

多片 C40 并行处理实时相关器

刘益成 罗维炳

(江汉石油学院) (物探局仪器厂)

摘要 本文介绍了一种用于多道地震数据采集系统的实时相关器,它根据地震数据的特点和对实时相关处理的要求,采用目前最先进的数字信号处理器 TMS320C40,构成了一个多片 C40 并行数据处理系统,文章介绍了实时相关器的并行结构以及 C40 相关运算的软件流程,最后给出了测试结果。

关键词: 实时相关器 数字信号处理器 并行处理 地震仪

一、引言

实时相关器是可控震源地震勘探中十分重要的现场数据处理设备,它作为地震勘探数据采集系统的一部分,其主要作用是在数据采集现场将各个地震道采集的地震信号与震源产生的扫描信号进行实时相关处理,从而获得有用的地震勘探资料。实时相关器的两个最重要的指标是数据吞吐率,即单位时间内处理数据的能力,与数据处理的精度。地震数据采集的特点是道数多,每道记录时间长,因而数据量特别巨大。这里所谓的实时,确切地说,是指相关处理的速率必须与数据采集的速率相匹配,例如对于一个 480 个地震道的数据采集系统,若采样率为 2ms,每秒采集的数据量为 240000 个,则相应地要求相关器的数据吞吐率不小于 240kHz,若每个数据为 4 个字节,相当于 960K 字节/秒。随着高分辨地震勘探的发展,对数据的精度要求也越来越高,地震数据采集的动态范围一般在 120dB 以上,为了保证在处理中不损失数据的精度,这就要求相关处理系统具有远大于 120dB 的动态范围和足够的字长。这种高吞吐率和高处理精度的要求,加上野外勘探的恶劣条件,使得实时相关器的制造十分困难,以往大都采用阵列机或专用硬件来实现,体积大、成本高、工艺复杂。近年来出现的数字信号处理芯片为实时相关器的研制开辟了一条新的途径。本文介绍了一种采用目前最先进的 DSP 芯片 TMS320C40 构成的多片并行处理实时相关器。C40 是目前运算最快的 32 位浮点处理器之一^[1],处理数据的速度高达 275MOPS,其单精度浮点数的范围为 $\pm 3.4028234 \times 10^{38}$,运算精度可以满足地震数据处理的要求。下面说明该系统的结构与工作过程。

二、多 C40 并行实时相关器结构

设震源扫描信号 $y(n)$ 长度为 M ,各道相关后输出记录的长度为 L (这两个长度由地震勘探条件决定),地震记录 $x_i(n)$ 的长度为 N_i ,这里 $i=1, \dots, P$ 为地震信号,在地震采集过程中,通常取 $M+L=N_i$,按定义,定时相关器所要完成的运算为:

$$r_i(n) = \sum_{m=0}^{M-1} x_i(m+n)y(m) \quad n=0, 1, \dots, L-1, \quad i=1, \dots, P \quad (1)$$

在 2ms 采样率时, M, L, N_i 的典型数据分别为 $M=12K, L=3K, N_i=15K$ 点。因为地震采

集道数很多,直接进行(1)式的运算量十分巨大,很难进行实时处理。因而目前大都采用频域相关算法。频域相关中一种十分有效的算法为采用快速 Hartley 变换(FHT)的分段相关方法^[2]。该方法特别适合采用 DSP 芯片的实现。按照[2]中所述方法,计算步骤如下:先将 $x(n)$ 和 $y(n)$ 进行分段,针对 $y(n)$ 长为 12K, $r(n)$ 长为 3K 的具体情况,进行优选后取 FHT 的长度 $N=8192$, 段长 $S=N-L=5192$, 按下式将 $x^i(n)$ 和 $y(n)$ 分为三段。

$$\begin{aligned} x_j^i(n) &= x^i(n+jS) & 0 \leq n \leq N-1 & \quad i=1, \dots, P \\ y_j(n) &= \begin{cases} y(n+jS) & 0 \leq n \leq S-1 \\ 0 & S \leq n \leq N-1 \end{cases} & j=0, 1, 2 \end{aligned} \quad (2)$$

若记每段 $x_j^i(n)$, $y_j(n)$ 的相关为 $r_j^i(n)$, 设 $HX_j^i(k)$, $HY_j(k)$, $HR_j^i(k)$ 分别代表 $x_j^i(n)$, $y_j(n)$, $r_j^i(n)$ 的离散 Hartley 变换,那么在 $0 \leq n \leq L-1$ 范围内有:

$$\begin{aligned} r^i(n) &= \frac{1}{N} \text{FHT} \left[\sum_{j=0}^2 HR_j^i(k) \right] = \frac{1}{N} \text{FHT} \left[\sum_{j=0}^2 HX_j^i(k) \prod_h HY_j(k) \right] \\ i &= 1, \dots, P \quad n = 0, 1, \dots, L-1 \end{aligned} \quad (3)$$

这里 \prod_h 代表下面的运算

$$HR_j^i(k) = A_j(k)HX_j^i(k) - B_j(k)HX_j^i(N-k) \quad k=0, \dots, N/2 \quad (4a)$$

$$HR_j^i(N-k) = A_j(k)HX_j^i(N-k) + B_j(k)HX_j^i(k) \quad (4b)$$

其中

$$A_j(k) = \frac{1}{N} [HY_j(k) + HY_j(N-k)], \quad B_j(k) = \frac{1}{N} [HY_j(k) - HY_j(N-k)]$$

(3) 式为实时相关器的硬件结构奠定了基础。从(3)式可知,计算每一道相关需 7 个长为 N 点的 FHT, 其中三个用来计算扫描段的 $HY_j(k)$, 三个用来计算道数据的 $HX_j^i(k)$, 一个用来求逆 FHT。在实际现场处理中,扫描信号是预先知道的,并且对所有道,扫描信号 $y(n)$ 是公用的,因此可预先算出后存放在存储器中[相应的(4)式中的 A_j 和 B_j 也可预先算出],这样实际每道运算量为 4 个长为 N 点的 FHT, 3 个 \prod_h 运算,以及用来计算 $HR_j^i(k)$ 的 $2(N-1)$ 点加法和对最后 L 点输出数据乘 $(1/N)$ 的 L 点乘法。

根据以下分析,为了提高实时相关器的数据吞吐率,满足 480 道以上数据的处理要求,采用 4 片 TMS320C40 构成了一个图 1 所示的并行结构实时相关器,由 4 片 C40 共同并行完成每道记录的相关运算。具体运算量分配如下:前 3 片每片完成一段数据的一个 N 点 FHT 和一个 \prod_h 运算,最后一片完成 3 段 FHT 的求和运算以及一个 N 点的逆 FHT 运算(即一个 N 点 FHT 运算以及对输出的 L 点乘 $1/N$ 的运算)。从(4)式可知,每个 \prod_h 运算的运算量为 $2(N-1)$ 点乘法和 $N-2$ 点加法。由于 C40 的乘法与加法同当作为一个浮点运算,这样每片 C40 承担的运算量几乎完全相同,因而可充分发挥各片 C40 的处理能力。

C40 是第一个面向并行处理的数字信号处理器,它不仅提供了高速的全局和局部总线,在片上还提供了 6 个并行通讯口,每个口都有自己的输入输出缓冲器,这 6 个通讯口可以直接进行处理器与处理器之间的连接,口与口之间的双向数据传输率为 20 兆字节/秒,并能自动进行判优与握手,以保证处理器之间数据的同步传送。此外片还提供有 6 个功能完全的 DMA 协处理器,能对 C40 任何位置存储器内的数据进行 DMA 传送。基于此,在图 1 中,将前 3 片 C40 的

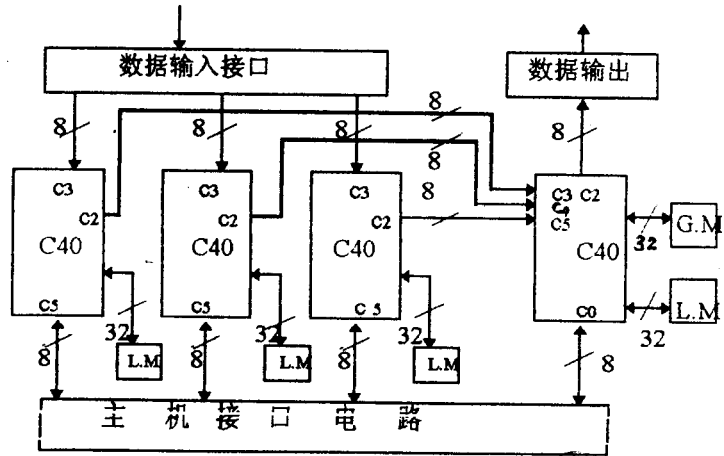


图 1 并行 C40 相关器结构

通讯口 3 与输入数据接口相接,分别取每道的各段数据。每片 C40 在局部总线上都挂接有各自的局部存储器(L.M),用于存放各扫描段的 $HY_j'(k)$ 和正余弦表,以及作为运算的工作区。为了提高运算速度,局部存储器采用零等待高速 SRAM。前 3 片 C40 的通讯口 5 及最后一片 C40 的通讯口 0 与主机总线接口相连,用于接收主机的命令,程序与数据的装入(包括段扫描 FHT 及正余弦表等)。相关运算程序装入在各 C40 的片上 RAM 中,前 3 片的通讯口 2 分别直接与第 4 片的通讯口 3,4,5 相接,将计算完成后的各段 $HR_j'(k)$ 送给最后一片 C40 作求和及逆 FHT 运算,口与口之间的数据传送通过片上的 DMA 完成,不干扰 C40 主机 CPU 的工作。在最后一 C40 全局总线上挂接有 64 兆字节的大容量存储器(G.M),用以存贮相关后的数据。由于 C40 的地址总线为 32 位,存储空间为 16 京兆字节,足以满足千道以上采集数据量的要求。该存储器的数据可通过最后一片 C40 上的通讯口 2,在片上 DMA 控制器控制下输出,供主机进行显示或实时监控,或者转存到主机的其它存贮设备,例如磁带机中。

三、实验结果

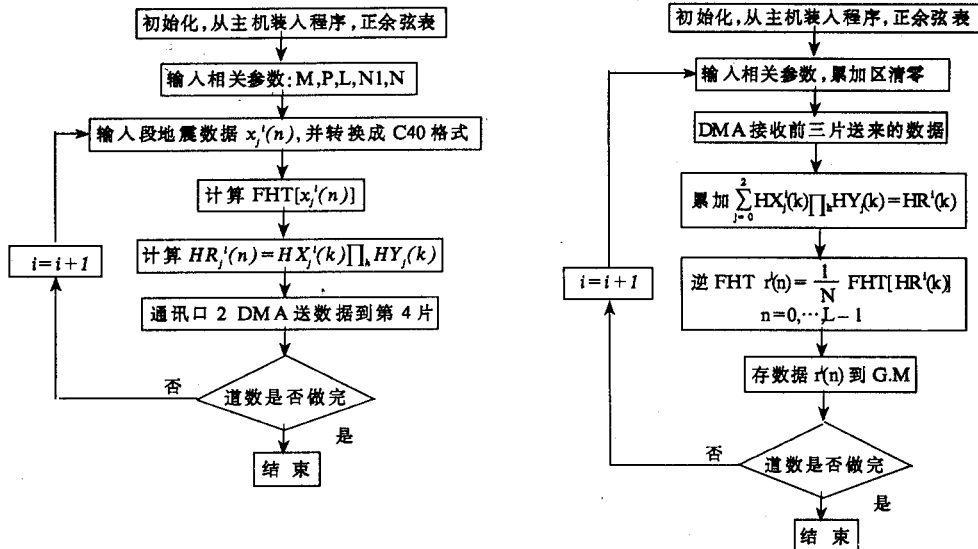
根据前述的系统结构,在系统硬件构成后,采用 C40 的汇编语言编制了相关运算的程序,程序流程见图 2。采用 C40 上的定时器,对相关系统的实际处理速率进行了测试,当 C40 芯片的主频为 40MHz 时,测试结果如下:

1. 单片 $N=8192$ 点 FHT 的运算时间:
 - 片外零等待存储器 0.0331842 秒
 - 片外一等待存储器 0.0404549 秒

2. 单道相关(扫描长度 24 秒, 记录长度 30 秒, 相关输出长度 6 秒, 采样率 2 ms)

运算时间为 0.0416837 秒

完成 480 道时间, 小于 21 秒, 远小于一次震动的记录时间 30 秒, 满足了 480 道采集系统对相关处理的数据吞吐率的要求, 实际数据吞吐率接近具有 720 道采集系统的处理能力, 取得了满意的效果。



(a) 前三片 C40 程序流程图

(b) 第四片 C40 程序流程图

图 2 程序流程图

参考文献

- [1] Texas Instruments, Tms320C4x user's Guide, 1992.
- [2] 刘益成, 罗维炳, Hartley 变换在实时相关器中的应用, 石油物探, Vol 33(2), pp107-111, 1994.6.

Multichip TMS320C40 Parallel Processing Real-time Correlators

Liu Yicheng

Lou Weibing

(Jiangnan Petroleum Institute) (Bureau of Geophysical Instrument Factory)

Abstract: This paper introduces a new kind of real-time correlators for multichannel seismic data processing systems. According to the character of seismic data and the requirements for real time correlation, a multichip TMS320C40 Digital Signal Processor parallel data processing system is built. The paper describes the system configuration of real-time correlators and the flowgraph of correlating software with C40. Finally it gives measurement results.

Key words: Real-time Correlators Digital Signal Processor Parallel Processing Seismic Instruments

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>