

# 一种基于片层的 MPEG-2 视频编码速率控制方法

李 , 徐维朴, 郑南宁

(西安交通大学人工智能与机器人研究所, 陕西西安 710049)

**摘 要:** 本文针对 TM5 速率控制模型存在图象质量上下不均衡的问题, 提出了一种基于片层的速率控制方法, 具体给出了算法模型, 并与 TM5 进行了算法仿真结果比较. 本文的方法在一定程度上改善了图象内下部的质量, 进一步提高了图象的整体质量.

**关键词:** MPEG-2; 视频编码; 速率控制

**中图分类号:** TN59      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2001) 06-0853-04

## A Slice-based Rate Control Method in MPEG-2 Video Coding Standard

LI Shen, XU Wei pu, ZHENG Nan ning

(The Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shanxi 710049, China)

**Abstract:** An improved rate control algorithm slice based rate control algorithm is provided in this paper. Through changing the bit allocating unit from a picture to a slice, it solves the problem of quality unbalance within a picture caused by using TM5 rate control method. Further more it improves the overall quality of the picture.

**Key words:** MPEG-2; Video Encoding; Rate Control

### 1 引言

MPEG-2 视频部分<sup>[1]</sup>是由国际标准化组织 1994 年制定的一种视频压缩标准, 它综合采用了时域和空域编码技术, 可得到对视频的高效压缩比, 已广泛应用于视频会议、视频点播及影视媒体存储、传输等方面. MPEG-2 作为一个压缩标准, 对压缩比特流语法进行了严格定义, 并给出了相应的解码方法, 但在编码方法上却是相对开放的. 一些模块, 如运动补偿、DCT 变换、速率控制方法等都相对独立, 只要最终产生的比特流符合 MPEG-2 标准, 相应编码方法就是合法的. 因此, 可以对一些经典方法进行改进, 使编码更加有效.

速率控制算法的基本思想是设法对图像变化引起的码率变化进行调整, 使之在保证图像质量稳定的条件下, 适应有限的信道容量. 码率调整具体是通过改变 DCT 系数矩阵的量化尺度因子  $m_{quant}$  来对图像进行粗量化或细量化实现的.

MPEG-2 推荐的 TM5 速率控制模型<sup>[2]</sup>在大多数情况下, 能够有效地进行码率控制, 达到较好的图像质量, 但它也存在图像质量上下不均衡的问题. 对 TM5 速率控制模型改进算法的研究近年来已成为数字视频领域一个比较活跃的课题, 已提出了几种有代表性的算法, 如率-量化模型法、预编码法等<sup>[3~6]</sup>. 本文在具体分析了 TM5 模型的基础之上, 结合实际情况, 对 TM5 模型进行了一定的改进, 提出了一种基于片层的速率控制方法.

### 2 TM5 速率控制模型及失真分析

TM5 速率控制模型将整个控制过程分成三个步骤: (1) 根据图像复杂度, 以图像组为单元给其中各图分配目标比特数; (2) 根据此图的目标比特数及虚拟缓存的饱和程度, 为其各宏块预测量化参数; (3) 根据当前宏块的空间活跃性对预测的量化参数进行修正, 从而得到最终量化尺度因子  $m_{quant}$ , 对 DCT 系数矩阵进行量化处理.

速率控制的目标是在保证图像质量稳定的情况下, 使得输出码率恒定. 所谓图像质量稳定, 不但要求各帧图像之间的质量保持平稳, 而且要求每帧图像内各部分的质量也要均衡<sup>[3,4]</sup>. 在 TM5 模型中, 目标比特数的分配单位是图像. 在对一帧图从上到下逐个宏块进行编码时, 可用的目标比特数将随之而相对减少, 这往往导致了图像上半部分被相对细量化, 而下半部分却被相对粗量化, 使得图像上下部分的质量失衡<sup>[5,6]</sup>, 尤其当图像上半部多平坦区, 下半部多细化区时, 这个问题尤为突出. 而这类图像又常见于各种自然景物图像中, 如上半部的天空等背景造成大片平坦区, 下半部的花木草虫等又包含多个细节, 上下部的质量失衡造成下部细节部分模糊, 从而也影响图像的整体质量.

### 3 基于片层的速率控制模型

对 TM5 存在的问题和其产生的原因仔细地分析研究之

后,认为只有降低目标比特数的分配层次才能解决图像上下质量失衡的问题。MPEG-2 视频语法分为六层:序列层、图像组层、图像层、片层、宏块层和块层。鉴于图像层之下紧跟的就是片层,本文提出了基于片层的比特分配方法。

在具体分配方案提出之前,首先以信噪比(SNR)作为图像质量的衡量指标,对TM5策略下多帧图像的内部质量在片层进行了客观定量的分析。如图3(a)、图4(a)和图5(a)所示,分别是Garden序列的1至14帧图、Stroll序列的10至25帧图以及Calendar序列的1至16帧图的各图采用TM5策略重建图像与原图的信噪比(SNR)随着片(slice)增加而变化的曲线簇。为了简便,这里片定义为的一行的所有宏块集合。Garden序列和Calendar序列的图像大小为 $704 \times 480$ ,故一帧中共有30个片。Stroll序列的图像大小为 $704 \times 576$ ,一帧中共有36个片。如图所示,Garden序列和Stroll序列这两种自然景物序列的曲线簇明显反映出了图像质量随片数增加而呈下降的趋势。Calendar序列则是室内复杂实物的图像,没有大面积平坦区,图像质量随片数增加的变化趋势不如前两者明显,但也多少存在质量不均衡的问题。同时可以看出,序列中相邻的各幅图的图像质量随片的增加呈现出非常有规律的变化,变化趋势相似。

鉴于这种变化趋势的一致性,可以将已编码图在片层的信息复杂性分布、比特数分布、图像质量分布等信息用于后续图像的编码。基于以上思想,提出了一种改进的基于片层的比特分配原则,具体方案如下:

由于图像内部存在质量不均,本文将基于 $T_i$ 、 $T_p$ 、 $T_b$ 的图像层比特分配方法降低层次到基于 $TS_i$ 、 $TS_p$ 、 $TS_b$ 的片层比特分配方法,为每一片层预测比特数,并根据相应缓冲区饱和程度调整量化尺度,步骤如下:

(1)按照TM5的方法,计算出 $X_i$ 、 $X_p$ 、 $X_b$ ,并同样推出下一图的 $T_i$ 、 $T_p$ 、 $T_b$ 。 $X_i$ 、 $X_p$ 、 $X_b$ 和 $T_i$ 、 $T_p$ 、 $T_b$ 的定义与TM5一致,即 $X_i$ 、 $X_p$ 、 $X_b$ 表示I、P、B型图的全局复杂度。 $T_i$ 、 $T_p$ 、 $T_b$ 表示图像组中下一幅图(I、P、B型)的目标比特数。

(2)计算下一幅图中每一个片层的目标比特数。

$$TS_j = T_i \times H_j, j = 0, 1, \dots, slice\_cnt - 1$$

$$TS_{pj} = T_p \times H_j, j = 0, 1, \dots, slice\_cnt - 1$$

$$TS_{bj} = T_b \times H_j, j = 0, 1, \dots, slice\_cnt - 1$$

其中, $TS_j$ 、 $TS_{pj}$ 、 $TS_{bj}$ 表示下一幅图(I、P、B型)第j个片的目标比特数; $slice\_cnt$ 表示一幅图中的总片数; $H_j$ 称为片复杂度系数,它表示第j个片层的比特数占一幅图总比特数的比重。即:

$$H_j = SS_j / S$$

其中, $SS_j$ 为刚编完的第j个片实际所用的比特数; $S$ 为此图编完后实际所用的总比特数。

下面介绍 $H_j$ 的取值及更新方法:

i 在每一序列的开始, $H_j$ 的初始值:

$$H_j^0 = \frac{1}{slice\_cnt}, j = 0, 1, \dots, slice\_cnt - 1$$

即认为各片层比特数分配均匀。

ii 对于I、P图,整幅图编完后,对 $H_j(j = 0, 1, \dots, slice\_cnt - 1)$

进行更新。而对于B图,由于其按原始顺序离后续图较P图远,为了简化计算,此算法中不对B图的 $TS_{bj}$ 、 $S$ 及 $H_j$ 进行计算更新。

(3)在编第j个宏块之前,先根据图像类型计算虚存的饱和程度。

假设第j个宏块位于第k个片的第l个宏块,

$$k = \left\lfloor \frac{j}{MB\_cnt\_slice} \right\rfloor, l = j - k * MB\_cnt\_slice$$

其中, $MB\_cnt\_slice$ 表示一个片中所含的宏块总数。

下面计算虚存的饱和程度:

i 如果 $l \neq 0$ ,

$$d_j^i = d_{k,l}^i = d_0^i + BS_{k,l-1} - \left[ \frac{TS_{i,k} \times (l-1)}{MB\_cnt\_slice} \right]$$

$$d_j^p = d_{k,l}^p = d_0^p + BS_{k,l-1} - \left[ \frac{TS_{p,k} \times (l-1)}{MB\_cnt\_slice} \right]$$

$$d_j^b = d_{k,l}^b = d_0^b + BS_{k,l-1} - \left[ \frac{TS_{b,k} \times (l-1)}{MB\_cnt\_slice} \right]$$

其中, $d_0^i$ 、 $d_0^p$ 、 $d_0^b$ 是每一片虚存的初始饱和程度; $BS_{k,l}$ 是第k片中编到第l个宏块时,实际已用的比特数(包括l); $d_j^i$ 、 $d_j^p$ 、 $d_j^b$ 表示对图中第j个宏块编码时,相应虚存的饱和程度; $d_{k,l}^i$ 、 $d_{k,l}^p$ 、 $d_{k,l}^b$ 表示编第k片的第l个宏块时,k片虚存的饱和程度。

ii 如果 $l = 0$ ,

对本图的第一个宏块,采用前一同类型图的最终 $d_j^i$ 、 $d_j^p$ 、 $d_j^b$ ( $j = MB\_cnt$ )作为其 $d_{0,0}^i$ 、 $d_{0,0}^p$ 、 $d_{0,0}^b$ ;其余每片的第一个宏块,用本图上一片最后一个宏块编完时的 $d_j^i$ 、 $d_j^p$ 、 $d_j^b$ ( $j = k * MB\_cnt - slice$ ,  $k = 1, 2, \dots, slice\_cnt - 1$ )作为 $d_{k,0}^i$ 、 $d_{k,0}^p$ 、 $d_{k,0}^b$ 进行计算。

在序列最初,虚存的初始值选为:

$$d_0^i = 10 \times r / 31, d_0^p = K_p \times d_0^i, d_0^b = K_b \times d_0^i$$

(4)计算参考量化尺度因子 $mquant$

$$mquant = \left\lfloor \frac{d_j \times 31}{r} \right\rfloor$$

其中, $d_j$ 即 $d_j^i$ 、 $d_j^p$ 、 $d_j^b$ ,反应参数 $r$ 的取值与TM5相同。

(5)按照TM5的方法,进行适应性量化,即TM5的第三步。

综上所述,基于片层的比特分配方法总体框架示于图1。

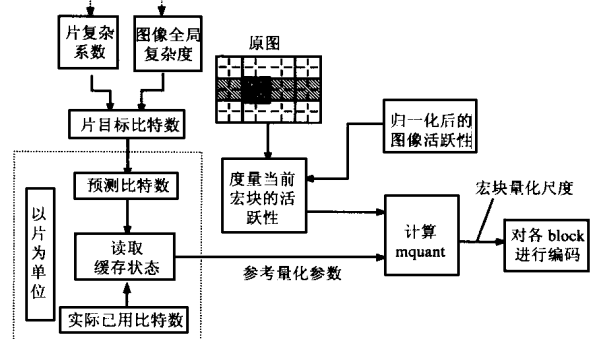


图1 基于片层的比特分配方法总体框架图

### 4 实验结果及分析

采用本文算法及 TM5 方法对三种码流进行了对比测试。三种测试码流为 Garden, Stroll 和 Calendar 标准序列, 其中 Garden 序列和 Stroll 序列是两个自然景物序列, 图像背景存在大面积平坦区, 前景则较为复杂; Calendar 序列是人为实物的图像, 背景和前景都较为复杂。Garden 图像序列采用 25Frames/s, 码率 5Mbits/s, 图像大小为 704×480, 每帧共有 30 个片; Calendar 图像序列采用 29.97Frames/s, 码率 4Mbits/s, 图像大小为 704×480, 每帧共有 30 个片; Stroll 图像序列采用 25Frames/s, 码率 5Mbits/s, 图像大小为 704×576, 每帧共有 36 个片。以上各序列中, 每个图像组均含 12 帧图像, I、P 帧间隔 3 帧。

用本文算法和 TM5 方法进行一幅图中虚拟缓存饱和程度  $d_j$  随宏块编码变化的对比, 共对三种码流图像 (Garden, Stroll 和 Calendar 序列) 进行了测试。Garden 和 Calendar 图像大小为 704×480, 一幅图总共有 1584 个宏块; Stroll 图像大小为 704×576, 一幅图总共有 1320 个宏块。如图 2 所示, 可以看出, 除由设定初始值引起的起始  $d_j$  高峰和下降趋势外, 图中  $d_j$

随着宏块的增加都呈现出增大的趋势。对比之下, 本文算法较 TM5 的变化缓和, 图像从上到下编码时, 量化步长不再随之呈明显的增大趋势。

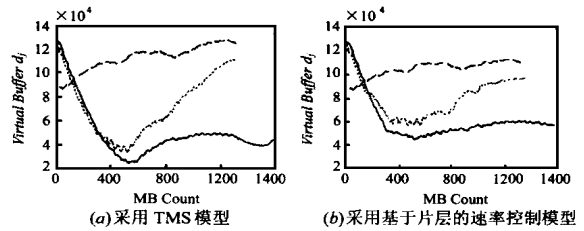


图 2 Garden, Stroll 和 Calendar 序列一幅图中虚拟缓存饱和程度  $d_j$  随宏块编码变化的对比图 (实线—Stroll, 短虚线—Garden, 长虚线—Calendar)

图 3 至图 5 对三种序列各若干帧图的重建图像与原图的信噪比 (SNR) 随片变化曲线进行了对比, 可以看出, 采用本文基于片层的速率控制方法之后, 除了 Calendar 序列的前后变化不显著以外, Stroll 和 Garden 图像序列各图内部的图像质量不均衡问题都得到了不同程度的改善。

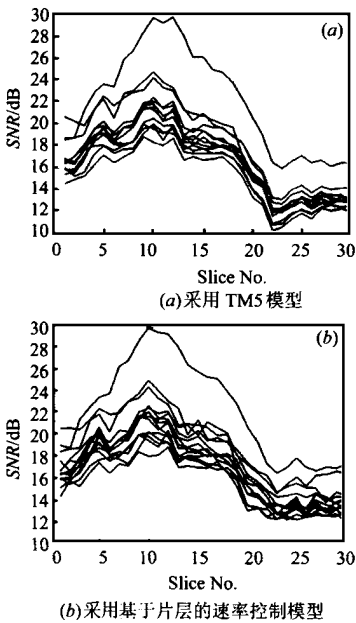


图 3 Garden 图像序列 1 至 14 帧图重建图像与原图的信噪比 (SNR) 随片变化曲线图。

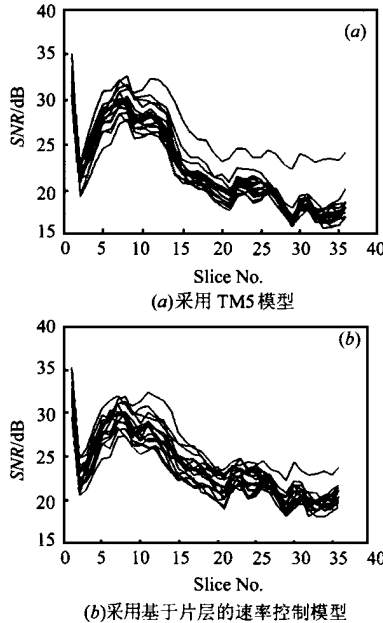


图 4 Stroll 图像序列 10 至 25 帧图重建图像与原图的信噪比 (SNR) 随片变化曲线图。

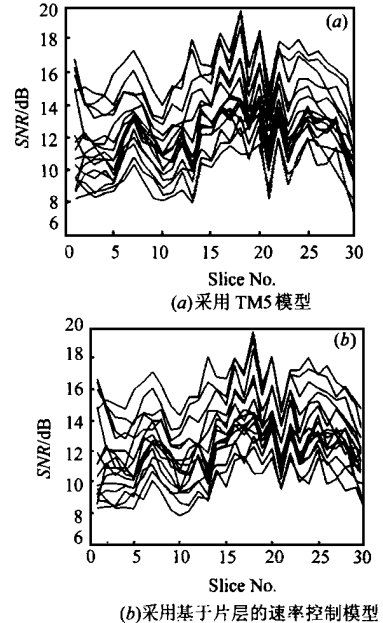


图 5 Calendar 图像序列 1 至 16 帧图重建图像与原图的信噪比 (SNR) 随片变化曲线图。



图 6 采用不同方法编码的 Garden 图像序列第 3 帧解码对比图  
图 6 给出了 Garden 图像序列采用 TM5 速率控制方法及采用基于片层的速率控制方法进行编码后解码的某帧图像对

比。由图可以看出, 采用基于片层的速率控制方法后, 图像下部的细节部分较为清晰。

从实验结果可见, 本算法对于有大面积平坦背景的自然景物图像, 能够提高图像内部质量的均衡程度, 但是对局部小区域细节的图像质量提高并不是非常显著。其原因是算法中的比特分配方案不是针对特定的图像感兴趣区域进行的, 针对这个弱点现在有人提出基于对象的编码, 如果将具体对象作为比特分配的单位, 有可能对于图像的质量有更大程度的提高。

## 5 结论

MPEG 2 标准推荐的 TM5 速率控制模型存在图像质量上下不均衡问题,降低目标比特数的分配层次可以解决这一问题,本文提出了一种基于片层的速率控制方法,由算法仿真结果得出,此方法可以一定程度改善图像下部质量,从而提高了图像的整体质量.

### 参考文献:

- [ 1 ] ISO/IEC 13818 2: Information technology —Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video , First edition [ S]. 1996 05-15.
- [ 2 ] ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11. "Test Model 5" Draft [ S]. Apr. 1993.
- [ 3 ] G Keesman, I Shah, R Kleir Gunnewiek. Bit rate control for MPEG 2 encoders [ J]. Signal Processing, Image Communication, 1995, 6: 545-560.
- [ 4 ] Bo Tao, Heili A Peterson, Bradley W Dickinson. A rate quantization model for MPEG encoders [ A]. in Proceedings of the International Conference on Image Processing [ C], 1997.

- [ 5 ] Wei Ding and Bede Liu. Rate control of MPEG video coding and recording by rate quantization modeling [ J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Feb. 1996, 6(1): 12- 19.
- [ 6 ] S Bilato, G Calvagno, G A Mian, R Rinaldo. Accurate bit rate quality control for the MPEG video coder [ A]. in Proceedings of the International Conference on Image Processing [ C], 1997.

### 作者简介:



李 女. 1975 年生于湖北孝昌, 1996 年毕业于西北工业大学计算机系, 1996 年至 1999 年在西安交通大学人工智能与机器人研究所攻读硕士研究生, 并获“模式识别与智能系统”专业工学硕士学位, 主要从事视频编码方法的研究, 现任职于朗讯科技(中国)有限公司贝尔实验室.



徐维朴 男. 研究员, 1941 年生于上海, 1965 年毕业于西安交通大学无线电系, 1965 年至 1987 年在原电子部 709 厂工作, 此后调入西安交通大学, 现为人工智能与机器人研究所副所长, 主要从事数字电视和智能控制方面的研究工作.