

CAUPS 系统中的时空推理机制与算法

蒋云良^{1),2)} 徐从富²⁾ 刘 勇²⁾ 庄越挺²⁾

¹⁾ (湖州师范学院信息与工程学院, 湖州 313000) ²⁾ (浙江大学计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

摘 要 动态城市规划方案仿真系统中的—一个重要问题就是抽象和提取仿真对象之间涉及到的空间和时间逻辑关系,并以此作为仿真过程的基本准则和规范动态推理演算。为了建立 CAUPS 系统中的时空推理机制,针对城市规划方案的动态仿真过程中需要应用到的基本准则和规范,在传统时空关系描述和推理规范的基础上定义出适用于面向城市规划动态仿真的时空关系。考虑到城市规划过程中存在的非刚体对象,提出面向城市辅助规划系统方案应用结果仿真的时间空间推理规范,该规范能够非常好的支持如植被、水域等非刚体对象,并给出一个适合多 Agent 系统采用的时间空间推理规范执行解决方案,包括时间推理规范算法和空间推理规范算法。面向城市规划的时间推理规范算法和空间推理规范算法已经被成功应用于 CAUPS 系统底层的多 Agent 交互关系调整中。

关键词 时空推理 多 Agent 系统 定性推理

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2009)07-1440-07

Temporal-spatial Reasoning Mechanism and Algorithms in CAUPS

JIANG Yun-liang^{1),2)}, XU Cong-fu²⁾, LIU Yong²⁾, ZHUANG Yue-ting²⁾

¹⁾ (School of Information & Engineering, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000)

²⁾ (College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The most important problem in the dynamic urban planning simulation system is abstracting and extracting the temporal-spatial logic relationships between those objects involving in the system, and then reasoning and computing the dynamic simulation process using those relationships. To establish the temporal-spatial reasoning system in CAUPS, the temporal-spatial reasoning rules for the simulation of computer aided urban planning system with specific planning are proposed aiming to provide the basic principles for these computer aided urban planning system. Those basic principles are established based on the traditional temporal-spatial logic relationships and they also concern the non-rigid objects in urban planning, so our approach could support the temporal-spatial reasoning between non-rigid objects such as plants and water. The resolution to execute these temporal-spatial reasoning principles in multiple-agent system is presented which includes two reasoning algorithms, the temporal reasoning executing algorithm and the spatial reasoning executing algorithm respectively. These two algorithms have been implemented in our core CAUPS system which uses these two algorithms to adjust the multiple agents relationships.

Keywords temporal-spatial reasoning, multiple-agent system, qualitative reasoning

基金项目: 国家自然科学基金项目(60872057, 60803053);浙江省自然科学基金项目(Z106335, Y1080212);浙江省科技计划项目(2008C21083);湖州市科技攻关项目(2008GG11)

收稿日期: 2008-08-13; **改回日期:** 2008-10-09

第一作者简介: 蒋云良(1967 ~),男。教授。2006 年于浙江大学获计算机科学与技术专业博士学位。主要研究方向为地理信息系统、智能 CAD 等。E-mail: jylys@zju.edu.cn

1 引言

CAUPS(computer aided urban planning system)^[1]是一个基于对象和 Agent 的计算机辅助城市规划系统,该系统采用实体 Agent 作为其运行的基本单元,通过 KQML(knowledge query and manipulation language)协调和同步多个规划中的对象 Agent^[2],达到对辅助规划设计方案应用后规划结果的定性仿真目的。在 CAUPS 系统中采用 KQML 的解析器作为多 Agent 系统的通讯和消息解析工具,然而仅仅这样还不够。基于 KQML 的通讯机制只能保证多个 Agent 之间可以实现可靠的具有丰富表达能力的消息通讯,还不能实现多 Agent 的高级特性,如 Agent 之间的推理、交互、自适应性等。

为实现多 Agent 之间的这些特性,就必须在 KQML 的通讯协议基础上给出一些高级的多 Agent 交互技术。由于 CAUPS 系统在很大程度上是一个多 Agent 系统,需要利用多 Agent 的通讯自主交互来实现对相应的规划世界的模拟,必须在动态系统运行时掌握 Agent 所处的时间和空间关系,如空间 Agent 之间的方向关系^[3-4]等,因而也相应地必须定义该模拟世界必须遵守的运行准则来规范 Agent 的行为,而此类规范包括 Agent 在空间和时间上的变化,以及与外部世界交互的基本准则,故在 CAUPS 系统中采用时空推理技术来描述规划中的准则规范,忽略被描述问题的次要因素,掌握其主要因素来简化对问题的描述。在此基础上将描述问题的传统定量方法转化成相应的定性模型,进行推理并给出定性解释。

在 CAUPS 中依据其在实际系统中的应用优先级别可以分为两类:分别是系统级的多 Agent 交互技术和应用级的多 Agent 技术。

系统级的多 Agent 交互技术是指那些在整个多 Agent 系统中最为核心、通用的交互技术,是维护所有的 Agent 都必须遵守基本 Agent 特性运行的相关技术;而应用级的多 Agent 交互技术是指维护那些建立在系统级 Agent 运行技术之上,面向特定应用方面的 Agent 所必须遵守的特性的相关技术。以操作系统为例,系统级的交互技术相当于操作系统的内核级别进程,而应用级的交互技术则相当于操作系统的应用级进程。在 CAUPS 中时空推理技术是部署在系统级的多 Agent 交互技术,而相应的多

Agent 的属性调整同步技术则是应用级的多 Agent 交互技术^[2]。

2 时空推理相关概念

作为人工智能的一种推理方法,定性推理(qualitative reasoning)是通过对(物理)系统的结构、行为、功能及它们之间的因果性关系进行研究,以探索人类常识(定性)推理机制为目的,从而有效地完成各项求解任务的一种跨领域的推理方法体系^[5]。

在 CAUPS 系统中通过定性推理理论中的几何空间定性推理^[6-7]过程来描述基于反馈的交互式动态 GIS 评价模型的工作原理^[8],通过对局部的结构和现象进行建模和规则描述来实现对系统行为状态变化的解释。

在对基于反馈的交互式动态 GIS 评价模型进行推理解释前,先给出如下的关于物理过程的基本假设^[9]:

(1)组织原则为物理进程,本体论在知识的组织上面起着重要作用,在人们进行物理系统推理时,物理进程非常直观,用它组织物理领域的理论是合理的。

(2)用顺序关系表达数值。重要的性质差别由此来体现。

(3)单一机制假设,物理进程被看作是产生变化的机制。任何变化必须解释为某些物理进程直接或者间接的影响。

(4)组合的定性数学。人们进行复杂系统推理时,使用部分信息进行组合。

(5)清晰地表示及关于模型化假设的推理。明确地表示某些特定的知识适用条件,并从领域理论中为特定的系统建模成为定性物理的中心任务。

此外在推理过程中用到的一些概念和标识符号有:

在空间逻辑上,给定一个二元关系 $C(x, y)$,其中 x, y 表示空间的两个区域,其基本的关系可以被划分为如下 8 类^[9]:

(1) $DC(x, y)$, 表示两区域不相接触;

(2) $EC(x, y)$, 表示两区域外部接触;

(3) $PO(x, y)$, 表示两区域部分覆盖;

(4) $=(x, y)$, 表示两区域完全相同;

(5) $TPP(x, y)$, 表示 x 是 y 的一个严格部分,并且 x, y 相切(内切);

(6) $NTPP(x, y)$, 表示 x 是 y 的一个严格部分, 但 x, y 不相接触 (包含而不相切);

(7) $TPP(x, y)^{-1}$, 表示 y 是 x 的一个严格部分, 并且 x, y 相切;

(8) $NTPP(x, y)^{-1}$, 表示 y 是 x 的一个严格部分, 但 x, y 不相接触。

定义 1^[9] 扰动 (perturbation) 如果 RCC 关系 R 与 R' 满足条件:

$\exists t (Holds - at (R(a, b), t) \wedge (\exists i (Holds - on (R'(a, b), i)) \wedge ((\inf(i) = t) \vee (\sup(i) = t))))$

即如果时刻 t 有状态 R 且有一个区间 i 开始或结束于 t 区间 i 上的状态为 R' , 此时 R 与 R' 互为扰动。

下面对景观规划中的一个实例采用几何空间定性推理的方法来分别说明传统的规划模型和新模型的工作原理过程。

在规划过程中经常涉及到的一个简单的问题, 如植物与水源之间的动态作用关系, 分别用 t 和 w 来描述, 于是根据上面给出的两种不同的规划模型, 分别有如下的标识。

传统 2 维规划模型中分别是 $W(i, t)$ (或简单标识为 W_t) 和 $W(i, w)$ (或简单标识为 W_w), 在动态 GIS 模型中分别是 $W'(i, t, I)$ (或简单标识为 W'_t) 和 $W'(i, w, I)$ (或简单标识为 W'_w)。其中 i 表示为考虑对象过程的时间区间, 在此实例中, 所有涉及的现象的时间区间均为相同的时间段。

此时考虑若要求植物在给定的观察区间内一直存活 (存在) 有如下的描述:

$$\forall i (Holds - on (W_t, i)) \rightarrow Holds - at (W_t, \inf(i)) \wedge Holds - at (W_t, \sup(i)) \quad (1)$$

这里 $Holds - on (W_t, i)$ 表示在区间 i 上存在状态 W_t , $Holds - on (W_t, t)$ 表示在时刻 t 上存在状态 W_t , $\inf(i)$ 表示区间 i 的开始时刻, $\sup(i)$ 表示区间 i 的结束时刻。

同样对应于水源也有如下的描述:

$$\forall i (Holds - on (W_w, i)) \rightarrow Holds - at (W_w, \inf(i)) \wedge Holds - at (W_w, \sup(i)) \quad (2)$$

在传统的模型中的设计思路是根据过程来描述现象, 为最大程度地使描述与现实世界一致, 需要非常细致地对过程中的每一物理现象进行建模和计算, 因而其复杂程度非常高, 需要大量的人工工作, 效率低下。

而在基于反馈的交互式动态 GIS 评价模型^[8]

中, 不是通过全局的过程模拟来实现状态的变化过程的模拟和预测, 该模型采用设定局部的扰动关系来实现对全局现象的模拟和展现。

一个典型实例如下, 根据植物与水源之间的关系 (假定是喜水植物) 有如下的正比例关系, 且植物高度可用如下的函数来计算:

$$\begin{aligned} H_{\sup(i)} &= H_{\inf(i)} + \Delta H \\ \Delta H &\propto (i, C(W_w, W_t)) \\ C(W_w, W_t) &\in \{ DC, EC, PO, =, TPP, NTPP, TPP^{-1}, \\ &\quad NTPP^{-1} \} \end{aligned} \quad (3)$$

即植物的生长是依赖于时间区间的变化、水源与植物之间的空间关系的。

此时若需考虑水源对植物的高度的相互影响作用结果, 在传统的规划设计模型中则需将此过程带入设计过程重新设计演算, 而不是通过制定一套完整的扰动行为来定义后续的相互影响关系。如对于植物落入水源范围内将需要引入如下的规则:

$$\begin{aligned} \text{若 } C(W_w, W_t) &= PO \text{ 则} \\ \Delta H &= -H_{\inf(i)} \ \&\& \\ \exists t, t \in [\inf(i), \sup(i)] &\rightarrow \neg (Holds - on (W_t, \\ (t, \sup(i))) \end{aligned}$$

即若植物位于水中, 则从 t 时刻起植物将死亡。

3 城市规划方案评估过程中的推理规范

由于城市规划本身作为一门学科也有着其特有的知识体系和构成, 因而其推理的过程中必须遵循的规范和过程也需要根据城市规划, 尤其是对规划中的方案评估流程 (即设计人员对规划过程中方案应用后的城市影响变化的推理过程) 做出相应的修订和更改。因此本节将从空间推理规范和时间推理规范这两方面各自给出符合城市规划要求的推理规范设计准则。

3.1 空间推理规范

空间推理规范给出推理过程中所有的对象在空间位置上必须遵循的规范。

由于空间推理规范主要针对推理过程中涉及对象的空间位置关系, 故可用前面定义的 8 类空间逻辑 $C(x, y) = \{ DC, EC, PO, =, TPP, NTPP, TPP^{-1}, NTPP^{-1} \}$ 来定义空间推理规范。

从文献[9]中可知, 对于城市规划中的运动物体 x, y , 在虚拟世界空间内运动有如下的推理规范:

1. 若 x, y 皆为形状不变的刚体, 则其空间逻辑关系变化仅仅限于下面 4 种变化:

$$(1) DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO \leftrightarrow =$$

$$(2) DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO \leftrightarrow TPP (TPP^{-1})$$

$$(3) DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO \leftrightarrow TPP (TPP^{-1}) \leftrightarrow NTPP (NTPP^{-1})$$

$$(4) DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO$$

2. 若 x, y 为形状会发生变化的非刚体, 则其空间逻辑关系推理规范如下:

(1) 设 x 保持静止既不移动也不变形, 且 $area(x) > area(y)$, 则若 $C(x, y)$ 存在如下任意一种的空间逻辑变化过程:

$$DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO \leftrightarrow =$$

$$DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO$$

$$DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO \leftrightarrow TPP$$

$$DC \leftrightarrow EC \leftrightarrow PO \leftrightarrow TPP (TPP^{-1}) \leftrightarrow NTPP (NTPP^{-1})$$

则可以判断 y 产生了扩张变形, 且变化后的 y 成为 $y' = enlarge(y)$ 。

(2) 设 y 保持静止既不移动也不变形, 且 $area(y) < area(x)$, 则若 $C(x, y)$ 存在如下的任意一种空间逻辑变化过程:

$$TPP \leftrightarrow PO \leftrightarrow EC \leftrightarrow DC$$

$$PO \leftrightarrow EC \leftrightarrow DC$$

$$NTPP \leftrightarrow TPP \leftrightarrow PO \leftrightarrow EC \leftrightarrow DC$$

则可以判断 x 产生了缩小变形, 且变化后的 x 成为 $x' = small(x)$ 。

在城市规划过程中常常会考虑到由于水土流失以及地表的变化后对地面上的人工建筑的作用和影响, 这种情况下, 地表的人工建筑都被看作保持形状不变的刚体来处理, 因此需要有对于刚体的空间推理关系的规范描述。而在另一种情况下, 如考虑地表的植物和水体的空间关系时, 却不能将植物和水体作为形状不变的刚体来处理, 植物和水体都是会随着时间等外在情况而产生变形, 因而需要针对这一类的对象给出其推理规范。

3.2 时间推理规范

同样在时间推理上面的虚拟时间必须满足一定的时间推理规范, 即要求虚拟世界的对象在时间维下需要满足的限制性条件, 分为刚体对象和非刚体对象分别给出其推理规范。

对于刚体对象时间推理上的规范比较容易给出, 仅需应用 Galton^[5] 的 6 条公理即可:

$$\text{公理 1 } Holds - on(C(a, b), i) \rightarrow V_{i=1}^n Holds - at(C_i(a, b), \sup(i))$$

$$\text{公理 2 } Holds - on(C(a, b), i) \rightarrow V_{i=1}^n Holds - at(C_i(a, b), \inf(i))$$

以上两条公理表明, 如果在时间 i 上有空间逻辑关系 C , 则在这一区间的起止时刻必然有一个 C 的扰动存在^[9]。

$$\text{公理 3 } Holds - at(C(a, b), t) \rightarrow \exists t' V_{i=1}^n Holds - on(C_i(a, b), (t, t'))$$

$$\text{公理 4 } Holds - at(C(a, b), t) \rightarrow \exists t' V_{i=1}^n Holds - on(C_i(a, b), (t', t))$$

公理 3 和 4 表明, 如果 t 时刻有关系 C , 则必存在 t'_1 与 t'_2 时刻, 使得 (t'_1, t) 和 (t, t'_2) 上分别有一个 C 的扰动存在^[9]。

$$\text{公理 5 } Holds - on(s, (t_1, t_2)) \wedge$$

$$\neg Holds - at(s, t_3) \wedge t_2 < t_3 \rightarrow$$

$$\exists t Holds - on(s, (t_1, t)) \wedge \forall t' (t < t' \rightarrow$$

$$\neg Holds - on(s, (t, t'))$$

$$\text{公理 6 } Holds - on(s, (t_2, t_3)) \wedge$$

$$\neg Holds - at(s, t_1) \wedge t_1 < t_2 \rightarrow$$

$$\exists t Holds - on(s, (t_1, t_2)) \wedge \forall t' (t < t' \rightarrow$$

$$\neg Holds - on(s, (t', t_2)))$$

公理 5 和 6 表明, 如果在区间 (t_1, t_2) 上面有状态 s , 而 t_3 时刻不再存在, 则在 (t_2, t_3) 或 (t_3, t_1) 上必有一个时刻 t 使得 s 状态发生突变^[9]。

对于非刚体的情况讨论则要复杂得多, 在给出非刚体的时间推理规范之前, 先给出如下定义:

定义 2 非刚体的时空逻辑关系 $NTC(x, y, i)$, 其中 x, y 表示两个区域(region), i 表示时间区间, 谓词 NTC 表示空间区域 x, y 经过时间区间 i 后的空间逻辑关系。

定义 3 操作 $C_{NTC(x, y, i)}^t$ 为取 t 时刻的空间区域 x, y 的空间逻辑关系, 这里 $t \in [\inf(i), \sup(i)]$ 。

通过上面的定义可给出空间区域(非刚体)的推理规则如下:

对于非刚体区域 x 在时空逻辑关系 $NTC(x, y, i)$ 作用下有 $C_{NTC(x, x, i)}^{\inf(i)}(x, x) = \{ = \}$:

(1) 若经过时间区间 i 后有 $C_{NTC(x, x, i)}^{\sup(i)}(x, x) \neq \{ = \}$, 则认为区域 x 在时间区间 i 内产生了变形。

(2) 若 $C_{NTC(x, x, i)}^{\sup(i)}(x, x) \in \{ TPP, NTPP \}$, 则 x 产生了缩小变形, 即 $x_{\sup(i)} = small(x_{\inf(i)})$ 。

(3) 若 $C_{NTC(x, x, i)}^{\sup(i)}(x, x) \in \{ TPP^{-1}, NTPP^{-1} \}$, 则

x 产生了扩张变形,即 $x_{\text{sup}(i)} = \text{enlarg}(x_{\text{inf}(i)})$ 。

4 CAUPS 内嵌时空推理算法

CAUPS 系统中多 Agent 的空间推理和时间推理部署实现原理如图 1 所示。

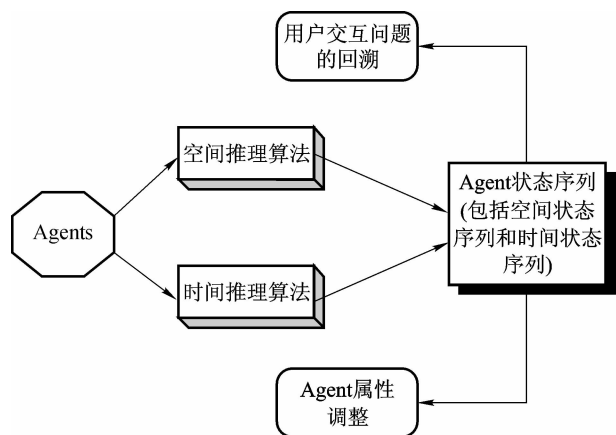


图 1 时空推理算法工作原理示意图

Fig. 1 Working principle of temporal-spatial reasoning algorithms

由于前述给出的空间推理规范是整个多 Agent (MA) 系统中所有的 Agent 都必须遵守的最为基本的行为规范,也是保证多 Agent 系统中的虚拟世界正常运行的基本公理,所以将这些规范的实现归为系统级的交互技术。

由于空间推理规范是建立在空间逻辑关系 $C(x, y)$ 之上的状态序列,而多 Agent 之间的空间位置关系也可用 8 类基本的空间逻辑关系予以表示,故可给出如下的多 Agent 空间推理算法:

设多 Agent 系统中的每一个 Agent 中都存储了一个 Agent 的状态转换序列 S ,该序列描述了 Agent 的行为状态的转换顺序关系,这些关系必须考虑到当前系统的运行要求且需满足约束性规范。

于是可给出如下的多 Agent 空间推理算法。

算法 1 多 Agent 空间推理算法

对于多 Agent 系统中的每一个 Agent,MA 有如下操作:

第 1 步 取出 MA 的当前状态转换序列 S 。

第 2 步 运行 MA 当前时刻的操作,若 MA 为刚体则转第 3 步,否则运行 MA 变形操作。

第 3 步 检查序列 S 中最末端时刻的状态 S_e 集合,记为 $\{S_e(MA_1, MA), S_e(MA_2, MA), \dots,$

$S_e(MA_i, MA)\}$,其所关联的 Agent 记为 $MA_1, MA_2, \dots, MA_i$ 。

第 4 步 对 $MA_1, MA_2, \dots, MA_i$ 中每一个关联的 Agent 计算其空间逻辑关系,记为 $C(MA_1, MA), C(MA_2, MA), \dots, C(MA_i, MA)$ 。

第 5 步 根据当前的空间逻辑关系 $C(MA_i, MA)$,在空间规范库中匹配规范,预测生成其下一时刻的对应状态。

第 6 步 若在空间规范库中匹配规范不止一个,即可能的下一时刻的状态不唯一,则转第 7 步,否则转第 8 步。

第 7 步 若存在不唯一匹配,对不唯一的规范匹配,逆序取出对应 S 序列中的状态 $S_e(MA_i, MA)$ 构成 $[S_e(MA_i, MA), C(MA_i, MA)]$,对此序列重新查找规范库是否有唯一相匹配序列。

第 8 步 将从规范预测生成的空间逻辑关系 $\{N(MA_1, MA), N(MA_2, MA), \dots, N(MA_i, MA)\}$ 加入到 MA 的序列 S 末端。

上面给出的空间推理算法是运行在多 Agent 系统的最内核层,故空间推理规范是所有 Agent 都必须遵守的。上面的算法不仅能支持对刚体的空间推理过程,也能支持非刚体的空间推理。算法第 2 步有一个等待 Agent 自我操作的步骤,若此时 Agent 为非刚体,其空间体积发生变形,对应的后续空间逻辑关系也会变化,而后面的推理过程则与刚体的推理过程没有区别,因而可以共用。

此外,状态序列 S 是以时刻为单位进行序列存储的,其末端的状态存储的是最后时刻 Agent 与其所有的构成空间逻辑关系的 Agent 对象的关系,而其相邻的 Agent 可能有多个,因而此末状态 S_e 是多个空间逻辑关系的集合,其所包含的空间逻辑关系数等于最后时刻所有与 Agent 构成关系的其他 Agent 的数目。

维护这样一个状态序列 S 的益处是非常显而易见的。首先采用状态序列 S 加空间推理算法的技术,可实现空间推理规范的动态调整功能,即空间规范不是固定在多 Agent 系统中,而可由外部随时配置和修改,大大增强了多 Agent 系统的灵活性;其次 Agent 的空间状态关系序列可非常清晰地记录每一个 Agent 的空间位置轨迹,为后续的建立在 GIS 系统上的高级功能提供足够的空间拓扑分析能力;最后,记录完整的空间逻辑关系转换状态有利于分析和调试多 Agent 系统,准确地实现 Agent 定位,即

通过其他 Agent 与当前 Agent 的空间逻辑关系快速准确地定位当前的 Agent。

在给出 Agent 执行的 S 状态序列之后,就可通过时间推理算法进行逆向推理出造成状态转换的原因和过程,该过程类似于文献[10]中的推理过程,即从广义上可推理出造成虚拟世界产生变换的因素从而可给出对应的反馈。为记录下所有造成 Agent 状态发生变换的因素序列,本文定义了一个事件序列 $F(S_i, f_i)$,该序列记录每一个 Agent 的 S_i 状态下所可能出现的事件 f_i (如扰动,变形等)。多 Agent 系统的时间推理算法就是用来生成此 $F(S_i, f_i)$ 序列的。

算法2 多 Agent 系统的时间推理算法

对于多 Agent 系统中的每一个 Agent, MA 有如下操作:

第1步 初始化 MA 的事件序列 $F(S_i, f_i)$ 为空。

第2步 取出 Agent MA 的状态序列 S 。

第3步 对任意连续两个时刻的 MA 的状态 S_i 和 S_j , 这里 S_i 是 S_j 的前一时刻的状态,且 $S_i, S_j \in S$ 。有如下操作:

第4步 对 S_i 中的空间关系涉及到的每一个 Agent MA, 在 S_j 中查找其对应的后续状态, MA 在 S_i 中的空间逻辑关系记为 C , MA 在 S_j 中的空间逻辑关系记为 N 。

第5步 分析 MA 分别在 S_i 和 S_j 中的空间逻辑关系 C 和 N , 从时间推理规范中取出推理规则,若有匹配的规则,则生成对应规则的动作,记为 $f_i(C, N)$, 这里 $f_i(C, N)$ 表示从空间逻辑关系 C 到 N 中间产生了动作 f_i 。

第6步 将 $(S_i, f_i(C, N))$ 加入到 F 序列中。

上述算法既适用于刚体的推理规范也适用于非刚体的推理规范。在第4步中需取出时间推理规范库中的规则,逐一地进行匹配,比较当前的状态转换是否有符合的时间推理规则,这样可得出造成该状态变换的因素,然后把此因素记录下来保存在序列 F 中,便于多 Agent 系统分析状态变换过程,得出反馈。

与空间图例规范一样,时间推理算法也是运行在多 Agent 系统的最内核层,故时间推理规范也是所有 Agent 都必须遵守的。在 Agent 运行过程中由于存在大量的状态和属性的变化情况,在变化过程中仅仅记录了多 Agent 的属性从一个状态转换到另

一个状态这一客观情况,而无法记录下造成此状态迁移或变换的原因,因此就需通过一定的推理分析来解决这一问题,即通过时间推理算法模拟人类分析问题的过程从而从状态的转换中推断出可能发生的事件。

5 结 论

在时态逻辑下的空间推理机制和规范的研究是定性推理的一个重要研究内容。本文探讨了辅助城市规划系统中进行定性仿真所采用的时间和空间推理规范和机制,给出了一个可通用的多 Agent 的时间空间推理规范执行算法,并且在 CAUPS 系统中实现了时空逻辑上共同协作的多 Agent 系统,用于对辅助规划设计方案进行评估和反馈。下一步将深入研究时空逻辑推理中多时间参照系下的时间表示以及反映多时间因素以及动态特性的空间时态推理机制。

致 谢 美国哈佛大学城市与景观设计院的夏建统博士为本系统的设计、实现和实际应用提供了一些富有启发性的思路,并提供了部分国外文献资料,在此表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

- 1 Jiang Yun-liang, Zhuang Yue-ting, Xu Cong-fu, *et al.* CAUPS: An object and agent based computer aided urban planning system [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(12): 1560-1566. [蒋云良, 庄越挺, 徐从富等. CAUPS: 基于对象和 Agent 的机助城市规划系统[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(12): 1560-1566.]
- 2 Jiang Yun-liang, Zhuang Yue-ting, Xu Cong-fu, *et al.* Attribute adjustment strategies of entity agents in a computer aided urban planning system [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2006, 19(3): 318-324. [蒋云良, 庄越挺, 徐从富等. CAUPS 系统中的实体 Agent 属性调整策略[J]. 模式识别与人工智能, 2006, 19(3): 318-324.]
- 3 Galton A. Towards an integrated logic of space, time and motion [A]. In: Proceedings of 1993 International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93) [C], Chambray: Morgan Kaufmann Publishers, 1993: 1550-1555.
- 4 Wu Jing, Cheng Peng-gen, Chen Fei, *et al.* Qualitative reasoning for direction relation of spatial objects [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2006, 35(2): 160-165. [吴静, 程朋根, 陈斐等. 空间目标的方向关系定性推理[J]. 测绘学报, 2006, 35(2): 160-165.]
- 5 Shi Chun-yi, Liao Shi-zhong. Qualitative Reasoning Approach [M].

Beijing: Tsinghua University Press, 2002. [石纯一, 廖士中. 定性推理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.]

6 Shi Wen-zhong. Uncertainty Principle of Space Data and Space Analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. [史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.]

7 Bitter T. Reasoning about qualitative spatio-temporal relations at multiple levels of granularity [A]. In: Proceedings of 5th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'2002) [C], Amsterdam: IOS Press, 2002: 317-321.

8 Jiang Yun-liang, Xu Cong-fu, Liu Yong, *et al.* Feedback based interactive dynamic GIS model for landscape evaluation [J]. Journal

of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2007, **19**(4): 486-490. [蒋云良, 徐从富, 刘勇等. 基于反馈的交互式动态GIS景观评价模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, **19**(4): 486-490.]

9 Shi Zhong-zhi. Advanced Artificial Intelligence(Second Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2006. [史忠植. 高级人工智能(第2版)[M]. 北京: 科学出版社, 2006.]

10 Mahat Khelfallah, Belaid Benhamou. Geographic information revision based on constraints [A]. In: Proceedings of 16th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'2004), Including Prestigious Applicants of Intelligent Systems (PAIS 2004) [C], Valencia, Spain, 2004: 828-832.