

文章编号:1672-9331(2018)03-0001-07

基于分形维数的多尺度面目标匹配对相似性度量

刘泉菲¹, 赵彬彬^{1,2}, 周 凯¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114;

2.公路地质灾变预警空间信息技术湖南省工程实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要: 多尺度空间数据联动更新技术已经成为提高地图数据现势性的一种重要手段,为了解决该技术中目标匹配结果的质量评定问题,重点针对其中的面状要素,提出了一种基于分形维数的地图数据面实体相似性度量方法。基于分形维数的多尺度面目标相似性度量方法,以分形维数来刻画面目标的几何形状特征,结合其空间位置、大小和分布模式等信息,对多尺度同名面目标之间的相似性进行定量度量。该方法既考虑了面目标的局部结构特征,又兼顾了面目标的整体分布特性,还具有旋转、平移和尺度不变的特性。最后以某地居民地数据匹配对为试验数据进行试验,并通过与紧致度形状描述方法进行比较,结果表明,该方法在面目标相似性度量方面具有很好的实用效果,为多尺度地图面目标匹配结果评价提供了一种有效手段。

关键词: 多尺度;目标匹配;分形维数;相似性度量

中图分类号: P208

文献标识码: A

Multi-scale polygon entities matched pairs' similarity measuring based on fractal dimension

LIU Quan-fei¹, ZHAO Bin-bin^{1,2}, ZHOU Kai¹

(1.School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology,

Changsha 410114, China; 2.Engineering Laboratory of Spatial Information Technology of

Highway Geological Disaster Early Warning in Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: Multi-scale spatial data linkage updating technology has become an important way to improve the data instantaneity. In order to solve the problem of the quality evaluation of the target matching result and focus on the polygon elements, a similarity measure method based on fractal dimension for map dataset is proposed. Fractal dimension-based multi-scale polygon elements similarity measure method uses the fractal dimension to describe the geometric features of the polygon elements, and combines its spatial position, size and distribution mode to quantify the similarity between multi-scale polygon elements with the same name. This method not only takes into account the local structure of the polygon elements, but also takes into account the global distribution of the polygon elements.

收稿日期:2018-02-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41301404);湖南省自然科学基金资助项目(14JJ3083);长沙理工大学研究生创新项目(CX2017SS05);长沙理工大学公路地质灾变预警空间信息技术湖南省工程实验室开放基金资助项目(kfj160603)

通讯作者:赵彬彬(1980-),男,湖南长沙人,长沙理工大学副教授,博士,主要从事多源多尺度地图数据不一致性探测处理方面的研究。E-mail:zbbsir@163.com

It also has the characteristics of rotation, translation and scaling. We test the experimental data by comparing the data of the residents in a certain place and compare it with the shape description method of tightness. The experimental results show that this method has a good practical effect in the aspect similarity measure, which provides an effective method to evaluate the matching results of the target on multi-scale.

Key words: multi-scale; object matching; fractal dimension; similarity measuring

同名地物的识别已成为地理信息科学领域所面临的重大科学问题。利用已有的大比例尺地图联动更新小比例尺地图,已成为提高数据现势性的一种重要手段^[1]。多尺度地图数据间的匹配关键在于同名地物的识别,即建立不同时相、不同尺度矢量地图中表达同一地物的空间目标之间的对应关系。在不同比例尺中,同一地物表达的详细程度不同,往往具有不同的空间形态、结构和细节^[2]。近年来,国内外学者对目标匹配做了诸多研究,并提出了很多方法,虽然这些方法在适用对象和侧重点方面各不相同,但总体可分为三类:语义匹配、拓扑匹配和几何匹配。其中,几何匹配是通过分析目标的几何空间特征,计算其几何相似度进行匹配。很多学者根据面实体的特性,利用不同的信息指标,对其匹配方法进行了研究^[3]。对地图面状要素特征描述的方法包括全局特征法和局部细节法。基于要素全局特征的方法是从要素整体特征出发,用数理统计方法描述这些特征,如要素的面积、紧致度、距离、外接矩形、主方向、延伸趋势等。虽然要素整体特征的抽取较为容易,但不能详细描述要素的局部细节结构。基于要素边界和局部细节结构的方法是抽取图形的局部结构,如:关键点、曲率和凸凹结构等。虽然其有利于描述要素的局部细节信息,但不利于抽取要素的整体特征^[4,5]。现阶段根据不同的项目需求,相关领域也产生了许多相似性的度量方法,如:基于距的方法和基于傅里叶变换的方法等^[6,7]。傅立叶形状描述子是描述形状的有效方法,在图像匹配中应用较多^[8-10],其对矢量面状要素的形状分析也具有一定的严密性^[11,12]。然而,这些方法都是通过几何变换来获取要素的全局特性,避开了局部的细节内容,不利于要素局部细节的描述。

地图中占有很大比例的面状地物要素不仅是地图表达的主要内容,同时也是用户关心的重要

对象。目前,对多尺度空间数据联动更新技术的研究大多数都集中在目标匹配的方法上,对匹配结果质量评定的研究甚少。由于分形维数具有尺度不变性,能较好地描述空间目标的复杂程度,且与人的视觉感知较为一致,因此作者基于分形维数计算,提出一种多尺度地图面目标相似性度量方法,为多尺度地图面目标匹配结果评价提供有效手段。并通过对不同比例尺下的匹配目标对进行相似性度量试验,以验证该方法的可行性。

1 基于分形维数的多尺度面目标相似性度量方法

1.1 相似性度量方法的基本思路

多尺度面面目标匹配对存在多种匹配模式^[1],即 $1:0, 1:1, 0:1, 1:M, N:1$ 和 $N:M$ 六种。这些匹配模式不仅反映了不同时段地面目标数目的变化,而且表达了制图综合操作中不同比例尺地图目标之间的对应关系^[13]。在进行匹配目标相似性度量时,除了地物出现的 $1:0$ 匹配模式和地物消失的 $0:1$ 匹配模式,其他的匹配模式都可以通过凸包处理转化成 $1:1$ 的匹配模式。

基于分形维数的面目标相似度量模型基本思路是:①以匹配目标对中两多边形的质心距离作为相似性度量的位置相似度;②以多边形的面积作为相似性度量的大小相似度;③以多边形分形维数并结合紧致度(面积/周长)作为相似性度量的形状相似度。

1.2 位置相似度

要素间进行相似性度量时,要素的位置是一个非常重要的特征。使用位置相似度意味着每个要素都有一个清晰而明确的表示点。对于面状要素来说,该点为面状要素内部一点,具有旋转、平移和尺度变化的不变性,且能准确地表示多边形的整个区域,亦称为形状中心点。现有针对距离

度量的方法也很多,如:最近距离、最远距离和质心距离。本研究以质心作为要素的形状中心点进行试验,令 $P_1(x_1, y_1)$ 与 $p_2(x_2, y_2)$ 为匹配对 A_1 和 B_1 中两多边形的形状中心点,采用欧氏距离计算其位置相似度,计算公式为:

$$\text{Sim}_{\text{Pos}}(A_1, B_1) = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{U} \quad (1)$$

式中: U 为匹配目标对中两个面目标的任意边界点间距离的最大值。

1.3 大小相似度

在进行面状要素相似性度量时,除了考虑面状要素的距离和形状外,其大小也是一个重要因素,本研究主要通过面积或周长来衡量。因此,若对 A_1 和 B_1 匹配对中两面状要素进行大小相似性度量,其大小相似度计算公式可表示为:

$$\text{Sim}_{\text{Are}}(A_1, B_1) = 1 - \left| \frac{\text{Area}(A_1) - \text{Area}(B_1)}{\max[\text{Area}(A_1), \text{Area}(B_1)]} \right| \quad (2)$$

1.4 形状相似度

紧致度是对面实体的形状进行描述的一种方法,其计算简单且受比例尺、实体大小的干扰比较小。面实体 A 的紧致度计算公式为:

$$\text{Tig}(A) = \frac{S(A)}{L(A)} \quad (3)$$

式中: $S(A)$ 为面实体 A 的面积; $L(A)$ 为面实体 A 的周长。

利用紧致度对面实体 A 和 B 进行相似度的计算公式为:

$$\text{Sim}_{\text{Tig}}(A, B) = 1 - \frac{|\text{Tig}(A) - \text{Tig}(B)|}{\max[\text{Tig}(A), \text{Tig}(B)]} \quad (4)$$

分形理论中的分形维数能够较好地表达直观上的形态特征,并能为研究不规则的复杂要素提供很好的数学方法。由于分形维数具有旋转、平移、尺度不变性,与人的视觉感知较为一致,而且依据分形维数的特征,它本身顾及要素局部结构和整体自相似性,是一种用来度量形状相似度的较好方法。为此,本研究通过分形维数差异值来表达面状要素间的形状相似度^[4]。

在分形理论中,计盒维数是一种被广泛应用的分形维数。计盒维数通过相同形状集的覆盖来

确定,相对于 Hausdorff 维数,它易于进行程序化计算,因此受到广泛关注^[14]。计盒维数有一系列的等价定义,其中包括网格覆盖法^[15]。网格覆盖法的基本思路是作正方形网格,将网格覆盖要素,按照网格边长 $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_k$, 分别统计出被覆盖要素的 $N(\epsilon_1), N(\epsilon_2), N(\epsilon_3), \dots, N(\epsilon_k)$, 将其回归^[16], 即:

$$\lg N(\epsilon_k) = -D \lg \epsilon_k + A \quad (5)$$

式中: D 为要素分维数; A 为回归直线截距。

进而对 A_1 和 B_1 来源不同的同一面状要素进行形状相似性度量,分别计算各自的分形维数 $\text{Dim}(A_1)$ 和 $\text{Dim}(B_1)$, 则形状相似度计算公式为:

$$\text{Sim}_{\text{Fre}} = 1 - \left| \frac{\text{Dim}(A_1) - \text{Dim}(B_1)}{\max[\text{Dim}(A_1), \text{Dim}(B_1)]} \right| \quad (6)$$

表 1 为分形维数计算的具体算法。

表 1 分形维数算法伪代码

Table 1 Pseudo-code for fractal dimension algorithm

算法: 计算分形维数
Input: the point collection of element and the largest side of grid (cellmax).
Output: the fractal dimension.
1 input the point collection of element (y);
2 shift operation, movesy_min to the coordinate origin.
3 resampling so that the total number of points equals cellmax+1.
4 scale y.
5 calculate the number of iterations.
6 for e=1:t
7 calculate the size of each grid.
8 calculate the number of divisions (n).
9 for j=1:n
10 calculate the number of grids occupied by each curve.
11 accumulate the number of grids covering each curve.
12 end for
13 record the number under each e.
14 end for
15 remove r more than 2 and less than 1 wild-point data.
16 get the fractal dimension by a slope of the fitted curve obtained.

以某居民地要素为例,进行分形维数的计算,计算结果如图 1 所示。图 1(a)为某一居民地要素,图 1(b)为该要素分形维数 ($D=1.1641$) 的计算结果。根据网格法作 $\lg(\epsilon)$ 与 $-\lg N(\epsilon)$ 的散点图,使用最小二乘线性回归法进行直线拟合,拟合所得直线的斜率即为分形维数。

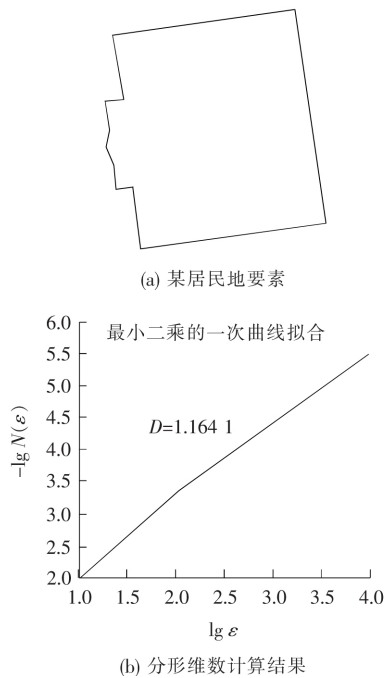


图1 要素分形维数计算

Fig. 1 Example of feature's fractal dimension

2 试验结果与分析

为了验证和比较本研究所提出的相似性度量方法的可行性,选取湖南省某地现势性较强的 1:500 居民地要素地图和现势性较弱的 1:2 000 居民地要素地图数据,根据上述相似性度量方法,运用 Visual Studio 2010 和 ArcEngine 组件编程试验,其中,试验所用居民地要素地图数据如图 2 所示。

在进行相似性度量时,首先选取在不同比例尺下已完成目标匹配的匹配对,进而根据上述相似性度量计算方法,分别选择要素间的位置、大小、形状等指标来进行相似性度量。匹配模式具有多种形式,不仅是简单的 1:1 的匹配模式。当匹配模式为 $N:1$ 和 $1:M$ 时,先对大比例尺地图上的 N 个要素或小比例尺地图上的 M 个要素做凸包处理,进而转化成 1:1 的匹配模式,然后将该凸包与小比例尺或大比例尺地图上对应的要素进行相似性度量。同理,当匹配模式为 $N:M$ 时,分别对 N 个要素和 M 个要素做凸包处理,然后对生成的凸包进行相似性度量。顾及到较大比例尺与较小比例尺面目标是否有与之对应的同名面目标,当匹配模式为 1:0 时,表示要素出现;当

匹配模式为 0:1 时,表示要素消失。

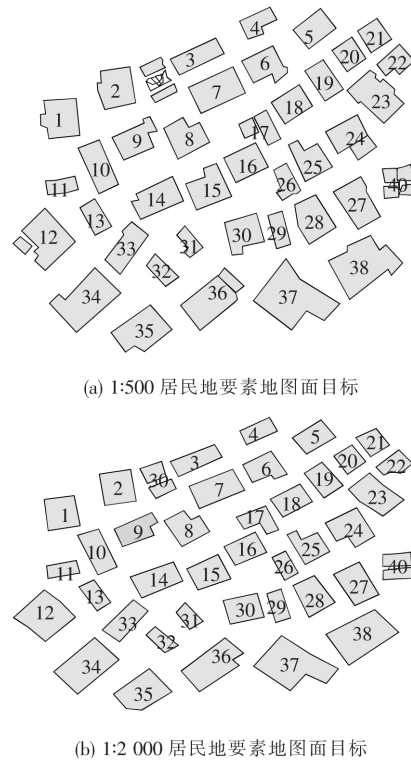


图2 居民地要素地图数据

Fig. 2 Resident features

由于面实体的顶点有其顺序,因此可以根据这种特性设计一种算法。可用一种逐次删除凹顶点直至没有凹顶点的几何算法,获取面状要素的凸包,且易于编程实现。该算法包含如下二个步骤。

步骤一:对于面实体,其纵坐标最小的点记为 P_0 (如存在多个点,取其中横坐标最小点),以顺时针方向为该面实体的正方向,其节点序列为 $\{P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}\}$ (如图 3 所示)。

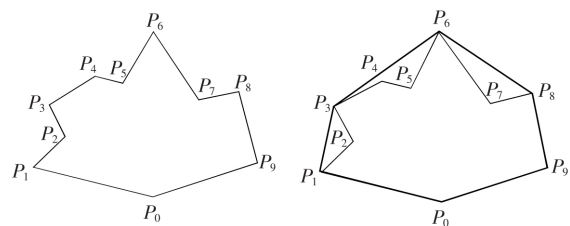


图3 凸包多边形的获取

Fig. 3 Obtain convex hull

步骤二:搜索节点以 P_0 为第一个凸包上的顶点,建立有向线段 P_0P_1 ,然后从 P_0P_1 开始搜索,查看其他顶点是否均在该有向线段的右侧。如果是,则以 P_1 为凸包的顶点;否则依次查找有向线段 P_0P_2 ,直至找到满足所有顶点均在有向线段的

右侧的点,则记为凸包顶点 P_i 。然后从 P_i 开始,按照上述方法与 P_0 按照统一的步骤依次查找凸包顶点,直到返回 P_0 。依次记录所有凸包顶点,并顺次连线,则完成了多边形凸包的生成过程。

以其中一组要素为例,凸包处理前后结果如图 4 所示。

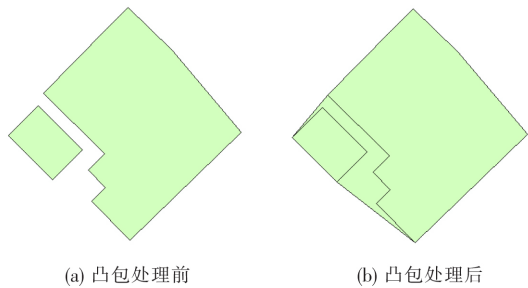


图 4 凸包处理

Fig. 4 Convex hull processing

根据本研究提出的相似性度量计算方法,分别选择要素间的距离、形状、面积等指标来计算匹配目标对的相似度,计算结果如表 2 所示。从表 2 可知:①对于位置相似度,同一地物在多尺度地图上的位置变化较小,总体上相似度较大,但对于局部节点较密集的面目标,其质心变化较大,用此方法计算出来的位置相似度相比较低。②对于大小相似度,在 1 : 1 的匹配模式下,同一地物在多尺度地图上面积差异不大,此时计算出来的大小相似度较大;当匹配模式为 $N : 1$ 和 $N : M$ 时,此时计算出来的面积相似度较小。③对于形状相似度,利用分形维数计算获得的形状相似度和已有的紧致度方法计算得到的形状相似度都比较高,但利用分形维数计算出来的相似度波动更小,具有更好的稳定性。

表 2 匹配目标对相似性度量结果

Table 2 Similarity measurement of matched pairs of objects

%

匹配对	SimPos	SimArc	SimFrc	SimTig	匹配对	SimPos	SimArc	SimFrc	SimTig
A_1, B_1	92.1	94.6	98.2	98.6	A_{21}, B_{21}	99.5	98.3	99.0	99.1
A_2, B_2	87.3	96.1	98.3	99.3	A_{22}, B_{22}	99.6	99.4	99.8	98.7
A_3, B_3	93.3	97.6	99.9	98.4	A_{23}, B_{23}	93.4	98.8	97.8	96.3
A_4, B_4	92.8	98.8	99.1	93.9	A_{24}, B_{24}	94.1	92.3	98.1	87.8
A_5, B_5	99.0	95.8	99.9	97.7	A_{25}, B_{25}	89.5	99.9	98.8	99.9
A_6, B_6	90.5	99.5	95.9	97.4	A_{26}, B_{26}	88.2	99.7	99.5	93.2
A_7, B_7	96.6	99.9	99.9	99.9	A_{27}, B_{27}	96.5	99.2	94.9	96.4
A_8, B_8	93.8	99.2	99.2	97.7	A_{28}, B_{28}	92.9	98.2	99.0	97.1
A_9, B_9	86.3	97.9	98.8	95.8	A_{29}, B_{29}	99.5	98.9	99.9	99.6
A_{10}, B_{10}	90.6	97.9	98.9	98.7	A_{30}, B_{30}	88.5	98.7	93.2	92.7
A_{11}, B_{11}	99.5	97.3	99.8	98.3	A_{31}, B_{31}	97.1	96.9	96.3	93.3
A_{12}, B_{12}	95.4	98.5	98.4	98.5	A_{32}, B_{32}	99.5	97.5	99.9	98.3
A_{13}, B_{13}	99.7	98.4	99.0	99.1	A_{33}, B_{33}	95.0	96.7	99.0	99.6
A_{14}, B_{14}	98.5	96.0	98.6	97.3	A_{34}, B_{34}	97.4	97.6	93.4	92.8
A_{15}, B_{15}	83.9	95.1	94.7	98.5	A_{35}, B_{35}	97.7	95.8	97.5	92.8
A_{16}, B_{16}	89.7	98.2	99.7	99.1	A_{36}, B_{36}	95.9	97.9	95.5	95.4
A_{17}, B_{17}	94.3	82.7	99.8	76.1	A_{37}, B_{37}	92.8	96.7	98.0	99.1
A_{18}, B_{18}	99.8	99.5	96.5	99.6	A_{38}, B_{38}	89.8	99.1	98.5	91.9
A_{19}, B_{19}	90.7	98.8	99.9	98.8	A_{39}, B_{39}	91.8	90.2	99.3	95.2
A_{20}, B_{20}	99.5	98.2	99.9	99.1	A_{40}, B_{40}	93.9	93.5	98.5	97.4

对该试验区的试验结果按不同的匹配模式进行统计,分别获取位置、大小和形状相似度的最大值、最小值以及平均值,统计结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出:①在 1 : 1 的匹配模式中,用分形维数计算出来的形状相似度平均值达到了 98.2%;在 $N : 1$ 的匹配模式中,用分形维数计算

出来的形状相似度平均值为98.8%;而用紧致度计算出来的相似度平均值在1:1的匹配模式中为97.2%,在N:1的匹配模式中计算出来的相似度平均值仅为87.5%。②在N:M的匹配模式中,用分形维数计算出来的形状相似度平均值为98.9%,也高于用紧致度计算出来的相似度平均值96.3%。③第24对匹配对为N:1的匹配模式,

此时利用紧致度计算出来的形状相似度只有87.8%,而利用分形维数计算出来的形状相似度依然高达98.1%。由此可以看出,分形维数对地图要素的形状描述效果更好,在不同的匹配模式下都具有较好的稳定性,较利用紧致度进行形状描述而言,具有更好的效果。

表3 试验结果统计

Table 3 Statistics of the experimental results

匹配 模式	相似度/%												匹配 对数
	位置			大小			分形维数			紧致度			
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	
1 : 1	99.8	83.9	94.2	99.9	94.6	97.9	99.9	93.2	98.2	99.9	91.9	97.2	35
N : 1	95.4	94.1	94.6	98.5	82.7	91.2	99.8	98.1	98.8	98.5	76.1	87.5	3
N : M	93.9	91.8	92.4	93.5	90.2	91.6	99.3	98.5	98.9	97.4	95.2	96.3	2

由于比例尺的差异,同一要素在各尺度的表达上受到制图综合和空间要素分辨率等的影响,它的位置、形状、大小势必发生一定的变化,相似度也随之改变。针对形状而言,随着比例尺的缩小,由于地图综合程度更高,忽略的细节更多,多边形边界变形会更大。利用分形维数在进行形状描述时,因其本身顾及目标局部和整体自相似性,具有一定的稳定性。

综上,在进行面状要素相似性度量时,基于分形维数的多尺度面实体相似性度量方法,与人眼识别结果较为一致,该方法为多尺度地图面目标匹配结果评价提供了一种有效的手段。

3 结论

作者通过基于分形维数的方法对多尺度空间面目标进行了相似性度量,并与紧致度方法进行了对比分析,验证了该方法的实用性。得到如下结论。

1) 综合考虑要素间位置、形状、大小等指标作为面状要素相似性度量计算模型,以分形维数作为形状相似度度量指标,具有旋转、平移和伸缩不变性,符合人眼识别物体的规律。

2) 相对于一些现有的相似性度量方法,本研究所提出的基于分形维数的相似度模型既考虑了

要素整体分布特征,又顾及了要素的局部几何结构,度量结果更符合人的视觉判别。

3) 试验结果表明,本研究方法与入眼判断结果一致,说明本研究方法是有效、正确的。它不仅顾及到了要素的局部结构,而且还兼顾了要素的整体分布,为多尺度地图面目标匹配结果评价提供了有效手段,为空间数据匹配、更新等奠定了基础。

〔参考文献〕

- [1] 尹向军,王芙蓉,印洁,等.城市电子地图多尺度自动缩编方法[J].测绘通报,2017(11):80-85.
YIN Xiang-jun, WANG Fu-rong, YIN Jie, et al. A study on the automatic generalization of urban multi-scale electronic map[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2017(11): 80-85.
- [2] 赵彬彬,邓敏,彭东亮,等.基于整体极优对应的不同比例尺线目标一致化处理[J].武汉大学学报:信息科学版,2016,41(8):1046-1054.
ZHAO Bin-bin, DENG Min, PENG Dong-liang, et al. A methodology of handling inconsistencies between line objects in multi-scale maps based on the optimum correspondence algorithm [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2016, 41(8): 1046-1054.
- [3] 蓝振家,郭庆胜,刘纪平,等.多尺度面实体的匹配方

- 法研究[J].测绘工程,2017,26(11):28—31.
- LAN Zhen-jia, GUO Qing-sheng, LIU Ji-ping, et al. Research on the method of multi-scale areal feature matching[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2017, 26(11): 28—31.
- [4] 徐广翔,陈杰,马素媛.面状空间要素相似性度量方法研究[J].测绘科学,2013,38(3):31—33.
- XU Guang-xiang, CHEN Jie, MA Su-yuan, et al. Research on algorithms of similarity measurement for areal spatial data[J]. Science of Surveying and Mapping, 2013, 38(3): 31—33.
- [5] 汪汇兵,唐新明,邱博,等.运用多算子加权的面要素几何匹配方法[J].武汉大学学报:信息科学版,2013,38(10):1243—1247.
- WANG Hui-bin, TANG Xin-ming, QIU Bo, et al. Geometric matching method of area feature based on multi-weighted operators[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(10): 1243—1247.
- [6] Lin C Y, Wu M, Bloom J A, et al. Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 767—782.
- [7] Jobay R, Sleit A. Quantum inspired shape representation for content based image retrieval[J]. Journal of Signal and Information Processing, 2014, 5(2): 54.
- [8] Gu Y, Qian X, Li Q, et al. Image annotation by latent community detection and multikernel learning [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(11): 3450—3463.
- [9] Zhang D, Lu G. Review of shape representation and description techniques[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(1): 1—19.
- [10] 刘鹏程,罗静,艾廷华,等.基于线要素综合的形状相似性评价模型[J].武汉大学学报:信息科学版,2012,37(1):114—117.
- LIU Peng-cheng, LUO Jing, AI Ting-hua, et al. Evaluation model for similarity based on curve generalization[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2012, 37(1): 114—117.
- [11] Lee D J, Antani S, Long L R. Similarity measurement using polygon curve representation and Fourier descriptors for shape based vertebral image retrieval[J]. SPIE Image Processing, 2003 (5032): 1283—1291.
- [12] 陈占龙,覃梦娇,吴亮,等.利用多级弦长弯曲度复函数构建复杂面实体综合形状相似度量模型[J].测绘学报,2016,45(2):224—232.
- CHEN Zhan-long, QIN Meng-jiao, WU Liang, et al. Establishment of the comprehensive shape similarity model for complex polygon entity by using bending multilevel chord complex function[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2016, 45(2): 224—232.
- [13] 简灿良,赵彬彬,邓敏,等.多尺度地图面/面目标匹配模式及变化探测方法研究[J].地理与地理信息科学,2013,29(5):1—6.
- JIAN Can-liang, ZHAO Bin-bin, DENG Min, et al. An approach to change detection by comparison of corresponding objects in multi-scale maps[J]. Geography and Geo Information Science, 2013, 29(5): 1—6.
- [14] 杨书申,邵龙义. MATLAB 环境下图像分形维数的计算[J].中国矿业大学学报,2006,35(4):478—482.
- YANG Shu-shen, SHAO Long-yi. Estimation of fractal dimensions of images based on MATLAB [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2006, 35(4): 478—482.
- [15] 张怀亮,孙栓辉,刘舜尧.数字分形图像分形维数计算[J].计算机仿真,2010(10):215—217.
- ZHANG Huai-liang, SUN Shuan-hui, LIU Shun-yao. Computation of fractal dimension of digital fractal image[J]. Computer Simulation, 2010(10): 215—217.
- [16] 李朦,林从谋,黄逸群.泉州湾海岸线变迁的分形分析[J].华侨大学学报:自然科学版,2015,36(2):211—214.
- LI Meng, LIN Cong-mou, HUANG Yi-qun. Fractal analysis of Quanzhou bay coastline change[J]. Journal of Huaqiao University: Natural Science, 2015, 36(2): 211—214.