

基于编码通道数的 JPEG2000 压缩率控制算法

吴宗泽, 郑南宁, 黄宇, 朱悦心, 张静

(西安交通大学人工智能与机器人研究所, 710049, 西安)

摘要: 提出一种基于小波量化权值和编码通道数的 JPEG2000 压缩率控制算法. 在位平面编码之前, 根据当前码块所处的子带和码块内包含的编码通道数预先分配压缩码字数. 在编码过程中, 编码码字数超过分配码字数时就截断码流, 即实时截断码流. 与标准的率失真 (PCRD) 优化算法相比, 该算法不会在计算码率失真斜率和搜索最优分层截断点时产生运算开销. 实验结果表明, 在 015 b/像素下, 所提算法对于 Lena 图像的存储器损耗和编码时间也只有标准 PCRD 优化算法的 618 % 和 1817 %, 但图像质量只低 018 dB. 这种算法资源损耗少, 显著提高了运算速度, 更有利于超大规模集成电路实现.

关键词: 压缩率控制; 率失真优化; 编码通道; 截断点

中图分类号: TP39114 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253 - 987X(2004)12 - 1216 - 04

Novel Scheme for JPEG2000 Rate Control Based on Number of Coding Passes

Wu Zongze, Zheng Nanning, Huang Yu, Zhu Yuexin, Zhang Jing

(Institute of Artificial Intelligence and Robots, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

Abstract: A novel scheme for JPEG2000 rate control was proposed based on the weight of wavelet quantification and the number of coding passes. The bytes of the compressed code stream were preassigned before coding the bit plane in terms of the subband and the number of coding passes contained in current code block. In the coding process, if the coded bytes greater than/equal to the bytes preassigned the code stream was truncated, i. e. truncating it in real time. Compared with the standard postcoding rate distortion (PCRD) algorithm, the proposed algorithm has no spending in calculating rate distortion slope and searching for optimum truncation points. Code stream truncation could be fulfilled adaptively in codeblock coding. Experiments show that for Lena image under 015 bit per pixel compression, the memory capacity needed and encoding time are only 618 % and 1817 % of PCRD respectively, and the difference of the image quality between them is less than 018 dB. The scheme consumes less resource and greatly increases the encoding speed, so it is also better fitted to VLSI implementation.

Keywords: rate control; postcoding rate distortion optimization; coding pass; truncation point

JPEG2000 的可伸缩传输很大程度上取决于率失真 (PostCoding Rate Distortion, PCRD) 优化算法^[1], 该算法能够在给定的压缩图像存储空间下使最终压缩图像质量最好, 但需要在上下文编码的同时计算码率失真 (RD) 斜率, 在多层压缩率控制时同

tier1 编码一样是整个系统实现的瓶颈^[2]. PCRD 优化算法是基于 tile 块的优化问题, 它需要在 tile 块的所有码块的所有编码通道完成编码后才进行最优分层截断点搜索, 这会造成大量的数据拥塞, 致使整个系统的实时性降低.

收稿日期: 2004 - 03 - 11. 作者简介: 吴宗泽(1975~), 男, 博士生; 郑南宁(联系人), 男, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士. 基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2002AA1Z1440, 2002AA135150); 国家自然科学基金资助项目(60205001); 国家自然科学基金优秀创新研究群体资助项目(60021302); 教育部“十五”211 西安交通大学重点科研项目.

本文提出了一种新算法,它用 JPEG2000 标准压缩率控制计算失真度减小量的小波权值和量化系数^[1],并作为码块之间进行码率分配的权值,同时按照码块包含的通道数进行压缩率分配。

1 压缩率控制算法

1.1 PCRD 优化算法

设给定一个分层截断阈值,对第 i 码块截断之后所产生的失真为 D_i ,则对于整个图像的总失真 $D = \sum D_i$ 。每个码流截断后到的码字长度为 R_i ,则截断后总的码字长度为 $R = \sum R_i$ 。整个压缩率控制模型为

$$\left. \begin{array}{l} \text{目标函数} \quad \min \quad D_i \\ \text{约束条件} \quad R_i \leq R_{\max} \end{array} \right\} \quad (1)$$

式中: R_{\max} 是当前层的压缩存储空间。此模型的含义是:在不超过一个固定的存储空间上,使压缩图像的失真度达到最小。

JPEG2000 协议^[1]用 PCRD 优化算法求解模型(1),并在 JasPer 源程序^[3]中严格采用 PCRD 优化算法进行压缩率控制,在上下文编码的同时计算 RD 斜率,而上下文编码本来就是 JPEG2000 系统的瓶颈,因为在软件上 tier1 要占用 50% 以上的编码时间^[2]。从硬件仿真的实验来看, Tier1 的编码速度比其他模块慢得多,这也是系统的一个瓶颈。因此,省去 RD 斜率的计算以提高 tier1 的编码速度是很有必要的。

PCRD 优化算法是在 tile 块上的一个全局优化过程,它必须要等到整个 tile 块的所有码块的所有通道编码完成后才能进行分层截断点的搜索,这样就需要使用大量的存储器来存储被截断的码流和每个编码通道的 RD 斜率,这会导致整个编码实时性下降。此外,PCRD 优化算法需要进行分层截断点的搜索,这个搜索过程每次都需要遍历整个 tile 块上的每一个编码通道,而且需要经过多次搜索才能完成,在层数很多的情况下,搜索要花费大量的时间。所以,PCRD 优化算法的存储器开销很大,系统实时性差,无论从硬件还是从软件实现角度上讲,很有必要对 JPEG2000 压缩率控制算法进一步优化。

1.2 小波/量化加权系数对图像质量的影响

相对于原有的静态图像压缩标准,采用二维离散小波变换(DWT)是 JPEG2000 最重大的突破之一。众所周知,在小波分解之后,能量向 L 方向集中。更加确切地说,LL 子带的能量比 HL、LH 子带

的能量高,HL、LH 子带的能量比 HH 子带的能量高。这样,两级小波分解的优先级明显依次递减,其顺序为 LL0 HL0 LH0 HH0 HL1 LH1 HH1,更高的小波分解级数优先级顺序与此类似。小波子带的重要性由小波滤波器的 L_2 泛数(小波权值)^[1]来衡量。

通常情况下,经过小波变换后的小波系数是实数,而紧随其后的 tier1 编码都是基于整型的变量,所以必须将小波系数量化成整型类型。量化步长对后面的编码影响很大,量化步长越大,得到的整数部分越小,编码码字数也就越少,所以要用量化步长对这些编码码字进行加权处理。

小波子带的重要性及其量化步长所对应的不同子带,按照 JPEG2000 协议的 RD 斜率的²计算方法^[1],可以算得不同子带的不同加权系数。

1.3 编码通道数与图像质量的关系

小波子带中包含的编码通道数与图像质量的信号噪声峰值比(PSNR)呈近似线性关系^[4],码块包含的通道个数与算术编码码字长度呈近似正比关系^[4],编码通道可以将图像质量与算术编码码字数联系起来,因此用码块的编码通道数来预测、控制最终编码码字数和图像质量,是一种比较好的压缩率控制途径。

2 基于编码通道数的压缩率控制算法

编码通道数以及编码通道所在的子带是决定图像质量的最重要因素。编码通道所在的子带越重要,对图像质量影响就越大,包含码块的编码通道数越多,对压缩图像的质量影响也越大。基于此,提出了一种新的基于小波、量化加权系数和码块编码通道数的 JPEG2000 压缩率控制算法。算法的主要步骤如下。

(1)初始化。根据一些小波分解级数和小波类型,求解每一个子带的码流分配权值 w_j 和总的编码通道数。

根据文献[3]计算的各个子带的小波变换权值,并按公式

$$w_j = \left[\sum_{k=0}^{3r+1} j^k \right] (3r+1)$$

可为小波子带内的码块分配相同的权值 w_j 。其中 w_k 是按文献[3]计算出来的第 k 个小波子带系数对应的加权系数, r 是小波分解级数。

T 是当前 tile 块的所有未编码码块中的所有编

码通道数,即 $T = \sum_{i=0}^{N-1} T_i$, 初始化时它是所有编码通道数,其中的 N 是 tile 块中包含的所有码块数。 T_i 是码块 i 的编码通道数,即 $T_i = 3B_i - 2$, B_i 是第 i 个码块的有效位平面数。

(2) 为当前码块分配编码码字数。首先获取当前编码码块的有效位深度,预测未编码码块的有效位深度,再根据统一的通道码字比例关系式

$$C_i = \frac{R_{\max} T_{i-j}}{T}$$

进行编码通道数的码字分配。其中, C_i 表示给码块 i 分配的字节数(码字数), j 是码块 i 所在的小波子带的加权系数。

(3) 码块编码终止。在预测码块应该编码的码字长度之后,对当前码块进行编码,直到当前码块的编码码字数 R_i 超过或者等于给当前码块分配的码字数 C_i ($R_i > C_i$),或者当前码块编码已完成。

(4) 更新目标码字数 R_{\max} 。将 R_{\max} 减去当前码块 i 已经编码的码字数 R_i 作为新的目标码字数,即 $R_{\max} = R_{\max} - R_i$,而最终目标压缩文件中就包含已经被编码的 R_i 个码字。

(5) 更新编码的总通道数 T 。将总的编码通道数减去当前码块 i 所包含的编码通道数作为新的总编码通道数,即 $T = T - T_i$ 。

(6) 编码终止。 $R_{\max} = 0$ 或者所有码块完全被遍历时,整个 tile 块编码结束,否则返回步骤(2)进行下一码块编码。

将新的压缩率控制算法嵌入到 JPEG2000 编码中,经统计小波变换后的小波系数可获得各个码块的无效位平面,通过小波量化得到小波子带的总位深度,由此获得当前码块的有效位深度。

根据步骤(1)得到总的编码通道数 T ,再依据新的压缩率控制算法得到当前码块分配的码字数 C_i 。若当前码块的编码码字数超过分配的码字数,或者当前码块编码结束时已截断码流,这时码块被截断的部分不必再编码,同时对整个 tier1 编码码块进行复位,准备对下一个码块编码,并更新总的编码通道数 T 和压缩目标码字数 R_{\max} 。

编码码流可直接送给 tier2 编码码块进行打包处理,不必再对该码流进行分层截断,因为不需要计算每个编码通道的 RD 斜率。所以,本算法在编码速度和资源的损耗等性能上要比传统的 JPEG2000 压缩率分配算法更好。

3 实验结果及其分析

本文提出的基于编码通道数、小波和量化加权系数的压缩率控制算法,在位平面编码之前可预测当前码块压缩之后的字节数,在位平面编码的同时可进行压缩率控制。被截断的通道不必再编码,而且也不必搜索基于 RD 斜率的最优分层截断点,从而减少了编码过程的存储器需求,提高了编码速度。

图 1 是 Lena 图像基于本文算法和 PCRD 优化算法(JasPer 1150014^[3])的 PSNR 值比较结果。该图经过两级 53 小波分解, tile 块为 512×512 , 码块为 64×64 , 原始图像为 8 b 单分量灰度图像。从图中结果可以看出,在压缩率不是很低的情况下,即压缩率大于 012 b/像素时,本文算法的图像压缩质量略低于 PCRD 优化算法(只低 018 dB),图像质量比较如图 2 所示。在压缩率较低的情况下(压缩率小于 012 b/像素),本文算法的 PSNR 值比 PCRD 优化算法低 018 ~ 116 dB。在压缩率很低的情况下(压缩率小于 011 b/像素),本文算法的图像质量较差,它的 PSNR 值比 PCRD 优化算法低约 2 dB 左右。自适应压缩率控制算法^[4],其压缩率在 012 ~ 114 b/像素之间的 PSNR 值比 PCRD 优化算法低 115 dB 左右,所以本文算法比自适应压缩率控制算法的图像质量要好。优先扫描压缩率控制算法^[5],其压缩率在 01062 5 ~ 11000 0 b/像素之间的 PSNR 值比 PCRD 优化算法低不到 0135 dB,它比本文算法的图像质量更好。

由于本文算法实现了边编码边截断,被截断后的编码通道就不必进行编码,而且不需要搜索最优分层截断点,所以编码的实时性得到了很大提高,所

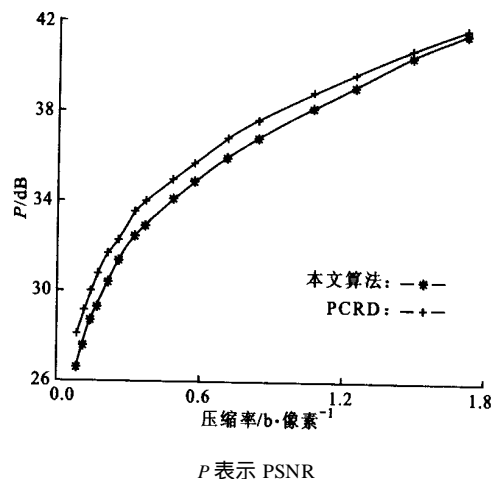


图 1 Lena 实验结果



(a) 本文算法 (b) PCRD 优化算法

图 2 0.15 b/像素压缩率下的图像质量比较

需的存储空间大大节省.图 3 是 Lena 图像在不同压缩率下的算法编码时间和存储器需求比较.从图 3 中可以看出,编码时间和存储器需求随着压缩率的提高而下降,在 0.15 b/像素下,本算法的存储器需求仅为 PCRD 优化算法的 618%,编码时间仅为 PCRD 优化算法的 1817%.存储器需求和编码时间都优于文献[4,5]的算法,其中自适应压缩率控制算法^[4]在 0.15 b/像素下,其编码所需存储器比 PCRD 优化算法减少 87%,优先扫描压缩率控制算法^[5]的编码时间和工作存储器也比 PCRD 优化算法分别减少 71%和 82%.从这两个参数上可以看出,本文算法在计算复杂度和编码所需存储器的性能上都要比文献[4,5]的算法更优越.

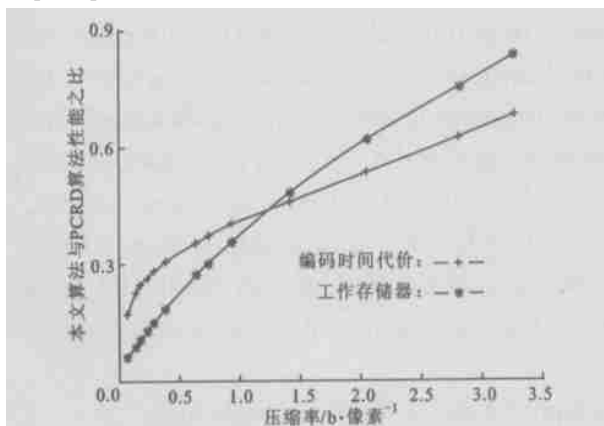


图 3 本文算法与 PCRD 优化算法在存储器需求和编码时间上的比较

对于其他图像,如 airplane、goldhill、woman 等标准的测试图像,也可以得到类似 Lena 图像的结果,由于这些图像细节很丰富,所以其压缩效果跟 Lena 图像类似.对那些细节不太丰富的图像,压缩率可以更高.无论从资源的损耗还是系统的实时性

来看,本文算法的性能比文献[4,5]的算法要好.在图像的质量上,本文算法不如文献[5]的算法,但要比文献[4]的算法好得多,因此本文算法更适合于 VLSI 实现.

4 结 论

本文所提算法有 3 个优势:绕开了编码通道的 RD 斜率计算,从而使 tier1 编码的速度大大提高;实现了在编码的同时进行实时截断,使得被截断部分的编码通道和位平面不必再编码;无需搜索最优分层截断阈值,使整个系统的实时性大大提高,不必再存储被截断的码流和每一个编码通道的 RD 斜率,节省了存储器资源.从大量的实验结果看出:在压缩率不高的情况下,本文算法的图像质量略差于严格的 PCRD 优化算法(JasPer)所得结果;在压缩率很高的情况下,图像质量比严格的 PCRD 优化算法所得结果差,但在这种情况下用 PCRD 优化算法得到的图像质量也相当差.本文算法的这三大优势决定了它所需要的存储器小,实时性高.因此,在压缩率不太低的情况下,我们在准备流片的 JPEG2000 图像压缩 ASIC 芯片中采用该算法进行压缩率控制.

参考文献:

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1890, JPEG2000 part 1: final draft international standard [S].
- [2] Lian C J, Chen K F, Chen H H, et al. Analysis and architecture design of block coding engine for EBCOT in JPEG 2000 [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13 (3): 219 - 230.
- [3] Adams M D. Jasper/JPEG2000 software reference manual, version 1150014 [EB/OL]. <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper/>, 2001 - 12 - 15/2004 - 01 - 10.
- [4] Masuzaki T, Tsutsui H, Izumi T, et al. Adaptive rate control for JPEG2000 image coding in embedded systems [A]. International Conference on Image Processing, Rochester, USA, 2002.
- [5] Yeung Y M, Au O C, Chang A. Efficient rate control technique for JPEG2000 image coding using priority scanning [A]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Baltimore, USA, 2003.

(编辑 苗 凌)