

# 基于对象空间关系的图像检索方法研究

汪彦龙<sup>1</sup>, 刘金华<sup>1</sup>, 王丽萍<sup>2</sup>

(1. 浙江传媒学院 电子信息系, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江工业大学 经贸管理学院, 浙江 杭州 310012)

**摘 要:** 描述了图像中对象之间的拓扑关系、投影间隔关系和角度关系, 给出了不同空间关系距离的定义, 提出了集成查询图像与数据库图像中共有对象数目和空间关系的图像相似性度量方法。实验证明, 利用该相似性度量方法实现的图像检索系统的检索精度是较高的。

**关键词:** 空间关系; 相似性度量; 图像检索

**中图分类号:** TN911.73

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3751(2006)01-0066-03

## Research of Image Retrieval Method Based on Object Spatial Relationships

WANG Yan-long<sup>1</sup>, LIU Jin-hua<sup>1</sup>, WANG Li-ping<sup>2</sup>

(1. Department of Electronics Information, Zhejiang College of Communication and Media, Hangzhou 310018, China;

2. College of Business and Administration, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** In this paper, topology, projection interval and angle relationships are presented, definition of spatial relationships distance is introduced. A method of similarity measurement cooperating numbers of common object with spatial relationships is presented. Retrieval results of retrieval system based on this method show that retrieval precision of this method is high.

**Key words:** spatial relationship; measurement of similarity; image retrieval

### 0 引言

随着多媒体技术及 Internet 网络的迅速发展, 图像来源不断扩大, 大容量高速存储系统为图像的海量存储提供了基本保障, 各行各业对图像的使用越来越广泛, 图像信息资源的管理和检索显得日益重要。目前, 图像的检索的方法分为两大类: a. 将基于文本关键字的检索方法直接应用于图像检索; b. 基于图像内容进行图像检索。其中基于文本关键字的检索方法受主观因素影响大, 存在很大的局限性<sup>[1]</sup>。所以, 基于内容的图像检索方法成为图像检索的研究热点。利用图像的简单视觉特征作为不同图像相似程度的度量方法为研究人员广泛采用。如果根据采用视觉特征的不同来区分, 那么基于内容的图像检索方法主要有: 基于图像颜色特征的检索方法; 基于图像的纹理特征的检索方法; 基于图像形状特征的图像检索方法; 基于图像空间关系特征的图像检索方法<sup>[2]</sup>。由于利用图像对象间的空间位置关系来区别图像符合人们识别图像的习惯,

而且空间关系特征很容易与其它的视觉特征相结合, 实现多视觉特征的图像检索。所以, 许多研究人员从图像中对象空间位置关系出发, 着手对基于对象空间位置关系的图像检索方法进行了研究。美国匹兹堡大学 Chang 在文献[3]中提出用二维符号串 (2D-String) 的表示方法来进行图像空间关系的检索, 但 2D-String 表示的空间关系太简单, 而实际中的空间关系要复杂得多。针对这一问题 Chang 等人在文献[4]中提出了广义 2D-String (2DG-String) 的方法, Lee 等人在文献[5]中提出了 2DC-String 的方法, Huang 等人在文献[6]中提出了 2DC+ -String 方法, Nabil 综合了 2D-String 方法和二维平面中对象之间的点集拓扑关系, 在文献[7]中提出了 2D-PIR 检索方法。

2D-PIR 方法进行图像相似性度量时并未考虑两幅图像中共有对象的数目, 而且具有相同 2D-PIR 关系的两幅图像可能会有较大差别。针对这些问题, 文中提出了分别用图像中对象之间的拓扑关系, 图像中对象在 X、Y 方向投影的间隔关系, 图像中对象之间角度关系描述图像中对象之间空间关系, 同时考虑查询图像与数据库中图像中共有对象数目的一种基于空间关系的图像检索方法。实现该检索方法仿真软件的检索结果证明了这种方法的检索精度是较高的。

收稿日期: 2005-04-19

基金项目: 浙江自然科学基金资助项目(600051); 浙江省教育厅青年教师资助项目

作者简介: 汪彦龙(1971—), 男, 黑龙江黑河人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为图像检索、图像处理。

## 1 图像的空间关系特征描述

基于空间关系图像检索方法的关键是采用合理的空间关系特征描述原始图像,这里分别用图像中对象之间的拓扑关系,图像中对象在 X、Y 方向投影的间隔关系,图像中对象之间角度关系来描述图像中对象之间空间关系。

### 1.1 图像中对象之间的拓扑关系及距离

由 Egenhofer 提出的两个空间对象关系的 9 元交模型<sup>[8]</sup>中的 512 种可能关系中抽出 8 种面面关系,分别为分离、包含、包含于、覆盖、覆盖于、等价、相交和相接关系,用来描述图像中对象之间的空间拓扑关系,分别用符号 {dt, ct, in, co, cb, eq, ov, to} 表示。图像对象之间拓扑关系的形式化表达如图 1 所示。

不同拓扑关系的距离计算采用文献[9]中的方法,即将代表 8 种面面关系的 9 元交矩阵中的  $\Phi$  与  $\bar{\Phi}$  分别映射到数值 0 和 1,两个拓扑关系  $R_A$  和  $R_B$  间的拓扑距离  $DT(R_A, R_B)$  为两种拓扑关系的 9 元交矩阵 9 个相应项差的绝对值的和。如公式(1):

$$DT(R_A, R_B) = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^9 |M_A[i, j] - M_B[i, j]| \quad (1)$$

式中,  $M_A$  为拓扑关系  $R_A$  的 9 元交矩阵,  $M_B$  为拓扑关系  $R_B$  的 9 元交矩阵。

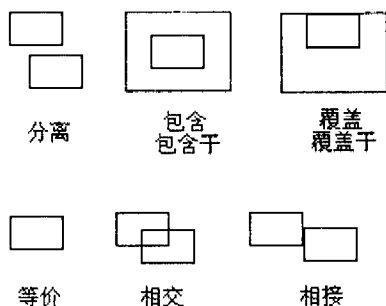


图 1 图像对象之间拓扑关系

### 1.2 图像中对象之间的投影间隔关系及距离

二维图像中的任一对象在 X、Y 轴上的投影为一长度有限的线段,如果对象的相对位置关系变化,那么对象在 X、Y 轴上的投影关系也发生相应的变化,所以对象在 X、Y 轴上的投影关系可以作为刻画对象关系的一种方式。采用 Nabil 在文献[7]中的方法来描述图像中对象之间的投影间隔关系,分别为 Before, After, Meets, MetBy, Overlaps, OverlappedBy, Finishes, FinishedBy, During, Contains, Starts, StartedBy, Equals 等 13 种不同关系,分别用符号 {<, >, m, mi, o, oi, f, fi, d, di, s, si, f, fi} 表示。任意两个投影间隔关系  $R_A$  和  $R_B$  间的距离  $DI(R_A, R_B)$  计算采用文献[7]中的方法。

### 1.3 图像中对象之间的角度关系及距离

图像中对象之间的角度关系是图像中两对象的最小外接矩形质心连线与 X 轴正向的夹角大小。图 2 中的角  $\theta$  即为对象 P 与对象 Q 角度关系。

任意两个角度关系  $R_A$  和  $R_B$  间的距离  $DA(R_A, R_B)$  用公式(2)确定:

$$DA(R_A, R_B) = \frac{1 + \cos(\theta_{AB})}{2} \quad (2)$$

其中  $\theta_{AB}$  为分别连接查询图像与数据库图像中共有的两个对象形成的对应向线段的夹角。若查询图像中对象 P、Q 的方向关系  $R_A = \alpha$ , 数据库图像中对象 P、Q 的方向关系  $R_B = \beta$ , 则

$$\theta_{AB} = \begin{cases} 180^\circ - |\beta - \alpha| & \text{当方向相同斜率符号相反} \\ & \text{或方向相反斜率符号相同} \\ |\beta - \alpha| & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

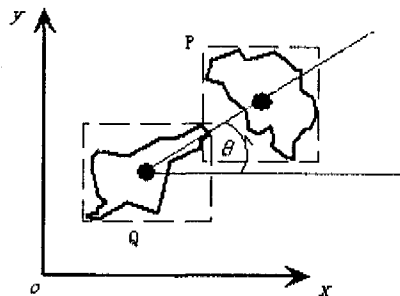


图 2 对象 PQ 之间的角度关系

### 1.4 空间关系特征的存贮

根据以上图像的空间关系特征描述方法,对象之间关系就可用一个  $(\delta, \chi, \Psi, \theta)$  四元组表示,其中  $\delta$  表示上述八种拓扑关系中的一种,  $\chi$  和  $\psi$  分别表示两对象在 X 轴和 Y 轴投影的间隔关系,  $\theta$  表示两对象的角度关系。这样,一幅原始图像就可以用描述其图像中对象之间空间关系特征的符号图表示。

图 3b 是图 3a 中原始图像对应的符号图表示。其中对象 A 与 C 的空间关系为  $(dt, o, >, \beta)$ , 对象 A 与 B 的空间关系为  $(ov, o, oi, \alpha)$ , 对象 C 与 B 的空间关系为  $(dt, d, >, \gamma)$ 。由对象 A 与 C 的空间关系  $(dt, o, >, \beta)$  很容易得出 C 与 A 的空间关系为  $(dt, oi, <, \beta)$ 。

符号图 3b 采用有向图来存贮。其中,有向图的顶点 V 代表符号图像中对象的名字,有向边 R 代表符号图像中对象之间的空间关系  $(\delta, \chi, \Psi, \theta)$ 。有向图  $G(V, R)$  邻接表构造算法如下:

begin

(1) 将图像中对象按从左至右、从上至下的顺序排序;

(2) P 为按(1)排序的有序对象集;

(3) for  $O_i \in P$

(4) 建立链接表,  $O_i$  为头结点,  $O_i$  之后对象为相继的结点;

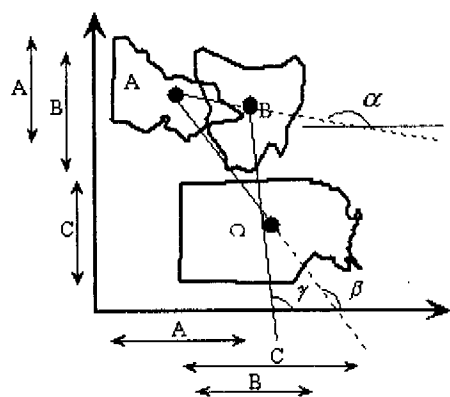
(5) endfor

end

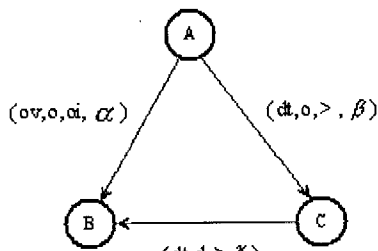
图 3c 为图 3a 的有向图邻接表表示。

## 2 图像的相似性度量

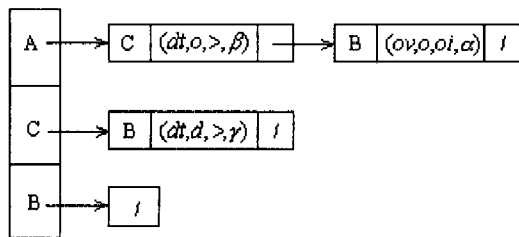
得到实际图像的空间关系特征以后,图像的相似性问题就转化为表示图像的空间关系的相似程度问题,而空间



(a) 实际图像



(b) 符号图像



(c) 邻接表

图 3 原始图像与其符号图

关系相似程度可以通过把空间关系四元组  $(\delta, \chi, \Psi, \theta)$  看作坐标空间中的点, 计算坐标空间点的距离, 距离值大则空间关系相似程度小, 距离值小则空间关系相似程度大。为了便于直观区别相似程度, 采取了一种变形的街坊距离来表示空间关系的距离, 其优点在于便于对距离进行归一化及加权处理。

另外, 同时考虑两幅图像中共有对象数目对图像相似性的影响, 采用公式(4)

$$\begin{aligned} \text{SIM}(I_q, I_d) &= w_1 \frac{n_c}{n_e} + w_2 \frac{1}{n_q(n_q - 1)/2} \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{j=i+1}^{n_q} \text{DA}(O_{ijq}, O_{ijd}) + \\ &w_3 \frac{1}{n_q(n_q - 1)/2} \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{j=i+1}^{n_q} t(O_{ijq}, O_{ijd}) + \\ &w_4 \frac{1}{n_q(n_q - 1)/2} \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{j=i+1}^{n_q} i_X(O_{ijq}, O_{ijd}) + \\ &w_4 \frac{1}{n_q(n_q - 1)/2} \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{j=i+1}^{n_q} i_Y(O_{ijq}, O_{ijd}) \end{aligned} \quad (4)$$

来度量图像的相似性。其中  $\text{SIM}(I_q, I_d)$  用来表示查询图像  $I_q$  和数据库图像  $I_d$  相似程度的值, 值越大相似程度越高。  $n_c$  代表查询图像和数据库图像中共有的对象数目。  $n_q$  和  $n_d$  分别代表查询图像和数据库图像中对象数目。

$$n_e = n_q \cdot \frac{n_q}{n_q + n_d} + n_d \cdot \frac{n_d}{n_q + n_d} \quad (5)$$

$$t(O_{ijq}, O_{ijd}) = (\text{DT}_{\text{MAX}} - \text{DT}_X(O_{ijq}, O_{ijd})) / \text{DT}_{\text{MAX}} \quad (6)$$

$$i_X(O_{ijq}, O_{ijd}) = (\text{DI}_{\text{MAX}} - \text{DI}_X(O_{ijq}, O_{ijd})) / \text{DI}_{\text{MAX}} \quad (7)$$

$$i_Y(O_{ijq}, O_{ijd}) = (\text{DI}_{\text{MAX}} - \text{DI}_Y(O_{ijq}, O_{ijd})) / \text{DI}_{\text{MAX}} \quad (8)$$

式(6)中  $t(O_{ijq}, O_{ijd})$  是归一化的拓扑关系距离值,  $\text{DT}_{\text{MAX}}$  为 8 种拓扑关系间距离最大值; 式(7)中  $i_X(O_{ijq}, O_{ijd})$  是归一化的 X 方向投影区间关系距离值,  $\text{DI}_{\text{MAX}}$  为 13 种投影区间关系间距离最大值; 式(8)中  $i_Y(O_{ijq}, O_{ijd})$  是归一化的 Y 方向投影区间关系距离值。

公式(4)中  $w_1, w_2, w_3, w_4$  表示权重,  $w_1 + w_2 + w_3 + 2w_4 = 1$ , 分别决定查询图像与数据库图像中共有对象、角度关系、拓扑关系以及投影间隔关系在图像相似性度量中所起作用大小。

### 3 仿真软件检索结果分析

为了对不同的基于空间关系图像检索方法进行比较, 用 Java 语言实现了文中的算法, 另外也实现了 2D-PIR 算法, 并建立了由 100 幅图像组成的图像数据库, 并对两种检索方法进行了比较。表 1 给出了查询图像的对象组成和数据库中与查询图像相关的图片数目, 表 2 给出了不同查询图像在不同的检索相似程度值情况下返回的图片数。

表 1 查询图像的对象组成和数据库中与查询图像相关的图片数目表

查询图片名	查询图片组成	数据库中与查询图片相关图片总数
Image1.jpg	Table, file-case, chair	48
Image12.jpg	Chair, tap, bottle, pail, brush	62
Image19.jpg	Chair, tap, bottle, brush	60
Image41.jpg	Pail, hammer, tap, bulb	57
Image56.jpg	Glass, calculator, camera, scissor	50
Image64.jpg	File-case, camera, scissor, pen, glass, calculator	55
Image74.jpg	Glass, pen, car, plane, file-case, camera, calculator, scissor	61
Image92.jpg	Plane, scissor, car, bottle, tap	82

表 2 不同的检索相似程度值情况下返回的图片数对照表

图片名	2D-PIR 检索出图数				本系统方法检索出图数			
	检索相似程度				检索相似程度			
	0.6	0.7	0.8	0.9	0.6	0.7	0.8	0.9
Image1	4	4	4	2	4	4	3	1
Image12	24	14	4	1	25	11	2	1
Image19	33	14	6	2	27	10	5	1
Image41	21	13	7	2	12	6	3	2
Image56	30	13	8	6	22	9	7	4
Image64	36	18	11	3	31	15	7	2
Image74	46	30	18	10	35	21	13	4
Image92	39	22	12	2	26	15	2	1

通过对表 2 的检索结果分析, 可得出以下结论: 在相同查询对象且检索方法相似程度下, 2D-PIR 算法返回

(下转第 72 页)

之间的复用。

(1)同一软件测试。不同测试阶段的测试用例复用是指在项目开发过程中,低层测试对象的测试用例可能部分地用到高层对象的测试中,例如集成测试可能要用到单元测试的测试用例等。对于专门从事软件测试机构来说,可能要对同一个软件在不同时间下进行多次测试。按照图 1 的复用流程图,如果软件在上一次测试未通过,那么产生的大量测试用例将被存储到测试用例库中,在新的一次测试中,可以查询到相关的测试用例,直接导出运行,来对软件进行测试。测试通过后,产生的新的测试用例被有选择地存储到库中,用作以后相似软件测试的复用。

(2)相似软件的测试。首先考虑以下主要因素:软件所属的行业、软件的功能、采用的编码语言、运行的环境,以此来判断两个软件是否相似及相似的程度如何。如果可以判断被测软件和测试用例库中某一软件相似,进而在测试用例库中查询出相似软件的测试用例,对不同的测试用例进行不同程度的复用。对于采用文本方式描述的测试用例,参照设计步骤,导出后编写相应的测试用例代码,并运行;对采用编码语言编写的测试用例,可以通过测试用例库所提供的导出方法,针对被测软件,做一些类似函数名、输出形式的改动,而其核心处理过程并不发生太大的变化,最后导出并运行测试用例,测试被测软件是否通过。此时的项目间的测试用例复用主要是设计思想、测试方法、执行步骤、执行过程中产生结果信息,以及对测试用例的选择、测试用例中使用的测试数据等的复用。

### 3.5 对测试用例复用的评价

在面向对象的系统中,测试用例的设计和实现往往对应于被测对象的需求、设计和环境要求,它们缺乏统一的

结构,测试用例之间也存在着相互的联系。所以,测试用例的复用也是一定程度和一定数量上的复用,其中还与采用的复用技术、测试人员和其他客观因素相关。而对于第三方评测机构来说,主要进行验收测试,对被测软件系统进行性能、压力方面的测试,能否有效地将这些测试用例组织起来,每个测试用例能否独立地被运行,都决定着测试用例的可复用能力大小和测试效率的高低。

## 4 总 结

通过介绍软件测试过程中测试用例的设计、软件和软件测试的复用,说明了在软件测试中实现测试用例的复用的可行性、必要性,针对第三方测试机构,采用测试用例库管理的方法具体实现一定范围的测试用例复用。进而说明了测试用例的复用在保证软件质量的前提下,改进了软件测试技术,提高了软件测试的效率。

### 参考文献:

- [1] Binder R V. Testing Object - Oriented Systems[M]. Massachusetts: Addison - Wesley, 2000.
- [2] 马瑞芳. 计算机软件测试方法的研究[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 24(12): 2211 - 2213.
- [3] 齐治昌, 谭庆平, 宁 洪. 软件工程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [4] 杨美清. 软件复用与相关技术[J]. 计算机科学, 1999, 26(5): 1 - 2.
- [5] 徐仁佐, 陈 斌, 陈 波, 等. 构造面向对象软件可复用测试用例的模式研究[J]. 武汉大学理工学报, 2003, 49(5): 592 - 593.

(上接第 68 页)

的图片数明显高于文中的算法。这是由于在判断图像相似程度时加入了图片中共有对象数目和角度关系两个约束,从而使图像检索精度提高。

## 4 结 论

提出了一种表示图像中对象空间关系的方法,并将查询图像与数据库图像中共有对象数目考虑到图像的相似性度量中,使图像检索的精度得到提高。但文中的对象空间关系表示并未考虑到对象之间的相对位置关系,如何合理地将对象相对位置关系加入到文中的算法中值得进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 李向阳, 庄越挺, 潘云鹤, 等. 基于内容的图像检索技术与系统[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(3): 344 - 354.
- [2] 徐 杰, 施鹏飞. 基于内容的图像检索技术[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(9): 977 - 983.

- [3] Chang S K. Iconic Indexing by 2D String[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(3): 413 - 428.
- [4] Chang S K. Representation and retrieval of symbolic pictures using generalized 2 - DStrings[A]. SPIE Proc Visual Communications and Image Processing[C]. Philadelphia: [s. n.], 1989. 1360 - 1372.
- [5] Lee S Y. 2 - Dstring: A New Spatial Knowledge Representation for Image Database System[J]. Pattern Recognition, 1990, 23(10): 1077 - 1087.
- [6] Huang P W. Using 2DC+ - String as Spatial Knowledge Representation for Image Database System[J]. Pattern Recognition, 1994, 29(9): 1249 - 1257.
- [7] Nabil M. Picture Similarity Retrieval Using the 2D Projection Interval Representation[J]. IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, 1996, 8(4): 533 - 539.
- [8] Egenhofer M J. Point - Set Topological Spatial Relations[J]. Int' J GIS, 1991, 5(2): 161 - 174.
- [9] 曹 茜. 拓扑关系渐变的定性推理[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1999, 27(3): 28 - 32.