

JPEG-LS 图像压缩动态码率控制策略

徐燕凌, 刘 蓓

(同济大学软件学院, 上海 201804)

摘要:对 JPEG-LS 图像压缩方案的编码特性进行数据分析, 提出一阶码率控制策略与二阶码率控制策略, 有效地实现了近无损图像编码过程中的码率动态调整。实验证明, 该码率控制解决方案运算量小、收敛性好, 能够有效抑制码率的大幅波动, 在目标码率下可以稳定输出压缩码流, 保证了编码图像的质量。

关键词: 图像; 码率; 控制

Dynamic Rate Control Scheme for JPEG-LS Image Compression

XU Yan-ling, LIU Bei

(School of Software, Tongji University, Shanghai 201804)

【Abstract】 This paper proposes coding performance of JPEG-LS image compression algorithm. One-rank rate control scheme and two-rank rate control scheme are proposed to perform dynamic rate control efficiently during the near lossless coding procedure. Experimental results show that these rate-control solutions have low operation requirement and good property of convergence. The fluctuation of bit-rate is effectively reduced. The compressed bit-stream is outputted stably under target bit-rate, and image compression quality is promoted.

【Key words】 image; rate; control

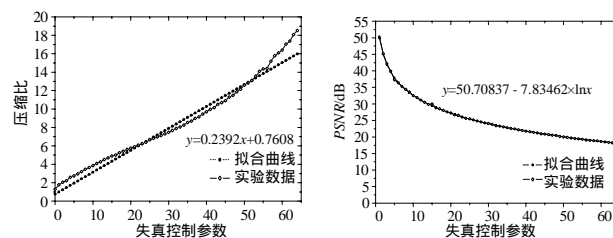
1 概述

JPEG-LS 是 ISO/ITU 制定的图像压缩标准^[1], 采用 HP 实验室推荐的 LOCO-I^[2] 压缩方案作为核心算法, 具有优良的压缩性能, 相对较低的复杂度使其更适用于硬件系统^[3]。JPEG-LS 在无损压缩下的输出码率受到图像自身复杂度等因素的制约, 但其近无损压缩不仅获得高于无损压缩的压缩效率, 而且可以对失真度进行有效的调节^[1], 在保证图像质量的前提下, 在一定范围内进行码率调整。为满足在目标码率下, 图像压缩数据的稳定输出, 并最大限度地保留图像信息, 提供高质量的图像近无损压缩码流, 需要在原有 JPEG-LS 算法的基础上进行有效的码率控制^[4], 保证压缩系统的可靠运行, 同时在目标码率下提高图像的编码质量。简单的静态码率控制方法, 为编码器入口参数中控制图像信息损失的失真控制参数 $U_{intNear}$ 赋一个正整数值, 使图像的压缩码率尽量接近目标码率。该值一旦给定, 在整个图像的压缩过程中将保持不变, 这就很难兼顾图像中不同纹理复杂度区域的压缩质量。文献[4]根据游程模式中游程长度以及预测模式中的预测误差来判断图像纹理的复杂度, 并据此调整参数的取值, 但由于没有实现反馈环节, 因此很难保证码率的平稳性。本文采用动态码率控制技术, 对失真控制参数进行动态调整, 提出一阶与二阶码率控制策略, 利用空间相邻图像块纹理信息的相关性, 在图像压缩过程中, 对已编码图像块和数据压缩量进行实时统计, 根据反馈信息, 动态地调整待编码图像块的压缩参数, 使实际码率尽快收敛到目标码率, 并抑制码率曲线的大幅波动, 同时还继承了 JPEG-LS 复杂度低、运算消耗小的优点, 保证整个系统的实时性。

2 JPEG-LS 图像压缩特性分析

笔者对 JPEG-LS 的编码参数进行细致分析。失真控制参数与压缩比及图像质量的关系见图 1。选取不同的失真控制

参数值, 采用 JPEG-LS 对标准测试图像进行压缩, 对实验数据进行统计分析, 得到失真控制参数与图像压缩比的一般关系, 如图 1(a)所示。



(a) 失真控制参数与压缩比的曲线 (b) 失真控制参数与 PSNR 的曲线

图 1 失真控制参数与压缩比及图像质量的关系

对于典型图像, 当失真控制参数的范围为 $[0, 64]$, 压缩比函数曲线基本成线性趋势, 见式(1):

$$Y_{ratio} = k \cdot x_{U_{intNear}} + c \quad (1)$$

其中, k, c 为常量。可以发现失真控制参数取值范围为 $[0, 4]$, $[56, 64]$ 时, 函数曲线上升趋势即曲线斜率比其余区间要大。

以峰值信噪比 PSNR 作为图像质量的客观评价, 对上述实验中的解压图像进行质量分析, 对多次实验的 PSNR 值做统计平均与曲线拟合, 得到失真控制参数与图像质量的关系, 如图 1(b)。两者基本上成指数关系, 即随着失真控制参数的增大, 压缩比的增加, 图像的质量呈指数趋势下降。

3 一阶线性码率控制

根据动态码率控制的思想, 设计适合 JPEG-LS 的码率控制策略。首先, 为失真控制参数在 $[0, 64]$ 范围内筛选出部分

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 徐燕凌(1979 -), 女, 讲师、博士, 主研方向: 视频通信, 多媒体信号处理; 刘 蓓, 硕士研究生

收稿日期: 2008-01-23 E-mail: crystalxyl@yahoo.com.cn

参数值,组成参数调节数组。具体的选择策略是先在近似线性的失真控制参数-压缩比函数曲线上均匀分段选取 12 个失真控制参数值,再对照失真控制参数-图像质量曲线,移动或变更调节数组中的部分 $U_{intNear}$ 值,使数组中的元素提供较好的图像质量。在宏观不影响调节数组线性的前提下,将其元素值沿数轴向左移,则码率线性增大,而重建图像质量呈指数上升。选出的调节数组 $iRCParamArray[13] = \{0, 1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 32, 40, 48, 56, 64\}$ 。

一阶线性调节的过程如下:将图像每 n 行划分为一个码控单元 $BLOCK$ 。在压缩图像之前,根据经验和目标压缩比为调节数组的索引 $RCArrayIndex$ 设置初始值,并取失真控制参数 $U_{intNear}$ 为调节数组中的相应值。预设压缩比门限值 Th 。每压缩完一个 $BLOCK$,就观察当前压缩比 $ratio_{cur}$,如果与目标压缩比的差的绝对值大于 Th ,就调整调节数组的索引 $RCArrayIndex$,进而更新 $U_{intNear}$ 。具体的调节方法是依据失真控制参数-压缩比函数的近似线性,向靠近目标压缩比的方向为 $RCArrayIndex$ 增加或减小一个固定的步长 $step$,即相应地增大或减小 $U_{intNear}$ 值。设计调节参数的时候,门限值 Th 的调节具有以下特点: Th 较大时,当前压缩比的平均值偏离目标压缩比相对较远,则相应调节步长 $step$ 设置要大一些,体现为整个码率曲线波动幅度较大;当 Th 较小时,当前压缩比平均值偏离目标压缩比相对较近,调节步长 $step$ 可以设置的相应小一些,实际码率曲线前端收敛速度较慢,但整个曲线波动较小。数组索引 $RCArrayIndex$ 的初始值的设置,同样影响到当前码率曲线收敛的速度,过大或过小都会使当前压缩比偏离目标压缩比较远。码控单元 $BLOCK$ 的行数 n ,与码率控制系统的反应能力以及整个系统用在码率控制上的时间花销有关。如果 n 较大,整体表现为码率控制调节滞后,系统反应比较慢;相反,如果 n 较小,则码率调节反应速度较快,但系统在码率控制上的时间花销就会随 n 减小而线性增加。将上述码率控制策略嵌入 JPEG-LS 编码器,对标准测试图像 bank.bmp 进行一阶线性调节,见图 2。

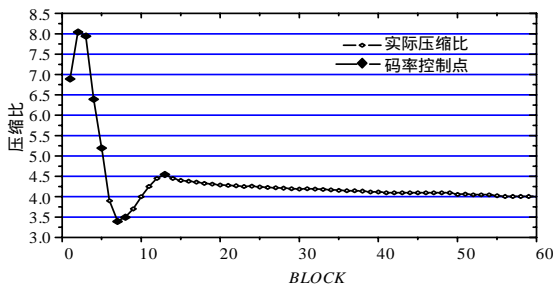


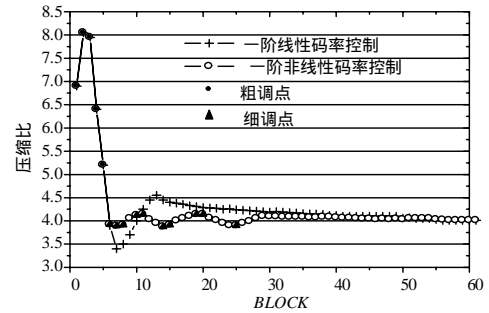
图 2 一阶线性码率控制实验结果

目标压缩比 4:1, $n=3$, $RCArrayIndex=9$, $Th=0.5$, $step=2$, 重建图像 PSNR 为 37.88 dB。可以看出,一阶线性码率控制在压缩比稳定之后效果良好。

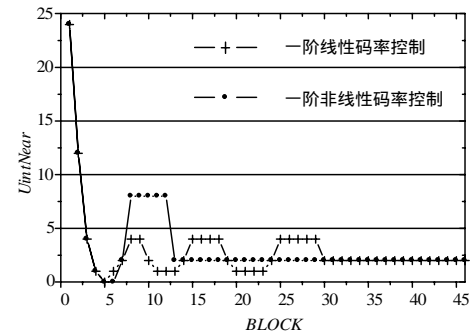
4 一阶非线性码率控制

在一阶线性码率控制的基础上,本文提出一阶非线性码率控制策略。采用粗略调节与精细调节,分别设置两个码率门限值,粗调门限值 $WIDE_Th$ 与细调门限值 $NARROW_Th$ 。粗调时 $RCArrayIndex$ 的步长 $WIDE_step$ 较大,可以设置为 2;细调时 $RCArrayIndex$ 的步长 $NARROW_step$ 较小,设置为 1。在码率控制过程中,粗调的主要作用是:当前码率偏离目标码率较远时,使当前码率曲线以较快速度向目标码率收敛;细调的作用是:当前码率与目标码率的差的绝对值小于

$NARROW_Th$ 时,进行小步长调节,降低码率曲线的波动,使曲线更平滑。图 3(a)为对图像 bank.bmp 进行一阶非线性调节,目标压缩比 4:1, $n=3$, $RCArrayIndex=9$, $WIDE_Th=0.5$, $WIDE_step=2$, $NARROW_Th=0.1$, $NARROW_step=1$ 。重建 PSNR 为 39.63 dB。从图中可以看出,采用一阶非线性码率控制算法,码率曲线波动幅度相对较小,收敛速度快。一阶细调,起到了抑制实际码率波动的作用,有效地提高了重建图像的质量。图 3(b)所示为一阶线性与一阶非线性码率控制中失真控制参数 $U_{intNear}$ 的动态调整过程。



(a) 压缩比曲线



(b) $U_{intNear}$ 曲线

图 3 一阶线性与一阶非线性调节及参数调整过程

5 二阶码率控制

上述一阶码率调节方式属于滞后调节,一阶滞后控制可能引起过冲调节。观察一阶码率控制曲线,可以发现,每当码率发生过冲之前,曲线与水平线的夹角都比较大。二阶码率控制的思想为:实时监控曲线的变化趋势,即斜率,来预测曲线发生过冲的可能性,若发生过冲的可能性较大,就下达抑制过冲的指令,向反方向适当的调整调节数组索引。

在实际算法的实现中,设置一个门限值,如果当前压缩比曲线斜率的绝对值大于这个门限值,并且此时一阶调节的算法仍然打算继续向正方向调节,二阶调节就使当前调节只做小于原有一阶调节步长的细调,从而抑制曲线过冲的趋势。具体的码率控制策略需要根据一阶非线性码率控制中的粗调、细调、不调节 3 种状态。

对于粗调,斜率绝对值的门限 $TWO_RANK_WIDE_TH$ 设计的相应要大一些,控制系统需要以大步长调节失真控制参数,从而使当前码率尽快逼近目标码率。同时,对应的二阶粗调步长 $TWO_RANK_WIDE_step$ 取值范围应该为 $[0, WIDE_step-1]$ 。在细调状态下, $TWO_RANK_NARROW_TH$ 门限需要设计的相对较小。细调状态下的二阶细调步长 $TWO_RANK_NARROW_step$ 范围应该定义在 $[0, NARROW_step-1]$ 之间。对于一阶控制策略下的不调节状态,二阶细调

(下转第 271 页)