

基于 LabVIEW 的海洋声学仪器信号识别方法

朱兆彤¹ 邹哲光¹ 许肖梅¹ 吕连港²

(1 厦门大学水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 厦门, 361005)

(2 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛, 266061)

摘要 在总结几种常用海洋声学仪器的基本原理以及信号特征基础上, 提出了采用频谱分析和自相关方法提取噪声中的信号频率、脉宽、周期信息, 采用短时傅里叶变换提取海洋声学仪器信号的时-频特征值的方法, 并与相关的海洋声学仪器信号参数数据库比对, 设计了信号识别方法。基于 LabVIEW 软件构建了一套几种常用海洋声学仪器的信号识别系统, 给出了识别系统的软件操作界面。通过应用实测 ADCP 数据和仿真信号源所产生的几种声学仪器信号进行信号识别检验, 表明该系统能够在较低的信噪比条件下准确的识别已知特征参量的海洋声学仪器信号。研究成果可用于检测海洋中声学仪器的工作状态, 识别不同海洋声学仪器。

关键词 海洋声学仪器; LabVIEW; 仪器识别; 时频分析

在人们熟知的各种辐射形式中, 声波在水中的传播性能最佳。随着人们对海洋研究的日益深入, 各类海洋声学仪器在海洋中的探测应用也越来越广泛。各种海洋声学仪器都有着各自不同的工作原理, 因此也有着各自不同的特征信号。从目前的资料来看, 虽然国内外有一些对某种海洋声学仪器, 如 ADCP、回声定位仪等发射信号进行测量的文章, 然而很少见到有对这些仪器的信号进行综合分析、归类并提出提取其信号特征的相关报道。

为了进行海洋调查, 科研人员经常需要将各种海洋声学仪器长期布放在水底, 这样就造成了对这些仪器是否正常工作监测的困难。经常有渔民拖网误将仪器电缆割断或者不法分子偷盗仪器的报道, 而仪器在水下长期工作也难免会出现一些故障。这些意外事件导致珍贵的实验数据的丢失往往会造成难以估计的损失。因此需要设计一种能监测海洋声学仪器的方法和实现系统。通过分析各型海洋声学仪器发射的信号可以为设计这样的监测系统提供重要的参考。因此, 设计开发出这样一种能对几种海洋声学仪器进行信号识别的工作是很有意义的。

本文通过分析几种广泛使用的海洋声学仪器的技术参数、原理资料和实测所得到的海洋声学仪器信号参数数据, 基于 LabVIEW8.2 软件构建了一套常用海洋声学仪器识别系统。系统应用相关、频谱分析、时频联合分析等技术方法实现了对接收到的信号的去噪, 滤波, 提取信号特征等功能, 之后与已有的数据库中的几种海洋声学仪器特征参数进行比对, 识别出仪器类型, 判断仪器的工作状态。

1 信号特征分析

1.1 信号特征

许多海洋声学仪器都是以一种脉冲式单频或线性调频信号作为发射信号的, 如 ADCP、浅地层剖面仪 chirpIII、浅地层剖面仪 TOPAS。具体信号示意图见图 1, 这种信号主要有三个特征参量。

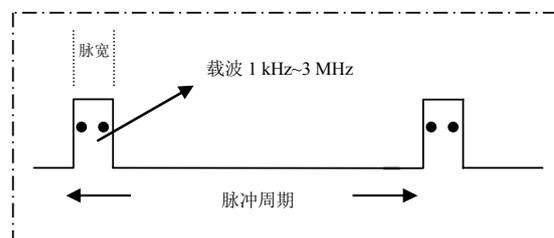


图 1 部分海洋声学仪器发射信号示意图

1.1.1 载波频率

不同仪器的载波频率差别较大。根据水声学原理, 频率与分辨率成正比, 而与传播距离成反比。因此, 一般来说, 要求精确测量而测量距离要求不远的仪器通常具有较高的工作频率。如某些 ADCP 和适用于河流湖泊浅海的测深仪和多波束系统。通常工作频率可达 500 kHz 以上, 某些仪器甚至可以到达 3 MHz 以上。这些仪器的探测距离通常在几米到几十米, 一般不会超过 100 m。由于这类仪器信号在水中衰减很快, 因此较难在远距离进行探测。而一些需要较远工作距离的仪器如声释放器、远距离 ADCP、深海测深仪等则一般工作在较低频率, 发射的工作频率带宽较宽, 通常为 1 kHz~300 kHz, 或采用多种频率联合工作, 低频时用于远距离、大

角度粗探; 高频用于近距离的细探。这些仪器在低频时发射的信号可以相对容易的进行远距离的探测。部分现代先进的商品化的声学仪器产品可以让用户在某几个特定的工作频率中进行选择, 让用户能够更灵活的在测量精度和测量距离之间进行取舍。为了抗强噪声干扰, 还有一些产品的载波频率不是简单的单频载波, 而是类似于一种扫频信号。

1.1.2 脉宽

由于海洋水环境中存在着大量混响, 会严重的干扰对正确信号的接收和处理, 因此海洋声学仪器通常会在脉冲间留出一段时间让混响进行一定的衰落, 便于之后的信号处理。同时, 该段时间也可以留给实时系统时间以供处理回波信息。

1.1.3 脉冲周期

即脉冲重复的周期, 通常和脉宽一起考虑确定合适的时间供混响衰落和进行回波信号处理, 对于实时系统来说, 系统需要能在一个周期的时间内完成该周期的信号处理运算。

本系统主要基于检测这三个特征参量并与仪器数据库中各型仪器的标准特征参量进行比对, 从而实现仪器识别的功能。表 1 为三种海洋声学仪器发射信号特征参数对比。

表 1 部分海洋声学仪器发射信号特征参数列表

仪器	载波频率 (kHz)	脉宽 (ms)	脉冲周期 (ms)
ADCP	30~3000	0.1~1	1~10
多波束系统	100~1000	0.05~0.5	30~50
浅地层剖面仪	3~50	1~10	1~200

1.2 实测的水声仪器信号

由于水声信道是一种非常复杂的信道, 其中存在的环境噪声、多途、混响、多普勒频移等因素都会引起信号的畸变和衰落。因此接收到的信号往往和发射信号相差很大。图 2 为接收到的一种 ADCP 的时域信号。

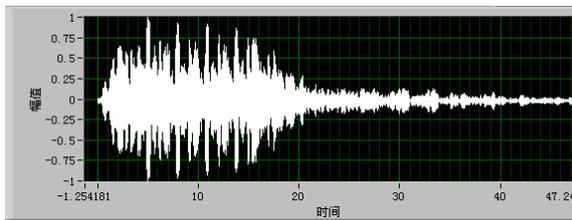


图 2 接收到的一种 38 kHz ADCP 的发射信号

由图中可见, 发射信号经过一定路径的水下传播后已发生了明显的畸变, 接收到的信号中出现了大量由多途和混响引起的噪声。因此需要通过分析几个信号特征参数对其进行识别。

2 关键技术

2.1 频谱分析技术

数字信号处理技术将时域信号 $x(t)$ 通过傅里叶变换变为频域信号 $X(f)$, 从而使我们可以从另外的角度来观察信号。通过傅里叶变换, 可以明确揭示信号的频率组成和组成信号各频率分量的能量大小。特别是在离散傅里叶变换的快速算法 (FFT) 提出后, 傅里叶变换的运算速度得到极大提高, 也使傅里叶变换成为目前信号处理领域最常用的方法。在本系统中, 使用 FFT 计算得到接收信号的频谱, 从而确定接收信号的载波频率。

2.2 自相关滤波技术

信号的自相关函数为:

$$r_x(m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)x(n+m) \quad (1)$$

设观察到的信号 $x(n)$ 由发射信号 $s(n)$ 和高斯白噪声 $u(n)$ 组成, 即 $x(n) = s(n) + u(n)$, 如果 $s(n)$ 是周期的, 信号长度为 N , 那么:

$$\begin{aligned} r_x(m) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [s(n) + u(n)][s(n+m) + u(n+m)] \\ &= r_s(m) + r_{us}(m) + r_{us}(m) + r_u(m) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $r_s(m)$ 是原信号的自相关函数, 与原信号具有相同的周期; $r_{us}(m)$ 是原信号与随机噪声的互相关, 趋近于 0; $r_u(m)$ 是随机噪声的自相关, 在 $m=0$ 时有极大值, 之后迅速衰减, 因此, 只要 m 取值足够大, 就能从高斯白噪声中提取出发射信号的周期成分。

若已知欲检测的信号中含有周期成分, 就可通过自相关的方法, 从叠加高斯白噪声的信号中滤波得到原始信号。由于很多海洋声学仪器都是以单频正弦波作为载波信号的, 因此, 通过自相关的方法可以有效的从高斯白噪声中恢复原来的周期信号。

2.3 时频联合分析技术

信号的时域波形含有大量我们感兴趣的信息。而如果只采用传统的频谱分析方法, 就会忽视信号在时域上的大量有用信息。因此, 需要引入时频联合分析的技术。通过时频联合分析技术, 我们不但能在同一幅图中同时得到信号的时域和频域信息, 而且可以使脉冲边缘更加清晰, 方便更精确的测量信号的脉冲周期和脉冲宽度。

本系统采用短时傅里叶变换 (STFT) 作为时频分析的方法。STFT 的基本思想就是用一个随时间平移的时间窗函数将原来分平稳的信号分为若干平稳或近似平稳段, 然后逐段确定其频谱。离散 STFT 的计算公式为:

$$STFT_x(n, r) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)\omega(n-m)e^{-i\frac{2\pi}{N}m} \quad (3)$$

虽然 STFT 算法原理上比较简单, 但在时间分辨率和频率分辨率上有着难以取舍的矛盾。然而由于此信号识别一般所要求的处理速度不高, 可在离线的方式进行。如果在要求快速、实时处理的情况下, 可以采用 FFT 算法加快 STFT 变换的运算速度, 适合本系统要求实时处理信息并显示的需要。

3 基于 LabVIEW 的系统实现

3.1 LabVIEW 简介

LabVIEW 是美国 NI 公司出品的一款基于 G 语言 (Graphic Language, 图形化编程语言) 的虚拟仪器系统。结合 NI 公司出品的各种规格的采集卡可以方便的实现各种功能的虚拟仪器, LabVIEW 内部集成了大量适用于信号处理的函数, 可以直接调用。因此, 采用 LabVIEW 作为本系统的开发平台是非常适宜和有效的。本系统采用 LabVIEW 8.20 版本进行编程。

3.2 系统整体构成及工作流程

该测试系统主要由 7 个部分组成: 数据输入、高通滤波、自相关滤波、数据变换运算、数据显示、特征参数提取和判别仪器所属类型。同时, 为了能够更加全面的测试系统在低信噪比条件下的测试能力, 在数据输入后可以选择加入一定标准差的高斯白噪声信号。

数据输入系统后, 经过低通滤波, 之后若信噪比较高, 可以直接输入到显示控件, 观察其时域波形。若信噪比较低, 可选择让其通过自相关滤波器, 以提高信噪比。另外, 本系统利用 LabVIEW 中“属性节点”功能, 实现了波形图时间坐标的缩放和滑动, 便于使用者既能从整体上观察整个采集到的波形, 也能放大观察信号的细节信息。

本系统可以自动从输入的数据中获取数据的采样率, 最终给出信号的中心频率信息。与此同时, 将时域信号经行 STFT 变换, 得到信号的时频图, 见图 3。图 4 为原信号时频变换后的包络。

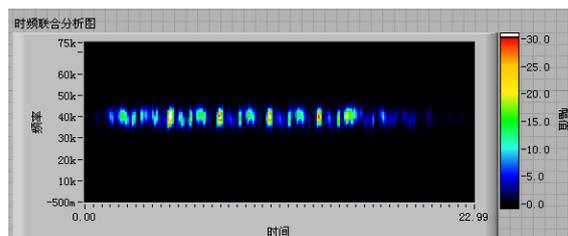


图 3 图 2 中接收到信号的时频图

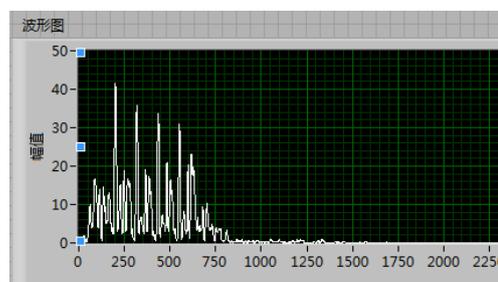


图 4 原信号时频变换后的包络 (横坐标: 时间 ms)

从图 4 中我们可以看到, 时频变换后得到的包络图中, 脉冲的边缘比时域图中明显清晰了很多, 这样, 使用阈值判别的结果将更加可靠。需要特别说明的是, 在进行 STFT 变换时, 系统对信号进行了归一化处理, 这样, 即使针对不同幅值的信号, 也不需要经常调整幅值标尺。设定波形峰值下降 3 dB 作为阈值, 得到有效脉冲个数、脉宽和脉冲周期数据。之后, 系统调用 ADO 组件访问 Access 数据库。与数据库中该型 ADCP 的标准参数进行比对。输入本设计系统, 得到结果见图 5。

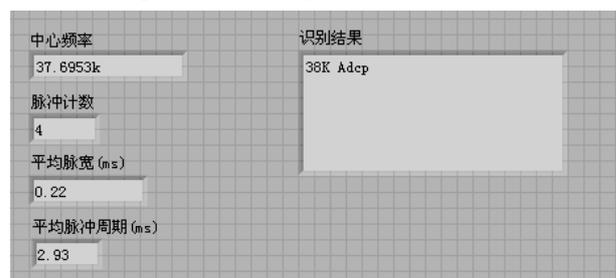


图 5 最终识别结果

可见, 系统能准确的测量该信号的频率、脉宽和脉冲周期, 并正确的识别该仪器的类型, 对其他几种海洋仪器声信号的检测也得到很好的识别结果。

4 结论

在分析目前一些常见的海洋声学仪器的工作原理的基础上, 总结了这些仪器发射声信号的特征, 在 LabVIEW 平台上搭建了常用海洋声学仪器识别系统。 (下转第 29 页)

位复数。相比较具有相近主频的 DSP 芯片(144 MHz 主频的 TMS320VC5509A 芯片)则需要 21 片才能达到该运算速度。因此,本设计还能有效的控制产品成本,缩小产品尺寸。

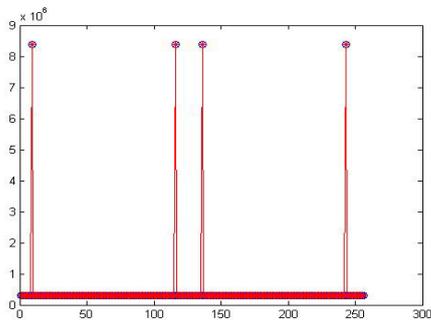


图 4 第一次理论值测试结果

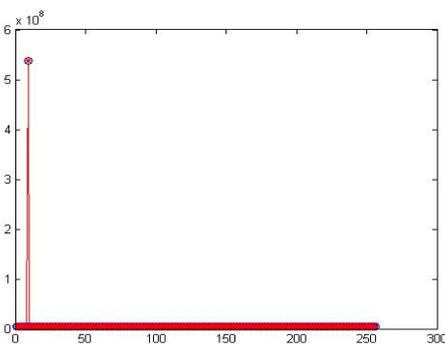


图 5 第二次理论值测试结果

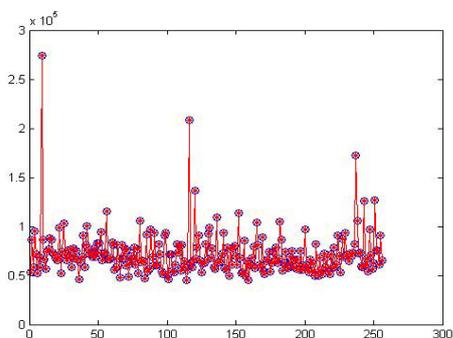


图 6 第一次叠加随机扰动测试结果

(上接第 20 页)

通过以上仿真和对实测信号的验证表明,本设计系统可以有效的识别部分常用海洋声学仪器,具有实现容易,抗噪声能力强、便于向硬件平台移植,识别迅速、准确,图形用户界面友好,易于使用等特点。然而,本系统也有着一定的不足,例如对于某些工作频带较宽的海洋声学仪器识别效果不佳,对于某些窄脉冲识别效果不理想,这些将是今后的研究中将要努力解决的问题。

参考文献:

[1] R D Instruments. Acoustic Doppler Current Profiler

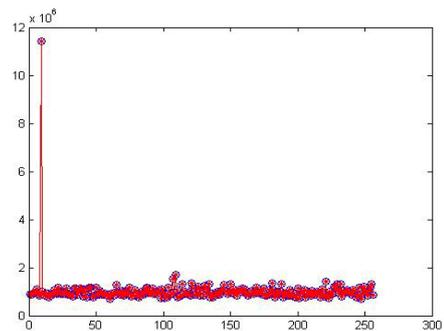


图 7 第二次叠加随机扰动测试结果

4 结束语

本文介绍了一种基于 FPGA 的 FWT 算法的实现方法。给出了设计原理、设计思路和具体实现方法,完整的构造了一个 FWT 运算器,并且还对其进行了实际测试。从测试结果中可以发现,采用该设计做 FWT 算法,可以有效的提高运算速度,提高系统性能。而且,相比较与主频相近、功耗相似的 DSP 芯片来说,采用该设计,还可以减少 PCB 尺寸、降低整板功耗、控制设计成本,在便携式数字信号处理系统领域中有着广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] 潘松,黄继业. SOPC 技术实用技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2005: 1-6, 232-237
- [2] 侯伯亨,顾新. VHDL 硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M].西安:西安电子科技大学出版社, 2000: 1-10, 218-227.
- [3] Uwe Meyer-baese. 数字信号处理的FPGA实现[M]. 北京:清华大学出版社, 2007: 28-75, 204-217.
- [4] Altera Corporation. CycloneIII Device Handbook[G]. 2008.

Principles of Operation A Practical Primer[M]. San Diego, California 92131 USA: RD Instruments. 1996

- [2] 刘忠臣,周兴华,陈义兰. 浅水多波束系统及其最新技术发展[J]. 海洋测绘, 2005, 25(6):67-70.
- [3] 胡广书. 数字信号处理导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2005:26-29.
- [4] 岂兴明,周建兴,矫津毅. Labview8.2 中文版入门与典型实例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007.
- [5] 万建伟,王玲. 信号处理仿真技术[M].长沙:国防科技大学出版社,2008.