

一种改进的视频画质增强算法及 VLSI 设计

杨 媛,高 勇,房继军,乔世杰,韩 超

(西安理工大学电子工程系,陕西西安 710048)

摘 要: 由于视频图像多样化,目前尚无较好的增强方法适应视频画质增强.本文提出了一种改进的数字视频画质增强算法,并进行了硬件电路的设计.与传统的基于直方图均衡的方法不同,首先在 YUV 色彩空间对输入图像的信息进行判断分类和对比度调整,然后对调整后的图像在 RGB 色彩空间下进行动态范围调整,并在 HSV 色彩空间下进行必要的亮度修正和色饱补偿.采用 Verilog 语言进行了算法的各模块电路设计,并在搭建的 FPGA 视频验证平台上进行了验证.实验结果表明,论文提出的画质增强算法能够适应各种不同场景的图像,处理后的图像明亮清晰、色彩逼真.

关键词: 色彩空间;画质增强;动态范围调整

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2012) 08-1655-04

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.08.025

An Improved Video Quality Enhancement Algorithm and VLSI Design

YANG Yuan, GAO Yong, FANG Ji-jun, QIAO Shi-jie, HAN Chao

(Department of electronics engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi China, 710048)

Abstract: Owing to digital television image diversification, there is no better enhancement method to enhance the image. An improved video quality enhancement algorithm is presented and the hardware circuit is designed in this paper. Unlike traditional histogram equalization approaches, the input images are divided into different classes by analyzing the information of input images and the contrast is adjusted in YUV color space firstly. Then the adjusted images would be processed as follows: the dynamic range is adjusted in RGB color space, the luminance is amended and the saturation is compensated in HSV color space. The VLSI (Very Large Scale Integrated circuit) hardware circuit of the algorithm is designed with Verilog, and it is verified based on the FPGA (Field-Programmable Gate Array) video verification platform. The experimental results show that the presented algorithm can adapt the pictures of different scenes and the enhanced images are more clear and vivid.

Key words: color space; video quality enhancement; dynamic range adjusting

1 引言

图像质量的好坏对视觉效果产生直接的影响,利用图像增强技术能够为人类提供色彩更加艳丽,画面更清晰的视觉享受.在众多的图像增强算法中,最有效改善画质的途径是对比度增强.针对不同的需要和场合,国内外研究者提出了很多方法^[1~7],主要有直方图均衡(HE)、自适应直方图均衡(AHE)、自适应对比度增强(ACE)、非线性自适应对比度增强等等.单纯的对比度增强方法主要适应于灰度图像.针对彩色图像增强,研究者提出了基于人眼视觉感知特点和感兴趣区域的图像增强方法^[8~10].这些方法能较好地获得彩色图像增强的效果,但仍存在色彩失真、一定程度的过增强等缺

点,且未涉及硬件电路的可实现性.

本文算法结合硬件结构的可实现性,对输入视频经过对比度调整后对其在 RGB 空间下进行动态范围调整,可有效改善因光照和天气影响导致像素集中在直方图小范围的图像,并在 HSV 空间(视觉颜色模型)下进行亮度修正和饱和度补偿使得处理后的图像明亮清晰、色彩鲜艳,层次感强,有效改善画面质量.

2 改进的画质增强算法

本文采用的算法是在已有的理论上合理地在不同色彩空间下有效地对各分量进行分析和处理.数字视频信号以 YUV 格式进行传输,首先对传输进来的图像信息的亮度分量 Y 进行直方图统计,判断该图像属

于偏暗、正常、偏亮三种情况中哪一种,然后用对应的对比度调整函数进行调整.经过调整后的图像层次感不明显,偏暗处的细节模糊,因此进一步在 RGB 空间下进行动态范围调整使得图像细节部分清晰.亮度修正和色饱补偿是关键的一环,它的处理结果好坏直接关系到最终显示的图像是否满足人眼对画面明亮、鲜艳、质感强的需求,整个处理流程如图 1 所示.

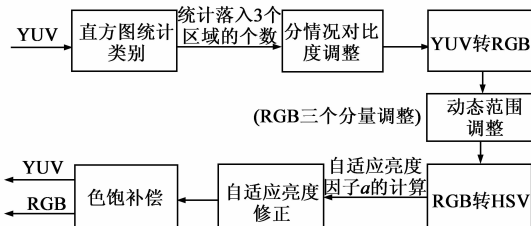


图1 算法处理流程框图

2.1 对比度调整

通过在 YUV 或 ycbcr 色彩空间下对亮度信息进行直方图统计,根据直方图的信息来判断该图像属于偏暗、正常、偏亮^[11]中哪一类,然后根据不同情况采取不同的调整函数来对其进行调整.

$$\begin{cases} \text{偏暗,} & \text{if } N1 > (M \times N)/2 \\ \text{正常,} & \text{if } N2 > (M \times N)/2 \\ \text{偏亮,} & \text{if } N3 > (M \times N)/2 \\ \text{不处理,} & \text{其他情况} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $N1$ 、 $N2$ 、 $N3$ 分别为落入偏暗、正常、偏亮区域像素值的数目,在此通过多次实验选择合适的阈值来划分这三种情况.

通过前面对输入图像信息的判断,对分类后的图像对比度采用不同的函数进行不同程度的调整,如图 2 所示.

2.2 动态范围调整

当动态范围太大时,由于人眼所可以分辨的亮度变化范围是有限的,因此往往会因为很高的灰度值区域的信号掩盖暗区的信号,从而影响到目标区域的表现效果,使得暗区细节难以辨识^[11].

为了得到更好的处理效果,对前面调整过的图像进行动态范围调整,利用动态范围对人眼视觉影响的

特性,对原始像素值在 $[a, b]$ 范围内的像素值进行线性映射到 $[0, 255]$, 这样可以进行对比度扩展,使得其细节部分更加清晰,调整公式如下:

$$g(i, j) = \begin{cases} 0, & f(i, j) < a \\ \frac{255}{b-a} [f(i, j) - a], & a \leq f(i, j) < b \\ 255, & f(i, j) \geq b \end{cases} \quad (2)$$

($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$), 其中图像大小为 $m \times n$, $[a, b]$ 为原始图像的像素值范围, $f(i, j)$ 为原始像素值.

2.3 亮度修正和色饱补偿

前面对图像进行对比度调整时,在对比度改善的同时会伴随着亮度的损失和色饱和度的降低,使得处理后的图像昏暗,色彩暗淡.通过亮度修正可以使亮度不足的图像变得明亮、舒服.通过色饱和度补偿使得处理后图像颜色更加鲜艳、栩栩如生.

通过分析图像在各种色彩空间下各个分量的特性,可以巧妙地利用幂函数在 $[0, 1]$ 范围内的函数特性,并且利用图像的亮度分量的共性自适应地对输入图像进行不同程度亮度修正,如图 3 所示.同理可以对色饱进行自适应的补偿.

此处利用幂函数 $g = c \cdot f^{1/a}$. 其中 g 为修正后的像素值, c 为进行修正的增益, f 为原始像素值, a 为自适应修正因子,其如何取值在算法实现中给出.

3 算法的实现和结果分析

3.1 算法的 Matlab 仿真验证

采用 Matlab 软件对算法进行仿真,经过多次实验得出, $N1$ 选取为 80, $N2$ 为 160, $N3$ 为 255.

亮度修正因子 a 的计算方法如下:

$$a = H - B \quad (3)$$

此处 H 为一个常数,经过多次实验得到一个最佳值,这里取 1.75, B 为图像的平均亮度值,根据输入图像的亮度信息选择不同程度的修正级别以达到改善画质的目的.由于对比度调整以及亮度修正后色饱自然降低,经过多次实验选择色饱补偿因子为 1.2 或可以根据需要来调整.

为了验证算法的适用性,选取多种场景进行实验.

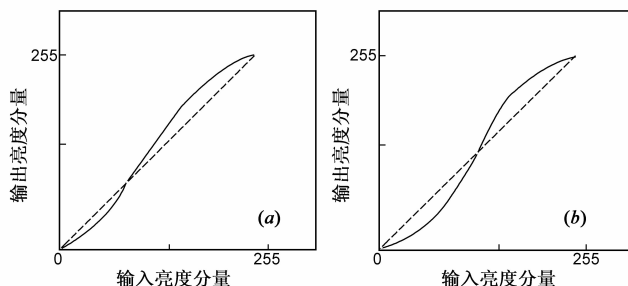


图2 分类对比度调整(a)偏暗图像对比度调整;(b)正常图像对比度调整;(c)偏亮图像对比度调整;

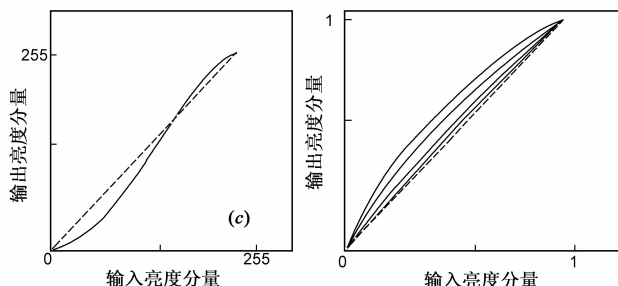


图3 自适应亮度修正

图 4(a)为雾天场景的图像,观察图像,可以感觉到原图像像蒙了一层纱模糊不清,这主要是由于天气影响或拍摄时采光不好等导致的对比度差.图 4(b)为 HE(直方图均衡)处理后的图像,明显可以看到色彩信息丢失严重.经过本文算法处理后图像效果如图 4(c),处理后图像色彩饱满,画质明显得到改善.图 4(d)为偏暗场景下的图像,用 HE 方法处理后图像苍白,层次感差如图 4(e)所示,本文算法处理后画面清晰,人的皮肤颜色得到补偿如图 4(f)所示.同样针对背景单一的卡通图像如图 4(g),HE 方法处理后会产生图像分块,色彩失调,严重损害图像如图 4(h),而通过本文算法处理后清晰、明亮,色彩鲜艳,画质明显得到改善如图 4(i).



图4 不同场景图像的处理效果比较

表 1 图像处理结果性能指标比较

指标	雾天背景图像			偏暗场景图像			单一背景图像		
	原图	HE	本文	原图	HE	本文	原图	HE	本文
方差	361.48	5.57×10^3	2.81×10^3	1.04×10^3	4.27×10^3	1.95×10^3	2.21×10^3	5.60×10^3	2.85×10^3
信息熵	11.53	9.86	11.25	9.80	8.86	8.87	9.99	8.93	9.53

表 1 列出了算法对三个图像处理结果的性能指标比较.其中方差反映了图像的对比度,而信息熵则反映了信息量的大小.由表中结果可以看出,对于雾天和偏暗场景图像,本文算法和 HE 方法都使原图像的对比度得到了明显的提高,HE 方法得到的对比度更高,但其信息量损失较多;对于单一背景图像,其原本效果较好,本文算法在适当提高了其对比度的前提下,信息量与原图像接近,而 HE 方法则将其对比度进行了过多的提高且损失了信息量.

3.2 算法的 FPGA 验证

利用 Altera EP2C70 的 FPGA 芯片开发板搭建的视频画质增强验证平台结构框图如图 5 所示,采用模拟摄像头或外接模拟视频源作

为输入源,通过 FPGA 的 IIC 总线控制器模块对 SAA7113 解码芯片进行配置,将原有模拟视频转化为 ITU656 视频码流,其视频数据格式为 YUV422,部分数据缓存在 SDRAM 中完成,画质增强算法模块中对比度调整、亮度修正和动态范围调整等处理在 FPGA 中完成,将处理后的 RGB 视频数据以及相应行场同步控制信号经过 SAA7123 编码芯片转换成模拟信号与 VGA 相连作为显

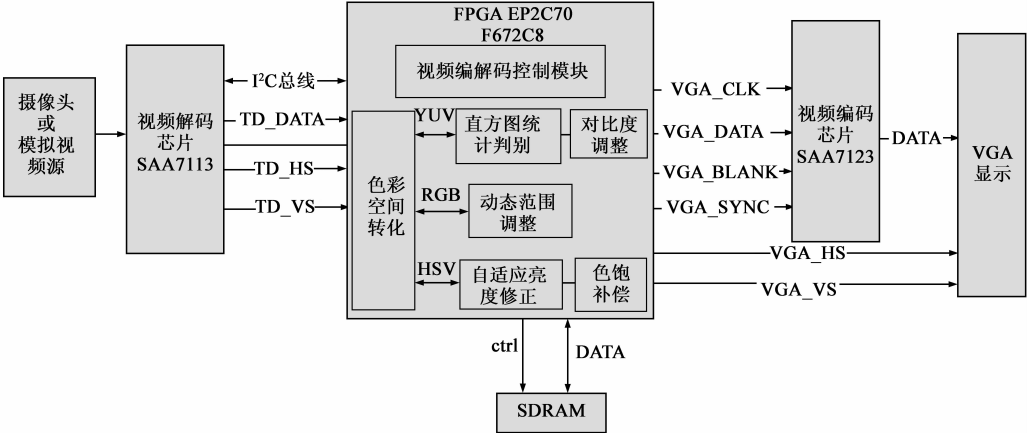


图5 视频画质增强FPGA验证平台

示终端. 经过增强模块处理的视频播放流畅, 图像清晰、生动. 系统处理的图像分辨率为 640×480 , 带宽为 27MHz, 场刷新率为 60Hz, 帧率为 30f/s.

图 6 所示为将几个模块连接起来在 FPGA 上验证的结果, 图 6(a) 和图 6(c) 分别为雾天场景和偏暗场景原图像, 图 6(b) 和图 6(d) 分别为经过 FPGA 增强处理后的图像在显示器上的效果, 可以看到处理后的图像画质得到明显改善.



图6 画质增强处理算法的FPGA验证

4 结束语

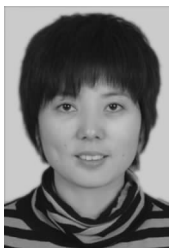
本文的创新之处是通过分析输入图像的亮度直方图信息进行判别分类, 充分利用色彩空间对各分量进行巧妙的处理, 能够自适应地对视频图像进行画质增强. 在增强对比度的同时通过动态范围调整尽最大可能的保留原始图像细节信息, 避免了传统增强对比度方法带来的负面影响, 更有效的是对调整后的图像自适应进行亮度修正和色饱补偿, 避免图像的色彩损失, 使得处理后的图像清晰、色彩鲜艳、层次感强, 达到了改善视频画质的目的.

参考文献

- [1] 徐健, 常志国. 一种自适应非线性彩色图像增强技术[J]. 计算机仿真, 2008, 25(6): 214 – 216.
Xu Jian, Chang Zhiguo. An Adaptive and Nonlinear Technique for Color Image Enhancement[J]. Computer Simulation, 2008, 25(6): 214 – 216. (in Chinese)
- [2] S Srinivasan, N Balram. Adaptive Contrast Enhancement Using Local Region Stretching[A]. The 9th Asian Symposium on Information Display[C]. New Delhi, 2006. 152 – 156.
- [3] 江巨浪, 张佑生, 薛峰, 等. 保持图像亮度的局部直方图均衡算法[J]. 电子学报, 2006, 34(5): 861 – 866.
Jiang Julang, Zhang Yousheng, Xue Feng, et. al. Local histogram equalization with brightness preservation[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(5): 861 – 866. (in Chinese)

- [4] K Zuiderveld. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization[M]. Chapter VIII.5, Graphics Gems IV, Cambridge, MA, Academic Press, 1994. 474 – 485.
- [5] J A Stark. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5): 889 – 896.
- [6] S-D Chen, A Ramli. Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for scalable brightness preservation[J]. IEEE TCE, 2003, 49(4): 1301 – 1309.
- [7] L Tao, V Asari. An integrated neighborhood dependent approach for nonlinear enhancement of color images[A]. International Conference on Information Technology [C]. Coding Computing. ITCC. 2004. 138 – 139.
- [8] 汪荣贵, 张璇, 张新龙, 等. 一种新型自适应 Retinex 图像增强方法研究[J]. 电子学报, 2010, 38(12): 2933 – 2936.
Wang Ronggui, Zhang Xuan, Zhang Xinlong, et. al. A novel adaptive retinex algorithm for image enhancement[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(12): 2933 – 2936. (in Chinese)
- [9] 王守觉, 丁兴号, 廖英豪, 等. 一种新的仿生彩色图像增强方法[J]. 电子学报, 2008, 36(10): 1970 – 1973.
Wang Shoujue, Ding Xinghao, Liao Yinghao, et. al. A novel bio-inspired algorithm for color image enhancement[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(10): 1970 – 1973. (in Chinese)
- [10] Xu, Ning, Lin, Weiya, Zhou, Yu, et. al. A new global-based video enhancement algorithm by fusing features of multiple region-of-interests[A]. 2011 IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)[C]. Tainan, Taiwan, 2011. 1 – 4.
- [11] 朱虹. 数字图像处理基础[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 39 – 46.

作者简介



杨媛女, 1974 年生于湖南平江, 微电子学与固体电子学专业博士, 西安理工大学电子工程系教授, 博士生导师. 主要研究方向为半导体集成电路器件、电路设计及系统集成.

E-mail: yangyuan@xaut.edu.cn



高勇男, 1956 年生于山东宁津, 西安交通大学半导体器件与物理专业博士, 西安理工大学电子科学与技术学科教授、博士生导师. 主要研究方向为电力电子器件与功率集成、新型半导体器件与集成电路设计和超大规模集成电路设计.

E-mail: gaoyong@xaut.edu.cn