

文章编号:1671-8860(2010)11-1365-04

文献标志码:A

一种基于 IT2 FLS 的方向关系描述方法

郭继发^{1,2} 崔伟宏² 李卫贤³ 彭光雄²

(1 中国科学院研究生院,北京市石景山区玉泉路甲 19 号,1000491)
(2 中国科学院遥感应用研究所,北京市朝阳区大屯路甲 20 号, 100101)
(3 河南理工大学万方科技学院,焦作市解放中路 142 号,454000)

摘 要:基于 IT2 FLS 和扩展的 8 方向不均匀模糊划分模型,建立了顾及参考对象点位误差时地理对象间方向关系的推理方法,给出了度量方向中心不确定性的两个量。这种推理方法同时考虑了参考点点位误差、认知习惯和目标对象在参考点各原子方向的权重,顾及了多方面确定或不确定的信息,在方向关系近似推理中有一定的应用前景。
关键词:区间 II-型模糊推理系统;方向隶属度误差;不确定性的迹
中图法分类号:P208

方向关系的近似描述和推理是地理信息科学和人工智能等领域非常重要的一个研究方向,许多学者在这方面作了大量的研究,取得了丰硕的成果^[1-11]。文献[1,2]全面总结比较了目前用于描述空间方向关系的各种模型,分析了这些模型的优缺点;在 GIS 中,点元是线状目标和面状目标的基元,当参考目标为线状或面状目标时,锥形模型以线状(面状)目标的几何中心作为参考点,但是多尺度变换时,几何中心很不稳定,蔡剑红^[3]等以质心作为参考点,用区间分析法在方向片之间增加平滑的过渡区,对多尺度下顾及不确定性的空间方向关系进行形式化描述;在矩阵模型中,粗略方向矩阵模型以 3×3 的矩阵简单表示方向关系,矩阵中的每一个元素为 0 或 1。Goyal 等对方位关系矩阵向进行扩展,提出以深度方向关系矩阵和详细方向关系矩阵来增强方向关系矩阵的描述能力^[4];郭庆胜等结合锥形模型和矩阵模型的优点提出了一种改进型的锥形模型,很大程度上提高了对空间目标方向关系的表达能力^[2]。杜世宏^[1]在描述确定对象和模糊对象之间的方向关系方面作了大量的工作,用细节方向关系矩阵描述确定对象间的方向关系;基于模糊集和粗集理论描述了模糊对象的方向关系^[1-11]。

文献[12]讨论了直线元方位的不确定性。在地理空间中,尺度意味着抽象的层次,当尺度改变时,对象复杂度也随之改变^[13]。因此,在建立空间方向模型时,有必要考虑地理实体的位置不确定性。空间数据的位置不确定性、属性不确定性和完整性均会影响空间对象间的方向关系。由于空间数据不确定性的复杂性,文献[11]在顾及参考点点位误差的情况下,基于区间 II-型模糊集建立了扩展的 8 方向模糊不均匀划分模型。

1 点与复杂对象方向关系的确定

扩展的 8 方向不均匀模糊划分模型符合人们一般的方向认知习惯,综合考虑了参考点的不确定性、方向概念的模糊性和认知习惯,在描述方向关系中有较大的优势。当参考点点位误差对参考点与目标对象的方向关系的影响可以忽略不计时,可以用经典模糊逻辑系统(type I fuzzy logic system,T1 FLS)来确定其方向关系。

1.1 区间 II-型模糊逻辑系统

典型的 II-型模糊系统(type II fuzzy logic system,T2 FLS)与 I-型模糊系统构造类似,由输入模糊器、规则库、推理引擎、降型器、精确器构

成^[14]。当系统中的 II-型模糊集为区间 II-型模糊集时,称为区间 II-型模糊逻辑系统(interval T2 FLS,IT2 FLS)。要把它转换成一般意义上的确定输出,在精确化之前,必须先降型。降型实际上是 I 型系统中精确化运算的扩展,但比精确化的计算复杂性和计算量都要大得多。许多学者对降型作了大量的研究,主要的降型方法有完全降型法、采样降型法、几何法和迭代降型法等^[15-19],本文采用迭代降型法。

1.2 确定复杂对象在参考点各原子方向片中的中心及隶属度

在此区间 II-型模糊系统的输入是目标对象对参考点的最小方位角和最大方位角之间的角度区间 $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$,这是方向关系推理与一般 IT2 FLS 的区别。如果复杂对象环绕参考点,在此情况下直接利用参考点与复杂对象方向关系的区间 II-型模糊集来解模糊时,会得出同样的结果。另外,当目标与正北方向线相交时,方位角区间将被分为两部分 $[\theta_{\min}^1, \theta_{\max}^1]$ 和 $[\theta_{\min}^2, \theta_{\max}^2]$, $\theta_{\max}^1 \leq \theta_{\min}^2$,同时,参考点与目标的方向关系不确定性区域也将被分成两部分,不能保证连续性。因此,本文进行如下处理:首先将其扩展到负方向,如图 1 所示,当目标对象与正北方向线相交时,将 $[\theta_{\min}^2, \theta_{\max}^2]$ 减 360°,这样就保证了输入为一个方位角区间。

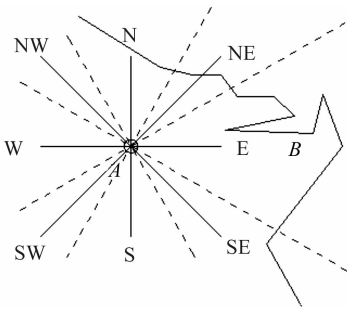


图 1 带有误差的参考点与复杂对象的方向关系
Fig.1 Direction Relationship Between Reference Point with Position Error and Complex Objects

如果不顾及目标对象在原子方向片中的权重,可以直接通过求不确定的迹(footprint of uncertainty,FOU)的重心来确定其方向关系。在顾及权重的情况下,首先将不确定区间划分按各原子区间划分为若干部分,得到原子区间上的区间 II-型模糊集,然后采用 KM 降型算法逐个对原子区间 II-型模糊集解模糊求其中心,对于 II-型模糊集降型后的中心为区间 $[c_l(\tilde{A}), c_r(\tilde{A})]$,最后的方位中心为:

$$c_s(\tilde{A}) = \frac{c_l(\tilde{A}) + c_r(\tilde{A})}{2} \tag{1}$$

可进一步求得各方向中心 c 的下隶属函数(lower membership function, LMF)值为 $\mu_{\theta}^{\text{LMF}}(c)$ 、上隶属函数(upper membership function, UMF)值为 $\mu_{\theta}^{\text{UMF}}(c)$ 。方位中心的不确定性可由以下两个量进行度量,方位中心误差为:

$$\varepsilon(c) = \frac{c_r(\tilde{A}) - c_l(\tilde{A})}{2} \tag{2}$$

方位中心的隶属度误差为:

$$\varepsilon_c(\mu) = \mu_{\theta}^{\text{UMF}}(c) - \mu_{\theta}^{\text{LMF}}(c) \tag{3}$$

1.3 点与复杂对象方向关系的确定

完成各原子方向中心的计算后,需要确定点与复杂对象的主要方向关系。Goyal 提出一目标对象落在参照对象的各个方向区域内的面积与目标对象总面积的百分比来表示方向关系^[4],

$$P(\theta_A, B) = \frac{\text{area}(\theta_A \cap B)}{\text{area}(B)} \tag{4}$$

式中, $\theta \in \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW\}$,当目标对象为面状对象时,area 表示计算面积;为线状对象时,area 表示计算长度。

在此,笔者对式(4)进行扩展:

$$P(\theta_A, B) = \frac{\int_{g \in G \subset \theta_A \cap B} g \times w(g) \times \mu(g) dg}{\int_{g \in B} g \times w(g) \times \mu(g) dg} \tag{5}$$

当 B 为 1 维实体时, g 为长度单元;为 2 维实体时, g 为面积单元; $w(g)$ 为长度(面积)单元的重要性程度。若为模糊实体时,还需进一步考虑对象中长度(面积)单元的隶属度,上式可扩展为式中 $\mu(g)$ 为长度(面积)单元的隶属度。特别地,当 $\mu(g)$ 和 $w(g)$ 恒等于 1 时,式(5)简化为式(4)。对于离散对象,各方向片的权重为:

$$P(\theta_A, B) = \frac{\sum_{g_i \in \theta_A \cap B} g_i \times w(g_i) \times \mu(g_i)}{\sum_{g_j \in B} g_j \times w(g_j) \times \mu(g_j)} \tag{6}$$

为了顾及目标对象在各方向片中的权重,将 LMF、UMF 对应地乘 $P(\theta_A, B)$,然后确定整个 FOU 的中心,最后根据方向隶属度确定带有点位误差的参考点与复杂对象的近似方向关系。

1.4 实例分析

如图 2 所示,参考点 A 的误差阵为 $D_A = \begin{bmatrix} 10.91 & 3.25 \\ 3.25 & 4.71 \end{bmatrix} \text{m}^2$,参考圆半径为 50 m, B 为折线对象。折线 B 落入参考点 A 的 N、NE、E、SE 四原子方向中。在考虑参考点点位误差时,基于

IT2 FLS 的推理计算过程如表 1 所示。推理结果如图 2 所示,“+”为各方向片的中心,“*”为最终的中心。

从表 1 和图 2 可以得出,折线 B 位于参考点 A 的 E 偏 NE 方向。

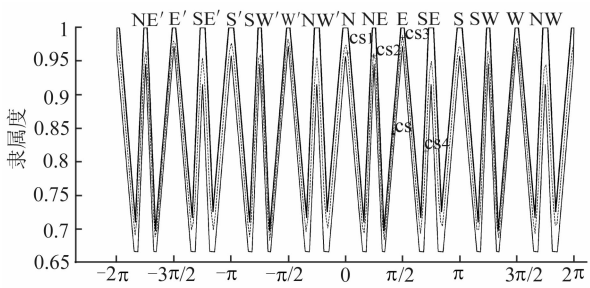


图 2 带有误差的参考点与复杂对象的方向关系推理
Fig. 2 Direction Relationship Reasoning Between Reference Point with Position Error and Complex Target

表 1 带有误差的参考点与复杂线的方向关系推理
Tab. 1 Direction Relationship Reasoning Between Reference Point with Position Error and Polyline

	L_1	L_2	L_3	L_4
隶属方向	N	NE	E	SE
起始角	-0.384 0	0.523 6	1.047 2	2.094 4
终止角	0.523 6	1.047 2	2.094 4	2.321 3
长度	233.95	134.870	924.685	180.938
长度权重 p_l	0.158 7	0.091 5	0.627 1	0.122 7
c_l	0.045 1	0.776 0	1.558 9	2.205 6
c_r	0.065 8	0.791 9	1.576 8	2.215 3
c	0.055 4	0.783 9	1.567 9	2.210 5
$\mu_\theta(c)$	0.962 2	0.971 0	0.985 7	0.812 3
$\mu_\theta^{LMF}(c)$	0.924 3	0.942 0	0.971 3	0.735 8
$\mu_\theta^{UMF}(c)$	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.897 0
$p_\theta \times \mu_\theta(c)$	0.152 7	0.088 8	0.618 2	0.100 2
$p_\theta \times \mu_\theta^{LMF}(c)$	0.146 7	0.086 2	0.609 2	0.090 3
$p_\theta \times \mu_\theta^{UMF}(c)$	0.158 7	0.091 5	0.627 1	0.110 1
CL			1.300 7	
CS			1.321 6	
CR			1.342 5	

2 复杂对象间的方向关系

由于方向关系具有局域性和全局性的特征,因此参考对象和目标对象中任意点之间的方向关系均会影响到它们的方向关系。参考对象与目标对象的方向关系可由下式确定:

$$\text{Dir}(A, B) = \frac{\int_{p \in A} \text{Dir}(p, B) \times w(p) \times \mu(p) dp}{\int_{p \in A} w(p) \times \mu(p) dp} \quad (7)$$

式中, p 为参考对象上的任意点; $\text{Dir}(p, B)$ 为 p

与目标对象 B 的主方向关系; $w(p)$ 为 p 的重要性权值; $\mu(p)$ 为 p 的隶属度。对于离散对象,式(7)表示为:

$$\text{Dir}(A, B) = \frac{\sum \text{Dir}(p_j, B) \times w_j \times \mu_j}{\sum w_j \times \mu_j} \quad (8)$$

图 3(a)中,虚线为参考对象, P_1, P_2, \dots, P_6 为参考对象上的点序列;实线为目标对象, T_1, T_2, \dots, T_8 为目标对象上的点序列。图 3(b)显示了参考对象上点与目标对象的方向关系变化,在参考对象 A 和目标 B 均为确定对象,各点重要性程度相等的情况下, $\text{Dir}(A, B)$ 为 SE。

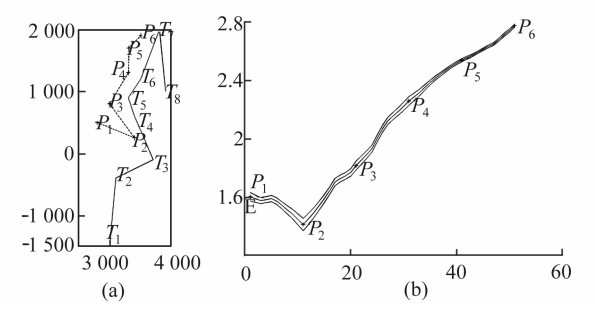


图 3 折线对象之间的方向关系
Fig. 3 Direction Relation Between Line String

参 考 文 献

[1] 杜世宏,王桥,秦其明.空间关系模糊描述与组合推理[M].北京:科学出版社,2007

[2] 郭庆胜,郑春燕.锥形空间方向关系模型的改进[J].武汉大学学报·信息科学版,2007,32(1):81-84

[3] 蔡剑红,李德仁.多尺度下的不确定性空间方向锥形模型研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2007,32(8):735-739

[4] Goyal R. Similarity Assessment for Cardinal Directions Between Extended Spatial Objects[D]. Maine: University of Maine, 2000

[5] 闫浩文,郭仁忠.空间方向关系基础性问题研究[J].测绘学报,2002,31(4):358-360

[6] Schockaert S. Reasoning About Fuzzy Temporal and Spatial Information from the Web [D]. Ghent: Ghent University, 2008

[7] Hornby A S. Oxford Advanced Learner's English-Chinese Dictionary[M]. Oxford: Oxford University Press,1997

[8] 中国社会科学院语言研究所词典编辑室.现代汉语词典[M].北京:商务印书馆,1997

[9] Liu Yaolin, He Jianhua, Yu Yan, et al. Indeterminate Direction Relation Model Based on Fuzzy Description Framework [J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2008, 51(SI):72-80

[10] Fisher P, Tao Cheng , Wood J. Higher Order Vagueness in Geographical Information; Empirical Geographical Population of Type n Fuzzy Sets[J]. *Geoinformatica* ,2007,11:311-330

[11] 郭继发,王瑞芳,彭光雄. 顾及参考点点位误差 8 方向模糊不均匀划分模型[J]. *计算机应用研究*, 2010, 27(2):479-482

[12] 魏峰远,崔铁军. GIS 中直线元位置不确定性的传播模型[J]. *河南理工大学学报*,2005,24(2):152-154

[13] 李志林. 地理空间数据处理的尺度理论[J]. *地理信息世界*,2005,3(2):1-5

[14] 陈薇,孙增圻. II-型模糊系统研究与应用[J]. *模糊系统与数学*,2005,19(1):126-135

[15] Coupland S, John R. Type-2 Fuzzy Logic and the Modelling of Uncertainty[C]. *Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Model*, Heidelberg, 2008

[16] Mendel J M, Wu H W. Properties of the Centroid of an Interval Type-2 Fuzzy Set, Including the Centroid of a Fuzzy Granule[C]. *The 2005 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Beijing, China, 2005

[17] Greenfield S, Chiclana F, Coupland S, et al. The Collapsing Method of Defuzzification for Discretised Interval Type-2 Fuzzy Sets[J]. *Inform Sci*, 2009, 179:2 055-2 069

[18] Coupland S, John R. A Fast Geometric Method for Defuzzification of Type-2 Fuzzy Sets [J]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2008,16(4):929-941

[19] Coupland S, John R. An Investigation into Alternative Methods for the Defuzzification of an Interval Type-2 Fuzzy Set [C]. *2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Vancouver, B C, 2006

第一作者简介:郭继发,博士生,研究方向为 WebGIS、时空数据库及其不确定性。
E-mail:guojfx2004@163.com

A Direction Relation Description Model Based on IT2 FLS

GUO Jifa^{1,2} CUI Weihong² LI Weixian³ PENG Guangxiong²

(1 Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, A19 Yuquan Road, Shijingshan District, Beijing 100049, China)
(2 Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, A20 Datun Road, Chaoyang District, Beijing 100101, China)
(3 Wanfang College of Science and Technology, Henan Polytechnic University, 142 Middle Jiefang Road, Jiaozuo 45400, China)

Abstract: These existing direction models are difficult to consider the fuzziness of direction concept, the level of direction relationship, the uncertainty of spatial data, the local character and global character of spatial direction relation. Characters of direction relation and extended 8-direction asymmetry fuzzy model were introduced at first, the extended 8-direction asymmetry fuzzy model was developed after considering the location error of reference point based on interval type-2 fuzzy set, and the primary membership function and uncertainty of membership was discussed, the FOU of fuzzy directions was analyzed too. Under this model, the reasoning method was built based on IT2 FLS, the KM defuzzifier method was used in the process, and two variables were used to measure the uncertainty of direction center. This method takes the location error of reference point, cognitive habit and percentage of target in each direction tile into account.

Key words: IT2 FLS; direction membership grade error; footprint of uncertainty

About the first author: GUO Jifa, Ph. D candidate, majors in WebGIS, spatio-temporal database, spatial data uncertainty and quality.
E-mail: guojfx2004@163.com