

JPEG2000 实时截断码率控制新算法 及其 VLSI 结构设计

吴宗泽,郑南宁,黄宇,朱悦心,梅魁志,张静

(西安交通大学人工智能与机器人研究所,陕西西安 710049)

摘要: 提出一种实时编码实时截断的码率控制算法. 它根据已分解的小波子带内码块有效位平面数来预测未分解的小波子带内码块有效位平面数,并根据编码通道数和小波/量化权系数为当前编码码块分配码率. 并提出一种 JPEG2000 编码实时截断,两级码率控制的编码体系结构. 第一级采用本文提出的算法实时截断码流和编码通道. 第二级在低码率下采用 JPEG2000 标准的 PCRD 优化算法搜索精确的分层截断点. 在最优分层截断之前多数码流和编码通道被预先截断,存储器损耗小,实时性高. 低码率下,图像质量跟 JPEG2000 标准一致.

关键词: 码率控制; 截断; 编码通道; 有效位平面; VLSI

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 08-1457-04

New Rate Control Algorithm Truncating Real Time for JPEG2000 and Its VLSI Architecture Design

WU Zong-ze, ZHENG Nan-ning, HUANG Yu, ZHU Yue-xin, MEI Kui-zhi, ZHANG Jing

(Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shanxi 710049, China)

Abstract: A new algorithm for JPEG2000 rate control is proposed. Code streams truncation can be fulfilled adaptively in code-block coding. The number of significant bit-planes for the code blocks in the un-analyzed subbands can be predicted using those in the analyzed subbands. Our rate control scheme could allocate the rate for the current code block based on the number of coding passes and the weights of wavelet/quantification. And the VLSI architecture including two steps rate control for JPEG2000 was proposed. Firstly the coding procession is interrupted real time through our scheme. And then code streams are truncated using PCRD optimum algorithm at a low bit-rate. The most code streams and code passes are truncated before searching the optimum truncation points, thus lead to less working memory and higher speed. At low bit-rates, the image quality using our architecture is the same as that using the method JPEG2000 provided.

Key words: rate control; truncation; coding pass; significant bit-plane; VLSI

1 引言

JPEG2000^[1]用 PCRD (Post-Compression Rate Distortion) 优化算法控制码率,它确保在给定的码率下使压缩图像质量最好.但它要在整个 tile 块 tier1 编码后才进行最优分层截断,而在低码率时,绝大多数被截断的码流也被编码,且 Tier1 编码的时间在软件上占 JPEG2000 编码时间的 45 ~ 60 %^[2],增加系统不必要存储损耗,使系统实时性降低. 目前处理这个问题的方法有两类:一类是通过码率失真度斜率 (Rate-Distortion Slope,简称 RD 斜率)衡量是否作为截断的标准,如 PCRD^[1]、Te-Hao Chang 等提出的方法^[3~5];第二类方法是不计算 RD 斜率而控制码率,如 Masuzaki, T 等提出的方法^[6,7],它相对于前一类方法计算复杂度小,资源损耗小,但是码率控制精度不够.

本文提出一种将 JPEG2000 计算失真度减小量的小波权值和量化系数^[1]作为码块间码率分配的权值,并按码

块包含的通道数进行码率分配的算法.为实现流水处理,又提出一种用已分解的小波子带内码块的有效位平面数预测未分解的小波子带内码块的有效位平面数的方法.实验结果表明,算法计算复杂度和资源损耗都比 JPEG2000 标准的 PCRD 优化算法小,实时性更高.针对该算法在低码率下图像质量相对比较差,提出一种两级码率控制的 JPEG2000 编码体系结构.

2 JPEG2000 码率控制算法

第 i 码块的第 n_i 编码通道后的所有截断产生的失真 $D_i^{n_i}$, 整个图像总体失真 $D =$

$D_i^{n_i}$; 码块 i 截断后包含码字数 $R_i^{n_i}$, 截断后总的码字数 $R = R_i^{n_i}$. 整个码率控制模型为:

$$\begin{cases} \text{aim: } \min(D_i^{n_i}) \\ \text{st: } R_i^{n_i} \leq R_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

其中, R_{\max} 是目标压缩存储空间. 式 (1) 相当于在不超过

收稿日期:2004-05-13;修回日期:2005-05-20

基金项目:国家 863 计划资助项目(No. 2002AA103011, No. 2004AA1Z2281);国家自然科学基金(No. 60205001);国家自然科学基金优秀创新群体项目(No. 60021302)

初始化总的编码通道数

$TnumPs$. $TnumPs = numPs_i$, $TnumPs$ 是当前 tile 块的所有未编码码块中所有编码通道数, 初始情况是所有编码通道数; $numPs_i$ 是码块 i 的编码通道数, $numPs_i = numBPs_i \times 3 - 2$, $numBPs_i$ 是第 i 个码块的有效位平面数. 在小波分解一级后, 可直接进行 tier1 编码, 但 LL 子带有待进一步分解, 可用

3.2 算法预测未分解小波子带内码块有效位平面数, 求解出总的编码通道数.

(2) 给当前子带分配码字 先获取当前子带所有码块的有效位平面数并预测未分解子带码块的有效位平面数, 获得子带内的和总的编码通道数 $numSubPs_j$; 按照编码通道数和小波子带权重系数为当前子带分配码字 $Rsub_j$.

$$Rsub_j = R_{max} \times numSubPs_j / TnumPs \times j \quad (7)$$

(3) 为子带内部待编码码块分配码字 在子带内部码块的编码通道数和编码码字数成近似的线性关系, 且变化趋势基本一致^[6], 故在子带内部码块按照编码通道数平均分配码字.

$$Rcb_i^j = Rsub_j \times numCbPs_i^j / numSubPs_j \quad (8)$$

Rcb_i^j 是第 j 子带中第 i 个码块分配的编码字节数, $numCbPs_i^j$ 第 j 子带第 i 个码块的编码通道总数.

(4) 码块编码终止 对当前码块编码, 直到编码码字数 R_i^j Rcb_i^j 或者当前码块编码完成. 若当前子带所有码块编码完成, 到 5 更新目标码字; 否则, 返回 3 编码下一个码块.

(5) 更新目标码字数 R_{max} 将目标码字数 R_{max} 减去子带 j 中所有码块已经编码码字数 R_i^j 作为新的目标码字数.

$$R_{max} = R_{max} - R_i^j \quad (9)$$

(6) 编码终止 $R_{max} <= 0$ 或者所有子带的所有码块完全被遍历时, 整个 tile 编码结束; 否则到 7 更新总的编码通道数.

(7) 更新总的编码通道数 $TnumPs$ 将总的编码通道数减去子带 j 中所有的编码通道数, $TnumPs = TnumPs - numSubPs_j$; 如新完成一级小波分解, 更新新产生的小波子带中码块的有效位平面数, 得到新的 $TnumPs$; 返回 2 编码下一个子带.

4 实时截断 JPEG2000 体系结构设计

根据前面的算法提出一种在编码过程中实时截断码流的 JPEG2000 编码体系结构. 它主要由五大模块组成, DWT、Tier1 编码、码块码率预控制、PCRD 和 Tier2 编码, 如图 3.

DWT 模块用高效并行的流水线处理结构^[9], 它实现行列抽取和行列滤波流水作业. 在小波系数输出时统计每一个码块的有效位平面数送给码块码率预控制模块, 得到每一个码块的编码通道数. 当多级小波分解的时候, 将 LL 子带的小波系数输入进行下一级分解.

Tier1 编码中上下文编码用 Virtical Causal 模式下的快速

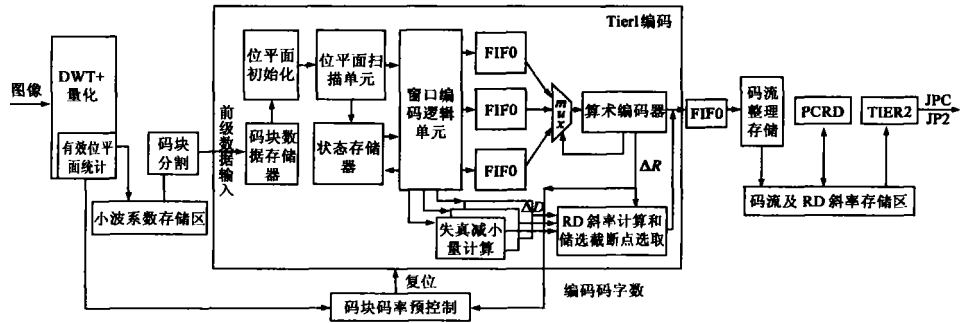


图 3 实时编码实时截断 JPEG2000 体系结构设计

算法; 算术编码采用编码通道结束和初始化概率表的流水线算术编码结构. Virtical Causal 模式下的快速算法采用一个 3×5 的窗口逻辑使重要性传播通道、幅度细化通道和清除通道并行扫描, 能一个时钟产生一个上下文, 故用三个 FIFO 分别存储三个编码通道的上下文和数据. 算术编码也能一个时钟产生一个算术编码, 采用一个算术编码器对三个 FIFO 的上下文和数据进行编码. 第二级码率控制采用 PCRD 优化算法进行精确分层截断点搜索. 在上下文三个编码通道并行扫描同时计算用三个编码通道的失真度减小量 D . 在一个通道算术编码结束后得到当前通道的编码字节数 R , 然后计算出当前编码通道的 RD 斜率, 同时进行候选截断点选取.

码块码率预控制用实时截断的码率控制算法为当前编码码块分配合适的压缩码字, 同时控制编码压缩过程. 当编码码字数超过分配的码字数或码块编码结束时终止当前码块编码, 并复位 tier1 编码和让码块分割模块准备送下一个码块.

PCRD 模块为保证在低码率的情况下图像质量最优对码块码率预控制模块截断后的码流进行精确截断点的搜索. 在高码率下, 码块码率预控制能够保持较好的图像质量, 只采用码率预控制, 而不进行最优分层截断点搜索和 RD 斜率的计算.

Tier2 编码将码流以包的形式组织成 JPEG2000 压缩文件.

本结构的优势在于: 采用三个通道并行提高 tier1 编码的速度; 码块码流预控制可以对码流进行预先截断, 减少系统的存储资源和编码时间; 在低码率下, 对码流进行最优分层截断, 保证码流的图像质量最优. 本结构实时性高, 资源损耗小, 适合 VLSI 实现.

5 实验结果及其分析

在 Jasper^[10] 程序中嵌入本文的码率控制算法, 预先为当前码块压缩分配压缩码字数, 在编码过程中实时截断码流.

对 goldhill 图像经过两级 $5/3$ 小波分解, tile 块 512×512 , 码块 64×64 , 分别采用本文码率控制算法和 PCRD 优化算法 (JasPer 1.500.4^[10]) 压缩, 三个分量 PSNR 比较如图 4 所示. 本文提出的码率

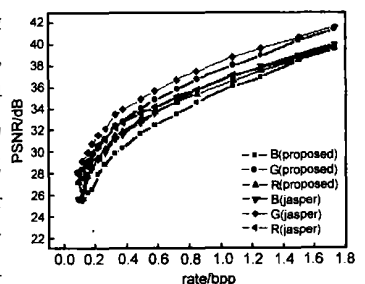


图 4 Goldhill 三分量 PSNR 比较

控制算法压缩图像质量在码率不是很低的情况下 ($> 0.5\text{bpp}$) 相对于 JPEG2000 的 PCRD 优化算法略低 (0.8db), 通过肉眼难以分辨出图像质量的差别 (图 5 所示). 在低码率下, 比 PCRD 优化算法压缩图像质量差别较大 (2db 左右), 肉眼能够看出图像间有明显的差别.

本文码率控制算法能边编码边截断, 截断后的通道和位平面不必再编码, 且不需搜索最优分层截断点, 大大提高编码实时性, 大大节省所需要存储器. 图 6 是在不同的码率下用本文码率控制算法和 PCRD 优化算法压缩 goldhill 图像分别用的编码时间和存储器的百分比. 编码时间和存储器的消耗随着码率降低而下降, 码率为 0.5bpp 时, 存储器消耗仅为 PCRD 优化算法的 6.8%, 编码时间仅仅为 PCRD 优化算法的 18.7%.

在低码率下单纯用本文码率控制算法压缩图像质量相对较差, 本文提出一种本算法与 PCRD 优化算法的折中的编码体系结构, 如图 3. 当码率小于 0.5bpp 时, 采用图 3 编码体系结构, 首先做码率为 0.75bpp 预控制, 预先截断多数不需要的码流, 然后用 PCRD 优化算法最优分层截断.

由于先预截断后 PCRD 最优分层截断, 在小于 0.5bpp 时, goldhill 的三个分量的 PSNR 值基本相同, 在接近 0.5bpp 时 PSNR 值差 $0.01 \sim 0.05\text{db}$, 如图 7 所示. 但 VLSI 实现 JPEG2000 时, 如码率小于 0.5bpp 时, 采用本文提出的编码体系结构, 可以在存储资源上减少为原来的 9.2%, 编码速度提高 4 倍, 而图像质量与 PCRD 一致.

6 结论

本文提出一种带预测子带内码块有效位平面数的码率控制算法, 它根据已知的小波子带的有效位平面数预测未知的小波子带的有效位平面数, 从而得到整个 tile 块的总编码通道数, 并根据编码通道数和小波/量化权值为当前编码码块分配目标码字数. 在编码过程中对码流实时截断, 编码速度高和存储器使用少, 适于 VLSI 实现. 根据此算法提出实时



图 5 码率在 0.5bpp 下图像质量比较

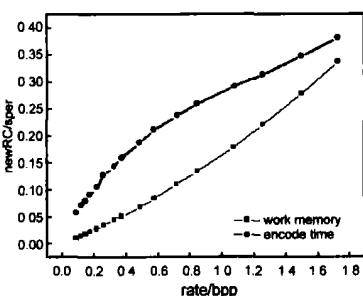


图 6 新的码率控制算法相对于 PCRD 优化算法存储器和编码时间的比较

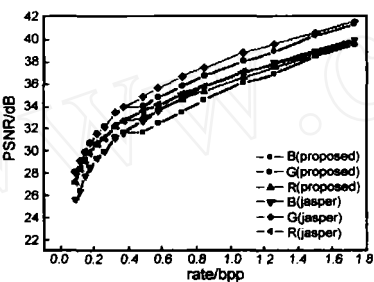


图 7 本文提出的编码结构和 jasper 图像质量比较

编码实时截断的 JPEG2000 编码体系结构. 在编码过程中采用 Virtual Causal 模式的快速算法进行上下文编码, 同时用通道编码方式和初始化概率表的方式进行同步流水算法编码. 它使编码的速度比普通模式下的编码提高 2 倍, 且被截断的码流不必再编码, 对一个 tile 的编码速度随码率降低而提高. 为了在低码率下保持良好压缩性能, 先用本文算法预先截断多数不需要的码流, 然后用 PCRD 优化算法进行精确码率控制, 在低码率下图像质量与 PCRD 优化算法结果一致. 这种结构实时编码实时截断码流, 实时性高, 资源损耗小.

参考文献:

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1890. JPEG2000 part I final draft international standard[S]. 2000.
- [2] Kuan-fu Chen, Chung-Jr Lian etc. Analysis and Architecture Design of EBCOT for JPEG2000[A]. IEEE ISCAS 2001[C]. Sydney, Australia, 2001. II-765-II-768.
- [3] Te-Hao Chang, Li-Lin Chen, Chung-Jr Lian, Hong-Hui Chen, Liang-Gee Chen. Computation reduction technique for lossy JPEG2000 encoding through EBCOT Tier-2 feedback processing[A]. IEEE ICIP 2002[C]. Rochester, USA, 2002. III-85-III-88.
- [4] Te-Hao Chang, Chung-Jr Lian, Hong-Hui Chen, Jing-Ying Chang, Liang-Gee Chen. Effective hardware-oriented technique for the rate control of JPEG2000 encoding[A]. London: IEEE ISCAS 2003[C]. Bangkok, Thailand, 2003. II-684-II-687.
- [5] Yeung Y M, Au O C, Chang A. Successive bit-plane rate allocation technique for jpeg2000 image coding[A]. IEEE ICASSP 2003[C]. Hong Kong, 2003. III-261-III-264.
- [6] Masuzaki T, Tsutsui H, Izumi T, Onoye T, Nakamura Y. Adaptive rate control for JPEG2000 image coding in embedded systems[A]. IEEE ICIP 2002[C]. Rochester, USA, 2002. III-77-III-80.
- [7] Yeung Y M, Au O C, Chang A. Efficient rate control technique for JPEG2000 image coding using priority scanning[A]. IEEE ICME 2003[C]. Baltimore, USA, 2003. III-277-III-280.
- [8] Heng-Ming Tai, Men Long, Su Yang. New results on rate control in JPEG2000[A]. WAC 2002[C]. Orlando, USA, 2002. 13:351-355.
- [9] 兰旭光, 郑南宁, 吴勇, 刘跃虎, 刘在德, 梅魁志. JPEG2000 二维离散小波变换高效并行的 VLSI 结构设计[J]. 西安交通大学学报(自然科学版), 2004, 38(2): 149-153.
- [10] Adams M D. JasPer/JPEG2000 software reference manual version 1. 500.4[EB/OL]. <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper/>.

作者简介:



吴宗泽 男, 1975 年出生于重庆, 西安交通大学人工智能与机器人研究所博士研究生, 研究方向: 数字图像处理、图像视频压缩、VLSI 设计, 获 2003 年度微软亚洲研究院“微软学者”. E-mail: ggwu@aiar.xjtu.edu.cn.

郑南宁 男, 1952 年出生于南京, 中国工程院院士, 西安交通大学教授, 长期从事计算机视觉、模式识别、数字视频、信号处理、神经网络等方面的研究工作, 发表学术论文百余篇, 专著数部.