

基于主观质量的 JPEG XR 量化参数选择

刘致远, 陈耀武

(浙江大学嵌入式系统研究开发中心, 杭州 310027)

摘要: 在 JPEG XR 图像标准的基础上, 提出一种提高其压缩效率的编码方法。该方法利用人类视觉系统对图片的感知特点, 设计基于图像内容的自适应量化参数选择算法。根据最小可觉差模型, 以图像的局部纹理和局部亮度为参数, 将图像压缩过程中的宏块分为 6 类, 对每类宏块的直流、低频、高频系数赋予不同的量化参数, 从而使得整幅图像的码率根据纹理复杂度和亮度合理分布, 在保持主观质量不变的情况下, 减小图像码率, 最终提高压缩效率。实验结果表明, 相对于固定量化参数算法, 该算法可使图像压缩效率得到最高 10% 的提升。

关键词: JPEG XR 标准; 主观质量; 图像压缩; 码率控制; 人类视觉系统; 最小可觉差

Quantization Parameters Selection of JPEG XR Based on Subjective Quality

LIU Zhi-yuan, CHEN Yao-wu

(Research Center for Embedded Systems, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

【Abstract】 This paper proposes an encoding method with improving compression efficiency based on the standard of JPEG XR image. This method designs an adaptive quantization parameters selection algorithm based on image content by using the perception features of Human Visual System(HVS). According to the Just Noticeable Difference(JND) model, the macro blocks in the process of image compression are divided into 6 types by local texture and local brightness. Each type is assigned different quantization parameters of Direct Current(DC), Low Pass(LP) and High Pass(HP) coefficients adaptively, which distributes the bit rate of the entire image reasonably according to the texture complexity and brightness. Therefore, higher compression efficiency and lower rate are achieved with the same subjective quality. Experimental result show the proposed algorithm obtains a 10% higher compression efficiency compared with fixed quantization parameters algorithm.

【Key words】 JPEG XR standard; subjective quality; image compression; rate control; Human Visual System(HVS); Just Noticeable Difference(JND)

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2014.01.051

1 概述

JPEG XR 是来自联合图像专家组的一种最新的图像压缩标准, 其前身是由微软发布的 HD PHOTO。该标准主要用来满足端到端的数字图像应用需求, 具有高压缩率和更佳图像质量, 允许输入宽动态范围图像, 提供无损压缩模式, 支持全格式色彩采样、缩略图提取以及嵌入码流的可伸缩性, 同时保持编码和解码过程的低复杂度^[1]。

压缩效率是衡量图像压缩标准应用价值最重要的指标之一, 更高的压缩率下更好的图像质量一直是图像压缩领域的研究目标。与主流的图像压缩标准 JPEG 和 JPEG2000

相比, JPEG XR 的压缩效率大大高于 JPEG, 接近于 JPEG2000^[2], 但是, 由于前两者出现时间较长, 相关研究和优化技术众多, 在很多应用场合都有更优异的表现。JPEG XR 作为较新的标准, 有关图像质量和率失真性能优化的研究逐渐兴起。文献[3]通过实验比较并分析了 JPEG XR、H.264 Intra 模式、JPEG2000 3 种图像编码器的质量差异; 文献[4]从标准制定的角度提出了在峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)、多尺度结构相似性(Multi-scale Structural Similarity Index Measurement, MSSIM)等多种评价标准下提高 JPEG XR 率失真性能的若干技术; 文献[5]进一步在主观质量评价标准 MSSIM 下讨论了量化系数的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40927001); 浙江省重点科技创新团队计划基金资助项目(2011R09021-02)

作者简介: 刘致远(1987—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 图像压缩编码, 视频编解码, 嵌入式软件设计; 陈耀武, 教授、博士生导师

收稿日期: 2012-12-24 **修回日期:** 2013-01-20 **E-mail:** 13656652970@163.com

选取策略;文献[6]优化了编码过程中的熵编码环节,从而使特定码率下的 PSNR 提高了 0.5 dB。上述研究均在 JPEG XR 的率失真性能提高方面有所贡献,但基于人类视觉系统(Human Visual System, HVS)特点的感知域 JPEG XR 图片质量优化的研究却鲜少见到,而这类优化方法已经用于 JPEG 和 JPEG2000。文献[7-8]分别描述了基于 HVS 特点的 JPEG 和 JPEG2000 编码优化方法。

本文利用 JPEG XR 编码标准的特点,根据能够反映 HVS 特性的最小可觉差(Just Noticeable Difference, JND)模型提出一种自适应量化参数(Quantization Parameter, QP)选择算法。将该算法加入到现有 JPEG XR 编码过程中,使量化参数根据亮度、纹理等图像内容进行动态调整,输出压缩图像与用户指定量化参数生成的压缩图像保持主观质量相同,但压缩效率得到较大提高,实现 JPEG XR 图像的编码优化。

2 JPEG XR 编码关键环节

JPEG XR 仍是一种基于块的混合编码方法,与其他静止图像压缩标准在高层流程上有很多相似之处, JPEG XR 编码流程见图 1。

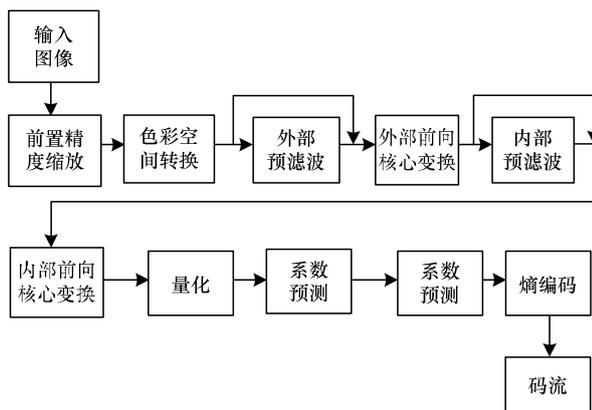


图 1 JPEG XR 编码流程

2.1 变换过程

JPEG XR 最具有特色的环节之一就是系数变换。所谓的外部变换与内部变换构成了变换的 2 个阶段:第一阶段的变换将一个 16×16 宏块中的像素值从空域变换到频域,其中每个 4×4 块中的交流(Alternating Current, AC)系数组成了该宏块的高频(High Pass, HP)系数;第二阶段的变换针对每个 4×4 块中的直流(Direct Current, DC)系数,这 16 个系数再经过一次与第一阶段相同的变换,最终组成了该宏块的 1 个 DC 系数和 1 个低频(Low Pass, LP)系数。各阶段的变换又可分为预滤波与核心变换。预滤波是可选的,其作用在于消除块效应及振铃效应,核心变换是一种类似于离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)的变换。预滤波与核心变换结合在一起就构成了双正交叠式变换(Lapped Biorthogonal Transform, LBT),该变换被证明可以有效地消

除块效应^[9],从而提高视觉质量。

2.2 量化过程

与对预测后的残差进行变换和量化的 H.264 标准不同, JPEG XR 直接对变换系数进行量化,因此从理论上说,一个宏块的量化误差并不会对使用该宏块进行预测的其他宏块造成影响,这为通过量化系数控制压缩率及压缩质量起到了一定的简化作用。

JPEG XR 的标准量化过程比较灵活。不同的图像区域、色彩通道各自拥有独立的量化参数集,每个宏块按照所属图像区域及色彩通道从对应的量化参数集中选择自己的量化参数。一个宏块的 DC、LP、HP 系数的量化参数可以不同,其中,DC 系数量化参数集仅有 1 个量化参数;LP、HP 系数的量化参数集可分别有最多 16 个量化参数。量化参数的范围为 $[1, 255]$, 1 对应的就是无损压缩。由量化参数到量化因子的映射具体如下:

$$factor = \begin{cases} QP & QP < 16 \\ (QP \% 16 + 16) \times 2^{QP/16-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

3 图像的 JND 评价

JND 指的是 HVS 可以察觉到的差异的最大阈值,在主视图及视频处理中扮演了重要角色^[10]。在有关图片的 JND 评价中,已经发展出了众多模型,这些现有模型基本可分为基于像素和基于子带 2 类。它们的本质原理都是 HVS 的一些特性,并可以通过空域频域变换来互相转化。

基于像素的 JND 模型大多用作图像质量评价、运动估计等,由于空域的限制,该类模型一般不考虑 HVS 对于不同频率成分的不同敏感度,因此不能精确地描述 HVS 的特性^[11]。

基于子带的 JND 模型则包含了影响 HVS 感知的主要因素,如对比度敏感函数(Contrast Sensitivity Function, CSF)、亮度自适应和对比度掩盖等,该类模型大部分用来提高图片及视频的压缩效率,由于主流压缩算法大多使用 DCT 变化,因此基于频带的 JND 模型大多是基于 DCT 的,其他则基于 DWT,处理使用小波变换的压缩算法如 JPEG 2000 等。

在基于子带的 JND 模型中, DCTune 是其中发展时间较长且接受度比较高的一个。该模型由 NASA Ames 研究中心提出,申请了发明专利并推出了相应的 JPEG 编码软件。在最新的 DCTune2.0 中,增加了根据原始图像评判压缩图像 JND 质量的功能,是一种快速方便的图像主观质量评价工具。

4 自适应量化参数选择算法

优化图片的压缩编码有 2 种实现途径:一种是在保持图片码率不变的情况下,使得解码图片的质量得到增强;另一种是保持图片质量不变,减少图片码率。这 2 种途径本质是相同的,都是提升压缩图片的率失真性能。本文主

要从第 2 种途径出发, 针对控制图片质量的量化环节, 提出一种优化算法, 其框图如图 2 所示。

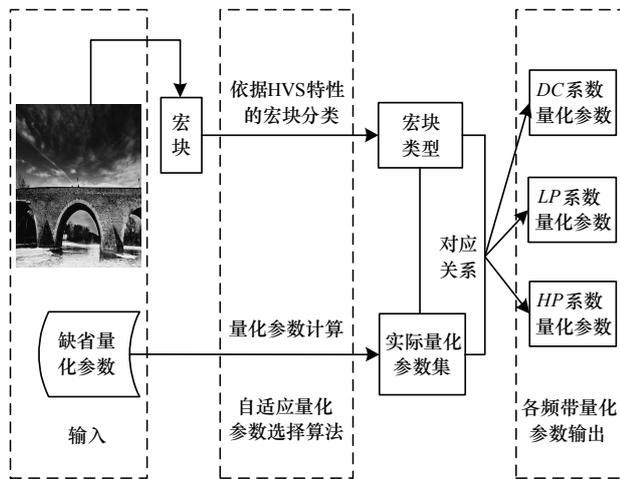


图 2 自适应量化参数选择算法框图

4.1 依据 HVS 特性的宏块分类

4.1.1 分类要素

对于无色度图像来说, 像素的 JND 可以用式(2)的非线性模型^[12]来近似描述:

$$JND(x, y) = T^l(x, y) + T^t(x, y) - C^d \times \min\{T^l(x, y), T^t(x, y)\} \quad (2)$$

其中, x 、 y 分别为像素的横、纵坐标; T^l 为与背景亮度有关的可视阈值; T^t 是与图像纹理掩膜效应有关的可视阈值; C^d 是两者的叠加效应系数。

可见, 主要有 2 个因素影响每个像素的视觉感知阈值: (1)像素所处区域的平均背景亮度; (2)像素所处区域的纹理情况。

人眼在不同亮度下的感知阈值呈近似的抛物线: 在中等亮度下, 阈值最低, 差异最容易被感知; 在极暗和极亮的亮度下, 阈值较高, 差异不容易被感知, 该曲线如式(3)所示^[12]:

$$T^l(x, y) = \begin{cases} 17(1 - \sqrt{\frac{\bar{I}(x, y)}{127}}) + 3 & \bar{I}(x, y) \leq 127 \\ \frac{3}{128}(\bar{I}(x, y) - 127) + 3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

其中, \bar{I} 为背景平均亮度。

同样地, 图像纹理也可以用一个因子来表示, 该因子与像素亮度的邻域梯度和边缘权重有关, 如式(4)所示^[12]:

$$T^t(x, y) = \beta G(x, y)W(x, y) \quad (4)$$

其中, β 为调整因子; G 为该像素 4 邻域最大梯度; W 为边缘权重。可见, 人眼对于平坦光滑区域和图像中边缘附近的差异较容易觉察, 对于复杂纹理区域的差异察觉阈值则较高。

基于上述 HVS 特性可知, 若想保持图片的主观质量不变而提高压缩率, 则要对更少的码率进行合理分配。针对

亮度自适应因子, 应在中等亮度区域分配较多的码率, 而在暗区和亮区分配较少的码率; 针对纹理应在平滑区域和边缘区域分配较多码率, 而在复杂纹理区域分配较少码率。为此, 必须首先准确地判断图像区域特性。最简单直接的方法就是在空域直接求上述属性的值。如对于平均亮度, 只要求区域内像素亮度的平均值即可; 求背景亮度的非均匀性, 则相当于求区域内像素亮度的均方差。但在 JPEG XR 图像压缩过程中, 上述空域处理属于额外步骤, 会占用一定的编码资源, 更好的方法是利用压缩过程中的变量来进行判断。

4.1.2 基于变换系数的图像亮度与纹理分析

虽然 LBT 并不等同于 DCT, 但其系数在频域的意义是近似的。在亮度通道中, DC 系数仍然代表宏块中像素亮度的平均值, 所以, 可以用宏块的 DC 系数根据阈值来判断宏块的亮度类型; 同理, AC 系数可以反映宏块的纹理情况, 具有复杂纹理的宏块区域有较高能量的 AC 系数。

表 1 表示 LBT 变换系数与图像亮度、纹理的对应关系。

表 1 LBT 变换系数与图像亮度、纹理的对应关系

亮度频带	图像局部特征	
	LBT 变换系数值较大	LBT 变换系数值较小
DC 系数	高亮度	低亮度
LP 系数	边缘、粗纹理	平滑、细纹理
HP 系数	纹理	平滑

对于每个宏块仅有的 1 个 DC 系数, 只要直接判断其值即可; 对于每个宏块含有多个的 LP、HP 系数, 通过大于一定阈值的 LP、HP 系数个数衡量 LP 与 HP 系数的大小:

LP_num 为当前宏块中大于 LP 系数阈值的 LP 系数个数, LP 系数阈值设为 100。

$$LP_num = \text{count}(LP > LP_VALUE_TH) \quad (5)$$

HP_num 为当前宏块中大于 HP 系数阈值的 HP 系数个数, HP 系数阈值设为 134。

$$HP_num = \text{count}(HP > HP_VALUE_TH) \quad (6)$$

4.1.3 图像中边缘区域的检测

实际上, 并不是所有的高能量 AC 系数区域均为复杂纹理区域, 边缘区域也会有较高能量的 AC 系数。判断边缘区域的关键在于从 LP 系数较大的区域中排除粗纹理区域, 即将具有较大 HP 系数的区域排除。还有一种需要考虑的情况, 就是在纹理区域中出现边缘, 则因为具有较大 HP 系数的区域已被排除, 该边缘不会被检测到。补偿的方法是计算每个宏块 HP 系数与相邻宏块 HP 系数的能量差, 该差大于一定的阈值代表纹理中可能有边缘。综上所述, 一个宏块满足以下任意一个条件即为边缘宏块:

$$IS_EDGE = \begin{cases} LP_num / HP_num > EDGE_TH \\ HP_num_diff > HP_DIFF_TH \end{cases} \quad (7)$$

其中, 边缘阈值 EDGE_TH 为 2; HP 系数差阈值 HP_DIFF_TH 为 100; HP_num_diff 为当前宏块相邻宏块(包括上边宏

块和左边宏块)中大于 HP 系数阈值的 HP 系数个数,由式(8)计算得到:

$$HP_num_adj = \begin{cases} \frac{HP_num_top + HP_num_left}{2} & \text{if } mx > 1 \text{ and } my > 1 \\ HP_num_top & \text{if } mx = 1 \text{ and } my > 1 \\ HP_num_left & \text{if } mx > 1 \text{ and } my = 1 \\ HP_num & \text{if } mx = 1 \text{ and } my = 1 \end{cases}$$

$$HP_num_diff = |HP_num - HP_num_adj| \quad (8)$$

图3展示了根据变换系数检测边缘的效果,可见,该方法能够准确检测出大部分的清晰边缘。

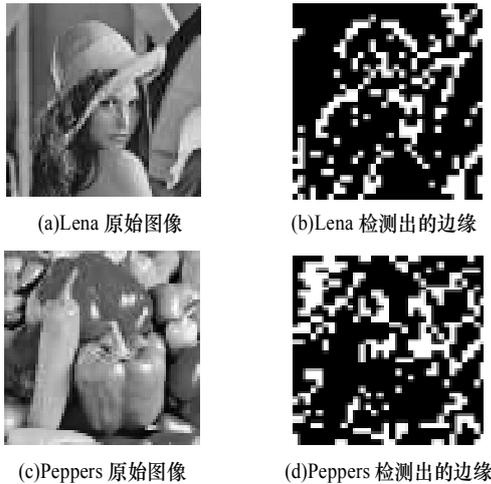


图3 边缘检测效果

4.1.4 基于亮度和纹理的宏块分类

本文将宏块分为6类,并根据变换系数判断宏块所属类型,具体分类方法如表2所示。根据LBT变换关系,其中,亮度阈值分别为-6 000和4 000。利用该分类方法对实验图片中的宏块进行分类情况如图4所示。

表2 宏块分类情况

宏块类型	DC系数条件	HP系数条件	边缘条件	宏块分布
中等亮度平滑及边缘宏块	$DC_VALUE_TH1 < DC < DC_VALUE_TH2$	$HP_num=0$	IS_EDGE	
中等亮度纹理宏块	$DC_VALUE_TH1 < DC < DC_VALUE_TH2$	$HP_num \neq 0$	$\sim IS_EDGE$	
低亮度平滑及边缘宏块	$DC < DC_VALUE_TH1$	$HP_num=0$	IS_EDGE	
低亮度纹理宏块	$DC < DC_VALUE_TH1$	$HP_num \neq 0$	$\sim IS_EDGE$	
高亮度平滑及边缘宏块	$DC > DC_VALUE_TH2$	$HP_num=0$	IS_EDGE	
高亮度纹理宏块	$DC > DC_VALUE_TH2$	$HP_num \neq 0$	$\sim IS_EDGE$	

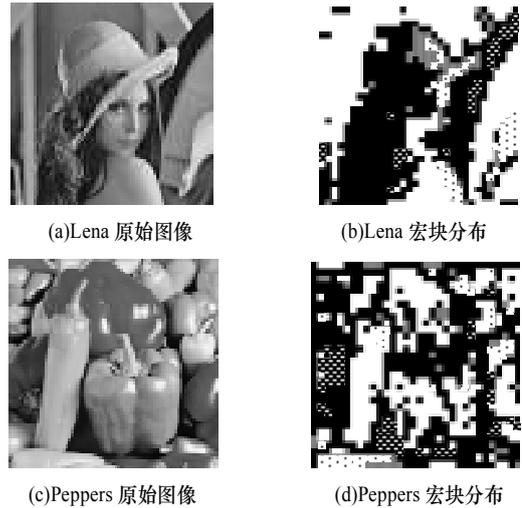


图4 宏块分类效果

4.2 量化参数计算

目前ITU-T发布的JPEG XR图像编码系统参考软件尚无码率控制功能,量化参数完全取决于用户的输入参数。缺省模式为使用统一量化参数模式并只输入一个固定量化参数值作为整幅图片各个色彩通道及各个宏块的量化参数。这样一幅图片的率失真性能就是该量化参数值的函数。本文改进了这种单一量化参数的编码方法,由缺省量化参数值计算出实际的量化参数集。

4.2.1 量化参数的个数

JPEG XR的DC、LP、HP3种频带系数对码率及图像质量的贡献有所不同。文献[13]在统一量化参数模式下分析Lena图压缩码流中不同频带的码率情况,得到如下码率比:

$$DC : LP : HP \approx 2 : 13 : 26 \quad (9)$$

无论是对码率比的分析还是实验均表明,当量化参数改变量相同时,对HP系数量化参数的修改会使码率发生最大变化;而对DC系数量化参数的修改则变化相对不大。因此,如果要大幅度调整码率,应改变HP系数的量化参数值;如果要调整图片质量同时保持一定范围内的码率,则应改变DC系数和LP系数的量化参数值。因此,需要将LP系数和HP系数的量化参数集合进行扩充。

量化参数集合并不是越大越好。原因主要有:每个宏块为了表示自身的量化参数,需要在码流中加入自身量化参数在量化参数集合中的序号。一个宏块的码率与量化参数集的关系^[13]如式(10)所示:

$$R_m^o(S, q_0, k) := R_m(q_k) + (1 - \delta_{|S|,1}) \cdot [1 + (1 - \delta_{k,0}) \cdot (\mu + \lceil \text{lb}(|S| - 1) \rceil)] \quad (10)$$

其中,R为该宏块的码率;m为宏块序号;q为量化系数;S为量化参数集; δ 为选择某个量化系数或某种量化参数集的概率; μ 为没有选择缺省量化系数的惩罚因子。从式(10)可见若量化参数集过大,则量化参数集本身就增大了码率;

同时, 如果选择量化参数集中排序靠后的量化系数, 则要用更多的比特来表示这个量化系数的序号, 就比排序靠前的量化系数更加耗费码率。

JPEG XR 标准规定, 相邻宏块之间的系数预测仅能在量化参数相同的情况下进行。量化参数的个数过多会导致相邻宏块之间量化参数相同的概率减小, 也就减少了系数预测发生的次数, 从而增加码率。

综上所述, 本文算法实际使用的量化参数集合为:

- (1)DC 量化参数集: {DC_QP};
- (2)LP 量化参数集: {LP_QP_1, LP_QP_2};
- (3)HP 量化参数集: {HP_QP_1, HP_QP_2, HP_QP_3}。

4.2.2 基于缺省量化参数的实际量化参数计算

按照如下步骤计算实际量化参数:

(1)根据式(1)计算用户输入的缺省量化参数对应的缺省量化因子, 用 *default_factor* 表示。

(2)根据式(11)分别计算各频带系数的实际量化因子。

$$dc_factor = \lfloor default_factor \times \beta_{dc} \rfloor, \beta_{dc} = 0.69$$

$$lp_factor_1 = \lfloor default_factor \times \beta_{lp1} \rfloor, \beta_{lp1} = 0.73$$

$$lp_factor_2 = \lfloor default_factor \times \beta_{lp2} \rfloor, \beta_{lp2} = 0.91$$

$$hp_factor_1 = \lfloor default_factor \times \beta_{hp1} \rfloor, \beta_{hp1} = 1.19$$

$$hp_factor_2 = \lfloor default_factor \times \beta_{hp2} \rfloor, \beta_{hp2} = 1.28$$

$$hp_factor_3 = \lfloor default_factor \times \beta_{hp3} \rfloor, \beta_{hp3} = 1.82$$

(11)

(3)根据式(1)对各个量化因子反推出对应的量化系数。

4.3 量化参数与宏块类型的对应关系

对于不同类型的宏块, 从量化参数集中选择各个频带系数对应的量化参数, 具体对应关系如表 3 所示。

表 3 不同宏块类型对应的各频带量化参数

宏块类型	DC 系数	LP 系数	HP 系数
中等亮度平滑及边缘宏块	DC_QP	LP_QP_1	HP_QP_1
中等亮度纹理宏块	DC_QP	LP_QP_2	HP_QP_1
低亮度平滑及边缘宏块	DC_QP	LP_QP_1	HP_QP_2
低亮度纹理宏块	DC_QP	LP_QP_2	HP_QP_2
高亮度平滑及边缘宏块	DC_QP	LP_QP_1	HP_QP_3
高亮度纹理宏块	DC_QP	LP_QP_2	HP_QP_3

根据选择每种量化参数的宏块数, 对量化参数在集合中的顺序进行排序, 使对应宏块数较多的量化参数在前面, 并使每个集中对应宏块数最多的量化参数为该频带缺省量化参数。这样使得耗费在宏块量化信息上的码率最小。

4.4 算法整体流程

本文提出的自适应量化参数选择算法整体流程见图 5。

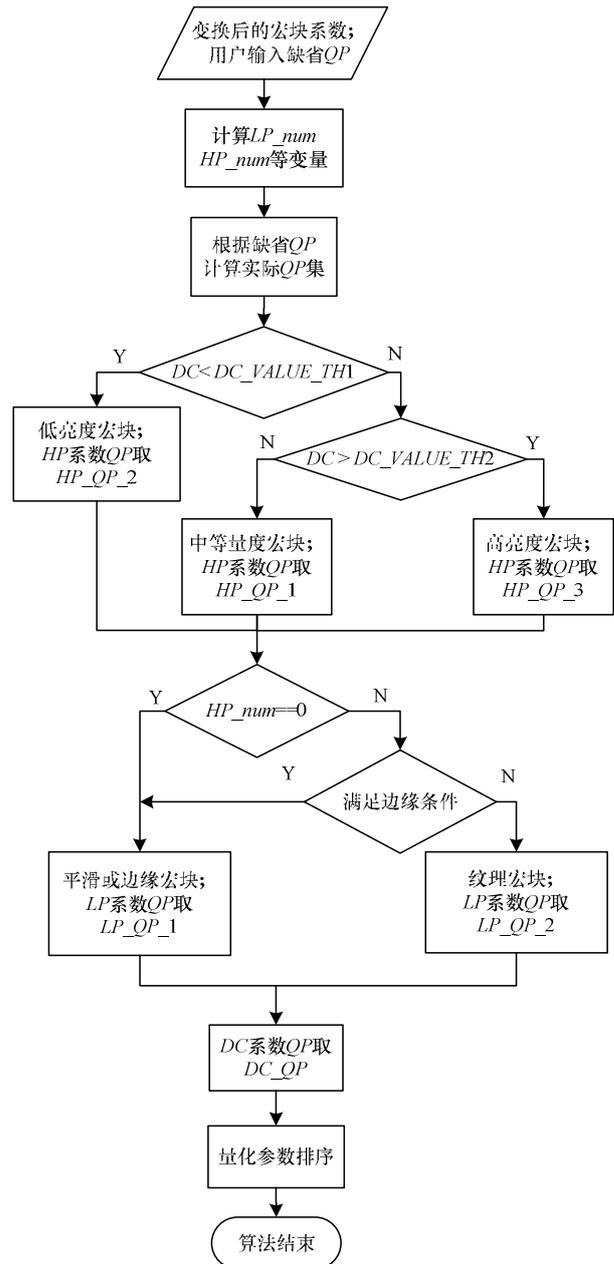


图 5 自适应量化参数选择算法流程

5 实验结果与分析

在 ITU-T 发布的 JPEG XR 图像编码系统参考软件版本 1.8(JPEG XR image coding system-Reference software 1.8) 中, 本文加入了上述自适应量化参数选择算法, 选取多张标准实验图片, 分别用原始的固定量化参数算法与本文算法在不同的输入量化系数下对它们进行编码。对输出的压缩图片用 DCTune2.0 计算其主观质量误差。

5.1 JND 一致性

首先测试本文算法对图片 JND 的保持性能, 即在相同的输入量化参数下, 采用本文算法得到的图片主观质量与原始算法的图片主观质量应基本保持一致。图 6 和图 7 显示了 2 幅实验图片在不同输入量化参数下的 JND 曲线。

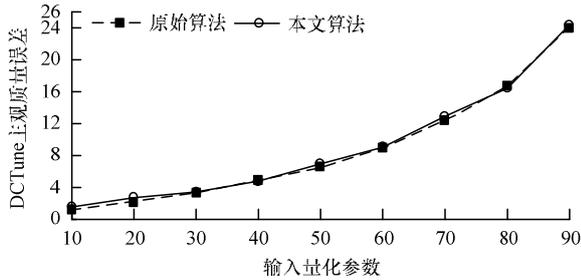


图6 Lena图JND曲线

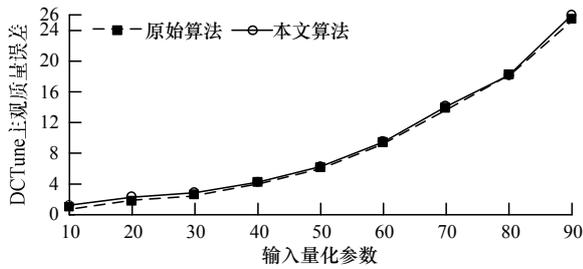


图7 Baboon图JND曲线

从曲线的重合程度可以看到，原始算法和本文算法的JND曲线基本重合，可见本文算法能够保持相同输入量化参数下的主观质量。

5.2 码率对比

对同一幅测试图片比较相同 DCTune 主观质量误差下同一幅原始图片的不同压缩版本的码率大小，结果如表 4 和表 5 所示。

表4 相同 DCTune 主观质量误差下的 Lena 码率对比

DCTune 主观质量误差	码率/KB	
	原始算法	本文算法
1.2	317 154	300 672
2.2	215 742	204 184
3.2	154 249	144 535
4.8	89 717	80 598
6.5	50 041	45 396
8.9	26 122	23 957
12.3	13 949	12 481
16.6	8 462	7 855

表5 相同 DCTune 主观质量误差下的 Baboon 码率对比

DCTune 主观质量误差	码率/KB	
	原始算法	本文算法
0.9	462 474	448 600
1.8	360 307	344 093
2.6	299 174	280 625
4.2	229 611	213 308
6.2	171 619	158 061
9.4	112 819	104 696
13.8	62 944	57 908
18.3	35 269	32 835

从表 4、表 5 可看出，虽然 2 幅图片的原始压缩率有较

大差别，但在各档次的 DCTune 主观质量误差上，利用本文算法得到的图片码率均小于利用原始算法得到的图片码率。

5.3 压缩效率提升

本文从实验图片中选取了多幅具有代表性的典型图片，绘制了如图 8 所示的在本文算法下不同图片的压缩效率提升百分比。压缩效率提升的计算公式如式(12)所示，其中， B_o 和 B_n 分别代表原始算法码率和本文算法码率。

$$I = \frac{B_o - B_n}{B_o} \tag{12}$$

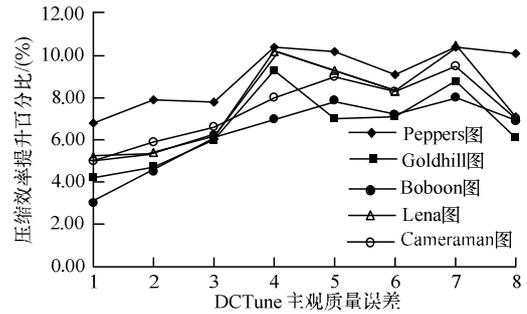


图8 典型图片的压缩效率提升

通过对图 8 进行分析可得出如下结论：

(1)从曲线的走势看出本文算法优化的趋势为，在主观质量误差较小，即图片压缩比较小的情况下，压缩效率相对提升不大；随着图片压缩比的增加，压缩效率提升变得明显，最大可达 10%；当图片压缩比进一步增大，压缩效率提升又逐渐减小。可见本文算法对于中等压缩比的图片具有较好的压缩效率提升效果。

(2)从不同曲线的对比看出，本文算法对于 Peppers 这类具有较多的中频成分，Lena 这样纹理与边缘分布均匀、亮度适中的图片，以及 Cameraman 这样包含较多平滑区域的图片具有较好的优化效果，但对 Baboon 这样具有大量高频成分、纹理细节丰富的图片以及 Goldhill 这类整体图片较暗的优化效果稍差，原因是本文算法减少了占这类图绝大部分面积的复杂纹理区域或低亮度区域的码率分配。

在测试程序运行时间时发现，本文算法复杂度较低，加入自适应量化参数选择步骤后，相对于原始编码流程增加的软件运行时间几乎可以忽略。

6 结束语

本文将基于 HVS 感知特点的主观质量评价引入 JPEG XR 图像编码过程中，在保持压缩图像主观质量不变的前提下，利用自适应量化参数选择算法使压缩效率得到最高 10%的提升。该算法不仅可应用在显微镜、照相机、医学影像仪器、视频监控等多种系统中，还为 JPEG XR 图像的主观质量提升提供了一种新的思路。今后的主要研究方向除了进一步提高优化压缩比并解决部分特殊图片压缩效率提升较低的问题，更重要的是扩展本文算法在运动 JPEG XR 编码标准中的应用，使其在视频编码中发挥作用。

参考文献

- [1] Srinivasan S, Tu Chengjie, Regunathan S L, et al. HD Photo: A New Image Coding Technology for Digital Photography[C]// Proc. of SPIE Optics and Photonics, Applications of Digital Image Processing XXX. San Diego, USA: SPIE Press, 2007.
- [2] Dufaux F, Sullivan G J, Ebrahimi T. The JPEG XR Image Coding Standard[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26(6): 195-199.
- [3] Tran T D, Liu Lijie, Topiwala P. Performance Comparison of Leading Image Codecs: H.264/AVC Intra, JPEG2000, and Microsoft HD Photo[C]//Proc. of SPIE Optics and Photonics, Applications of Digital Image Processing XXX. San Diego, USA: SPIE Press, 2007.
- [4] Schonberg D, Sun Shijun, Sullivan G J, et al. Techniques for Enhancing JPEG XR/HD Photo Rate-distortion Performance for Particular Fidelity Metrics[C]//Proc. of SPIE Optics and Photonics, Applications of Digital Image Processing XXXI. San Diego, USA: SPIE Press, 2008.
- [5] Schonberg D, Sullivan G J, Sun Shijun, et al. Perceptual Encoding Optimization for JPEG XR Image Coding Using Spatially Adaptive Quantization Step Size Control[C]//Proc. of SPIE Optics and Photonics, Applications of Digital Image Processing XXXII. San Diego, USA: SPIE Press, 2009.
- [6] Gao Yu, Chan Duncan, Liang Jie. JPEG XR Optimization with Graph-based Soft decision Quantization[C]//Proc. of the 18th IEEE International Conference on Image Processing. Brussels, Belgium: IEEE Signal Processing Society, 2011.
- [7] Tong H H Y, Venetsanopoulos A N. A Perceptual Model for JPEG Applications Based on Block Classification, Texture Masking, and Luminance Masking[C]//Proc. of the 18th IEEE International Conference on Image Processing. Chicago, USA: IEEE Signal Processing Society, 1998.
- [8] 江东明. 视觉模型在 JPEG2000 中的应用研究[J]. 计算机工程, 2003, 29(4): 130-131.
- [9] Malvar H S. Lapped Transforms for Transform Coding with Reduced Blocking and Ringing Artifacts[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(4): 1043-1053.
- [10] Jia Yuting, Lin Weisi, Kassim A A. Estimating Just-noticeable Distortion for Video[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(7): 820-829.
- [11] Ma Lin, King N N, Zhang Fan, et al. Adaptive Block-size Transform Based Just-Noticeable Difference Model for Images/Videos[J]. Signal Processing: Image Communication, 2011, 26(3): 162-174.
- [12] Yang Xiaokang, Ling W S, Lu Z K, et al. Just Noticeable Distortion Model and Its Applications in Video Coding[J]. Signal Processing: Image Communication, 2005, 20(7): 662-680.
- [13] Richter T. Spatial Constant Quantization in JPEG XR is Nearly Optimal[C]//Proc. of 2010 Data Compression Conference. Snowbird, USA: [s. n.], 2010.
- [3] Popescu A C, Farid H. Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Resampling[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 758-767.
- [4] Zhao Xudong, Li Jianhua, Li Shenghong. Detecting Digital Image Splicing in Chroma Spaces[C]//Proc. of IWDW'10. Seoul, Korea: [s. n.], 2011.
- [5] 陈古春, 苏波, 王士林, 等. 基于图片 DCT 域共生矩阵的图像拼接盲检测[J]. 上海交通大学学报: 自然版, 2011, 45(10): 1547-1551.
- [6] Chen Wen, Shi Y Q, Su Wei. Image Splicing Detection Using 2-D Phase Congruency and Statistical Moments of Characteristic Function[Z]. 2007.
- [7] Shi Y Q, Chen Chunhua, Chen Wen. A Natural Image Model Approach to Splicing Detection[C]//Proc. of the 9th Workshop on Multimedia & Security. Dallas, USA: ACM Press, 2007: 51-62.
- [8] 张震, 康吉全, 平西建, 等. 用统计特征量实现的图像拼接盲检测[J]. 计算机应用, 2008, 28(12): 3108-3111.
- [9] 张震, 任远, 平西建, 等. 基于图像质量评价量和隐马尔可夫模型的图像拼接检测[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(10): 1030-1033.
- [10] Liu Changxin, Guo Ming, Chen Huijuan. Image Steganalysis Based on Spatial Domain and DWT Domain Features[C]// Proc. of the 2nd International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. Wuhan, China: [s. n.], 2010.
- [11] Columbia DVMM Research Lab. Columbia Image Splicing Detection Evaluation Dataset[EB/OL]. [2012-11-05]. <http://www.ee.columbia.edu/ln/dvmm/downloads/AuthSplicedDataSet/dlform.html>.
- [12] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: A Library for Support Vector Machines[EB/OL]. [2012-11-05]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.

编辑 陆燕菲

(上接第 238 页)

编辑 陆燕菲