

高精度测厚仪设计

李传坤, 秦鹏, 韩焱

(中北大学 信息探测与处理技术研究所, 太原 030051)

摘要: 针对现在超声测厚出现的精度不够高、测量误差比较大、噪声的干扰问题, 除了在硬件方面的改进, 还利用相关算法, 来提高测试的精度和减少噪声干扰问题; 利用 10 M 测厚探头对 30 mm 带细微螺纹铁标准试块和 1 mm 的不锈钢试标准试块测量, 验证了测量的有效性和准确性; 该系统运行稳定, 能够可靠地进行检测厚度, 在超声测厚领域将会具有极高的应用价值。

关键词: 超声; 测厚; 高精度; 相关算法

Design of High Precision Thickness Meter

Li Chuankun, Qin Peng, Han Yan

(Institute of Signal Capturing & Processing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Now the problems of ultrasonic thickness measurement include that precision is not high, measurement error is relatively large and the noise is relatively large. To solve these problems, cross-correlation algorithm can be used to improve the precision and reduce the noise jamming, in addition to improvements in hardware. Through the calculation of the thickness of The 30mm with fine thread iron standard test block and 1mm stainless steel test standard test block, the effectiveness and accuracy of the measurement is verified. The system runs steadily, detects thickness reliably and the application value is much higher in ultrasonic thickness measurement field.

Keywords: ultrasound; thickness; high-precision; cross-correlation algorithm

0 引言

超声测厚系统由硬件部分和软件部分组成如图 1 所示; 在 FPGA 的触发信号控制下, 产生具有一定重复频率的激励信号, 从而激励超声换能器产生测厚所需要的超声波信号, 对其进行限幅、放大、滤波等调理, 从而得到适合 A/D 采样的模拟回波信号; 通过算法得到发射信号和回波信号的相位差, 最后精确地求出厚度^[1]。

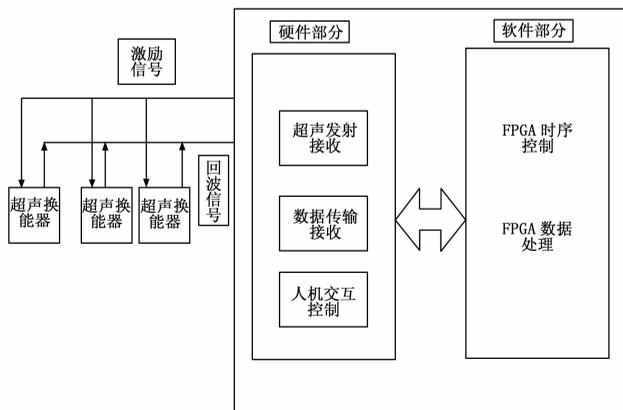


图 1 系统结构

为了精确地提取发射信号和回波信号的相位差, 相位差的提取分为粗提取和细提取。粗提取是利用发射信号和回波信号的最大值来初步求出相位差, 细提取是重构一个与发射信号相同频率和相位的正弦信号, 利用互相关算法精确的提取, 从而提高了测厚精度^[2-3]。

1 硬件设计

硬件设计包括超声发射电路、超声接收调理电路（限幅电路、放大电路、滤波电路、门选电路）及 A/D 采样电路。为了提高精度, 所用的芯片都是低噪声和高精度的。实现了高增益和高带宽。整体电路方框如图 2 所示。

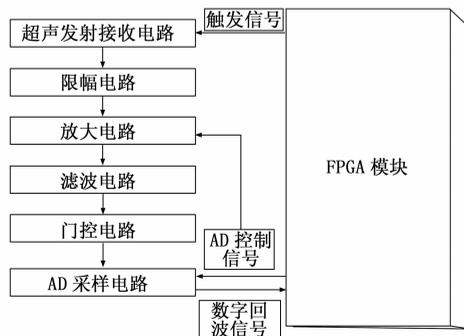


图 2 硬件电路方框图

收稿日期: 2014-01-21; 修回日期: 2014-03-12。

基金项目: 国家自然科学基金项目(611711179, 61227003, 61301259); 山西省自然科学基金项目(20120210111-2)。

作者简介: 李传坤(1989-)男, 安徽蚌埠人, 研究生, 主要从事信号处理和超声等方向的研究。

韩焱(1957-)男, 教授, 博导, 主要从事无损检测、电子信息工程技术、信息获取与处理等方向的研究。

1.1 发射电路

在 FPGA 的触发信号控制下, 产生具有一定重复频率的激励信号, 然后利用 NE555 进行触发变换, 以便产生更尖的脉冲信号, 从而激励超声换能器产生测厚所需要的超声波信号。越尖的脉冲信号发射信号的精度越高, 回波的信号越好。

1.2 接收模块

接收电路模块的主要任务就是把从探头接收回来的波形进

行放大,以便被 AD 接收。由于接收回来的信号是小信号,在微伏的数量级,里面会夹杂有大量的噪声,所以接收模块由限幅电路、放大电路、滤波电路及门选电路组成^[4-5]。该接收模块实现了 0~80 dB 的自动增益放大,带宽达到 20 M。

1.2.1 限幅电路

本系统的设计采用发射接收一体的工作方式,当激励脉冲加载在换能器上时,同时也输入到了接收模块中。这样接收模块中就有微伏级的回波信号,同时也有几百伏的发射脉冲信号,这样的信号若要直接加到放大器两端,不对此信号进行限幅,很容易损坏接收电路中的芯片,而且会增加阻塞时间,使得正确的回波信号不能被接收。所以为了接收电路的安全,同时也为了提高检测的精度,必须采用限幅电路。

1.2.2 放大电路

放大电路由前置放大电路和自动增益放大电路组成。前置放大不仅对小信号放大,还具有阻抗匹配的功能。为了减少芯片的自身带来的噪声,本设计选择双运放的高带宽、低噪声的 OPA2846 芯片。自动增益放大选用的 VCA810 芯片,连续可变电压控制增益放大器。VCA810 的增益控制电压在 0 V 输入 -40 dB,增益在 -2 V 输入到 +40 dB。增益的控制端被 AD 信号控制。放大电路如图 3 所示。

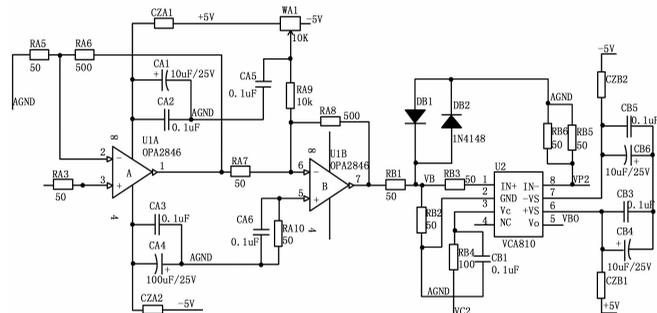


图 3 放大电路

1.2.3 滤波电路

在超声波接收信号中,往往会掺杂大量噪声信号,这些噪声随着回波信号一起被放大,同时放大电路本身也引入器件噪声,严重干扰有用的回波信号,同时也会对后续的 AD 采样造成很大的影响,因此在电路设计中,应尽可能地将这些干扰信号滤除。当然有些噪声不能完全地被滤除,但是由于噪声信号之间不具有相关性,可以利用互相关算法减少噪声的影响,以便提高精度。

1.2.4 门选电路

当测量对象的厚度很小时,很容易造成发射信号与第一次底面反射信号混叠,为了获得有用的反射信号,我们利用闸门自由地选取测量对象,避开盲区测量,减小测量误差^[6-7]。利用 HEF4538 芯片设计闸门信号。

1.3 AD 采样电路

互相关法是利用回波的重构信号与发射信号的相似程度来检测回波时延,回波的微小畸变对其影响不大,但是相关法也有其不足之处,较低的采样频率会降低相关法的精度,所以本系统 AD 转换芯片选择是 AD9254,AD9254 是一款单芯片、14 位、150 MSPS 模数转换器(ADC),采用 1.8 V 单电源供电,内置一个高性能采样保持放大器(SHA)和片内基准电压源。

2 软件设计

本系统除了核心的算法之外,整个系统的其他部分也需要协调工作,因此还需要设计一个主程序,主程序的工作很简单,主要完成系统的 FPGA 设置,此后即进入脉冲发射接收等阶段。其流程如图 4 所示。

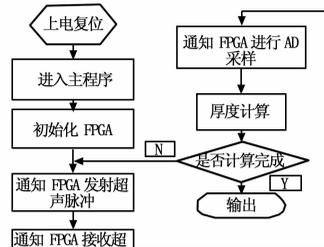


图 4 系统工作流程图

采集到数字信号后,即可进行厚度测量。厚度测量时首先要设定相关运算的长度 N,采集到的数据送入相关模块进行运算,最终求得峰值对应的时间。厚度检测模块程序如图 5 所示。

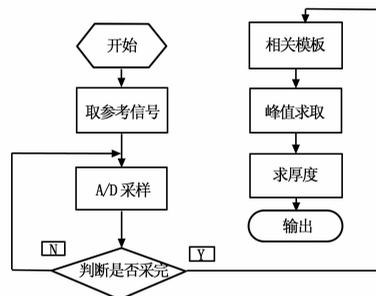


图 5 厚度测量流程图

3 试验测试与分析

为了验证本系统的准确性和精度,选用 10 M 测厚探头对 30 mm 带细微螺纹铁标准试块和 1 mm 的不锈钢试块测量。30 mm 的试块测得的回波信号如图 6(a)所示,1 mm 试块测得的回波信号如图 6(b)所示,测得结果如表 1 所示,虽然回波有很多噪声,但不影响测量结果。

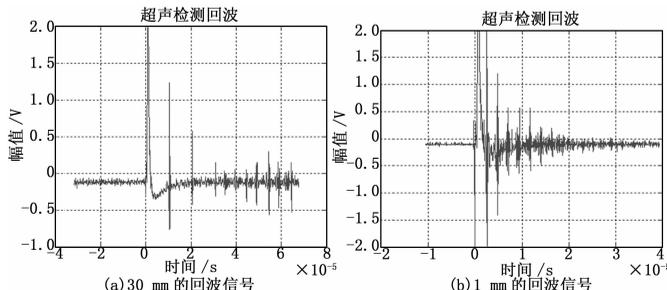


图 6 回波信号图

测量多个试块,发现随着被测试块厚度的增加,相对误差越来越小,相对误差不超过 0.4%。经过多次测量验证,测量厚度范围在 1~50 mm。测量精度达到了 0.01 mm。

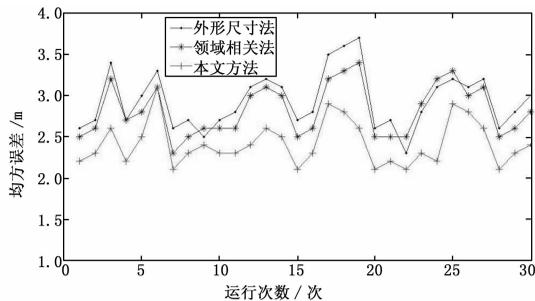


图 5 跟踪精度比较

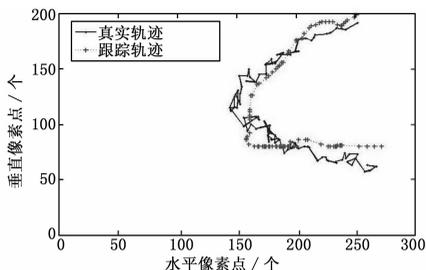


图 6 真实轨迹和跟踪轨迹比较

4 结论

利用无线视频传感器网络中的节点协同跟踪，是无线传感器网络技术应用与监控领域的一个很重要的方面。通过从实验结果可以得出以下结论：1) 该方法可以有效地实现对目标进行协同跟踪，并具有较低的失跟率和较高的实时性，可以多角度大范围的监控目标，解决遮挡问题；2) 效能函数可以有效地平衡信息获取与能量损耗之间的矛盾，有利于节点的协同感知，优化网络性能。实验不足之处在于单一特征跟踪算法由于目标尺寸的变化导致跟踪精度不高，下一步工作可结合目标其他特征，采用多视角融合的算法提高目标跟踪的精度。

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdhury K R. A survey on wireless multimedia sensor Networks [J]. Computer Networks, 2007, 51 (4): 921-960.

[2] 席志红, 邢代玉, 徐锡超. 复杂运动情况下的多目标检测与追踪 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (1): 51-57.

[3] Almalkawil I T, Zapata M G, Al-Karaki J N, et al. Wireless multimedia sensor networks: current trends and future directions [J]. Sensors, 2010, 10: 6662-6717.

[4] Sankaranarayanan A C, Veeraraghavan A, Chellappa R. Object detection, tracking and recognition for multiple smart cameras [J]. Proceedings of the IEEE, 2008, (10): 1606-1624.

[5] Coates M. Distributed particle filters for sensor networks [A]. IP-SN 2004 [C]. Berkeley, California, USA, 2004: 99-107.

[6] Snidaro L, Niu R, Varshney P K. Automatic camera selection and fusion for outdoor surveillance under changing weather conditions [A]. IEEE Conf. on Advanced Video and Signal Based Surveillance [C]. Miami, 2003, 364-369.

[7] Xie D, Yan T X, Ganesan D, et al. Design and Implementation of a dual-camera wireless sensor network for object retrieval [A]. Information Processing in Sensor Networks, 2008. IPSN '08 [C]. 2008: 469-480.

[8] Mohammad Alaei, Jose M. Barcelo-Ordinas. A collaborative node management scheme for energy-efficient monitoring in wireless multimedia sensor networks [J]. Wireless Network, 2013, 19: 639-659.

[9] Liu L, Zhang X. Optimal node selection for target localization in wireless camera sensor networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59 (7).

[10] Pahalavatta P V. Optimal sensor selection for video-based target tracking in a wireless sensor network [A]. Proc. International Conference on Image Processing (ICIP '04) [C]. 2004.

[11] Wang X, Wang S. Collaborative signal processing for target tracking in distributed wireless sensor networks [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2003.

[12] Liu J, Reich J, Zhao F. Collaborative in-network processing for target tracking [J]. Journal on Applied Signal Processing, 2003, 23 (4): 378-391.

[13] Xue W, Sheng W, Daowei B. Distributed visual target surveillance system in wireless networks [J]. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 2009, 39 (5): 1134-1145.

(上接第 2696 页)

表 1 测量结果

| 实际厚度 /mm | 第一底波测量的厚度/mm | 第二底波测量的厚度/mm | 第三底波测量的厚度/mm | 平均值 /mm | 相对误差 / (%) |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------|------------|
| 1 | | 1.013 | 0.995 | 1.004 | 0.4 |
| 30 | 30.034 | 30.020 | 30.070 | 30.041 | 0.136 |

4 结束语

本文设计了一种高精度的超声测厚系统，经实验测试，该系统运行稳定，能够可靠地进行检测。该系统误差小、测量精度高，在超声测厚领域将会具有极高的应用价值。

参考文献:

[1] 林莉. 超声无损表征薄层结构研究进展 [J]. 无损探伤, 2006, 30 (5): 1-4.

[2] 王萍, 万柏坤, 程焯. 精确的互相关算法在超声波流速测量中的应用 [J]. 传感器与微系统, 2007, 26 (9): 107-109.

[3] 程晓畅, 王跃科, 苏绍, 等. 基于相关函数包络峰细化的高精度超声测距法 [J]. 测试技术学报, 2006, 20 (4): 320-323.

[4] 彭春, 相勇, 彭雪莲, 等. 基于时间融合的波形方式高精度超声测厚 [J]. 应用声学, 2005, 24 (2): 93-95.

[5] 李佳. 基于低功耗 CPLD 的超声测厚仪 [J]. 汕头大学学报, 2008, 23 (4): 76-77.

[6] 方佳音, 过元恺. 超声测厚仪改进的探讨 [J]. 无损检测, 2000, 22 (8): 361-362.

[7] 包杰, 张东旭. 一种简单高效的前沿检测时间估计算法及其应用 [J]. 重庆邮电学院学报, 2006, 18 (1): 79-81.