

文章编号: 1007-6301 (2001) 增刊-0088-07

地形图点状符号自动识别中 不变性特征参数的提取

叶建栲, 刘 岳

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 特征参数的抽取, 是实现地形图中点状符号自动识别的关键。本文根据点状符号在扫描图中可能出现的旋转、缩放等情况, 归纳和总结出了4种易于计算的不变性特征, 并给出了这些特征的提取方法和部分实验结果。这4种特征参数是: 复杂度——用以描述符号外围的复杂程度; 扁率——用以反映符号的扁平程度; 比重——符号的黑色部分在其整个覆盖区域中所占的比例; 偏心率——用以反映符号重心与符号的几何中心的偏离程度。这4种特征参数具有旋转不变性和大小不变性, 且便于提取、容易计算。

关 键 词: 地图模式识别; 不变性特征

中图分类号: P284; P283.7 **文献标识码:** A

1 引言

特征是指一物体区别于其它物体的本质性的东西, 如物体的形状、大小、颜色等。点状符号的特征是指一个点状符号区别于其它点状符号的本质特点, 也是人们识别一个点状符号的基本依据。一般来说, 模式的特征可分为物理的、结构的和数学的3类。人们通常是利用物理特征和结构特征来识别对象, 因为这些特征容易被人们的视觉、听觉, 以及其它感觉器官所感知。但在使用计算机去构造识别系统时, 应用这些特征则比较困难, 而计算机在抽取数学特征的能力方面要比人强得多。因此, 选择合适的数学特征是实现地形图中点状符号自动识别的重要基础。

2 选取特征参数的原则

显然, 符号特征的选取是点状符号识别的一个关键问题, 特征参数选取的好坏直接影响到分类器的设计及其性能。因此, 必须充分考虑扫描地图中点状符号的特点, 选取一些实用有效的特征参数。

受扫描分辨率的影响, 相同的点状符号在不同分辨率的图上其大小也不同。扫描时底图摆放的位置不同, 会使扫描后的点状符号发生旋转、平移等变化。现有的一些纸质地图

收稿日期: 2001-06; 修订日期: 2001-09

作者简介: 叶建栲 (1967-), 男, 博士, 副教授, 1999年在中科院地理科学与资源研究所从事博士后工作。主要研究方向为地图模式识别和地图投影学, 发表论文10余篇。

一般都是手工绘制而成,受人为因素的影响,更难保证点状符号其方向、大小的完全一致性。

况且,在地形图中,有些点状符号本身就有方向变化,如图1所示的“桥梁”符号,是与其所在的道路的方向保持一致,“密集灌木林”符号和“稀疏灌木林”符号的方向是任意给定的,且在绘制时,要求其方向尽量不一致,此外,还有“山洞”、“独立房”等符号也都有方向变化,它们是与实地上对应物体的方向一致的。因此,提取一些具有大小不变,以及旋转、平移不变的特征,对地形图中点状符号的识别是非常必要的。

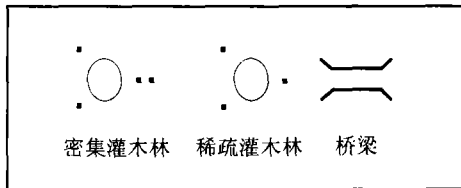


图1 部分有方向变化的符号

Fig.1 Partial symbols with directions

由于我们在点状符号的识别过程中,首先是通过一定的算法,将点状符号从扫描图中分割出来,符号特征提取及识别过程是在分割出来的图像上进行的,因此,与符号在原图中的位置无关。因此,平移不变性将不作为本文的研究内容,即本文在点状符号特征参数的选取时,不考虑平移不变性,而只考虑大小不变和旋转不变两种特性。

综上所述,在点状符号特征参数的选取时,应遵循以下几条原则:

(1) 所选取的特征参数应具有旋转不变性。不论点状符号在图中的方向如何变化,从符号中获取的特征参数的值都应该是相同的(严格地说,应该是相近的,误差在一定的域值内)。

(2) 所选取的特征参数应具有大小不变性。一个识别软件要想达到实用的程度,必须能够适应各种不同的情况,而扫描分辨率的变化是首先要考虑的一个因素,也就是说,在不同分辨率的扫描图上软件都能够正常工作。这就要求在程序设计时,要考虑到扫描分辨率的影响,这首先体现在特征参数的提取上,即我们所提取的特征参数不受扫描分辨率的影响,具有大小不变性。

(3) 所选取的特征参数应便于提取、容易计算。如果所选取的特征参数在计算机条件下无法提取,或是很难提取,如需要进行很长时间的计算才能得到,则不论该特征参数是否满足前面两条不变特性,我们均不宜采纳。

基于上述原则,考虑到点状符号构图规律,我们选取了具有旋转不变和大小不变性,且计算简单方便的4个参数:复杂度、扁率、比重和偏心率作为识别点状符号的特征参数。

3 特征参数的提取

下面我们就上述4个特征参数,说明其概念和提取方法。

3.1 复杂度

点状符号的复杂度用以描述符号外围的复杂程度。

定义1 在扫描图像上,沿某符号外围线跟踪一周所累计的像素总数,称为符号的8-邻域周长。

定义2 若将扫描图像上某符号复杂的外围线视为一条闭合的折线,则该折线中各条直线段的像素数(含直线段的两个端点)的总和,称为符号的计算周长。

如图2(a)所示的正方形符号,图中每一格代表一个像素,则该符号的8-邻域周长为

12. 计算周长为 16。正方形符号(b)的 8-邻域周长为 8, 计算周长为 12。

定理 1 符号的计算周长等于其 8-邻域周长与拐点数之和。

拐点即定义 2 中所说的折线中各直线段的端点。由定义 1 可知, 符号的 8-邻域周长是符号外围线上的像素数(含拐点数), 由定义 2 可知, 符号的计算周长也是符号外围线上的像素数, 但其在计算时重复计算了拐点数, 即计算周长中含有双倍拐点数, 显然, 定理成立。

扫描图中符号的复杂度定义为:

$$F = \frac{c^2}{A} \quad (1)$$

式中 F 为符号复杂度, A 为符号面积, C 为符号周长。

在上述定义中, 符号的周长是指符号的计算周长, 对于非连通性符号, 如“密集灌木林”符号等, 其符号的周长为符号主体的周长。符号面积即整个符号累计的像素数。

定理 2 在扫描图像中, 符号的计算周长与扫描分辨率成正比, 符号的面积与扫描分辨率的平方成正比。

证明 设某符号在扫描分辨率为 f_1 的图上其周长(计算周长, 下同)为 c_1 (像素), 面积为 A_1 (像素), 在扫描分辨率为 f_2 的图上其周长为 c_2 (像素), 面积为 A_2 (像素), 该符号在纸质地图中的周长为 c (mm), 面积为 A (mm²)。

显然, 扫描地图与其原图之间是一种放大缩小的关系, 其放大倍数为:

$$t = \frac{f}{25.4} \quad (2)$$

式中 f 为扫描分辨率。

设原图中该符号的外围线是一条由 n 条直线段组成的折线, 各段直线段的长度分别为 d_1, d_2, \dots, d_n , 在扫描图中对应的各段直线段的长度为: 分辨率为 f_1 的图上 $d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1n}$; 分辨率为 f_2 的图上 $d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2n}$

根据 (2) 式, 有:

$$\frac{d_{1i}}{d_i} = \frac{f_1}{25.4} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\frac{A_1}{A} = \left(\frac{f_1}{25.4} \right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{d_{2i}}{d_i} = \frac{f_2}{25.4} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$\frac{A_2}{A} = \left(\frac{f_2}{25.4} \right)^2 \quad (6)$$

由于 $c = d_1 + d_2 + \dots + d_n$, $c_1 = d_{11} + d_{12} + \dots + d_{1n}$, $c_2 = d_{21} + d_{22} + \dots + d_{2n}$, 结合 (3)、(5) 两式, 显然有:

$$\frac{c_1}{c} = \frac{f_1}{25.4} \quad (7)$$

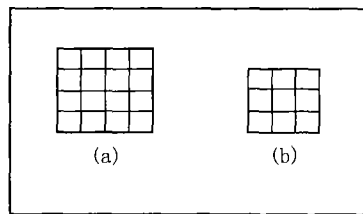


图 2 周长示意图

Fig. 2 Diagram of the perimeter

$$\frac{c_2}{c} = \frac{f_2}{25.4} \quad (8)$$

将(7)式除以(8)式,得:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{f_1}{f_2} \quad (9)$$

即符号的周长与扫描分辨率成正比。

将(4)式除以(6)式,得:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (10)$$

即符号面积与扫描分辨率的平方成正比。

定理3 在扫描图像中,符号的复杂度具有大小不变性和旋转不变性。

证明 由(7)式有:

$$c_1 = \frac{c}{25.4} f_1 \quad (11)$$

由(4)式有:

$$A_1 = \frac{A}{25.4^2} f_1^2 \quad (12)$$

则复杂度 F_1 为:

$$F_1 = \frac{c_1^2}{A_1} = \frac{c^2}{A} \quad (13)$$

在原图中,符号的周长和面积都是固定的,即 $\frac{c^2}{A}$ 为常量,所以 F_1 也为常量,即复杂度具有大小不变性。

由于在相同分辨率的图上,符号的尺寸不受其方向的影响,即符号的周长和面积都不随其方向的变化而变化。故符号的复杂度具有旋转不变性。

3.2 扁率

首先确定点状符号的外接矩形,使该矩形的四条边均与符号的外围线相切,这一点在符号的分割过程中就已经实现。然后从外接矩形的中心点出发,从正北方向开始,每隔 30° 向外发出一条射线,这些射线与符号的外围轮廓线的交点到外接矩形的中心点的距离称为符号的方向半径。在得到的12条方向半径中,最长的一条称为符号的最大半径,而其中最短的一条称为符号的最小半径。

符号的扁率用以反映符号的扁平程度,是符号的最小半径与最大半径之比。

定理4 在扫描地形图中,点状符号的扁率具有大小不变性和旋转不变性。

证明 在地形图中所用的坐标系为平面直角坐标系,而图像坐标也是平面直角坐标系。且扫描图与原图之间是一种旋转平移、放大缩小的关系,它们之间的放大倍率见公式(2)。

因此,扫描图中两点之间的距离与原图中相应的两点之间的距离应成比例关系,比例系数即为公式(2)中的 t 。

设扫描图中某符号的最大半径为 r'_1 , 最小半径为 r'_2 , 而原图中与之相对应的两个半径分别为 r_1 和 r_2 , 则显然有:

$$\frac{r'_1}{r_1} = \frac{r'_2}{r_2} = t \quad (14)$$

则扁率为:

$$\beta = \frac{r'_2}{r'_1} = \frac{r_2}{r_1} \quad (15)$$

从(15)式可以看出,符号的扁率与扫描分辨率无关,即特征参数“扁率”具有大小

不变性。同时,还可以看出扁率 β 的值仅与原图中的2个半径有关,是一个常量,因而,也具有旋转不变性。

3.3 比重

符号的比重是指符号的黑色部分在其整个覆盖区域中所占的比例,在本文中定义为符号面积与其外接圆面积之比。

符号外接圆是指以符号外接矩形的中心点为圆心,以符号的最大半径为半径所作的圆。

定理5 在扫描地形图中,点状符号的比重具有大小不变性和旋转不变性。

(证明方法与前面类似,此处略去。)

3.4 偏心率

符号的偏心率用以反映符号重心与符号的几何中心的偏离程度,是偏心距与符号面积之比。

定义4 若符号的几何中心为 (X_c, Y_c) ,则符号的偏心距 M 可定义为:

$$M = \sum_x \sum_y (Y - Y_c)(X - X_c)f(X, Y) \quad (16)$$

上式中的函数 $f(X, Y)$ 可用下式确定:

$$f(X, Y) = \begin{cases} 1 & \text{(黑色像素)} \\ 0 & \text{(白色像素)} \end{cases}$$

则偏心率 E 为:

$$E = \frac{M}{A} \quad (17)$$

式中 A 为符号面积。

定理6 在扫描地形图中,点状符号的偏心率具有大小不变性和旋转不变性。(证明略。)

4 实验结果

本实验从1:50 000地形图中选取了60种常见的点状符号,每种符号采集了10个训练样本,分别提取其不变性特征,并求取其均值和方差。图3为其中3种符号的图形示意图,表1为这3种符号对应的不变性特征模型。

表1 3种符号的特征模型

Tab. 1 Feature model of three-kind symbols

序号		复杂度	扁率	比重	偏心率
1	均值	27.842 1	0.769 2	0.372 6	15.697 4
	方差	3.274 0	0.113 9	0.046 4	2.073 3
2	均值	26.784 8	0.171 4	0.515 2	6.038 0
	方差	2.980 4	0.024 6	0.070 3	0.811 7
3	均值	13.280 5	0.383 3	0.725 0	5.353 6
	方差	1.637 2	0.047 7	0.091 4	0.657 6

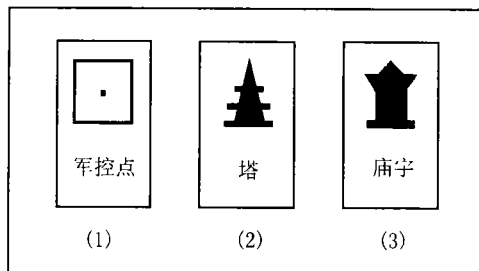


图3 3种点状符号图形

Fig. 3 The three-kind point symbols

从实验结果可以看出,这4种特征参数很好地体现了点状符号的特征,具有旋转不变性和大小不变性,不受扫描图的分辨率以及可能出现的旋转等因素的影响,不受图像噪音的干扰,通过对这4种特征参数的提取与分析,将极大地提高地形图中点状符号自动识别的正确率。该算法已经在我们的后续工作中得到了应用,首先,以这4种不变性特征为基础,建立地形图中各种点状符号的模型库,然后,以一幅1:50 000地形图黑版为例,对图中的点状符号进行自动识别,得到了满意的结果,识别率达80%以上。

参考文献:

- [1] Looney C G. Pattern Recognition Using Neural Networks[M]. New York Oxford: Oxford University Press, 1997.
- [2] Mann G K I, Hu B G, Gosine R G. Fuzzy PID Controller Structures[C]. Proceedings, IEEE 1997 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1997.
- [3] Fukushima K. A Neural Network for Visual Pattern Recognition[C]. IEEE Compute. 21, 1988.
- [4] Goodyear Aerospace Company: Associative Array Processing of Raster Scanned Data for Automated Cartography [R]. Report No. ETL 0046, AD A022 753, 1976.
- [5] Information Sciences Company: Raster to Lineal Conversion Analysis[R]. Report No. RADC-TR-77-421, 1977.
- [6] Litchner W. Pattern Recognition Procedure for Automatic Digitizing of Cadastral Maps[C]. Proceedings Auto. Carto. 7, Washington D. C., 1985.
- [7] Environmental Research and Technology Inc.: Mini Raster to Vector Conversion[R]. Report No. ETL 0269, 1981.
- [8] Thompson M. R., et al. Digital Terrain Analysis Station(DTAS)[R]. Army Engineer Topographic Labs., Report No. ETL R040, AD A119 298, 1982.
- [9] David D et al. Raster to Vector Analysis[R]. Report No. ETL 0383, AD A154 153, 1984.
- [10] McDonnell M. Scan Line Methods in Spatial Data Systems[R]. Army Engineer Topographic Labs.. Report No. ETL R152, AD A231165, 1990.
- [11] Rand R S. Hybrid Methodology for Detecting Cartographically Significant Features Using Landsat TM Imagery [R]. Army Engineer Topographic Labs.. Report No. ETL 0589, AD A240 454.
- [12] Yang J. Automatische Erfassung der Höhenlinienfolien mit Verfahren der Mustererkennung. Nachrichten aus dem Karten und Vermessungswesen, Series I, No.105, Frankfurt am Main, 1990.

Invariant Features Extraction of Map Symbols

YE Jian-kao, LIU Yue

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Feature extraction is the key of automated recognition of map symbols. Four two-dimensional invariant features of map symbols are summarized. The methods of the extraction of invariant features and a part of the experiment results are put forward.

The four invariant features are the degree of complication of the periphery of the symbols, the breadth length ratio of the symbols, the proportion between the black pixels and

all the pixels of a symbol, and the distance between the barycenter and the geometry center of a symbol.

These four invariant feature parameters are characterized by invariability of rotation and size. A part of invariant characters has been proved in the paper. They are easy to be picked-up and the calculation is very simple.

From the results of the experiment, we can see that the four feature parameters commendably describe the characters of the point symbols on maps, and they are not influenced by changing the size of scanning maps or rotating symbols and not disturbed by any noise of the image.

The correctness ratio of automated recognition of point symbols on a map could be greatly increased through extracting and analyzing these four feature parameters.

Key words: Map pattern recognition; Invariant features