基于重要性权值的自适应率控制算法

庄怀宇[1],李云松[1],吴成柯[1],李 英[2]
(1. 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室,陕西西安 710071;2. 陕西移动数据中心,陕西西安 710065)

摘 要: 针对优化截取内嵌块编码提出一种基于重要性权值的自适应率控制算法. 对所有编码过程根据其所在的比特平面和编码类型赋予不同的重要性权值,由高到低依次进行 T1 编码. T2 编码器由已编码比特率自适应地反馈控制编码深度,完成优化截取. 实验结果表明:本方法有效地减少了计算量和存储量,易于硬件实现.

关键词: 图像压缩; 内嵌块编码; 重要性权值; 率失真优化
中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 0372-2112 (2005) 10-1863-04

An Adaptive Rate Control Algorithm Based on Significant Priority

ZHUANG Huai-Yu[1], LI Yun-Song[1], WU Cheng-Ke[1], LI Ying[2]
(1. *National Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an, Shannxi* 710071, *China*;
2. *Data Center of Shannxi Mobile, Xi'an, Shannxi* 710065, *China*)

Abstract: An adaptive rate control algorithm based on significant priority is presented for embedded block coding with optimized truncation. The coding passes of all coding block are evaluated by different significant priority according to the bit-planes the pass located in and the coding type, which are encoded by T1 encoder in the significant priority order. T2 encoder sends feedback to control the coding depth by the accumulated bit rate and complete the rate-distortion optimization truncation. The experimental results show that the proposed scheme can efficiently reduce the cost of computation and memory usage, which is suitable for hardware implementation.

Key words: image compression; embedded block coding; significant priority; rate distortion optimization

1 引言

伴随着多媒体技术和网络技术的飞速发展,以及两者相互融合,人们对网络多媒体(图像、视频等)质量上提出了更高的要求. 如何适时传输高质量多媒体成为人们日益关注的课题,高效的压缩编码是解决这一问题的有效方法. 在数字图像压缩领域中,JPEG 委员会的专家们制订出了新的图像压缩国际标准 JPEG2000[1~3]. 核心算法为 EBCOT(Embedded Block Coding with Optimized Truncation)的 JPEG2000 基本系统结构框图[2]如图 1 所示:

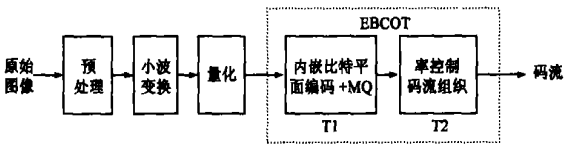


图 1 JPEG2000 的基本结构框图

在 JPEG2000 编码中,T_1 编码器很大一部分计算量和存储量对于最终码流来说是冗余的,且编码时间长. 此外,对同一幅图像来说无论比特率是多少(例如 1bpp 或 0.125bpp),整个编码的复杂度和所需时间也相差无几. 在实际工程中,缩短编码时间,减少存储器用量,是迫切需要的. 许多学者在这些方面做出了大量的研究工作,提出了一些算法[4~8]从不同程度上提高编码效率. 如 Y. M. Yeung 提出了 PS(Priority Scan)算法[7],但其算法的优越性是建立在假设所有码块的率失真斜率是严格单调下降的前提下,而这个前提在实际的 JPEG2000 编码中是基本不存在的. 本文根据比特平面编码的特性,结合图像压缩编码的实际工程要求,提出了一种基于重要性权值(Significant Priority)和反馈控制(Feedback Control)的自适应率控制算法(SPFC). 实验结果表明:本方法在保持图像质量和不改变解码器的前提下,有效地减少了 EBCOT 算法的计算量和存储器用量,提高了编码器的效率,易于硬件实现.

2 EBCOT 算法分析

2.1 比特平面编码

令 $B_i(i=1,2,\cdots)$ 表示为小波变换后,各小波子带划分的独立进行 T_1 编码的码块,M_i 为比特平面个数,在 B_i 中,对比特平面 p 编码时,按下列三个编码步骤(Pass 或者 Sub-bitplane)顺序进行编码:

收稿日期:2004-12-08; 修回日期:2005-04-29
基金项目:"十五"军事通信技术预研项目(No. 410010302)、国防科技预研基金(No. J20121DZ01)、高交时高光谱遥感图像压缩技术研究(No. 708233)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

重要性传播(Significance Propagation Pass)

幅值细化(Magnitude Refinement Pass)

清理更新(Cleanup Pass).

令 $P_i^{p,1}$, $P_i^{p,2}$ 和 $P_i^{p,3}$ 是码块 B_i 在比特平面 p 时三个步骤的编码信息,图 2 所示了比特平面编码的流程. 其中比特平面 $M_i - 1$ 时所有状态变量为 0,所以只进行清理更新.

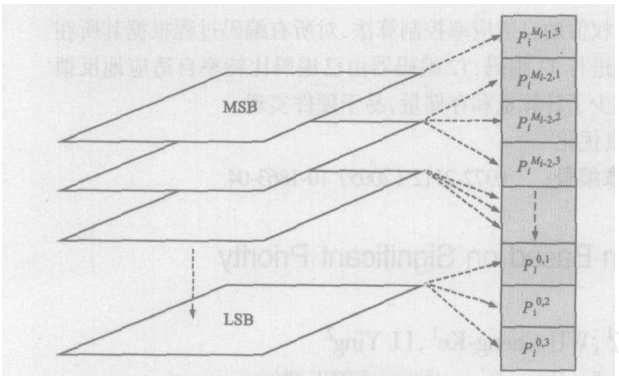


图 2 比特平面编码步骤

2.2 率失真优化算法

T_1 编码器产生的内嵌比特流,利用率失真优化截取算法[1,3]可以获得最优的压缩性能. 设在限定码率为 R_{max} 的情况下,设码块 B_i 在 T_1 部分产生的内嵌比特流的码率截止到 $R_i^{n_i}$, n_i 是某个截取点,则图像总的码率为:

$$R = \sum_i R_i^{n_i} \tag{1}$$

设码块 B_i 的系数在恢复图像中产生的失真为 $D_i^{n_i}$ 且失真是加性的[1],整幅图像的失真大小 D 为:

$$D = \sum_i D_i^{n_i} \tag{2}$$

现在需要找到一组 n_i,使得在满足 $R \leq R_{max}$ 时 D 最小. 解决这种条件极值问题可以通过 Lagrange 算法,因此问题等价于使下式最小化:

$$\sum_i (R_i^{n_i} + \lambda D_i^{n_i}) \tag{3}$$

其中调整 λ 直到产生一组截取点使得上式在满足 $R \leq R_{max}$ 时最小. 上式最小化问题可以归结为单个码块的最小化问题. 即对于码块 B_i 找到截取点 n_i,使得 $(R_i^{n_i} + \lambda D_i^{n_i})$ 最小. 查找算法[1]如下:

(1) 令 $n_i = 0$(即没有比特流),对于 $k = 1, 2, 3, \cdots$;

(2) 计算 $\Delta R_i^k = R_i^k - R_i^{n_i}$, $\Delta D_i^k = D_i^{n_i} - D_i^k$;

(3) 若 $\Delta D / \Delta R > \lambda^{-1}$,则 $n_i = k$.

由于这个算法要对不同的进行查找,因此可以首先剔除一些奇异点,选出一些候选截取点 n_i,其率失真斜率 $S_i^k = \Delta D_i^k / \Delta R_i^k$ 是随着 k 严格单调减的,即率失真曲线为严格凹函数,如图 3 所示. 确定候选截取点算法[1]如下:

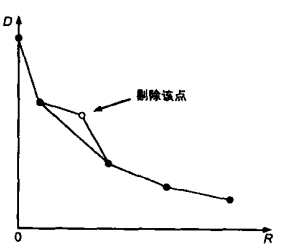


图 3 剔除奇异点

(1) 令 $n_i = \{n\}$, $n \in N$,即所有 Pass 的截止点;

(2) 令 $p = 0$;

(3) 对于 $\forall k$, $k \in n_i$,

计算 $\Delta R_i^k = R_i^k - R_i^p$, $\Delta D_i^k = D_i^p - D_i^k$, $S_i^k = \Delta D_i^k / \Delta R_i^k$;

若 $p \neq 0$ 且 $S_i^k > S_i^p$,则从 n_i 剔除 p 并返回(2);否则,令 $p = k$.

3 基于重要性权值和反馈控制(SPFC)的自适应率控制算法

由上述的优化率失真截取算法不难看出:T_2 编码器在对率失真斜率优化截取时,必须得知所有 Pass 的率 ΔR_i^k 和它们对失真减少量的贡献 ΔD_i^k,即要求 T_1 编码器须对所有 Pass 编码,并存储每个 Pass 的编码数据和相关信息. 显然,其中的大部分编码数据并未包含在最终压缩码流中,尤其是在小的比特率的情况下,可见 T_1 编码器的大部分计算量和存储器使用量浪费在对最终压缩码流无用的数据上. 为提高效率,对于一定的比特率,T_1 编码器没有必要对所有的 Pass 编码,只要能在 T_1 编码的过程中根据不同的比特率自适应确定一个合适编码深度,在这个深度内保证每个码块率失真斜率曲线是严格单调下降的,再进行截取点选择,即可基本达到 JPEG2000 标准的压缩效果.

现在问题就转化为,如何在不知道真正的率失真斜率的条件下,预测率失真斜率曲线,确定一个合适的编码深度. 从图像编码理论上说,比特平面越高,其所含信息的重要性越高,反映在实际编码中,比特平面高的 Pass 比比特平面低的 Pass 的率失真斜率大,在同一比特平面内,较早编码的 Pass 比晚编码的 Pass 的率失真斜率大(个别的奇异点除外),率失真曲线基本呈下降趋势. 此外,斜率在选择截取点时仅进行比较运算,也就是说斜率的真实值并不重要,重要的是所用斜率之间的大小关系,这也是我们可以对其预测的前提. 由以上分析,我们提出了基于重要性权值和反馈控制(SPFC)的自适应率控制算法,算法的系统框图如图 4 所示.

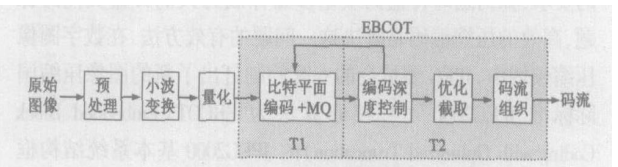


图 4 本文算法的系统框图

本文算法具体描述如下:

Step1:初始化,即给每个码块的每个 Pass P_i^j,赋重要性权值 P_i^j, P_i^j 由式(4)可得:

$$\begin{aligned} &P_i^j = 3 * bp(i) - j - 2; \\ &\forall i \in [0, Block_Num) \\ &\forall j \in [0, Pass_Num(i)) \end{aligned} \tag{4}$$

其中,$Block_Num$ 为划分的码块总数,$Pass_Num(i)$ 为码块 B_i 的 Pass 总数,$bp(i)$ 为码块 B_i 的最大比特平面数,即越高的比特平面,越早编码的 Pass,其权值越大,不同码块的相同比特平面、相同类型 Pass 的权值相同,此外还要初始化最大的未编码 Pass 权值 $P_{max} = \max(p_i^0)$,和深度控制系数 $d = 0$;

Step2:熵编码,按 JPEG2000 标准的块扫描顺序,对所有码块中

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

权值与 P_{max} 相等的未编码 Pass 进行编码,将所得码流和该 Pass 的 ΔD_i^k 和 ΔR_i^k 放入存储器中,将所有编码码流数累加,即:

$$R = \sum_i \sum_{p_i^j = P_{max}}^{n} R_i^j \qquad (5)$$

然后将 P_{max} 减 1;

Step3:编码深度控制,即

(1)判断 P_{max} 是否为 - 1,如果 $P_{max} = 1$,说明所有 Pass 均已编完,跳到 Step4,否则继续(2);

(2)判断深度控制系数 d 是否为 1,如果 $d = 1$,说明已经加深了 1 个 Pass 的编码深度,跳到 Step4,否则继续(3);

(3)判断累加编码码流是否大于目标码流,即如果 $R \leq R_{max}$ 返回 Step2,否则,令 $d = d + 1$;返回 Step2;

Step4:根据已得到 ΔD_i^k 和 ΔR_i^k,在已编码 Pass 的范围内,按上节所述确定候选截取点算法剔出奇异点,计算出每个码块中相邻候选截取点之间率失真斜率,最后按上节的查找算法查找 λ,完成码流截取.

Step5:如图 5 所示,按 JPEG2000 标准的码流组织算法,完成码流组织和打包,输出最终码流.算法中引入了编码深度控制系数 d,其作用是控制增加的编码深度,在上述算法中 d 的门限设为 1,即 T_1 编码器编完重要性权值 $p_i^j = P_{max}$ 的所有 Pass 后,所得的压缩码流的码率已经大于目标码率,编码深度控制单元通知 T_1 编码器再将 $p_i^j = P_{max} - 1$ 的 Pass 进行编码.引入编码深度控制系数的作用是扩大最终码流的选择范围,尽量减少个别率失真斜率大于最终 λ 的 Pass 未被编码从而影响截取效果.当然编码深度控制系数 d 的门限值越大,本文算法的恢复图像的质量与标准算法越相近,但综合考虑,本文选择 d 的门限值为 1.图 5 所示了本文算法的流程图.

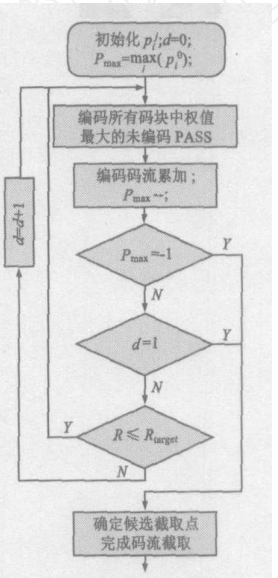


图 5　本文算法流程图

4　实验结果与分析

本文算法对大量的测试图像进行试验,均取得较好的效果,方便起见,用以下 5 幅经典测试图像试验结果与标准算法进行对比:"Lena"(512 ×512)、"Barbara"(512 ×512)、"Goldhill"(512 ×512)、"Airport"(1024 ×1024)、"Field"(1024 ×1024),均采用 5 级 9/7 小波变换,码块大小为 64 ×64:

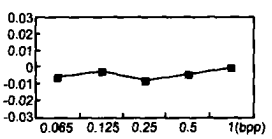


图 6　本文算法与标准算法的 PSNR 平均差值

(1)图像的 PSNR,五幅实验图像用本文算法和标准算法来恢复图像的 PSNR 的平均差值 ΔPSNR 如图 6 所示,其定义为式(6),可以看出两者的平均差值均不到 0.01dB,可见本文算法的图像质量损失是非常小的.

$$\Delta PSNR = \frac{1}{5}\sum_{k=1}^{5}(PSNR_{SPFC}^k - PSNR_{JPEG2000}^k) \qquad (6)$$

(2)算法的计算量,用 T_1 编码器编码的 Pass 个数衡量.图 7 显示了在不同的比特率下,本文算法与标准算法压缩五幅图像计算量减少的百分比,其定义如式(7).可见本算法有效的控制了 EBCOT 的计算量.

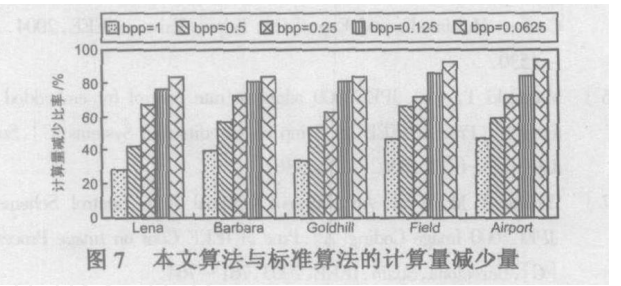


图 7　本文算法与标准算法的计算量减少量

$$\text{计算量减少率} = \frac{\text{Pass 数}_{JPEG2000} - \text{Pass 数}_{SPEC}}{\text{Pass 数}_{JPEG2000}} \qquad (7)$$

(3)算法的存储量,用 T_1 编码中存储的码流字节数和相关信息(编码 Pass 的 ΔD_i^k、ΔR_i^k 和 S_i^k)字节数衡量.在不同的比特率下,用本文算法与标准算法压缩五幅图像存储器使用量减少的百分比如图 8 所示.可见本文算法在不同得压缩比下均大大减少了编码所需要的内存量.

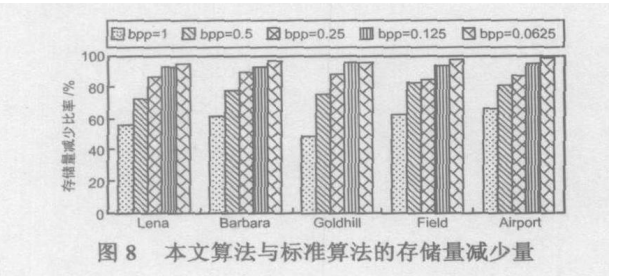


图 8　本文算法与标准算法的存储量减少量

5　结论

本文提出一种基于重要性权值的自适应率控制算法,不同于标准算法的以完全比特平面编码码块为单元的编码方式,本算法以 Pass 的重要性为依据,进行不完全的比特平面编码,编码顺序合理,且不改变 JPEG2000 标准码流格式,解码器无需改动.与标准算法相比,在保持图像质量的前提下,有效地减少了编码器计算量和存储量,提高了编码效率,易于硬件实现.与其他改进得算法相比,在相近或更小的代价下本算法比文献[5,6]具有更好的恢复图像质量.与文献[7]相比本算法更适合实际编码需要.因此,作为实现方案,本算法具有广泛的应用价值,效果可以满足绝大多数场合应用要求.

参考文献:

[1] N1646R ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 JPEG 2000 Part I Final Committee Draft Version 1.0[S]. March 2000.

[2] CHRISTOPOULOS C, SKODRAS A, EBRAHIMI T. The JPEG2000 still image coding system: an overview[J]. IEEE Trans Consumer Electronics, 2000, 46(4): 1103 - 1127.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[3] Taubman D. High performance scalable image compression with EBCOT [J]. IEEE Trans Image Processing, 2000, 9(7): 1158 - 1170.

[4] 董文辉, 刘明业. JPEG2000 小波提升算法的硬件设计[J]. 电子学报, 2003, 31(11): 1674 - 1677.
Wenhui Dong, Mingye Liu. Hardware design for the lifting based wavelet transform in JPEG2000 [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(11): 1674 - 1677. (in Chinese)

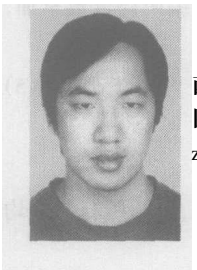
[5] Zhuang H Y, Wu C K, et al. A fast algorithm and hardware implementation for rate-distortion optimization in JPEG2000 [A]. Proc of IEEE Conf on Multimedia and Expro [C]. Taipei, Taiwan: IEEE, 2004. 1527 - 1530.

[6] Masuzaki T, et al. JPEG2000 adaptive rate control for embedded systems [A]. Proc of IEEE Int Symp on Circuits and Systems [C]. Scottsdale, USA: IEEE, 2002. 333 - 336.

[7] Yeung Y M, et al. An Efficient Optimal Rate Control Scheme for JPEG2000 Image Coding [A]. Proc of IEEE Conf on Image Processing [C]. Barcelona, Spain: IEEE, 2003, 761 - 764.

[8] Chang T H, Lian C J, et al. Effective hardware-oriented technique for the rate control of JPEG2000 encoding [A]. Proc of IEEE Conf on Image Processing [C]. Barcelona, Spain: IEEE, 2003. 684 - 687.

作者简介:



庄怀宇 男, 1980 年 4 月出生于安徽蚌埠, 西安电子科技大学博士研究生, 主要研究方向: 图像、视频编码及其硬件实现. E-mail: huaiyu_zhuang@163.com; hyzhuang@mail.xidian.edu.cn.



李云松 男, 1974 年 4 月出生于辽宁葫芦岛, 副教授, 主要从事领域: 数字图像的传输与处理. E-mail: ysli@mail.xidian.edu.cn.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net