

用于复杂系统建模与仿真的面向智能体技术<sup>①</sup>冯珊<sup>②</sup> 唐超 闵君 沈冲

(华中理工大学自动控制工程系)

**【摘要】**在构造兼具数据处理和知识处理能力的新型面向对象型形式化体系上,根据复杂系统仿真的需要,使系统组分“对象”具有自主决策、控制和通信功能,建成多 Agent 系统,给出多 Agent 系统实现群组协作进行战略决策的示例。

**关键词:**复杂系统建模与仿真,面向对象,软件智能体,面向智能体方法

**分类号:**N94

## 0 引言

复杂系统建模与仿真的技术需求来自现实世界的应用领域问题求解。在信息技术迅速发展的今天,最有效的解题手段势必立足于当代网络化分布式计算环境。在这个环境中,作者采用面向对象方法与分布计算模式相结合的分布对象技术,并赋予“对象”以行为自律特性,使之成为相互独立的既有分工又有合作、协调一致完成共同计算任务的计算单元,称为软件 Agent,以下简称 Agent。Agent 的自主性表现在它对环境的适应性和对不完全信息的处理能力,使它能实时规划、推理和搜索,形成更实用的人工智能功能元件,满足复杂系统建模与仿真技术需求<sup>[1~3]</sup>。

如任何技术创新一样,Agent 的产生和发展具有时代背景,同时受到需求牵引和技术推动的作用。90年代先进计算机应用系统的技术特征是知识基于系统之上的社会式组织的系统(Socially Organized System)。在这样的系统中,传统的基于符号处理和规则的 AI 被更接近生物智能的计算智能 CI 所取代。在形式化体系上,规范的面向对象方法中的“对象”被提升为具有实时处理多维信息、相互作用(Interaction)和通信能力(Communication)的软件实体,从而适应了应用软件开发中

实时、并发处理的需要。通过网上合作,充分利用空间分布的智力、信息和技术资源以合作方式解决问题,这种分布式结构体系和协同工作的运作方式,已经形成新的技术规范。

基于面向 Agent 技术 AOT,可建成比传统 AI 更高级、更有效、更实用的智能应用系统,用以解决复杂问题仿真求解中传统 AI 不能解决的环境适应性、信息不完全性和实时性,如基于异类多源信息集成的实时决策与控制、多人—机交互式军用 C<sup>3</sup>I 系统的仿真以及社会经济领域中既没有适合模型又没有完全数据的问题求解等。在同一解题目标驱动下的多重交互与合作是这类多 Agent 系统的核心技术,本文通过一个战略决策支持系统实例阐明其功能机制<sup>[4~5]</sup>。

1 面向智能体技术 AOT<sup>[7~10]</sup>

面向智能体技术(Agent Oriented Techniques, AOT)源于传统人工智能 AI 的分支分布式人工智能 DAI,并融入当代计算技术的多方面新进展,如并行处理、决策理论中不同逻辑方法关于信念(Belief)、亟需(Desires)、意图(Intentions)及浮现目标(Emerging Goals)的形式化描述;或 OOT 中模块化和通信的概念等。AOT 系统构成

① 国家自然科学基金资助项目(69674041)和国防预研基金资助项目(96J4.3.6)。

② 冯珊,教授,博士生导师,通讯地址:华中理工大学自动控制系,邮编:430074。  
本文 1998 年 11 月 13 日收到。

的基本要素是 Agent, Agent 源自拉丁词“agens”意指代理者,他受人之托自动完成被委托的任务。此语义同样适用于软件 Agent,是一种拟人的称谓。本文采用弱定义 Agent 的概念,其行为特征分述如下:

- 自治性(Autonomy) Agent 应对自身状态和行为有一定程度的控制能力。在完成解题任务时无需人类或其它软件 Agent 的直接干预。

- 社会能力(Social Ability) 当 Agent 认为合适时,应能与人类或其它软件 Agent 交互,以完成自身的解题任务,或支持和帮助他们去执行各自的任务。

- 响应性(Responsiveness) Agent 应能理解自身所处环境(包括物理世界、用户、一组 Agents, Internet 等),可对环境变化作出及时响应。

- 能动性(Activity) Agent 不仅简单地对环境变化作出反应,而且显示出有意识的不失时机和目标导向的行为表现。

在构造 Agent 软件单元时,上述行为特征通过向各 Agent 装备的知识库、规则库存储机构及权限、规约等实现。在从事 AI 研究的专家中,相当一部分人对软件 Agent 作出更拟人类的要求,如在弱定义的概念上再加上知识、信念、责任、承诺等精神状态方面的描述。据此作出的定义,称为 Agent 的强定义。本文探讨的 Agent,仍基于弱定义,其软件结构具有在人工智能嵌入面向对象方法的应用系统开发平台 AIOOM<sup>[4]</sup>上开发出的,将“对象”和“框架”融为一体的智能对象 obFRAME 模式,各 Agent 仅因其在具体应用系统中担负角色之不同而有软件结构细节上的区别。

## 2 AOT 与 CSCW 结合实现 ends-ends 的工作模式

根据战略决策过程的信息处理和状态控制的需要,系统开发的原则是在基于知识的系统理论和实践上,构造各种不同功能类别的软件 Agent,在各网络节点上成为相互独立的、自主的智能系统(Intelligent Autonomous System),再通过依赖于网络结构的各子系统间 Agent 间的多重交互作

用,达到社会化组织的多 Agent 合作(Socially Organized Multi-agent Cooperation),因而将工作方式由 end-end 扩展为 ends-ends。这里采用了计算机支持的合作(Computer Supported Cooperation Work, CSCW)的 ends-ends 框架。

CSCW 的应用始自 1984 年,过去 10 多年中已逐渐成为软件工程界常用的一种工作模式,因为项目开发者不仅面临新技术的挑战,同时也要承受新的社会因素的约束。在 CSCW 中各个系统用户或合作者都处在网络化分布式的计算环境中,每个用户需要和多个其他用户进行交互和通信,但各用户间又有保持权限级差和自认的开放程度要求。因此,多用户界面 multi-user interfaces 是其中一项重要的技术,如何快速高效开发出适用的界面体系结构,就要用到自律的用户显示 Agents 技术。另外,单纯用传统的客户/服务器方式,不足以解决多人合作达到共识,或达到某种决策上的妥协所需的决策过程相互沟通和理解等。所以,辅助思想沟通的群件 groupware 也至关重要。

现在,CSCW 技术已经广泛应用在群组决策、电子会议、商业营销、产品设计、全球化生产管理、远距测试等领域,随着高速通信网络的发展和成本的降低,也随着软件 Agents 在网络上日益活跃的状况,在 CSCW 中嵌入 AOT,必然导致新一代基于多 Agents 智能 CSCW 的产生。

## 3 实例——分布式战略决策支持系统 DSDSS

### 3.1 背景

组织机构的重大战略决策常需要通过处在不同空间位置、在管理组织的层次结构中又处在不同层次上的管理人员,共同参与战略决策方案的产生,并通过全体参与者对备选方案的评估和调整,共同选择最符合众望的方案。此过程的计算机实现,称分布式战略决策支持系统 DSDSS。它是一种典型的 CSCW 问题。DSDSS 采用分布式人工智能技术 DAI 可将问题化解为多个具有层次结构的分问题,运用大系统分解协调方法求得满意解,从而减少系统建模求解的复杂性。为提高解题

效率、有效的辅助在于对被辅助的过程有正确理解并清楚其对支持技术的需求。为此,图 1 展示了战略管理过程。

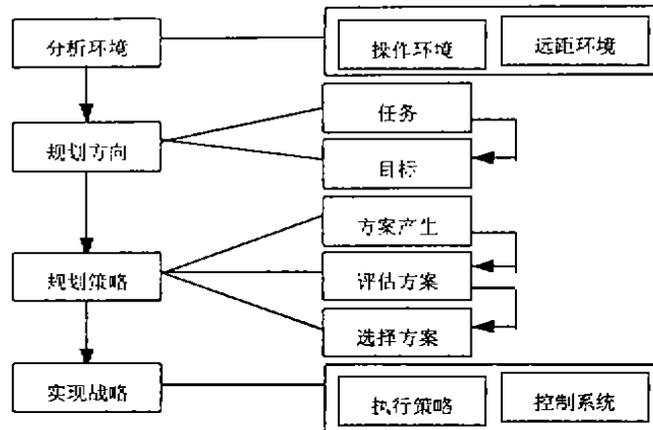


图 1 战略管理过程

### 3.2 采用 CSCW 系统产生策略方案

鉴于战略规划问题的复杂性和非结构性,采用以人为中心,将用户纳入系统中的人—机交互方式来实现战略规划过程,其工作流程如图 2 所示。用户从某一总目标出发,通过 DSDSS 将总目

标分解为分目标集,分别产生方案(Proposals),再根据各个方案产生相应的行动计划,即按此总目标求得解决方案。若满意则终止,不满意可寻求另一新的总目标再行开始。

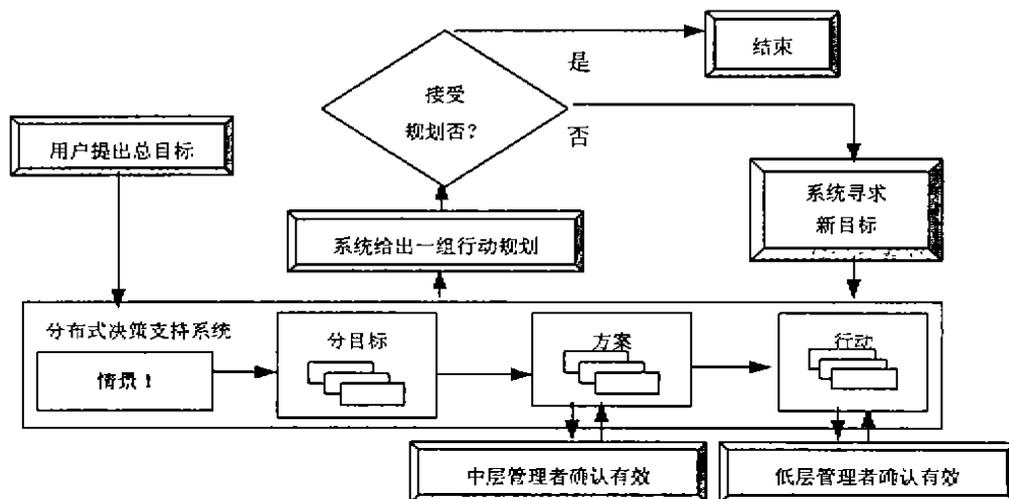


图 2 战略规划过程的人—机合作方案

### 3.3 战略支持系统的多 Agents 体系结构

图 2 所示人—机合作产生战略决策方案的过程中,可见人—机交互的重要性和复杂性。重要性在于不同层次的管理者对战略的认知、评估和决定不能完全由计算机自动实现而是需要随机应变、视其它管理者的决定而改变,故在各个层次上

都要有人—机交互,即各个中间结果要获得实际管理者的确认。复杂性表现在全过程需要动态协调、实时控制。传统的基于符号处理和规则的 AI 由于工作进程繁复和费时,达不到这一要求,因而,采用了图 3 的多 Agent 体系结构,来实现人—机合作式战略决策方案的产生。

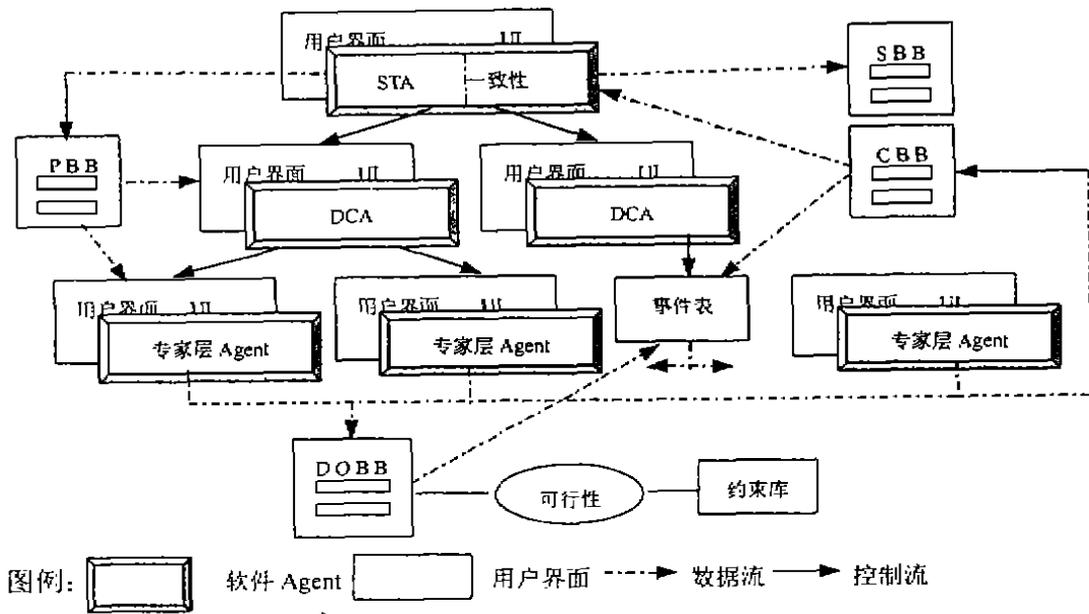


图 3 战略规划的多 Agents 系统结构体系

### 3.4 面向战略决策多 Agents 体系结构的功能

多 Agents 体系结构由 4 类软件实体构成,分述如下:

1° Agent (STAs, DCAs, SPAs) 人类决策者的代理, 各类 Agent 分三个层次具有不同权限和分工. STAs 为战略层 Agent, 负责总目标的形成和分解. DCAs 为决策中心层 Agent, 根据分目标提出相应的达标方案. SPAs 为专家层 Agents, 根据 DCA 的提案作出相应的行动计划, 产生执行计划.

2° 黑板系统 BBS 是供 Agents 间接通信用的共享存储系统 BB (DOBB, CBB, SBB, PBB). 领域黑板 DOBB 存放由 SPAs 提出的针对某一目标的基本行动 actions, 保证 actions 已通过局部最优性和分目标的适应性检验. 相容性黑板 CBB 存放全部 SPAs 提出的可行基本行动计划. 使各可行计划在这里通过相容性准则的检验, 以排除子目标间、子目标与总目标间的矛盾. 策略黑板 SBB 存放组成可行解和协调解的一组基本行动规划, 或一组不相容、不一致的行动规划. 问题黑板 PBB 存放用户给出的关于战略问题的初始数据. 包括全局目标名、DCAs 和 SPAs 的信箱表. PBB 还在整个工作过程中显示系统中的各种活动进程, 包括何人何时进行何种活动和何时哪个 Agent 处于活动状态等. 它支持整个分布式决策过

程有序的进行.

3° 约束库是专用知识库, 存放相关问题域的政治、经济、法规等信息. SPAs 需在这些约束条件下, 制定行动方案.

4° 事件表实际起到维护 DOBB 和 CBB 的作用, 任何 DOBB 和 CBB 的变动就构成一个事件. SPAs 在提出 action 前应该对事件表保证其行动选择的一致性和可行性.

### 3.5 软件 Agent 的内部构造

作为多 Agent 系统核心的软件 Agent, 是从面向对象方法体系 OOM 的“对象”演化出来的, 作为“对象”, 各个 Agent 隶属具有不同分工的 STA, DCA 和 SPA “Agent”类中的一个实例. 性能上是具有自主行为能力的软件实体. 其自主行为的产生, 源于自身的自成体系的智能系统 IS 和合作功能层 CL, 其内部构造如图 4 所示. IS 通过分解知识库 (分解—KS), 和数据及模型两个局部黑板支持所属 Agent 的有效工作, 如 SPA 产生基本行动, DCA 产生分目标方案, STA 产生战略大纲等. CL 负责所属 Agent 与其他 Agent 间的合作, 并控制 IS 的任务, 其中规划和协调工作由规划知识系统 (规划—KS) 完成. 此 KS 存有其他 Agent 的信息、特别是他们各承担何种任务的信息; CL 也负责何时、如何与其它 Agent 合作; 而权限模块则提供所属 Agent 有关自身的知识.

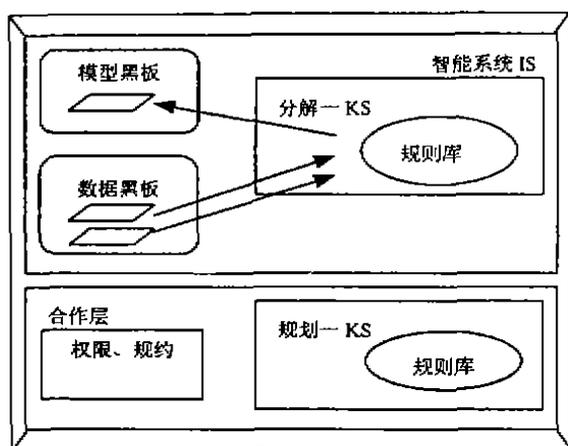


图 4 Agent 内部结构

虽然 STA, SPA, DCA 有着相同的形式框架如图 4, 但具体化时则略有不同。在 STA 中 IS 分成“分解-KS”和“相容-KS”两个模块, 前者负责问题或目标分解; 后者在自下而上的工作状态下, 在过程的最后一步才启动, 检测 CBB 中存储的行动是否相容。CL 则负责将任务分派给 DCAs, 其“规划-KS”在第一个 IS 模块(分解-KS)任务完成后接着动作, 负责寻找一个可以完成分任务的 DCA, 并通过信箱向它下达命令。在 DCA 中, IS 就只有一个“分解-KS”, 它使用 MBB 和 DBB 产生适应 STA 所指派任务的方案。其次 DCA 要选合适的 SPA 来完成方案中的某项具体任务, 由 SPA 产生出一组行动 actions。SPA 也有与图 4 大体相同的结构。限于篇幅, 不再详述。

### 3.6 多 Agents 系统工作流程

图 3 展示了由多 Agent 体系实现的战略规划决策支持系统, 它的决策支持过程与图 2 的 CSCW 产生策略方案的过程相同。始于由用户提出战略规划总目标, 终止于由决策支持系统提交一组适应的行动规划, 需要阐明的只是决策支持系统内部, 在各层次结构上活动的 Agent 是如何工作的。现在按工作流程分 6 步叙述如下:

#### 1° 人一机交互

用户作为战略决策者或战略分析家, 定义一个全局战略目标, 存入 PBB。

#### 2° 触发(启动)STA

确认全局目标, 将之分解为一组分目标, 并与用户交互接受修改意见, 将之存入 PBB。再根据

分目标需求选择适当的 DCA, 将分目标任务的命令下达给各有关 DCA。这时, STA 的任务是这样完成的:

(1) 分解-KS 从问题黑板领受总目标任务, 参照情景库存储的知识生成针对这一总目标的分目标表, 此表需通过用户修改(或不修改)和确认。

(2) 规划-KS 查找出有能力求解各分目标的 DCA, 并将求解任务分派给各 DCA, 将指派任务的命令表存入 PBB。

#### 3° 触发(启动)DCA

产生对应分目标的方案并找到合适的 SPA 来完成行动计划, 这时 DCA 的任务是这样完成的:

(1) 分解-KS 从 DCA 在 PBB 的邮箱中领回子目标, 依靠所装备的知识生成针对该子目标的解决方案, 此解决方案应由中层管理者修改或确认。

(2) 规划-KS 将确认过的解决方案分配给合适的 SPA, 分配命令由 PBB 中 SPA 的邮箱发送, 并取代 STA 的命令表, 仅将 DCA 给 SPA 的命令表存放在 PBB 中。

#### 4° 触发(启动)SPA

产生一系列合适的行动计划, 并参照约束库中的条件测试可行性。这时, SPA 的任务是这样完成的:

分解-KS 产生针对子目标求解方案的基本行动计划, 自动执行约束库约束条件对行动计划的可行性检验, 并与基层管理者交互, 获得确认后, 将此行动计划同时存入 DOBB 和 CBB。当所有与分目标相应的行动计划全部确定时, 再将 DCA 布置给 SPA 的任务命令从 PBB 中取消。

#### 5° 集成

这里要用到装备给 STA 的矛盾协调机制。STA 有责任检查存放在 CBB 中所有的由 SPA 提交的行动计划, 视其是否有不相容性?这就有两种情况:

(1) 基本行动计划相容性好, 系统向用户提出完整的行动规划, 并将之存入 SBB。

(2) 行动计划有不相容性, 系统给出不相容原因, 将之存入 SBB。

#### 6° 人一机再交互

有不相容情况存在时, STA 从知识库中可能

找出完全符合目标要求的另一个情景设定,并向用户推荐.用户同意接纳时,再从第一步开始.若找不到合适的情景设定,就要人一机合作寻求另一全局目标.

以上各类 Agent (STA, DCA 和 SPA) 的触发,依靠消息传递.接受一方则靠消息识别和权限决定是否启动,这就是 Agent 的自治性社会能力和响应性的表现.这些性能是建立在软件编程技术基础上的.

#### 4 系统特点

系统运作的技术特点如下:

(1) 可以实现自上而下的任务分解工作方式,也可实现自下而上的集结方式.

(2) 系统知识库区分元知识和领域知识,分别存储,易于存取,使系统快速获得知识支持.

(3) 采用面向对象式直接消息传递和黑板系统的间接通信方式,可望在解决系统复杂性和实时性方面取得较好效果.

(4) 在预选方案及其行动计划的表达、组合和集成方面,采用相容性准则获取全局一致解.

(5) Agent 的触发是并发式的,系统具有并行处理的特点.但并行处理并不妨碍协调解的获取进程,可见知识源方面不存在矛盾.

#### 5 计算机实现和继续开发问题

图 3 所示系统原型在高档微机组成的互联网上实现,环境为 Windows NT 4.0,应用系统开发语言为 BC++4.0.它支持基于“对象”的 Agent 生成.一个战略决策任务被描述成“类”的一个特殊对象,规则再按类划分.已报告过的 AICOM 平台继续延用,并为建造 Agent 体系和黑板系统,设计了专门的支持工具.这个外壳 shell 在不同应用目标条件下,按各任务的进程表工作.进程表可由用户动态修改.鉴于军事和非军事应用中都有许多战略决策问题,这个多 Agent 系统原型值得进一步探讨.

#### 参考文献

- 1 Feng Shan. An artificial intelligence embedded object-oriented methodology for model based decision support, in Andrzej Wierzbicki ed. Proceedings of the IFAC'95 Symposium. MCNE'95, Gold Coast Qld. Australia, Oxford, UK, Pergamon, 1996. 371~379
- 2 冯珊. 智能决策支持系统中的建模问题, 信息与控制, 1993, 22(6): 364~370
- 3 冯珊, 田园. 一种面向对象与人工智能相结合的问题求解方法. 系统工程与电子技术, 1995; 17(1): 1~7
- 4 冯珊. 用面向对象编程实现问题求解自动化. 信息与控制, 1995; 24(4): 199~207
- 5 Wirtig T (Ed). ARCHON: An architecture for multi-agent systems. US, Ellis Horwood, 1992
- 6 Simon H A. Administrative Behavior. US, MacMillan, 1975
- 7 Pinson S, Moraitis P. An intelligent distributed system for strategic decisions making. Group Decision and Negotiation, Kluwer Academic, 1996; 6: 77~108
- 8 Feng Shan. IDSS: designing to extend the cognitive limits. Systems Engineering and Electronics, 1993; 4(01): 33~44
- 9 Lehner F. Expert systems for organizational and managerial tasks. Information and Management, 1992; 23(02): 31~41
- 10 Dragoni A F. Distributed decision support system under limited degrees of competence, a simulation study. Decision Support Systems, 1997; 20(01): 17~35
- 11 Eloffson G, Beranek P M, Thomas P. An intelligent agent community approach to knowledge sharing. Decision Support Systems, 1997; 20(01): 83~97
- 12 冯珊, 李彤, 闵君. 面向武器装备系列研制的灵境仿真研究(上). 计算机仿真, 1998; 15(3): 31~35
- 13 冯珊, 李彤, 闵君. 面向武器装备系列研制的灵境仿真研究(下). 计算机仿真, 1998; 15(4): 21~25

gineering, 1994—95, 7(1), 89~104

## Integrated Quality System of Coal Preparation Plant in CIMS

*Gong Dunwei, Xu Shifan, Shi Youqun*

College of Information and Electronics, China University of Mining and Technology

**Abstract** The integrated quality ideas such as system optimization, feedback and total quality management are given firstly, then the three levels of promotive control structure, the functions and the requirements to information of integrated quality system of coal preparation plant in CIMS are expounded. The technical strategy to carry out the system is also given combined with an application example.

**Keywords:** CIMS, coal preparation plant, integrated quality ideas, integrated quality functions

---

上接第 76 页

## Agent Oriented Technology for Modeling and Simulation of Complex Systems

*Feng Shan, Tang Chao, Min Jun, Shen Chong*

Department of Automatic Control Engineering, Huazhong University of Science and Technology

**Abstract** To fit the technological requirements for simulation of complex systems, a novel type object oriented formalization system, called multi-agent system, has been constructed. The system consists of advanced "object", characterized by autonomous decision making, control and communication capabilities, these objects are equipped with both data and knowledge processing functions. A group strategic decision making process implemented by multi-agent system has been given as an example.

**Keywords:** modeling and simulation of complex systems, object oriented methodology, software agent, agent oriented methodology