

DOI:10.13203/j.whugis.20150786



文章编号:1671-8860(2017)06-0749-07

一种应用三角形划分的空间对象形状匹配方法

田泽宇¹ 门朝光¹ 刘咏梅¹ 蒋庆丰¹ 汤亚楠¹

1 哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院,黑龙江 哈尔滨,150001

摘要:为解决现有空间对象形状相似性匹配准确率低的问题,提出一种应用三角形划分的形状相似性匹配方法。该方法按形状主方向对面状空间对象进行分割,按串联、并联和组合形式对空间对象进行三角形划分,准确描述面状空间对象的形状特征,度量空间对象间的形状相似性。通过形状数据集匹配、不同年份面状水系图层匹配和矢量地图草图检索,测试本方法的形状检索性能,并和其他空间对象形状匹配方法进行对比。实验结果表明,本方法具有更高的形状检索准确率。三角形划分形状匹配方法具有平移、旋转、尺度不变性和较强的形状描述识别能力。

关键词:形状相似性匹配;面状空间对象;主方向分割;三角形划分;形状特征

中图法分类号:P407; P208 **文献标志码:**A

空间对象形状相似性匹配是空间数据几何相似性查询、空间聚类、空间数据融合更新、遥感影像目标识别等的理论基础。空间对象形状相似性匹配有基于空间域和基于变换域两类方法。基于空间域的形状匹配主要有 Hausdorff 距离^[1],形状数匹配^[2],中心距离描述^[3],线段链形状相似性^[4],图的谱方法形状表达^[5],正切空间描述^[6,7]等。基于空间域的匹配方法会随形状旋转而发生改变。基于变换域的形状匹配主要有基于位置的傅里叶变换^[8]、多级弦长描述^[9,10]、中心距离傅里叶变换^[11]、弯曲度半径描述^[12]等。基于变换域的匹配方法具有平移、旋转和尺度不变性,但对形状的改变比较敏感。

针对现有空间对象形状相似性匹配方法的缺陷,通过空间对象的形状主方向分割与三角形划分,本文提出新的面状空间对象形状相似性匹配方法。

1 空间对象形状主方向分割

面状空间对象的形状主方向由对象的形状决定,它是对象形状的最小惯性轴,具有平移、旋转和尺度不变性,位于通过重心且倾角为 θ 的直线上,倾角 θ 公式为^[13]:

$$\theta = \arctan \frac{\mu_{02} - \mu_{20} + \sqrt{(\mu_{02} - \mu_{20})^2 + 4\mu_{11}^2}}{2\mu_{11}} \quad (1)$$

式中, μ_{11} 、 μ_{02} 、 μ_{20} 为空间对象形状的 $p+q$ 阶中心矩。空间对象形状主方向如图 1 所示。

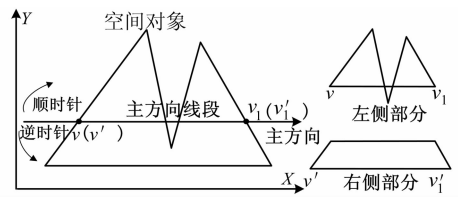


图 1 形状主方向分割

Fig. 1 Main Direction Segmentation of the Shape

主方向与空间对象可能相交于多个点,只取空间对象与主方向的第一个交点和最后一个交点,这两个点间的线段为主方向线段。以空间对象与主方向的第一个交点为起点,分别沿顺时针、逆时针方向顺序遍历空间对象顶点,直到对象与主方向的最后一个交点为止。顺时针方向顶点集合构成的折线与主方向线段构成左侧部分,逆时针方向顶点集合与主方向线段构成右侧部分。主方向线段将空间对象分割为左、右两部分。如图 1 所示,主方向与空间对象的第一个交点为 v (v'),最后一个交点为 v_1 (v_1'),线段 vv_1 为主方向线段。点 v 、 v_1 代表主方向与空间对象左侧部分

收稿日期:2016-06-30

项目资助:国家自然科学基金(61672181)。

第一作者:田泽宇,博士生,主要从事空间数据检索、遥感图像处理研究。tianzeyu@hrbeu.edu.cn

通讯作者:门朝光,博士,教授。menchaoguang@hrbeu.edu.cn

的交点,点 v' 、 v'_1 代表主方向与空间对象右侧部分的交点,此时两部分交点是相同的。将主方向的右侧部分沿主方向平移,直到右侧最小点 v 与左侧最大点 v_1 重合,如图 2 所示。分布在主方向一侧的连续折线与主方向构成一个计算单元,如图 2 中有 4 个计算单元。对空间对象的计算单元进行三角形划分,度量形状相似性。

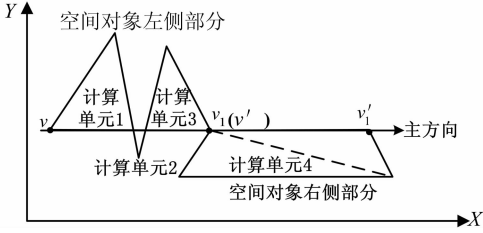


图 2 空间对象的计算单元

Fig. 2 Computing Unit of the Spatial Object

2 空间对象三角形划分

最简单的空间对象边界折线如图 3 中的折线 ABC 所示,折线 ABC 与线段 AC 构成的三角形是空间对象三角形划分的最基本情况。据文献 [14],任何三角形的形状、大小均能通过其一条边、该边上的高和该边的对角惟一确定。假设图 3 中 $AC = a$,高 $BD = h$, $\angle ABC = \alpha$ 。设 SM_1 、 SM_2 为形状描述参量:

$$SM_1(ABC, AC) = 1 - \frac{h}{h+a} \quad (2a)$$

$$SM_2(ABC, AC) = \frac{\alpha}{180^\circ} \quad (2b)$$

SM_1 描述折线 ABC 与线段 AC 之间的偏离率, SM_2 描述 $\angle ABC$ 相对于线段 AC 的角度变化率。参量 SM_1 、 SM_2 可以准确度量折线 ABC 与线段 AC 之间形状的相似性。

$$SM_1(A_1A_2 \cdots A_n, A_1A_n) = \frac{a_2}{A_1A_n} SM_1(A_1A_2A_3, A_1A_3) + \frac{a_4}{A_1A_n} SM_1(A_3A_4A_5, A_3A_5) + \cdots + \frac{a_{n-1}}{A_1A_n}$$

$$SM_1(A_{n-2}A_{n-1}A_n, A_{n-2}A_n) = \frac{a_2}{A_1A_n} \left(1 - \frac{h_2}{h_2+a_2}\right) + \frac{a_4}{A_1A_n} \left(1 - \frac{h_4}{h_4+a_4}\right) + \cdots + \frac{a_{n-1}}{A_1A_n} \left(1 - \frac{h_{n-1}}{h_{n-1}+a_{n-1}}\right) \quad (3a)$$

$$SM_2(A_1A_2 \cdots A_n, A_1A_n) = \frac{a_2}{A_1A_n} SM_2(A_1A_2A_3, A_1A_3) + \frac{a_4}{A_1A_n} SM_2(A_3A_4A_5, A_3A_5) + \cdots + \frac{a_{n-1}}{A_1A_n}$$

$$SM_2(A_{n-2}A_{n-1}A_n, A_{n-2}A_n) = \frac{a_2}{A_1A_n} \frac{\angle A_2}{180^\circ} + \frac{a_4}{A_1A_n} \frac{\angle A_4}{180^\circ} + \cdots + \frac{a_{n-1}}{A_1A_n} \frac{\angle A_{n-1}}{180^\circ} \quad (3b)$$

2.2 并联形式

空间对象边界折线 $A_1A_2 \cdots A_n$ 分布在线段 A_1A_n 的同一侧,形成多边形 $A_1A_2 \cdots A_n$,如图 5 所示。将折点 $A_3, A_4, \cdots, A_{n-1}$ 分别与点 A_1 相连,将多

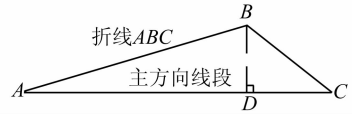


图 3 基本三角形划分

Fig. 3 Division Method of the Basic Triangle

以主方向线段为参考,将空间对象的每个计算单元按串联形式、并联形式和组合形式划分为基本三角形的组合,计算形状描述参量 SM_1 、 SM_2 ,度量形状相似性。

2.1 串联形式

空间对象边界折线 $A_1A_2 \cdots A_n$ 被线段 A_1A_n 分割成了 $(n-1)/2$ 条折线,分别为折线 $A_1A_2A_3$ 、 $A_3A_4A_5$ 、 \cdots 、 $A_{n-2}A_{n-1}A_n$,如图 4 所示。这些折线由线段 A_1A_n 串联起来,将这类边界折线分布称为串联形式。在串联形式空间对象中计算每个折线与线段的相似关系描述参量 SM_1 、 SM_2 ,然后将每个折线 $A_{n-2}A_n$ 占线段 A_1A_n 的比例作为权重,将每个折线与线段的描述参量按权重相加,得到串联形式空间对象的形状描述参量。

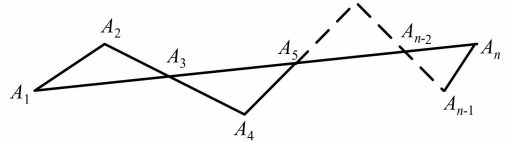


图 4 串联形式

Fig. 4 Series Form

设折线 $A_1A_2 \cdots A_n$ 的折点 $A_2, A_4, \cdots, A_{n-1}$ 到线段 A_1A_n 的距离,即折线与线段构成三角形的高分别为 $h_2, h_4, \cdots, h_{n-1}$,线段 $A_1A_3, A_3A_5, \cdots, A_{n-2}A_n$ 的长度分别为 $a_2, a_4, \cdots, a_{n-1}$ 。串联形式空间对象中折线 $A_1A_2 \cdots A_n$ 与线段 A_1A_n 之间相似关系描述参量即串联形式空间对象的形状描述参量 SM_1 、 SM_2 公式为:

边形 $A_1A_2 \cdots A_n$ 分割成 $n-2$ 条折线,分别为 $A_1A_2A_3$ 、 $A_1A_3A_4 \cdots A_1A_{n-1}A_n$,这些折线并列地连接在线段 A_1A_n 的同一侧,将此类边界折线分布称为并联形式。在并联形式空间对象中计算每个折线

与线段的相似关系描述参量 SM_1 、 SM_2 , 将每个折线与线段的相似关系描述参量分别相乘, 得到并联形式空间对象的形状描述参量。

设折线 $A_1A_2 \cdots A_n$ 的折点 A_2 、 A_3 、 \cdots 、 A_{n-1} 到线段 A_1A_3 、 A_1A_4 、 \cdots 、 A_1A_n 的距离即折线与线段构成三角形的高分别为 h_2 、 h_3 、 \cdots 、 h_{n-1} , 线段 A_1A_3 、 A_1A_4 、 \cdots 、 A_1A_n 的长度分别为 a_2 、 a_3 、 \cdots 、 a_{n-1} 。并联形式对象中折线 $A_1A_2 \cdots A_n$ 与线段 A_1A_n 之间相似关系描述参量即并联形式空间对象的形状描述参

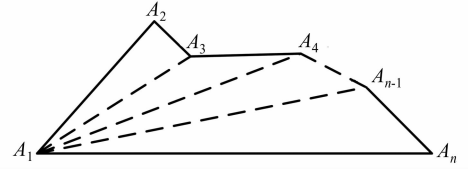


图 5 并联形式

Fig. 5 Parallel Connection Form

量 SM_1 、 SM_2 为:

$$SM_1(A_1A_2 \cdots A_n, A_1A_n) = SM_1(A_1A_2A_3, A_1A_3) \times SM_1(A_1A_3A_4, A_1A_4) \times \cdots \times SM_1(A_1A_{n-1}A_n, A_1A_n) = \left(1 - \frac{h_2}{h_2 + a_2}\right) \times \left(1 - \frac{h_4}{h_4 + a_4}\right) \times \cdots \times \left(1 - \frac{h_{n-1}}{h_{n-1} + a_{n-1}}\right) \quad (4a)$$

$$SM_2(A_1A_2 \cdots A_n, A_1A_n) = SM_2(A_1A_2A_3, A_1A_3) \times SM_2(A_1A_3A_4, A_1A_4) \times \cdots \times SM_2(A_1A_{n-1}A_n, A_1A_n) = \frac{\angle A_2}{180^\circ} \times \frac{\angle A_4}{180^\circ} \times \cdots \times \frac{\angle A_{n-1}}{180^\circ} \quad (4b)$$

2.3 组合形式

空间对象边界折线 $A_1A_2 \cdots A_7$ 分布在线段 A_1A_7 的一侧, 且连线 A_1A_4 与边 A_2A_3 相交, 如图 6 所示。这种分布形式不能利用上述的串联形式、并联形式计算。

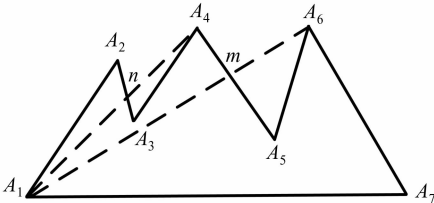


图 6 组合形式

Fig. 6 Combined Form

将端点 A_1 与折点 A_4 、 A_6 相连, 连线 A_1A_4 与 A_2A_3 相交于 n 点, 连线 A_1A_6 与 A_4A_5 相交于 m 点, 如图 6 所示。折线 $A_1A_2A_3A_4$ 与线段 A_1A_4 构成串联形式, 按式 (3a) 计算 SM_1 为:

$$SM_{1(1)} = \frac{A_1n}{A_1A_4} SM_1(A_1A_2n, A_1n) + \frac{nA_4}{A_1A_4} SM_1(nA_3A_4, nA_4)$$

折线 $A_1A_2A_3A_4$ 与 A_1A_4m 构成并联形式, 折线 A_1A_4m 与线段 A_1m 的参量 SM_1 为:

$$SM_{1(2)} = SM_{1(1)} \times SM_1(A_1A_4m, A_1m)$$

折线 $A_1A_4A_5A_6$ 与线段 A_1A_6 构成串联形式, 按式 (3a) 计算参量 SM_1 为:

$$SM_{1(3)} = \frac{A_1m}{A_1A_6} SM_{1(2)} + \frac{mA_6}{A_1A_6} SM_1(mA_5A_6, mA_6)$$

折线 $A_1A_4A_5A_6$ 与 $A_1A_6A_7$ 构成并联形式, 折线 $A_1A_6A_7$ 与线段 A_1A_7 的参量 SM_1 为:

$$SM_{1(4)} = SM_{1(3)} \times SM_1(A_1A_6A_7, A_1A_7)$$

至此, 图 6 中边界折线 $A_1A_2 \cdots A_7$ 与线段 A_1A_7 的相似关系描述参量 SM_1 计算完成, 参量 SM_2 与 SM_1 的计算一致。

由图 6 可知, 组合形式空间对象的构成是串联、并联、串联……的结构, 先利用式 (3a)、式 (3b) 计算串联形式对象的相似关系描述参量, 再利用式 (4a)、式 (4b) 计算并联形式对象的相似关系描述参量。以此类推, 得出组合形式对象的形状描述参量。

3 空间对象形状相似性度量

空间对象的计算单元之间为串联形式, 计算单元内部为并联形式或组合形式。

设空间对象共由 m 个计算单元组成, 主方向线段长度为 L , 每个计算单元与主方向相交线段的长度分别为 L_1 、 $L_2 \cdots L_m$, 每个计算单元与对应线段的相似关系描述参量分别为 $SM_{1(1)}$ 、 $SM_{1(2)} \cdots SM_{1(m)}$ 与 $SM_{2(1)}$ 、 $SM_{2(2)} \cdots SM_{2(m)}$, 则空间对象边界折线与主方向线段的相似关系描述参量即空间对象的形状描述参量 SM_1 、 SM_2 为:

$$SM_1 = \frac{L_1}{2L} SM_{1(1)} + \frac{L_2}{2L} SM_{1(2)} + \cdots + \frac{L_m}{2L} SM_{1(m)} \quad (5a)$$

$$SM_2 = \frac{L_1}{2L} SM_{2(1)} + \frac{L_2}{2L} SM_{2(2)} + \cdots + \frac{L_m}{2L} SM_{2(m)} \quad (5b)$$

图 2 中空间对象的 4 个计算单元之间为串联形式。计算单元 1、计算单元 2、计算单元 3 均为基本三角形, 按式 (2a)、式 (2b) 计算这 3 个计

算单元的形状描述参量。计算单元4为并联形式,按式(4a)、式(4b)计算该计算单元的形状描述参量。根据4个计算单元的形状描述参量,按式(5a)、式(5b)计算图2空间对象整体的形状描述参量。

两个待匹配空间对象 v, u , 对象 v 的形状描述参量为 $SM_1^{(v)}, SM_2^{(v)}$, 对象 u 的形状描述参量为 $SM_1^{(u)}, SM_2^{(u)}$, 两个对象 v, u 的形状差异度为:

$$\begin{cases} d_1 = |SM_1^{(v)} - SM_1^{(u)}| \\ d_2 = |SM_2^{(v)} - SM_2^{(u)}| \end{cases} \quad (6)$$

空间对象 v, u 的形状相似性分值 S 为:

$$S = (1 - d_1)(1 - d_2) \quad (7)$$

三角形划分形状匹配算法流程如下。

输入:待匹配空间对象 v, u

输出:对象 v, u 的形状相似性分值 S

第一步 通过式(1),计算空间对象的主方向,确定空间对象的主方向线段;

第二步 以主方向线段起点为初始点,分别沿顺时针、逆时针方向顺序遍历空间对象顶点,直到主方向线段终点为止,主方向线段将空间对象分割为左、右两部分;

第三步 确定空间对象左、右两部分的计算单元。计算单元之间为串联形式;

第四步 以计算单元为单位,依据并联形式或组合形式,进行三角形划分,计算每个计算单元的形状性描述参量;

第五步 根据式(5a)、式(5b),计算空间对象 v, u 的整体形状描述参量;

第六步 根据式(6)、式(7),计算空间对象 v, u 的形状相似性分值 S 。

其中,第一步的时间复杂度为 $O(N)^{[13]}$;第二步、第三步的时间复杂度均为 $O(N)$;其余各步的时间复杂度均小于 $O(N)$,则三角形划分形状匹配法的时间复杂度为 $O(N)$ 。

三角形划分形状匹配方法利用折线与线段之间的偏离率 SM_1 和角度变化率 SM_2 描述形状特征,与形状特征点的绝对位置无关,具有平移不变性。本方法的偏离率 SM_1 为三角形高和对应边长度的比,与尺度变化无关;角度变化率 SM_2 也不随尺度而改变,具有尺度不变性。利用形状主方向分割空间对象,形状主方向不随形状旋转而改变,具有旋转不变性。所以,三角形划分形状匹配具有平移、尺度和旋转不变性。

4 实验结果和分析

为评估本文提出的三角形划分形状匹配法的检索性能,进行了形状数据集匹配、面状水系图层匹配和草图检索三种测试。

4.1 形状数据集匹配测试

从北京市地图中选取40个不同建筑的面状形状,从我国水系图中选取30个不同水系的面状形状,共70个面状形状,如图7中上图所示,前三行为30个不同水系的面状形状,后四行为40个不同建筑的面状形状。对每一个面状形状分别缩放0.49、0.7、1.37倍,得到3个缩放后的面状形状,如图7中的下图第一行从左至右依次是原始面状形状、缩放0.49倍面状形状、缩放0.7倍面状形状、缩放1.37倍面状形状。对原始形状和3个缩放形状分别旋转 45° 、 135° 、 225° 得到12个面状形状,如图7中的下图第二行、第三行、第四行所示。对原始面状形状进行四种仿射变换,得到4个面状形状,如图7中的下图第五行所示。对每个面状形状进行19次变换,得到19个面状形状,加上原始面状形状,构成相似面状形状20种形变。70个原始面状形状构成为1400个面状形状的数据集。

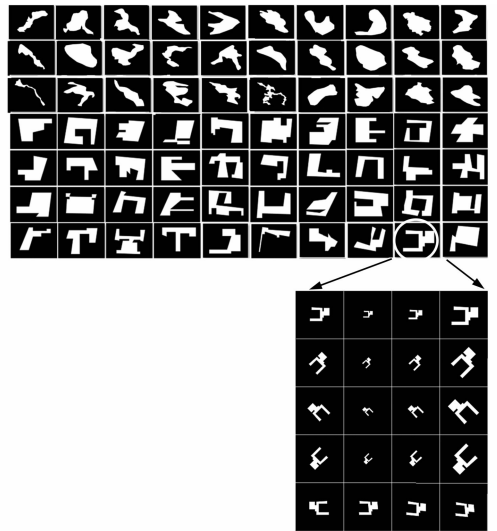


图7 面状形状数据集

Fig. 7 Areal Shape Data Set

在面状形状数据集上,使用 Bulls-eye 测试方法^[15]对中心距离描述法^[3]、正切空间描述法^[6]、多级弦长描述法^[10]、弯曲度半径描述法^[12]与本文三角形划分面状形状匹配法进行测试,检索率如表1所示。本文三角形划分面状形状匹配法的部分检索结果如图8所示。

表 1 面状形状数据集检索率

Tab. 1 Retrieval Accuracy on the Areal Shape Data Set

空间对象形状描述法	平均检索率/%
中心距离描述法 ^[3]	86.41
正切空间描述法 ^[6]	87.96
多级弦长描述法 ^[10]	90.36
弯曲度半径描述法 ^[12]	89.25
本文形状匹配法	96.52

表 2 面状水系匹配结果

Tab. 2 Matching Results on the Areal Water

对象形状描述法	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>P</i> /%	<i>R</i> /%
中心距离法 ^[3]	6 335	5 640	89.03	84.99
正切空间法 ^[6]	6 326	5 821	92.02	87.72
多级弦长法 ^[10]	6 364	6 109	95.99	92.06
弯曲度半径法 ^[12]	6 351	6 028	94.91	90.84
本文形状匹配法	6 391	6 308	98.70	95.06

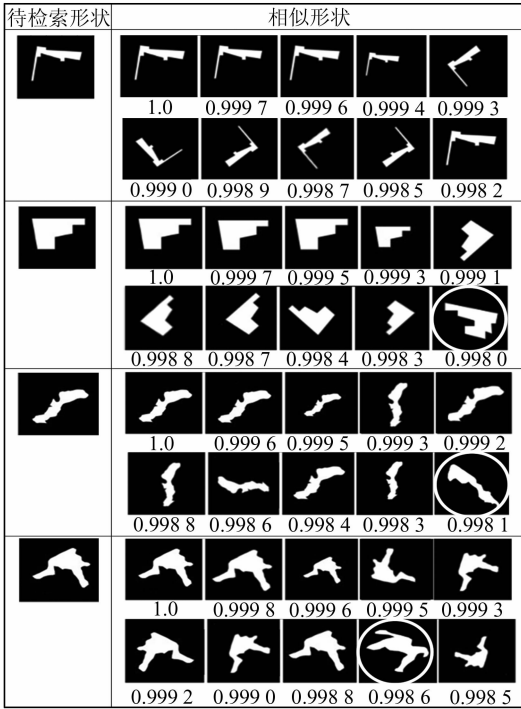


图 8 面状形状数据集的部分检索结果

Fig. 8 Retrieval Results on the Areal Shape Data Set

从表 1 可以看出,在形状数据集中,本文三角形划分形状匹配法的检索率高于其它 4 种方法,具有平移、旋转和尺度不变性,对因仿射造成的形状形变具有一定的鲁棒性。图 8 中第 1 列为待检索形状,第 2 列为检索结果中相似性分值最高的 10 个形状,其中误匹配被用圆圈标出。从图 8 可以看出误匹配形状与待检索形状存在一定程度的相似。

4.2 面状水系图层匹配测试

本测试对 2010 年和 2015 年的同比例尺世界面状水系图中的实体进行匹配。2010 年水系图包含 6 646 个实体,2015 年水系图包含 6 636 个实体。以 2015 年数据为待匹配数据,2010 年数据为候选匹配数据,对中心距离描述法^[3]、正切空间描述法^[6]、多级弦长描述法^[10]、弯曲度半径描述法^[12]与本文三角形划分形状匹配法进行测试。测试结果如表 2 所示,*n* 表示匹配结果集中的实体数,*r* 表示匹配结果集中正确的实体数,*P* 为查准率,*R* 为查全率。从表 2 可以看出本文形状匹配法具有较高的查全率和查准率。

4.3 草图检索测试

以清华大学校园地图为实验数据,通过程序提供的绘图功能,绘制要查询的建筑的形状,对本文三角形划分形状匹配法进行测试,如图 9 所示。草图检索实验只取形状相似性分值在 0.970 0 ~ 1.000 0 范围之间的检索结果。将形状相似性分值 0.970 0 作为最小值,此时形状相似度为 0%。将形状相似性分值 1.000 0 作为最大值,此时形状相似度为 100%。三组草图检索实验结果如图 10 所示。三组实验均检索出了与草图建筑形状最相似的建筑物,本三角形划分形状匹配法可以精准地识别面状空间对象的形状,对形状的轻微形变具有鲁棒性。



图 9 绘制建筑物草图

Fig. 9 Drawing the Sketch of Buildings

建筑物草图	检索结果		
1			
	形状相似性分值 0.997 6 形状相似度 92%	形状相似性分值 0.997 4 形状相似度 91.3%	形状相似性分值 0.995 9 形状相似度 86.3%
2			
	形状相似性分值 0.995 8 形状相似度 86%	形状相似性分值 0.982 1 形状相似度 40%	形状相似性分值 0.971 5 形状相似度 5%
3			
	形状相似性分值 0.998 4 形状相似度 94%	形状相似性分值 0.990 6 形状相似度 68%	形状相似性分值 0.983 2 形状相似度 44%

图 10 草图查询结果

Fig. 10 Query Results of the Sketch

5 结 语

本文提出了面状空间对象的三角形划分形状匹配方法。该方法通过空间对象的形状主方向,对空间对象进行分割。按串联、并联和组合形式,对空间对象进行三角形划分,计算空间对象边界闭合折线与主方向线段的相似度,得出面状空间对象的形状描述参量。通过各空间对象的形状描述参量,计算各空间对象间的形状相似性。

经过形状数据集匹配测试、面状水系图层匹配测试和矢量地图草图检索测试,表明本方法具有较高的形状检索准确率,具有平移、尺度和旋转不变性,对发生形变的形状具有较强的识别能力。三角形划分形状匹配方法可用于目标识别、空间数据几何相似性查询、空间数据融合更新及需要进行形状相似性评估的场景。

参 考 文 献

- [1] Deng Min, Niu Shulian, Li Zhilin. A Generalized Hausdorff Distance for Spatial Objects 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)
- [2] Liu Pengcheng, Ai Tinghua, Hu Jinshan, et al. Building-polygon Simplification Based on Shape Matching of Prototype Template[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(11): 1 369-1 372(刘鹏程, 艾廷华, 胡晋山, 等. 基于原型模板形状匹配的建筑多边形化简[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(11): 1 369-1 372)
- [3] 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)
- [4] Yang Chuncheng, He Liesong, Xie Peng, et al. Clustering Analysis of Geographical Area Entities Considering Distance and Shape Similarity[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(3): 335-338(杨春成, 何列松, 谢鹏, 等. 顾及距离与形状相似性的面状地理实体聚类[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(3): 335-338)
- [5] Wang Xincheng, He Jin, Ye Xiaolei, et al. Representation and Measurement of Shape for Spatial Objects Based on Spectral Method of Graph[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(11): 1 281-1 284(王新生, 何津, 叶晓雷, 等. 图的谱方法的空间目标形状表达研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(11): 1 281-1 284)
- [6] Wang Huibing, Tang Xinming, 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): 1 243-1 247(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): 1 243-1 247)
- [7] Fan H, Zipf A, Fu Q, et al. Quality Assessment for Building Footprints Data on OpenStreetMap[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(4): 700-719
- [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(帅赞, 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] Wang Bin. A Fourier Shape Descriptor Based on Multi-level Chord Length Function [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2010, 33(12): 2 387-2 396(王斌. 一种基于多级弦长函数的傅立叶形状描述子[J]. 计算机学报, 2010, 33(12): 2 387-2 396)
- [10] An Xiaoya, Sun Qun, Xiao Qiang, et al. A Shape Multilevel Description Method and Application in Measuring Geometry Similarity of Multi-scale Spatial Data [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2011, 40(4): 495-508(安晓亚, 孙群, 肖强, 等. 一种形状多级描述方法及在多尺度空间数据几何相似性度量中的应用[J]. 测绘学报, 2011, 40(4): 495-508)
- [11] An Xiaoya, Sun Qun, Yang Yun, et al. A Method for Extracting Area Water Body from Remote Sensing Images Using Active Contour Model and Vector Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(10): 1 152-1 157(安晓亚, 孙群, 杨云, 等. 一种利用主动轮廓模型和矢量数据的遥感影像面状水体提取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(10): 1 152-1 157)
- [12] Fu Zhongliang, Lu Yuefeng. Establishment of the Comprehensive Model for Similarity of Polygon Entity by Using the Bending Radius Complex Function [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*,

- 2013, 42(1): 145-151(付仲良, 逯跃锋. 利用弯曲度半径复函数构建综合面实体相似度模型[J]. 测绘学报, 2013, 42(1): 145-151)
- [13] Zunic J, Rosin P L, Kopanja L. On the Orientability of Shapes[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(11): 3 478-3 487
- [14] Jiang Hao, Chu Yandong, Yan Haowen, et al. Measurement of Shape Similarity for Linear Object-sin Multi-scale Geographical Space[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2010, 35(5): 35-38(江浩, 褚衍东, 闰浩文, 等. 多尺度地理空间线状目标形状相似性的度量[J]. 测绘科学, 2010, 35(5): 35-38)
- [15] Wang Bin, Gao Yongsheng. Hierarchical String Cuts; A Translation, Rotation, Scale, and Mirror Invariant Descriptor for Fast Shape Retrieval[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(9): 4 101-4 111

A Spatial Object Shape Matching Method Based on Triangular Division

TIAN Zeyu¹ MEN Chaoguang¹ LIU Yongmei¹ JIANG Qingfeng¹ TANG Yanan¹

1 College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

Abstract: Existing spatial object shape similarity matching methods are not accurates. To solve this problem, a spatial object shape matching method based on triangular division is proposed. This method segments the areal spatial object through the main direction of the object shape and divides the object shape into triangles into a series form, parallel connection form, and combined form. This method describes the shape features of the areal spatial object exactly and measures the shape similarity of spatial objects. The matching on the shape data set, the matching on areal water in different years and sketch retrieval on a vector map are used to test the retrieval performance of this method. This method is compared to other spatial object shape matching methods. Experimental results show that this method has higher retrieval accuracy. The spatial object shape matching method based on triangular division is invariant to translation, rotation, scaling, and has a strong capacity to describe and recognize shapes.

Key words: shape similarity matching method; areal spatial object; main direction segmentation; triangular division; shape feature

First author: TIAN Zeyu, PhD candidate, specializes in spatial data retrieval and remote sensing image processing. E-mail: tianzeyu@hrbeu.edu.cn

Corresponding author: MEN Chaoguang, PhD, professor. E-mail: menchaoguang@hrbeu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 61672181.