

# 一种鲁棒的多特征彩色图像检索新方法

王向阳<sup>1,2)</sup> 芦婷婷<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116029) <sup>2)</sup>(南京邮电大学图像处理与图像通信重点实验室, 南京 210003)

**摘要** 为了提高彩色图像检索的准确性,以回归型支持向量机(SVR)理论为基础,结合重要的图像边缘信息,提出了一种鲁棒的多特征彩色图像检索新方法。该方法首先利用回归型支持向量机(SVR)理论,对原始图像进行去噪处理及彩色边缘提取;然后将整个彩色边缘划分成局部网格区域,并分别计算出每个网格区域的颜色直方图和纹理直方图;最后综合利用上述网格区域的颜色直方图和纹理直方图来计算图像间内容的相似度,并进行彩色图像检索。实验结果表明,该方法不仅能够准确、快速的检索出用户所需图像,而且对光照、锐化、模糊等噪声攻击均具有较好的鲁棒性。

**关键词** 图像检索 回归型支持向量机 彩色边缘 噪声

**中图分类号:** TP391.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)10-1757-04

## A Robust Content-based Color Image Retrieval Using Multiple Features

WANG Xiang-yang<sup>1,2)</sup>, LU Ting-ting<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

<sup>2)</sup>(Key Laboratory of Image Processing and Image Communication, Nanjing University of Posts and Communications, Nanjing 210003)

**Abstract** In this paper, a robust content-based color image retrieval algorithm using multiple features is proposed. This algorithm takes into consideration the important image edges and utilizes the support vector regression (SVR) theory. Firstly, the image denoising and color edge detection are performed using the SVR classification. Secondly, the whole color edge is divided into local grids; and the color histograms and texture histograms for local grids are computed as image features. Finally, the similarity between color images is computed by using a combined feature index based on the color histogram and texture histogram for local grids. Experimental experiments, including comparisons with many state-of-the-arts, show the effectiveness of our algorithm in improving the retrieval performance (especially for noisy images).

**Keywords** image retrieval, support vector regression (SVR), color edge, noise

## 1 引言

为了能够从浩瀚的图像数据库中快速、准确地找到用户所需的内容,基于内容的图像检索(content based image retrieval, CBIR)技术得到了人们广泛关注,并已成为国际学术界研究的一个热点<sup>[1,2]</sup>。近年来,基于内容的图像检索技术研究取得了很大进展,并陆续提出了一系列图像检索算法<sup>[1]</sup>,但遗憾的是,现有绝大多数图像检索方案均存在丢失空间

分布信息、特征维数过高、无法有效检索含噪声图像等问题<sup>[3-6]</sup>。

边缘是图像局部变化最显著的部分,也是人类理解图像内容的重要线索,其在图像分析和理解中有重要价值。本文以性能优越的回归型支持向量机(support vector regression, SVR)理论为基础,结合重要的彩色边缘信息,提出了一种鲁棒的多特征彩色图像检索新方法,其不仅能够准确、快速的检索出用户所需图像,而且对光照、锐化、模糊等噪声攻击均具有较好的鲁棒性。

**基金项目:**视觉与听觉信息处理国家重点实验室(北京大学)开放基金项目(0503);“图像处理与图像通信”江苏省重点实验室(南京邮电大学)开放基金(ZK205014)项目

**收稿日期:**2007-06-01; **改回日期:**2007-07-01

**第一作者简介:**王向阳(1965~),男,教授。主要研究领域为多媒体信息处理技术、信息安全技术。E-mail: wxy37@126.com

## 2 图像去噪与彩色边缘提取

### 2.1 基于 SVR 的图像去噪

基于 SVR 的图像去噪原理为先结合实例训练数据,再利用回归型支持向量机理论构建逼近理想滤波映射的 SVR 模型,并以此作为去噪滤波器。

(1) 特征向量的构造 本文将依据像素  $\hat{I}(x, y)$  及与其八邻域组成的 9 元组信息来重构  $\bar{I}(x, y)$ , 以抑制噪声对  $\hat{I}(x, y)$  的影响。为此,按先行后列的原则由该 9 元组生成滤波输入向量(即特征向量)  $\Omega(x, y)$ 。

(2) SVR 训练 理想的滤波映射为

$$f: \Omega(x, y) \rightarrow I(x, y)$$

为此,按下述方式采集实例学习样本:首先选择特定图像作为滤波映射  $f(\cdot)$  的输出,然后人为加入噪声得到  $\hat{I}(x, y)$ ,在此基础上再按上述滤波输入向量生成机制获得训练特征向量  $\Omega(x, y)$ ,即滤波映射  $f(\cdot)$  的输入。于是可得到训练样本

$$\{ \Omega(x, y), I(x, y) \}$$

通过进行训练学习,即可获得 SVR 训练模型,并可将其作为图像去噪滤波器。

### 2.2 基于 SVR 的彩色边缘提取

基于 SVR 的彩色边缘提取过程为:首先依据图像邻域灰度分布的有序性、方向性及灰度突变的结构特性,构造出全面刻画图像边缘本质的特征向量;然后利用 SVR 理论对特征向量数据集进行训练和分类,以实现图像边缘点的检测。以下选取邻域一致性分量、边缘方向分量及边缘梯度分量作为特征向量。其中

(1) 邻域一致性分量 图像邻域一致性分量定义为

$$R_{i,j} = \max_k \{ |fS_{k_1} - fS_{k_2}| / [L(2L+1)] \} \quad (k=1, 2, \dots, N)$$

式中,  $fS_{k_1} = \sum_{(m,n) \in S_{k_1}} x_{m,n}$ ,  $fS_{k_2} = \sum_{(m,n) \in S_{k_2}} x_{m,n}$ , 其中,  $x_{m,n}$  表示像素点  $(m, n)$  的灰度值。

(2) 边缘方向分量 设图像当前像素点的坐标为  $(i, j)$ ,  $I_\theta$  是过中心点,且角度为  $\theta$  的一条直线,并且将该邻域分成两部分  $S_{\theta_1}, S_{\theta_2}$ , 则边缘方向性分量定义为

$$M_{i,j} = e_{\theta, \max} - e_{\theta, \min}$$

式中,  $e_{\theta, \max} = \max_{0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ} (e_\theta)$ ,  $e_{\theta, \min} = \min_{0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ} (e_\theta)$ ,  $e_\theta = |fS_{\theta_1} - fS_{\theta_2}|$ 。

(3) 边缘梯度分量 设图像当前像素点的坐标为  $(i, j)$ , 则基于梯度分布的分量为

$$C_{i,j} = \max_{0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ} \sum_{(m,n) \in I_\theta} g(m,n) / (2L+1)$$

式中,  $g(m, n)$  表示点  $(m, n)$  处的梯度幅值。

于是可利用邻域一致性分量  $R_{i,j}$ 、边缘方向分量  $M_{i,j}$  及边缘梯度分量  $C_{i,j}$  构造出边缘点的特征向量

$$\Omega = \{ C_{i,j}, M_{i,j}, R_{i,j} \}$$

再结合 SVR 理论对特征向量数据集  $\Phi$  进行训练和分类,即可实现对图像边缘点的检测(获得图像的二值边缘),最后根据原始图像与二值边缘的对应关系,即可得到原始图像的彩色边缘信息。

## 3 彩色边缘的网格划分

为了充分利用彩色边缘的颜色统计信息,同时考虑彩色边缘像素点的径向与角向分布特性,本文将整个彩色边缘划分成局部网格区域,然后提取每个网格区域的特征,用于图像检索。

设  $R$  是具有定性质的点组合的区域(即彩色边缘),  $P = \{ (x, y) \mid (x, y) \in R \}$  为属于区域  $R$  的点的集合,设区域  $R$  的几何中心坐标为  $p_c = (x_c, y_c)$ , 则得到集合  $P$  中任意点  $(x, y)$  的“极坐标”表示  $(r, \theta)$ 。相应的变换公式如下:

$$r = [(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2]^{1/2}, \theta = \arctan \frac{y - y_c}{x - x_c}$$

式中,  $r$  为任意点  $(x, y)$  到几何中心点  $(x_c, y_c)$  的距离,它描述了各点对几何中心点的径向分布,表示区域  $R$  对其几何中心的展开程度;  $\theta$  描述了该区域的角向分布,表示其在某一个角度范围内的分布情况。

设集合  $P$  中距离中心点  $p_c = (x_c, y_c)$  最远的点为  $p_{\text{farther}} = (x_{\max}, y_{\max})$ , 其与  $p_c$  的距离为

$$r_{\max} = [(x_c - x_{\max})^2 - (y_c - y_{\max})^2]^{1/2}$$

若将径向均分成  $M$  ( $M$  为正整数) 等份, 而将角向均分成  $N$  ( $N$  为正整数) 等份, 则径向  $r$  与角向  $\theta$  的间隔分别为

$$d_r = r_{\max} / M, d_\theta = 2\pi / N$$

于是区域  $R$  (即彩色边缘) 被划分成一系列网格区域(共  $M \times N$  个), 而网格  $s(r_i, \theta_j)$  可表示为

$$s(r_i, \theta_j) = \{ (r, \theta) \mid r \in [r_i, r_i + d_r], \theta \in [\theta_j, \theta_j + d_\theta] \}$$

其中,  $i, j$  分别用于控制径向与角向,  $d_r, d_\theta$  分别表示径向  $r$  与角向  $\theta$  的变化幅度。

## 4 多特征彩色图像检索

### 4.1 彩色图像的量化处理

本文在符合人眼视觉系统的 HSV 空间内,采纳了简单快捷的查色表(color-lookup table)颜色量化技术。同时,将量化后的 3 个颜色分量  $H, S, V$  组合成 1 维特征颜色分量  $L$ ,并用于特征提取。

$$L = \begin{cases} 0 & \text{如果 } v < 0.2 \\ [(V - 0.2) \times 7 / 0.8] & \text{如果 } S < 0.2, V \geq 0.2 \\ 4H + 2S + V + 8 & \text{否则} \end{cases}$$

其中,  $[\alpha]$  表示不小于  $\alpha$  的最小整数。

### 4.2 特征的提取

与现有的方法不同,本文先选取网格区域的 1 维特征颜色分量  $L$  的颜色全局分块直方图作为颜色特征;然后通过色彩量化处理,使网格区域  $s(r_i, \theta_j)$  内的每个边缘像素点  $p(x, y)$  都对应 HSV 空间的一个 1 维特征颜色分量  $L$ ;最后统计该特征颜色分量  $L$  的累加和便可得到网格区域的颜色特征  $F_c(r_i, \theta_j)$  (下角 C 代表 color) ( $N_{\text{count}}$  为网格区域内的边缘点数量),即

$$F_c(r_i, \theta_j) = \sum_{i=1}^{N_{\text{count}}} L(r, \theta)$$

其中,  $r \in [r_i, r_i + d_r], \theta \in [\theta_j, \theta_j + d_\theta]$

纹理通常定义为图像的某种局部性质,是相邻像素的灰度(颜色)空间相关性或灰度(颜色)空间位置变化的视觉表现,其具有不依赖于颜色或亮度即可反映图像中同质现象的特点。实践表明,利用纹理特征进行图像检索是一种非常有效的途径。

本文选取网格区域  $s(r_i, \theta_j)$  所包含的边缘像素点数目作为其纹理特征  $F_T(r_i, \theta_j)$  (下角 T 代表 texture),即

$$F_T(r_i, \theta_j) = N_{\text{count}}$$

### 4.3 相似性的度量

本文采用城区距离(city-block,即  $L_1$  距离)  $S$  计算示例图像  $Q$  与数据库图像  $I$  之间各归一化特征的相似程度。显然,当示例图像  $Q$  与数据库图像  $I$  的城区距离  $S = 1$  时,则两幅图像相似;当  $S = 0$  时,则两幅图像不相似。相似度的计算公式如下(特征已经过归一化)。

(1) 颜色相似度

$$S_c(I, Q) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F_c^I(r_i, \theta_j) - F_c^Q(r_i, \theta_j)|$$

其中,

$$F_c(r_i, \theta_j) = F_c(r_i, \theta_j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_c(r_i, \theta_j)$$

(2) 纹理相似度

$$S_T(I, Q) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F_T^I(r_i, \theta_j) - F_T^Q(r_i, \theta_j)|$$

其中,

$$F_T(r_i, \theta_j) = F_T(r_i, \theta_j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_T(r_i, \theta_j)$$

于是示例图像  $Q$  与数据库图像  $I$  的相似度是各特征相似度的加权平均,即

$$S(I, Q) = w_c S_c + w_T S_T, \text{ 且 } w_c + w_T = 1$$

需要指出的是,根据以上相似度计算公式计算,由于  $S(Q, I)$  与  $S(I, Q)$  的值一般是不同的,因此,本文将示例图像  $Q$  与数据库图像  $I$  的总体相似度定义为平均相似度  $\bar{S}(Q, I)$ ,即

$$\bar{S}(Q, I) = \frac{S(I, Q) + S(Q, I)}{2}$$

这样进行图像检索时,可首先利用平均相似度计算公式计算出数据库中的每一幅图像  $I$  与示例图像  $Q$  之间的相似度,然后按照相似度由大到小的顺序返回基于内容图像检索的查询结果。

## 5 仿真实验与结论

为了验证本文算法的工作性能,采用 Corel 图像库进行了多特征彩色图像检索实验,并与传统颜色直方图方法进行了对比。实验中,选用了 SIMPLcity 系统使用的测试集 (<http://wang.ist.psu.edu/docs/related>) 作为图像库,该测试集是从 Corel 图像库中选取的,共包含有 10 个语义类(包括 Bus、Flower、Horse 等),其中,每个语义类包含有 100 幅图像;同时,将彩色边缘的径向均分成  $M = 20$  份,角向均分成  $N = 8$  份,权重值选取为  $w_T = w_c = 0.5$ 。进行训练时,则采用高斯径向基函数作为核函数。另外,为评价图像检索算法的效果,同时考虑到检索系统返回的相似图像数目(不是所有)不适宜采用常规的查准率(precision)和查全率(recall)评价指标,故本文采用了 Tan Kian-Lee 等提出的“标准查准率(normal precision)”和“标准查全率(normal recall)”作为相似检索效果的评价准则<sup>[2]</sup>。

为了说明算法的鲁棒性,首先从测试图像库的每类语义图像中随机抽取 30 幅图像(共计 300 幅);然后对这 300 幅图像分别进行加噪处理(包括

模糊、锐化、光照、滤波等);最后将上述 300 幅含噪声图像与原来的 1000 幅图像集中在一起,构成新的测试图像库进行检索。

检索时,从上述新测试图像库(内含有噪声图像)中,每类随机抽取 5 幅作为示例图像,共构成 50 次查询,每次查询选取前 20 幅最相似的图像作为检索结果。对于每类图像而言,需计算其 5 次查询结果的标准查准率平均值、标准查全率平均值,并将其作为该类图像的平均标准查准率和平均标准查全率(如表 1 所示)。

表 1 两种方法的平均检索性能对照

Tab.1 The retrieval results for two retrieval methods

图像类别	平均标准查准率(%)		平均标准查全率(%)	
	传统颜色直方图法	本文方法	传统颜色直方图法	本文方法
Flower	75.0	88.4	14.5	16.5
Horse	77.3	92.4	17.8	19.4
Dinosaur	72.2	78.9	16.2	17.3
Building	35.0	59.7	12.7	14.8
Bus	67.5	78.5	13.5	15.2

基于内容的图像检索是正处于发展过程中的一门全新、跨学科、综合性高新技术,其研究与发展涉及认知科学、人工智能、模式识别、图像处理等众多学科分支。研究行之有效的图像综合特征提取算法,对提高图像检索系统的性能有着重要而积极的作用。本文以性能优越的回归型支持向量机理论为基础,结合重要的图像边缘信息,提出了一种鲁棒的多特征彩色图像检索新方法。该方法首先利用回归型支持向量机理论,对原始图像进行去噪处理及彩

色边缘提取;然后将整个彩色边缘划分成局部网格区域,并分别计算出每个网格区域的颜色直方图和纹理直方图;最后综合利用上述网格区域的颜色直方图和纹理直方图计算图像间内容的相似度,并进行彩色图像检索。仿真实验结果表明,本文算法能够准确和高效地找出用户所需内容的彩色图像,并且具有较好的查准率和查全率(特别对于含噪声图像)。

## 参考文献 (References)

- 1 Datta Ritendra, Li Jia, Wang James Z. Content-based image retrieval-approaches and trends of the new age[A]. In: Proceedings of the 7th International Workshop on Multimedia Information Retrieval, in Conjunction with ACM International Conference on Multimedia[C], Singapore, 2005: 253 ~ 262.
- 2 Vogel J, Schiele B. Performance evaluation and optimization for content-based image retrieval [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(5): 897 ~ 909.
- 3 Jeong S, Won C S, Gray R M. Image retrieval using color histograms generated by Gauss mixture vector quantization[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 9(1-3): 44 ~ 46.
- 4 Eauqueur J, Boujemaa N. Region-based image retrieval: Fast coarse segmentation and fine color description [J]. Journal of Vision Languages and Computing (JVLC), Special Issue on Vision Information System, 2004, 15(1): 69 ~ 95.
- 5 Ediz Saykol, Ugur Gudukbay, Ozgur Ulusoy. A histogram-based approach for object-based query-by-shape-and-color in image and video databases[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(13): 1170 ~ 1180.
- 6 Wang Yi, Zhai Hong-chen, Liang Yang-mei, et al. The shape descriptor and its application in image retrieval[J]. Science in China (Series E), 2004, 34(3): 337 ~ 344. [王熠, 翟宏琛, 梁艳梅等. 形态描述矩阵及其在彩色图像检索与识别中的应用[J]. 中国科学(E 辑), 2004, 34(3): 337 ~ 344.]