

基于边缘网格的图像检索算法研究

杨红颖^{1,2)} 芦婷婷¹⁾ 王向阳^{1,2)}

¹⁾(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116029) ²⁾(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 为了准确高效地进行彩色图像检索, 结合图像空间分布特性, 提出了一种基于边缘网格的图像检索新算法, 不仅利用了彩色边缘的颜色统计信息, 而且考虑了彩色边缘像素点的径向与角向分布特性。该算法首先利用Canny检测算子提取出原始图像的彩色边缘信息; 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性, 用于进行彩色图像检索。仿真实验表明, 该算法不仅能够准确和高效地查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。

关键词 图像检索 彩色边缘 网格区域

中图分类号: TP391.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)11-1682-04

An Image Retrieval Algorithm Based on The Edge Grid

YANG Hong-ying^{1,2)}, LU Ting-ting¹⁾, WANG Xiang-yang^{1,2)}

¹⁾(School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

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

Abstract In this paper, a new image retrieval method based on the edge grid is proposed. Firstly, the color edge is extracted by using canny detection operator. Secondly, the whole color edge is divided to some local grids, and the color histogram and texture histogram for local grid 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 results show that the proposed image retrieval is more accurate and efficient in retrieving the user-interested images.

Keywords image retrieval, color edge, local grid

1 引言

为了能够从大量的图像数据中快速、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) 技术得到了广泛关注, 并已成为国际学术界研究的一个热点^[1]。图像的内容主要包括颜色、纹理、形状以及对对象空间位置关系等。由于颜色是图像最直观的特征, 也是图像视觉重要的感知特性之一, 其不仅与图像中的物体和场景密切相关, 而且对图像本身尺寸、方向、视角

的依赖性较小, 因此基于颜色的图像查询是基于内容的图像检索中最基本和最重要的方法^[2]。但是, 由于传统基于颜色的检索技术普遍未考虑图像空间位置特征, 故检索效果很不理想^[3-5]。

大家知道, 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。尽管边缘通常处于图像内容中有“意义”的变化位置, 其虽能够很好表征图像的内容特征, 但却很少在图像检索领域得到应用。

本文提出了一种基于彩色边缘网格直方图的图像检索方法, 其不仅利用了彩色边缘的颜色统计信

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(20032100); 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)

收稿日期: 2006-05-02; **改回日期**: 2006-08-03

第一作者简介: 杨红颖(1965~), 女, 1989年在辽宁师范大学获学士学位, 副教授。主要研究领域为多媒体技术、计算机辅助教学。

E-mail: yhy65@dl.cn

息,而且考虑了彩色边缘像素点的径向与角向分布特性。该方法首先利用 Canny 检测算子提取出原始图像的彩色边缘信息;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,用于进行彩色图像检索。

2 彩色边缘提取与网格划分

2.1 彩色边缘的提取

图像边缘对人类视觉系统具有重要意义,因为它既是人类判别物体的重要依据,也是图像的最基本特征之一。故图像边缘信息可广泛应用于模式识别、机器视觉、图像分割、特征提取、图像压缩等诸多领域。常用的边缘检测方法包括 Kirsch、Sobel、Laplacian-Gaussian、Canny 算子等。本文采用了性能优良的滤波后 Canny 算子^[6]来提取彩色边缘信息,其能够较好地勾画出原始图像连续边缘。

彩色边缘提取包括两个关键步骤,即首先利用 Canny 边缘检测算法得到原始图像的二值边缘,然后再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。

2.2 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,本文先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特征并进行图像检索。

设 R 是具有一定性质的点组合的区域(即彩色边缘), $P = \{(x, y) | (x, y) \in R\}$ 为属于区域 R 的点的集合,设区域 R 的几何中心坐标为 $p_c(x_c, y_c)$ (下角 c 代表 center),则得到集合 P 中任意点 (x, y) 的“极坐标”表示 (r, θ) 。相应的变换公式如下:

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

其中, r 为任意点 (x, y) 到几何中心 (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; θ 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 $p_{\max}(x_{\max}, y_{\max})$, 其与 p_c 的距离为

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

如果将径向均分成 M (M 为正整数)等份,将角向均分成 N (N 为正整数)等份,则径向 d_r (下角 r 代表 radius)与角向 d_a (下角 a 代表 angle)的间隔分别为

$$d_r = r_{\max}/M, d_a = 2\pi/N \quad (3)$$

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 $s(r_i, \theta_j)$ 则可以表示为

$$s(r_i, \theta_j) = \{(r, \theta) | r \in [r_i, r_i + d_r], \theta \in [\theta_j, \theta_j + d_a]\} \quad (4)$$

其中, i, j 分别控制径向与角向, d_r, d_a 分别表示径向与角向的变化幅度。

3 基于边缘网格直方图的图像检索

3.1 颜色空间选取及色彩量化处理

一般说来,图像检索必须在特定的颜色空间内进行^[2]。HSV 颜色空间既反映了人眼视觉观察彩色的方式,同时也有利于图像处理。HSV 颜色空间有两个重要的特点:(1)亮度分量 V 与彩色信息无关;(2)色调分量 H 和饱和度分量 S 与人感受彩色的方式紧密相连。这些特点使得 HSV 颜色空间非常适合于借助人眼视觉系统来感知彩色特性的图像处理方法。为此,本文选取 HSV 颜色空间进行彩色图像检索。

另外,从理论上讲,虽然直接利用真彩色图像进行特征抽取和图像检索将产生最小的误差,但却会导致计算时间及存储空间的迅速膨胀,因此采用真彩色进行图像检索不利于实际应用。事实上,一幅图像内所包含的实际颜色数只是全部颜色数一个很小的子集,而且通过进一步观察发现,图像内的实际颜色中若干主要色彩覆盖了其中的绝大多数像素。如果以这些主要色彩来表示图像,尽管图像质量会有所下降,但并不影响人们对图像内容的正确理解。近年来,人们陆续提出了诸如向量量化、聚类、神经网络等一系列颜色量化方法,虽有效地减少了图像中的颜色信息,但也在不同程度上增加了系统的工作时间。为了取得检索效果与检索时间的良好平衡,本文采纳了如下简单快捷的量化方法:

$$H = \begin{cases} 0, & \text{如果 } H \in (0, 22] \\ 1, & \text{如果 } H \in (22, 45] \\ 2, & \text{如果 } H \in (45, 70] \\ 3, & \text{如果 } H \in (70, 155] \\ 4, & \text{如果 } H \in (155, 186] \\ 5, & \text{如果 } H \in (186, 278] \\ 6, & \text{如果 } H \in (278, 330] \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{如果 } S \in (0.2, 0.65] \\ 1, & \text{如果 } S \in (0.65, 1] \end{cases}, \quad (5)$$

$$V = \begin{cases} 0, & \text{如果 } V \in (0.2, 0.7] \\ 1, & \text{如果 } S \in (0.7, 1] \end{cases}$$

接下来,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。

$$L = \begin{cases} 0 & \text{如果 } V < 0.2 \\ [(V - 0.2) \times 7 / 0.8] & \text{如果 } S < 0.2, V \geq 0.2 \\ 4H + 2S + V + 8 & \text{否则} \end{cases} \quad (6)$$

其中, $[\alpha]$ 表示不小于 α 的最小整数。

3.2 特征的提取

颜色特征是在图像检索中应用最为广泛的视觉特征,其原因在于颜色往往和图像中所包含的物体或场景十分相关。

与现有方法不同,本文选取网格区域 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。通过颜色空间转换及色彩量化处理,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 ,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 $F_c(r_i, \theta_j)$ (K 为网格区域内的边缘点数量,下角 C 代表 color)

$$F_c(r_i, \theta_j) = \sum_{i=1}^K L(r, \theta) \quad (7)$$

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,也是相邻像素的灰度(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。实践证明,利用纹理特征进行图像检索是一种非常有效的手段^[1]。

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

$$F_T(r_i, \theta_j) = K \quad \text{或者}$$

$$F_T(r_i, \theta_j) = \{(r, \theta) | r \in [r_i, r_i + d_r], \theta \in [\theta_j, \theta_j + d_\theta]\} \quad (8)$$

3.3 相似性的度量

本文采用城区距离(city-block,即距离 D) 计算示例图像 Q 与数据库图像 I 之间各个归一化特征的相似程度。相似度的计算公式如下(特征已经过归一化)。

(1) 颜色相似度

$$s_c(I, Q) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F_c^I(r_i, \theta_j) - F_c^Q(r_i, \theta_j)|}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_c(r_i, \theta_j)} \quad (9)$$

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

$$s_T(I, Q) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F_T^I(r_i, \theta_j) - F_T^Q(r_i, \theta_j)|}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F_T(r_i, \theta_j)} \quad (10)$$

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

$$s(I, Q) = w_c s_c + w_T s_T, \text{ 且 } w_c + w_T = 1$$

显然,当示例图像 Q 与数据库图像 I 的城区距离(即相似度) $s = 1$ 时,两幅图像相似;当 $s = 0$ 时,两幅图像不相似。

4 仿真实验与结论

为了验证本文算法的工作性能,以下给出了基于彩色边缘特征的图像检索实验结果,并与传统的颜色直方图方法进行了对比。实验中,首先选用了 SIMPLIcity 系统使用的测试集作为图像库,该测试集是从 Corel 图像库中选取的,共包含有 10 个语义类(如表 1 所示)。其中,每个语义类包含有 100 幅图像,共计 1000 幅图像。然后,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 $w_T = w_c = 0.5$ 。

表 1 测试图像库包含的图像语义类

Tab. 1 The semantic class in image test database

类号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
语义类	Bus	Horse	Flower	Scenery	Building	Elephant	People	Beach	Dinosaur	Dish

另外,为进一步评价图像检索算法的性能,本文还进行评价了图像检索系统的查准率(precision)和查全率(recall)。查全率、查准率分别为

$$R_{\text{Recall}} = \frac{N_1}{N}, R_{\text{Precision}} = \frac{N_1}{N_2}$$

其中, N 为所有相关图像数目, N_1 为检索到的相关

图像数目, N_2 为已检索出的图像数目。

一般说来,查全率和查准率越高,相应的图像检索算法性能越好;反之,就越差。

实验时,首先在图像库中选取 5 类(花、马、恐龙、建筑物、汽车)图像,每类随机抽取 5 幅图像作为示例图像,总共构成 25 次查询,然后将每次查询选取前的 20 幅最相似的图像作为检索结果。对于每类图像而言,则同时计算其 5 次查询结果的查准率和查全率的平均值,并将其作为该类图像的平均查准率和平均查全率(如表 2 所示)。

表 2 两种图像检索方法的性能对照

Tab. 2 The average retrieval performance for two methods

图像类别	平均查准率(%)		平均查全率(%)	
	传统颜色直方图法	本文方法	传统颜色直方图法	本文方法
花	68.0	92.3	13.6	25.8
马	74.2	98.2	16.5	28.6
恐龙	60.1	86.0	15.0	26.5
建筑	34.0	62.6	10.2	22.5
汽车	53.2	70.5	12.6	24.1

目前,基于内容的图像检索仍然是一个开放性的研究课题,其研究涉及认知科学、人工智能、模式识别、图像处理和信息检索等多个领域。为了其能够适应各个领域应用,本文提出了一种基于彩色边缘网格直方图的图像检索方法,该方法首先利用 Canny 检测算子提取出原始图像的彩色边缘信息;

然后将整个彩色边缘划分成局部网格区域,同时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,用于进行彩色图像检索。由于该图像检索方案不仅利用了重要的边缘颜色信息,而且考虑了颜色信息的空间分布,因此检索效果较好。仿真实验表明,该方法不仅能够准确和高效地查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。

参考文献 (References)

- 1 Veltkamp R C, Tanase M. Content-based image retrieval systems: A Survey [R], UU-CS-2000-34, Department of Computer Science, Utrecht University, Netherlands, 2002.
- 2 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.
- 3 Swain M, Ballard D. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11 ~ 32.
- 4 Li Xue-long. Image retrieval based on perceptive weighted color blocks [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24 (12): 1935 ~ 1941.
- 5 John Z M. An information theoretic approach to content based image retrieval [D]. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, Louisiana, USA, 2000; 45 ~ 62.
- 6 Abdolah C, Golshah N, Alfred M. Sketch-based image matching using angular partitioning [J]. IEEE Transactions on Pattern Systems and Humans, 2005, 35(1): 28 ~ 41.