

跨流域调水管理仿真的 Agent 结构模型

马贞立^{1,2} 李臣明² 王慧斌² 田 昕²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098 ;

2. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 鉴于传统水资源开发配置和调度管理普遍采用系统动力学方法进行系统仿真, 有一定局限性, 采用复杂适应系统理论以及多 Agent 建模方法分析了跨流域调水管理过程的层次结构, 结合南水北调东线水资源调度管理系统, 设计了一种基于复杂适应系统仿真的 Agent 结构模型, 并对 Agent 结构模型的形式化描述和特点进行分析, 最后基于 swarm 仿真平台进行了仿真和验证。结果表明跨流域调水管理仿真的 Agent 结构模型可以协调好智能体的反应性和适应性, 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。

关键词 复杂适应系统; 计算机仿真; Agent; 跨流域调水

中图分类号: TV68; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2007)06-0057-04

Agent structure model for simulation of inter-basin water transfer management//MA Zhen-li^{1,2}, LI Chen-ming², WANG Hui-bin², TIAN Xin² (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China 2. College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In consideration of some limitations of the system dynamics method generally adopted for system simulation of water resources allocation and management, the complex adaptive system theory and multi-Agent modeling method were employed for analysis of the hierarchy and structure of the inter-basin water transfer management. An Agent structure simulation model based on complex adaptive system was designed for water resources allocation and management system of the South-to-North Water Transfer East Route Project, and the forms and features of the Agent structure model were analyzed. The simulation with the Agent structure model on swarm simulation platform shows that the model is effective for coordination of the reactivity and adaptability of the intelligent bodies, and it can meet different requirements of the complex adaptive system for Agent.

Key words: complex adaptive system; computer simulation; Agent; inter-basin water transfer

南水北调水资源调度管理系统是一个面向多流域、多水源、多目标的复杂系统。在实物模型上进行仿真研究完全不现实^[1-2]。复杂适应系统(complex adaptive system, CAS)理论^[3]和多 Agent(主体)技术理论^[4,5]是研究复杂系统的有效途径之一。尤其是基于 Agent 的建模方法, 由于具有主动性、层次性、动态性、可操作性等优点, 已成为研究复杂适应系统新的有效手段^[6-7]。

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^[1]。本文根据 CAS 理论, 采用基于 Agent 的建模仿真方法, 在 Swarm 仿真平台上构建了南水北调东线水资源调度管理的仿真系统, 为南水北调东线水资源配置与调度管理提供技术支持。

1 CAS 理论和多 Agent 层次结构

1.1 CAS 理论

CAS 理论是由 Holland 于 1994 年正式提出的^[3]。它的基本思想是将系统中的个体(元素)称为主体, 而主体具有自身目的性、主动性、活力和适应性。主体可以持续不断地在与环境以及其他主体的交互作用中“学习”和“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, 主体的这种主动性以及与环境和其他主体的相互作用不断改变着主体的自身, 同时也改变着环境, 这是系统发展和进化的基本动因。

CAS 不同于一般复杂系统, 其特点主要表现为: ①明显的系统层次性, 各层之间界线分明。②层与

层之间的相对独立性 :层与层之间的直接关联作用少 ,各层的个体主要是与同一层次的个体进行交互。

③个体的智能性、适应性、主动性 :系统中的个体可以自动调整自身的状态、参数以适应环境 ,这反映了CAS是一个基于个体的、不断演化发展的演化系统 ,在演化过程中 ,个体的性能、参数、功能、属性都在变化 ,整个系统的功能、结构也相应发生变化。

④个体的并发性 ,系统中的个体并行地对环境中的各种刺激做出反应 ,进行演化。

1.2 水资源调度管理系统中的多 Agent 层次

CAS 仿真方法主要通过研究 Agent 的适应性、主动性来建立模型 ,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。

将水资源调度管理系统中所涉及的具有各自目标和利益的众多主体 ,按照水资源调度管理的区域来划分。每个区域 Agent 又划分出多个功能 Agent 层和单元 Agent 层。功能 Agent 层包括水资源生产 Agent、水资源管理 Agent、水资源消费 Agent 这三大类。单元 Agent 层根据功能又可细分为生产者 Agent、供应商 Agent、政府管理 Agent、消费者 Agent 等 ,水资源调度管理系统的多 Agent 层次如图 1 所示。

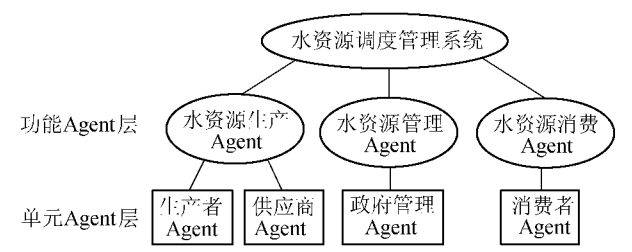


图 1 水资源调度管理系统的多 Agent 层次

2 适合于水资源调度管理仿真的 Agent 结构模型设计

Agent 的结构模型是 CAS 仿真的基础 ,CAS 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 与环境之间的交互等来体现。在水资源调度管理复杂适应系统中 ,Agent 通过“传感器”感知外界环境 ,通过行为效应器作用环境 ,在主体内部不断处理接收到的交互信息并进行感知 ,并形成自己的知识、规划和动作 ,达到自己的目标。

能否协调好智能体的反应性和适应性 ,是衡量智能体结构是否有效的重要标准^[8]。以下是河海大学设计建立的一种适合于水资源调度管理仿真系统的并且具有一定通用性的 Agent 结构模型^[9-10] ,见图 2。

2.1 模型组成

该模型由 3 个部分组成 ,分别是感知行为模块、控制模块和学习模块。

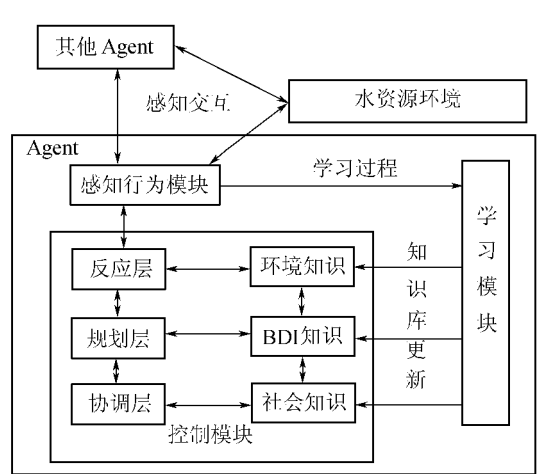


图 2 适合于水资源调度管理仿真系统的 Agent 结构模型

2.1.1 感知行为模块

感知行为模块由感知器和行为效应器组成。

a. 感知器是 Agent 和外部世界进行交互的唯一接口 ,具有一定的信息处理和加工功能 ,也具有与其他 Agent 的通信功能。Agent 通过感知器感知外界环境的变化、接收来自其他 Agent 的交互信息 ,并进行预处理 ,传入控制模块自底向上进行处理。Agent 通过感知器来反映现实世界 ,并对其他 Agent 的状态、环境信息做出一定的抽象。

b. 行为效应器根据控制模块自顶向下传入的动作命令 ,具体执行已提交到可执行动作队列中的活动规划或动作 ,调用相应的问题求解器并发或并行地执行已规划好的任务或动作 ,综合和提交任务或动作的执行结果 ,并根据执行结果通过学习模块来修改信念空间和丰富知识库的有关内容。

2.1.2 控制模块

控制模块是该 Agent 结构的核心部分 ,它能更好地协调 Agent 的反应性和适应性。控制模块自底向上分别由反应层、规划层、协调层以及它们各自的知识库组成 ,不同的知识库代表 Agent 及其不同抽象层的环境。

a. 最底层(反应层)处理反应行为。Agent 根据输入消息和当前状态以快速或实时方式处理一些简单紧急事件或政策性短期目标(比如水量过大、水质发生污染、调度计划的执行等)以及对其他 Agent 的请求信息(供水 Agent、用水 Agent、排水 Agent、管理者 Agent 等其他 Agent 的任务请求时)能够立即做出反应 ,反应层生成的动作和目标通常以最高优先级加入到行为效应器来执行 ,体现了 Agent 的反应性。环境知识指 Agent 对环境的认识 ,Agent 必须时刻感知环境的动态变化。反应层的作用就是使 Agent 对突发或常规情况做出迅速反应 ,反应层根据环境知识库直接由感知的信息映射到某种行动 ,当反应层

没有能力处理当前感知的输入时,控制模块将感知的输入交由上层处理。

b. 中间层(规划层)处理 Agent 的规划来完成目标和预动行为。根据感知的输入用规划知识库中的知识创建新规划,消解规划间可能的冲突,根据 Agent 的信念空间模拟新规划的执行效果,评价规划模拟结果,对规划进行适宜性优化,形成优化规划集,并把最终形成的活动规划加入到可执行动作队列。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。因为环境是动态变化的,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。规划层需要从目标集合、环境模型、其他 Agent 模型以及自身的状态等数据结构中提取信息,产生出近期的动作序列。BDI 知识包含 Agent 自身的规划、自我信念愿望意图模型和资源信息,Agent 可根据环境的变化趋势做出预测,并反映到规划中。

c. 最高层(协调层)协调本 Agent 与其他 Agent 或 Agent 组织之间的协作行为和相互作用处理与其他 Agent 的协作信息来进行交互,它还负责消解 Agent 间的资源、任务结果等冲突。相应的知识库代表其他 Agent 的世界模型、其他 Agent 的规划、其他 Agent 的意图(即可能达到的目标)。社会知识使用一个包含多种建模元规则的知识库,一些能展示 Agent 认知型行为的逻辑符号推理过程,比如规划识别、假设推理等也应包含在此模块中。

控制模块通过层次间的彼此交互,在相应的层次上负责执行相应的功能来协调 Agent 的反应性和适应性。

2.1.3 学习模块

学习模块是 Agent 具有智能的重要表现。学习模块通过某种合适的学习机制学习知识库中的启发性知识,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。若成功,则把新规划和新目标作为新知识分别加入到各个知识库中,其他学习过程还包括知识库中各种模型、规则、经验的获取和更新。在南水北调水资源调度管理中,每一个个体(如调水 Agent、供水 Agent、用水 Agent 等)为了适应环境的变化(如储水量变化、地方经济发展变更对需水产生的变更、地方水资源承受力变化、其他水源竞争、供水成本增高、其他个体提出的新要求等)对本身行为规则状态进行调整,从而满足系统正常运行的需要,适应的策略就是学习,学习模块使 Agent 更好地适应环境。在环境动态变化的复杂适应系统中,可以采用强化学习作为 Agent 的学习机制来构

造学习模块。

层次结构可以很好地协调反应性和适应性。具有层次结构的 Agent 可以处理反应行为和预动行为,解决了像反应式 Agent 和慎思型 Agent 的很多问题。通过学习机制,具有层次结构的 Agent 能更好地适应环境的动态变化,不断进行着演化学习,满足南水北调复杂适应系统仿真中对 Agent 的不同要求。

2.2 Agent 结构模型的形式化描述及分析

基于上述 Agent 的结构模型,给出一种形式化描述,可以将该 Agent 模型用一个 7 元组来表示:

$Agent ::= \langle Identification, Type, KB, GS, SS, AS, PS \rangle$

其中:

$Identification ::= \langle Agent \text{ 标识} \rangle$:标识是 Agent 的编号,或者叫物理地址,每个 Agent 都有唯一的标识,不同的 Agent 的标识也不同。

$Type ::= \langle Agent \text{ 类型} \rangle$:类型是 Agent 所属的领域以及 Agent 所具有的知识 and 能力类型,同一种 Agent 聚集起来,形成一类或一组 Agent,这一类 Agent 具有相同的学习能力以及一些基本属性值。

$KB ::= \langle Knowledge \text{ Base} \rangle$:Agent 知识库,是 Agent 知识的集合,知识是以一定的方式组织起来的,不同类别的 Agent 的知识库不相同,同一类 Agent 具有相同的知识类型,但知识库却不一定相同,知识库的不同是造成 Agent 在规划和决策时性能各异的根本原因。

$GS ::= \langle Goal \text{ Sets} \rangle$:Agent 目标集,包括 Agent 自身所要达到的目标和为了整体利益所要达到的共同目标。目标集形式如下:

$\{Goal1 : goal1 \text{ statement};$
 $Goal2 : goal2 \text{ statement};$
 $..... \}$

$SS ::= \langle State \text{ Sets} \rangle$:Agent 状态集,包括 Agent 的一些可变属性集合。

$AS ::= \langle Action \text{ Sets} \rangle$:Agent 动作集,是指 Agent 为了达到目标所执行的所有动作。

$PS ::= \langle Plan \text{ Sets} \rangle$:Agent 规划集,是指 Agent 在遇到复杂问题或在时间允许的情况下,为了达到目标所制定的规划,包括局部规划和全局规划。规划集形式如下:

$\{Plan1 : plan1 \text{ statement};$
 $Plan2 : plan2 \text{ statement};$
 $..... \}$

由上述对该模型的介绍和形式化描述可以看出该结构模型具有如下特点:①Agent 体系结构设计为层次结构,并且在一个 Agent 中封装了多种功能和

属性:状态属性、目标属性、规划能力、反应能力、学习能力等。②采用了层次结构可以适应各种不同的情况,从而使得该结构模型具有很强的适应性和通用性,不仅能够适应各种复杂的情况,而且对简单任务的处理能力也很强,满足了 CAS 多 Agent 建模仿真方法对 Agent 自治性、适应性的要求。③突出了学习能力的重要性,在整个模型当中,学习模块起到一个核心的作用,它负责对各层知识库进行维护和更新,从而使得 Agent 具有很强的智能,满足了 CAS 多 Agent 建模仿真方法对 Agent 智能的要求。④采用模块化的结构,便于软硬件设计和实现。

3 Swarm 仿真及结果分析

Swarm 是一个用于 CAS 模拟的高效率的、可信的、可重用的多 Agent 软件仿真平台。Swarm 可以支持建模者使用多 Agent 模拟的方法。仿真实验系统不仅可以运行各种控制窗口以控制仿真实验系统的运行,还可以方便地设定每个区域 Agent 中企业 Agent、需水管理 Agent、供水 Agent 等 Agent 的个数和环境初始设置以及最终结果显示的频率等参数。

在本文的试验过程中,设某个受水区一共有 200 个需水 Agent,其中城市需水 Agent 与农村需水 Agent 的初始比例随机确定,4 个企业 Agent,1 个管理 Agent,1 个环境 Agent,1 个需水管理 Agent 和 10 个供水 Agent,初始水价为 k ,仿真的步长为 1 个月。各个 Agent 按照事先设定好的行为时间表进行动作和交互,仿真到 500 个步长(约 42 a,大约到 2049 年)时,有关曲线如图 3、图 4 所示。

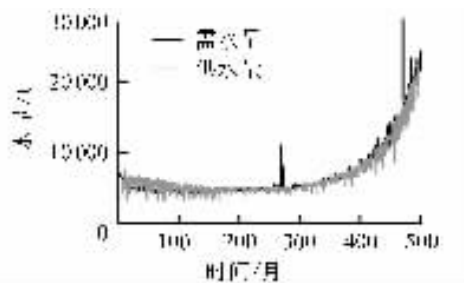


图 3 水市场中水资源需求供应情况

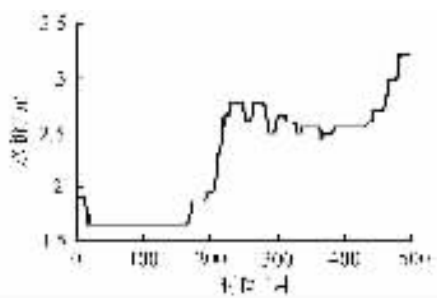


图 4 供需协商水价的趋势

图 3 是水市场中水资源需求供应情况,水资源

需求和供应总体呈上升趋势,并且市场供应总能够围绕市场需求上下波动,这符合市场经济的发展规律。图 4 给出了供需协商水价的趋势,由于经济的总体发展需水量逐渐增大,并且水资源越来越短缺,通过供需水双方的协商,水价总体呈上升趋势,开始阶段水价波动较大,但随着仿真的进行,各类 Agent 之间进行交互、学习,各自根据市场供需情况进行行为调整等,水价波动较小,呈稳中有升的态势。

这里需要说明两个问题:一是市场参与水资源配置与管理过程中,水资源除具有自然属性,又赋予经济属性,故水资源遵循一定的市场规律,水价呈现上升趋势;二是水价并不是一直持上升趋势的,当水市场逐渐趋于规范和成熟时,水价则在一定范围内波动,是有界的。

4 结 语

CAS 的建模仿真研究是复杂性研究领域的一个热点问题。本文在对 CAS 的多 Agent 建模方法和南水北调东线水资源调度管理系统层次结构进行分析后,提出了一种适用于水资源调度管理 CAS 仿真的 Agent 结构模型,通过层与层之间的交互可以协调好智能体的反应性和适应性,满足了跨流域调水管理 CAS 仿真中对 Agent 的不同要求。最后,对 CAS 仿真的 Agent 结构模型的形式化描述和特点进行了分析。

参考文献:

[1] 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.
[2] 王慧敏,佟金萍,马小平,等.基于 CAS 范式的流域水资源配置与管理及建模仿真[J].系统工程理论与实践,2005(12):118-124.
[3] HOLLAND J H. 隐秩序——适应性造就复杂性[M].周晓牧,韩晖,译.上海:上海科技教育出版社,2000.
[4] WOOLDRIDGE M, JENNINGS N R. Intelligent agents: theory and practice[J]. The Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2):115-152.
[5] RUSSELL S, NORVING P. Artificial intelligence: a modern approach[M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995.
[6] 谭跃进,邓宏钟.复杂适应系统理论及其应用研究[J].系统工程,2001,19(5):1-6.
[7] 陈禹.复杂性研究的新动向——基于主体的建模方法及其启示[J].系统辩证学学报,2003,11(1):43-50.
[8] 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.
[9] 倪建军,王建颖,马小平,等.一种复杂适应系统仿真的 Agent 混合结构模型[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(2):207-211.
[10] 陈建中,刘大有,唐海鹰.智能 Agent 建模的一种模板结构[J].计算机研究与发展,1999,36(10):1164-1168.

(收稿日期 2007-08-15 编辑 骆超)