

基于结构图的手绘草图检索

高竹红, 汤进, 罗斌

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要:提出一种基于结构图的草图检索方法,在保持图像大致形状的基础上对图像的轮廓数据进行有效的降维处理,解决了轮廓的起点选择、旋转、平移以及缩放等不变性,形成了图像的标准化形状描述子,并生成相应的结构图,提取结构图的四种特征,分别进行形似性度量。实验表明文中方法能够用来有效地进行草图检索。

关键词:结构图;草图检索;标准化形状描述子;图谱特征

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)03-0032-04

Sketch Retrieval Based on Structural Graph

GAO Zhu-hong, TANG Jin, LUO Bin

(Ministry of Education Key Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing,
Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: A sketch retrieval method is proposed based on structural graph representation in this paper. The dimensionality of contour representation is reduced while the shape of the sketch is reasonably maintained. It is invariant while starting point is different or rotation, translation and scaling of the contours are existed. A normalized shape descriptor is constructed and corresponding structural graph is generated. With the graph representation in hand, four kinds of graph spectral features are calculated to compare the similarity of the graphs. Experimental results show that the proposed method can be used to retrieve sketch database effectively.

Key words: structural graph; sketch retrieval; normalized shape descriptor; graph spectral features

1 概述

随着 Internet 以及多媒体数据库的不断发展,基于内容的图像检索成为一个活跃的研究领域^[1]。然而,仅仅根据已有的图像进行检索已远远不能满足用户的需要,还应该能够给用户提供一个手绘图形的检索平台,让用户能够根据自己的需要绘制草图,然后检索出自己想要的结果。1998年10月提出的 MPEG-7 标准中对视觉信息的描述就明确规定了对草图的描述,而对于草图基本上都是用形状来进行描述的。目前对形状描述已经提出了多种方法,其中大部分是基于物体轮廓(边界)的,主要通过抽取如边界长度、曲率、外接矩形等形状特征进行比较的^[2],而这只是物体形状特征中的部分特征,是比较粗略的形状描述子。它的优点是直观性强且计算简单,而它的缺点也很明显,即所提取的形状信息不完全,特征值与具体形状之

间不是一一对应的关系而是一对多的关系。因此这类特征不适用于鉴别轮廓的细节。另一种用得最多的是傅里叶描述子^[1],虽然用傅里叶描述子来描述草图的轮廓信息取得了一定的进步,但是仍然有它的局限性^[3,4]。文中用结构图的谱特征描述形状库和手绘草图,形成的草图检索系统具有较高的检索精度。

2 基于结构图的手绘草图检索系统

基于结构图的手绘草图检索的基本思路:首先通过对用户提交的一幅手绘草图进行轮廓提取,并对生成的轮廓进行处理,生成结构图(Structural Graph),然后提取结构图的特征,再进行相似性比较,最后将检索结果返回给用户。

基于结构图的手绘草图检索的系统流程图如图1所示。

3 轮廓提取

对于用户提交的草图,提出了一种基于八连通域的方向自适应跟踪算法来对草图进行轮廓提取。以 $I(x, y)$ 表示原始图像, $C(x, y)$ 表示轮廓的二值图

收稿日期:2007-06-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60375010)

作者简介:高竹红(1982-),男,安徽望江人,硕士研究生,研究方向为图像处理和模式识别;罗斌,教授,博导,研究方向为模式识别与人工智能。

像,并定义一个方向数组 D (由图2所定义) 和当前方向 di ,从正右方开始按照逆时针方向分别为 1,2,⋯,8。具体算法描述如下:

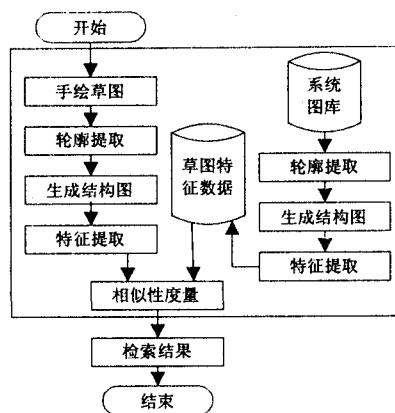


图1 基于结构图的手绘草图检索系统流程图

1) 初始化:将 C 清零,令 $di = 3$ (因为是按照行扫描),方向数组 D 按照图2所示的进行赋值;

2) 按照从左到右逐行扫描原始图像 I ,得到轮廓的起始点 (m, n) ,令 $C(m, n) = 1$;

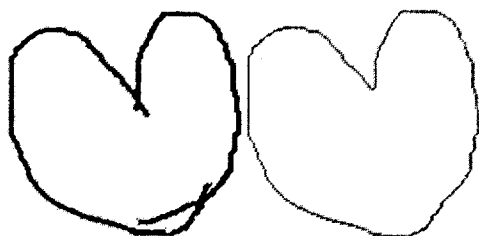
3) 依次根据 D 的第 di 行定义的方向进行搜索 (如 $di = 1$ 时按照 7,8,1,2,3,4,6,5 的顺序),找到下一个边界点 (m', n') ,令 $C(m', n') = 1$,再将 di 改为找到边界点时所对应的顺序;

4) 判断点 (m', n') 是否与点 (m, n) 重合,是则退出,否则返回3)。

$$D = \begin{bmatrix} 7 & 8 & 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 5 \\ 8 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 7 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 8 & 7 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 1 & 8 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 2 & 1 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 1 & 3 & 2 \\ 5 & 6 & 7 & 8 & 1 & 2 & 4 & 3 \\ 6 & 7 & 8 & 1 & 2 & 3 & 5 & 4 \end{bmatrix}$$

图2 方向数组 D

该算法能够提取出完整的图像轮廓,效果如图3所示,此算法对于笔画的交叉和手绘草图的任意性都具有良好的鲁棒性。



(a) 处理前的草图 (b) 提取的草图轮廓

图3 手绘草图的轮廓提取

4 基于结构图的谱特征抽取

4.1 基于离散傅里叶变换的降维处理

目前许多方法中,主要通过以下3种方法对图像轮廓进行采样以实施降维处理^[1]:

- 等点采样: L/K ;
- 等角度采样: $\theta = 2\pi/K$;
- 等弧长采样: P/K 。

其中, L 是边界总点数, P 为边界周长, K 为采样点数。

以上3种方法对圆形或近似圆形的物体进行采样效果还可以,但对复杂轮廓的物体来说效果不是很理想,而且还易受噪声干扰。

下面介绍一种基于离散傅里叶变换的降维方法:

首先将图像轮廓参数化得到复信号 $Z = \langle z_0, z_1, \dots, z_{N-1} \rangle$, 其中 $z_k = x_k + jy_k$ ($j = \sqrt{-1}$), x_k 和 y_k 分别是图像轮廓上的第 k 点的横、纵坐标。信号 Z 的离散傅里叶变换(DFT)为:

$$Z_n = \sum_{k=0}^{N-1} z_k e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} = R_n e^{j\theta_n} \quad (1)$$

$$n = -N/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, N/2 - 1$$

其逆变换(IDFT)为:

$$z_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Z_n e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (2)$$

$$k = -N/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, N/2 - 1$$

其中 R_n, θ_n 分别表示 DFT 第 n 个系数的振幅和相位。

由于物体的大致形状信息集中在低频部分,所以仅保留 DFT 变换后低频部分的 M 个 ($M \ll N$) 系数,即 $m = -M/2, \dots, -1, 0, 1, \dots, M/2 - 1$ 实验中,选取 $M = 64$ 。

4.2 标准化形状描述子

想要保证平移不变性、缩放不变性、旋转不变性、与起点选择无关性,必须对 DFT 系数做相应的修改^[5,6],如表1中所示,标准化后的 DFT 系数 $\hat{Z}_m = \hat{R}_m e^{j\hat{\theta}_m}$ 满足各种不变性,以此作为物体轮廓的形状描述子,并且将其称为标准化形状描述子。

表1 各种不变性所对应的操作

不变性	修改过后的系数
平移	$\hat{Z}_0 = 0$
缩放	$\hat{R}_m = R_m / R_1$
旋转和起点选择	$\hat{\theta}_m = \theta_m - (\theta_{-1} + \theta_1)/2 + m(\theta_{-1} - \theta_1)/2$

4.3 结构图生成

结构图的产生过程如图4所示:对提取的草图轮廓进行参数化,再进行 DFT 变换,然后对 DFT 系数依次通过降维、修改起点、旋转、平移以及缩放等操作得

到标准化的 DFT 系数(即标准化形状描述子),对生成的形状描述子进行 IDFT,就得到标准化过后的图像轮廓,再顺次连接轮廓点,并将每个轮廓点与质心点进行连接,就得到轮廓的结构图。

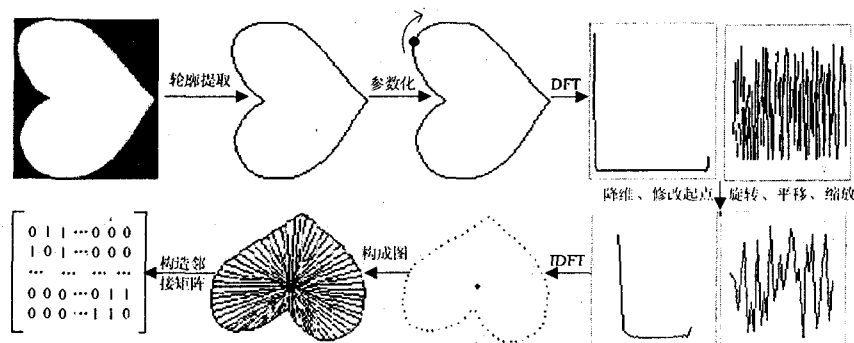


图 4 结构图的生成过程

4.4 图谱特征提取

假设生成结构图为 $G = (V, E)$, 其中 V 是所有点的集合, $E \subseteq V \times V$ 是图 G 的所有边的集合, 计算 G 的邻接矩阵 A , A 的第 i 行第 j 列元素定义为:

$$A(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } (i, j) \in E \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (3)$$

在得到邻接矩阵 A 的基础上, 可以通过求解方程 $|A - \lambda I| = 0$ 得到 A 的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}$, 并令 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_{|V|}$, 同时可由方程 $A\phi_\omega = \lambda_\omega \phi_\omega$ 得到 λ_ω 所对应的特征向量 ϕ_ω , 其模特征矩阵定义为: $\Phi = (\phi_1 | \phi_2 | \dots | \phi_{|V|})$, 于是邻接矩阵 A 可分解为:

$$A = \sum_{\omega=1}^{|V|} \lambda_\omega \phi_\omega (\phi_\omega)^T \quad (4)$$

结合特征模指数 ω , 模邻接矩阵为:

$$S = \phi_\omega (\phi_\omega)^T \quad (5)$$

下面就定义图谱的 4 种特征^[7]:

1) 主分量特征值:

用邻接矩阵的特征值来构成第一个谱特征, 图 G 的向量表示为:

$$B = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}) \quad (6)$$

其中, $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_{|V|}$, 这一向量表示了图 G 的谱。

2) 特征模容积:

图的子图 S 的容积定义为属于该子图的所有顶点度的和。也就是:

$$\text{Vol}(S) = \sum_{i \in S} D(i) \quad (7)$$

其中 $D(i)$ 是图中点 i 的度。如果 D 是图的度向量, 那么该特征模容积可写成:

$$\text{Vol} = \Phi^T D \quad (8)$$

这样图 G 特征模容积的特性向量就可以表示为:

$$B = (\text{Vol}(1), \text{Vol}(2), \dots, \text{Vol}(|V|)) \quad (9)$$

3) 特征模周界:

如果子图 S 所有的周界点集是:

$$\Delta(S) = \{(u, v) | (u, v) \in E \wedge u \in S \wedge v \notin S\} \quad (10)$$

则该图周界长度定义为该周界集的边的数量, 即 $\Gamma(S) = |\Delta(S)|$ 。类似地, 对模索引指数 ω 来说, 邻接矩阵的周界长可表示为:

$$\Gamma(\omega) = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \Phi(i, u) \Phi(j, v) A(i, j) \quad (11)$$

这样周界值的特征向量就可表为:

$$B = [\Gamma(1), \Gamma(2), \dots, \Gamma(|V|)] \quad (12)$$

$$\Gamma(|V|)]$$

4) Cheeger 常数:

子图 S 的 Cheeger 常数定义为:

$$H(S) = \frac{|\Delta(S)|}{\min[\text{Vol}(S), \text{Vol}(\hat{S})]} \quad (13)$$

类似地邻接矩阵的特征模 Cheeger 常数就写成:

$$H(\omega) = \frac{\Gamma(\omega)}{\min[\text{Vol}(\omega), \text{Vol}(\hat{\omega})]} \quad (14)$$

其中 $\text{Vol}(\hat{\omega}) = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \Phi(i, \omega) D(i) - \text{Vol}(\omega)$ 是对于模指数 ω 的补体积, 由此特征模的 Cheeger 值表示的谱向量特征:

$$B = [H(1), H(2), \dots, H(|V|)] \quad (15)$$

定义了图谱的 4 种特征之后, 就可以将这 4 种特征用于分别和数据库中的特征进行相似性度量, 再将得到的结果按照要求返回给用户。

5 实验及结果

在 VC++ .NET 和 SQL 数据库的平台下开发了一套检索系统, 并分别用结构图的 4 种谱特征进行实验, 图像库用的是 MPEG-7 形状库, 利用欧式距离进行度量, 文中采用平均检索精度来衡量四种不同特征的检索效率。

图 5 是采用主分量特征值以及欧式距离进行检索结果(仅列出前 20 幅), 左边显示的是用户绘制的草图(称为关键图), 右边显示的是按照相似度从大到小的顺序进行排序的结果。

如图 6 所示, 横轴代表检索时返回的图像数, 纵轴代表返回的图像中正确图像所占的比例, 图中从上至下的 4 条曲线分别表示结构图的主分量特征值、特征模容积、特征模周界、Cheeger 常数 4 种特征的检索效果。从图中可以看出, 在结构图的 4 种特征中, 最能代

表图像轮廓信息的是的第一种特征,即主分量特征值,其检索精度远远高于其他三种特征,其检索效果最能满足用户需要。

检索系统将会在计算机系统乃至网络搜索引擎中得到更为广泛的应用。文中提出了一种基于结构图的手绘草图检索方法,实验表明,该方法具有良好的检索效果。

然而,草图的模糊性和用户适应性是手绘草图领域中的一个难点问题。如何更好地表示草图的特征信息以及如何准确地捕捉用户的意图,还需要更加深入的研究。今后,将在特征的选取和反馈的机制上做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 黄元元,郭丽,杨静宇.基于链码的傅里叶描绘子在图像检索中的应用[J].计算机工程与应用,2003,38(6):95-96.
- [2] 李曼舞,孙正兴,顾庆东.基于轮廓的手绘草图检索研究[J].计算机应用,2005,17(8):790-799.

- [3] 柳群英.基于形状特征的图像检索技术[J].情报科学,2004(4):87-88.
- [4] 李彬,梁爽,孙正兴.基于空间关系的手绘草图检索[J].计算机科学,2005,32(12):227-231.
- [5] Bartolini L, Ciaccia P, Patella M. WARP: Accurate Retrieval of Shapes Using Phase of Fourier Descriptors and Time Warping Distance[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(1): 142-147.
- [6] Zhang Chunyan, Tang Jin, Luo Bin. Shape Edit Distance on Contour based Shapes[C]//IEEE Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. [s. l.]: [s. n.], 2006: 310-315.
- [7] Luo Bin, Wilson R C, Hancock E R. Spectral Embedding of Graphs[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(10): 2213-2223.

基于内容的图像检索系统

V-search

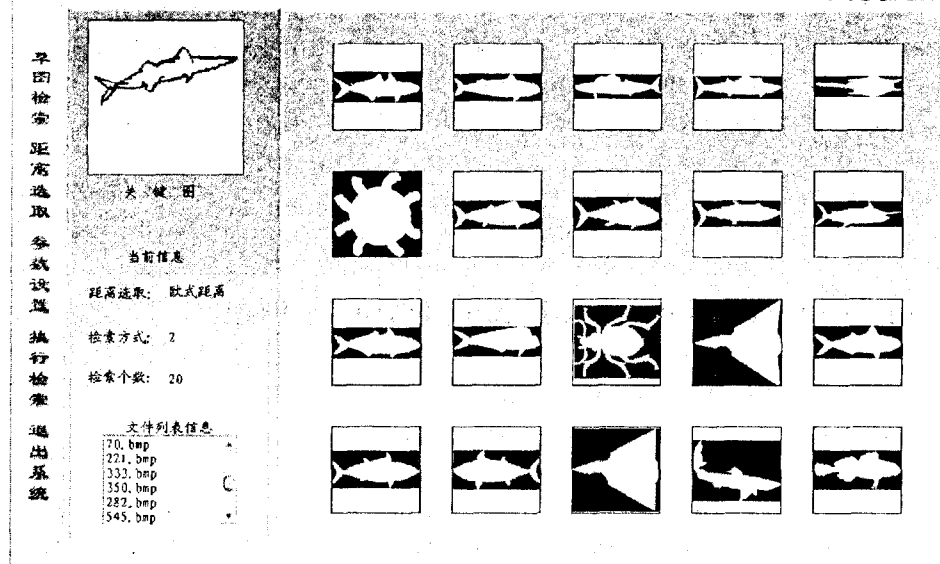


图5 手绘草图检索示例

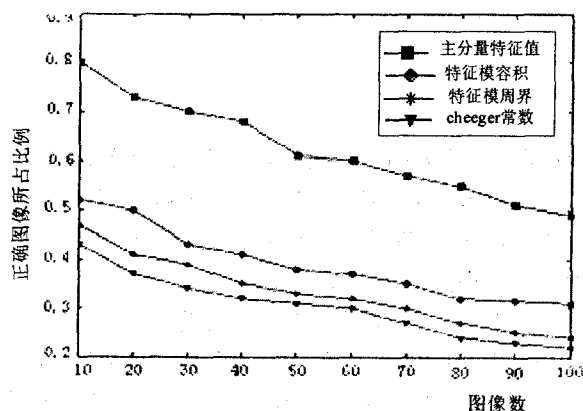


图6 4种特征的平均检索精度曲线

6 结束语

作为一种最具自然化的人机交互方式,手绘草图

(上接第31页)

- [12] Cardoso J, Sheth P, Miller J. Quality of service for workflows and Web service processes[J]. Journal of Web Semantics, 2004, 24(3): 25-32.
- [13] Paolucci M, Kawamura T, Payne T R, et al. (2002) Importing the Semantic Web in UDDI[C]// In Proceedings of Web Services, E-Business and Semantic Web Workshop. CAiSE 2002. Toronto, Canada: [s. n.], 2002: 225-236.

- [14] Jorge C, Sheth A. Introduction to Semantic Services and Web Process Composition[C]//Semantic Web Process: powering next generation of processes with Semantics and Web Services. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005: 1-13.
- [15] 付燕宁,刘磊,张家臣.构造语义 Web 服务工作流的模型[J].吉林大学学报:工学版,2007,37(3):600-605.
- [16] 满君丰,邱银安,陈青,等.语义 Web 服务框架模型的研究[J].计算机集成制造系统,2005,11(10):1372-1379.