

基于 TMS320C6416 的 MPEG-2 视频压缩优化方案

董文涛^{1,2}, 张忠伟¹, 刘 勇^{1,2}, 安军社¹

(1 中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100190; 2 中国科学院研究生院, 北京 100190)

摘 要: 针对嵌入式视频编码的实时性问题, 给出了 MPEG-2 视频压缩算法在 TMS320C6416 DSP 上的优化方法, 包括基于 EDMA 的双缓存设计、线性汇编改写以及对量化计算的改进等。测试结果显示, 经过优化后的视频压缩速度得到显著提高, 压缩 D1 视频的速度达到 43fps 左右, 满足实时应用需求。

关键词: 视频压缩; MPEG-2; TMS320C6416; 优化

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)07-0128-03

Optimization Methods of MPEG-2 Video Compression Algorithm Based on TMS320C6416

DONG Wen-tao^{1,2}, ZHANG Zhong-wei¹, LIU Yong^{1,2}, AN Jun-she¹

(1 Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

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

Abstract: Video compression is complex and it is difficult to realize a real-time video encoder on embedded systems. To solve this problem, Optimization methods of MPEG-2 video compression algorithm based on TMS320C6416 DSP platform are given in this paper. These optimization methods include design of double buffering based on EDMA, rewriting of C codes using linear assembly and improvement on quantization. Test results show a significant increase on video compression speed after optimization and D1 video sequences can be encoded at a speed of about 43 frames per second in real time.

Key words: video compression; MPEG-2; TMS320C6416; optimization

1 引言

随着航天技术的不断发展和空间活动的日益频繁, 视频在航天领域的应用和需求也越来越广^[1]。然而星载视频应用面临两个主要问题: (1) 视频数据量大, 而下行信道带宽和星上存储空间有限, 在视频传输和存储之前必须对视频进行压缩; (2) 实时视频压缩计算复杂, 工程实现对器件的性能、功耗和可靠性等方面要求较高, 可选的器件较少。TMS320C64x^[2]系列 DSP 是 TI 公司推出的高性能 DSPs, 数据处理能力强, 同时有 MIL38535 Q 级产品, 为星载实时视频编码器的应用提供了有效的解决方案。本文基于 TMS320C6416 DSP 平台对 MPEG-2 视频压缩算法进行了优化处理, 实现了对 D1 视频的实时编码。

2 基于 EDMA 的双缓存设计

DSP 片内存储空间有限, 大容量的当前帧、参考帧和重建帧数据只能放到片外存储器上, 而 DSP 内核对不同存储器空间的访问速度差别很大, 通过慢速 EMIF 接口访问片外数据会导致 CPU 停滞^[3] (CPU stall), 因此片外数据的传输通常成为程序运行的瓶颈。EDMA^[4-5]是 C64x DSP 的一种高效的数据传输方式, 它不占用 CPU 的时间, 在 CPU 运行的后台由 EDMA 控制器完成数据搬移。由于视频压缩是以宏块为单位, 利用 EDMA 在片内空间开辟双缓存区通过乒乓方式可以有效解决片外数据的传输问题。编码前 EDMA 从片外存储器将当前宏块、搜索窗搬移到片内缓存 A 中, 在 CPU 对缓存 A 中的

数据进行处理时 EDMA 将下一宏块及相应搜索窗搬移到片内缓存 B 中,这样双缓存区交替使用,处理和传输同时进行,整个过程数据相当于都在片内进行处理,大大减少了 CPU 的等待时间.双缓存结构如图 1 所示.

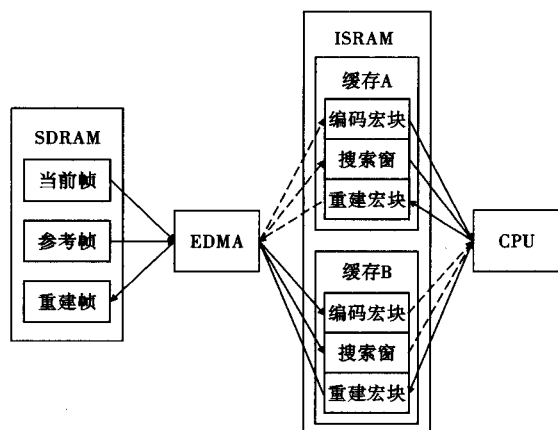


图1 基于EDMA的双缓存结构

3 通过线性汇编改写C代码

线性汇编语言是TMS320C6000系列独有的编程语言,介于C语言与汇编语言之间,经过编译器优化可以得到流水化程度较高的高速并行汇编程序,编译效率接近手工汇编.线性汇编的优化可以分为以下两个方面:

3.1 使用内联函数(Intrinsics)

内联函数^[7]是TMS320C6000编译器提供的一组直接映射为汇编指令操作的特殊函数,可以理解为经过线性汇编优化的函数封装,能在C代码里像普通C函数一样直接调用,既方便又高效.C64x编译器充分利用甚长指令字结构特点针对多媒体应用提供了一些更为高效的内联函数,例如内联函数_subabs4一次读取4个字节数据,并在一个指令周期内完成对4个字节求差并取绝对值的操作,效率提高了4倍^[5].

3.2 利用线性汇编优化循环

提高代码的并行性、尽量达到理想的8条指令并行,才能充分发挥DSP强大的运算能力,这也是代码优化的目标之一.线性汇编语言^[8]自上而下按照功能的逻辑顺序书写线性汇编语句,不用指定所需要的寄存器和使用的功能单元,也不需要考虑指令延迟,由汇编优化器负责编排高质量的代码并行和创建多级软件流水.线性汇编的改写针对使用频繁循环体效果明显.表1给出了对减预测函数进

行线性汇编改写前后所用时钟数的比较;减预测函数位于运动补偿和DCT之间,用于对每个输入 8×8 块与其补偿块作差以去除帧间冗余.

表1 线性汇编改写前后时钟数比较

减预测函数	消耗的时钟数
原C程序	164
线性汇编程序	42

由表1可以看出,经过线性汇编改写后函数所需的时钟数减少为原来的1/4左右,由于该函数调用相当频繁,产生的优化效果很显著.

4 对量化计算的改进

量化是视频压缩中一个很重要的环节,正是因为量化造成了信息损失,给降低码率创造了条件.量化过程要涉及到除法运算,而C64x系列DSP是定点处理器,没有专门的除法功能单元和相应的除法运算指令,在定点DSP上完成除法通常是调用实时支持库函数-divi或-divu,一方面需要消耗大量的时钟周期,另一方面调用函数势必会破坏循环中的流水线操作,这些因素均严重影响了量化的完成速度.由于乘法是除法的逆运算,C64x核有专门的乘法单元,所以考虑用乘法来代替除法.将量化过程改造为 $Level = |Cof|/q = |Cof| \cdot [2^n/q]/2^n$,其中Cof表示待量化的DCT系数,q表示量化系数,Level表示量化结果, $[x]$ 表示对x取整,n表示量化精度.对每一个量化系数q计算出相应的 $[2^n/q]$ 值做成一张查找表,而除以 2^n 相当于右移n位,从而利用定点乘法和移位操作避免了除法运算.下面给出用线性汇编实现改进量化的部分代码以及改进前后量化模块消耗时钟数的对比(见表2).

```
//取DCT系数
ldh *coeff, cof
//查找表里取改造的量化值
ldh *Qcoeff++, recip_q
//对DCT系数取绝对值
abs cof, abs_cof
//对DCT系数绝对值用乘法进行量化
mpy abs_cof, recip_q, level
//结果四舍五入(这里n取14故加213即0x2000)
addk 0x2000, level
//右移14位
shru level, 14, level
//判断原DCT系数是否小于0
```

```
cmplt cof, 0, flag
//如果原 DCT 系数小于 0,取量化结果的相反数
[flag] neg level, result
//如果原 DCT 系数大于等于 0,量化结果不变
[! flag] mv tmp3, result
//将量化结果存回
sth result, *coeff++
```

表 2 量化模块改进前后时钟数比较

量化	消耗的时钟数	提高的倍数
改进前	15 881 523	34.2
改进后	464 323	

5 优化结果与分析

在 SEED-DEC6416 评估板上分别用 25 帧 CIF 格式(352×288)视频序列 news 和 13 帧 D1 格式(720×576)视频序列 walk 对优化后的编码性能进行了测试,并与优化前的编码性能做比较,结果见表 3 和表 4. SEED-DEC6416^[9]采用 TMS320C6416T DSP,主频 1GHz,并外扩有两片高速(133MHz)、大容量(16MB)的 SDRAM,满足测试需要.

表 3 是在 25 帧 CIF 格式视频序列 news 的测试基础上,详细给出了优化前后平均每一帧编码过程中 MPEG-2 算法各个模块的时钟消耗对比.表 4 则是从压缩速度和平均 PSNR 两个方面给出了优化前后编码器整体的压缩性能比较.

表 3 算法各模块优化前后时钟数比较

序号	算法模块	消耗的时钟数		提高的倍数
		优化前	优化后	
1	运动估计	670 633 421	1 256 475	533.7
2	运动补偿	51 884 808	286 533	181.1
3	FDCT/IDCT	173 569 455	1 435 834	120.9
4	量化/反量化	446 729 419	1 221 137	365.8
5	熵编码	43 655 616	434 831	100.4
6	码率控制	49 641 800	764 487	64.93

表 4 视频压缩优化前后性能比较

序列	画质	码率 (bps)	优化前		优化后	
			压缩速度 (fps)	平均 PSNR (dB)	压缩速度 (fps)	平均 PSNR (dB)
news	CIF	512K	0.69	34.53	178.46	33.89
walk	D1	2M	0.17	33.78	43.31	33.02

测试结果显示,优化后的视频压缩速度得到显著提高,同时平均 PSNR 仅有小幅下降.对于 D1 格式视频,压缩速度达到了 43.31fps,在 600MHz 主频 DSP 上也能获得 25fps 以上的实时压缩性能.

6 结束语

本文讨论了 MPEG-2 视频压缩算法在 TMS320C6416 DSP 上的优化,结合芯片特点从数据访问机制、线性汇编改写以及量化改进等方面给出了优化的原理和方法,经过优化可以满足 D1 视频的实时编码.当然,TMS320C64x DSP 性能很强大,本文提出的优化还有进一步提升的空间,下一步可以向压缩性能更优异的 MPEG-4 和 H.264 算法或者画质更高的 720p 和 1080p 分辨率的方向发展.

参考文献:

[1] The consultative committee for space data systems. motion imagery and applications[R]. Washington: CCSDS, 2010.

[2] Texas Instruments. TMS320C6414, TMS320C6415, TMS320C6416 fixed-point digital signal processors [R]. Houston: Texas Instruments, 2005.

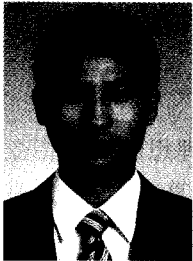
[3] 谷俊丽,何虎,孙义和.在 VLIW 处理器上实现视频图像的运动估计算法的方法[J].微电子学与计算机, 2010, 27(6): 5-7.

[4] 高文,赵德斌,马思伟.数字视频编码技术原理[M].北京:科学出版社,2010.

[5] 罗嵘,史圣卿,陈彬.基于 DM642 平台的视频会议中 H.264/AVC 编码器优化[J].微电子学与计算机, 2009, 26(9): 40-43.

[6] 合众达电子. SEED-DEC6416 用户指南[R]. 北京:合众达电子,2007.

作者简介:



董文涛 男,(1987—),硕士研究生.研究方向为图像与视频压缩、嵌入式软件.

张忠伟 男,(1975—),博士,副研究员.研究方向为多媒体通信技术、图像与视频处理、数据压缩、嵌入式系统.