

刺绣打版系统中彩色空间聚类的方法与应用*

陈兆乾 谢俊元 钱海川 陈世福

(南京大学计算机科学与技术系 南京 210093)

摘要 本文介绍了电脑刺绣打版系统的画稿自动输入过程中使用的彩色空间聚类方法. 其中着重描述了K-均值法和合并法2种自动聚类方法, 并和边缘检测算子方法进行了比较. 最后给出了处理实例.

关键词 彩色空间聚类, K-均值迭代法, 合并法, 电脑刺绣编程.

在电脑刺绣打版系统中, 对刺绣画稿的输入一直是个瓶颈过程, 它占用了大量的时间. 目前普遍采用的方法是先用投影仪将刺绣画稿放大到适当尺寸, 然后用数字化仪人工输入, 这一过程占用了整个打版的一半以上的时间, 并且对打版师来说, 需要集中精力, 同时关注计算机屏幕和数字化仪面板, 其精度也难以保证. 因此我们对这一过程进行了改进. 我们采取了由扫描仪或摄像机输入数字化图像, 通过图像处理或屏幕数字化这2种方式来获取可供编针的轮廓数据. 实践证明, 这样处理的输入速度快、精度高, 大大提高了打版的效率.^[1]

在图像处理的过程中, 要将数字化的图像转化成矢量化的轮廓和相应的区域, 首先需要找寻图像的边缘点. 传统方法是在经过局部修改、平滑去噪声等预处理之后, 使用梯度算子、方向模板算子和参数拟合算子等边缘检测算子的方法来识别边缘.^[2,3] 本文采取了另外一种方法——彩色空间聚类.^[4,5] 文中着重描述了K-均值迭代法和合并法这2种自动聚类方法, 在K-均值迭代法中给出了改进的加权方法, 在合并法中给出了计算各种颜色两两之间距离的快速算法, 并和边缘检测算子方法进行了比较. 实践证明其效果良好.

1 彩色空间聚类

彩色空间聚类是图像分割方法的一种. 所谓图像分割是指把图像划分成一些“有意义的区域”, 这里“有意义的区域”内涵随求解问题的不同而异. 本文指的是在刺绣打版过程中需要不同处理的区域.

彩色空间是一个三维空间, 我们将 R (红), G (绿), B (蓝)分量作为彩色空间的坐标轴, 那么一个像素值 (r, g, b) 就对应于彩色空间的一个点.

* 本文研究得到国家 863 高科技项目的资助. 陈兆乾, 女, 1940 年生, 教授, 主要研究领域为人工智能, 图象处理. 谢俊元, 1961 年生, 副教授, 主要研究领域为人工智能, 图象处理. 钱海川, 1972 年生, 硕士, 主要研究领域为图象处理, 图形处理. 陈世福, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为人工智能, 图象处理和图形处理.

本文通讯联系人: 陈兆乾, 南京 210093, 南京大学计算机科学与技术系

本文 1995-10-16 收到修改稿

如果将要处理的每个像素点都映射到彩色空间上,那么在这个彩色空间中将分布许多点,而且这些点在空间分布上有着一定的特征:如果该图像的区域可以较明显地以颜色来区分,即没有渐变的颜色或纹理,那么这些点在彩色空间中以簇状形式存在,即表现为一簇簇点的集合.在这些簇的中心位置点最密集,而离中心越远点越稀少.如果能够求出这些簇的各自中心点的位置,以其代替这个簇,那么就得到很少的几个点.我们称这些点为聚类中心,而称这个过程为聚类.经过聚类以后的图像,只有少量的几种颜色,因此其边界是易得的.

寻找聚类中心的过程是十分艰苦的,因为如果聚类中心稍有偏差,那么得出的区域将相差很大.所以提出手工和自动2种方式供用户选择.如果自动方式获得的效果不佳,可以再用手工的方式处理,直至满意为止.

在介绍这2种方式之前,先定义彩色空间的距离如下:

定义 1.
$$Dis(A, B) \triangleq \sqrt{3(r_1 - r_2)^2 + 4(g_1 - g_2)^2 + 2(b_1 - b_2)^2}$$

该定义充分考虑了 R, G, B 3 个分量对人的视觉刺激程度的不同,根据对亮度的贡献的区别,对这 3 个分量进行了加权.

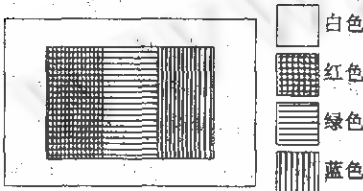


图1 某国国旗图案手工选取聚类中心

手工方式是指用交互的方式由用户选择聚类中心,用户只要使用系统提供的选色工具即可在图像上指出所需的颜色.

图 1 是一幅某国国旗的图像,可以明显的看出 4 个区域.但由于扫描仪或摄像机带来的噪声或原图稿本身颜色的深浅不能完全一致,实际进入计算机的图像上各区域内部的像素值并不能保证完全相同,它们之间会有一些的差别.

因此,直接进行边缘检测将无法准确得出这个图像的区域.如果用手工选取聚类中心的方式,只需用选色工具在各区域中各选择一点,系统即可根据这些点和它们周围点的像素值选取 4 种颜色作为该图像的聚类中心.

在选取了聚类中心之后,就可以根据彩色空间距离的定义 1 来进行聚类.聚类的原则是保证每个像素的值和聚类后的值距离最近.那么,如果该图像是不带调色板的图像,如灰度图像和 24 位图像,就对每个像素寻找离它最近的聚类中心,并映射到该聚类中心之上.如果该图像是带调色板的图像,如 16 色和 256 色彩色图像,只要对每个调色板项寻找离它最近的聚类中心并映射到该聚类中心上即可.

自动选择聚类中心的方法主要有 K-均值迭代法和合并法.

2 K-均值迭代法

K-均值迭代法是一个迭代算法,其中 K 指的是聚类中心的个数.它的思想是根据初始的 K 个聚类中心(自由选择)进行聚类,聚类后用属于某聚类中心的像素的平均像素值来代替该聚类中心,继续迭代直到满足终止条件为止.这样每次迭代得到的聚类中心将不断接近目标值.

本文改进了 K-均值迭代法,采取的是一种加权的 K-均值法,引入了彩色直方图 $H[r][g][b]$ 作为每一种颜色 (r, g, b) 的权重,引入权重的好处是大大提高了处理的速度.彩色

直方图的定义类似于灰度直方图, $H[r][g][b]$ 表示颜色值为 (r, g, b) 的像素个数占总像素个数的比例。

该算法具体如下:

(1) 统计彩色直方图 H 。

(2) 初始化 K 个聚类中心, 这 K 个聚类中心为 H 中 K 个最大值对应的颜色。

(3) 用 K 个聚类中心对原始图像进行聚类。在这个过程中为了提高处理的速度, 聚类对直方图项进行, 而不是对每个像素进行。

(4) 一次迭代完成后重新计算聚类中心, 每个聚类中心都等于划归于该聚类中心的直方图项的加权平均, 如公式(1),

$$C = \frac{\sum_i C_i H[C_i]}{\sum_i H[C_i]} \quad (1)$$

公式中 $H[C]$ 即 $H[r][g][b]$, 这里 r, g, b 为 C 的值。

(5) 结束条件, 若连续两次迭代的聚类中心差别小于一定阈值, 迭代结束; 否则转向(3)继续迭代。

结束条件中采用了阈值, 而不要求连续 2 次迭代的聚类中心完全相同, 这样就避免了过多的不必要计算。阈值是预先设定的, 可以根据要求的不同而修改。

不难证明, 该算法一定是收敛的。

3 合并法

合并法是个递归算法。其思想是根据图像在彩色空间的性质, 合并距离最近的两点, 递归直到所需的聚类中心的数目。

假设要寻找具有 m 种颜色的图像的 n 个聚类中心, 显然这里 $m > n$, 下面是合并法的算法描述:

(1) 统计彩色直方图 H 。

(2) 合并距离最小的两种颜色, 设它们分别为 C_1 和 C_2 , 则新的颜色:

$$C = \frac{C_1 H[C_1] + C_2 H[C_2]}{H[C_1] + H[C_2]} \quad (2)$$

修正直方图:

$$H[C] = H[C_1] + H[C_2] \quad (3)$$

颜色数目减 1。

(3) 颜色数目若大于 n , 继续步骤(2); 否则结束。

在实现该算法时, 其计算量是十分庞大的。合并时要计算各种颜色两两之间的距离, 而且每合并一次都要计算一次, 因而在颜色数比较大时, 其计算量很大。为克服上述问题, 在仔细研究这一过程后, 发现其中有大量的重复计算, 对此我们设计一种快速算法。

其算法描述如下:

(1) 初始化

统计彩色直方图 H , 初始标志 $FirstTag$ 置为 $True$ 。对每种颜色 C , 最小距离 $C.Mindis$

置为最大值 Max , 最小距离索引 $C.MinIndex$ 置为 -1 , 合并标志 $C.ComTag$ 置为 $False$.

(2) 寻找距离最近的 2 种颜色

若 $FirstTag$ 为 $True$, $FirstTag$ 置为 $False$. 对每种颜色 C , 用定义 1 计算 C 和其它颜色之间的最小距离, 记录在 $C.MinDis$ 中, 该最小距离对应的颜色号记录在 $C.MinIndex$ 中.

否则, 对每种颜色 C , 若 C 为新生成的颜色或 $C.MinIndex$ 对应的颜色的 $ComTag$ 为 $True$, 如上计算 $C.MinDis$ 和 $C.MinIndex$, 否则使用原值.

(3) 合并 C_1 和 C_2

新的颜色值的计算和直方图的修正如公式(2)、(3), 颜色数目减 1.

(4) 颜色数目若大于 n , 继续步骤(2); 否则结束.

通过这种方法, 就可以大大减少运算量, 并且当颜色数越大时, 减少的幅度也越大, 根据我们对几个图像的处理结果表明其计算时间可以大大地压缩, 一幅 256 色图像, 快速算法的时间约是原算法所需时间的 1% 左右.

在由扫描仪或摄像机输入的图像中, 可能会有这样一些噪声点; 它们的数目很少, 但和周围的颜色不完全相同. 为了去除这些点对聚类中心的干扰, 我们在统计彩色直方图时, 规定每个直方图项应达到一定规模, 如达不到预定的规模阈值, 则视为干扰舍去.

4 分析与实例

K-均值法和合并法都要求事先确定聚类中心的个数. 因而在实现中, 最好能给出聚类中心个数, 否则将使用系统缺省值, 但使用缺省值会影响聚类效果.

K-均值法和合并法都是对图像的直方图特性和彩色空间特性进行分析, 从而获得聚类中心的方法. 但是它们是有区别的, K-均值法从直方图特性着手, 偏重于对直方图特性的分析; 合并法从彩色空间特性着手, 偏重于对彩色空间特性的分析. 因此它们的效果是不完全相同的. 对于一些肉眼能明显地分辨出区域的图像, 它们的效果差别不大; 否则, 对于直方图特性明显的图像, 用 K-均值法效果较好, 对于彩色空间特征明显的图像, 用合并法效果为佳.

彩色空间聚类的方法和边缘检测算子相比, 有如下优点:

(1) 边缘检测算子只能得到边缘点的标记; 而彩色空间聚类不仅可以得到边缘点, 而且可以得到区域的颜色.

(2) 边缘检测算子受噪声的影响大, 并且其阈值难以确定, 从而导致其自动化程度降低, 难以实用.

(3) 使用边缘检测算子在检测彩色图像边缘时比较困难, 一般需要进行彩色空间变换, 如动态 K-L 变换、傅利叶变换等, 其效果也不佳; 使用彩色空间聚类的方法, 则对灰度图像和彩色图像的处理是一致的.

(4) 使用彩色空间聚类的方法, 更符合刺绣打版系统的要求: 忽略细小边缘, 注重整体边缘的质量.

在使用彩色空间聚类时, 无论是采用手工方式还是自动方式, 都要注意彩色空间聚类方法的适用范围: 一般为大色块的图像, 但不适于过渡色的图像和带纹理的图像. 而刺绣打版系统处理的图像绝大多数是大色块的图像, 经半年多的试用, 其效果很好.

下面给出用 K-均值法和合并法处理的实例, 如图 2 所示。



(a)原图(320 * 200 * 256 色) (b)边缘检测算子处理结果 (c)手工方式处理结果



(d)K-均值迭代法处理结果 (e)合并法处理结果

图 2 处理实例

其中图 2(b)是用 Laplacian 算子处理得到的边缘, 阈值为 50; 图 2(c), (d), (e) 3 种处理方式的聚类中心数目都为 3, 其中聚类中心分别为: (c) 手工获得 (177, 27, 17)、(32, 46, 45)、(216, 205, 186), (d) 自动获得 (167, 30, 20)、(35, 46, 46)、(220, 198, 168), (e) 自动获得 (162, 28, 18)、(33, 50, 48)、(218, 189, 180)。它们都经过自上而下、从左往右的顺序标记边缘, 标记边缘的依据是与相邻像素值的异同。所有处理均未经过细化。

本文介绍的彩色空间聚类方法已在 PC/486 机器上 Windows 环境下, 用 C++ 编程实现。在 863 任务“多功能智能刺绣编程系统”中实际应用, 明显地提高了刺绣样板的生产效率和绣品质量, 并生产出较为理想的绣品。通过实际的应用, 说明上述 2 种自动聚类方法的有效性。该方法具有一定的通用性, 不仅适合于电脑刺绣的图稿自动输入, 也适用于图像处理的其他应用领域。

参考文献

- 1 陈世福等. CEIP: 用于电脑刺绣的图像预处理系统. 软件学报, 1992, 1(1): 41~48.
- 2 罗申菲尔特 A, 卡克 A C, 余英林, 徐建平等译. 数字图像处理. 北京: 人民邮电出版社, 1982.
- 3 Pratt W K. Digital image processing. John Eiley Sons Inc., 1978.
- 4 Mehmet Celenk. A color clustering for image segmentation. CVGIP'92. 1990. 145~170.
- 5 钱海川. 电脑刺绣打版系统的图像预处理系统[硕士论文]. 南京大学计算机系, 1995.

THE METHOD AND APPLICATION OF COLOR CLUSTERING IN COMPUTERIZED EMBROIDERY PUNCHING SYSTEM

Chen Zhaoqian Xie Junyuan Qian Haichuan Chen Shifu

(Department of Computer Science and Technology Nanjing University Nanjing 210093)

Abstract In the progress of draft automatic inputting in computerized embroidery

punching system, color clustering is a suitable method. It includes two ways, K-averaging iteration and combination. In contrast to traditional edge detection, these two ways are more effective. They have been applied to the image preprocessing system for computer-controlled embroidery.

Key words Color clustering, K-averaging iteration, combination, computerized embroidery punching.