

基于 Immune Agent 的城市水污染控制决策系统

吴国玺¹, 张泊平², 胡子义²

(1. 许昌学院城市与环境学院, 许昌 461000; 2. 许昌学院计算机科学与技术学院, 许昌 461000)

摘要: 将免疫算法和 Agent 思想应用于实现决策支持, 建立基于免疫 Agent 的城市河流水环境污染控制决策支持系统, 避免基于模型的决策支持系统在求解问题时难以适应动态环境变化的缺陷, 使决策支持系统面向问题, 提高其智能性和自适应性。实验结果表明, 使用 AHP 方法选择 Agent 方案是可行的。

关键词: 水污染控制; 人工免疫; 决策支持; 多 Agent 系统

Decision System for Urban Water Pollution Control Based on Immune Agent

WU Guo-xi¹, ZHANG Bo-ping², HU Zi-yi²

(1. College of Urban and Environment, Xuchang University, Xuchang 461000;

2. College of Computer Science and Technology, Xuchang University, Xuchang 461000)

【Abstract】 This paper applies immune arithmetic and Agent idea to realize decision support, and establishes a decision support system for urban river water pollution control based on immune Agent. This system solves the problem that decision support system can't acclimatize itself to the dynamic environment, ensures that decision support system faces to question region, and increase its intelligence and self-adaptability. Experimental results show that Agent decision support method by the way of AHP is feasible.

【Key words】 water pollution control; artificial immune; decision support; multi Agent system

早期的决策支持系统对半结构化和非结构化决策问题提供支持, 此类决策支持系统在决策支持中的作用是被动的, 不能根据决策环境的变化提供主动支持。随后发展起来的基于知识的决策支持系统和专家系统使用推理机, 能完成对定性、定量问题的描述, 但它们不直接与环境发生作用, 只是向第三者反馈信息或提供建议, 且没有社会行为能力, 其各部分之间无法协调配合^[1]。本文系统能根据问题的变化进行自适应调整, 满足了用户求解问题时的要求^[2]。

1 免疫 Agent 系统

1.1 免疫 Agent 的特征与工作流程

免疫 Agent 是一种接受环境(抗原)刺激, 自主产生免疫应答或与其他免疫 Agent 协作进行免疫应答, 从而实现其目标的计算系统。可以用 $IA = \langle Id, St, Rs, Rb, Co \rangle$ ^[3] 表示免疫 Agent, 其中, Id 表示免疫 Agent 的标识, 用于唯一确定免疫 Agent; St 表示免疫 Agent 所处状态; Rs 表示免疫 Agent 的应答策略, 在实际应用中主要对应一些免疫算法; Rb 表示免疫 Agent 的知识库, 用于存储一些知识; Co 表示免疫 Agent 的通信接口, 用于与环境或其他免疫 Agent 进行通信。

通过对主要免疫细胞的功能分析, 可以归纳出 3 种免疫 Agent^[4]: 感知 Agent, 控制 Agent, 应答 Agent。

1.2 感知 Agent

在研究感知 Agent 对城市水环境影响的同时, 需要考虑其对社会效益。在本系统中, 定义感知 Agent 具有排污属性、生产属性、控制属性和决策属性。

研究排污企业的根本目的是为了对其排污进行控制, 改善城市水环境质量。因此, 感知 Agent 的控制属性首先应考虑怎样控制其排放负荷量, 该排污企业需要消减的排污量对

排污企业自身来说, 即决策 Agent 分配给它的负荷消减量。而感知 Agent 的决策属性主要体现在如下 3 个方面: 对决策 Agent 的决策, 自身内部决策, 与其他排污 Agent 交互时的决策。

对决策 Agent 的决策依据是该负荷消减量是否大于自己的承受能力。如果决策者按水质目标和水环境容量计算出负荷消减量并将它分配给排污企业, 则可能使企业不能正常生产。其原因是可能存在整个工业结构划分不是很合理的情况, 将导致在水质目标要求很高的河段沿岸存在很多生产企业, 此时, 决策者不能仅从企业消减负荷量角度出发来考虑达到水质目标, 而应考虑工业结构调整和城市规划等方案来解决水质问题。

对选择负荷消减方案的决策, 采用最大效用期望值决策准则, 使用层次分析法解决排污企业 Agent 在选择负荷消减方案时的决策问题。根据层次分析法的分析步骤, 决策 Agent 在进行方案选择决策时, 其目标层、准则层和对象层的关系如图 1 所示。

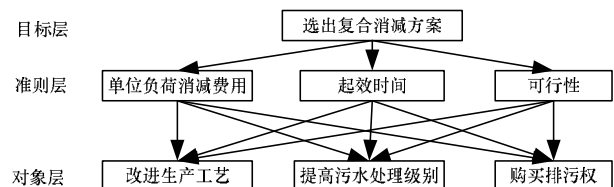


图 1 感知 Agent 决策对象的层次结构

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60475040); 河南省教育厅科技攻关计划基金资助项目(2008A520022)

作者简介: 吴国玺(1966 -), 男, 副教授、硕士, 主研方向: 城市与区域发展; 张泊平, 硕士; 胡子义, 副教授、硕士

收稿日期: 2008-11-18 E-mail: wgx1217@126.com

目标层负责选出消减决策 Agent 分配的、负荷量最优的负荷消减方案。最优表示花费最低、满足时间要求且可行性较强。

准则层是选择方案的评定准则，即单位负荷花费低、见效快、可行性强。

对象层是可以进行负荷消减的方案，本文列出 3 个，代表排污企业 3 大类满足政府要求的负荷消减方式。

Agent 知识的多少直接影响其解决问题的能力。根据感知 Agent 的功能，可设计其结构包含感知模块、信息处理模块、内部状态调整模块、目标模块、执行模块、知识库等部分^[5]，图 2 描述了各个部分的关系。

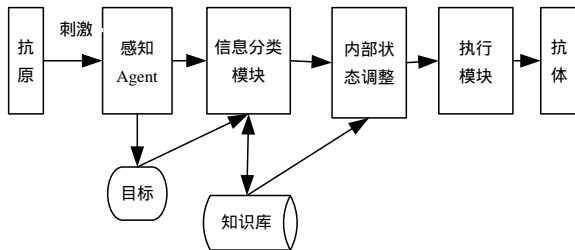


图 2 排污企业 Agent 的内部结构

1.3 控制单元 Agent

将每条河道划分为若干个单元河段——水质控制单元，每个控制单元根据不同的河流水文特性，对应不同水质数学模型。控制单元出口水质浓度要求达到不同国家控制标准，分别由不同河流控制单元 Agent 代表。一个河流控制单元 Agent 代表城市河流的物理属性，且拥有该河段的控制属性、污染属性等。控制单元 Agent 的属性定义为自然属性、纳污属性、控制属性、计算属性。

作为城市河流控制单元水质仿真的 Agent，控制单元 Agent 应具有以下知识：自然属性基本数据，纳污属性基本数据，控制属性基本数据。

控制单元 Agent 的主要属性是其计算属性，其计算基础是各种数学模型，在本文中是对污染负荷的计算机水质计算等模型。感知 Agent 能根据当前信息，利用自己的知识选择需要使用的模型，并根据该模型产生当前状态的更新描述，以达到相应环境、改变环境的作用。本文设计的控制单元 Agent 的内部结构如图 3 所示。

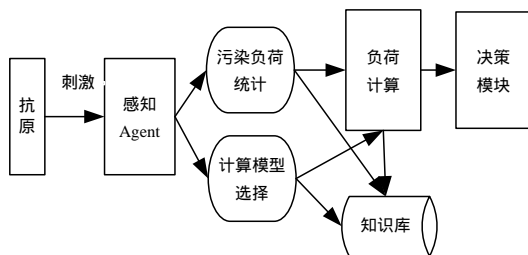


图 3 控制单元 Agent 的内部结构

控制单元 Agent 的主要功能是水质预测仿真计算，在控制单元 Agent 进行水质预测仿真时，需要与污染负荷输入源，如排污企业、居民等 Agent 进行交互并与城市水环境的水源——水源 Agent 进行调水量交互等。控制单元 Agent 需要接收系统命令和决策 Agent 的水质仿真预测命令，才能启动水质预测仿真程序，因此，它需要与决策 Agent 进行交互。

1.4 应答 Agent

应答 Agent 在控制 Agent 的控制和监督下，通过应答

Agent 之间的协调和合作，协同解决复杂决策问题。应答 Agent 在某个特定领域有解决问题的知识和技能，它包括 2 种 Agent：指标选择 Agent 和决策 Agent。指标选择 Agent 根据决策者的偏好从评价指标体系中选择评价指标。决策 Agent 根据决策者的偏好对候选方案进行评估和决策^[6]。因此，每个决策者包括一个指标选择 Agent 和一个决策 Agent。

如图 4 所示，决策 Agent 感知外部信息，形成该步行动的目标，并根据此目标在动作执行库中选择需要执行的行动方案。它针对各目标方案计算各自的效用，最终根据动作方案和效用调整自己的内部状态，执行选择的动作，并输出行动结果，以达到改变环境的作用。其中，目标的形成和效用的生成是决策 Agent 的关键，它体现了决策者进行决策的思想过程。在进行效用计算时，需要考虑决策者的偏好。

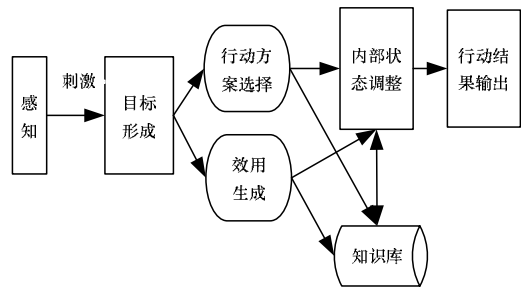


图 4 决策 Agent 的内部结构

2 基于免疫 Agent 决策的决策系统建立

建立一种基于免疫 Agent 的决策支持系统，如图 5 所示，系统包括 2 子系统：多 Agent 子系统和全局库子系统。每个 Agent 具有自己的数据库、知识库、模型库，并将公有数据库、知识库、模型库和图形库组成全局库子系统。其中，数据库用于存储决策过程所需的数据；知识库用于存储决策过程涉及的知识；模型库用于存储决策过程涉及的模型，如方案模型等；图形库用于存储决策过程中使用的图形。

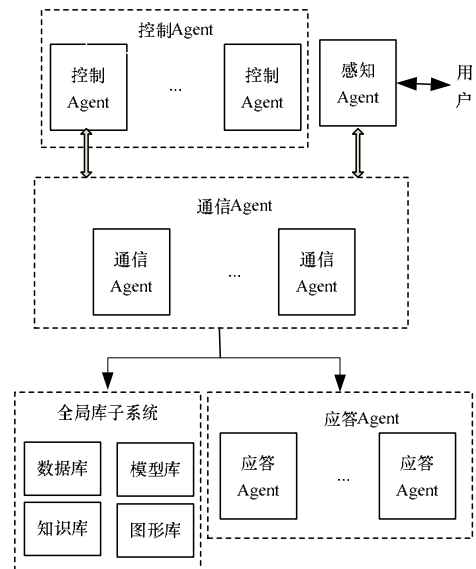


图 5 免疫 Agent 决策系统的体系结构

系统决策过程如下：

Step1 用户通过与感知 Agent 之间的交互，输入有关决策问题的信息。

Step2 在决策者的参与下，控制 Agent 对感知 Agent 呈递的问题进行整体分析，确定决策目标，搜索知识库并把决

策问题分解为子问题。

Step3 控制 Agent 利用关于自身领域、能力等方面的知识确定子问题的分配，形成初步的问题求解方案。

Step4 由控制 Agent 把子问题分配给选中的应答 Agent。如果经过上述步骤仍然没有合适的求解方案，则需要返回 Step2 修订问题求解的目标。

Step5 在控制 Agent 的协调和控制下，每个应答 Agent 通过与其他应答 Agent 之间的促进和抑制作用完成自己的决策任务。

Step6 控制 Agent 汇总各应答 Agent 的决策结果，综合成一个完整的求解结果。

Step7 控制 Agent 把决策结果传递给决策者。

3 基于 AHP 的 Agent 决策方案选定实验

3.1 实验目的

本文实验目的是检验使用层次分析法的感知 Agent 能否在进行负荷消减方案选定时，选择出费用低、起效时间快且可行性强的污染负荷消减方案。

3.2 实验步骤

实验步骤如下：

(1)在感知 Agent 的知识库中输入污染企业进行污染负荷消减一般采用的方案，该过程为知识获取建立过程，是知识库建立的关键阶段。在此实验中，设计了 3 种常用污染负荷消减方案：改进生产工艺(P1)，提高污染物处理级别(P2)和购买排污权(P3)。

(2)根据企业关心的治污效果，确定方案选择准则，该过程是 Agent 的初始知识，由知识工程师根据采访或调查排污企业的主管人员获得并输入排污企业 Agent 的知识库，作为其进行推理时的基本知识。在此实验中，设计 3 种准则：单位负荷消减量的费用(C1)，方案采取后的起效时间(C2)和方案的可行性分析(C3)。

(3)从环境专家处获得各层次的判断矩阵。由知识工程师设计调查问卷，从环境专家处得到关于各层次的判断矩阵，输入 Agent 的知识库。

3.3 实验输入

从专家处获得的各层次判断矩阵如图 6~图 9 所示。

A	C1	C2	C3
C1	1	3	1/3
C2	1/3	1	1/7
C3	3	7	1

图 6 A-C 判断矩阵

C1	P1	P2	P3
P1	1	1/3	5
P2	3	1	7
P3	1/5	1/7	1

图 7 C1 判断矩阵

C1	P1	P2	P3
P1	1	1/3	1/9
P2	3	1	1/5
P3	9	5	1

图 8 C2 判断矩阵

C1	P1	P2	P3
P1	1	1/2	3
P2	2	1	5
P3	1/3	1/5	1

图 9 C3 判断矩阵

根据上述调查表格，将其整理成判断矩阵的形式：准则矩阵，即 A-C 矩阵为 $AC=[1 \ 3 \ 1/3; 1/3 \ 1 \ 1/7; 3 \ 7 \ 1]$ ；以费用为准则的方案矩阵，即 C1P 矩阵为 $C1P=[1 \ 1/3 \ 5; 3 \ 1 \ 7; 1/5 \ 1/7 \ 1]$ ；以有效时间为准则的方案矩阵，即 C2P 矩阵为 $C2P=[1 \ 1/3 \ 1/9; 3 \ 1 \ 1/5; 9 \ 5 \ 1]$ ；以可行性为准则的方案矩阵，即 C3P 矩阵为 $C3P=[1 \ 1/2 \ 3; 2 \ 1 \ 5; 1/3 \ 1/5 \ 1]$ 。将上述判断矩阵作为实验的输入。

3.4 实验结果与结论

当知识工程师将以上知识输入排污企业 Agent 自身的知识库中运行程序时，排污企业 Agent 根据已封装进自身的算法——AHP 方法，推算出如图 10 所示的结果。4 个判断矩阵的一致性依次为 0.007, 0.063, 0.028, 0.004，都小于 0.1，满足一致性判断。

C1	C1	C2	C3	W
	0.243	0.088	0.669	
P1	0.283	0.643	0.074	0.175
P2	0.071	0.180	0.748	0.534
P3	0.309	0.581	0.110	0.200

图 10 AHP 结果

由图 10 可知，在判断准则中，C3 占有重要地位，决定了方案的可行性。可行性是方案实施成败的关键，需要首先考虑，其次考虑费用，然后是起效时间。在污染负荷消减方案中，P2 基于该方法推出，用于提高污水处理级别。P2 是在考虑可行性占主要地位的情况下得出的，购买排污权的起效时间很快，但无法保证可以购买到，即存在能否买到的风险。

参考文献

- [1] Cao Jiannong, Tse D C K, Chan A T S. PD Agent: A Platform of Developing and Deploying Mobile Agent Enabled Applications of Wireless Devices[C]//Proc. of International Conference on Parallel Processing. Montreal, Canada: [s. n.], 2004: 510-517.
- [2] Liu Ruimin, Chen Feng. Agent-based Web Services Evolution for Pervasive Computing[C]//Proc. of the 11th Asia-Pacific Software Engineering Conference. Busan, Korea: [s. n.], 2004: 726-731.
- [3] 黄 凯, 张忠华, 章 剑. 基于免疫计算的多 Agent 决策支持系统及其在海上航天测控领域中的应用[J]. 电讯技术, 2007, 47(2): 181-184.
- [4] Montanari R, Tonti G, Stefanelli C. Policy-based Separation of Concerns for Dynamic Code Mobility Management[C]//Proc. of the 27th Annual International Computer Software and Applications Conference. Dallas, Texas, USA: [s. n.], 2003: 82-90.
- [5] 向 阳, 沈 洪. 基于 Agent 的智能决策支持系统[J]. 计算机工程, 2006, 32(16): 167-169.
- [6] Chen Guangzhu, Li Zhishu, Yuan Daohua, et al. A Mode of Multi-Agent System Based on Immune Evolution[C]//Proc. of AINA'05. [S. l.]: IEEE Press, 2005.

编辑 陈 晖