

· 研究报告 ·

多核 DSP 在无人平台探测声纳中的应用研究

任宇飞^{1,2} 袁俊舫³ 李 峥¹ 吴玉泉¹ 黄海宁^{1†}

(1 中国科学院声学研究所 北京 100190)

(2 中国科学院大学 北京 100190)

(3 海军驻天津地区防救军事代表室 天津 300042)

摘要 在信息技术日益成熟的今天,无人平台在军事和民用领域都扮演着越来越重要的角色。水下无人航行器探测已经成为水声领域重要前沿研究方向,高速运算处理能力更是整个系统的核心。本文以多核 DSP 作为处理核心,提出了一个水下无人平台探测声纳架构。首先对多核 DSP 性能做了基本介绍,并以几种基本运算和经典波束形成算法作为例子进行了说明,通过性能测试证明了这一架构适用于水下无人平台的实时信号处理。这一多核 DSP 架构的设计和应用在水声领域中具有一定实用价值。

关键词 多核, 数字信号处理器, 水下无人航行器, 声纳, TMS320C6678

中图分类号: TB 566

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2014)06-0496-09

DOI:10.11684/j.issn.1000-310X.2014.06.004

Application research on multicore DSP in an unmanned underwater vehicle detecting sonar

REN Yufei^{1,2} YUAN Junfang³ LI Zheng¹ WU Yuquan¹ HUANG Haining^{1†}

(1 Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

(3 The Navy in Tianjin Rescue Military Representative Office, Tianjin 300042, China)

Abstract Unmanned vehicles are playing a more and more important role in both military and civilian uses, thanks to the development of information technology. Target detection with unmanned underwater vehicle (UUV) is now a thriving frontier subject, in which high operational capability is the core. An underwater acoustic signal processing system based on multicore DSP is presented in this paper. Firstly we introduced some basic characteristics of multicore DSP by giving some examples on basic operations and the beamforming algorithm. Then a capacity test was taken and it was demonstrated that the system is qualified to function as a real-time signal processing system in UUV. This article shows that the design and application of this multicore DSP based system is practical in underwater acoustic signal processing.

Key words Multicore, DSP, UUV, Sonar, TMS320C6678

2013-10-22 收稿;2014-02-22 定稿

作者简介:任宇飞(1987-),男,山西人,博士生,研究方向:信号与信息处理。

袁俊舫(1964-),男,高级工程师。李峥(1985-),男,助理研究员。吴玉泉(1980-),男,副研究员。

黄海宁(1969-),男,研究员,博士生导师。

†通讯作者 E-mail: hhn@mail.ioa.ac.cn

1 引言

现代探测声纳的大运算量、强实时性及小型化趋势,对声纳信号处理平台核心处理器提出了越来越高的要求^[1-2]。高性能处理器在现代声纳信号处理应用中发挥着越来越不可替代的作用,对其运算能力和数据吞吐能力的要求也越来越高。相对于FPGA,DSP处理器具有开发周期短、易于兼容现有设备、提供丰富外设接口的优点^[3]。在DSP工作频率越来越难以提升,运算能力受限的情况下,多核DSP并行信号处理逐渐成为主流。而声纳信号主要为阵列形式信号,从信号形式特点而言可以方便的分为多个独立工作量相似的任务,非常适合多核信号处理机制。

本文在研究了TMS320C6678(后简称6678)多核处理器结构以及编程方法的基础上,设计了一种基于6678的探测声纳信号处理系统。将被动波束形成算法移植到该处理核心,充分利用了多核并行处理的运算优势。系统经过湖上试验验证,具有一定的实用价值。

2 TMS320C6678 介绍

2.1 处理器选择

无人平台探测声纳要求实现自主判决,具有高实时性、准确性的特点,对核心处理器的性能也提出了更高的要求。

TI公司推出的8核DSP处理器TMS320C6678采用KeyStone架构,主频达到1.25 GHz,对定点、浮点数同时提供了强大的支持,总运算能力达到了160 GBflop,是单片TS201S的40倍。核心内部提供了总共8 MB的SRAM空间。相比TS201S提供的片上3 MB DRAM空间,存储空间增大到近3倍,且访问速度大幅提高。

探测声纳作为无人平台系统的一部分,需要提供多种丰富接口实现与平台控制的通信。C6678芯片内也集成了SRapidIO、PCI-E和GEnet等多种接口外设,可以快速高效的实现运算结果数据的直接传递。

TI公司还为6678配置了MathLib、DSPLib和IPC等运算和通信库,其中包含了针对性的高效代码,极大加快了系统开发的速度以及处理器的使用

效率。

综合以上特点,以及数据处理的功耗等要求,可见6678在无人平台数据处理系统中具有很高的应用价值。

2.2 整体架构

作为芯片应用的前提和指导,了解6678的整体架构是首要事务之一。TMS320C6678主要构件为8个C66x运算核心,如图1所示。

C66x DSP是TI出品的C6000系列处理器中最新产品,每个时钟周期可执行32次16-bit乘运算或8次单精度浮点乘运算。提供128-bit长度的单指令多数据(SIMD)操作,也就是说可以进行包含4个32-bit数据向量的同时乘运算,或包含8个16-bit数据向量的同时乘运算等^[4]。这一DSP的应用很大程度的提高了运算的速度和精度。

存储结构上,6678提供了一个内部共享存储器以及一个外部DDR存储控制器。由于存储结构特点较为鲜明且对应用实现至关重要,在2.3节中单独进行分析。为管理存储内容并方便数据在不同存储位置之间的交互,可以采用EDMA器件作为内部数据传输的重要手段。这一高速数据通路使得数据的管理也更为简便。

在核心对外通信方面,6678提供了多种接口以供选择,包括常用的SPI、UART、PCIe、SRIO(Serial RapidIO)、千兆以太网接口等,如图2所示。其中4通道SRIO是一个非独占、高带宽、系统级的接口,提供高达20 Gbps数据率^[5],可以满足绝大多数声纳信号处理中的数据传输需求。

另外,功率控制、可编程锁相环、多核协调控制器等等部分都有其不可替代的重要作用。

2.3 存储结构

TMS320C6678一个突出的优势是存储空间大,并提供cache配置功能。这种高性能的配置为声纳信号大数据量的信号处理提供了便利,并可以通过定制内存空间分配达到数据存取和运算的最佳平衡。

6678内部存储结构可以划分为四层:第一层(L1)为高速存储,又分为程序专用存储(L1P)以及数据专用存储(L1D);第二层(L2)相对第一层速度较低但空间较大,达到512 kB;第三层(L3)为多核的共享内存(MSMC);第四层(L4)为外部DDR存储,6678仅提供相应的接口。每个核都可以单独访问任何一层存储。

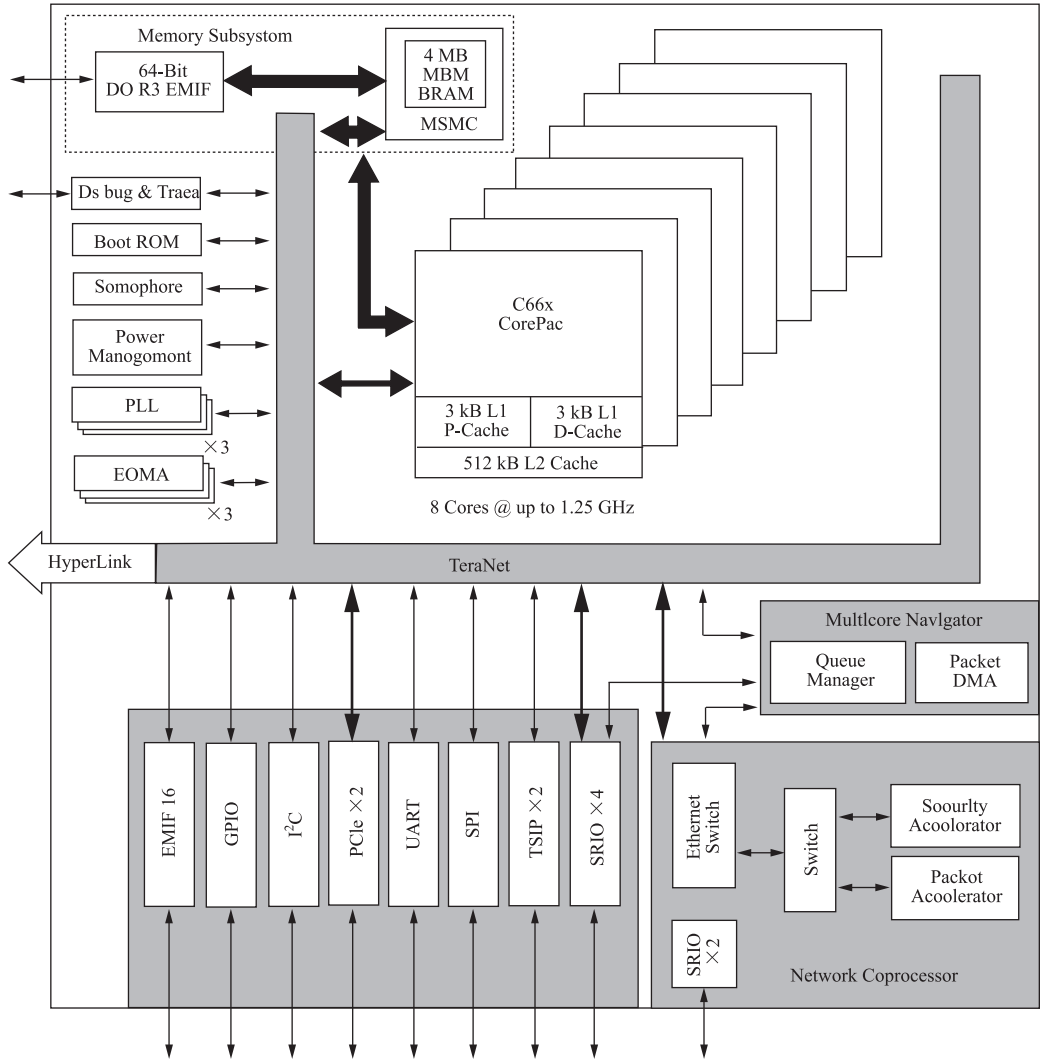


图 1 TMS320C6678 整体架构示意图
Fig. 1 Overall architecture of TMS320C6678

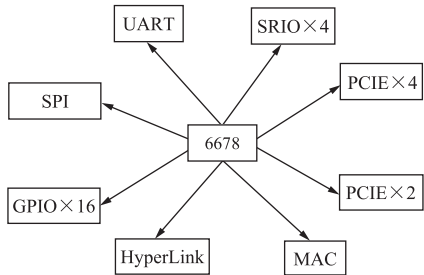


图 2 外设接口示意图
Fig. 2 Structure of peripheral interface connections

从逻辑上,存储也可以划分为四层^[6]:第一层为 L1 cache,保障 CPU 数据处理的高效;第二层为 L2 cache,协助 L1 cache 调度数据;第三层为

SRAM,用于存储数据,调用其中数据时将写入 cache;第四层为外部存储。

两种层级划分方式之间的联系为:L1P 和 L1D 分别可以设置为 L1 cache 或 SRAM,L2 存储可设置为 L2 cache 或 SRAM,MSMC 全部只能为 SRAM,DDR 为外部存储。本文从逻辑分层的角度介绍和分析存储。

在 8 个 DSP 核心各自的内部存储器之外,6678 提供了一个 4 MB 大小的共享 SRAM,称为 MSMC,以与处理核相同的频率运行。为了应对超大数据量的应用,6678 还提供了一个 64 bit 宽度 DDR3 存储控制器,作为外接 DDR3 存储器的接口,可工作于 800 MTS、1033 MTS、1333 MTS、1600 MTS 四种频率^[7]。

2.4 DSP 程序设计

TI 公司为其处理器出品了 Code composer studio (CCS) 软件, 提供了建立和修改工程、编辑 C 语言源程序、工程编译、配置参数、连接和调试等多种 DSP 调试工作所需的基本功能。配套 6678 芯片, TI 还提供了多个相应的库, 节约开发时间并提高程序运行效率, 一同打包在 Multicore software development kit (MCSDK) 中。其中 DSPLib 包含了大部分向量形式的基本运算操作, Platform Development Kit (PDK) 则包含了大部分与处理核心以及开发板平台相应的底层操作打包。

程序设计库中还包含了 SYS/BIOS, 这是一个轻量级、可在 CCS 中直接裁剪的实时本地操作系统。其中包括存储管理、软中断、硬中断、任务管理等多种功能, 并提供多个外设的初始化操作, 以及网络的设置和应用等。这一实时操作系统很大程度上减轻了程序在时序以及任务分配上的负担, 并增强了程序的可用性, 方便开发。

3 算法实现

3.1 算法简介

波束形成是声纳信号处理中的常用技术。在水下无人平台接收阵孔径有限, 信噪比不高的应用条件下, MVDR、MUSIC 等高分辨方法往往难以得到理想的结果。因此, 在 6678 上实现高效的波束形成方法具有尤其重要的意义。

如图 3 所示, 探测目标发出声信号时, 相对每个传感器的距离不同, 导致信号到达各阵元的时刻也不同。不同阵元接收到信号的时间差由目标相对基阵的方向、阵元间距以及声速决定。对接收到的声信号进行相位取齐的时延补偿之后求和, 就可以获得一个信噪比较高的信号, 从而判断目标相对基阵方向。

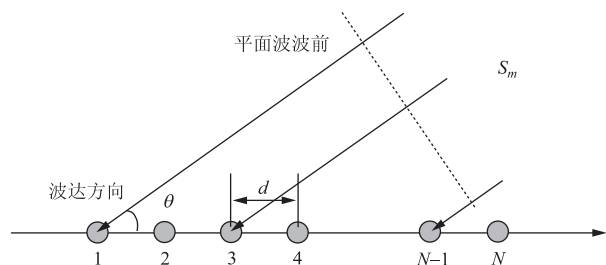


图3 等间距阵列接收信号示意图

Fig. 3 Uniform linear array for signal receiving

时域波束形成输出公式可以表示为

$$B(t, \theta) = \sum_{i=1}^N s(t - \tau_i(\theta)), \quad (1)$$

其中 θ 为指向方向, 相应的结果 B 值将突出这一方向信号, 抑制其他方向信号。 i 为通道 (也即水听器阵元) 编号, 并设共有 N 个通道。 $\tau_i(\theta)$ 为第 i 个阵元在 θ 指向方向相对第 1 个阵元的时延, 对于等间距线形阵有^[8]

$$\tau_i(\theta) = (i - 1) \frac{d}{c} \cos \theta, \quad (2)$$

其中 d 为阵元间距, c 为水下声速。

时域波束形成算法直观描述如图 4 所示, 通过对每个通道添加相应的时延补偿因子, 可以将信号相位对齐相加, 从而得到较高的信噪比, 使得信号易于辨认和分析^[9-10]。

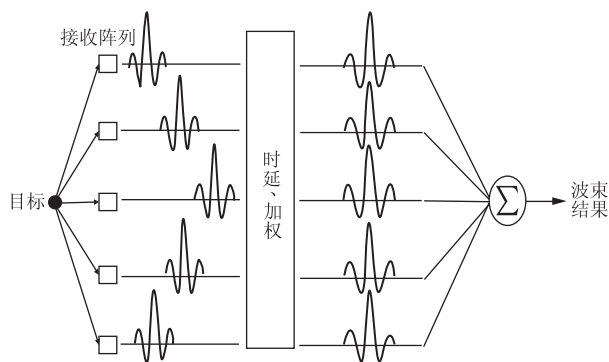


图4 波束形成算法结构示意图

Fig. 4 System structure of beamforming

时域波束形成算法需要对各通道进行不同时延补偿, 对齐各通道信号并累加, 保证运算使用的信号是目标在同一时刻发出的, 从而带来了大量寻址和加法运算。基于 FFT 的频域波束形成算法并不使用时延后信号求和的方法, 而是直接对阵列水听器相同时间段内接收到的信号进行 FFT 处理, 用信号相位变化代替时延。这一方法所采用的数据实际为目标不同时刻产生的回波, 从而带来了系统误差。但是现有探测声纳处理系统大都因为运算量不足, 选择了基于 FFT 的频域波束形成算法。

接收到的信号经 DFT 变换到频域, 并截取感兴趣的频段后可以表示为

$$\begin{bmatrix} X(f_{\min}) & \cdots & X(f_{\max}) \\ X(f_{\min})e^{-j2\pi f_{\min}\tau} & \cdots & X(f_{\max})e^{-j2\pi f_{\max}\tau} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X(f_{\min})e^{-j2\pi f_{\min}(N-1)\tau} & \cdots & X(f_{\max})e^{-j2\pi f_{\max}(N-1)\tau} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其中 $f_{\min}$ 为下截止频率, $f_{\max}$ 为上截止频率, N 为阵元数, τ 为两相邻等间距阵元之间的时延差。

实际应用中阵元数目往往并不多, 为了增强角度分辨率, 对矩阵 (3) 列补零, 再空域 DFT 变换后得到:

$$\begin{bmatrix} Y(f_{\min}, 1) & \cdots & Y(f_{\max}, 1) \\ Y(f_{\min}, 2) & \cdots & Y(f_{\max}, 2) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y(f_{\min}, M) & \cdots & Y(f_{\max}, M) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中 M 为角度分辨单元数, 往往为运算方便取为 2 的整数次幂。 $Y(f_i, k)$ 表达式如下:

$$Y(f_i, k) = \sum_{m=0}^{M-1} X(f_i) e^{-j2\pi f_i m \frac{d \cos \theta}{c}} \cdot e^{-j2\pi k m}, \quad (5)$$

其中 $k=1, \dots, M$, 为频域频点序号。

而频率分量 f_i 的波束形成结果可以表示为

$$L(f_i, \theta') = \sum_{m=0}^{M-1} X(f_i) e^{-j2\pi f_i m \frac{d \cos \theta'}{c}} \cdot e^{j2\pi f_i m \frac{d \cos \theta'}{c}}. \quad (6)$$

对比 (5)、(6) 两式, 当空域变换频域标示 k 和波束形成参数存在以下对应关系时:

$$k = M f_i \frac{d \cos \theta'}{c}, \quad (7)$$

则 $Y(f_i, k)$ 与波束形成结果 $L(f_i, \theta')$ 有相同取值。

因此, 矩阵 (4) 中的各个元素可以看做波束形成结果在不同频点的离散不均匀抽样。借助这一抽样结果, 使用插值方法可以得到波束形成运算的估计结果。通过 M 值的选取, 改变抽样密度, 可以满足不同的角度分辨率要求。由于 DFT 有快速算法 FFT, 这一频域波束形成算法可以实现波束形成的快速运算。

使用两种波束形成算法将模拟生成的 chirp 扫频信号还原, 背景噪声为高斯白噪声, 信噪比为 10 dB, 接收信号为 30 通道, 2048 采样点数据。截取其中一段还原结果如图 5 所示。

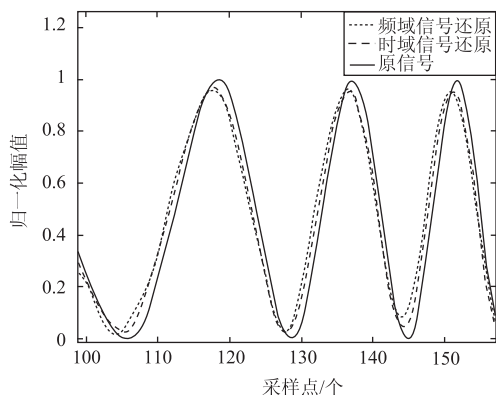


图 5 两种方法还原 chirp 扫频信号

Fig. 5 Results for chirp signal processed by two different algorithms

从仿真结果来看, 时域波束形成方法的结果误差明显较小。使用 chirp 信号作为源信号, 即使在理想情况下, 各个传感器在同一时间接收到的信号, 其所处频率并不一致。频率误差导致频域波束形成算法理论不再完全适用, 具有了系统误差, 只能作为一个粗略近似使用。因此, 采用频域波束形成算法造成信号还原产生扭曲, 对探测产生了较为严重的负面影响。在信噪比较高的情况下也可以看出波峰位置的估计有较为明显误差, 同时还还原的曲线整体有所偏离。在实际中, 由于水信道是时变信道, 并具有强烈的多普勒展宽效应, 产生的这一误差将更为明显, 更加严重的影响探测结果。而在非等间距线阵的情况下, 频域波束形成的速度优势也会大大减弱。

时域波束形成算法无法使用 FFT 加快运算速度, 运算耗时长, 难以进行实时信号处理。多核 DSP 提供的强大运算能力成功解决了这一问题。同时, 为了得到较高的信噪比, 得到较为精确的探测结果, 往往需要使用多阵元大孔径的探测基阵, 也就必须建立一个大数据池, 将一段时间内接收到的数据全部存放在数据池内, 以便运算操作。6678 提供了大量片内 SRAM 空间, 并可以手动设置 cache, 进一步加快了数据访问的速率。因此, 时域波束形成实现的主要难题使用 6687 都可以顺利解决, 在相同条件下, 相较使用频域波束形成算法收获更好探测效果。

3.2 计算量分配

阵列信号的时域波束形成算法天然的符合多核运算的基本算法结构, 可以方便的在多核结构中

实现。在波束维度对时域波束形成算法进行分割,自然分配到多个DSP核,使得每个DSP核负载均衡,充分发挥了运算核心强大的运算能力。因此,使用单个6678即可满足一般应用中的需求。而多个6678之间可以使用HyperLink进行超高速的数据传输,使用多个6678时,仅仅使用HyperLink互联也可以做到很好负载均衡效果。

一般而言,多核运算有主从结构和顺序结构两种。本系统采用了与算法结构本身相似的主从处理结构,其直观描述如图6所示。

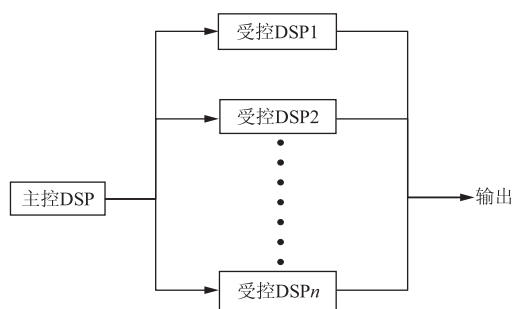


图6 主从信号处理结构

Fig. 6 Structure of master-slave signal processing

本文利用0号核心作为主控,接收信号,同时协调所有核心的运行。具体包括检测信号到达情况以及其他每个核心运算的状态;确定PingPong传输中信号接收位置;并协调各个核心,在信号完整正确接收,且运算能力空闲的情况下开始运算。作为主控核心,其运算任务较小。采用这种多核运算结构一方面保证了运算核心的负载平衡和运算量充分运用,另一方面专用的主控核心也保证了控制流程的可靠性,为整体系统的平稳长时间运行提供了必要保障。

受控核心分别处理不同波束范围的波束形成。每个波束虽然使用的数据略有不同,但是运算量几乎完全相等,从而使得运算分配可以非常均衡,每个核心运算负荷几乎没有差别,运算能力没有被浪费。TI还提供了硬件访问防冲突机制,数据整理在数据池中后,每个核心分别读取数据,而无需相互询问,实现了数据访问的零延迟。

4 性能测试

为证明6678芯片性能可以满足无人平台探测

运算需求,对6678的运算和存储性能进行测试。测试统一使用CCS5.0.3编译环境,TMDX-EVM6678LE开发板,工作频率为1.25 GHz。性能数据通过芯片内部提供的时钟计算得到。

4.1 运算测试

CPU运算的能力是影响系统性能的主要因素。影响CPU运算能力的因素有多种,包括运算核心频率、寄存器长度以及资源对程序的可用性等等。为客观反映该多核DSP在实际应用中的运算能力,本文选取各种应用中都经常使用的FFT和浮点操作,使用不同长度数据实施运算,并根据CPU提供的系统时钟得到运算耗时。根据运算量和运算耗时,将结果换算为运算速度,得到CPU运算能力,结果如图7所示。TI公司提供的FFT运算程序直接使用芯片运算代码使CPU运算效率很高。当运算长度相对较长时,充分利用了CPU的寄存器资源,基本可以做到稳定在8 G/s以上的运算速率。而在使用普通C语言程序的情况下,一般的浮点运算速率也可以达到2~3 G/s,远远超过了绝大部分DSP芯片所能提供的计算能力。

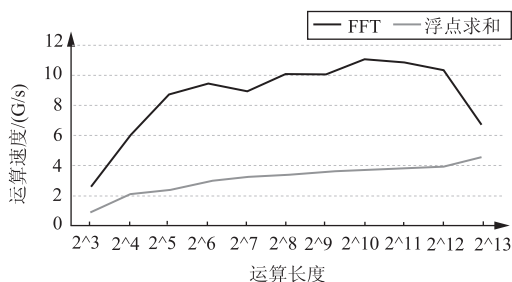


图7 运算速度比较

Fig. 7 Operating speed comparison

使用一个核心作为控制,六个核心进行180波束、32路传感器的时域波束形成。当单包长度为1024采样点数据时,用时约为10 ms。据测试结果计算得到,这一结构在时域波束形成算法运算负荷下,最高可以对采样率约100 kHz的信号进行实时处理。

4.2 存储性能

在成本和芯片面积的限制下,为了获得更高的性能,6678采取了多种不同存储器共同构成的分级存储系统。实际应用中多级存储的设置以及使用是芯片高效工作的一个必要因素。因此,对各个级别存储进行测试,进而熟悉其性能成为一个重要的

课题^[11]。在此,使用 memcopy 命令作为测试语句,将数据分别放置在不同位置进行读写测试,得到测试结果柱状图,如图 8 所示。

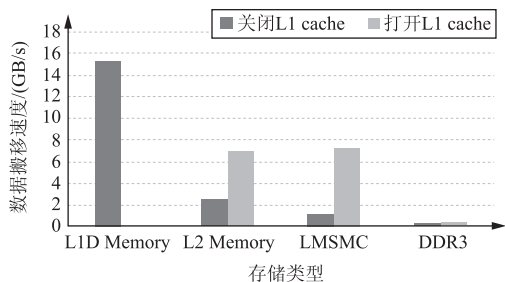


图 8 存储性能柱状图

Fig. 8 Test result of memory characteristics

从图 8 中可以看到, L1D Memory 速度明显快于其他存储。但是其容量只有 32 kB, 对于涉及数据量小的或者小部分数据反复大量使用的的应用而言, 将数据存放在 L1D 将是最佳选择。但是在大多数应用条件下, 这一存储空间大小都不能满足需求。

将 L1D 设置为 cache, 可以将 L2 以及 MSMC 数据存取速率提高一倍以上, 这是因为各个核心在写入操作时系统只写入了作为 cache 的 L1D, 如果接下来的运算继续调用其中的数据, 只需从 L1D 中直接调用, 从而加快整体存取速度。因此, 对于数据量较大的应用, 数据放置在 L2 存储和 MSMC 中, L1D 设置为 cache 较为合适。6678 中各个核心 L2 存储以及 MSMC 总共 8 MB 的存储容量也可以满足一般存储的需求。相比而言, DDR3 的存取速度非常低, 只有数据量非常大的应用中才考虑使用, 主要放置不经常参与运算的数据。由于其速度缓慢, 一般使用 EDMA 将其中数据搬移到 2 存储或 MSMC 后再进行操作。

4.3 算法测试

原信号处理机以两片 21469 芯片为核心进行波束形成运算, 其运算能力约为 0.286 G/s, 内部存储空间约为 2.5 Mbit。如果用于时域波束形成的处理, 经过实际测试, 最高实时处理采样率约为 1 kHz 左右, 难以达到系统要求。另一方面, 在 32 通道、1024 采样点数据的处理中需要 2 Mbit 空间, 已经超过内部存储空间的限制, 无法容纳时域算法所需的大数据池。因此, 原系统采用了简化的频域波束形成算法。

考虑到系统升级的需要, 以及探测要求的进一

步提高, 原有系统和算法已经无法满足最新的需求。

单片 6678 的运算能力达到原有双 21496 系统的二十倍以上, 同时内部存储空间扩大了 8 倍, 达到 8 MByte。以 2048 数据点包长、100 通道时域波束形成为例, 每个数据点为一个浮点复数, 占用 2 个浮点型空间, 则数据所需空间约为 800 kByte。考虑到运算过程的中间变量, 以及网络传输过程所需的 PingPong 空间, 总体占用内部存储空间为 2 MByte 左右。这一数据量远远超出了原有系统内部存储空间容量, 将导致大量数据搬移操作占用系统处理时间, 而使用单片 6678 为核心的处理系统则完全可以满足片内存储要求。

经过开发板实际测试, 对如上所述的一包数据进行时域波束形成操作, 用时约为 5 ms, 可实时处理最高采样率为 400 kHz 的信号, 满足系统设计的要求。

使用 2011 年某次湖试中合作声源信号, 声源位于接收端约 51° 位置, 距离接收水听器约 5 km, 信号强度 130 dB。开发板数据处理结果导出后绘图得到图 9, 目标明显。

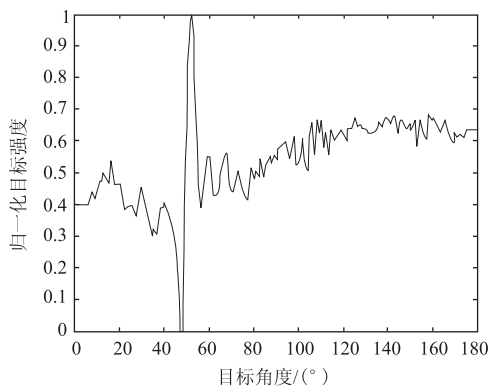


图 9 湖试数据处理结果

Fig. 9 Result of lake trail data processing

5 系统设计

5.1 整体设计

水下无人平台中, 探测系统使用电池作为电源, 且单独工作在水下, 无法进行人工判断和干预。需要考虑其易用性、稳定性, 并兼顾功耗要求。

考虑以上因素, 本文在实现时域波束形成算法

并进行初步优化的基础上,本文从水下无人平台的系统功能需求和建立易用的嵌入式系统出发,设计了基于 6678 的水声信号采集、处理和存储系统。系统采用一片 6678 为处理核心,运行 SYS/BIOS 作为操作系统。使用阵列换能器采集声信号,采用多路信号采集板卡进行模数转换和滤波。系统结构框图如图 10 所示。

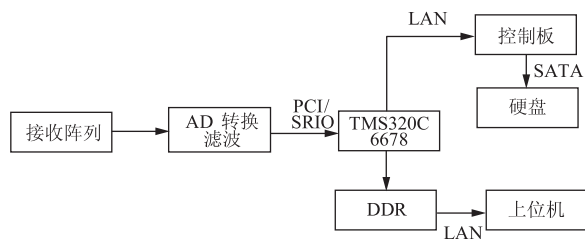


图 10 系统结构框图

Fig. 10 Structure of signal processing system

5.2 接口设计

阵列换能器在能量转换后得到的模拟信号通过航空接插件引入数据处理系统。由信号采集卡采集模拟信号,并直接在板卡上进行模数转换。

采集板发出信号可以通过 PCI 和 SRIO 两种接口接入信号处理板。其中 PCI 传输速度 4 Gbps, SRIO 的传输速率更是达到了 20 Gbps。而水声信号频率一般在几百赫兹到几百兆赫兹之间,完全可以满足奈奎斯特频率采样信号的传输。鉴于二者的高速性能和通用性,可在多种不同平台上实现应用并满足性能要求。

经过处理后的结果数据通过千兆网接口,可以传输到主控板卡进行分析判断,也可以直接传输给上位机以供检查和调试。最终,原始数据和处理结果一并在主控板卡通过 SATA 接口存入硬盘,以便后续的进一步分析处理。

针对 6678 的千兆以太网接口和 SRIO 接口, TI 全部给出了相应解决方案。由 CSL 库提供支持,底层操作以接近 C 语言、便于理解的方式编写,可以避免很多由编写程序中失误造成的错误。采用操作系统管理所有中断,每个 IO 接口以任务形式占用 DSP 处理时隙,平衡调度各个接口的输入输出,也免去了多个接口之间的复杂交互。

这一接口设计经过连续运行测试,运行稳定。

5.3 开发环境设计

嵌入式操作系统开发环境的易用与否往往很大程度上影响开发的效率。因此,本文采用 TI 与研华合作提供的 EVM 测试板卡,以及 EVM 连接板卡 Dual BOC,设计了一套完整的开发环境。

如图 11 所示,两块 EVM 板卡分别通过各自的 USB 接口连接调试上位机。上位机安装 CCS 软件,可以分别进行程序调试,并行开发。同时,两块 EVM 又通过连接板卡 Dual BOC 将主要接口连通,包括 SRIO、PCIe 等等。开发过程中可以随时互联,测试程序正确性。这样的设计极大方便了接口程序的调试,加快了开发的整体速度。

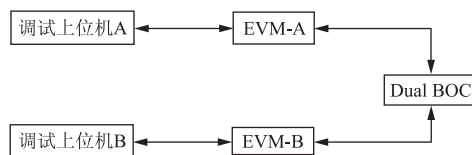


图 11 调试系统结构框图

Fig. 11 Structure of debug system

6 结论

本文介绍了多核 DSP 芯片 TMS320C6678,并从运算、存储等多个方面对其进行了测试。在此基础上,基于 6678 设计了一套用于无人平台声纳的探测系统,以及一套完整实用的测试开发系统。在该系统中实现了高效的时域波束形成算法,证明了多核 DSP 具有强大的运算能力,在水声领域具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 李启虎. 进入 21 世纪的声纳技术[J]. 应用声学, 2002, 21(1):13-18.
LI Qihu. Sonar technology of 21st century [J]. J. Appl. Acoust., 2002, 21(1):13-18.
- [2] 侯自强. 微处理机和数字技术在声信号处理中的应用[C]. 第二届应用声学学术会议论文集, 1984:123-131.
- [3] 杜芸强, 毕淑娥. 主动声纳接收信号数据采集和处理系统设计[J]. 电声技术, 2010, 34(9): 57-60.
DU Yunqiang, BI Shue. Design of an active sonar signal gathering and processing system [J]. Audio Engineering, 2010, 34(9): 57-60.
- [4] Texas Instruments Inc. TMS320C66x DSP CPU and Instruction

- Set Reference Guide [EB/OL]. 2010 [2013-10-01]. <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/lit/getliterature.tsp?baseLiteratureNumber=sprugh7&fileType=pdf>.
- [5] Texas Instruments Inc. KeyStone Architecture Serial Rapid IO (SRIO) User Guide [EB/OL]. 2012 [2013-10-01]. <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/lit/getliterature.tsp?baseLiteratureNumber=sprugw1&fileType=pdf>.
- [6] Texas Instruments Inc. TMS320C66x DSP Cache User Guide [EB/OL]. 2010 [2013-10-01]. <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/lit/getliterature.tsp?baseLiteratureNumber=sprugy8&fileType=pdf>.
- [7] Texas Instruments Inc. TMS320C6678 Multicore Fixed and Floating-Point Digital Signal Processor Data Manual [EB/OL]. 2012 [2013-10-01]. <http://www.ti.com.cn/general/cn/docs/lit/getliterature.tsp?genericPartNumber=tms320c6678&fileType=pdf>.
- [8] 李启虎. 数字式声纳设计原理[M]. 安徽: 安徽教育出版社, 2002.
- [9] BAHTAT M, BELKOUCH S, ELLEAUME P, et al. Efficient implementation scheme of a real-time radar beamformer on a VLIW DSP processor, TMS320C66x TI DSP Implementation [C]. Complex Systems (ICCS), 2012 International Conference on, 2012: 1-6.
- [10] JIEMING MA, KARADAYI K, ALI M, et al. Software-based ultrasound phase rotation beamforming on multi-core DSP [C]. Ultrasonics Symposium (IUS), 2011: 503-506.
- [11] WANG D, ALI M. Synthetic aperture radar on low power multi-core digital signal processor [C]. High Performance Extreme Computing (HPEC), 2012: 1-6.

· 声学新闻和动态 ·

2014 年度全国检测声学会议在北京成功召开

2014 年度全国检测声学会议于 10 月 23—25 日在北京雁栖湖湖畔的中国科学院大学(国科大)国际会议中心成功召开。本次会议由 中国声学学会检测声学会分会主办,中国科学院声学研究所超声物理与探测实验室承办。来自全国高等院校、研究院所和企业等 35 家单位的 130 余人参加了此次会议。会议围绕“检测超声与无损检测”、“固体声学 with 深部钻测”、“光声光热效应与检测”等前沿热点和技术难点进行了学术报告与交流。

中国声学学会副理事长宗健研究员,检测声学会主任王秀明研究员,分会副主任刘晓峻教授、唐晓明教授以及毛捷研究员出席了会议。中国声学学会功率超声分会主任林书玉教授,物理声学会主任刘晓宙教授、副主任张碧星研究员,全国无损检测协会副理事长卢超教授,原中国声学学会副理事长钱梦驊教授和原检测声学会主任李明轩研究员,原全国无损检测协会理事长郭成彬研究员和原中国声学学会医学超声分会主任张海澜研究员等应邀参加了会议。

24 日上午,会议举行了开幕式与大会特邀报告。开幕式由毛捷研究员主持,王秀明研究员致开幕词,宗健副理事长代表学会进行了讲话。随后,唐晓明教授和刘晓峻教授分别主持了大会特邀报告,美国 Blatek 公司副总裁耿学仓研究员、中国科学院声学研究所王秀明研究员、哈尔滨工业大学力学系胡恒山教授、同济大学钱梦驊教授、北京工业大学何存富教授以及南京大学程营副教授分别就“1-3 型压电复合

材料声学换能器及其应用”、“随钻声波的理论与方法研究”、“动电测井的原理及波场分析”、“光纤光栅超声传感器”、“基于超声显微镜系统的镀层材料频散曲线测量及弹性常数反演方法研究”和“声学超透镜及亚波长成像”作了报告。

24 日下午至 25 日上午,会议进入专题报告阶段。参加专题报告的 54 位专家学者分别在“检测超声与光声”和“固体声学 with 深部钻测”两个专题进行了学术报告。报告内容涵盖了检测换能器设计与研制、声波传播与散射理论及实验、超声检测与声波测井方法、技术及关键器部件研制等方面。

经会议学术委员会讨论,在 45 岁以下的青年学者的专题报告中评选出 8 篇优秀论文,唐晓明教授在闭幕式上宣布了优秀论文名单,并颁发了证书,这些论文将推荐到《应用声学》杂志上发表。最后,王秀明研究员致闭幕词,他对本次会议进行了总结,指出这次会议开得很成功,学术气氛很浓、自由讨论热烈。同时也指出部分专题报告中的研究工作跟踪有余、创新不足的缺点,他希望大家应以国际前沿和国家战略需求为研究导向,开阔眼界、触类旁通、增强创新、特别是要取长补短,加强会后的合作与交流,为推动我国的检测声学事业发展继续努力。

(中国科学院声学研究所 安志武)