异构定性空间推理

王生生[1,2],刘大有[1,2]
(1.吉林大学计算机科学与技术学院,吉林长春 130012; 2.吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室,吉林长春 130012)

摘　要: 现有定性空间推理研究主要解决单类对象、单种空间关系的定性约束满足问题.提出了异构定性空间推理概念,它包括不同种类空间关系结合(异构关系)、不同种类空间对象结合(异构对象)和定性定量对象融合三种情况下的空间关系约束满足问题.提出了三种以上异构关系的结合推理,此前工作以研究二元结合为主;给出了异构对象空间推理算法,此前工作仅研究表示模型;研究了定性定量对象融合的空间推理,该问题也可表达为部分解向全局解的扩展.上述研究结果可应用于环境智能和其他领域.

关键词: 定性空间推理; 多类空间关系结合; 多类空间对象结合; 定性定量对象融合
中图分类号: TP182　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 0372-2112 (2012) 01-0089-06
电子学报 URL: http://www.ejournal.org.cn　　**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.01.015

Heterogeneous Qualitative Spatial Reasoning

WANG Sheng-sheng[1,2], LIU Da-you[1,2]
(1. *College of computer science and technology*, *Jilin University*, *Changchun*, *Jilin* 130012, *China*;
2. *Key Laboratory of Symbolic Computing and Knowledge Engineering of Ministry of Education*, *Jilin University*, *Changchun*, *Jilin* 130012, *China*)

Abstract: Previous qualitative spatial reasoning (QSR) studies the qualitative constraints satisfaction problem for single relations on single kind of objects. Heterogeneous QSR is proposed, which includes the spatial reasoning for heterogeneous spatial objects, heterogeneous spatial relations and the fusion of qualitative and quantitative objects. The combination of more than three heterogeneous relations is studied, while the previous works focused on two relations. The reasoning algorithm for heterogeneous objects is given, while previous works only studied the representation models. The spatial reasoning which combines qualitative objects and quantitative objects is put forward. An alternative expression for this problem is the extension from a partial solution to a global solution. These results can be applied to Ambient Intelligence and other applications.

Key words: qualitative spatial reasoning; combining multi-types spatial relations; combining multi-types spatial objects; qualitative and quantitative spatial information fusion

1　引言

在空间信息处理研究中,定性空间信息越来越引起重视,定性空间推理(简称 QSR)已确立为知识表示的重要内容,是各应用领域的公共性核心问题之一[1].早期的 QSR 主要研究同一类空间对象的单一空间(或时态)关系的定性约束满足问题.近年来,随着空间信息技术的飞速发展,对异构空间信息的处理需求逐渐加强,这也对 QSR 提出了新的挑战.以环境智能(AmI)[2]应用为例:同一主体上可能设置多种传感器,若每类传感器采集一类空间关系信息(如拓扑、方向、距离),则需要多类空间关系结合;由于各传感器精度不同,还需要考虑定性和定量空间信息结合;由于主体具有多种类型,还需要考虑多类空间对象结合(如点状,圆形、矩形等).

在上述应用背景下,本文首次提出了异构 QSR 概念,它特指存在不同种类空间对象、不同种类空间关系,以及定性定量空间信息融合这三种情况下的空间关系约束满足问题.虽然上述三方面内容此前均有相关研究,但较为零散,且以解决理论问题为主.在此基础上,本文专门针对实际应用中对异构 QSR 的需求,开展了较为系统的研究.

2　相关工作

QSR 的主要内容是空间(时态)关系表示和定性约束满足问题(QCSP),代表性工作有区域连接演算 RCC[3]、n 交集[4]、区间代数(IA)[5],块代数[6],主方位[7]等.

多类定性空间关系约束结合推理是当今 QSR 的研究重点之一.Gerevini 等[8]研究了拓扑和尺寸的组合.李

收稿日期:2010-08-19;修回日期:2011-08-21
基金项目:国家自然科学基金(No.61133011);吉林大学科学前沿与交叉学科创新项目(No.200903178);种子基金

三江等[9,10]研究了方向和 RCC 拓扑关系的组合．Moratz 等[11]提出了距离和方向组合的模型．Wölfl 等[12]提出了松散组合和紧密组合两类理论，分别给出基本性质．Li 等[13]讨论了两个同类别空间关系约束网络组合后是否一致问题．上述工作多为针对两种特定关系模型的组合研究，在实际应用中真正需要的是能组合多种空间关系、更通用化的推理算法．

实际应用中可能涉及多类空间对象，建立多类对象的统一表示并不困难．例如将区域拓扑模型[4]和线拓扑模型[14]集成为线-区域拓扑模型[15]．但解决多类对象的定性约束满足推理问题难度就比较大了，该类问题还没有被系统地研究过．

异构系统可能需要融合定性和定量空间信息，这又分为两种情况：(1)定性、定量关系融合，此类问题已被研究过[8]；(2)定性、定量对象融合．以智能家居(SmartHome)为例说明：固定家具的几何信息是确知和固定的，称为定量对象；而活动家具、居民等的位置信息是通过定性关系表达的，比如通过振动腰带感知方向和距离，这种用定性关系描述的对象称为定性对象．在一个推理场景中，定性、定量对象可能会混合存在．此类问题对空间规划等其他应用也非常有意义，但此前从未被研究过，是一类新的约束求解问题．

3 预备知识

SD 是讨论问题所在的空间域，比如二维欧氏空间 R^2．OD 是对象域，如点、线、区域．

定义 1 二元空间关系模型 R 是一个映射：$(x,y)\in OD\times OD\rightarrow r\in R$，其中 OD 为空间域 SD 下的对象域，并且其基本关系集 BR 需满足：

(1)BR 是互斥完备(JEPD)的，即满足 $\bigcup\{r\mid r\in BR\}=OD\times OD$ 且 $\forall r_1,r_2\in BR, r_1\neq r_2\rightarrow r_1\cap r_2=\varnothing$．

(2)相等关系(x,x)必须在 BR 中．

(3)BR 对逆关系封闭．

RCC8 是一个二元空间关系模型，其基本关系为{DC(分离)，EC(外切)，PO(相交)，TPP(相切被包含)，TPPi(相切包含)，NTPP(非相切被包含)，NTPPi(非相切包含)，EQ(相等)}．RCC5 是比 RCC8 粗糙的模型，其基本关系为：{DR(=DC∪EC)，PO，PP(=TPP∪NTPP)，PPi(=TPPi∪NTPPi)，EQ}．

全关系集合中元素由基本关系的析取构成，整个全关系集合为基本关系的幂集．空间关系基本运算为交、并、补、逆和弱复合．

定义 2 给定两个空间关系 r,s，弱复合运算定义为：$r\circ s=\{t\mid \exists a\in OD, \exists b\in OD, \exists c\in OD: arb \text{ and } bsc \text{ and } atc\}$．

定义 3 QCSP(V,Θ)是一个定性约束满足问题，其中 V 是空间对象域 OD 内的有限对象变量集合，Θ 是基于二元空间关系模型 R 的约束．若存在 V 的模型(即实例化 V 中变量)满足 Θ，则 QCSP(V,Θ)是可满足的(或曰一致的)．

定义 3 要求 QCSP(V,Θ)全局一致，对于 IA、RCC5、RCC8 的基本关系 QCSP 可以用局部搜索算法(即代数封闭算法)判定全局一致．IA、RCC5、RCC8 等模型的全关系集合的 QCSP 是 NP 难的．

4 异构空间关系推理

异构空间关系推理讨论是否存在模型同时满足作用在同一组变量上的多个约束集，每个约束集基于不同的空间关系模型．现有工作多数是面向两个约束集结合，称为联合约束满足问题(JSP)．本文给出了结合三个以上约束集的约束满足问题定义和求解策略．

定义 4 给定对象域 OD 内一组变量 V 上的多个约束集 $\nabla_k(1\leqslant k\leqslant m)$，其中 ∇_k 是基于空间关系模型 R_k 的．这 m 个空间关系模型互不相同且均定义在 OD×OD 上．异构关系约束满足问题 MCSP$(V,\bigcup_{1\leqslant k\leqslant m}\nabla_k)$是可满足的(或曰一致的)当且仅当存在一个 V 的实例同时满足这 m 个约束集．

结合两个约束集的 JSP 是一般是至少 NP 难的，现有工作主要讨论在何种条件下可以用局部搜索算法 bipath-consistent[8]判定，本文将上述工作扩展到三个以上约束集结合．

定义 5 称 MCSP$(V,\bigcup_{1\leqslant k\leqslant m}\nabla_k)$是异构代数封闭的，当且仅当

(1)∇_k 是代数封闭的$(1\leqslant k\leqslant m)$，即独立约束集中任意三元组在弱复合运算下无矛盾；

(2)对于每对变量$(x_i,x_j)\in V$，满足 $\bigcap_{1\leqslant k\leqslant m}\sigma_{ij}^k\neq\varnothing$，这里 $x_i\sigma_{ij}^k x_j\in\nabla_k$，即作用在每对变量上的 k 组关系是可以同时存在的．

对 bipath-consistent 算法[8]稍作扩展，可以得到 MCSP 异构代数封闭的判定算法．下面给出三模型结合的一个具体实例：RCC5，定性尺寸 QS[8]和新提出的定性直径(QD)模型．二维对象的直径定义为其边界上两点的最大距离，用$\{<_D,=_D,>_D\}$表示对直径的比较．这三类空间约束可能在空间规划等应用中同时出现．不难给出此三类模型之间的依赖关系，即满足定义 5 条件(2)的基本关系三元组．

定理 1 Θ 是二维欧氏空间变量集合 V 上的基本 RCC5 约束集；▽是 V 上的定性尺寸 QS($\{<_S,=_S,>_S\}$)约束集；Ω 是 V 上的定性直径 QD($\{<_D,=_D,>_D\}$)约束集．异构关系约束满足问题 MCSP(V,Θ∪▽∪Ω)可满足当且仅当 MCSP(V,Θ∪▽∪Ω)是异构代数封闭的．

证明　“$\Rightarrow$” MCSP(V, Θ, ▽, Ω)可满足，其模型必然满足定义 5.

“$\Leftarrow$” 若 MCSP(V, Θ∪▽∪Ω)异构代数封闭，通过下面方法构造出满足 Θ, ▽, Ω 的 V 的实例.

(1)按照文献[16]方法构造满足 RCC5 约束 Θ 的正规模型，即建立一些带对象标签的、互不接触的、相等尺寸正方形块满足 Θ. 显然 JCSP(V, Θ, ▽)是 bipath-consistent 的，因此可以通过调节块的尺寸(仍保持正方形)，满足定性尺寸 QS. 这很容易做到，可以让先为每对象单独建立的块非常大，并按 QS 全序构造其大小，让为 PO 关系建立的块小到对面积排序无影响.

(2)从依赖函数可知，QD 和 QS 是独立的，可以通过下面的步骤满足 Ω.

(a)把所有块排成一横排，设其外包矩形的对角长度为 d.

(b)对每个对象 x，加一个细长条块，其标签同为 x 单独建立的块相同. 细长条的面积极小，不影响面积排序. 但高度极高，远大于 d，且排序按照 QD 全序. 由于 JCSP(V, ▽∪Ω)是 bipath-consistent 的，可以让新加的细长条，既不破坏 Θ 和▽约束，又满足了 Ω.

5　异构对象空间推理

QCSP 和前面介绍的 MCSP 都是只考虑单一对象域 OD，本节讨论多类对象的空间关系表示和推理问题，本文称之为异构对象空间推理，该类问题在 GIS、AmI 等领域有着重要意义.

定义 6　R 是对象域 OD 上的空间关系模型，若满足下列条件则称 R 是$\{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$上的多域空间关系模型：

(1)OD 可分为 m 个互斥完备的子域，即 $OD = OD_1 \cup OD_2 \cup \cdots \cup OD_m$ and $OD_i \cap OD_j = \varnothing\ (i \neq j)$.

(2)对任意的基本关系 $r \in R$, $\exists OD_i, OD_j \in \{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$, $r \subseteq OD_i \times OD_j$，即构造基本关系 r 的对象子域是确定且唯一的，由 $Domain(r) = (OD_i, OD_j)$表示.

定义 7　若满足$\cup\{r \mid \forall r \in R, Domain(r) = (OD_i, OD_j)\} = OD_i \times OD_j$，则称空间关系模型 R 在$(OD_i, OD_j)$上联合完备. 若对$\forall (OD_i, OD_j) \in \{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$ $(1 \leqslant i, j \leqslant m)$，R 在$(OD_i, OD_j)$上联合完备，则称 R 在$\{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$上联合完备.

定义 8　R 是对象域 $OD = \{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$上的多域空间关系模型，若其基本关系 BR 满足下列条件则称 R 为$\{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$上的异构对象空间关系模型：

(1)BR 中的关系是互斥的即 $r_1, r_2 \in BR$ and $r_1 \neq r_2 \rightarrow r_1 \cap r_2 = \varnothing$；

(2)BR 中的关系在$\{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$上是联合完备的；

(3)BR 中包含相等关系(x, x)；

(4)BR 对逆运算封闭；

(5)BR 上的弱复合运算满足：$r_1, r_2 \in BR$, $domain(r_1) = (OD_a, OD_b)$, $domain(r_2) = (OD_c, OD_d)$, $OD_b \neq OD_c \rightarrow r_1 \circ r_2 = \varnothing$.

定义 9　设 R 是$\{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$上的异构对象空间关系模型，若 R_1 是 ODS_1 上的异构空间关系模型，$ODS_1 \subset \{OD_1, OD_2, \cdots, OD_m\}$，则称 R_1 为 R 的子模型.

下面通过实例说明异构对象空间推理问题. 将 RCC5 的对象从区域扩展到点和线，称该异构空间关系模型为 MRCC5，此前研究过其表示模型[17]，未涉及推理问题. 空间域为 R^2，考虑三个对象域：有限点域 P、有限分段线域 L、有限区域域 P. 定义维度：dimension(P) = 0; dimension(L) = 1; dimension(R) = 2.

引理 1　x, y 为空间对象，若 dimension(x) < dimension(y)则 x 不能包含 y.

证明　显然有限点内不可能存在线，有限分段的线内不可能存在区域. 故定理成立.

不难验证，除引理 1 排斥的情况外，其余维度组合均能找到正例，由此可获得所有 MRCC5 基本关系. MRCC5 基本关系命名包括两部分，前面是两对象分别所属对象域，称为维度部分，后面是对应的 RCC5 关系，称为 RCC5 部分，如 LR-PO.

下面我们给出了构造 MRCC5 正规模型的算法，其思路同文献[16]类似，但为了能构造多种对象，算法构造的“块”包括三部分：正方形 B^2, B^2 的对角线 B^1, B^2 的中点 B^0.

```
Algorithm: BuildMRCC5(V, Θ)
    Input: 异构对象变量集 V 上的 MRCC5 基本关系约束网络 Θ, Θ 是代数封闭的
    Output: 在二维欧氏空间上一个满足 Θ 的 V 实例(模型)
合并所有具有{XX-EQ}关系的变量，其中 X = {P, L, R}；
for ∀ x∈V
    新建块 B，并将 B^dimension(x) 加'x'标签；
for ∀ x{XX-PO}y(i<j)
    新建块 B，并将 B^dimension(x) 加'x'标签，B^dimension(y) 加'y'标签；
for ∀ x{XX-PP}y or y{XX-PPi}x，
{    for ∀ B，B 的标签中存在'x'
        在 B^dimension(y) 中加入'y'标签；  }.
```

定理 2　MRCC5 的 QCSP 是可满足的当且仅当它是代数封闭的.

证明　“$\Rightarrow$”全局一致，必然局部一致.

“$\Leftarrow$”需要说明 BuildMRCC5 算法能构造出满足全局约束的模型.

MRCC5 可拆分为两部分，维度部分和 RCC5 部分. 由定义 8 条件(5)，维度部分不存在弧约束，在只考虑基

本关系的前提下，维度部分的顶点约束必然能满足.因此只考虑 RCC5 约束部分即可.考虑到算法 2、3 步建立的块，算法 4、5 步新建块对各类对象组合都能形成 **-PO关系.具有包含关系的对象维度必须满足定理 3.由于 $B^0 \subseteq B^1 \subseteq B^2$，算法 6～10 步对所有满足定理 3 条件的对象都能正确构造包含关系.由上面讨论可知，BuildMRCC5(V,Θ)构造的模型满足 Θ.

MRCC5 可以解决 GIS 等系统的异构对象定性查询问题，能弥补 RCC 只能处理单一对象域的缺陷.

6 定性定量对象融合空间推理

定性定量对象融合在 AmI 等应用中很有意义，但此前没有相关工作报道.从 QCSP 的角度看，该问题是讨论是否能从部分解扩展至全局解.

定义 10 V_1 是已实例化的的有限变量集合，V_2 是未实例化的有限变量集合，V_1 和 V_2 均在对象域 OD 上.Θ 是关于 $V_1 \cup V_2$ 和空间关系模型 R 的一致的约束集.对 $\forall x_1, x_2 \in V_1 \cup V_2$，Θ 中都包含它们的基本空间关系 $x_1 r x_2 (r \in R)$.定性定量对象融合空间推理问题 HQCSP(V_1，V_2，Θ)可满足，当且仅当 V_2 可实例化且满足 Θ.

部分模型的 HQCSP 是确定可满足的，以 IA[5]基本关系的约束网络为例.IA 基本关系就实数轴上两个线段的 13 种定性关系.根据 Θ 可以唯一确定所有区间所有端点的全序，即使有部分端点实例化，其他端点仍然是可构造的.块代数[6]能表达二维平面上的矩形之间的空间关系，块代数基本关系约束网络在两个轴上是独立的 IA 基本关系，因此它的 HQCSP 问题也是确定可满足的.块代数的概念还可以扩充至更高维空间，其基本关系网络的 HQCSP 问题也是确定可满足的.

下面我们给出 IA 的 HQCSP 构造算法，该算法可给出一种满足条件的模型.对于块代数或更高维扩展，可在各维度上分别应用该算法得到模型.

Algorithm：Build-HIA(V_1，V_2，Θ)

Input：V_1 中区间变量的两端点坐标已给出.Θ 是关于 V_1，V_2 的、全局一致的基本 IA 代数关系约束集.

Output：满足 HQCSP(V_1，V_2，Θ)的模型.

1. if not path-consistent(Θ) return false；//输入有误，定性约束网络不一致

2. 按照 Θ 中约束将 V_1，V_2 端点排全序，若结尾为 V_2 端点，则增加一个虚拟的 V_1 端点，其值为最末 V_1 端点值加 1；

3. for 从第 2 个起依次取 V_1 端点 x_i

4. { $t = x_{i-1}$；

5. $p = x_{i-1}$和 x_i 之间的 V_2 端点个数；

6. for 依次取 x_{i-1}和 x_i 之间的 V_2 端点 x_j

7. { $t = t + (x_i - x_{i-1})/(p+1)$；

8. $x_j = t$；}}

对于 RCC 等模型，很容易举例说明 HQCSP 不是确定可满足的.这是因为实例化对象可能带来全局约束.本文给出构造 RCC5 的 HQCSP 模型算法，该算法也可用于判定 HQCSP 是否可满足.

Algorithm：Build-HRCC5(V_1，V_2，Θ)

Input：Θ 是关于 V_1，V_2 的、全局一致的基本 RCC5 关系约束集.

Output：若 HQCSP(V_1，V_2，Θ)可满足，则返回它的一个模型；否则返回假.

1. if not path-consistent(Θ) return false；

2. M_1 = CRM-RCC5($V_1 \cup V_2$，Θ)；//关于 V_1、V_2 的正规模型

3. M_2 = DivideSpace(V_1)；//V_1 的模型

4. $M_3 = M_2$；//欲将 M_3 构造为 HQCSP 模型

5. for $\forall b \in M_1$//初始化 processed 标记

6. processed(b) = false；

7. for $\forall b \in M_1$，processed(b) = false

8. { $l_1 = b.l \cap V_1$；//取 b 标签的 V_1 分量，$b.l$ 为块 b 的标签

9. processed(b) = true；

10. if ($l_1 = \varnothing$) then // b 块与 V_1 无关

11. { 在 M_3 中新建块 b；

12. continue； }

13. if ($\exists bb \in M_2$，$bb.l = l_1$) then // M_2 中存在 l_1 标签块

14. { 将 M_3 的 bb 块分裂为两半，一半维持原标签，另一半标签为 $b.l$；

15. continue； }

16. if (若删除 b 块后，M_1 仍满足 Θ) then

17. {在 M_1 中删除 b 块；

18. continue； }

19. found = false；

20. for $\forall bb \in M_2$，$bb.l \cap V_1 \subset l_1$

21. { bn = 新建标签 $bb.l \cup (b.l \cap V_2)$块；

22. if((M_2/b)$\cup bn$ 满足 Θ} then

23. { $M_2 = (M_2/b) \cup bn$；

24. found = true；

25. processed(bn) = true；

26. 将 M_3 的 bb 块分裂为两半，一半维持原标签，另一半标签为 $bn.l$；

27. break； } }

28. if not found then return false；}

29. return M_3.

Function：DivideSpace(V)

Input：The variables in V are regions in 2D Euclidean space with geometric information.

Output：All the blocks (parts) of V with labels.

1 $M \leftarrow \varnothing$；

2 for $\forall x_i \in V$

3 { create m；$m.g \leftarrow$ the geometric object of x_i；$m.l \leftarrow \{x_i\}$；

4 add m to M；}

5 while $\exists (m_1, m_2) \in M \times M$ $(m_1 \neq m_2)$ hasn't been processed

6 { $u_1 \leftarrow m_1.g \cap m_2.g$；

7 if $u_1 = \varnothing$ then continue；

8 create w；$w.g \leftarrow u_1$；$w.l \leftarrow m_1.l \cup m_2.l$；

9 add w to M；

10 $u_2 \leftarrow m_1.g \cap (\neg m_2.g)$；

11 if $u_2 \neq \varnothing$ then update $m_1.g$ with u_2；

12 else delete m_1；

13 $u_3 \leftarrow (\neg m_1.g) \cap m_2.g$；

14 if $u_3 \neq \varnothing$ then update $m_2.g$ with u_3；

15 else delete m_2；}.

函数 DivideSpace(V_1)的作用是生成实例化变量 V_1 的模型,即根据区域对象的边界将空间划分为块,并加上块所属空间对象的标签.

算法 HQCSP-RCC5 的整体思路如下:首先构造针对 $V_1 \cup V_2$ 的正规模型 M_1,提取 V_1 的模型 M_2.而后,算法遍历 M_1 的每个块,判断是否能从 M_2 出发构造和 M_1 等价的模型.

定理 4 HQCSP(V_1,V_2,Θ)是可满足的当且仅当 HQCSP-RCC5(V_1,V_2,Θ)返回真.

证明 若 HQCSP-RCC5(V_1,V_2,Θ)返回真,通过前面的构造步骤不难看出,更新后的 M_1 仍然满足 Θ,而 M_3 是从 M_2 出发构造的,并且和更新后的 M_1 等价(块是一一对应的).则 HQCSP(V_1,V_2,Θ)是可满足的.

若 HQCSP-RCC5(V_1,V_2,Θ)返回假,下面将说明满足 HQCSP(V_1,V_2,Θ)的模型是不可构造的.算法返回假分两种情况,下面分别讨论.

首先,需要分析一下正规模型的原理.正规模型的每个块及其标签都是为满足特定的 RCC5 基本关系而设立的,也就是说是每个块的存在都是“必须”的.但正规模型却不是唯一的,也不是最简的.这是因为有的块能同时起到多个块的作用,具体说就是在有些情况下,一个块可以被标签是它超集的块代替.所谓“有些情况”而不是“任何情况”,是因为还要考虑所有块的整体情况.综上,$V_1 \cup V_2$ 的正规模型中的每个块 b,在 HQCSP(V_1,V_2,Θ)模型中都必须有标签为 b 标签超集(包括相等)的块.如果只考虑 V_1 分量,则对每个带 V_1 分量标签 l_1 的 b,V_1 的模型 M_2 上都必须有标签为 l_1 超集的块.若没有标签为 l_1 超集的块,则不进入算法 15 行的 for 循环,算法返回假.在这种情况下,因为 V_1 实例化后不能被修改,不可能构造出包含 l_1 标签的块,HQCSP(V_1,V_2,Θ)是不可满足的.

其次,从算法执行过程和前面分析可知,算法在对的变换 M_1 过程(删除、替换块)中,实行的是等价变换,也就是删除或替换后原块的功能仍是存在的,只是被其他块履行而已,也与各块处理的先后次序无关.算法在进入循环 15 行循环后返回假,表示当在当前 M_1 下,遍历标签为 l_1 超集的 M_2 中的块,发现不能构造满足条件的块(从 M_2 出发,能替代 b 且满足 Θ).由前面的讨论可知,在任何 M_1 的等价变换下,满足条件的块都是不能被构造的,则,HQCSP(V_1,V_2,Θ)是不可满足的.

7 结论

针对 AmI 等应用中对异构空间信息的需求,本文提出了异构 QSR 概念,在现有工作基础对其进行了较系统研究,获得初步结果.在异构关系方面,将原来的二元结合推广到多元结合;在异构对象方面,研究了异构对象定性约束满足推理问题;研究了定性定量对象融合空间推理,这是一类全新的约束问题,在 AmI、空间规划等领域具有应用背景.异构 QSR 的研究一方面有助于空间知识表示与推理的理论研究的完善与发展,另一方面也推进了以 GIS、AmI 为代表的空间信息技术应用研究.

参考文献

[1] Wang Shengsheng et al. An efficient method for calculating qualitative spatial relations[J]. Chinese Journal of Electronics, 2009, 18(1): 42 – 46.

[2] 曹媛媛,等.自然环境下日常动作的在线识别[J].电子学报,2009,37(4A):16 – 21.
Cao Yuan-yuan, et al. On-line recognition of actions in daily living[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4A): 16 – 21. (in Chinese)

[3] David A. Randell et al. A spatial logic based on regions and connection[A]. Proceedings of the Third International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning [C]. San Mateo: Morgan Kaufmann, 1992. 165 – 176.

[4] M Egenhofer, et al. Point-set topological spatial relations[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1991, 5(1): 161 – 174.

[5] J F Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals[J]. Communications of the ACM, 1983, 26(11): 832 – 843.

[6] Philippe Balbiani et al. Tractability results in the block algebra [J]. Journal of Logic and Computation 2002, 12(5): 885 – 909

[7] G Ligozat. Reasoning about cardinal directions[J]. Journal of Visual Languages and Computing, 1998, 9(1): 23 – 44.

[8] Alfonso Gerevini, Jochen Renz. Combining topological and size information for spatial reasoning[J]. Artificial Intelligence, 2002, 137(1 – 2): 1 – 42.

[9] Sanjiang Li. Combining topological and directional information for spatial reasoning[A]. Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Hyderabad: AAAI, 2007. 435 – 440.

[10] Weiming Liu, et al. Combining RCC-8 with qualitative direction calculi: Algorithms and complexity[A]. Proceedings of the 21th International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Pasadena: AAAI, 2009. 854 – 859.

[11] Reinhard Moratz, Marco Ragni. Qualitative spatial reasoning about relative point position[J]. Journal of visual languages and computing, 2008, 19(1): 75 – 98.

[12] Stefan Wölfl, Matthias Westphal. On combinations of binary qualitative constraint calculi[A]. Proceedings of the 21th International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Pasadena: AAAI, 2009. 967 – 972.

[13] J J Li, T Kowalski, J Renz, S Li. Combining binary constraint networks in qualitative reasoning[A]. Proceedings of the 18th European Conference on Artificial Intelligence[C]. Patras: IOS Press, 2008.515 – 519.

[14] K Nedas, M Egenhofer, D Wilmsen. Metric details of topological line-line relations[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2007, 21(1): 21 – 48.

[15] M Egenhofer, D Mark. Modeling conceptual neighborhoods of topological line-region relations[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(5): 555 – 565.

[16] Sanjiang Li. On topological consistency and realization[J]. Constraints, 2006, 11(1): 31 – 51.

[17] 王生生,等.混合维定性空间查询语言 MQS-SQL[J].电子学报,2002,30(12A):1995 – 1999.
Wang Sheng-sheng, et al. Multi-dimensional qualitative spatial query language MQS-SQL[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(12A): 1995 – 1999. (in Chinese)

作者简介

王生生 男,1974 年 8 月出生,吉林省长春人.博士、教授、博士生导师.主要研究领域为定性空间推理、地理信息系统、模式识别等.

E-mail: wss@jlu.edu.cn

刘大有 男,1942 年 7 月出生,河北乐亭人.教授、博士生导师.主要研究领域为知识工程与专家系统,时空推理,数据挖掘等.

E-mail: liudy@jlu.edu.cn