

# 基于虚拟仪器技术的声速直接测量

刘朝辉<sup>1</sup> 吴先球<sup>1</sup> 吕红英<sup>2</sup> 部德才<sup>1</sup> 陈俊芳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(华南师范大学物理与电信工程学院,广州 510631)

<sup>2</sup>(华南农业大学理学院,广州 510642)

**摘要** 在普通 PC 上研制一套基于虚拟仪器技术的声速直接测量系统。以计算机声卡结合虚拟仪器软件 LabVIEW 开发针对声速测量的虚拟脉冲信号发生器和数字存储示波器。根据数字存储示波器显示的采样点数计算出声波通过两个声音传感器所用时间,进行声速直接测量。在距离为 1m 左右时实验相对误差为 0.3%。实验中只需发出短暂的脉冲声频,解决了音频范围内声速测量的声音扰人问题。系统具有灵活性高,成本低廉的特点,适合在物理实验中推广应用。

**关键词** 虚拟仪器 声速测量 声卡 数字存储示波器 LabVIEW

文章编号 1002-8331-(2005)34-0207-03 文献标识码 A 中图分类号 O422.1;TP391.7

## Direct Measurement of Sound Speed Based on Virtual Instrument

Liu Zhaohui<sup>1</sup> Wu Xianqiu<sup>1</sup> Lü Hongying<sup>2</sup> Bu Decai<sup>1</sup> Chen Junfang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Physics and Telecommunication Engineering, South China

Normal University, Guangzhou 510631)

<sup>2</sup>(Science College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642)

**Abstract:** A direct measurement system of sound speed based on Virtual Instrument was proposed. A virtual pulse-signal-generator and a digital-storage-oscilloscope are designed based on PC sound card and LabVIEW. The transmission time of sound wave between two MIC is deduced from the waveform displayed on the screen of Oscilloscope, so that sound speed is directly measured. The experiment results show that the system has an accuracy of 0.3 percent when the distance between the two microphones is about 1m. In this experiment, only one pulse audio is generated and sent out, so the disturbing of the sound is avoided. This system is low cost, flexible and fitted for using in the physical experiment.

**Keywords:** virtual instrument, measurement of speed sound, sound card, digital storage oscilloscope, LabVIEW

### 1 引言

在大学物理实验中,声速测量普遍采用共振干涉法或相位比较法<sup>[1]</sup>,利用声波的波动特性间接测量声速,实验中的波腹波节和李萨如图形还靠主观判断,测量方法不直观。利用数字存储示波器,记录瞬时的声波传播波形,能实现声速的直接测量<sup>[2]</sup>。但数字存储示波器用于声速测量时操作繁杂且实验的灵活性有限。

随着美国国家仪器公司提出“软件就是仪器”的概念,利用软件实现硬件功能的虚拟仪器在成本和灵活性方面大大改善。本文提出一种基于虚拟仪器技术的高精度声速直接测量方法,利用计算机自带声卡和 LabVIEW 软件设计针对声速测量的数字存储示波器和脉冲音频发生器,通过采集声波经过声音传感器时的瞬间波形,得出声波传播时间,直接计算出声速。实验中只需发出短暂的脉冲声频,解决了音频范围内声速测量的声音扰人问题。

### 2 测量原理和硬件实现

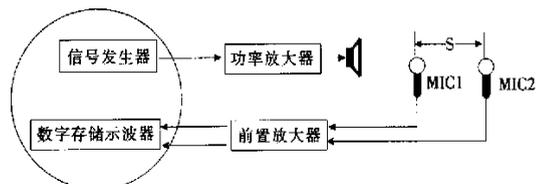
#### 2.1 测量原理

如图 1 所示,利用虚拟信号发生器发出一短暂的声频脉冲,脉冲在传播过程中先后经过距离为 S 的 MIC1 和 MIC2 两

个声音传感器,在脉冲信号发出的同时利用虚拟双踪数字存储示波器同步采集并显示两路声音传感器先后接收到的声频脉冲,然后根据示波器显示的两列波第一个波峰(或波谷)之间的采样点数差计算出声波经过两个声音传感器的时间差  $\Delta t$ ,再利用速度的基本公式:

$$V = \frac{S}{\Delta t}$$

直接测量出声速。



基于 PC 的虚拟仪器

图 1 基于虚拟仪器的声速测量系统结构图

#### 2.2 硬件实现

计算机自带的声卡是音频范围内性能优良的 A/D、D/A 转换器。普通声卡的 A/D 采样率最大为每通道 44 100 Sps (Sample per second),把相邻两次采样时间间隔作为时间基准,时间精度可以达到 1/44 100s;声卡的 D/A 功能也能达到

基金项目:全国教育科学“十五”规划项目(编号:ECB030477);广东省教育科学“十五”规划项目(编号:GQA02003)

作者简介:刘朝辉(1978-),男,硕士生。吴先球(1968-),男,博士,教授,硕士生导师。

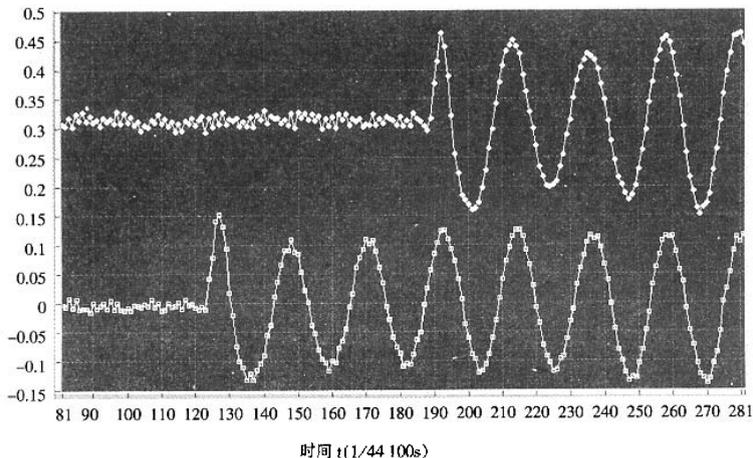


图2 实验采集到的波形

44 100Sps 的模数转换率。系统通过声卡的 A/D 功能把音频信号转换成数字信号传送给电脑软件处理,实现数字存储示波器功能;而声卡的 D/A 功能把软件产生的数字信号转换成音频信号输出,用来开发脉冲信号发生器。

声卡的模拟输入有 LINE IN 和 MIC 两个接口, MIC 接口可以直接输入声音传感器采集的信号,但它是单通道的,无法实现双踪示波功能。LINE IN 接口是双通道的,但没有信号放大功能,所以要把声音传感器采集到的信号用前置放大器放大。声音传感器采用驻极式话筒,它有成本低廉,体积小,灵敏度高的特点。前置放大器采用两个运算放大器 OP07,通过电位器调节放大倍数,将两路声音传感器信号放大约 30dB 后输入计算机的 LINE IN 接口。

模拟输出信号通过声卡的 LINE OUT 接口(或者 SPEAKER 接口)输出,经外置的功率放大器放大后输出到扬声器。

### 3 软件设计和实验过程

#### 3.1 软件设计

LabVIEW 是专门针对虚拟仪器的软件,内置大量诸如波形显示、信号发生、滤波、硬件读写等子程序,以这些成熟的子程序为基础,可以在短时间内开发出界面友好,性能优良的虚拟仪器<sup>[1]</sup>。本系统的音频脉冲信号发生器利用 LabVIEW 的基本信号发生器和声卡的输出子控件实现;双通道存储示波器利用波形显示和声卡输入子控件实现<sup>[2]</sup>。编程时需注意信号发生器和示波器在时序上的协调,即在声卡发出音频脉冲瞬间进行波形采集,同步记录并显示音频脉冲通过前后两个声音传感器时的波形。

实验采集到的波形如图 2 所示,两列波分别代表前后两个声音传感器同步采集到的信号。X 轴上的数字代表采样点数,在声卡采样率一定的情况下,相邻采样点的时间间隔相同,将 X 轴坐标乘以采样时间间隔,就可以得出时间。为了方便地分辨波形细节,在软件上实现 X 轴缩放,实现单采样点读数,以使时间的读数精度可以达到 1/44 100s。Y 轴代表所采集到声波的幅度,把其中一列波进行适当偏置,以便在示波器界面上明确分辨出两个声音传感器采集到的声波。由于同一列声波先后通过两个声音传感器,虚拟数字存储示波器显示两列波的第一个波峰或波谷之间有明显的时间差。根据 X 轴坐标和波形上

显示的采样点计算出声波经过的两个声音传感器时间差  $\Delta t$ 。例如,如果把声卡的采样率设置成 44 100Sps,则采样点时间间隔为 1/44 100s,通过 X 轴坐标计算出两列波第一个波峰相距  $n$  点,则声波通过两个声音传感器所用时间  $\Delta t$  为  $n \times 1/44$  100s。

实验中  $\Delta t$  的测量精确度决定了声速测量的精度。系统是根据两路声音传感器采集到的两列声波第一个波峰(或波谷)之间的采样点数来计算时间  $\Delta t$ ,所以两列声波能否被同步采集并显示所有点决定了时间的测量精度。这就要求虚拟数字存储示波器和信号发生器软件编写得尽量简洁,使软件的系统占有率低,保证两列声波及时且完整地采集和显示。

#### 3.2 实验步骤和结果

首先记录下室温  $T=16.9^\circ\text{C}$ ,在标准大气压下,  $0^\circ\text{C}$  时,声音的标准速度  $V_0$  是 331.45m/s。按照公式

$$V=V_0\sqrt{1+\frac{T}{273.15}} \quad (T \text{ 为摄氏温度})$$

得出室温下声速的标准值  $V=341.55\text{m/s}$ 。

根据前面提到的实验原理,将扬声器和前后两个声音传感器放在同一条直线上,然后在 PC 上启动虚拟数字存储示波器和脉冲信号发生器。设置虚拟信号发生器发出频率为 2KHZ 的正弦波,声卡的采样率为 44 100Sps,按下“开始”按钮,数字存储示波器在信号发生器发出音频脉冲的瞬间同步记录前后两个声音传感器采集到的声波,然后根据 X 坐标读出两列波第一个波峰(或波谷)之间点数,根据点数  $n$  可以计算出两列波的时间差  $\Delta t$  为  $n \times 1/44$  100s。用直尺测量出两个声音传感器之间的距离  $S$ 。根据公式  $V=S/\Delta t$  计算出一组声速  $V_i$ 。改变两个声音传感器之间的距离,用同样方法测出不同距离情况下声速。实验数据如表 1 所示,在  $S$  为 1m 左右时相对误差为 0.3%。

表 1 不同距离下的测量数据 ( $T=16.9^\circ\text{C}$ , 标准声速值  $V=341.55\text{m/s}$ )

组数	1	2	3	4	5
$S/\text{m}$	0.527	0.754	0.856	0.965	1.103
$\Delta t/\text{s}$	0.001 519 2	0.002 222 2	0.002 494 3	0.002 834 5	0.003 220 0
$V_i/\text{m/s}$	346.89	339.30	343.18	340.45	342.55
相对误差	1.6%	0.6%	0.5%	0.3%	0.3%

从表 1 中可以看出,随着两个声音传感器之间的距离  $S$  的增大,相对误差呈下降趋势,所以消除误差的一个方法是尽量增大两个传感器之间的距离  $S$ 。但随着声音传感器间的距离增

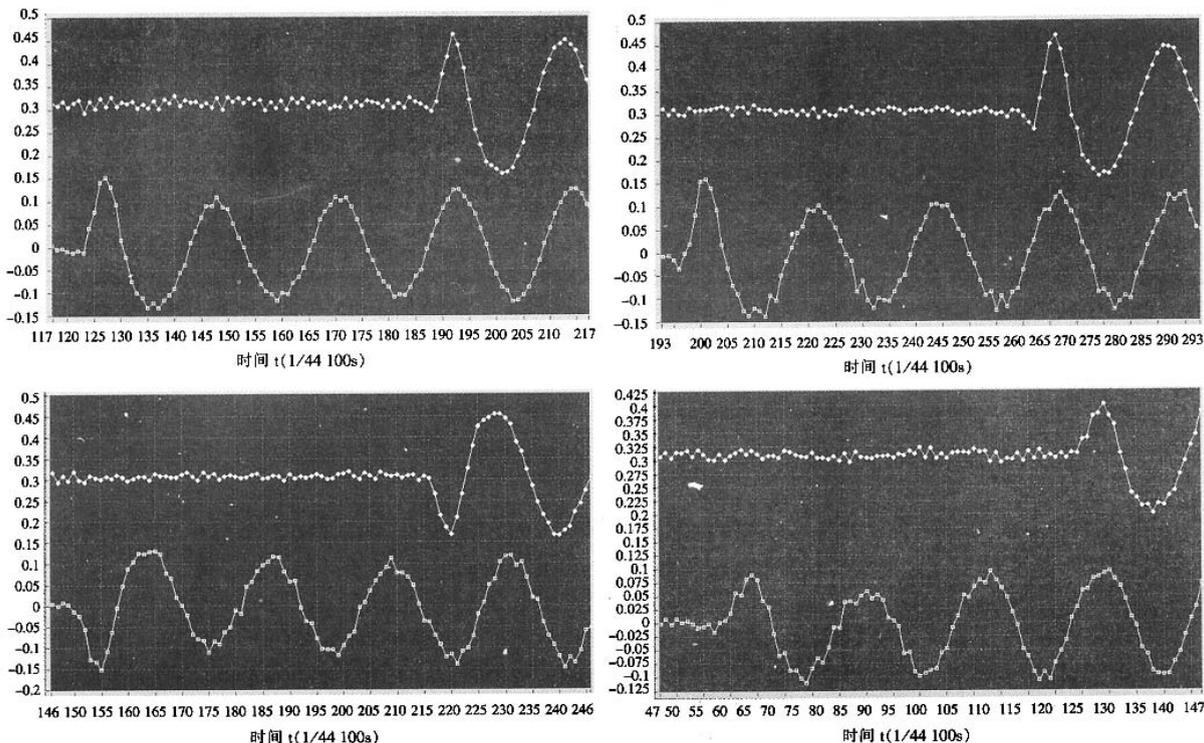


图3  $S$  为  $0.551\text{m}$  时 4 次实验采集的波形

大,声波的衰减和反射杂波的干扰会随之而来<sup>[4]</sup>,因此应根据实际情况控制两个声音传感器之间的距离。可以考虑将两个传感器放到一个管状腔体内,估计能取得更好的效果。

图3 是两个声音传感器间距为  $0.551\text{m}$  时 4 次实验所采集的波形图。这 4 次实验中, 两列波均有 65 个采样点的时间差,即时间差  $\Delta t$  相同。这说明本实验系统具有较好的可靠性和稳定性。

#### 4 结束语

本文利用带声卡的普通 PC 结合虚拟仪器软件 LabVIEW 设计了虚拟信号发生器和数字存储示波器,外加少许外围电路实现了声速直接测量。“软件就是仪器”的概念在本系统中得到充分体现,实验所需的外围设备甚少,成本低,直观性好。实验

中只需发出音频脉冲,解决了音频范围内声速测量的声音扰人问题,适合在物理实验中推广应用。

(收稿日期:2005 年 9 月)

#### 参考文献

- 1.李静,厉志明.普通物理实验[M].广州:华南理工大学出版社,1994
- 2.高永慧,于宗和.用脉冲串声波测声速[J].承德石油高等专科学校学报,2004;6(2):38
- 3.杨乐平,李海涛,肖相生.LabVIEW 程序设计与应用[M].北京:电子工业出版社,2001
- 4.LabVIEW User Manual[J].National Instruments Corporation,2003-07
- 5.朱献松,王宏志,宋君强.能量损耗对超声声速测量的影响[J].大学物理,2004;23(3):35

(上接 155 页)

确校正的算法及应用特点,针对地图空间数据的校正要求和 V 图的特点,提出利用“最邻近内插法”和“面积窃用插值法”实现基于 Voronoi 图的误差校正,对这两种插值算法的利弊做了肤浅的探讨,鉴于它们在时间复杂度和校正精度上的差异,可根据具体的运用及空间数据质量要求来确定算法上的取舍。

(收稿日期:2005 年 6 月)

#### 参考文献

- 1.吴芳华,张跃鹏,金澄.GIS 空间数据质量的评价[J].测绘学院学报,

2001;18(1):63~66

- 2.章孝灿,黄智才.GIS 中基于拓扑结构和凸壳技术的快速 TIN 生成算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,1999;11(1):1213~1218
- 3.陈军著.Voronoi 动态空间数据模型[M].第一版,测绘出版社,2000-08:116~112
- 4.Abolfazl Mostafavia.Christopher Goldb,Maciej Dakowicz,Delete and insert operations in Voronoi/Delaunay methods and applications[J].Computers & Geosciences,2003;29:523~530
- 5.韩晶,李英奎.地图数据校正算法及其在 GIS 中的应用与实现[J].应用基础与工程科学学报,1999;7(4):366~371