

基于元过程的多代理过程可靠性优化方法研究

卢致杰, 覃正, 原欣伟, 井然哲, 韩景侗

(西安交通大学管理学院, 710049, 西安)

摘要: 为解决多代理过程可靠性难以优化的问题, 提出了一种代理网络可靠性的闭环优化方法, 其特点是引入了基于连通概率的可靠性计算方法. 首先, 通过目标输入启动可靠性闭环优化, 将目标输入与系统可靠性参数经变换后进行处理, 以作为新的给定值来控制多代理系统的网络调整. 调整完成后, 由可靠性计算获得新的系统数据, 该数据再经变换、反馈后形成闭环控制系统. 最终使得给定目标参数输入下的代理网络具有最佳可靠性. 仿真结果显示, 当活动代理数为 100 时, 优化效果最为明显.

关键词: 元过程; 多代理; 可靠性; 优化方法

中图分类号: F406.2; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2004)08-0864-05

Reliability Optimization Research on Multi-Agent Process Based on Meta-Process

Lu Zhijie, Qin Zheng, Yuan Xinwei, Jing Ranzhe, Han Jingdong

(School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A closed loop optimization method of the reliability of agent network was proposed in order to solve the multi-agent process reliability problem which is difficult to be optimized. The feature of it is to introduce the reliability arithmetic based on connectedness probability. Firstly it initiates the reliability closed loop optimization with the target input, after handling the target input and system reliability through parameter transformation, the obtained value is regarded as a new given value to control the multi-agent network regulation, and the new reliability data are acquired by reliability calculation when the multi-agent network adjustment is completed. Then the data is retransformed and a closed-loop control system is formed through feedback. Finally, the agent network obtains the optimal reliability under the target input parameter. The simulation results show that system approaches to the best effect if the number of active agent is equal to 100.

Key words: meta-process; multi-agent; reliability; optimizing method

企业信息系统的发展趋势是应用多代理构架系统^[1], 利用软件代理的相对独立性及事先约定的规则自动模拟和代理企业经营过程, 但在动态变化的市场与技术环境下, 多代理系统也遇到“元过程”模型调整、代理网络可靠性优化等问题.

现有解决思路与方案^[2-4]存在适用范围窄、灵活性差、意外情况处理不及时和不能对企业经营活动的可靠性进行动态优化等不足. 鉴于此, 本文拟在构建一种合理元过程模型的基础上, 采用新的不确

定规划优化算法, 通过闭环控制, 优化企业多代理网络可靠性, 实现企业多代理过程的优化控制与调整.

1 元过程模型描述

目前常见的建模语言和模型有: CIM-OSA 的经营过程描述语言、WFMC 的工作流描述语言、EPCMC 模型、PERT 图、GANTT 图及 Petri 网等^[5].

在 WFMC^[6]对元过程的定义基础上建立模型、描述元过程, 是集成相关活动属性及对象的一种新

收稿日期: 2003-09-28. 作者简介: 卢致杰(1973~), 男, 博士生; 覃正(联系人), 男, 教授, 博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70271058); 陕西省自然科学基金资助项目(2002CD1).

的、完整的对象元过程模型^[6,7],它包括活动、与活动有关的过程类型、角色、控制数据、相关数据、运行条件、调用程序、应用数据等。元过程模型的基本对象组为^[8,9]

$$\begin{aligned} \text{meta-process} &= \text{wf-type, activity, role,} \\ &\text{wf-relevant-data, wf-ctrl-data, transition-} \\ &\text{conditions, app-data, invoked-app} \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中的每一个对象又由一组参数组成,即 $\text{wf-type} = \text{process-name, version-no, start-condition, end-condition, ctrl-data, security, \dots}$; $\text{activity} = \text{name, type, pre-condition, post-condition}$; $\text{role} = \text{name, org-entity}$; $\text{wf-relevant-data} = \text{data-name, data-path, data-type, data-format}$; $\text{wf-ctrl-data} = \text{data-name, data-path, data-type, data-format}$; $\text{invoked-app} = \text{name, type, execute-parameter, location}$.

元过程模型如图 1 所示。该模型为软件代理模型及代理网络的设计与优化奠定了基础。

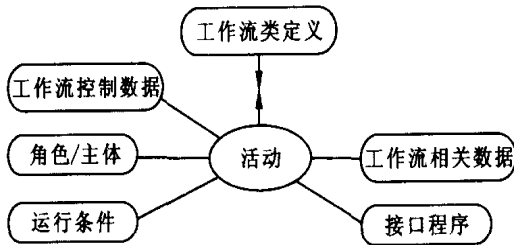


图 1 元过程模型

企业的经营活动一般都可用上述模型的实例化来描述,对于一个具体的企业经营业务过程,只需将元过程模型中所涉及的参数加以具体化,即可完整地描述该过程。

2 基于元过程的多代理过程模型及其优化方法

多代理过程模型是过程优化控制与重构的基础,基于元过程的多代理过程模型框架如图 2 所示。图中,优化实现在第二层,其中的管理调度中心负责各代理之间的仲裁、协调及资源分配等,任务触发器负责依据企业经营过程激活相关活动代理。优秀的多代理系统管理调度中心必须能够对代理的关系网络模型进行动态优化,它一方面需考虑系统资源的有限性及效率的要求,另一方面则必须考虑代理主体利益的动态变化。

由于代理的相对独立性及系统的复杂性,使得

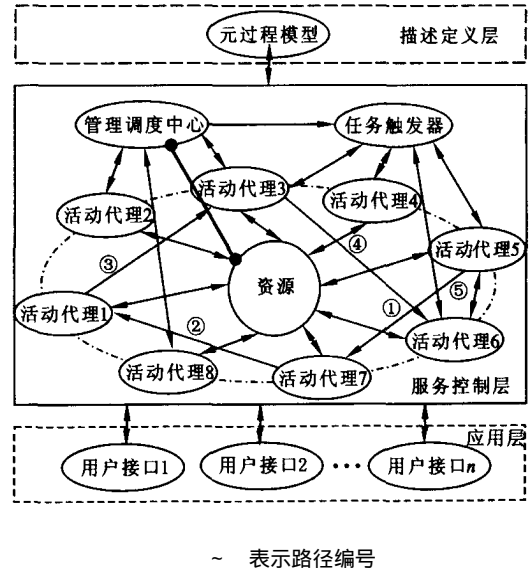
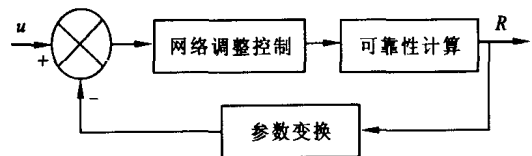


图 2 基于元过程的企业经营过程模型框架

活动代理的优化难度较大。本文拟通过不确定规划^[10]及关系模型的理论与方法,将原有的系统代理集调整或无损分解^[11]为若干个动态的、相对独立的代理群,并按照群内优先的规则实施任务代理调整,以闭环的方式动态监测代理网络调整后的可靠性。当出现异常时,可通过更新规则库以及调整代理优先区域等方法来提高代理效率,降低资源占用。

假定企业的经营过程全部由代理实现,则多代理过程模型优化的目标有两类:在可靠性约束下的极小化系统资源占用;在系统资源约束下的极大化代理可靠性。本文研究的是第二类目标优化。

为了使多代理过程模型中第二层的代理网络获得最佳可靠性,可建立如图 3 所示的闭环系统,来动态调整代理网络。



R 表示多代理系统可靠性; u 表示输入的目标参数

图 3 代理网络闭环控制

代理网络闭环控制系统首先通过目标输入 u (一个新的活动代理,它通过目标参数或历史数据获得给定值)启动可靠性闭环优化, u 与系统可靠性参数经变换后进行整合作为新的给定控制多代理系统的网络调整,调整完成后再由可靠性计算得到新的系统可靠性数据,并反馈形成闭环控制系统,最终使给定目标参数输入下的代理网络具有最佳可靠性。

2.1 多代理过程模型的可靠性计算方法

代理网络用

$$G = (V, E) \quad (2)$$

表示,其中的 V 和 E 分别为活动代理和连接的集合, R_{ij} 是对应 (i, j) 的可靠性集合. 如果共有 n 个节点(活动代理),则 G 可表示为

$$E = \{ (i, j) \mid i, j \in V, i \neq j \} \quad (3)$$

式中: $r_{ij} \in \{0, 1\}$, $r_{ij} = 1$ 表示连接 (i, j) 被选中,否则 $r_{ij} = 0$.

在实际系统中,每个活动代理都有可能通过用户接口与用户进行时间不可控的数据交换.如图2所示,假设现有一任务需代理3、代理4、代理5和代理6参与完成,而代理5可通过代理4的路径完成任务.由于时间资源的原因,它也有可能改变路径,所以代理经过的每条路径需要被数据库记录下来.

假设活动代理完全可靠,节点之间的连接失败是相互统计独立的且失败的概率已知,那么在 G 的子集 S 中的所有活动代理是否连接成功是一个随机事件.可以定义这个事件的概率为 $R(S, x)$ - 代理可靠性^[12-15],其中的 x 为网络结构.如果 G 中的所有节点在 G 中都是连通的,则称这个网络 G 是连通的,因此 $R(S, x)$ 可用基于网络结构 x 的 k 连通概率来表示.显然,当 $R(S, x) = 1$ 时, $R(S, x)$ 为代理网络的可靠性.相应的计算步骤如下.

步骤1:置 $N = 0$.

步骤2:根据 G 的网络结构 x 随机产生一个操作连接集合 S .

步骤3:检验图 $G = (V, E)$ 是否为 S 连通.用 n 阶邻接矩阵 $B = (b_{ij})$ 表示图 $G = (V, E)$ 的 n 个节点,当连接 $(i, j) \in S$ 时, $b_{ij} = 1$; 否则, $b_{ij} = 0$. 设 I 为 n 阶单位矩阵, t 是满足 $2^t \geq n - 1$ 的最小整数,如果对于任意给定的指标 $(i, j) \in S$, $(I + B)^{2^t}$ 的元素 b_{ij} 都是正的,那么图 $G = (V, E)$ 是 S 连通的,同时置 $N = N + 1$.

步骤4:重复步骤2和步骤3共 N 次.

步骤5:获得 $R(S, x) = N / N$.

2.2 多代理过程模型的结构分解与调整

代理之间的关系可以通过一个五元组的关系模式来描述,即

$$M(S, D, \text{dom}, F) \quad (4)$$

式中: M 表示符号化的代理元组语义; S 表示关系模式的一组属性; D 表示 S 所属域; dom 表示属性到域的映射; F 表示 S 上的一组数据依赖.

定义1 当每一个代理都是不可分割的最小项时,称满足这个条件的多代理模式为独立模式,该模式

可用二维表来描述.

根据定义1,图2系统可用表1来描述.

表1 独立模式代理关系表

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	UI
1	0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	1	1	0	0

注:A1~A8分别表示代理1~代理8;UI表示用户接口;1表示通路通过代理节点;0表示通路未通过代理节点.

表1中的每条记录表示一条闭合的代理通路,它只反映了代理的连通情况,但未反映连通效率.连通效率如表2所示.

表2 代理间的连通响应时间

		连通响应时间/min							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
A1	0	5	9	0	12	0	3	11	
A2	8	0	15	0	8	0	0	5	
A3	1	5	0	0	0	0	5	7	
A4	0	0	0	0	0	9	25	0	
A5	8	4	0	0	0	0	0	0	
A6	0	0	0	20	0	0	16	0	
A7	2	0	12	4	0	8	0	2	
A8	6	5	2	0	0	0	6	0	

注:A1~A8分别表示代理1~代理8,数据是随机发生的.

一般情况下,表2中的数据是符合统计规律的,即总有一部分数据由于各种原因落在设定的标准之外,如表2中的代理6与代理4之间、代理4与代理7之间的交互.为此,必须对这部分代理网络进行优化,方法是:将代理4、代理6、代理7组成一个新的代理群,采用群内优先的规则将原有的代理系统分割为群内和群外两个部分,群内的可通过优先规则进行调整,优化结果如表3所示.

表 3 优化后的代理连通响应时间表

		连通响应时间/min					
	A1	A2	A3	A4 *	A5	A8	
A1	0	5	9	3	12	11	
A2	8	0	15	0	8	5	
A3	1	5	0	5	0	7	
A4 *	2	0	9	0	9	9	
A5	8	4	0	0	0	0	
A8	6	5	2	6	0	0	

注:A4 *表示其包括 A4、A6 及 A7.

表 3 的优化效果是明显的,但代理网络模型的分解必须保持函数依赖和无损连接性,对独立模式的式(4),其分解式为

$$P = \{ M_1(S_1, D_1, \text{dom}_1, F_1), M_2(S_2, D_2, \text{dom}_2, F_2), \dots, M_n(S_n, D_n, \text{dom}_n, F_n) \} \quad (5)$$

式中: $S = \bigcup_{i=1}^n S_i$, 并且 $S_i \not\subseteq S_j, 1 \leq (i, j) \leq n$; F_i 是 F 在 S_i 上的投影.

若经证明分解后的代理模型不满足函数依赖和无损连接性,则称此代理模式分解法是有损连接的.相关证明可参考文献[16].

有损连接的分解是不能用于多代理过程模型优化的,必须重新分析并发现新的代理群,并检验新代理群的分解是否有损连接性的,如此循环,直至发现无损连接的代理群及其分解方法.

多代理网络模型的分解与调整流程如图 4 所示.

2.3 群内优先规则的实施

群内优先规则本质上是一种软件接口,它通过自动调整代理优先级的方法来解决多代理系统中的代理效率问题,实施内容主要包括:修改代理程序接口,增加群内接口,同时修改相应的多代理系统应用程序接口,保证多代理系统群内调度;设置群内优先级,采用类似于 8259 芯片中断的方法设置 64 级优先级,保证不同的无损分割群具有不同的优先级.

3 仿真分析

本优化方法在多代理企业资源计划(ERP)系统试验平台上的仿真测试中取得了较好的应用效果.通过分析发现:当活动代理数较少时,代理网络可靠性优化的效果不明显;当活动代理数超过 60 时,可靠性优化效果较明显;当活动代理数超过 200 时,由于计算量的急剧增加,计算时间已接近或超过群内

活动代理的最小操作时间,优化功能明显减弱.相关数据如图 5 所示.

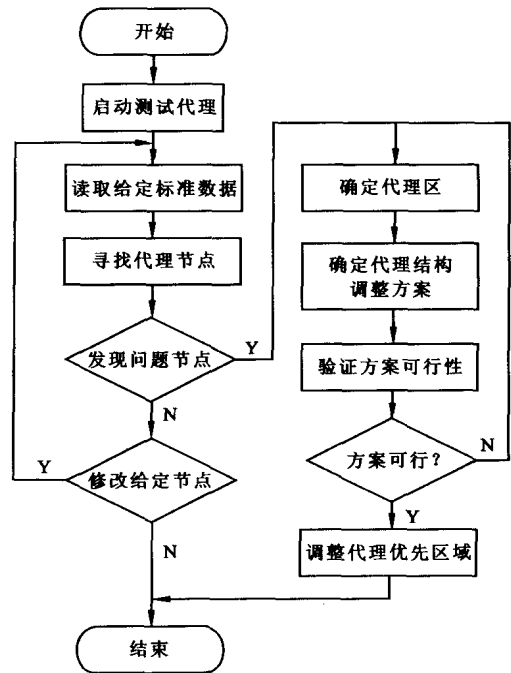


图 4 多代理过程模型的结构调整控制流程

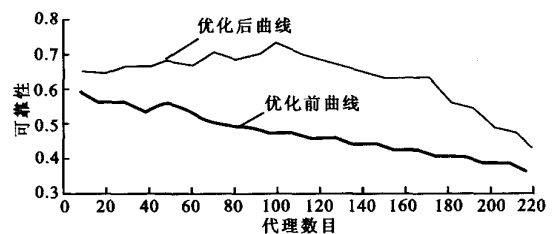


图 5 代理优化仿真曲线

4 结论与展望

综上所述,对基于式(1)的元过程的多代理过程模型,可采用代理网络调整的方法来提高可靠性,从而优化多代理系统,提高工作效率.

本方法在仿真试验中也发现一些不足之处,例如当活动代理数目较多时,计算量明显加大,这给多代理系统带来了新的负担,结果使优化效果并不明显.

在以后的研究中,拟从改进算法及优化数据存储结构方面入手,以期获得更好的优化效果.

参考文献:

[1] 范玉顺,曹军威.多代理系统理论、方法与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.

- [2] Anumba C J, Ugwu O O, Newnham L, et al. A multi-agent system for distributed collaborative design [J]. *Logistics Information Management*, 2001, 14(5-6): 355-356.
- [3] Ram S. Intelligent agents and the world wide web: fact or fiction? [J]. *Journal of Database Management*, 2001, 12(1): 46-47.
- [4] Sycara K P. Multiagent systems [J]. *AI Magazine*, 1998, 19(2): 79-80.
- [5] 范玉顺. 企业建模理论与方法学导论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [6] WFMC. Workflow standards framework [EB/OL]. <http://www.wfmc.org/standards.htm>, 2003-05-10.
- [7] 朱云龙. 基于 Agent 的工作流协调模型研究 [J]. *小型微型计算机系统*, 2000, 21(7): 737-739.
- [8] 覃正. 基于 CIMOSA 的企业过程识别方法研究 [J]. *管理科学学报*, 2003, 6(3): 13-18.
- [9] 李莹, 覃正. 业务流程再造建模技术研究 [J]. *工业工程*, 2002, 5(3): 24-29.
- [10] 刘宝碇. 不确定规划及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [11] 萨师焯, 王珊. 数据库系统理论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 邢文训. 现代优化计算方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [13] Jan R H, Hwang F J, Chen S T. Topological optimization of a communication network subject to a reliability constraint [J]. *IEEE Transactions on Reliability*, 1993, 42(5): 63-70.
- [14] Painton L, Campbell J. Genetic algorithms in optimization of system reliability [J]. *IEEE Transactions on Reliability*, 1995, 44(3): 172-178.
- [15] Ravi V, Murty B S N, Reddy P J. Nonequilibrium simulated annealing algorithm applied to reliability optimization of complex systems [J]. *IEEE Transactions on Reliability*, 1997, 46(6): 233-239.
- [16] 马垣. 关系数据库理论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

(编辑 苗凌)

国家自然科学基金重大项目 “能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”通过验收

由周远院士任组长的国家自然科学基金重大项目“能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”的验收专家组, 2004年5月22日、23日在我校召开了该项目的结题验收评议会。专家组认真听取了项目主持人林宗虎院士及各课题负责人对项目执行情况和取得的成果的汇报, 询问了项目及各课题中一些具体学术问题, 并实地考察有关实验室及其执行场所、仪器、设备。专家组经过深入认真的讨论, 认为该项目总体上达到国际先进水平, 同意通过验收。“能源动力中多相流热物理基础理论与技术研究”由我校动力工程多相流国家重点实验室林宗虎院士主持, 联合清华大学、东南大学、浙江大学及中国科学院工程热物理研究所等单位共同承担、完成。项目以大型电站锅炉、核反应堆及蒸汽发生器、流化床、新型热动力推进器、汽轮机、石油天然气高效开采和储运等过程中的复杂多相流与传热传质问题为具体研究对象, 开展如下5个方面的研究: 自然循环过冷沸腾及多维气液两相流动与传热规律研究; 非线性多相流相界面动力学及能质传输机理与数理模型研究; 高压高温高热负荷瞬态汽液两相流与安全传热规律研究; 高温气固两相流理论新技术研究; 石油天然气高效钻采与集输中多组分多相流理论与技术研究。

(信息来源: 腾飞交大)