

文章编号 1004-924X(2009)03-0690-05

# 星载遥感图像 JPEG2000 压缩算法的去量化

杜列波, 肖学敏, 罗武胜, 吕海宝

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**随着空间技术的发展,空间遥感图像的数据量呈几何级数增加。为了满足 JPEG2000 星载遥感图像压缩系统的实时性要求,提出了一种对压缩算法进行优化和改进的方法。分析了离散小波变换后拉伸提升算法和 JPEG2000 量化算法。然后,通过一个新的拉伸量化因子将量化过程与后拉伸小波变换中的提升过程结合起来,减少了 JPEG2000 压缩算法的量化操作。最后,介绍了去量化处理方法的定点实现。实验结果表明:应用去量化处理方法可以使 JPEG2000 压缩算法中拉伸和量化过程所需要的时间降低 50%,提升了 JPEG2000 星载遥感图像压缩系统的实时处理能力。

**关键词:**遥感图像; JPEG2000; 图像压缩; 离散小波变换; 后拉伸; 提升算法

中图分类号: TP751 文献标识码: A

## Quantification removing for satellite on-board remote image JPEG2000 compression algorithm

DU Lie-bo, XIAO Xue-min, LUO Wu-Sheng, LÜ Hai-bao

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** With the development of space technology, the data of space remote sensing image are expanded greatly. To meet the real-time processing need of satellite on-board JPEG2000 image compression system, the optimization and improvement for the compression algorithm, as well as the design of high speed hardware process system are investigated. The Discrete Wavelet Transform(DWT) algorithm based on post-scaling lifting and quantification algorithm of JPEG2000 are analysed. Then, by a new scaling-quantification factor, the two processes of scaling in DWT and quantification are combined into one process to remove the quantification process in JPEG2000. Finally, the fixed-point implementation in the quantification removing method is brought forth. Experimental results indicate that the time for implementation scaling and quantification has been decreased by 50% with the new method, and the real-time processing ability of the satellite on-board JPEG2000 image compression system can be improved greatly.

**Key words:** remote sensing image; JPEG2000; image compression; Discrete Wavelet Transform (DWT); lifting algorithm

收稿日期: 2008-05-23; 修订日期: 2008-07-28.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2006AA701121)

# 1 引 言

空间技术的发展,特别是太空军事技术的发展,使遥感成像传感器的空间分辨率飞速提高,在短短的几十年时间里,已从昔日的十米级提高到今天的分米级,空间遥感图像的数据量也随之呈几何级数增加。目前星上有限的信道传输和存储能力无法适应空间遥感图像的海量数据,这已成为制约空间遥感图像分辨率提高的瓶颈。因此,必须对高分辨率遥感图像产生的数据进行实时压缩,以满足遥感图像数据的空间传输和存储要求<sup>[1]</sup>。

JPEG2000 作为新一代静止图像压缩标准,可以在获得高压缩比的同时确保高图像质量,另外还具有非常好的抗误码性能,在星载遥感图像压缩领域得到了广泛的应用<sup>[2-4]</sup>。但 JPEG2000 编码算法复杂度高、运算量大,为了满足星载遥感图像压缩的实时性需求,不仅需要设计高速处理硬件系统,还需要对算法实现进行改进和优化,以提高算法执行速度。

JPEG2000 压缩算法由离散小波变换(Discrete Wavelet Transform, DWT)、量化(Quantification)和带优化截断的嵌入式块编码(Embedded Block Coding with Optimized Truncation, EBCOT)3 部分组成。调研发现,国内外就 DWT 和 EBCOT 算法快速实现展开的研究很多,但鲜有文献提及对量化的优化和改进工作。本文从 JPEG2000 快速实现的角度出发,提出了一种基于离散小波变换后拉伸提升算法的去量化处理方法,去除了压缩算法中量化处理所需要的乘法和移位操作。

## 2 后拉伸离散小波变换提升算法

JPEG2000 中推荐的 CDF9/7 小波提升算法<sup>[5]</sup>中,小波分解需要 4 个提升步骤和两个缩放步骤,如图 1 所示,其正向变换为:

- 第一步: $Y(2n+1) = X(2n+1) + p_1 \times [X(2n) + X(2n+2)]$
- 第二步: $Y(2n) = X(2n) + u_1 \times [Y(2n-1) + Y(2n+1)]$
- 第三步: $Y(2n+1) = Y(2n+1) + p_2 \times [Y(2n) + Y(2n+2)]$

$$(2n) + Y(2n+2)]$$

第四步: $Y(2n) = Y(2n) + u_2 \times [Y(2n-1) + Y(2n+1)]$

第五步: $Y(2n+1) = 1/K \times Y(2n+1)$

第六步: $Y(2n) = K \times Y(2n)$

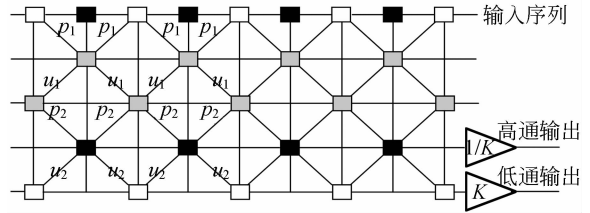


图 1 CDF9/7 小波变换的提升过程  
Fig. 1 Lifting steps for CDF9/7 DWT

采用后拉伸提升算法<sup>[6]</sup>时,分解过程只执行提升步骤,缩放步骤在小波多级分解全部完成后按子带进行缩放,不同的子带缩放因子不同。对于  $L(L \geq 1)$  级小波分解,若按图 2 所示的逆“Z”字扫描方式来定义子带,则各子带对应的缩放因子  $S[i]$  ( $0 \leq i \leq 3L+1$ ) 可根据以下算法递推:

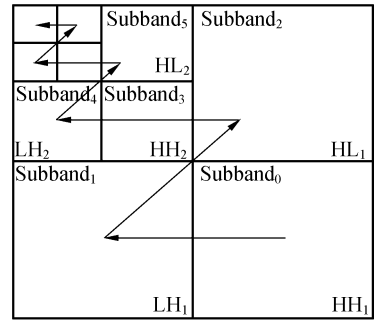


图 2 小波分解子带定义  
Fig. 2 Definition of subbands of DWT

$$S[0] = 1/K2 ; S[1] = 1 ; S[2] = 1 ; S[3] = K2 ;$$

$$\text{for}(i = 4 ; i \leq 3 * L ; i + = 3)$$

$$\{$$

$$S[i] = S[i-1] ; S[i+1] = S[i-1] ;$$

$$S[i+2] = S[i-1] * K2 ; S[i-1] * = 1/K2 ;$$

$$\}$$

## 3 JPEG2000 量化算法<sup>[7]</sup>

JPEG2000 标准中采用均匀量化,不同的子

带使用不同的量化步长,子带内部所有样本使用相同的步长。定义  $\Delta_i$  为子带  $i$  的量化步长,则量化操作如下

$$Q_i[n] = \text{sign}(y_i[n]) \left[ \frac{|y_i[n]|}{\Delta_i} \right], \quad (1)$$

式中,由  $y_i[n]$  表示子带  $i$  的所有样本,具有单位标称范围  $-2^{-1}$  到  $2^{-1}$ 。 $Q_i[n]$  表示其量化索引。每个子带的步长以一个指数  $\epsilon_i$  和尾数  $\mu_i$  的以下式指定

$$\Delta_i = 2^{-\epsilon_i} \left( 1 + \frac{\mu_i}{2^{11}} \right), \quad (2)$$

$\epsilon_i$  和  $\mu_i$  都是非负整数,数值范围为

$$0 \leq \epsilon_i \leq 2^5, 0 \leq \mu_i \leq 2^{11}. \quad (3)$$

#### 4 基于后拉伸离散小波变换提升算法的去量化处理方法

若 JPEG2000 压缩算法对编码图像进行  $L$  ( $L \geq 1$ ) 级小波变换,则会产生  $3L + 1$  个小波子带。现定义  $C_0[i]$  为小波提升分解后子带  $i$  的样本系数,  $S[i]$  为子带  $i$  的缩放因子,  $C_1[i]$  为缩放后子带  $i$  的小波系数,  $\Delta[i]$  为子带  $i$  的量化步长,  $Q[i]$  为子带  $i$  的量化索引值,则 JPEG2000 标准中的小波变换和量化过程通过以下 3 个步骤完成:

(1) 提升, JPEG2000 的图像片行列提升分解,得到  $C_0[i]$ ;

(2) 拉伸,  $C_0[i]$  乘以对应的缩放因子  $S[i]$ , 得到  $C_1[i]$ ;

(3) 量化,  $C_1[i]$  除以对应的量化步长  $\Delta[i]$ , 得到  $Q[i]$ 。

仔细分析上述过程,可以看出,步骤(2)和(3)均是子带为单位进行操作,各子带内部所有样本的操作完全一样。因此,可以将量化算法并入 DWT 算法中,进行统一操作,实现去量化处理,以减少算法运算量。将 JPEG2000 拉伸和量化过程中的缩放因子和量化步长结合起来,按下式形成一个新的拉伸量化因子

$$S_Q[i] = \frac{S[i]}{\Delta[i]}, \quad (4)$$

应用该因子后, JPEG2000 标准中的小波变换和量化过程仅需两个步骤即可完成:

(1) 提升, JPEG2000 的图像片行列提升分解,得到  $C_0[i]$ ;

(2) 拉伸,  $C_0[i]$  乘以对应的拉伸量化因子  $S_Q[i]$ , 得到量化索引值  $Q[i]$ 。

两个步骤均在小波变换过程中实现,与小波变换的标准实现相比,唯一不同的是在拉伸过程中原来的缩放因子被现在的拉伸量化因子所替代。

如果式(4)中的  $S[i]$  或  $\Delta[i]$  与编码图像有关,则在去量化处理后,小波变换每次在拉伸过程中均需要重新计算  $S_Q[i]$ , 这一计算过程等价于去量化处理前的拉伸和量化两个过程,算法结构得到了简化,运算量却未发生变换;反之,则去量化处理前后小波变换的拉伸过程一样,算法运算量减少。事实上,在 CDF9/7 小波提升分解中,缩放步骤中的参数  $K$  为常量,而小波变换后所有子带对应的缩放因子仅与  $K$  有关,因此,所有子带的缩放因子构成一个常量数组。另一方面,在 JPEG2000 的量化算法中,各子带的量化步长也与编码图像无关,所以,对不同的编码图像而言,所有子带的量化步长也是一个常量数组。

#### 5 去量化处理方法的定点实现

在星载遥感图像 JPEG2000 压缩算法的实现过程中,采用的为定点处理器件,去量化过程采用定点方法实现,实现过程中需要做特殊处理。小波变换以 16 位整数方式存放,子带样本的标称范围不是从  $-2^{-1}$  到  $2^{-1}$ , 而是从  $-2^{15}$  到  $2^{15}$ , 因此,首先需要对式(2)进行以下修正:

$$\Delta_i = 2^{16-\epsilon_i} \left( 1 + \frac{\mu_i}{2^{11}} \right). \quad (5)$$

另外,需要对拉伸运算过程中所采用的浮点操作数乘法运算用整数乘法和移位操作改写。表 1 给出了 4 级小波变换 13 个子带所对应的缩放因子、量化步长、拉伸量化因子和去量化过程的定点操作。

表1 JPEG2000 去量化处理定点实现

Tab.1 Fixed-point implementation of removing quantification in JPEG2000

子带	缩放因子	$\epsilon$	$\mu$	量化步长	拉伸量化因子	去量化过程的定点操作
0	0.756 670	15	2	2.001 953	0.377 966	* 387>>10
1	1.000 000	15	2 048	2.000 000	0.500 000	* 512>>10
2	1.000 000	15	2 048	2.000 000	0.500 000	* 512>>10
3	1.000 000	14	2 048	4.000 000	0.250 000	* 256>>10
4	1.321 580	14	2	4.003 906	0.330 073	* 338>>10
5	1.321 580	14	2	4.003 906	0.330 073	* 338>>10
6	1.321 580	13	2	8.007 813	0.165 036	* 169>>10
7	1.746 574	14	2 040	7.984 375 0	0.218 749	* 224>>10
8	1.746 574	14	2 040	7.984 375 0	0.218 749	* 224>>10
9	1.746 574	13	2 040	15.968 750	0.109 374	* 112>>10
10	2.308 238	13	2 041	15.972 656	0.144 512	* 148>>10
11	2.308 238	13	2 041	15.972 656	0.144 512	* 148>>10
12	3.050 521	12	3	16.023 438	0.190 379	* 195>>10

## 6 实验结果

为了验证去量化处理对 JPEG2000 拉伸和量化过程算法运算量的影响,选取 4 幅不同大小的图像对 JPEG2000 拉伸量化标准实现方法和去量

化处理实现方法进行测试,并对算法中拉伸和量化运算的乘法和移位运算次数以及实现时间进行了统计,结果如表 2 所示。从结果可知, JPEG2000 拉伸量化过程采用去量化处理方法实现所需要的时间比标准实现所需的时间可缩短 50%,并且与编码图像尺寸无关。

表2 JPEG2000 拉伸量化标准实现和去量化处理实现比较

Tab.2 Comparison of two methods for implementation of JPEG2000 scaling and removing quantification

图像尺寸	标准实现 乘法和移位运算 (单位:次)	去量化处理实现 乘法和移位运算 (单位:次)	标准实现时间 (单位:周期)	去量化处理 实现时间 (单位:周期)	时间缩短 百分比
256×256	乘法: $2^{17}$	乘法: $2^{16}$	$2^{18}$	$2^{17}$	50.0
	移位: $2^{17}$	移位: $2^{16}$			
512×512	乘法: $2^{19}$	乘法: $2^{18}$	$2^{20}$	$2^{19}$	50.0
	移位: $2^{19}$	移位: $2^{18}$			
1 024×1 024	乘法: $2^{21}$	乘法: $2^{20}$	$2^{22}$	$2^{21}$	50.0
	移位: $2^{21}$	移位: $2^{20}$			
2 048×2 048	乘法: $2^{23}$	乘法: $2^{22}$	$2^{24}$	$2^{23}$	50.0
	移位: $2^{23}$	移位: $2^{22}$			

## 7 结论

本文通过新的运算因子—拉伸量化因子,用所提出的去量化处理方法将 JPEG2000 标准中的量化过程并入在小波变换的拉伸过程,简化了算

法结构,降低了拉伸量化过程的运算量,减少了算法实现时间。由于星载遥感图像尺寸较大,通常不小于 1 024 pixel×1 024 pixel,应用该方法可以大大减少压缩算法实现的时间。因此,对于星载遥感图像 JPEG2000 实时压缩领域而言,该方法具有很好的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 徐欣锋,黄康卿,徐抒岩,等. 高空间分辨率遥感图像实时压缩进展[J]. 光学精密工程,2004,12(3):266-271.  
XU X F, HUANG L Q, XU SH Y, *et al.* Real-time compression of RS data of high spatial resolution [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(3): 266-271. (in Chinese)
- [2] NICHOLSON D. An effective satellite on-board JPEG2000 image (de)coding implementation based on PIRANHA systematic-DSP [C]. 20th AIAA International Communication Satellite Systems Conference and Exhibit, 2002:1-6.
- [3] TRENSCHEL T, BRETSCHNEIDER T, LEEDHAM G. Using JPEG2000 on-board mini-satellites for image-driven compression[C]. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2003:2033-2035.
- [4] 赵清,林宝军,张善从. JPEG2000 遥感图像实时压

- 缩系统[J]. 计算机仿真,2007(3):180-183.  
ZHAO Q, LIN B J, ZHANG SH C. JPEG2000 remote sense real-time encoding system[J]. *Computer Simulation*, 2007(3):180-183. (in Chinese)
- [5] SWELDENS W. The lifting scheme: a custom design construction of biorthogonal wavelets[J]. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 1996(3):186-200.
- [6] 钟广军,成礼智,陈火旺. 多级多维离散小波变换的快速提升计算[J]. 电子学报,2001,29(11):1475-1477.  
ZHONG G J, CHENG L ZH, CHEN H W. Fast lifting algorithm for multi-level and multidimensional discrete wavelet transform[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2001,29(11):1475-1477. (in Chinese)
- [7] TAUBMAN D S. *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*[M]. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2002: 436-441.

## 作者简介:



杜列波(1981—),男,湖南常德人,博士研究生,讲师,2002年毕业于天津大学获学士学位,2004年和2008年毕业于国防科技大学分别获硕士学位和博士学位,主要从事图像压缩理论和实现等方面的研究。E-mail: liebod@163.com

肖学敏(1981—),男,山东潍坊人,硕士,工程师,于空军第一航空学院获学士学位,国防科学技术大学获硕士学位,主要从事图像压缩编码技术及应用方面的研究。E-mail: nudt\_xiao@163.com



罗武胜(1972—),男,湖南衡阳人,博士,副教授,分别于1994年、1996年和2000年分别于国防科学技术大学获学士、硕士和博士学位,主要从事图像压缩和现代传感技术与系统等方面的研究。E-mail: lwsheng0701@sina.com



吕海宝(1941—),男,教授,博士生导师,主要从事激光光电检测控制、精密仪器、图像压缩和信息技术等方面的研究。E-mail: lhb998@sohu.com

(本栏目编辑:白雨虹)