

◎图形图像、模式识别◎

一种高效识别大规模二维封闭图形的方法研究

阎春平, 范辉先, 尹震彪, 覃 斌, 刘 飞

YAN Chun-ping, FAN Hui-xian, YIN Zhen-biao, QIN Bin, LIU Fei

重庆大学 机械工程学院 制造工程研究所, 重庆 400030

Institute of Manufacturing Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China

YAN Chun-ping, FAN Hui-xian, YIN Zhen-biao, et al. Study on efficient recognition method of large-scale closed graph in 2D. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(14): 169-171.

Abstract: The closed graph information plays an important role in processing graphics. The time effectiveness of recognition for large-scale closed graph in 2D influences the efficiency of the computer aided design. The paper studies the general process of recognition and provides the overall strategy, under which a counter-clockwise and clockwise recognition method for single closed graph based on main point is put forward. With the number rules, scanning rules and bintree rules, the efficiency of recognizing large-scale closed graph in 2D in this method is increased. The effectiveness of the method has been proved by the practical application.

Key words: graphics recognition; closed graph in 2D; processing of graphics

摘要: 封闭图形信息在图形处理中有着重要的意义, 对大规模二维封闭图形识别的时效问题影响着计算机辅助设计的效率。研究了二维封闭图形识别的一般过程, 给出了二维封闭图形识别的总体策略, 在该总体策略的指导下, 提出一种基于主体点的逆(顺)时针搜索法来识别单个封闭图形, 并辅以编号规则、扫描规则、二叉规则等规则提高了大规模二维封闭图形识别的效率。实际应用表明了该方法的有效性。

关键词: 图形识别; 二维封闭图形; 图形处理

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.14.047 **文章编号:** 1002-8331(2008)14-0169-03 **文献标识码:** 中图分类号: TP391

1 引言

二维封闭图形信息是指在某一平面视图中的封闭图形的边界信息, 该信息在图形处理中有着重要的作用^[1]。虽然在不少情况下, 封闭图形信息与轮廓信息的含义基本相同, 但在本文中它都将被统一为轮廓线内不包含任何其它图元的“最小封闭图形”, 如三角形、四边形等。封闭图形的识别方法在不少文献中都有研究。文献[2]中提出了一种求视图轮廓信息的“侧点法”; 文献[3]提出基于回溯的参考点边界搜索算法; 文献[4]中提出基于最长路径寻找图形轮廓信息的方法。虽然方法各异, 但是都需要处理一个关键问题, 即在多分枝处如何获得下一个路径, 如何提高识别效率, 尤其是在对大规模二维封闭图形识别情况下, 该问题显得尤为突出。

欲高效识别大规模封闭图形需要从方法策略层、设计层和实现层等三个层面予以整体考虑。方法策略层主要是界定问题、把握特征、研究本质并制定方法策略等。设计层与实现层主要是将方法策略流程化、代码化, 数据结构和算法的设计与选择往往是其中重要的工作。尽管在一定程度上, 设计层与实现层有其独立的技术, 但在一个待整体解决的问题中, 这

两层对方法策略层的依赖会变得十分明显。因此, 本文重点研究识别大规模二维封闭图形的总体策略以及基于该策略的一种具体实现方法。

2 总体策略

一个完整的识别过程至少应包括三个部分, 即图形预处理、封闭图形识别与后处理。预处理的工作主要包括有效性检测、复杂实体的降解、重复点与重复线的去除、孤立点与线的标识等; 封闭图形识别主要是提取所有的封闭图形; 后处理需要获取封闭图形的边数、凸凹性、边长、面积等信息。无论此三部分中的何种工作都不止一种解决方案, 然而只是关注各自问题的解决而不考虑各工作间的相互关系的做法必然导致效率危机。因此, 尽可能关照整体问题中的各个具体工作, 使它们之间的处理基础尽量一致将会使得该问题的解决更加高效、稳定和易于维护。

本研究所针对的图形为矢量图形, 图形主要具有几何特征和拓扑特征。几何特征是指图形的位置、大小、朝向等性质。拓扑特征则是指图形在发生变形时构成图形的各个点之

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(No. 2006BAF01A27); 重庆市科技公关计划(the Key Technologies R&D Program of Chongqing, China under Grant No. 2006BA2023)。

作者简介: 阎春平(1973-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为 CAD/CAE、企业信息化、绿色制造。

收稿日期: 2007-12-11 **修回日期:** 2008-03-07

间保持不变的性质,如连通性、封闭性等,它由邻接关系决定。考察识别的具体工作,会发现其中的绝大部分工作的处理方案可以在节点及节点关系上达成一致。如重复线的判断可以用节点间的几何位置关系和节点与线的几何位置关系来实现,而节点与线的关系又可以转化为节点间的关系;点和线的孤立性可以表示为一种点与点的连结状态;封闭图形则是由节点间的拓扑关系而表现出的形态。之所以这些工作可以找到共同点,究其根本原因,是因为点和线(节点的连结关系)是构成矢量图形的最基本元素,图形的整体特征必将以它们为基础并涌现出包括几何特征和拓扑特征在内的宏观特征。

综上所述,由于大规模封闭图形识别问题有较高的时效要求,因此应当全面考察图形的特征以寻求该问题内诸多工作的融合。所以,解决大规模封闭图形识别问题的总体策略是:考察图形的几何特征和拓扑特征,利用节点及节点间关系实现对图形的整体描述,在此描述的基础上,制定相应的方法及规则以构建问题的解决方法体系。

节点及节点关系的建立过程虽然是全局的基础,但并不存在思路与实现上的难度,所以并不就此作详细介绍。下面主要围绕整个识别过程的关键——封闭图形识别来研究。

3 封闭图形的识别方法

经过预处理之后,建立了节点及节点关系对图形的描述,在形式上构建一个节点集合和一个节点关系矩阵,识别工作进入到封闭图形识别阶段。欲进行大规模封闭图形的识别,单个封闭图形的识别是基础。在计算几何中,存在这样的常理:当沿着图形轮廓线逆时针走向时,左侧始终在图形的内部,右侧始终在图形外部;反之,当沿着图形轮廓线顺时针走向时,右侧始终在图形的内部,左侧始终在图形外部^[5]。利用此常理,此处采用基于主体点的逆(顺)时针搜索法来识别封闭图形,只是识别方向正好与轮廓线识别相反。所谓主体点就是指在识别一个封闭图形时所定义的起始点。将由一个节点到另外一个节点的向量称为走向,那么获取封闭图形的关键是在多分枝路径处如何判别封闭图形轮廓走向。举例来说,图1所假设的情况是以节点A为主体点,节点O为已选择封闭图形顶点,构成了初始走向AO,问题是如何从节点O的三个关联节点(节点B、C和D)中选出下一个顶点。基于主体点的逆(顺)时针搜索法利用向量间的夹角大小来决定轮廓顶点的走向,其思路是利用待选走向和初始走向构造一个夹角集合,按规则从中选择目标角度以决定走向。设求向量角度函数为 $VecAngle(\vec{vec})$,则初始走向AO的角度为: $Ang_{AO} = VecAngle(AO)$;待选择走向 OB_i 的角度为: $Ang_{OB_i} = VecAngle(OB_i) (i=1, \dots, m)$ 。其中m表示待选走向数;于是,待选走向与初始走向的夹角为: $\Delta AOB_i = Ang_{OB_i} - Ang_{AO} (i=1, \dots, m)$ 。

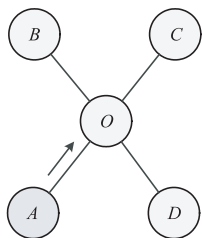


图1 分叉处轮廓走向的判断

若采用逆时针搜索法,在夹角集合 ΔAOB 中选择目标角度的规则如下:

(1)如果存在若干个夹角处于 $[0, 180^\circ)$,则选择其中角度最大者;

(2)如果所有夹角都处于 $(-180^\circ, 0)$ 或 $(180^\circ, 360^\circ)$,那么先将负角加上 360° ,然后再统一比较,同样是选择其中的角度最大者。

若要获得顺时针搜索的规则,按照类似方法即可推出。

根据上面的规则,可以通过比较得到目标角度,进而找到与其对应的节点,这也就获得了轮廓走向。在图1的假设情况下,按逆时针搜索将求得下一个走向为OB,按顺时针搜索将求得下一个走向为OD。

该关键问题的解决使得在已知初始走向的前提下,对封闭图形轮廓的走向的确定将会自发地进行下去。因为将新得到的走向作为新的初始走向,重复调用上面的搜索方法就可以获得新的轮廓走向。如此,留下两个问题有待解决,其一是如何确定初始走向,其二是如何判断封闭图形已经识别完成。对于后者,只需考察新引入的轮廓顶点是否为主体点即可。如果不是,继续搜索,如果是,封闭图形搜索成功并结束本次搜索。

关于初始走向的确定,需要对主体点进行补充说明。从理论上说,就一个封闭图形而言,任何一个顶点都可以认为是主体点。但在这一整套处理策略中,一个封闭图形将会与唯一的一个主体点对应(但是一个主体点可能会对应多个封闭图形),并且该主体点一定是该封闭图形中最“左下”的点。主体点的这些性质将由后文将要提到的“识别规则”予以保证。既然主体点处于将要识别的封闭图形的坐标的最“左下”点,那么只需要考虑与主体点相连的偏“右上”的点即可。将主体点与这些点构成向量,将它们按角度排序后依次作为初始走向就可进行搜索了。

4 识别规则

有了单个封闭图形的有效识别方法,并不意味着大规模识别问题就会有效解决。考察图形的特征,制定识别规则将会大大提高识别效率。为了说明在处理大规模封闭图形识别过程中制定识别规则的重要性,先得说明何为“满代价搜索”。将一次性地识别出包含当前扫描点的所有封闭图形的行为称之为“满代价搜索”。如在扫描图2中的节点6时,若将4个封闭图形(1,6,10)、(1,2,6)、(6,10,11)和(2,6,7,11)同时识别出来,此即为一次“满代价搜索”。显然,在对点集进行依次扫描的过程中,若都采用“满代价搜索”,无疑会出现大量重复,这将是巨大的效率浪费。按照基于主体点的逆(顺)时针搜索法,只需要为每个封闭图形找到一个主体点即可完成搜索,那么它的启示就是:保证一个封闭图形唯一对应一个主体点可以将识别代价进行合理分摊,实现无重复识别,为此,制定了如下系列规则。

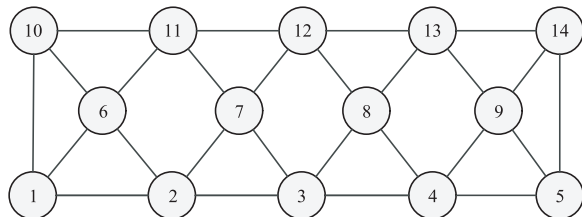


图2 某平面结构的局部图

4.1 节点的编号规则

为了获得所有的封闭图形, 需要无遗漏地对每个节点进行扫描, 那么对所有节点进行合理的排序和编号就是很有必要的。编号一方面要符合人们的习惯, 另一方面需要考虑内部策略间的协调。这里采用坐标值大小排序法。坐标值大小的判断依据是优先考察 Y 坐标, 如果 Y 坐标无法区分两点的大小, 然后再考察 X 坐标的大小。根据节点坐标值从小到大的顺序给它们从 1 开始自然排序。如此排序简单直观, 且使得编号顺序与坐标的顺序有了对应关系。这点会给识别过程带来诸多便利之处。图 2 中的节点已经根据该规则标上了编号。

4.2 主体点的扫描规则

节点的编号顺序也就是扫描节点的顺序。由于编号规则决定了全局最小节点必定在整个图形的左下方。因此, 在从小编号到大编号的顺序扫描过程中, 对于每个节点, 只需要考虑其右上方可能出现的封闭图形即可。因为, 如果从某个节点出发可以搜索到其左下方的某个封闭图形, 那么一定存在一个坐标更小的点能够搜索到某个右上方的封闭图形, 并且这两个封闭图形就是同一个。如此, 该规则实现了搜索代价的分摊, 避免了重复搜索。

4.3 二叉规则

对于一个主体点, 能尽快判断它是否具有识别出封闭图形的可能性将更为有利。根据编号规则及扫描规则可知: 一个主体点要能识别出一个封闭图形, 那么与其相邻点中至少应当有两个点的编号比它自身的编号大。这就是二叉规则。如果不满足该规则, 则认为该主体点不能识别出封闭图形。图 2 中最顶上和最右边的点显然都是不满足二叉规则的, 因此它们是无法识别出封闭图形的。

由二叉规则还可以得到如下推论: 如果某一个主体点的关联点中有 $n(n > 1)$ 个大编号节点, 那么该主体点最多能搜索出 $n - 1$ 个封闭图形。这是因为排除掉封闭图形包含现象 (认为这是不合理的图形) 之后, 平面内的主体点关联 n 个节点的情形最多可能构成 n 个封闭图形, 但是扫描规则决定了主体点的扫描方向只能是右上方向, 而不能是 360° 全包括的, 故而为 $n - 1$ 。

4.4 最低水平线规则

在判断封闭图形何时搜索完成时, 会出现被选择的轮廓顶点的坐标比主体点坐标小的现象, 而这样搜索到的封闭图形是重复的。为了避免这种情况, 搜索中认为由主体点和比其编号小的节点连接而成的封闭图形是无效的。如以图 2 中节点 2

为主体点进行搜索时, 可能出现 $2 \rightarrow 6 \rightarrow 1$ 的轮廓走向 (当然, 这个例子也可以用二叉规则的推论预先将这种搜索趋势排除掉)。对于这种情况, 最低水平线规则将认为那是不可行的走向。因为, 至少可能利用到一个小坐标节点搜索到此封闭图形, 搜索的代价应当由小坐标节点来承担, 不必要重复。

值得说明的是, 封闭图形识别方法与规则以及规则之间都是紧密联系的。若其中一个需要发生改变, 其它的规则应当做相应调整。由于平面图形的很多性质是等价对称的, 如 X 向和 Y 向的对称、顺时针与逆时针的对称等, 因此以上规则可以衍生很多类似规则。但是无论规则形式如何, 只要它们能协调一致即可。

5 应用

实践中识别的对象是由 AutoCAD 绘制的平面结构图形, 利用 Visual C++ 6.0 及 ObjectARX 作为开发工具对 AutoCAD 进行二次开发, 实现了对大规模封闭图形的自动识别, 且识别效率高。目前该识别方法已经运用于建筑幕墙计算机辅助设计及工程报价系统的开发中, 系统已经在我国建筑金属结构行业中得到推广应用。

6 结论

由于对大规模封闭图形识别问题的时效要求高, 对该问题的诸多方面综合考察是一个有效的途径。针对最能决定识别效果的方法策略层展开研究, 分析了二维封闭图形识别过程中绝大部分工作的共同基础是节点及节点关系, 确定了在这一基础上制定识别方法的总体解决策略; 就封闭图形识别这一核心, 提出了一种基于主体点的逆 (顺) 时针搜索法来识别单个封闭图形, 并辅以编号规则、扫描规则、二叉规则等规则提高了大规模二维封闭图形识别的效率。该方法具有整体性好、时效性高、稳定且易于维护等特点, 实际应用证明了此点。

参考文献:

- [1] 张建勋, 何玉林. 零件二维视图轮廓信息和封闭图形信息的自动提取[J]. 计算机工程与应用, 2000, 36(10): 38-40.
- [2] 张树有. 侧点法自动跟踪获取图形轮廓信息[J]. 浙江大学学报, 1996(7): 403-407.
- [3] 吴怀军, 孙家广. 基于回溯的参考点边界搜索算法[J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(6): 562-566.
- [4] 陆还珠, 李贤良. 机械图消隐方法一探[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1994, 6(3): 233-238.
- [5] 张淮声, 张佑生. 基于矢量积的二维封闭图形轮廓信息提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(8): 93-94.

(上接 61 页)

参考文献:

- [1] Tabatabai A J, Mitchell O R. Edge location to subpixel values in digital imagery[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(2): 188-201.
- [2] 刘力双, 张铤, 卢慧卿, 等. 图像的快速亚像素边缘检测方法[J]. 光子学报, 2005, 34(8): 993-996.
- [3] Truchetet F, Laligant O. Subpixel edge detection for dimensional control by artificial vision[J]. Journal of Electronic Imaging, 2001, 10(1): 234-239.
- [4] 于新瑞, 汪国宝, 王石刚, 等. 基于边缘导向的直边图亚像素定位方法[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(8): 866-869.

- [5] 丁兴号, 邓善熙. 基于小波变换的屋脊边缘亚像素检测[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(11): 1480-1482.
- [6] Qu Ying-dong, Cui Cheng-song, Chen San-ben, et al. A fast subpixel edge detection method using Sobel-Zernike moments operator[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(1): 11-17.
- [7] de Bates B, Kerre E, Gupta M. The fundamentals of fuzzy mathematical morphology, part 2: idempotence, convexity and decomposition[J]. Int J General Systems, 2001, 23: 155-171.
- [8] 邹仲力. 提高 CCD 尺寸测量分辨率的解调测量法[J]. 仪器仪表学报, 1986, 7(1): 38-44.
- [9] 彭长清. 误差与回归[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991.
- [10] 余新平, 朱立. 一种具有抗噪声干扰的图像边缘提取算法的研究[J]. 电子技术应用, 1999(1): 9-10.