

# 3D 对象动态方位邻接关系及双向关联表示

张丽平<sup>1</sup>, 李松<sup>2</sup>, 王红<sup>1</sup>

ZHANG Li-ping<sup>1</sup>, LI Song<sup>2</sup>, WANG Hong<sup>1</sup>

1. 辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105

2. 哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150080

1. Department of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China

2. Department of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China

E-mail: zhanglptg@163.com

**ZHANG Li-ping, LI Song, WANG Hong. Dynamic direction adjacent relations and bidirectional association representation of 3D objects. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(29): 68-71.**

**Abstract:** Representation and analysis about the direction relations of the 3D spatial objects have important significance in the spatial database, geographic information system, artificial intelligence and the robotics. To analyse and deal with the complex direction of the 3D spatial objects, the three tridimensional representation models such as the 3DR7 model, the 3DR27 model and the 3DR39 model are given, and the intersection sequences are also proposed. Furthermore, the dynamic direction adjacent relations and the bidirectional association representation of the 3D spatial objects are also studied. The research results lay the foundations for the applications of the direction relations of the 3D spatial objects in the spatial database and the geographic information system.

**Key words:** 3D spatial object; direction relations; intersection sequence; dynamic adjacent relation

**摘要:** 3D 空间对象方位关系的表示和分析在空间数据库、地理信息系统、人工智能和机器人学等领域具有重要的意义。为了分析和处理复杂的 3D 空间对象的方位关系, 讨论了 3 种 3D 空间对象方位关系的立体表示模型: 3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 模型, 给出了方位关系的交集序列; 研究了 3D 空间对象方位关系的动态邻接关系和处理方法; 进一步给出了 3D 空间对象方位关系的双向映射模型。研究成果为 3D 空间对象方位关系在空间数据库和地理信息系统等领域的应用奠定了基础。

**关键词:** 3D 空间对象; 方位关系; 交集序列; 动态邻接关系

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.29.019 **文章编号:** 1002-8331(2009)29-0068-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP311

## 1 引言

空间方位关系的形式化描述和表示是空间方位关系研究的重点。随着科学技术的发展和空间应用的需求, 3D 空间对象方位关系的表示和分析成为空间方位关系领域的研究热点和难点。3D 空间对象方位关系的表示和分析技术可被广泛应用到地理信息系统、空间数据库、图象处理、机器人视觉等多种领域。

目前, 大部分研究主要集中在空间方向关系的描述模型和基于空间方向关系的空间查询<sup>[1]</sup>。近年来, 国内外专家对空间方位关系模型进行了分析和探讨。空间方位关系形式化描述与表达方法主要分为 3 类<sup>[2]</sup>: (1) 锥形模型, 包括四方向锥形模型、八方向锥形模型、三角化模型等; (2) 基于投影的模型, 包括二维字符串模型、MBR 模型、方向关系矩阵模型等; (3) 基于 Voronoi 图的模型。文献[3]讨论了方向关系的复合操作, 研究了基本方向关系间的组合分析方法。文献[4]对空间中两个物体互为参照

对象时的方向关系矩阵的一致性进行了研究。文献[5]研究了空间拓扑关系与方向关系的结合方法, 基于交互表提出了新的路径一致算法。文献[6]通过一系列方向关系矩阵的性质和运算定理, 提出了原子方向关系与基本方向关系合成问题的求解方法。文献[7]基于方向关系矩阵给出了方向关系的分层细节描述方法。但文献[1-7]主要是对二维方向关系进行分析处理, 没有给出三维方向关系的分析方法。文献[8]仅对三维空间对象的拓扑关系进行了分析和研究, 但没有进一步讨论三维对象方位关系的表示和推理问题。文献[9]采用单纯形数据模型描述空间问题, 基于投影的方法对三维空间方向关系描述模型和推理进行了详细研究, 但文献[9]没有对 3D 空间对象的动态邻接关系和简化模型进行分析。

为了弥补已有方法<sup>[1-9]</sup>在 3D 空间对象方位关系领域留下的空白, 为了满足实际应用中对 3D 空间对象方位关系的不同精度要求, 给出了 3 种 3D 空间对象方位关系的表示模型和方

**基金项目:** 黑龙江省研究生创新科研基金项目(the Postgraduate Innovate Scientific Research Foundation of Heilongjiang Province of China under Grant No.YJSCX2006-13HLJ)。

**作者简介:** 张丽平(1976-), 女, 讲师, 主要研究方向: 数据结构和算法设计、数据库; 李松(1977-), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 数据库、算法设计; 王红(1979-), 女, 讲师, 主要研究方向: 数据结构、计算机系统结构。

**收稿日期:** 2008-06-03 **修回日期:** 2008-09-01

位关系的交集序列模型;为了处理 3D 动态对象方位关系的变化情况,分析了 3D 空间对象的动态方位邻接关系;进一步讨论了 3D 空间对象方位关系的双向映射模型。

## 2 3D 空间对象方位关系的表示模型

对于 3 维空间中的 3D 参照对象,利用近似最小包围盒(AMBB)对 3D 空间对象进行空间近似表示。和 2 维投影模型类似,基于参照对象的近似最小包围盒(AMBB),可将整个空间进行方位区域的划分。为了满足对 3D 空间对象不同精度的需求,给出 3 种 3D 空间对象方位关系的立体表示模型:3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 模型。3DR7 模型将整个三维空间划分为 7 部分:  $\{E, S, W, N, U, D, C\}$ , 其平面投影模型(俯视图)如图 1(a)所示,基于 3DR7 模型的 3D 方位关系如定义 1 所示;和文献[9]类似,3DR27 模型将整个三维空间划分为三层,共 27 部分:  $\{E_u, EN_u, ES_u, W_u, WS_u, WN_u, S_u, N_u, C_u, E_m, EN_m, ES_m, W_m, WS_m, WN_m, S_m, N_m, C_m, E_d, EN_d, ES_d, W_d, WS_d, WN_d, S_d, N_d, C_d\}$ , 其平面投影模型(俯视图)如图 1(b)所示,基于 3DR27 模型的 3D 方位关系如定义 2 所示;3DR39 模型将整个三维空间划分为三层,共 39 个部分:  $\{E_u, ENE_u, ENN_u, ESS_u, ESE_u, W_u, WSW_u, WSS_u, WNW_u, WNN_u, S_u, N_u, C_u, E_m, ENE_m, ENN_m, ESE_m, ESS_m, W_m, WSW_m, WSS_m, WNW_m, WNN_m, S_m, N_m, C_m, E_d, ENE_d, ENN_d, ESE_d, ESS_d, W_d, WSW_d, WSS_d, WNW_d, WNN_d, S_d, N_d, C_d\}$ , 其平面投影模型(俯视图)如图 1(c)所示,基于 3DR39 模型的 3D 方位关系如定义 3 所示。若将  $E_u, E_d, S_u, S_d, W_u, W_d, N_u, N_d$  分别利用空间半平面进行分割扩展,则 3DR39 模型可进一步扩展为包含有 47 个方位的 3DR47 模型。

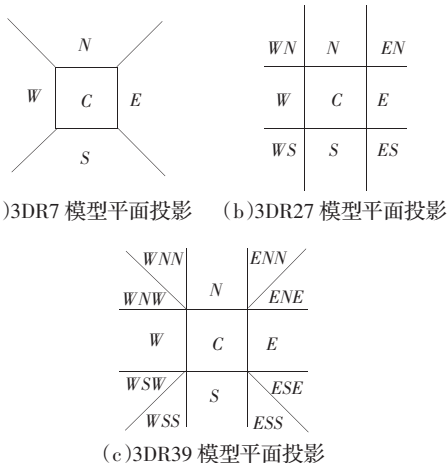


图 1 3D 空间对象方位关系模型平面投影图示

**定义 1**(3DR7 模型的方位关系) 设  $DR=\{E, S, W, N, U, D, C\}$  表示 3DR7 模型中的方位关系符号集, 设  $2^{DR}$  表示集合  $DR$  的幂集, 则 3D 空间对象  $B$ (目标对象)与  $A$ (参照对象)的方位关系可表示为二元函数  $3DIR_7(A, B), 3DIR_7(A, B) \in 2^{DR}$ 。

**定义 2**(3DR27 模型的方位关系) 设  $DR=\{E_u, EN_u, ES_u, W_u, WS_u, WN_u, S_u, N_u, C_u, E_m, EN_m, ES_m, W_m, WS_m, WN_m, S_m, N_m, C_m, E_d, EN_d, ES_d, W_d, WS_d, WN_d, S_d, N_d, C_d\}$  表示 3DR27 模型中的方位关系符号集, 设  $2^{DR}$  表示集合  $DR$  的幂集, 则 3D 空间对象  $B$ (目标对象)与  $A$ (参照对象)的方位关系可表示为二元函数  $3DIR_{27}(A, B), 3DIR_{27}(A, B) \in 2^{DR}$ 。

**定义 3**(3DR39 模型的方位关系) 设  $DR=\{E_u, ENE_u, ENN_u,$

$ESS_u, ESE_u, W_u, WSW_u, WSS_u, WNW_u, WNN_u, S_u, N_u, C_u, E_m, ENE_m, ENN_m, ESE_m, ESS_m, W_m, WSW_m, WSS_m, WNW_m, WNN_m, S_m, N_m, C_m, E_d, ENE_d, ENN_d, ESE_d, ESS_d, W_d, WSW_d, WSS_d, WNW_d, WNN_d, S_d, N_d, C_d\}$  表示 3DR39 模型中的方位关系符号集, 设  $2^{DR}$  表示集合  $DR$  的幂集, 则 3D 空间对象  $B$ (目标对象)与  $A$ (参照对象)的方位关系可表示为二元函数  $3DIR_{39}(A, B), 3DIR_{39}(A, B) \in 2^{DR}$ 。

**定义 4**(单方位关系和多方位关系) 目标对象  $B$  若处在参照对象  $A$  的单一方位中, 则称  $B$  相对  $A$  具有单方位关系;若目标对象  $B$  处在参照对象  $A$  的多个方位组合中, 则称  $B$  相对  $A$  具有多方位关系。

图 1 展示了 3D 空间对象方位关系的 3 种模型的平面投影图(即俯视图), 基于 AMBB 可将 3D 空间对象的方位关系模型从不同方向向平面进行投影, 从而可得出对应的平面投影方位图。利用 3D 空间对象的 3 种方位关系模型及其平面投影可表示和处理复杂的 3D 空间对象的方位关系。基于定义 1~3, 进一步给出 3D 空间对象  $B$ (目标对象)与  $A$ (参照对象)的方位关系交集序列  $\Gamma_1, \Gamma_2$  和  $\Gamma_3$ :

$$\Gamma_1 = \{E_A \cap B, S_A \cap B, W_A \cap B, N_A \cap B, U_A \cap B, D_A \cap B, C_A \cap B\}$$

$$\Gamma_2 = \{E_{uA} \cap B, EN_{uA} \cap B, ES_{uA} \cap B, W_{uA} \cap B, WS_{uA} \cap B, WN_{uA} \cap B, S_{uA} \cap B, N_{uA} \cap B, C_{uA} \cap B, E_{mA} \cap B, EN_{mA} \cap B, ES_{mA} \cap B, W_{mA} \cap B, WS_{mA} \cap B, WN_{mA} \cap B, S_{mA} \cap B, N_{mA} \cap B, C_{mA} \cap B, E_{dA} \cap B, EN_{dA} \cap B, ES_{dA} \cap B, W_{dA} \cap B, WS_{dA} \cap B, WN_{dA} \cap B, S_{dA} \cap B, N_{dA} \cap B, C_{dA} \cap B\}$$

$$\Gamma_3 = \{E_{uA} \cap B, ENE_{uA} \cap B, ENN_{uA} \cap B, ESS_{uA} \cap B, ESE_{uA} \cap B, W_{uA} \cap B, WSW_{uA} \cap B, WSS_{uA} \cap B, WNW_{uA} \cap B, WNN_{uA} \cap B, S_{uA} \cap B, N_{uA} \cap B, C_{uA} \cap B, E_{mA} \cap B, ENE_{mA} \cap B, ENN_{mA} \cap B, ESE_{mA} \cap B, ESS_{mA} \cap B, W_{mA} \cap B, WSW_{mA} \cap B, WSS_{mA} \cap B, WNW_{mA} \cap B, WNN_{mA} \cap B, S_{mA} \cap B, N_{mA} \cap B, C_{mA} \cap B, E_{dA} \cap B, ENE_{dA} \cap B, ENN_{dA} \cap B, ESE_{dA} \cap B, ESS_{dA} \cap B, W_{dA} \cap B, WSW_{dA} \cap B, WSS_{dA} \cap B, WNW_{dA} \cap B, WNN_{dA} \cap B, S_{dA} \cap B, N_{dA} \cap B, C_{dA} \cap B\}$$

方位关系交集序列  $\Gamma_1, \Gamma_2$  和  $\Gamma_3$  中, 若目标对象  $B$  或  $B$  的一部分处在参照对象  $A$  的某个方位区域内, 则其对应的交集项的值取为 1, 反之, 则对应的交集项的值取为 0。则具体的目标对象  $B$  和参照对象  $A$  的空间关系即可由确定的 0, 1 序列串进行表示。针对同一目标对象  $B$  和参照对象  $A$ , 采用不同的方位关系模型, 其 0, 1 序列串相应的将有所不同。将对象  $B$  和  $A$  的 3DR7 模型的方位关系对应的序列串称为对象  $B$  和  $A$  的 3DR7-7 元组, 简记为  $DR_{3DR7-7-AB}$ ; 3DR27 模型的方位关系对应的序列串称为对象  $B$  和  $A$  的 3DR27-27 元组, 简记为  $DR_{3DR27-27-AB}$ ; 3DR7 模型的方位关系对应的序列串称为对象  $B$  和  $A$  的 3DR39-39 元组, 简记为  $DR_{3DR39-39-AB}$ 。

由以上分析可知, 对于同一目标对象  $B$  和参照对象  $A$ , 3DR39-39 元组包含的方位信息最为丰富, 3DR27-27 元组包含的方位信息次之, 3DR7-7 元组包含的方位信息相对较少。实际应用中, 根据对空间方位关系的不同的精度要求, 可选取不同的模型对 3D 空间对象的方位关系进行分析和处理。

## 3 3D 空间对象的动态方位邻接关系

实际应用中, 随着时间的变化, 空间目标对象  $B$  的位置、大小和形状往往会发生改变, 目标对象  $B$  和参照对象  $A$  的方位关系相应的也经常会发生动态的改变。由于空间点、线和面的变化较为简单, 不失一般性, 所讨论的目标对象  $B$  均具有一定的体积和大小, 即  $B$  是空间 3 维体对象。动态方位邻接关系就

是指在  $B$  和  $A$  的方位关系发生变化时,下一个最有可能成立的方位关系。基于 3DR39 模型、3DR7 模型和 3DR27 模型给出了 3D 空间体对象的单方位动态邻接关系表,如表 1(a)、(b)和 (c)所示。多方位关系的动态邻接关系可由单方位动态邻接关系组合变化得出。基于 3D 空间对象方位关系的动态邻接关系表,可以对目标对象  $B$  和参照对象  $A$  的动态方位关系进行分析、预测和处理,对  $B$  和  $A$  的方位关系转变路径可进行检测和校验。

表 1 动态邻接关系表

(a)3DR39 模型的单方位动态邻接关系表

1	$E_u$	$ENE_u ESE_u E_m C_u$	21	$WNW_m$	$WNW_u WNW_d WNN_m W_m$
2	$ESE_u$	$ESE_m ESS_u E_u$	22	$WNN_m$	$WNN_u WNN_d N_m WNW_m$
3	$ESS_u$	$ESS_m ESE_u S_u$	23	$N_m$	$WNN_m ENN_d ENE_m N_m$
4	$S_u$	$WSS_u ESS_u S_m C_u$	24	$ENN_m$	$ENN_u ENN_d ENE_m N_m$
5	$WSS_u$	$WSS_m S_u WSW_u$	25	$ENE_m$	$ENE_u ENE_d ENN_m E_m$
6	$WSW_u$	$WSW_m W_u WSS_u$	26	$C_m$	$C_u E_m S_m W_m N_m C_d$
7	$W_u$	$W_m C_u WNW_u WSW_u$	27	$E_d$	$ENE_d ESE_d E_m C_d$
8	$WNW_u$	$WNW_m WNN_u W_u$	28	$ESE_d$	$ESE_m ESS_d E_d$
9	$WNN_u$	$WNN_m N_u WNW_u$	29	$ESS_d$	$ESS_m ESE_d S_d$
10	$N_u$	$WNN_u ENN_u C_u N_m$	30	$S_d$	$WSS_d ESS_d S_m C_d$
11	$ENN_u$	$ENN_m ENE_u N_u$	31	$WSS_d$	$WSS_m S_d WSW_d$
12	$ENE_u$	$ENE_m ENN_u E_u$	32	$WSW_d$	$WSW_m W_d WSS_d$
13	$C_u$	$C_m E_u S_u W_u N_u$	33	$W_d$	$W_m C_d WNW_d WSW_d$
14	$E_m$	$ENE_m ESE_m E_u C_m E_d$	34	$WNW_d$	$WNW_m WNN_d W_d$
15	$ESE_m$	$ESE_u ESE_d ESS_m E_m$	35	$WNN_d$	$WNN_m N_d WNW_d$
16	$ESS_m$	$ESS_u ESS_d ESE_m S_m$	36	$N_d$	$WNN_d ENN_d C_d N_m$
17	$S_m$	$WSS_u ESS_u S_u S_d C_m$	37	$ENN_d$	$ENN_m ENE_d N_d$
18	$WSS_m$	$WSS_u WSS_d S_m WSW_m$	38	$ENE_d$	$ENE_m ENN_d E_d$
19	$WSW_m$	$WSW_u WSW_d W_m WSS_m$	39	$C_d$	$C_m E_d S_d W_d N_d$
20	$W_m$	$W_u C_m W_d WNW_m WSW_m$			

(b)3DR7 模型的单方位动态邻接关系表

1	$E$	$N S C U D$	5	$U$	$N S E W C$
2	$W$	$N S U C D$	6	$D$	$N S E C W$
3	$S$	$E W U C D$	7	$C$	$E S N W U D$
4	$N$	$E W C U D$			

(c)3DR27 模型的单方位动态邻接关系表

1	$E_u$	$EN_u ES_u E_m C_u$	15	$WN_m$	$WN_u WN_d W_m N_m$
2	$ES_u$	$E_u S_u ES_m$	16	$N_m$	$WN_m C_m EN_m N_u N_d$
3	$S_u$	$S_m C_u ES_u WS_u$	17	$EN_m$	$N_m E_m EN_u EN_d$
4	$WS_u$	$WS_m S_u W_u$	18	$C_m$	$E_m S_m W_m N_m C_u C_d$
5	$W_u$	$WN_u WS_u C_u W_m$	19	$E_d$	$EN_d ES_d E_m C_d$
6	$WN_u$	$WN_m W_u N_u$	20	$ES_d$	$E_d S_d ES_m$
7	$N_u$	$WN_u C_u EN_u N_m$	21	$S_d$	$S_m C_d ES_d WS_d$
8	$EN_u$	$N_u E_u EN_m$	22	$WS_d$	$WS_m S_d W_d$
9	$C_u$	$E_u S_u W_u N_u C_m$	23	$W_d$	$WN_d WS_d C_d W_m$
10	$E_m$	$EN_m ES_m E_u C_m E_d$	24	$WN_d$	$WN_m W_d N_d$
11	$ES_m$	$E_m S_m ES_u ES_d$	25	$N_d$	$WN_d C_d EN_d N_m$
12	$S_m$	$S_u S_d C_m ES_m WS_m$	26	$EN_d$	$N_d E_d EN_m$
13	$WS_m$	$WS_u WS_d S_m W_m$	27	$C_d$	$E_d S_d W_d N_d C_m$
14	$W_m$	$WN_m WS_m C_m W_u W_d$			

### 4 3D 空间对象方位关系的双向映射模型

实际应用中,根据不同的 3D 对象的方位表示需求和处理精度,可选用不同的方位表示模型。其中,3DR7 模型最为简便,但所能表达的方位关系的种类较为有限,方位关系的精度要求较低,适用于对方位关系要求不高的情况;3DR27 模型将立体

空间的方位化分成 27 部分,利用单方位关系和多方位关系的组合可表示出目标对象和参照对象间的复杂的方位关系,3DR27 模型较适合人类的方位认知能力;3DR39 模型实质上是 3DR27 模型的扩展,大为提高了方位关系的表达精度,但有时往往过于复杂和烦琐。目前,二维方位关系的研究已经较为成熟,如何利用完备的二维方位关系表示模型来处理复杂的 3D 空间对象方位关系是一个相当有实际意义的问题。基于 3DR27 模型,利用空间对象方位的双向映射方法对该问题进行了分析和讨论,3DR39 模型可类似处理。

在三维坐标空间中,设  $x, y, z$  是 3 个两两相互垂直的坐标轴,垂足原点为  $O$ 。设坐标面  $xoy$  和参照对象的近似最小包围盒(AMBB)的上、下面平行,垂直于  $xoy$  的坐标面  $xoz$  和最小包围盒的前、后面平行,将参照对象  $A$  的 3DR27 方位模型分别向  $xoy$  面和  $xoz$  面进行映射投影。设参照对象  $A$  的 3DR27 方位模型在  $xoy$  坐标面的投影方位集  $p_{xoy}$  为  $\{E_{xy}, ES_{xy}, S_{xy}, WS_{xy}, W_{xy}, WN_{xy}, N_{xy}, EN_{xy}, C_{xy}\}$ ,在  $xoz$  坐标面的投影方位集  $p_{xoz}$  为  $\{E_{xz}, ES_{xz}, S_{xz}, WS_{xz}, W_{xz}, WN_{xz}, N_{xz}, EN_{xz}, C_{xz}\}$ 。 $p_{xoy}$  和  $p_{xoz}$  的各方位元素和 3DR27 方位模型中的方位元素具有一定的对应性,例如,  $E_{xy}$  对应  $E_u, E_m$  和  $E_d$ ;  $WN_{xz}$  对应  $WN_u, W_u$  和  $WS_u$ 。即若目标对象  $B$  处在 3DR27 方位模型的  $WN_u$  中,则  $B$  的投影必处在  $WN_{xy}$  和  $WN_{xz}$  中;反之,若目标对象  $B$  的投影落在  $WN_{xz}$  内,则  $B$  必处在 3DR27 方位模型的  $WN_u, W_u$  和  $WS_u$  中的一个方位或组合方位中。表 2 给出了 3DR27 方位模型的方位元素和方位集合  $p_{xoy}, p_{xoz}$  中的方位元素的对应关系。

表 2 3DR27 方位模型和映射投影方位模型的对应关系

1	$E_u$	$E_{xy} EN_{xz}$	10	$E_m$	$E_{xy} E_{xz}$	19	$E_d$	$E_{xy} ES_{xz}$
2	$ES_u$	$ES_{xy} EN_{xz}$	11	$ES_m$	$ES_{xy} E_{xz}$	20	$ES_d$	$ES_{xy} ES_{xz}$
3	$S_u$	$S_{xy} N_{xz}$	12	$S_m$	$S_{xy} C_{xz}$	21	$S_d$	$S_{xy} S_{xz}$
4	$WS_u$	$WS_{xy} WN_{xz}$	13	$WS_m$	$WS_{xy} W_{xz}$	22	$WS_d$	$WS_{xy} WS_{xz}$
5	$W_u$	$W_{xy} WN_{xz}$	14	$W_m$	$W_{xy} W_{xz}$	23	$W_d$	$W_{xy} WS_{xz}$
6	$WN_u$	$WN_{xy} WN_{xz}$	15	$WN_m$	$WN_{xy} W_{xz}$	24	$WN_d$	$WN_{xy} WS_{xz}$
7	$N_u$	$N_{xy} N_{xz}$	16	$N_m$	$N_{xy} C_{xz}$	25	$N_d$	$N_{xy} S_{xz}$
8	$EN_u$	$EN_{xy} EN_{xz}$	17	$EN_m$	$EN_{xy} E_{xz}$	26	$EN_d$	$EN_{xy} ES_{xz}$
9	$C_u$	$C_{xy} N_{xz}$	18	$C_m$	$C_{xy} C_{xz}$	27	$C_d$	$C_{xy} S_{xz}$

和基于 3DR27 模型的方位关系交集序列  $\Gamma_2$  的定义类似,可以用交集序列集  $\Gamma_4$  和  $\Gamma_5$  表示目标对象  $B$  和参照对象  $A$  在投影方位空间中的方位关系。设  $B_{xy}$  和  $B_{xz}$  分别为目标对象  $B$  在坐标面  $xoy$  和  $xoz$  上的投影像,  $\Gamma_4$  和  $\Gamma_5$  的定义如下所示:

$$\Gamma_4 = \{E_{xyA} \cap B_{xy}, ES_{xyA} \cap B_{xy}, S_{xyA} \cap B_{xy}, WS_{xyA} \cap B_{xy}, W_{xyA} \cap B_{xy}, WN_{xyA} \cap B_{xy}, N_{xyA} \cap B_{xy}, EN_{xyA} \cap B_{xy}, C_{xyA} \cap B_{xy}\}$$

$$\Gamma_5 = \{E_{xzA} \cap B_{xz}, ES_{xzA} \cap B_{xz}, S_{xzA} \cap B_{xz}, WS_{xzA} \cap B_{xz}, W_{xzA} \cap B_{xz}, WN_{xzA} \cap B_{xz}, N_{xzA} \cap B_{xz}, EN_{xzA} \cap B_{xz}, C_{xzA} \cap B_{xz}\}$$

基于映射投影模型和 3DR27 方位模型的对应关系,利用二维平面上的方位集合  $p_{xoy}$  和  $p_{xoz}$  的联合及交集序列集  $\Gamma_4$  和  $\Gamma_5$  即可表示复杂的 3D 空间对象的方位关系。例如,若已知目标对象  $B$  和参照对象  $A$  的基于  $\Gamma_4$  和  $\Gamma_5$  的方位关系序列元组为:  $DR_{xy}=111000001, DR_{xz}=100000111$ 。则基于  $\Gamma_2$ ,由表 2 即可推出目标对象  $B$  和参照对象  $A$  基于 3DR27 模型的 3DR7-27 元组为:  $DR_{3DR7-27-AB}=10100010110100010100000000$ 。从而可知,目标对象  $B$  处于参照对象  $A$  的  $E_u, ES_u, S_u, C_u, E_m, ES_m, S_m$  和  $C_m$  等 8 个方位中。由上讨论可知,利用空间对象方位关系的双向映射表示方法,只需考虑  $2 \times 8 = 16$  个方位元素交集的取值情况



就可定性表示出目标对象  $B$  和参照对象  $A$  的空间方位关系,而 3DR27 模型则需要考虑全部 27 个方位元素交集值。对比分析可知,双向映射投影表示模型较适合静态的 3D 空间对象的方位关系表示,而对于动态的空间方位关系,则需采用 3DR27 模型对其进行精确分析与处理。

## 5 模拟分析与讨论

为了表示和处理复杂的 3D 空间对象的方位关系,该文 2~4 章对 3D 空间对象方位关系的立体表示模型进行了分析和讨论,给出了空间方位关系的交集序列表示模型,研究了 3D 空间对象方位关系的动态邻接关系和双向映射模型。基于 3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 方位关系模型设计了模拟软件 TDSR-1, TDSR-1 可对 3D 空间对象方位关系进行表示和分析。图 2 给出了 TDSR-1 软件的三维方向关系模拟分析结果图。

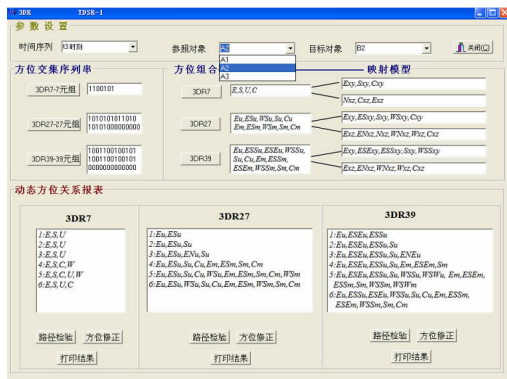


图 2 3D 空间对象方位关系模拟分析系统

图 2 中,在  $t_3$  时刻,参照对象为  $A_2$ ,目标对象为  $B_2$ ,参照对象和目标对象的相关数据信息存储在后台数据库中。基于 1~3 章的理论分析和空间对象的数据信息, TDSR-1 可给出相应的方位交集序列串,能得出基于三种方位模型的目标对象  $B_2$  与参照对象  $A_2$  的方位组合关系。基于 3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 模型,动态方位关系报表显示了空间对象  $B_2$  和  $A_2$  在 6 个时刻的方位组合关系。根据方位关系模型和动态邻接方位关系, TDSR-1 还可对方位关系的转变路径进行检验,对空间方位的缺失、冗余和误差进行分析和修正。

(上接 63 页)

- [6] Zitzler E, Thiele L. Multi-objective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength pareto approach [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1999, 3(4): 257-271.
- [7] Zitzler E, Laumanns M, Thiele L. SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm. TIK-Report 103[R]. 2001.
- [8] Corne D W, Knowles J D, Oates M J. The Pareto envelope-based selection algorithm for multiobjective optimization [C]//Schoenauer M, Deb K, Rudolph G, et al. Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature VI Conference. Springer, 2000: 839-848.
- [9] Corne D W, Jerram N R, Knowles J D, et al. PESA-II: Region-based selection in evolutionary multiobjective optimization [C]//Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2001). Morgan Kaufmann Publishers, 2001: 283-290.
- [10] Knowles J, Corne D. Approximating the non-dominated front using the Pareto archive evolutionary strategy [J]. Evolutionary Computation, 2000, 8(2): 149-172.
- [11] Knowles J, Corne D. M-PAES: A memetic algorithm for multiobjective optimization [C]//2000 Congress on Evolutionary Computa-

## 6 结束语

3D 空间对象方位关系的表示和分析在实际应用中具有重要的意义。为了表示和处理复杂的 3D 空间对象的方位关系,对 3 种 3D 空间对象方位关系的立体表示模型: 3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 模型进行了定义、分析和讨论,给出了空间方位关系的交集序列表示模型。为了处理动态的方位关系,基于 3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 模型给出了 3D 空间体对象的单方位动态邻接关系表,单方位动态邻接关系经过组合变化可表示复杂的多方位动态邻接关系。进一步给出了 3D 空间对象方位关系的双向映射模型。方法较适合处理 3D 空间对象方位关系在不同应用层次上的需求问题,可较好地表示和分析动态对象的方位关系。下一步的研究工作主要是基于 3DR7 模型、3DR27 模型和 3DR39 模型对复杂的空间方位关系进行推理和查询。

## 参考文献:

- [1] 邓敏,张燕,李光强.空间方向关系描述模型及其 GIS 应用分析[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(7): 37-40.
- [2] 夏宇,朱成焰,李德仁,等. GIS 空间方向关系形式化描述模型分析[J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 94-97.
- [3] Skiadopoulos S, Koubarakis M. Composing cardinal direction relations [J]. Artificial Intelligence, 2004, 152(2): 143-171.
- [4] Cicerone S, Felice P D. Cardinal directions between spatial objects: The pairwise consistency problem [J]. Informatics and Sciences, 2004, 164(124): 165-188.
- [5] 孙海滨,刘文辉. 基于结合空间拓扑和方向关系信息的空间推理 [J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(2): 253-259.
- [6] 王志明,宋巍,李鹏,等. 原子方向与基本方向关系合成方法的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(32): 33-34.
- [7] Wang Jing, Jiang Gangwu, Guo Rui. Hierarchical detailed description for spatial direction relations [J]. Geo-spatial Information Science, 2008, 11(1): 56-61.
- [8] Zlatanova S. On 3D topological relationships [C]//Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, Washington DC, USA, 2000: 913-919.
- [9] 刘新,刘文宝. 3D-GIS 中方向关系描述及其推理 [J]. 测绘科学, 2007, 32(3): 23-25.

tion. Piscataway, New Jersey: IEEE Service Center, 2000, 1: 325-332.

- [12] Carlos A, Coello C, Pulido G T. A micro-genetic algorithm for multiobjective optimization [C]//Zitzler E, Deb K, Thiele L, et al. Lecture Notes in Computer Science 1993: First International Conference on Evolutionary Multi-criterion Optimization. Springer-Verlag, 2001.
- [13] Pulido G T, Coello C A C. The micro genetic algorithm 2: Towards online adaptation in evolutionary multiobjective optimization [C]//EMO, 2003: 252-266.
- [14] Deb K, Mohan M, Mishra S A. A fast multi-objective evolutionary algorithm for finding well-spread Pareto-optimal solutions. KanGAL Report 2003002 [R]. 2003.
- [15] Van Veldhuizen D A, Lamont G B. Multiobjective evolutionary algorithm test suites [C]//Carroll J. Proceedings of the 1999 ACM Symposium on Applied Computing, 1999: 351-357.
- [16] Kalyanmoy D. Multi-objective genetic algorithms: Problem difficulties and construction of test problems [J]. Evolutionary Computation, 1999, 7(3): 205-230.
- [17] Schott J R. Fault tolerant design using single and multicriteria genetic algorithm optimization [D]. Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, 1995.