

# 以 H. 264 算法为平台的高效率图像增强算法

王熹微, 刘亚莉, 崔慧娟, 唐 昆

(清华大学 电子工程系, 微波与数字通信技术国家重点实验室, 北京 100084)

**摘要:** 为了在提高重建图像质量的同时不增加系统开销, 提出一种将改进的图像平滑与加权零块判决准则结合的算法。图像增强能有效去除在获取原始图像阶段引入的随机脉冲噪声、Gauss 噪声及其混合噪声, 但增加了系统开销, 视频编码巨大的运算量往往成为实时应用的瓶颈之一。该算法利用改进的 M TM (modified trimmed mean) 方法提高图像质量, 利用加权零块判决准则保持系统性能。以 H. 264 算法为仿真平台进行测试。结果表明: 中低码率时, 在不增加系统计算开销的前提下, 获得同等质量图像, 码率可降低 50%。

**关键词:** 视频编码; 图像增强; 加权零块判决; 编码效率

中图分类号: TN 919.81

文献标识码: A

文章编号: 1000-0054(2005)07-0904-04

## High efficiency image enhancement algorithm for H. 264

WANG Xiwei, LIU Yali, CUI Huijuan, TANG Kun

(State Key Laboratory of Microwave and Digital Communications,  
Department of Electron Engineering, Tsinghua University,  
Beijing 100084, China)

**Abstract:** Image enhancement for real-time video coding systems effectively removes noise effects due to impulse noise and Gaussian noise from the image capturing stage but significantly increases the algorithm complexity, which limits its real time application. An efficient algorithm which combines image smoothing with the weighted zero-block detection criterion was developed to enhance the quality of reconstructed images without increasing the computational cost. The algorithm exploits the modified M TM (modified trimmed mean) method to improve the quality of decoded images in H. 264. The weighted zero-block detection criterion is used to maintain system performance by increasing the number of all-zero blocks after the motion search. Simulations show that in real H. 264 applications, the algorithm consistently outperforms the JM 61e video coder with more than 50% savings in bitrate without adding excess complexity, especially for low bitrate coding.

**Key words:** video coding; image enhancement; weighted zero-block detection; coding efficiency

用, 它在大幅度提高编码效率的同时, 带来了运算复杂度猛增的新问题。如何在保持 H. 264 编码性能的基础上减少运算复杂度以提高运行速度, 是其能否实际应用的关键。对视频会议等应用而言, 最重要的是在有限带宽条件下尽可能地保证重建图像质量, 而又不增加系统复杂度。

经平滑处理后的图像, 由于去除了大量不必要的高频分量, 量化为全零的块增多。利用这一点, 本文在最佳零块判决<sup>[2]</sup>基础上提出一种考虑量化参数对全零块比率影响因素的加权零块判决准则, 以提高零块的检测比率。通过增加预先判断的零块数, 省去后续变换量化、反量化反变换的计算, 来抵消图像增强部分的系统开销。实验结果表明, 本文提出的高效率图像增强算法能明显改善图像质量, 提高编码效率, 同时没有增加总的编码时间, 甚至还能少量减少编码时间。

## 1 加权中值滤波算法

Gauss 白噪声和随机噪声是图像传输中最常出现的两种噪声。Gauss 噪声通常来自于设备, 随机噪声主要来自于信道和外部系统。1974 年 Tukey<sup>[3]</sup>首先将中值滤波作为平滑技术引入时间序列分析; Pratt<sup>[4]</sup>和 Frieden<sup>[5]</sup>将中值滤波用于图像增强, 它能够有效抑制冲激噪声和椒盐颗粒噪声的干扰, 同时还能很好地保护图像细节, 但不能去除 Gauss 噪声; 线性滤波算法, 如均值滤波, 去除零均值的 Gauss 噪声非常有效, 但是会破坏图像中的快变信号。

于是 Lee 和 Kassam 将中值滤波算法和均值滤波算法结合起来, 提出了一种改进的均值滤波算法

收稿日期: 2004-06-02

基金项目: 国家“九七三”基础研究项目 (G1998030406);  
国家自然科学基金资助项目 (60272020)

作者简介: 王熹微(1977-), 女(汉), 四川, 博士研究生。

通讯联系人: 崔慧娟, 教授, E-mail: cuihj@ee.tsinghua.edu.cn

H. 264/AVC 是 ITU 和 ISO/IEC 联合制订的最新视频编码标准<sup>[1]</sup>, 面向实时交互式通信系统应

(M TM)<sup>[6]</sup>, 希望能同时滤除这两种噪声。M TM 滤波操作分为 3 步:

1) 处理第  $n$  个像素点时, 选取滤波窗口内的灰度中值

$$m_n = F\{(x_i) | i \in W_n\}, \quad (1)$$

其中:  $W_n$  表示滤波窗口内的像素点集合, 滤波函数  $F$  的作用是在  $W_n$  中选取灰度值为中值的像素点, 将其灰度值作为被处理点真实灰度的逼近;

2) 以  $m_n$  为中心选取一个灰度区间  $[m_n - q, m_n + q]$ ;

3) 将滤波窗口中所有落在灰度区间内的点做平均, 并将结果  $y_n$  作为最终的滤波输出:

$$y_n = \text{average}\{(x_i) | m_n - q \leq x_i \leq m_n + q, i \in W_n\}. \quad (2)$$

很容易看出,  $q$  值的选取直接影响滤波的效果及算法对图像细节的保护能力,  $q$  越小越接近中值滤波算法, 保护图像边缘信息的能力增强, 但对 Gauss 噪声的抑制减弱;  $q$  越大越接近均值滤波, 滤出 Gauss 噪声能力增强, 但图像变得模糊。针对这个问题, 本文采用了改进的 M TM 算法, 被处理点位于窗口中心。

修改滤波函数  $F$  的定义, 改进的中值滤波算法数学表达式为

$$F(x) = \text{median}(x_1, \dots, w_{\alpha} x_{\alpha}, \dots, x_N), \quad (3)$$

式中:  $x_{\alpha}$  为滤波窗口中心像素点灰度值,  $w_{\alpha}$  为权重。由于赋予窗口中心点较大权重, 改进的中值滤波能更好的保护图像的细节。

具体实现中, 采用  $3 \times 3$  矩形窗为滤波窗, 窗函数表示为

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_{\alpha} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{每个点的灰度值由邻域中 9}$$

个点的中值代替;  $q = 2\sigma$ ,  $\sigma$  为 Gauss 噪声标准差, 利用式 (2) 得到最终的滤波输出  $y_n$ 。采用这样的算法能够有效地去除极端(极大或者极小)值, 对于脉冲噪声的滤除非常有效, 能够很好地保留边缘信息, 同时一定程度上抑制了 Gauss 噪声的干扰。

## 2 加权零块判决准则

视频编码中, 在中低码率条件下, 一般用到的都是较大的量化参数, 经运动估值后的残差信号在整型变换和量化后有相当多的块变为全零块。根据这一特点, 可以仅在时域范围内提前预测全零块的存在, 这样就可以节省大量不必要的后续处理时间。

H. 264 视频编码算法中, 对时域的残差信号进行预测, 判断该块是否为全零块。若判为全零块, 则可以省去后续变换量化、反量化反变换的运算。将最佳零块判决准则<sup>[2]</sup>应用到 H. 264, 残差信号经过式 (4) 的整型变换得到变换系数

$$C(u, v) = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 p(u, x) r(x, y) p(v, y), \quad (4)$$

式中:  $u, v = 0, \dots, 3$ ,  $P$  为变换矩阵,  $P =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix}, \quad r(x, y) \text{ 为当前块和预测块}$$

像素值的差值。由 Cauchy-Schw arz 不等式可以得到如下关系式:

$$C(u, v) = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 p(u, x) r(x, y) p(v, y) = 10 \left[ \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 r^2(x, y) \right]^{1/2}. \quad (5)$$

结合变换矩阵  $P$  的特点, 考虑到极端亮度块取值, 以及平方平均值和算术平均值的关系, 得到 H. 264 中, Cauchy-Schw arz 准则下的帧间预测判决门限:

$$\sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |r(x, y)| < 1/(3 \times A(Q)), \quad (6)$$

式中:  $Q$  为量化参数,  $A(Q)$  是以  $Q$  为参数的量化矩阵<sup>[1]</sup>,  $\sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |r(x, y)|$  为整型变换  $4 \times 4$  块的 SAD (绝对差值和) 值, 一旦该 SAD 值小于  $1/(3 \times A(Q))$ , 则可判定该  $4 \times 4$  块量化后的变换系数为零。

H. 264 算法中的帧内预测也是对残差信号的处理, 将文[2]中只针对帧间预测的判决扩展到帧内预测, 同理可得 Cauchy-Schw arz 准则下的帧内预测判决门限:

$$\sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |r(x, y)| < 4/[15 \times A(Q)] \quad (7)$$

为了得到更好的零块检测性能, 针对 H. 264 算法, 对门限进行修正。由于量化后的变换系数为零的概率依赖于量化参数  $Q$  值, 如果仅仅用文[2]中提出的 Cauchy-Schw arz 准则, 则会出现零块检测率随着量化参数的减小大幅度降低的情况。

在仔细分析量化矩阵  $A(Q)$  特征及其对变换系数量化为零的概率的影响基础上, 利用量化矩阵的分段特性, 提出一种减小此类影响的修正因子  $Q/6$ , 得到新的判决门限, 能够在基本上不影响编码质量的前提下减少量化参数对零块检测率的影响, 同时

还能提高零块的检测率。

修正的判决门限可以表示为:

$$\text{帧间} \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |r(x, y)| < 1/(3 \times A(Q)) + Q/6, \quad (8)$$

$$\text{帧内} \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 |r(x, y)| < 4/(15 \times A(Q)) + Q/6 \quad (9)$$

对残差信号差值和, 在帧间预测和帧内预测时分别利用式(8)和式(9)进行判决, 从而可以在时域判断该块是否为全零块。

### 3 结合加权零块判决准则的图像增强

零块判决准则运用的判决依据是  $4 \times 4$  块的 SAD 值, 显然这种判决是根据  $4 \times 4$  块内残差信号的幅值进行的, 通常希望  $4 \times 4$  块的 SAD 越小越好, 提前判决得到的零块数目越多, 越能显著地降低编码复杂度。

但是由于图像中噪声的存在, 在一些脉冲干扰下, 噪声点的灰度值与其邻近像素的灰度值有很大的差异, 搜索得到的残差信号往往也是包含更多的大幅值的信号。这使得式(8)和式(9)中的不等式不易满足, 即判决为全零块的数目减少, 影响了编码器性能。

对原始图像信号采用  $3 \times 3$  二维加权滤波算法, 其排序取中值的处理, 充分利用了图像的空间相关性, 将一些干扰点像素值修正成其邻近的某些未被污染点像素值, 从而达到去除干扰的目的, 提高了原

始图像的质量; 更重要的是减小了相邻帧之间对应像素点由于噪声引起的差值, 使得  $4 \times 4$  块的 SAD 值减小, 利用式(8)和式(9)判断得到的全零块数目增多, 省去的变换量化、反量化反变换运算更多, 补偿了由于做滤波增加的系统处理时间, 在不增加系统复杂度的情况下, 提高了编码效率, 使图像质量显著提高。

### 4 实验结果与分析

实验以 H264-JM 61e 所提供的软件为测试平台。在加权零块判决准则下, 对加有不同噪声种类和噪声强度的 foreman\_cif 序列, 以及数字摄像头 (UNSP0 SP-999 color camera,  $1/3$  420 TVL, CCD) 采集序列 capttrue\_cif 进行测试, 用以模拟真实的噪声环境, 评测图像增强对视频压缩各部分性能的影响。

本次实验中选取的测试序列 100 帧 ( $Y \cdot U \cdot V = 4 \cdot 2 \cdot 0$ ), 测试的仿真环境: P4 2.4 GHz, 512MB 内存, VC6.0 编译器; 编码器参数: 预测块模式  $16 \times 16$ ,  $16 \times 8$ ,  $8 \times 16$ ,  $8 \times 8$ ,  $8 \times 4$ ,  $4 \times 8$ ,  $4 \times 4$ , 采用 Hadamard 变换, RD 优化关闭。

#### 4.1 运算复杂度

算法的运算复杂度是以不同噪声种类不同噪声强度下的零块发现数和编码时间来表示。表 1 给出的是在典型量化参数 28 下, 对于噪声序列是否采用图像增强以及采用不同判决准则时的复杂度比较。噪声强度参数在 Gauss 白噪声时为标准差。

表 1 编码运算复杂度的对比

噪声类型	噪声强度	加权零块判决		加权零块判决+ 增强		零块判决+ 增强	
		预先判断零块	编码时间/s	预先判断零块	编码时间/s	预先判断零块	编码时间/s
Gauss 白噪声	10	65	9.046	71.716	7.764	55.801	8.330
Gauss 白噪声	20	1	9.718	23.732	8.482	17.077	8.593
Gauss 白噪声	30	0	10.220	9.878	9.140	6.946	9.346
Gauss 白噪声	40	0	10.545	5.289	9.453	3.583	9.501
椒盐噪声	0.01	110.666	7.281	154.713	7.107	141.914	7.263
椒盐噪声	0.02	100.256	7.341	155.317	7.109	141.121	7.171
椒盐噪声	0.03	90.439	7.624	154.761	7.235	142.494	7.296
椒盐噪声	0.04	82.812	7.686	153.887	6.887	139.958	7.218
Captured_cif		680.128	33.035	745.140	27.358	707.841	32.263

从表 1 能直观看出, 在同等的测试条件下, 加权零块判决算法相对于零块判决算法对编码器性能有明显提高, 在降低编码器复杂度同时, 提高了零块的检测率, Gauss 白噪声噪声强度为 20 时, 加权零块判决算法比零块判决算法, 最多能提高 38.97% 的

零块检测率; 采用图像增强与加权零块判决结合的算法, 相对于仅用加权零块判决的算法, 对不同强度的 Gauss 白噪声和椒盐噪声, 有不同程度的改善, 由增加的预先判决零块数目而节省出的后续变换量化的计算, 抵消了做滤波的系统开销, 在很多情况

下, 编码时间得到了部分程度的降低, 改善了编码器性能。

## 4.2 编码效率

编码效率用峰值信噪比-比特率图来表示。图 1a、图 1b 分别给出 foreman\_cif 序列加强度为 10 的 Gauss 白噪声和加强度为 0.01 的椒盐噪声时, 采用图像增强时, 加权零块判决算法和零块判决算法编码效率对比。图 2a、图 2b 分别给出 foreman\_cif 序列加强度为 10 的 Gauss 白噪声和加强度为 0.01 的椒盐噪声时, 仅用加权零块判决算法和采用图像增强的加权零块判决算法编码效率对比, 分别记为噪声序列和平滑序列。

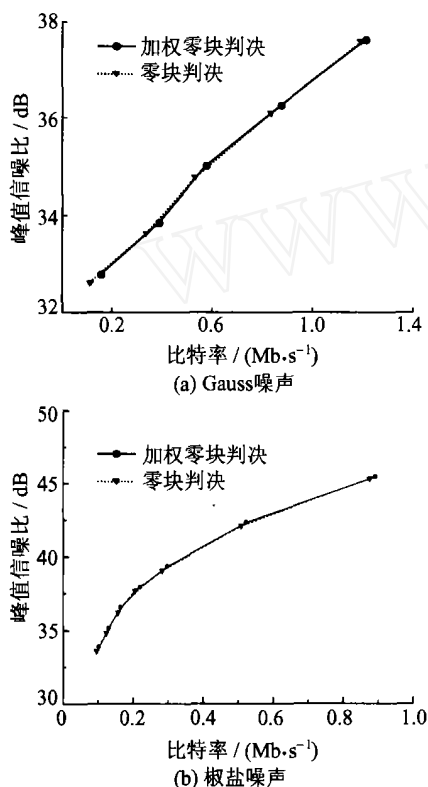


图 1 加权零块判决与零块判决编码效率的比较

从图 1 两条曲线几乎重合, 可以直观看出加权零块判决算法不影响编码效率; 从图 2 可以看出, 图像增强大幅度提高编码效率, 对 Gauss 类噪声, 相同码率下图像质量最多能获得 5 dB 改善; 对椒盐类噪声, 相同码率下图像质量最多能获得 4 dB 改善; 中低码率时, 平滑效果最为明显。

分析可知, 本文提出的加权零块判决算法能够在不影响编码效率的前提下提高零块检测比率, 降低编码复杂度; 图像增强与零块判决结合的算法能够在不增加系统复杂度的前提下大幅度提高编码效率, 改善编码图像质量。

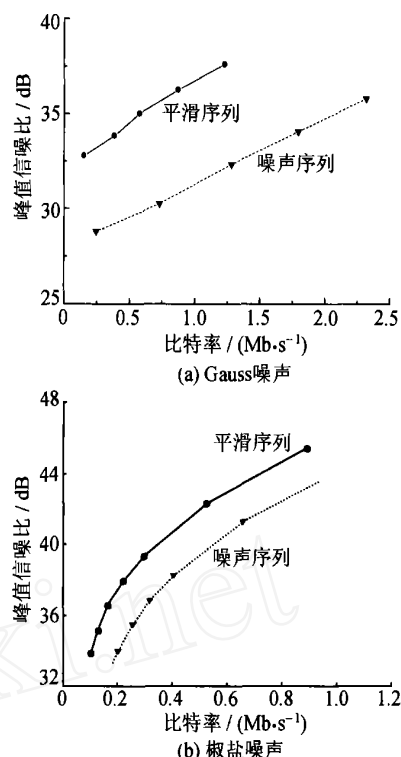


图 2 图像增强对编码效率的影响

## 5 结论

本文提出一种高效率图像增强算法, 用更合理的全零块判决门限, 通过降低输入图像的噪声得到更多的时域检测零块数, 省去后续变换量化等模块的编码时间, 抵消掉图像增强部分的运算开销。实验结果表明, 在不增加系统复杂度, 甚至少量降低系统复杂度的条件下, 显著改善了图像质量, 尤其在中低码率时, 同等码率下, 图像质量最多有 5 dB 的提高。

## 参考文献 (References)

- [1] Draft ITU-T Recommendation H. 264 and Final Draft International Standard 14496-10 Advanced Video Coding [S]. Switzerland, May 2003.
- [2] 王熹微, 栗强, 崔慧娟, 等. 最佳零块判决准则下的运动搜索算法 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2003, 43(7): 938-941.  
WANG Xiwei, LI Qiang, CU IHuijuan, et al. Motion search based on best zero-block detection criterion [J]. *J Tsinghua Univ (Sci & Tech)*, 2003, 43(7): 938-941. (in Chinese)
- [3] Tukey J W. Nonlinear methods for smoothing data [A]. Conf Rec, EAASCON '74 [C]. Washington DC: the Aerospace Corporation, 1974: 673.
- [4] Pratt W K. Digital Image Processing (2nd ed.) [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1991.
- [5] Frieden B R. A new restoring algorithm for the preferential enhancement of edge gradients [J]. *J Opt Soc Amer*, 1976, 66: 280-283.
- [6] Ko S J, Lee Y H. Center weighted median filters and their applications to image enhancement [J]. *IEEE Trans Circuits Syst*, 1991, 38(9): 984-993.