

H. 264 帧内编码和 JPEG2000 对 静止图像进行编码的性能比较

杨春玲 孙亚明 麦智毅 旷开智 谢胜利

(华南理工大学电信学院, 广州 510640)

摘要 国际最新静止图像压缩标准——JPEG2000 代表了离散小波变换(DWT)编码的最高水平,最新的视频压缩编码标准——H. 264 代表了离散余弦变换(DCT)编码的最高水平。由于 H. 264 的帧内编码采用了一些新方法,如帧内空间预测、不同大小块的 DCT 变换等,使得 H. 264 帧内编码效率高于其他的 DCT 变换编码方法,因此可以认为,H. 264 的帧内编码代表了 DCT 变换的最高静止图像编码水平。大量的仿真实验比较发现,H. 264 的帧内编码方法比 JPEG2000 的编码效率高。据此可以预测,基于帧内空间预测和不同大小块 DCT 变换的 H. 264 帧内编码方法具有成为下一代静止图像压缩标准的潜能。

关键词 JPEG2000 H. 264 离散余弦变换 离散小波变换 静止图像压缩编码

中图分类号: TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)03-0425-05

Performance Comparison of H. 264/AVC I-Frame Encoder and JPEG2000 on Still Image Compression

YANG Chun-ling, SUN Ya-ming, MAI Zhi-yi, KUANG Kai-zhi, XIE Sheng-li

(College of Electronic and information engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

Abstract JPEG2000 stands for the state-of-the-art of still image coding based on discrete wavelet transform(DWT), and H. 264/AVC stands for the state-of-the-art of video coding based on variable block sizes discrete cosine transform(DCT). In addition, the H. 264/AVC I-frame encoder (H. 264-IFE) adopted several advanced techniques, such as directional spatial prediction, variable and hierarchical block transform etc, which improve its coding efficiency significantly. Basically, H. 264-IFE is also the state-of-the-art of still image compression algorithm based on block transform. In this paper, a performance evaluation between H. 264-IFE and JPEG2000 in terms of PSNR is presented. The experimental results show that H. 264-IFE achieves better reconstructed image quality than JPEG2000. These results demonstrated the H. 264-IFE's advanced techniques such as directional spatial prediction and variable block-size DCT coding are potential methods for developing next generation still image coding standard.

Keywords JPEG2000, H. 264, discrete cosine transform (DCT), discrete wavelet transform (DWT), still image compression and coding

1 引言

图像通过一些好的变换算法,不仅可在变换域达到高度去相关,而且可使能量更加集中,这些优良

的性能有利于提高图像的压缩效率。目前变换域编码已成为静止图像和视频压缩的主流方法。离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)最先被国际静止图像压缩标准 JPEG 和国际视频压缩标准 MPEG-1/2, H. 261/263 所采用。嵌入式零树小波

基金项目:国家自然科学基金项目(60402015);国家杰出青年科学基金项目(60325310)

收稿日期:2005-02-23; **改回日期:**2005-05-09

第一作者简介:杨春玲(1970~),女,1991年获郑州大学学士学位,1999年获南京理工大学博士学位,现为华南理工大学副研究员。研究方向为图像/视频编解码。E-mail: eeclyang@scut.edu.cn

编码 (embedded zerotree wavelet coding, EZW)^[1] 及等级树集分割编码 (set partitioning in hierarchical trees, SPIHT)^[2] 的提出,表明小波变换域编码具有较高的压缩性能,因此在小波域对静止图像及视频进行编码方法的研究受到了国内外学者的重视,并有不少学者发表了大量关于 DCT 变换和 DWT (discrete wavelet transform) 变换的图像/视频编码性能比较的文章,其中最具有代表性的文献发表于 1999 年 IEEE 汇刊上^[3],文中通过大量的仿真实验说明,基于当时的编码技术水平,对于静止图像,DWT 变换编码效率高于 DCT 变换编码,而两种变换的视频编码效率基本相同。由于小波变换编码具有优良性能,因而在 1999 年,基于 DWT 变换的零树小波编码首先被国际压缩标准 MPEG-4 采用,并用于对纹理图像的编码中^[4]。在 2000 年,最好的 DWT 变换编码方法——EBCOT (embedded block coding with optimal truncation) 被国际静止图像压缩标准所采用^[5],成为了新一代国际静止图像压缩标准 JPEG2000 的核心算法。JPEG2000 比以往的静止图像编码标准,如 JPEG、JPEG-LS、MPEG-4 的纹理编码有更高的编码效率^[6],到目前为止, JPEG2000 被认为是基于 DWT 变换的性能最优的静止图像编码方法。2003 年,国际最新的视频压缩标准 H. 264 提了出来^[7],它是基于类似 DCT 变换的编码方法。由于在 H. 264 中引入了几种新的编码技术,如帧内空间预测、不同大小块的 DCT 变换 (4×4 或 8×8)、自适应算术编码、多帧运动估计、后滤波等,从而使得它的编码效率比以往的视频压缩标准,如 MPEG-2 提高了 50% 左右^[8]。目前 H. 264 已是基于 DCT 变换的最好的编码方法,同时已有较多的文献对 H. 264 编码和以前的视频压缩标准的编码效率^[9]进行了比较,但对 H. 264 帧内编码方法和 JPEG2000 的比较方面的研究工作仍较少,只在 2004 年召开的 IEEE 图像处理国际会议上有一篇文章对这方面有一个初步的研究^[10],但这篇文章的研究还是基于 H. 264 的开放代码 JM73 及 JPEG2000 的开放代码 Jasper 程序的。目前, H. 264 的开放代码已推出了新的版本,最新的是 JM92^[11],而且在 JM92 中又加入了一些新技术,如在 JM73 中,帧内预测只有 16×16 和 4×4 两种预测类型,而在 JM92 中,则增加了 8×8 的预测类型,并且 Jasper 程序的编码效率并不代表 EBCOT 的最高编码效率,而由 EBCOT 的提出者 Taubman 所编写的程序 Kakadu2.2 则比 Jasper 程

序的编码效率高很多。笔者认为,把最新的和最好的结果放在一起比较才最有意义,因此本文基于 H. 264 的最新开放源程序 JM92 和 JPEG2000 的最优源程序 Kakadu 2.2^[12],对 H. 264 和 JPEG2000 的编码效率进行了大量的实验比较。

2 JPEG2000 核心算法介绍

已有很多文献介绍过 JPEG2000,在这里只是简单地回顾一下 JPEG2000 核心算法的编码过程,其编码过程如下:

- (1) 对图像进行 DWT 变换;
- (2) 将每一个子带分成小的编码块;
- (3) 对每一个编码块进行嵌入式码平面编码,而每一个码平面编码又分为重要性传播、细化、和清零等 3 个过程。这 3 个过程的编码符号用基于上下文的二进制算术编码进行熵编码,而对每一个编码块独立进行的嵌入式编码又称为第 1 层 (T_1) 编码;
- (4) 将每个编码块的嵌入式码流按要求重组,称为第 2 层 (T_2) 编码。

JPEG2000 在提供较好的编码效率的同时,还可实现多分辨率表示、嵌入式编码、随机介入、多种文件格式等几个功能。

3 H. 264 帧内预测编码

H. 264 是最新的国际视频压缩标准,当然它的帧内编码模式也一样可用于对静止图像的压缩。另外,在 H. 264 的帧内编码中,还采用了几个新方法,如帧内空间预测、不同大小块的 DCT 变换、整数 DCT 变换、自适应算术编码、后滤波等,但研究发现,空间域的帧内预测和优良的块变换方法是对编码性能影响最大的两种技术,因此本文简要介绍这两种新技术。

3.1 帧内空间预测

和以前的国际视频压缩标准 H. 261/263 及 MPEG-1/2/4 相比,帧内空间预测是 H. 264 帧内编码的一个新技术。帧内空间预测是指利用当前块的上边像素和 (或) 左边像素来对当前块的灰度值进行预测的技术。在 JM92 中,有 4×4 、 8×8 和 16×16 等 3 种预测类型,而 4×4 这种预测类型又有 9 种预测模式,图 1 中给出了产生 4×4 预测类型的像素及除模式 2 外的其他 8 种预测模式,而模式 2 是

均值预测模式,它是用当前块的上边及(或)左边像素的灰度值的均值来作为当前块每个像素的预测值。 8×8 预测类型的预测模式也有9种,并和 4×4 的预测模式完全相同。 16×16 预测类型有4种预测模式(表1)。 16×16 预测类型较适合于预测平滑块,而 4×4 预测类型则较适合于预测细节块。在编码过程中,先对每一个编码宏块按给定的率失真函数找到最好的预测模式,并用该最优模式对当前宏块进行预测,然后再对残差信号进行DCT变换编码。由于这种空间预测方式可以减少像素间的相关性,从而可提高编码效率。

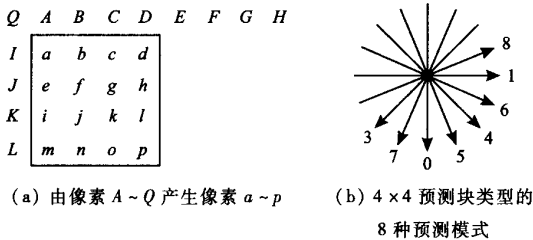


图1 4×4 块预测方法

Fig. 1 Prediction method for 4×4 block

表1 16×16 块的 4 种预测模式

Tab.1 4 prediction modes for 16×16 block

模式0	模式1	模式2	模式3
垂直预测模式	水平预测模式	均值预测模式	Plane 预测模式

3.2 优良的块变换

在 H. 264 视频压缩编码标准中,块预测后的残差块的 DCT 变换和以前的国际压缩标准中的 8×8 DCT 变换不相同,它采用了以下一些较优的变换技术:

(1) 不同大小块的 DCT 变换

在 H. 264 视频压缩编码标准中,对于残差块可采用 8×8 的 DCT 变换,也可采用 4×4 的 DCT 变换,而小块的 DCT 变换则可减少块效应。

(2) 多级变换

对于较平滑的宏块,由于每个 4×4 块 DCT 变换后的 DC 系数(直流分量)有较强的相关性,因此这些 DC 系数可先组合成一个 4×4 块,然后对它再一次进行 DCT 变换,这就是多级变换。对于较平坦块,这种多级变换可提高编码效率。

(3) 整数及可逆变换

在 H. 264 中,DCT 变换及逆变换,都是整数变

换,这样不仅可大大的减少计算量,而且峰值信噪比只降低了 0.02dB。

当然,在 H. 264 帧内编码中还采用了其他的一些新技术,如自适应算术编码、后滤波等,但空间预测及优良的变换技术是使 H. 264 帧内编码有较高编码效率的关键。

4 H. 264 帧内编码和 JPEG2000 对静止图像编码性能比较

4.1 测试图像和测试条件

为了较好地比较 JPEG2000 和 H. 264 帧内编码方法的编码性能,本文只对灰度图像进行了实验,并选择了 12 幅在图像压缩中常用的不同分辨率的图像作为测试图像,各图像及其分辨率见表 2。

表2 测试图像的大小及小波变换级数

Tab.2 The size of test images and the DWT levels

图像分辨率	图像名称	小波分解级数
1024 × 1024	Pentagon, Man	6
512 × 512	Airplane, Baboon, Barbara, Lena	5
768 × 512	House	5
352 × 288	Children	4
176 × 144	Salesman, Foreman, Apple, Claire	3

所用到的源代码程序有:

(1) H. 264: 最新的 JVT 参考源代码程序 JM92^[11];

(2) JPEG2000 的 Kakadu2.2 源程序^[12]: JPEG2000 的核心算法 EBCOT 的提出者 Daubman 所编码写的程序。在实验中,小波变换用 9/7 小波基,对不同分辨率图像采用不同级数的小波分解,各图像的分解级数见表 2;

(3) JPEG2000 的 Jasper-1.701.0 源程序^[13]:本文中给出了 Jasper 源代码程序所得结果,主要是为了说明 Kakadu2.2 和 Jasper 两个程序编码效率的不同。实验中,该程序的实验条件和 Kakadu2.2 的完全相同。

4.2 实验结果及分析

本文给出了 12 幅不同分辨率图像的仿真结果,分别如图 2(a) ~ 图 2(1) 所示。从图中可看出, JPEG2000 的两个源代码程序编码效率差别很大,

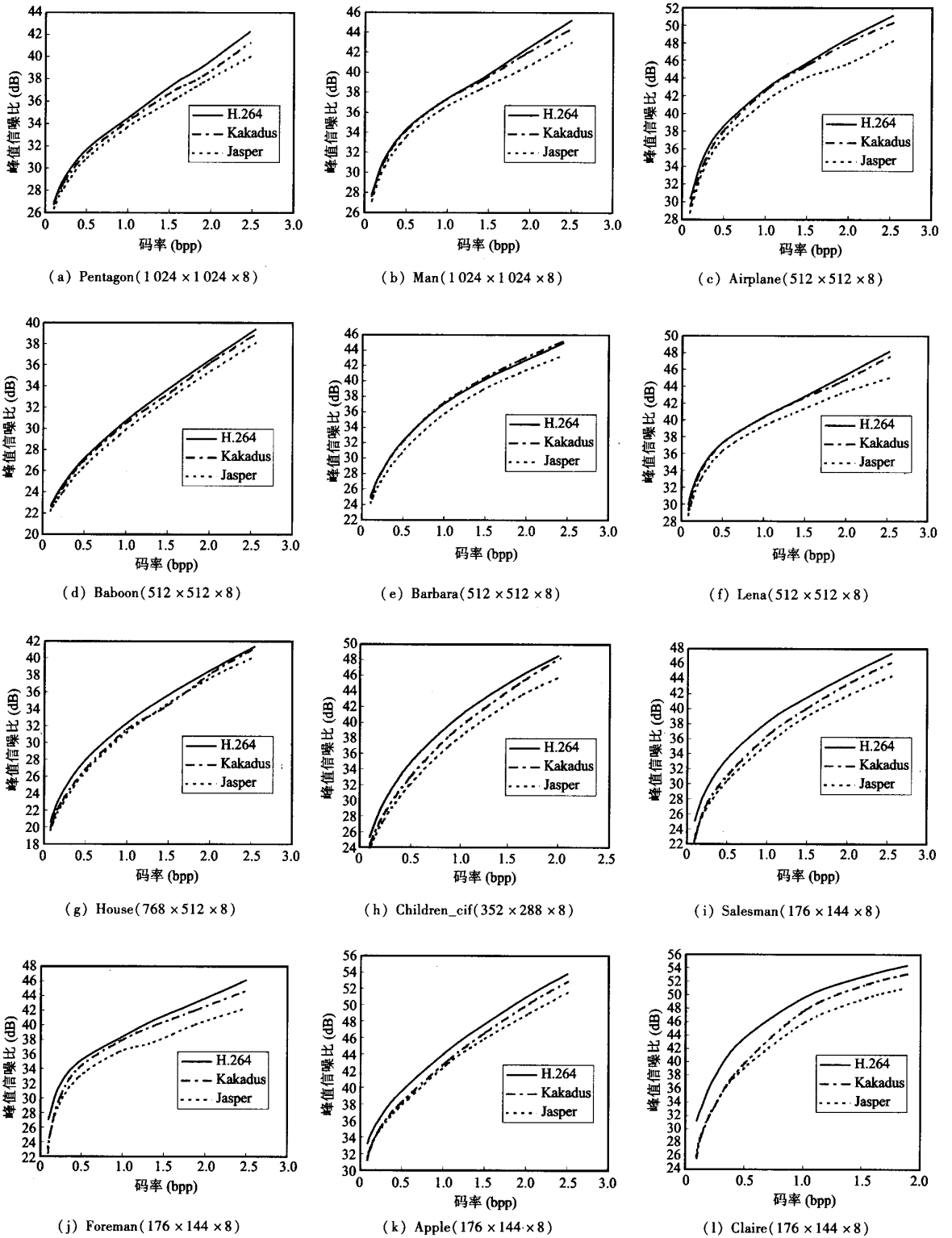


图 2 H.264 和 JPEG2000 的编码性能比较

Fig.2 Performance comparison between H.264-IFE and JPEG2000

Kakadu2.2 要比 Jasper1.701.0 的编码性能好很多,特别是随着码率的增加,这种差别越来越大,最大可达到 2.4dB,但这个比较不是本文的重点,本文的重点是为了比较 H.264 的帧内编码和 JPEG2000 的编码性能,在下文中提到的 JPEG2000,若无特别说明,指的都是 Kakadu2.2 源代码的编码性能。

由图 2 可以清楚地看到,H.264 帧内编码方法的编码性能要好于 JPEG2000 的编码性能,且对于低分辨率图像,这种差别尤其明显。对于高分辨率图像(如 1024×1024 或 512×512),当码率相同时,峰值信噪比(peak signal noise ratio, PSNR)的差别基本小于 1dB,对于低分辨率图像,如 176×144 大小的图像,相同码率时,峰值信噪比的差别基本大于 1dB,最大差别可达到 5.54dB。这是因为 H.264 的帧内编码中采用的新技术,如帧内空间预测、优良的块变换、自适应算术编码及后滤波等,使 H.264 的帧内编码具有较高的效率。当用 JPEG2000 对图像进行编码时,对于低分辨率图像,由于小波系数能量的集中程度不太高,从而影响了 JPEG2000 的编码性能。这是两种编码方法对低分辨率图像的编码效率差别大的原因。

5 结论

H.264 帧内编码和用 JPEG2000 进行的大量压缩仿真实验结果比较表明,对于静止图像,H.264 帧内编码比 JPEG2000 的编码性能要好。这是因为 H.264 帧内编码采用了一些较好的技术,特别是帧内空间预测、支持不同大小块的变换及自适应算术编码等,但其中空间预测、优良的块变换这两项在 H.264 帧内编码中表现良好的技术不可能移植到 DWT 变换编码中。从 H.264 编码的优越性可以预测,H.264 帧内编码算法具有发展为下一个新的静止图像编码标准的可能。

参考文献 (References)

1 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet

- coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445 ~ 3462.
- 2 Said A, Pearlman W A. A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243 ~ 250.
- 3 XIONG Zi-xiang, Ramchandran K, Orchard M T, et al. A comparative study of DCT-and wavelet-based image coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(5): 692 ~ 695.
- 4 ISO/IEC. Information technology-coding of audio-visual object—part 2: visual [S], 14496-2, ISO/IEC, December 1999.
- 5 ITU-T Recommendation. JPEG2000 image coding system: core coding system (JPEG2000 Part 1) [S], T. 800 and ISO/IEC 15444-1, ISO/IEC, 2000.
- 6 Santa-Cruz D, Grosbois R, Ebrahimi T. JPEG2000 performance evaluation and assessment [J]. Signal Processing: Image Communication, 2002, 17(1): 113 ~ 130.
- 7 Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC T. Draft ITU-T Recommendation and final draft international standard of joint video specification [S]. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC, ISO/IEC & ITU-T, JVT-G050, March 2003.
- 8 Wiegand Thomas, Sullivan Gary J, Bjontegaard Gisle, et al. Overview of the H.264/AVC video coding standard [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, July 2003, 13(7): 560 ~ 576.
- 9 Wiegand Thomas, Schwarz Heiko, Joch Anthony, et al. Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 688 ~ 703.
- 10 Aravind A L, Bindu P Rao, Sudhir S Kudva, et al. Quality and complexity comparison of H.264 intra mode with JPEG2000 and JPEG [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Sigapore, Oct. 24-27, 2004: 525 ~ 528.
- 11 JVT参考源代码程序 JM92 [EB/OL]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>.
- 12 Taubman David. Kakadu2.2 源程序 [EB/OL]. <http://www.kakadusoftware.com/>.
- 13 Adams Michael D. Jasper-1.701.0 源程序 [EB/OL]. <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper/>.