

针对 MPEG 的去块效应技术的 研究及其 VLSI 实现

陈挚睿 徐永键 谭洪舟 陆许明

(中山大学信息科学与技术学院 广州 510006)

摘要: 现今随着数据压缩的广泛应用, 以及 MPEG 视频编解码的普遍使用, 块效应噪声也随之而来。为了消除块效应、提高视频质量, 许多去块效应的算法^[2-12]被人们所提出, 然而大部分算法的运算量都很大, 不适合应用在视频处理芯片上。针对这个问题, H. -S. Kong 等人^[13]提出了一种新的自适应后处理算法, 该算法既能有效消除块效应又大幅度地降低了运算量, 然而对图像边缘信息保护不够。本文在 H. -S. Kong 等人^[13]的算法的基础上, 提出了一种针对 MPEG 视频流的去方块后处理方法。该方法以方块边缘(水平或垂直)附近各两个 4×4 区域作为滤波处理的分类依据, 通过对这两个区域的像素点的值进行计算, 将块边缘分为平滑渐变区域、亮度阶跃区域以及复杂纹理区域, 并根据这三种区域对图像边缘信息影响程度的大小, 而决定采取强滤波、弱滤波或者不滤波等处理方式。这种方法一方面较好地滤除了块效应噪声, 一方面又保护了图像的边缘信号, 而且计算量较小, 满足视频处理芯片低复杂度的去噪要求, 通过 VLSI 实现后有着很好的应用前景。

关键词: 方块效应; 区域分类; 自适应滤波

中图分类号: TN941 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2010)11-1707-06

Research and VLSI Implementation on De-blocking Method for MPEG

CHEN Zhi-rui XU Yong-jian TAN Hong-zhou LU Xu-ming

(Information Science and Technology School, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006)

Abstract: Data compression has developed for decades, it is used in many different areas, one of which is image processing. MPEG as we all know, is the name of a working group focusing on image processing technology, and it is also one of the popular standard among all image compression. The video encoding/decoding of MPEG has great compression percentage which can keep a good image quality at the same time. So it is widely used in image processing field. But meanwhile, blocking artifact noise comes along with compression as an unsatisfying “extra-effect”. In order to suppress the blocking artifact and improving the quality of images or video, many algorithms of de-blocking are proposed these years. However, most of existing algorithms are not suitable for the implementation on video-processing chips, because their great amount computation would eventually lead to high cost in chips. To balance the computation and cost when integrating into single chip, the adaptive post-processing algorithm is proposed by H. -S. Kong et al. This algorithm can effectively reduce the blocking artifact as well as reduce the computation. But it is insufficient to preserve the edge information of images. Based on the algorithm that H. -S. Kong et al proposed, a post-processing de-blocking algorithm for MPEG video stream is brought to all in this paper. This method processes filtering based on the classification, which takes the circumscription of the two 4 by 4 areas near the block borderlines (vertical or horizontal). It determines the result out of three classification by calculating the pixels value of the two 4 by 4 areas during the procedure, which are smooth gradual changing area, luminance step area and complex texture area. Then it decides proper solution to use among strong filter, weak filter and non-filter according to the classification. This method offers a better solution to the problem of de-blocking while preserving edge information, and yet has a smaller calculating amount to meet the low complexity image de-noising requirement of video-processing chips. It has a good applications perspective on VLSI implementation.

Key words: Blocking artifact; Region classification; Adaptive filter

收稿日期: 2010 年 4 月 2 日; 修回日期: 2010 年 7 月 21 日

基金项目: 本文研究得到广东省教育部产学研重点项目支持, 项目编号: 2008A090400010

1 引言

现今数据压缩被广泛地应用在各种场合,如数码相机、电台广播和 DVD 等等,而由数据压缩所产生的压缩噪声也随之而来。视频编码水平 MPEG-1/2/4^[1]使用的就是基于块的处理,在低比特率编码时由于粗糙量化使得相邻块的 DCT 系数取样落在不同的量化区间时就会在块边界上产生方块效应,此时在视频处理芯片上加入后处理环节来消除块效应就变得尤为重要了。

降低压缩图像或视频的可视噪声的算法有基于小波滤波法^[2-5]、DCT 邻域法^[6-8]、基于 MRF 模块的统计法^[9],以及迭代法^[10-12]等等。这些算法虽然能够取得比较好的块效应消除效果,但是却需要很大的运算量。为了在运算量和消除块效应之间寻求一种比较折中的效果,H.-S. Kong 等人^[13]提出了一种新的自适应后处理算法,这种方法利用了自然图像像素梯度近似连续而块效应像素梯度突变的特性,确定影响图像质量的块边界进行滤波。该方法运算量小而且也能在一定程度上有效地去除块效应,但它却不可避免地会去掉图像本身的一些边缘信息,影响图像的视觉效果。为了解决这些问题,本文提出了一种基于方块边缘区域检测的自适应后处理算法,它除了检测方块边缘之外,还根据对方块边缘区域的分类自适应采取不同的滤波。实验表明,和 H.-S. Kong 等人^[13]的算法比较,该算法在兼顾到运算量的基础上在消除块效应及保护边缘信息方面也得到了一定的提高,对视频处理芯片尤为适用。

本文在第2部分首先介绍了这种消除块效应的后处理算法,第3部分给出了该算法的仿真结果,第4、第5部分讲述了该方法的硬件实现及硬件性能,最后第6部分作出总结。

2 去块效应后处理算法

2.1 基本思想

针对 MPEG 视频流,其图像压缩是通过离散余弦变换(简称 DCT 变换)的 AC 系数,即交流分量进行量化甚至丢弃达到的,而 DC 系数,即直流分量基本不变。这样一来就使得亮度更均匀地分布在每个小块中,类似于低通滤波,而在相邻块直流分量相差较大的情况下就会出现方块效应。该算法是对块边界两侧各两个 4×4 区域的像素值进行计算,将块边界附近区域

分为平滑渐变区域、亮度阶跃区域以及复杂纹理区域,再根据区域判断的结果自适应进行不同的滤波处理。

2.2 基本定义

图1表示了本算法的块边界区域,块边界区域为包括块边界两侧各一个 4×4 小块的 4×8 矩形, P_{ij} ($i=0,1,2,3$; $j=0,1,2,3$)表示 4×4 小块内各个像素的亮度值,其中 i 表示垂直于待处理边界的各排像素。如图1所示,对于垂直边界, P_{ij} 表示小块内第 i 行第 j 列的像素亮度值;对于水平边界, P_{ij} 表示小块内第 i 列第 j 行的像素亮度值。

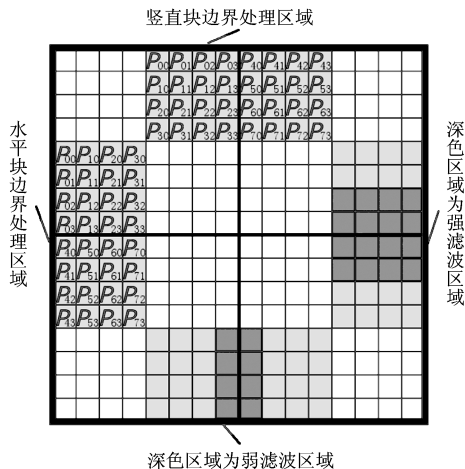


图1 方块边界示例和滤波器滤波区域示例

块边界两侧 4×4 小块的块内亮度梯度定义为:

$$D_{ij(j+1)} = P_{ij} - P_{i(j+1)} \quad (i=0,1,2,3; j=0,1,2) \quad (1)$$

两个 4×4 小块的像素均值 m 定义为:

$$m = \frac{1}{16} \sum_{\substack{i=0,1,2,3 \\ j=0,1,2,3}} P_{ij} \quad (2)$$

2.3 块边界的检测及消除方法

MPEG 压缩是以 8×8 的像素块为单位进行的,因此块噪声出现在每个 8×8 像素块的边缘。首先选定要处理的块边界,水平边界或垂直边界,然后抽取块边界两侧的两个 4×4 小块,开始进行边界区域的判断。

把待判断区域的像素值代入式(1)中,计算两个 4×4 小块的块内亮度梯度,得到两个 4×3 的梯度矩阵;如果两个梯度矩阵所有元素的绝对值均小于经验阈值 T_1 ,且所有元素均具有相同的符号,则该块边界附近区域为平滑渐变区域。否则,由(2)式分别计算边界两侧两个 4×4 小块的均值 m_1 、 m_2 ,如果 $|m_1 - m_2| > T_2$ (T_2 为另一经验阈值),则该块边界附近区域被判定为亮度阶跃区域。如果既不是平滑渐变区域,又不是亮度阶跃

区域,就将该边界附近区域归类为复杂纹理区域。

接着,根据前面对块边界附近区域的判断,分别对块边界采取不同的处理。若为平滑渐变区域,则对该边界进行高强度的平滑滤波处理,滤波区域为块边界两侧平行于边界的各两排像素,称为强滤波区域,如图 1 所示;若为亮度阶跃区域,则对该边界进行低强度的滤波处理,滤波区域为块边界两侧平行于边界的各一排像素,称为弱滤波区域;若为复杂纹理区域,则不对该边界进行任何滤波处理。

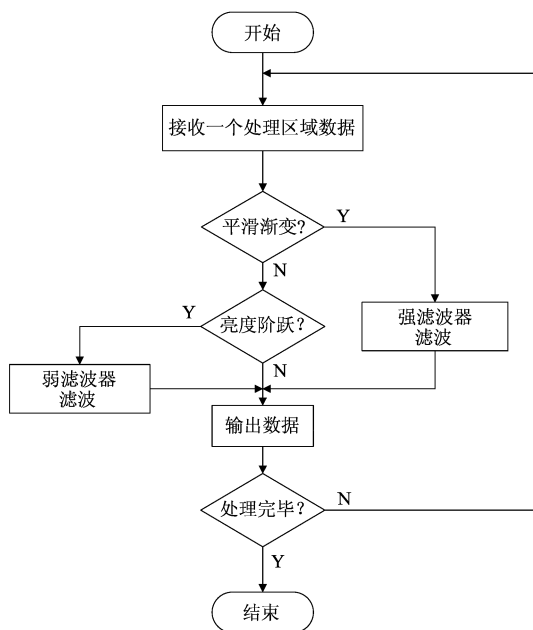


图 2 去方块算法流程图

3 算法仿真结果

这里使用了视频序列 lab 来进行评估,该序列为摄像头直接提取的采样数据,分辨率为 640×480。序列中的帧数为 20,将该序列的帧的固定品质参数分别定为 60%、40% 和 20%,压缩后得到序列 1、序列 2、序列 3。基于这三个不同品质参数的序列,选择文献[13]的算法进行参考,与本文的方法进行比对。

图像质量评价方法使用峰值信噪比。峰值信噪比简称 PSNR,是一个表示信号最大可能功率和影响它的表示精度的破坏性噪声功率的比值的工程术语,经常用作图像压缩等领域中信号重建质量的测量方法,PSNR 常通过均方差 (MSE) 进行定义。计算公式如下:

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| I(i, j) - K(i, j) \|^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \times \log\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right) \quad (4)$$

MAX 表示图像点颜色的最大数值,如 8bits 表示法的 MAX 值即为 255。I、K 分别指原始图像与处理后图像的像素值, $m \times n$ 为图像的尺寸。

图 3 为 PSNR 值的比对结果,PSNR 值取该序列所有帧的平均值。从图表可看出,经本文方法处理过的图像其 PSNR 值比用文献[13]的方法处理的 PSNR 值高。

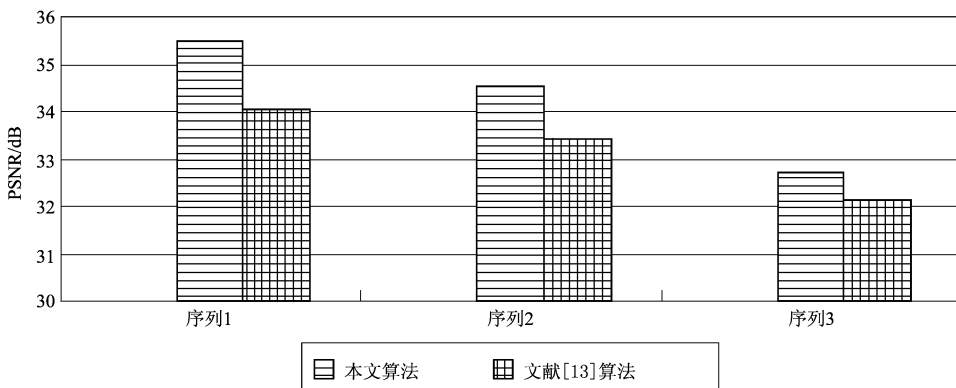


图 3 视频序列 lab 重建图像 PSNR 对比

由于人眼视觉系统的特性,细节越少的部分一旦出现噪声就越容易引起视觉上的注意,反而对于细节比较多的部分的噪声人眼不是很敏感,所以这个算法主要着力于消除平滑渐变区域的块噪声,并在视觉上

获得了更优质的效果。

图 4a 是一副 512×512 的 Lena 原图,图 4b 显示了原图经过压缩处理后的效果。图 5a 截自图 4 中黑色边框部位,图 5c ~ 图 5d 是分别采用文献[13]的算法以

及本文提出的算法处理后的图像截图。可见所截部分为原图中的平滑区域,它具有极少的细节,但其上面的噪声却极容易被肉眼所发现。

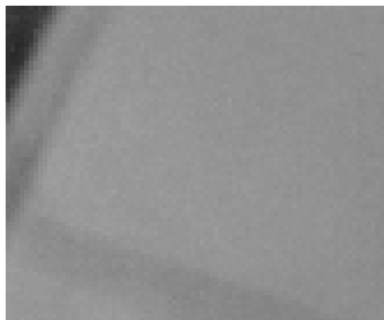


a



b

图4 512x512 Lena图



a 原图



b 带块效应的解码图



c 文献[13]算法



d 本文算法

图5 图像处理前后结果对照

本文算法在滤波时对滤波区域进行了详细的分类,如果检测到块边界附近区域为平滑渐变区域,证明该区域的高频成分较少,边缘信息也相应较少,于是对应采用高强度的滤波;如果检测结果为亮度阶跃区域,则采用低强度滤波,适当地牺牲去块效应的效果来保护边缘信息;如果既不是平滑渐变区域,也不是亮度阶跃区域,则是复杂纹理区域,就不对其进行滤波。于是本算法除了去方块效应效果比较好之外,对图像边缘信息的保护也比较到位。

4 硬件实现

为了充分发挥硬件的并行性优点,同时考虑到存储介质 SDRAM 的突发传输特性,算法的硬件实现以图 1 所示中心的 8×8 方块为基本处理单元,方块中成十字交叉的 4 条边界采用 4 组相同的电路逻辑并行处理。图 6 为一组电路逻辑的结构框图。

电路中各模块并行操作,强滤波器对图像的强滤波区域进行强滤波,弱滤波器对图像的弱滤波区域进行弱滤波;平滑渐变检测单元检测区域是否具有平滑渐变特性,亮度阶跃单元检测区域是否具有亮度阶跃特性;选择器根据区域分类单元给出的信号选择强滤

波输出、弱滤波输出或直接原图像输出。各单元的算法原理在前面的算法介绍中已经说明,这里不再详述。

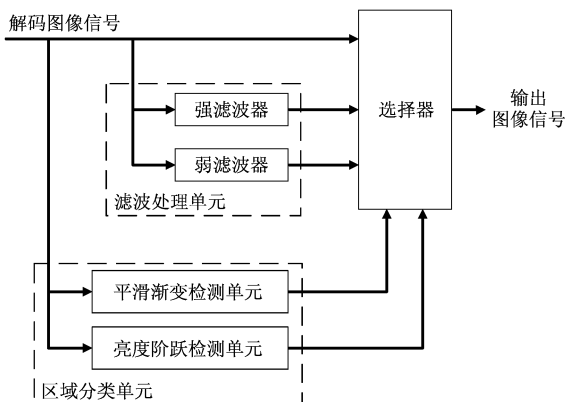


图 6 块效应去除电路结构框图

8x8 基本处理方块的输入输出使用了两组片内 RAM,通过乒乓操作来实现 SDRAM 的突发传输式数据交换。另外,为了减小硬件电路的面积,平滑渐变检测单元和亮度阶跃检测单元的电路实现都对其中的计算电路进行了复用,减小了硬件复杂度。例如实现式(2)求亮度均值,采用了图 7 所示的叠加电路。寄存器初始化为 0,加法器计算输入的像素亮度值与寄存器存储值之和。每个时钟上升沿输入一个像素值,同时寄存器锁存加法器的输出,第 16 个时钟周期加法器输出 4x4 小块的各像素亮度和。在这一周期丢弃加法器输出的低 4 位,相当于将加法器的输出值除以 16,其余高位就等于亮度均值,输出到下一级电路。

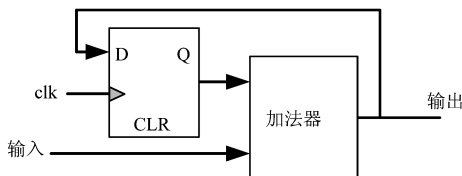


图 7 叠加电路

5 硬件性能

本文结构使用 0.13 μm CMOS 和 FPGA 工艺,综合后相关数据以及性能参数如表 1 和表 2 所示。该结构通过三种常见的不同分辨率的测试,分别为 625SD (720x576 @ 50fps)/720pHD (1280x720 @ 60fps)/1080iHD (1920x1080 @ 50fps),这表明本文提出的去块滤波结构能够有效支持标准清晰度和高清晰度视频解码的实时滤波处理。由表 1 的综合数据可以看

出,本文提出的设计结构是一种适合于硬件实现的设计结构。

表 1 0.13 μm CMOS 工艺综合结果

CMOS 工艺(μm)	0.13 LG	
内核/引脚电压(V)	1.2/3.3	
工作频率(MHz)	100	200
动态功耗(mW)	8.7997	18.4786
宏块流水线(级)	4	4
逻辑门(万门)	20.44	20.59
总面积(mm^2)	0.9276	0.9347
片内存储器面积	0.9117	0.9129
控制电路占总电路比例	1.7%	2.3%

表 2 FPGA 工艺综合结果

FPGA 级别	Cyclone II
FPGA 型号	EP2C35F484C7
最大工作频率(MHz)	119.15
逻辑单元数(LE)	769
存储单元(bit)	65536

6 结束语

本文针对 MPEG 视频流,着眼视频处理芯片的应用,摒弃繁复的运算,在 H.-S. Kong 等人^[13]提出的自适应后处理算法的基础上,对块边界附近区域进行了判断,分为三种典型的类型并对应采取不同强度的滤波,获得了比文献[13]更好的主观及客观效果,有效地提高了图像的峰值信噪比,并且更好的保护了图像的边缘信息。该方法不仅在去方块效果上具有一定的优势,在 VLSI 上也有很好的应用前景。

参考文献

[1] ISO/IEC/JT CI/SC29/WG11. ISO/IEC 14496-2 information technology-coding of audio-visual objects-part2 [S]. Switzerland: ISO/IEC, 2001.

[2] Guangtao Zhai, Weisi Lin, Jianfei Cai, Xiaokang Yang, Wenjun Zhang, Efficient quadtree based block-shift filtering for deblocking and deranging[J], Journal of Visual Communication and Image Representation, Volume 20, Issue 8, November 2009, Pages 595-607.

- [3] ISO/IEC 14496-2:2001, Information Technology-Generic Coding of Audio-Visual Objects-Part 2: Visual [S], 2nd Ed., Appendix F3-Post-processing for coding noise reduction, 2001.
- [4] XIONG Z, ORCHARD M T., ZHANG Y O. A deblocking algorithm for JPEG compressed images using overcomplete wavelet representations[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 7(2):692-695.
- [5] Min Shi. A new deblocking algorithm based on feature analysis in wavelet domain[C]//Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Aug. 2005. pp. 5210-5215.
- [6] A. Ardeshir Goshtasby, Stavri Nikolov. Image fusion; Advances in the state of the art[J], Information Fusion, Special Issue on Image Fusion; Advances in the State of the Art, Volume 8, Issue 2, April 2007, Pages 114-118.
- [7] Cheng-Hsiung Hsieh, Ren-Hsien Huang, Block effect reduction by the 1-D gray polynomial interpolation [J], Digital Signal Processing, In Press, 4 January 2010.
- [8] Ju Jia Zou. Reducing Artifacts in BDCT-Coded Images by Adaptive Pixel-Adjustment[C]// 17th International Conference on Pattern Recognition(ICPR'04). Aug. 2004. vol. 1, pp. 508-511.
- [9] T. Chen, H. R. Wu and B. Qiu. Adaptive post-filtering of transform coefficients for the reduction of blocking artifacts[J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, May 2001, Vol. 11, No. 5, pp. 594-602.
- [10] Fang Zhu, Edge Map Based Blocking Artifacts Reduction [C], International Conference on Signal Processing Systems 2009, pp. 693-697.
- [11] Sukhwinder Singh, Vinod Kumar, H. K. Verma, Reduction of blocking artifacts in JPEG compressed images[J], Digital Signal Processing, Volume 17, Issue 1, January 2007, Pages 225-243.
- [12] Alessandro Foi, Vladimir Katkovnik, Karen Egiazarian. Pointwise Shape-Adaptive DCT for High-Quality Denoising and Deblocking of Grayscale and Color Image[J]. IEEE Trans. Image Processing, May. 2007, vol. 16, no. 5, pp. 1395-1411.
- [13] H.-S. Kong, A. Vetro, H. Sun. Edge map guided adaptive post-filter for blocking and ringing artifacts removal [C]. Proc. Int. Symp. Circuits and Systems, May 2004, p. 929.

作者简介



陈挚睿(1983-),男,博士生,主要从事专用集成电路及 SoC 实现技术的研究。参与了多个项目的全程研发,是本文视频处理芯片项目的主要承担者之一。对多媒体处理器架构及图像处理算法有较为深入的研究。E-mail: callingjim@126.com



徐永键(1983-),男,博士生,研究领域为多媒体显示技术、视频信号处理、半导体集成电路设计。是本文视频处理芯片项目的主要承担者之一。

E-mail: xuyongj@mail2.sysu.edu.cn



谭洪舟(1965-),男,教授,博士生导师,研究领域为宽带通信、信号处理、复杂系统辨识及建模、半导体集成电路设计。

E-mail: issthz@mail.sysu.edu.cn



陆许明(1985-),男,博士生,研究领域为多媒体显示技术、视频信号处理、半导体集成电路设计。

E-mail: luxuming@189.cn