

# 声源定位中声音到达各阵元时延估计的虚拟仪器实现

林福严,王力伟,雷 冀

(中国矿业大学(北京) 机电与信息工程学院,北京 100083)

**摘要:** 基于 TDOA(Time Difference Of Arrival)的声源定位研究的核心问题是时延估计,时延估计的精度决定该算法的定位精度。将虚拟仪器的技术引入声源定位的研究中,用数字信号处理的方法进行时延估计,有效地提高了声源定位的精度和灵活性。

**关键词:** 声源定位;时延估计;虚拟仪器;互相关;最小二乘拟合

中图分类号: TP216

文献标识码: A

## Get sound arrival time-delay estimation of the array element by the virtual instrument in sound source localization

LIN Fu Yan, WANG Li Wei, LEI Ji

(Dept. of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The core issue of sound source localization based on TDOA(Time Difference Of Arrival) is time-delay estimation. The precision of time-delay estimation determines the accuracy of the positioning accuracy. The paper introduced the technology of virtual instrument into the study of sound source localization, using digital signal processing methods to estimate time-delay, improved the accuracy and flexibility of sound source position effectively.

**Key words:** sound source localization; time-delay estimation; virtual instrument; cross-correlation; least square fitting

声源定位技术是通过声学传感装置接收声波,将其转化为电信号,再利用该电信号进行分析处理,以此实现对声源位置进行探测、识别并对目标进行定位及跟踪的一门技术。

声源定位的方法中,基于到达时差 TDOA(Time Difference Of Arrival) 的源定位方法的计算量一般比较小,有利于实时处理。这类方法可以适用于象语音这样的非平稳宽带信源,在只有单个信源时能较好地工作,定位的精度与 TDOA 的估计精度有关。

基于 TDOA 的声源定位研究的核心问题主要是:(1)定位传感器的研究,包括硬件电路和阵列结构的研究。(2)定位算法的研究以及软件实现,一般分两个步骤进行:第一步,先进行时延估计 TDE(Time Delay Estimation),从中获得声源到传感器阵列中相应阵元对之间时间差的方法;第二步,利用 TDE 的结果进行空间的搜索定位估计。显然时延估计的精度决定该算法的定位精度。

将虚拟仪器技术引入到声源定位的测量中,把传声器采集来的电信号用 A/D 转换装置转换成数字信号,然后在计算机上用数字信号处理的方法进行时延估计。本文主要介绍时延估计的算法原理及 Labview 实现。

### 1 时延估计的算法原理

在基于到达时间差的声源定位中,目前大多采用互相关的方法进行时延估计。但是对于声音信号,其激发源在传播过程中会引入很多的噪声,如果直接进行互相关,这些噪声会使时延估计产生较大的偏差。同时在工业设备检测中,人们关心的信号一般为某一特定频率的信号,所以就有必要在互相关前,进行信号的预处理,也就是从噪声中提取所关心的特定频率的信号,并且信号的时延一般不会超过声波的半波长(这主要是由传感器阵列的间距和传感器与检测对象的间距决定的,在设计阵列结构和测量时,不允许时延超过检测最低频率的半波长),所以在这里可以将时延估转换成提取后该频率信号的相位差。

目前较为常用的相位测量方法中,利用相关原理的相位差测量的精度最高,鲁棒性也最好,也最适用于声源定位中,所以这里选用这种方法。该方法的原理是利用了同频正弦信号的互相关函数零时刻值与其相位差的余弦值成正比的原理获得相位差。

设  $x(t)$  是某各态历经过程的一个样本记录(所谓各态历经过程是指样本的集合平均等于时间平均),则互相关定义如下文所述。

设采集到的同频信号  $x(t), y(t)$  分别为:

$$\begin{aligned} x(t) &= A \sin(\omega t + \varphi) \\ y(t) &= B \sin(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

对于多数随机过程,若  $x(t)$  和  $y(t)$  之间没有同频率的成分,那么当时移很大时就彼此无关。

当  $t=0$  时,

$$\begin{aligned} R_{xy}(0) &= \frac{1}{T} \int_0^T A \sin(\omega t + \varphi) \cdot B \sin(\omega t + \theta) dt \\ R_{xy}(0) &= \frac{AB}{2} \cos(\theta - \varphi) \\ \phi = \theta - \varphi &= \arccos\left(\frac{2R_{xy}(0)}{AB}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

由于信号来自 A/D 转换装置的离散数字信号,因此只能求出互相关函数的离散解,其表达式如下(离散化的方法这里不做推导,其误差是与采样频率有关的高阶无穷小,这里忽略)<sup>[2]</sup>:

$$R'_{xy}(0) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[k] \cdot y[k] \quad (3)$$

在计算互相关的时候也可以直接调用 LabVIEW 的函数

$$\phi = \arccos\left(\frac{2R'_{xy}(0)}{AB}\right) \quad (4)$$

由于噪声对信号是不相关的,使用该方法可以有效地消除干扰的影响。但微小的频率差异往往也会对互相关求取时延的结果造成较大的影响。所以这里引入了最小二乘的方法将各信号尽量拟合到某一频率,也就是进行某一特定频率信号的最小二乘拟合。

为了提高算法的计算效率,这里对正弦信号进行了以下变换,将非线性最小二乘问题转换成了线性最小二乘问题。

$$Y(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi) = a \sin 2\pi ft + b \cos 2\pi ft \quad (5)$$

其中  $a = A \cos \varphi, b = A \sin \varphi, A = \sqrt{a^2 + b^2}$ 。  
给定信号频率,自变量为时间,拟合的系数  $a, b$ 。

$$\sum_{i=1}^N [(a \sin 2\pi ft_i + b \cos 2\pi ft_i) - x_i] \times \sin 2\pi ft_i = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N [(a \sin 2\pi ft_i + b \cos 2\pi ft_i) - x_i] \times \cos 2\pi ft_i = 0 \quad (7)$$

求解(6),(7)两式组成的方程组就得到对应  $a, b$  值的最小二乘拟合曲线。该方法有效地从混有噪声的信号中提取出来了需要的特定频率信号。

## 2 时延估计算法的 LabVIEW 实现

算法的程序流程如图 1 所示。首先将传声器采集来的信号通过 A/D 转换为数字信号,传送到 PC 机上,然后各路信号取 500 个点的数据进行自相关,自相关的目的是为了计算信号的频率,通过对自相关信号的波峰计数得到信号的频率。然后比较各路信号的频率差。由于采样声源相同,频率应该也相同,但因为噪声的存在影响了频率的求取,放弃本次求取,数据窗口后移 50 个点。再进行自相关,直到各路信号的频率差小于频率的 5%。对各路信号进行最小二乘拟合方式的滤波,并对滤波后的各路信号间进行互相关,求取相位差,并将计算结果显示。

使用 LabVIEW 进行编程实现的程序框图如图 2 和图 3 所示。程序主要包括自相关器求取频率后拟合曲线的程序框图和互相关后求相位的程序。这里调用了 LabVIEW 中的三个信号处理的子 VI。

自相关的子 VI,该子 VI 是计算输入序列的自相关,并输出。该 VI 的输入输出变量如表 1 所示,其中归一化的方式可以选择不归一化、无偏归一化和有偏归一化三种。

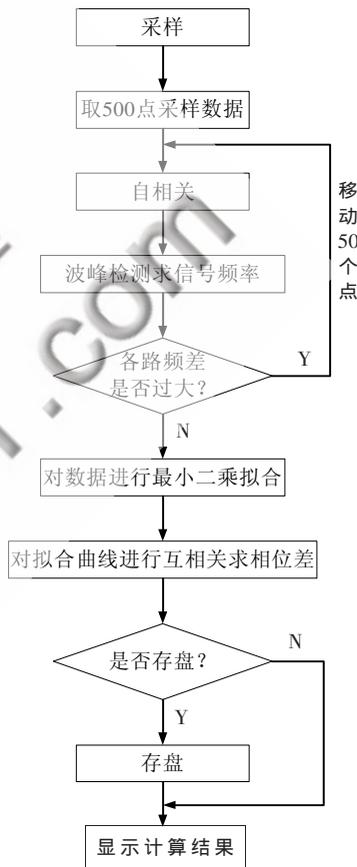


图 1 程序流程图

表 1 子 VI 输入输出变量

X	是输入序列
归一化	指定用于计算 X 的自相关的归一化方法
Rxx	是 X 的自相关
错误	返回 VI 的任意错误或警告

波峰检测的 VI,该 VI 的算法是用二次多项式依次拟合数据点中的各组数据。拟合中使用的数据点的数量

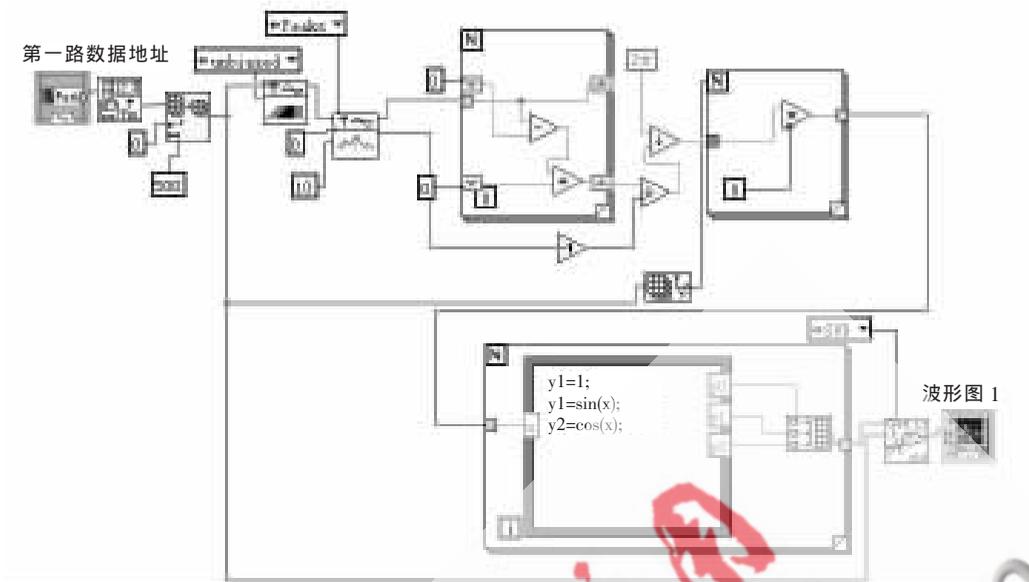


图 2 自相关求相位后拟合程序框图

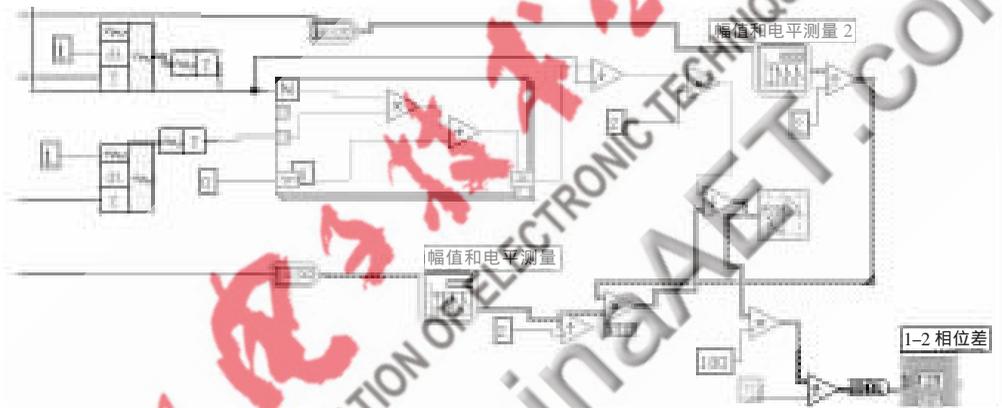


图 3 互相关后求相位的程序框图

由宽度指定。对于每个波峰或波谷，二次拟合将与阈值进行比较。低于阈值的波峰和高于阈值的波谷都将被忽略。只有在 VI 处理了波峰或波谷之外约二分之一宽度个数据点后，才可能检测到波峰或波谷。这种延时仅对实时处理有影响。第一个或最后一个数据块传递到该 VI 时，必须通知该 VI，这样 VI 才能初始化并将内部数据传递至波峰检测算法。

线性最小二乘拟合子 VI，通过该 VI 可以将输入信号按照标准正弦信号拟合，从而实现了无相位损失的滤波。然后将滤波信号进行互相关后求取相位差，再与前面计算得到的频率均值，计算到阵元的时间差<sup>[1]</sup>。

图 4 是声源定位前面板的界面，可以显示拟合曲线和定位时延。左上角还可以设置存盘位置。

由于噪声信号和正弦信号不相关，因此利用信号的相关性原理测相位具有很好的抗干扰性。用 4 路频率为 500 Hz 的正弦模拟信号作为输入，使用模拟信号输入 VI 作为数据的输入。运行程序后结果如表 2 所示。从结果可以看出，采用虚拟仪器技术后，避免了在计算信号

时硬件电路受温漂、噪音及干扰信号的影响所引入的新的误差，有效地提高了测量的精度。

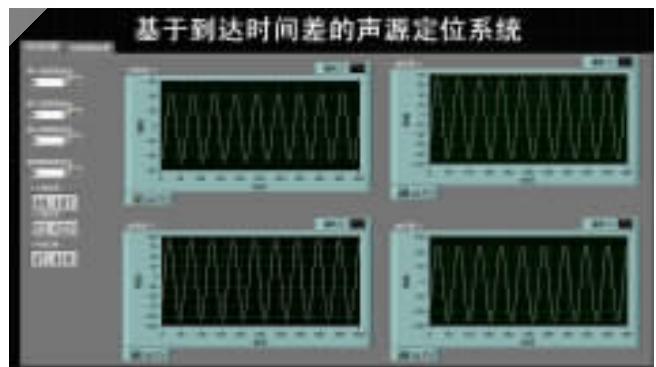


图 4 虚拟仪器前面板

表 2 实际相位与测量相位的对比

实际相位	0	10.032	20.564	30.721	48.107	52.622	63.425
测量相位	0	10.032	20.564	30.721	48.107	52.622	60.425

本文通过使用自相关与曲线拟合的方法,从混有噪声的信号中提取出所需要的信号,再通过互相关的方法提取相位,有效地提高了时延的精度。

利用虚拟仪器技术替代部分的硬件电路,从而避免外界干扰对电路的影响。当信号经过数据采集卡采集后,已经以离散的数据形式存储在计算机中,在以后的计算中以计算机的数据处理代替原来的计算电路,不会再造成测量误差的进一步积累,因此测量结果的精度仅

取决于计算机中存储的采集的数据的精度,有效地提高了测量的准确性。

参考文献

- [1] 邓焱,王磊.Labview7.1 测试技术与仪器应用[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 胡海涛,邹澎,张荷涛.基于虚拟仪器的相位测量.传感器与仪器仪表,2007,23(1-1).

(收稿日期:2009-05-11)

