

基于虚拟仪器技术的多路水声信号同步采集及处理平台设计

田甜[†] 李启虎 王磊 孙长瑜

(中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要 本文介绍了虚拟仪器技术在水声信号处理研究中的一个具体应用,利用LabVIEW语言编程,在NI公司高速数据采集硬件平台上实现了高采样率下多通道数据的同步采集、处理、记录功能,并不使用信号处理机的情况下,利用主控单板机的单核CPU完成了32通道常规波束成形(CBF)的实时计算。同时,本文对非DSP硬件平台的实时信号处理实现方法进行了初步的研究。

关键词 虚拟仪器, 同步采集, 常规波束成形, 非DSP硬件平台

The design of multiple-channel data acquisition & processing platform based on virtual instrument technologies

TIAN Tian LI Qihu WANG Lei SUN Changyu
(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract This paper describes an application of the virtual instrument technology in the area of the underwater acoustic signal processing. It realizes multiple-channel synchronous data acquisition, processing and memorizing in high sample rate based on LabVIEW language. It also realizes the real time processing of 32-channel conventional beamforming (CBF) on the single-core CPU of the main control board without DSP platform. Meanwhile, this paper presents some tentative research results on the realization of real time signal processing with non-DSP platform.

Key words Virtual instrument, Synchronous data acquisition, CBF, Non-DSP platform

1 引言

利用水听器基阵接收信号是水声学研究中最常用的试验手段之一。水听器基阵信号的数字化传输通常需要较多的硬件资源,因此,一般的水声试验仍然广泛使用模拟基

阵来获取水声信号,它将多路模拟信号直接上传至信号接收端,这就涉及到多路模拟信号同步采集的问题。本文基于LabVIEW语言和虚拟仪器技术,利用NI公司出品的高速同步信号采集板卡PXI-4472B和PXI-4462以及PXI-8196主控单板计算机机构筑的信号采集

2011-03-10 收稿; 2011-04-13 定稿

作者简介: 田甜(1979-), 男, 四川成都人, 助理研究员, 工学博士, 研究方向: 水声信号处理、嵌入式操作系统等。

李启虎(1939-), 男, 研究员, 博士生导师, 中国科学院院士。 王磊(1973-), 男, 副研究员。

孙长瑜(1954-), 男, 满族, 研究员, 博士生导师。

[†]通讯作者: 田甜, E-mail: top_gun1223@163.com

平台实现了最多达72路的模拟信号高采样率同步采集、显示、处理和存储,并在不依赖信号处理机的情况下,在此平台上进一步实现了32阵元信号常规波束成形的实时计算和显示。

虚拟仪器是一个针对计算机的概念,它是通过编程使计算机实现特定仪器设备功能的一种软件系统。本文描述的运行于PXI-8196的虚拟仪器系统,是通过LabVIEW语言编程实现的。LabVIEW是一种图形化的编程语言,它广泛地被工业界、学术界和研究实验室所接受,视为一个标准的数据采集和仪器控制软件,利用他可以方便地建立用户所需的虚拟仪器^[1]。LabVIEW中包含了各种用于控制采集板卡的虚拟仪器模块(VI),可方便实现对硬件的控制。同时,LabVIEW封装了大量用于输入和输出的控件,这些控件图文并茂,为信号波形和其它信息的显示提供了便利。

2 信号采集平台的架构及工作原理

2.1 硬件的系统架构

本文实现的高速数据采集平台是由

PXI-8196工控机、PXI-4462板卡两块以及PXI-4472B板卡8块组成的。该平台最多可完成72路模拟信号的同步采集,最高采样率100 kHz^[2]。实物如图1。

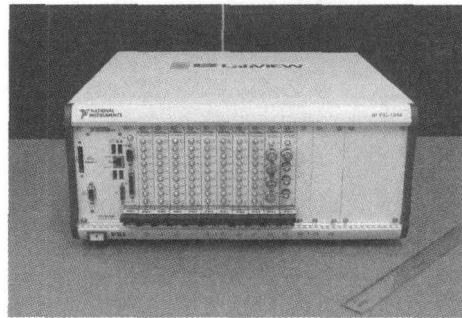


图1 系统实物

其中,PXI-8196是主控计算机,它负责控制其它板卡的工作,同时负责数据的处理、显示和存储;PXI-4462和PXI-4472采集的数据通过PXI总线写入PXI-8196的内存;PXI-4462为所有其他信号采集板卡提供同步时钟节拍,以保证所有的采集同步。平台内各板卡的逻辑架构如图2所示。

2.2 信号采集板卡的工作流程

系统开始工作后,板卡首先接收用户设置的采样频率 f_s 、每次采样点数 N 等关键参

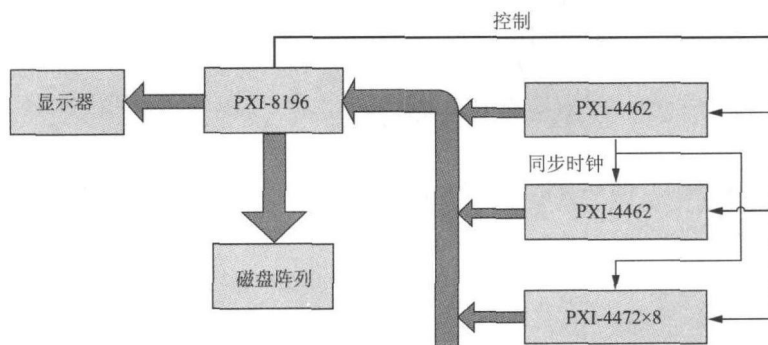


图2 数据采集平台的逻辑架构

数, 然后启动并开始以频率 f_s 采集模拟信号。在每采满 N 个点的数据后, 板卡向主控计算机发送中断, 并通过PXI总线将 N 个点的数据写入主控计算机的内存, 如此周而复始, 直至用户输入终止命令。板卡每采集到 N 个点所用的时间 T , 叫做采集周期, 用户设置了 f_s 和 N 后, T 随之确定。显然, $T = \frac{N}{f_s}$, 单位秒。

系统采集数据的流程可由图3表示。

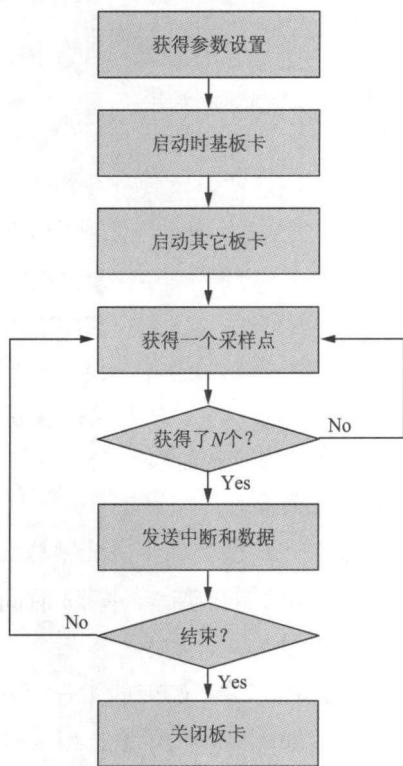


图3 信号采集板卡的工作流程

3 基于 LabVIEW 的信号同步采集及处理虚拟仪器设计

PXI-8196使用的是Intel公司的X86架构单核CPU, 操作系统使用了Windows XP, 这构成了本文所述的同步数据采集虚拟仪

器系统的运行环境。该系统实现了以下功能:

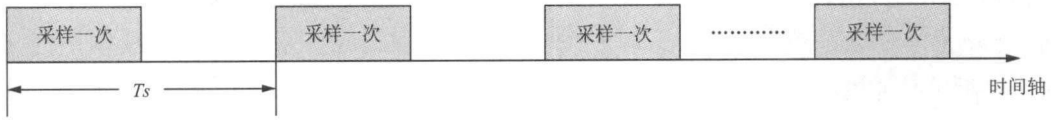
- (1) 在用户设定的采样频率下, 同步采集多路模拟信号;
- (2) 显示用户规定通道的信号时域波形;
- (3) 实时计算并显示用户规定通道信号的频谱;
- (4) 进行时频分析、LOFAR/DEMON谱分析计算并显示;
- (5) 实时存储所有通道信号数据。

使用LabVIEW制作用于数据采集的虚拟仪器系统有一套标准流程^[3], 因此该项工作不是本文讨论的重点。上述系统功能中的(3)和(4)实际上完成的是实时信号处理的工作, 这是利用PXI-8196的CPU实现的。

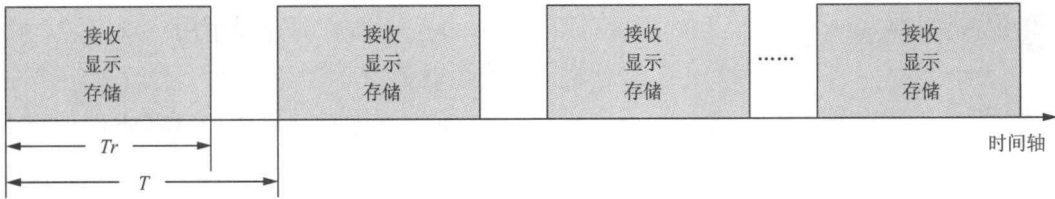
由本文2.2节的描述可知, 对于信号采集板卡, 开始工作后, 它每隔一个采样周期 T_s 完成一次信号采样, $T_s = \frac{1}{f_s}$, 其工作量在时间轴上是均匀分布的, 如图4(a)所示;

而对于PXI-8196的CPU而言, 它每隔一个采集周期 T 才完成一次数据收集、显示和存储。设显示和存储一批(N 点)数据用时 T_r , 则CPU的工作量在时间轴上的分布如图4(b)所示。

显然, 若该虚拟仪器系统仅仅完成数据采集、显示和存储, 则对于CPU, 在每一个 T 时间段内, 总有 $T_p = T - T_r$ 的时间是空闲的。本文实现的虚拟仪器就是利用这一段空闲时间, 完成了信号频谱分析(FFT运算)、时频分析(短时傅立叶变换)、LOFAR和DEMON等内容的实时信号处理运算, 并显示其运算结果。FFT等信号处理算法在LabVIEW中均有封装好的运算模块以供使用, 因此具体的算法编程实现是一个相对方便的工作^[5], 此处就不赘述了。



(a) 板卡工作量的时间分布



(b) CPU工作量的时间分布

图4 系统硬件工作的时间分布

运行该虚拟仪器系统时，工作流程如图5所示。

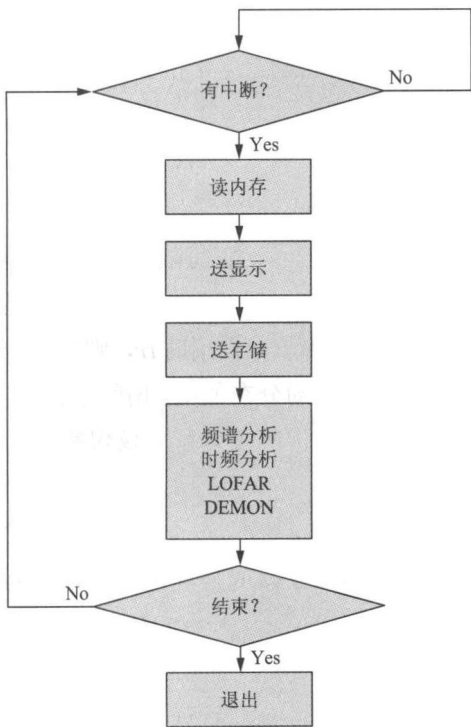


图5 CPU工作流程

4 常规波束成形实时计算的实现

在前面的节中，虚拟仪器系统已经实现

了多路模拟信号的同步采集、显示、存储以及一些简单的实时信号处理功能。本章将以水声阵列信号最常用的信号处理算法——常规波束成形（CBF）为例，讨论如何在不借助信号处理机的情况下，在保留之前所有功能的同时，仍仅利用X86架构的CPU来实现大规模的实时信号处理运算，使该虚拟仪器系统成为一个独立、完整的集数据采集和实时处理于一体的多功能综合平台。

4.1 软件结构

CBF相对于本文第3节中的频谱分析等信号处理来说，运算量大得多，在 T_p 时间内是无法完成的。因此，必须在程序结构上进行调整。在本文第3节中，CPU的工作流程，采用的是串行的顺序结构，而Windows操作系统是基于时分复用技术的非实时操作系统，在这样的环境下，串行结构速度慢，且对资源的利用率低。从宏观来看，在串行结构中，虚拟仪器系统某一段时间只要求CPU完成一项工作，因而只能分配到与之相应的CPU资源，这样一来，CPU剩余的资源就被闲置下来了。

由X86架构的CPU以及Windows操作系统的工作机制可知，无论被闲置的资源有多

少, CPU执行某一项工作的耗时是一定的, 也就是说, 利用闲置资源完成其他的运算任务, 不影响基本功能的正常执行。

基于上述思想, 本文使用多线程技术来实现复杂信号处理的实时运算。将虚拟仪器系统的信号采集、存储、显示等基本功能放置于软件的主线程中, 另外开启一个新的线程, 专门完成CBF运算。CPU在处理多线程时, 将按照各线程的实际需求来分配资源, 不会因新增的信号处理线程而减少主线程(基本功能)获得的资源, 这保证了两个线程的并行执行; 另一方面, 用于完成CBF运算的可用时间由 T_p 增加至 T , 这大大增加了该虚拟仪器系统的信号处理能力。

4.2 多线程虚拟仪器的实现

下面讨论多线程在虚拟仪器中的实现方法。

LabVIEW程序是数据流驱动的, 本文利用LabVIEW提供的局部变量控件(Local Variable)实现对数据的分流^[5], 并在CBF线程中设置消息等待机制, 主线程获得中断后, 随即发送同步消息给CBF线程, CBF获得该消息后开始读取Local Variable中的数据, 并完成运算。这种数据分流与消息同步机制的使用, 可保证两个线程的数据共享和同步运行。

添加CBF线程后, CPU工作量的时间分布变为如图6所示。

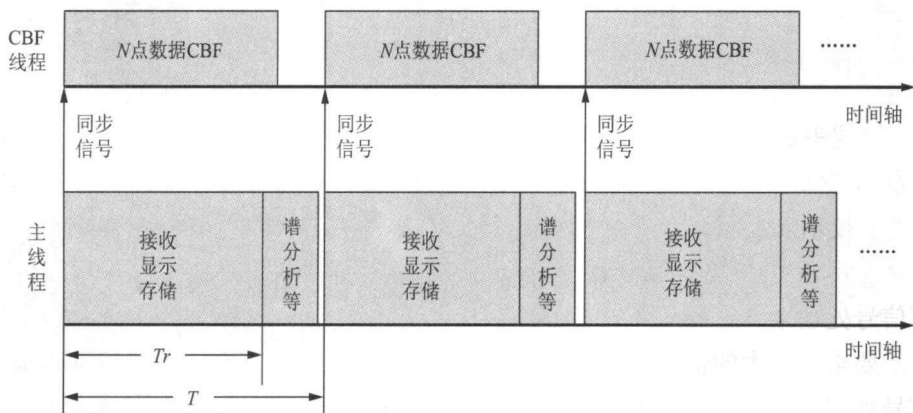


图6 多线程下CPU工作量的时间分布

4.3 常规波束成形(CBF)算法的实现

CBF算法是一个经典的水声信号处理算法, 其基本思路是将各阵元信号进行适当延时后相加, 再利用平方检波的方法获得指向性^[4]。这种“延时-求和-平方”的算法, 利用LabVIEW提供的强大的数组操作控件和循环寄存器控件, 可方便实现。

由于系统资源及CPU自身能力的限制,

本文在20 kHz采样率下, 采用定点数运算, 实现了32路信号的实时CBF计算及方位历程的灰度显示。采用定点数的原因将在本文4.4节中阐述。需要特别说明的是, 通过更换软件算法模块, 本系统的架构可以实现多种信号处理功能, 可满足各种不同需求。

整套虚拟仪器系统在PXI-8196上运行时, 其流程如图7所示。

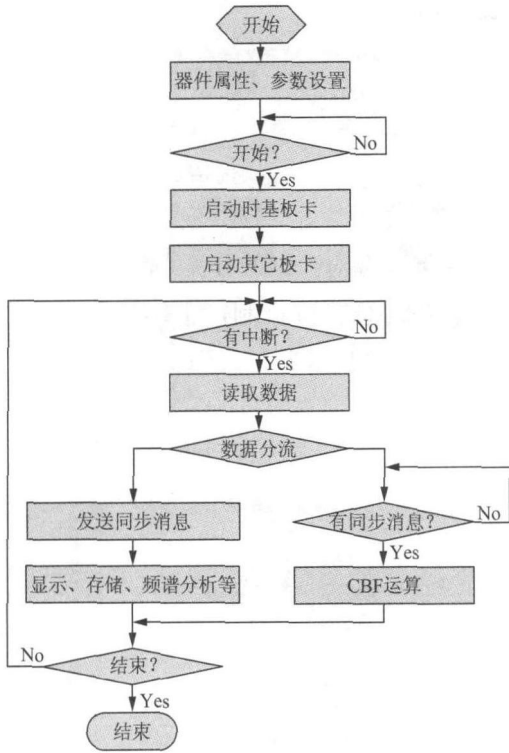


图7 整系统运行流程

4.4 非信号处理平台上实现实时信号处理运算的一些基本方法

现代电子技术发展迅速，多核CPU已经成为主流，合理运用CPU的运算能力，可以大大提高信号处理系统的处理能力。在信号处理运算量要求不太大的情况下，甚至可以不使用信号处理机，本文就直接使用CPU完成了所有实时信号处理的运算工作，因而大大简化了系统结构。在此，对利用运行于非信号处理平台的虚拟仪器系统实现实时信号处理运算的一些基本思路进行总结：

(1) 尽量使用定点数完成信号处理

X86架构的CPU自诞生以来，其定点运算能力就远远高于浮点运算能力。另一方面，主控计算机对信号处理运算结果进行显示时，最终是将所有数据转化为定点值，例如坐标、RGB色彩值等，因此，应该直接对CPU使用定点数来进行信号处理。本文实现的虚

拟仪器系统根据NI板卡提供的功能，直接将模拟信号采集为定点数，并在此基础上进行信号处理运算，这样做一方面充分发挥了CPU的长处，另一方面省去了系统最终强制转换数据类型所消耗的时间和资源。实际测试也证明该方法比使用浮点数进行处理效率更高；

(2) 运算量大时应使用多线程以保证运算实时性

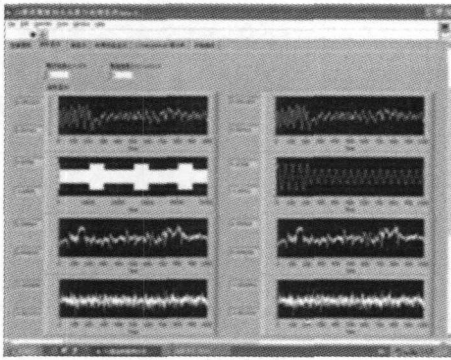
使用串行结构的程序运行速度慢，同时闲置了CPU资源。使用多线程并行处理多个任务，实际上是以更高的CPU使用率换取运算时间的节约。使用多线程时应当注意两个问题，一是各线程之间的同步，最好使用同步消息来控制各线程的开始与结束；二是各线程的运算量应尽量平衡，这样能够进一步有效利用CPU资源，节约运算时间。

5 应用及结论

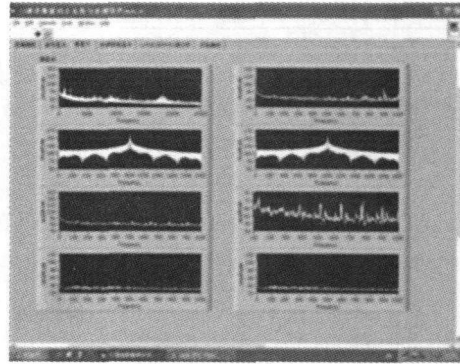
本文利用虚拟仪器技术，基于NI公司的信号采集及主控计算机硬件，实现了一套集数据采集、存储、显示和实时信号处理于一身的多功能综合系统。在运算量要求不太高的情况下，该系统可独立完成水声阵列信号的采集和实时处理工作，通过对波形显示控件的设置，还可实现示波器的大部分功能。该系统规模小，各种接口配置齐全，使用方便，在水声试验等领域有广泛的用途。由于主控计算机配有USB2.0、千兆以太网口等丰富的数据接口，在其CPU无法满足运算量要求的情况下，该系统还可以作为其它信号处理平台的数据源，完成信号采集和数据传输的任务。

目前，该系统已经执行了多次湖上、海上试验任务，系统各项功能均正常发挥作用。

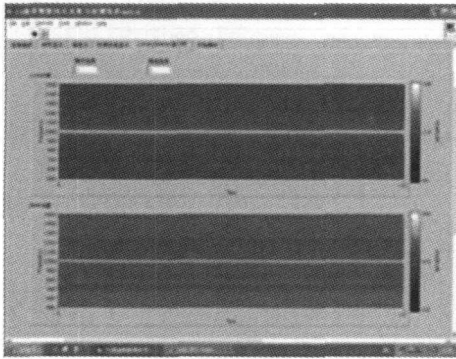
图8显示了该系统实际应用的一些情况。



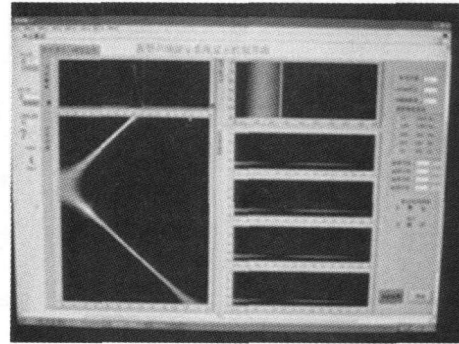
(a) 多通道时域波形显示



(b) 多通道频谱分析及显示



(c) 选定通道LOFAR及DEMON分析



(d) 常规波束成形结果

图8 海上试验中系统实际工作情况

参 考 文 献

- [1] WATTS L. The LabVIEW Environment: Advanced Built-In Analysis and Signal Processing [EB/OL]. [2011-2-23]. www.ni.com/labview.
- [2] TRUCHARD J. DAQ: 446X/447X Specifications [EB/OL]. [2011-2-23]. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid>.
- [3] WATTS L. LabVIEW入门8.0版: 实现简单的数据采集系统[EB/OL]. [2011-2-23]. www.ni.com/china/labview.
- [4] 李启虎. 数字式声纳设计原理[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 2003: 260-267.
- [5] 张凯, 郭栋. LabVIEW虚拟仪器工程设计与开发[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 190-230.