

# 基于人工免疫原理的多任务协同算法

王静莲<sup>1</sup>, 刘弘<sup>2</sup>, 董相志<sup>1</sup>, 李少辉<sup>2</sup>

WANG Jing-lian<sup>1</sup>, LIU Hong<sup>2</sup>, DONG Xiang-zhi<sup>1</sup>, LI Shao-hui<sup>2</sup>

1.鲁东大学 现代教育技术教学部, 山东 烟台 264025

2.山东师范大学 信息科学与工程学院, 济南 250014

1.Teaching Department of Modern Education Technology, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China

2.School of Information Management, Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China

E-mail: wjljing@163.com

WANG Jing-lian, LIU Hong, DONG Xiang-zhi, et al. Cooperation algorithm for multi-task based on artificial immune system. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(22): 51-53.

**Abstract:** A cooperation frame based on the artificial immune system used in the work-flow management system has been introduced. And the theory of artificial immune system, such as immune memory, colonial selection, affinity calculations, and self learning, is applied to solve the problem of the cooperation and optimization of the work-flow in the paper. It is proved by experimental results that the algorithm is efficient and feasible.

**Key words:** artificial immune system; cooperation algorithm; uncertain; work-flow

**摘要:** 将免疫系统所特有的免疫记忆、clone 选择和亲和力计算应用于 workflow 协同机制的算法研究中, 尝试着探索出用人工免疫理论来解决动态、不确定性计算环境中多任务协同问题的新思路。仿真实验表明, 该算法是正确、有效、可行的, 而且在运行时间和解的性能上都优于相关算法。

**关键词:** 人工免疫系统; 协同算法; 不确定性; 工作流

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.22.014 文章编号: 1002-8331(2008)22-0051-03 文献标识码: A 中图分类号: TP18

## 1 引言

当前分布式、开放型、动态以及不确定性等特质的计算背景需要 workflow 模型在应用过程中不断引入新的协同机制以增强其表达能力, 进而实现 CSCW 研究领域的设定目标; 其中, workflow 管理系统中对多任务协同问题的高效求解是关键环节<sup>[1,2]</sup>。

国际 workflow 管理联盟 (Work-flow Management Coalition, WfMC) 发布了 workflow 管理参考模型, 为各种 workflow 管理软件产品实现互操作提供了标准接口<sup>[3]</sup>; 但上述 workflow 建模体系存在适用范围窄、过程重构难以以及意外情况处理不及时等问题。

基于相关数学模型的建立, 论文将人工免疫系统<sup>[3]</sup>所特有的免疫记忆、clone 选择和亲和力计算应用于多任务协同机制<sup>[5,6]</sup>的控制框架中, 尝试着探索出用免疫理论来解决动态、不确定性计算环境中上述问题的求解新思路。仿真实验表明, 该算法是正确、有效、可行的, 而且在运行时间和解的性能上都优于相关算法。

## 2 协同算法的免疫模型

这里多任务协同算法流程 (如图 1 所示) 指 workflow 管理系

统在获取所需完成的任务后, 通过免疫原理中的亲和力计算对元任务序列进行识别; 具体即通过浓度计算识别元任务序列并发现该元任务序列出现是否频繁。然后由特征匹配环节对元任务序列进行分类; 其中, 控制单元将元任务序列分为两种: (1) 已知元任务序列类型; (2) 未知元任务序列类型。

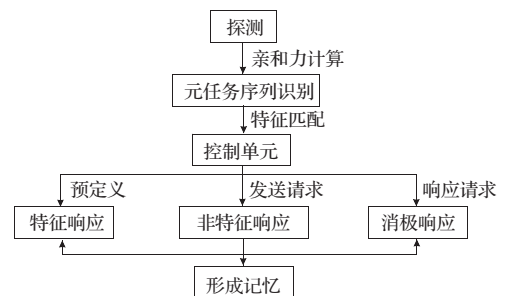


图 1 基于免疫原理的协同算法

### 2.1 亲和力计算

$S$  代表一个数为  $u$  的任务集合:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_u\}, u = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) (the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2003AA1Z2320); 山东省科技攻关计划 (the Key Technologies R&D Program of Shandong Province, China under Grant No.2005GG4201009)。

作者简介: 王静莲 (1979-), 女, 讲师, 主要研究方向为进化算法; 刘弘, 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为进化算法、CSCW; 董相志, 男, 副教授, 主要研究方向为 CSCW; 李少辉 (1978-), 男, 讲师, 主要研究方向为 CSCW。

收稿日期: 2007-05-08 修回日期: 2007-10-18

$B$  代表一个元任务个数为  $v$  的元任务序列:

$$B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}, v=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$Q$  代表当前的计算环境:

$$Q=s_u \cup b_v, \forall u, v \quad (3)$$

论文对亲和力( $\Theta$ )的具体定义如式(4)所示:

$$\Theta_w=w_1(\delta_w)^{-1}+w_2(\varphi_w)+w_3(\lambda_w) \quad (4)$$

式(4)中的  $w_1, w_2, w_3$  分别为  $\delta_w, \varphi_w, \lambda_w$  的权重;  $\delta_w$  表示 AIS 中的距离;  $\varphi_w$  表示元任务序列出现的频率;  $\lambda_w$  表示元任务序列的匹配参数。

由式(4)可知,  $\delta_w$  是联系工作流和元任务序列之间最直接的元素,可直接反映两者之间的关系。通常在距离计算中人们会采用海明距离、Euclidean 空间距离和 Manhattan 距离 3 种形式,而文献[4]已经通过验证表明对于并行算法中采用 Manhattan 是十分有效的。采用 Manhattan 可以有效地提高数据鲁棒性,减少噪音数据的干扰。所以论文中的距离表达如式(5)所示:

$$\delta_w(M)=|x_u-x_v|+|y_u-y_v| \quad (5)$$

由于在通常的工作流协同机制中,需要处理的元任务序列往往是相同的,进而计算出该元任务序列的出现频率( $\varphi_w$ )对于提高系统效率至关重要。其具体计算如式(6)所示:

$$\varphi_w=\frac{\mu_w}{\sum_{\eta=1}^m \mu_\eta} \quad (6)$$

其中  $\mu_w$  表示元任务序列  $b_w$  出现的次数,  $\sum_{\eta=1}^m \mu_\eta$  表示工作流协同机制中的元任务序列总数。

匹配参数( $\lambda_w$ )主要用于免疫系统的模式识别,这里也就是元任务序列识别。其具体计算如式(7)所示:

$$\lambda_w=\frac{1}{\Gamma_V^T \Gamma_Z} \quad (7)$$

式中  $\Gamma_V$  表示工作流和元任务序列的相对关系,  $\Gamma_Z$  表示工作流和元任务序列之间的适应能力,  $T$  是一个特征参数。

### 2.2 特征匹配

论文对公式(7)中的  $\Gamma_V, \Gamma_Z$  和  $T$  分别描述如下:

$$\Gamma_V=\frac{\max[V_u]}{\max[E_v]} \quad (8)$$

$$\Gamma_Z=\frac{z_u}{z_v} \quad (9)$$

$$T=\frac{T_u}{T_v} \quad (10)$$

图 2 表示协同标志为 0 的特征响应情况下的元任务序列匹配图。

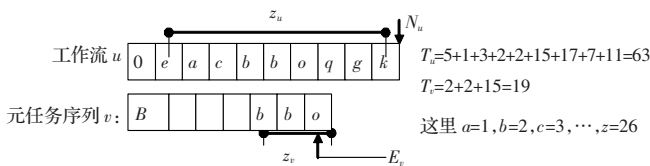


图 2 特征匹配图 1

图 3 表示协同标志为 1 的非特征响应情况下的元任务序列匹配图。

### 2.3 控制单元和响应

这里的控制单元主要是对工作流所需完成的元任务序列

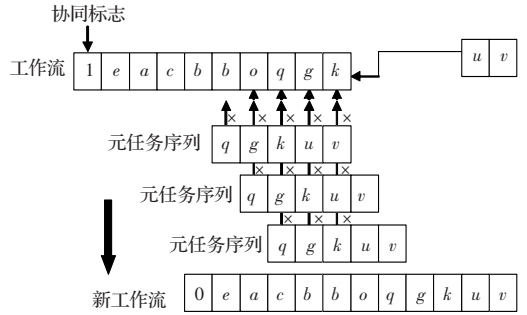


图 3 特征匹配图 2

进行分类,特征匹配后系统会自动产生两种信号:协同标志 0 和协同标志 1;分别表示当前工作流的协作请求。

另外,控制单元还有一个重要作用,就是等待系统中的其它协作请求;如果接收到其它协作请求,等待标志将被激活,并且进行相应的元任务序列匹配。

### 3 多任务协同算法描述

本章给出具体的多任务协同算法流程,其中包括多任务间的通信与交互模型说明:

Procedure /基于免疫原理的多任务协同算法/

Begin

随机产生一组任务集合  $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}, u=1, 2, \dots, n$ ;

While not 任务搜索完毕 do

Begin

计算  $s_i$  同元任务序列  $B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}(v=1, 2, \dots, m)$  的距离;

计算元任务序列  $B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}(v=1, 2, \dots, m)$  出现的频率;

计算出元任务序列  $B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}(v=1, 2, \dots, m)$  与  $s_i$  的匹配程度;

End

If  $\Theta_w$  没有达到亲和力阈值

Begin

协同标志位为 1;

发送协作请求信号;

End

If  $\Theta_w$  达到亲和力阈值

Begin

协同标志位为 0;

End

If 协同标志位为 0

Begin

$s_i$  本身完成任务;

End

If 协同标志位为 1

Begin

$s_i$  向  $B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}(v=1, 2, \dots, m)$  发送协作请求信号;

协作完成后生成新的  $B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}(v=1, 2, \dots, m)$  添加到元任务序列集合中;

End

等待信号是否激活;

If 激活

Begin

$s_i$  同其他  $B=\{b_1, b_2, \dots, b_v\}(v=1, 2, \dots, m)$  进行协作求解;

产生新的元任务序列;

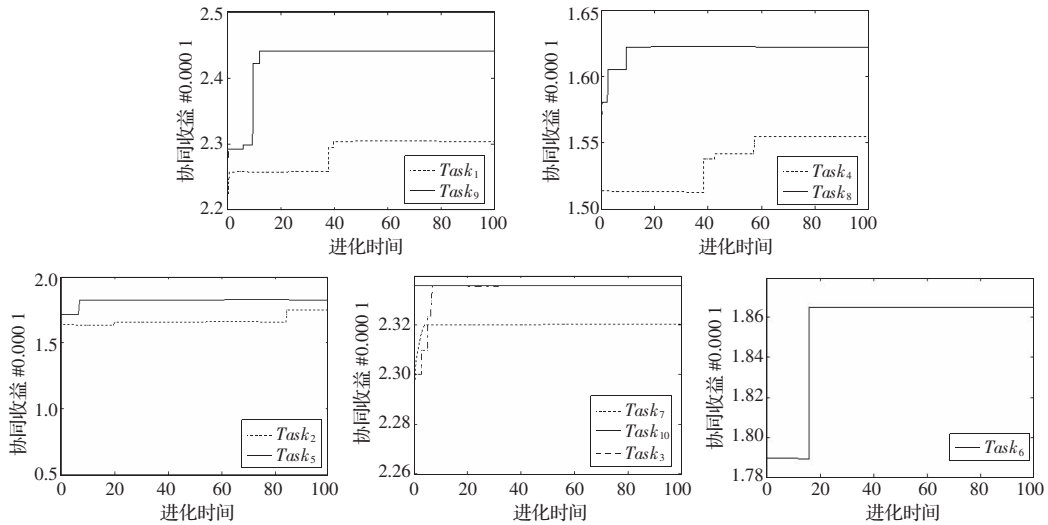


图4 最优解的进化曲线比较

表1  $Task_5 \sim Task_{10}$  采用不同算法生成最优解的比较

算法	类别	$Task_5$	$Task_6$	$Task_7$	$Task_8$	$Task_9$	$Task_{10}$
本文算法	协同元任务序列	$Task_2$	0	$Task_3$	$Task_4$	$Task_1$	$Task_3$
	亲和力计算	0.790 836	0	0.910 679	0.792 688	0.663 823	1
	达到最优解的进化代数	56	16	9	126	37	1
	最优值	18 826	18 638	23 579	15 612	23 806	23 366
遗传算法	达到最优解的进化代数	100	16	49	189	26	68
	最优值	16 933	17 612	20 139	14 967	18 949	18 805

If not 激活  
继续等待;

End

End

#### 4 仿真实验及实验结果分析

本文所有实验的环境均为 CPU:PIII 1 G, RAM:256 M, OS:Windows XP。限于内存,算法的最大迭代次数为200。实验比较数据如图4所示。

从图4可以看出,  $Task_1$  至  $Task_4$  工作流的元任务序列进化时间较长; 而由于人工免疫理论在其控制框架中的应用,  $Task_5, Task_7, Task_8, Task_9$  和  $Task_{10}$  工作流的协同收益明显增加的同时, 最优值的进化效率也有很大提高。

由表1可以看出, 本文算法解的进化速度和质量明显优于遗传算法, 如  $Task_5, Task_7, Task_8$  和  $Task_{10}$ ; 对于  $Task_9$ , 虽然本文算法的进化速度慢于遗传算法, 但其得到的最优解要优于后者; 对于  $Task_6$ , 本文算法的求解质量和进化速度与遗传算法基本相同; 但总体看来, 本文算法的求解效率高于遗传算法。

#### 5 小结

特征性、多样性、记忆性和自我调节性是人工免疫系统的基本特性, 而这些特征可以帮助人们解决工程应用中的高维问

题。基于相关数学模型的建立, 论文将免疫系统所特有的免疫记忆、clone 选择和亲和力计算应用于多任务协同机制的控制框架中, 尝试着探索出用人工免疫理论来解决动态、不确定性计算环境中上述问题的求解新思路。仿真实验表明, 该算法是正确、有效、可行的, 而且在运行时间和解的性能上都优于相关算法。

#### 参考文献:

- [1] Pan Qi-shu, Jiang Bing. Petri net based workflow modeling techniques and applications[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2005, 9: 36-42.
- [2] Makoto Yokoo. Secure distributed constraint satisfaction: reaching agreement without revealing private information[J]. Artificial Intelligence, 2005, 161: 229-245.
- [3] Liu Ke-sheng, Cao Xiao-bin, Zhen Hao-rang, et al. Solving TSP based on immune algorithm[J]. Computer Engineering, 2000, 26(1): 1-2.
- [4] Freitas A, Timmis J. Revisiting the foundations of artificial immune systems: a problem-oriented perspective[C]//Int'l Conf on Artificial Immune Systems (ICARIS), Edinburgh, UK, 2003: 1942-1948.
- [5] 王静莲, 刘弘. 多角色协同式强化学习的个性化信息技术[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(31): 184-187.
- [6] 刘弘, 王静莲. 微粒群优化算法在协同设计中的应用[J]. 通信学报, 2006(11): 193-198.