

·信号与信息处理·

小波变换在激光无损检测中的应用

韩鹏, 范文强, 王萍

(烟台大学 光电信息科学与技术学院, 山东 烟台 264005)

摘要:厚度是液体无损检测中一个重要的影响因素。而小波变换作为重要的信号处理手段对动态误差的阈值判断和多尺度小波变换在去噪方面有着巨大的优势。通过搭建的激光无损测试平台,对获取的数据进行多阶小波分解以及软门限的阈值处理,对比传统的滤波方法,验证了小波变换在激光无损检测中运用的优越性。实验结果表明,小波变换在激光无损检测中有着更好的去噪效果,对公共场所的液体无损检测将具有巨大意义。

关键词:小波去噪; 阈值; 多尺度小波; MATLAB工具

中图分类号: TP212.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-01-0039-05

Application of Wavelet Transform in Laser Non-destructive Testing

HAN Peng, FAN Wen-qiang, WANG Ping

(School of Opto-Electronic Information Science and Technology, Yantai University, Yantai 264005, China)

Abstract: Thickness is an important influencing factor in liquid non-destructive testing (NDT). Wavelet transform as an important signal processing means has many advantages such as dynamic error threshold determination and multi-scale wavelet transform de-noising. The obtained data are performed multi-level wavelet decomposition and threshold processing of soft threshold through constructing a NDT platform. Comparing with traditional filtering method, the advantages of wavelet transform used in laser NDT are verified. Experimental results show that wavelet transform in laser NDT has better denoising effect and has great significance for liquid NDT on public.

Key words: wavelet denoising; threshold; multi-scale wavelet; MATLAB tool

引起液体安检设备无法正式投入使用的原因是多种多样的。而在众多的原因中由于盛放容器所造成的影响是比较明显而不容忽略的。实验表明,由于盛装液体的瓶体所引起的错报、误报的概率是比较大的。因而对瓶体厚度的精确测量是目前较为关心和希望解决的问题,而对厚度测量技术的分析研究变得格外重要。随着激光检测技术的进步,对于透明物体的厚度检测变得可行。文中将小波变换与激光无损检测相结合,不仅实现了激光

对实验数据的无损测量,同时小波变换使得噪声可以更好的从被测得信号中去除。从而将其运用到对液体的无损检测时可以获得更为准确的瓶体厚度信息,进而为液体的正确分类提供重要参数。

1 激光及其测厚原理

超声波法、射线法等是一些常见的用来测量厚度的方法。其中射线法是经常用来测量的方法,在

收稿日期: 2015-01-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAK09B05); 山东省自然科学基金(ZR2010FM026)

作者简介: 韩鹏(1988-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 研究方向为信号处理方法在无损检测中的运用; 范文强(1965-), 男, 山东威海人, 副教授, 研究方向为检测仪器的开发研制和其他应用型产品的开发, 包含数学信号处理方向、嵌入式系统开发和射频电路等; 王萍(1988-), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为二维平板光子晶体。

测厚中占有重要地位,但是它有一些局限性:(1)从安全的角度出发进行设计,导致射线测厚仪外形显得非常臃肿,单单传动部件就要依靠 1.5 kW 的伺服电机才能带动;(2)从测量方式的角度,运用射线原理的测厚仪对于机械安装有着较高的精度要求;(3)由于环境因素是对射线测厚仪影响较大的一个因素,所以必须考虑合适的补偿措施,而这些却带来了故障几率的增加,进而造成了极大的设备维护成本。

利用超声波进行测厚是相对成熟的高新技术,这项技术虽然可以做到无损测量、可靠、安全和较高的准确度,但是其测量精度还远远达不到微米级。与以上的方法相比较,激光测厚利用激光优良的单色性、方向性强、高亮度、较强的抗干扰等优点是新近研究出来的实用型高科技设备,并且充分考虑了现场环境对仪器工作的影响,它的高准确性、高精度、安全可靠、非接触、无辐射等等优点都是其他测量方法所无法比拟的,因此可以用来取代传统的接触式探针作为精密测量厚度的新兴手段。

激光测距有三种主要方法,分别是飞行时间法、干涉法和三角法^[1]等。其中三角法通常被用来进行短距离测厚。三角法短距离测厚的工作原理^[2]为:激光束(LASER)垂直发射到被测物体表面,反射光束通过镜头(LENS)聚焦在一个线性传感器(PSD)上,从激光束射出到被测物体表面的距离与反射光束到达传感器的某一相关点上,形成一个三角形的角,见图1。线性传感器产生代表被测物体与激光器之间距离的信号,该信号经过模量转换和数据处理得到被测物体的厚度值并在显示器上显示。

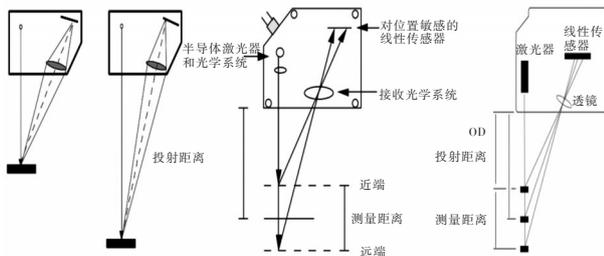


图1 激光测厚原理

1.1 影响激光测厚精度的安装因素

要保证精确测量首先是传感器的选型问题,应

尽可能选用精度高的传感器,而且各部件间必须协调一致的工作,因此传感器的安装必须遵循以下原则^[3]:

(1)对于单个激光传感器的厚度测量如图2所示。被测量物放置于测试平台上,保证激光传感器垂直测量平台进行测量,对从测量平台返回的数据和从测量物返回的数据进行分析得出测量物的厚度。在测量时应尽量保证测量物与测量平台之间紧密接触,杜绝贴合不严的现象导致的误差,这对于在线测量比较难以达到,所以一般都是在离线机型中才会用到。

(2)对于需要使用两个激光传感器进行测量的情况如图3所示。图3是双激光位移传感器测厚的工作原理,中间物块为所要进行测量的物块,上下为两个激光传感器,所以待测物的厚度等于两传感器之间的距离与两传感器分别到被测物表面的距离之间的差值。这样的双激光传感器测量由于使用了相对位置,所以可以在一定程度上消除由于机械抖动和简谐振动所造成的影响,因此可以应用在在线式测量系统中。由于测量时需要三点间的距离,所以在安装测量时需要尽量保证三点一线。通常的做法是,拿一张白纸放置在两激光传感器之间,保证激光传感器发出的红点在白纸上重合的,然后上下移动白纸也保证红点的重合。而对于上下传感器的传动同步,一般使用同一个编码器驱动。

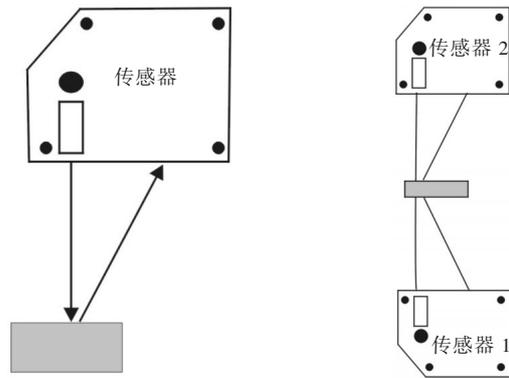


图2 单激光传感器测厚原理 图3 双激光传感器测厚原理

1.2 三角法在激光测量上的优点^[4]

由于激光传感器发射的是微小光斑,其面积大小相对于那些接触式的电容、电涡流传感器测量单

元的面积来说是非常小的,这就使得其测量的对象可以是尺寸非常小的物体。激光传感器的测量范围相较于那些电容、电涡流传感器等非接触式传感器的测量范围是大的多的,这使得在使用激光式传感器时可以有更加充裕的空间考虑,对于一些具有较高温度的测试对象,可以间隔更大的距离,从而保护激光传感器不受损伤;因为激光传感器发射的是激光,而不必像电容、电涡流式传感器那样需要考虑测量物的属性是金属还是非金属;激光传感器取代了传统的放射性同位素的测量,可以消除对人体的损伤;为了避免由于矩形边沿造成的漫反射引起的干扰,安装时采用如图4所示的安装方位。

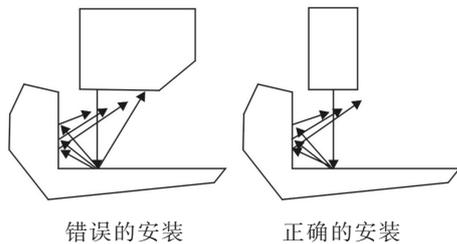


图4 避免漫反射的安装

2 小波变换及其原理

在对任何信号的测量中都难免会有噪音的存在,如果信噪比太小会导致噪音信号将所需要的信号淹没,所以在信号处理中去除噪音是必须首先考虑的因素。

对于一个带有噪音的信号,一般是希望这个信号的有用信号跟噪音信号之间在频带上能够有尽可能小的重叠范围,而对于这样重叠区域小的信号,通常采用频域范围内不变的滤波方法来达到将有用信号与噪音信号分开的目的。而这种方法的局限性就是当有用信号与噪音信号重叠很大时,该方法失去作用。

小波变换^[5-7]是20世纪80年代中后期逐渐发展起来的一种数学分析方法。1984年法国科学家J. MOLETT在分析地震波的局部特性时首先使用了小波这一术语,并用小波变换对地震信号进行处理。小波术语的含义是指一组衰减震动的波形,其振幅正负相间变化,平均值为零,是具有一定的带宽和中心频率波组。小波变换是用伸缩和平移小波形成的小波基来分解(变换)或重构(反变换)时变信号的

过程。

小波变换的特点使得它在处理有关信号的时频性质方面有着突出的能力,而这些都弥补了傅里叶变换在信号处理方面的不足。由于其在时域和频域都具有很好的局部化特征并且能很好的表示目标信号各个频率子段的频率信息,而这种信息是被用来对信号进行分类的非常重要的信息。小波变换是通过将信号用小波级数来表示的信号,它既有频率分析的性质,又能表示发生的时间,有利于分析确定时间发生的现象,傅里叶变换只具有频率分析的性质。小波变换是多分辨率的变换,有利于各分辨率不同特征的提取(图像压缩、边缘抽取、噪声过滤)。

小波变换通过平移母小波可获得信号的时间信息,而通过缩放小波的宽度(或者叫做尺度)可获得信号的频率特性。对母小波的缩放和平移操作是为了计算小波的系数,这些系数代表小波和局部信号之间的相互关系。

小波变换速度比傅里叶变换快一个数量级,长度为 M 的信号,计算复杂度为

$$\text{傅里叶变换: } O_f = M \log_2 M$$

$$\text{小波变换: } O_w = M \quad (1)$$

基于小波变换的非线性滤波是完全不同的,这种方法中频谱可以重叠,但是谱的幅度(而不是谱的位置)要尽可能不同。在小波变换域,可通过对小波系数进行切削、缩小幅度等非线性处理,以达到滤除噪音的目的。采用这种方法滤波在一定程度上可以避免一般低通滤波时噪音信号突变部分变模糊,然而同传统的低通滤波相似,也会造成小波一定程度上的信号细节丢失。使用这种方法时,还应考虑抑制噪音与保留信号细节之间的折中问题。

3 测试平台模块说明

为避免小波在一定程度上的信号细节丢失,并考虑抑制噪音,将信号采集的数据有效分析,设计了测试平台模块如图5所示。此设计系统可有效分析采集数据,达到更好的去噪效果。此系统由PC工控机作为上位机对stm32进行命令控制与参数设置并接收stm32传上来的数据,对数据进行处理,并由液晶显示器界面显示。

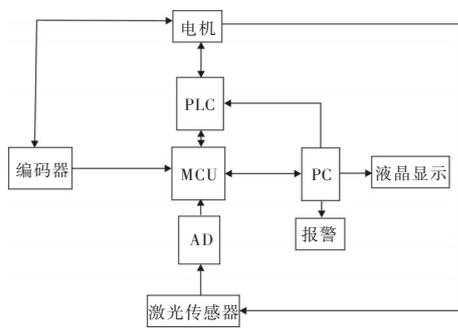


图5 测试平台模块

4 小波滤波

使用 db4 小波^[8-9]作为去除噪音信号操作的母小波,在经过第一阶小波分解后(如图6),主要为高频白噪音,信噪比已经获得了改善,但是还不够。当进行到第三阶小波分解后(如图7),信号中的高频噪声已经得到了较大的抑制;而经过六阶小波分解后(如图8),低频信号变得十分光滑,但同时去除了高频信号,而这些信号其实是原始信号中的高频脉冲,而并不是噪音。

综上所述,当使用小波变换分析去除噪音信号时,应在尽可能保留原始信号中的有用高频信号的基础上来确定原始信号的分解阶数。

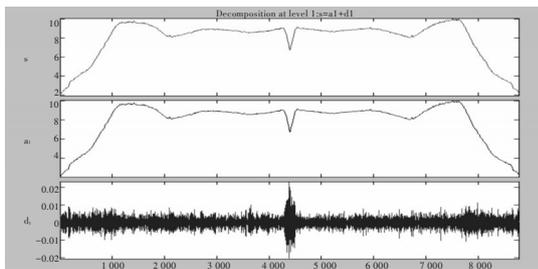


图6 小波一阶分解

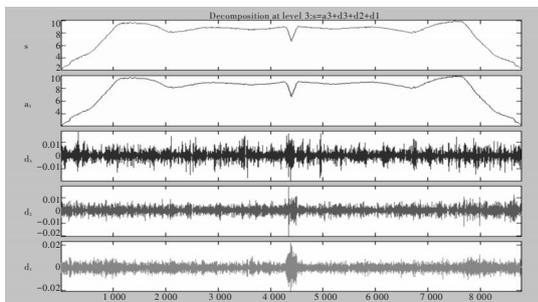


图7 小波三阶分解

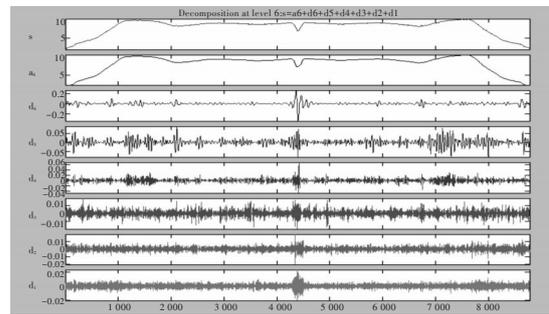


图8 小波六阶分解

而且在 matlab 提供分析信号小波变换的工具箱内还有一个经常会用到而且十分有用的功能:小波门限的设置。小波门限设置是指,设置一个门限值,当处理原始信号所得的细节部分大于预先设定的值,就认为这个信号是有用的信号而不是噪声干扰。因此这种处理可以在一定程度上有效地保留所需要的高频信息。同样的原始信号经过处理后如图9所示。细节图比较可以由图10看出去除噪音的效果。

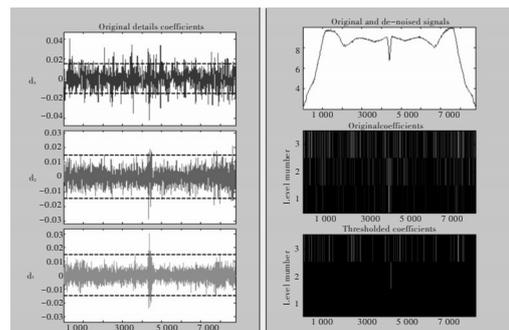


图9 门限滤波

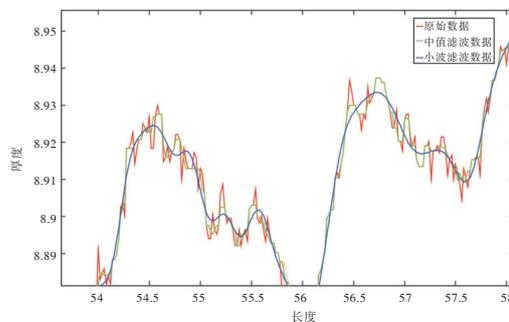


图10 细节图比较

对门限值的设置通常有两种方法:一种称为硬门限;一种称为软门限。硬门限就是凡是在门限范围内的都将这些信号置零处理;而软门限则是基

于硬门限的处理并对剩下的非零值的信号减去某一门限值,这种处理可以使信号边界相对更加光滑,所以软门限方法能够获得更好的效果,软门限^[10-13]处理如图11所示。

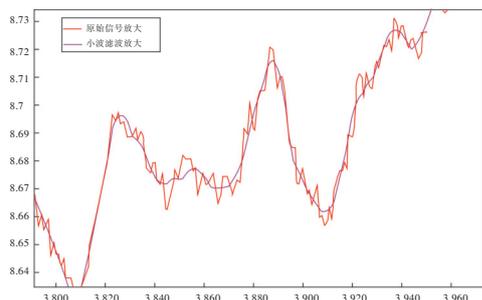


图11 软门限处理结果

关于门限值和门限规则的选择要根据具体处理的信号进行分析确定。

5 结 论

通过对激光测厚原理和实验数据的分析表明,激光测厚传感器具有的高准确度、抗干扰能力强、运行可靠、安装简便等特点,成功地取代了射线测厚仪。而小波变换是一种快速发展的用来进行信号分析的方法,既能提供信号在时域中的信息,又能提供信号在频域中的信息,在很大程度上解决了传统的傅里叶变换在信号处理中的弊端。通过对实验数据进行的多阶小波分解以及阈值处理,表明小波变换可以达到非常好的去噪效果。可以将这两种方法对厚度的精确测量运用到对瓶体无损检测中,用来协助对瓶体厚度进行处理,这对于液体

无损检测有着重要意义。

参考文献

- [1] 王晓嘉,高隽,王磊.激光三角法综述[J].仪器仪表学报,2004(z3):601-604.
- [2] 吴久峰.激光测厚仪的原理及应用[J].武钢技术,1996,34(7):47-51.
- [3] 吴剑锋,王文,陈子辰.激光三角法测量误差分析与精度提高研究[J].机电工程,2003,20(5):89-91.
- [4] 郝建华,赵建林.利用激光三角测距法提高三维面型检测精度的方法[J].光学技术,1998(2):37-39.
- [5] 陈皓.小波变换原理识别电力系统故障及振荡中短路的研究[J].电力自动化设备,2000,20(5):18-20.
- [6] 潘泉.小波滤波方法及应用[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [7] 玉华.小波变换与工程应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [8] Mallat S. A wavelet tour of signal processing[M]. Academic press, 1999.
- [9] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2000, 9(9): 1532-1546.
- [10] 张吉先,钟秋海,戴亚平.小波门限消噪法应用中分解层数及阈值的确定[J].中国电机工程学报,2004,24(2):118-122.
- [11] 徐卫明,梁开龙.测深信息处理的最佳小波门限滤波法[J].测绘学报,1999,28(2):133-138.
- [12] 郭代飞,高振明,张坚强.利用小波门限法进行信号去噪[J].山东大学学报:理学版,2001(3):306-311.
- [13] 周卫东,贾磊.小波变换和独立分量分析去除脑电信号中的噪声和干扰[J].山东大学学报:医学版,2003,41(2):116-119.

本 刊 声 明

《光电技术应用》期刊因故通信地址变更为天津市空港经济区纬五道9号,300000。因相关手续正在办理中,现暂用旧的通信地址和邮发代号,即辽宁省锦州市31号信箱19分箱,121000,原邮发代号8-314。特此声明。

《光电技术应用》编辑部