

# 一种利用多维目标分割比的矢量图形匹配算法

邹 静<sup>1</sup> 陈永刚<sup>1</sup> 龚金琪<sup>1</sup> 董万虎<sup>2</sup> 孙燕飞<sup>3</sup> 王志林<sup>4</sup>

1 浙江农林大学环境与资源学院,浙江 临安,311300

2 浙江省测绘大队地理信息中心,浙江 杭州,310012

3 浙江省景宁林业局,浙江 丽水,323500

4 浙江省云和县林业局,浙江 云和,323600

**摘 要:**图形的旋转、缩放、平移(rotate, scaling, translation, RST)以及边界微形变是影响矢量图形匹配结果的主要因素,也是评价形状描述算法优良的标准。针对以上因素,提出了一种多维目标分割比的矢量图形匹配算法。该算法通过对矢量图形构建特征线的方式实现形状特征的提取,准确描述面目标要素的形状特征,度量要素间的形状相似性。以2 000个真实地理实体的矢量图形作为匹配标准库,随机选取半数图形作为待匹配图形,对其采取不同程度的RST变换和边界简化,然后与标准库做匹配试验,并与其他图形匹配算法进行对比。试验结果表明,所提出的算法具有更高的匹配准确率,具有RST不变性和形变鲁棒性,可以精准识别矢量图形的形状。

**关键词:**矢量;图形匹配;微形变;目标分割比;形状特征;形状描述

**中图分类号:**P208

**文献标志码:**A

形状匹配是指按照一定的准则来衡量两个图形是否相同或相似<sup>[1]</sup>,被广泛应用于图像检索、字符识别、地图斑块边界识别等领域。而地理空间矢量图形要素的形状匹配不仅能够对多源数据集进行空间集成、融合和定期更新,还有利于维持空间数据库的完整性和现势性。

地理空间矢量图形要素的形状匹配主要基于其包含的空间特征信息,分别是空间关系特征、语义特征和几何特征<sup>[2]</sup>。空间关系特征匹配方法主要是拓扑关系匹配,然而当目标形状发生旋转、缩放、平移(rotate, scaling, translation, RST)以及边界微形变时,要素间有效的拓扑关系特征减少会导致匹配失败<sup>[3]</sup>。语义特征匹配通常根据目标的属性、数据模型等信息进行匹配,当属性信息不唯一或数据模型不一致时,会加大匹配难度,降低匹配精度<sup>[4]</sup>。几何特征匹配是通过直接计算目标间几何相似度来进行匹配<sup>[5]</sup>,更适用于要素的形状匹配<sup>[6]</sup>。根据几何对象的类型不同,几何特征匹配可分为点目标匹配、线目标匹配以及面目标匹配。而面目标的识别、匹配是多元矢量图形匹配的重要内容,同时也是多源矢量数据融合的难点。

常用的面目标几何特征匹配算法主要分为基于变换域特征、基于空间域特征和基于统计特征3种。基于变换域特征的有联合不变矩<sup>[7]</sup>、傅里叶描述子<sup>[8]</sup>和小波描述子<sup>[9]</sup>等,此类方法具有RST不变性,但对形状形变比较敏感<sup>[10]</sup>。基于空间域特征的有面积重叠度<sup>[11]</sup>、Hausdorff距离<sup>[12]</sup>和中心距离描述<sup>[13]</sup>等,此类方法受RST变换影响较大。基于统计特征的有成对几何直方图<sup>[14]</sup>、形状上下文<sup>[15]</sup>、CALI(cloud-aerosol LiDAR)<sup>[16]</sup>、孔洞方向约束<sup>[17]</sup>等,此类方法具有RST不变性,同时对微形变不敏感,但是其对于相似形状不能精确识别。

本文针对现有面目标几何特征匹配算法的缺陷,提出一种多维目标分割比算法来度量图形间的形状相似程度,该算法通过对矢量图形构建特征线的方式实现形状特征的提取,不仅克服了RST变换的影响,同时在微形变图形的识别方面具有鲁棒性。

## 1 研究方法

形状描述子的提取在形状匹配过程中具有

收稿日期:2019-04-09

项目资助:浙江省自然科学基金(LY16D010009)。

第一作者:邹静,硕士生,主要从事森林资源遥感监测与信息技术研究。zou\_jane@163.com

通讯作者:陈永刚,博士,副教授。cyg\_gis@163.com

极其关键的作用<sup>[18]</sup>,本文在综合考虑多边形 RST 不变特性的基础上,通过多边形和以其最大质边距为半径的外圆将特征线进行分割,以分割线长度比组成的多维向量作为形状描述子。算法流程如图 1 所示。

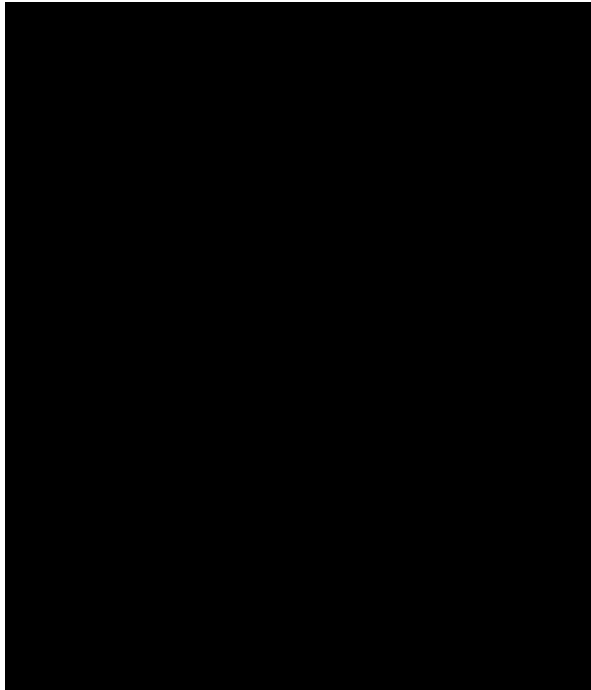


图 1 算法流程图

Fig.1 Flow Chart of Algorithm

### 1.1 恒定起始方向的选取

张显全等<sup>[19]</sup>证明了质心和长轴端点具有 RST 不变性,因此由多边形几何属性可知,质心到边界点的最长线相对于图形位置具有 RST 不变性,其长度(最大质边距)始终按 RST 比例变化。将质心到边界点最长线的综合方向作为形状描述的起始方向,确保图形产生的形状描述子唯一,避免因源目标与待匹配目标的起始位置不同而影响匹配结果。

设多边形的质心为  $O$ ,多边形边界线上的点为  $M_i (i=1, 2 \cdots m)$ ,以  $O$  为原点,分别连接  $O$  与  $M_i$  得到质边向量  $OM_i (i=1, 2 \cdots m)$ ,将向量模长  $|OM_i|$  最大值设为最大质边距  $D_{\max}$ ,以  $O$  为圆心、 $D_{\max}$  为半径作最大质边圆  $R$ 。当仅存在一条最大模长的质边向量时,将该质边向量作为起始特征向量  $OP$ ,如图 2 (a) 所示。当存在多条最大模长的质边向量时,对这些向量进行求和得到起始方向,并延伸至  $D_{\max}$  长度作为特征向量  $OP$ ,如图 2 (b) 所示。根据多边形质心几何分布关系,存在质心位于多边形外部的情况,恒定起始方向按同样的方式选取,如图 2 (c)、2(d) 所示。

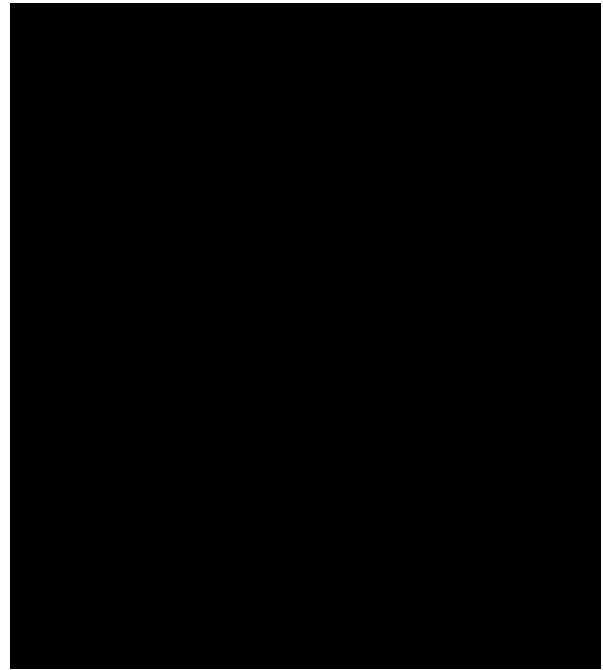


图 2 恒定起始方向的选取

Fig.2 Selection of Constant Starting Direction

### 1.2 形状特征描述子构建

#### 1.2.1 特征线划分

通过划分特征线来提取图形的特征信息,能够提高匹配结果的鲁棒性。特征线划分需要确定单元划分的份数  $n$ ,以  $OP$  作为起始向量,以  $O$  为原点按逆时针方向旋转,每隔  $360^\circ/n$  做一条特征线。其与  $R$  的交点设为  $Q_i (i=1, 2 \cdots n)$ ,与多边形的交点设为特征点  $N_i (i=1, 2 \cdots n)$ 。特征线划分如图 3 所示。

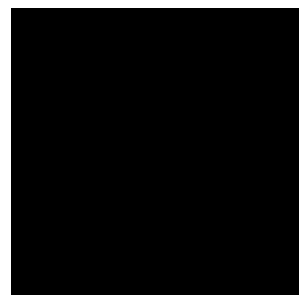


图 3 特征线划分

Fig.3 Division of Characteristic Lines

在特征线划分过程中,当质心位于多边形外部时存在两种特殊情况:一是部分特征线与多边形不相交;二是特征线与多边形交点有多个。当特征线与多边形不相交时,取特征线反向交于多边形最近点为特征点。当特征线与多边形相交于多个点时,取特征线与多边形相交时最远点为特征点。图 4 给出了质心在多边形外部时的特征点选取示意图。

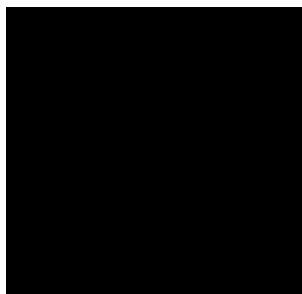


图4 质心在多边形外部时的特征点选取

Fig.4 Characteristic Points Selection when the Centroid is Outside the Polygon

### 1.2.2 构建多维目标分割比

从起始特征线开始按逆时针方向,分别将 $O$ 到 $N_i$ 的距离记为 $d_i (i=1, 2\cdots n)$ ,反向取特征点情况下取其距离的负值,另外 $O$ 到 $Q_i$ 的距离等于 $D_{\max}$ 。因此,目标分割比可表示为:

$$S_i = \frac{d_i}{D_{\max}} (i=1, 2\cdots n) \quad (1)$$

设多边形按照伸缩系数 $k$ 进行缩放,则变换后 $d'_i = kd_i (i=1, 2\cdots n)$ ,  $D'_{\max} = kD_{\max}$ ,由定义可得构建的目标分割比相同,具有缩放不变性。即:

$$S'_i = \frac{d'_i}{D'_{\max}} = \frac{kd_i}{kD_{\max}} = \frac{d_i}{D_{\max}} \quad (k>0, i=1, 2\cdots n) \quad (2)$$

将多边形每个特征线对应的长度分割比组合成一个多维向量,向量的维数等于特征线的数目。这个多维特征向量即为构建的形状特征描述子。几何目标分割比向量的具体构建过程可定义为:

$$U = [S_1, S_2 \cdots S_n] \quad (3)$$

### 1.3 形状相似性度量

图形形状的相似程度通常用一个数值来表示,这个数值称为形状相似度。形状相似度的值越大,说明两个形状越相似。本文采用余弦距离来比较多边形形状的相似度。余弦距离也称为余弦相似度,其定义为向量空间中两个向量夹角的余弦值。通常用向量的余弦相似度作为衡量两个向量间差异大小的度量<sup>[20]</sup>,这里的向量可以为特征空间向量,也可多维矢量空间。

由于每个多边形均可产生对应的多维分割比向量,而计算向量间夹角的余弦值即可度量两者的相似性。当两向量的余弦值越接近于1时,两个图形越相似。设两个待匹配多边形的多维分割比向量分别为 $U_1(x_1, x_2 \cdots x_n)$ 和 $U_2(y_1, y_2 \cdots y_n)$ 。其形状相似度 $\alpha_i$ 可表示为:

$$\alpha_i = \frac{U_1 \cdot U_2}{|U_1| \cdot |U_2|} \quad (4)$$

其具体形式如下:

$$\alpha_i = \frac{x_1 y_1 + x_2 y_2 + \cdots + x_n y_n}{\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2} \cdot \sqrt{y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_n^2}} \quad (5)$$

## 2 实验与分析

### 2.1 匹配数据集

本文采用浙江省某地区林地、宜林地与非林地矢量数据为图形库进行实验。图库多边形为2 000个,为避免图形选取数量过少造成的匹配结果可信度不高的情况,从图形库中随机选取1 000个试验所需的待匹配矢量图形,剩下的1 000个图形作为匹配干扰图形。图形库如图5(a)所示,其中带条纹图案标记的多边形代表随机选取的1 000个待匹配图形,无图案标记的多边形为干扰多边形。图5(b)中列举了图形库中部分具有相似性的图形和不规则图形。



图5 实验图形

Fig.5 Experimental Polygons

从图5中可以看出,图库多边形数量较多,并且涵盖相似多边形和极度不规则多边形,能够满

足形状匹配对形状的相似性、多样性和复杂性要求。采用现实世界真实地理实体多边形为图形库,能更好地验证本文算法的有效性。因此,该图库适合用于形状特征匹配试验。

## 2.2 试验设计

为了检验本文算法对形状形变的鲁棒性,需要将待匹配图形均进行形状简化,在保留图形关键结点的情况下,模拟图形产生边界形变的情况。由于矢量数据具有较高的复杂性,目前研究出了较多具有代表性的压缩方法,本文采用效果较好的道格拉斯-普克算法。道格拉斯-普克算法是矢量曲线压缩的经典算法,它从整体角度对曲线进行压缩,该算法能够得到最优的压缩结果<sup>[21]</sup>。

利用道格拉斯-普克算法对待匹配的多边形进行简化,需要较大程度减少面积、周长和边界点数目。待匹配的矢量图形中,面积范围在 720.61~204 278.16 m<sup>2</sup>,平均面积为 32 406.61 m<sup>2</sup>,周长范围在 124.76~2 594.63 m,平均周长为 858.26 m。为了确保图形的简化效果,对待匹配的矢量图形进行 0~120 m 阈值的简化试验,间隔 2 m 产生一组简化图形。经比较,与平均面积相近的图形在 26 m 阈值之前简化效果明显,与平均周长相近的图形在 32 m 阈值之前简化效果明显。故选取 8 m、16 m、24 m、32 m、40 m 作为简化阈值,生成 5 组不同简化程度的待匹配矢量图形,简化效果如图 6 所示。在简化阈值为 40 m 时,1 000 个原始待匹配多边形共计减少的面积、周长和边界点数分别为 523 013.04 m<sup>2</sup>、51 573.71 m 和 30 889 个。

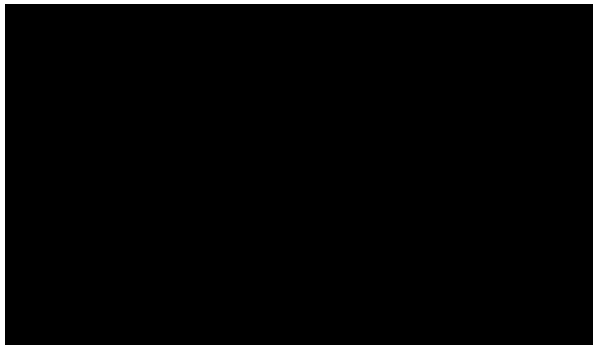


图 6 图形边界简化效果

Fig.6 Simplification Effect of Shape Boundary

为了验证本文算法对 RST 变换的适应性,本试验首先将选取的每个待匹配矢量图形分别缩放 1.3 倍和 0.5 倍,得到两个缩放后的图形。然后对原始图形和两个缩放图形分别旋转 72°、144°、216°、288°、360°,并进行平移操作,共得到 15 个变

换后的图形。图形的平移程度是按旋转角度大小进行定义,即图形旋转时以小组多边形为中心进行旋转,旋转后小组内每个多边形会有一个平移度。经过上述变换后按照缩放倍数和旋转角度可分为 15 组,对不同简化阈值的 6 组图形进行 RST 变换共计得到 90 组,每组 1 000 个待匹配矢量图形。

经测试,当特征线划分单元份数  $n$  在 8 以上时,分割比算法的匹配准确率逐渐趋于平稳,如图 7 所示。因此,特征线划分单元的角度应取小于 45°才能达到准确的效果。

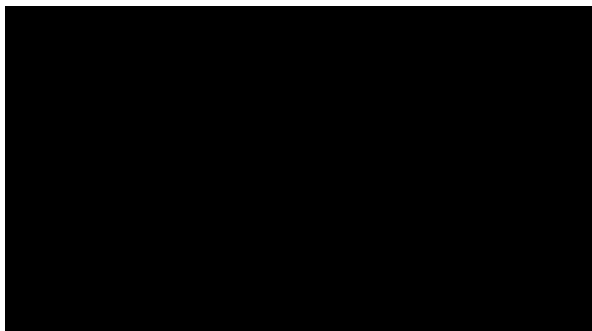


图 7 特征线划分份数与匹配率关系

Fig.7 The Relation Between the Number of Characteristic Line and Matching Results

试验具体过程如下:分别计算每个待匹配图形与标准图库中多边形的相似度值,将相似度值按降序排序,并取相似度值最大的图库多边形作为待匹配图形的匹配结果。汇总匹配正确的数量占待匹配图形总数量的比重作为匹配结果的匹配准确率。

## 2.3 结果分析

表 1 列出了联合不变矩算法<sup>[7]</sup>、中心距离法<sup>[13]</sup>、CALI 算法<sup>[16]</sup>与分割比算法在不同简化阈值下的匹配率对比结果。分割比算法采用 6 个常用角度进行单元划分得到不同匹配结果,分别是 45°、30°、15°、10°、5°和 3°。由于以上算法都具有 RST 不变性,相同简化阈值下不同 RST 变换的 15 组待匹配矢量图形得到的匹配率相近,因此取其均值作为该简化阈值下的最终匹配率。

从表 1 的形状匹配结果中可以看出,分割比形状匹配算法可以精准地识别矢量图形的形状,同时针对图形的简化形变情况具有较好的鲁棒性。在待匹配图形未简化的情况下分割比算法匹配结果与中心距离法和 CALI 算法相当,匹配准确率达到 100%。对比不同简化阈值下的匹配率,由于多边形边界点数量减少引起形变,其匹配准确率与简化阈值呈负相关趋势,然而分割比



算法的匹配结果在相同简化阈值下都高于其他算法。以45°划分单元的分割比算法匹配率略高于其他3种算法中效果最好的CALI算法,但是随着划分度数的减少,分割比算法能够得到更准确的匹配结果。这是由于单元度数划分的越小,算法对原图形信息的描述越详细,准确率越高。但更高维度的划分会增加分割比计算与匹配的时间,需要针对不同的应用需求权衡确定。

表1 算法的形状匹配结果/%

Tab.1 Shape Matching Results of the Algorithm/%

算法	简化阈值					
	0 m	8 m	16 m	24 m	32 m	40 m
联合不变矩	76.5	0.6	0.1	0.2	0.0	0.1
中心距离	100.0	74.3	44.7	27.3	17.6	11.4
CALI	100.0	78.3	46.6	29.2	20.4	16.0
45°分割比	100.0	80.9	54.8	33.1	24.4	16.0
30°分割比	100.0	85.7	63.2	42.6	30.0	21.1
15°分割比	100.0	87.8	66.7	49.3	35.0	25.3
10°分割比	100.0	88.4	67.9	49.5	35.6	25.3
5°分割比	100.0	89.0	69.7	50.9	36.6	25.9
3°分割比	100.0	89.2	69.9	50.6	36.7	26.2

### 3 结 语

本文在深入分析矢量面图形几何变换特性的基础上,提出了一种构建多维目标分割比的矢量图形匹配算法。该算法利用了分割线长度比具有RST不变性的特点,克服了图形RST变换等因素对匹配结果的影响,以描述几何形状的复杂性。并将其应用到真实地物的几何面目标的识别与匹配试验中,试验结果表明,本文方法在矢量图形经过道格拉斯-普克算法简化和RST变换后仍具有较高的形状匹配准确率,说明本文方法对于矢量图形匹配是行之有效的。该方法不受RST变换影响,同时能够克服图形形变的影响,对于移除边界点导致的图形形变具有较好的鲁棒性,可以应用于现实中真实地物的图形匹配中。

### 参 考 文 献

- [1] Sako Y, Fujimura K. Shape Similarity by Homotopic Deformation[J]. *Visual Computer*, 2000, 16(1): 47-61
- [2] Chen Zhanlong, Qin Mengjiao, 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(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)
- [3] Loncaric S. A Survey of Shape Analysis Techniques [J]. *Pattern Recognition*, 1998, 31(8):983-1 001
- [4] Bidarra R, Bronsvoort W F. Semantic Feature Modeling [J]. *Computer-Aided Design*, 2000, 32(3): 201-225
- [5] Guo Li, Cui Tiejun, Zheng Haiying, et al. Arithmetic for Area Vector Spatial Data Matching on Spatial Direction Similarity[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2008, 25(5):380-382(郭黎,崔铁军,郑海鹰,等.基于空间方向相似性的面状矢量空间数据匹配算法[J].测绘科学技术学报,2008,25(5):380-382)
- [6] Xu Feng, Deng Min, Zhao Binbin, et al. A Detailed Investigation on the Methods of Object Matching [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, 11(5):657-663(徐枫,邓敏,赵彬彬,等.空间目标匹配方法的应用分析[J].地球信息科学学报,2009,11(5):657-663)
- [7] Sun Y N, Liu W J, Wang Y C. United Moment Invariants for Shape Discrimination[C]. *IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing*, Changsha, China, 2003
- [8] Shuai Yun, Ai Tinghua, Shuai Haiyan, et al. Polygonal Inquiry Based on Shape Template Matching [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(12):1 267-1 270(帅贇,艾廷华,帅海燕,等.基于形状模板匹配的多边形查询[J].武汉大学学报·信息科学版,2008,33(12):1 267-1 270)
- [9] Fan Zhongming, Li Jingzhong, Zhang Xiaobo. A Wavelet Method for Vector Polygon Pattern Recognition[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(10):1 400-1 405, 1 416(范仲鸣,李精忠,张小波.矢量多边形模式识别的小波方法[J].武汉大学学报·信息科学版,2017,42(10):1 400-1 405,1 416)
- [10] Tian Zeyu, Men Chaoguang, Liu Yongmei, et al. A Spatial Object Shape Matching Method Based on Triangular Division[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(6):749-755(田泽宇,门朝光,刘咏梅,等.一种应用三角形划分的空间对象形状匹配方法[J].武汉大学学报·信息科学版,2017,42(6):749-755)
- [11] Zhang Liping, Guo Qingsheng, Sun Yan. The Method of Matching Residential Features in Topographic Maps at Neighboring Scales[J]. *Geomatics*

- and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(6):604-607(章莉萍, 郭庆胜, 孙艳. 相邻比例尺地形图之间居民地要素匹配方法研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(6):604-607)
- [12] Deng Min, Niu Shulian, Li Zhilin. A Generalized Hausdorff Distance for Spatial Object in GIS [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(7):641-645(邓敏, 钮沐联, 李志林. GIS空间目标的广义 Hausdorff 距离模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(7):641-645)
- [13] Hao Yanling, Tang Wenjing, Zhao Yuxin, et al. Areal Feature Matching Algorithm Based on Spatial Similarity[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37(4):501-506(郝燕玲, 唐文静, 赵玉新, 等. 基于空间相似性的面实体匹配算法研究[J]. 测绘学报, 2008, 37(4):501-506)
- [14] Cui Guangmin, Wang Tianjiang, Li Chengge, et al. Geogram Based Feature Description[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition)*, 2015, 43(2):129-132(崔光民, 王天江, 李成革, 等. 基于几何直方图的特征描述[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(2):129-132)
- [15] Wu Xiaoyu, He Yan, Yang Lei, et al. Binary Image Retrieval Based on Improved Shape Context Algorithm[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(1):302-309(吴晓雨, 何彦, 杨磊, 等. 基于改进形状上下文特征的二值图像检索[J]. 光学精密工程, 2015, 23(1):302-309)
- [16] Fonseca M J, Ferreira A, Jorge J A. Generic Shape Classification for Retrieval[M]//Graphics Recognition, Ten Years Review and Future Perspectives. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005
- [17] Chen Zhanlong, Wu Liang, Xie Zhong, et al. Similarity Measurement of Multi-holed Regions Using Constraint Satisfaction Problem[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(5):745-751, 785(陈占龙, 吴亮, 谢忠, 等. 利用约束满足问题进行多洞面实体相似性度量[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(5):745-751, 785)
- [18] Lee S H, Kang S H. Performance Enhancement of the Branch Length Similarity Entropy Descriptor for Shape Recognition by Introducing Critical Points [J]. *Journal of the Korean Physical Society*, 2016, 69(7):1 254-1 262
- [19] Zhang Xianquan, Guo Mingming, Tang Ying, et al. A New Geometric Feature Shape Descriptor[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(29):90-92(张显全, 郭明明, 唐莹, 等. 一种新的几何特征形状描述子[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(29):90-92)
- [20] Wang D, Lu H, Bo C. Visual Tracking via Weighted Local Cosine Similarity [J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2015, 45(9):1 838-1 850
- [21] Wang Xiaotian, Lü Haiyang. Douglas-Peucker Compression Algorithm Based on the First Feature Point[J]. *Software Guide*, 2016, 15(11):68-70(王笑天, 吕海洋. 基于第一特征点的道格拉斯-普克压缩算法[J]. 软件导刊, 2016, 15(11):68-70)

## An Efficient Matching Algorithm Based on Vector Graphics Using Multi-dimensional Object Segmentation Ratio

ZOU Jing<sup>1</sup> CHEN Yonggang<sup>1</sup> GONG Jinqi<sup>1</sup> DONG Wanhua<sup>2</sup>  
SUN Yanfei<sup>3</sup> WANG Zhilin<sup>4</sup>

<sup>1</sup> School of Environmental and Resource Science, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China

<sup>2</sup> Geomatics Center of Zhejiang, Institution of Geological Surveying and Mapping, Hangzhou 310012, China

<sup>3</sup> Ecological Engineering Service Center, Jingning Forestry Bureau of Zhejiang Province, Lishui 323500, China

<sup>4</sup> Yunhe Forestry Bureau of Zhejiang Province, Yunhe 323600, China

**Abstract:** Rotation, scaling, translation (RST) and boundary micro-deformation are the main factors that affect the matching results of vector graphics, and are also good criteria for evaluating shape description algorithms. In this paper, a vector graphics matching algorithm using multi-dimensional object segmentation ratio is proposed for the influencing factors of shape matching. This algorithm extracts shape characteristic by constructing feature lines for vector graphics. It can accurately describe the shape characteristic of the

polygon features to measure the shape similarity between the graphics. The vector graphics of 2 000 real geographical entities are used as the standard library for matching experiment, and half of the graphics are randomly selected as matching graphics. The matching graphics are taken to RST transformation and boundary simplification operations with varying degrees. The transformed graphics are matched with the standard library. The matching results are compared with other vector graphics matching algorithms to test the shape retrieval effect of this algorithm. This experiment demonstrate that the proposed algorithm has higher matching accuracy, RST invariance and deformation robustness. Therefore, it can accurately identify the shape of vector graphics.

**Key words:** vector; graphics matching; micro deformation; object segmentation ratio; shape characteristic; shape description

**First author:** ZOU Jing, postgraduate, specializes in the remote sensing monitoring and information technology of forest resources. E-mail: zou\_jane@163.com

**Corresponding author:** CHEN Yonggang, PhD, associate professor. E-mail: cyg\_gis@163.com

**Foundation support:** The Natural Science Foundation of Zhejiang Province(LY16D010009).

**引文格式:** ZOU Jing, CHEN Yonggang, GONG Jinqi, et al. An Efficient Matching Algorithm Based on Vector Graphics Using Multi-dimensional Object Segmentation Ratio[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(10): 1626-1632. DOI: 10.13203/j.whugis20190009(邹静, 陈永刚, 龚金琪, 等. 一种利用多维目标分割比的矢量图形匹配算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(10): 1626-1632. DOI: 10.13203/j.whugis20190009)

---

(上接第 1577 页)

and it is a hot issue in matching navigation technology. A new gravity matching navigation algorithm based on constraints correlation theory is put forward by analyzing the algorithm of INS/gravity matching integrated navigation. Based on the existing algorithms, the new algorithm increases valid information according inertial navigation systems by comparing the track direction and sailing distance, it can effectively eliminate a large number of interference matching tracks, improves matching efficiency and matching accuracy. The simulation results show that the matching accuracy of this algorithm is significantly improved compared with the probabilistic neural network method, and the accuracy is improved from kilometer to hectometre. The new algorithm shortens about 50% time for probabilistic neural network, greatly improves the efficiency of gravity matching, and better content the requirements of underwater navigation.

**Key words:** gravity matching; inertial navigation; constraint; trajectory direction; trajectory distance

**First author:** ZOU Jiasheng, postgraduate, specializes in the gravity matching inertial navigation. E-mail: 18720988001@163.com

**Corresponding author:** XIAO Yun, PhD, senior engineer. E-mail: 2262164268@qq.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China(41374083, 61427817).

**引文格式:** ZOU Jiasheng, XIAO Yun, MENG Ning, et al. A Gravity Matching Navigation Algorithm Based on Constraint[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(10): 1 570-1 577, 1 632. DOI: 10.13203/j.whugis20180495(邹嘉盛, 肖云, 孟宁, 等. 一种基于约束条件的重力匹配导航算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(10): 1 570-1 577, 1 632. DOI: 10.13203/j.whugis20180495)