

一种复杂适应系统仿真的 Agent 混合结构模型

倪建军¹, 王建颖², 马小平¹, 徐立中², 李臣明²

(1. 中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 分析了复杂适应系统的多 Agent 建模方法以及系统仿真框架, 提出了一种复杂适应系统仿真的 Agent 混合结构模型, 在该模型中构造了基于知识的协调控制器, 通过它来协调慎思式过程和反应式过程. 最后, 结合跨流域调水管理这一复杂过程, 对跨流域调水管理复杂适应系统仿真的 Agent 结构模型的应用进行了实例分析.

关键词: 复杂适应系统; Agent 建模; 系统仿真; 跨流域调水管理; 水资源配置

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2005)02-0207-05

1994 年, 美国霍兰教授从注重个体的主体性以及其与环境之间的相互影响和相互作用出发, 提出了复杂适应系统(Complex Adaptive System, CAS)理论^[1], 从一个侧面概括了生物、生态、经济、社会等一大批重要系统的共同特点. 复杂适应系统是一类复杂巨系统, 国内外研究表明^[2], 传统的建模方法(诸如还原论方法、归纳推理方法等)已不能很好地刻画复杂适应系统, 而基于 Agent 的建模方法, 具有主动性、层次性、动态性、可操作性等优点, 成为研究复杂适应系统新的有效手段.

Agent 的结构模型是复杂适应系统仿真的基础, 复杂适应系统的复杂性、适应性都是通过 Agent 结构模型中的规则、智能以及 Agent 之间、Agent 与环境间的交互等来体现的^[3]. 在 CAS 理论中, 霍兰提出一种基于遗传算法的刺激-反应模型^[1], 来描述他所定义的具有主动性个体的基本行为模型. 邓宏钟^[3]给出了复杂适应系统中 Agent 结构模型的六元组描述, 即 Agent = < 标识、类型、知识库、规则库、属性、参数 >. Alfonso 等^[4]针对生物系统的仿真建立了觅食 Agent 的模型. 该模型具有生物的一些特性, 如生命周期、繁殖能力、移动能力、交流能力等. 这些能力以基因的方式给出. 该模型中一共有 6 种基因, 分别是说谎的基因、相信别人的基因、交流能力的基因、移动能力的基因、遗忘概率的基因以及攻击的基因. Fu 等^[5]针对供应链仿真中多种不同 Agent 要求提出了一个通用 Agent 的结构模型. 该模型包括输入输出模块、事件选择模块、信息处理模块、过程执行模块以及知识库、策略、状态等, 核心是由过程驱动的. Bunn^[6]针对电力贸易市场的 Agent 仿真提出一种自治的 Agent 结构模型, 以模拟市场中的各种经济实体. 这些 Agent 没有通讯能力, 但具有感知信息的能力, 有在交互中学习的能力, 能作用于环境, 并修改自身行为, 以达到自身利润最大化. 赖旭芝等^[7]针对足球机器人仿真提出了一种基于行为的双层动态智能体结构模型, 它包括反应式结构和慎思式结构, 并采用自信度来连接这两种结构, 既可以提高在实时动态环境下智能体反应的敏捷性, 也使自主机器人能够在动态环境下识别任务.

关于 Agent 的结构模型, 不同的研究者根据自己的研究背景和研究领域提出了不同的研究观点和看法, 但针对跨流域调水管理复杂适应系统的仿真, 上述模型有的过于简单, 有的通用性和适应性较差, 不能满足跨流域调水管理复杂适应系统仿真要求. 本文结合跨流域调水管理这一复杂过程的仿真, 提出一种 Agent 混合结构模型, 并进行了实例分析.

1 复杂适应系统与基于 Agent 的建模方法^[1 2 8]

复杂适应系统理论的提出, 是从对系统演化规律的思考引起的, 其核心思想是: 适应性造就复杂性. 复杂适应系统理论包括微观和宏观两个方面. 在微观方面, 其基本思想是: 把系统中的成员称为具有适应性的主

体(Adaptive Agent),简称 Agent.所谓具有适应性,就是指 Agent 能够与环境以及其他 Agent 进行交互作用. Agent 在这种持续不断的交互作用中,不断地“学习”或“积累经验”,并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式.而整个宏观系统的演变或进化,包括新层次的产生、分化和多样性的出现,新的、聚合而成的、更大的 Agent 的出现等,都是在微观的基础上逐步派生出来的.在宏观方面,由微观逐步派生出的 Agent 组成的系统,将在 Agent 之间以及 Agent 与环境的相互作用中发展,表现出宏观系统中的分化、涌现等种种复杂的演化过程.

复杂适应系统的仿真,首先通过研究 Agent 的适应性、主动性来建立其模型,然后通过这些 Agent 之间以及 Agent 与环境之间的交互建立起多 Agent 系统模型,最后借助计算机仿真方法并采用自底向上的方式来研究系统的复杂性、系统的个体与整体的关系以及系统的涌现机制等.复杂适应系统的仿真框架如图 1 所示.

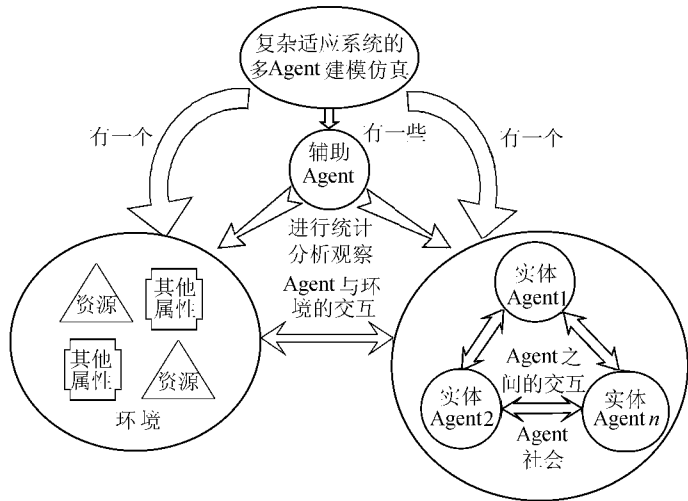


图 1 复杂适应系统仿真框架

Fig.1 Frame for simulation of the complex adaptive system

复杂适应系统仿真框架中包容了仿真过程中的所有对象,即包括一个环境、一个 Agent 社会、一些辅助 Agent 等.其中“环境”包含了环境拥有的所有属性,包括一些 Agent 生存所需的资源以及一些障碍物等其他属性,具体情况根据仿真需要确定.所有的 Agent 活动都在这个环境下进行. Agent 社会由所有实体 Agent 组成,每个 Agent 都是这个社会的一员,他们在其中进行交互、协调,甚至交配、繁殖,直到死亡;同时,这些 Agent 还和环境之间发生交互,从环境中获得资源,影响环境的状态等.辅助 Agent 负责对环境 and Agent 社会进行统计、分析和观察,给观察者提供一个观察的窗口.

2 Agent 混合结构建模

2.1 跨流域调水管理复杂适应系统

南水北调东线工程建成后,将形成连接长江、淮河、黄河、海河,供水、防洪、排涝、航运并举的水资源复杂大系统.对这样的多流域、多水源、多目标复合系统的管理是一个极其复杂的过程,其复杂性主要体现在:(a)系统组成的多要素和大规模(b)系统各要素之间或各子系统之间存在着各种各样的非线性关联形式,表现在内容上是物质、能量和信息的交换(c)系统的开放性导致系统演化的复杂性(d)系统的空间结构具有复杂性(e)系统的复杂性与人类社会的复杂性密切相关^[9].

目前水资源开发配置和调度管理采用传统系统动力学方法进行系统仿真^[10-11].本文根据复杂适应系统理论,采用基于 Agent 的建模仿真方法,在 SWARM 仿真平台上^①构建跨流域调水管理——南水北调东线工程仿真系统.

南水北调东线工程仿真系统具有层次性,按照水资源管理的区域,将区域 Agent 层划分为:江苏水资源系统 Agent、南四湖水资源系统 Agent 和山东水资源系统 Agent.每个区域 Agent 又划分多个功能 Agent 层,如江苏区域 Agent 的 Top 功能主体层包括供水 Agent、用水 Agent、排水 Agent、管理者 Agent 等;而 Top 层中的每

① Swarm Development Group. Swarm 2.1.1 Reference Guide. <http://www.swarm.org>. Mar 28 2000.

个功能 Agent 又可以根据研究的需要划分为子功能 Agent 层. Agent 行为规则的选择、参数的扰动将突现出一个合适的、协调规范的整体. 在一定的规则和市场机制的约束下, 每个 Agent 追求自身的利益和目标, 但是这些 Agent 又都应该具有适应性, 能够不断地调整行为规则, 达到与其他 Agent 和环境的协调发展.

2.2 跨流域调水管理仿真系统 Agent 混合结构模型

通过上述分析, 并参考文献 [5 ~ 7] 中 Agent 的结构模型, 建立了一种适合于跨流域调水管理仿真系统的且具有一定通用性的 Agent 混合结构模型(图 2). 模型中包含协调控制器、感知器、执行器、反应器、规划器、决策器和学习器等部件.

a. 基于知识的协调控制器. 协调控制器负责整个 Agent 的协调运行, 本文采用基于知识的协调控制器来协调慎思过程和反应式过程, 当感知器发现环境的状态发生变化或接收到供水 Agent(或用水 Agent、排水 Agent、管理者 Agent)等其他 Agent 的任务请求时, 协调控制器根据信息的类型和协调控制知识对信息进行解释和分类, 并将其分配到相关的工作单元, 以适应动态的、不确定的环境和任务需求. 协调控制器采用基于全局系统策略的结构模型^[12](即模型视图控制器(Model-View-Controller, MVC))来实现, 其结构如图 3 所示.

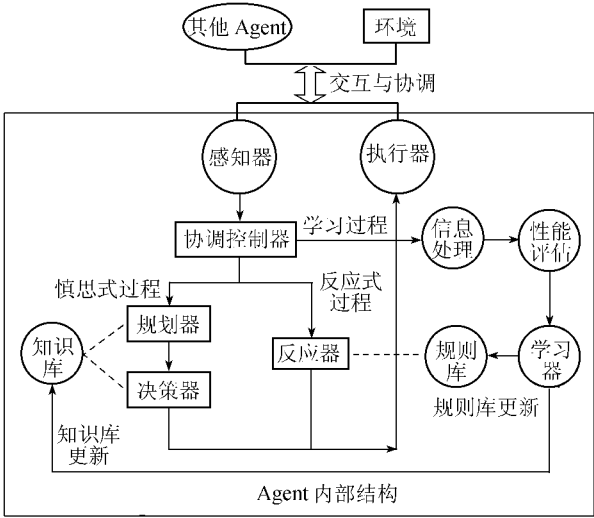


图 2 Agent 的混合结构模型
Fig.2 Agent hybrid architecture model

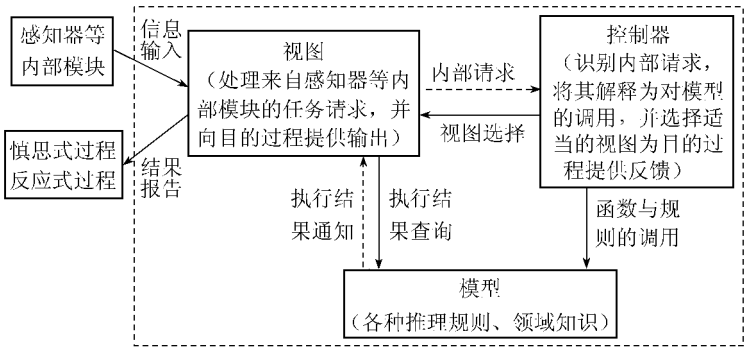


图 3 基于知识的协调控制器结构
Fig.3 Architecture of coordination controller based on knowledge

b. 反应器. 反应器使 Agent 能根据输入信息和当前状态, 实时处理一些常规的情况和洪水、污染等突发事件以及实现一些政策性短期目标. 它运用动作型规则(规则库中的条件规则) 将来源于协调控制器中的反应型信息直接映射为动作(或预定义规则). 反应器生成的动作和目标通常以最高优先级加入到执行器单元, 立即执行, 而中断从决策模块送来的动作. 如果执行器单元中断从决策模块送来的动作, 决策模块将决定是重新规划还是继续原来规划好的动作序列. 反应器的作用就是使 Agent 对突发或常规情况做出迅速反应, 所以反应器基本上不进行推理, 而是直接由感知的信息映射到某种行动. 反应器一般采用如下规则

Rule :IF 感知信息条件子句 THEN 行动

c. 规划器. Agent 的规划器负责建立中短期水资源配置计划. Agent 的规划是一个局部的规划, 局部性体现在两个方面: 一方面, 每个 Agent 根据目标集合、自身的状态、自己对环境和其他 Agent 的模型, 以及以往的经验规划自身的行为, 而不是由某个 Agent 对全局进行规划并将命令分发给其他 Agent. 另一方面, Agent 并不需要对它的目标做出完全的规划, 而只要生成近期的行动序列就可以了. 因为环境是变化的, 很多情况无法预料, 长期的规划很可能会因为情况的变化而失去意义. 规划器需要从目标集合、环境模型、其他 Agent 模型、经验库以及自身的状态等数据结构中提取信息, 经过局部规划器, 产生出近期的动作序列, 送交给决策器. 目标集合包含 Agent 要达到的目标, 环境以及其他 Agent 的模型存储于知识库, Agent 可根据环境的变化趋势做出预测, 并反映到规划中. 经验库是一些范例的集合.

d. 决策器. 根据 Agent 信念空间反映的状态, 决策器从中选择 Agent 能达到的目标, 将其按照不同的优先级加入到活动目标议程表. 然后, 从动作空间选择并采用那些预先定义的可达到目标的规划, 使之成为行动规划. 之后行动规划被加入到可执行行动序列, 交由相应模块执行. 决策模块所选择的预定义规划来源于知识库中的预定义规划库, 决策负责消解这些规划间的可能冲突, 修改已经过时的、错误的、冲突的及当前不再可用的规划, 并决定在必要时重新规划.

e. 学习器. 学习器是 Agent 具有智能的重要表现. 学习器使用学习知识和规则库中的启发性知识, 对可执行动作队列中的活动规划、活动规划执行对 Agent 信念空间的改变、规划模拟和规划优化的结果等进行分析. 根据分析结果, 把新规划和新目标作为新知识加入到行动和决策空间. 其他学习过程还包括规则库中规则的获取、规则的更新等.

2.3 供水 Agent 的结构模型

以跨流域调水管理复杂适应系统中的供水 Agent 为例, 对模型中各个部件的工作情况进行详细说明. 供水 Agent 的内部工作流程如下.

a. 通过感知器感知水资源系统的各种状态变化, 主要包括: 水资源供需情况变化(主要感知工业需水量、农业需水量、生活需水量、生态需水量以及可供水量的变化)、水市场的变化情况(主要感知水资源利用率、水权交易、水价波动等情况)、水环境的变化情况(主要感知地表水水质、地下水水质、水生态保护、污水处理及回用率等情况)、其他 Agent 的反馈信息(主要管理 Agent 的各类经济指标信息、用水 Agent 的反馈信息等)以及监测是否有其他 Agent 发出的任务请求.

b. 将感知到的情况传送到协调控制器的视图, 视图负责产生内部请求, 传送到控制器, 由控制器对所感知到的信息进行解释和分类, 并调用模型进行处理. 而模型根据相应的规则和知识对不同的任务类型给出不同的处理结果, 并将结果返回给控制器. 控制器根据结果选择相应的视图, 向目的过程提供输出. 例如当控制器接收到来自用水 Agent 的一次需水请求时, 首先将用水 Agent 需水请求送给模型去处理, 而模型会根据用水 Agent 的需水请求的供水时间要求、供水水量要求、气象条件等确定该任务是否紧急, 自身能否独立完成该任务等, 并将这一结果反馈给控制器. 控制器根据这些结果调用相应的视图, 由视图将结果传送给相应过程. 如果任务十分紧急, 则视图将调水指令传给反应式过程, 产生泵站调用指令, 通过执行器和泵站 Agent 交互, 调用泵站 Agent 供水. 如果发现是复杂的任务请求, 如要考虑来自雨情测报 Agent 等相关气象信息时, 视图则将相应的指令传给规划器和决策器, 由规划器和决策器调用知识库中的相关知识做出中短期的调水规划和决策, 防止出现严重缺水或调水过多等现象.

c. 学习器在相应的时候启动, 这时供水 Agent 通过感知器感知水资源系统的变化状态, 包括用水 Agent、管理 Agent 等的反馈信息、水环境的变化情况等, 然后通过信息处理以及性能评估模块, 学习这些信息, 获得相关知识, 对知识库和规则库进行修改和补充, 完成学习过程. 例如当感知到在供水之后一段时间, 需水区的水质下降很多, 则学习器对上述情况进行分析学习, 得到当地水质与水价、供水量等变量之间的相互关系的知识, 并据此提出修改行为规则和知识库的相关内容, 以改善需水区的水质情况.

由上述供水 Agent 的内部工作流程可以看出, 该 Agent 结构模型能够完成跨流域调水管理复杂适应系统仿真中不同的任务, 具有自适应能力, 可以根据不同的外部需求自动调整内部动作, 而且具有快速反应能力和学习功能, 可以满足跨流域调水管理复杂适应系统仿真中对 Agent 的不同要求.

3 结 语

复杂适应系统的建模仿真研究是复杂性研究领域的一个热点问题. 本文分析了复杂适应系统仿真框架, 提出了一种复杂适应系统仿真的 Agent 混合结构模型. 该模型中采用 MVC 结构构造的基于知识的协调控制器来协调 Agent 的慎思式过程和反应式过程, 满足了跨流域调水管理复杂适应系统仿真中对 Agent 的不同要求. 最后, 对跨流域调水管理复杂适应系统仿真 Agent 结构模型的应用进行了实例分析, 给出了供水 Agent 详细的内部工作流程.

参考文献:

- [2] 陈禹. 复杂性研究的新动向——基于主体的建模方法及其启迪[J]. 系统辩证学学报, 2003, 11(1): 43—50.
- [3] 邓宏钟. 基于多智能体的整体建模仿真方法及其应用研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2002.
- [4] ALFONSECA M , LARA J. Two-level evolution of foraging agent communities[J]. BioSystems, 2002, 66: 21—30.
- [5] FU Y , PIPLANI R , SOUZA R , et al. Multi-agent enabled modeling and simulation towards collaborative inventory management in supply chains[A]. In: Proceeding of the 2000 winter simulation conference[C]. New York: IEEE Computer Society Press, 2000. 1763—1771.
- [6] BUNN D W , OLIVEIRA F S. Agent-based simulation—an application to the new electricity trading arrangements of england and wales[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2001, 5(5): 493—503.
- [7] 赖旭芝, 宁志宇, 仵博. 一种基于行为的双层动态智能体结构及其在 RoboCup 中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2004(8): 28—30.
- [8] 廖守亿, 戴金海. 复杂适应系统及基于 Agent 的建模与仿真方法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(1): 113—117.
- [9] 赵建世, 王忠静, 翁文斌. 水资源复杂适应系统配置的理论及模型[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 639—647.
- [10] 杨方廷, 赖纯洁. 南水北调工程仿真系统[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(12): 1563—1578.
- [11] 赵勇, 解建仓, 马斌. 基于系统仿真理论的南水北调东线水量调度[J]. 水利学报, 2002(11): 38—43.
- [12] 徐正权, 李俊峰. MVC 模式下的界面再工程[J]. 计算机工程与应用, 2004(14): 115—116.

An Agent hybrid architecture model for simulation of complex adaptive system

NI Jian-jun¹, WANG Jian-ying², MA Xiao-ping¹, XU Li-zhong², LI Chen-ming²

(1. School of Information and Electrical Engineering ,

China University of Mining and Technology , Xuzhou 221008 , China ;

2. College of Computer and Information Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The multi-Agent based modeling method and its simulation frame for the Complex Adaptive System(CAS) were analyzed , and an Agent hybrid architecture model for the simulation of CAS was developed. In this model , a coordination control unit based on knowledge was proposed to coordinate the cognitive process and reactive process. Finally , a case study was made on the application of the Agent hybrid architecture model to CAS for interbasin water transfer management .

Key words : complex adaptive system ; Agent-based modeling ; system simulation ; interbasin water transfer management ; water resources allocation