

文章编号: 1001-0920(2002)04-0509-04

免疫 agent 概念与模型

马笑潇, 黄席樾, 柴毅, 黄敏, 倪霖
(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

摘要: 阐述了免疫 agent (InA) 这一新概念, 分析了免疫 agent 求解实体的个性特点, 构造出一种能对动态环境进行实时监控和故障预警的多免疫 agent 的形式化网络模型, 并提出一种新颖的免疫 agent 算法。以此构建的系统具有更强的灵活性、鲁棒性和局部更新能力, 是一个适用于动态环境的自组织系统。

关键词: agent; multi-agent; 免疫系统; 免疫 agent

中图分类号: TP 18 **文献标识码:** A

Concept and model of immune agent

MA X iao-xiao, HUANG X i-yue, CHAI Yi, HUANG M in, NI L in
(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A new entity agent, immune agent (InA), is introduced by combining artificial immune system with agent technology. In addition, a multi-immune-agent formalized model based on a new immune algorithm is constructed, which can be used to monitor the distributed process state in real-time and diagnose faults in advance. The presented immune algorithm can achieve a self-organizing system that is more robust and flexible in dynamic environment and can be self-updated locally.

Key words: agent; multi-agent; immune system; immune agent

1 引言

对复杂系统的分布式智能求解导致人工智能技术朝着分布式人工智能(DAI)的方向发展。agent 作为一个具有信念、目标、意图等认知属性和规划、协商、交互等行为特性的自主计算实体, 其智能特性表现为能进行高级问题求解, 可随环境变化修改自己的目标, 学习知识并提高能力。基于 agent 的系统代表了一种新的方式和途径, 可用于分析、描述和实现复杂、庞大的动态系统。因此, 基于 agent 的系统以及 multi-agent 系统被认为是求解复杂分布式问题的具有普适性的高层指导思想^[1]。虽然对 agent 系

统的研究已取得了一些有影响的成果, 然而 agent 与其它特定领域人工智能技术相结合的研究却很少。目前, 针对各种应用领域, 已出现了各式各样的实体 agent, 如移动 agent (MBA)、接口 agent (ItA)、信息 agent (IfA) 等。这些实体 agent 通过与领域知识的融合, 在特定的应用领域内表现出更高的智能。

本文在人工免疫系统(AIS)理论与 agent 技术的结合上作了初步尝试, 深入讨论了免疫 agent (InA) 这一新概念, 构造出一种多免疫 agent 的形式化模型, 并提出一种免疫 agent 求解算法。这种基于免疫 agent 的 multi-agent 协作系统, 对于解决复杂

收稿日期: 2001-05-22; 修回日期: 2001-08-03

基金项目: 教育部博士点基金项目(99061116)

作者简介: 马笑潇(1975—), 男, 山东临沂人, 博士生, 从事人工智能、模式识别等研究; 黄席樾(1943—), 男(回族), 重庆奉节人, 院长, 教授, 博士生导师, 从事人工智能、知识工程等研究。

工业系统的过程状态监控和故障报警是一种极具潜力的工具。

2 免疫 agent

2.1 概念的提出

从信息处理的角度看,生物体信息系统是一个分布式的协调自治系统。受自然界中生物体信息处理机制的启发,人们已构造出几种模拟人工生命的信息处理算法,如模拟人脑神经传导机制产生了神经网络计算,模拟生物体基因进化机理产生了遗传算法。最近,又诞生了模拟免疫系统的人工免疫系统(AIS)。

免疫是机体的一种特异性生理反应。它由具有免疫功能的器官、组织、细胞、免疫效应分子及有关的基因等组成^[2]。免疫系统通过分布在全身的不同种类的淋巴细胞(B细胞、T细胞等)识别和清除侵入生物体的抗原性异物。基于免疫机理发展起来的AIS具有良好的应答性和自主性,对干扰有较强的维持自平衡的能力,自我-非自我的抗原识别机制使AIS具有较强的模式分类能力。此外,AIS还模拟了免疫系统的学习-记忆-遗忘的知识处理机制,使其对分布式复杂问题的分解、处理和求解表现出较高的智能性和鲁棒性。

免疫细胞的上述功能在本质上已具备了agent的共性特点,免疫系统在整体上形成了一个分布式的多agent协调自治系统。它与神经系统的最大区别在于其分布特性,因而其机理对实现分布式问题的求解有很强的启发性。由于免疫细胞所具有的特殊防御、监视、进化和维持自稳定的特点,因此有必要深入研究免疫agent这一全新概念。

2.2 mA的个性特点

作为实体agent中的一种, mA除继承了广义agent的共性特点之外,还具有下述个性特点:

1) 进化性: 由于自身机能的自然衰退或异物抗原的侵害,不同种类的免疫细胞,在整个免疫系统中持续发挥作用的过程中是遵循进化规律的;同种类型的免疫细胞,在抗原侵入体内选择并激活具有相应受体的免疫细胞克隆,使之活化、增殖和分化的过程,同样也遵从进化规律。这一点在Burnet的克隆选择学说中有进一步的论述。mA在系统中发挥作用时也同样具有进化特性,效用明显的mA将被复制以发挥更大的作用,作用不明显的mA将在多agent系统进化过程中被淘汰。

2) 防御性: 免疫系统通过遍布全身的B细胞和T细胞,构成了生物体免受病毒、异物侵害的天然屏障,所表现的防御特性,从控制论的角度看是一种前馈控制。我们所构造的mA的重要特性就是防御性。这个特性对于建立基于免疫agent的复杂控制系统的分布式状态监控和故障预报很有启发意义。

3) 记忆性: 免疫系统的初次反应和再次反应机理、免疫记忆细胞的存在以及独特型网络调节自身的免疫记忆功能,使单个免疫分子具有良好的长寿命记忆功能,而且能遗忘很少使用的信息。mA的这种独特的学习记忆特性可用于机器学习。

4) 耐受性: 免疫耐受是指当免疫系统接触某类抗原时特异性免疫的无应答状态。免疫agent对于干扰信号能呈现良好的耐受性,这对于维持agent自身的稳定以及multi-agent系统的平衡具有重要意义。

3 多免疫 agent 网络结构

3.1 多 mA 网络模型

随着理论免疫学和人工免疫系统的发展,人们相继提出了几种免疫网络学说,如Jerne提出了独特型网络^[3],以描述抗体之间、抗体与抗原之间的相互作用;Ishiguro等提出一种互联耦合免疫网络模型^[4];Tang等提出一种与免疫系统中B细胞和T细胞之间相互反应相类似的多值免疫网络模型^[5];Herzenberg等提出一种更适合于分布式问题的松耦合网络结构^[6]。将这些免疫系统体系模型与现有的各种分布式网络结构相融合,可用于建立基于免疫agent的分布式多agent体系结构。

本文基于Jerne的独特型网络模型中的免疫调节机制,结合Kaiser等在multi-agent系统中增加专理agent实现agent之间协调与控制的思想^[7],提出一种可用于复杂流程工业分布式过程监控与故障预警的多免疫agent形式化模型(图1)。

上述模型中的 n 个mA组成了免疫agent的集合,即 $mA = \{mA_0, mA_1, \dots, mA_{n-1}\}$,其中 mA_0 为专理免疫agent,其它为监视免疫agent。按照复杂工业动态系统各生产环节的地理位置分布以及功能和结构分解的特点,将mA初始分布在各个待求解问题节点上,执行状态监控和故障预警。

专理mA具有一个黑板系统,可作为各监视mA发布请求信息的场所。同时,专理mA又负责对其它mA进行工作状态监督,决定各监视mA的

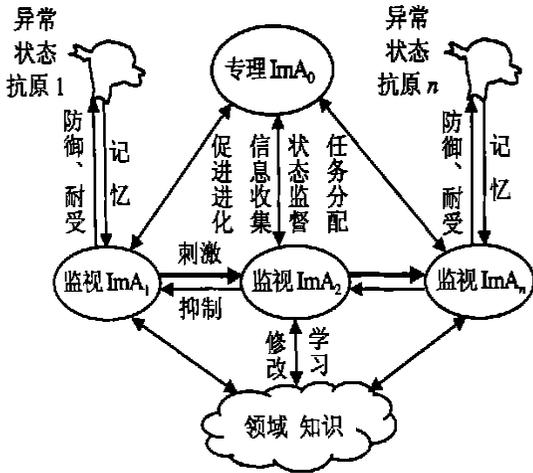


图 1 一种多免疫 agent 的形式化网络模型

生存适合度,以促进整个多免疫 agent 系统的进化。各监视 ImA 在初始状态获得领域知识,具有对所监视范围内的异常情况(称为抗原)进行识别和防御的功能,并具有一定的干扰耐受性。监视 ImA 的二次免疫应答特性,可使其对其它 ImA 发布的参考经验(称为疫苗)进行学习记忆,从而不断充实和更新本地知识库,以增强自身免疫防御机能。此外,它还能将自己积累的经验(称为抗体)转化为疫苗,以刺激的形式传递给专理 ImA 和其它 ImA,补充和修正领域知识和实现与其它 ImA 的知识共享。

3.2 ImA 的结构与功能

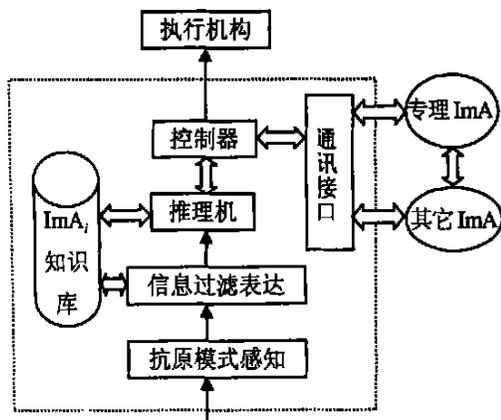


图 2 ImA 的内部结构

监视 ImA 的内部结构如图 2 虚框所示。监视 ImA 具有一个可以自主更新的知识库,预先存有各种抗体模式集,对 ImA 的训练可以充实该知识库,以增长 ImA 的智力。此外,ImA 还有一个抗原模式感知器,能够感知异常抗原的存在并识别其变化趋势。ImA 的核心部分是由信息过滤表达器、推理机和控制器组成的信息处理与决策机构。在一个

multi-agent 系统中,ImA 要与专理 ImA 和其它监视 ImA 相互通讯,因此还须具有通讯接口。

3.3 免疫 agent 算法

单个 ImA 的工作机理如下:

1) 系统初始化:根据既往经验和专家知识建立本地开放数据库,预存抗体模式集

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\} \quad (1)$$

2) 接收来自其它 ImA 的刺激性疫苗,更新本地知识库,更新后的抗体模式集为

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\} \quad (2)$$

3) 在 $t = k$ 时刻,抗原感知器收集局域范围内的感知信号,经滤波和融合后表示成 m 个模式信号,记集合

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_m(t) \mid t = k\} \quad (3)$$

4) 如果 $\exists x_i(k) \notin Y, x_i(k) \in X(k)$,且判断 $x_i(k)$ 有较大概率导致异常状况,则向专理 ImA 发送请求解决信号,保持等待状态并作免疫耐受,转 8); 如果 $\forall x_i(k) \in Y, x_i(k) \in X(k)$,表明本地知识库内有相应解决方案(抗体),则进行免疫应答。

5) 控制器向执行机构发出动作命令,并向专理 ImA 发送执行信息。

6) 将此模式作为疫苗,以刺激信号的形式发布给其它相关 ImA,作为经验指导其它 ImA 处理类似情况。

7) $k = k + 1$,进入下一时刻,转 2)。

8) 如果专理 ImA 反馈继续等待,则继续免疫耐受,并转 7); 如果其它 ImA 发回参考经验,则转 5)。同时,学习并记忆该参考经验,更新本地知识库,以备二次免疫应答。

免疫 agent 的上述运行机理,充分利用了免疫细胞的学习、记忆、免疫耐受和免疫应答特性,以及接种疫苗以促进抗体多样性生成机理。以此构建的系统具有更强的灵活性、鲁棒性和局部更新能力,是一个适用于动态环境的自组织系统。

本文提出的多免疫 agent 形式化模型,在结构上是一个紧内聚、松耦合的自组织分布式网络系统,通过合适地定义抗原、ImA 抗体、专理 ImA 以及领域知识,可有更广阔的应用前景。

4 进一步研究方向

生物体的免疫系统是一个高度复杂的自组织系统。关于免疫系统的某些重要机理,在理论免疫学界

和实验免疫学界还存在着一定的分歧,免疫的某些重要特性至今还没有一个令人信服的解释^[2]。这些都决定了由模拟生物体的免疫系统发展起来的人工免疫系统,其理论和实践方法还很不成熟,大量具有开创性的工作正等待人工智能领域的学者们作进一步的研究。作为一种独特的实体 agent,免疫 agent 的提出,为从认知、行为、思维、学习等人工智能的角度进行自治免疫 agent 的研究,提供了一种可行的思路,这将十分有助于借鉴免疫机理解决实际问题。

本文提出的多免疫 agent 的形式化模型及其免疫 agent 算法,只是利用了免疫系统的一部分机理,但对进一步研究人工免疫系统的应用具有一定的启发性。鉴于 AIS 和 InA 的研究尚处于起步阶段,我们认为应在以下几个问题上进行深入研究:

- 1) 理性免疫 agent 的信念、愿望、意图等意识状态模型;
- 2) 单个免疫 agent 的防御、记忆、耐受、学习以及维持自平衡等行为特性实现算法;
- 3) 多免疫 agent 之间合作、支援、对话、分享等集体目标行为的协调机理及其形式化语义描述;
- 4) 扩展多免疫 agent 的应用领域,特别是在分布式过程监控、故障诊断、计算机病毒防治等领域的

应用,实现一些示范性应用工程。

参考文献(References):

- [1] Jennings N R, Sycar K, Wooldridge M. A roadmap of agent research and development [J]. *Auton Agents & Multi-agent Syst*, 1998, 1: 7-38
- [2] 漆安慎,杜焯英. 免疫的非线性模型[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 1998
- [3] Jerne N K. Towards a network theory of the immune system [J]. *Ann Immunol*, 1974, 125: 373-389
- [4] Ishiguro A, Watanabe Y, Ichikawa S, et al. Gait control of hexapod walking robots using mutual-coupled immune network [J]. *Advanced Robotics*, 1996, 10(2): 179-195
- [5] Tang Z, Yamaguchi T, Tashima K, et al. Multiple-valued immune network model and its simulations[A]. *Proc 27th Int Symp on Multiple-valued Logic* [C]. Autogonish, 1997. 233-238
- [6] Herzenberg L A, Black S J. Regulatory circuits and antibody response[J]. *European J of Immun*, 1980, 10: 1-11.
- [7] Kaiser M, Dillmann R, Friedrich H, et al. Learning coordination skills in multi-agent system [A]. *IEEE / RSJ Int Conf on Intell Robots & Syst*[C]. Osaka, 1996. 3: 1488-1495

(上接第 502 页)

- [4] Liu Xiang, Wang Wenhai, Sun Youxian. Robust PD control for uncertain system with dead-time [J]. *Infors & Control*, 1999, 28(S): 273-277.
- [5] Astrom K J, Hang C C, Lim B. C. A new Smith pre-

dictor for controlling a process with an integrator and long dead-time [J]. *IEEE Trans on Autom Contr*, 1994, 39(2): 343-345

(上接第 508 页)

- [4] 陈增强, 赵天航, 袁著祉. 基于 Tank-Hopfield 神经网络的有基约束多变量广义预测控制器 [J]. *控制理论与应用*, 1998, 15(6): 847-852
(Chen Zengqiang, Zhao Tianhang, Yuan Zhuzhi. Multi-variable general prediction controller based on Tank-Hopfield neural networks [J]. *Control Theory & Appl*,

1998, 15(6): 847-852)

- [5] 金元郁. 基于 ARMAX 模型的新型广义预测控制 [J]. *控制理论与应用*, 1992, 9(4): 426-431
(Jin Yuanyu. New general prediction control based on ARMAX model [J]. *Control Theory & Appl*, 1992, 9(4): 426-431)