

插值数字滤波技术在超声检测仪中的应用

王秀芬 郭成彬 黄振俨

(中国科学院声学研究所 北京 100080)

1996年4月18日收到

摘要 本文主要研究用最优化技术来设计符合超声脉冲信号幅度精度要求的数字滤波器,从而提高了超声检测的质量。

关键词 数字滤波, 超声检测

Application of digital filtering to ultrasonic inspection

Wang Xiufen, Guo Chengbin, Huang Zhenyan

(Institute of acoustics chinese academy of sciences, Beijing, 100080)

Abstract This article designs the digital filter for ultrasonic testing by the use of optimization technique. Quality of ultrasonic inspection is improved.

Key words Digital filtering, Ultrasonic testing

1 问题的提出

全数字式超声检测仪越来越成为现代超声检测仪器的主流。如何把超声信号这一模拟量变为计算机能够处理的数字量,即模数变换,成为任何一台数字式超声检测仪器所必须面对的问题。众所周知,模数变换频率应符合采样定理的要求,检测使用的超声频率可高达数十兆赫故超声检测仪器所需的模数变换频率常可高达百兆赫量级。虽然现代技术已可实现千兆赫级的模数变换,但其价格和功耗是超声检测仪器难以承受的。使得问题更加严重的是,当前超声检测主要还是由检测人员对超声波形观察,以分辨缺陷性质,据超声传播时间(声时)和超声脉冲幅度以评价其当量。为得到需要的判据,对幅度精度和声时都有较高的要求。如

不对数字波形进行适当的信号处理,仅仅达到采样定理的要求是远远不够的。一般超声采集到的信号都是正弦衰减波形,当采样频率较低时,正弦波的最大值可能采集不到,这样使采集到的数据和真实数据之间有一定误差,如果直接使用这组数据作为判废标准,将会造成误判或漏检。

目前信号处理的方法很多,各有所长,各有所短。对超声检测系统来说,共同的要求是高速、节能、还要廉价。我们实验了几种不同的信号处理方法,本文主要研究一种插值数字滤波技术及其应用。

2 实现的方法

数字滤波是由数字系统中提取逼近真值数据的一种算法。由于软件算法的灵活性,可靠

性,其效果往往是硬件滤波电路达不到的.它是用一有限精度算法所实现的离散时间线性非时变系统,来完成对信号进行滤波处理的功能.它的输入是一组由模拟信号经过采样和量化的数字量 $X(N)$,输出是经过处理的另一组数字量 $Y(N)$.滤波器设计的任务是使通过该滤波器输出的 $Y(N)$ 以最小的误差接近真实值.超声系统的特性在相当宽的范围内变化,因此设计一个符合各种超声系统特性的滤波器是困难的.我们借助计算机进行最优化设计,使滤波器的频率响应尽可能逼近于所需.经过多次模拟试验,设计出近百个滤波器,从中确定一些无限冲激(IIR)低通滤波器效果较好.

首先按实际要求确定滤波器的性能指标,一般在频域给出,使设计的滤波器满足规定要求的系统.在通带内,要求幅度响应以 $\pm\delta$ 的误差趋近于1,在阻带内误差必须趋近于零,在过渡带要求幅度相应单调下降.

其次用一个稳定的因果系统去逼近这个性能指标,数字滤波器的设计问题就变成了一个数学逼近问题.可以用一个有限精度的运算去实现这个系统函数.通过模拟软件验证所设计的系统是否符合要求,是否需要进行修改.如需要修改,修改参数并重复以上的工作继续逼近.

在IIR数字滤波器设计中,我们采用了优化技术,使用最小均方误差法进行设计.在给定的离散频率上,设计滤波器频率响应与要求的频率响应的均方误差应为最小,最小均方误差算法的迭代过程,首先输入要求特性,送初值参数,假设误差值是零,用 $E(0) = 0$ 表示,迭代计数用 J 表示,令 $J = 1$,计算一次均方

误差,判断本次计算的均方误差与上次计算的均方误差是否小于给定的允许误差:

$$|E_J(0) - E_{J-1}(0)| < 10^{-N}$$

如果不满足要求,迭代次数 $J = J + 1$,求出新的参数继续迭代计算,直到满足系统要求为止.

3 试验结果及讨论

我们使用了从一组带宽不同的超声换能器(从相对带宽仅为30%左右的窄带换能器到带宽达80%的宽带换能器)得到的一些超声脉冲,用100兆赫的采样频率进行模数变换,超声换能器的中心频率在2-5MHz之间.采样频率为模拟信号频率的数十倍,这样的数字波形序列 $Z(N)$ 可以认为是“真实”的.从序列 $Z(N)$ 中每隔 M 点取一个数据,组成一个新的序列 $X(K)$,以此来模拟较低的相对采样频率.

计算程序首先对 $X(K)$ 序列进行线性插值,然后把经过内插后的一组数据存到存储器中,表示为 $X(N)$ 作为输入序列.计算程序在计算机中采用递归方法以实现数字滤波,即输出序列 $Y(N)$ 取决于现在的输入序列 $X(N)$ 和过去的输入 $X(N-1), X(N-2), \dots$,以及过去的输出序列 $Y(N-1), Y(N-2), \dots$,这样过去的输入和输出值都必须保存在存储器中.根据这些值和当前的输入值计算当前输出值,而计算结果又成为下一次计算的新的过去输入值,这样实现递归计算出一组新的滤波后的 $Y(N)$.我们把输出 $Y(N)$ 序列和输入 $X(N)$ 的图形示如图1和图2中.图中口表示滤波前的序列,■表示滤波后的序列.

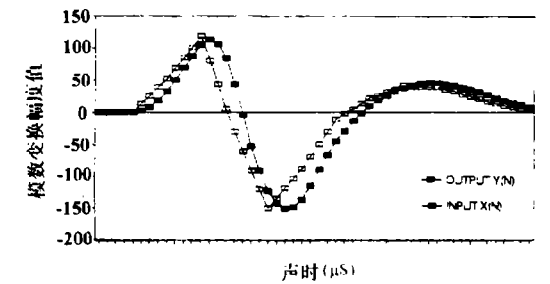


图1 2.25MHz 超声换能器滤波前后图形比较

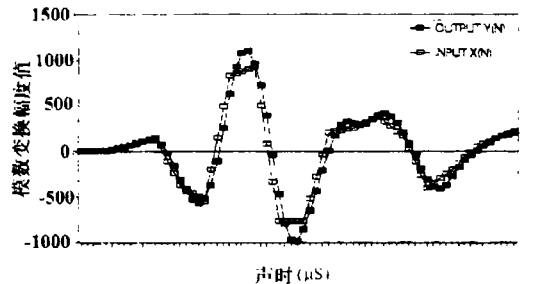


图2 2.5MHz 超声换能器滤波前后图形比较

从图 1 和图 2 验证图可以看出,滤波输出后的波形和原波形相比,波形的再现性极好.输出波形的幅度与原信号成正比.在时间上,滤波输出的信号波形与滤波前信号波形有不大的延迟,该延迟为恒定值,不影响对波形和时序的判别.

我们将插值滤波后最大和最小脉冲幅度点与真实波形序列 $Z(N)$ 作比较.从 $Z(N)$ 序列中每个周期中逐点隔 M 点取值,都能滤出实际波

形的最大幅值和最小幅值.对不同的超声换能器采集的数据,逐点进行插值滤波前后信号误差比较,计算结果列入表 1 和表 2 中.

从表 1 和表 2 中的实验结果看出,通过滤波前后最大最小点的误差及平均误差和真实波形的数据比较均控制在 5% 以内,达到了希望的幅度精度.

上述技术已在我们研制的仪器中得到应用,效果良好.

表 1 2.25MHz 超声换能器滤波前后误差比较

滤波前最大点误差	滤波后最大点误差	滤波前最小点误差	滤波后最小点误差
-1.6	-1.0	-10.6	6.0
-9.4	-1.5	-3.8	4.8
-14.8	-1.7	0.0	3.9
-5.5	-1.1	-1.3	3.7

表 2 2.5MHz 超声换能器滤波前后误差比较

滤波前最大点误差	滤波后最大点误差	滤波前最小点误差	滤波后最小点误差
-11	-0.3	9.9	0.3
0.0	-1.1	-9.9	-1.0
-5.0	1.6	0.6	-0.2
-10.6	1.5	-0.6	-0.5

参 考 文 献

[1] 程佩青编. 数字滤波与快速付里叶变换, 清华大学出版社. 19904 年.
 [2] 姜建国编. 信号与系统分析基础, 清华大学出版社. 1994 年.

[3] 王树勋编. 数字信号处理基础及实验, 机械工业出版社. 1992 年.
 [4] 沈兰荪编. 智能仪器与信号处理技术, 科学出版社. 1990 年.
 [5] [美]R.E. 克劳切, L.R. 拉宾纳著, 郑广增译. 多抽样率数字信号处理, 人民邮电出版社. 1988 年.