

CDF97 整数小波变换在 DM642 上的实现与优化

Implementation of Integer CDF97 Wavelet Transform On DM642

(中国科学院上海技术物理研究所) 张荣锋 俞建成 孙胜利
ZHANG Rong-feng YU Jian-cheng SUN Sheng-li

摘要: 本文基于 TI 的 TMS320DM642 芯片, 提出了一套 CDF97 小波的整数实现方案。使用 QDMA 实现了图像数据在存储空间中的高速搬移, 并对小波算法部分进行了线性汇编优化, 进而提高了实时性, 达到了应用所需的计算速率, 对于 256x256 的灰度图, 分解层数为两层时, 计算速率可达 100 帧/s。

关键词: 提升算法; CDF97; DM642; QDMA; 线性汇编优化

中图分类号: TP368.1

文献标识码: B

Abstract: The paper proposed a scheme of Integer CDF97 Wavelet and an alternative way to apply it in TMS320DM642. We used QDMA to realize high speed image data transport in the memory, and then applied linear assembly to optimize computation of wavelet transform. Experiments showed the way of CDF97 wavelet transform and its implementation in DM642 can be real-time used for image compression, and satisfied the speed needs of some applications.

Key words: Lifting Scheme; CDF97; DM642; QDMA; linear assembly optimization

技术创新

1 引言

小波变换理论是近几年兴起的崭新的时频域分析理论, 得到了学者们的广泛重视, 通过 DSP 等硬件实现离散小波变换 (DWT) 的快速算法, 更是当前人们研究的应用热点。小波理论在图像压缩等领域已有成功的应用, 并已经进入成熟期。

由于快速小波变换算法 (即 Mallat 算法) 在实际应用中, 存在以下弱点:

- 1) 需要与庞大的图像数据作卷积运算, 计算复杂;
- 2) 内存需求量较大;
- 3) 对图像的尺寸有要求, 并不能对所有尺寸图像进行变换。

为了使小波在硬件实现上和算法结构上得到进一步提高, 小波理论在不断的变化发展。不断的有新的小波滤波器问世, 算法也不断改进。快速提升算法由于其具备计算复杂度, 方便硬件实现等优势, 成为了计算离散小波的主流方法。在静态图像国际压缩标准 JPEG2000 中, 推荐使用其中的 CDF97 实现小波变换。在基于硬件的实现上, 近年来也提出了多种方法, 已有的方法有算术移位法, 整数近似法, LS97 小波等, 本文提出了在 TI 的定点 DSP 芯片 DM642 上, 使用 CDF97 小波算法来实现快速小波变换的方法。

2 快速提升小波的原理和构造

快速提升小波变换算法的基本思想是, 将 Mallat 算法中的每一级滤波运算分解为分裂 (split)、预测 (predict) 和更新 (update) 三个过程。

假定 1 维输入信号 $x = x_n, n \in Z$, 对其进行提升小波变换的主要步骤为:

边界处理: 采用对称延拓或周期延拓方法对信号进行边界处理或延拓, 减小边界误差;

分解: 将数据分为互不相交的两部分: 偶数序列 $x_e = x_{2n}$ 和奇数序列 $x_o = x_{2n+1}$ 两部分;

预测: 针对数据之间的相关性, 用偶数序列 x_e 与一个预测算子 P 预测 x_o , 得到的预测误差为变换的高频分量, 替代原来的奇数序列 x_o :

$$y(2n+1) = x(2n+1) - \alpha[x(2n) + x(2n+2)]$$

更新: 为了使 x_e 的整体性质 (如均值) 与原数据中的性质一致, 需要采用更新过程, 即由预测误差更新偶数序列, 得到变换的低频分量:

$$y(2n) = x(2n) + \beta[y(2n-1) + y(2n+1)]$$

在进行了提升变换之后, 偶数序列就是低频分量, 奇数序列就是高频分量, 对低频分量做同样的变换可得下一级变换。

这是一种不依赖于傅立叶变换的新的小波构造方法——提升方法 (Lifting Scheme), 由于其计算复杂度只是原有卷积方法的一半左右, 因而成为计算离散小波变换的主流方法。

提升方案的特点是:

- 1) 继承了第一代小波的多分辨率的特性;
- 2) 不依赖傅立叶变换;
- 3) 提升方案允许完全的原位计算, 即在小波变换中不需增加内存, 原始信号数据可以直接被小波系数代替;
- 4) 提升的反变换可以很容易由正变换得到, 即只需改变数据流的方向和正负号。

3 CDF97 小波算法的整数实现

在新一代静止图像压缩标准 JPEG2000 中, 有损压缩的小波滤波器采用 Cohen 和 Daubechies 等人设计的 9-7 小波 (CDF97)。这组小波的压缩性能良好, 是作图像压缩和视频压缩的首选小波滤波器。根据它的提升结构计算出一对小波系数需

张荣锋: 硕士研究生

基金项目: 火星探测概念研究, 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目资助 (B1-9)

要 14 个浮点运算(6 个乘法, 8 个加法)。

提升算法相应的整数变换为:

$$d(n) = x(2n+1) + \alpha[x(2n) + x(2n+2)],$$

$$s(n) = x(2n) + \beta[d(n+1) + d(n)],$$

$$d(n) = d(n) + \gamma[s(n+1) + s(n)],$$

$$s(n) = s(n) + \delta[d(n+1) + d(n)]$$

CDF97 小波的提升系数:

$$(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = (-1.5861343421, -0.0529801186, 0.8828110755, -0.4435068520)$$

考虑到在定点 DSP 上的实现, 需要在不降低运算性能的基础上, 尽可能的减少浮点数。

一种最直接的方法是用整数近似实现 CDF97 小波的系数, 但是由于其系数全是无理数, 因此, 近似过程中需要很大的基数, 会相应增加运算次数。

其中, 对 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 做有理数近似为:

$$\alpha \approx -\frac{203}{128}, \beta \approx -\frac{217}{4096}, \gamma \approx \frac{113}{128}, \delta \approx \frac{1817}{4096}$$

另一种方法是使用 LS97 小波, 通过对小波滤波器自由变元 α 的特殊选取, 如选取 $\alpha = -\frac{3}{2}$, 得到 LS97 小波滤波器的提升系数:

$$(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \zeta) = \left(-\frac{3}{2}, -\frac{1}{16}, \frac{4}{5}, \frac{15}{32}, \frac{4\sqrt{2}}{5}\right)$$

由此提升系数可以得知, LS97 滤波器满足双正交小波构造定理, 这就从理论上保证了得到的 LS97 滤波器是双正交小波滤波器。和 CDF 小波相比, 这组小波提升系数简单, 前 4 个为有理数, 而且其中 3 个是分母为 2 的幂的系数, 运算复杂度大为降低, 通过硬件实现比较容易。

由于 DSP 在数字信号处理上强大的运算能力, 在计算效率上两种方式相差并不太大, 然而, CDF97 小波在图像的压缩性能和计算性能上具备较好的性能, 能保留较多的图像细节, 并且作为 JPEG2000 的标准。虽然近似实现可能带来误差, 但当字长较长时(长于 16 位), 运算结果尾数进行截尾处理或舍入处理时, 由有理数近似产生的误差出现的位置位于结果处理的最后几位, 通常直接被舍入掉, 对数据的有效位数基本没有影响, 可以忽略。因此本文中选择不二进整数近似实现 CDF97 小波。

4 基于 DM642 的小波算法方案设计与优化

4.1 方案结构

DM642 是 TI 最新推出的针对多媒体处理领域应用的 DSP, 给多媒体设备的实现带了另一种有效的实现手段。DM642 建立在 C64x DSP 核基础上, 采用德州仪器公司开发的第二代高性能的先进的超长指令字结构 VelociTI.2™, 其每个乘法器在每个时钟周期内可执行 2 个 16 位 x16 位的乘法或四个 8 位 x8 位的乘法。另外 6 个算术逻辑单元, 在每个时钟周期内都可执行 2 个 16 位或 4 个 8 位的加减、比较、移位等运算。在 600MHz 的时钟频率下, DM642 每秒可以进行 24 亿次 16 位的乘累加或 48 亿次 8 位的乘累加。这样强大的运算能力, 使得 DM642 可以进行实时的多视频处理和图像处理。

DM642 是定点 DSP, 进行浮点运算的执行时间较长, 需要选择整数小波变换。DSP 有两个乘法器, 可以在单周期完成 16 位 x16 位的乘法运算, 但除法运算指令的执行时间要远远超过乘法和逻辑移位指令, 因此在设计的时候, 可以根据实际情况, 需要对除法进行调整, 尽量用逻辑移位运算来代替除法运算,

加快指令的运行时间。

4.2 数据传输

图 2 中是 CDF97 小波在 DM642 中的实现流程, 由于 DM642 的内存区域较小, 不能缓存整幅图像, 因此图像需要保存在片外速度相对较低的 SDRAM 中, 然后分别读入内存区域中进行单行或单列进行变换, 对于这样的一次性传输, DSP 具备一次性快速传输方式 QDMA, 通过 QDMA 行或列传输到内存区域中, 然后对单行进行提升方式的小波变换。

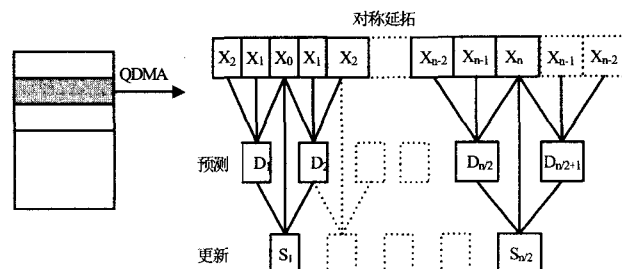


图 1 基于 DM642 的 CDF97 小波实现流程

QDMA 是 DSP 中搬移数据最有效率的手段之一。与 EDMA 相似, QDMA 支持几乎所有的 EDMA 传输方式, 但是提交传输申请的速度要快很多。在应用系统中, EDMA 适合于固定周期的数据传输, 但如果需要 CPU 干扰控制搬移数据, QDMA 则比较适合。

表 1 memcpy 和 QDMA 搬移速率对比(单位: 指令周期)

| | memcpy | QDMA |
|-----------|--------|------|
| 256 字搬移速率 | 15467 | 1019 |

通过 QDMA 传输的最大优势在于, 它可以有多种传输方式以适应各种传输需求。通过 QDMA 行的搬移, 使用简单的源地址和目的地址递增就可实现, 列的搬移, 可以通过 QDMA 提供的索引方式实现, 即通过设定合适的索引值, 即可实现读取当前值后, 跳过指定的数据量读取下一个值。每个数据单元为 S (Byte), 相隔数据量为 (E2-E1), 则索引值的设定为 ((E2-E1)+1)×S, 如 256x256 的图, 每个数据单元为 4Byte, 要进行列搬移, 需要设定数据单元索引值 ELEMENT INDEX=0x400。

4.3 算法实现及性能优化

在小波变换前, 为了有效避免边界失真, 需要首先进行边界处理。常用的边界处理方式有: 边界重复延拓、零值填补、对称延拓和周期延拓。其中对称延拓能够较好的避免边界处理带来的噪声, 最为常用。延拓的处理方式: 根据滤波器的长度 M, 对信号向前、向后分别对称的延拓 M/2-1 位。

提升小波的实现主要包含边界处理, 分裂, 预测, 更新等部分, 需要进行多次循环运算, 以循环体为主的函数可以使用线性汇编语言重写整个函数。使用汇编优化器进行优化效率是非常高的。

DSP 芯片采用流水线结构, DM642 拥有可并行执行的 8 个处理单元, 当程序运行时, 如果这 8 条指令能尽量多的有效运用, 芯片就能够高效率的工作。为了能够使 8 个单元尽可能同时运行, 在程序编制时可以采用流水线(Soft Pipeline)技术, 有效分配循环指令, 使多次迭代并行执行, 最大可能的提高程序性能。

图 3 中为提升小波软件预测部分的流水关联图, 每次循环, 需要执行两次读取指令, 加指令, 乘指令, 移位和减各一次, 通过并行运算和流水线操作可以极大提高运算效率。

与直接将 C 语言程序经编译器编译为汇编代码相比, 用线

性汇编语言重新改写其中关键的程序段,并采用代码优化技术,可使程序在一个循环周期内执行时间减少3倍左右。再经汇编优化器的软件流水安排,使循环指令迭代展开,执行速度将更加提高。

表2中可以看到,对长256的数据进行1D的小波算法,使用并行语句的线性汇编语言进行流水线优化后,相比于C语言,速度提升了约三倍。

表2 小波算法预测部分指令周期对比(单位:指令周期)

| | C语言 | 寄存器,内联函数优化后 | 并行线性汇编 | 汇编软件流水 |
|-------------|--------|-------------|--------|--------|
| Dwt1D(长256) | 26 138 | 19208 | 11191 | 1382 |

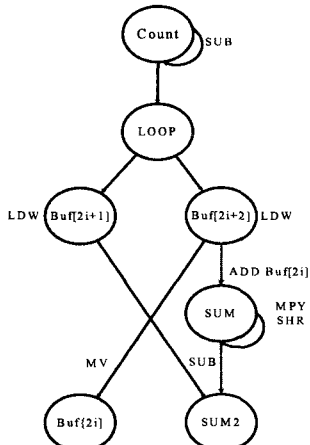


图2 小波算法预测部分线性汇编关联图

5 试验结果

选取256x256灰度图作为试验对象,分解层数为2层,对其进行小波变换。对源程序进行执行文件级优化(-O3)。计算性能如表3中所示:

表3 小波算法预测部分指令周期对比(单位:指令周期)

| | C语言 | 并行线性汇编 | 汇编软件流水 |
|-------|------------|------------|-----------|
| Dwt2D | 19 628 200 | 11 395 824 | 6 300 057 |

试验证明,对256x256灰度图像而言,小波变化速率可达100帧/s,证明了这种方法在DM642上是可行的。

本文创新点:在DM642上实现CDF97整数小波,使用了QDMA传输方式实现了图像数据在存储空间中的高速搬移,在算法的实现及优化上,使用了流水汇编代码进行性能优化,提高了程序的执行效率和性能。

参考文献

[1]刘在德,郑南宁,刘跃虎,兰旭光. JPEG2000中9/7离散小波变换二进制系数实现[J]. 西安交通大学学报. 2003:(12)
 [2]姚瑞琨,易清明. 适于硬件实现的97小波变换算术移位法[J]. 微电子学与计算机. 2006:(2)
 [3]赵秀影,翟林培,魏静元,刘红. 整数双正交小波图像压缩及其DSP实现[J]. 红外技术. 2005:(11)
 [4]王熹微,唐昆崑,慧娟. 基于DM642的视频编码Cache优化策略[J]. 微计算机信息, 2005, 9-2, 84-86
 [5]Texas Instruments Incorporated. SPRU234- TMS320C6000 DSP Enhanced Direct Memory Access (EDMA) Controller Reference Guide, 2003

作者简介:张荣锋(1982-),男,硕士研究生,2005年毕业于清华大学机械工程系,现为中国科学院上海技术物理研究所硕士研

究生,主要研究方向为电路与系统;孙胜利:中国科学院上海技术物理研究所研究员,博士生导师,第七研究室副主任,参加卫星预先研究工作。

Biography: ZHANG Rong-Feng (1982-), Master of Engineering in Electronic Science and Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences.

(200083上海 中国科学院上海技术物理研究所)张荣锋 俞建成 孙胜利

(Shanghai Institute of Technical Physics, China Academy of Science, Shanghai, 200083)ZHANG Rong-feng YU Jian-cheng SUN Sheng-li

通讯地址:(200083上海 中国科学院上海技术物理研究所)张荣锋

(收稿日期:2008.6.3)(修稿日期:2008.8.5)

(上接第186页)

4 结束语

综上所述,利用本文介绍的方法开发硬件设备的驱动程序,可以方便的实现采样速率高、具有实时显示功能的廉价仿真平台。该仿真平台不仅可以应用于柴油机开发,还可以应用于其它仿真实验中。同时,本文提出的设备驱动程序的开发方法不仅适用于研华PCI采集卡,而且可以推广到类似板卡的仿真应用中去。

本文作者创新点:借助xPC Target实现了实时仿真设备-研华PCI系列采集卡驱动程序的开发,指出了开发过程的关键问题,论证了该技术在设备上的通用性,并且实验验证这一方法可以获得理想的效果。

参考文献

[1]杨涤.系统实时仿真开发环境与应用.北京:清华大学出版社, 2002
 [2]郑智勤.Simulink 电子通信仿真与应用.北京:国防工业出版社, 2002
 [3]张志涌.精通 MATLAB6.5 版.北京:北京航空航天大学出版社, 2003
 [4]陈斌.基于 MATLAB 的飞行控制实时仿真系统研究.[J].微计算机信息.2007.5-1
 [5]研华公司.PCI-1712 User' s Manual

作者简介:接浩南(1982-),男(汉族),山东烟台人,武汉理工大学能源与动力工程学院研究生,研究方向为轮机控制技术与信息处理技术。

Biography:JIE Hao-nan(1982-),male(han),Shandong Province, postgraduate student of School of Energy and Power Engineering of Wuhan University of Technology. Major in Marine control and communication disposal skill.

(430063湖北省武汉市 武汉理工大学能源与动力工程学院)接浩南 (Energy and Power Engineering College, WuHan University of Technology, Wuhan 430063) JIE Hao-nan

通讯地址:(430063武汉理工大学余家头校区Y-22号信箱)接浩南 (收稿日期:2008.6.3)(修稿日期:2008.8.5)

技术创新

您的才能 + 阅读本刊 = 您的财富