超声避障控制系统的研究[D]. 南昌:南昌大学, 2007.
- [6] 李舜韶,沈岷,毛建国,等. 智能车辆发展及其关键技术研究现状[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(1): 1-3.
- [7] 杨东鹤. 智能移动机器人的超声避障研究[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(15): 3659-3660.
- [8] 乔俊飞,侯占军,阮晓钢. 基于神经网络的强化学习在避障中的应用[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2008, 48(52): 1747-1750.

矿井多媒体综合信息发布系统

矿井多媒体综合信息发布系统由中煤科工集团常州自动化研究院、天地(常州)自动化股份有限公司研制推出,可解决煤矿地面与井下信息调度不对称,井下作业工人无法及时了解到周围环境安全状况,遇到灾害时无法正确逃生等问题。系统通过文字、图像、语音广播、声光报警、图形等各种手段,采用多样化信息传输通道进行实时信息发布,具有逃生救援引导、常规信息发布、安全警示教育、环境安全信息实时显示、预警预报、IP广播等功能。该系统对于指导井下安全生产,提高煤矿应急救援效率和应急救援水平,促进煤矿信息化建设具有重大意义。

(本刊编辑部)