

3DR44-4d 方位关系表示模型

郝晓红^a, 李 松^b, 张丽平^b

(哈尔滨理工大学 a. 计算中心; b. 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150080)

摘 要: 为弥补现有方法在处理 3D 空间方向关系方面的不足, 将 3DR44 方向关系模型和距离关系相结合, 提出一种新的关系表示模型——3DR44-4d 模型。该模型将空间划分成 158 个方位空间块, 能够表示并区分 2^{158} 种复杂的空间方位关系。研究 3DR44-4d 模型的动态方位邻接关系, 利用方位邻接关系对大量复杂动态方位关系信息进行检验、预测和择优。实验结果表明, 该模型可以增强空间数据库对 3D 方位关系的表示及分析能力。

关键词: 空间数据库; 方位关系; 距离关系; 区域关系; 交集序列; 动态邻接关系

Representation Model of 3DR44-4d Orientation Relation

HAO Xiao-hong^a, LI Song^b, ZHANG Li-ping^b

(a. Computation Center; b. School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

【Abstract】 To remedy the deficiency of the existing methods about the 3D direction relations, a new relation representation model called 3DR44-4d model is presented. The space is divided 158 orientation-space and the 2^{158} spatial orientation relations can be represented and disquced. in the 3DR44-4d model. The dynamic adjacent relations of the 3DR44-4d are studied. The massive complex dynamic orientation relations can be checked. Application results show that the model can enhance the ability to represent the 3D orientation relation of the spatial database.

【Key words】 spatial database; orientation relation; distance relation; region relation; intersection sequence; dynamic adjacent relation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.020

1 概述

作为空间关系的重要组成部分, 空间方向关系的表示和分析不仅能够弥补现有空间数据库在空间信息的存储、查询和更新等操作方面的不足, 而且有利于加强现有空间数据库的空间分析、空间推理、空间决策和空间数据挖掘的能力^[1]。空间方向关系的表示、分析、推理和查询技术在空间数据库、人工智能、机器人学、游戏制作、地理信息系统和智能交通管理等许多方面具有一定作用。

目前, 空间方向关系的研究主要集中在 2 条主线上: 2D 空间中的方向关系表示和推理技术^[1-3]与 3D 空间中的方向关系表示和推理技术^[4-5]。2D 空间中的方向关系的表示模型已经较为丰富, 研究成果主要有锥形模型、投影模型、最小外接矩形模型、四半区域模型和 2D-String 关系模型、2D 不确定方向关系模型等。对于 3D 空间中的方向关系, 由于 3D 空间对象的复杂性和多样性使 3D 空间中的方向关系的表示和分析技术更有难度, 目前, 对 3D 空间方向关系的研究还处于起步阶段。

为弥补已有方法的不足, 本文将 3DR44 方向关系^[5]和距离位置关系结合, 提出一种新的 3D 空间方位关系模型——3DR44-4d 模型。3DR44-4d 模型将方向关系和距离位置关系进行融合, 可表示和区分高达 2^{158} 种 3D 方位关系, 以提高空间方位关系的表示精度。

2 3DR44 方向关系模型

3DR44 方向关系模型共包含 44 个方向空间元素, 3DR44 模型的方向关系定义如下:

定义 1 3DR44 模型的方向关系^[5]

设 $DR = \{W_d, WNN_d, WNW_d, WSW_d, WSS_d, N_d, E_d, ENN_d, ENE_d, ESE_d, ESS_d, S_d, C_d, W_m, WNN_m, WNW_m, WSW_m, WSS_m, N_m,$

$E_m, ENN_m, ENE_m, ESE_m, ESS_m, S_m, CE_m, CS_m, CW_m, CN_m, CU_m, CD_m, W_u, WNN_u, WNW_u, WSW_u, WSS_u, N_u, E_u, ENN_u, ENE_u, ESE_u, ESS_u, S_u, C_u\}$ 表示 3DR44 模型中的方向空间元素符号集, 设 2^{DR} 表示集合 DR 的幂集, 则三维空间对象 P (目标对象)与 Q (参照对象)的方向关系可表示为二元函数 $3DIR_{44}(Q, P), 3DIR_{44}(Q, P) \in 2^{DR}$ 。

基于定义 1, 本文给出 3D 空间对象 P (目标对象)与 Q (参照对象)的方向关系交集序列:

$T_1 = \{W_d \cap P, WNN_d \cap P, WNW_d \cap P, WSW_d \cap P, WSS_d \cap P, N_d \cap P, E_d \cap P, ENN_d \cap P, ENE_d \cap P, ESE_d \cap P, ESS_d \cap P, S_d \cap P, C_d \cap P, W_m \cap P, WNN_m \cap P, WNW_m \cap P, WSW_m \cap P, WSS_m \cap P, N_m \cap P, E_m \cap P, ENN_m \cap P, ENE_m \cap P, ESE_m \cap P, ESS_m \cap P, S_m \cap P, CE_m \cap P, CS_m \cap P, CW_m \cap P, CN_m \cap P, CU_m \cap P, CD_m \cap P, W_u \cap P, WNN_u \cap P, WNW_u \cap P, WSW_u \cap P, WSS_u \cap P, N_u \cap P, E_u \cap P, ENN_u \cap P, ENE_u \cap P, ESE_u \cap P, ESS_u \cap P, S_u \cap P, C_u \cap P\}$

3 3DR44-4d 方位关系模型

3DR44 方向关系模型将 3D 空间划分为 44 个方向空间块, 利用目标对象和 44 个方向空间块的交集关系可定性表达目标对象和参照对象的方向关系。但是, 3DR44 模型却不能区分方向关系相同, 但位置关系具有很大差别的空间方位关系。例如, 图 1 中的 P_1 和 P_2 在 3DR44 模型中的关系交集序列是一样的, 但它们离参照对象的远近却明显不同。为了能处理目标对象和参照对象间更复杂的空间关系, 本节提出一种先进的组合关系模型, 即 3DR44-4d 方位关系模型。

这里, 方位关系和方向关系在概念上具有很大的差别:

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究基金资助项目(11551084)

作者简介: 郝晓红(1969—), 女, 高级实验师, 主研方向: 数据库技术, 人工智能; 李 松, 副教授、博士; 张丽平, 讲师、硕士

收稿日期: 2011-08-10 **E-mail:** lisongbeifen@163.com

方位关系涉及方向和距离位置2个因素;方向关系则仅涉及方向元素。

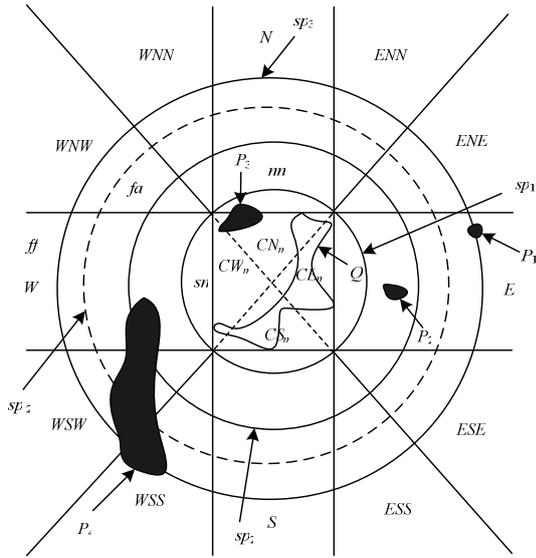


图1 3DR44-4d方位关系模型平面投影

定义2 距离分割面

以参照对象Q的最小包围盒(MBB)为中心体做封闭的曲面,曲面将参照对象完全包围,该曲面称为距离分割面。距离分割面以参照对象为基准,将空间进行了不同的距离划分。

若无特殊说明,本文中的距离分割面均为椭球面。如图1所示,sp1,sp2,sp3是3个距离分割面的平面投影,以参照对象Q为基准,它们将3D空间划分为sn,nn,fa,ff4个距离空间,分别表示距离Q极近的空间、较近的空间、较远的空间、极远的空间。其中,sn,nn,fa各自是封闭的三维距离空间,ff是半封闭的三维距离空间。

依据实际需要,距离分割面sp1,sp2,sp3可动态变化(如收紧和扩张等),相应的,sn,nn,fa,ff将会发生动态变化。例如,图1中的sp2即由sp2扩张而得,sp1和sp3若不变,则nn距离空间将膨胀,fa距离空间将被压缩。由此将会使得p相对Q的方位关系描述发生变化。

定义3 4d距离关系

设F={sn,nn,fa,ff}表示距离关系符号集,设2^F表示集合F的幂集,则三维空间对象P(目标对象)与Q(参照对象)的距离关系可表示为二元函数4d(Q,P),4d(Q,P)∈2^F。简称为4d距离关系。

基于4d距离关系,给出三维空间对象P(目标对象)与Q(参照对象)的距离关系的交集序列:T2={sn∩P,nn∩P,fa∩P,ff∩P}。利用T2、P和Q的距离关系可较方便的进行表示。

基于3DR44方向关系和本节所定义的4d距离关系,进一步给出3DR44-4d模型的方位关系定义如下:

定义4 3DR44-4d模型的方位关系

设距离关系元素集F={sn,nn,fa,ff},f∈F,DRf={Wd-f, WNNd-f, WNWd-f, WSWd-f, WSSd-f, Nd-f, Ed-f, ENNd-f, ENEd-f, ESEd-f, ESSd-f, Sd-f, Cd-f, Wm-f, WNNm-f, WNWm-f, WSWm-f, WSSm-f, Nm-f, Em-f, ENNm-f, ENEm-f, ESEm-f, ESSm-f, Sm-f, CEm-f, CSm-f, CWm-f, CNm-f, CUm-f, CDm-f, Wu-f, WNNu-f, WNWu-f, WSWu-f, WSSu-f, Nu-f, Eu-f, ENNu-f, ENEu-f, ESEu-f, ESSu-f, Su-f, Cu-f},其中,CEm-f, CSm-f, CWm-f, CNm-f, CUm-f, CDm-f仅在f为sn时有效。则可用全体有效方位元素的集合{DRf}表示3DR44-4d模型中的方位关系符号集,将{DRf}简记为CR,设2^CR表示集合{DRf}的幂集,则三维空间对象P(目标对象)与Q(参照对象)的方位关系可表示

为二元函数3DIR44-4d(Q,P),3DIR44-4d(Q,P)∈2^CR。图1展示了3DR44-4d方位关系的平面投影。

基于定义4,给出三维空间对象P(目标对象)与Q(参照对象)的方位关系交集序列:

T3={Wd-f∩P, WNNd-f∩P, WNWd-f∩P, WSWd-f∩P, WSSd-f∩P, Nd-f∩P, Ed-f∩P, ENNd-f∩P, ENEd-f∩P, ESEd-f∩P, ESSd-f∩P, Sd-f∩P, Cd-f∩P, Wm-f∩P, WNNm-f∩P, WNWm-f∩P, WSWm-f∩P, WSSm-f∩P, Nm-f∩P, Em-f∩P, ENNm-f∩P, ENEm-f∩P, ESEm-f∩P, ESSm-f∩P, Sm-f∩P, CEm-f∩P, CSm-f∩P, CWm-f∩P, CNm-f∩P, CUm-f∩P, CDm-f∩P, Wu-f∩P, WNNu-f∩P, WNWu-f∩P, WSWu-f∩P, WSSu-f∩P, Nu-f∩P, Eu-f∩P, ENNu-f∩P, ENEu-f∩P, ESEu-f∩P, ESSu-f∩P, Su-f∩P, Cu-f∩P}。其中,f必须依次取(sn,nn,fa,ff)中的每个值1次且仅1次,T3中各元素的位置次序恒定,且CEm-f∩P, CSm-f∩P, CWm-f∩P, CNm-f∩P, CUm-f∩P, CDm-f∩P仅在f为sn时有效。

由T3的定义可知,T3交集序列共含有158个交集项,其0,1串所能表达的3D空间中的方位关系将高达2^158种,将极大提高计算机处理复杂空间关系信息的能力,增强了方位关系的表示精度。

在实际应用中,由于目标对象往往仅占居一部分方位空间,即T3交集序列的具体交集元素值仅一部分为1,其他许多值为0,每次将0,1串全部表示出来有时显得繁琐。为了简化描述,本节特对交集序列中的元素依据位置次序进行编码,利用编码进行表示和存储关系信息,需要具体细节时再依据T3交集序列进行还原。

编码方式有很多种,这里给出交集序列位置编码法,即将T3中的各个交集元素增加一个位置信息。最简单的是按序进行标志:T3交集元素值的序列信息增加位置编码后即可表示为T4={(1/0)^1,(1/0)^2,(1/0)^3,...,(1/0)^157,(1/0)^158},其中,“/”表示“或”的意思。

在进行方位关系的具体表示时,将由T3所得的所有交集值为1的元素提取出来,利用带有位置信息的编码值序列进行描述和存储将更简便和灵活。

例如,对于图1中的目标对象p4,分析其交集序列T3中158个元素的取值情况,可得其方位关系的编码值序列为{1^58,1^61,1^62,1^70,1^73,1^74,1^96,1^99,1^100,1^108,1^111,1^112,1^134,1^137,1^138,1^146,1^149,1^150}。

该编码值序列即可表示目标对象p4在3DR44-4d方位关系模型中处于参照对象Q的Wm-nn, WSWm-nn, WSSm-nn, Wu-nn, WSWu-nn, WSSu-nn, Wm-fa, WSWm-fa, WSSm-fa, Wu-fa, WSWu-fa, WSSu-fa, Wm-ff, WSWm-ff, WSSm-ff, Wu-ff, WSWu-ff, WSSu-ff等18个方位块中。编码值序列不同,所表示的方位关系也不同,利用编码值序列可区分大量的空间方位关系。

4 3DR44-4d模型的动态方位关系

要想准确地对动态方位关系进行预测、判断和排错,确立方位关系的动态邻接关系至关重要。本节研究3DR44-4d模型的方位关系元素的动态邻接关系。所谓方位关系元素的动态邻接关系,即是该方位关系元素不经过转变为其他中间关系而直接可转变的关系,反之,若一个方位关系元素必须经过其他方位关系才能成为该关系,则称该关系不是方位关系元素的动态邻接关系。

表1给出了3DR44-4d模型的部分方位动态邻接关系,详细列出CUm-sn, CDm-sn, CSm-sn, CEm-sn, CNm-sn, CWm-sn与DRf在f为fa时所包含的方位关系元素的动态邻接关系。DRf在f为sn,nn和ff时的方位关系元素的动态邻接关系可类

似得出。

表 1 3DR44-4d 模型的部分方位动态邻接关系

方位关系元素	动态邻接关系	方位关系元素	动态邻接关系
CU_{m-sn}	$CE_{m-sn}, C_{u-sn}, CS_{m-sn}, CN_{m-sn}, CW_{m-sn}$	WSW_{u-fa}	$W_{u-fa}, WSW_{u-ff}, WSW_{u-nn}, WSS_{u-fa}, WSW_{m-fa}$
CD_{m-sn}	$C_{d-sn}, CE_{m-sn}, CS_{m-sn}, CW_{m-sn}, CN_{m-sn}$	WSS_{u-fa}	$WSS_{u-ff}, WSS_{u-nn}, WSS_{m-fa}, WSW_{u-fa}S_{u-fa}$
CS_{m-sn}	$S_{m-sn}, CW_{m-sn}, CD_{m-sn}, CU_{m-sn}, CE_{m-sn}$	WNN_{u-fa}	$WNW_{u-ff}, WNW_{u-nn}, WNW_{m-fa}, WNN_{m-fa}, W_{u-fa}$
CE_{m-sn}	$E_{m-sn}, CD_{m-sn}, CN_{m-sn}, CU_{m-sn}, CS_{m-sn}$	S_{u-fa}	$S_{u-ff}, S_{u-nn}, ESS_{u-fa}, S_{m-fa}, C_{u-fa}, WSS_{u-fa}$
CN_{m-sn}	$N_{m-sn}, CU_{m-sn}, CD_{m-sn}, CW_{m-sn}, CE_{m-sn}$	ESS_{u-fa}	$ESS_{u-ff}, ESS_{u-nn}, ESE_{u-fa}, S_{u-fa}, ESS_{m-fa}$
CW_{m-sn}	$W_{m-sn}, CU_{m-sn}, CD_{m-sn}, CN_{m-sn}, CS_{m-sn}$	WNN_{u-fa}	$WNN_{u-ff}, WNN_{u-nn}, WNN_{m-fa}, WNW_{u-fa}, N_{u-fa}$
WSS_{m-fa}	$WSS_{m-ff}, WSS_{m-nn}, WSS_{d-fa}, WSS_{u-fa}, S_{m-fa}, WSW_{m-fa}$	W_{u-fa}	$W_{u-ff}, W_{u-nn}, WSW_{u-fa}, WNW_{u-fa}, C_{u-fa}, W_{m-fa}$
WSW_{m-fa}	$WSW_{m-ff}, WSW_{m-nn}, W_{m-fa}, WSW_{d-fa}, WSW_{u-fa}, WSS_{m-fa}$	E_{u-fa}	$E_{u-ff}, E_{u-nn}, ENE_{u-fa}, ESE_{u-fa}, C_{u-fa}, E_{m-fa}$
W_{m-fa}	$W_{m-ff}, W_{m-nn}, W_{d-fa}, W_{u-fa}, WNW_{m-fa}, WSW_{m-fa}$	C_{d-fa}	$C_{d-ff}, C_{d-ff}, N_{d-fa}, E_{d-fa}, W_{d-fa}, CD_{m-fa}, S_{d-fa}$
ESE_{m-fa}	$ESE_{m-ff}, ESE_{m-nn}, ESE_{u-fa}, ESS_{m-fa}, ESE_{d-fa}, E_{m-fa}$	ESE_{u-fa}	$ESE_{u-ff}, ESE_{u-nn}, ESE_{m-fa}, E_{u-fa}, ESS_{u-fa}$
S_{m-fa}	$S_{m-ff}, S_{m-nn}, ESS_{m-fa}, S_{d-fa}, WSS_{m-fa}, S_{u-fa}$	ENN_{d-fa}	$ENN_{d-ff}, ENN_{d-nn}, ENN_{m-fa}, N_{d-fa}, ENE_{d-fa}$
ESS_{m-fa}	$ESS_{m-ff}, ESS_{m-nn}, ESE_{m-fa}, ESS_{d-fa}, ESS_{u-fa}, S_{m-fa}$	ENE_{d-fa}	$ENE_{d-ff}, ENE_{d-nn}, ENE_{m-fa}, E_{d-fa}, ENN_{d-fa}$
ENE_{m-fa}	$ENE_{m-ff}, ENE_{m-nn}, ENN_{m-fa}, E_{m-fa}, ENE_{d-fa}, ENE_{u-fa}$	N_{d-fa}	$N_{d-ff}, N_{d-ff}, N_{m-fa}, C_{d-fa}, ENN_{d-fa}, WNW_{d-fa}$
ENN_{m-fa}	$ENN_{m-ff}, ENN_{m-nn}, ENN_{d-fa}, ENN_{u-fa}, ENE_{m-fa}, N_{m-fa}$	WNW_{d-fa}	$WNW_{d-ff}, WNW_{d-nn}, WNW_{m-fa}, WNW_{d-fa}, W_{d-fa}$
WNW_{m-fa}	$WNW_{m-ff}, WNW_{m-nn}, WNW_{u-fa}, WNW_{d-fa}, W_{m-fa}, WNN_{m-fa}$	ESS_{d-fa}	$ESS_{d-ff}, ESS_{d-nn}, ESS_{m-fa}, ESE_{d-fa}, S_{d-fa}$
N_{u-fa}	$N_{u-ff}, N_{u-nn}, WNN_{u-fa}, ENN_{u-fa}, C_{u-fa}, N_{m-fa}$	ESE_{d-fa}	$ESE_{d-ff}, ESE_{d-nn}, ESS_{d-fa}, E_{d-fa}, ESE_{m-fa}$
WNN_{m-fa}	$WNN_{m-ff}, WNN_{m-nn}, WNN_{d-fa}, WNN_{u-fa}, N_{m-fa}, WNW_{m-fa}$	WSW_{d-fa}	$WSW_{d-ff}, WSW_{d-nn}, WWS_{d-fa}, WSW_{m-fa}, W_{d-fa}$
ENE_{u-fa}	$ENE_{u-ff}, ENE_{u-nn}, ENN_{m-fa}, ENE_{m-fa}, E_{u-fa}$	E_{d-fa}	$E_{d-ff}, E_{d-nn}, ENE_{d-fa}, ESE_{d-fa}, E_{m-fa}, C_{d-fa}$
N_{m-fa}	$N_{m-ff}, N_{m-nn}, ENW_{m-fa}, WNN_{m-fa}, N_{u-fa}, N_{d-fa}$	WNN_{d-fa}	$WNN_{d-ff}, WNN_{m-fa}, WNW_{d-fa}, WNN_{d-nn}, N_{d-fa}$
ENN_{u-fa}	$ENN_{u-ff}, ENN_{u-nn}, ENN_{m-fa}, ENN_{u-fa}, N_{u-fa}$	S_{d-fa}	$S_{d-ff}, S_{d-nn}, WSS_{d-fa}, ESS_{d-fa}, S_{m-fa}, C_{d-fa}$
C_{u-fa}	$C_{u-ff}, C_{u-nn}, S_{u-fa}, N_{u-fa}, W_{u-fa}, E_{u-fa}$	WSS_{d-fa}	$WSS_{d-ff}, WSS_{d-nn}, WSW_{d-fa}, S_{d-fa}, WSS_{m-fa}$
E_{m-fa}	$E_{m-ff}, E_{m-nn}, E_{d-fa}, ESE_{m-fa}, ENE_{m-fa}, E_{u-fa}$	W_{d-fa}	$W_{d-ff}, W_{d-nn}, C_{d-fa}, WSW_{d-fa}, WNW_{d-fa}, W_{m-fa}$

根据 3DR44-4d 模型的动态邻接关系, 可对复杂对象的动态方位关系变化情况进行分析、预测、排错和择优。图 2 给出了某个运动的目标对象 A 和静止的参照对象 B 在 3 个紧邻时刻的连续的方向关系变化信息。

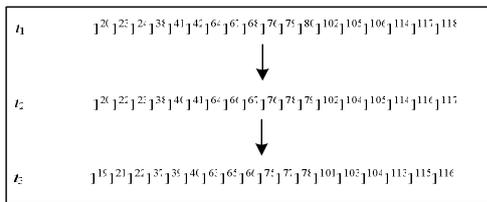


图 2 3 个紧邻时刻的方位关系的编码值序列例

根据 3DR44-4d 模型的方位动态邻接关系和方位关系的

编码值序列可知, 图 2 所展示的目标对象 A 的空间方位关系随时间的动态变化信息是不完全的, 要么是 t_3 时刻所获得的原始方位信息出现了错误, 要么是 t_2 和 t_3 时刻之间更有价值的时刻没有被更科学的考虑, 时间段间隔较长, 有用数据信息遗漏较多, 误差较大。为了更精确地掌握目标对象 A 相对于参照对象 B 在 t_2 到 t_3 时刻的方位关系的变化情况, 必须对该时间段所获取的方位数据信息进行更科学的分析和处理。

5 结束语

3D 空间方位关系在 3D GIS、3D 动画、卫星定位导航和机器人视觉等领域具有重要作用。针对已有的 3D 空间方向关系模型无法对大量处于参照对象的同一方向块的目标对象进行空间关系的描述和区分这一缺点, 本文将 3D 方向关系和距离位置关系结合, 提出 3DR44-4d 方位关系模型, 并对 3DR44-4d 方位关系的动态邻接关系进行研究。3DR44-4d 方位关系模型可表示和区分 2^{158} 种复杂的空间方位关系, 利用动态邻接关系可进行动态方位关系的预测和择优。理论分析和实验应用表明, 3DR44-4d 模型增强了空间数据库对 3D 空间方位关系的表示和处理能力。

今后的研究内容主要在以下 2 个方面:

- (1) 将 Vague 区域关系^[6-8]融合扩充到 3D 方位关系模型中以增强空间数据库处理不确定方位关系的能力。
- (2) 将本文的方位关系模型和近邻查询(如反向最近邻查询^[9]和 k 最近邻查询^[10])相结合, 以处理受限查询问题。

参考文献

- [1] 李 松. 空间数据库空间关系的关键理论研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2009.
- [2] Skiadopoulos S, Koubarakis M. Composing Cardinal Direction Relations[J]. Artificial Intelligence, 2004, 152(2): 143-171.
- [3] Schockaert S, de Cock M, Kerre E E. Modeling Nearness and Cardinal Directions Between Fuzzy Regions[C]//Proc. of IEEE World Congress on Computational Intelligence. [S. l.]: IEEE Press, 2008.
- [4] 王 淼, 郝忠孝. 三维空间方向关系的定性描述与推理[J]. 计算机工程, 2009, 35(15): 22-25.
- [5] 郝晓红, 张丽平, 李 松. 三维空间中 3DRR44 方向关系表示模型[J]. 计算机工程, 2011, 37(1): 75-77.
- [6] 郝忠孝, 李 松. 基于 Vague 集的动态 Vague 区域关系[J]. 软件学报, 2009, 20(4): 878-889.
- [7] 李 松, 郝忠孝. 基于 Vague 集的含洞不规则 Vague 区域关系[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(5): 823-831.
- [8] 李 松, 郝忠孝. 立体空间中的含核 Vague 区域关系表示与分析[J]. 高技术通讯, 2011, 21(2): 157-161.
- [9] 李 松, 郝忠孝. 移动对象的动态反向最近邻查询技术[J]. 计算机工程, 2008, 34(10): 40-42.
- [10] 张丽平, 李 松, 郝晓红. 球面上的 k 最近邻查询算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(2): 52-53.

编辑 陈 文