

H. 264 中全零块检测的线性分类器算法

王萍, 邓妍, 黄华

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对 H. 264 视频编码中传统全零块检测方法检测率较低的问题, 提出了一种全零块检测的线性分类器算法. 根据编码特性选择 5 个变量作为全零块检测的特征, 基于参考块的全零块情况, 设计了 2 个不同的线性分类器来区分全零块和非全零块, 然后选取代表不同运动程度的视频样本, 利用 Fisher 准则训练得到 2 个分类器的权系数和不同量化参数下全零块检测的阈值, 最后用最小二乘原理将各个量化参数下的阈值拟合成量化参数的二次多项式, 从而得到最终的全零块检测的线性分类器. 实验结果表明, 新算法在基本不降低视频质量的同时, 能获得比其他现有算法更好的检测率, 并且有效地缩短了编码时间.

关键词: H. 264 标准; 视频编码; 全零块检测; 线性分类器

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)10-0024-06

Algorithm for All-Zero Block Detection in H. 264 Using Linear Classifier

WANG Ping, DENG Yan, HUANG Hua

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: An all-zero block detection algorithm based on linear classifiers is proposed to reduce the complexity of the H. 264 video encoder and to improve the lower detection rate of common all-zero block detection methods. Five effective features are selected according to the characteristics of the encoder. Then the algorithm uses two different linear classifiers to separate all-zero blocks from non-all-zero blocks based on the encoding situation of the reference block. The training samples are selected from different videos, and the weights of the features and the thresholds of all-zero block detection under different quantization parameters are trained using the Fisher criterion. The thresholds under different quantization parameters are fitted into a quadratic polynomial of the quantization parameter using the least square method. Experimental results show that the proposed algorithm achieves better detection rate than that of other algorithms, and can effectively shorten the encoding time while maintaining the video quality.

Keywords: H. 264 standard; video encoding; all-zero block detection; linear classifier

H. 264 是由国际电信联盟(ITU)和国际标准化组织(ISO/IEC)的专家组成的联合视频组(JVT)提出的新一代数字视频编码标准. 与之前的视频编码标准相比, H. 264 的编码效率可提高 70% 以上, 但是其计算复杂度非常高, 是之前标准的 3 倍以上^[1]. 因此, 有必要采用有效的算法来减少编码过程的计

算量. 比较常用的方法有利用快速算法减少帧内或帧间预测过程中候选模式的数量^[2-3], 或者利用快速搜索算法进行运动估计^[4-5]等. 在残差块的变换量化之前提前检测全零块, 从而跳过残差块的变换量化等操作, 也是减少 H. 264 编码计算量的常用方法之一^[6-10].

近年来,全零块检测技术得到了广泛而深入的研究. 在 H. 263 中,Sousa^[6]根据变换量化公式推导出利用绝对误差和预判 8×8 全零块的充分条件; Moon 等^[7]将文献[6]的方法应用于 H. 264 中,针对 4×4 块提出了全零块三步检测法,但该方法的阈值不够精确,检测率较低;Zhang^[8]研究了变换系数的分布特征,在文献[7]的基础上细化了全零块检测阈值的推导过程,增大了判决阈值,改进了全零块三步检测法,虽然全零块检测率较高,但只考虑了图像块的绝对误差和信息,视频本身的其他信息没有考虑到,因此全零块的检测率仍有提升的空间.

Kim 等^[9]提出了一种新颖的全零块检测法,将全零块和非全零块作为两类,根据 H. 264 的编码特性选择了绝对误差和、量化参数、块类型和整像素运动估计中的率失真代价作为特征,运用最小均方误差法训练得到了一个线性分类器进行全零块检测,但该方法得到的阈值比较粗糙,检测率很低.

本文基于文献[9]的思想,选择出更为有效的特征,利用 Fisher 准则得到特征权值和不同量化参数下全零块检测的阈值,并按照最小二乘原理将这些阈值拟合成关于量化参数的二次多项式,从而得到全零块检测的线性分类器. 实验结果表明,本文提出的算法能够在保证图像质量的前提下,提高检测率,降低 H. 264 编码的计算量.

1 全零块检测算法

现有的 H. 264 全零块检测算法大多通过计算绝对误差和,并与一个预先设定的判别阈值比较进行检测. 如对 QCIF 格式的 Foreman 序列在量化参数 $Q_p=28$ 时进行帧间编码,统计 5 帧中全零块和非全零块的个数与绝对误差和的关系,如图 1 所示. 从图 1 可以看出:当阈值较小时,检测率也较低;当阈值增大时,又会带来一定的误检率. 因此,仅由绝对误差和来进行全零块检测不能达到很好的检测效果.

为了更准确地对全零块进行检测,需要从特征选择和分类器两方面进行设计.

1.1 特征的选取

H. 264 的帧间编码过程为:首先利用运动估计得到与当前编码块残差最小的参考块,然后将当前编码块的位置与参考块的位置相减得到运动向量,最后利用当前编码块减去参考块得到残差块,再对残差块进行变换编码.

根据视频序列的特性可知:当运动向量小时,当

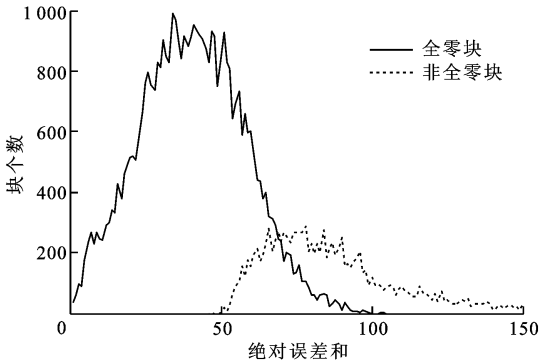


图 1 全零块和非全零块个数与绝对误差和的关系

前编码块通常属于背景或运动缓慢区域,此时得到的残差块经变换量化后成为全零块的概率较大;当运动向量大时,当前编码块通常属于背景复杂或运动剧烈区域,此时得到的残差块经变换量化后成为全零块的概率较小. 因此,运动向量能直接反映当前编码块的特性,本文选取整像素运动估计中运动向量的代价作为全零块检测的一个特征. 此外,经过运动估计得到的参考块是与当前编码块最相似的块,因此参考块的特性能大致反映当前编码块的特性,本文选择参考块的全零块情况作为全零块检测的一个特征. 同时,参照文献[9]也选择了绝对误差和、量化参数和块类型作为全零块检测的另外 3 个特征.

1.2 分类器训练

统计量化参数 $Q_p=28$ 时的帧间数据发现:当参考块为全零块时,当前编码块为全零块的平均概率为 84.99%;当参考块为非全零块时,当前编码块为全零块的平均概率为 31.31%. 由此可以看出,参考块为全零块或非全零块时当前编码块为全零块的概率差别很大,因此本文根据参考块是否为全零块将训练样本划分为 2 种情况:情况 1 为参考块为全零块;情况 2 为参考块为非全零块.

在每种情况下,将全零块检测均通过设计线性分类器来实现. 对于 H. 264 中 4×4 残差块的分类器如下式所示

第 1 类
 $\begin{matrix} > \\ < \end{matrix}$
第 2 类

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 > T_h(Q_p) \quad (1)$$

式中: x_1 是运动向量的代价值; x_2 是块类型; x_3 是绝对误差和; $[a_1, a_2, a_3]$ 是线性分类器的权系数矢量; $T_h(\cdot)$ 为判别全零块的阈值,它是量化参数 Q_p 的一个函数.

将 3 个特征与对应权系数加权求和,并与阈值比较,可以将待编码的残差块分成 2 类:第 1 类为全

零块类.第2类为非全零块类,因为 H.264 中量化参数 Q_p 值的大小与残差块经变换量化后是否为全零块有密切的关系,即 Q_p 越大则量化步长越大,残差块经变换量化后为全零块的概率越大, Q_p 越小则量化步长越小,残差块经变换量化后为全零块的概率越小,所以判别阈值是与 Q_p 有关的,下面将通过实验拟合出此函数关系.

为了得到线性分类器的权系数以及判别阈值,本文利用 Fisher 准则对样本进行训练. Fisher 准则的主要思想是将多元观测值进行线性组合来建立新的判别量,使新判别量的组间方差与组内方差的比值达到最大^[11]. 为了得到随机信号的统计特性,需要抽取样本来分析. 实验中选取了运动复杂度从高到低的 3 个 QCIF 视频序列 Football、Foreman 和 Mother 作为训练序列. 同时,为了得到阈值和量化参数的关系,训练时分别选取 Q_p 为 25、28、31、34、37 和 40. 对每个序列在每个量化参数下均随机选取 5 帧图像的 55 440 个块数据作为训练样本. 训练过程如下:首先根据参考块是否为全零块将所有训练样本分为 2 种情况,对每种情况的全体样本,基于 Fisher 准则训练出分类器的权系数矢量;再将已经训练出的权系数带入式(1)的左端,使用同一 Q_p 下的样本利用 Fisher 准则训练出当前 Q_p 下的阈值;最后将各个 Q_p 值下的阈值利用最小二乘原理拟合出阈值和 Q_p 的二次多项式关系,如图 2 所示.

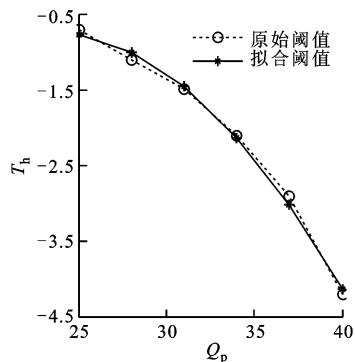
1.3 算法流程

本文提出的全零块检测算法流程如下:

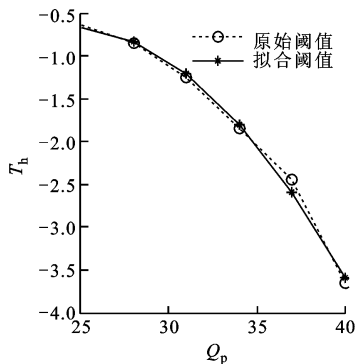
- 步骤 1** 判断当前编码块的参考块是否为全零块,如果是,转入步骤 2,否则转入步骤 3;
- 步骤 2** 使用情况 1 的分类器进行分类,如果分类结果为全零块,转入步骤 4,否则转入步骤 5;
- 步骤 3** 使用情况 2 的分类器进行分类,如果分类结果为全零块,转入步骤 4,否则转入步骤 5;
- 步骤 4** 跳过变换、量化等操作;
- 步骤 5** 执行正常的变换量化操作.

2 实验结果及分析

为了评估本文提出的全零块检测算法的性能,本文选用 H.264 参考软件 JM10.2 在 VC 平台上进行仿真,参考帧数设为 1,运动搜索范围设为 16,图像序列(GOP)设为 IPPP,I 帧的周期设为 100,其余参数为默认设置. 同时,为了评估本文算法在各类视频和各 Q_p 值下的通用性,测试序列使用了运动较激烈或纹理较复杂的 Football、Coastguard、Si-



(a)情况 1



(b)情况 2

图 2 2 种情况下的阈值拟合曲线

lent、Mobile 和运动较缓慢或纹理较简单的 Foreman、Mother、News、Highway 这 8 个 QCIF 视频序列;测试实验中量化参数 Q_p 为 28、32、36 和 40. 测试时对每个序列在每个量化参数下均编码 100 帧.

定义漏检率和误检率^[12]分别为

$$m = \frac{N_{mz}}{N_z} \times 100\% \quad (2)$$

$$f = \frac{N_{mn}}{N_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中: N_{mz} 表示全零块漏检的个数; N_z 表示总的全零块个数; N_{mn} 表示错误检测为全零块的个数; N_n 表示总的非全零块个数.

为了评估算法对编码质量性能的影响,定义峰值信噪比(PSNR)的下降为

$$\Delta P = P_{\text{org}} - P \quad (4)$$

式中: P_{org} 为用原始 JM 程序编码时得到的 PSNR; P 为加入本文提出的全零块检测算法后编码时得到的 PSNR.

对本文提出的全零块检测算法与文献[8-9]的全零块检测算法进行漏检率和误检率性能的比较,结果如表 1 所示. 表 1 中同时给出了本文算法的 PSNR 下降值.

表 1 3 种全零块检测算法的性能比较及本文算法的 PSNR 下降值

视频序列	Q_p	漏检率 $m/\%$			误检率 $f/\%$			ΔP
		文献[8] 算法	文献[9] 算法	本文 算法	文献[8] 算法	文献[9] 算法	本文 算法	
Foreman	28	31.71	60.86	31.22	0	0.02	0.22	0.008 7
	32	19.44	28.05	18.13	0	1.02	0.44	0.003 0
	36	10.49	21.67	8.83	0	0.05	1.37	0.025 1
	40	6.64	24.60	6.94	0	0.00	0.40	−0.016 7
Football	28	42.23	77.82	41.11	0	0.01	0.33	0.000 4
	32	24.35	36.57	21.59	0	0.36	0.50	0.005 8
	36	12.99	25.43	10.47	0	0.02	0.92	0.000 4
	40	8.70	25.60	8.09	0	0.00	0.58	0.023 4
Mother	28	23.87	43.19	24.11	0	0.02	0.13	−0.005 2
	32	14.43	20.03	13.71	0	1.93	0.78	−0.004 5
	36	6.45	13.48	5.56	0	0.04	1.32	0.012 7
	40	2.56	13.27	2.82	0	0.00	0.58	0.000 0
Coastguard	28	68.05	93.00	66.83	0	0.008	0.09	0.002 7
	32	46.61	59.89	43.36	0	0.49	0.25	−0.006 4
	36	25.91	44.33	21.87	0	0.04	0.82	−0.003 1
	40	12.68	39.04	12.37	0	0.00	0.59	−0.001 8
News	28	26.09	43.29	25.75	0	0.02	0.20	0.003 2
	32	19.67	24.77	18.60	0	1.01	0.44	−0.005 9
	36	13.68	21.34	11.73	0	0.00	0.87	−0.017 1
	40	8.75	21.92	8.51	0	0.00	0.47	−0.003 3
Highway	28	14.63	35.04	15.05	0	0.00	0.13	0.017 3
	32	7.90	10.69	7.41	0	0.04	0.31	−0.016 6
	36	4.19	7.56	3.44	0	0.03	1.56	0.002 8
	40	1.99	7.31	2.01	0	0.00	1.04	0.000 2
Mobile	28	63.48	85.99	60.32	0	0.00	0.13	0.000 5
	32	59.57	72.05	55.87	0	0.00	0.15	0.002 7
	36	50.56	68.64	45.37	0	0.00	0.41	0.002 2
	40	36.97	69.18	35.43	0	0.00	0.21	0.009 2
Silent	28	42.16	70.25	42.05	0	0.00	0.23	0.003 6
	32	27.38	36.31	25.42	0	0.04	0.29	0.008 2
	36	13.38	26.31	11.30	0	0.00	1.21	0.001 9
	40	5.98	26.78	6.43	0	0.00	0.38	0.013 6
平均值		23.55	39.20	22.24	0	0.16	0.54	0.002 1

由漏检率和误检率的定义可知,漏检率和误检率的值越小越好. 本文采用线性分类器进行全零块检测,全零块类和非全零块类在特征空间中有重合,因此会出现漏检率和误检率. 本文算法的漏检率最大为 66.83%,最小为 2.01%,平均漏检率最小. 由于本文选择了更适合的特征,且获得了判别阈值与 Q_p 的非线性关系,因此本文算法比文献[9]算法在漏检率方面有大幅降低. 本文算法与文献[8]算法在漏检率方面差不多,但文献[8]算法采用多级的全零块检测算法,而本文的全零块检测只需要一次判断,因此本文算法比文献[8]算法简单. 在误检率方面,由于文献[8]算法为检测全零块的充分条件,因此其误检率为 0. 虽然本文算法较文献[9]算法的误检率较大,但其最大误检率也仅为 1.56%. 从表 1 中观察本文算法因误检率带来的对信噪比的影响,可以看到虽然存在一定的误检率,但平均 PSNR 下降仅为 0.002 1 dB,这说明对编码图像的质量影响并不大.

本文算法中的运动向量的代价、块类型和绝对误差和都可以在编码过程中提前得到,不需要额外的计算,且分类器的阈值可以事先算好存入表中,程序运行时通过查表获得 Q_p 对应的阈值,因此本文算法在全零块检测过程中的计算量为 3 个乘法、2 个加法和 2 个判断. 为了评估算法对编码时间的影响,定义编码时间减少量为

$$\Delta T = \frac{T_{\text{org}} - T}{T_{\text{org}}} \times 100\%$$

(5)

式中: T_{org} 表示 JM 软件中执行变换、量化、反变换和反量化的时间; T 表示使用全零块检测算法后执行变换、量化、反变换和反量化的时间. 这 2 个时间都由对视频序列编码 10 次后通过求平均得到. 各全零块检测算法的时间减少量的比较如表 2 所示.

由表 2 可以看出,本文算法的平均时间减少量为 36.74%,本文算法的执行时间比文献[8]算法和文献[9]算法的执行时间都要短,有效地减少了编码时间,提高了执行效率.

3 结 论

全零块检测是降低视频编码复杂度的常用方法. 本文通过分析 H. 264 的帧间编码过程及视频序列的特性,选取了 5 个有效的特征,利用 Fisher 准则训练得到了全零块检测的线性分类器. 在 VC 平台上的仿真实验结果表明,本文所提算法提高了全

表 2 3 种算法的编码时间减少量比较

视频序列	Q_p	时间减少量 $\Delta T/\%$		
		文献[8] 算法	文献[9] 算法	本文 算法
Foreman	28	29.01	16.38	33.29
	32	40.76	39.10	44.55
	36	46.62	46.61	53.81
	40	53.29	46.56	57.80
Football	28	18.67	7.96	20.13
	32	27.67	23.77	30.02
	36	35.97	34.67	41.72
	40	46.35	39.94	49.16
Mother	28	39.78	30.49	42.74
	32	49.02	48.64	51.94
	36	54.52	55.58	59.55
	40	60.80	56.82	62.70
Coastguard	28	12.26	0.45	12.83
	32	22.63	16.12	25.96
	36	29.89	29.03	43.04
	40	45.33	35.68	52.81
News	28	38.15	30.29	41.52
	32	46.32	44.50	48.02
	36	48.96	49.04	54.65
	40	55.34	49.95	58.10
Highway	28	27.24	19.31	28.41
	32	33.47	31.69	34.60
	36	37.41	34.84	38.73
	40	39.11	35.52	41.17
Mobile	28	4.70	2.27	5.37
	32	5.78	3.50	6.51
	36	11.21	4.84	11.23
	40	17.29	5.35	17.67
Silent	28	15.80	5.72	16.14
	32	23.65	19.45	23.24
	36	31.87	24.83	31.36
	40	35.46	25.53	36.74
平均值		33.89	28.58	36.74

零块的检测率,能够在保证图像质量的前提下有效地缩短编码时间.

参考文献:

[1] XIE Zhengguang, LIU Yong, LIU Wenjun, et al. A general method for detecting all-zero blocks prior to DCT and quantization [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17 (2):237-241.

[2] PAN Feng, LIN Xiao, RAHARDJA S, et al. Fast

- mode decision algorithm for intraprediction in H. 264/AVC video coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(7):813-822.
- [3] WU Dajun, PAN Feng, LIM K P, et al. Fast intermode decision in H. 264/AVC video coding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(7):953-958.
- [4] ZHU Ce, LIN Xiao, CHAU L, et al. Enhanced hexagonal search for fast block motion estimation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(10):1210-1214.
- [5] 黄华,程徽,刘玓玓. 判断运动复杂度的快速运动估计算法 [J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(10):81-84.
- HUANG Hua, CHENG Hui, LIU Dingding. A fast motion estimation algorithm for motion complexity decision [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43(10):81-84.
- [6] SOUSA L A. General method for eliminating redundant computations in video coding [J]. Electronics Letters, 2002, 36(4):306-307.
- [7] MOON Y H, KIM G Y, KIM J H. An improved early detection algorithm for all-zero blocks in H. 264 video encoding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(8):1053-1057.
- [8] ZHANG Maojun, ZHOU Tao, WANG Wei. Adaptive method for early detecting zero quantized DCT coefficients in H. 264/AVC video encoding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(1):103-107.
- [9] CHANG Y, KIM M, HAHM A, et al. Fast all-zero block detection based on classification approach [C]// Proceedings of 9th Biennial Conference of the Australian Pattern Recognition Society on Digital Image Computing Techniques and Applications. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007:267-273.
- [10] 王嵩,薛全,张颖. 基于 H. 264/AVC 整数变换的全零块检测方法 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(19):75-77.
- WANG Song, XUE Quan, ZHANG Ying. All-zero block detection based on H. 264/AVC integer transform [J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 40(19):75-77.
- [11] 杨健,杨静宇,叶晖. Fisher 线性鉴别分析的理论研究及其应用 [J]. 自动化学报, 2003, 29(4):481-493.
- YANG Jian, YANG Jingyu, YE Hui. Theory of fisher linear discriminant analysis and its application [J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29(4):481-493.
- [12] WANG Hanli, KWONG S. Hybrid model to detect zero quantized DCT coefficients in H. 264 [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007, 9(4):728-735.

(编辑 刘杨)