

基于 DCT 系数分布特性的视频编码 码率控制策略

李晓辉¹, 施芝元², 张红伟¹

(1. 安徽大学电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230039; 2. 厦门大学电子工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 根据缓存器的状态和信道速率为待编码帧在图像层上预分配目的视频编码比特数, 使用 DCT 系数分布特性来表征图像特性, 继而为帧内每一具体宏块选定最佳量化因子, 提出了基于 DCT 系数分布特性的码率控制策略. 并分析了算法的复杂度, 提出了改进策略. 模拟实验表明, 该码率控制策略能有效地减少、避免缓存器出现上、下溢的情况, 而输出码率趋于稳定. 提高了重建图像的信噪比, 并且在视频图像质量没有明显失真的前提下, 改进了计算复杂度.

关键词: 视频编码; 码率控制; DCT 系数; 分布特性

中图分类号: TH 919.81

文献标识码: A

在当前视频压缩编码标准中, 如 MPEG1、H. 261、H. 263 等^[1], 由于对视频序列中不同类型帧采用的编码方式不同, 各帧图像本身的活动性大小也不尽相同, 使得各帧编码后产生的比特数必然存在一定的差异. 为了使编码后的数据适于在固定速率的信道传输, 往往需要在信源编码端设置一个缓存器, 以平滑编码输出的码流, 同时对编码后输出的码率进行控制, 以实现变字长编码数据流与信道传输所需的固定码率相匹配. 码率控制的目的是使编码输出的码流尽可能稳定, 这样编码端缓存器也不易出现上溢现象, 从而有效地减少和避免跳帧现象, 获得更高的重建图像质量.

1 传统的码率控制策略

传统视频编码码率控制策略是依据缓存器的状态和信道速率来调整量化步长. 典型的 H. 261 编解码器参考模型 8 (RM 8) 对传输缓冲器占有率与反馈的量化系数之间以线性关系描述, 并据此来控制传输缓冲器输入码流的速率^[2]. 其主要缺陷在于采用了线性的方法控制一个非线性动态的视频编码器传输缓冲器, 在图像数据突变时, 由于调节过慢有可能使得图像质量下降甚至影响系统的正常运行.

收稿日期: 2001-01-04

基金项目: 安徽省教委自然科学基金资助项目(99j10018)

作者简介: 李晓辉(1961-) 男, 副教授.

2 基于 DCT 系数分布特征的码率控制策略

在进行码率控制时, 如将图像特征作为一个控制参数, 根据图像特征适当调整量化因子的大小, 进而调整编码后的输出码率, 往往能收到更满意的平滑效果, 获得更稳定的输出码流, 解端就能获得更高信噪比的重建图像。

本文提出的码率控制策略通过前向控制和后向控制相结合的途径实现码率控制的目的, 框图如图 1 所示。

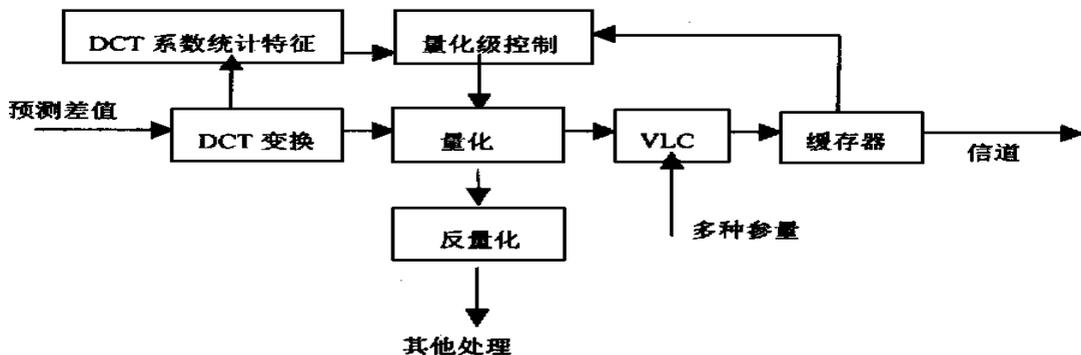


图 1 基于 DCT 系数分布特征的码率控制策略实现框图

Fig. 1 Implementation of rate control strategy based on the distributed character of DCT coefficients

首先进行图像层码率控制, 在该层对每帧图像的编码比特数进行预分配, 然后根据当前图像的具体特征再进行宏块层码率控制, 为帧内不同活动特性的宏块选用不同的量化因子, 从而在得到稳定输出码流的同时, 获得更高质量的解码图像。

图像层码率控制实际上是根据信道速率和缓存器状态在图像层上为每一帧图像确定目的编码比特数, 并由此确定图像层的参考量化因子, 这是一种宏观预分配^[3,4]。在图像层使用如下公式为当前待编码帧选定一个目的编码比特数 B 。

$$B = \frac{R}{F} - \Delta \quad (1)$$

$$\Delta = \begin{cases} W/F; & W > Z \quad M \\ W - Z \quad M; & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中, R 是信道速率, F 是帧频, Δ 是一个修正量, 由式(2)决定, 它反映缓存器中分配给每帧的剩余比特数信息。其中 W 为当前缓冲区中的比特数, Z 经多次实验测量可取一常量, M 为缓存器不产生上溢的最大值。通常 Δ 的值很小, 在 R/F 附近。上述两公式表明, 在这种控制策略中, 直接把编码器输出端每帧发送的比特数 R/F 与分配给每帧的缓存器剩余比特数 Δ 的差值作为目的编码比特数。这样, 当前帧编码后产生的比特数与 Δ 之和很接近于平均每帧传送到信道的比特数, 这些数据会在下一帧的传输中被立即传送到信道, 而对于后续编码帧, 留在缓存器的剩余量是很小, 从而有效地防止缓存器的上溢, 避免跳帧现象, 更好地保持图像连续性。对于下溢情况的防止比较简单, 只需在必要时在码流中插入填充码便可实现。

在进行宏块层码率控制前, 应该为当前帧内的所有宏块选取一个参考量化因子 Q_r 。如果所有宏块都使用这一相同的量化因子进行量化, 则编码后得到比特数应该和前面为图像层预

分配的比特数相近.

通过对多种图像序列的统计分析,得目的编码比特数 B 和参考量化因子 Q_r 的对应关系如图 2.

根据图 2 的结果,可以拟合出下面的函数关系式来表示图 2 中的关系.

$$B = A \left[K \frac{S}{Q_r^2} + C \right] \quad (3)$$

式(3)中 A 为一帧图像的像素数, C 为用于编码帧头信息、MV 的句法结构占去的比特位, K 为常数系数. S 为描述该帧图像活动性的参数,用一个关于 DCT 系数的函数来衡量.

$$S = f(\text{DCT}(i, l)) \quad i, l \in D \quad (4)$$

式(4)中 $\text{DCT}(i, l)$ 为 DCT 变换的系数, D 代表一帧图像占据的空间.

对式(3)作反变换,可以得出用于确定 Q_r 的计算表达式如下

$$Q_r = F(S, B) \quad (5)$$

上式表明,参考量化因子的选取是由待编码输出比特数的大小以及图像的活动性决定的.

在宏块层次进行码率控制需要为帧内每个宏块确定具体的量化步长,在此过程中应充分考虑图像本身的特征,以便为帧内活动性不同的宏块选用最佳量化因子^[5].本文中采用能很好反映 DCT 系数分布特性的方差参数来表征图像特征,反映图像的活动性.并根据 DCT 系数方差 σ^2 的大小将图像分成平坦区、缓变区、适度变化区和剧变区等四类.

一般,活动性较大的宏块所产生的比特数,比活动性较小的宏块所产生的比特数多.在进行码率控制时,对活动性大的宏块可采用相对较大的量化因子,以适当减少其产生的比特数,这有利于总输出编码比特数的稳定,避免输出缓冲器上溢.对于活动性较小的宏块则采用相对较小的量化因子,以保证当前宏块在解码端重建时能获得较高的图像质量.对于活动性非常小的宏块,其所对应的图像几乎不变,因此对于该类型宏块可以不再减小其量化因子,甚至可以增大其量化因子.

综上所述, σ^2 的值越大,表明图像中相应宏块的变化越剧烈,即宏块的高频分量越多,可压缩的潜力也就越大.本文通过 σ^2 对值大小的判断以决定如何对量化因子进行调节,当 σ^2 的值很大时表明当前宏块为剧变区,应适当增加量化因子.反之,应减少量化因子.量化因子按下式进行调整.

$$Q_j = \begin{cases} Q_r; & \text{当 } \sigma^2 < \text{TH1 时, 为平坦区} \\ Q_r - \Delta Q; & \text{当 } \text{TH1} < \sigma^2 < \text{TH2 时, 为缓变区} \\ Q_r; & \text{当 } \text{TH2} < \sigma^2 < \text{TH3 时, 为适度变化区} \\ Q_r + \Delta Q; & \text{当 } \sigma^2 > \text{TH3 时, 为剧变区} \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中 TH1、TH2、TH3 为根据图像特征设置的相应判决门限值. ΔQ 为量化因子调节的幅度,由图像的活动特性决定,通常取 1 或 2.

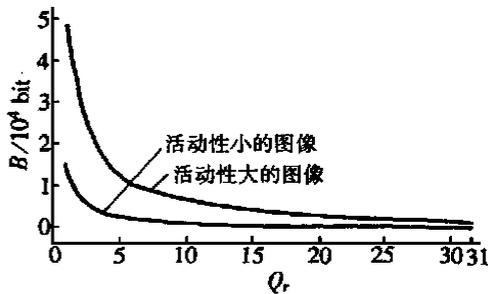


图 2 编码比特数与量化因子的关系

Fig. 2 The number of coding bits versus quantization parameter

3 算法复杂度的分析与改进

由于在进行图像特征分析时要计算 DCT 系数的方差, 故会影响编码的时间和效率. 应该采取一定的措施加以改进. 在某些情况下, 可以略去 DCT 系数方差的计算^[6].

在视频压缩编码中, 运动估值是为改善视频质量而采用的一种方法. 在进行运动估值前, 通常要作一个判决, 即用当前帧中当前宏块和先前帧中相应宏块作比较, 只有在两者内容相差很大时, 才进行运动估值. 通常使用两帧相应宏块之间的最小绝对差(MAD) 作为判决准则.

$$MAD(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_k(m, n) - f_{k-1}(m+i, n+j) \quad (7)$$

式(7) 中, (i, j) 为运动矢量. f_k, f_{k-1} 分别为当前帧和先前帧相应宏块的灰度值, M, N 为宏块的大小. MAD 的值越小, 说明图像的活动性越小, 对于活动性小的宏块, 其 DCT 系数的高频分量区几乎为零, 甚至直流分量都有可能接近于零. 对于该类型的宏块可以只计算其直流分量值, 而将所有的交流分量全部置零, 从而节约 DCT 系数的计算时间. 对于 MAD 值较大的宏块可以按照下面的算法计算不同部分的 DCT 系数.

If (SAD < T1)

不计算 DCT 系数, 所有系数置零, 方差置零;

Else if (SAD < T2)

仅计算直流系数, 所有交流系数置零, 方差置零;

Else if (SAD < T3)

仅计算 4×4 低频 DCT 系数, 其他交流分量置零, 计算方差;

Else

计算所有 DCT 系数, 计算方差.

在上述算法中, T1、T2、T3、T4 为根据图像特征而设置的门限值.

通过上述的改进方法可以有效地减少视频编码的计算量, 节约编码时间. 而解码端重建图像的质量也不会引起明显下降.

4 模拟实验及结果

在进行模拟实验时, 使用的是 Coastguard 图像序列, 其帧频为 20 Hz, 格式为 QCIF 格式. 取初始量化因子 $QP = 15$, 缓冲器容量为 6 400 Bit. 采用 H. 261 码率控制策略和本文提出的改进的码率控制策略缓存器占有率和峰值信噪比分别如图 3 和图 4.

由图 3 可见, 采用基于 DCT 系数分布特性的码率控制策略得到的编码输出码流和缓存器占有率较 H. 261 使用的码率控制策略得到的结果稳定, 不易出现上下溢. 由图 4 可见, 使用本文提出的码率控制策略得到的信噪比较采用 H. 261 的码率控制策略得到的信噪比要高出 0.3 dB 左右, 尤其出现跳帧时, 重建图像的信噪比得到了明显的改善. 在信噪比明显下降处, 说明出现了跳帧现象. 通过比较可见, 采用本文提出的码率控制策略, 跳帧次数明显减少.

图像编码如采用本文提出的 DCT 快速算法, 可以减少 DCT 变换的时间, 从而节约编码时间. 用主频为 400 MHz 计算机, 分别对 Missbm、Coastguard、Foreman 三种标准图像序列的前 150 帧图像进行测试, 模拟试验中, 初始量化因子 QP 取 10, 并对试验结果进行比较. 编码时间和信噪比的比较结果如表 1.

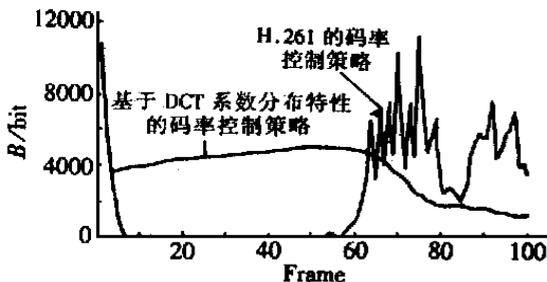


图 3 不同码率控制策略下缓存器占有率的比较

Fig. 3 The comparison of buffer fullness between different rate control strategies

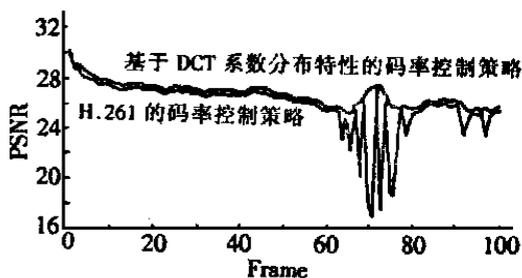


图 4 不同码率控制策略下信噪比的比较

Fig. 4 The comparison of PSNR between different rate control strategies

表 1 使用改进策略前后编码时间和信噪比的比较

Tab. 1 The comparison of coding time and PSNR

图像序列	未使用改进策略的编码时间/s	使用改进策略的编码时间/s	使用改进策略时信噪比下降/dB
Miss_am	6.21	4.85	0.14
Coastguard	12.73	8.91	0.29
Foreman	11.88	8.31	0.28

由表 1 看出,在编码部分采用本文提出的 DCT 快速算法,可以减少编码时间,而重建图像的信噪比仅稍微降低,主观上感觉不到画面质量有所下降.

5 结 论

采用基于 DCT 系数分布特性的视频码率控制策略能很好地反映图像的特征,为量化因子的调节提供较好的判据.此外,在宏块层使用码率控制策略,能在尽量避免缓存器上溢的同时,减少缓存器的时延.并且在视频图像质量没有明显失真的前提下,改进了计算复杂度,提高了编码速度.该方法得到的重建图像信噪比高于采用传统的 H.261 编码码率控制策略得到的信噪比,尤其在图像序列出现跳帧时,重建图像的信噪比得到明显的改善.

参考文献:

- [1] ITU-T Rec. H.261. Video Code for Audiovisual Services at $p \times 64$ kbit/s[S]. 1993.
- [2] CCITT SG XV Specialists Group on Coding for Visual Telephony. Description of Reference Model 8 (RM 8) Document 525[S]. 1989.
- [3] Jordi R C, Lei S M. Rate control in DCT video coding for low-delay communications[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1999, 9(1): 172-185.
- [4] Bo T, Bradley W D, Heidi A P. Adaptive model-driven Bit allocation for MPEG video coding[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 2000, 10(1): 147-157.
- [5] Jozsef V, Bing B, et al. Significance-linked connected component analysis for very low-rate wavelet video coding[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1999, 9(3): 630-647.

- [6] Pao I M, Sun M T. Modeling DCT coefficients for fast video encoding[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1999, 9: 608- 616.

Rate Control Strategy Based on the Distributed Character of DCT Coefficients

LI Xiao-hui¹, SHI Zhi-yuan², ZHANG Hong-wei¹

(1. Dept. of Electr. and Inf. Sci., Anhui Univ., Hefei 230039, China;

2. Dept. of Electr. Engn., Xiamen Univ., Xiamen 361005, China)

Abstract: Rate control strategy based on the distributed character of DCT coefficients is proposed, we allocates the target number of bits firstly on picture layer based on the status of the buffer and the channel rate, and then denotes the characteristics of the picture by the distributed characteristics of the DCT coefficients and select a best quantized parameter for every macroblock in a frame. The complexity of the algorithm is analyzed and an improved method is proposed. The experiment shows that this rate control strategy can effectively reduce and avoid the overflow and underflow of the encoder buffer, and the output bit rates tend to stabilization. The PSNR of the reconstructed picture is raised, and the complexity of the algorithm is improved with no visible distortion in video image.

Key words: video coding; rate control; DCT coefficient; distributed character