

文章编号:1001-9081(2006)12-2866-03

## 基于多维特征向量及 ANN 技术的色彩传递算法

滕秀花<sup>1</sup>,陈昭炯<sup>2</sup>,叶东毅<sup>2</sup>

(1. 福建工程学院 计算机与信息科学系,福建 福州 350014;

2. 福州大学 数学与计算机学院,福建 福州 350002)

(tengxiufang@vip.sina.com)

**摘要:**灰度图像色彩传递可以实现对灰度图像的自动上色处理。分析了目前色彩传递的经典算法——Welsh 算法,指出了该算法存在的两大不足之处,提出了一种包含高频纹理信息的向量式像素点描述方式,并结合最近邻域搜索算法(ANN),提出了一种新的色彩传递算法,弥补了传统算法的不足,使灰度图像的彩色化效果有了较大改进。

**关键词:**色彩传递;高频纹理信息;多维特征向量;最近邻域搜索算法

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## New color transferring algorithm based on multi-dimensional eigenvector and ANN searching technology

TENG Xiu-hua<sup>1</sup>, CHEN Zhao-jiong<sup>2</sup>, YE Dong-yi<sup>2</sup>

(1. Department of Computer and Information Science, Fujian University of Technology, Fuzhou Fujian 350014, China;

2. College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou Fujian 350014, China)

**Abstract:** Transferring Color to Grayscale Image is to adjust chromatic channels of grayscale image automatically. The classic algorithms of color transferring named Welsh was analyzed, and its two main disadvantages were pointed out. After introduced a new multi-dimensional eigenvector for pixels with high frequency texture information, a new color transferring algorithm was proposed, which utilizing ANN searching technology. The new algorithm fixes the two main disadvantages of classic algorithm and greatly improves the transferring result.

**Key words:** color transferring; high frequency texture; multi-dimensional eigenvector; Approximate Nearest Neighborhood (ANN) algorithm

### 0 引言

图像的色彩传递就是在保留图像主要信息的基础上对颜色信息进行处理,从而改变图像的颜色,以增强其显示效果。它的目标是通过一种算法,让计算机能够自动地在两幅图像之间传递颜色信息,使目标图像的颜色能够带有源图像的特征。色彩传递处理的两幅图像可以都是彩色图像,也可以是源图像是彩色图像,目的图像是灰度图像。本文研究的是后者,即灰度图像的彩色化,利用源图像的色彩信息,对灰度图像自动上色。

对于灰度图像的彩色化,目前的研究工作主要以 Welsh 等<sup>[3]</sup>提出的基于像素点匹配的色彩传递算法为基础。分析了 Welsh 算法中像素点描述和匹配方面的缺陷,而后引入了一种新的描述高频纹理信息的指标:纹理变化率,在此基础上提出了一种新的基于多维特征向量并结合最近邻域搜索算法(Approximate Nearest Neighborhood algorithm, ANN)<sup>[1,2]</sup>的色彩传递算法。从实际检验的结果来看,新算法可以提高彩色传递过程中像素点的匹配精度,使色彩传递的效果得到一定的提高。特别是源图像和目标图像之间差别较大时,效果的改进更为明显。并且由于采用了 ANN 搜索技术,算法的运行时间没有明显增加,可以满足实际工作的需要。

### 1 Welsh 算法分析

Welsh 算法利用了  $l\alpha\beta$ <sup>[4]</sup> 颜色空间中亮度  $l$  和彩色通道  $\alpha, \beta$  三个通道相互独立的特性,将源图像和目标图像都转换到  $l\alpha\beta$  空间,在源图像和目标图像(灰度图)间做像素点的匹配,在匹配的像素点之间进行彩色信息的传递。该算法可以归结为如下几个步骤:

1) 将源彩色图和目标图都转换到  $l\alpha\beta$  颜色空间。

2) 根据源图像的亮度及亮度的均方差,对目标图的亮度进行线性转换<sup>[5]</sup>,使目标图的亮度的均值和均方差与源图像一致。调整的公式如下:

$$l'_i = \frac{\sigma_s}{\sigma_t}(l_i - \bar{l}_i) + \bar{l}'_s \quad (1)$$

其中  $l_i$  为像素点调整前的亮度取值,  $l'_i$  为调整后的亮度值,  $\sigma_s$  和  $\sigma_t$  分别是源图像和目标图的亮度均方差,  $\bar{l}_i$  和  $\bar{l}'_s$  分别是源图像和目标图像的亮度均值。

3) 从源图像随机选取一批样本点,并以公式(2)计算权值:

$$W = \frac{1}{2}l + \frac{1}{2}\sigma \quad (2)$$

其中  $W$  为权值,  $l$  为像素点的亮度值,  $\sigma$  为该像素点周围

收稿日期:2006-06-14;修订日期:2006-08-16 **基金项目:**福建工程学院科研发展基金资助项目(GY-Z0543);福建省自然科学基金资助项目(A0410013);福州大学科技发展基金项目(2002-XQ-23)

**作者简介:**滕秀花(1977-)女,福建福州人,讲师,硕士,主要研究方向:图形图像处理;陈昭炯(1964-)女,福建福州人,教授,硕士,主要研究方向:图像处理与智能技术;叶东毅(1964-)男,福建福州人,教授,博士,研究方向:数据挖掘、图像处理。

某个邻域内亮度值的均方差。

4) 对目标图中的每个点都根据式(2) 计算出一个权值, 并根据该点的权值在源图像的样本点中找到一个与之最接近的样本点, 将样本点的  $\alpha$  和  $\beta$  通道的取值赋给目标图的对应像素点。

5) 最后将目标图像重新转换回 RGB 颜色空间, 完成色彩传递。

Welsh 算法利用式(1) 进行线性调整的目的是源图像和目标图像的亮度在同一个范围内, 从而可以相互比较。从公式(2) 可以看出来, 该算法将像素点的亮度和邻域范围内亮度的方差的线性组合值视为像素点特征的描述。实际上该算法是将亮度的方差视为一种纹理信息。在评价像素点时, 将像素点的亮度及其纹理信息作为评价的两个参数。显然式(2) 对于 Welsh 算法的运行效果起到了决定作用。

从运行效果来看, 该算法在两幅图像构成比较接近的场合, 其效果比较好。而当图像比较复杂, 构成差别比较大时, 运行效果就比较差。Welsh 算法主要存在两个问题: 1) 亮度和亮度的方差这两个信息不足以描述像素点的所有特征。从频域的角度来看, 这两个信息只是像素点亮度方面最低频的两个信息。2) 公式(2) 将亮度和亮度的方差两个指标相加形成一个新的指标来评价一个像素点, 这实际上是将一个二维的指标组合成一个一维的指标。这种组合造成了信息的丢失。

对于 Welsh 算法的问题, 文献[6] 提出结合色彩传递过程中的彩色纹理信息辅助像素点的匹配[6], 在许多场合其效果都得到了提升。本文从 Welsh 算法存在两个缺陷点出发, 提出一种包含高频亮度纹理信息在内的, 采用多维向量形式的像素特征描述方式, 并在此基础上结合 ANN 搜索技术, 提出了一种新的灰度图像的色彩传递算法。在很大程度上克服 Welsh 算法存在的问题, 运行效果得到了较大改进。

## 2 结合 ANN 技术的多维特征传递算法

### 2.1 高频纹理信息以及多维特征向量

Welsh 算法将亮度的方差视为像素点的纹理信息。从频域<sup>[7]</sup> 的角度来看, 一个像素点除了低频的亮度方差这一纹理信息外, 还包含高频的纹理信息。而高频部分的信息也是像素点的重要特征。因此我们需要一个能够描述像素点高频纹理信息的指标。对一个以像素点  $P$  为中心的  $M \times M$  的邻域, 亮度标准差定义为:

$$Std(p) = \sqrt{\sum_{s \in M \times M} (l_s - \bar{l})^2 / M^2} \quad (3)$$

其中  $\bar{l}$  是以  $P$  点为中心的邻域内像素点的亮度均值,  $l_s$  为邻域内像素点  $s$  处的亮度。对于一个  $M \times M$  的矩阵, 邻域内每个点都计算出一个亮度的标准差, 这样一个邻域里面的点就会有  $M^2$  个标准差。为了描述像素点周围的高频变化部分, 本文特定义像素点  $P$  周围  $M \times M$  邻域的  $n$  阶亮度变化率——纹理变化率, 即  $n$  阶标准差的概念:

$$Std^n(p) = \sqrt{\sum_{s \in M \times M} (Std^{n-1}(s) - Std^{n-1})^2 / M^2} \quad n \geq 2 \quad (4)$$

其中,  $Std^{n-1}(s)$  为  $P$  点为中心的邻域内像素点  $S$  处的  $n-1$  阶标准差,  $Std^{n-1}$  为邻域内各像素点  $n-1$  阶标准差的均值。显然, 通过亮度、亮度的  $1, 2, \dots, n$  阶标准差, 可以对像素点及其所处的邻域进行更加准确的描述。这些特征构成了对像素点从低频到高频的特征描述。同时如前所述, Welsh 算法对像素点的特征做线性组合, 造成了像素点特征信息的丢失, 为此本文提出了一种新的结合高频纹理信息的多维特征向量

的像素点  $P$  特性描述:

$$f(p) = (l_p, Std(p), Std^2(p), Std^3(p), \dots, Std^n(p)) \quad n = 1, 2, \dots \quad (5)$$

其中  $l_p$  为像素点  $P$  的亮度,  $Std^n$  为像素点  $P$  的  $n$  阶亮度标准差, 计算公式如式(4)。显然, 通过式(5) 可以更好地描述像素点周围亮度及亮度的变化情况。像素点特征采用向量描述以后, 像素点间的匹配程度可以采用向量间的距离来描述。Welsh 算法是以像素点的匹配为基础, 采用向量的描述方式后, 源图像的样本点就是一组特征向量, 因此需要一种高效的算法, 从特征向量组中找出与目标像素的特征向量最匹配的像素。为此, 本文引入 ANN 搜索技术。

ANN 搜索技术主要解决的是多维空间中, 为某一特征向量快速查找最接近的匹配点的问题。该算法通过建立 BBD 树<sup>[1]</sup>, 可以快速查找误差允许范围  $\varepsilon$  内的近似的最优解。查询一个向量  $q$  的  $\varepsilon$ -最近匹配点所需要的时间为  $O(C_{d,\varepsilon} \log(n))$ , 其中,  $C_{d,\varepsilon} \leq d[1 + 6d/\varepsilon]^d$ ,  $d$  为维数,  $n$  维样本点数量。

引入 ANN 搜索后, 像素点的匹配过程调整为: 先从源彩色图像中抽取样本点, 计算样本点的特征向量并建立 ANN 搜索需要的 BBD 树。而后对目标图中的每个像素点计算特征向量, 并到 BBD 树中按照 ANN 搜索算法查找匹配的样本点。像素点匹配过程如图 1 所示。

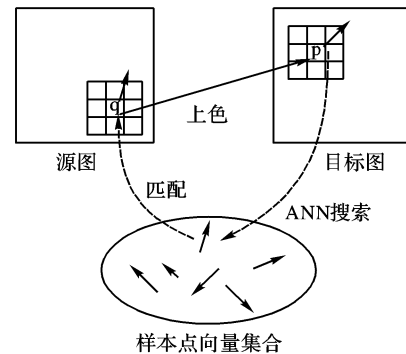


图 1 像素点匹配过程

### 2.2 新的色彩传递算法

新的色彩传递算法可以归结为如下步骤:

- 1) 将源图像和目标图像都转为  $l\alpha\beta$  空间;
- 2) 根据源图像亮度和亮度方差, 对目标图的亮度做线性调整;
- 3) 从源图像选取一组样本点, 并根据式(5) 计算各样本的特征向量。并根据 ANN 搜索技术建立样本点向量集合的 BBD 树;
- 4) 对目标图中的每个像素点按式(5) 计算特征向量, 而后在 BBD 树中按 ANN 搜索算法查找出一个  $(1 + \varepsilon)$ - 近似最近样本点。将样本点的  $\alpha, \beta$  通道取值传递给目标图像素点;
- 5) 将目标图转回 RGB 空间。

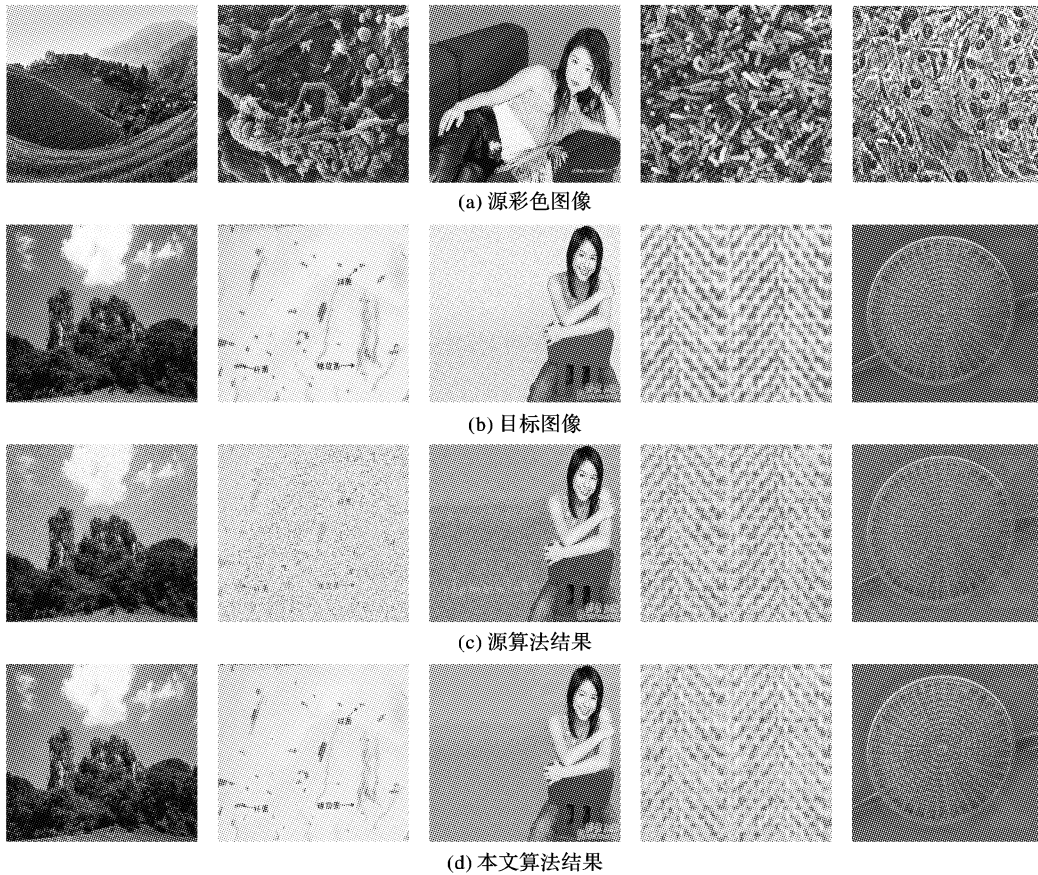
## 3 实验分析

为验证新算法的有效性, 我们基于 VC++ 实现了本文提出的新算法, 并进行了大量比较实验。公式(5) 定义的像素点向量描述公式中,  $n$  可以有不同取值, 从实验情况来看, 对于大部分图像  $n = 2$  的情况已经可以描述像素点周围的纹理变化情况,  $n > 2$  的处理结果与  $n = 2$  的情况相近。小部分一些纹理变化比较快速的图片,  $n > 2$  的处理结果优于  $n = 2$  的结果。本文所附的实验结果仅取  $n = 2$  的情况。

从图 2 中可以看到, 如果目标灰度图像存在平滑区域, 分别经过传统算法和本文的彩色化处理后的两个结果图像存在

明显的差异,应用前者的结果图像在原来的平滑区域出现了各种不规则的噪声,严重影响了主体的颜色信息,而本文的新

算法处理的结果则没有出现那些不规则噪声,而且图像的边界明显,其效果真实、自然。



(d) 本文算法结果  
图2 实验结果

总体来看,本文提出的算法提高了像素点匹配的准确性,使各种场合下像素的误匹配的情况减少,在许多场合都改善了 Welsh 算法的效果。并且从算法运行的时间来看,由于采用了 ANN 搜索技术,运行时间没有明显增加。

#### 参考文献:

- [1] ARYA S, MOUNT DM, SILVERMAN R. An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching in fixed dimension[J]. Journal of the ACM, 1998, 45(6): 891-923.
- [2] HERTZMANN A, JACOBS C, OLIVER N, et al. Image analogies [A]. Computer Graphics Proceeding, Annual Conference Series [C]. ACM SIGGRAPH, Los Angeles, California, 2001. 327-340.
- [3] WELSH T, ASHIKHMIN M, MUELLER K. Transferring color to

grayscale images[A]. Proceedings of SIGGRAPH[C]. 2002. 277-280.

- [4] RUDERMAN DL, CRONIN TW, CHIAO C. Statistics of cone responses to natural images: Implications for visual coding[J]. Journal of Optical Society of America, 1998, 15(8): 2036-2045.
- [5] REINHARD E, ASHIKHMIN M, GOOCH B, et al. Color transfer between Images[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(5): 34-41.
- [6] 滕秀花, 陈昭炯, 叶东毅. 一个利用色彩纹理信息的灰度图像色彩传递方法[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(Supp. A): 256-259.
- [7] GONZALEZ RC, WINTZ P. Digital image processing[M]. Second Edition. Addison-Wesley Publishin, Reading MA, 1987.

(上接第 2822 页)

( $m, c$ ); 数据聚合时的计算花费( $E_r$ ) 以及在多跳模式下所期望的连通率等。

本文接下来研究的工作是进一步拓宽无线传感器网络在覆盖控制方面规划设计的感知范围,从理论化的数学模型入手建立更实际、更具有应用性的传感器网络模型,使研究内容对无线传感器网络的应用及其节点的有效覆盖控制起到更为实际的指导意义。

#### 参考文献:

- [1] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor network[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [2] BHARDWAJ M, CHANDRAKASAN AP. Bounding the lifetime of

sensor networks via optimal role assignments[A]. IEEE Infocom [C]. New York, 2002.

- [3] GUPTA P, KUMAR PR. Critical power for asymptotic connectivity in wireless networks[A]. Stochastic analysis, control, optimization and applications: a volume in honor of W. H. Fleming[C]. Boston, 1998.
- [4] POTTIE GJ, KAISER WJ. Wireless integrated network sensors[J]. Communications of ACM, 2000, 43(5): 51-58.
- [5] BANDYOPADHYAY S, COYLE E. An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks[A]. IEEE Infocom [C]. San Francisco, CA, 2003.
- [6] MHATRE V, ROSENBERG C, KOFMAN D, et al. A minimum cost surveillance sensor network with a Lifetime constraint[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2005, 4(1): 4-15.