

基于共生矩阵的彩色图像增强算法

杨冰清^{1*}, 田小平², 吴成茂²

(1. 西安邮电大学 通信与信息工程学院, 西安 710061; 2. 西安邮电大学 电子工程学院, 西安 710061)

(* 通信作者电子邮箱 qingfeng5414631@163.com)

摘要:针对传统的直方图均衡化会使图像过分增强,产生不自然的现象,提出一种利用二维共生矩阵的彩色图像增强算法。首先,利用相邻 3×3 像素之间的相关性来构造共生矩阵;然后,对彩色图像中的亮度分量进行共生直方图均衡;最后,将增强后的图像进行暗原色处理得到比较理想的图像。从所提增强算法与其他3种典型的增强算法的比较可看出:所提算法不仅考虑了图像的全局与局部信息,而且降低了直方图峰值和光环效应,提高了图像对比度,有较好的增强效果。

关键词:图像增强;共生矩阵;暗原色先验;光环效应;清晰度

中图分类号:TP317.4 **文献标志码:**A

Enhancement algorithm for color images based on co-occurrence matrix

YANG Bing-qing^{1*}, TIAN Xiao-ping², WU Cheng-mao²

(1. School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an Shaanxi 710061, China;

2. School of Electronic Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an Shaanxi 710061, China)

Abstract: Considering that the traditional method of histogram equalization can make the image produce unnatural enhanced results, a new color image contrast enhancement approach was proposed, which equalized color components by dependently using co-occurrence matrix. Firstly, gray correlative characteristics of pixels were combined in 3×3 neighborhoods to construct a co-occurrence matrix. Secondly, the method of co-occurrence histogram equalization was applied to luminance component only and the chrominance components were preserved. Finally, dark channel prior was used to solve the problem mentioned above to obtain the ideal image. Comparing the proposed enhanced algorithm with the other three typical enhancement algorithms, it is shown that the proposed algorithm not only considers the whole and local image information, but also deals with the histogram spikes and halo effect. The experimental results demonstrate that the proposed method can enhance the color images effectively.

Key words: image enhancement; co-occurrence matrix; dark channel prior; halo effect; definition

0 引言

图像增强是图像预处理的一项重要技术,可分为空间域算法和频率域算法两大类。直方图均衡化属于空间域算法的一种,包括全局直方图均衡化^[1-3]和局部直方图均衡化两种增强算法^[4-10]。全局直方图均衡化是利用整幅图像的直方图来完成对比度增强,实现输出图像概率分布函数的均匀分布,但该算法对一些低概率的小目标细节不仅难以实现有效增强,甚至会导致细节信息的损耗。局部直方图均衡化应用于图像的局部区域,细节处理上优于全局直方图均衡,但算法的数据处理量大,计算复杂,难以满足实时性处理的要求。

本文提出一种新的算法来进行图像增强,即利用二维共生矩阵的直方图均衡化来提高图像的对比度。本文算法充分利用图像的整体及局部灰度级的分布,通过在空间域对图像进行共生直方图均衡化来进行图像增强处理,并使用暗原色先验^[11]模型来进行均衡,保持整个图像在视觉上的连续性。

1 算法描述

1.1 构造共生矩阵

对于一幅大小为 $M \times N$ 图像 X ,用 x_m 来表示图像 X 中任一像素 (i, j) 的灰度, x_n 表示像素 (i', j') 的灰度,其中 (i', j')

为像素 (i, j) 八邻域的任一像素, $0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N$,若图像 X 的动态范围为 $[x_d, x_u]$,则有 $X(i, j) \in [x_d, x_u]$ 。在本文中使用了8位图像的整个动态范围,即 $x_d = 0, x_u = 2^8 - 1 = 255$ 。由此,可定义共生矩阵如下:

$$A_{m,n} = (N(X(i, j) = x_m \& X(i', j') = x_n))$$

其中: $N(\cdot)$ 为 (x_m, x_n) 出现的次数,灰度级 $K = 256$ 。共生矩阵可表示为:

$$A = \begin{bmatrix} A_{0,0} & A_{0,1} & \cdots & A_{0,K-1} \\ A_{1,0} & A_{1,1} & \cdots & A_{1,K-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{K-1,0} & A_{K-1,1} & \cdots & A_{K-1,K-1} \end{bmatrix}$$

一般而言,矩阵 A 为稀疏矩阵,因为在平滑区域内像素的灰度是比较接近的。如果 $A_{m,n} > 0$,则在某个八邻域内必定存在像素对 (x_m, x_n) ;否则, (x_m, x_n) 的个数则为0。在本文中, (x_m, x_n) 的数目可作为图像中对比度的一种估计,若 (x_m, x_n) 的个数越多,则表示此灰度级在直方图所占的比例越大。

1.2 共生直方图均衡化

共生直方图是对输入图像共生信息的一种表示,描述了输入图像在规定空间域中任一像素的灰度与其相邻像素灰度^[12]之间概率关系。为了改善图像的视觉效果,只需扩大像

收稿日期:2012-03-23;修回日期:2012-05-13。

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8004);陕西省教育厅科技计划项目(2009JK730, 2010JK816)。

作者简介:杨冰清(1986-),女,陕西韩城人,硕士研究生,主要研究方向:图像与视频通信;田小平(1963-),男,陕西渭南人,教授,主要研究方向:图像处理、图像通信;吴成茂(1968-),男,四川仪陇人,高级工程师,主要研究方向:图像处理。

素灰度级之间的差异即可。对于图像中任一点像素灰度 x_m , 通过共生矩阵 A 的第 m 行来计算其共生直方图。与直方图均衡化增强算法相似, 首先定义共生概率密度函数 $PDF(x_n | x_m)$:

$$PDF(x_n | x_m) = \frac{N(x_n | x_m)}{\sum_{n=0}^{K-1} N(x_n | x_m)} \quad (1)$$

其中 $N(x_n | x_m)$ 是以像素灰度 x_m 为中心的 8 个相邻像素中灰度为 x_n 的个数。如果在 x_m 的 8 邻域不存在灰度为 x_n 的像素, 则 $N(x_n | x_m) = 0$ 。由此可得到累积分布函数 $CDF(x_n | x_m)$:

$$CDF(x_n | x_m) = \sum_{l=0}^l PDF(x_l | x_m); l = 0, 1, \dots, K-1 \quad (2)$$

从式(2)可得到 $CDF(x_{K-1} | x_m) = 1$, 通过对整个动态范围 $[x_d, x_u]$ 的映射可得到共生直方图。

为了使整个图像在视觉上达到更好的效果, 可考虑对图像的整体和局部信息都进行均衡。通过上面的计算, 可得到 K 个新的灰度级, 这是因为共生矩阵 A 有 K 行。下面来表示经过

共生直方图均衡后相邻像素之间的关系:

$$Z_8 = \begin{bmatrix} x(n_1 | m) & x(n_2 | m) & x(n_3 | m) \\ x(n_4 | m) & x_m & x(n_5 | m) \\ x(n_6 | m) & x(n_7 | m) & x(n_8 | m) \end{bmatrix}$$

其中: $x(n_i | m)$ 表示经过共生直方图均衡后中心像素灰度为 x_m , 其相邻 8 像素中灰度为 x_{n_i} 的像素。定义增强后的图像灰度 x_m' :

$$x_m' = 255 - a \times \frac{\sum_{i=1}^8 \frac{1}{d_i} x(n_i | m) + x_m}{\sum_{i=1}^8 \frac{1}{d_i} + 1} + b \times \sum_{m=0}^{K-1} PDF(x_n) \times x(n | m) \quad (3)$$

其中: $a + b = 1$; d_i 为中心像素 x_m 与相邻 8 像素中第 i 个像素 $x(n_i | m)$ 之间的距离, 根据距离关系公式可知 $d = 1$ 或 $d = \sqrt{2}$ 。经过调试, 当 $a = 0.1, b = 0.9$ 时图像的增强效果比较理想。图 1 为经此算法变换后的效果图及其直方图。

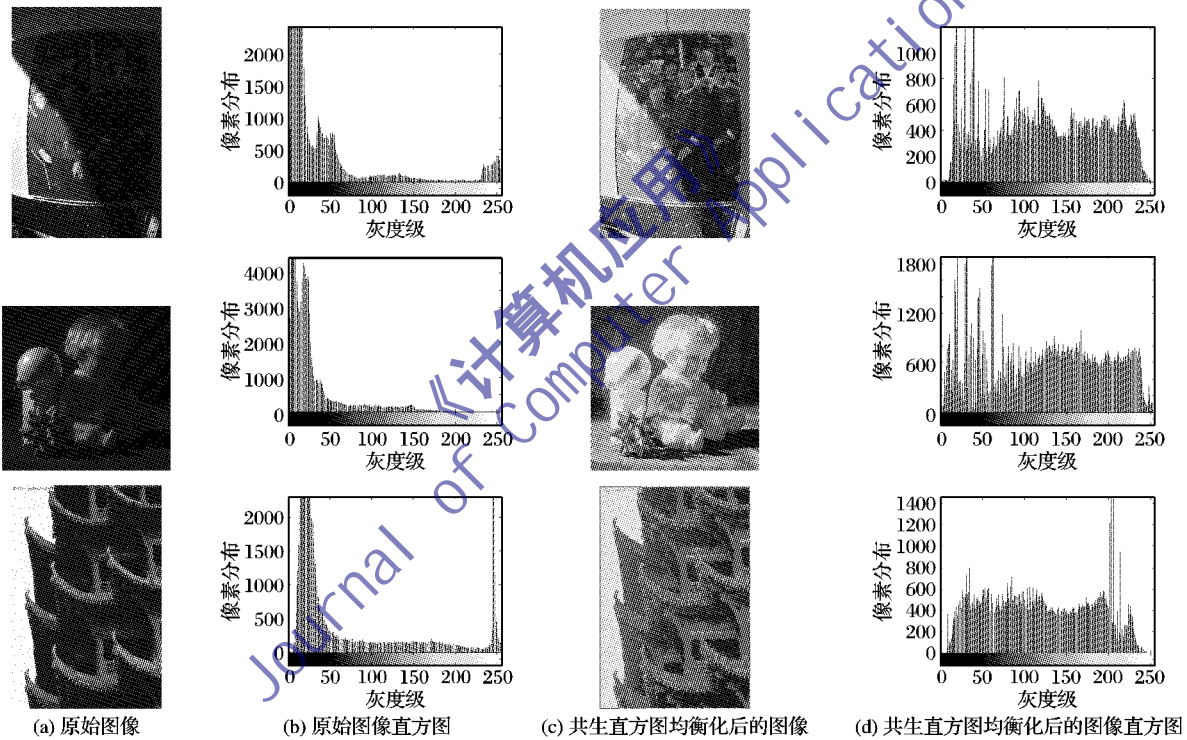


图1 原始图像与经共生直方图均衡化后的图像及其直方图

通过图1所示的几幅图像进行共生直方图均衡化可看出, 使用共生直方图均衡化增强算法后, 原来不清楚的图像变得很清晰, 图像亮度提高, 突出很多细节, 图像的颜色更加鲜艳, 视觉效果更好, 更利于人们观察和研究, 图像质量得到了明显的增强; 但同时也可看到此方法更易产生直方图峰值, 使图像过分增强产生不自然的光环效应, 这是由于使用共生信息造成的, 可以通过暗原色先验来解决。

2 暗原色先验模型

暗原色先验模型^[11]是一种简单有效的图像先验统计规律。通过对大量户外图像的观察得出一个关键性的事实: 对于绝大多数的户外无雾图像, 在不包括天空的绝大多数局部区域都至少存在一个颜色通道的强度值很低的像素。在被雾干扰的图像里, 这些暗像素的强度值会被大气中的白光成分所充斥而变得比较高。因此, 这些暗像素能够直接用来评估雾光

的透射信息。

利用这个先验模型, 对之前进行共生直方图均衡化增强后的图像进行雾浓度的估计, 然后对图像进行复原, 便可降低直方图峰值, 减少光环效应, 使图像达到理想的视觉效果。

暗原色先验模型非常简单, 在本文中, 如果用 $J(i, j)$ 来表示需要改善的图片, 用 $Y(i, j)$ 表示最终想要得到的理想图片, t 表示透射率, B 表示大气光线, 则雾图像成像模型用公式可表示为:

$$J(i, j) = Y(i, j) \times t(i, j) + B(1 - t(i, j)) \quad (4)$$

根据关系式(4), 只需从中表示出 $Y(i, j)$ 即可, 其中 $B(1 - t(i, j))$ 称为天空亮度。

在本文中, 把每个像素作为一块, 则对于图像 J , 暗原色 $J^{\text{dark}}(i, j)$ 可表示为:

$$J^{\text{dark}}(i, j) = \min_{A \in \{r, g, b\}} (J^A(i, j)) \quad (5)$$

其中 J^A 为图像 J 在像素 (i, j) 的颜色信道。从式(5)可知: 图

像 J 除了天空部分,观测值 J^{dark} 非常低或者趋近于 0。

现实生活中,即使是很晴朗的天气,空气中总会不可避免地包含一些杂质分子。所以在看远处的物体时,雾依然是存在的。如果彻底地移除雾的存在,图像会看起来不真实,而且深度感会丢失。在对透射率 t 进行计算时可通过引进一个常数 w ($0 \leq w \leq 1$),有针对性地保留一部分覆盖遥远景物的雾,使图像看起来更加自然,更符合人眼的视觉特性。 w 的值根据具体情况而定,在本文中,选取一个定值为 0.6。

假设在某个区域内透射率 t 是恒定不变的,则 t 可用式(6)表示:

$$t(i, j) = F\left[1 - w \min_{A \in \{r, g, b\}} \left(\frac{J^A(i, j)}{B^A}\right)\right] \quad (6)$$

其中: $F(\cdot)$ 表示二维高斯平滑滤波操作, $w = 0.6$ 是恒定参数, B 为大气光线,对 B 的估计可参考文献[12]。通过变换式子(式(4))可定义对比度增强的彩色图像 Y 为:

$$Y(i, j) = (1 - t)\left[J - \left(\frac{J - B}{t} + B\right)\right] + \frac{J - B}{t} + B \quad (7)$$

其中 J 是通过共生直方图均衡化算法后对比度增强的图像。

这种算法对于在雾浓度很大的情况下的远距离物体图像处理效果显著。但与其他任何利用先验规律实现的算法一样,暗原色的实现也有其限制因素。当取景对象在较大范围内和天空颜色比较接近或者在没有阴影覆盖的情况下,暗原色的规律是不成立的。尽管去雾处理对大多数户外带雾图像都有较好的效果,但在上述一些极端情况下还是会失效。可以考虑从不同角度结合其他算法来发展这一先验,使其更加完善。

3 实验结果及分析

针对彩色图像共生直方图均衡化的增强实验:首先将彩色图像从 RGB 空间变换到 HSV 空间,其次仅对其亮度分量进行共生直方图均衡化,然后对增强后的图像进行暗原色处理得到进一步改善后的亮度图像,最后将增强的图像变换到 RGB 空间。3 种不同增强算法所得的对比图像如图 2 所示。下面分别从视觉效果和清晰度的角度对几种典型的直方图均衡化算法的增强效果进行评价。

3.1 主观评价

实验采用了具有代表性的彩色图像进行仿真测试,并与 3 种典型的图像增强算法进行了比较。从图 2 可看出,采用不同的增强算法均得了一定的增强效果,但通过本文的增强算法后图像的整体视觉效果更为理想。

从图 2 还可看出,采用传统的直方图均衡化算法虽然对图像有一定的增强效果,但变换后图像某些细节消失,对比度不自然地过分增强,视觉效果不是很好。采用基于信息熵和信息能量的可调直方图均衡化增强算法虽然在视觉上看起来比较柔和,但图像的对比度提高不是很明显,图像整体偏暗。而本文算法无论从图像整体还是局部都呈现出理想的效果,图像更清晰,更符合人眼的视觉特性。

3.2 清晰度评价

图像清晰度的评价一直是各类数字图像成像系统的一个关键问题。目前,关于评价数字图像清晰度的常用空域参数优缺点在文献[14]中已做出评价,其中以方差和熵等为代表的空域参数性能较好,但它们对图像清晰度变化的敏感度并不理想。本文使用能量梯度函数^[15-16]来评价图像清晰度,此函数简单易行,运行效率高,效果也相对较好。

能量梯度函数是利用相邻点的差分来计算图像中某一个点的梯度值,图像像素灰度值的清晰度可用公式表示为:

$$F_e = \sum_i \sum_j [x(i, j) - x(i + 1, j)]^2 +$$

$$\sum_j \sum_i [x(i, j) - x(i, j + 1)]^2$$

其中: $x(i, j)$ 为图像 x 在像素点坐标 (i, j) 处的灰度值; F_e 表示清晰度, F_e 值越大,表明清晰度越高,最大值 F_e 对应的图像就是最清晰的图像。



图 2 本文算法与其他 3 种不同增强算法所得的对比图像

表 1 为通过能量梯度函数对图 2(a) 中的第一幅图的不同增强图像进行清晰度计算得出的结果。

表 1 不同增强算法所得图像的清晰度

图 像	清晰度
原始图像	132.829 5
直方图均衡化结果	363.267 4
基于信息能量的直方图均衡化结果	254.365 2
基于信息熵的直方图均衡化结果	293.950 1
本文算法结果	434.059 5

从表 1 可知,使用以上 4 种不同的增强算法虽然图像的清晰度值都有所提高,但本文算法所得到的清晰度值更高,效果更为明显,更易于人们进行观察和研究。因此,本文所提出的增强算法是相对有效的。

4 结语

针对彩色图像的特点,将共生直方图均衡与暗原色先验相结合来进行图像增强。该方法利用图像的共生信息来进行图像增强,操作简单,很容易实现。实验表明本文方法比传统的直方图均衡算法和其他几种典型的增强算法更有效,但在利用暗原色处理时存在不足,需进一步结合其他方法进行修改和完善。

(下转第 2584 页)

表 5 搜索范围 $W = 16$ 的 cif 序列的实验结果

序列	算法	PSNR/dB			比特率/Kbps	运动估计时间/s	编码时间/s
		Y	U	V			
hall	UMHexagonS	38.08	39.44	41.42	250.84	128.403	225.027
	本文算法	38.07	39.44	41.42	250.88	123.745	221.903
mobile	UMHexagonS	35.34	36.52	35.91	2008.15	212.748	346.973
	本文算法	35.35	36.52	35.92	2009.29	191.549	326.467
mother-daughter	UMHexagonS	39.16	43.41	44.32	145.55	130.405	222.014
	本文算法	39.16	43.41	44.33	145.50	126.975	218.735
highway	UMHexagonS	35.46	35.51	37.48	326.19	157.518	270.328
	本文算法	35.45	35.52	37.47	324.94	149.110	261.366

参考文献:

[1] Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-TVCEG. Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification [S/OL]. [2010-10-10]. http://ip.lhi.de/imagecom_G1/assets/pdfs/JVT-G050.pdf.

[2] WIEGAND T, SULLIVAN G J. Overview of the H.264/AVC video coding standard [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7): 560-576.

[3] CHEN ZHIBO, ZHOU PENG, HE YUN. Fast integer pel and fractional pel motion estimation for JVT [EB/OL]. [2010-10-10]. <http://akuvian.org/src/x264/JVT-F017.pdf>.

[4] XU XIAOZHONG, HE YUN. Improvements on fast motion estimation strategy for H.264/AVC [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(3): 285-293.

[5] HUANGPENG, LI CUI-HUA. Irregularity-cross multi-hexagon-grid search algorithm for fastmotion estimation on H.264[C]// Proceedings of 2010 the 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010, 3: V3-587-V3-292.

[6] QIU XIAO-BIN, HUANG CHUN-QING. An improved algorithm of fast motion estimation based on H.264[C]// Proceedings of 2010 International Forum on Information Technology and Applications. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010, 1: 159-163.

[7] CHEN ZHIBO, HE YUN, XU JIANFENG. Hybrid unsymmetrical cross multi-hexagon-grid search strategy for integer pel motion estimation in H.264[C]// Proceedings of PCS '2003. Saint Malo, France: [s. n.], 2003: 17-22.

[8] BANH XUAN - QUANG, TAN YAP - PENG. Adaptive dual - cross search algorithm for block-matching motion estimation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, 50(2): 766-775.

[9] TANG QIANG, NASIOPOULOS P. Efficient motion re - estimation with rate-distortion optimization for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(2): 262-274.

[10] 李鹏飞, 雷仲魁. 基于 H.264 的 UMHexagonS 算法研究与改进 [J]. 科学技术与工程, 2011, 11(24): 5823-5830.

[11] 郭德才. 不可思议的斐波纳契数列 [J]. 科学 24 小时, 2008(6): 16-17.

[12] XI GAO-WEN, LIU MAI-XUE. The some sum formula for generalized Fibonacci numbers[J]. Chinese Quarterly Journal of Mathematics, 2007, 22(2): 258-265.

(上接第 2575 页)

参考文献:

[1] CHENG H D, SHI X J. A simple and effective histogram equalization approach to image enhancement [J]. Digital Signal Processing 2004, 14(2): 158-170.

[2] 张懿, 刘旭, 李海峰. 自适应图像直方图均衡化算法 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2007, 41(4): 630-633.

[3] 徐同莹, 彭定明, 王卫星. 改进的直方图均衡化算法 [J]. 网络信息技术, 2006, 25(7): 58-59.

[4] 张勇, 张剑, 欧翼, 等. 基于随机分布的局部直方图均衡算法 [J]. 现代科学仪器, 2011, 28(3): 11-13.

[5] 余小宝, 莫玉龙. 具有视觉特性的局部直方图均衡增强算法 [J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2003, 9(2): 109-112.

[6] KIM Y T. Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram Equalization [J]. IEEE Transactions on Consum Electron, 1997, 43(1): 1-8.

[7] 赵晓丽, 孙宪坤. 基于视觉特性的彩色图像增强算法研究 [J]. 计算机工程与设计, 2007, 24(6): 204-207.

[8] 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.

[9] KIM J-Y, KIM L-S, HWANG S-H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(4): 474-484.

[10] 翟东清, 吴陈, 曾庆军. 保持亮度的多峰直方图均衡算法 [J]. 计算机仿真, 2009, 26(1): 222-224.

[11] HE KAIMING, SUN JIAN, TANG XIAO. Single image haze removal using dark channel prior [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.

[12] BARALDI A, PARMIGIANI F. An investigation of the textural characteristics associated with GLCM matrix statistical parameters [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33(2): 293-304.

[13] 吴成茂. 可调直方图均衡化的正则解释及其改进 [J]. 电子学报, 2011, 39(6): 1279-1281.

[14] ESKICIOGLU A M, FISHER P S. Image quality measures and their performance [J]. IEEE Transactions on Communications, 1995, 43(12): 2959-2965.

[15] 李奇, 冯华君, 徐之海, 等. 数字图像清晰度评价函数研究 [J]. 光子学报, 2001, 31(6): 736-738.

[16] 查世华, 王旭, 张舞杰, 等. 一种改进的数字图像清晰度评价函数研究 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(12): 279-280.