

不确定区域间方向关系的相似性度量方法

孙 伟^{1,2}, 欧阳继红², 马亭新³, 李 双²

(1. 吉林省教育学院, 吉林长春 130022; 2. 吉林大学计算机科学与技术学院, 吉林长春 130012;
3. 中国移动通信集团吉林有限公司, 吉林长春 130033)

摘 要: 空间关系相似性在众领域中具有广泛应用, 确定区域间方向关系相似性的研究已较完善, 然而这些方法不能直接用于不确定区域间方向关系的相似性度量. 本文以扩展的方向关系矩阵 EDRM (Extended Direction Relation Matrix) 为模型, 提出了一种不确定区域间方向关系的相似性度量方法, 据此实现了算法 SA-EDRM; 随后基于目标对象的位置和比例尺这两种基本的空间变化生成不同场景, 对算法 SA-EDRM 进行测试, 由实验结果验证了算法的有效性; 最后以农业 GIS 中的具体应用实例说明本文工作的实用价值.

关键词: 不确定区域间的方向关系; 空间关系相似性; EDRM; 算法 SA-EDRM

中图分类号: TN911.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)03-0597-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.03.027

Similarity Assessment of Approximate Direction Relations

SUN Wei^{1,2}, OUYANG Ji-hong², MA Ting-xin³, LI Shuang²

(1. Jilin Institute of Education, Changchun, Jilin 130022, China; 2. College of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China; 3. China Mobile Group Jilin Co. Ltd, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: Similarity of spatial relations is with wide applications in normal life. Research on similarity assessment of exact direction relations is more perfect, but the presented methods based on crisp regions can not deal with the approximate direction relations. Based on the extended direction relation matrix (EDRM), the paper proposed a method for similarity assessment of approximate direction relations, and then the algorithm SA-EDRM was implemented; on the basis of the variation of location and scale of the target object, different scenarios were generated to test SA-EDRM, and the experimental results verify the effectiveness of the algorithm. In the end, an instance of Agricultural GIS was used to explain the practical value of this article.

Key words: approximate direction relations; similarity of spatial relations; EDRM; the algorithm of SA-EDRM

1 引言

空间关系相似性广泛应用于图像检索、空间认知等领域^[1,2]. 在众空间关系中, 方向关系是最基本且最直观的关系之一, 因此其相似性问题是空间相似性的重要研究内容. 确定区域间方向关系相似性的研究已较为成熟^[2~5], 但由于确定的方向关系模型无法表达不确定区域间方向关系^[5], 导致这些方法不能用于对不确定方向关系的相似性进行度量.

不确定性是客观世界的重要属性, 在地图分析等领域具有广泛应用. 2000年, Cicerone等^[6]提出了扩展的方向关系矩阵 (EDRM) 模型以表达不确定区域间方向关系. 2010年, 杜世宏等^[7]提出了四元组模型并给出方向关系合理性约束规则. 2011年, 董轶群等^[8]基于四元组

模型, 提出了一种不确定区域间方向关系复合方法. 2012年, Markus等^[9]提出 OIM 模型对位置不确定空间对象的方向关系进行表示与查询. 综上, 目前关于不确定方向关系的研究多集中于表示方面, 相似性的研究未见报道.

本文以 EDRM 作为不确定方向关系的表达模型, 由两个 EDRM 进行相互转化的最大、最小代价提出了一种不确定方向关系的相似性计算方法, 并分别以实验结果和应用实例说明了本文方法的有效性、实用性.

2 背景知识

我们将在本节介绍相关背景知识.

2.1 扩展的方向关系矩阵 EDRM

宽边界区域的最小边界矩形将空间平面划分为 25

个部分,如图 1(a)所示.其中 $NW \wedge P(N)$ 表示西北且可能北.用 5×5 矩阵表示目标对象相对于参考对象的

方向关系.如图 1(b)所示.

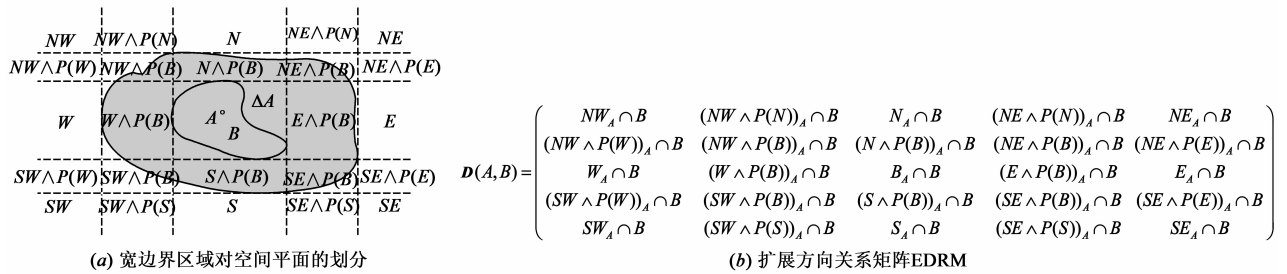


图1 不确定区域间方向关系模型

EDRM 中元素赋值方法如下:

$$D_{x/y}(A, B) =$$

$$\begin{cases} 0, & \text{若 } \text{tile}(x, y) \cap B = \emptyset \\ b, & \text{若 } \text{tile}(x, y) \cap B^{\circ} = \emptyset \text{ 且 } \text{tile}(x, y) \cap \Delta B \neq \emptyset \\ i, & \text{若 } \text{tile}(x, y) \cap B^{\circ} \neq \emptyset \text{ 且 } \text{tile}(x, y) \cap \Delta B = \emptyset \\ ib, & \text{若 } \text{tile}(x, y) \cap B^{\circ} \neq \emptyset \text{ 且 } \text{tile}(x, y) \cap \Delta B \neq \emptyset \end{cases}$$

本文采用均衡运输、分配问题求解两个 EDRM 相互转化的最小代价.下面简要介绍上述两个问题.

2.2 均衡运输问题和分配问题

均衡运输问题^[10]:有供给商 $S_i (i = 1, \dots, m)$ 需求商 $D_j (j = 1 \dots n)$, 将货物从 S_i 运至 D_j 的代价为 c_{ij} . 求将所有货物从 S_i 运至 D_j 所需最小代价. 问题形式化描述:

已知条件:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= s_i, \quad \forall i = 1, \dots, m; & \sum_{i=1}^m x_{ij} &= d_j, \quad \forall j = 1, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^m s_i &= \sum_{j=1}^n d_j; & x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

求最小代价:

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

分配问题^[10]是均衡运输问题的特殊情况. 即:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, \quad \forall j = 1, \dots, n; & \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, \\ \forall i &= 1, \dots, n; & x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j = 1 \dots, n \end{aligned}$$

求最小代价:

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

解决分配问题的算法为 Hungarian Algorithm^[10]. 均衡运输算法为 Transportation Algorithm^[10].

3 不确定区域间方向关系的相似性计算

相似性是对两个对象进行比较时等价偏离程度的一种度量属性^[2], 两个 EDRM 的偏离程度取决于二者的距离.

3.1 EDRM 距离和 4-邻居距离图

EDRM 的距离及其相关定义如下:

定义 1 当 EDRM 中仅有一个非零元素时, 称为单元 EDRM.

定义 2 令 e_{ij} 为方向关系矩阵中的元素, 则元素 $e_{i-1,j}, e_{i+1,j}, e_{i,j-1}, e_{i,j+1}$ 称为元素 e_{ij} 的 4-连通邻居, 简称 4-邻居, 其中 $1 \leq i, j \leq 3$.^[11]

定义 3 M_1, M_2 为单元方向关系矩阵, 将 M_1 中非零元素移至 M_2 中非零元素所在位置的最小代价, 称为矩阵 M_1 与 M_2 之间的距离, 记作 $\text{dist}(M_1, M_2)$.

由定义 2、3 可构建 EDRM 的 4-邻居概念邻域图与 4-邻居距离图, 如图 2、3 所示.

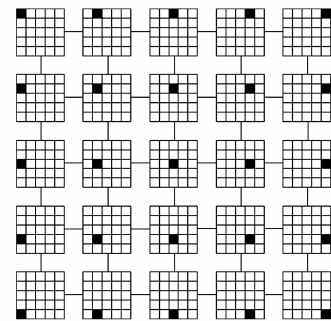


图2 单元EDRM的4-邻居概念邻域图

定义 4 对于任意给定的 EDRM, 由 i 或包含 i 的元素构成的矩阵称为内部矩阵, 记作 EDRM_i .

3.2 EDRM 的相似性计算方法

M_1, M_2 为 EDRM, M_1 中非零元素个数记为 m , M_2 中非零元素个数记为 n . 可得以下结论与定理:

结论 1 当 $m \leq n$ 时, 矩阵 M_1 转化为 M_2 是均衡运输问题, 反之亦然. (证明略)

结论 2 当 $m = n$ 时, 矩阵 M_1 转化为 M_2 是分配问题, 反之亦然. (证明略)

定理 1 M_1, M_2 为 EDRM, 若两矩阵中非零元素个数 $m \leq n$ 时, 将 M_1 转化为 M_2 所需最大代价为 $8mn$; 两矩阵中非零元素个数 $m = n$ 时, 将 M_1 转化为 M_2 所需最大代价为 $8n$. (证明略)

由结论 1、2 和定理 1, 可以得到两个方向关系矩阵的偏离程度, 即不相似程度:

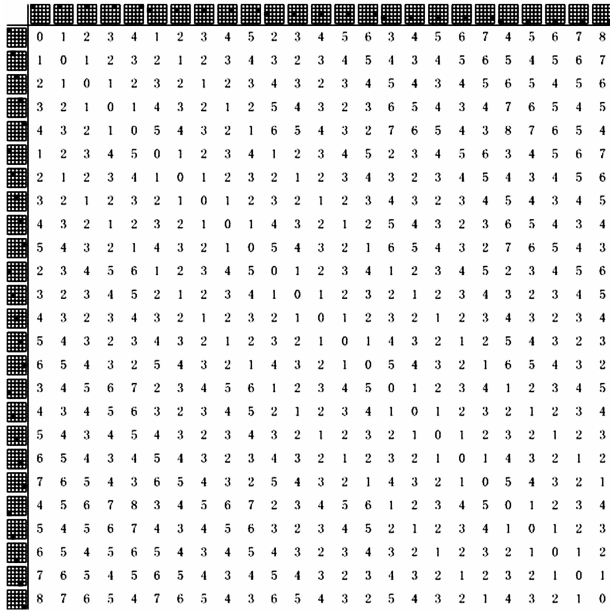


图3 单元EDRM的4-邻居距离图

当 $m \neq n$ 时,

$$\delta(M_1, M_2) = \frac{\min \text{cost}(M_1, M_2)}{\max \text{cost}(M_1, M_2)} = \frac{\min \text{cost}(M_1, M_2)}{8 \times m \times n}$$

当 $m = n$ 时,

$$\delta(M_1, M_2) = \frac{\min \text{cost}(M_1, M_2)}{\max \text{cost}(M_1, M_2)} = \frac{\min \text{cost}(M_1, M_2)}{8 \times n}$$

则两个方向关系矩阵的相似性为:

当 $m \neq n$ 时,

$$s(M_1, M_2) = 1 - \delta(M_1, M_2) = 1 - \frac{\min \text{cost}(M_1, M_2)}{8 \times m \times n} \quad (1)$$

当 $m = n$ 时,

$$s(M_1, M_2) = 1 - \delta(M_1, M_2) = 1 - \frac{\min \text{cost}(M_1, M_2)}{8 \times n} \quad (2)$$

度量两个 EDRM 的相似性时,需对确定区域和不确定区域的相似性进行求均值求得:

$$S(M_1, M_2) = \text{average}(s(M_{1b}, M_{2b}), s(M_{1i}, M_{2i})).$$

4 相似性算法与实验测试

4.1 相似性算法 SA-EDRM(M_1, M_2)

相似性算法 SA-EDRM(M_1, M_2)的思想如下:

(1) M_1, M_2 为 EDRM,求得内部矩阵 M_{1i}, M_{2i} 与不确定矩阵 M_{1b}, M_{2b} .

(2)将 M_{1b}, M_{2b} 中的非零元素个数记为 m, n . 将 M_{1b}, M_{2b} 中非零元素值改为 n, m .

步骤 1 若 $m \leq n$,调用 transportation algorithm,转步骤 2;否则调用 Hungarian algorithm,转步骤 3;

步骤 2 $s(M_{1b}, M_{2b}) = 1 - \frac{\min \text{cost}(M_{1b}, M_{2b})}{8 \times m \times n}$

步骤 3 $s(M_{1b}, M_{2b}) = 1 - \frac{\min \text{cost}(M_{1b}, M_{2b})}{8 \times n}$

(3)将 M_{1i}, M_{2i} 中的非零元素个数记为 m_i, n_i . 将 M_{1i}, M_{2i} 中非零元素值改为 n_i, m_i . 转步骤 1, 求 $s(M_{1i}, M_{2i})$;

(4) $s(M_1, M_2) = \text{average}(s(M_{1b}, M_{2b}), s(M_{1i}, M_{2i}))$.

4.2 算法测试及实验结果分析

分别基于目标对象的位置(如图 4、5 所示)和比例尺(如图 6~8 所示)变化给出场景对算法进行测试.

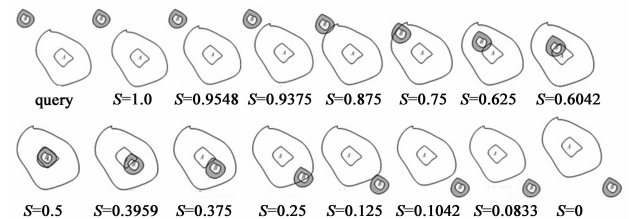


图4 目标对象沿参考对象的对角线方向运动状态及其相似性值

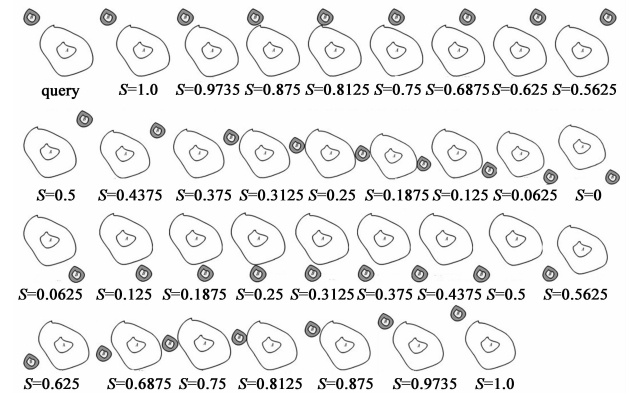


图5 目标对象围绕参考对象顺时针旋转状态及其相似性值

4.2.1 目标对象位置变化

本文选取直线、圆周运动模式,其它运动模式皆可由上述两种模式进行有限次叠加形成. 直线运动过程

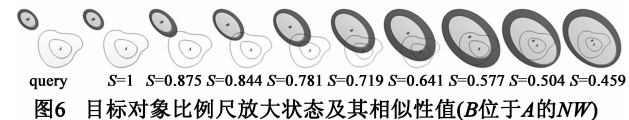


图6 目标对象比例尺放大状态及其相似性值(B位于A的NW)

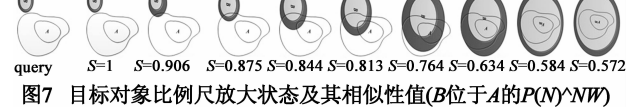


图7 目标对象比例尺放大状态及其相似性值(B位于A的P(N)NW)



图8 目标对象比例尺放大状态及其相似性值(B位于A的N)

B 远离原始位置,故相似性值理论应单调递减.如图9(a)所示.圆周运动过程 B 围绕 A 旋转 360° ,相似性值理论上先递减至0后递增回1.如图9(b)所示.

4.2.2 目标对象的比例尺变化

对目标对象比例尺变大进行实验,其它情况可由以上情况变换得到.理论上相似性值应单调递减.结果如图9(c)~(e)所示,与理论期望相同.

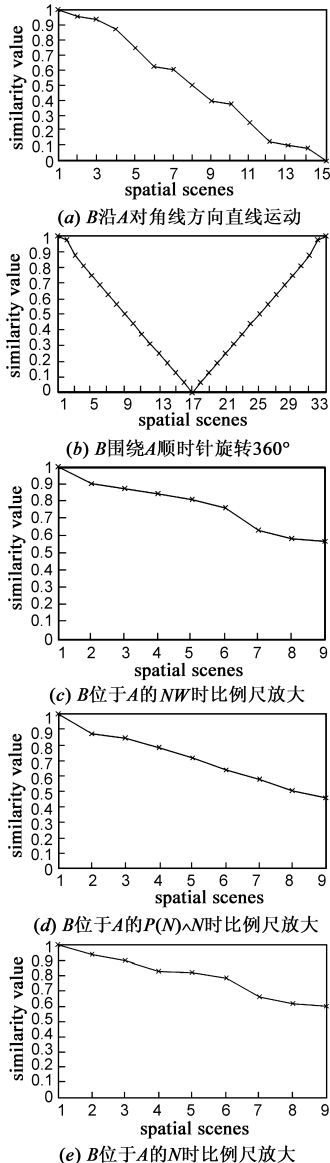


图9 目标对象位置与比例尺变化的SA-EDRM测试结果

5 不确定方向关系查询实例

以农业GIS查询为例说明本文工作的实用价值.

在农业GIS中根据土壤中矿物质含量衡量土壤的酸化程度以对农业生产进行指导.土壤酸化程度不同导致每类土壤范围是不确定的.用确定区域 a_1, b_1, c_1 ,

a_2, b_2, c_2 分别表示六个土壤区域,其PH值为5.4,5.9,6.2,5.4~5.7,5.9~6.1,6.2~6.5.区域 a_1 在 b 的北面, a_2 则在 b 的北面且可能北;区域 b_1 在 c 的西北, b_2 在 c 的西北且可能北.在草图数据库中查找出与此相似的土壤以借鉴土地改良经验.

查询草图如图10(a)所示,匹配草图如图10(b)~(e)所示.

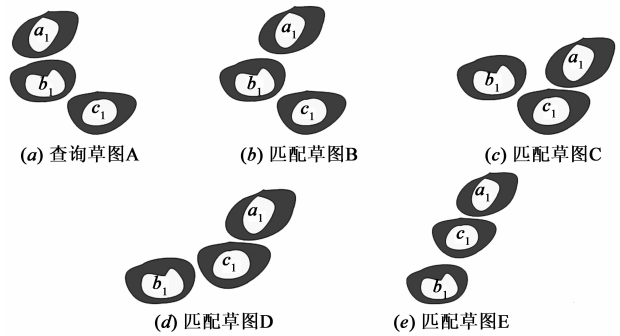


图10 土壤酸化草图查询实例

由图10可直观看出图10(b)与图10(a)最相似,图10(e)最不相似.由算法SA-EDRM对相似程度分别进行计算: $S(A, B) = 0.9245$, $S(A, C) = 0.7709$, $S(A, D) = 0.7177$, $S(A, E) = 0.6636$.由此可知 B 与 A 的土壤酸化分布最相似,符合普遍认知.

6 结论

空间关系相似性研究具有广阔的应用前景.本文基于EDRM模型提出了一种不确定方向关系的相似性度量方法,并以实验测试及实例说明了该方法的有效性和实用性.本文方法可对边界不确定区域间的相似性进行度量,无法应用于位置不确定的区域.

本文工作可应用于不确定方向关系的查询等相关领域,如飓风等自然灾害的遥感图像查询与匹配等.

参考文献

- [1] Konstantinos A Nedas, Max J Egenhofer. Spatial-scene similarity queries[J]. Transactions in GIS, 2008, 12(6): 661 - 681.
- [2] H Tom Bruns, Max J Egenhofer. Similarity of spatial scenes [A]. 7Th International Symposium on Spatial Data Handling [C]. The Netherlands: M-J Kraak and Molenaar(eds), 173 - 184, 1996.
- [3] Goyal P K. Similarity Assessment for Cardinal Directions Between Extended Spatial Objects[D]. Orono: The University of Maine, 2000.
- [4] 郭庆胜, 丁虹. 基于栅格数据的面状目标空间方向相似性研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(5): 447 - 451, Qingsheng Guo, Hong Ding. Similarity for spatial directions be-

- tween areal objects in raster data[J]. Journal of Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(5): 447 – 451. (in Chinese)
- [5] Po-Whei Huang, Lipin Hsu. Spatial inference and similarity retrieval of an intelligent image database system based on object's spanning representation[J]. Journal of Visual Languages and Computing, 2008, 19(6): 637 – 651.
- [6] Cicerone S, Di Felice P. Cardinal relations between regions with a broad boundary[A]. 8th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems[C]. New York: ACM Press, 2000. 15 – 20.
- [7] Shihong Du, Luo Guo. Modeling and querying approximate direction relations[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(4): 328 – 340.
- [8] 董轶群, 刘大有, 等. 一种基于 MBR 的不确定区域间方向关系建模方法[J]. 电子学报, 2011, 39(2): 329 – 335.
Yiqun Dong, Dayou Liu. A MBR-based approach for modeling direction relations between uncertain regions[J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(2): 329 – 335. (in Chinese)
- [9] Markus Schneider, Tao Chen, Ganesh Viswanathan, Wenjie Yuan. Cardinal directions between complex regions[J]. ACM Trans Database Syst, 2012, 37(2): 1 – 40.
- [10] Eiselt H A, Sandblom C-L. Linear Programming and Its Application[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 25 – 41.
- [11] Weiming Liu, Xiaotong Zhang, Sanjiang Li, Mingsheng Ying. Reasoning about cardinal directions between extended objects[J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(12 – 13): 951 – 983.

作者简介



孙 伟 女, 1984 年生于吉林白山. 2013 年 7 月获得吉林大学科学与技术学院博士学位. 现为吉林省教育学院讲师, 从事计算机技术方面的有关研究.

E-mail: sunwei20110710@163.com



欧阳继红(通信作者) 女, 1964 年生于吉林长春. 现为吉林大学计算机科学与技术学院教授、博士生导师, 主要研究方向: 空间推理、GIS 应用等.

E-mail: ouyangjihong@yahoo.com.cn