

一种基于高维形象几何理论的彩色图像增强算法

谭乐怡¹ 王守觉²

(同济大学电子信息与工程学院计算机系 上海 201804)¹ (中国科学院半导体研究所 北京 100083)²

摘要 基于近年来发展起来的全新理论——高维形象几何与仿生信息学,提出一种彩色图像增强算法。本算法将彩色图像看作是高维空间的点,通过对多幅图片的分析,推导出点与点之间的内在联系,提出“模糊-再模糊-清晰”的增强算法,并由实验证明该算法对模糊图像的清晰化有很好的效果。

关键词 高维形象几何与仿生信息学,彩色图像增强

Color Image Enhancement Approach Based on High-dimensional Space Geometry

TAN Le-yi¹ WANG Shou-jue²

(Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China)¹

(Institute of Semiconductors of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)²

Abstract A novel algorithm on color image enhancement was proposed. The approach is based on point location in high-dimensional space geometry method, and it is quite different from traditional ways. A color image is looked as a point in high-dimensional space, we tried to find out the intrinsic relationship between the points (images) via experiments or analysis. Then, a “blurring-blurring-deblurring” algorithm was proposed. Experiments proved the availability of this algorithm.

Keywords High-dimensional space geometry, Color image enhancement

1 引言

由于彩色图像在多媒体、生物医学、Internet 等的广泛应用,彩色图像的处理技术越来越受到人们的重视。由于受各方面因素的制约或条件限制,得到的彩色图像往往具有亮度偏暗、对比度低、色彩不够鲜艳等缺陷。图像增强的目的是突出图像中的“有用”信息,扩大图像中不同物体特征之间的差别,从而改善图像的视觉效果,突出图像的特征。多年来人们提出了很多图像增强的算法,但这些算法大都适用于灰度图像的处理,而适用于彩色图像增强的方法并不多。这主要是因为彩色图像的三基色(红、绿、蓝)相关性很高,如果用灰度图像增强方法对三基色分别进行增强,由于对三基色增强幅度不一致,就会导致颜色失真。

近年来,许多学者提出了将彩色图像转换到 HIS^[7] 空间或 HSV 空间进行运算。这两种方法虽然更接近人眼的视觉感知特性,但需要将图像数据进行多次空间转换运算,这样就会给数据带来一定的误差。本文提出的彩色图像增强算法不需进行空间变换,而是把一幅彩色图片看作是高维空间的一个点,通过点与点之间几何关系的运算,达到将一幅模糊的彩色图像逐步清晰化的效果。算法建立的基础是高维形象几何与仿生信息学理论^[1]。这是由中国科学院王守觉院士提出的一门全新的理论,在模式识别、图像处理、语音处理等方面的应用已初步显示出这种理论的优越性。该理论的基点在于它确认了同类事物的连续性^[4],即“自然界任何欲被认识的事物若存在两个‘同源’同类而不完全相等的事物,而这两个事物的差别是可以渐变的或非量子化的,则这两个同类事物之间

必定至少存在一个渐变过程,在这个渐变过程中间的各事物都是属于同一类的。”^[1]其数学描述如下:

设所有属于 A 类事物的全体所构成的点集为 A,若集合 A 中存在任意两个元素 x 与 y,则对 ε 为任意大于零的值时,必定存在集合 B,使

$$B = \{ \vec{x} = \vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_{n-1}, \vec{x}_n = \vec{y} \}$$
$$d(\vec{x}_m, \vec{x}_{m+1}) < \epsilon, \forall m \in [1, n-1], m \in N \} \subset A$$

其中, $d(\vec{x}_m, \vec{x}_{m+1})$ 代表的是矢量 \vec{x}_m, \vec{x}_{m+1} 的距离^[1]。

基于该理论,我们把两幅仅是清晰度不同的图片看作是同源的两个事物,它们之间是一个渐变的过程。在高维空间中,这个渐变的过程应该是一条超曲线,如果能精确知道曲线的形状,我们就能精确地把一幅模糊图片还原为清晰图片。本算法正是基于这样的指导思想,尝试能逼近这条曲线,从而达到图像增强的目的。

2 算法介绍

本文所提出的算法主要包括两个步骤:1)对模糊图像进行清晰化处理;2)对增强后的图片去噪。在正式介绍算法之前,我们需要简单了解一下高维形象几何与仿生信息学的一些基础理论。

2.1 高维形象几何与仿生信息学简介

高维形象几何与仿生信息学是近年来由王守觉院士提出的一门新兴理论,它致力于解决计算机不能进行形象思维的难题。它的基础是高维空间点分布分析理论:在任何空间中,点是最简单、最基本的元素。而在高维几何空间中,点有着更深刻的意义。因此,点分析是高维几何空间的基础。下面列

谭乐怡 硕士生,研究方向为模式识别、图像处理;王守觉 研究员,中科院院士,中国电子学会副理事长,现从事模式识别与人工神经网络模型、算法的研究。

出高维空间点分布分析理论的 4 个基本原则^[6]:

- 1) 点是零维空间;
- 2) 一个高维空间可以用若干点的集合来表示;
- 3) 点空间和矢量空间是密不可分的,在建立一个坐标系后,任何一个点都可以看作是该坐标系中从原点出发的一个矢量;
- 4) 点与点的关系是高维空间中需要研究的关键问题。

2.2 基于高维空间的彩色图像增强算法

对于下面两幅图片,它们所包含的信息量是完全相同的,我们把它看作是同源的两个事物。因此,由图 1→图 2 的变化应是一个连续的渐变过程,也就是说图 1 和图 2 分别是高维空间中的两个点,这两点之间一定存在一条连续的超曲线,曲线上的每一个点就是一幅彩色图片。但是,刚才引言中提到,我们并不知道这条曲线究竟是什么样子,也不知道它的数学表达式。为此,我们只能通过推测图像模糊的成因,利用“模糊-再模糊-清晰”的方法,来逼近这条曲线。



图 1

图 2

造成图像模糊的数学模型主要有 3 种:

1) 模糊过滤器:这种模糊的效果是通过用像素和该像素邻近的 N 个像素的平均值来取代每一个像素值达到的,它的数学表达式为

$$g(x, y) = \frac{1}{x} \sum_{y_i=0}^N \sum_{y_j=0}^N Q(x, y), 0 \leq i, j < N-1$$

2) 高斯噪声: $g(x, y) = \begin{cases} Ke^{-a(x^2+y^2)} \\ 0 \end{cases}$

3) 对焦不准造成的图像模糊数学模型:

$$g(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, (x, y) \in R \\ 0, \text{else} \end{cases}$$

假定一幅彩色图片 Q_i , 其中每个像素的三基色分量分别是 $(R_i(x, y), G_i(x, y), B_i(x, y))$, 我们定义每一个像素的模为 $q_i(x, y) = \sqrt{R_i(x, y)^2 + G_i(x, y)^2 + B_i(x, y)^2}$, 于是 $q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{in}$ (假设 n 为 Q_i 中像素的数目) 就构成 Q_i 在 n 维空间中的坐标。如果有一幅模糊图像 Q_1 , 我们需要先判断造成它模糊的原因, 随后根据我们判断的原因再次对 Q_1 模糊一次, 得到 $A_1(a_1, a_2, \dots, a_n)$, A_1 再次模糊得到 $B_1(b_1, b_2, \dots, b_n)$ (a_i, b_i 为第 i 个像素的三基色的模)。通过计算

$$S_i = Q_i + K_{11} * (A_i - Q_i) + K_{12} * (B_i - Q_i)$$

S_i 为第 i 次得到的清晰图片。

$$Q_{i+1} = S_i; i=0, 1, 2, \dots, n$$

K_{11}, K_{12} 分别是矢量 $(A_i - Q_i), (B_i - Q_i)$ 的系数。关于 K_{11}, K_{12} , 这里给出一个计算方法作为参考:

$$K_{11} = -\frac{\|A_i - Q_i\|}{\|Q_i\|}, K_{12} = -\frac{\|B_i - Q_i\|}{\|Q_i\|}$$

在实际运算中, 如果上述方法计算出的系数不能达到要求, 也可以人为进行调整。

从下面的矢量图中可以了解这种图片增强算法的物理意义。

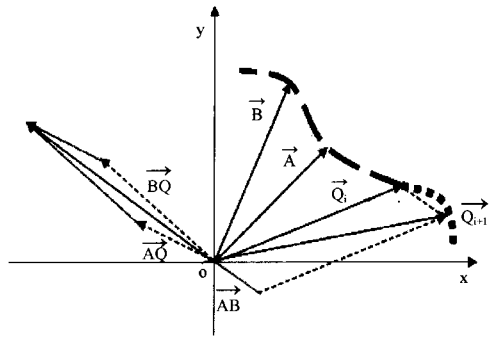


图 3 矢量图

其中, \vec{AQ} 代表 $\vec{A}_i - \vec{Q}_i, \vec{BQ}$ 代表 $\vec{B}_i - \vec{Q}_i, \vec{AB}$ 是 $K_{11} * \vec{AQ}$ 和 $K_{12} * \vec{BQ}$ 的矢量和 (由于 K_{11}, K_{12} 为负数, 因此 \vec{AB} 的方向是 $\vec{AQ} + \vec{BQ}$ 的反方向), 这样 \vec{AB} 与 \vec{Q}_i 的矢量和就是 \vec{Q}_{i+1} , 第 i 次清晰化后的图片 \vec{Q}_{i+1} 。图中加粗虚线的轨迹 $\vec{Q}_i \vec{A} \vec{B}$ 是图片越来越模糊的方向, 而加粗点线 $\vec{Q}_i \vec{Q}_{i+1}$ 则是图片逐步清晰的方向。

2.3 噪声去除算法

前面已经提到, 如果我们能准确地知道退化超曲线, 那么我们就能够精确地把一幅模糊图像还原为清晰图像。但是, 由于我们并不知道这条曲线是什么样的, 只能想办法逼近这条曲线, 所以, 在逼近的过程中难免会出现有的点偏离正确位置比较远, 将这些点还原成图片后, 就会成为有噪声的图片。

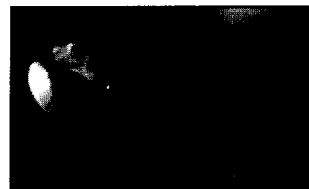


图 4.1

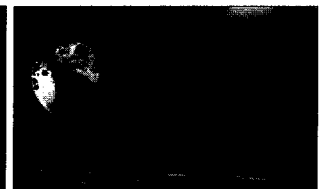


图 4.2

图 4.2 是图 4.1 迭代 2 次后的图片, 从图中我们可以清楚地看到图 4.2 在色彩饱和度、对比度、亮度方面均有较大改善, 但是在右图鹦鹉的喙处出现了类似椒盐噪声的斑点, 所以需要清晰化后的图片进行去噪处理。

在除噪声之前, 先要对噪声进行检测。本文所使用的检测噪声的方法如下所述。

假设 Q_i 是需要清晰化的模糊图片, $(q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{in})$ 是 Q_i 的坐标; Q_j 是迭代 j 次后的图片, $(q_{j1}, q_{j2}, \dots, q_{jn})$ 是 Q_j 的坐标, 记 $avg = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{k=0}^n (q_{ik} - q_{jk})^2}$, 表示 Q_i 到 Q_j 的变化中, 每个像素的平均变化量。又记 $Slg_k = |q_{ik} - q_{jk}|, k=1, 2, \dots, n; Slg_k$ 表示第 k 个像素的变化量。如果 $Slg_k - avg$ 的绝对值大于某个阈值, 就认为这个像素点是噪声点。根据实验, 阈值取 60~70 可以较精确地检测出噪声。图 4.3 是在图像清晰化过程中出现的带噪声的图, 图 4.4 是阈值 (α) 设为 70 时检测出的噪声 (黑色点为噪声)。

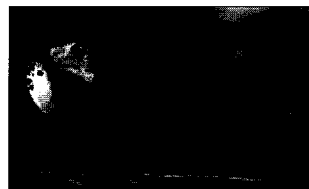


图 4.3



图 4.4

(下转第 223 页)

[5] Tenenbaum J B, Silva V D, Langford J C. A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction [J]. Science, 2000, 290(5500): 2319-2323

[6] Belkin M, Niyogi P. Laplacian Eigenmaps and spectral techniques for embedding and clustering [C]. Advances in Neural Information Processing Systems. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 2002, 14: 585-591

[7] Okun O, Kouropteva O. Supervised locally linear embedding algorithm [C]//Proc. of the Tenth Finnish Artificial Intelligence Conference. Finland: FAIC, 2002: 50-61

[8] Zhu X J. Semi-supervised learning literature survey [R]. University of Wisconsin-Madison. Tech Rep: 1530. December 2007

[9] Yang X, Fu H Y, Zha H Y. Semi-supervised nonlinear dimensionality reduction [C]//Proc. of the 23rd International Conference on Machine Learning. Pittsburgh, Pennsylvania, 2006, 148: 1065-1072

[10] Belkin M, Niyogi P, Sindhwanid V. Manifold regularization: A geometric framework for learning from examples [J]. Journal of Machine Learning Research, 2006, 7(11): 2399-2434

[11] 杨剑, 王珏, 钟宁. 流形上的 Laplacian 半监督回归 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(7): 1121-1127

[12] Face database. Yale University, 2002. <http://cvc.yale.edu/projects/yalefaces/>

[13] Sim T, Baker S, Bsat M. The CMU database [J]. IEEE Tran. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25: 1615-1618

(上接第 215 页)

从图 4.3, 图 4.4 可以看出, 只要阈值选得合适, 噪声是可以很准确检测到的。给确认为噪声的像素做上标记, 直接从初始图像取同位置的像素点三基色的值赋予噪声像素点, 或者取清晰化过程中此处还未出现噪声的图像的同位置像素点三基色的值赋予噪声像素点, 就可以去掉噪声。图 4.5 就是用源图像同位置的像素值填充噪声像素值得到的图片。

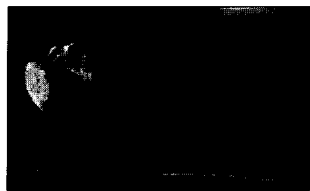


图 4.5

3 实验

我们定义 Q_i 为第 i 次的源模糊图像, A_i 和 B_i 分别为将 Q_i 进行一次和二次模糊后的图像, C_i 为由 Q_i, A_i, B_i 计算出的第 i 次清晰图像。算法步骤如下。

- 初始化: 读入源模糊图像 Q_1 , 并计算每个像素三基色的模以及三基色分量与坐标轴的夹角;
- 将 Q_i 模糊一次得到 A_i , 再次模糊得到 B_i ;
- 计算系数: $K_{i1} = -\frac{\|A_i - Q_i\|}{\|Q_i\|}, K_{i2} = -\frac{\|B_i - Q_i\|}{\|Q_i\|}$;
- 得到第 i 次的清晰图像: $C_i = Q_i + K_{i1} * (A_i - Q_i) + K_{i2} * (B_i - Q_i)$;
- $Q_{i+1} = C_i$;
- $i++$, 返回第二步, 直至得到满意的图片。

4 实验结果

每一个算法都需要通过实验来证明其有效性。图 5 就显示了本文算法将模糊图片逐步清晰化的过程。实验中所使用的图片的模糊方式是用模糊过滤器进行模糊的。

结束语 本文提出了一种新的彩色图像增强算法, 并通过实验证明了算法的有效性和实用性。由于在高维空间中图像可以表示为一个点, 我们能够应用高维空间点分析的理论 and 观点来分析研究图像之间的相关性, 提出了“模糊-再模糊-清晰”的图像增强方法, 这种方法比传统的图像增强方法更直观、简单。但是, 本算法还需要进一步完善, 比如找出更符合

图像退化的曲线和增强后图片的去噪等。

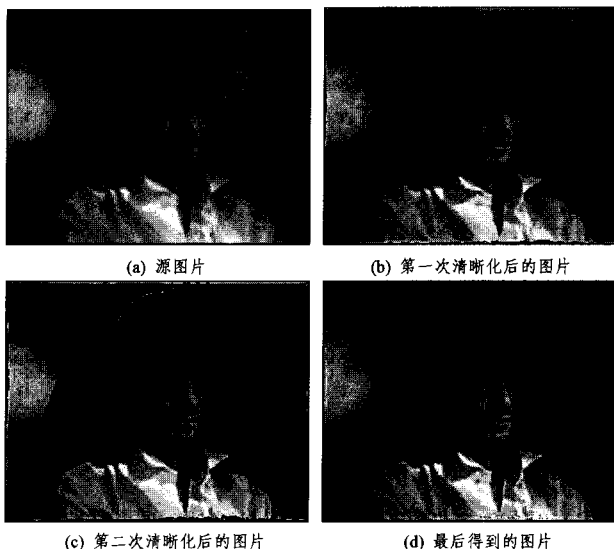


图 5 模糊图片逐步清晰化过程

参考文献

[1] 王守觉. 仿生模式识别(拓扑模式识别)——一种模式识别新模型的理论与应用 [J]. 电子学报, 2002, 30(10): 1417-1420

[2] 黄凯琦, 王桥, 吴镇杨. 基于视觉特性和颜色空间的多尺度彩色图像增强算法 [J]. 电子学报, 2004, 32(4): 673-676

[3] Wang Shou-jue, Cao Yu, Huang Yi. A novel image restoration approach based on point location in high-dimension space geometry [C]//ICCN&B'05

[4] 王守觉, 王柏南. 神经网络的多维空间几何分析及其理论 [J]. 电子学报, 2002, 30(1): 1-4

[5] Jiang Xing-fang, Jin Long, He Long-hua, et al. Research of the Color Remote Sensing Image Fusing Method Based on Retinex and Edge Extraction [J]. 光子学报, 2007, 36(3): 565-567

[6] 王守觉, 孙华. 一种基于矢量关系运算的人脸检测算法 [J]. 微型计算机信息, 2006, 22(10): 294-296

[7] 杨欧, 郭宝平, 郭轩, 等. 基于 HSI 彩色空间的加权中值滤波算法 [J]. 科学技术与工程, 2007, 7(6): 3408-3413

[8] 石美红, 李永刚, 张军英, 等. 一种新的彩色图像增强方法 [J]. 计算机应用, 2004, 24(10): 69-71