

基于 MSE 匹配法则的全零块判决算法

景 麟 王宏远 周 娅

(华中科技大学 电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为提高编码效率, 从运动估计匹配法则的特性分析出发, 提出一种基于 MSE 匹配法则的全零块判决算法. 在保持编码质量的前提下, 推荐算法能够有效地提高运动估计的速度并减少 DCT 和量化的运算量. MPEG-4 下的实验表明, 改进的判决条件能够检测出高达 92.6% 的全零块; 推荐算法比常规算法最大能节省 65.7% 的整体编码时间.

关键词: 视频编码; 均方误差; 全零块检测; 运动估计; MPEG-4

中图分类号: TN919.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2008)05-0016-04

Algorithm for an all-zero block detection based on MSE

Jing Lin Wang Hongyuan Zhou Ya

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University
of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To improve encoding efficiency, beginning with property analysis for the block matching algorithms (BMA), a judgment for detecting all-zero block based on mean squared error (MSE) is proposed. Under controlling encoding quality, the proposed algorithm can effectively improve the motion-estimation speed and reduce the amount of computation in discrete cosine transform (DCT) and quantization. Experiments in MPEG-4 show that the improved judgment can detect 92.6% maximal all-zero blocks, the proposed algorithm can save 65.7% maximal encoding time relative to the normal one.

Key words: video coding; MSE; all-zero block detection; motion estimation; MPEG-4

以 H.26X 和 MPEG 为代表的视频编码标准中, DCT 和运动估计消耗了绝大部分的系统开销^[1]. 本文从运动估计匹配法则的特性分析出发, 提出了一种基于 MSE 匹配法则的全零块判决条件和 MPEG-4 下的快速运动估计算法. 实验表明本算法能够有效地提高运动估计的速度并减少 DCT 和量化的运算量, 从而有效地提高编码器的编码效率.

1 运动估计匹配法则的特性分析

运动估计的运算复杂度由匹配法则(block matching algorithm)、搜索范围和搜索方法等三

个因素决定. 常用的块匹配法则有均方误差法则(MSE, mean squared error)^[2]、绝对平均差法则(MAD, mean absolute difference)^[3]、互相关法则(CCF, cross correlation function)^[4]、率失真法则(RD, rate distortion)^[5]等. 在以上众多的匹配法则中, MSE 和 MAD 最为常见.

均方误差法则的计算公式为

$$e_{\text{MSE}}(i, j) = \frac{1}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} [I_k(m, n) - I_{k-1}(m+i, n+j)]^2; \quad (1)$$

绝对平均差法则的计算公式为

$$e_{\text{MAD}}(i, j) = \frac{1}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |I_k(m, n) -$$

收稿日期: 2007-03-29.

作者简介: 景 麟(1980-), 男, 博士研究生; 武汉, 华中科技大学电子与信息工程系(430074).

E-mail: jinglin@126.com

$$I_{k-1}(m+i, n+j) \downarrow, \tag{2}$$

式中： $I_k(m, n)$ 表示第 k 帧图像在 (m, n) 位置的像素值； N 为编码块的大小。

比较式(1)和(2)可以看出，MSE 和 MAD 计算公式极为相似，前者为二阶运算，后者为一阶运算；MSE 由于存在乘法运算，故运算复杂度大于 MAD 的。因而在很多快速算法中，MAD 取代了 MSE 作为块匹配法则。但是由于 DSP 中采用了硬件乘法器，一次乘法和一次加法能够在一个时钟周期内完成，因此在 ASIC 中 MSE 和 MAD 的计算量基本相当^[6]。

由式(2)知，MAD 只是简单地将匹配块之间差值的模累加后平均，并以此平均效果作为匹配程度的判断依据。而 MSE 从信息熵的角度作评价，若匹配块误差集中在局部区域，则产生的误差能量(即 e_{MSE} 值)就大；若匹配块的误差绝对值总和(即 e_{MAD} 值)大，其误差都分布在图像中广泛区域内，则引起的误差能量就小^[2]。故从误差能量的角度考虑，按照 MSE 准则搜索到的最佳匹配块与当前编码块间的相似度最高，因此在经过 DCT、量化和熵编码后，输出的码流所需的比特数最小，同时其重建的图像质量也是最高的。因而 MSE 要比 MAD 的匹配效果好。

对于低码率的视频应用，提升图像细节部分的清晰度至关重要。运动估计中采用 MSE 法则能够比 MAD 法则更好找到匹配块，减少由于匹配不精确造成的码率上升和图像细节损失。因此本文选取 MSE 作为运动估计最佳匹配法则。

2 基于 MSE 的全零块判决条件

在视频电话、手机电视等低码率的视频应用中，最常见的是具有静止背景的缓慢移动的头肩序列，因而图像序列具有很强的时域相关性。在通过运动估计和补偿后，编码块的残差信号经过 DCT 和量化，存在大量的量化 DCT 系数为零的块，称为全零块。由于 DCT 和量化都涉及到大量的乘除运算，对于这些全零块，如果能够在 DCT 和量化之前检测出，那么在编码过程中就可以省去 DCT、量化、逆量化、IDCT 等步骤，从而降低编码器的计算复杂度，整体上提高编码效率。

据文献[7]， 8×8 残差块的 DCT 变换定义为

$$F(u, v) = \frac{1}{4}C(u)C(v)\sum_{x=0}^7\sum_{y=0}^7f(x, y) \cdot \cos\frac{(2x+1)u\pi}{16}\cos\frac{(2y+1)v\pi}{16}, \tag{3}$$

式中： $f(x, y)$ 为块内残差值； $F(u, v)$ 为 DCT 系数； $u, v = 0, 1, \dots, 7$ ；当 $u = v = 0$ 时， $C(u) = C(v) = 1/\sqrt{2}$ ；在其他条件下， $C(u) = C(v) = 1$ 。

由式(3)可知

$$|F(u, v)| \leq \frac{1}{4}\sum_{x=0}^7\sum_{y=0}^7|f(x, y)|\cos\left[\frac{\pi}{16}\right] \cdot \cos\left[\frac{\pi}{16}\right] \leq \frac{1}{4}\cos^2\left[\frac{\pi}{16}\right]\sum_{x=0}^7\sum_{y=0}^7|f(x, y)|. \tag{4}$$

而由柯西不等式可知

$$\frac{1}{64}\sum_{x=0}^7\sum_{y=0}^7|f(x, y)| \leq \sqrt{\frac{1}{64}\sum_{x=0}^7\sum_{y=0}^7f^2(x, y)},$$

故式(4)等效为

$$|F(u, v)| \leq 16\cos^2\left[\frac{\pi}{16}\right] \cdot \sqrt{\frac{1}{64}\sum_{x=0}^7\sum_{y=0}^7f^2(x, y)} = 16\cos^2\left[\frac{\pi}{16}\right] \cdot \sqrt{e_{MSE}}. \tag{5}$$

而基本的正量化可以描述为

$$F_q(u, v) = \text{round}\left[\frac{F(u, v)}{Q_{\text{step}}}\right],$$

式中 Q_{step} 为量化步长，一般通过量化参数 Q_p 进行检索； $\text{round}()$ 为舍尾取整操作。因此当 $|F(u, v)| < Q_{\text{step}}$ 时 $|F_q(u, v)| < 1$ ，即残差块的量化 DCT 系数全为 0，所以全零块判决的充分必要条件为 $|F(u, v)| < Q_{\text{step}}$ 。

结合式(5)，可以得出基于 MSE 匹配准则的全零块判决条件

$$e_{MSE} < Q_{\text{step}}^2 \sec^4\left[\frac{\pi}{16}\right] / 256 = T_s. \tag{6}$$

由上面推导可知，上式是全零块判决的充分但非必要条件，因而它不会造成误判。因为 Q_{step} 在编码前就已经确定，所以阈值 T_s 在运动估计前就是定值。

3 MPEG-4 中全零块判决的快速运动估计算法

本文以 MPEG-4 SP 为验证对象。MPEG-4 SP (simple visual profile)^[8] 是 MPEG-4 视频部分的简单档次，它使用了极低码率视频(VLBV)内核，即基于规则矩形框帧的视频编码。为了支持高效压缩，MPEG-4 仍然采用 H.263 和 MPEG-2 中的 DPCM/DCT 混合编码框架。其编码原理图如图 1 所示。

根据 MPEG-4 校验模型 16.3.2 中的规定^[8]，在默认的量化矩阵下，帧间量化步长 $Q_{\text{step}} = 2Q_p$ ($Q_p = 1, 2, \dots, 31$)。因此可以得到 MPEG-4 中全零块判决的充分条件：

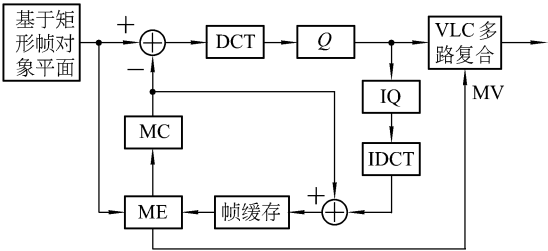


图 1 MPEG-4 SP 编码原理图

$$e_{MSE} < T_s, T_s = Q^2 \sec^4 \left[\frac{\pi}{16} \right] / 64. \quad (7)$$

MPEG-4 的运动估计按半像素精度搜索进行块匹配, 由于运动搜索消耗了源端大部分的编码时间, 因此提高运动估计的速度和精度尤为重要. 再结合本文提出的全零块判决条件, 提出了一种基于全零块判决的快速运动估计算法, 算法流程图如图 2 所示. 本算法基于 MSE 块匹配准则, 具体算法解释如下:

- a. 在进行运动估计时, 先将宏块的 4 个块单独进行匹配.
 - b. 块匹配先按整像素搜索精度进行, 若匹配当前残差的 e_{MSE} 满足式 (7), 则停止搜索, 返回当前的 MV 作为最佳的结果, 如果在整像素搜索中无法满足式 (7), 那么保存最佳 e_{MSE} 的位置, 继续进行半像素精度搜索.
 - c. 在最佳 e_{MSE} 的位置附近周围半像素点范围内寻找半像素精度的点, 进行半像素精度运动估计; 若搜索过程中, 当前残差的 e_{MSE} 满足式 (7), 则停止搜索, 返回当前的 MV 作为最佳的结果, 否则继续完成搜索并返回最佳位置的 MV.
- 以上算法并未限定搜索方法, 根据实际情况可以选择全搜索法(FS)、钻石搜索法(DS)^[9]或菱形搜索法^[10]等.

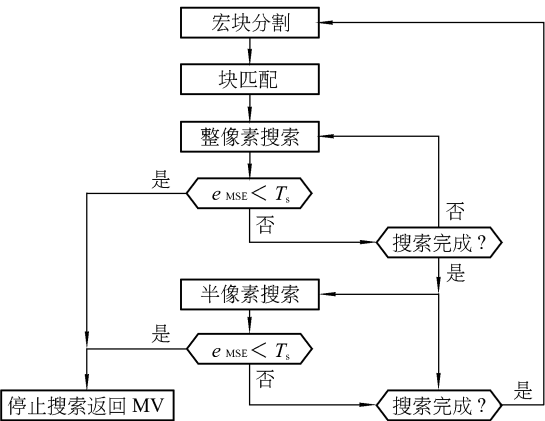


图 2 基于全零块判决的快速运动估计算法流程图

4 实验与仿真

为了评价上述算法的性能, 在 Matlab 上实现了 MPEG-4 SP 编码模型. 分别选取了有代表性的 QCIF 格式头肩序列 Susie 和 Akiyo 的前 150 帧作对比实验, 其中序列 Susie 运动较为剧烈, 序列 Akiyo 运动较为平缓. 实验分两步进行.

4.1 全零块判决条件的性能测试及改进

评测本文提出的全零块判决条件的性能. 量化参数分别选取 5, 8, 11, 14, 17 和 20, 仿真结果如表 1 所示. 其中: A_z 表示全部全零块占全部块的比例; A_D 表示检测出的全零块占全部全零块的比例.

表 1 全零块判决条件在典型量化参数下的性能对比

Q_p	Susie		Akiyo	
	$A_z / \%$	$A_D / \%$	$A_z / \%$	$A_D / \%$
5	34.4	1.1	62.4	9.7
8	55.3	19.0	68.2	83.3
11	77.1	28.9	77.3	75.4
14	90.5	31.0	91.7	64.5
17	95.9	33.6	97.7	62.3
20	97.4	37.1	99.2	63.2

由表 1 的统计可知, 基于式 (7) 的全零块检出比率并不高, 在运动剧烈序列 Susie 下, 最高只有 37.1 % 的检出率; 在高码率下 ($Q_p = 5$) 所有序列的检出率仅为 1.1 %. 这是由于式 (7) 为全零块判决的充分条件, 虽不会造成误判, 但 T_s 太过于严格. 为了提高全零块的检出率, 必须放宽式 (7) 的 T_s . 大量实验统计表明, 当 $T_s = Q^2 \sec^4 (\pi / 16) / 16$ 时, 全零块的检出率最高且不至于造成误判, 因此改进后的 MPEG-4 中全零块判决的充分条件为: $e_{MSE} < T_s, T_s = Q^2 \sec^4 (\pi / 16) / 16$. 在新判决门限下的仿真结果如表 2 所示.

表 2 改进后的典型量化参数下的性能对比

Q_p	Susie		Akiyo	
	$A_z / \%$	$A_D / \%$	$A_z / \%$	$A_D / \%$
5	34.4	62.5	62.4	92.6
8	55.3	55.9	68.2	88.6
11	77.1	50.1	77.3	82.4
14	90.5	50.2	91.7	71.6
17	95.9	55.1	97.7	69.7
20	97.4	64.1	99.2	71.5

由表 2 可知, 在新的判决条件下全零块的检出率最高可达 92.6 % (序列 Akiyo, $Q_p = 5$), 最低也超过 50 %, 检出效果非常理想.

4.2 整体编码效率比较

在不同量化参数下,以编码器编码时间的长短来衡量整体编码效率.在本算法下的 MPEG-4 SP 编码器中,分别使用常规运动估计算法和本文改进的算法作整体编码效率实验.表 3 给出了在典型量化参数下,常规算法和改进算法的仿真结果.为了评价的客观性,在运动估计中采用精度最高的全搜索法(FS).

由表 3 分析可知,改进算法比常规算法的编码时间显著减少:在运动较为剧烈的序列 Susie 节省了 14.2 % ~ 49.0 % 的编码时间,在运动较为平坦的序列 Akiyo 节省了 55.0 % ~ 65.7 % 的编码时间.改进算法和常规算法相比并未减弱图像质量,因此改进算法效果比较明显.

表 3 典型量化参数下的整体编码效率比较

Q_p	Susie		Akiyo	
	$y_s/(s/帧)$	$y_b/(s/帧)$	$y_s/(s/帧)$	$y_b/(s/帧)$
5	3.580	3.072	3.845	1.729
8	3.517	2.666	3.754	1.591
11	3.518	2.468	3.725	1.485
14	3.508	2.231	3.720	1.408
17	3.504	1.997	3.702	1.334
20	3.480	1.775	3.700	1.270

注: y_s 和 y_b 分别为常规算法和本算法的编码效率

参 考 文 献

[1] Zhang J, He Y, Yang S, et al. Performance and complexity joint optimization for H.264 video coding [J]. Proceeding of International Symposium on Cir-

cuit and System, 2003(2): 888-891.
[2] Kappagantula S, Rao K R. Motion compensate predictive coding[C] // SPIE 27th Proc. New York: New York Academic, 1985: 67-70.
[3] Koya T, Linuma K, Hirano A, et al. Motion-compensated inter-frame coding for video conferencing [C] //Proceedings of NTC81. New Orleans: LA Academic, 1981: 1-9.
[4] Jain J R, Jain A K. Displacement measurement and its application in inter-frame image coding[J]. IEEE Trans on Commun, 1981, 29(12): 1799-1808.
[5] Hoang D, Long P, Vitter J. Efficient cost measures for motion wstimation at low bit eates[J]. IEEE Trans on CSVT, 1998, 8(4): 488-500.
[6] 张雄伟, 曹铁勇. DSP 芯片的原理与开发应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2000.
[7] Zhou Xuan. Method for detecting all-zero DCT coefficients ahead of discrete cosine transformation and quantisation[J]. Electronics Letters, 1998, 34(19): 1839-1840.
[8] Richardson I E G. H.264 和 MPEG-4 视频压缩: 新一代多媒体的视频压缩编码技术[M]. 欧阳合, 译. 长沙: 国防科技大学出版社, 2004.
[9] Jo Yew Tham. A novelunrestricted center-biased diamond search algorithm for block motion wstimation [J]. IEEE Trans on CSVT, 1998, 8(4): 369-377.
[10] Cheung C H, Po L M. A novel cross-diamond search algorithm for fast block motion estimation [J]. IEEE Trans on CSVT, 2002, 12(12): 1168-1177.

我校 2 人入选“新世纪百千万人才工程”

2007 年“新世纪百千万人才工程”国家级人选名单公布,我校数学系吴军教授、同济医院罗小平教授入选.

“新世纪百千万人才工程”是为深入贯彻全国人才工作会议精神,进一步加强高层次专业技术人才队伍建设,促进优秀中青年学术、技术带头人的成长,由人事部等 7 部委联合组织实施的.该工程的目标是,到 2010 年,培养造就数百名具有世界科技前沿水平的杰出科学家、工程技术专家和理论家;数千名具有国内领先水平,在各学科、各技术领域有较高学术技术造诣的带头人;数万名在各学科领域里成绩显著、起骨干作用.

14 人入选该计划.