

免疫多 Agent 协同的教育管理系统模型研究

马建红¹ 谷保平²

¹(郑州大学软件技术学院 郑州 450002)

²(河南广播电视大学 郑州 450008)

摘要 为了满足学校办学的智能化需求,设计了基于免疫多 Agent 协同的教育管理系统模型。研究了免疫多 Agent 协作处理模型,通过对话式扩充合同网协议完成了多 Agent 协作。采用免疫多 Agent 的协同进化算法提高了免疫进化算法的全局搜索能力和收敛速度,使教育管理系统模型具有良好的最优解搜索能力。

关键词 免疫 Agent; 多 Agent; 教育管理系统; 免疫算法; 协同进化

Research on Education Management System Model Based on Immune Multi-Agent Collaboration

MA Jianhong¹ GU Baoping²

¹(Software Technology School, ZhengZhou University, Zhengzhou 450002, China)

²(Henan Radio & Television University, Zhengzhou 450008, China)

Abstract In order to meet the demand of intelligent design, school education management system model based on immune multi-agent collaboration was designed. Immune agent cooperation processing model was studied and multi-agent cooperation was constructed through the dialogue type extended contract net protocol. Coevolutionary algorithm of immune multi-agent enhanced the global search ability and convergence speed compared with the immune evolutionary algorithm, which makes the education management system model to have optimal search capability.

Keywords immune agent; multi-agent; education management system; immune algorithm; coevolution

1 引言

实现教育智能化是教育领域研究的最终目标。教育管理系统包括教学管理、学生工作管理、实验室管理、办公管理等多方面的管理,可以利用 Multi-Agent System(MAS)^[1]的模型建立智能系统对其进行高效管理。免疫 Agent 是一种具有免疫机理的 Agent,它类似于免疫系统的免疫细胞,能够对环境的刺激产生各种应答。正如不同抗体能识别、抵御不同的抗原一样,不同类型的免疫 Agent 对实现复杂系统的分布式问题求解具有很强的启发性。免疫 Agent 除了具有自

主性、反应性、社会性等传统 Agent 的特点外,还具有认知性、学习与记忆性、进化性、耐受性、防御性等免疫特征^[2]。

协同进化算法(Coevolution Algorithm, CEA)是以协同理论为基础的进化算法^[3-4]。而免疫算法是模拟自然免疫系统功能的一种智能算法^[5-6]。在算子设计和机制模型中,协同进化算法与免疫算法之间既有很多的共同点,同时又有互补性。本文提出免疫多 Agent 协同的教育管理系统模型,该模型由多个免疫 Agent 来协同满足学校实际管理工作的需求。通过各免疫 Agent 的种群间竞争和种群内排序,以抗体信息熵和亲和度计算为指标,进行抗体的代表生成,然后

基金项目: 河南省科技攻关项目(122102210518), 河南省教育厅科学技术研究重点项目(12A520042)。

作者简介: 马建红, 硕士, 讲师, 研究方向为智能控制; 谷保平(通讯作者), 硕士, 研究方向为数据挖掘、网络安全, E-mail: gubp@open.ha.cn。

进行亲和力成熟及基因库更新计算。

2 基于免疫多 Agent 的系统模型

2.1 教育管理系统功能模块

教育管理系统主要由 4 部分组成,如图 1 所示。每个部分分别由不同数量的模块构成,可以在每个模块中建立对应独立的数据库,同时也可以根据需求从其他模块的数据库中读取相应的数据作为数据决策依托,各个模块还可以根据需求动态进行增添或缩减。其中,教学管理模块主要负责管理课程、教学、考试、学籍、成绩、教师、教评、精品课展示、实训、毕业设计等 10 个子功能;学生工作管理模块主要负责管理辅导员、班级、考勤、住宿、学生社团、学生活动等 6 个子功能;实验室管理模块主要负责管理机房、实验设备、实验员管理等 3 个子功能;办公管理模块主要负责管理学院文化建设、党组织、工会、综合行政、个人办公系统等 5 个子功能。各个模块之间彼此互相关联,并在业务上互相影响。例如当发生一次教学活动时,会牵涉到课程、教师、教评、班级、考勤、机房、实验员等多个模块进行协同工作。基于以上考虑,用户希望能在现有业务系统的基础上进行高层次的数据分析。

2.2 系统处理模型

综合分析教育管理系统中各个模块的相互关系和知识结构,需要为其中的各个成员之间提供交互的框架,提供求解问题的整体观点和相关信息,并合理分

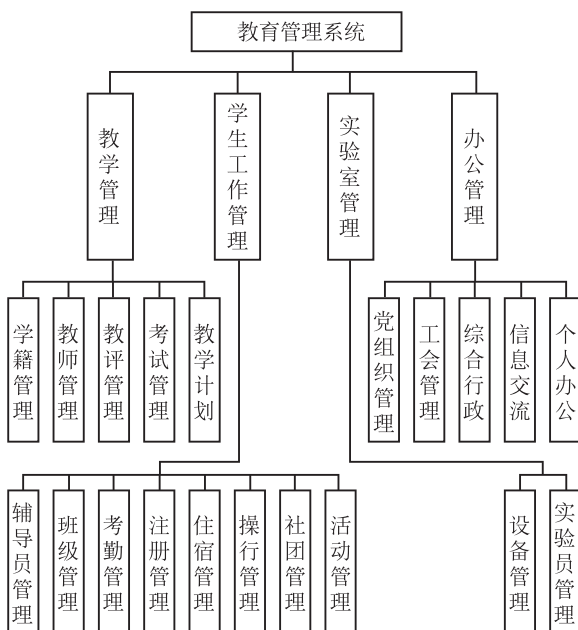


图 1 教育管理系统功能模块图

配任务,符合 MAS 的组织结构。本文设计了一个基于免疫多 Agent 的教育管理系统模型,该模型由 9 种免疫 Agent 来协同实现教育管理系统的异构知识集成、智能化决策、个性化服务等功能^[7]。每种 Agent 都是免疫 Agent,可以通过 Agent 传输协议 (Agent Transfer Protocol, ATP) 实现在主机间的移动,及通过 Agent 通信语言 (Agent Communication Language, ACL) 实现相互之间的通信并提供各种服务。该系统模型主要分为四个层次,各层次之间的关系如图 2 所示。

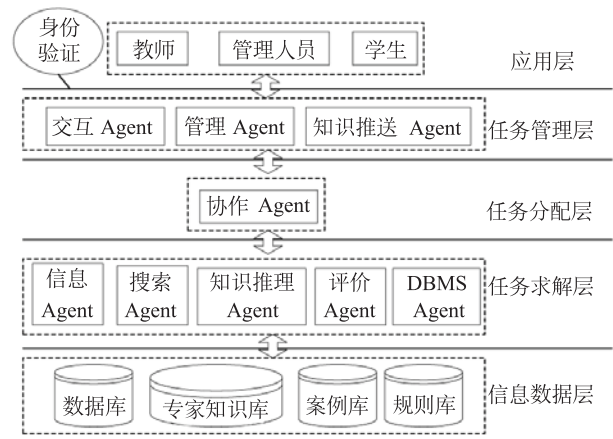


图 2 基于免疫多 Agent 的智慧教育管理系统模型图

3 免疫多 Agent 系统的协作模型

在该模型中,针对某一业务领域,用户应用层输入自身需求,集成开发人员调用相应领域的集成规则库将需求发送给任务管理层,再通过协作免疫 Agent 分配任务。当拥有该能力的免疫 Agent 不能单独完成此任务时,可通过改进的合同网协议^[8]与其他免疫 Agent 进行协作,达到自适应集成。当任务执行完成后,免疫 Agent 将结果以消息的形式发送给协作免疫 Agent 使其继续分配下面的任务。

一次协作是一个复杂的过程,它包含大量的参与者、子服务和需要满足的约束。这里的协作过程定义为一个五元组: $\langle A_g, S, C, L, Protocol \rangle$, 其中, A_g 表示参与协作过程的免疫 Agent 的集合, $A_g = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。一个协作过程中的免疫 Agent 有两类: manager 和 participator。其中, manager 是发起协作的免疫 Agent, 而 participator 是响应 manager 的具有协作意愿的免疫 Agent。

S 是协作任务集合, $S = (s_1, s_2, \dots, s_m) (m \geq 1)$, 免疫 Agent 间通过协作来完成任务。

C 是所有免疫 Agent 的子能力集合, $C = (c_1, c_2, \dots, c_k)$

($c_i \neq c_j, 1 \leq i \leq k, 1 \leq j \leq k$), 即 $C = \text{Child}C_{a_1} \cup \text{Child}C_{a_2} \cup \dots \cup \text{Child}C_{a_n}$. $\text{Child}C_{a_i}$ 表示 Agent_i 的子能力, $s_i \in C$ (s_i 是协作任务), 免疫 Agent 之间协作任务的取值范围是 C .

L 是 Agent 交互语言, 在 FIPA ACL 的基础上对其进行了扩充, 增加了如下的交互行为 (其中 A 代表任务请求者, B 代表被请求执行任务的 Agent, T 表示任务): (1) $\text{Commission}(A, B, T)$: A 将任务 T 委托给 B , 即任务 T 完全由 B 和其他 Agent 协作来完成, B 执行完 T 后将结果返回给 A ; (2) $\text{Collaboration}(A, B, T)$: A 将任务 T 委托给 B , B 向 A 请求协作来共同完成任务 T , 即 A 和 B 将 T 视为一个共同的目标, 两者之间建立相互信任关系, 通过协作来完成 T ; (3) $\text{Replan}(A, B, T)$: 表示 B 要求 A 重新规划任务。

Protocol 是协作协议, 这里对经典合同网协议进行了改进, 提出了对话式扩充合同网协议, 如图 3 所示。 Agent_{a_i} 发起的协作过程按照以下步骤进行:

(1) 在协作开始前, 免疫 Agent_{a_i} 将要请求协作的任务制作成标书 (请求协作的免疫 Agent_{a_i} 成为管理 Agent, 负责任务分配和验收; 接受子任务并完成的 Agent 成为工作 Agent);

(2) 免疫 Agent_{a_i} 分别向当前请求标书且可以获得标书的 Agent 建立对话连接, 发送此标书;

(3) 免疫 Agent 接收到标书后, 调用自己的知识库决定是否投标;

(4) 若在投标截止时间内, 免疫 Agent_{a_i} 没有收到具有协作意愿的免疫 Agent 的确认消息, 其可以再次发布标书或重新制定标书;

(5) 若在投标截止时间内, 免疫 Agent_{a_i} 收到有协作意愿的免疫 Agent_{a_j} 的确认消息, a_i 与 a_j 进入协作状态。若对方以 commission 作为应答, 则 a_j 开始执行任务; 如果 a_j 希望与 a_i 共同协作来完成任务, 则以 collaboration 作为应答; 如果 a_j 希望 a_i 重新规划任务, 则以 replan 作为应答; 若对方执行完任务则

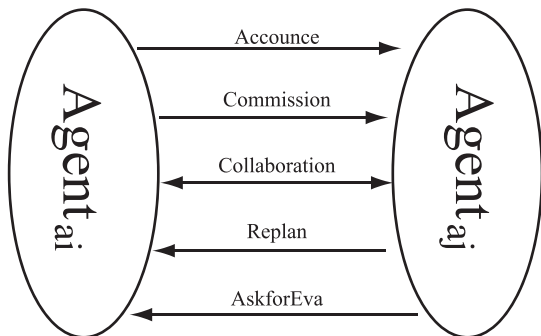


图 3 对话式合同网协作的过程

以 done 作为应答; 反之, 若请求拒绝执行任务则以 refuse 作为应答。

(6) 最后由免疫 Agent_{a_i} 撤消对话, 完成一次多 Agent 协作。

4 基于免疫多 Agent 的协同进化算法

每次模型协同迭代计算中, Agent_i 间利用抗体代表提取和抗原提呈两个过程进行交互。抗体代表来自 Agent_i 中的抗体集合, Rep_i 为当前迭代中所有抗体代表的集合。每次迭代的免疫识别和抗体提取过程由亲和度计算、亲和度成熟和基因库进化构成的算法核心过程来实现每次迭代的免疫识别和抗体代表提取。识别中, 各抗体集合和基因库迭代进化, 每次更新最优求解环境, 最终输出求解问题的最优解^[9]。

4.1 算法设计

(1) 抗体集及基因库初始化

基因库初始化一般由领域模型的知识库确定。一般地, 目标求解问题的约束条件或组成部分构成基因单元, 然后将基因单元中的等位基因映射到基因库。初始利用基因重组, 即从基因库中选择等位基因组成抗体。设 t 时刻抗体的 s 位置等位基因 j 被选择的概率为 $P(s, j, t)$, 则:

$$P(s, j, t) = \frac{c(s, j, t)}{\sum_{i=1}^k c(s, j, t)} \prod_{i=1}^w a_i \times h_i(s, j, t) \quad (1)$$

式中 $c(s, j, t)$ 为基因浓度, a_i 为启发函数 $h_i(s, j, t)$ 的权重系数。

(2) 抗体代表的竞争生成

抗体代表的竞争生成包括 Agent_k 的内部竞争和种群间竞争两部分。对于 Agent_k 子群的内部竞争, 依据亲和度大小进行降序排序, 分为 $\text{Agent}_k(m) = [a_1, a_2, \dots, a_m]$ 和 $\text{Agent}_k(n) = [a_{m+1}, a_{m+2}, \dots, a_{m+n}]$ 两部分。其中 a_1 的亲和度最大, a_{m+n} 的亲和度最小。在进行抗体提取时, 选择 $\text{Agent}_k(m)$ 中的抗体进行种群间竞争。

(3) 抗原提呈

从 $\text{Rep}[j]$ 中选取 K 个元素加入抗体集, $\text{Rep}[j]$ 是 Agent_i 中通过竞争生成的抗体代表集合。

(4) 抗体亲和度计算

抗体克隆规模依据抗体与抗原亲和度进行自适应调整, 亲和度大的抗体将在下一子代中克隆更多的抗体。采用何种形式表达抗原、抗体及计算亲和度是免疫算法设计中关键的一步。

假设一代种群中有 S 个抗体, 抗体 Ab_i 与待检征兆(抗原) Ag_j 之间的匹配程度, 即亲和度 A_{ij} 为:

$$A_{ij} = \frac{1}{1 + D(Ab_i, Ag_j)} = \frac{1}{1 + \|Ab_i - Ag_j\|} \quad (2)$$

式中, $D(Ab_i, Ag_j) = \|Ab_i - Ag_j\|$ 为 Ab_i 与 Ag_j 之间的欧几里德距离。 $A_{ij} \in [0, 1]$, A_{ij} 越大, Ab_i 与 Ag_j 越匹配。 $A_{ij} = 1$ 则表示两者的编码基因完全相同。

(5) 亲和度成熟

亲和度成熟包括克隆、变异和压缩三个部分。

抗体 Ab_i 的期望繁殖率用 E_i 表示为:

$$E_i = \frac{f_i}{(c_i)^\gamma} \quad (3)$$

式中, f_i 表示抗体 Ab_i 的适应度, c_i 表示浓度, γ 表示适应度及浓度在期望繁殖率中的相对重要性因子。 γ 值越大, 则防止免疫算法局部最优, 抗体群呈现多样性; 在免疫算法进化后期, γ 值越小越能促进算法的收敛速度。

抗体 Ab_i 的选择克隆率用 P_i 表示为:

$$P_i = \frac{E_i}{\sum_{k=1}^m E_k} \quad (4)$$

其中 m 为抗体个数。

由式 (4) 可知, 在抗体浓度一定的条件下, 抗体适应度越大则 E_i 越大, 选择概率 X_i 亦越大; 在抗体适应度一定的情况下, 抗体浓度越大则 E_i 越小, 选择概率 X_i 也越小。采用此算法不仅可以克隆适应度较高的抗体, 同时还保证了抗体的多样性。

变异时利用变异算子对 Ab_{ij} 的邻域进行 q_{ij} 次搜索。变异算子的选择取决于问题的特征, 且依据问题解进行单次变异效率的评价与更新选择。本文选择抗独特型变异进行变异操作。

设当前抗体子种群为 $Ab_i = \{e, ab_1, ab_2, \dots, ab_m\}$, 需要变异操作的抗体为 Ab_j , 随机选择的变异个体为 (Ab_{k1}, Ab_{k2}) , 则 $j, k1, k2 = 1, 2, \dots, m$ 。当 Ab_j 的变异概率

$p_m < p$ 时, 有:

$$Ab_j = Ab_j + Ab_j \times m \times (|Ab_{k1}| - |Ab_{k2}|) \quad (5)$$

其中 $|Ab_{k1}| - |Ab_{k2}|$ 为抗体的差异, $Ab_j \times m$ 为抗体 Ab_j 的系数, 有:

$$Ab_j \times m = \frac{e \times f - Ab_j \times f}{e \times f - Ab_{\min} \times f} \quad (6)$$

其中 e 为子种群种类 Ab_i 中种内竞争抗体, Ab_{\min} 为 Ab_i 中适应度值最小抗体, f 为抗体的适应度值。

压缩策略是对成熟抗体 Ab_{ij} 而言, 若存在变异后的抗体 d_{ij} ,

$$d_{ij} = \max\{Ab_s \mid s=1, 2, \dots, q_{ij}\} \quad (7)$$

(7) 式中, 若 $Ab_{ij} < d_{ij}$, 则将原抗体 ab_{ij} 更新为 d_{ij} 。

经过亲和度成熟过程, 初始抗体集转换为成熟抗体集。

(6) 基因库进化

基因浓度速率参数值的自然衰减, 使得在当前迭代中表现较好的基因浓度在下次迭代进化时被选择的概率也较大。

(7) 算法迭代终止

以算法最大迭代次数或最大运行时间等条件组成算法终止条件。

为了对本文提出的基于免疫多 Agent 的协同进化模型对函数优化的求解性能进行验证, 将算法与遗传算法和克隆选择算法进行对比。本文算法在相同迭代次数内均快速的取得了最优解, 表明算法具有较好的寻优能力。

4.2 算法测试结果分析

本文选择对比算法为优化配置的遗传算法 OGA 和克隆选择算法 CSA。通过参数的影响分析, 设置抗体种群规模为 300, 抗体种群数为 8, 对 8 个函数分布进行 20 次独立测试, 结果如表 1 所示。

其中迭次次数为得到最优解时的平均最小迭次次数。从表 1 可知, 除过函数 f_4 , 本文算法在整体上较接近全局最优值。

表 1 本文算法运行 20 次的实验结果表

f	f_{\min}	最优值	均值	最差值	迭代次数
f1	0	0	0	0	128
f2	0	0	0	0	77
f3	0	0	0	0	467
f4	0	25.6015	27.7231	28.3239	792
f5	-12569.5	-12569.4987	-12569.4934	-12569.4866	979
f6	0	0	0	0	70
f7	0	0	0	0	227
f8	-78.33236	-78.3323335	-78.3323332	-78.3323325	883

5 结束语

本文根据免疫 Agent 的特点, 设计了一个基于免疫多 Agent 的智慧教育系统模型, 并讨论了系统实现的相关技术。提出免疫多 Agent 协作处理模型, 建立了模型的体系结构。该模型主要依赖于种群间和种群内竞争生成抗体代表, 采取子种群个体抗体信息熵和亲和力为竞争力计算策略; 对竞争抗体的奖励指数在进化到一定阶段时进行调整, 避免了算法的协同计算能力退化; 利用抗独特型变异算子进行子群变异, 提高算法的全局搜索能力。该免疫多 Agent 协同处理模型可以快速有效地处理开放式网络环境中的任务, 从而大大提高了任务的处理效率。

参 考 文 献

- [1] 曹风雪, 黄成. 一种多 Agent 系统的组织适应模型研究 [J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(9): 55-58.
- [2] 张炜, 明安波, 杨正伟, 等. 基于免疫 Agent 的液体火箭发动机故障诊断 [J]. 计算机应用, 2009, 29(12): 272-278.
- [3] 董红斌, 黄厚宽, 印桂生, 等. 协同演化算法研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(3): 454-463.
- [4] 吴应斌, 孟宪明, 陈瀚宁. 多种群协同进化算法在经济调度中的应用 [J]. 计算机工程, 2010, 36(22): 173-174.
- [5] 刘琼, 吴小俊. 一种改进的免疫克隆选择算法 [J]. 山东大学学报(工学版), 2009, 39(6): 8-12.
- [6] 洪月华. 传感器网络分布式免疫遗传聚类算法研究 [J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(3): 156-159.
- [7] 徐慧, 杨永国. 多 Agent 协同处理模型的研究与设计 [J]. 计算机工程. 2010, 36(5): 67-69.
- [8] 兰少华, 吴慧中, 顾一禾. 基于 BDI 的 Agent 合同网实现 [J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(12): 1471-1474.
- [9] 慕彩虹, 焦李成, 刘逸. M-精英协同进化数值优化算法 [J]. 软件学报, 2009, 20(11): 2925-2938.