

声纳基阵信号模拟器实时软件的开发

李 蕾, 吴永清, 蔡惠智

(中国科学院声学研究所, 北京 100080)

摘要: 声纳基阵信号模拟器是一种实用的、可近似仿真实际监测目标及使用环境的阵元级信号发生器。声纳基阵信号模拟器的使用将有效缩短数字式声纳的研制周期, 大大减少湖试和海试的次数。文章中以通用信号阵列处理系统为运行环境, 详细介绍了一种声纳基阵信号模拟器实时多任务系统的软件设计与开发过程, 分析了该软件系统中所有基本任务的功能以及多任务之间的通信关系, 并且最后给出了该实时多任务软件在通用信号处理机上的实现拓扑图。实践证明, 该套软件功能完备, 且具有很好的实时性和稳定性, 非常适用于现代声纳工程领域。

关键词: 模拟器; 并行; 多任务; 实时; DSP

中图分类号: TB559 文献标识码: A 文章编号: 1000-3630(2004)03-0146-04

Real-time software development for sonar array signal simulator

LI Lei, WU Yong-qing, CAI Hui-zhi

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: A sonar array signal simulator generating signals received by hydrophones in a sonar array is useful in underwater acoustic engineering. It can simulate true detected targets as well as the ambience. Application of sonar array signal simulator can effectively shorten the process of digital sonar development, and decrease the time needed for experiments performed at sea. Therefore, study of sonar array signal simulator is important in the development of sonar technology. This paper introduces the process of software design and development of real-time multi-task systems of sonar array signal simulator based on the general-purpose signal-processing platform having a modular structure of hardware and a real-time operating system. The multi-task software is analyzed, including functions of all elementary tasks and communication between interrelated parts. The software is implemented and the topological structure is given based on the ADSP SHARC processors. The software has full functions. In addition, it shows good performance of real-time operations and high stability in applications. These good qualities make this sonar array signal simulator appropriate to be used in many fields of modern sonar engineering.

Key words: sonar array signal simulator; parallel processing; multi-task; real-time; DSP

1 系统需求分析

声纳基阵信号模拟器的任务是实时仿真声纳系统的阵元信号, 要求能够仿真不同海洋情况下, 多种阵型的水听器基阵接收到的运动目标发出或发射的相应信号。声纳基阵信号模拟器的使用将有效缩短数字式声纳的研制周期, 大大减少湖试和海试的次

数, 因此它的研制成为声纳技术发展过程中一个重要组成部分。

某型声纳基阵信号模拟器实现了多部声纳基阵信号的仿真任务, 其系统构成框图如图 1 所示。模拟器处理平台以通用信号阵列处理系统为运行环境, 实时实现了大量仿真算法, 包括仿真来自 4 个目标的辐射噪声和侦察信号、来自本舰的主动信号、来自环境的背景噪声, 以及对传播信道和声纳基阵(最多 64 个基元)的仿真; 模拟器显控平台具有可视化的数据显示、控制和图形输出功能, 可以实时控制模拟器处理系统的工作流程; 整个系统还提供了

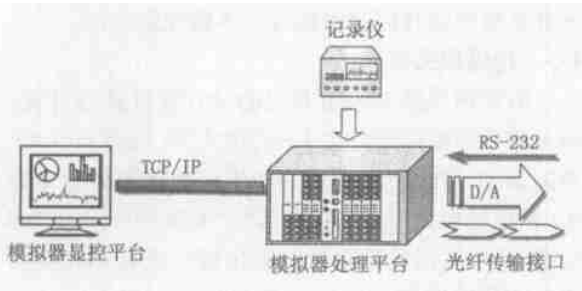


图 1 声纳基阵信号模拟器系统框图

多种数据传输接口。

要实时完成整个模拟器系统中所有算法的仿真,尤其是同时完成对多种信号的仿真,所需要处理的数据量和存储量都是巨大的。我们最终选择 ADSP21060 浮点多 DSP 处理器平台(以下称为通用信号处理平台,由中国科学院声学研究所研制)来完成某型声纳基阵信号模拟器的信号处理系统,主要原因是 ADSP21060 芯片具有较强的并行处理能力,为整个系统的硬件设计和软件开发都提供了很高的可靠性和方便性。通用信号处理平台由通用信号处理机(硬件环境)和实时多任务操作系统(软件环境)组成。下面分别介绍通用信号处理机和实时多任务操作系统。

2 系统硬件环境

通用信号处理机是整个通用信号处理平台的硬件环境,采用开放式模块化结构设计,主要模块有 DSP 阵列信号处理模块,多通道 A/D 模块,多通道 D/A 模块和多功能接口模块等。下面简要介绍声纳基阵信号模拟器所主要涉及的 DSP 阵列信号处理模块的组成和基本功能。

DSP 处理板为通用信号处理平台的核心部分,它采用 6U CompactPCI (CPCI) 总线结构,通常完成

通用信号处理平台所需的绝大部分数字信号处理功能。该平台通常由若干块 DSP 板组成,板与板之间通过 Link 口连接,形成不同规模的多 DSP 并行阵列处理系统,以完成不同的信号处理算法。数字信号处理板采用 CPCI 总线结构,由 6 片 ADI 公司的 ADSP21060 DSP 组成并行阵列数字信号处理板。主要部件还包括: PCI 芯片 PLX90801 片, 512K × 32Bit SRAM EDI8L32512C17AC 两片 and EPLD M5-256/160-15YC/I 1 片等,如图 2 所示。

3 系统软件环境

WindRiver 公司的 Virtuoso 是针对 DSP 处理器环境设计的嵌入式实时多任务操作系统。它与 VistalDSP 集成开发环境完全兼容,利用 ViusalDSP 中的编译器,连接器生成最终可执行代码。Virtuoso 采用分层的系统结构,支持非常高效应用设计及快速的中断响应,为应用程序提供全面的抢占式实时多任务服务调用接口(API)。Virtuoso 有单处理器(SP)和多处理器(VSP)两个版本,分别对应于单处理器和阵列多处理器应用。

实时监控程序软件 Real Time Debugger 提供了在主计算机上对目标 DSP 硬件网络的集中控制管理以及对各种硬件资源和数据的实时在线观察、跟踪、调试等功能,可以减轻在多 DSP 处理器网络上进行应用软件系统开发的难度。

ILibS-21K 信号处理算法库集中了大量典型的算法函数,比如 FFT、FIR,这些函数使用方便,速度快,非常适用于实时信号处理算法的开发。

4 主要功能模块仿真原理说明

4.1 舰船噪声信号仿真

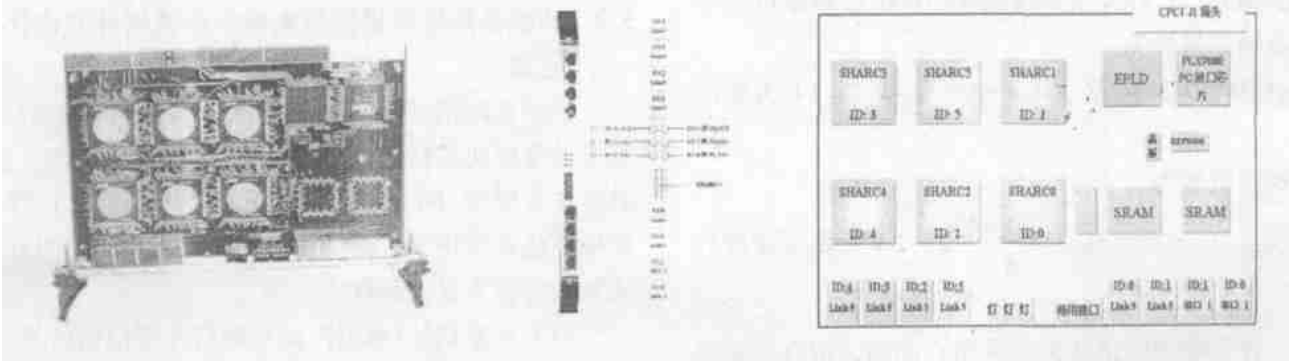


图 2 DSP 板实物照片和主要器件分布图

舰船噪声就谱特性划分,包括平稳连续谱、低频线谱和时变调制谱。

(1) 平稳连续谱:平稳连续谱是舰船噪声中最主要的成分,其谱特征采用三参数模型描述。本仿真对三参数模型稍作简化,采用以下二参数模型: $G_x(\omega) = a/[a^2 + (\omega + \omega_0)^2] + a/[a^2 + (\omega - \omega_0)^2]$ 。平稳连续谱近似以 -6dB/Oct 规律下降,采用自回归谱拟合技术来控制谱状;

(2) 低频线谱:线谱实质上是一组具有特定频率、幅度和初相的单频信号,可按照单频信号的方法分别产生然后再进行迭加。

(3) 调制谱:调制谱的仿真可通过对舰船噪声的幅度调制来实现,改变调制脉冲的周期和调制脉冲的结构可获得不同调制谱特性的噪声序列;

4.2 侦察脉冲和主动回波信号仿真

与噪声类随机信号不同,侦察脉冲和主动回波信号都属于可以用显函数表示的确定性信号,可按函数表达式计算产生。本仿真采用迭代算法产生各种单、调频信号,通过改变迭代参数即可产生具有不同特性的单、调频脉冲信号。

4.3 反波束形成仿真

为了提高计算速度满足实时性的要求,本仿真分粗、细两步实现多路基元信号的时延。以信号的采样周期为计时单元,整数倍于信号采样周期的时延由粗延完成,而剩余的不足一个采样周期的时延由细延完成。粗、细两步时延相结合,即可保证足够的时延精度,又可达到足够大的时延范围。

4.4 背景噪声信号仿真

背景噪声包括本艇自噪声、海洋环境噪声和流噪声三种成分。海洋环境噪声的特征取决于海区和海况,按浅海噪声模型,环境噪声具有 6dB/oct 谱状,1000Hz频率以上的谱级与海况的关系:

$$SPL_w(1000\text{Hz}) = 54 + 4 * HK \quad (HK \text{ 为海况}) \quad (1)$$

本艇自噪声谱级和流噪声谱级都是平台运动速度的函数,以XXX型艇做参考,1000Hz频率以上本艇自噪声谱级为:

$$SPL_Z(1000\text{Hz}) = 72 + 0.7 * (V - 4)^{1.2} \quad (V \text{ 为航速}) \quad (2)$$

流噪声谱级为:

$$SPL_E(f) = 10 * \text{Log}\left(\frac{160 * V^6}{f^3}\right) \quad (V \text{ 为拖曳速度}) \quad (3)$$

背景噪声的谱状控制采用自回归谱拟合技术实现。为了保证各路给出的噪声序列互不相关,各基

元背景噪声的自回归谱拟合应多路分别进行。

4.5 传播损失仿真

海洋声传播损失由专门的计算软件进行计算,给基阵信号模拟部分送来一个按频率、接收点深度、声源深度、接收距离排列的四维声传播损失分布数组,模拟器根据声纳的接收波段、本艇和目标的空位置,从传播损失分布数组查出每一个目标在接收点的声传播损失。

5 实时多任务软件的设计与开发

5.1 并行多任务算法的一般设计过程

设计一个并行算法大致可以分为四步,即任务划分、通信、任务组合、以及处理器映射,简称为PCAM设计过程,其基本阶段可简述如下:

(1) 划分:根据整个算法中各功能模块的性质、执行时间将整个计算分解成一些小的计算任务,其目的是增加算法并行执行的机会,减少运算时间,提高整体效率;

(2) 通信:确定各任务在执行过程中与其它任务所需交换的数据量和控制信息,协调各任务的执行,由此可检测上述划分的合理性;

(3) 组合:按性能要求和实现的代价来考察前两阶段的结果,必要时可将一些小的任务组合为更大的任务,以提高性能或减少通信开销;

(4) 映射:将每个任务分配到一个处理器上,其目的是使全局执行时间和通信成本最小化,使处理器的利用率最大化。

利用上述PCAM设计过程来分析一个复杂算法,最终可以形成一个并行软件在DSP芯片上实时实现的拓扑结构。拓扑结构设计的好坏将直接影响实时处理软件任务的完成,一个好的结构不仅能够保证运行程序具有较好的实时性,并且对于提高软件的可靠性和降低开发成本都起到重要作用。

5.2 声纳基阵信号模拟器实时多任务软件的设计过程

声纳基阵信号模拟器的功能结构如图3所示。基本功能模块包括:目标信号仿真模块(4个目标),基阵仿真模块(64路,又称为反波束形成模块),背景噪声仿真模块(64路),传播信道仿真模块(因算法复杂而放入显控软件中实现)。

(1) 任务划分:根据声纳基阵信号模拟器的基

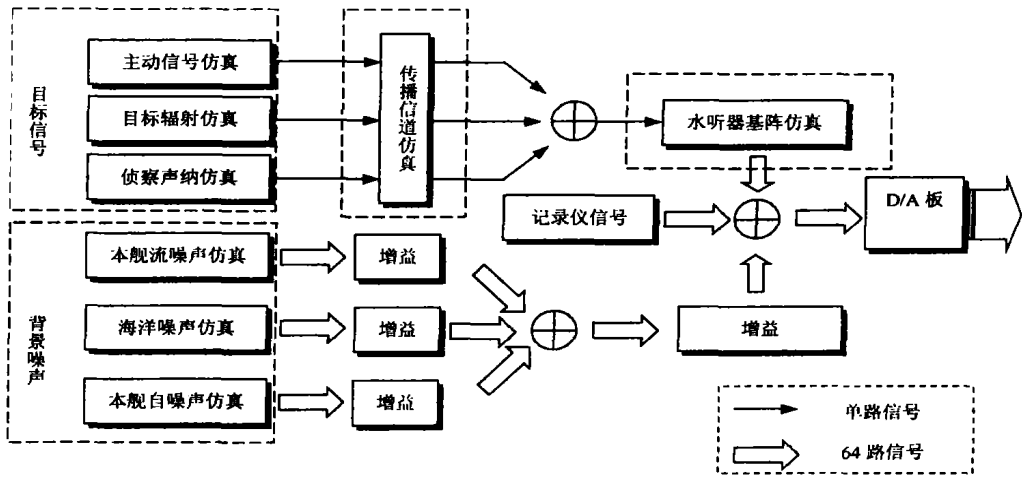


图 3 声纳基阵信号模拟器功能框图

本功能模块, 得到表 1 中的任务划分情况:

表 1 基本任务列表

基本任务	任务功能
目标 1 信号仿真 目标 2 信号仿真 目标 3 信号仿真 目标 4 信号仿真	仿真来自目标(1, 2, 3, 4)的主动信号、目标辐射噪声信号和侦察声纳信号
目标 1 的 64 路反波束形成 目标 2 的 64 路反波束形成 目标 3 的 64 路反波束形成 目标 4 的 64 路反波束形成	将目标(1, 2, 3, 4)信号进行反波束形成处理, 形成 64 路基元信号
64 路本舰流噪声仿真 64 路海洋噪声仿真 64 路本舰自噪声仿真	仿真 64 路背景噪声信号
DA 接收、处理	接收 64 路基阵信号和噪声信号, 进行信号混合, 以及 DA 处理

(2) 任务通信: 主要的任务通信关系如下:

- ◇ 目标信号仿真任务与反波束形成任务之间的通信;
- ◇ 不同目标反波束形成任务之间的通信;
- ◇ 目标反波束形成任务与 DA 处理任务之间的通信;
- ◇ 背景噪声仿真任务与 DA 处理任务之间的通信;

(3) 任务组合: 考虑到不同目标反波束形成运算的相同性, 决定将两个目标信号放在一起进行反波束形成处理, 于是在(2)中增加一项:

- ◇ 目标 1 与目标 2 信号仿真任务之间的通信, 目标 3 与目标 4 信号仿真任务之间的通信;
- 考虑到三种噪声信号运算量不大, 决定将三种噪声仿真任务放在一起, 于是在(2)种增加一项:
- ◇ 背景噪声仿真任务之间的通信;

(4) 任务映射: 根据任务的运算量和存储量的要求, 将所有任务分配在 DSP 芯片上, 并且实现各任务间的通信关系。

5.3 声纳基阵信号模拟器实时多任务软件的实现结构

整个软件系统由 6 块板卡组成, 包括 4 块 DSP 板和 2 块 D/A 板, 每个板卡中所定义的女点和所实现的功能在表 2 中列出:

表 2 硬件组成结构

板卡编号	对应节点编号	实现的功能
Block1(DSP 板)	Node1~ Node6	产生前 32 路的目标仿真信号
Block2(DSP 板)	Node7~ Node12	产生后 32 路的目标仿真信号
Block3(D/A 板)	Node13	1~ 32 路 D/A 输出
Block4(D/A 板)	Node14	33~ 64 路 D/A 输出
Block5(DSP 板)	Node15~ Node17	产生前 32 路的噪声仿真信号
Block6(DSP 板)	Node18~ Node20	产生后 32 路的噪声仿真信号

6 声纳基阵信号模拟器显控软件

模拟器显控软件主要完成整个声纳基阵信号模拟器系统的用户接口, 包括图形显示、参数设置、操作控制和软硬件自检等功能。为了实现上述功能, 需要在软件中完成二维图形、表格、网络、对话框以及主控计算机与 DSP 处理芯片上的数据交换等程序设计。该程序基于 Microsoft Windows NT 操作系统, 应用 Microsoft Visual C++ 开发环境编写而成的。

(下转第 162 页)

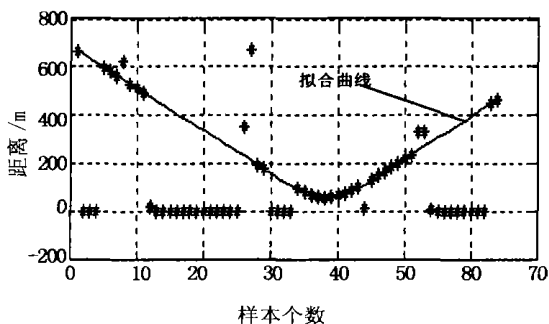


图4 10阶多项式平滑处理结果与原始测量值对比图

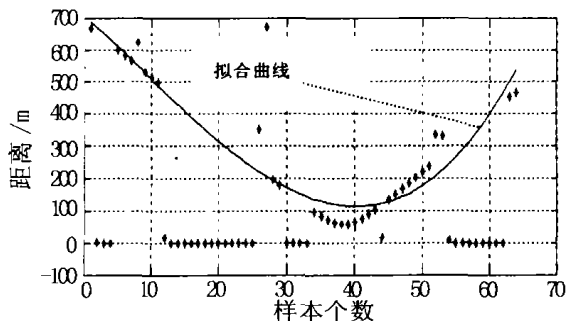


图5 3阶多项式平滑处理结束与原始测量值对比图

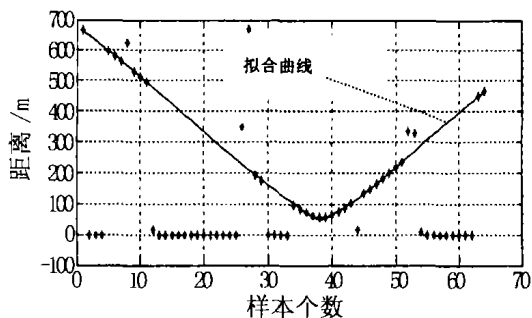


图6 分段3阶多项式平滑处理结束与原始测量值对比图

6 结束语

对测量数据进行平滑处理以改善测量效果,一直是实际工程中不断进行研究的内容之一。本文结合单阵元测量的同步距离 $R-T$ 曲线具有正弦函数变化的特征,提出采用分段多项式拟合的方法,在保证拟合效果的基础上降低了多项式拟合阶数,避免了求解复杂正规方程和病态方程的问题,实际测量数据处理结果说明,该方法能有效地解决拟合效果和多项式阶数之间的矛盾。

应指出的是,对实际测量数据的拟合,野值剔除是十分重要的环节,无论后置处理采用何种处理方法,不能有效剔除测量数据中的野值均较难得到理想的处理效果。

参 考 文 献

- [1] 吴国清. 水下被动测量距离的后置处理[J]. 声学学报, 1995, 20(2): 88-100.
- [2] 丁育中. 短基线水下声定位系统后置处理[J]. 声学电子工程, 1990, 19(3): 13-20.
- [3] 聂铁军. 数值计算方法[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1990. 67-86.

(上接第149页)

7 结束语

文中介绍了某型声纳基阵信号模拟器实时多任务软件的设计与开发过程,该系统已经研制成功,在实际工程应用中不仅验证了其实时和稳定的性能,而且为声纳处理设备提供了非常好的仿真结果,取得了一定的实际效益。

参 考 文 献

- [1] 李启虎. 数字式声纳设计原理[M]. 合肥: 安徽教育出版

社, 2002. 409-419.

- [2] 陈国良. 并行计算-结构、算法、编程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. 164-177.
- [3] 何心怡. 一种声纳模拟器并行多处理系统的设计与应用[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 26(3): 341-344.
- [4] 苏涛. 高性能数字信号处理器与高速实时信号处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999. 46-66.