文章编号:1002-2082(2012)02-0300-05

基于形态学变换和 FFCM 聚类的灰度图像颜色迁移算法

贺 栋,杨风暴,蔺素珍,周 萧

(中北大学 信息与通信工程学院,山西 太原 030051)

摘 要:针对传统颜色迁移算法计算量大、对图像无法准确进行颜色迁移的问题,提出一种基于形态学变换和快速模糊 C 均值聚类(FFCM)的灰度图像颜色迁移算法。首先对目标图像进行腐蚀膨胀运算,消除亮度不均匀的区域,通过 FFCM 聚类算法对目标图像进行准确聚类,然后在目标图像与源图像中选取对应样本块,完成样本块的颜色迁移,并以已上色的样本块为参考,完成图像的全局颜色迁移。实验结果表明:与 Welsh 和 FCM 算法相比较,本文算法处理时间分别缩短 64.29 %和 54.25 %,结果图像在类间交界处的颜色过渡更加自然,证明了算法的有效性。

关键词:形态学变换;FFCM 聚类;颜色迁移;图像处理

中图分类号:TN911.73 **文献标志码**:A **doi**:10.5768/JAO201233.0202004

Colour transfer for grayscale images based on morphology transformation and FFCM cluster

HE Dong, YANG Feng-bao, LIN Su-zhen, ZHOU Xiao

(School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To deal with the problem that the traditional color transfer algorithms can not transfer the image colour accurately and have large amount calculation, we proposed a colour transfer algorithm for colorizing grayscale images based on morphology transformation and fast fuzzy C-means (FFCM) cluster. We used morphology transformation to process the target image for removing the non-uniform luminance region first, and adopted the FFCM algorithm to cluster the target image accurately. Then we established the correspondence between the swatches of source and target images to complete the color transfer of swatches which were as the references to complete the target image's colorization. The experimental results showed that, compared with Welsh and fuzzy C-means (FCM), the elapsed time decreased by 64.2% and 54.25% respectively and the result image was more natural in clusters' junction which proved the validity of our algorithm proposed.

Key words: morphology transformation; FFCM cluster; color transfer; image processing

引言

目前在很多成像领域,受成像机理的限制,都是通过灰度图像来呈现的。由于人眼对颜色的分辨率远远大于对灰度图像的分辨率,人眼能更快、更准确从彩色图像中获取信息,因此对灰度图像进行彩色化处理具有重要意义。颜色迁移方法提出之前,是通过伪彩色编码表对灰度图像进行伪彩色上色,得到的伪彩色图像并不能反映景物的

收稿日期:2011-10-12; **修回日期**:2011-10-31

基金项目:国家自然科学基金项目(61171057);山西省自然科学基金项目(2011011015-1);电子测试技术国家重点实验室项目(201003);山西省研究生创新项目(20103082);光电成像技术与系统教育部重点实验室 2010 年开放基金(2010OEIOF16)

作者简介:贺栋(1987—),男,山西运城人,硕士研究生,主要从事信号的获取和处理及图像处理。E-mail:kjez_001@126.com

真实色彩,而且处理效果与视觉心理习惯差异很大,生硬的色彩往往容易造成视觉疲劳[1-3]。

颜色迁移技术就是将一幅图像当做目标图像,选取一幅与其场景相似的图像做为源图像,在不改变目标图像灰度信息的同时,将源图像的色彩信息迁移给目标图像,使迁移后的图像达到颜色真实、自然感好的目的。颜色迁移技术已经广泛地应用于医学、安防、车载夜视仪成像、军事等领域,能给使用者提供信息更丰富、辨识性更好的自然感彩色图像,从而保证人眼识别的快速性、可靠性和准确性[4-6]。

人们对颜色迁移已经做了很多研究,Ruderman 等[7]通过对人类视觉感知的研究,提出了一个正交的 $l\alpha\beta$ 色彩空间,消除了亮度分量和颜色分量的相关性,可以在不同通道独立地进行信息传递。Reinhard 等[8]在此基础上提出了颜色迁移公式,实现了彩色图像间的颜色迁移。Welsh 等[9]随后提出一种灰度图像彩色化算法,将彩色图像的颜色信息迁移给灰度图像。钱小燕等[10]将模糊 C 均值聚类(FCM)引入到颜色迁移中,通过隶属度函数来控制颜色迁移。李宏等[11]提出了基于直方图映射和分层的图像迁移算法,先对灰度图像进行粗糙上色,再通过分层思想进行颜色迁移。林开颜等[12]提出了一种快速模糊 C 均值聚类算法(FFCM),在优化聚类性能不变的前提下,提高了模糊聚类的速度。由于传统的颜色迁移算法计算量大、对亮度不均匀的灰度图像无法进行准确有效的分割聚类,使得颜色迁移的效果不理想。因此,我们提出一种基于形态学变换和 FFCM 的灰度图像颜色迁移算法,先通过对灰度图像进行膨胀腐蚀运算,消除目标图像亮度不均匀的区域,再利用 FFCM 聚类算法对图像进行准确聚类,进而完成颜色迁移。

1　基于形态学变换和 FFCM 聚类的灰度图像颜色迁移方法

本文算法首先对背景亮度不均匀的目标图像进行数学形态学变换,估计消除图像亮度不均匀的区域,将源图像和目标图像分别转换到 $l\alpha\beta$ 空间,将源图像进行亮度重映射。再对目标图像进行二层减法聚类,得到初始聚类图像,并利用边缘提取、阈值分割对类间交界处进行聚类,得到最终聚类图像。根据聚类数目在源图像和目标图像上选取样本块,建立对应关系。在样本块间选取最佳匹配像素,完成局部图像彩色化。再以已上色样本块作为参考,寻找目标图像像素点在聚类图像中的对应值,在对应样本块中查找最佳匹配像素进行颜色迁移。最后将图像转换回 RGB 空间,得到最终颜色迁移图像。

1.1　形态学变换

数学形态学基本思想是利用一个结构元素考察图像各个部分之间的相互关系。结构元素可直接携带形态、大小以及灰度和色度信息来探测所研究图像的结构特点[13]。

形态学变换最初是以二值图像为对象,随后扩展到灰度图像。在图像处理中利用形态学的基本运算,可以对图像进行观察和处理,从而达到改善图像质量的目的;可以描述和定义图像的各种参数和特征,如面积、周长、连通度、颗粒度、骨架和方向性等;可以简化图像数据,保持图像基本的形状特征,并除去不相干的结构。

形态学变换的基本运算有 4 个:膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。膨胀是将与物体接触的所有背景点合并到该物体中,使交界向外部扩张。腐蚀与膨胀作用相反,它是一种消除交界点,使交界向内部收缩的过程,可以用来消除小且无意义的东西。开、闭运算利用了膨胀腐蚀的不可逆性,开运算通过先腐蚀再膨胀消除图像中的小物体、去除图像中孤立的毛刺和小点、平滑较大物体交界的同时并不明显改变其面积。闭运算通过先膨胀再腐蚀填充图像中物体内的细小空洞,连接邻近物体,平滑其交界的同时并不明显改变其面积。

设输入图像为 $f(x,y)$,结构元素为 $b(x,y)$,f 和 b 是对坐标为 (x,y) 像素灰度值的函数。用结构元素 b 对输入图像 f 进行膨胀和腐蚀操作,分别记为 $f\oplus b$ 和 $f\Theta b$。进而对 $f(x,y)$ 进行开运算和闭运算操作,分别记为 $f\circ b=(f\Theta b)\oplus b$ 和 $f\cdot b=(f\oplus b)\Theta b$。过渡图像 $g_1(x,y)$ 是开运算图像 $f\circ b$ 减去 $f(x,y)$,过渡图像 $g_2(x,y)$ 是闭运算图像 $f\cdot b$ 减去 $f(x,y)$,过渡图像 $g_3(x,y)$ 是在 $f(x,y)$ 中加入 $g_1(x,y)$。则输出图像为 $g_3(x,y)$ 中减去 $g_2(x,y)$。

1.2　FFCM 聚类算法

传统的 FCM 聚类算法是从硬 C 均值聚类算法发展而来的,FCM 的算法思想是通过迭代来优化表示样本与 C 类中心相似性的目标函数,获取局部极小值,从而得到最优聚类。算法需要确定

先聚类中心再反复计算样本归属的隶属度矩阵和聚类中心,极为耗时[14]。本文利用分层减法聚类,通过一定的相似性原则将样本分为 N 个子集,在子集上进行模糊聚类,不需人为确定聚类中心数目,能很好地提高聚类速度。

这里选用二层减法聚类,它是通过将样本先分成若干个子集,然后分别对各个子集进行第 1 层的聚类,再将第 1 次聚类的中心组成集合通过聚类得到第 2 层的聚类中心,根据样本到第 2 层聚类中心的隶属度函数来得到聚类域。

设待处理的图像为 C_x,图像像素点个数为 H,$H = M * N$,则 C_x 可表示成集合:$C_x = \{x_1, x_2, \cdots, x_N\}$,其中 $x_k = \{x_k^l, x_k^\alpha, x_k^\beta\}$,以图像 C_x 的每一行为一个子集将图像分为 M 个子集,记为 C_x^v,$v = 1,2,\cdots,M$,$C_x^v = \{x_1^v, x_2^v, \cdots, x_N^v\}$,$x_i^v$ 为 v 子集中的像素点,其中每个像素点都包括 l,α,β 三通道的像素值。先定义 $u(x) = \begin{cases} 1, x \geqslant 0 \\ 0, x \leqslant 0 \end{cases}$,则 x_i^v 领域内的数据点密度为

$$D_i^v(x_i^v) = \sum_{j=1}^{N} u(r^v - \| x_i^v - x_j^v \|) \tag{1}$$

式中:r^v 是图像子集 C_x^v 在 l,α,β 三通道的标准差的均值;$\| x_i^v - x_j^v \|$ 是数据点 x_i^v 和 x_j^v 在 l,α,β 三通道的欧氏距离。如果数据点具有最大的分布密度,则子集 C_x^v 的第 1 个聚类中心为

$$C_{c1}^v = \frac{\sum\limits_{x_i^v \in C_{c1}^v} x_j^v \cdot D_j^v(x_j^v)}{\sum\limits_{x_i^v \in C_{c1}^v} D_j^v(x_j^v)} \tag{2}$$

式中:C_{c1}^v 是 x_j^v 邻域内的数据点集。求出聚类中心的 l,α,β 三通道值,找出第 1 个聚类中心后,再在集合 $\{C_x^v - C_{c1}^v\}$ 中查找最大密度数值的点 x_{c2}^v 作为第 2 个聚类中心 C_{c2}^v。重复以上操作直至 $C_x^v - \sum\limits_k C_{ck}^v = \varnothing$,$k$ 为获得的中心个数。令 $v = 1,2,\cdots,M$,重复上述过程,能够获得第 1 层减法聚类的中心点集和对应的密度分布。将聚类中心组成新的数据集进行第 2 层减法聚类,密度函数变为

$$D_i^v(x_i^v) = \sum_{j=1}^{n_c} u(r - \| x_i - x_j \|) \cdot D^1(x_j) \tag{3}$$

式中 n_c、$D^1(x_j)$ 分别是第 1 层的中心个数和中心密度。直到数据集 $\{x_1, x_2, \cdots, x_{n_c}\} = \varnothing$。根据(2)式得到聚类中心 $C_{c1}, C_{c2}, \cdots, C_{cn_p}$,其中 n_p 是第 2 层的聚类个数。通过计算图像中各像素点 x_k 到聚类中心的隶属函数:

$$u_{ik} = \left[\sum_{j}^{n_p} \left(\frac{d_{ik}(x_k, c_{ci})}{d_{jk}(x_k, c_{cj})} \right)^{2/(m-1)^{-1}} \right], k = 1,2,\cdots,N \tag{4}$$

式中 d_{ik} 是像素点到聚类中心的欧氏距离。如果 $u_{ik} = \max\{u_{1k}, u_{2k}, \cdots, u_{n_p k}\}$,那么 x_k 属于第 i 类。通过二层减法聚类将原图像分成了 n_p 个聚类域。

由于目标图像是灰度图像,在各类区域存在灰度值相同的点,导致颜色迁移后不同类之间迁移了相同的颜色。因此,本文引入阈值分割来对各类的交界处进行聚类调整,使同一类的像素点选取同一类的样本块进行上色。先对目标图像进行 sobel 算子的边缘提取,用矩形框扫描图像,找到类间交界处进行阈值分割聚类。再结合二层减法聚类得到的初始聚类图像,进而得到最终的聚类图像。这里的阈值选取方法是:通过先画出类间交界处的直方图,计算两类区域的亮度均值,再选择两类区域均值之间概率最小的点所对应的灰度值作为阈值。

1.3 颜色迁移

对图像进行 FFCM 聚类之后,根据聚类数目在源图像和目标图像上选取样本块,在对应源图像样本块中查找目标图像样本块的最佳匹配像素。通过

$$d_{i,j} = |l_i - l_j| + |\overset{l}{u}_i - \overset{l}{u}_j| + |\overset{l}{\sigma}_i - \overset{l}{\sigma}_i|$$

来计算源图像和目标图像样本块中像素邻域亮度值、亮度均值和标准差的距离,距离最小即为最佳匹配。其中 i、j 是源图像和目标图像中的像素点,$\overset{l}{u}_i$、$\overset{l}{u}_j$ 是像素点的亮度均值,$\overset{l}{\sigma}_i$、$\overset{l}{\sigma}_i$ 是像素点的亮度标准差。然后将源图像像素点的 α、β 值迁移到目标图像对应像素点,完成目标图像样本块的颜色迁移;再以目标图像中已上色样本块为参考,扫描目标图像各像素点在聚类图像中的对应值,在对应样本块中查找最佳匹配点,完成全局颜色迁移;最后将颜色迁移后的图像从 $l\alpha\beta$ 空间转换到 RGB 空间,得到颜色迁移图像。

1.4 算法流程图

算法流程如图 1 所示。

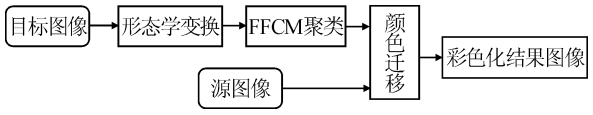

图 1 算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chart

2　实验结果与分析

为验证本算法的有效性,选取了一组目标图像和源图像,在 Pentium® 4 CPU/2.41GHz/ 512MB 内存/windows XP sp3 系统的计算机上通过 matlab7.4.0(R2007a)来进行仿真实验。

图 2 和图 3 分别是目标图像和源图像,图 4 是 Welsh 等人的颜色迁移算法仿真结果,图 5 是传统 FCM 聚类颜色迁移算法的仿真结果,图 6 是林开颜等人的 FFCM 算法仿真结果,图 7 是本文算法仿真结果。由图中可以明显看到 Welsh 等人的算法处理的图像亮度低,地面被迁移成了蓝色,视觉效果不真实。传统 FCM 算法对天、地、树的聚类不准确,颜色迁移效果也不够理想。林开颜等人的算法虽然大大提高了算法运行速度,但是聚类的效果相比传统 FCM 算法并没有得到改善。本文算法处理过的图像亮度清晰,各类区域之间的颜色过渡合理,地面、天空和树木颜色的自然真实。各种算法处理时间见表 1。由表 1 可知,本算法处理时间相比 Welsh 算法缩短了 64.29%,相比传统 FCM 颜色迁移算法处理时间缩短了 54.25%。

图 2　目标图像

Fig. 2　Target image

图 3　源图像

Fig. 3　Source image

图 4　Welsh 算法图像

Fig. 4　Image of Welsh algorithm

图 5　FCM 聚类颜色迁移算法图像

Fig. 5　Image of FCM cluster color transfer

图 6　林开颜的 FFCM 算法图像

Fig. 6　Image of Lin kai-yan algorithm

图 7　本文算法图像

Fig. 7　Image of our algorithm

表 1 图 4～图 7 算法处理时间

Table 1 Processing times of algorithms about Fig. 4～Fig. 7

算法	时间 t/s
Welsh 颜色迁移算法	233.46
传统 FCM 颜色迁移算法	182.25
林开颜的 FFCM 算法	82.64
本文算法	83.38

3 结论

本文提出了一种基于形态学变换和 FFCM 聚类的颜色迁移算法。通过形态学变换消除了目标图像亮度不均匀的区域,利用 FFCM 聚类的方法对目标图像进行减法聚类和类间交界处阈值分割,解决了传统颜色迁移算法计算量大,无法准确聚类分割的问题。实验结果表明,本算法相比传统颜色迁移算法,处理时间大大缩短,颜色迁移后的图像在类间交界处的颜色过渡更加合理,整体效果更加自然。

参考文献:

[1] 李申燕.图像颜色迁移技术的研究[D].太原:中北大学,2009.
LI Shen-yan. Research on color transfer between images[D]. Taiyuan: North University of China,2009. (in Chinese)

[2] 冷敏.红外中波细分图像的伪彩色增强研究[D].太原:中北大学,2010.
LENG Min. Study on pseudo-color enhancement of images in subdivision D]. Taiyuan: North University of China,2009. (in Chinese)

[3] 李申燕,杨风暴,荆绍威.图像局部彩色化的全局扩展算法[J].机械工程与自动化,2009,6(3):84-88.
LI Shen-yan,YANG Feng-bao,JING Shao-wei. Global expansion algorithm of local image colorization[J]. Mechanical Engineering and Automation[J]. 2009,6(3):84-88.(in Chinese with an English abstract)

[4] 蔡炜涛.微光和红外图像假彩色融合与处理算法研究[D].南京:南京理工大学,2002.
CAI Wei-tao. Theoretic algorithms of false color fusion on LLL and IR images[D]. Nanjing:Nanjing University of Technology,2002. (in Chinese)

[5] 陶茜,郭宏,王岭雪,等.一种双通道夜视图像彩色融合系统[J].应用光学,2004, 25(5) :47-50.
TAO Qian,GUO Hong,WANG Ling-xue,et al. A dual-channel night vision color image fusion system [J]. Journal of Applied Optics. 2004, 25(5): 47-50. (in Chinese with an English abstract)

[6] 苏成悦,郑光昭,陈丽,等.用光学方法实现多灰度级图像的区域分割[J].应用光学,2005, 26(4): 9-12.
SU Cheng-yue, ZHENG Guang-zhao; CHEN Li, et al. Realization of region splitting of multi-gray level picture with optical method[J]. Journal of Applied Optics, 2005, 26(4): 9-12. (in Chinese with an English abstract)

[7] RUDERMAN D L, CRONIN T W, CHIAO C C. Statistics of conresponses to natural images :implications for visual coding[J]. Journal of Optical Society of American,1998,15(8):2036-2045.

[8] REINHARD E, ASHIKHMIN M, GOOCH B, et al. Color transfer between images[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 10:34-40.

[9] WELSH T, MUELLER K. Transfer color to grey scale images[C]// Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series. San Antonio :ACM SIGGRAPH, 2002.

[10] 钱小燕,肖亮,吴慧中.模糊颜色聚类在颜色传输中的应用[J].计算机辅助设计与图形学学报.2006,18(9): 1332-1336.
QIAN Xiao-yan,XIAO Liang,WU Hui-zhong. Application of fuzzy color cluster in color transfer between images [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics. 2006, 18 (9): 1332-1336.

[11] 李宏,向遥,张卫,等. 基于直方图映射和分层的图像迁移算法研究[J].小型微型计算机系统,2007,28(6):1110-1114.
LI hong,XIANG Yao,ZHANG Wei,et al. Colorization of gray images based on histogram mapping and image layers[J]. Journal of Chinese Computer System, 2007,28(6):1110-1114. (in Chinese with an English abstract)

[12] 林开颜,徐立鸿,吴军辉.快速模糊 C 均值聚类彩色图像分割方法[J].中国图像图形学报,2004,9(2): 159-163.
LIN Kai-yan, XU Li-hong, WU Jun-hui. A fast fuzzy C-Means clustering for color image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(2):159-163. (in Chinese with an English abstract)

[13] 冈萨雷斯 R C..数字图像处理学[M].阮秋琦,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2004.
GONZALEZ R C. Digital image processing[M]. Translated by RUAN Qiu-qi ,RUAN Yu-zhi. Beijing : Publishing House of Electronics Industry. 2004. (in Chinese)

[14] 李弼程,彭天强,彭波,等.智能图像处理技术[M].北京:电子工业出版社,2004.
LI Bi-cheng, PENG Tian-qiang, PENG Bo. Intelligent image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. (in Chinese)