

基于形态腐蚀运算的地形图图符提取算法

李树欣 施泽生

(中国科技大学电子科学与技术系, 合肥 230026)

摘要 图符提取是地形图自动输入的关键步骤, 通过图符的提取可以得到地形图的许多重要信息. 因此为实现地形图符的自动提取, 提出了一种基于改进的形态学腐蚀运算的图符提取算法, 该算法具有高识别率和较快的运行速度, 并可克服线划图粘连引起的误识别. 该算法适用于实际地形图自动输入系统, 对于类似线划图图符提取的其它领域也有较好的应用前景.

关键词 地形图 图符提取 形态腐蚀 MM 距离

中图法分类号: TP391.41 P283.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)01-0021-05

A Morphological Operation Based Algorithm for Extraction Symbols from Topographic Map

LI Shu-xin, SHI Ze-sheng

(Department of Electronical Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract Symbol separation is a key step of the automatic input of topographic map. A great deal of important information can be acquired through the pick-up of symbols. Although there has been a lot of algorithms aiming at this question, they were all obsessed by the conglutination problem. In this paper we define a new kind of morphological erosion operation and propose a new symbol separation algorithm based on it. Experiment result shows that this algorithm provides high resolution and rapid speed, and it can get over the familiar conglutination problem between symbols and lines that is inextricable to the general symbol separation algorithms. Its performance has met the requisition of actual automatic input system of topographical map. Further more, with a few modifications of the program, it can be extended to the recognition of other analogous line drawing such as engineering blueprint. We could also combine it with traditional algorithms to achieve better performance.

Keyword Topographical map, Symbol separation, Morphological erosion, MM distance

0 引言

由于图符表征了地形图中诸如目标的位置、类型等许多重要信息, 因此图符提取是地形图自动输入的重要环节, 而且在已有识别系统的研究中, 都把图符的提取和识别作为地形图识别的第一个步骤. 但由于已有的提取图符算法难以克服图符粘连所带来的困难, 因此至今还没有完全解决地形图图符的提取问题. 因而, 研究一种切实可行的图符提取方案是地形图的自动输入能否进入实际应用的先决条件.

本文研究的地形图是一种二值测绘图, 考虑到地形图本身的特征^[1], 一种实用的图符提取方案必须具有以下功能: (1) 具有能够处理大幅面图象的能力; (2) 易于纠正识别错误; (3) 具有一定的抗干扰和容错能力, 即对图符的微小差异不敏感. 本文提出的算法是从数学形态学的基本原理出发, 通过将地形图中的图符变换成画笔的点集, 再经过逐一将画笔点集分离出来以找到图符的位置. 在此算法的基础上, 经过编程优化, 可以达到相当高的识别率及符合实用要求的运行速率, 是一种可运用于实际地形图自动输入系统的算法.

1 图符提取的主要方法

目前,国际上通用的线划图图符提取方案主要可分为下述两大类^[2]:第一类方案是先将图符从点阵图中分离出来,然后再进行识别;第二类方案则是直接在点阵图中将图符识别出来,再在图符的位置上进行标注.其中,第一种方案由于对图符形状的变化较不敏感,容错性能好,且具有较高的识别速率,因此成为线划图图符提取方法的主流.在已有的机械零件图、电子电路图自动输入系统中,此方案得到了极为广泛的运用.目前采用第一种方案对已分离的图符进行识别已有许多种发展成熟的技术,而现在的主要困难则集中在如何把图符从地图上准确地分离出来^[3,4].虽然从地图中分离图符的算法有多种,但从实质上讲,它们都是通过线跟踪等方法在地图上找到线段或闭合通路,这是因为图符一般具有尺寸较小,且相对孤立的特点,根据这两个特征就可以把图符或图符的部分笔画从点阵图上分离出来.该方法对于图符基本孤立的图形具有良好的效果,因此应用范围很广,而且在已有的地形图识别方案中,基本上也都采用了这种算法^[5].但是事实上,对于实际的地形图,要使其所有的图符都完全独立是很难做到的,有时甚至一幅图上这种不独立的图符在所有图符中所占的比例无法忽视,如图1所示,当图符与邻近的线发生粘连时,使用上述方法则无法将粘连的图符正确分离出来,因此,寻找一种更为优良的算法来解决上述困难就成了亟待解决的问题.

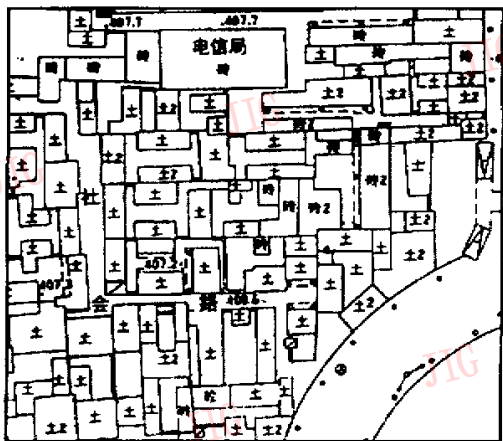


图1 某城镇局部地图

纸由粗细稳定的画笔绘制而成;②图符的大小和形状基本确定;③图符与附近线段粘连,甚至重叠的情况比较严重;④由于原始地图上的线较细,为使图象达到识别所需的质量,必须进行较高分辨率扫描,因此图象的尺寸较大;⑤地形图为大比例尺地图,对路灯、消防龙头等城建设施都有图符详细标注.为解决粘连和重叠图符的识别问题,必须采用直接在地形图中识别图符的算法,因为它能较好地解决粘连图符的识别问题,但是,若图符类型太多,直接识别等方法也有问题,所幸的是,尽管地形图上总的图符类型很多,但在一幅地图的局部范围内,图符的种类却十分有限,因此设计一种直接对地图上各类型图符进行逐一提取的算法在理论上完全可行.另外,由于地形图扫描图象的尺寸较大,若采用一般的直接基于灰度图象的图象匹配算法则根本无法满足速度上的要求,因此本文从数学形态学的基本原理出发,设计了一种新的图符提取算法.

2 线划图中结构元素的分解

本文对地形图进行描述和处理的方法主要是基于数学形态学的理论.由于所研究的地形图是二值图象,因此文中所设计的形态学定义都是二值图象数学形态学的概念.

以 A^c 表示集合 A 的补集,用记号 $A[y]$ 表示一个集合 A 在 y 方向的平移, $\tilde{A}$ 表示 A 关于坐标原点的反射.从集合论的观点出发,数学形态学对数字图象及数字图象处理进行了重新刻画^[6]:

(1) 点集 B 对点集 X 的腐蚀

$$X \ominus B = \{X | B[x] \subseteq X\} \quad (1)$$

(2) 点集 B 对点集 X 的膨胀

$$X \oplus B = \{\tilde{B}[x] \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

(3) 点集 B 对点集 X 的闭运算

$$X \cdot B = (X \oplus B) \ominus B \quad (3)$$

(4) 点集 A 相对于 B 的尺寸

$$SIZE_B(A) = \sup\{\lambda | A \ominus \lambda B \neq \emptyset\} \quad (4)$$

其中,

$$\lambda B = \overbrace{B \oplus B \oplus \dots \oplus B}^{\lambda} \quad (5)$$

(5) 点集间的 MM 度量

$$MM(X, Y) = \max\{SIZE_D(X - Y), SIZE_D(Y - X)\} \quad (6)$$

其中, D 是 R^n (或 Z^n) 中半径为 1 的超球;

本文研究所用的地形图具有以下特点^[1]:①图

上述形态学运算具有如下基本性质(关于这些性质的证明可参见参考文献[6]、[7]):

① 平移不变性

$$\begin{cases} X[h] \ominus B = (X \ominus B)[h] \\ X[h] \oplus B = (X \oplus B)[h] \end{cases} \quad (7)$$

② 递增性

$$O \in B \Rightarrow X \ominus B \subseteq X, X \subseteq X \oplus B \quad (8)$$

③ 交换律

$$A \oplus B = B \oplus A \quad (9)$$

④ 闭运算的扩展性

$$X \subseteq X \cdot B \quad (10)$$

⑤ 与集合运算的关系

$$(X \cup Y) \ominus B \supseteq (X \ominus B) \cup (Y \ominus B) \quad (11)$$

在理想的无噪声情况下,图符 S 可表示成它的画笔点集 P 对其骨架 F 进行膨胀得到的结果^[8],即

$$S = F \oplus P = P \oplus F \quad (12)$$

因此,若以 F 对 S 进行腐蚀,则可得到

$$S \ominus F = (P \oplus F) \ominus F = P \cdot F \supseteq P \quad (13)$$

M 表示地形图的点集,对于某种特定图符 S, M 可表示为

$$M = S[h_1] \cup S[h_2] \cup \dots \cup S[h_n] \cup R \quad (14)$$

其中

$$R \ominus S = \emptyset \quad (15)$$

在无噪声情况下,用骨架 F 对 M 进行收缩后可以得到

$$\begin{aligned} M_1 &= M \ominus F = \\ &= (S[h_1] \cup S[h_2] \cup \dots \cup S[h_n] \cup R) \ominus F \supseteq \\ &= (S[h_1] \ominus F) \cup \dots \cup (S[h_n] \ominus F) \cup (R \ominus F) = \\ &= (S \ominus F)[h_1] \cup \dots \cup (S \ominus F)[h_n] \cup (R \ominus F) \supseteq \\ &= P[h_1] \cup P[h_2] \cup \dots \cup P[h_n] \cup (R \ominus F) \end{aligned} \quad (16)$$

由上式可以看出,点集 M_1 中包含两个组成部分,其一是点集 $P[h_1] \cup P[h_2] \cup \dots \cup P[h_n]$,其直观意义是图符画笔点集的分布,且画笔点集的位置与图符的位置相同;其二是最后一项 $R \ominus F$,其代表了原始图象中除图符 S 以外的像素点集对骨架 F 腐蚀的结果,在理想情况下该项为空集。

3 图象结构元素的转换及图符提取

从上所述可以看出,如果能正确找出画笔点集的位置,并排除 $R \ominus F$ 造成的干扰,则可将图符准确地提取出来。由于一般腐蚀算法易受噪声点的影响,为了提高算法的鲁棒性,本文采用了有别于一般意

义上的腐蚀定义

$$X \Xi B = \{x | MM(\text{Mask}(X[-x]), B), B) < \alpha\} \quad (17)$$

其中

$$\text{Mask}(X, B) = \begin{cases} X(i, j) & B(i, j) = 1 \\ 0 & B(i, j) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

$X(i, j)$ 表示点集 X 在 i, j 的值

本文把上面定义的这个算符称为 MM 腐蚀,类似的,一般意义上的腐蚀运算也可表示为

$$X \ominus B = \{x | MM(\text{Mask}(X[-x]), B), B) = 0\} \quad (19)$$

显然

$$X \ominus B \subseteq X \Xi B \quad (20)$$

上式说明,对原始图象进行 MM 腐蚀后得到的点集,同样包含了对原始图象进行一般腐蚀得到的结果,而该方法则克服了一般形态学运算对噪声比较敏感的问题,因而也减少了由于噪声出现所导致的识别过程的某些错漏。同时,为了消除线划图在扫描和二值化过程中产生的凹角及散点噪声,本文根据闭运算能够填充图象边界凹角及内部细小结构单元的特点,在进行图符提取之前,先用一个小尺寸的圆盘结构元素对图象进行一次闭运算,以消除线划图中存在的凹角及散点噪声。

对预处理图象进行 MM 腐蚀后即得到点集 D ,为将点集 D 转换为图符的画笔点集 $\{P_i\}$,可采用如下算法:

- (1) 从 D 中找到相互间欧氏距离均大于阈值 α 的一系列点 d_i ,以产生画笔点集的初始划分集合 Σ ,但 Σ 中的每个集合元素 E_i 都仅包含一个初始点 d_i ;
 - (2) 若集合 E_j 中存在一点 e_k ,并使得 D 中的一个点 d_i 具有 $\|d_i - e_k\| \leq \alpha$,则把 d_i 归入点集 E_j ;
 - (3) 重复步骤 2 直至 D 中的所有点都被归入 Σ 中的某个集合元素;
 - (4) 从 Σ 中任选两个元素 E_i 和 E_j ,若 E_i 和 E_j 中存在两个点 e_{ik} 和 e_{jl} ,并使得 $\|e_{ik} - e_{jl}\| \leq \alpha$,则合并 E_i 和 E_j 为一个集合;
 - (5) 重复步骤 4 直到 Σ 中找不到可合并的元素;
- 其中, $\|x_1 - x_2\|$ 表示点 x_1 和 x_2 之间的欧氏距离, α 为预先规定的阈值。

通过上述运算,就可以得到画笔点集的集合 $\Sigma = \{P_i\}$ 。为排除 $R \ominus F$ 项造成的干扰,可将 P_i 与标准画笔点集进行比较,然后将尺寸或形状相差较大的点集视为干扰项,予以排除。

在实际应用中,画笔点集的取值可由操作者根据实际图形设定。确定画笔点集后,就可得到图符的

特征点集 $F=S\ominus P$;若以 K 表示消除噪声点集,则实际图符的识别算法过程如下:

- ① 用点集 K 对原始图象进行闭运算,在消除线划图存在的凹点及散点噪声后,即得到点集 M_1 ;
- ② 用图符的特征点集 F 对 M_1 进行 MM 腐蚀操作,即得到点集 M_2 ;
- ③ 用本文算法对 M_2 进行处理,即得到若干绘图画笔点集 $\{p_1, p_2 \cdots p_n\}$;
- ④ 将点集 p_i 与标准画笔点集进行比较,其尺度相似的点集 p_i 所在位置,则视为发现图符的位置;
- ⑤ 在发现图符的位置上进行标注;
- ⑥ 选择其它图符特征点集对地图进行上述操作;

4 实验结果

根据以上算法,本文设计了一个基于 Visual C++ 6.0 环境下的地形图图符提取程序,并在 CPU 为 Pentium II、主频 300MHz、内存 64MB 的微机上,对若干种不同环境下的地形图样本进行了识别图符提取试验. 以下给出一个地图样本及经图符提取后该地图的一个局部(图 2、图 3),试验结果见表 1.

表 1

地图类型	地图大小 (pixel)	比例尺	图符类型	图符数	错误数	运行时间 (s)
公园	1 420×1 312	1:1 000	草地标记	65	0	10.2
道路	1 546×1 208	1:1 000	路灯	31	1	10.7
矿区	1 754×1 524	1:2 000	汉字“矿”	27	2	13.1
居民区	1 078×1 022	1:1 000	汉字“砖”	53	4	6.9

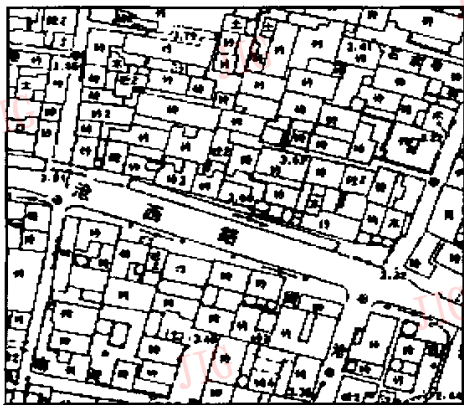


图 2 某居民区局部地图

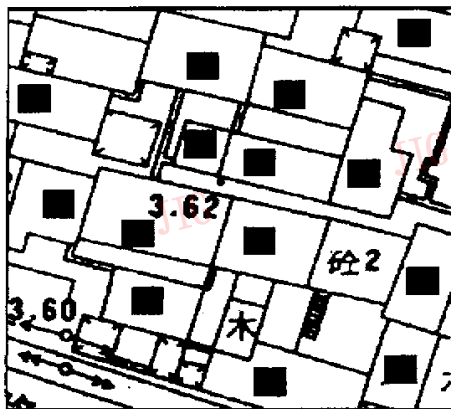


图 3 经图符提取后的某矿区局部放大地图

从算例的结果来看:

- (1) 对于结构较为简单的图符而言,本文的算法不会出现误识别或错漏的情况,以公园地图为例(表 1),图中 65 个草地标记图符都得到正确识别;
- (2) 对于汉字等较为复杂的图形,上述算法也具有相当高的识别率,以居民区中标注的汉字“砖”为例(图 2,表 1),53 个图符中出现 4 处误识别,识别率仍达到 92%;

从程序的运行速度来看,本文提出的算法虽然运算速度稍逊于基于线跟踪算法,但仍然可达到工程一般运算需要的速度要求,并且,由于形态学运算具有高并行性,在并行运算的情况下,该算法的运算速度还可以有较大提高.

同时,该算法还具有良好的交互能力,即在操作人员适当的干预下,算法的效率还可以得到显著提高. 因此,本文提出的算法是一种切实可行的地形图图符提取算法,它具有识别率高、交互能力好等优点.

5 结论及展望

从实验的结果来看,本文的算法已经接近实际应用的要求. 同时,由于实际图纸较为复杂,并可能出现较严重的粗糙及断线问题,因此还可考虑将该算法与其它算法相结合,以获得更高的运行速度及识别率. 并且,该算法还可推广以用于与地形图类似的线划图(如机械零件图纸等)的图符提取,在这些方面也具有较好的应用前景.

参 考 文 献

1. 中华人民共和国国家标准地形图图式(GB7929-97),国家标准局

1987-06-10 发布.

- 2 Sven Loncaric, A survey of shape analysis techniques. Pattern Recognition. 1998,(8):983~1001.
- 3 Y Lu, Machine printed character segmentation——An overview. Pattern Recognition. 1995,(1):67~80.
- 4 Tan C L, NG P O. Text extraction using pyramid. Pattern Recognition, 1998,(1):63~72.
- 5 Den Hartog J E, Ten Kate T K, Gerbrands J J. Knowledge-based interpretation of utility maps. Computer Vision and Image Understanding. 1996,(1):105~177.
- 6 吴敏金. 图象形态学. 上海:上海科学技术文献出版社,1986.
- 7 龚炜,石青云,程民德. 数字空间中的数学形态学. 北京:科学出版社,1993.
- 8 Demin Wang, Veronique Haese-coat, Joseph Ronsin. Shape decomposition and representation using a recursive morphological operation. Pattern Recognition. 1995,(11):1783~1792.

李树欣 1976 年生,1997 年毕业于中国科学技术大学力学与机械工程系,现于中国科学技术大学电子科学与技术系攻读硕士学位. 研究方向包括数字图象分析、模式识别与人工智能.

施泽生 1937 年生,1960 年毕业于华中理工大学,现任中国科学技术大学电子科学与技术系教授、博士生导师. 曾从事微型计算机应用的教学与科研工作,现致力于图形自动输入、模式识别与人工智能方面的科研与教学工作,近期发表论文近 20 篇.