

一种多色彩空间信息融合的图像增强算法

党领茹^{1,2,3}, 朱 丹^{1,2,3}, 佟新鑫^{1,3}, 王玉良^{1,3}

(1 中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016;

2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 中国科学院 光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 在彩色图像获取过程中, 由于光照不均等原因导致采集的图像动态范围大, 细节信息模糊. 为此, 提出了基于多色彩空间信息融合和同态滤波的彩色图像增强算法. 首先, 在 RGB 色彩空间上, 分别对 R、G、B 分量进行同态滤波和自适应截取拉伸, 消除光照影响, 有效增强局部细节信息. 然后, 在 HSV 色彩空间上, 利用由构造的非线性变换函数处理后的 V 分量, 进行光照补偿. 并且利用原图像 H 和 S 分量, 恢复图像色彩信息. 实验分析表明, 本算法能够很好的压缩图像动态范围, 增强亮暗区域的细节信息, 并保持颜色的一致性.

关键词: 图像增强; 同态滤波; 色彩空间; 光照补偿

中图分类号: TN391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)12-0084-04

A Multi-Color Space Information Fusion Algorithm for Image Enhancement

DANG Ling-ru^{1,2,3}, ZHU Dan^{1,2,3}, TONG Xin-xin^{1,3}, WANG Yu-liang^{1,3}

(1 Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Key Laboratory of Opto-Electronic Information Processing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: In the process of color image acquisition, due to inhomogeneous illumination and other reasons, the collected images have features of large dynamic range and details blur. So this paper proposes a method for enhancing the color images based on information fusion of multi-color space and homomorphic filters. First, in RGB color space, the three components are processed by using the homomorphic filtering and the adaptive clipping stretch methods respectively to eliminate illumination effect and enhance the local details effectively. Then, in HSV color space, the V component of modified by the nonlinear transformation function structured is used to make illumination compensation to the image. And the H and S component of the original image is used to restore the color information. The experimental results suggest that the proposed method shows better in the aspects of dynamic range compression, enhancement of the detail of bright and dark areas and keeping the color consistency.

Key words: image enhancement; homomorphic filters; color space; illumination compensation

1 引言

在实际应用中, 采集到的图片由于光照或物体表面反射等因素的影响, 会出现光照不均、动态范围大、细节模糊等情况, 不利于人眼观察, 同时给后续的图片处理带来很大困难. 针对图像增强问题, 常用

的方法有直方图均衡化法, 基于照明-反射模型的同态滤波法以及基于 Retinex 理论的方法. 其中, 直方图均衡化方法处理后的图片会出现块效应, 基于 Retinex 的增强方法, 计算量过大, 难以达到实时性要求^[1]. 而同态滤波增强技术把频率处理和灰度变换结合起来, 可以在消除光照影响的同时保留图像

细节信息.

上述方法在灰度图像增强中已经得到了广泛应用,而对于彩色图像的增强,由于需要考虑图像颜色信息,给处理过程带来一定困难.现有处理方法大致分两种:一是在传统的 RGB 色彩空间,分别对红、绿、蓝三个通道信息进行增强^[2-3],这种方法虽然能够很好地压缩图像动态范围,但由于三个通道信号存在高度的相关性,每个通道数值的改变都会引起整体图像的颜色偏差,导致严重的色彩失真现象;二是将彩色图像变换到 HSV 或 HSI 色彩空间中,保持色彩分量不变,仅对亮度分量进行增强^[5-7],很好地保持了色彩的一致性,但细节信息增强不明显,这是由于亮度分量的获取时丢失了许多颜色细节信息,仅对亮度分量处理会使许多由颜色信息来区分的细节被忽视掉,导致最终增强的图像视觉效果差.

根据以上分析,本文提出了一种基于多色彩空间信息融合和同态滤波的彩色图像增强算法,并进行了实验验证.

2 同态滤波算法原理

用函数 $f(x, y)$ 表示一幅图像,其值可由两个分量来表征:入射到观察场景的光源总量和场景中物体反射光的总量.相应称为入射分量和反射分量,分别表示为 $i(x, y)$ 和 $r(x, y)$. 其关系可以表示为

$$f(x, y) = i(x, y) r(x, y) \quad (1)$$

式中, $i(x, y)$ 的性质取决于照射源,其分布均匀,在空间域变化缓慢,在频域空间主要分布在低频区域. $r(x, y)$ 取决于成像物体的特性,主要反映的是图像的边缘、细节信息、对应频域空间中的高频成分. 同态滤波算法,能够抑制入射分量,增强反射分量,从而达到平衡光照,增强细节的目的. 同态滤波的基本过程如图 1 所示.

$$f(x, y) \Rightarrow \text{In} \Rightarrow \text{DEF} \Rightarrow H(u, v) \Rightarrow (\text{DFT})^{-1} \Rightarrow \exp \Rightarrow g(x, y)$$

图 1 同态滤波基本过程

3 本文彩色图像增强算法

彩色图像^[8]增强的目的主要是在压缩图像动态范围和增强图像细节的同时,使得图像变得更加生动和色彩鲜艳,并且不能带来色彩失真现象. 本文提出的多色彩空间信息融合的同态滤波算法,在 RGB 色彩空间对各通道图像进行同态滤波和自适应截取拉伸,较好地压缩了图像的动态范围,同时增强了图像的细节. 并使用 HSV 色彩空间中的 V 分量进行

光照补偿,使图像光照分布更加均匀自然,更符合人眼的观察. 使用 H 分量和 S 分量进行颜色恢复,较好的保持了颜色的一致性. 图 2 为本文算法的整体流程图.

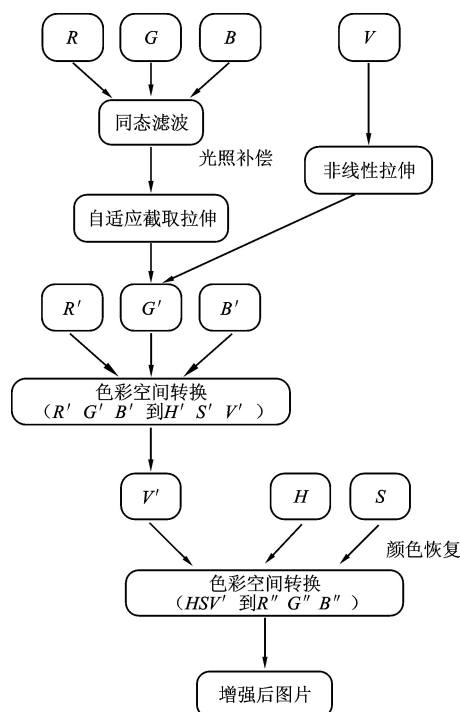


图 2 本文算法流程图

3.1 基于 RGB 色彩空间的同态滤波和自适应截取

为了解决彩色图像增强时的颜色失真问题,文献[3,5-7]选用在 HSV 色彩空间,对亮度分量进行增强处理,这种方法虽然有效地保持了色彩的一致性,但动态范围压缩和图像细节增强效果并不理想. 这是因为人眼对于图像结构信息的分辨,在灰度图像中主要是依靠亮度的变化,而对于彩色图像,亮度的变化仅仅是一个方面,在相邻像素亮度基本一致的情况下,就需要通过颜色信息进行分辨. 针对这一问题,本文算法在 RGB 色彩空间中,分别对各彩色通道信号进行同态滤波,保证各颜色通道的结构细节信息得到增强. 同态滤波后的直方图见图 3.

同态滤波后各分量图像灰度值主要集中在某一范围内,动态范围小,对比度较低. 因此,本文对归一化后的图像进行了自适应截取拉伸. 设直方图总面积为 S , 直方图均值 u 附近 Δx 距离的面积为 S_x . 取令式(2)中 η 大于一定值的范围作为截取范围,其中, η 取值越大,保留原图信息越多,对比度拉伸越小;反之, η 取值越小,保留原图信息越少,对比度拉伸越明显. 并按式(3)线性拉伸到 $[0, 1]$ 范围内,图 4 为拉伸后的图像直方图.

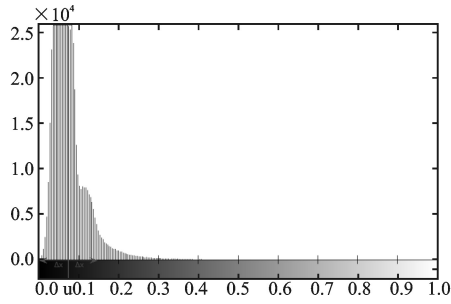


图3 同态滤波处理后图像直方图

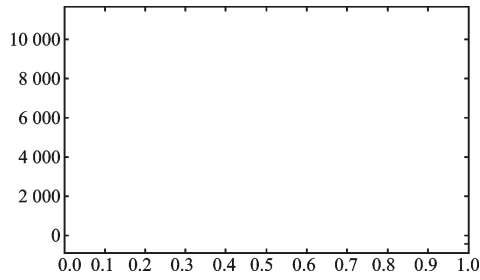


图4 自适应截取拉伸后图像直方图

$$\eta = \frac{S_x}{S} \quad (2)$$

$$I_k(i, j) = \begin{cases} 0, & I_k^c(i, j) < I_{\min} \\ \frac{[I_k^c(i, j) - I_{\min}]}{I_{\max} - I_{\min}}, & I_{\min} < I_k^c(i, j) < I_{\max} \\ 1, & I_k^c(i, j) > I_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

式中, I 为最终增强结果, I^c 为滤波后图像, 下标 k 取值为 R、G、B 分别代表三个颜色分量, $I_{\min}$ 为 $u - \Delta x$, $I_{\max}$ 为 $u + \Delta x$.

3.2 基于 HSV 色彩空间的光照补偿和颜色恢复

3.2.1 光照补偿

经过 RGB 空间的同态滤波和自适应截取拉伸后的图像, 虽然很好地压缩了原图像的动态范围, 增强了图像细节信息, 但丢失了基本的光照信息, 使图像看起来不自然. HSV 色彩空间中的 V 分量可以表示图像的整体亮度变化情况, 因此可以利用 V 分量对整体图像进行光照补偿. 但原始的亮度信息不均匀, 存在明显的高亮区域和暗区域. 因此本算法首先构造非线性函数, 实现对亮度分量两个区域的同时拉伸, 得到分布均匀的亮度图像. 然后利用处理后的亮度图像对滤波后的各通道信号进行光照补偿. 具体形式为

$$I_V' = f(I_V) \quad (4)$$

$$(I_R', I_G', I_B') = \alpha I_V' (I_R, I_G, I_B) \quad (5)$$

式中, I_V 为原图像的 V 分量; I_V' 为非线性变换后的

亮度图像; I_R, I_G, I_B 为 RGB 色彩空间滤波后的三个分量; I_R', I_G', I_B' 为光照补偿后的图像; α 为常数系数, 控制图像整体亮度. α 值过大会出现过饱和现象, 原来高亮部分的细节消失; α 值过小会使图像整体偏暗, 视觉效果差. α 一般取值为 1.5 ~ 1.7 之间较合适. $f(x)$ 为构造的非线性变换函数, 能够实现同时对暗区域和亮区域的灰度级拉伸. 具体函数表示为

$$f(x) = (x^m + x^n)/2 \quad (6)$$

式中, $0 < m < 1, n > 1$. 图 5 是函数的曲线图, m, n 具有相互制约的关系, 需要寻找合适的 m, n 达到理想的增强效果. 通过实验发现, m 取值为 0.3, n 取值为 5 时, 能够同时拉伸亮区域和暗区域, 达到较好的增强效果.

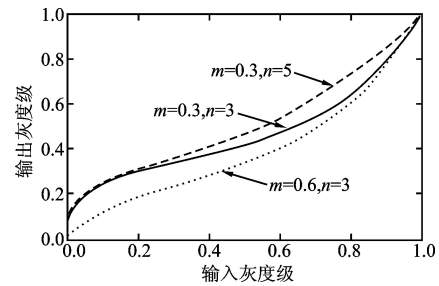


图5 非线性函数曲线图

3.2.2 颜色恢复

RGB 色彩空间增强并进行光照补偿后的图片, 虽然较好地压缩了图像的动态范围, 增强了细节信息, 但丢失了大量的颜色信息. 因此, 本文算法将原始图像的 H 分量(色度分量)和 S 分量(饱和度分量)与处理后的图像的亮度分量进行信息融合, 将融合后的图像转化到 RGB 色彩空间, 得到最终增强后的图片, 较好的保持了原图像的色彩信息.

4 实验分析

为验证本文算法的处理效果, 选用了几幅光照不均匀, 动态范围大, 对比度差的彩色图像进行实验分析. 并与文献[3-4]的彩色图像增强算法结果进行了对比分析.

图 6 所示为一幅光照不足大桥图片的增强处理结果. 从图 6(a)中可以看出由于光照不足, 导致大桥的细节模糊, 图像下部的森林背景基本处于黑暗带, 无法辨别细节信息. 图 6(b)为经过文献 6 算法处理后的效果图, 图中可以看出暗区域的对比度得到一定拉伸, 亮度提高, 能够识别出森林背景中的一些细节信息. 但整幅图像的对比度不高, 图像不够清

晰.图 6(c)相比图 6(b)的效果,整幅图的全局对比度更高,森林背景的整体结构信息更加清晰,颜色更加鲜亮,但树叶的局部细节信息比较模糊,并且天空背景的信息有所丢失.从本文算法处理的结果图中可以看出,图像整体对比度高,细节信息清晰,天空背景更加细腻.

另外对院落图像增强效果对比也做了试验,说明本文算法处理效果最好可以清楚的分辨出地面高亮区域的细节信息以及图片中车子上部墙体上的纹理.

从店铺图像增强效果图.同时增强了亮暗区域的细节信息,比如,墙体和地面以及屋内的细节信息,并保持颜色的高度一致性.

为了从客观上验证算法的效果,本文采用均值、方差以及信息熵来度量增强后的图片质量.其中,均值表示图像的整体亮度,方差表示图像的对比度,信息熵表示图像包含的信息量(细节成分).表 1 中给出了上面三幅图片不同算法处理后的各性能参数值.从表中数据对比可以看出,三种算法在亮度上相

比原图像亮度都有所提高,本文算法提升更显著.对比度方面,本文算法相较原图有一定的提高,但效果不如文献[4]的方法明显.但从信息熵的值可以看出,本文算法在细节信息增强方面明显优于其他两种算法.



图 6 大桥图片处理结果

表 1 三种算法客观性能比较表

	大桥图片			院落图片			店铺图片		
	均值	标准差	信息熵	均值	标准差	信息熵	均值	标准差	信息熵
原图	86.81	65.93	5.55	104.84	65.31	5.85	74.49	52.79	6.42
文献[3]算法	119.96	60.52	5.23	138.2	54.21	5.64	113.39	45.61	6.50
文献[4]算法	121.28	69.69	5.22	118.01	68.12	6.41	97.94	63.71	7.05
本文算法	128.48	67.46	5.77	105.61	66.05	7.10	116.86	63.13	7.09

5 结束语

本文提出了一种基于多色彩空间信息融合和同态滤波的彩色图像增强算法.实验表明,该算法处理后的图像亮度均匀,细节清晰,颜色鲜亮.有利于人眼的观察和后续图像的处理.

参考文献:

- [1] 耿鑫,胡晓光.基于模糊同组划分的多尺度彩色图像增强算法[J].仪器仪表学报,2012,33(3):602-608.
- [2] 李冠章,罗武胜,李沛,等.基于人眼视觉特性的彩色图像增强算法[J].光电工程,2009,36(11):92-95.
- [3] 焦竹青,徐保国.HSV变换和同态滤波的彩色图像光照补偿[J].计算机工程与应用,2010,46(30):142-144.
- [4] Meylan L, Ssisstriml S. High dynamic range image rendering with a retinex-based adaptive filter[J]. IEEE Transactions on, 2006,15(9):2820-2830.

- [5] Jie X, Lina H, Guohua G, et al. Based on HSV space real-color image enhanced by multi-scale homomorphic [C]//Intelligent Systems, GCIS'09. WRI Global Congress on. China:Fujian,IEEE, 2009(3):160-165.
- [6] 李福文,金伟其,陈伟力,等.基于 Retinex 模型的彩色图像全局增强算法[J].北京理工大学学报,2010,30(8):947-951.
- [7] Ghimire D, Lee J. Nonlinear transfer function-based local approach for color image enhancement[J]. Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 2011,57(2):858-865.
- [8] 郑凡,谢正祥,吕霞付,等.彩色图像质量自适应最佳方法[J].微电子学与计算机,2013,30(6):131-136.

作者简介:

党领茹 女,(1989-),硕士研究生.研究方向为数字图像处理. E-mail:danglingru@139.com.

(下转第 92 页)

将该电路运用到 RFID 阅读器基带发射链路,把发射链路输出用信号发生器调制到 920 MHz 载波上,按 250 kHz 作为信道带宽计算各信道功率衰减如图 13 所示,证实经该成型滤波输出的基带信号频谱满足 6C 标准密集环境和我国相关法规的要求。

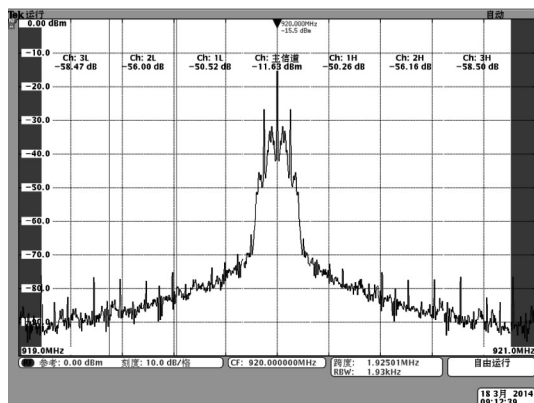


图 13 基带发射电路输出频谱

5 结束语

突破传统滤波器电路实现思路的限制,将编码和成型滤波相结合,同时完成上述功能.用 Matlab 设计滤波器参数,并对数据进行编码和成型滤波,得到数据编码和成型滤波后的样本值;基于 ROM 实现成型滤波电路;用 FPGA 验证电路功能,并与传统实现方式对比,获得成型滤波参数可配置性的同时,减小了电路开销,缩短了电路延时。

本文的设计思路也可运用到其他电路设计上,将两部分功能上紧密联系的电路做有机结合,设计出新的电路结构,获得更好的性能及更小的开销。

参考文献:

- [1] Klaus Finkenzeller. 射频识别(RFID)技术—无线电感应的应答器和非接触 IC 卡的原理和应用[M]. 2 版. 陈大才,译. 北京:电子工业出版社,2002.
- [2] Information technology — Radio frequency identification for item management air interface-Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz, ISO/IEC JTC 1/SC 31/WG 4N0722[S]. ISO-18000,2003-11-26.
- [3] 王峥. 超高频 RFID 空中接口协议的研究与系统设计[D]. 天津:天津大学电子信息工程学院,2011.
- [4] Chiu S, KiPnis I, Loyer M, et al. A 900MHz UHF RFID Reader Transceiver IC[J]. IEEE, JSSC, 2007 (42):12.
- [5] 陈亦灏. 符合 EPC C1G2 标准的阅读器数字基带关键技术研究[D]. 上海:华东师范大学信息学院电子科学系,2008.
- [6] 张建伟,展雪梅. FIR 数字滤波器的设计与实现[J]. 无线电工程,2010,40(6):54-56
- [7] 张会生,王效洪,耿光辉. 基于 FPGA 实现根升余弦滤波器的研究[J]. 无线通信技术,2005(2):46-49.
- [8] 周灏. UHF RFID 阅读器数字基带研究与设计[D]. 上海:华东师范大学信息学院电子科学系,2009.

作者简介:

徐智勇 男,(1990-),硕士研究生. 研究方向为数字集成电路设计、无线通信. E-mail:909967642@qq.com.

庄奕琪 男,教授,博士生导师. 研究方向为通信与功率系统集成、短距离无线通信、信息家电核心芯片设计.

靳 刚 男,博士. 研究方向为无线通信集成电路设计.

(上接第 87 页)

朱 丹 男,(1962-),研究员,硕士生导师. 研究方向为成像跟踪、实时图像处理等.

佟新鑫 男,(1972-),研究员. 研究方向为成像跟踪、实时图

像处理等.

王玉良 男,(1981-),硕士研究生. 研究方向为数字视频处理、电视跟踪、视频编码与通信.