

基于本体的多 Agent 通信机制研究

李春生, 胡亚楠, 张可佳

(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:利用多 Agent 通信系统集成与管理溅射域复杂生产数据过程中,大量数据高频变更所带来的联动影响会导致 Agent 通信效率与消息漏失率出现瓶颈。为满足异构异质 Agent 间良好的通信及交互,并提高通信 Agent 消息读取与解释速度,引入了 C-ECM Agent 本体存储方式,构建了 Agent 本体规则库,规范了 Agent 通信语言,节省了存储空间;设计了将消息转义为统一化通信语言的本体读取与解析机制,采用确信因子算法并基于 Agent 语言能力库来判断语言历史执行强度,提出了基于本体的 Agent 通信机制,以提高消息通信效率与鲁棒性,降低了消息执行漏失率。基于本体的 Agent 通信机制,构建了油田多 Agent 数据集成与管理系统进行实例验证。实验结果表明,所提出的基于本体的多 Agent 通信机制,有效加快了 Agent 消息读取与解释速度,提高了 Agent 间通信及交互效率。

关键词: Agent 通信机制;本体读取与解析;C-ECM 存储方式;确信因子算法

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2017)09-0166-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.09.036

Research on Multi-Agent Communication Mechanism Based on Ontology

LI Chun-sheng, HU Ya-nan, ZHANG Ke-jia

(College of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University,
Daqing 163318, China)

Abstract: In the process of using multi-Agent communication system for integration and management of complex production data of sputtering domain, the linkage influence caused by high frequency variation of massive data leads to a bottleneck in the Agent communication efficiency and the loss rate of message. In order to meet the good communication and interaction between heterogeneous Agent and increase the speed of communication Agent messages reading and interpretation, C-ECM Agent ontology storage is introduced to establish rule library of Agent ontology, standardize the Agent communication language and reduce storage space. Ontology reading and parsing mechanism is designed to unify communications language and sureness factors algorithm is employed to judge language history execution strength with Agent language capacity library. In order to raise the efficiency and robustness of message communication and reduce the loss rate of message execution, the multi-Agent communication mechanism based on ontology is proposed. Based on it, the oil-field data integration and management system supported by multi-Agent is established to verify. The experimental results show that multi-Agent communication mechanism based on ontology has effectively accelerated the speed of communication Agent messages reading and interpretation and improved the efficiency of communication and interaction among Agent.

Key words: Agent communication mechanism; ontology reading and parsing; C-ECM storage way; sureness factors algorithm

0 引言

近年来, Agent 技术被广泛应用于人工智能领域^[1]。随着科技的发展,数据的整合与交互存在计算量大、智能化程度高、推理分析策略复杂等问题。在多 Agent 系统中, Agent 的社会性通常受繁琐的通信背

景^[2-3]、语言、协议和技术等限制^[4],因此,引入了本体概念^[5],加强 Agent 语言表达和描述能力。

基于本体的规范化描述可以提高 Agent 交流与协作效率。本体提供结构化语言以明确不同术语间的关系。目前对于本体的存储主要有纯文本存储方式、关

收稿日期:2016-07-21

修回日期:2016-10-26

网络出版时间:2017-07-05

基金项目:黑龙江省自然科学基金面上项目(F2015020);黑龙江省教育科学技术研究项目(12511010)

作者简介:李春生(1960-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为人工智能及其应用、模式识别与人工智能;胡亚楠(1991-),女,硕士研究生,通讯作者,研究方向为人工智能与信息处理技术。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170705.1649.024.html>

系数据库存储方式以及专门管理工具方式^[6]。这些存储方式存在一定的局限性:纯文本存储方式不适合大规模本体库,且资源耗费较大;水平表模式数据库存储存在大量冗余;垂直表模式数据库搜索效率较低;专管模式的业务局限性导致扩展能力较差。

针对上述问题,引入 C-ECM 本体存储方式,构建了 Agent 本体规则库,节省了数据存储空间,增强了本体统一性;设计本体读取与解析机制输出统一化 Agent 通信语言,降低了访问频率;采用确信因子算法为通信机制提供了 Agent 通信语言执行强度;提出了基于本体的 Agent 通信机制,提高了消息通信效率,达到了减少 Agent 通信过程中消息漏失的目的。

1 Agent 本体存储方式简介

为降低本体存储冗余,提高 Agent 语言表达能力,引入了 C-ECM 存储方式,屏蔽了外界因素的干扰和不确定性影响,提供更准确的本体规则。

1.1 Agent 本体表达结构

C-ECM 作为 Agent 本体的逻辑表达结构,包括特征矩阵(CCM)及余项集(ECM)^[7]。

CCM 描述标准特征参数集结构,其一般表达式 V_{m} 为:

$$V_{\text{m}} = \{Mr, Os_{Mr}, Sep, Spr_{Mr}, Sprpa_{Mr}, C_{Mr}, Pa_c\} \quad (1)$$

其中, Mr 为标识矩阵行数(本体规则数量); Os_{Mr} 为第 Mr 条本体标识; Sep 为分隔符; Spr_{Mr} 为标准属性集; $Sprpa_{Mr}$ 为标准属性参数集; C_{Mr} 为属性集个数; Pa_c 为属性 C 参数值。

$Sprpa_{Mr}$ 可表示为:

$$Sprpa_{Mr} = \{C_{Mr} \quad Sep_3 \quad Pa_c \quad Sep_3\} \quad (2)$$

由 V_{m} 进行组合得到 CCM 特征矩阵:

$$\text{CCM} = \begin{vmatrix} Os_1 & Sep_1 & Spr_1 & Sep_2 & Sprpa_1 & Sep_2 \\ Os_2 & Sep_1 & Spr_2 & Sep_2 & Sprpa_2 & Sep_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Os_{Mr} & Sep_1 & Spr_{Mr} & Sep_2 & Sprpa_{Mr} & Sep_2 \end{vmatrix} \quad (3)$$

ECM 描述非标准特征参数集结构,其一般表达式为:

$$V_{\text{gl}} = \{Mr, Os_{Mr}, Sep, Usprpa_{Mr}, C_{Mr}, Bp_c, Pa_c\} \quad (4)$$

其中, $Usprpa_{Mr}$ 为非标准属性参数集; Bp_c 为属性 C 的基本信息。

$Usprpa_{Mr}$ 可表示为:

$$Usprpa_{Mr} = \{C_{Mr} \quad Sep_3 \quad Bp_c \quad Sep_4 \quad Pa_c \quad Sep_3\} \quad (5)$$

万方数据

由 V_{gl} 得到 ECM 特征矩阵:

$$\text{ECM} = \begin{vmatrix} Os_1 & Sep_1 & Usprpa_1 & Sep_2 \\ Os_2 & Sep_1 & Usprpa_2 & Sep_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Os_{Mr} & Sep_1 & Usprpa_{Mr} & Sep_2 \end{vmatrix} \quad (6)$$

1.2 Agent 本体存储方式

Agent 本体存储方式采用二进制流表示,使语言表示统一化,避免相关性弱语言干扰,降低存储空间。属性参数的每个元素均为浮点型数值,因此采用 16 位二进制数进行表示,0 位表示属性类型,1~7 位表示属性整数位,8~15 位表示属性小数位。

2 Agent 本体解析与判断

为提高 Agent 社会性交互能力,加强消息解释与判断速度设计本体规则,判断其是否符合本体统一结构,并采用确信因子算法为通信 Agent 调度机制提供消息执行粒度。

2.1 本体的读取与解析

本体的读取与解析过程如图 1 所示,具体算法描述如下:

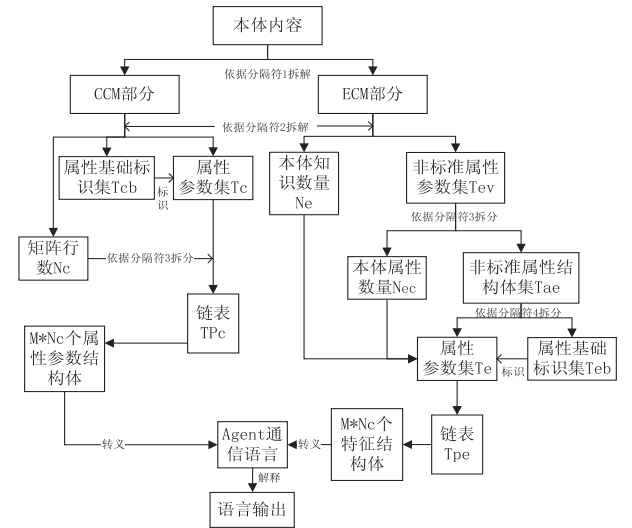


图 1 模式内容的读取与解释流程

Step1:以结构标识分解本体内容,定义 V_c 、 V_e 分别表示 CCM 和 ECM;

Step2:以分隔符 2 拆分 V_c ,得到矩阵行数 N_c 、标准属性集 T_b 及属性参数集 T_c ;

Step3:以分隔符 3 拆分 T_c ,得到具有 N_c 个标准属性参数结构体链表 TP_c ;

Step4:以分隔符 2 拆分 V_e ,得到本体知识数量 N_e 及非标准属性参数集 T_{ev} ;

Step5:以分隔符 3 拆分 T_{ev} ,得到具有 N_e 个非标准属性结构体集 T_{ae} 及本体知识 K 的属性数量 N_{ec} ;

Step6:以分隔符 4 拆分 T_{ae} ,得到属性基础标识集

Teb 及 Nec 个属性参数集 Te;

Step7:逐一解释 TPc 与 TPe 内的属性参数元素,匹配属性参数,将消息转义成统一化通信语言。

完成转义后,利用确信因子算法,判断通信语言历史执行状态,并以此作为 Agent 执行依据。

2.2 确信因子算法

引入确信因子算法^[8],判断 Agent 通信语言执行能力的算法描述如下:

定义消息执行符合率为:

$$f(p) = \{P, \neg P \mid P + \neg P = 1\}$$

其中, P 为可执行实体符合率; $\neg P$ 为不可执行实体。

Step1:若 $P > \neg P$,语言标记为 1 执行消息,反馈通信成功;

Step2:若 $P < \neg P$,语言标记为 2 暂停消息,反馈通信失败;

Step3:若 $P = \neg P$,语言标记为 3 执行消息,若通信层调度 Agent 将语言传输给相应个体 Agent,则将语言整合归类标记为 1 存入可执行语言数据实体中,否则标记为 2 存入不可执行实体中。

确信因子用于计算 Agent 通信语言执行强度^[9-10]。定义语言集 $Kf = \{kf_1, kf_2, \dots, kf_n\}$,语言可简约表述为:

$$kf_n = \langle evidence \rangle \rightarrow \langle hypothesis \rangle \{cf\} \quad (7)$$

语言在能力库中符合率包括可信度计算(正度量)及不可信计算(逆度量),假定原始符合率范围为 $[0,1]$ 。定义贝叶斯结果 $p' = p(H \mid E)$,定义确信因子语言正度量函数 $MB(p')$,逆度量函数 $MD(p')$,则通过先验条件概率计算的语言公式为:

$$MB(p') = \begin{cases} 1 & p' = 1 \\ \frac{\max[p', pH] - p(H)}{\max[1, 0] - p(H)} & p' \neq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$MD(p') = \begin{cases} 1 & p' = 1 \\ \frac{\min[p', pH] - p(H)}{\min[1, 0] - p(H)} & p' \neq 1 \end{cases} \quad (9)$$

将 $MB(p')$ 、 $MD(p')$ 综合为确信因子 {cf} 如下所示:

$$cf = \frac{MB(p') - MD(p')}{1 - \min[MB(p'), MD(p')]} \quad (10)$$

因此, {cf} 可以表达语言符合率。由 {cf} 给出包含语言能力库全集 $Kf = \{kf_1, kf_2, \dots, kf_n\}$ 的满意度:

$$cf(cf_1, cf_2, \dots, cf_n) = \frac{\sum_1^n cf_n}{1 - \min[|cf_1|, |cf_n|]} \quad (11)$$

万方数据

3 基于本体的 Agent 通信机制设计

为了降低通信时间,减少消息漏失,结合改进本体读取与解析方式^[11],重新设计 Agent 通信机制。Agent 通信过程由语言层、协议层及通信层组成。图 2 介绍了 Agent 通信模型的组成,同时也描述了 Agent 消息请求的过程。

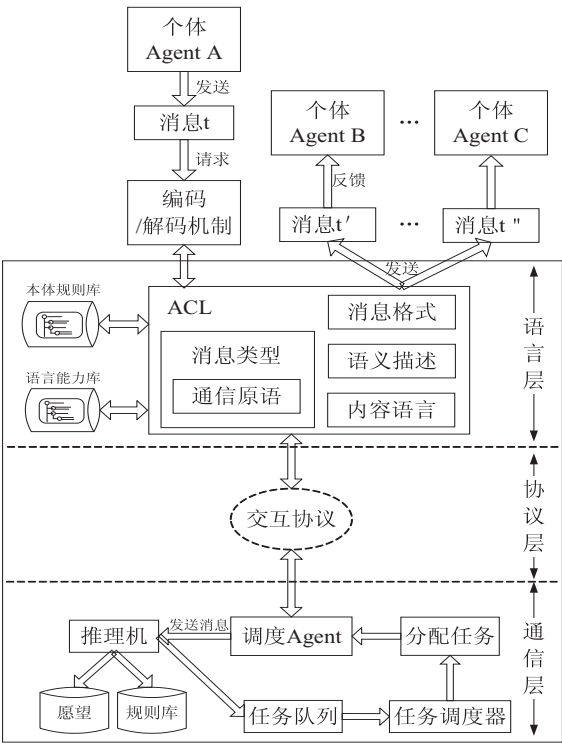


图 2 Agent 通信过程

语言层引入本体规则库将 Agent 通信消息编译与解析成标准 ACL 语言^[12],设计语言能力库,为 Agent 执行语言提供辅助分析^[13],并将分析结果连同语言编译给协议层^[14]。协议层通过传输协议将语言传输给通信层。通信层设计调度 Agent 中转处理机制,接收协议层传输的语言,通过专家知识推理机对语言进行解析,由任务调度机制将解析转义后子语言传输给满足执行条件的个体 Agent。

4 设计实例

以基于本体的 Agent 通信机制为基础,结合专家知识,定义 Agent 存储及相应解析方式为实验变量,构建本体规则库,设计多 Agent 数据集成与管理系统,应用在某采油厂地质大队等相关工作单位。为验证上述改进是否能有效降低存储资源损耗,提高 Agent 通信效率,设计如下实验。

4.1 存储模式对规则库存储空间的影响

采用原始存储模式与 C-ECM 存储模式分别设计本体规则库,并依次存入数量相同的本体知识,统计内部存储容量,如表 1 所示。

表1 存储模式占有内存量

存储模式	所占内存大小/KB							
	100	200	400	500	800	1 000	1 500	2 000
纯文本存储	397	533	1 320	1 412	2 603	2 694	4 201	5 761
水平模式存储	278	486	1 153	1 354	2 392	2 518	3 972	5 534
垂直模式存储	254	473	1 049	1 219	2 349	2 511	3 865	5 361
C-ECM 存储	249	471	993	1 178	2 287	2 498	3 801	5 312

由表1可见,相同本体数量下 C-ECM 模式相比其他原始模式存储空间明显减少。

4.2 实验对象选取

实时监测现场业务数据集成与交互情况,监测时间为连续5个工作日,监测次数为5次,截取相应时间段内用户操作日志,统计 Agent 通信行为,如表2所示。

表2 Agent 行为统计

行为类型	积压井管理行为	动态管理行为	动态分析行为
修改	155(62%)	432(45.8%)	12(37.5%)
剔除	38(15.2%)	512(54.2%)	2(6.25%)
新增	57(22.8%)	0(0%)	18(56.25%)
级联统计	122(48.8%)	317(33.6%)	19(59.4%)
总行为	250	944	32

级联统计表示业务数据间的交互;修改、剔除与新增则为 Agent 基础交互行为。

由表2可知,积压井管理、动态管理及动态分析等业务均存在通信行为,其中积压井的通信行为相对于其他业务较为平均,因此选择积压井作为实验对象进行以下实验。

4.3 不同模式 Agent 通信效率对比

为检验改进后存储模式结合相应本体读取方式是否能有效减少 Agent 通信时间、提高 Agent 通信速度,以通信方式为变量设计六组对比实验,每组实验统计天数为5天,统计次数为5次,通过监测 Agent 对消息执行情况进行统计。

实验后,经分析利用标志集对结果进行描述。标志集的一般描述如下:

$$V = \{N_i | i \leq 7, N_i \leq 100\}$$
 (12)

其中, N_i 为承载标识下的消息数量; i 为标志序号。

经统计,选定标志集 $V = \{5, 10, 15, 20, 25, 50, 100\}$ 。

图3描述了六组通信 Agent 的平均消息响应时间及 Agent 的计算速度。

由图3可知:

- (1)单个通信 Agent 模式下,当 $i > 3$ 时,C-ECM 存储模式通信 Agent 响应时间最短;
- (2)单个通信 Agent 模式下,最优承载 N_i 为 5 ~ 10 个,当 $i > 20$ 时,数据通信速率将以几何级数增长;

(3)当 $i > 4$ 时,由于 Agent 通信过程中存储与解析方式及通信 Agent 数量差异,将不同程度地导致通信阻塞、行为死锁等现象,以致产生消息漏失及 Agent 通信停止;

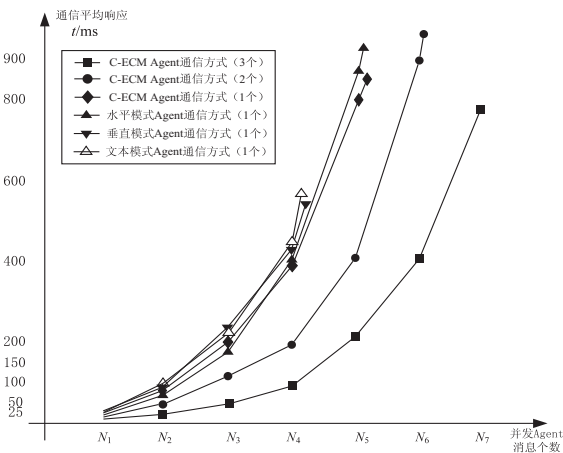


图3 不同 Agent 通信模式下的消息计算速度对比

(4)通信 Agent 的运行数量越多,数据处理的效率越快。

4.4 不同模式 Agent 通信消息漏失率对比

统计监测 Agent 执行结果及相应时间内用户操作日志,如图4所示。

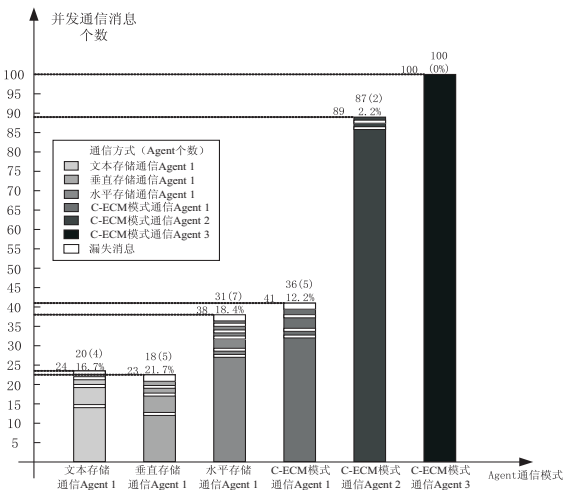


图4 不同 Agent 通信模式下的消息漏失率对比

由图4可知,原始存储模式下通信 Agent 的漏失率较高,最高可到21.7%,改进后 C-ECM 存储模式通信 Agent 漏失率最低。随着通信 Agent 数量的增多,消息漏失率明显下降,当 N_i 与通信 Agent 数量达到某比例时,可避免漏失消息。

由上述结论可得,当通信消息数量达到比例数量时,C-ECM 存储模式的通信效率越高;通信 Agent 个数越多,Agent 通信速率越大。改进的 C-ECM 存储模式有效地提高了消息通信效率与鲁棒性,减少了响应任务执行漏失,使用过程中受到了应用单位的较好评价。

(下转第174页)

5 结束语

为了能在教师和学生之间搭建一个在线学习平台,方便教师发布最新的课程资料,构建了教学资源平台。该平台采用成熟的 SSI 框架搭建,运用 MVC 分层设计思想,使系统具有非常好的扩展性,便于今后决策支持系统扩展和系统升级。该系统已经在咸阳师范学院投入使用,运行情况表明,系统能为师生提供有效的课程发布和课程学习服务。

参考文献:

[1] 寇媛媛.网络教学平台的发展现状及趋势[J]. 电子设计工程,2011,19(16):123-126.

[2] 陈菁华.国内教育网站现状及发展[J]. 高等函授学报:自然科学版,2000,13(5):37-39.

[3] 何 苗,郭允建,李慧丽,等.基于中国期刊网的网络教学平台研究现状分析[J]. 现代远程教育研究,2009(1):45-47.

[4] 郑 纲.关于网络教学平台的现状和发展趋势的探索[J]. 东方企业文化,2012(23):119.

[5] 解 勇.基于 SSI 框架的中小型企业网站新闻发布系统的设计与实现[D]. 长春:吉林大学,2014.

[6] 黄 辉.教学资源库平台的研究与设计[D]. 北京:北京交

通大学,2008.

[7] 孙卫琴.精通 Struts:基于 MVC 的 Java Web 设计与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2004:1-17.

[8] 吴 锋.基于 SSI 框架 JavaEE 技术研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2009.

[9] 张 琪.企业 WEB 应用下 SSI 框架分析[J]. 南京工业职业技术学院学报,2011,11(2):56-58.

[10] Zhao C, Jiang M, He Z. The design of E-commerce system architecture based on Struts2, Spring and Hibernate [C]//2nd international conference on information science and engineering. [s. l.]:IEEE,2010:3251-3254.

[11] 武宝珠,梁声灼,牛德雄.基于 Struts2+Spring+Hibernate 架构构建 Web 应用系统[J]. 计算机与现代化,2009(8):43-46.

[12] 李绍平,彭志平. S2SH:一种 Web 应用框架及其实现[J]. 计算机技术与发展,2009,19(8):117-119.

[13] 李 峰,刘彦隆.基于 SSH 框架与 j Query 技术的 Java-Web 开发应用[J]. 图书情报导刊,2010,20(6):106-108.

[14] 李澎林,朱国清,吴 斌.基于 iBatis SQL Map 的数据持久层实现应用研究[J]. 浙江工业大学学报,2008,36(1):72-76.

[15] 程文波,卢涵宇,陈劲松.一种新的数据持久层设计方法与实现[J]. 微电子学与计算机,2011,28(7):28-30.

(上接第 169 页)

5 结束语

为满足异构异质 Agent 间良好的通信及交互,以提高通信 Agent 消息读取与解释速度,在提出基于本体 Agent 通信机制的过程中,采用 C-ECM 存储方式构建规范本体规则库,设计相应的解析与判断机制统一通信语言,引入确信因子算法判断通信语言历史执行强度,提高了 Agent 消息通信效率,减少了漏失率。实验结果表明,基于本体的 Agent 通信机制,提高了 Agent 间消息读取速度与联动交互效率,且更适合应用于溅射域复杂的多 Agent 系统中。

参考文献:

[1] Kone M T, Shimazu A, Nakajima T. The state of the art in agent communication languages[J]. Knowledge and Information Systems,2000,2(3):259-284.

[2] 魏晓斌,周盛宗. Agent 通信机制探讨[J]. 计算机工程与应用,2002,38(5):66-70.

[3] 杨 博,刘大有,杨 鲲,等.移动 Agent 系统的主动通信机制[J]. 软件学报,2003,14(7):1338-1344.

[4] 马光伟,王一川,石纯一.一种 Agent 规范机制的设计[J]. 计算机研究与发展,2000,37(11):1298-1305.

[5] 李 洁.OWL 本体存储模式研究[J]. 中国科技信息,2007

(21):118-120.

[6] Bema-Koes M, Nourhakhsh I, Sycara K. Communication efficiency in multi-agent systems[C]//IEEE international conference on robotics and automation. [s. l.]:IEEE,2004.

[7] 张可佳,李春生,姜海英,等.时间序列下模式挖掘模型设计[J]. 计算机工程与应用,2015,51(19):146-151.

[8] 冯新宇,陶先平,曹 春,等.一种改进的移动 Agent 通信算法[J]. 计算机学报,2002,25(4):357-364.

[9] 贾志勇,李振东,谢 立. ACP-一种基于局部邮区的移动 Agent 通信算法[J]. 计算机研究与发展,2004,41(1):47-52.

[10] 邵 星,王汝传,徐小龙.一种基于 Agent 的 Ad hoc 网络路由算法[J]. 计算机技术与发展,2010,20(4):21-24.

[11] 范圣韬,毕鲁雁,蒋保臣.一种新的移动 Agent 间通信算法[J]. 计算机工程与设计,2005,26(7):1756-1758.

[12] Yannis L, Tim F. A semantics approach for KQML-a general purpose communication language for software agents [C]//Third international conference on information and knowledge management. Berlin:[s. n.],1994.

[13] 陈善国,高 济.一种基于 Agent 的工作流模型的设计与实现[J]. 计算机科学,2000,27(4):90-92.

[14] 王 勇,王忠群,韦良芬.移动 Agent 的一种支持安全与容错的迁移机制[J]. 计算机技术与发展,2007,17(3):169-171.