

# 多主体团队交互协议\*

盛秋戡<sup>1,2+</sup>, 赵志崑<sup>2</sup>, 刘少辉<sup>1</sup>, 史忠植<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 计算技术研究所 智能信息处理重点实验室,北京 100080)

<sup>2</sup>(中国科学院 研究生院,北京 100039)

## A Teamwork Protocol for Multi-Agent

SHENG Qiu-Jian<sup>1,2+</sup>, ZHAO Zhi-Kun<sup>2</sup>, LIU Shao-Hui<sup>1</sup>, SHI Zhong-Zhi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Key Laboratory of Intelligent Information Processing, Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

<sup>2</sup>(Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62565533 ext 5689, E-mail: shengqj@ics.ict.ac.cn, <http://www.intsci.ac.cn/>

Received 2003-04-29; Accepted 2003-09-09

Sheng QJ, Zhao ZK, Liu SH, Shi ZZ. A teamwork protocol for multi-Agent. *Journal of Software*, 2004,15(5): 689~696.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/689.htm>

**Abstract:** Teamwork is an effective way of cooperative problem solving in dynamic and unpredictable application contexts. The concept of joint intention is the key of teamwork. How various speech actions can be used by software Agents to form, maintain and dissolve joint intention is a significant problem needed to be investigated. This paper aims to design a teamwork protocol based on FIPA (foundation for intelligent physical Agent) ACL (Agent communication language) which is a promising Agent communication language. To this aim, the sufficiency of the FIPA ACL in supporting Agents to form the required joint intention in teamwork is analyzed first. Specifically, the notions of the joint-request and delegation-request are distinguished and the insufficiency of the delegation-request in supporting teamwork is pointed out. Thus a new joint-request action is defined to extend the FIPA ACL. Some properties of the joint-request are also discussed. Based on the defined action, a teamwork protocol with a formal semantic description is proposed and its application is demonstrated finally. The teamwork protocol describes a new interaction pattern, which differs from those of the existing elementary request protocol, contract-net protocol and auction protocols within the FIPA Interaction Protocol Specifications. The proposed protocol can facilitate the design of interaction modules in multi-Agent teamwork.

**Key words:** joint intention; ACL (Agent communication language); joint-request; delegation-request; teamwork protocol

---

\* Supported by the National High-Tech Research and Develop Plan of China under Grant No.2001AA113121 (国家高技术研究发展计划(863))

作者简介: 盛秋戡(1975-),男,浙江浦江人,博士生,主要研究领域为多主体系统;赵志崑(1975-),男,博士生,主要研究领域为面向主体的软件工程;刘少辉(1977-),男,博士,主要研究领域为数据挖掘;史忠植(1941-),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为人工智能,知识工程,数据挖掘。

**摘要:** 团队是动态不可预测性环境下协作问题求解的有效方式,联合意图是团队联合求解的关键.因此,主体在团队活动中如何采用言语动作形成、维护、解除联合意图,是一个值得研究的重要问题.旨在设计一种基于主体通信语言 FIPA(foundation for intelligent physical Agent) ACL(Agent communication language)的多主体团队交互协议.首先,分析了现有 FIPA ACL 支持团队联合求解的充分性问题.在概念上明确区分了联合请求与委托请求,指出委托请求言语动作不能充分支持团队协作.并扩展定义了联合请求,讨论了相关定理.然后,基于联合请求动作,提出一种主体团队交互协议,并给出了协议的形式化语义,最后讨论了协议的实际应用.区别于现有的基本动作请求协议、合同网协议以及拍卖协议,团队交互协议描述了另一类主体交互模式,对主体交互模块的设计具有指导意义.

**关键词:** 联合意图;主体通信语言;联合请求;委托请求;团队交互协议

**中图法分类号:** TP18 **文献标识码:** A

多主体系统(multi-Agent system,简称 MAS)由一组相对独立的自治主体组成,主体间依赖于知识级通信,能够合作完成单个主体难以胜任的复杂任务.与传统的智能系统(如专家系统)相比,MAS 代表了一种新的计算范型(paradigm).MAS 计算可分为个体与社会两个层面,个体计算是指单个主体的内部行为,而社会计算主要是指主体与外界的交互通信.通信是主体实现知识共享、心智沟通、行为协调的主要手段,是实现社会智能(如机器人足球)的关键.主体通信语言(Agent communication language,简称 ACL)则是实现主体社会智能的基本工具.历来,ACL 一直是 MAS 研究的一项重要内容<sup>[1-7]</sup>.

团队是多主体联合问题求解的有效方式,在许多动态、复杂的应用环境中发挥着越来越重要的作用<sup>[8]</sup>.团队活动的本质特征是主体有共享的目标和共享的承诺、意图等联合思维状态<sup>[9]</sup>.它们的形成和演化严重依赖于主体间的通信.

FIPA(foundation for intelligent physical Agent) ACL 是近几年发展起来的主体通信语言<sup>[7]</sup>,已被越来越多的主体平台所采用,有望成为领域标准.目前,FIPA ACL 支持主体执行询问(query)、通知(inform)等简单的社会行为.然而,FIPA ACL 究竟是否能充分支持主体形成团队进行联合动作等高级的社会活动尚待研究.团队联合行动本质上是联合意图的形成、维持与解除的过程.因此,FIPA ACL 是否能充分支持主体进行团队活动的问题本质上可归结为以下问题:FIPA 言语动作(speech act)理论是否能完备地支持联合意图的形成、维持与解除.

本文研究主体如何利用 FIPA ACL 进行团队联合行动.贡献在于:① 区分了联合请求与委托请求的概念,分析了现有 FIPA ACL 在支持团队合作方面的不充分性,定义了联合请求言语动作;② 设计了多主体团队交互协议.团队协议描述了多主体合作求解中的基本交互模式(pattern),其意义在于,它可以规范主体交互模块的设计,结构化团队交互过程,避免主体团队陷入混乱、冲突等不一致状态,确保团队联合行动的一致性.

本文第 1 节简单介绍了联合意图理论框架.第 2 节提出了联合请求概念,分析了团队联合动作的心智条件,指出了 FIPA ACL 支持团队交互的不充分性,扩展定义了联合请求动作(joint-request),并研究了团队的形成、解环等环节.第 3 节描述了团队交互协议及其形式语义.第 4 节讨论了协议的应用.第 5 节是结束语.

## 1 联合意图理论基本概念

联合意图理论<sup>[9]</sup>研究了多主体团队联合行动中的理性平衡问题,指出主体间的联合承诺、联合意图是约束主体行为、保证团队联合行动一致性的关键.联合意图框架采用模态逻辑和线性时态逻辑刻画.算子 BEL, MB 分别表示信念与相互信念.GOAL,PGOAL 分别为目标与持续目标. $\diamond p$  表示  $p$  将最终成立, $\square p$  表示  $p$  将一直成立.HAPPENS 表示动作序列将发生.Doing 和 Done 则分别表示动作序列正在进行和已完成.UNTIL 可以通过 HAPPENS 和 Done 得到,详见文献[10].

**定义 1.1.** 弱目标(weak goal,简称 WG).

$$WG(x, y, p, q) \equiv [-BEL(x, p) \wedge GOAL(x, \diamond p)] \vee [BEL(x, p) \wedge GOAL(x, \diamond MB(x, y, p))] \vee$$

$$[BEL(x, \square \neg p) \wedge GOAL(x, \diamond MB(x, y, \square \neg p))] \vee [BEL(x, \neg q) \wedge GOAL(x, \diamond MB(x, y, \neg q))].$$

WG(x,y,p,q) 或者表示  $x$  相信  $p$  目前为假,并尽力让  $p$  为真;或者表示  $x$  已经发现  $p$  已处于完结状态( $p$  已完成,

或者不可完成,或者已无关),并承诺让  $p$  的状态成为团队( $x,y$ )的共同信念.弱目标规约了主体保持其目标的条件以及当目标完结时主体应采取的行为.

**定义 1.2.** 联合持续目标(joint persistent goal,简称 JPG).

$$JPG(x, y, p, q) \equiv [MB(x, y, \neg p) \wedge MB(x, y, GOAL(x, \diamond p) \wedge GOAL(y, \diamond p)) \wedge \\ (UNTIL[MB(x, y, p) \vee MB(x, y, \square \neg p) \vee MB(x, y, \neg q)], MB(x, y, WG(x, y, p) \wedge WG(y, x, p)))]$$

联合持续目标(JPG)定义了团队的联合承诺.团队成员  $x,y$  联合承诺实现  $p$  当且仅当:

(1)  $x,y$  彼此相信当前  $p$  为假(还未实现).

(2)  $x,y$  彼此相信他们的最终目标是使  $p$  为真(实现目标).

(3)  $x,y$  彼此相信,除非  $p$  已经被公认为完结状态,否则,他们必须彼此相信每个人都把  $p$  作为一个弱目标.联合持续目标是团队活动的本质特征,是团队形成的条件,它保证团队成员有一个共同的目标和一致的心智状态.

**定义 1.3.** 持续弱实现目标(persistent weak achievement goal,简称 PWAG).

$$PWAG(x, y, p, q) \equiv [\neg BEL(x, p) \wedge PGOAL(x, p)] \vee [BEL(x, p) \wedge PGOAL(x, \diamond MB(x, y, p))] \vee \\ [BEL(x, \square \neg p) \wedge PGOAL(x, MB(x, y, \square \neg p))] \vee [BEL(x, \neg q) \wedge PGOAL(x, \diamond MB(x, y, \neg q))].$$

团队的联合持续目标(JPG)对团队成员的约束是必须将  $p$  作为一项持续目标(PGOAL).持续弱实现目标(PWAG)是持久型的弱目标(WG).成员间彼此交叠的 PWAG 等价于团队拥有 JPG.

**定义 1.4.** 联合意图(joint intention).

$$JI(x, y, a, q) \equiv JPG(x, y, Done(x, y, [UNTIL(Done(x, y, a), MB(x, y, Doing(x, y, a))]? : a), q).$$

联合意图是指主体  $x,y$  相对于无关变量  $q$ (如动机)有完成集体动作  $a$  的联合持续目标,其间它们彼此相信正在共同执行  $a$ .

## 2 联合请求

本节我们以联合意图理论框架为基础,分析团队交互对 ACL 的语义需求,区分联合请求与委托请求两类言语动作,指出 FIPA ACL 支持团队联合行动的不充分性.扩展定义联合请求(joint-request)动作,并对团队形成与解体等环节进行讨论.

### 2.1 联合请求与委托请求

我们结合一个例子来分析联合行动对主体应有的心智约束.设团队由主体  $x,y$  组成.目标  $p$ ="抬桌子", $p$  的动机为  $q$ ="拿书架上的书",即搬桌子是因为想取到书架上的书.假设主体  $x,y$  的能力都有限,因此不能单独实现  $p$ .

作为任务的发起者,主体  $x$  请求  $y$  联合实现  $p$ ,为此  $x,y$  必须作出关于  $p$  的联合承诺.假设  $y$  接受  $x$  的请求,当  $x$  收到  $y$  的同意消息后,联合持续目标  $JPG(x,y,p,q)$  必须形成,亦即以下心智条件必须被满足:①  $x,y$  彼此相信当前  $p$  为假(未实现);②  $x,y$  彼此相信他们的最终目标是使  $p$  为真(实现目标);③  $x,y$  彼此相信,除非  $x,y$  共同相信  $p$  已实现,或者不可实现,或者已不相关,否则,他们必须彼此相信每个人都有关于  $p$  的弱目标(WG).

可以看出,这里  $x$  请求的目的是进行联合动作(共同抬桌子),而不是将  $p$  委托给  $y$  单独完成.为区分上述两类请求,我们称前者为“联合请求(joint-request)”,后者为“委托请求(delegation-request)”.它们需要表达的语义是不同的,对请求的发起者和接收者的心智约束也有本质的差别.

首先,主体  $x$  联合请求  $y$  必须表达的基本信息是请求  $y$  实现  $p$ ;其次是对  $y$  心智状态的约束,即请求  $y$  向  $x$  承诺将同步  $p$  的状态信息作为一个持续目标(PGOAL);最后,由于  $x$  也需要参与  $p$  的实现,并且其间  $x$  有义务通知  $y$  关于  $p$  的完结状态,也即联合请求还必须体现另一层语义: $x$  向  $y$  承诺将同步  $p$  的完结状态信息作为一个持续目标.可见,联合请求的语义必须包含 3 个含义,第 1 点保证了团队有一个共同的目标,第 2 点和第 3 点语义约束表明,当团队成员发现  $p$  需要终止时不能私自放弃  $p$ ,此时他必须保证团队对  $p$  的求解状态形成共识,他是联合动作一致性的保证.

相比而言,主体  $x$ “委托请求” $y$  实现  $p$ ,即  $p$  由  $y$  代理  $x$  单独实现,其间  $x$  不参与  $p$  的实现, $y$  也不需要同步  $x$

的心智状态,“委托请求”只表达了“联合请求”的第1层语义.在这种情况下,当 $x$ 发现 $a$ 已完成或不可完成或已不需要完成时,由“委托请求”的概念知道, $x$ 没有义务通知 $y$ 即可脱离团队.同样,“委托请求”不需要 $y$ 同步求解过程中的心智状态.例如,当 $y$ 私自发现 $a$ 已不可能完成时, $y$ 可以私自离开团队,而不报告 $a$ 的状态.因此, $x,y$ 不能保证有一个一致的信念,也就无法形成一个关于 $p$ 的联合持续目标 $JPG(x,y,p,q)$ .由于“委托请求”缺乏对请求的发起者和接收者应有的心智约束,因此无法充分支持团队合作.

以上分析了团队联合动作对主体通信语言的要求,区分了“联合请求”与“委托请求”两类言语动作,指出了委托请求在支持团队合作方面的不充分性.基于上述分析,我们对FIPA ACL中的请求(FIPA-request)动作进行考查,其定义如下<sup>[7]</sup>:

$$\begin{aligned} request &\equiv \langle x, request(y, a) \rangle \\ FP &: FP(a)[i \setminus j] \wedge BEL(x, Agent(y, a)) \wedge BEL(x, \neg PGOAL(y, Done(a))) \\ RE &: Done(a) \end{aligned}$$

其中, $FP(a)[x \setminus y]$ 表示执行动作 $a$ 的可行性条件,属于主体 $x$ 心智态度的一部分.可行性前提( $FP$ )与理性效果( $RE$ )定义了 $request$ 的语义.主体 $x$ 执行 $request$ 动作表明当前 $x$ 相信 $a$ 是可行的,并且相信 $y$ 是 $a$ 的代理执行者. $x$ 执行 $request$ 的目标是期望 $y$ 单独完成 $a$ .然而, $request$ 语义定义缺乏对施动者和受动者的心智约束,当 $x$ 发现 $a$ 已完成或不可完成或已不需要完成时, $request$ 的定义没有要求 $x$ 通知 $y$ ,而在相同条件下 $y$ 也无须通知 $x$ ,由 $JPG$ 的定义可知联合承诺不能形成.因此,FIPA-request属于“委托请求”,不能满足团队联合行动的心智约束.

## 2.2 联合请求

### 2.2.1 言语动作定义

我们在FIAP框架内定义联合请求动作 $joint-request$ ,支持团队交互.

**定义 2.1.**  $joint-request(x, y, a, q) \equiv request(x, y, a); inform(x, y, \phi_1); request-whenever(x, y, \phi_2, \phi_3)$ , 其中

$$\phi_1 = PGOAL(x, p) \wedge [[BEL(x, p) \wedge \neg BEL(x, BEL(y, p)) \Rightarrow PGOAL(x, MB(x, y, p))] \vee$$

$$[BEL(x, \square \neg p) \wedge \neg BEL(x, BEL(y, \square \neg p)) \Rightarrow PGOAL(x, MB(x, y, \square \neg p))] \vee$$

$$[BEL(x, \neg q) \wedge \neg BEL(x, BEL(y, \neg q)) \Rightarrow PGOAL(x, MB(x, y, \neg q))],$$

$$\phi_2 = inform(y, x, p) | inform(y, x, \square \neg p) | inform(y, x, \neg q),$$

$$\phi_3 = BEL(y, \phi_1) \wedge [[BEL(y, p) \wedge \neg BEL(y, BEL(x, p))] \vee [BEL(y, \square \neg p) \wedge \neg BEL(y, BEL(x, \square \neg p))] \vee$$

$$[BEL(y, \neg q) \wedge \neg BEL(y, BEL(x, \neg q))],$$

其中, $p=Done(a)$ ,”|”表示非确定选择.

$joint-request$ 由FIPA的3个基本言语动作 $request, inform$ 以及 $request-whenever$ 顺序(顺序操作符“;”)组合而成<sup>[3]</sup>.其直观含义是 $x$ 请求 $y$ 执行联合动作 $a$ ,并且告知 $y$ 当 $x$ 发现 $a$ 处于完结状态时将通知 $y$ ,同时请求 $y$ 在发现 $a$ 处于完结状态时通知自身. $joint-request$ 的前提条件( $FP$ )与理性后果( $RE$ )均可由 $request, inform, request-whenever$ 的定义导出,即

$$FP(joint-request(x, y, a, q)) = FP(request(x, y, a)) \wedge FP(inform(x, y, \phi_1)) \wedge FP(request-whenever(x, y, \phi_2, \phi_3)),$$

$$RE(joint-request(x, y, a, q)) = RE(request(x, y, a)) \wedge RE(inform(x, y, \phi_1)) \wedge RE(request-whenever(x, y, \phi_2, \phi_3)).$$

### 2.2.2 联合请求的语义特征

基于联合请求动作,我们进一步研究通信驱动下的团队形成与解体等环节.为集中研究言语动作的语义,下面假定主体是真诚的并且通信是可靠的.

**定理 2.1.**  $\vdash (HAPPENED(joint-request(x, y, a, q)) \Rightarrow PWAG(x, y, Done(a), q))$ .

定理表明,若主体 $x$ 联合请求 $y$ 参与联合动作 $a$ 这一事件发生(HAPPENED),则 $x$ 相对 $y$ 有完成 $a$ 的持续弱实现目标(PWAG).

若主体 $x,y$ 相互知道(MK):主体 $x$ 向主体 $y$ 联合请求完成动作 $a$ ,并且 $y$ 同意 $x$ 的请求,则主体 $x,y$ 之间形成了一个完成 $a$ 的联合持续目标(JPG),即

**定理 2.2.**  $\vdash MK(x, y, HAPPENED(joint-request(x, y, a, q); agree(x, y, joint-request, true))) \Rightarrow$

$$JPG(x,y,Done(a),PWAG(x,y,Done(a),q)),$$

其中  $MK(x,y,p) \equiv p \wedge MB(x,y,p)$ .

若主体  $y$  拒绝  $x$  的联合请求,则联合意图(团队)不能形成,有以下定理:

**定理 2.3.**  $\vdash (HAPPENED(joint-request(x,y,a,q)); refuse(y,x,joint-request(x,y,a,q))) \Rightarrow \neg Done(a) \wedge \neg JPG(x,y,Done(a),q)$ .

当团队完成联合持续目标(JPG)后,我们必须提供方法来解散团队,以释放团队资源.当联合动作  $a$  完成后,团队中的一方(设主体  $y$ )将事实  $Done(a)$ 通知其队友,此后团队成员撤消各自的持续目标  $PGOAL$ ,即:

**定理 2.4.**  $\vdash MK(x,y,HAPPENED(joint-request(x,y,a,q)); agree(y,x,joint-request(x,y,a,q),T); a; inform(y,x,(Done(a)))) \Rightarrow [\neg PGOAL(x,y,Done(a),q) \wedge \neg PGOAL(y,x,Done(a),q)]$ ,

其中  $T$  为恒真.

团队成员撤消各自的持续目标不能使团队解体,团队解体需要主体间形成关于  $Done(a)$ 的共同信念.

**定理 2.5.**  $\vdash MK(x,y,HAPPENED(joint-request(x,y,a,q)); agree(y,x,joint-request(x,y,a,q),T); a; inform(y,x,(Done(a))); confirm(x,y,Done(a))) \Rightarrow MB(x,y,Done(a)) \wedge \neg JPG(x,y,Done(a),q)$ ,

其中  $T$  为恒真.

以上我们扩展定义了  $joint-request$  言语动作,并讨论了其语义特征,表明扩展后的 FIPA ACL 能够完备地支持主体进行团队联合动作.FIPA ACL 理论上的充分性,使得独立设计的主体使用它进行一致的团队联合行动成为可能,但却不能保证实际的多主体团队能够步调一致地进行联合求解.实践表明,在开发团队型多主体系统时,最费时、最困难的工作之一是确保团队行为的一致性.协议是实现这一目标的有效途径.

### 3 团队交互协议

在动态不确定性环境下,使一组独立设计的自治主体围绕一项共同的任务进行团队协作具有相当的挑战性.由于主体的自治性和周围环境的不可预测性,主体间的行为极易产生不一致,导致整个系统的混乱.协议是平衡主体的自治性与系统行为有序性的切实有效的方法,交互协议可以结构化主体间的交互过程,提高系统行为的可预测.因此,随着主体研究逐步从理论走向应用,主体交互协议已受到越来越多的关注<sup>[7,11,12]</sup>.目前 FIPA ACL 主要包括 3 类协议:基本动作请求协议、合同网(contract-net)协议、拍卖(auction)协议.它们分别反映了 3 种不同的基本社会交互模式:基本动作请求协议描述了任务委托者与受托者之间的交互,合同网协议用于协调主体间的任务分配,而拍卖协议则刻画了主体间的价格等参数的协商过程.

与此不同,团队活动反映了一种新的社会交互模式,其特点是交互主体有一个共同的目标和一致的心智状态.为刻画这一模式,我们设计了可复用的团队交互协议,根据协议设计主体交互模块可以确保多主体团队行为的一致性.

#### 3.1 协议描述

利用主体统一建模语言(AUML)<sup>[11]</sup>的团队协议表示如图 1 所示.首先,任务发起者主体 Initiator 向参与主体 Participant 发送联合请求(joint-request)消息,当收到 joint-request 后,Participant 根据自身意愿作出响应(截至时刻以前有效).此时,Participant 可能因不理解消息的内容(如内容中的本体),回复 not-understand 消息;或者 Participant 拒绝(refuse)联合请求;或者 Participant 同意(agree)Initiator 的联合请求.前两种情况都使协议终止.当 Initiator 收到 Participant 的 agree 消息后,此时主体 Initiator,Participant 之间形成联合持续目标(JPG),即联合承诺执行动作  $a$ .其间若 Participant 与 Initiator 任何一方意识到联合动作  $a$  已完成(done),或者已不可完成(unachievable),或者已无关(irrelevant),都有责任通知(inform)对方,作为接收方则回复相应的确认(confirm)消息,以使团队对联合动作的状态形成共同信念.

另外,在团队交互过程中,任务发起者 Initiator 视情况可以撤销(cancel)已发出的 joint-request 请求,此时协议终止.

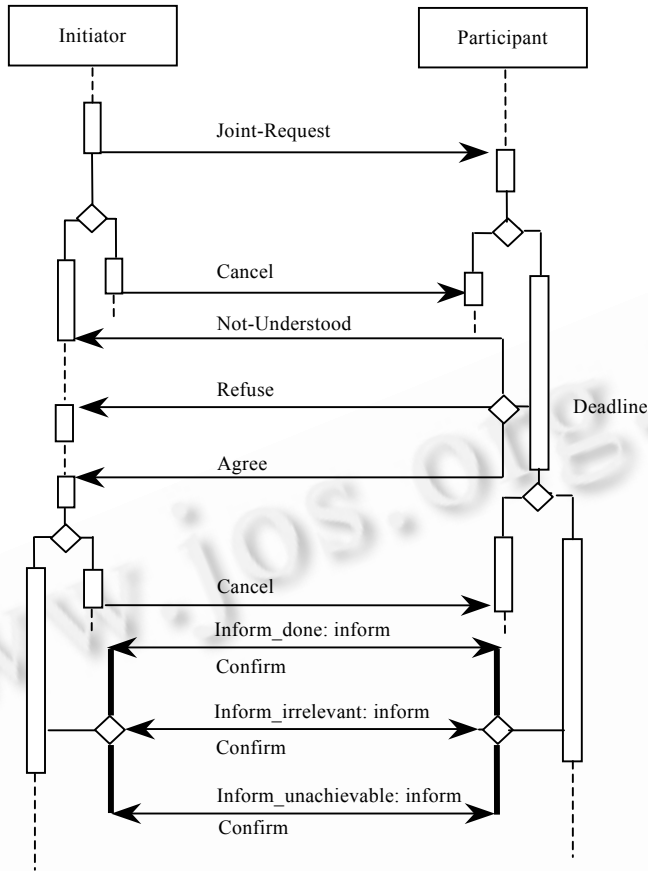


Fig.1 Teamwork protocol in AUML  
图 1 AUML 描述的团队交互协议

3.2 协议的形式语义

图 1 直观地描述了团队交互过程,本节给出相应的形式化刻画.如图 2 所示, $S_i$  表示主体的(联合)心智状态, $e_i$  表示驱动状态变迁的通信事件(动作),其中  $S_1$  为初态, $S_4, S_5, S_6$  为终态,分别表示联合目标已完成、团队未形成、联合目标不可完成或已无关.

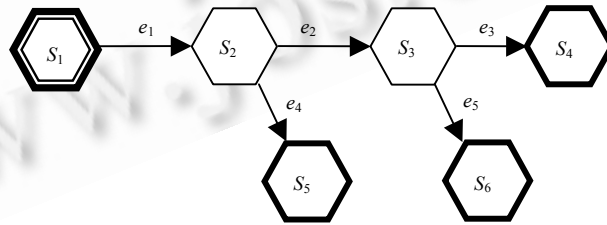


Fig.2 Semantics of the teamwork protocol  
图 2 团队交互协议的语义

- $S_1: \neg Done(a) \wedge \neg JPG(x, y, Done(a), PWAG(x, y, Done(a), q) \wedge q),$
- $S_2: GOAL(x, \diamond \psi) \wedge MB(x, y, PWAG(x, y, \psi, q)),$   
 $\psi = Done(a) \wedge [PWAG(y, x, Done(a), PWAG(x, y, Done(a), q) \wedge q)],$
- $S_3: JPG(x, y, Done(a), PWAG(x, y, Done(a), q) \wedge q),$
- $S_4: Done(a) \wedge MB(x, y, Done(a)),$
- $S_5: \neg Done(a) \wedge [MB(x, y, \square \neg PWAG(y, x, Done(a), PWAG(x, y, Done(a), q) \wedge q)) \vee$

$$MB(x, y, \neg PWAG(x, y, Done(a), q))],$$

$$S_6: \neg Done(a) \wedge \neg [MB(x, y, \square \neg Done(a)) \vee MB(x, y, \neg q) \vee MB(x, y, \neg PWAG(x, y, Done(a), q))].$$

改变主体团队联合心智状态的言语动作如下:

$$e_1 = joint-request(x, y, a, q),$$

$$e_2 = agree(y, x, joint-request, T),$$

$$e_3 = inform(y, x, Done(a)); confirm(x, y, Done(a)),$$

$$e_4 = refuse(y, x, joint-request) | cancel(x, y, joint-request) | deadline?$$

$e_5 = e_6 | e_7 | e_8 | e_9$ , 其中:

$$e_6 = inform(y, x, \neg q); confirm(x, y, \neg q)$$

$$e_7 = inform(y, x, \square \neg Done(a)); confirm(x, y, \square \neg Done(a)),$$

$$e_8 = inform(x, y, \neg q); confirm(y, x, \neg q),$$

$$e_9 = inform(y, x, \square \neg Done(a)); confirm(y, x, \square \neg Done(a)).$$

### 4 应用

团队型多主体系统适合于动态不确定环境下共同任务的求解.团队协议可以确保复杂环境下团队联合求解的一致性.供电网络是一个复杂多变的环境,由于各种自然与人为因素,致使电网经常发生难以预测的故障,因此自动快速诊断出故障点并进行恢复具有重要意义.我们与某电力科学研究单位合作,基于主体技术设计开发了自动化电网故障诊断与恢复系统.

本节简要介绍团队交互协议的一个应用场景.该场景包括 Monitor, Detector, Identifier 这 3 个主体,它们能力各异,需形成团队方能共同完成故障诊断任务. Monitor 的任务是监控输电网,当发现有信号异常时,则请求 (joint-request) Detector 和 Identifier 联合执行故障诊断任务. Detector 根据 Monitor 提供的电网拓扑信息,首先快速确定出可能的故障点集,然后根据 Identifier 提供的故障区域信息进一步诊断出具体的故障点,并将故障信息发送给故障恢复子系统.

由于电网的动态多变特点,主体团队进行联合诊断时可能出现不一致,导致误诊或诊断失败等情况的发生.设在某  $t_1$  时刻 Monitor 因信号异常向 Detector 和 Identifier 发送当前的电网状态信息(如相关的电网拓扑结构信息),请求 (joint-request) 执行故障诊断任务.接到联合请求以后, Detector 与 Identifier 便开始执行相关的计算.因篇幅有限,以下我们仅讨论 3 种情况.

① 若  $t_2(t_2 > t_1)$  时刻, Monitor 发现  $t_1$  时刻的异常是由暂态引起的(暂态是电网固有特征,表现为信号临时异常但不属于故障范围),则必须立即撤销 (cancel)  $t_1$  时刻的联合请求 (joint-request),避免因无谓的计算任务延误正常任务的执行. ② 若  $t_2$  时刻, Monitor 发现电网的状态已发生改变,而其队友 (Detector, Identifier) 仍以  $t_1$  时刻电网状态为基础进行诊断,则必须

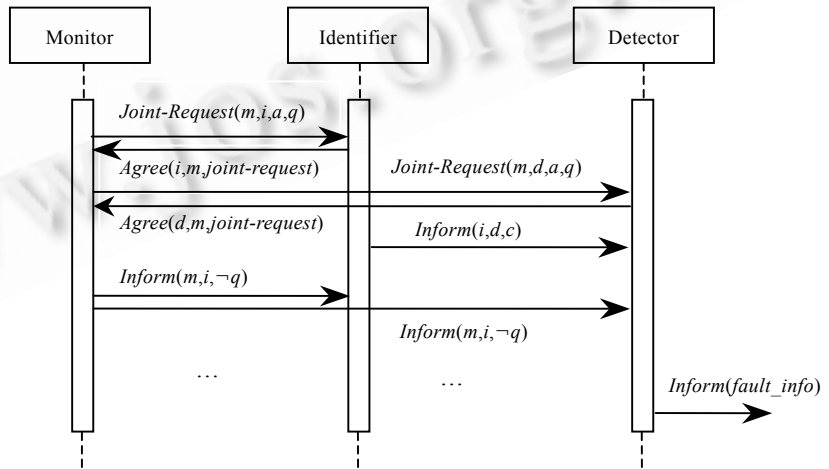


Fig.3 Joint fault-diagnosing with teamwork  
图3 团队联合故障诊断

立即通知其队友当前计算已无关并发送  $t_2$  时刻的状态信息,以免误诊,招致故障恢复系统的失败,并将  $t_2$  时刻的电网状态告知队友.图 3 描述了②的交互情况.其中, $a$ ="联合诊断  $t_1$  时刻的故障点",执行  $a$  的动机为  $q$ ="恢复  $t_1$

时刻电网状态下的故障”。 $m, i, d$  分别代表主体 Monitor, Identifier 和 Detector,  $inform(i, d, c)$  表示 Identifier 将故障区域信息告知 Detector,  $inform(fault\_info)$  表示 Detector 将诊断结果通知相应的故障恢复子系统。<sup>③</sup> 另一种可能的情形是 Detector 确认的故障点集不在 Identifier 计算的故障区域内, 导致 Detector (在限定时间内) 无法诊断出具体的故障点。此时, Detector 必须通知 ( $inform\_unachievable$ ) 其队友任务失败, 以采取其他措施。按照团队交互协议进行联合诊断, 可以确保诊断任务的一致执行。

## 5 结束语

团队是多主体联合问题求解的有效方式, 在许多动态, 复杂的应用环境中发挥着越来越重要的作用。本文着重研究了主体如何利用 FIPA ACL 进行团队联合行动这一基本问题, 首先从概念上区分了联合请求和委托请求两类言语动作, 分析了 FIPA ACL 不能充分支持主体进行团队联合行动的原因, 扩展定义了联合请求动作 (joint-request), 并给出了相关的定理。同时, 设计了团队交互协议, 讨论了其形式语义和一个供电网中的应用。区别于现有的基本动作请求协议、合同网协议和拍卖协议, 团队交互协议刻画了一类新的主体交互模式, 对多主体团队交互模块的设计具有指导意义。本文工作是对 FIPA ACL 研究的丰富和发展。

## References:

- [1] Smith IA, Cohen PR. Toward a semantics for an Agent communications language based on speech-acts. In: Clancey WJ, Weld D, eds. Proc. of the 13th National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI'96). Menlo Park: AAAI Press, 1996. 24~31.
- [2] Finin T, Labrou Y, Mayfield J. KQML as an Agent communication language. In: Bradshaw J, ed. Software Agents. Cambridge: MIT Press, 1997. 1~22.
- [3] Singh MP. Agent communication languages: Rethinking the principles. IEEE Computer, 1998,31(12):40~47.
- [4] Shi ZZ. Intelligent Agent and Its Application. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).
- [5] Chaib-Draa B, Dignum F. Trends in Agent communication language. Computational Intelligence, 2002,18(2):89~101.
- [6] Li Y, Shi CY. A semantic description of an Agent communication language. Journal of Computer Research and Development, 2002,39(6):696~700 (in Chinese with English abstract).
- [7] FIPA. FIPA Agent communication language specifications. 2002. <http://www.fipa.org/repository/aclspecs.html>
- [8] Li J, Chen ZQ, Chen SF, Xu DX. Survey of multiple Agents teamwork. Journal of Computer Research and Development, 2003, 40(3):422~429 (in Chinese with English abstract).
- [9] Cohen PR, Levesque HJ. Teamwork. Nous, 1991,25(4):487~512.
- [10] Levesque HJ, Cohen PR, Nunes JHT. On acting together. In: Dietterich T, Swartout W, eds. Proc. of the 8th National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI'90). Menlo Park: AAAI Press, 1990. 94~99.
- [11] Bauer B, Müller JP, Odell JRE. Agent UML: A formalism for specifying multiAgent interaction. In: Ciancarini P, Wooldridge M, eds. Agent-Oriented Software Engineering. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 91~103.
- [12] Bussmann S, Jennings NR, Wooldridge M. Re-Use of interaction protocols for decision-oriented applications. In: Giunchiglia F, Odell J, Weiss G, eds. Proc. of the 3rd Int'l Workshop on Agent-Oriented Software Engineering. Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 73~87.

## 附中文参考文献:

- [4] 史忠植. 智能主体及其应用. 北京: 科学出版社, 2000.
- [6] 李毅, 石纯一. Agent 通信的一种语义表示. 计算机研究与发展, 2002,39(6):696~700.
- [8] 李静, 陈兆乾, 陈世福, 徐殿祥. 多 Agent Teamwork 研究综述. 计算机研究与发展, 2003,40(3):422~429.