

# 精确码率控制 JPEG2000 感兴趣区域编码

侯俊<sup>1</sup>, 程燕<sup>2</sup>

(1. 上海理工大学光学与电子信息工程学院, 上海 200093; 2. 华东政法大学, 上海 200040)

**摘要:** 提出一种能精确控制各编码层码率的 JPEG2000 感兴趣区域编码算法, 对整个图像进行统一的 JPEG2000 编码, 分别统计背景、感兴趣区域各自分配到的比特数。利用率失真函数的凸函数特性, 在总码率恒定的条件下调整上述两区域分配的比特数, 使得感兴趣区域获得优于背景区域的编码质量。该算法中感兴趣区域及其优先级均可动态改变, 生成码流与标准完全兼容。

**关键词:** 感兴趣区域; 动态优先级; 精确码率控制; 率失真函数

## Region of Interest Coding in JPEG2000 with Accurate Bitrate Control

HOU Jun<sup>1</sup>, CHENG Yan<sup>2</sup>

(1. College of Optical and Electronic Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093;

2. East China University of Political Science and Law, Shanghai 200040)

**【Abstract】** An algorithm for Region Of Interest(ROI) coding in JPEG2000, which can achieve the accurate bitrate control in each layer, is proposed in this paper. It codes the image without concerning the ROI. Then it counts out the bits allocated for the background and the ROI respectively. Under the constraints of the total bitrate, the proposal method reallocates the bits for both regions above. By this way, the ROI can achieve higher performance than the background due to the convex characteristic of rate-distortion function. Both the ROI and its priority can be modified in the algorithm, and the algorithm produces a fully compliant JPEG2000 code stream.

**【Key words】** Region Of Interest(ROI); dynamic priority; accurate bitrate control; rate-distortion function

### 1 概述

支持感兴趣区域(Region Of Interest, ROI)编码是 JPEG2000 的一个重要特征, 其算法分为 2 类: (1) 在位平面扫描通道编码阶段进行 ROI 优先处理, 使得 ROI 区域位平面比其他区域相同位平面优先编码。这类算法 ROI 区域定位准确, 除标准中指定的 MAXSHIFT, GSBM 算法外, 其余算法生成码流与标准不兼容。(2) 在码块级进行 ROI 处理, 使 ROI 码块的率失真斜率截止门限小于背景区域的截止门限。文献[1]提出了码块优先 ROI 编码算法: 间接处理法, 对 ROI 码块的率失真斜率加权, 并对所有码块统一进行最佳码率控制, ROI 优先级由加权因子决定。文献[2]对文献[1]的算法进行了改进, 对属于同一 ROI 但位于不同分解级上的码块用不同的加权因子, 得到的图像更符合视觉感受。以上 2 种方法均不可在编码过程动态调节 ROI 优先级。文献[3-4]的算法通过增加编码层数, 将无 ROI 编码生成的码流中原本位于同一层的数据包重新排列, 对包含感兴趣区域的数据包先发送, 在此过程中 ROI 优先级可调。文献[5]的算法能在编码过程中动态指定 ROI 优先级, 但文献[3-5]的算法无法精确控制各编码层生成码率。

本文提出精确控制生成码率的动态感兴趣区域编码算法 RCWARC(ROI Coding With Accurate Rate Control)。

### 2 RCWARC 算法描述

RCWARC 算法的基本思路是先对整个图像进行 Tier1 阶段编码, 不区分 ROI 区域和背景区域, 进而确定对应各层目标码率的率失真斜率截止门限, 随后分别统计此门限下 ROI 码块、背景码块各自分配得到的比特数, 在保持各层目标码

率不变的条件下增加 ROI 码块分得的比特数、降低背景区域分配的比特数。根据 JPEG2000 率失真函数的凸函数(convex)特性, 此时 ROI 区域质量提高而背景区域质量下降。

#### 2.1 算法理论分析

在 JPEG2000 编码中若不考虑 ROI 因素, 要达到在指定码率下图像失真最小化, 则同一编码层中各码块扫描通道(pass)的率失真斜率截止门限应相同。率失真斜率定义如下:

$$S^{n_i} = \frac{D^{n_i-1} - D^{n_i}}{R^{n_i} - R^{n_i-1}} \quad (1)$$

其中,  $D^{n_i}$  为码块编码至第  $n_i$  个 pass 时的累计误差;  $R^{n_i}$  为此时对应的码长。码块的率失真函数为凸函数, 则有

$$\frac{D^{n_i-1} - D^{n_i}}{R^{n_i} - R^{n_i-1}} > \frac{D^{n_i} - D^{n_i+1}}{R^{n_i+1} - R^{n_i}} \quad (2)$$

需要说明的是, 对码块在 Tier1 阶段编码的某些截点其率失真函数不一定符合凸函数特性, 则此时必须合并那些不符合凸函数条件的截点(凸函数化), 经凸函数化处理后码块的率失真函数一定为凸函数。对任一码块其在不同扫描通道编码时的率失真斜率分别  $S^{n_{i1}}, S^{n_{i2}}$ , 若  $S^{n_{i1}} < S^{n_{i2}}$ , 则相应的失真、码率分别满足  $D^{n_{i1}} < D^{n_{i2}}, R^{n_{i1}} > R^{n_{i2}}$ 。

首先不区分 ROI 与背景码块, 根据各层目标码率确定一截止门限(不妨设为  $S$ ), 若根据此门限对 ROI、背景码块进

**基金项目:** 上海市优秀青年教师科研专项基金资助项目(HZF-07008)

**作者简介:** 侯俊(1971-), 女, 讲师、博士, 主研方向: 图像视频编码; 程燕, 讲师、博士

**收稿日期:** 2008-03-30 **E-mail:** fjshj@hotmail.com

行截取, 则 ROI、背景码块编码得到图像质量相同, 此处设在门限  $S$  下 ROI、背景码块生成比特分别为  $R_{s\_roi}$ ,  $R_{s\_bg}$ 。随后增加分配给 ROI 的比特数  $R^{roi}$ , 降低分配给背景码块比特数  $R^{BG}$ 。ROI 码块和背景码块对应  $R^{roi}$ ,  $R^{BG}$  的截止门限分别为  $S^{roi}$ ,  $S^{BG}$ , 则根据率失真函数的凸函数特性, 有  $S^{roi} < S$ ,  $S^{BG} > S$ , ROI 码块对应  $S^{roi}$  的失真小于其对应  $S$  时的失真, 而背景码块对应  $S^{BG}$  的失真要大于其对应  $S$  的失真。这样, 同一编码层中 ROI 编码图像质量要好于背景区域。

## 2.2 RCWARC 算法实现

RCWARC 算法具体操作步骤如下:

(1)初始化。设定 JPEG2000 编码参数。首先设置编码各项参数, 不妨将编码层数(layer)设为  $N$ , 分解级数(level)为  $L$ , 码块大小为  $B \times B$ , 各层目标码率  $R_j$  ( $j=1,2,\dots,N$  并且  $R_1 > R_2 > \dots > R_N$ )。设根据以上参数确定码块总数为  $F$ 。

(2)以设定参数对图像进行无 ROI 的标准 JPEG2000 编码, 确定对应各层设定目标码率的率失真斜率截止门限  $S_j$ 。

(3)统计编码至第  $j$  层 ROI 码块生成的总比特数并记为  $R_j^{roi}$  ( $j=1,2,\dots,N$ ), 相应的背景码块对应的生成总比特数  $R_j^{BG}$  等于  $R_j - R_j^{roi}$ , 则 ROI 码块生成总比特数占生成总比特数比例为  $P_j^{roi} = R_j^{roi} / R_j$ , 背景码块生成总比特数占生成总比特数比例  $P_j^{BG} = 1 - R_j^{roi} / R_j$ 。

(4)保持各层总目标码率  $R_j$  不变的条件下, 对各层 ROI 区域、背景区域重新分配码率。重新设置 ROI 总生成比特所占比例  $P_j^{roi}$  ( $P_j^{roi} > P_j^{roi}$ ), 对应 ROI 重分配比特数设定为  $R_j^{roi} = P_j^{roi} \times R_j$ , 相应地此时背景重新分配比特数为  $R_j^{BG} = R_j - R_j^{roi}$  ( $R_j^{BG} < R_j^{BG}$ )。  $R_j^{roi}$  设定值必须满足 2 个条件:

- 1)  $R_{j+1}^{roi} < R_j^{roi} < R_{j-1}^{roi}$ ;
- 2) ( $R_{j+1}^{BG} = R_{j+1} - R_{j+1}^{roi}$ ) ( $R_j^{BG} = R_j - R_j^{roi}$ ) ( $R_{j-1}^{BG} = R_{j-1} - R_{j-1}^{roi}$ )。

(5)根据  $R_j^{BG}$ ,  $R_j^{roi}$  值分别对背景码块、ROI 码块确定截止门限。对所有 ROI 码块确定截止门限  $S_j^{roi}$  ( $j=1,2,\dots,N$ ), 使得所有 ROI 对应  $S_j^{roi}$  生成总比特数为  $R_j^{roi}$ 。对所有背景码块确定率失真斜率截止门限  $S_j^{BG}$ , 使得所有背景码块对应  $S_j^{BG}$  生成总比特数  $R_j^{BG}$  ( $R_j^{BG} + R_j^{roi} = R_j$ )。

(6)将分别以  $S_j^{roi}$ ,  $S_j^{BG}$  为截止门限编码得到的 ROI、背景码流合成最终码流。

ROI 区域编码优先级由  $\Delta = P_j^{roi} - P_j^{BG}$  决定,  $\Delta$  越大则优先级越高。同一 ROI 在各层的优先级可以不同, 亦可以动态改变 ROI 区域, 只要满足上述第(4)步的 2 个限定条件即可。给 ROI 码块分配更多比特降低了 ROI 对应率失真斜率门限, 减少背景码块分配的比特数使得背景对应率失真斜率门限增大, 因此, ROI 区域比背景获得更好的图像质量。算法示意图如图 1 所示。

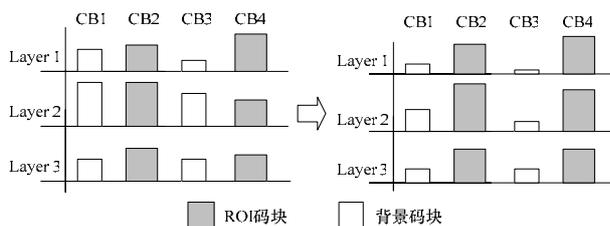


图 1 RCWARC 算法示意图

首先进行无 ROI 的编码, 确定截止门限; 然后重新对 ROI 和 BG 分配码率, 在每层总码率与之前相比保持不变。

## 2.3 RCWARC 算法复杂度和性能分析

RCWARC 与文献[1-2]相比, 能够动态改变 ROI 区域和相应的优先级, 但增加了编码计算量。以单个 ROI,  $N$  层编码为例, 间接处理法要确定  $N$  截止门限即可(与标准无 ROI 编码的计算量相同); 而 RCWARC 首先需要确定无 ROI 编码状态时  $N$  个截止门限, 然后分别统计对应  $N$  个截止门限时 ROI、背景码块各自分配得到的码率  $R_j^{roi}$ ,  $R_j^{BG}$  ( $i=1,2,\dots,N$ ), 接着重新调整各区域分配的码率, 增加 ROI 分配码率、降低背景分配码率, 最后需要确定 ROI、背景区域各自的  $N$  个截止门限, 整个过程需要确定  $3 \times N$  个截止门限。通常 RCWARC 需要确定的截止门限数为  $(M+2) \times N$  个。其中,  $M$  为 ROI 数目;  $N$  为编码层数。JPEG2000 编码主要工作量集中在对各码块计算其各通道的率失真斜率, 确定截止门限所占用的工作量并不大, 并且确定截止门限通常又采用二分法(bisection), 因此, RCWARC 算法所增加的工作量对总编码量的影响可以忽略不计。

本算法各 ROI 的优先级可以在编码过程中改变, 与文献[3-5]相比, RCWARC 在各编码层的总码率由标准 JPEG2000 编码确定, 可以精确控制目标码率, 适合带宽受限情况下的 JPEG2000 ROI 应用。

## 3 仿真实验

本节演示 RCWARC 算法进行动态 ROI 编码的效果。测试图像分辨率  $2046 \times 1532$ 、256 灰度级图像, 编码层数为 20, 分解级数 4, 单个图像片编码, 码块大小  $16 \times 16$ , 各层编码码率预先设置好, 并据此确定了无 ROI 时各层率失真斜率的截止门限。

在第 1 层没有指定 ROI(图 2(a)), 编码方将编码得到的第 1 层数据(非常低的分辨率)发给接收方, 接收方根据收到的图像确定 ROI 区域。编码方收到反馈信息, 在随后 8 层提高 ROI 优先级, 使得在各层目标码率不变的条件下, ROI 区域编码质量优于背景区域(图 2(b))。随后接收方认为 ROI 区域优先级可以降低些以留出带宽改善背景质量, 编码方根据命令从第 10 层开始逐步降低 ROI 优先级(图 2(c)), 最终 ROI、背景区域图像质量完全相同(图 2(d))。

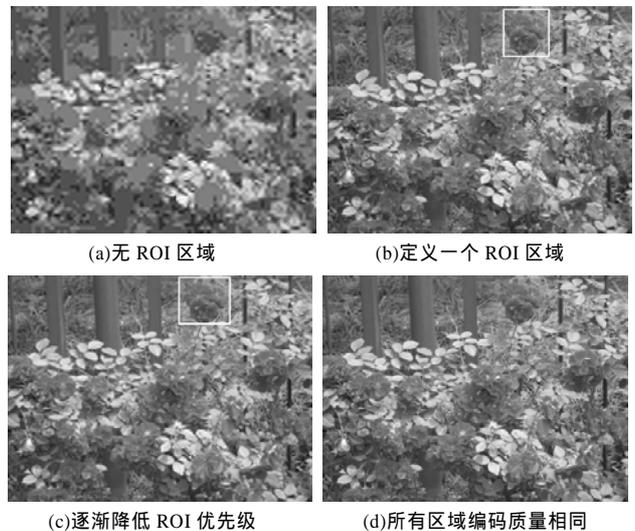


图 2 RCWARC 感兴趣区域编码算法仿真

(下转第 177 页)