

三个简单区域间的拓扑关系的推理及应用模型

李 健¹, 欧阳继红^{2,3}, 廖梦兰¹

(1. 吉林农业大学信息技术学院, 吉林长春 130118; 2. 吉林大学计算科学与技术学院, 吉林长春 130012;

3. 吉林大学教育部符号计算与知识工程重点实验室, 吉林长春 130012)

摘 要: 本文通过将经典 4-交集模型扩展得到 8-交集模型, 对三个简单区域间的关系进行表示, 并具体得到了三个简单区域间实际存在的 109 种拓扑关系图. 通过对三个简单区域间的 109 种拓扑关系进行研究, 建立了拓扑关系的推理系统, 给出了拓扑关系复合表, 进而给出了 109 种拓扑关系的概念邻域图. 本文所建立的拓扑关系模型, 可用于对机器人与两个指定障碍物间的拓扑关系进行定性模拟, 对制定机器人的避障机制具有一定的指导意义.

关键词: 定性空间推理; 三个简单区域; 机器人避障

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2014)01-0125-05

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

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.01.020

A Model of Reasoning and Application for the Topological Relation Among Three Simple Regions

LI Jian¹, OUYANG Ji-hong^{2,3}, LIAO Meng-lan¹

(1. College of Information Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China; 2. College of Computer Science and Technology,

Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China; 3. Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education,

Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract: In this article, we got the 8- intersection model by extending the classic 4-intersection model, to represent the topological relation among three simple regions, and we specially obtained 109 kinds of topological relations among three simple regions. By researching 109 kinds of topological relations among three simple regions, we established the reasoning system of topological relation and gave the composite table. Further, we gave the conceptual neighborhood graph of 109 kinds of topological relations. The proposed topological relation model can be applied to qualitatively simulate the spatial relations between robots with two designated obstacles, which is useful to some extent in developing robot obstacle avoidance mechanism.

Key words: qualitative spatial reasoning; three simple regions; robot obstacle avoidance

1 引言

近年来定性空间推理研究已成为人工智能、GIS(地理信息系统)^[1,2]、图像数据库^[3,4]、CAD/CAM 系统^[5]等领域的研究热点. 在空间区域间拓扑关系模型的研究方面取得了很大进展, 其中最有代表性的是区域连接演算和交集模型^[6,7]. 在实际应用中, 空间区域间的关系是复杂的, 仅仅依靠研究两个区域间的空间关系不足以准确描述三个或多个确定性区域间的空间关系.

本文旨在研究三个简单区域间的拓扑关系, 提出了

一种用于表示三个简单区域间的拓扑关系的推理及应用模型, 这类空间关系模型可用于机器人避障规划(如图 1 所示为一类深海机器人), 对机器人的推广及应用有很大的促进.

在机器人的避障规划的研究中, 给定环境的障碍条件, 以及起始和目标的位置, 要求选择一条从起始点到目标点的路径, 使运动物体(如机器人)能安全、无碰撞地通过所有的障碍是一个难点. 虽然机器人避障规划的方法已有 C 空间快速建立等方法, 但都不是很理想. 本文所研究的三个简单区域间的拓扑关系模型可用于机

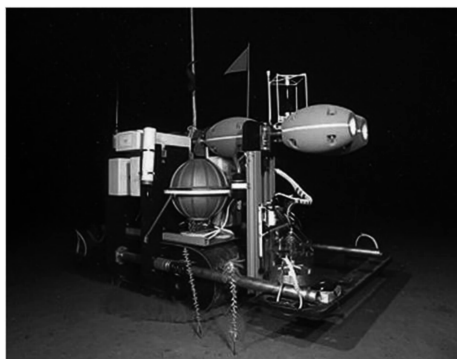


图1 深海机器人

机器人的避障等研究,对机器人避障进行模拟表示,并制定相应的避障方案,对制定机器人的避障机制具有一定的指导意义。

2 三个简单区域间拓扑关系表示模型

在 4-交集模型的基础上,建立适应表示三个简单区域间的拓扑关系的“8-交集模型”^[8]。

根据 8-交集模型可知,对任意的三个简单区域 A, B, C 就对应了一个 0-1 体。对 a_1, \dots, a_8, a_i 取 0 或 1, $i = 1, \dots, 8$, 就得到了 $2^8 = 256$ 种 0-1 体, 对应 256 种三元拓扑关系。

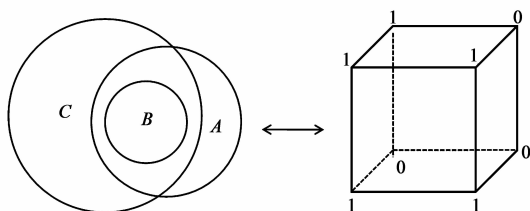


图2 可实现的8-交集模型

但不是所有 0-1 矩阵都能对应一种可实现的拓扑关系(图 2 为一种可以实现的拓扑关系)。为了得到二维平面中所有可实现的矩阵,具体给出三个简单区域间的约束条件和具体算法思想^[8],进一步地,给出了三个简单区域拓扑关系生成算法伪代码描述如下:

topologicalRelationGen(null; TR) //输入:空,输出:满足约束的拓扑关系

1: $TR_{256} \leftarrow 256$ basic topological relations //所有基本拓扑关系

2: $TR \leftarrow \text{null}$ //TR 置空

3: for each t in TR_{256}

4: if t satisfy constraint 1 //检验 t 是否满足约束 1

5: if t satisfy constraint 2 //检验 t 是否满足约束 2

6: $TR \leftarrow \{TR, t\}$ //若满足约束则把 t

放入 TR 中

7: end if

8: end if

9: end for

10: return TR //返回结果

根据上述算法伪代码描述,运行程序可得到具体 109 种三元拓扑关系,进一步地根据拓扑关系,给出了拓扑关系示意图^[8],如图 3 所示,本文仅列出部分图。

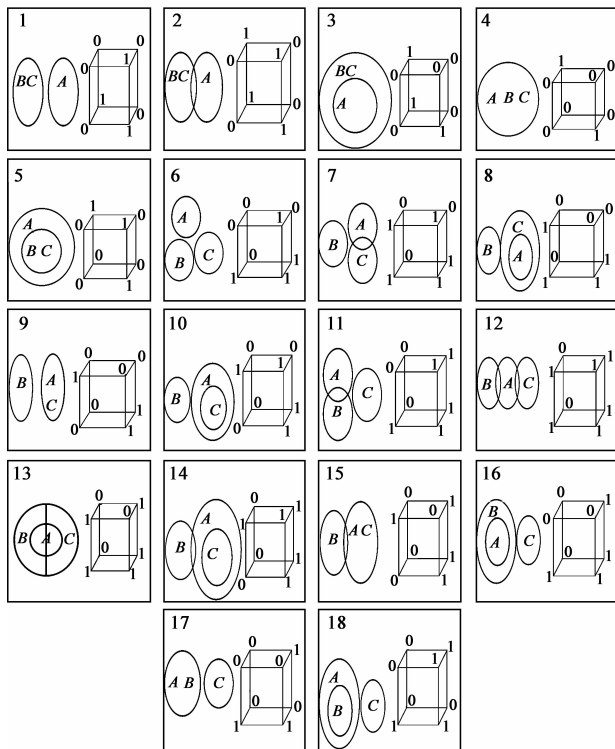


图3 部分图

3 三个简单区域间的拓扑关系推理模型

通过对 109 种三元拓扑关系的研究,本节将具体建立拓扑关系间的推理系统.对于两个简单区域 A 和 B ,记它们之间基于 4-交集矩阵模型的拓扑关系为 $R(A, B)$.那么 $R(A, B)$ 是一个可实现的拓扑关系当且仅当 $R(A, B)$ 属于 $RCC5$ 关系集。

根据 8-交集模型,可以对二元拓扑关系进行自动推理,即利用程序自动生成复合表.即当已知 $R(A, B)$ 和 $R(B, C)$,则可自动生成 $R(A, C)$.做法如下:

条件 AUT:

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_3 \\ a_5 & a_7 \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} a_2 & a_4 \\ a_6 & a_8 \end{bmatrix} = R(A, B)$$

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 \end{bmatrix} = R(B, C)$$

记满足条件 AUT 的所有可实现的 0-1 体为 $Y = \{Y_i; i = 1, \cdots, n\}$. 进而对所有的 0-1 体 Y_i 考察.

$$y_i = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_5 & a_6 \end{bmatrix} \vee \begin{bmatrix} a_3 & a_4 \\ a_7 & a_8 \end{bmatrix} \quad i = 1, \cdots, n.$$

那么对于集合 $\{y_i; i = 1, \cdots, n\}$ 除去重复项, 得到的就是简单区域 A 和 C 所有可能满足的 $RCC5$ 拓扑关系. 于是, 遍取拓扑关系 $R(A, B)$ 和 $R(B, C)$ 的所有可能 ($5 \times 5 = 25$ 种), 对每种情况都按如上的操作, 则可生成二元拓扑关系的复合表.

算法的伪代码描述如下:

```
GetAllFuhe( TR, TRfuhe)
1:  TRfuhe←null //复合表置空
2:  for each t in TR //遍历所有 109 种拓扑关系
3:    Extract TAB, TAC, TBC from t //分别获取
AB、BC、AC 的 RCC5 关系
4:  TRfuhe←TRfuhe ∪ { TAB ∧ TAC→ TBC } //将存
在的关系并入复合表
5:  end
6:  return TRfuhe //返回结果
```

最终, 我们用程序自动生成的复合表中共有 54 种可能. 根据上述分析, 进一步地可以得到概念邻域图, 如图 4 所示, 其中矩形外的拓扑关系是 $RCC5$ 关系集, 矩形内的数字标识表示 109 种基本关系对应的图序号.

4 避障模型的建立

本文所建立的拓扑关系模型, 可用于对机器人与两个指定障碍物的拓扑关系进行定性模拟. 在具体的拓扑模型建立中, 我们将机器人视为区域对象 C , 两个障碍物视为区域对象 A 和区域对象 B . 如图 5 所示是一般的拓扑模型.

如果能对机器人 C 与障碍物 A 间的关系和机器人 C 与障碍物 B 间的关系进行预测和表示, 机器人就能够绕开障碍物运动, 减少碰撞过程中的损失. 根据上述拓扑关系的推理模型可知, 由障碍物 A 与障碍物 B 之间的拓扑关系和机器人 C 与任意一个障碍物的拓扑关系可以推理得到机器人 C 与另一个障碍物的拓扑关系, 即可改进机器人避障方案.

根据研究发现机器人与障碍物间的碰撞情形与三个简单区域间的 109 种拓扑关系是相互对应的. 为了说明其相互对应的情形, 图 6 中列出了其中具体的 4 种情形 (图下方的序号对应于 109 种拓扑关系的图序号).

我们得到表 1 所示的复合关系表:
表 1 二元拓扑关系的复合表

A、B 间关系 $R(A, B)$	B、C 间关系 $R(B, C)$	A、C 间可能的关系 $R(A, C)$
$DR(A, B)$	$DR(B, C)$	$DR; PO; PP; EQ; PPI$
	$PO(B, C)$	$DR; PO; PP$
	$PP(B, C)$	$DR; PO; PP$
	$EQ(B, C)$	DR
	$PPI(B, C)$	DR
$PO(A, B)$	$DR(B, C)$	$DR; PO; PPI$
	$PO(B, C)$	$DR; PO; PP; EQ; PPI$
	$PP(B, C)$	$PO; PP$
	$EQ(B, C)$	PO
	$PPI(B, C)$	$DR; PO; PPI$
$PP(A, B)$	$DR(B, C)$	DR
	$PO(B, C)$	$DR; PO; PP$
	$PP(B, C)$	PP
	$EQ(B, C)$	PP
	$PPI(B, C)$	$DR; PO; PP; EQ; PPI$
$EQ(A, B)$	$DR(B, C)$	DR
	$PO(B, C)$	PO
	$PP(B, C)$	PP
	$EQ(B, C)$	EQ
	$PPI(B, C)$	PPI
$PPI(A, B)$	$DR(B, C)$	$DR; PO; PPI$
	$PO(B, C)$	$PO; PPI$
	$PP(B, C)$	$PO; PP; EQ; PPI$
	$EQ(B, C)$	PPI
	$PPI(B, C)$	PPI

本文对图 6 中的序号 7 对应的图片和序号 11 对应的图片分析如下:

图 6 中的序号 7 对应的图片说明: 机器人 C 与障碍物 A, B 间拓扑关系包括 $PO(A, C), DR(A, B), DR(B, C)$, 它表示机器人 C 局部与障碍物 A 碰撞, 机器人 C 与障碍物 B 不碰撞, 并且两个障碍物间是完全相离的, 即是两个独立的障碍物, 此时机器人需绕过障碍物 A 前行.

图 6 中的序号 11 对应的图片说明: 机器人 C 与障碍物 A, B 间拓扑关系包括 $DR(A, C), PO(A, B), DR(B, C)$, 它表示机器人 C 与障碍物 A, B 不碰撞, 并且两个障碍物间是相交的, 即两个障碍物可以视为一个障碍物, 此时机器人可以顺利按原路线前行.

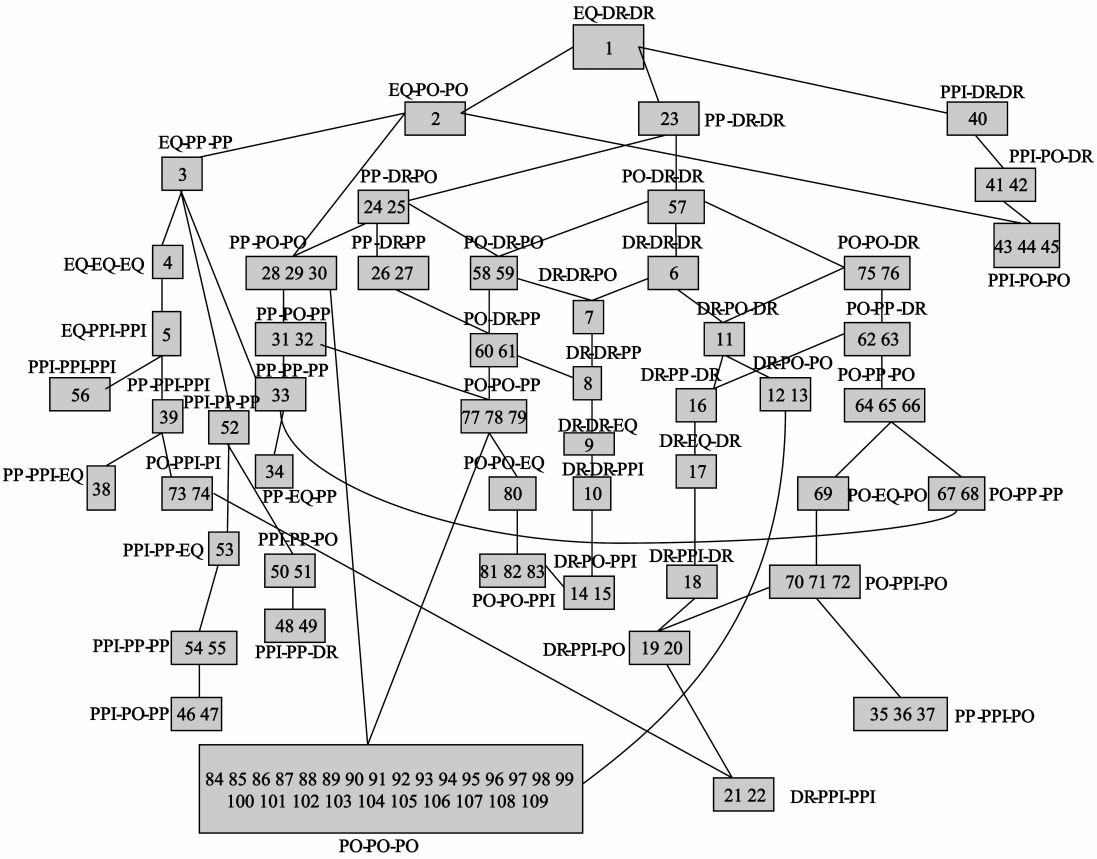


图4 8-交集模型的概念邻域图

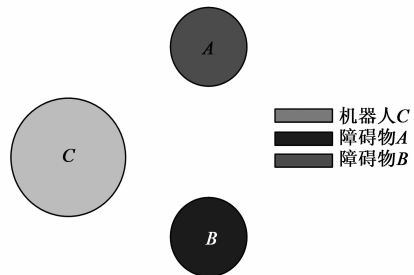


图5 一般的拓扑模型示意图

进一步地,根据拓扑关系推理及其概念邻域图,可以给出机器人 C 与障碍物的碰撞概率表(如表 2 所示).将机器人 C 与障碍物 A, B 的碰撞情形分为如下四类:

- (1) 机器人 C 与障碍物 A 发生碰撞,与 B 不发生碰撞;
- (2) 机器人 C 与障碍物 B 发生碰撞,与 A 不发生碰撞;
- (3) 机器人 C 与障碍物 A, B 均不发生碰撞;
- (4) 机器人 C 与障碍物 A, B 均发生碰撞.

以机器人 C 与障碍物 A 发生碰撞,与 B 不发生碰

撞为例,发生这种情形时 B 与 C 间拓扑关系为 $DR(B, C)$, A 与 C 间拓扑关系不为 $DR(A, C)$ (即为 $PO(A, C), PPI(A, C), PP(A, C), EQ(A, C)$),共有 12 种情形,故其概率为 11.00%(需要注意的是,本文认为碰撞情形是完全随机的).以此类推,可以计算出其他三种情形的概率.

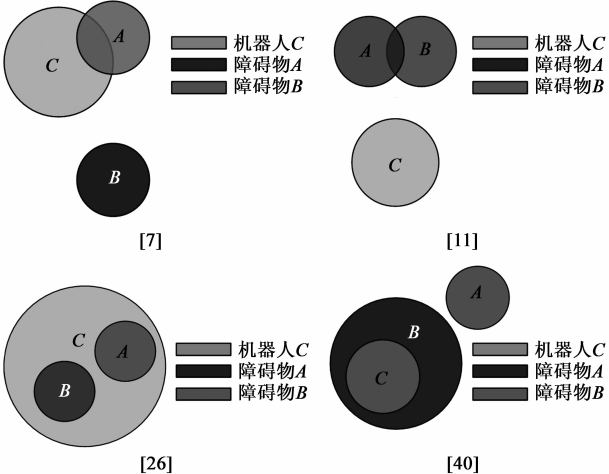


图6 台风降水拓扑关系模型的示意图

表 2 机器人 C 与障碍物的碰撞概率表

碰撞情形	A 与 C 间的 拓扑关系	B 与 C 间的 拓扑关系	发生概率
机器人 C 与障碍物 A 发生碰撞,与 B 不 发生碰撞	$PO(A, C)$	$DR(B, C)$	11.00%
	$PPI(A, C)$		
	$PP(A, C)$		
	$EQ(A, C)$		
机器人 C 与障碍物 B 发生碰撞,与 A 不 发生碰撞	$DR(A, C)$	$PO(B, C)$	11.00%
		$PPI(B, C)$	
		$PP(B, C)$	
		$EQ(B, C)$	
机器人 C 与障碍物 A, B 均不发生碰撞	$DR(A, C)$	$DR(B, C)$	4.59%
机器人 C 与障碍物 A, B 均发生碰撞	$PO(A, C)$	$PO(B, C)$	73.05%
	$PPI(A, C)$	$PPI(B, C)$	
	$PP(A, C)$	$PP(B, C)$	
	$EQ(A, C)$	$EQ(B, C)$	

根据碰撞发生概率可以制定相应的避障机制,为机器人避障提供依据.

5 结论

本文通过扩展 4-交集矩阵定义了 8-交集矩阵,对三个简单区域间的空间拓扑关系进行了表示,给出算法,运行程序得到三个简单区域间的 109 种拓扑关系.进一步建立了拓扑关系的推理系统,得到了三个简单区域间二元拓扑关系的复合表,并给出其概念邻域图.在此基础上,将本文提出的空间拓扑关系模型用于机器人的避障,可以模拟机器人碰撞情形,制定相应的避障机制.

参考文献

[1] J Scott, L H Lee, et al. Designing the low-power M-CORETM architecture[A]. IEEE Power Driven Microarchitecture Workshop[C]. Haifa, Israel: IEEE Computer Society, 1998. 29 – 33.

[2] Lohman G, Stoltzfus J C, Benson A N, Martin M D, Cardenas A F. Remotely-sensed geophysical databases: experience and implications for generalized DBMS[J]. Proceedings of the 1983 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 1983, 13(4): 146 – 160.

[3] Chang N S, Fu K S. Query-by-pictorial-example[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1980, 6(6): 519 – 524.

[4] Roussopoulos N, Faloutsos C, Sellis T. An efficient pictorial database system for PSQL[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1988, 14(5): 630 – 638.

[5] Rosenthal A, Heiler S, Manola F. An example of knowledge-based query processing in a CAD/CAM DBMS[A]. Proceedings of 10th International Conference on Very Large Data Bases [C]. USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1984. 363 – 370.

[6] Cohn A. The challenge of qualitative spatial reasoning[J]. ACM Computing Surveys(CSUR), 1995, 27(3): 323 – 325.

[7] Egenhofer M J, Franzosa R. Point-set topological spatial relations[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1991, 5(2): 161 – 174.

[8] 李健, 欧阳继红, 王振鑫. 三个简单区域间的拓扑关系的表示[J]. 吉林大学学报(工学版), 2013, 43(1): 117 – 122.

作者简介



李 健 男, 1981 年生, 讲师、工学博士. 研究方向: 时空表示与推理、偏微分方程.
E-mail: liemperor@163.com



欧阳继红 女, 1964 年生, 教授、博导. 研究方向: 知识工程与专家系统、空间推理和数据挖掘.
E-mail: ouyangjihong@yahoo.com.cn