

# 基于免疫计算的 Multi-agent 系统设计方法

刘升, 王行愚, 游晓明

(华东理工大学信息科学与工程学院, 上海 200237)

**摘要:** 依据人工免疫系统的特点, 分析和设计了免疫 Agent 的结构, 建立了一种基于生物免疫机制的 Multi-Agent 系统网络模型, 并给出了其形式化描述。以此为基础, 阐述了构建具有更强的灵活性、鲁棒性和局部更新能力的复杂分布式软件系统的方法和步骤, 这对现有的软件工程起到了重要的补充作用。

**关键词:** 多免疫 Agent 系统; 免疫 Agent; 分布式系统; 协同进化

## Design Method for Multi-agent System Based on Immune Computing

LIU Sheng, WANG Xing-yu, YOU Xiao-ming

(College of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

**【Abstract】** According to the characteristics of artificial immune system(AIS), the structure of immune agent is analyzed and designed, the network model of multi-agent system based on biological immune mechanism and its formalization are presented. The method for constructing a complex distributed system, which will be more robust and flexible in dynamic environment and can be self-updated locally, is expounded.

**【Key words】** multi-immune agent system (MIAS); immune agent (IA); distributed system; co-evolution

高度的复杂性正成为实际应用需求的特征, 这使得构造高质量的软件系统变得非常困难。这些复杂性和困难性主要体现在系统组成成分的灵活性、相互间的交互性以及对待恶意缺陷的智能防卫性等。因此, 已出现一大批软件设计方法, 比如面向对象的开发方法、基于软构件的软件设计模式和软件体系结构、基于 Agent 的分布式系统建模工具等, 尽管这些方法有着各自的优势, 但当它们面临开发复杂的分布式系统时却表现出不足: (1) 各种计算实体的交互定义得过于严格, 缺乏灵活性; (2) 缺乏足够的机制来处理复杂系统所必须具备的进化、自适应和缺陷容忍等问题。鉴于此, 软件工程必须提供一些更为有效的技术和建模方法尽可能解决这些复杂性<sup>[1-2]</sup>及其不足。

源于生物学的计算智能技术<sup>[2]</sup>——人工免疫系统, 在对待错误和缺陷方面开创了一种完全不同的思路, 即主动利用来自应用环境的信息, 时刻准备着各种行动去应付来自外部环境因素的挑战, 包括大范围的难以预测的事件。所以, AIS 的概念和框架已成为研究复杂软件系统设计方法的推动力, 从而帮助软件系统在遭遇恶意侵害时解决如何生存的问题。

本文设计和构建的基于免疫计算的 Multi-agent 协作系统正适应了现代计算平台和计算环境开放、异质的和分布式的特点, 可以满足现代智能计算和分布式信息处理的要求。

### 1 免疫 Agent 的定义及结构

免疫 Agent(IA)是一种具有免疫机理的 Agent, IA除了具有传统 Agent 的特点外, 还具有认知性、学习性和进化性等特点<sup>[3]</sup>。

**定义 1**  $IA = \langle ID, APC, MEM, STA, REA, PLA, AgB, AbB \rangle$ 。

其中,  $ID$  表示 IA 的标识, 用于唯一确定 IA;  $APC$  表示 IA 的抗原提呈单元;  $MEM$  表示 IA 的记忆单元;  $STA$  表示 IA 所处的状态;  $REA$  表示 IA 的推理决策单元;  $PLA$  表示 IA 的规划单元;  $AgB$  表示 IA 的标准抗原知识库;  $AbB$  表示 IA 的抗体

知识库。其逻辑结构如图 1 所示。

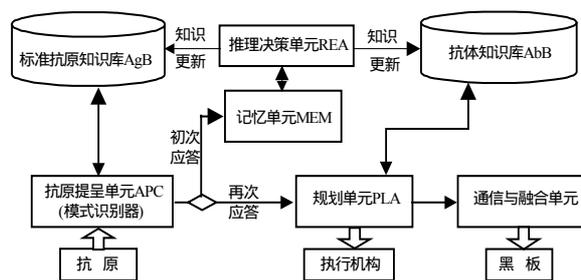


图 1 免疫 Agent 的逻辑结构

在图 1 中, 免疫 Agent 的抗原提呈单元对抗原的特征进行提取, 并和标准抗原知识库进行匹配对比, 如发现是非标准抗原, 则交给记忆单元对其进行记忆, 并交给推理决策单元。推理决策单元根据相应的进化算法, 将其产生的新的抗原特征存入标准抗原知识库, 并将产生的“抗体”存入抗体知识库中, 模拟了初次应答。若发现的是标准抗原, 则直接交给规划单元, 由规划单元提取抗体知识库中的“抗体”来驱动执行机构或通过通信与融合单元与其他 Agent 进行协调来共同抑制抗原, 模拟了再次应答。免疫 Agent 的逻辑结构体现了免疫系统应答性和记忆性的特点<sup>[4]</sup>。

### 2 基于免疫计算的 Multi-Agent 系统网络模型

免疫系统是一个具有大量特殊细胞、组织和分子的分布式 Multi-Cell 系统, 每一个组成成分具有独特的物理上和功能

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(69974014); 教育部高校博士点基金资助项目(20040251010)

**作者简介:** 刘升(1966-), 男, 副教授、博士研究生, 主研方向: 人工智能, Multi-agent 系统与软件工程; 王行愚, 教授、博士生导师; 游晓明, 副教授、博士研究生

**收稿日期:** 2006-11-30 **E-mail:** ls6601@sina.com

