

基于改进几何哈希法的矢量图形检索

赵庆军, 胡青泥

(大连理工大学精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 针对图形文件以矢量方式记录几何实体的特点, 提出了一种基于改进几何哈希法的图形检索算法。与图像的对应处理方式相比, 该算法充分利用图形的矢量信息, 以实体基准点和实体的准确几何形式描述几何实体; 在检索过程中, 每个图形实体仅有基准点参与排序和查询, 哈希表数据组织形式简单, 查询速度快; 通过验证图形实体属性, 保证了查询结果的准确性。最后以矢量图形文件为图例, 验证了方法的有效性。

关 键 词: 计算机应用; 图形检索; 几何哈希法; 不变量坐标; 矢量

中图分类号: TP 391

文献标识码: A

文 章 编 号: 1003-0158(2006)01-0040-05

Vector Graphic Retrieval Based on Modified Geometric Hashing

ZHAO Qing-jun, HU Qing-ni

(Key Laboratory for Precision and Non-traditional Machining Technology of Ministry of Education,

Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116023, China)

Abstract: In view of the fact that geometric entities are recorded in vector form in graphics file, this paper presents an algorithm based on modified geometric hashing for shape retrieval. Compare with relevant process for images, the algorithm describes geometric entities by accurate vector information such as datum mark and entity properties. For each entity, only datum mark was involved in sorting and retrieving process, which makes the organization for hash table simply and the retrieval speed quickly. The accuracy is assured by verifying the property of geometric entities at last stage of retrieval. The experiment shows that the algorithm is effective.

Key words: computer application; graphic retrieval; geometric Hashing; invariant coordinate; vector

使用基于形状特征的检索技术搜索图像文件中的目标时, 对目标形状的描述是一个非常复杂的问题, 由于实体的形状千差万别, 无法用确

切的数学形式来统一表示, 因此, 从不同方式获取的目标形状会产生很大的差异, 不利于进行准确的形状匹配^[1]。现在常用的方法^[2]是在目标轮

收稿日期: 2004-01-21

作者简介: 赵庆军 (1974-), 男, 山西运城人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形学、CAD。

廓的边界上选择一系列点,用这些点来代替实体的形状进行处理,显然这种方法对形状的描述能力有限。

随着计算机技术的发展和广泛应用,矢量图大量出现,引起了对矢量图检索技术的需求。对于轮廓外形主要由直线、圆弧等规则几何实体构成的目标图像,比如商标图案,扫描得到的工程图纸图像等,也可先用图像矢量化技术提取轮廓的图形实体,再进行检索。将图像信息转换为图形信息,用几何表达式描述实体外形,可使检索目标的描述更为准确。针对图像矢量化过程中可能产生几何或拓扑变形的特点,作者研究如何使用改进的几何哈希法进行图形信息检索,提出了一种近似图形检索的实现方法。

1 几何哈希法与图形文件中实体的表示形式

1.1 几何哈希法

几何哈希法^[3]最初是在计算机视觉领域被提出,主要用来解决二维几何特征匹配问题,由于其具有几何变换无关性和很强的抗干扰性,因此,被引入到许多需要几何模式匹配技术的研究领域^{[4], [5]}。几何哈希法通过几何不变量描述图形,然后将这些信息以一定的顺序组成哈希表,再使用特征匹配的方法在哈希表中搜索与所需图形相同或相近的图形。基于几何哈希法的系统进行图像匹配主要包括两个阶段:前处理阶段,提取图像的特征点,通过由某个哈希函数确立的索引关系将这些特征点存入哈希表;查询阶段,通过投票机制完成检索。

1.2 图形文件中几何实体的表示方法

图形文件用矢量形式记录几何实体,以AutoCAD的图形文件为例,文件中记录的实体有点、直线段、圆弧、曲线、尺寸标注以及文字等,每种实体都有对应的数据结构来记录其属性。实体的数据结构包含两部分内容:实体头部和实体尾部。实体头部的长度固定,记录实体类型、性质以及实体数据结构的长度等信息;实体尾部结构与实体类型有关,一般记录实体的具体信息,比如对一个点,这部分记录该点的坐标值;而对一条线段,记录两端点的坐标值。对于常见

的图形文件,可以提取线段、圆弧等所需图形实体的详细信息;而对图形中的文字、标注等则在图文分离后另行处理。

2 图形检索哈希表的生成

2.1 图形实体的表示

要实现图形检索,如何有效地表示几何图形是首先要解决的问题。以往的几何哈希法处理的对象是几何表达式未知的图像,几何哈希法引入图像特征点的概念来表示原图像,关于如何提取特征点已有一些算法^[6],这些点通常取自图像的轮廓线上,它们反映图像变化趋势和各部分的相对位置关系,用直线段依次连接这些特征点,得到的图像与原图像近似。而图形文件中各图形实体均有准确的几何表达形式,如果仍采用上述的表示方法,不但会产生大量特征点,而且降低了图形表示的准确性,尤其对于圆、圆弧一类图形,为了较好的逼近原图形,特征点的数目增多,就加大了检索处理的复杂程度。作者采用与图形文件中实体表示形式一致的方法,用实体基准点和实体属性表示几何实体:实体基准点反映该实体的位置信息;实体属性记录实体的详细特征,其具体表示形式如下:

$$e_{id} = \{id, type, mark, property\} \quad (1)$$

其中 id 为实体编号, $type$ 为实体类别, $mark$ 为实体基准点, $property$ 为实体属性,这一项随实体类型不同而形式不同。例如常见的实体如直线、圆、圆弧表示方法为:

$$e_0 = \{0, \text{直线}, \text{直线的中点}, \{\text{直线长度}, \text{直线方向}\}\}$$

$$e_1 = \{1, \text{圆}, \text{圆心}, \{\text{半径}\}\}$$

$$e_2 = \{2, \text{圆弧}, \text{圆心}, \{\text{半径}, \text{起始角度}, \text{终止角度}\}\}$$

各实体的角度数据均为沿基准点右侧水平方向逆时针度量的角度。编制程序提取图形中感兴趣的几何实体,按上述要求计算各实体相应的信息,这样就形成了实体集合 $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_p\}$, 其中 p 为提取到的实体的总数量。

2.2 基准约束对的生成

在实体集合 E 中任取两个实体 e_i, e_j , 其基

准点分别为 m_i 、 m_j ，坐标分别是 (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) ，记该约束对为 $c_{ij} = \{m_i, m_j\} = \{(x_i, y_i), (x_j, y_j)\}$ ，如果实体表中共有 p 个实体，则这样的约束对共有 $p \times (p - 1)$ 个，其集合为 $C = \{c_{ij} \mid 1 \leq i < j \leq p\}$ 。

2.3 其他实体基准点的不变量坐标的计算

在基准约束对集合 C 中任取一个约束对 $c_{ij} = \{m_i, m_j\}$ ，记由 m_i 指向 m_j 的向量为 \mathbf{v}_{ij} ，则 $\mathbf{v}_{ij} = x_j - x_i, y_j - y_i$ ，该约束对对应的实体分别是 e_i 、 e_j ，在实体集合 E 中取另一个实体 e_l ，则 $m_l = (x_l, y_l)$ ， $\mathbf{v}_{il} = x_l - x_i, y_l - y_i$ ，记上述两向量的夹角为

$$\theta = \text{angle} < \mathbf{v}_{il}, \mathbf{v}_{ij} > \quad (2)$$

规定 θ 是沿逆时针从向量 \mathbf{v}_{ij} 到 \mathbf{v}_{il} 的方向。两向量模的倍数关系为

$$r = \frac{|\mathbf{v}_{il}|}{|\mathbf{v}_{ij}|} \quad (3)$$

以 \mathbf{v}_{ij} 为基准向量时，实体 e_l 的基准点 m_l 的不变量坐标为 (r, θ) ，这个坐标表示该基准点与基准约束对之间的距离和角度位置关系，可知图形经过平移、缩放和旋转变换后，该点对于基准约束对的相对坐标保持不变。在每个基准约束对下，分别计算其他基准点的不变量坐标值。

2.4 哈希表索引地址的计算

构造哈希表的关键是选择哈希函数，对于关键字集合中的各元素，希望经过哈希函数得到的哈希地址能均匀分布在地址区间上，以减少地址冲突，提高检索效率^[7]。本问题的关键字是实体基准点相对于某个基准约束对的不变量坐标值 (r, θ) ，因此，需要用 r 和 θ 为自变量构造一个哈希函数，使得每个基准点对应的索引地址尽量不同。

参照图 1 所示的一个哈希地址坐标，避免地址冲突的一种办法是：用变量 r 确定地址的大致范围，再用 θ 来确定其准确位置，如图中所示的 r_1 、 r_2 、 r_3 、...、 r_n 为不同 r 值对应的地址，对于 r 值相同的坐标用变量 θ 来区分，如图中的偏移量 d_1 、 d_2 是由 θ 引起的，只要这些地址偏移量不超过相邻的两个 r 坐标之间的距离，则不同坐标对应的哈希地址就不会发生重复。综合考虑 r 和 θ 的影响，构造哈希函数如式 (4) 所示，此

式可保证不变量坐标不同的基准点的哈希地址不同。如果实体基准点的坐标值相同，则地址冲突就必然会出现，比如两个圆同心时，这时可以采用链地址法等方法进行解决

$$\text{index} = \text{hash}(r, \theta) = r \cdot (72r + \frac{\theta}{10}) \quad (4)$$

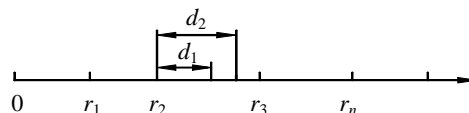


图 1 哈希地址坐标示意

2.5 图形检索哈希表的组织

由图形的实体信息建立查询哈希表 $H_s = \{H_1, H_2, \dots, H_z\}$ ，索引表中的某一项为 $H_j = \{h_{1j}, h_{2j}, \dots, h_{nj}\}$ ，其下标 j 是由式 (4) 计算所得的索引值 index ， H_j 中的元素 h_{mj} 是索引值等于 j 的基准点对应的实体的信息， $h_{mj} = \{i, \mathbf{v}\}$ ，其中 i 为实体代号， \mathbf{v} 为基准约束对。

3 图形检索的策略

设要搜索的原图形为 G_s ，目标图形为 G_t 。先提取 G_s 中的几何实体，生成哈希表 $H_s = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$ 。图形的检索分为 3 步：

第 1 步 对要搜索的目标图形 G_t ，只生成某个基准约束对的一组不变量坐标。因为要完成相似图形的检索，考虑 G_s 中有一个图形与 G_t 相似，当以同一基准约束对为参照物时，它的每个基准点的不变量坐标应该与目标图形对应的坐标值近似相等，例如，当目标图形的一个基准点的坐标为 (r, θ) 时，规定 r 和 θ 的允许变动值分别为 δ_r 和 δ_θ ，当原图形中有基准点的坐标在区域 $(r \pm \delta_r, \theta \pm \delta_\theta)$ 内，就认为这两个基准点的坐标值相同。计算各实体不变量坐标对应的一组索引号 $J = \{j_1, j_2, \dots, j_{n-2}\}$ ，其中 n 是目标图形中实体的个数， J 中的一项 j_m 是在上述允许变动区域内，用式 (4) 计算得到的所有索引值。按 J 中的索引值，在哈希表 H_s 中取相应索引地址对应的数据项组成数据表 h_s ， h_s 为 H_s 的子集

$$h_s = \{H_l \mid \forall H_l \in H_s, (l = j_1) \vee \dots \vee (l = j_{n-2})\} \quad (5)$$

第 2 步 图形结构检索。如果原图包含与目标图形相同的图形，则对于同一基准约束对，原

图与目标图中各对应实体基准点的不变量坐标相等,而由各不变量坐标计算所得的哈希表索引号也相同,统计哈希表 hs 中所有数据项中各基准约束对出现的次数,就可以搜索到所需图形。图2所示的是一个对基准约束对的投票结果,原图形有6个实体,目标图形有4个实体,检查 hs 各项,对表项中记录的基础约束对和实体编号交叉位置投票,当约束对是 c_{13} 和 c_{64} 时,得票率最高,检查 c_{13} 和 c_{64} 的投票情况,可知原图形中有两组实体 e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 和 e_2 、 e_3 、 e_4 、 e_6 组成的图形与目标图形中实体的位置关系近似相同。

第3步 实体属性验证。上一步得到的结果仅是与目标图形中实体位置相同的各实体,此步逐一检查目标图形中的实体与在原图形中检测到对应实体的属性是否一致,如各实体属性值都相等或接近,则在原图形找到了与目标图形相同或相似的图形。

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
c_{12}					×	
c_{13}		×		×		
c_{14}						
...						
c_{64}		×	×			
c_{65}				×		

图2 基准约束对的投票结果

4 实验与结果分析

4.1 相似图形检索图例

图3(a)是阀体零件图一个视图,现在要在图3(c)装配图中检索该零件,由图3(a)可得到该零件的轮廓图3(b),以该图检索目标图形,以图3(c)为检索原图形,使用本算法进行检索,结果显示在装配图中共检索到两处有该零件,出现位置在图3(c)中圆圈所示的区域内,装配图中图形与检索目标图相比,是经过旋转和缩放变换形成的。由实验结果可看出,阀体虽然与其他零件装配在一起,由于其图形轮廓的主要结构存在,所以图形仍可以被检测到,而且原图形中存在的多个与目标相同的图形都能检测到。

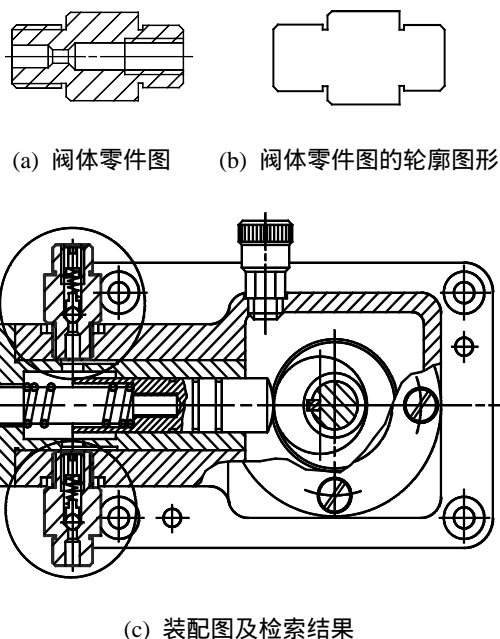


图3 在装配图中检索零件图

4.2 近似图形检索图例

图4所示的近似图形的检索结果,图4(a)为目标图形,图4(b)为 $\delta_r=0$, $\delta_\theta=0$ 时的检索结果,结果与目标图形的形状完全相同;图4(c)为 $\delta_r=0.01$, $\delta_\theta=5$ 时检索结果,检测到的图形与原图形有一些差别。由实验结果可看出,调节不变量坐标 r 和 θ 的允许变动值分别为 δ_r 和 δ_θ ,可以检索到相似程度不同的几何形体。

以上实验是以 AutoCAD 图形文件为例,对其他类型的矢量图形文件的处理是类似的。

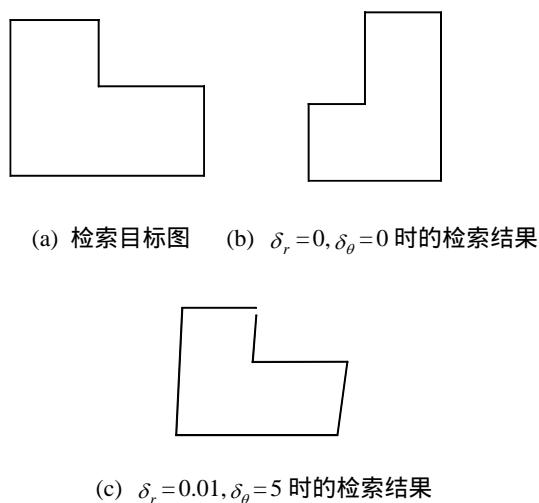


图4 相似图形检索

5 结 束 语

作者针对矢量图形文件的特点,提出了一种基于改进几何哈希法的图形检索方法。与图像的相应处理方法相比,本方法充分利用了图形的矢量信息,以实体基准点代替实体特征点,同时记录每一实体的几何表达形式,方法对图形的表示准确;在生成哈希表时,处理图像的方法中每个实体对应的特征点至少有一个,哈希表的组织以及匹配查询的较复杂,本方法中每个实体仅有一个点(基准点)参与排序、查询,数据组织简单,查询速度较快;作者还提出了存在几何变形或拓扑变形的近似图形检索的办法。实验结果证明了方法的有效性。

参 考 文 献

- [1] 章毓晋. 基于内容的视觉信息检索[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 102-116.
- [2] 丁险峰, 吴 洪, 张宏江, 等. 形状匹配综述[J]. 自动化学报, 2001, 27(5): 678-694.
- [3] Haim J Wolfson, Rigoutsos H J. Geometric hashing: overview [J]. IEEE Computational Science and Engineering, 1997, 4 (4): 10-21.
- [4] 孙季丰, 方少元. 几何型哈希法和图像的快速合成[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 1998, 26(2): 75-80.
- [5] 吕 科, 耿国华, 康宝生, 等. 三维轮廓曲线的快速匹配方法[J]. 工程图学学报, 2002, 23(4): 54-59.
- [6] Jia Wang, Wenjann Yang, Raj Acharya. Efficient access to and retrieval from a shape image database [A]. In: Proceedings of Content-Based Access of Image and Video Libraries [C]. Santa Barbara, CA, 1998, 63-67.
- [7] Jia Wang, Wendy Chang, Raj Acharya. Efficient and effective similar shape retrieval [A]. In: IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems [C]. 1999. 7-11.