

基于多 agent 的军事物流系统仿真建模方法^{*}

韩仁东¹, 刘科成², 鞠彦兵¹, 崔春生¹

(1. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081; 2. 英国瑞丁大学信息研究中心, 英国 瑞丁)

摘要: 针对军事物流系统复杂性和不确定性的特点, 提出了一种基于多 agent 的系统仿真建模方法。采用中间到两端的多层 agents 组织方式, 引入 agent 分区概念对 agent 行为分别进行详细描述。在基于中间层 agents 逻辑模型的基础上抽象上层 agents 和下层 agents。通过中间层各 agent 的活动映射而构造的下层 agents 负责特定的事务处理。中间层 agents 负责协调下层 agents 的信息传递, 并与上层 agents 进行交互; 上层 agents 负责协调中间层 agents 之间的交互。给出了系统模型的仿真实验方法, 最后建立了基于多 agent 的军事物流仿真模型, 并通过系统模型的仿真运行, 对系统模型的正确性进行了检验。

关键词: 多 agent; 仿真建模; 中间到两端; agent 分区; 军事物流

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)05-1756-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.05.043

Method of multi-agent based simulation modeling for military logistics

HAN Ren-dong¹, LIU Ke-cheng², JU Yan-bing¹, CUI Chun-sheng¹

(1. School of Management & Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Informatics Research Centre, University of Reading, Reading, United Kingdom)

Abstract: In the light of the complexity and uncertainty of the military logistics system, this paper proposed a multi-agent based simulation modeling method, which adopted a multi-layer organizational structure of middle-layer-out to organize agents. It introduced the concept agent partition to describe in detail the behaviors of agents. Based on the middle layer logical model, abstracted the bottom layer agents and top layer agents. Abstracted the bottom layer agents from mapping of the activities belonging to middle layer agents. The role of bottom layer agents was focused on special transactions processing. The role of middle layer agents was focused on information transferring among bottom layer agents. The role of top layer agents was focused on coordinating the interactions among middle layer agents. This paper presented a method for running the simulation of the system model. Finally, constructed a multi-agent based simulation model of the military logistics system and verified the correctness of the model via simulation running of the system.

Key words: multi-agent; simulation modeling; middle-layer-out; agent partition; military logistics

0 引言

军事物流承担着向国家军事力量提供物资供应保障的重大任务,是部队战斗力生成和战斗力再生的基础。无论平时还是战时都发挥着无以替代的作用。军事物流系统有如下特点: a) 复杂性。军事物流物资消耗大、物流规模大;军事物流需求品种繁杂,既有生活用品,又有军品,既有大件物品,又有小件物品;军事物流系统节点繁多,并且节点间关系复杂。b) 不确定性。因战场形势复杂多变,军事物流需求具有不确定性;物资供应和物流过程也具有不确定性。军事物流不仅强调经济效益,更强调军事效益。现代战争要求物资保障适时、适地、适量,对物流系统的决策提出了更高的要求。基于多 agent 的军事物流仿真系统可使军事物流系统各主体进行充分协商,提高军事物流系统的灵活性和动态适应性,无破坏性地对军事物流决策问题进行及时的、可多次重复的模拟和分析,提高军事物流决策的科学性,改善军事物流系统的执行效率和保障可靠

程度。

国内外有关基于多 agent 系统建模方面的研究不少,多数注重特定领域的应用问题^[1]。在建模方法方面,主要有 AUMIL^[2]、GAIA^[3]、MASE、MAS CommonKADS 和面向目标的多 agent 系统分析方法,而基于多 agent 系统仿真建模方面的研究不多,还处于起步阶段。本文充分考虑 agents 的层次性和粒度大小,提出一种易于表达系统语义的、适应能力和可操作性强的、便于进行仿真实验的多 agent 系统建模与仿真方法,并将其应用于军事物流系统的仿真建模。

1 基于多 agent 的系统仿真建模方法

1.1 基本概念及符号

1) Agent 它是指组成复杂系统的具有主动性的个体或单元,具有自主性、社会性、反应性和能动性等基本特征。自主性是指在没有人直接干预下进行工作,能以某种方式控制自身的

收稿日期: 2009-10-20; 修回日期: 2009-12-04 基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国民用航空总局联合资助项目(60672180); 国家自然科学基金资助项目(70972007)

作者简介: 韩仁东(1976-),男,山西朔州人,博士研究生,主要研究方向为多 agent 系统建模与仿真(rendonghan@hotmail.com); 刘科成(1957-),教授,主要研究方向为信息管理的理论与方法; 鞠彦兵(1969-),副教授,主要研究方向为系统仿真理论与方法; 崔春生(1974-),讲师,主要研究方向为系统建模与优化。

动作及其内部状态的特性;社会性也被称为协作性,是指能够通过某种 agent 通信语言与人或其他 agent 相互交流的特性;反应性是指能够接收环境的信息并作出反应的特性。Agent 用矩形框表示,辖有下层 agent 的复合 agent 用两个矩形框表示。

2) 分层 多 agent 系统纵向抽象为不同层次的 agents。高层 agent 负责协调所属下层 agents。

3) Agent 分区 描述特定 agent 行为的区域。Agent 分区用大矩形框表示,分区名与对应 agent 的名一致,标在大矩形框的上部。Agent 分区是对应 agent 的展开,描述 agent 所辖下层 agents 之间的消息传递。

4) 状态 记录 agents 间消息传递的节点,反映系统的运行情况,用椭圆圈表示。

5) 接口状态 它反映不同 agent 分区间的联结状态。接口状态名由所在 agent 分区名 + 消息名构成。接口状态有进接口状态和出接口状态两种。进接口状态在椭圆圈旁边有带框的 in 标志;出接口状态在椭圆圈旁边有带框的 out 标志。

6) 内部状态 它是指处于同一 agent 分区中的 agents 之间的消息传递节点。内部状态名称由 agent 名 + to + 另一 agent 名构成。

7) 执行状态 表示 agent 是否正在执行的节点。执行状态名与代理名一致。

8) 消息 Agents 间传递的信息。

9) 消息流向 消息的流动方向,用箭线表示,消息名标在箭线旁。

10) 中间到两端 它是指多 agent 系统建模时抽象 agents 的一种模式,即先根据系统职能识别中间层 agents,然后再根据仿真系统需求抽象上层 agents 和下层 agents。

11) Agents 间的流关系 由状态和消息流向构成,反映 agents 之间的消息传递关系。

1.2 几种基本流关系

1) 进端口 $PI: \rightarrow agent X$, 由一个状态和一个消息流构成,表示有一个 agent 从一个节点接收消息,如图 1 所示。进端口通常用于描述开始流和进接口流关系。

2) 出端口 $PO: agent X \rightarrow$, 由一个消息流和一个状态构成,表示一个 agent 发出消息给一个节点。如图 2 所示,出端口通常用于描述系统结束流和出接口流关系。

3) 一进一出 $Se: agent X \rightarrow agent Y$, 由一个状态和两个消息流构成,表示一个 agent 发送消息给另一个 agent,如图 3 所示。

4) 选择型一进多出 $Ch: agent X \rightarrow agent Y_1, agent Y_2, \dots, agent Y_n$, 由一个状态和若干个消息流构成,表示一个 agent 发送消息给另几个 agents 中的一个,如图 4 所示。

5) 并发型一进多出 $Co: agent X \rightarrow agent Y_1, agent Y_2, \dots, agent Y_n$, 由若干个状态和若个消息流构成,表示一个 agent 同时发送消息给另几个 agents。如图 5 所示。

6) 选择型多进一出 $Ch: agent X_1, agent X_2, \dots, agent X_n \rightarrow agent Y$, 由一个状态和若干个消息流构成,表示几个 agents 发送消息给另一个 agent,如图 6 所示。

7) 并发型多进一出 $Co: agent X_1, agent X_2, \dots, agent X_n \rightarrow$

agent Y, 由若干个状态和若干个消息流构成,表示若干个 agents 同时发送消息给另一个 agent,如图 7 所示。



图 5 并发型一进多出 图 6 选择型多进一出 图 7 并发型多进一出

1.3 中间到两端的建模步骤

1) 中间层 agents 的识别 将系统按职能(角色)划分成不同的元素,将这些元素分别映射为 agent,这些 agents 称为中间层 agents。

2) 抽象中间层 agents 分区 对每一中间层 agent,将 agent 的行为(活动)分别抽象为所辖下层 agents。下层 agents 的交互(消息传递)根据业务逻辑用合适的流关系表示,绘制在该中间层 agent 分区内。

3) 抽象下层 agent 分区 对每一中间层 agent,将其基本的行为(活动)抽象为 agents,称为下层 agent。对每一基本 agent,逻辑上将基本 agent 拆分为开始子 agent 和结束子 agent。开始子 agent 和结束子 agent 及其流关系绘制在基本 agent 分区内。

4) 抽象上层 agent 分区 根据仿真系统需求,可抽象上层 agent,上层 agent 负责协调中间层各 agent。中间层 agents 及其流关系绘制在上层 agent 分区内。

1.4 基于多 agent 的系统模型的仿真实验

1.4.1 定义

1) 原型 Petri net 一个原型 Petri net^[4]可定义为一个四元组 $\Sigma = (S, T, F, M)$ 。其中: Σ 表示网系统; S 表示有限库所集; T 表示有限变迁集; F 表示流关系; M 表示标志集。 S 和 T 是网系统的基本组合集,两者不能交叉。 $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ 表示流关系仅存在于库所和变迁之间,库所与库所之间、变迁与变迁之间没有流关系。标志 M 是一个映射 $M: S \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$, 其中, M_0 是初始标志,表示系统的初始状态。网系统的运行规则为: 对一个变迁 $t \in T$, 如果 $\forall s \in S, s \in \bullet t \rightarrow M(s) \geq 1$, 则在标志 M, t 使能(被触发), 表示为 $M[t >]$; 如果 $M[t >]$, 则在标志 M , 变迁 t 可触发且到达一个新的状态, 表示为 $M[t > M']$, 其中

$$M'(s) = \begin{cases} M(s) - 1 & s \in \bullet t - \bullet \\ M(s) + 1 & s \in t \bullet - \bullet \\ M(s) & \text{others} \end{cases}$$

2) 有界性 考虑网系统 $\Sigma = (S, T, F, M_0)$, $s \in S$, 如果 \exists 整数 $B > 0$, 使得 $M \in R(M_0), M(s) \leq B$, 则称 s 是有界的。

3) 安全性 如果对网系统 Σ , 有 $B(\Sigma) = 1$, 则 Σ 是安全的。

4) 可达性 考虑网系统 $\Sigma = (S, T, F, M)$, 如果 $\exists t \in T$ 使得 $M[t > M']$, 则从 M 到 M' 是可达的。如果 $M[t_1 > M_1][t_2 > M_2][t_3 > \dots][t_{k-1} > M_{k-1}][t_k > M_k]$, 则从 M 到 M_k 是可达的。 M 的可达标志集记做 $R(M)$ 。

5) 活性 考虑网系统 $\Sigma = (S, T, F, M_0)$, 对 $t \in T$, 如果 $\exists M \in R(M_0)$, 使得 $M[t >]$, t 是活的。如果 $\forall t \in T$ 是活的, 则网系统是活的。

6) 可达标志图 对一个有界网系统, 可达标志集 $R(M_0)$ 是一个有限集。将 $R(M_0)$ 中的元素映射成图的顶点, 将标志之间的关系映射为图中的有向边, 所得到的图称为可达标志图, 记做 $RMG(\Sigma)$ 。

表 3 军事物流系统 agent 分区活性

| | |
|-----------------|--|
| Dead Markings | [896] |
| Dead Transition | JLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentE 1 |
| Instances | JLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentS 1 OSLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentE 1 OSLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentS 1 |
| Live Transition | None |

基于多 agent 的军事物流系统性能可从系统的静态性能和动态性能两个方面进行评价。系统静态性能是指系统结构的正确性;系统动态性能是指系统在受到内部和外部扰动时的稳定性和鲁棒性。静态性能的评价和检验是系统性能评价和检验的基础。系统静态性能的评价指标包括系统有界性、系统可达性、系统活性。

表 1 中为 MiliLoAgent 分区多集有界性的仿真运行结果,它清楚地反映了系统运行过程中 MiliLoAgent 下层 agents 之间的交互次数及交互消息。MiliLoAgent'AUtoOSLOA 1 1'"GeneralReq" + + 1'"SpecialReq" 表示 MiliLoAgent 分区 Army-UserAgent 向 OSLOrganAgent 发送了一件通用物资和一件专用物资的请求。

Home markings (终点标志)是指从任一可达标志都可以到达的标志,由仿真运行结果终点属性(表 2)中,home markings 只有一个,又由表 3 系统活性可知,Dead Markings (死标志)也只有一个,而且 home marking 和 dead marking 的顶点数均为 896,可以判断,它们是同一个标志,该标志对应系统的终态。从系统的任一状态出发,存在至少一条到达系统终态的路径,因此,系统是可达的。

表 3 中,有四个 dead transition instances (死变迁实例),分别是 JLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentE、JLOAReBudgetAgent'

ReBudgetAgentS、OSLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentE 和 OSLOAReBudgetAgent'ReBudgetAgentS。这四个 dead transition instances 均与重新预算有关,恰好反映了财务审核采购计划一次性通过这个实验条件,可以判断系统运行正常。

3 结束语

充分考虑了系统在语义及结构方面的可扩展性,提出了一种容易表达系统语义的多层 agent 的仿真建模方法。该方法具有如下优点:采用图形化的表达方法,形象直观,易于领域建模人员的理解和使用;所建模型在表达流程的同时,也表达了系统的运行状态;模型易于转换为 Petri net,不仅可使用 Petri net 的分析工具对模型的正确性进行检验,还可利用这些工具直接对系统的运行进行监测和控制。利用该方法,建立了基于多 agent 的军事物流系统仿真模型,并通过系统的模拟运行,检验了军事物流系统静态特性的正确性,系统动态仿真建模将是今后进一步研究的课题。

参考文献:

- [1] 陶倩,徐福缘,黄平.基于 agent 的计算金融学建模方法研究[J].系统仿真学报,2008,20(11):3004-3007.
- [2] BERNHARD B,JAMES O. UML 2.0 and agents:how to build agent-based systems with the new UML standard[J]. Engineering Application Artificial Intelligence,2005,18(2):141-157.
- [3] WOOLDRIDGE M,JENNINGS N,KINNEY D. The Gaia methodology for agent oriented analysis and design[J]. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems,2000,3(3):285-312.
- [4] 吴哲辉. Petri 网导论[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 王宗喜,徐东. 军事物流学[M]. 北京:清华大学出版社,2007.

(上接第 1755 页)最后,给出该算法结果的相似系数 ζ_F 为

$$\zeta_F = \begin{bmatrix} 0.9935 & 0.1065 & 0.1114 & 0.1129 \\ 0.114 & 0.9941 & 0.1037 & 0.1092 \\ 0.102 & 0.101 & 0.9936 & 0.1104 \\ 0.110 & 0.1014 & 0.1019 & 0.9946 \end{bmatrix}$$

从表 1~3 可看出,基于峭度算法的平均 SDR 参数值比 JADE 和 FOBI 算法大,SDR 越大说明算法的分离效果越好。 PI_K 比 PI_J 和 PI_F 小, PI 值越小,分离效果越好。从相似矩阵 ζ_K 、 ζ_J 和 ζ_F 可看出, ζ_K 主对角线上的元素值更靠近于 1,而其他位置上的元素值也更小,这就体现了基于峭度的自适应算法具有良好的分离性能。

5 结束语

本文介绍了基于峭度的自适应盲源分离算法,并应用于语音信号的盲分离,通过实验,从分离前后的波形、频谱图和各种评价参数可看出,基于峭度的自适应算法具有良好的语音分离效果。同时通过实验将该算法与 JADE 和 FOBI 算法相比较,说明基于峭度的自适应算法具有更好的分离效果。另外,基于峭度的自适应盲源分离算法是一种迭代计算,计算比批处理的盲分离算法简单,因而能获得更快的计算速度。总之,基于峭度的自适应盲源分离算法是一种良好的信号盲分离方法,在语音信号盲分离应用中更具发展潜力。

参考文献:

- [1] 马建仓,陈海洋.盲信号处理[M].北京:国防工业出版社,2006.
- [2] 张贤达,朱孝龙,保铮.基于分阶段学习的盲信号分离[J].中国科学: E 辑,2002,32(5):693-703.
- [3] ALVAREZ M R,ROJAS F,PUNTONET C G, et al. A geometric ICA procedure based on a lattice of the observation space[C]//Proc of the 4th International Symposium on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation(ICA2003). 2003:1101-1106.
- [4] ALVAREZ S C,CICHOCKI A. An iterative inversion approach to blind source separation[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 2000,11(6):1423-1437.
- [5] VINCENT E,FEOTTE C,GRIBONVAL R. Performance measurement in blind audio source separation[J]. IEEE Trans on Audio, Speech and Language Processing,2006,14(4):1462-1469.
- [6] GRIBONVAL R,BENAROYA L,VINCENT E, et al. Proposals for performance measurement in source separation[C]//Proc of International Conference on Independent Component Analysis and Blind Source Separation (ICA). 2003:763-768.
- [7] 杨行峻,郑君里.神经网络与盲信号处理[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [8] 杨福生,洪波.独立分量分析的原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [9] 江川,江太辉.扩展联合对角化算法及其在语音分离中的应用[J].五邑大学学报:自然科学版,2008,22(4):10-15.