

基于扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言

蒲 玮, 李 雄

(陆军装甲兵学院 陆军装备作战仿真实验室, 北京 100072)

摘 要 针对原生 FIPA-ACL 在装备保障 Agent 通信中存在的语义描述范围不够、通信效率较低和语义识别不准确的问题, 提出了一种基于扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言设计与实现方法. 首先对 FIPA-ACL 的通信原语进行了扩充, 并给出原语的形式化语义描述方法; 其次对装备保障专业领域的通信本体进行了定义, 明确了通信内容使用的基本词汇; 再次基于 FIPA-SL 进行了内容语法定义和通信内容描述; 最后对装备保障 Agent 通信语言进行了实现, 并在某部队装备保障智能仿真推演与效能评估系统中进行了应用, 验证了本文所提出语言的可行性及有效性.

关键词 FIPA-ACL; Agent; Agent 通信语言; 装备保障

Equipment support agent communication language based on extended FIPA-ACL

PU Wei, LI Xiong

(Laboratory of Army Equipment Warfare Simulation, Academy of Army Armored Forces, Beijing 100072, China)

Abstract Aiming at the problem that the semantic description of primary FIPA-ACL in the equipment support agent communication is not enough, the communication efficiency is low and the semantic recognition is not accurate, design and implementation of agent communication language based on extended FIPA-ACL is proposed. Firstly, the communication performatives of FIPA-ACL are extended, and the formal semantics of the primitive is described. Secondly, the communication ontology is defined. Thirdly, the content grammar is defined and the communication content is described based on FIPA-SL. Finally, the agent communication language is implemented. The feasibility and effectiveness of the proposed language is verified by a study case of military equipment support simulation demonstration and effectiveness evolution system.

Keywords FIPA ACL; Agent; Agent communication language; equipment support

1 引言

武器装备信息化水平的进一步提高, 对装备保障提出了更高的要求, 运用基于 Agent 的作战建模方法^[1], 对装备保障复杂系统进行建模仿真, 成为了解决装备保障力量体系建设和作战运用等关键决策问题的有效方法和手段. 在基于 Agent 的装备保障建模中, 多 Agent 之间的通信是实现自主交互的基础, 而装备保障 Agent 使用共同的通信语言是实现通信并相互理解的核心.

Agent 通信语言 (agent communication language, ACL), 是一种用来表达 Agent 认知、意愿等内容, 以实现多 Agent 之间的自组织、自协同的“高级”语言^[2-3]. 基于言语行为 (speech action) 理论, 智能物理 Agent 基金会 (The Foundation for Intelligent Physical Agents, FIPA) 在知识查询与操作语言 (knowledge

收稿日期: 2016-04-11

作者简介: 蒲玮 (1983-), 男, 汉, 河北石家庄人, 讲师, 博士, 研究方向: 装备作战仿真, E-mail: puwei623@163.com; 李雄 (1975-), 男, 湖南长沙人, 教授, 博士, 研究方向: 装备作战仿真, E-mail: lixiong2609@126.com.

基金项目: 国家自然科学基金 (61473311); 北京市自然科学基金 (9142017)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61473311); Beijing Natural Science Foundation (9142017)

中文引用格式: 蒲玮, 李雄. 基于扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言 [J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 220-228.

英文引用格式: Pu W, Li X. Equipment support agent communication language based on extended FIPA-ACL[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2018, 38(1): 220-228.

query and manipulation language, KQML) 的基础上, 提出了 FIPA-ACL, 一种新的 Agent 通信语言, 并进行了广泛应用, 成为了 Agent 通信的标准语言. 围绕 FIPA-ACL 的应用问题, 国内外研究者结合各自领域的实际特点, 对 FIPA-ACL 进行了研究与扩充, 以满足系统的实际需要. 文献 [4] 结合具体的 Agent 仿真平台和交互协议对原生 FIPA-ACL 的实现方法进行了研究; 文献 [5] 提出了一种 ACL 的合规性验证模型; 文献 [6-8] 针对社会管理和经济管理的不同领域, 通过对 FIPA-ACL 的扩充, 构建了多 Agent 交互仿真模型, 满足了仿真的实际需要. 上述研究所体现的针对专业领域问题对 FIPA-ACL 进行扩展改进的研究思路, 对实现装备保障仿真 Agent 间的交互通信语言的设计与实现具有重要的参考价值.

装备保障 Agent 与装备保障力量实体之间存在着某种分辨率下的一一对应的映射关系, Agent 之间的交互本质上是一种包括一定程度的自主协同的命令关系, 因此, 装备保障 Agent 之间的交互通信应体现出指挥与被指挥的关系, 而原生 FIPA-ACL 主要体现的是一种 Agent 之间协商合作的关系, 使用原生 FIPA-ACL 直接用于装备保障 Agent 的通信, 存在以下问题: 无法对全部交互信息的语义进行描述, 需要使用较多的数据消息对单个指挥事件进行描述, 以及通信语义不能准确的被通信双方理解等. 因此, 本文根据装备保障 Agent 通信的实际需要, 按照 FIPA-ACL 层次模型和消息结构的要求, 着眼面向装备保障指挥过程, 对 FIPA-ACL 的通信原语进行扩充, 对装备保障领域的通信本体进行定义, 使用语义语言 (FIPA semantic language, FIPA-SL) 对通信内容进行规范, 且对所设计的装备保障 Agent 通信语言进行实现, 并在某部队装备保障智能仿真推演与效能评估系统中进行试验性应用.

2 基于扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言的原语扩充

2.1 FIPA-ACL 的通信原语及其扩展

基于言语行为理论, FIPA-ACL 定义了 22 个通用性的通信原语 [9], 也可称为通信行为 [10], 根据通信原语的用途可以分为信息传递、询问信息、合作协商、执行动作和错误处理 5 个基本的类别 [11]. 通过对上述 5 种通信原语的分析可见, 一方面, FIPA-ACL 从 KQML 发展而来, 其共享和重用知识方面的通信原语较多, 任务交互的原语较少, 另一方面, 所定义的任务交互原语都是针对合作协商机制进行制定的, 比较适于合同网等平等协商解决问题的交互协议 [12]. 装备保障 Agent 之间以严格的树状组织结构为关系基础, 使用命令指挥为核心的交互方式, 因此, 需要对 FIPA-ACL 中的原语进行扩展, 体现保障指挥特色, 满足装备保障 Agent 之间交互通信的需要. 为满足所扩充的通信原语的通用性要求, 一方面严格按照装备保障指挥的相关条令规定, 确保所扩充的通信原语全面覆盖装备保障指挥通信的全部情况, 另一方面, 不针对装备保障指挥通信的各种具体情况和信息类型进行原语扩展, 而针对不同的装备保障指挥通信类型进行高度抽象, 确保所扩充的通信原语具有较好的通用性, 不仅满足当前装备保障指挥模式的需要, 而且能够适应装备保障指挥模式发展变化, 所扩展的通信原语如表 1 所示.

2.2 扩充原语的语义说明

根据 FIPA 的通信行为库规范, FIPA-ACL 中的通信原语都有严格的语义定义, 使 FIPA-ACL 消息在不同的 Agent 之间交互, 并被准确理解成为可能. 根据规范, 每一个通信原语都需要从摘要、描述、消息内容和示例 4 个方面进行描述. 以所扩展的 collaborate-task-broad 原语为例, 对其进行语义定义:

1) 摘要

使用 collaborate-task-broad 给其他一个或多个 Agent 发送一个需要其完成的任务, 等待收到该消息的 Agent 发送协同任务请求.

2) 描述

发送 Agent i 认为任务需要其他 Agent j 共同协同完成, 并且相信有其他 Agent j 会愿意承担该任务, 则可以利用 collaborate-task-broad 通信原语, 将任务需求告知其他 Agent j .

表 1 扩充的通信原语

通信原语	基本含义	应用范围
order	命令	上下级保障
ask-for-instruction	请示	Agent 之间
state-report	报告	
collaborate-task-broad	协同任务发布	
collaborate-task-request	协同任务请求	发生协同关系的
collaborate-task-control	协同任务控制	保障 Agent 之间
collaborate-inform	协同信息通报	

3) 消息内容

collaborate-task-broad 原语的消息内容为具体的装备保障任务, 由于 FIPA-ACL 中的消息内容与具体消息内容语言无关, 因此, 消息内容的定义采用任务模板表述消息的要素构成为:

Task Template={任务类型 Task Type, 任务对象 Task Object, 任务地点 Task Pos, 任务时间 Task Time, 任务资源 Task Resource}.

4) 示例

执行装备抢修任务的 Agent i 发布对抢修对象 object- k 提供维修器材的任务需求, 要求于 2015 年 10 月 12 日 12 时 30 分, 向位于 123 高地的 object- k 提供 ID 号为 100202 的维修器材, 10 个单位的保障:

```
(collaborate-task-broad
:sender (Agent-Identifier :name i)
:receiver(Agent-Identifier :name all)
:ontology equipment-support
:language FIPA-SL
:content "(Task :type "material support" : object "object-k" :pos "123" :time 20151012T123000000z :
material (set (mat :id 100202 :count 10)))"
:reply-with c10
)
```

3 基于扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言的内容定义

3.1 装备保障 Agent 通信语言的内容本体定义

FIPA-ACL 的通信内容是具体的语义语言无关的, 但是为实现对所定义的通信原语的信息内容描述, 建立了内容参考模型, 规范要求在使用 FIPA-ACL 中的内容语言必须能够完全对该内容参考模型进行表达. 内容参考模型主要由谓词和项组成, 项还可以进一步细化分解为基元、概念、动作等. 谓词 (Predicates) 用以描述项的性质或项间关系, 与 1 个或多个项共同构成谓词公式, 取值为 True 或 False; 基元 (Primitives) 表示基本数据类型, 如整数, 浮点数, 字符串等; 概念 (Concepts) 表示客观对象实体, 由概念名称和 1 个或多个属性槽组成, 属性槽由属性名称和属性值组成, 属性值可以为基元也可以为其他概念; 动作 (Actions) 表示针对概念个体 Agent 可执行的具体行为.

基于内容参考模型的本体是指对表述本领域的通信内容模式的集合, 主要包括了谓词、概念和动作的定义, 只有通信双方均使用相同的本体定义, 才能够相互理解对方通信内容的含义^[13]. 因此, 为实现装备保障 Agent 之间按照所扩展的通信原语进行通信, 实现语义理解, 按照装备保障领域的专业术语规范, 对装备保障领域的通信本体进行了形式化的定义, 分别定义了保障人员、装备、弹药、器材、时间、地点、战损类型、保障任务等概念, 伴随保障、定点保障、支援保障、战损、遇险、弹药缺乏、器材缺乏等谓词, 抢救、抢修、弹药补给、器材补给等动作, 以器材、伴随保障和器材补给为例, 所定义的本体如表 2 所示.

3.2 装备保障 Agent 通信语言的内容语法定义

FIPA-SL 是一种 FIPA 定义的语义语言, 使用一阶谓词逻辑表示 Agent 之间传递消息内容的语义, 可用于实现对内容参考模型的表述^[14-15]. 基于 FIPA-SL 的语法规则, 本文主要采用 FIPA-SL 项和 FIPA-SL 公式相结合的方法对装备保障 Agent 通信语言的内容语法进行定义.

1) FIPA-SL 项

原始数据项, 表示常用的原始数据类型, 数字直接用整数或浮点数表示、字符用双引号表示日期用 <YYYYMMDD>T<HHMMSSMMM> 表示.

复合项, 包括了集合与序列两种, 集合内的各项顺序无关, 序列中的各项顺序相关, 集合描述为 (set <elem1> <elem2> ... <elemN>), 序列描述为 (sequence <elem1><elem2> ... <elemN>).

函数项, 由函数名、参数名和参数值组成, 其格式为 (function :prop1 value1 :prop2 value2).

为例, 其内容为:

```
(damage(object :ID "1200222")(pos :name "129G" :latitude 23.234 : longitude 113.234)(time :value <20150912>T<123025000>)).
```

4 基于扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言的实现

4.1 通信消息及通信原语的实现

通信消息与通信原语通过 SurpportACLMessage 类进行实现, 该类实现了对通信消息的封装, 通过该类的属性和方法, 实现了通信原语的词汇定义, 消息元素的定义与存储, 消息的解析与封装和消息的发送等功能, 类的主要属性与方法如表 3 所示.

表 3 SurpportACLMessage 类的主要属性与方法

属性/方法	功能
string performative	存储通信原语
string language	存储通信语言
string encoding	存储解析与封装方式
string ontology	存储本体类型
string content	存储通信内容
SurpportACLMessage(string performative)	以通信原语为参数构造类
void addReceiver(AID ID)	添加消息的接收 Agent
void setLanguage(string languagename)	设置通信语言
void setOntology(string ontologyname)	设置通信本体类型
void setContent(string content)	设置通信内容
void ParseACLMessage(string messtring)	消息解析
void WrapACLMessage()	消息封装
void SendandReceiveMessage()	消息发送与接收

4.2 通信本体定义的实现

通信本体定义的实现通过 SurpportACLOntology 类、SchemaBase 类、ConceptSchemaBase 类、PredicateSchemaBase 类和 ActionSchemaBase 类以及 21 个具体的本体模式类实现, 各类之间的继承等关系如图 1 所示

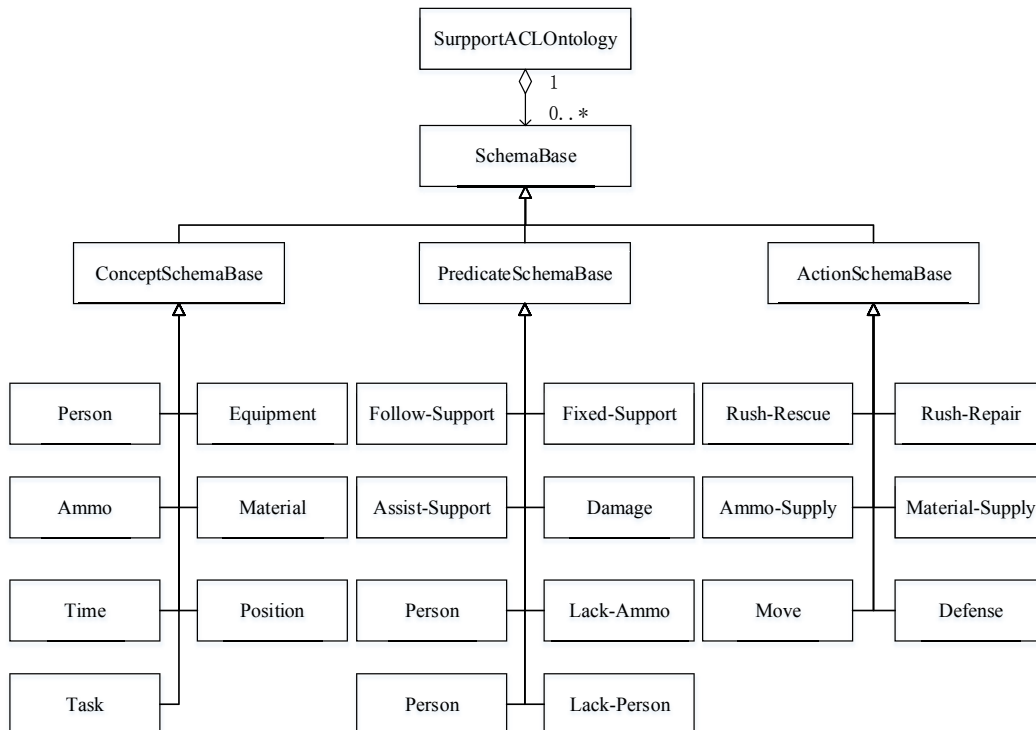


图 1 通信本体定义的实现类及其关系

示. SurpportACLOntology 类实现了装备保障 Agent 通信的本体库, 是所有本体模式的集合, 根据图 1, 21 个具体的本体模式分别为概念模式类 (ConceptSchemaBase), 谓词模式类 (PredicateSchemaBase) 和动作模式类 (ActionSchemaBase) 的子类, 同时概念、谓词和动作模式类为 SchemeBase 类的子类, 以便于 SurpportACLOntology 类对其进行管理.

4.3 基于 XML 的通信消息封装与内容交换格式实现

基于类的装备保障 Agent 通信语言的实现主要用于在 Agent 仿真实体本地对通信语言的封装, 通信数据的存储和通信功能的实现, 便于进行通信数据程序操作^[16], 但是, 分布式多 Agent 仿真通信系统需要在不同的仿真平台之间进行通信交互, 单纯使用类的序列化等方法, 还无法完全满足跨平台通信的需要. 可扩展标记语言 (Extensible Markup Language, XML) 是一种文本化的结构数据表述语言, 特别适合描述具有层次结构关系的数据, 是目前网络数据交换的标准语言之一, 使用文本方式进行内容描述, 便于跨平台信息数据交互. 由于 FIPA-ACL 语言的消息格式和 FIPA-SL 语言的内容格式都是一种层次化的数据形式, 因此适于使用 XML 对消息进行封装, 对通信内容进行实现. 因此, 装备保障 Agent 通信语言采用 XML 进行交换格式的实现. 以补给弹药的命令为例, 运用 XML 进行消息封装如图 2 所示.

```

<message>
  <performative>order</performative>
  <sender>commanderagent</sender>
  <receiver>ammosurpportagnet</receiver>
  <ontology>equipment-support</ontology>
  <language>FIPA-SL</language>
  <content>
    <task>
      <object>1200222</object>
      <type> ammosupply </type>
      <time>20150912T123025000</
time>
      <position>
        <posname>129G </posname>
        <latitude >43.234</latitude>
        < longitude >102.123</longitude>
      </position>
      <things>
        <ammo>
          <type>bullet</type>
          <count>123</count>
        </ammo>
      </things>
    </task>
  </content>
</message>

```

图 2 基于 XML 的通信消息封装实例

5 仿真实例验证与比较分析

5.1 仿真实例验证条件

按照仿真模型验证的一般要求^[17], 为仿真验证所提出的扩展 FIPA-ACL 的装备保障 Agent 通信语言对于保障 Agent 通信协议的支撑效果, 并与原生 FIPA-ACL 进行比较分析, 基于装备保障仿真实验平台, 构造了包括一个作战基本情况和两个保障方案的仿真实验想定, 主要内容包括:

战场环境: 中等起伏丘陵地;

作战阶段划分: 机动、突破、纵深战斗和防御战斗;

作战兵力规模: 红方一个装甲旅, 蓝方一个战车营;

信息通联情况: 红、蓝双方分别组建战术互联网;

仿真粒度: 单装平台级;

仿真结束条件: 对抗双方一方被全部消灭;

仿真平台: 通用装备保障编组智能推演与效能评估系统 (软件著作权登记号: 2014SR201727);

保障方案: A 方案: 群组组按级保障方案, B 方案: 网络化模块保障方案.

1) A 方案: 群队组按级保障方案

群队组按级保障方案的保障 Agent 编组如图 3 所示, 设置了 1 个部队级装备保障指挥 Agent, 下属 2 个直属综合保障分队, 每个直属综合保障分队内部包括指挥 Agent 和保障要素 Agent (维修、抢救、弹药储供、器材储供、勤务和技侦), 基本保障队集中固定配置, 前进保障队随主要方向行动, 各作战分队下属一个伴随保障组, 每个伴随保障组内部包括了指挥 Agent 和保障要素 Agent (抢救、抢修、技侦), 共计 65 个保障 Agent, 上下级之间形成指挥与被指挥关系, 同级之间形成保障协同关系.

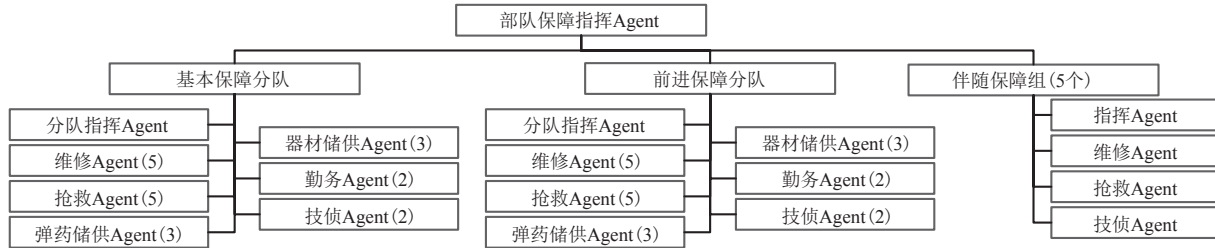


图 3 群队组按级保障方案的保障 Agent 编组

2) B 方案: 网络化模块保障方案

网络化模块保障方案的保障 Agent 编组如图 4 所示, 设置了 1 个部队级装备保障指挥 Agent, 直接指挥保障要素 Agent (维修、抢救、弹药储供、器材储供、勤务和技侦), 各保障要素分散配置在作战地域内, 根据保障任务进行网络化协同行动, 各作战分队下属一个伴随保障组, 每个伴随保障组内部包括了指挥 Agent 和保障要素 Agent (抢救、抢修、技侦), 共计 65 个保障 Agent, 上下级之间形成指挥与被指挥关系, 同级之间形成保障协同关系.

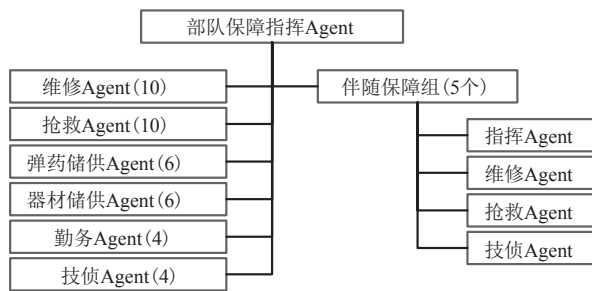


图 4 网络化模块保障方案的保障 Agent 编组



图 5 应用装备保障 Agent 通信语言的仿真系统运行界面

5.2 仿真验证执行过程

将本文所设计的 SurpportACLMessage 类、SurpportACLOntology 类、SchemaBase 类、ConceptSchemaBase 类、PredicateSchemaBase 类和 ActionSchemaBase 类以及 21 个具体的本体模式类, 在 Microsoft Visual Studio 2010 编译环境中进行了编译, 生成 SurpportACL.dll 动态库, 将生成的动态库嵌入“通用装备保障编组智能推演与效能评估系统”中使用 (系统本身具有原生 FIPA-ACL 通信语言).

基于“通用装备保障编组智能推演与效能评估系统”, 按照仿真验证条件所确定的作战想定及保障方案, 分别对原生 FIPA-ACL 语言和本文所设计的装备保障 Agent 通信语言进行了应用, 进行保障指挥交互通信的系统运行界面如图 5 所示, 场景展示了一个某坦克行动部分损坏, 上报战损情况后, 分队指挥员派出伴随保障力量前出修理的三维战场态势场景, 以及与之对应的 Agent 通信监控系统界面 (如图 6 所示).

5.3 仿真结果的比较分析

每一个保障方案经过在相同作战仿真条件下的各 50 次实验, 应用了扩展的 FIPA-ACL 进行 Agent 间通信与应用原生 FIPA-ACL 进行 Agent 间通信的仿真统计数据, 如表 4 所示 (统计项包括: A 保障指挥任务数、B 可表述保障指挥任务数、C 发送的信息条数、D 正确理解数量).

通过对实验数据的统计分析, 应用了扩展的 FIPA-ACL 进行 Agent 间通信与应用原生 FIPA-ACL 进行 Agent 间通信的效果比较数据如表 5 所示, 比较结果如图 7 所示, 其中保障指挥语义表述范围是指可表述保



图 6 Agent 通信监控界面

表 4 仿真数据统计

保障方案	群队组按级保障方案 A				网络化模块保障方案 B			
	A	B	C	D	A	B	C	D
原生 FIPA-ACL	5338	4030	18135	16231	8328	7537	26380	24665
扩展的 FIPA-ACL	5338	5338	8007	8007	8328	8328	20820	20820

表 5 扩展 FIPA-ACL 的应用效果数据

保障方案	保障方案 A			保障方案 B		
	装备保障指挥语义表述范围	装备保障指挥信息平均数量	装备保障语义理解正确率	装备保障指挥语义表述范围	装备保障指挥信息平均数量	装备保障语义理解正确率
原生 FIPA-ACL	75.50%	4.5	89.50%	90.50%	3.5	93.50%
扩展的 FIPA-ACL	100%	1.5	100%	100%	2.5	100%

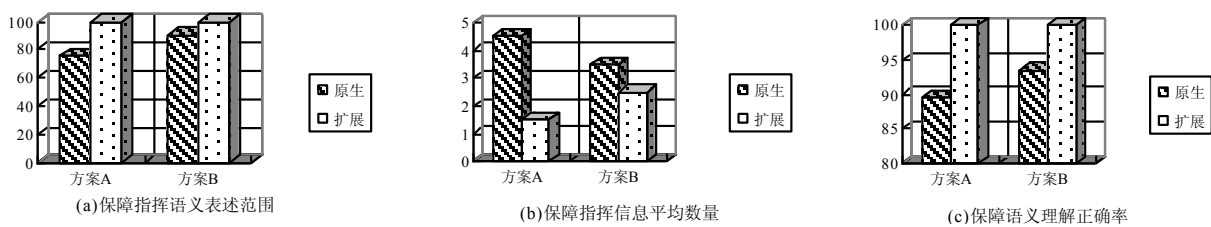


图 7 扩展 FIPA-ACL 的应用效果比较

障指挥任务数与保障指挥任务数的比值 (A/B), 保障指挥信息平均数量是指完成一个保障指挥任务或事件, 所需要的平均发送的信息条数 (B/C), 保障语义理解正确率是指发送方发送消息的真实语义目的被接收方正确理解的比例 (D/C).

通过不同保障方案中 3 个性能参数的比较分析, 本文所设计的装备保障 Agent 通信语言在两种保障方案中均优于原生 FIPA-ACL, 满足了基于多 Agent 的装备保障仿真系统中, Agent 之间保障指挥通信语义交互的要求, 所扩展的通信原语及基于所扩展通信原语的装备保障 Agent 通信语言能够满足不同保障指挥情况下, 装备保障 Agent 之间的通信需要, 不仅具有较高的通用性、可行性和有效性, 同时具有通信效率高、语义表述强的特点.

6 结论

本文按照装备保障 Agent 指挥交互的语义表述和通信规范的实际需要, 基于扩展 FIPA-ACL 设计了一种装备保障 Agent 通信语言, 建立了该语言的通信原语集合和保障领域通信本体术语库, 基于 FIPA-SL 对保障通信消息内容进行了规范化描述, 并通过类和 XML 对上述语言设计进行了实现. 通过在通用装备保障编组智能推演与效能评估系统中对装备保障 Agent 通信语言及原生 FIPA-ACL 在相同作战条件和不同保障方案的条件下进行比较应用, 检验了本文所设计和实现的装备保障 Agent 通信语言的可行性及有效性. 下一步将实现通信语言与 Agent 逻辑推理过程的无缝连接, 增强装备保障 Agent 通信语言的工程标准化以及开放可扩展性.

参考文献

- [1] 李雄. 基于 Agent 的作战建模 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
Li X. Agent-based warfare modeling[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.
- [2] Wooldridge M J, Jennings N R. Intelligent agent: Theory and practice[J]. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [3] 蒋伟进, 张莲梅, 史德嘉. 复杂自适应系统的 MAS 动态协作任务求解时序逻辑模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(6): 1305-1313.
Jiang W J, Zhang L M, Shi D J. The sequential logic model to solve the multi-agent dynamic cooperative tasks of complex self-adaptive system[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2012, 32(6): 1305-1313.
- [4] Sánchez A, Villarrubia G, Zato C, et al. A gateway protocol based on FIPA-ACL for the new agent platform PANGEA[J]. Advances in Intelligent Systems & Computing, 2013, 221: 41-51.
- [5] Huget M P, Wooldridge M J. Model checking for ACL compliance verification[C]// Second International Joint Conference on Autonomous Agents & Multiagent System, 2003, 2922: 75-90.
- [6] 王向华, 陈特放. 基于 MAS 的智能公交调度系统的建模与实现 [J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(5): 986-990.
Wang X H, Chen T F. Modeling and implementation of intelligent bus dispatch system based on MAS[J]. Computer Engineering & Science, 2014, 36(5): 986-990.
- [7] 唐辉军, 熊松泉, 金致远. 基于虚拟人通讯的工业事故救援行为仿真研究 [J]. 工业安全与环保, 2015, 41(1): 81-84.
Tang H J, Xiong S Q, Jin Z Y. Research for simulation of rescue behaviors of industrial accidents based on communication of virtual human[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2015, 41(1): 81-84.
- [8] 陈梅. 基于 FIPA 的实时多 Agent 股票买卖原型系统 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2009, 5(1): 126-131.
Chen M. Stock buying and selling prototype system based on FIPA and real-time agents[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2009, 5(1): 126-131.
- [9] 程志锋, 张蕾, 陈佳俊, 等. 基于 JADE 的多 Agent 系统开发 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 14.
Cheng Z F, Zhang L, Chen J J, et al. Developing multi-agent system with JADE[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013: 14.
- [10] 向武华, 熊才权. 基于 JADE 的多 Agent 辩论设计 [J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(3): 37-39.
Xiang W H, Xiong C Q. Design of argumentation of multi-agent based on JADE[J]. Computer & Digital Engineering, 2012, 40(3): 37-39.
- [11] Liu C L, Liu F. Consensus problem of second-order multi-agent systems with time-varying communication delay and switching topology[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2011, 22(4): 672-678.
- [12] Liu F G, Zhang G S, Lin J, et al. Design and application of PCE-oriented multi-agent software framework and agent communication model[J]. Journal of Donghua University, 2010, 27(2): 258-262.
- [13] Iftikhar S, Fatima K, Ahmad H F, et al. Ontology agent for ensuring semantic interoperability among agents and semantic web[J]. International Journal of Knowledge Engineering & Data Mining, 2011, 1(3): 273-290.
- [14] Adam C, Herzig A, Longin D, et al. Unifying the intentional and institutional semantics of speech acts[J]. Lectures Notes in Computer Science, 2010, 5948: 68-84.
- [15] Fornara N, Okouya D, Colombetti M. Using OWL 2 DL for expressing ACL content and semantics[J]. Lectures Notes in Computer Science, 2012, 7541: 114-128.
- [16] 李宏宏, 康凤举. 基于消息驱动的多 Agent 通信系统结构研究 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(10): 2365-2380.
Li H H, Kang F J. Research on multi-agent communication system based on message driven[J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(10): 2365-2380.
- [17] 杨敏, 熊则见. 模型验证 —— 基于主体建模的方法论问题 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(6): 1458-1470.
Yang M, Xiong Z J. Model validation — Methodological problems in agent-based modeling[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2013, 33(6): 1458-1470.