

面要素空间信息量的度量方法研究

刘慧敏, 邓 敏, 何占军, 徐 震

(中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘要: 地图是空间信息的载体, 地图空间信息的度量是地图信息传输理论的一个基础问题。地图空间信息主要包括地图要素的空间信息和要素分布的空间信息。地图空间信息是由要素的几何形态结构来体现, 即要素的空间信息通过其几何形态特征描述。为此, 本文以面要素为研究对象, 提出一种以几何形态结构特征的面要素空间信息量度量方法。首先, 从空间认知角度对面要素结构进行凸包分解, 构建凸包树的面要素表达方法。然后, 采用层次化策略, 分别从结点的元素、邻域和整体三个层次来描述面要素几何形态结构, 将面要素空间信息分解为几何形态信息和分布结构信息, 结合面要素空间信息量的认知分析, 给出了几何形态和分布结构特征的定量描述指标, 并发展了基于几何形态结构特征的面要素空间信息量计算模型。最后, 通过一组实验计算, 进行了案例验证分析。

关键词: 面要素; 信息量; 空间认知; 凸包树; 特征

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00744

1 引言

地图空间信息度量是地图信息传输理论的一个最基础问题^[1-3], 定量计算地图空间信息量可为地图设计、分析评价提供依据^[3-8]; 亦能为制图综合提供选取标准和评价指标^[9-11]。地图载负量主要是通过地图上各种空间要素(即点、线和面要素)以及它们的分布来表达的。地图要素根据符号类型可分为点要素、线要素和面要素, 其组成蕴含着大量的地理空间特征和信息。为了更加精确地计算地图空间信息量, 除了计算地图要素分布蕴含的空间信息量, 亦需要计算地图要素自身的空间信息量, 但现有地图信息度量的方法, 多是考虑地图要素分布的信息量, 而忽视了地图要素自身形态结构蕴含的信息量^[12-17]。为此, 本文以面要素为例, 研究地图要素的空间信息量的度量方法。

对于一个面要素, 其空间信息主要是通过其几何形态来反映。因此, 面要素空间信息量的度量建立在对空间几何形态结构认知的基础上。为此, 本文从面要素的几何形态结构出发, 在分析凸包树结点多边形及其分布关系的空间特征基础上, 将面要素分解描述为一个凸包树^[18-19]。面要素几何形

态特征, 一般包括: ①在结点凸包的元素层次, 研究多边形的形态结构, 提取空间特征并进行定量描述; ②在凸包树结点的邻域层次和整体层次, 研究凸包结点的分布关系, 提取相应的空间特征并进行定量描述。最后, 根据地图空间信息产生的本质(即空间特征的多样性或差异性)^[8, 12], 建立面要素空间信息量的度量模型, 用以作度量分析。

2 空间信息度量模型及其研究策略

面空间信息度量模型, 其表达式:

$$I = \sum_{i=1}^n \log_2(V_i + 1) \quad (1)$$

式中: V_i 为面要素几何形态特征描述指标的标准化值。式(1)亦是 Whelan & McBratney 提出的改进的信息量计算模型^[20]。具体研究策略如图 1 所示。

3 基于凸包树的面要素几何形状特征

3.1 面要素的几何形态认知

空间形状是人对地图空间感知的重要特征, 亦

收稿日期: 2012-11-01; **修回日期:** 2012-12-01.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171351); 中央高校基本科研业务费青年助推项目; 江西省数字国土重点实验室 2012 年度开放基金资助项目(DLLJ201204)。

作者简介: 刘慧敏(1977-), 女, 湖南长沙人, 博士, 讲师, 研究方向为地理空间信息度量与应用。E-mail: lhmgis@163.com

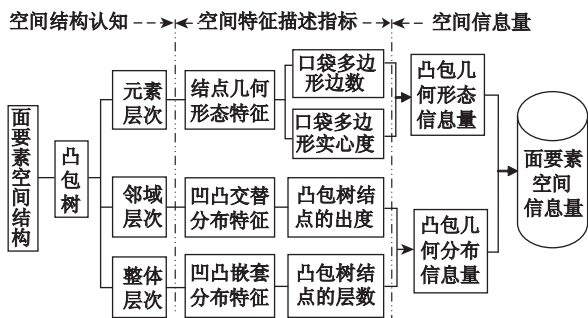


图1 面要素空间信息量度量策略

Fig. 1 A strategy on measuring the spatial information content of an area

是描述和分析图形信息的一种最本质的几何特征。因此,面要素空间信息的度量建立在对其空间几何形态结构认知的基础上,即需要顾及人类视觉认知的方式和特点对面要素几何形态结构进行描述。计算机视觉、模式识别、图像理解、计算机图形学、视觉感知等领域的研究表明,人眼在识别面要素几何形状的过程中,通常会潜意识地将面要素剖分为若干子部分,并通过子部分的形状特征来更全面地认知面要素的几何形态。据此,本文采用层次分解方法,将面要素分解为一组凸包与口袋多边形对的集合结构,并根据凸包分解的层次关系,进一步将面要素描述为一个凸包树。故此,从凸包树的结点多边形形态及结点间的分布关系特征来分析面要素空间形态结构的差异性和多样性。

3.2 面要素的分解

最早的凸包树概念由 Sklansky 提出,用于度量面要素的凹凸程度。随后,模式识别领域的学者对面要素凸包树生成算法的优化进行了深入的研究^[21-22],这些方法主要是针对栅格图形提出的。在

地理信息科学领域,艾廷华等人提出凸包树的面要素变化累积模型,并用于矢量地图渐进式传输模型的建立^[23]。为了全面地描述面要素的空间形态结构,并进一步更好地度量面要素的空间信息量,本文提出一种结点结构包含口袋多边形和凸包的面要素凸包树描述方法。面要素凸分解的具体过程为:

(1)建面要素的凸包,获得面要素多边形与凸包对。(2)求取凸包与面要素的差,获得一个或多个简单多边形结构,即称作“口袋多边形”。接着构建与每个口袋多边形一一对应的凸包。即,上一层次分解形成的口袋多边形是下一层次分解时构建凸包的操作对象。而后继续下一层次的操作,即对上一层次的凸包求取口袋多边形,并构建相应的凸包,如此继续直至再无新的口袋多边形产生。如图2所示,第一次分解生成面要素 A_1 的凸包 H_1 ,如图2(a)虚线所示;第二次分解时,先求取 A_1 与 H_1 的差运算,获得口袋多边形 A_2 和 A_3 ,如图2(b)点阵区域所示,并构建其凸包,图中 A_2 的凸包即为其本身, A_3 的凸包为 H_3 ,如图2(b)虚线所示;第三次分解时,也是先求 A_3 与 H_3 的差运算得到口袋多边形 A_4 ,如图2(c)点阵区域所示,构建其凸包为 H_4 ,如图2(c)虚线所示。(3)可见,分解过程产生一系列具有层次的口袋多边形与凸包对。

通常,在面要素的凸分解过程中,新产生的口袋多边形面积太小或者形状非常接近凸包时,难于分辨或区分多边形及其凸包,继续往下分解意义不大,即可终止分解。从而,依据口袋多边形与对应凸包的近似程度度量(如多边形顶点与凸包边界最大距离),设定凸分解的终止条件。本文后续处理中根据当前凸包与初始最大凸包的面积比值设定阈值。

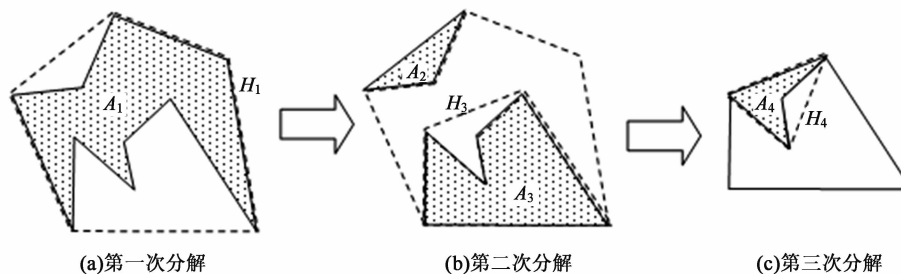


图2 凸分解过程形成的口袋多边形和凸包

Fig. 2 The convex hull and pocket polygons obtained by decomposition of an area feature

3.3 面要素凸包树的建立

在面要素的分解过程中,按照构建凸包的操作对象和构建的凸包,建立口袋多边形与凸包对,以每个这种成对组合作为凸包树的结点,按照面要素分解的先后顺序和层次关系可以构建成一个树形结构,称为凸包树。具体地,结点结构包括一个口

袋多边形和一个与之对应的凸包,以及若干指向下一层次结点的指针。其中,凸包树的根结点对应初始面要素与初始凸包(称为根凸包)。如图 3(a)为图 2 中的面要素 A_1 的分解过程产生的口袋多边形与凸包对,图 3(b)为对应的凸包树结构,图 3(c)为凸包树结点的结构。

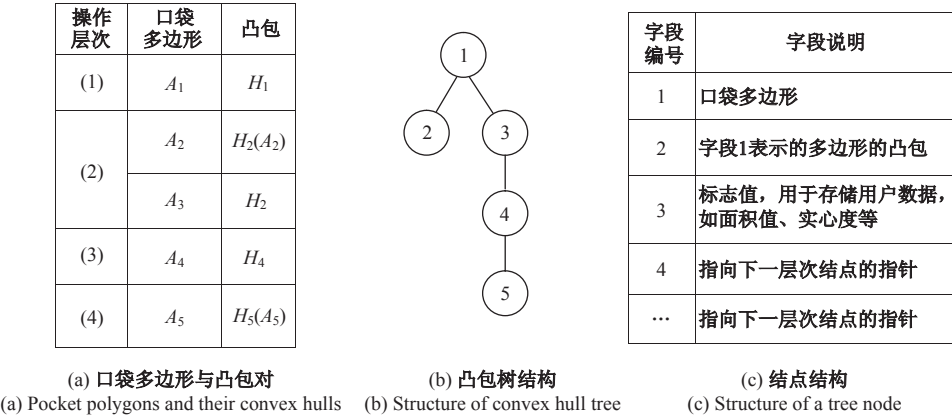


图 3 凸包树及其结点结构
Fig. 3 The structure of a convex hull tree and a tree node

3.4 面要素几何形状特征描述

从面要素的分解过程可以看出,面要素的空间范围与凸包树上从根结点凸包所在的第 1 层开始的所有奇数序列层次的凸包与所有偶数序列层次的凸包之差的空間范围相同。在空間几何形态结构上,顶端层次的分解是面要素全局的、大尺度的粗轮廓,而深层次的分解是面要素局部的、小尺度的细部形态。因此,面要素的空间形态结构的复杂性与凸包树上各层次结点的凸包及口袋多边形的复杂性共同决定,并与之成正相关关系。

在几何学中,多边形的空间形态有:边数、边长、周长、面积、长短轴、实心地、偏心率和紧密度等经典形状特征^[24-26]。视觉对多边形较敏感的空间特征包括尺寸、复杂度、形状特征等方面,因此,面要素空间信息主要源自这些特征的多样性或差异性。视觉感知凸包尺寸特征的是凸包的面积,面积越大,感知到的凸包尺寸也越大。如图 2 所示,面要素 A_1 与对应的凸包 A_2 的周长差异比较大,凸包 A_2 与口袋多边形 A_3 的周长比较接近,然而,视觉上凸包 A_3 的尺寸仍明显地比凸包 A_2 小,相对而言凸包 A_2 与面要素 A_1 的尺寸更接近,主要原因是它们的面积大小比较接近。因此,面积是视觉感知多边形尺寸最直观而典型的特征。

从复杂度的角度,凹多边形或带孔洞的多边形的复杂性要比凸多边形的复杂度大^[27]。事实上,凹和凸是一组相对的概念,然而,由于人类视觉对凸形相对敏感,因而感觉相同边数的凸形要比凹形简单。对于具有相同凸包的多边形,无疑与凸多边形重合的多边形具有相对最简单的形状,其任意的凹形的复杂度都要比凸包的复杂度大。而具有相同凸包的一系列面要素中,其面积均不大于凸包的面积,而其边的数目均不小于凸包的边的数目。如图 2 所示,比较多边形 A_1 与凸包 H_1 ,虽然 H_1 的面积比 A_1 的要大得多,但视觉上 A_1 要比 H_1 复杂得多,主要是由于 A_1 的边数更多。因此,边数是多边形空间几何形状复杂度的典型特征。

从多边形的几何形状特征角度,人类认知通常会下意识地将多边形与模版进行匹配,很多学者对模版匹配开展了一系列研究^[24,26,28]。在模版匹配中,确定模版和建立相似性测度是两个基本的过程。地图中的空间面要素形状多样,因此寻找固定的模版进行相似性度量是不现实的,往往也不实用,通常采取的解决方案是直接选取多边形的凸包作为模版。对于相似性测度,既最直观又简单的莫过于面积,即待匹配多边形与凸包的面积比值越接近 1,则认为相似性程度越大。在几何学中,多边形

本身的面积与其凸包的面积比值称为实心度。从上述分析可知,实心度指标能很好地描述多边形模版匹配这一几何形状特征。

4 基于凸包树的面要素空间信息的度量

4.1 凸包树结点权值的确定

面要素的复杂度被分解到凸包树各个结点凸包反映出来。而凸包多边形的尺寸在很大程度上决定着其对面要素几何形态的表达能力的。凸包的尺寸越大,凸包对面要素几何形态的表达能力的越强。如图4所示,凸包 H_1 与 H_2 形状完全一样,由于 H_1 的面积较大,其对面要素 A 的空间特征的表达能力的更强。于是,对于分解得到的凸包,不论其空间形态结构,可以依据凸包面积设置它对面要素信息量的贡献权值。

设面要素 A 经凸分解获得 n 个凸包依次为 H_1, H_2, \dots, H_n ,每个凸包的面积分别为 $HullArea_1, HullArea_2, \dots, HullArea_n$ 。定义凸包面积与最大凸包面积的比值为凸包面积比 $HullAreaP_i$,表达为:

$$HullAreaP_i = HullArea_i / HullArea_1 \quad (2)$$

式中: $HullArea_1$ 为最大凸包(即面要素对应的凸包)覆盖的面积,很显然, $HullAreaP_i$ 的取值范围为不大于1的正数,即 $1 \geq HullAreaP_i > 0$ 。根据凸包尺寸对面要素表达能力的正相关关系,设置凸包面积比为凸包几何形态及其分布特征对面要素空间信息量贡献的权值。

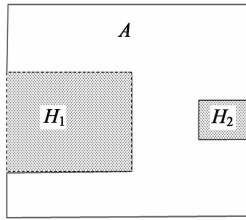


图4 凸包尺寸对面要素形态的影响

Fig. 4 The effect of the size of convex hull on an area feature

4.2 基于凸包树几何形态的空间信息的度量

面要素经过分解后,几何形态特征亦分解到凸包树结点中的缺口多边形与凸包上。如前所述,几

何形态特征差异主要体现在:与面积相关的多边形尺寸,与边数相关的多边形复杂程度,与实心度相关的多边形几何形状特征。

面要素的几何复杂度被分解到凸包树的各个口袋多边形上反映出来。口袋多边形边数越多,复杂度越大。相同凸包的不同多边形中,与凸包自身相重的多边形边数最小,复杂度亦最小。定义几何复杂度特征的描述指标为口袋多边形与原始多边形的边数比,简称为凸包边数比,表达为:

$$EdgeNumberP_i = EdgeNumber_i / EdgeNumber_1 \quad (3)$$

式中: $EdgeNumber_i$ 为口袋多边形 A_i 的边数; $EdgeNumberP_i$ 为凸包树结点的凸包边数比。分析式(3)易知, $EdgeNumberP_i \leq 1$ 。将凸包边数比代入式(1),结合凸包面积在几何表达能力上的影响,可得结点元素层次几何复杂度差异性产生的空间信息量 $I_{EdgeNumberP}$,表达为(单位:bit,下同):

$$I_{EdgeNumberP} = \sum HullAreaP_i \log_2 (1 + EdgeNumberP_i) \quad (4)$$

式中: $HullAreaP_i$ 和 $EdgeNumberP_i$ 分别为结点凸包面积比和边数比; $I_{EdgeNumberP}$ 为面要素的形状复杂度产生的空间信息量。

在凸包树结点的元素层次上,面要素几何形状特征反映在口袋多边形与凸包对的匹配度,以二者的面积比值描述,该比值称为口袋多边形的实心度(记为 $Convexity$),表达为:

$$Convexity_i = Area_i / HullArea_i \quad (5)$$

其中: $Area_i$ 为凸包树中结点 i 上的口袋多边形的面积; $Convexity_i$ 为口袋多边形的实心度。如图5,(a)与(b)的尺寸(面积)和边数均相同,同时具有类似的结构,然而图5(b)实心度比图5(a)的小,视觉上图5(b)具有更复杂的模式。可见,实心度越大,多边形越趋于凸形,其模式越简单,由模式特征产生的空间信息量越小。结合实心度的定义,实心度的取值范围在 $(0, 1]$ 之间。而根据实心度与信息量的关系,此处取实心度的补数作为空间模式特征的描述指标,代入式(1)后取加权和,即得到元素层次由口袋多边形几何形状模式特征产生的空间信息量 $I_{Convexity}$,表达为:

$$I_{Convexity} = \sum_i HullAreaP_i \log_2 (2 - Convexity_i) \quad (6)$$

综合考虑面要素几何复杂度和空间模式特征

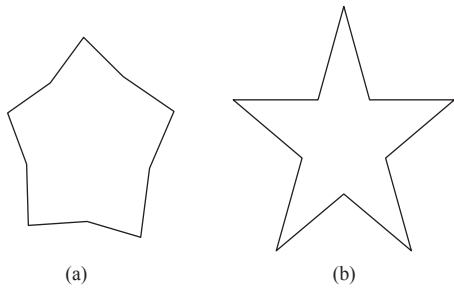


图5 实心度与几何形状的关系

Fig. 5 The relation between convexity and geometric shape

的差异性和多样性,可得到基于凸包树结点元素层次几何形态特征的空间信息量 $I_{Geometry}$, 表达为:

$$I_{Geometry} = I_{EdgeNumber} + I_{Convexity} \quad (7)$$

4.3 基于凸包树结点几何分布的空间信息的度量

面要素的空间分布结构由凸包树结点的几何分布特征表达。结点之间的关系主要包括邻域层次的邻接关系和整体层次的层级关系,邻接关系反映面要素全局的凹凸交替变化特征,而层级关系反映面要素局部凹凸的复杂性特征。如图 6(a)对应的口袋多边形数量较多,结点的邻域层次邻接度较大,表现为根结点的出度值较大;图 6(b)对应的口袋多边形较复杂,凸包树具有更大的深度。可见,凸包树结点邻域层次上结点出度越大,或者凸包树结点整体层次上结点层数越大,多边形的分布结构越复杂,其包含的空间信息量越大。

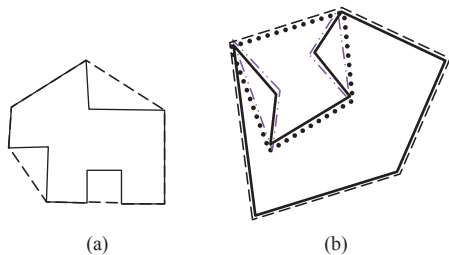


图6 凸包树深度和广度与多边形复杂性的关系

Fig. 6 Complexity of a polygon reflected by the depth and breadth of its convex hull tree

设凸包树 n 个结点对应的层次(根结点的层次为 1)和出度(即孩子结点数)分别为 $Layer_i$ 和 $OutDegree_i$ ($1 \leq i \leq n$)。考虑到地图空间信息源的多样性或差异性本质,将结点的层次和出度分别除以相应的平均值,得到新的特征的描述指标,分别称为结点层次比和结点出度比,用 $LayerP_i$ 和 $OutDegreeP_i$ 表示,即:

$$LayerP_i = Layer_i / \overline{Layer} \quad (8)$$

$$OutDegreeP_i = OutDegree_i / \overline{OutDegree} \quad (9)$$

式中: \overline{Layer} 和 $\overline{OutDegree}$ 分别为凸包树结点的层次平均值和出度平均值。将结点层次比 $LayerP_i$ 和结点出度比 $OutDegreeP_i$ 分别代入式(2-10),再求取加权和,即可得到由凸包树结点邻域层次拓扑邻接特征产生的面要素几何拓扑空间信息量 $I_{Topology}$, 表达为:

$$I_{Topology} = \sum_i HullAreaP_i [\log(LayerP_i + 1) + \log(OutDegreeP_i + 1)] \quad (10)$$

进而,将由凸包树结点元素层次和邻域层次特征产生的信息量相加,即得到以层次化凸分解的面要素空间信息量。

5 空间信息度量模型的案例分析

为验证所提出的面要素空间信息量度量方法,下面选取华东某市 1:2000 比例尺的居民地数据,以 Visual Studio 2008 的 C#.NET 开发环境使用 ArcEngine9.3 进行二次开发,实现凸分解的面要素空间信息度量算法,并计算每个居民地要素的空间信息量。为了便于分析,实验选取了 8 个具有不同尺寸或几何形态的居民地要素,如图 7 所示。其中, A_1 为凸四边形, A_2 与 A_5 是有旋转和缩放关系的相似形。首先,对居民地要素作层次化凸分解,得到口袋多边形和凸包对,并根据分解的层级关系构建凸包树。然后,采用式(7)和式(10)计算各居民地要素的空间信息量,结果见表 1。

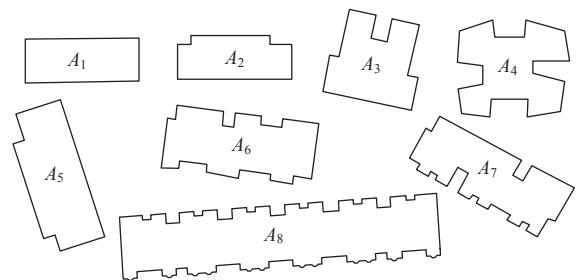


图7 8个居民地要素

Fig. 7 Eight settlement features

分析表 1 中的实验结果表明,本文提出的面要素空间信息量计算方法是合理可行的,主要体现在:

(1) 凸形面要素的结构相对凹形面要素的形态和结构都要简单,因此,载负的空间信息量最小,其

表 1 4 对面要素的空间信息量计算结果(比特)

Tab. 1 The result of spatial information content of four pairs of area features (bit)

面要素 编号	信息量		
	几何形态信息量	几何拓扑信息量	综合空间信息量
A ₁	1.0	1.0	2.0
A ₂	1.1	2.8	3.8
A ₃	1.3	3.2	4.5
A ₄	1.4	3.5	4.9
A ₅	1.1	2.7	3.8
A ₆	1.3	3.9	5.2
A ₇	1.4	4.4	5.8
A ₈	1.6	4.4	6.0

信息量的大小可作为面要素空间信息量的最小值。例如,居民地面要素 A₁ 是凸形,其几何形状相对其他要素都简单,几何形态信息量和几何拓扑信息量都为单位信息量。

(2) 所提出的面要素空间信息量度量方法满足旋转不变性和缩放不变性准则。例如,面要素 A₂ 和 A₅ 是相似形,并且满足旋转和缩放关系,但是具有相同大小的信息量,表明面要素的空间信息量仅与形状有关,满足旋转和缩放不变性。

(3) 细部形态结构越丰富,几何形态信息量越大,计算结果较好地符合这一认知特点。例如,A₄、A₇ 和 A₈ 的细部形态结构要比其他几个居民地面要素丰富,其几何形态信息量亦相应较大。又如,居民地面要素 A₃ 和 A₆ 相比,虽然 A₄ 的局部凹凸较 A₆ 少,但由于局部形态更为多样化,相互之间的差异性更为明显,因此,造成 A₄ 的几何形态信息量要比 A₆ 大。

(4) 面要素的整体形态结构越多样化,其几何拓扑空间信息量越大,计算结果较好地符合这种认知特点。如居民地面要素 A₁、A₂、A₃、A₄、A₆、A₇ 到 A₈,其整体形态结构复杂性依次递增,计算结果表明其几何拓扑信息量亦依次增大,与人眼对结构的认知符合。

(5) 从面要素空间信息量的角度来看,面要素的整体结构起着主导作用,而细部的形态占次要影响,这亦是几何形态结构的粗轮廓在人眼对面要素空间结构认知的主体优势决定的。实验结果中,各个面要素在两个层次上的信息量计算很好地符合这一客观规律。

6 结论

本文以地图面要素为例,研究了单个要素的空间信息度量方法。(1)从空间认知角度对面要素进行结构分析,研究了凸包树的面要素表达方法。(2)给出了凸包树结点多边形空间特征的定量描述指标,拓展了地图面要素空间信息的度量方法。(3)通过算法分析,验证了本文提出方法的可行性与正确性,为地图空间信息的度量拓新了方法。

参考文献:

[1] Koláčný A. Cartographic information: A fundamental concept and term in modern cartography [J]. The Cartographic Journal, 1969, 6(1): 47-49.

[2] Stigmar H. Amount of information in mobile maps: A study of user preference [J]. Mapping and Image Science, 2006, 21(4): 68-74.

[3] 王家耀. 我国地图制图学与地理信息工程学科发展研究[J]. 测绘通报, 2007(5): 1-6.

[4] Sukhov V I. Information capacity of a map entropy [J]. Geodesy and Aerophotography, 1967, X: 212-215.

[5] 祝国瑞, 王建华. 现代地图分析有关问题的探讨[J]. 测绘学报, 1995, 24(1): 77-79.

[6] 田晶, 艾廷华. 街道渐进性选取的信息传输模型[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 35(4): 415-418.

[7] 邓敏, 徐震, 赵彬彬, 等. 地图综合中空间目标空间信息传递模型研究[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(5): 655-661.

[8] 刘慧敏, 樊子德, 邓敏, 等. 地图上等高线信息度量的层次方法研究[J]. 测绘学报, 2012, 41(5): 777-783.

[9] Stoter J, Burghardt D, Duchéne C, et al. Methodology for evaluating automated map generalization in commercial software[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2009(33): 311-324.

[10] Harrie L, Weibel R. Modeling the overall process of generalization[C]. // Ruas A, Mackaness W, Sarjakowski T (Eds.). Generalization of Geographic Information: Cartographic Modeling and Applications. Elsevier, 2007, 67-88.

[11] Sukhov V I. Application of information theory in generalization of map contents [J]. International Yearbook of Cartography, 1970, X: 41-47.

[12] Neumann J. The topological information content of a map: An attempt at a rehabilitation of information theory in cartography [J]. Cartographical, 1994, 31: 26-34.

[13] Björke J T. Framework for entropy-based map evalua-

- tion [J]. *Cartography and Geographical Information Systems*, 1996, 23(2): 78–95.
- [14] Wang S Y, Du Q Y, Wang Z. A quantitative measurement approach for metric information of maps based on spatial cognition[C]. *Fourth International Conference on Natural Computation*, IEEE Computer Society, 2008, 235–239. doi: 10.1109/ICNC.2008.379
- [15] Li Z L, Huang P Z. Quantitative measures for spatial information of maps [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2002, 16(7): 699–709.
- [16] Harrie L, Stijmar H. An evaluation of measures for quantifying map information [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010, 65(3): 266–274.
- [17] 陈杰, 邓敏, 徐枫, 等. 面状地图空间信息度量方法研究[J]. *测绘科学*, 2010, 35(1): 74–76.
- [18] Batchelor B. Hierarchical shape description based upon convex hulls of concavities [J]. *Journal of Cybernetics*, 1980(10): 205–210.
- [19] Xu J. Hierarchical representation of 2-D shapes using convex polygons: A morphological approach [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1997, 18: 1009–1017.
- [20] Whelan B M, McBratney A B. Prediction uncertainty and implications for digital map resolution[C]. // Robert P C, Rust R H, Larson W E (Eds.). *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture*, Madison, WI, USA, 1998, 4: 1185–1196.
- [21] Palmer S. Hierarchical structure in perceptual representation [J]. *Cognitive Psychology*, 1977, 9: 441–474.
- [22] Siddiqi K, Kimia B B. Parts of visual form: computational aspects [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(3): 239–251.
- [23] 艾廷华, 李志林, 刘耀林, 等. 面向流媒体传输的空间数据变化累积模型[J]. *测绘学报*, 2009, 38(6): 514–519.
- [24] 丁险峰, 吴洪, 张宏江, 等. 形状匹配综述[J]. *自动化学报*, 2001, 27(5): 678–693.
- [25] 刘颖. 空间图形的表达、识别与综合[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2005.
- [26] Liu H R, Liu W Y, Latecki L J. Convex shape decomposition [J]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2010, 97–104.
- [27] Latecki L, Lakamper R. Convexity rule for shape decomposition based on discrete contour evolution [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1999, 73(3): 441–454.
- [28] 鲁学军. 空间认知模式研究[J]. *地理信息世界*, 2004(6): 9–13.

An Approach to Measuring the Spatial Information Content of an Area Feature

LIU Huimin, DENG Min, HE Zhanjun and XU Zhen

(School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Map is a visualization representation of geospatial entities and their distribution. Users often can obtain large amount of information through reading a map. The measurement of map information content is one of the most important basic research issues in the theory of map information transmission. It has been preliminarily applied to map generalization and many other aspects of map applications. Spatial information of a map contains that of features and their distributions. Existing methods of measuring spatial information content only consider the information content of spatial distribution among the features. In other words, the information content of spatial features is not involved. Therefore, the results of the information content obtained by existing methods are inaccurate. For this purpose, in this paper we focused on the development of a methodology for the information content measurement of individual spatial features, where area features are chosen as an example. As a matter of fact, it has been extensively accepted that geometric shape is deemed to be the carrier of geospatial information content of an area feature. As a result, the convex hull is firstly used for shape decomposition of individual area features and a hierarchical structure called convex hull tree is proposed to represent an area feature from the view of spatial cognition.

(下转第 774 页)

only locate in a nearby neighborhood but also have the same topological roles. A set of adjacent roads constitute a spatial related set. Experiment results on the road network of Beijing imply that the spatial related sets identified by the proposed approach can capture the spatial autocorrelation structure of urban road traffic.

Key words: spatial autocorrelation; road network structure; topological characteristic; community detection

(上接第 750 页)

Secondly, geometric shape of area features is analyzed according to the nodes of convex hull tree at three levels, namely, node level, neighborhood level and global level. Moreover, quantitative indicators at each level are defined and utilized for the description of geometric shape, including edge number as the indicator of shape complexity, and convexity as that of shape pattern at node level, out-degree at neighborhood level and layer at global level as indicators of geometry distributions. Sequentially, the corresponding computational models are respectively developed based on geometry characteristics at three levels, which are further used to measure spatial information content of individual area features. At last, an example is provided to illustrate the rationality and the accuracy of the proposed methods.

Key words: area feature; information content; spatial cognition; convex hull tree; characteristic