

基于节点区域分离的工程图纸整体识别方法

程耿东 陈振宇

(大连理工大学工业装备与结构分析国家重点实验室, 大连 116023)

摘要 在工程图纸矢量化处理中着眼于图形的宏观特征,提出了一种整体识别方法。该方法中,引入节点区域的概念,通过节点区域与图段的连接关系确定图形的拓扑结构,并由节点区域分离分割图段,图段的跟踪识别以图段轮廓的方向码序列为引导实现。整体识别算法矢量化速度快,有较强的抗噪声能力。

关键词 整体识别 宏观特征 图段跟踪 节点区域

0 引言

工程图纸扫描图象的智能识别与自动输入涉及图象处理、模式识别、人工智能等多种技术,是近年来国内外学术界和工程界普遍关注的课题,也是CAD领域中的一个“瓶颈”问题,虽然已经有商品化的工程图纸自动输入系统,但从稍高的标准来看,还存在不少问题。工程图纸扫描图象的智能识别与自动输入需要解决的一个关键问题就是图形的矢量化。

目前,图形矢量化的方法大多基于细化算法^[1,2],即先对扫描图象进行图文分离,然后对分离所得的图形部分作细化处理,再跟踪细化得到的骨架,识别线段、圆弧等曲线,得到图形的矢量描述。细化处理能够在保持图形拓扑关系不变的前提下,获得其骨架表示,但是细化处理一方面计算工作量很大,另一方面也容易丢失部分图形信息,造成图形失真、交叉点畸变等不可避免的困难。

为了充分利用扫描图象的原始信息,本文提出了一种整体识别方法,该方法模拟人的视图形知觉过程,以图形的拓扑结构为基础,着眼于图形的宏观特征进行图段分割与图段模式的识别,从扫描图象提取重建矢量图形的拓扑信息与几何信息。

1 整体识别的基本思想

现有的图形矢量化方法与人对工程图的理解似乎有较大差别,我们至少可以举出以下两点:首先,为了正确理解图形中的某一细节或者判断一个细节是

否是噪声,人肯定要从它在图形中所处的环境来理解;其次,设想人在读一幅点阵图象显示的图形,显然,当人肉眼的分辨率适当低于图象分辨率时,读图的速度更快。这些差别提醒我们可以从图形的整体特征入手来解决工程图纸扫描图象的矢量化问题。

对人的视知觉的研究中的大量实验表明^[3],拓扑性质的知觉是人视觉系统的最基本而普遍的功能。由空间相邻关系决定的拓扑性质的知觉较之其它局部的几何性质(如位置等)的知觉,发生在视觉过程的初期,也就是说,从人的视觉过程来看,视觉系统更敏感于大范围的拓扑性质和图形特征。视知觉研究的最新成果启发我们,拓扑结构是图形的一个重要的整体特征,在工程图扫描图象的矢量化处理中,可以模仿人的视觉过程,首先确定整个图形的拓扑特征。

工程图纸中的图形一般由直线和圆弧(包括圆)组成。图形中曲线段的终点、曲线段之间的连接点和交叉点等,我们统称为节点。按照节点的定义,图形中连接任意两个节点的曲线段都只具有单一的曲线模式。如果以图形中的节点为顶点,用一条边表示图形中两个节点之间的一条曲线段,而忽略曲线段的几何特征与属性,就得到一个无向图 $G(V, E)$,其中 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 表示图中结点的集合, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 表示图中边的集合,这里 $e_i(v_i, v_j)$ 表示以 v_i, v_j 为端点的无向边。这一具有保持图形连通性的变换是拓扑变换,由拓扑变换得到的无向图描述了图形中节点与曲线段的连接关系,反映了图形的拓扑结构。

设工程图纸扫描所得的二值图象中,背景为白

色,图形象素点为黑色。构成图形的曲线段在宽度方向上都有若干黑象素,即具有一定宽度,称为图段。由于图段有宽度,节点也不再是抽象的点,而是有一定面积的区域,称为节点区域。在扫描图象中,可以由节点区域与图段的连接关系确定所描述图形的拓扑结构,它表明了图象中有那些节点区域,在每个节点区域有那些图段相连接。同时,如果把节点区域从图象中分离,就只余下孤立的图段,其中任何一条图段的曲线模式都是唯一确定的。所以工程图纸扫描图象中,节点区域不仅是图段连接关系的作用点,也是识别图段时图段的分割点。

通过节点区域分割图段,节点区域之间的图段都只属于单一的曲线模式,图段的跟踪识别,我们也考虑从宏观上把握其特征。图象中的曲线都由离散的象素点描述,观察的视角越广,范围越大,越能掌握它的整体趋势,反之,如果仅仅局限于几个相邻的象素点,就很难作出正确的判断。所以在识别图段的模式时,特征点的选取应在较大范围内动态地进行。因此,我们在 Freeman 链码的基础上定义了主方向码和平均方向码,以较大长度图段的宏观特征作为图段跟踪识别的依据。

整体识别方法的基本思想是:在工程图纸扫描图象中定位节点区域,并提取该节点区域的分支图段,确定图形的拓扑结构,然后分离节点区域,分割图段,分割后的图段,以其轮廓方向码序列的主方向码和平均方向码为特征,直接进行跟踪识别,最后利用得到的拓扑信息与几何信息,重建矢量图形。

2 整体识别算法的基本步骤

上述整体识别的思想,可以通过下面的步骤具体实现:

(1) 全图象扫描象素点,如果遇到属于某一图段的黑象素点,转(2);否则算法结束。

(2) 跟踪识别扫描到的图段;如果发现节点区域,提取节点区域的位置及其分支图段等几何与拓扑信息,顺序进入节点队列,分离节点区域,转(3);否则,记录该图段的几何参数,转(1)。

(3) 如果节点区域队列为空,转(1);否则,从节点区域队列中取出一个节点。

(4) 跟踪识别当前节点的所有未识别的分支图段;如果发现节点区域,搜索节点队列,确定该节点是否已经存在于节点队列中,对于节点队列中已有的节点区域,将当前图段的识别结果通知队列中

相应的节点,对于新的节点区域,其拓扑信息与几何信息入队列,分离节点区域。

(5) 记录当前节点的分支图段及与该节点有关的几何信息,转(3)。

整体识别算法中的关键技术主要包括图段跟踪识别、节点区域处理等基本过程。

3 图段的跟踪识别

Freeman 在 1970 年提出了判别链码表示的曲线是直线的三个猜测^[4]: ① 链码中至多只有两个基本方向,且它们之差按模 8 是 1; ② 上述两个基本方向中的一个总是单个地出现; ③ 上述单个出现的基本方向,总是尽可能均匀地出现。链码的方向码的定义如图 1 所示。

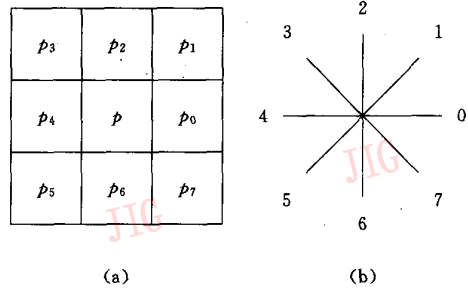


图 1 点 P 的 8-邻域与方向码

Freeman 猜测以方向码序列为依据反映的曲线斜率的变化,省却了繁杂的三角运算,大大减少了运算量。它一般用于图形细化骨架的矢量化后处理,如文献[1]。

但是,Freeman 方法考虑图段的局部特征,对于无噪声干扰的直线的链码,处理效果比较理想,而在工程图纸的扫描图象中,由于笔画或噪声的影响,同一直线段的链码中会出现多种分布不均匀的方向码,可能造成误判或冗余线段。为了从整体上考查图段的特征,我们引入了两个新的定义:

(1) 主方向码

一定长度方向码序列中的基本方向码为方向码序列的主方向码。在定义方向码的 8 个方向上的直线,其主方向码只有一个,其它方向的直线的主方向码有两个,其中出现最频繁的主方向码称为第一主方向码,另一个称为第二主方向码,第一主方向码与第二主方向码之差按模 8 是 1。主方向码与 Freeman 猜测中的基本方向意义相同。

(2) 平均方向码

一定长度方向码序列的平均值为平均方向码。在定义方向码8个方向上的直线,其平均方向码为整数,其它方向的直线的平均方向码有小数部分。平均方向码的取值为0—8。

整体识别方法中,以主方向码和平均方向码为图段跟踪识别的特征。主方向码和平均方向码都是方向码序列的统计量,反映了所描述图段的整体走向,而不是局部斜率的变化,有很强的抗干扰性。

在图段轮廓追踪过程中,遇到终点、连接点和交叉点的特征相似,都是图段中出现斜率的变化。整体识别方法在图段的追踪识别中,以图段的轮廓线为引导,而反映图段斜率变化的图段轮廓在节点区域附近的变化不外乎以下三种情况:①当前段与已知段的第一主方向码不同,如图2(a);②当前段与已知段的第一主方向码相同,而第二主方向码不同,如图2(b);③当前段的第一、二主方向码都与已知段相同,但是特征段(第一方向码段)长度与已知段不同,如图2(c)。

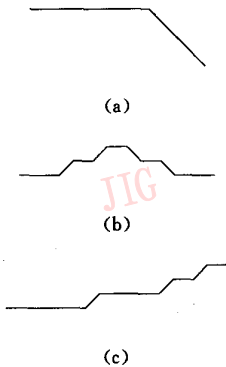


图2 图段轮廓反映其斜变化的三种情况

所以有以图段轮廓的方向码序列所反映的特征为依据,判断图段跟踪遇到节点区域相应的三条准则:①当前段与已知段的第一主方向码不同;②当前段与已知段的第二主方向码不同;③当前段与已知段的平均方向码之差大于阈值。

在图段轮廓追踪过程中,提取当前段方向码序列的特征,与已知段比较,满足以上三条准则的任何一条都表明当前段中可能存在节点区域。图段跟踪只提供对节点区域的一个粗略的估计,它需要由节点区域处理准确定位。为了防止图段的重复跟踪,图段跟踪识别完毕需要删除已跟踪过的图段。

4 节点区域的处理

整体识别算法是以节点区域为中心展开的,通过节点区域可以提取其各分支图段,而且可以通过它分割图段。此外,图段跟踪识别过程中,如果直接删除已识别的图段,会在该图段所经过的节点区域附近造成畸变,影响通过节点区域的其它图段的处理。整体识别算法在得到节点区域的有关信息以后,把它从图象中分离,这样,对通过该节点区域的各项图段的跟踪与删除都不会涉及节点区域内的象素点,因而从根本上消除了产生畸变的根源。

节点区域几何与拓扑信息的提取和节点区域分离都需要准确界定节点区域。节点区域取大了会影响通过节点区域或在节点区域附近的其它图段的跟踪,取小了无法实现对图段的分割。

节点区域实质上是多个不同斜率的图段的重叠区域,所以就有了以此为特征确定节点区域的方法。对于图段上的任一黑象素点 $P(x, y)$, 设水平方向为 0° , 过点 P 在 $0^\circ-180^\circ$ 范围内作 K 条等分线, 每一条等分线代表一个等分方向, $D_k(x, y)$ 表示点 P 的第 k 个等分方向上两个最近的边界点之间的距离, 称为第 k 个等分方向上的方向距离, $k=0, 1, \dots, K-1$ 。取点 P 的 K 个方向距离的平均值

$$\bar{D}_k(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} D_k(x, y)$$

在方向距离分布中,方向距离大于平均方向距离的区段的个数就是通过点 $P(x, y)$ 的不同斜率的分支图段的个数。

只有一条分支的点称为单分支点,有两条及两条以上分支的点称为多分支点。图3所示交叉点附近的区域,其中 P_1 点和 P_2 点的方向距离分布如图4(a)、(b),其中等分数 $K=36$,由方向距离分布图可知, P_1 点为单分支点, P_2 点为多分支点。

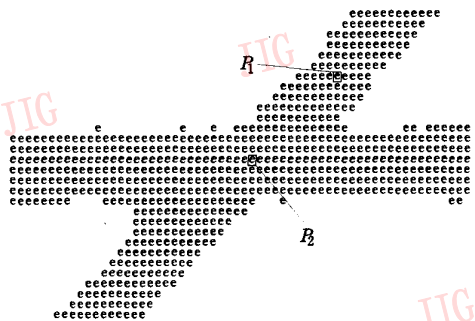


图3 交叉点附近象素点分布

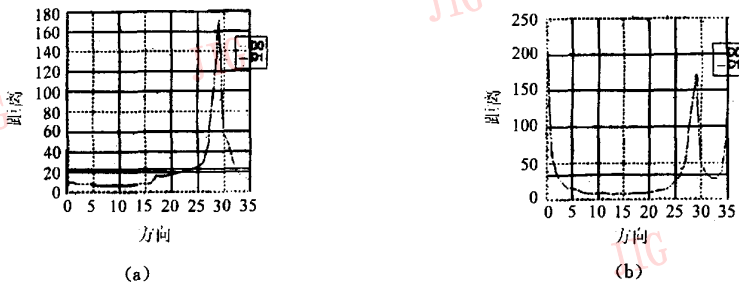


图 4 方向距离分布

在图段跟踪识别过程中遇到的节点附近,以多分支点为条件进行区域生长,就可以在保持节点区域信息的前提下,确定节点区域及其包围盒。所谓节点区域的包围盒是指以像素为单位,包围节点区域的最小矩形框。图 3 所示交叉点附近的节点区域如图 5,其中“o”表示单分支点,“x”表示多分支点(轮廓点除外),矩形虚线框为其包围盒。由多分支点构成的区域,其外轮廓很不规则,不便于提取节点区域各分支图段的拓扑信息与几何信息及合理地分割图段。为此我们将多分支点区域包围盒内部的所有非背景像素点构成的连通区域作为节点区域。

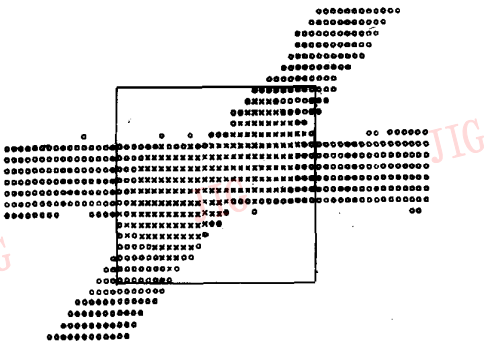


图 5 节点区域及其包围盒

扫描节点区域的外轮廓,可以得到其还未跟踪的各个分支图段的起始信息。

5 图段跟踪的两条原则

在图段跟踪识别过程中,若遇到一条线段与一系列线段相交及多条线段交于一点的情况,用两条处理原则解决:

(1) 最长延伸原则

整体识别算法在图段跟踪过程中,使图形中属于同一条线段的各图段通过跟踪形成最长图段。按照这一原则,能够防止同一条线段识别后被分割成几段的现象,尽可能准确地重建被识别线段的几何

参数。

(2) 最广延展原则

整体识别算法在处理节点区域时,使图形中当前节点区域的所有分支图段都跟踪完毕并得到其矢量表示以后,再处理下一个节点区域。

6 结果与讨论

在工程图扫描图象矢量化方法中,以细化为基础的方法中的细化骨架与行邻接图方法^[5-7]中的行邻接图是扫描图象到矢量图形的中间表示形式,由原始图象得到这两种中间表示,不但耗费计算时间和存储空间,而且在生成细化骨架与行邻接图的过程中,丢失了部分有用信息。整体识别算法模拟人的视觉过程,以图象中节点区域与图段连接关系所确定的图形的拓扑结构为基础。图段的跟踪识别也考虑其宏观特征,而忽略了像素层次噪声的影响,以其轮廓的方向码序列反映的图段的整体走向为引导,直接对图段本身进行追踪,既充分利用了原始图象的信息,其运算量与存储量也大大减少。如图 6(a)所示原始扫描图象,扫描分辨率为 300DPI(894×816),用 SPTA 细化方法进行骨架化(不包括平滑处理),需要约 25s,而用整体识别方法得到矢量结果(相应的矢量图如图 6(b)),约需要 9s。

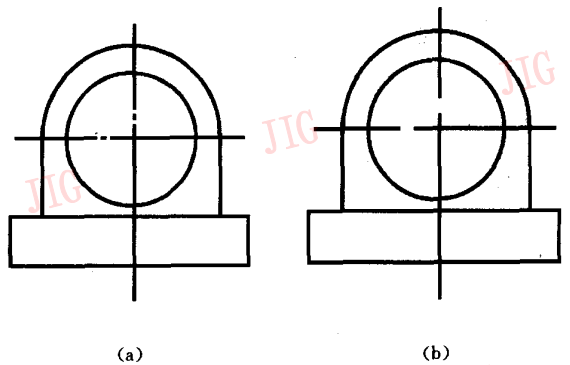


图 6 原始图象及其矢量化结果

参考文献

- 1 Nagasamy V, Langrana N A. Engineering drawing processing and vectorization system. CVGIP, 1990, 49(3):379~397.
- 2 王建华, 童秉枢. 工程图形模式识别中几个关键算法的研究. 工程图学学报, 1993, (5):96~101.
- 3 陈霖. 计算和智力的关系问题. 见:21世纪初科学发展趋势, 科学出版社, 1996, 314~316.
- 4 Freeman H. Boundary encoding and processing. Lipkin B S, Rosenfeld A (eds), Acad Press, 1970.
- 5 Pavlidis T. A vectorizer and feature extractor for document recognition. CVGIP, 1986, 35:111~127.
- 6 陈勇, 朱林, 常明. 机械图纸中直线圆弧的整体识别方法. 计算机辅助设计与图形学学报. 1996, 8(增刊):225~230.
- 7 徐建镛, 高国安. 基于TAG的工程图纸矢量化算法. 中国图象图形学报. 1996, 1(5,6):457~460.



程耿东 1941年生, 现任大连理工大学校长, 中国科学院院士, 计算力学专家。



陈振宇 1970年生, 大连理工大学博士生, 研究方向为计算机图象处理, 模式识别。

A Global Recognition Approach to Scanned Image of Engineering Drawings Based on Separation of Node Region

Cheng Gengdong, Chen Zhenyu

(Key Laboratory of Structural Analysis for Industry Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116023)

Abstract By introducing the concept of node region, the global recognition approach focuses on the integral characters of the graphics in vectorization process of scanned image of engineering drawing. It depends on the connection between node region and segment in acquiring the topologic structure of the graphics. And node regions can be used to separate the segments. The segment is recognized via tracing the chain code of its contour. The global recognition algorithm has such advantages as high speed, noise resistance.

Keywords Global recognition, Integral characters, Segment following, Node region