

# JPEG2000 中小波变换在 BlackFin 芯片上的实现

陈汉深, 李卫忠

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘 要:**对 JPEG2000 中小波变换的具体算法进行了阐述并在 BlackFin 芯片 (ADSP-BF533) 上对算法进行了实现。首先给出小波变换滤波器的基本结构, 然后介绍了小波正变换, 二维子带系数的分解, 垂直、水平方向的子带分解, 二维系数的反交错, 一维小波变换等步骤如何对原始图像信号进行处理, 最后, 选用 BlackFin 芯片 (ADSP-BF533) 进行了编程实现。

**关键词:** JPEG2000; 小波变换; DSP; BlackFin

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)08-0170-3

## Realization of Wavelet Transform in JPEG2000 on BlackFin Chip

CHEN Han-shen, LI Wei-zhong

(Missile College, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

**Abstract:** Expatiates on idiographic wavelet-transform algorithm in JPEG2000 and realizes it on the BlackFin chip (ADSP-BF533). At first, presents the configuration of wavelet transform filter, and then introduces how the processes deals with signal of the original image wavelet transform. These processes include decomposition of two-dimensional offspring coefficient, vertical and horizontal decomposition of offspring coefficient, inverted interleaving of two-dimensional coefficient, one-dimensional wavelet transform. Lastly, the algorithm is applied and realized on the BlackFin chip (ADSP-BF533) by the programme.

**Key words:** JPEG2000; wavelet transform; DSP; BlackFin

### 0 引言

JPEG 全名为 Joint Photographic Experts Group。由于 JPEG 优良的品质, 使得它在短短的几年内就获得极大的成功, 目前网站上百分之八十的影像都是采用 JPEG 的压缩标准。然而, 随着多媒体应用领域的激增, 传统 JPEG 压缩技术已无法满足人们对多媒体影像资料的要求。因此, 更高压缩率以及更多新功能的新一代静态影像压缩技术 JPEG2000 就诞生了。JPEG2000 放弃了 JPEG 以离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform) 为主的区块编码方式, 而改采以小波变换 (Wavelet transform) 为主的多解析编码方式<sup>[1]</sup>。JPEG2000 具有非常多的优良品质: 具有高压缩比 (低比特速率), 其压缩率比 JPEG 高约 30% 左右; JPEG2000 同时支持有损和无损压缩, 而 JPEG 只能支持有损压缩, 而无损压缩对保存一些重要图片十分有用; JPEG2000 能实现渐进传输, 这是 JPEG2000 的一个极其重要的特征; JPEG2000 支持“感兴趣区域”特性。

收稿日期: 2005-11-15

作者简介: 陈汉深 (1976-), 男, 广东茂名, 助理工程师, 硕士研究生, 研究方向为计算机网络; 李卫忠, 副教授, 研究方向为计算机网络。

### 1 JPEG2000 中小波变换算法的具体分析

#### 1.1 小波变换滤波器的基本结构

JPEG2000 第 1 部分中所采用的小波变换, 其基本结构依据了以相等带宽均等分割频率轴的子带编码。图 1 示出基于最单纯的对分子带滤波器的离散小波变换的分析与综合系统。这里,  $H_0(z)$ ,  $G_0(z)$  为低通滤波器;  $H_1(z)$ ,  $G_1(z)$  为高通滤波器;  $\downarrow 2$  和  $\uparrow 2$  分别为 2:1 抽取 (down sampling) 和 1:2 内插 (插入 0 值)。此类方法包括倍频分解、树形分解和 Mallat 分解。基于表示此类方法的子带分裂次数的参数称为分解层次<sup>[2]</sup>。

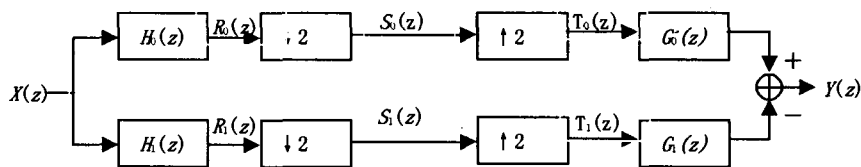


图 1 基于最单纯的对分子带滤波器的离散小波变换的分析与综合系统

#### 1.2 小波正变换 FDWT

进行离散小波正变换的 FDWT 规定输入填充分量采样  $I(x, y)$  和分解层次  $N_L$ , 输出子带系数  $a_b(u_b, v_b)$ 。

对于分解层次  $N_L$ , 子带的总数为  $3N_L + 1$ 。FDWT 最初将表示当前分解层次的变量初始化为 1, 将原始图像信号  $I(u, v)$  设置为数组  $a_{0LL}(u, v)$ , 只对水平方向和垂直方向都适用低通滤波器处理的  $levLL$  子带执行二维子带

系数的分解 2D-SD。

1.3 对二维子带系数的分解 2D-SD

对原始图像的二维数组或 LL 子带系数  $a_{(lev-1)LL}(u, v)$  进行基于小波滤波器的滤波和 2:1 抽取, 分解成 4 个子带系数的组群:  $a_{levLL}(u, v), a_{levHL}(u, v), a_{levLH}(u, v), a_{levHH}(u, v)$ 。

2D-SD 最初对  $a_{(lev-1)LL}(u, v)$  的所有列进行垂直方向子带分解 VER-SD, 得到数组  $a(u, v)$ ; 接下来, 对  $a(u, v)$  的所有行进行水平方向子带分解 HOR-SD, 得到的系数  $a(u, v)$  接着对 4 个子带进行反交错处理 2D-DEINTER-LEAVE。

1.4 垂直方向的子带分解 VER-SD 和水平方向的子带分解 HOR-SD

VER-SD 对输入数组  $a(u, v)$  各列进行一维子带分解 1D-SD, 将结果返回各列储存。HOR-SD 对输入数组  $a(u, v)$  各行进行一维子带分解 1D-SD, 将结果返回各行储存。

1.5 二维系数的反交错 2D-DEINTER-LEAVE

2D-DEINTER-LEAVE 将二维平面上的小波变换系数  $a(u, v)$  反交错成 4 个子带信号。输入是系数  $a(u, v)$  和表示采样坐标的  $u_0, u_1, v_0, v_1$ ; 输出是分解层次 lev 的各子带信号 LevLL, LevHL, LevLH, LevHH。

2D-DEINTER-LEAVE 将 HOR-SD 的输出  $a(u, v)$  进行反交错处理之后生成子带信号。

1.6 一维小波变换 1D-SD

1D-SD 以一维数组  $x(i)$  和  $i_0, i_1$  为输入, 进行必要的信号扩展处理后进行一维小波变换, 将具备相同索引  $i_0, i_1$  所示存在范围的数组  $y(i)$  作为输出。

1D-SD 在信号长度为 1 的情况下,  $i_0$  为偶数时, 作为低通输出, 设置为  $Y(i) = X(i)$ ;  $i_0$  为奇数时, 作为高通输出, 设置为  $Y(i) = 2X(i)$ 。在信号长度为大于 2 的情况下, 首先执行 1D-EXTD, 超出左右的边线, 获得将  $X$  扩展的信号  $X_{ext}$  之后, 按 1D-FILTD 对扩展信号  $X_{ext}$  做小波处理, 然后生成输出信号  $Y$ 。

1.7 正变换时信号的周期性对称扩展 1D-EXTD

1D-EXTD 只将信号  $Y$  的  $i_{left}$  采样数向左扩展; 并只将信号  $Y$  的  $i_{right}$  采样数向右扩展。在此所执行的信号扩展, 为了能抑制两个信号边缘出现的不连续, 要进行平滑滤波, 如图 2 进行信号的周期性对称扩展。

1D-EXTD 如式(1)所给出的那样, 对  $i_0 \leq i < i_1$  范围以外的  $i$  值计算  $X_{ext}(i)$  值。

$$X_{ext}(i) = X(i_0 + \min(\text{mod}(i - i_0, 2(i_1 - i_0 - 1)), 2(i_1 - i_0 - 1) - \text{mod}(i - i_0, 2(i_1 - i_0 - 1)))) \quad (1)$$

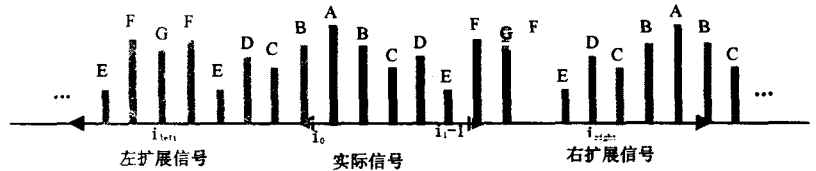


图 2 信号的周期性对称扩展

1.8 基于提升结构的小波正变换 1D-FILTD

1D-FILTD 有 5/3 滤波器的 1D-FILTD<sub>5/3R</sub> 和 9/7 滤波器的 1D-FILTD<sub>9/7I</sub>, 分别用于可逆变换和不可逆变换, 它们都设周期性对称扩展后的一维信号  $X_{ext}$  和信号索引  $i_0, i_1$  为输入, 输出信号是  $Y$ 。下面给出基于 5/3 可逆滤波器的正变换 (1D-FILTD<sub>5/3R</sub>)<sup>[3]</sup>。

基于 5/3 可逆滤波器的提升运算对最早满足  $\lceil i_0/2 \rceil - 1 \leq n < \lceil i_1/2 \rceil$  的所有  $n$ , 按公式(2)用扩展信号  $X_{ext}$  计算输出信号的奇数索引系数  $Y(2n+1)$ 。这是对应当于 2:1 抽取高通滤波器输出的信号。

$$Y(2n+1) = X_{ext}(2n+1) - \left[ \frac{X_{ext}(2n) + X_{ext}(2n+2)}{2} \right] \quad (2)$$

对于所有满足  $\lceil i_0/2 \rceil \leq n < \lceil i_1/2 \rceil$  的所有  $n$ , 按公式(3)用扩展信号  $X_{ext}$  计算输出信号的偶数索引系数  $Y(2n)$ 。这是对应当于 2:1 抽取高通滤波器输出的信号<sup>[4]</sup>。

$$Y(2n) = X_{ext}(2n) + \left[ \frac{X_{ext}(2n-1) + X_{ext}(2n+1) + 2}{4} \right] \quad (3)$$

对于  $N = i_0 - i_1$  为偶数的情况下, 图 3 具体示出以上运算处理。

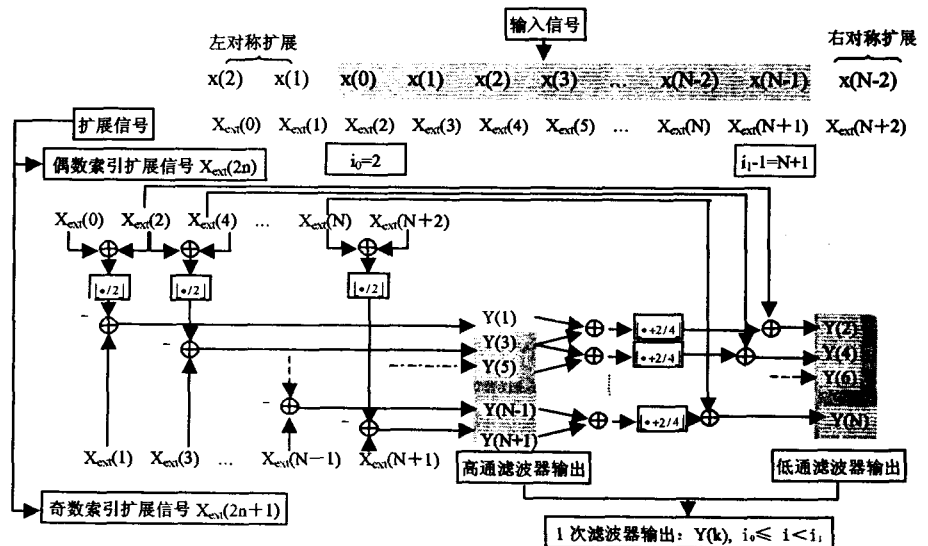


图 3 一维 5/3 可逆滤波器的提升运算

## 2 算法设计与实现

BlackFin 系列 ADSP 是美国模拟器件公司推出的最新的 DSP。ADSP - BF533 是其中的一种。它采用双 16 位乘法累加器 MAC(Multiply Accumulate Cycle)的改进型哈佛结构;在一个时钟周期内能够并行完成两个操作数的运算;支持 8 比特、16 比特、32 比特整型的运算以及 16 比特、32 比特浮点型的操作;两个循环计数器,可作循环嵌套操作;两个 DAG(Data Address Generator),而且能产生位翻转的地址,以满足数字信号处理中的运算;具有 600MHz 的核内时钟,300MHz 主频。采用双 MAC 的结构具有正交的类型 RISC 的微处理器指令集,使单指令多数据和多媒体操作都引入单指令结构。这样的 DSP 芯片结构不但易于编程,可以进行快速的信号处理和多媒体处理,而且能方便地扩展 USB, PCI I/O, UART, SPORT 等接口<sup>[5]</sup>。

笔者在 ADSP - BF533 中实现了对 16×16 图像数据块的 JPEG2000 小波变换。实现的硬件环境是 EZ - KIT Lite(ADSP - BF533),实现的软件环境是 VisualDSP++ Environment 4.0。为了提高程序的运行效率,对数据序列的滤波代码用汇编语言编写,而主程序用 C 语言编写,功能是定义两个内存空间存放输入和输出数据,组织数据并调用汇编程序进行一维滤波。

上面陈述的算法在 ADSP - BF533 进行了编程实现。因为程序比较长,这里仅给出了部分核心汇编代码,程序的硬件环境是 EZ - KIT Lite(ADSP - BF533)板,软件环境是 VisualDSP++ Environment 4.0。

```
_wlift_bior_3_5_JPEG2000:
```

```
.....
R2=R0+|+R1,R7=R0-|-R1(ASR)||R0.H=W[I0]||I0
+=M0;
R2.L=R0.H-R2.L(S)||R1.H=W[I0]||I0-=M0;
R2=R2+|+R3,R7=R2-|-R3(ASR)||W[I0]=R2.L||I0
+=M0;
R0.L=R0.L+R2.L(S)||R7.L=W[I0--];
R3.L=2;
LSETUP($1LOOP-ST,$1LOOP-END)LC0=P0;
$1LOOP-ST:
R2=R1+|+R7,R7=R1-|-R7(ASR)||R0.H=W[I0]||I0
-=4;
```

(上接第 169 页)

用户的工作效率和质量,便于企业管理,辅助高层领导决策,体现了很大的优势。系统有的模块需求还在改动,系统本身也不完善,如系统安全性等,还有待下一步升级。

### 参考文献:

- [1] Meier J D, Mackman A, Dunner M, et al. 构建安全的 ASP. NET 应用程序[M]. [s.l.]: Microsoft Corporation, 2002.
- [2] Walther S. ASP.NET 揭密[M]. 汤 洵译. 北京: 中国电

```
R0.H=R0.H-R2.L(S)||R3.H=W[I0--];
R3.H=R3.H+R0.H(S)||W[I0]=R0.L||I0+=M0;
R2.L=R3.H+R3.L(S)||W[I0]=R0.H||I0+=M0;
R2=R2>>>2(V)||R7.L=W[I0]||I0-=4;
$1LOOP-END:
R0.L=R1.L+R2.L(S)||R1.L=W[I0++];
R2.L=R1.L+R7.L(S)||R0.H=W[I0]||I0-=4;
R0.H=R0.H-R1.L(S)||R3.H=W[I0--];
R3.H=R3.H+R0.H(S)||W[I0]=R0.L||I0+=M0;
R2.L=R3.H+R3.L(S)||W[I0++] = R0.H;
.....
```

```
_wlift_bior_3_5_JPEG2000.end:
```

可以看出,在快速小波变换算法中只有加减操作和移位操作,没有大量占用硬件资源的乘除操作。对 16×16 图像数据块的 JPEG2000 可逆整数 5/3 一维小波变换只需 784 个指令周期。

## 3 结束语

对 JPEG2000 中小波变换的具体算法进行了阐述,并在 BlackFin 芯片(ADSP - BF533)上对算法进行了实现。JPEG 2000 不管在传统的 JPEG 市场,像印表机、扫描器、数码相机等,还是在新兴应用领域,像网路传输、无线通讯、医疗影像等都具有广阔的应用前景。这些应用基本都是基于 DSP 芯片上的应用的,可见 JPEG2000 中小波变换在 BlackFin 芯片上的实现具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] New Work Item Proposal: JPEG2000 Image Coding System [R]. Technical Report N390, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, 1996.
- [2] Taubman D S, Marcellin M W. JPEG2000 图像压缩基础、标准和实践[M]. 魏江力,等译. 北京: 电子工业出版社, 2004. 279 - 430.
- [3] 李振伟,何继善,刘兵全,等. 小波图像压缩进展[J]. 微机发展, 2004, 14(6): 29 - 32.
- [4] 张益贞,刘 涛. Visual C++ 实现 MPEG/JPEG 编解码技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003. 70 - 167.
- [5] 陈 峰. BlackFin 系列 DSP 原理与系统设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004. 9 - 120.

力出版社, 2004.

- [3] Booch G. 谈. NET 和软件开发艺术[J]. 程序员, 2002(8): 78 - 81.
- [4] Leake G. Microsoft. NET Pet Shop 3. x: Design Patterns and Architecture of the. NET Pet Shop [EB/OL]. www.microsoft.com, 2003 - 05.
- [5] 卢 彦. 对比. Net PetShop 和 Duwamish 来探讨 ADO. Net 的数据库编程模式[EB/OL]. www.microsoft.com, 2003 - 04.