

# 面向地图多要素协同综合的多 Agent 交互机制

李国辉<sup>1,2</sup>, 龙 毅<sup>1,2</sup>, 周 侗<sup>1,2,4</sup>, 许文帅<sup>1,2</sup>, 李雯静<sup>3</sup>, 陈 林<sup>1,2</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

(3. 武汉科技大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081)

(4. 南通大学地理科学学院, 江苏 南通 226007)

[摘要] 面向多 Agent 技术应用于地图制图综合行为过程的研究, 考虑不同类型 Agent 的任务和通信能力的不同, 结合综合过程中的协同及冲突处理机制, 基于 FIPA 的交互协议, 提出了各类型 Agent 之间的 7 种交互机制, 并在此基础上以道路与居民地双要素协同综合为例详细分析了交互机制在任务协同和冲突处理过程中的应用。

[关键词] 协同综合, 多要素, 多 Agent, 交互

[中图分类号] P283 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2014)02-0061-07

## Negotiation Mechanism of Multi-agent for Cooperative Generalization of Multi-feature

Li Guohui<sup>1,2</sup>, Long Yi<sup>1,2</sup>, Zhou Tong<sup>1,2,4</sup>, Xu Wenshuai<sup>1,2</sup>, Li Wenjing<sup>3</sup>, Chen Lin<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(3. College of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

(4. School of Geographic Science, Nantong University, Nantong 226007, China)

**Abstract:** This paper presents seven negotiation mechanisms which extend and improve FIPA interaction proposal for the multi agent of cooperative generalization. For the differences of tasks, each agent can start different negotiation mechanisms. All these negotiation mechanisms are named as: Inform, Request, RequestWhen, Query, Propose, Subscribe and ContractNet. By discussing the properties of these mechanisms, this article presents the scope of the negotiation mechanism in multi-feature cooperative generalization. In addition, the paper gives a detailed analysis of the cooperative processes and conflict dealing processes based on roads and settlements cooperative generalization.

**Key words:** cooperative generalization, multi-feature, multi-agent, negotiation

地图中很多要素(例如道路与居民地、等高线与河流)在结构形态、空间分布、语义特征等多方面相互联系, 制图综合必须顾及它们的角色与约束, 保持要素之间的关联特征<sup>[1]</sup>. 从人工智能领域发展而来的多 Agent 技术以其自治性、通信性和对环境的识别能力, 为研究多要素协同综合的发生过程、解决协同综合的自动控制提供了基于知识规则与自动处理的新方法。

传统的基于多 Agent 的地图综合研究主要集中在框架模型建立<sup>[2-4]</sup>、冲突移位处理<sup>[5]</sup>和关系约束保持<sup>[6]</sup>等方面, 这在一定程度上提高了地图综合的智能化水平, 但是其研究只考虑单一要素的空间关系或只间接考虑多要素之间空间关系, 缺乏从全局空间关系约束下的协同综合角度出发. 为实现综合过程的自适应协调, 不同 Agent 之间必须进行交互<sup>[7]</sup>. Baeijs 借鉴静电的吸引力和排斥力的思想将综合 Agent 之间的交互分为建设性和保守性两种类型<sup>[8]</sup>; Duchêne 则从被动和主动的角度将其分成感知和对话两种类型<sup>[9,10]</sup>. 这些交互方法在其研究中起到了重要的作用, 但划分方法相对简单, 在具体应用于不同要素协同

收稿日期: 2014-01-17.

基金项目: 国家自然科学基金(41171350、41271449、41301514)、教育部高等学校博士点专项科研基金(20103207110012)、江苏省高校自然科学基金研究项目(13KJB170020).

通讯联系人: 龙毅, 博士, 教授, 研究方向: 地图自动综合和电子地图理论、技术与应用. E-mail: longyi@njnu.edu.cn

综合时仍需要进一步探讨. 由于不同的综合 Agent 承担的任务不同, 在进行地图综合的过程中, 其所能发起通信的能力和类型也有所区别. 本文结合 FIPA 提出的交互协议<sup>[7]</sup>, 综合考虑地图综合过程中 Agent 的复杂性和多样性, 将多要素协同综合过程中的交互机制分成 7 种类型, 并在此基础上从任务协同和冲突处理两个方面详细说明协同综合交互过程.

## 1 多 Agent 角色分类

从数据和行为分解的角度将综合 Agent 分成综合对象 Agent 和关系 Agent, 其中综合对象 Agent 划分为要素 Agent、目标 Agent 和群组 Agent 三类<sup>[11]</sup>. 图 1 所示为多要素协同综合 Agent 分类角色图, 其中综合 Agent 和综合对象 Agent 是抽象类型, 其他四类是具体类型:

(1) 要素 Agent (Feature Agent, FA): 一个 FA 包含一种类型的地图要素, 从宏观层面上负责地图要素选取、合并等综合操作, 维护内部的多个目标 Agent 的索引和通信;

(2) 目标 Agent (Object Agent, OA): 一个 OA 包含一个地图目标, 从微观层面上负责一个地图目标的化简、删除等综合操作. 能够与其他目标 Agent 组成协作群组, 并在群组 Agent 的监管下通过协商解决 2 个或多个目标相互制约下的综合任务;

(3) 群组 Agent (Group Agent, GA): 包含具有临近关系、关联关系的多个 OA 的索引, 是在综合过程中动态形成的, 从中观层面上负责对存在冲突的 OA 之间进行协商处理;

(4) 关系 Agent (Relation Agent, RA): 包含地图数据的空间、语义关系信息, 为各个综合对象 Agent 提供关系构建、存储、查询和冲突检测等服务.

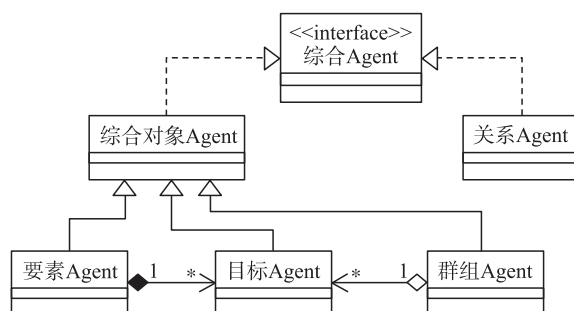


图1 综合 Agent 角色分类

Fig.1 Roles of generalization agent

## 2 综合 Agent 的交互

### 2.1 交互的一般过程

多要素协同综合主要包括关系一致性保持和冲突处理两个方面. 其交互过程如图 2 所示, 各类具体 Agent 创建完毕后, RA 构建其协同关系, 并在该协同关系的基础上依次执行冲突处理操作和任务协同操作. 在冲突处理过程中, RA 首先向 FA 订购要素目标, 并创建 GA, 而后 GA 根据冲突的具体类型进行协商解决, 冲突解决后 GA 被销毁, 空间关系也重新构建. 若需要执行任务协同操作, 则根据要素的协同关系依

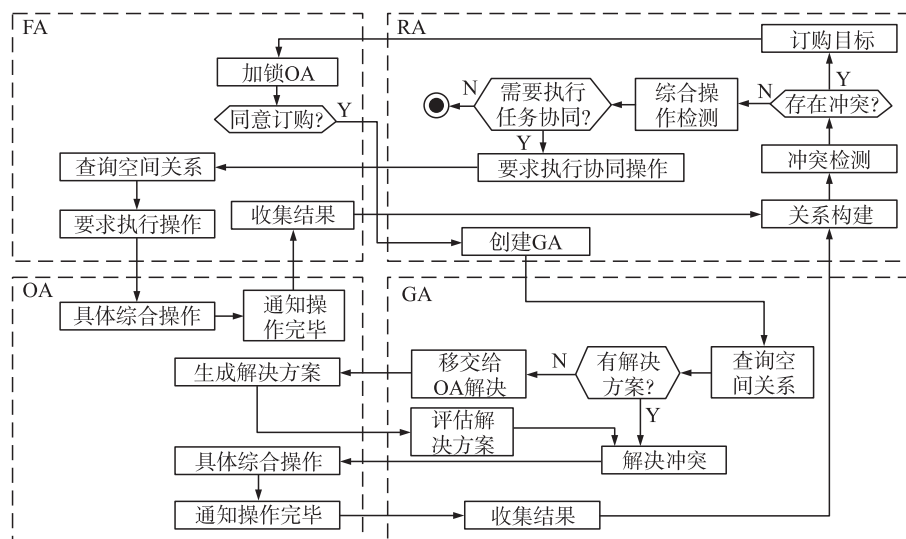


图2 协同综合过程中 Agent 的交互过程

Fig.2 Interaction process of cooperative generalization

次执行. 某一协同任务执行结束后, 空间关系也将重新构建.

## 2.2 交互机制的形式描述

FIPA 指明了一套标准的交互协议, 可以作为构建 Agent 交互的标准模板. 该模板定义了 11 种交互协议, 包括中介交互协议、拍卖交互协议等, 但该模板只是宽泛的协议, 在多要素协同综合领域中还需进一步的筛选和修改. 本文借助 FIPA 的这套标准, 根据各综合 Agent 具有的能力和承担的任务, 将综合 Agent 的交互机制划分成 7 种类型, 分别为: Inform、Request、RequestWhen、Query、Propose、Subscribe、ContractNet, 其中 Inform 的交互过程最为简单, ContractNet 的交互过程最为复杂. 交互机制必须建立在消息类型 (Message Type) 的基础上, 多要素协同综合 Agent 中的消息类型包括: cfp (call for proposal)、agree、refuse、cancel、failure、inform、propose、query、request、requestWhen、subscribe.

图 3 以时序图的形式展示了 ContractNet 交互机制的通信方式, 而为了方便对交互机制进行统一描述, 本文选用 BNF 范式进行表示, 表 1 为用 BNF 范式表示的交互机制, 相应地表 2 详细描述了各交互机制的形式化描述方式 ( $\alpha$  为消息发送 Agent,  $\beta$  为消息接收 Agent).

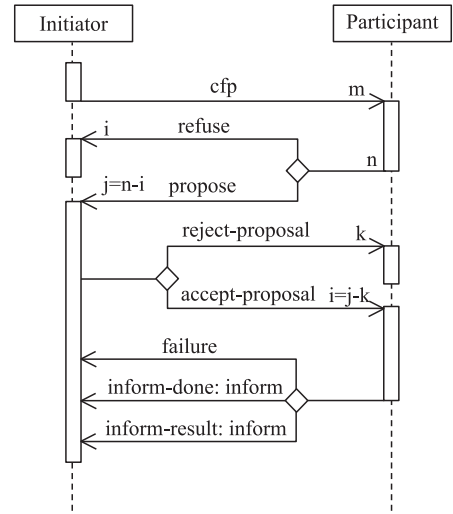


图 3 ContractNet 交互的时序图<sup>[7]</sup>

Fig. 3 Sequence diagram of contractNet<sup>[7]</sup>

表 1 BNF 范式表示的交互机制

Table 1 Negotiation mechanism represented by BNF

<交互机制>::=<发送者[→接收者], 类型[<响应>]>  
 类型::= cfp | agree | refuse | cancel | failure...  
 响应::=<交互机制>

表 2 交互机制类型划分及其形式化描述

Table 2 Classification and explanation of negotiation mechanism

交互机制	形式化表示及其描述
Inform	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{inform} \rangle$ $\alpha$ 向 $\beta$ 发送一则无需应答的信息. 这是最简单的交互协议
Request	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{request} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{refuse}   \text{agree} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{failure}   \text{inform} \rangle \rangle \rangle$ $\alpha$ 要求 $\beta$ 执行某些行为, $\beta$ 可以选择执行或者拒绝执行
RequestWhen	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{requestWhen} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{refuse}   \text{agree} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{failure}   \text{inform} \rangle \rangle \rangle$ $\alpha$ 要求 $\beta$ 在某一条件为真的时候执行一些行为, $\beta$ 可以选择执行或者拒绝执行
Query	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{query} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{refuse}   \text{agree} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{failure}   \text{inform}; t/f   \text{inform}; \text{result} \rangle \rangle \rangle$ $\alpha$ 向 $\beta$ 查询某命题是否为真, 或者查询某对象, $\beta$ 可以选择拒绝其查询行为
Propose	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{propose} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{agree}   \text{refuse} \rangle \rangle$ $\alpha$ 需要执行某些动作, 需要征得 $\beta$ 的同意, $\beta$ 可以选择同意或者不同意
Subscribe	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{subscribe} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{refuse}   \text{agree} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{failure}   \text{inform} \rangle \rangle \rangle$ $\alpha$ 向 $\beta$ 发起订购请求, $\beta$ 根据订购内容可以选择同意或者不同意其订购
ContractNet	$\langle \alpha \rightarrow \beta, \text{cfp} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{refuse}   \text{propose} \langle \alpha \rightarrow \beta, \text{refuse}   \text{agree} \langle \beta \rightarrow \alpha, \text{failure}   \text{inform} \rangle \rangle \rangle \rangle$ $\alpha$ 发送消息给 $\beta$ 进行招标, $\beta$ 可以选择提供或者不提供解决方案. 若 $\beta$ 选择提供, $\alpha$ 也可以拒绝该方案

## 2.3 交互的应用模式

结合前文提到的 4 类具体的综合 Agent 所承担的任务, 对各个综合 Agent 所能发起的交互机制进行详细的描述, 如表 3 所示. 为方便统一描述, 将 Agent 之间的信息传递格式定义为:  $A \rightarrow^m B$ , 其中  $A$  是发送者,  $B$  是接收者,  $m$  是信息内容.

表 3 综合 Agent 的交互机制形式描述  
Table 3 Description of negotiation mechanism in generalization agent

发起者	形式	描述
FA	FA $\xrightarrow{\text{Inform}}$ FA	主控要素 FA 完成某操作后发送消息通知被控要素 FA,以便被控要素 FA 执行相应的操作.
	FA $\xrightarrow{\text{Request}}$ OA	FA 要求自己的 OA 执行某些操作(例如化简),这类操作由 FA 负责统领,而具体的执行算子则由 OA 自己决定. OA 可以选择拒绝执行该操作.
	FA $\xrightarrow{\text{Query}}$ RA	FA 向 RA 查询其空间关系. 若 FA 无权知道该空间关系,RA 可以选择拒绝该 FA 的查询操作.
OA	OA $\xrightarrow{\text{Query}}$ RA	OA 在执行协同任务前,需要知道该地理目标的空间关系,于是向 RA 查询. 若 OA 无权知道该空间关系,RA 可以选择拒绝该 OA 的查询操作.
	OA $\xrightarrow{\text{Propose}}$ RA	OA 在冲突处理过程中向 RA 发送提案,RA 对提案进行判断,若该方案不符合规则,则拒绝该 OA,反之则允许. 这有效地避免了冲突的无限转移和死循环.
GA	GA $\xrightarrow{\text{Request}}$ OA	GA 要求其包含的 OA 执行相关具体操作以解决冲突. 理论上 OA 有权拒绝 GA 的要求,但此处 OA 无权拒绝.
	GA $\xrightarrow{\text{Query}}$ RA	GA 向 RA 查询当前待处理的冲突的具体信息,包括冲突类型、坐标位置、关联的目标等,以便决定该用什么冲突处理机制.
	GA $\xrightarrow{\text{ContractNet}}$ OA	当 GA 没有足够知识解决该冲突,则向其 OA 发布招标消息,继而每个 OA 都可以发出一个提案,GA 评估这些解决方案,选择其中一个或多个执行,也可全部拒绝.
RA	RA $\xrightarrow{\text{Request}}$ FA	RA 要求 FA 执行某些操作,该 FA 通常是主控要素,执行该操作没有前提条件. FA 可以选择执行或拒绝执行该操作.
	RA $\xrightarrow{\text{Request When}}$ FA	RA 要求 FA 在某条件满足时执行某些操作,该 FA 通常是被控要素,其操作必须等待主控要素的操作完成才能进行. FA 可以选择执行或拒绝执行该操作.
	RA $\xrightarrow{\text{Subscribe}}$ FA	当 RA 探测到冲突并需要创建 GA 的时候,就会向 FA 发送订购请求,若待订购的 OA 已经被订购,FA 就会拒绝其订购请求.

3 交互机制在综合 Agent 中的应用

本文以下以道路与居民地双要素协同综合为例探讨交互机制在任务协同过程和冲突处理过程中的应用.

3.1 综合任务协同

不同要素之间执行任务协同的过程就是要素之间相互作用与相互制约的过程,虽然任务协同的不同阶段的内容不同,但都是要素的主动与被动和操作的影响和依赖的关系,所以交互机制相同,其详细过程描述如下:

(1) 发送综合指令. RA 探测到需要执行任务协同时,向 FA 发送操作指令. 若该操作需要前提条件,则利用 RequestWhen 交互机制,并将其前提条件作为指令的一部分发送给 FA;若不需要前提条件,则利用 Request 交互机制. 如图 4 中①所示的 RA 同时发送两条综合指令给道路 FA 和居民地 FA 分别进行选取和合并就属于这一过程;

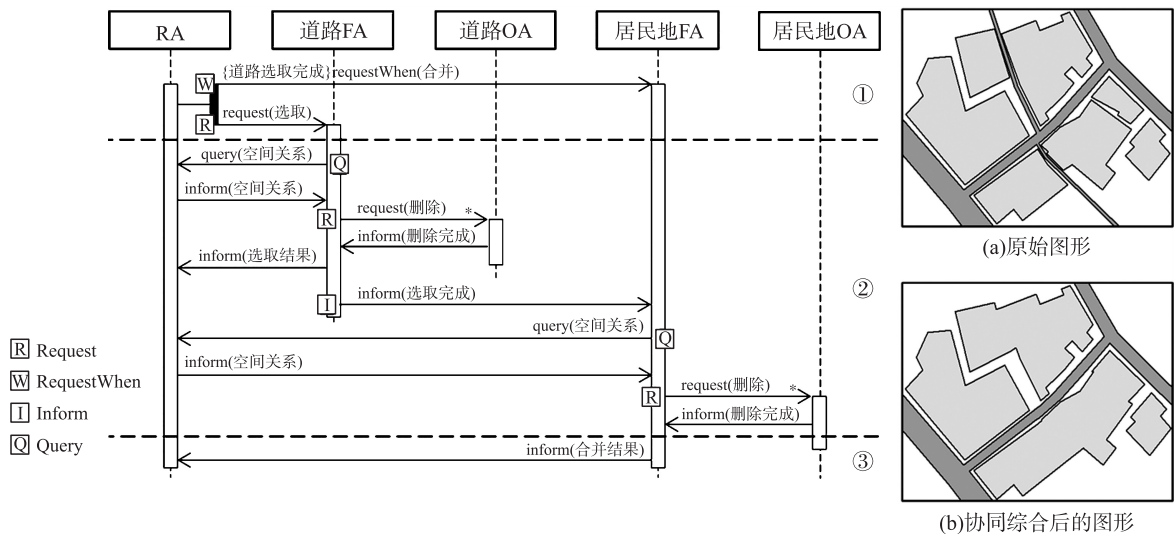


图 4 任务协同过程的示意图  
Fig. 4 Diagram of cooperative processes



(2)执行综合操作. FA 在接收到指令后,利用 Query 交互机制向 RA 查询空间关系,并根据该空间关系执行具体的操作任务.若该指令有前提条件,则 FA 进入阻塞状态直到其前提条件满足.主控 FA 在完成综合操作后利用 Inform 交互机制向被控 FA 发送消息,被控要素在接收到消息后查询条件是否满足,若满足则开始执行综合操作.如图 4 中②所示的道路 FA 和居民地 FA 在查询到空间关系后分别执行删除道路 OA 和删除居民地 OA 的操作就属于这一过程;

(3)操作完成.在协同任务执行完毕后,RA 重新建立空间关系并执行新一轮的探测.如图 4 中③所示的道路 FA 和居民地 FA 向 RA 发送删除结果的操作就属于这一过程.

### 3.2 空间冲突处理

RA 探测到目标之间存在空间冲突时,创建 GA 进行协商处理.若探测到同时存在多个冲突,RA 可以同时创建多个 GA 并行处理,这在提高效率的同时也带来了地理目标的同步保持问题.为了防止地理目标由于并行操作产生不一致性,RA 在创建 GA 之前必须向 OA 的上层 FA 申请获取操作权限,FA 在授权之前必须对 OA 进行加锁,加了锁的 OA 在 GA 没有解锁之前不能再被其他 GA 加锁.

(1)GA 的创建. RA 在创建 GA 之前首先利用 Subscribe 交互机制向 FA 订购 OA,若该 OA 已经被其他 GA 封锁,则拒绝该订购请求.待订购的 OA 全部成功订购,RA 执行创建 GA 操作.如图 5 中①所示的 RA 向 FA 发起订购请求并创建 GA 就属于这一过程(图 5 共展示了 3 个冲突处理的过程);

(2)冲突解决方案的生成. GA 被成功创建后,利用 Query 交互机制向 RA 查询冲突的具体信息,并尝

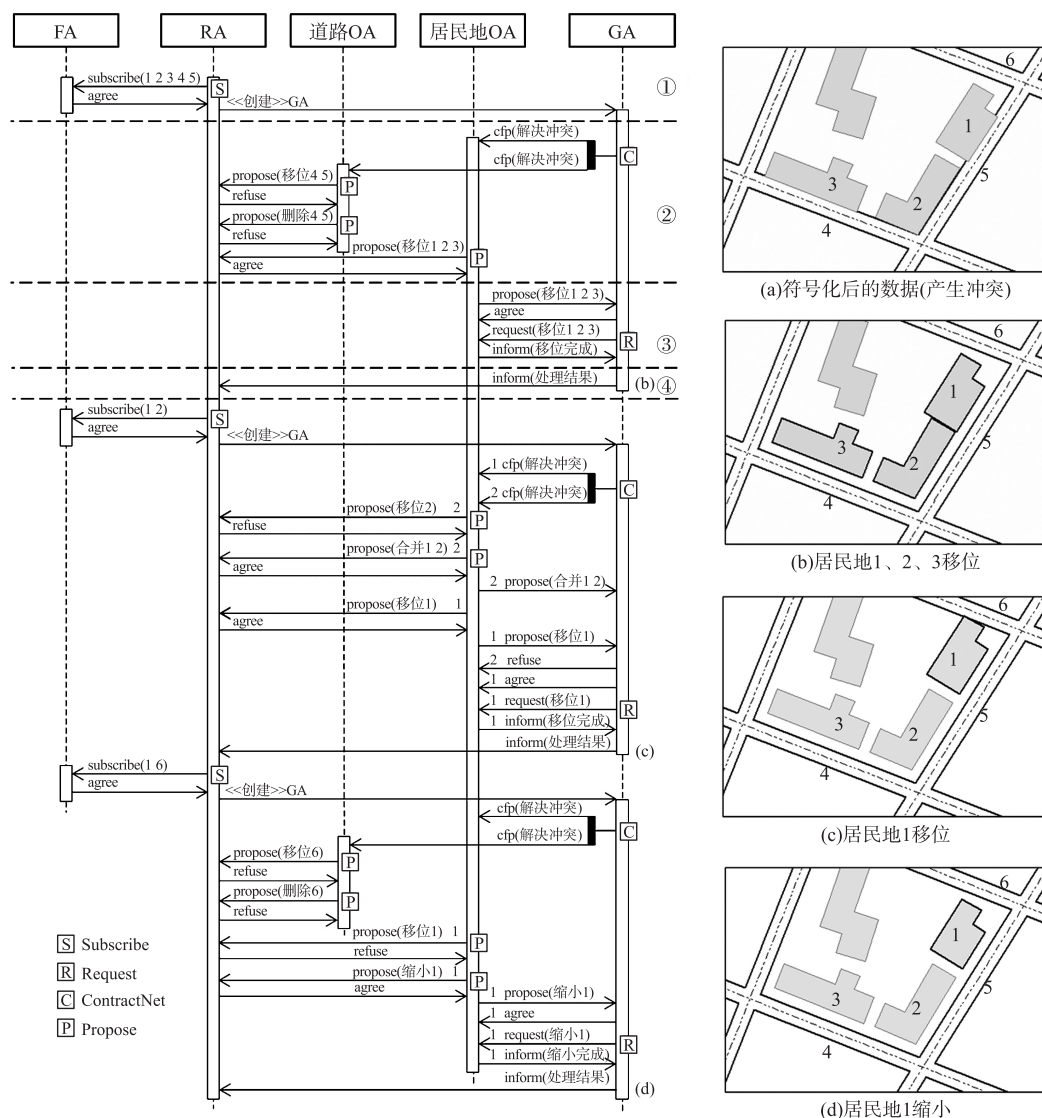


图 5 冲突处理过程示意图

Fig. 5 Diagram of conflict-handling processes

试解决该冲突. 当 GA 没有足够的知识规则以解决该冲突,则需要利用 ContractNet 交互机制向它所包含的 OA 招标. 每个 OA 根据其知识规则生成一个解决方案,并利用 Propose 交互机制向 RA 检测. 若该方案被 RA 允许,则 OA 将该提案发送给 GA;若该方案不被 RA 允许,则 OA 根据其知识规则生成次优的解决方案,然后执行相同的动作. 如图 5 中②所示的 GA 向道路 OA 和居民地 OA 招标解决冲突的操作就属于这一过程;

(3)方案的实施. GA 在接收到一个或多个解决方案后,对每一个方案的质量进行评估,选出一个或多个最佳的方案,而拒绝其余的方案. 接着 GA 将根据方案的具体内容,利用 Request 交互机制要求 OA 执行相应的操作. 如图 5 中③所示的 GA 发送消息要求居民地 OA 执行移位操作就属于这一过程;

(4)OA 的解锁和 GA 的销毁. 冲突解决后,GA 的职责也就完成,在解锁所包含的 OA 之后执行销毁自己的操作. 当所有的 GA 全部销毁后,RA 重新建立空间关系并进行新一轮的冲突检测. 如图 5 中④所示的 GA 发送处理结果给 RA 的操作就属于这一过程.

## 4 实验分析

在 Eclipse 3.7 环境下利用 Java 语言实现了多 Agent 交互的原型系统,Agent 架构采用 Jade(Java Agent Development framework),它是与 FIPA 完全兼容的运行时系统,提供了完备的消息传递和交互模块. 实验数据选取庐山地区封闭街区,如图 6 中(a)所示,道路 5 条,居民地 25 个,初始比例尺为 1:10 000,目标比例尺为 1:25 000. 为降低实验难度,在不影响综合结果的前提下采用黑板模式将空间关系共享. 综合结果如图 6 中(b)所示,利用 Jade 的 Sniffer 模块检测各 Agent 之间的交互过程如图 7 所示,共 1 164 条交互数据. 由图 6 中(b)可见,在交互机制的支持下,多 Agent 的地图制图综合很好地避免了空间冲突的产生,综合结果较好.

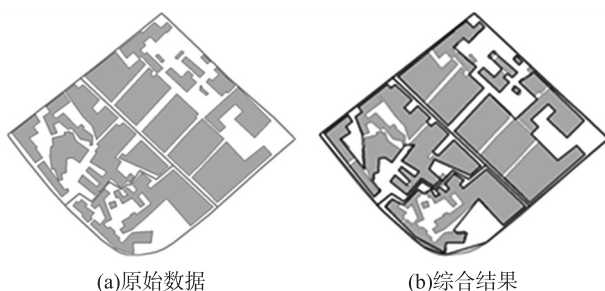


图 6 封闭街区的多 Agent 协同综合

Fig. 6 Multi-agent cooperative generalization of closed blocks

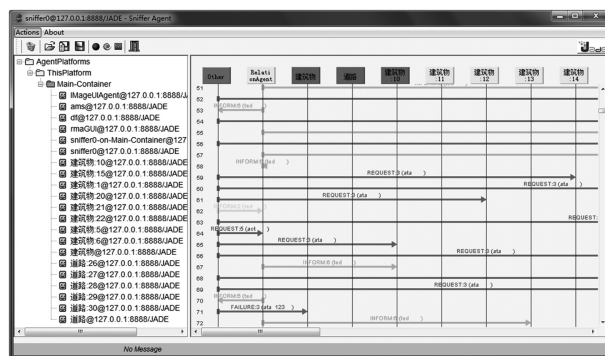


图 7 综合 Agent 的交互过程

Fig. 7 Interaction process of cooperative generalization

## 5 结语

交互是多 Agent 的重要特性之一,也是各 Agent 之间实现信息共享和行为互操作的主要方式. 本文以 FIPA 的交互协议为参考,通过分析多要素协同综合中各 Agent 具有的能力和承担的任务,将综合 Agent 的交互机制分为 7 类,对综合过程中任务协同和冲突处理两个不同的操作方式分别进行探讨. 分析表明,这些交互机制的单个或组合使用,可以有效解决基于多 Agent 的多要素协同综合的交互过程,提高协同综合过程的智能化程度. 需要指出的是,基于多 Agent 的地图综合需要以丰富的空间关系和知识规则为基础,将在今后的研究中进一步探讨.

## [参考文献](References)

- [1] 龙毅,曹阳,沈婕,等. 基于约束 D-TIN 的等高线簇与河网协同综合方法[J]. 测绘学报,2011,40(3):379-385.  
Long Yi, Cao Yang, Shen Jie, et al. Cooperative generalization method of contour cluster and river network based on constrained D-TIN[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(3): 379-385. (in Chinese)

- 
- [2] Touya G, Duchêne C. CollaGen: Collaboration Between Automatic Cartographic Generalisation Processes[M]//Advances in Cartography and GIScience. Berlin Heidelberg:Springer,2011:541–558.
- [3] Renard J, Duchêne C. Urban structure generalization in multi-agent process by use of reactional agents[J]. Transactions in GIS,2014,18(2):201–218.
- [4] Lamy S, Ruas A, Demazeau Y, et al. Agent project: automated generalisation new technology[C]//5th EC-GIS Workshop. Stresa, Italy, 1999.
- [5] Duchêne C. The CartACom model: a generalisation model for taking relational constraints into account[C]//ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation. Leicester, England, 2004.
- [6] Gaffuri J. Field deformation in an agent-based generalisation model: the GAEL model[C]//GI days, Young Researchers Forum, 2007, 30:1–24.
- [7] FIPA Interaction Protocol Specifications. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003[EB/OL]. [2014-01-17] <http://www.fipa.org/repository/ips.php3>.
- [8] Baeijs C, Demazeau Y, Alvares L. SIGMA: Application of Multi-Agent Systems to Cartographic Generalization[M]//Agents Breaking Away. Berlin Heidelberg:Springer, 1996:163–176.
- [9] Duchêne C. Automated map generalisation using communicating agents[C]//Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC). Durban, 2003.
- [10] Duchêne C, Cambier C. Cartographic generalisation using cooperative agents[C]//Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. New York:ACM, 2003:976–977.
- [11] 周侗, 龙毅, 舒方国, 等. 一种多 Agent 的地图要素协同综合模型及其应用分析[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(6): 30–34.
- Zhou Tong, Long Yi, Shu Fangguo, et al. Application analysis about model of map features cooperative generalization based on multi-agents method[J]. Geography and Geo-Information Science, 2013, 29(6): 30–34. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]