

# 基于滤波器阵列与图割的彩色纹理分割

贺锦鹏, 孙 枫, 刘利强

(哈尔滨工程大学自动化学院, 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 图割法因无法体现像素点的纹理区域特性而难以应用于纹理分割。针对该问题, 提出一种基于滤波器阵列与图割的彩色纹理分割算法。利用构建的滤波器阵列提取图像的纹理特征, 并加入图像的 H、S、I 分量值组成纹理-色彩特征向量, 采用 texton 直方图作为彩色纹理的统计模型对纹理-色彩特征向量进行统计计算, 通过直方图差计算像素点间的纹理相似度, 再应用图割法中的规范割准则对彩色纹理进行分割。实验结果证明, 该算法具有较高的分割准确性。

**关键词:** 彩色纹理; 图像分割; texton 直方图; 图割; 规范割

## Color Texture Segmentation Based on Filter Bank and Graph Cut

HE Jin-peng, SUN Feng, LIU Li-qiang

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**【Abstract】** It is difficult to apply graph cut to texture segmentation because it can not reflect the regional characteristics of the texture pixel. Aiming at the problem, a color texture image segmentation approach based on filter bank and graph cut is presented. Texture features of image which are extracted by the filter bank is connected with H, S and I components of the image to compose texture color feature vector. The color texture is modeled with texton histograms to statistic texture color feature vector, and the pairwise texture similarity is computed by comparing windowed texton histograms. Normalized cut criterion of graph cut method is applied to solve the optimal segmentation problem with the texton histograms. Efficiency and accuracy of the method are demonstrated by the experimental results.

**【Key words】** color texture; image segmentation; texton histogram; graph cut; normalized cut

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.073

### 1 概述

纹理分割是计算机视觉研究中的基础性问题, 其广泛应用于遥感图像分析、医学图像分析、工业表面检测、文档处理和图像检索等领域。

纹理分割的核心问题之一是纹理特征提取, 其主要目的是获得像素的特征向量进而区分不同的纹理。纹理特征提取有多种方法<sup>[1]</sup>, 主要分为统计法、结构法、模型法和信号处理法。其中, 信号处理法是一种把纹理图像与一系列特别设计的滤波器进行卷积, 通过滤波将纹理图像转换到频域并对滤波系数进行处理以提取特征的方法<sup>[2]</sup>, 由于其具有鲁棒性强、纹理信息表达准确等优点, 因此得到了广泛的研究。

纹理分割的另一核心问题是基于特征向量的一致性分割, 其目的是根据特征向量区分不同的纹理, 主要方法有统计模式识别法、模糊数学法、人工智能法及神经网络法。近年来, 图割法因无需待聚类对象的先验知识、可以得到全局最优解而成为图像分割领域的研究热点之一。在图割法的各种准则中, 规范割准则<sup>[3]</sup>使用区域内相似度规范区域之间的相似度寻找正则化的割, 有效地消除了最小割准则<sup>[4]</sup>偏向小区域的分割倾向, 在图像分割领域得到了广泛的应用<sup>[5]</sup>。然而, 由于其使用图像亮度与距离计算点对之间的相似度, 未能体现像素点的纹理区域特性, 因此其纹理分割结果不理想。

本文提出一种新的基于滤波器阵列与图割的彩色纹理分割算法。该算法使用一组滤波器阵列提取图像的纹理特征, 并加入图像的 HSI 色彩信息形成纹理-色彩特征向量以用于彩色纹理图像, 采用 texton 直方图作为彩色纹理的统计模型, 并利用直方图差计算像素点间的纹理相似度, 最后应用规范

割准则分割彩色纹理。

### 2 彩色纹理建模

本文采用纹理特征和色彩特征描述纹理, 以构建的滤波器阵列对图像卷积的滤波响应组成纹理特征向量, 像素点对应 HSI 色彩空间的 H、S、I 分量值组成色彩特征向量, 通过连接纹理向量和色彩向量组成纹理-色彩特征向量并对其聚类, 从而获得彩色纹理的统计模型。

#### 2.1 纹理特征向量

在信号处理法中通常使用一组不同类型、方向和尺度的滤波器与图像卷积获得纹理的特征向量。本文的滤波器阵列使用 3 个尺度 ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) = {(1,3), (2,6), (4,12)}、4 个方向 (0°、45°、90°和 135°) 的边缘滤波器和条纹滤波器以及 3 个尺度  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma = \{2, 5, 10\}$  的高斯-拉普拉斯(Gauss-Laplace, LOG)滤波器和 Gauss 滤波器, 其中, 边缘滤波器和条纹滤波器是各向异性的; LOG 滤波器和 Gauss 滤波器是各向同性的。

滤波器阵列纹理提取方法是通过滤波器变换将纹理转换到频域, 通过对滤波结果应用某种能量准则提取纹理特征。这类方法通过滤波结果分辨不同纹理信息之间的差异。然而, 纹理差异的精确分辨和能量的精确估计是相互矛盾的, 前者需要高空间分辨率, 而后者需要高频率分辨率, 两者之间需要一些非线性和平滑操作进行折中。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60775001)

**作者简介:** 贺锦鹏(1977—), 男, 博士研究生, 主研方向: 图像处理; 孙 枫, 教授、博士生导师; 刘利强, 讲师

**收稿日期:** 2010-12-16 **E-mail:** hjp14224@126.com

本文将局部能量函数以  $|x|^c$  的形式应用于滤波响应图像。然后对滤波响应图像进行非线性操作和高斯平滑滤波。非线性操作一般以  $\tanh(bx)$  或  $\lg(c+x)$  的形式应用于局部能量函数。为简便起见, 分别令  $a=1$  和  $c=1$ , 选择  $|x|$  作为局部能量函数,  $\lg(1+x)$  用于对局部能量函数进行非线性操作。则滤波器响应所对应的元素经平滑滤波和对数标度变幅后得到了一组经非线性操作和平滑操作的纹理特征向量  $z_p^{\text{TF}}$ 。

## 2.2 纹理-色彩特征向量

对于大多数彩色纹理图像来说, 仅使用纹理特征无法获得良好的纹理分割结果。同时, 由于 HSI 色彩空间将人眼敏感度高亮度信息和人眼敏感度低的色彩信息分开表示, 使亮度信息与色彩信息无关, 并且色彩信息分量 H 和 S 更能体现人眼感受色彩的方式, 因此本文使用像素点  $p$  对应 HSI 色彩空间的 H、S、I 分量值组成色彩特征向量  $z_p^{\text{CF}}$ 。

之后在每个像素点  $p$  的纹理特征向量后连接此像素点的色彩特征向量, 组成纹理-色彩特征向量  $z_p^{\text{CTF}}$ 。这里, 纹理-色彩特征向量是 33 维的。

为防止由取值范围引起的聚类偏差, 应用式(1)将像素点  $p$  滤波器响应的取值区间转换为  $[0, 100]$ :

$$z_p^{\text{CTF}} \leftarrow (z_p^{\text{CTF}} - z_{\min}^{\text{CTF}}) \times \frac{100}{z_{\max}^{\text{CTF}} - z_{\min}^{\text{CTF}}} \quad (1)$$

其中,  $z_{\min}^{\text{CTF}}$  和  $z_{\max}^{\text{CTF}}$  分别是待分割图像相应特征的最小值和最大值。

对于表现纹理特征的滤波响应来说, 由于使用的滤波器存在尺度和方向的差别以及待分割图像自身的纹理特性, 并不是每一个滤波器的响应都能反映出纹理之间的差异, 其中存在一些噪声和与纹理差异无关的响应。特别是当纹理特征被尺度化或规范化以避免小数值区间的特征值被大数值区间的特征值所支配时, 噪声会更严重。尺度化的过程不可避免地放大了噪声因素, 会引起特征差异的错误估计, 最终导致纹理图像的分割效果变差。以往的一些研究使用特征选择法(如独立分量分析、Fisher 准则)进行纹理特征的选择, 然而这类准则的运算代价十分高。因此, 本文采用最大响应准则对聚类空间进行降维。具体地, 对边缘滤波器和条纹滤波器响应进行排序, 保留其 3 个尺度上每个尺度的最大响应, 对 Gauss 滤波器和 LOG 滤波器进行排序, 保留每个滤波器的最大响应, 组成基于最大响应准则的滤波响应向量。最终得到所有特征值被尺度化到  $[0, 100]$  区域内并降维后的色彩纹理特征向量  $z_p^{\text{CTF}}$ 。

## 2.3 统计模型

本文采用 texton 理论对纹理进行建模。texton<sup>[6]</sup>自提出后便在纹理分割中得到了大量的应用。其在纹理分割中被定义为纹理训练集或单一纹理滤波器相应的聚类中心。在许多相关的工作中, texton 频率直方图被用于描述纹理特征。

对待分割图像的纹理-色彩特征向量阵进行  $K$ -均值聚类后形成的  $K$  个聚类中心代表典型的响应向量, 通常被称为 texton。经实验证明,  $K$  的取值范围一般为 25~30, 对于大多数纹理图像可以取得较好的分割效果。对形成的  $K$  个聚类, 每个聚类依次赋予编号 1~ $K$ , 并将待分割图像  $I$  的每个像素  $p$  标记为其特征向量所对应的聚类号, 则待分割图像被映射到一个同等大小的标记图上。本文将标记图中像素点的直方图作为彩色纹理的统计模型:

$$h_i(I) = \sum_{j \in \text{win}(i)} I[T(j)=k] \quad (2)$$

其中,  $I[\cdot]$  是指示函数;  $T(j)$  返回  $I_{\text{texton}}$  中像素  $j$  的标号, 像素  $j$  位于以像素  $i$  为中心的窗  $\text{win}(i)$  内。由此形成以编号 1~ $K$  为横轴、窗  $\text{win}(i)$  内相应编号所对应像素的个数为纵轴的 texton 直方图。

## 3 规范割准则

任意特征空间的点集均可表示为一个带权的无相图  $G=(V, E)$ , 其中,  $V$  是节点的集合;  $E$  是连接 2 个节点  $i$ 、 $j$  的边的集合。边赋予权值  $w(i, j)$ , 该权值衡量节点  $i$  和节点  $j$  的相似程度。

Shi Jianbo 提出的规范割准则使用区域内相似度规范区域之间的相似度, 有效地消除了最小割准则偏向小区域的分割倾向, 其定义如下:

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{asso(A, V)} + \frac{cut(A, B)}{asso(B, V)} \quad (3)$$

其中,  $cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v)$  是集合  $A$  与集合  $B$  的权值总和;

$asso(A, V) = \sum_{u \in A, v \in V} w(u, v)$  是集合  $A$  与图  $G$  的权值总和;

$asso(B, V) = \sum_{u \in B, v \in V} w(u, v)$  是集合  $B$  与图  $G$  的权值总和。

采用规范割准则可以解决划分孤立点的问题, 规范割最小值对应的划分即为图  $G$  的最优划分。

Shi Jianbo 将图划分问题放在实数域中求其近似解, 其等价于求解下述方程的前  $k$  个最大特征值对应的特征向量问题:

$$D^{-1/2} W D^{-1/2} X = \lambda X \quad (4)$$

其中,  $D$  是  $N \times N$  的对角矩阵, 其对角线上的元素为  $d_i = \sum_j w(i, j)$ ;  $W$  是对称矩阵, 其元素为  $w(i, j)$ ;  $\lambda$  和  $X$  分别为相应的特征值和特征向量。与次小特征值所对应的特征向量即为最小规范割。在次小特征向量中选择一个划分数值将图  $G$  的节点划分为 2 个部分, 递归地调用该算法就可以对图像进行分割。

## 4 基于滤波器阵列与图割的彩色纹理分割

原始规范割算法中仅使用图像亮度与距离计算点对之间的相似度, 未能体现像素点的纹理区域特性, 因此, 其纹理分割结果不理想。本文提出的彩色纹理模型采用纹理特征和色彩特征描述纹理, 体现了像素点及其邻域像素的纹理相关性, 能够清晰地获得像素点的纹理区域特性, 便于进一步的纹理分割。

本文使用  $\chi^2$  计算 2 个节点间的直方图差:

$$\chi^2(h_i, h_j) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^K \frac{[h_i(l) - h_j(l)]^2}{h_i(l) + h_j(l)} \quad (5)$$

其中,  $h_i(l)$  和  $h_j(l)$  分别是节点  $i$  和  $j$  的直方图。

同时, 将两点间的边权定义为:

$$w_{ij} = e^{-\frac{\chi^2(h_i, h_j)}{\sigma_c}} \quad (6)$$

$i$  和  $j$  间的直方图差异越大, 即  $\chi^2$  越大, 则边权  $w_{ij}$  越小。

算法步骤如下: (1)对待分割图像使用本文构建的滤波器阵列进行滤波, 并进行非线性和平滑操作。(2)连接纹理特征与色彩特征组成纹理-色彩特征向量, 对特征向量尺度化并进行降维。(3)对纹理-色彩特征向量进行  $K$ -均值聚类, 并将每个像素点的聚类号映射到标记图上。(4)使用本文定义的直方图作为彩色纹理的统计模型, 并用直方图差定义两点间的边权。(5)将标记图映射到图上, 使用规范割准则分割图, 将分割结果映射回待分割图像, 得到最终的分割。

## 5 实验结果与分析

实验使用多幅从 VisTex 彩色纹理库中随机选择的纹理组成人工拼接彩色纹理对本文算法进行验证, 并将其与原始规范割算法以及纹理分割中经常使用的基于 Gabor 滤波器的聚类算法进行比较。图 1 和图 2 分别是利用 3 种算法对三纹理拼接图像和四纹理拼接图像的分割效果对比。2 幅原始纹理拼接图像的大小均为  $200 \times 200$  像素。

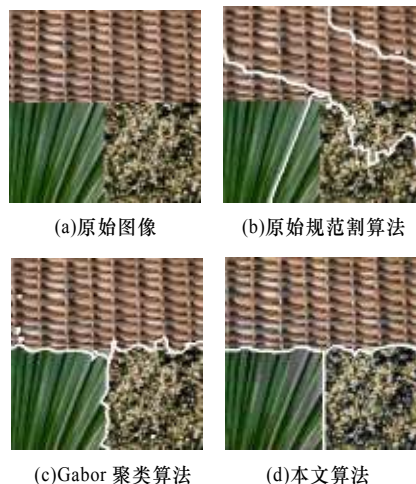


图 1 三纹理拼接图像分割效果对比

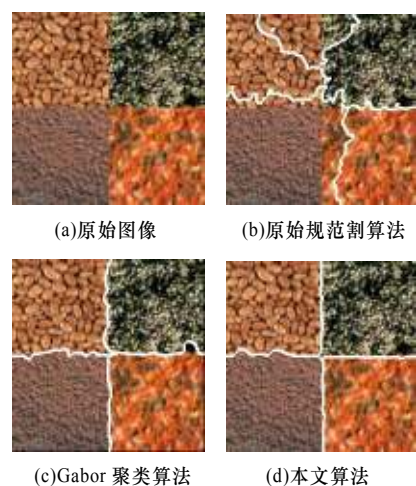


图 2 四纹理拼接图像分割效果对比

由图 1、图 2 可以观察到, 原始规范割由于使用的特征不能表现像素点的区域纹理特性, 因此几乎不能将不同的纹理进行正确的区分。基于 Gabor 滤波器的聚类算法虽然能够将纹理大致分为几类, 但其在纹理拼接处产生了严重的误分割, 特别是对图 1, 甚至将一种纹理内部的小部分区域误分割为其他纹理。相比之下, 本文算法能够较为精确地分割出不同的纹理。

## 6 结束语

本文提出了一种基于滤波器阵列与图割的彩色纹理分割算法。该算法使用像素点邻域的纹理特征统计数据计算两点间的纹理相似度, 解决了原始规范割算法仅使用图像亮度与距离计算两点间的相似度而不能应用于纹理分割的问题。由实验结果可以看出, 由于不同纹理拼接处像素的局部纹理特性并不明显, 因此本文算法在纹理拼接处产生了部分误分割, 但分割结果仍明显优于在纹理拼接处产生严重误分割的 Gabor 聚类算法以及根本无法正确区分纹理的原始规范割算法。但本文算法复杂度较高, 运行时间较长, 因此, 进一步的研究方向是降低算法复杂度, 并提高计算速度。

### 参考文献

- [1] 刘 丽, 匡纲要. 图像纹理特征提取方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4): 622-635.
- [2] Randen T, Husoy J H. Filtering for Texture Classification: A Comparative Study[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(4): 291-310.
- [3] Shi Jianbo, Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905.
- [4] Wu Zhenyu, Leahy R. An Optimal Graph Theoretic Approach to Data Clustering: Theory and Its Application to Image Segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(11): 1101-1113.
- [5] 周四龙, 梁 栋, 王 慧, 等. 基于四叉树与图割的遥感图像分割方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(8): 224-226.
- [6] Varma M, Zisserman A. Unifying Statistical Texture Classification Frameworks[J]. Image and Vision Computing, 2004, 22(14): 1175-1183.

编辑 张 帆

(上接第 216 页)

## 5 结束语

改进后的蚁群算法应用在林火扑救中能较好地解决森林扑火选择最优路径的问题。通过仿真实验比较结果证明, 改进的算法能在较短的时间内找出最符合实际要求的路径。但现在对蚁群算法的研究还未提出一个比较完善的理论体系, 大多只停留在仿真阶段, 而且对它的有效性也没有一个严格的数学证明, 所以今后要进一步加强蚁群算法数学方面的深入探索研究, 以使其更具实用性。

### 参考文献

- [1] 刘志宇, 杨 柳. 一种改进的 Dijkstra 算法在嵌入式 GIS 中的应用[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(12): 261-283.
- [2] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colonies for Traveling Salesman

Problem[J]. BioSystems, 1997: 43(2): 73-81.

- [3] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [4] 王国华, 肖化顺, 赵春燕. 基于 MapX 的林火扑救最优路径的设计与实现[J]. 中南林业调查规划, 2008, 27(3): 35-41.
- [5] 张 泓, 李爱萍, 刘雪梅. 面向 TSP 求解的混合蚁群算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(8): 34-37.
- [6] 高世伟, 郭 雷, 杜亚琴, 等. 一种基于动态加权规则的自适应蚁群算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(7): 1741-1743.
- [7] 浦争艳, 李明禄, 李治洪. 复杂网络环境下一种面向对象的最优路径算法研究[J]. 计算机工程, 2004, 30(16): 80-81.

编辑 金胡考