

一种快速灰度图像彩色化算法

李健明 叶飞 于守秋 钱昆明 甘小方

(大连理工大学电子与信息工程学院, 大连 116024)

摘要 灰度图像的彩色化是将一幅彩色图像的颜色特征传递给另一幅灰度图像,使灰度目标图像具有与源彩色图像相似的颜色。提出了一种快速灰度图像彩色化算法,将图像像素邻域相关特性引入到匹配像素的搜索过程中。搜索匹配像素时,先在当前像素的邻域范围内进行搜索,只在邻域搜索失效时才进行全图范围的搜索,由于像素邻域相关特性,大部分像素可以在邻域搜索中找到匹配像素,只有极少像素需要进行全图搜索,从而较大地降低了搜索代价,在取得较好的彩色化效果的同时,显著地提高了彩色化速度。

关键词 彩色化 颜色空间 图像处理 邻域相关性

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)03-0536-05

A Fast Algorithm of Transferring Color to Greyscale Images

LI Jian-ming, YE Fei, YU Shou-qi, QIAN Kun-ming, GAN Xiao-fang

(School of Electronic & Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

Abstract Greyscale image colorizing is a method that transplants color characteristics from a colorized image, source image to a greyscale image, destination image. This method makes the destination image complete with similar color with the source image. We present a fast colorizing algorithm, which introduces the pixel neighborhood relativity into the search procedure for the matched pixels. During the matching, this algorithm searches the current pixel's neighborhood firstly and only searches the whole areas when it failed in the first step. Due to the pixel neighborhood relativity, most pixels can find their matches and only a few of them need to search in the whole area. Therefore it cuts down the cost of searching, improves the speed of colorizing significantly, and in the meantime does not damage the colorizing quality.

Keywords colorizing, color space, image processing, neighborhood relativity

1 引言

灰度图像彩色化是计算机视觉领域中一个很有意义的问题,给灰度图像加上颜色可以增加图像的视觉效果,例如对旧黑白照片、老电影以及科学图例等进行彩色化处理。彩色化1幅灰度图的工作可描述为给一幅仅在1维(亮度)发生变化的图像赋上3维(RGB)像素值。由于一幅图像中不同的颜色可能有相同的亮度值,但色调与饱和度不同,因此灰度图的彩色化没有固定的恰当的解决方案。由于这些不确定性,在彩色化的过程中,人类交互经常扮演了一个重要的角色。

伪彩色化是给灰度图加上颜色的一个通用技术,

它将一个单一的全局的颜色向量赋给不同的灰度值。这种方法的好处在于它没有改变原始图像的信息内容,因为它没有导入额外的信息,但是伪彩色化后的图像容易产生明显的变形。Reinhard提出了一种在两幅彩色图像间进行颜色传输的算法,它的目标是变换源图像的颜色,使之看起来与目标图像的颜色接近^[1]。

Welsh提出了一种将灰度图像彩色化的算法^[2]。该算法使用一个像素的邻域的统计值来指导匹配过程,该统计值包括像素的亮度值及邻域像素的亮度标准方差。如果一个像素匹配了,就将颜色信息传输到目标图,同时将灰度图像原始的亮度信息保留下来。该算法简单且能取得较好的效果,但其运算速度较慢。

收稿日期:2005-10-27;改回日期:2005-12-20

第一作者简介:李健明(1975~),男。2002年于大连理工大学电信学院计算机系获计算机应用专业硕士学位,现为大连理工大学电信学院计算机系博士研究生。主要研究方向为图像处理、虚拟现实。E-mail: lijm@dlut.edu.cn

通过对灰度图像彩色化的研究,发现在彩色化的过程中,目标像素和它周围的邻域像素存在着一定的相关性,即如果灰度图像的某个像素 P 在彩色图像中的匹配像素为 Q ,则 P 的邻域上的像素在彩色图像中的匹配像素很可能也在 Q 的邻域上。基于上述分析,提出一种快速灰度图像彩色化算法,设计并实现基于像素邻域相关性的搜索方法,减少了寻找匹配像素时的搜索代价,在得到和 Welsh 算法相近效果的同时,速度是 Welsh 算法的 2~3 倍。

慢。实际上图像的内容具有一定的稳定性,如图 1 所示,图像的内容主要包括:天空、树木、草地。而每一部分内容都是连续稳定的。多数情况下,如果某个像素属于天空,那么它的邻域上的像素也属于天空,只有各部分内容的边缘处例外。因此,如果灰度图像上的某个像素 P 在彩色图像上的匹配像素为 Q ,那么 P 的邻域上的像素的匹配像素很可能也在 Q 的邻域上,称之为像素邻域相关性。Welsh^[2] 算法没有用到该相关特性。

2 相关理论及算法

2.1 RGB、 $\alpha\beta$ 颜色空间

颜色空间为一个 3 维的线性空间,在 CRT 监视器和凸性刷新设备中通常使用红色分量 R 、绿色分量 G 和蓝色分量 B 作为颜色空间的基,颜色混合的基本定律表明:自然界任何一种颜色均可用红、绿、蓝 3 种原色光混合匹配产生,这在几何上能够以 3 个互相垂直的轴 R 、 G 、 B 所构成的空间坐标系统来表示,称为 RGB 颜色空间。但此三原色不能直观地度量色调 H 、饱和度 S 和亮度 V 。而且 RGB 颜色空间的各分量之间存在着相关性,即对于大多数像素来说,如果 B 通道值很大,那么它的 R 、 G 通道值往往也很大。这意味着如果想一致地改变一个像素颜色外观的话,必须一前一后的改变所有的颜色通道,这使得颜色更改过程变得复杂。

Ruderman 基于人类对图像的感知研究,提出了 $\alpha\beta$ 颜色空间^[3]。其中, l 表示非彩色的亮度通道, α 表示彩色的黄蓝 (yellow-blue opponent) 通道, β 表示红绿 (red-green opponent) 通道。与其他颜色体系不同, $\alpha\beta$ 空间更适合人类视觉感知系统。对自然场景,通道间的相关性会降到最小,其重要性在于:可以在不同颜色通道间进行不同运算,而不会出现通道交叉的问题。

本文首先将彩色源图像转换到相关的 $\alpha\beta$ 空间,随后对 l 通道进行独立的计算,并有选择地从彩色图像中传输彩色通道 α 、 β 到灰度图中而不会引入跨通道的人为痕迹。RGB 空间到 $\alpha\beta$ 空间转换过程直接参照 Reinhard^[1] 的方法实现。

2.2 搜索策略

Welsh^[2] 算法为灰度图像上每个像素在彩色图像上查找一个满足误差约束的匹配像素,由于它每一次查找都是在彩色图像上完全搜索,所以速度较



图 1 像素邻域相关性例图

Fig. 1 Example image of pixel correlation

本文根据像素邻域相关性,设计了一种新的搜索方法进行彩色化过程中的匹配像素查找,该方法先在当前像素的邻域像素确定的范围内进行搜索,当邻域搜索找不到匹配像素时才进行全图搜索。具体方法为:根据灰度图像中当前点的 L 邻域中的点,找到与其匹配的彩色图像中对应点的位置,然后偏移相应量后获得所有待选点集合再进行进一步处理。该搜索方法的具体实现如图 2 所示。

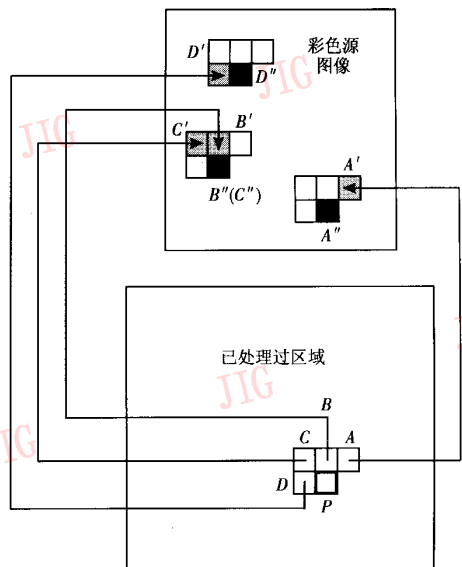


图 2 像素相关性搜索示意图

Fig. 2 Pixel correlation search

图 2 中上图为彩色源图像,下图为目标灰度图像,灰色部分为已经搜索到匹配点的灰度图,当前待处理像素为 P 点,其相邻 L 邻域中已处理过的像素为 A, B, C, D 。以 A 点为例进行像素相关性搜索:记 A 在彩色图像中的匹配点为 A' ,由于灰度图像中,当前点 P 与 A 在 X 方向偏移量为 -1 ,在 Y 方向偏移量为 1 ,即 $P = A + (-1, 1)$,对应地,在彩色图中,由 A 生成的待选点 A'' 由 $A' + (-1, 1)$ 获得。其他 B, C, D 点的处理方法相同。计算后彩色图像中的黑点 A'', B'', C'', D'' 为当前点 P 的所有待选点集合,比较集合中各待选点与 P 点的误差,选取误差最小的点为最优匹配点,如果其误差小于误差阈值,就将其作为最终匹配点,否则就在彩色图像上进行完全搜索来查找匹配点。

本文将搜索范围限制在一个很小的范围内,只有在这种搜索失效时才进行全部图内的完全搜索,较大地降低了搜索代价。本文的搜索策略参考了 Ashikhmin^[4] 提出的一种纹理合成算法及一些相关的纹理合成算法^[5-8]。

3 快速灰度图像彩色化算法

3.1 像素匹配

为了将源图像中的彩色信息传输到目标图像中,目标灰度图中的每个像素都必须和彩色源图中的一个像素匹配。Welsh 算法的实验结果表明,由两个像素的亮度值偏差和邻域亮度标准差共同决定像素匹配程度比较理想^[2]。用公式表示为

$$Err = (\nabla L + \nabla D) / 2 \quad (1)$$

其中, Err 表示匹配误差, ∇L 表示两像素亮度值偏差, ∇D 表示两像素邻域亮度标准差,匹配误差 Err 值越小,说明两个像素匹配成度越高。

3.2 亮度值偏差

从 $l\alpha\beta$ 颜色空间理论可知,亮度值决定于 $l\alpha\beta$ 空间的 l 通道,并且可以对 l 通道进行独立的计算。为了计算源图像和目标图像中像素亮度偏差同时不破坏源图像的颜色信息,参考 Reinhard 算法,先将源图像和目标图像从 RGB 空间转换到 $l\alpha\beta$ 空间,并对源图像每个像素的亮度进行线性重映射,使其接近于目标图像的亮度均值,从而建立目标图像和源图像间的更准确的亮度对应关系^[1]。

3.3 邻域统计值偏差

邻域统计值由像素邻域内各像素亮度值的标准差组成。Welsh 算法的实验结果表明, 5×5 像素的

邻域对于大多数图像工作得很好。对一些难于解决的图像,可以采用较大的邻域^[2]。

3.4 算法实现

假设源图像为 I_{source} , 尺寸为 $i \times j$ 像素, 目标图像为 I_{target} , 尺寸为 $m \times n$ 像素, 算法的具体过程如下:

Step1 用 Reinhard 的方法将源图像和目标图像从 RGB 空间转换到 $l\alpha\beta$ 空间, 并使用以下公式对源图像的每个像素进行亮度重映射:

$$\hat{L}_{source} = (L_{source} - M_{source}) \times (D_{target} / D_{source}) + M_{target} \quad (2)$$

其中, M_{source}, M_{target} 分别为源图像和目标图像所有像素亮度的平均值, D_{source}, D_{target} 分别为源图像和目标图像中所有像素亮度值的标准偏差, L_{source} 为源图像被处理像素的亮度值, \hat{L}_{source} 为重映射后该像素的亮度值。

Step2 对于源图像和目标图像上的每一个像素, 计算以该像素为中心的一个矩形(一般为 5×5 像素)邻域上各像素亮度值的标准差, 分别存入矩阵 $D_{i \times j}^{source}$ 和 $D_{m \times n}^{target}$ 中。

Step3 使用矩阵 $M_{m \times n}^{Coordinate}$ 来记录源图像上与目标图像相应点匹配的点的坐标。将此数组初始化为源图像上随机的有效位置。

Step4 以扫描线的顺序逐像素计算输出图像上各像素的匹配像素:

对于每个待生成像素 Q , 考虑以它为中心的一个固定大小的 L 形邻域, 对邻域上的每个像素, 用它们在源图像上的匹配点坐标(从 $M_{m \times n}^{Coordinate}$ 中得到)通过相应的偏移来得到候选像素, 循环处理得到候选像素集合 P , 同时除去集合中重复的像素。

对于集合 P 中的每一个像素, 使用以下公式来计算该像素的匹配误差, 选出匹配误差最小的一个像素点, 将该匹配误差存为 Err_{min} , 设各候选像素匹配误差为

$$Err_i = |\hat{L}_{src}(P_i) - L_{target}(Q)| / 2 + |D_{source}(P_i) - D_{target}(Q)| / 2 \quad (3)$$

其中, P_i 为源图像上的候选像素, Q 为输出图像上当前待传输的像素; $\hat{L}_{source}(P_i), L_{target}(Q)$ 分别为 P_i, Q 点的亮度值; $D_{source}(P_i), D_{target}(Q)$ 分别为 P_i, Q 点的邻域所有像素亮度值的标准偏差;

如果存在 $Err_{min} < \varepsilon$ (ε 为用户指定的一个阈值, 实验结果表明 ε 值取 0.5 较好), 则将其对应的像素 P_i 存入 $M_{m \times n}^{Coordinate}$ 中, 否则在源图像上随机的取一定数量(实验结果表明 200 个较好)的候选像素, 分别计算匹配误差, 选出匹配误差最小的一个, 将其坐标

存入 $M_{m \times n}^{Coordinate}$ 中。

Step5 根据目标图得到输出图像上各点的 l 分量,根据 $M_{m \times n}^{Coordinate}$ 得到源彩色图像上与它匹配的点的 α, β 分量,将此 3 个分量转换到 RGB 颜色空间得到最终彩色化图像。

4 实验结果与分析

图 3 显示了本文算法与 Welsh 算法的效果比较,从图中可以看到,本文算法对于多数的图像得到



图 3 彩色化效果

Fig. 3 Effect of colorizing

了和 Welsh 大体相当的效果,源图像和目标图像的内容越相似,得到的效果越好。

图 3(c)中,由于源图像和目标图像的相似程度不高,导致了目标图像中山脉的个别地方着色不理想。图 3(e)中,源图像和目标图像都是白宫,只是一幅为远景,一幅为近景,内容很相似,所以得到的效果很好。

由于本文算法采用了基于像素相关性的搜索策略,减少了搜索的样本数,提高了算法的速度。通过表 1 的实验数据可以看出:本文算法在得到和 Welsh 相近的效果的同时,速度是 Welsh 算法的 2~3 倍。

表 1 算法运行时间比较表

Tab.1 Executive time comparison table of algorithms

图 3	本文时间(s)	Welsh 时间(s)
a	6.5	15.9
b	5.9	17.5
c	7.1	17.6
d	8.0	21.6
e	7.7	20.0

5 结 论

本文提出了一种快速灰度图像彩色化算法,该算法将图像像素邻域相关特性引入到匹配像素的搜索过程中并设计了一种新的搜索策略。搜索匹配像素时,先在当前像素的邻域范围内进行搜索,只在邻域搜索失效时才进行全图范围的搜索,由于像素邻域相关特性,大部分像素可以在邻域搜索中找到匹配像素,只有极少像素需要进行全图搜索,从而较大地降低了搜索代价,在取得较好的彩色化效果的同时,显著地提高了彩色化速度。进一步的研究工作可考虑以下两方面:一是改善源彩色图像和目标图像相似性不大时的处理效果;二是对于特定图像类型(如人脸)彩色化算法的进一步研究,实现复杂图像的自动彩色化处理^[9-11]。

参考文献 (References)

- 1 Erik R, Michael A, Bruce G, *et al.* Color transfer between images [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34~40.
- 2 Tomihisa W, Michael A, Klaus M. Transferring color to greyscale images[A]. In: Proceedings of ACM SIGGRAPH[C], SanAumnio, Texas, USA, 2002; 277~280.
- 3 Daniel L R, Thomas W C, Chuan-Chin C. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding [J]. Optical Society of America, 1998, 15(8): 2036~2045.
- 4 Michael A. Synthesizing natural textures[A]. In: ACM Symposium on Interactive 3D Graphics[C], North Carolina, USA, 2001; 217~226.
- 5 Alexei E, Thomas L. Texture synthesis by non-parametric sampling [A]. 7th IEEE International Conference on Computer Vision [C], Corfu, Greece, 1999; 1033~1038.
- 6 Alexei E, William F. Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer[A]. In: Proceedings of ACM SIGGRAPH[C], New York, USA, 2001; 341~346.
- 7 Li Y W, Marc L. Fast texture synthesis using treestructured vector quantization [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH [C], Antonio, USA, 2000; 479~488.
- 8 Gu Y T, Ye Z L, Chen F. Standard of texture and quick-identification and synthesis to strict texture[J]. Journal of Computer - Aided Design & Computer Graphic, 2005, 17(4):712~718. [古元亭, 叶正麟, 陈飞. 纹理的标准性和强标准性纹理的快速识别及合成[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(4): 712~718.]
- 9 Zhao G Y, Xiang S M, Li H. Application of higher moments in color transfer between images [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(1): 62~66. [赵国英, 向世明, 李华. 高阶矩在颜色传输中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(1): 62~66.]
- 10 Hu G F, Fu J, Peng Q S. Adaptive color transfer [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(9): 1245~1249. [胡国飞, 傅健, 彭群生. 自适应颜色迁移[J]. 计算机学报, 2004, 27(9): 1245~1249.]
- 11 Zhao G Y, Li H. Improvement of colorizing algorithm for greyscale face image [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(8): 1051~1056. [赵国英, 李华. 人体脸部灰度图像上色的改进算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(8): 1051~1056.]