

6-6-2020

Distributed Modeling and Simulation Method of Equipment Support System Based on Multi Agent

Lili Yin

Department of Automation in Tsinghua University, Beijing 100084, China;

Kou Li

Department of Automation in Tsinghua University, Beijing 100084, China;

Wenhui Fan

Department of Automation in Tsinghua University, Beijing 100084, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Distributed Modeling and Simulation Method of Equipment Support System Based on Multi Agent

Abstract

Abstract: The role of equipment support system becomes more and more important. In view of its large scale and high complexity, it is of great practical significance to study the equipment support system by using distributed modeling and simulation technology. *A simulation modeling method of equipment support system based on multi-Agent technology is proposed.* The type and function of Agent in the system is designed, and the interaction between them is described. *The system architecture based on multi-Agent distributed modeling and simulation is presented. Distributed prototype system of equipment support system based on multi-Agent is designed and implemented by open-source JADE.* The multi-Agent system can execute various types of support tasks and successfully *realize the distributed modeling and simulation of the equipment support system.* The correctness and usability of the prototype system is verified by an example.

Keywords

equipment support system, system of system, multi-Agent, modeling and simulation

Recommended Citation

Yin Lili, Kou Li, Fan Wenhui. Distributed Modeling and Simulation Method of Equipment Support System Based on Multi Agent[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(12): 3185-3194.

基于多 Agent 的装备保障体系分布式建模与仿真方法

尹丽丽, 寇力, 范文慧

(清华大学自动化系, 北京 100084)

摘要: 装备保障体系的重要性与日俱增, 针对其规模大、复杂度高的特点, 采用分布式建模与仿真技术对装备保障体系进行研究具有重大的现实意义。提出了基于多 Agent 的装备保障体系的仿真建模方法, 设计了 Agent 的种类、各类 Agent 的功能以及之间的交互关系; 给出了基于多 Agent 分布式建模与仿真的体系结构, 基于 JADE 开源平台设计并实现了基于多 Agent 的装备保障体系分布式仿真软件原型系统, 整个多 Agent 系统能够协调完成各类保障任务, 较好地实现了对装备保障体系的分布式建模与仿真, 并通过实例验证了原型系统的正确性和可用性。

关键词: 装备保障; 体系; 多 Agent; 建模与仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 12-3185-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201712032

Distributed Modeling and Simulation Method of Equipment Support System Based on Multi Agent

Yin Lili, Kou Li, Fan Wenhui

(Department of Automation in Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The role of equipment support system becomes more and more important. In view of its large scale and high complexity, it is of great practical significance to study the equipment support system by using distributed modeling and simulation technology. A simulation modeling method of equipment support system based on multi-Agent technology is proposed. The type and function of Agent in the system is designed, and the interaction between them is described. The system architecture based on multi-Agent distributed modeling and simulation is presented. Distributed prototype system of equipment support system based on multi-Agent is designed and implemented by open-source JADE. The multi-Agent system can execute various types of support tasks and successfully realize the distributed modeling and simulation of the equipment support system. The correctness and usability of the prototype system is verified by an example.

Keywords: equipment support system; system of system; multi-Agent; modeling and simulation

引言

随着现代科学技术的不断进步, 人们开始将各

种各样的高端技术应用于武器装备之中, 也正是武器装备的科技化, 使得现代战争表现出战斗准备时间缩短、战斗投入武器装备数量增多、战斗节奏加快、武器装备损坏率增大等特点, 在近几年来的许多战役, 装备保障体系在战争中发挥的作用不容小觑, 对装备保障体系的研究也越来越引起人们的注意。



收稿日期: 2015-11-10

修回日期: 2016-01-22;

基金项目: 国家自然科学基金(51575469);

作者简介: 尹丽丽(1993-), 女, 河北南宫, 硕士生, 研究方向为控制科学与工程; 寇力(1981-), 男, 四川渠县, 博士生, 工程师, 研究方向为复杂系统建模与仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 3185 •

体系是“若干有关事物互相联系互相制约而构成的 1 个整体”。装备保障体系，是指为满足保障需要，由若干具有不同保障能力的保障装备系统或装备组成的互相联系、互相作用的有机整体^[1]。用通俗的语言来讲，装备保障体系的作用就是要通过各种保障措施来使装备处于良好的工作状态^[2]。装备保障体系规模宏大、结构复杂、不可预测性强、行为种类多，各个要素之间存在着复杂的交互关系，并且存在大量的决策需求，总的来说，表现出非线性、“涌现”性、自适应性、自组织性等特点^[3]。

针对装备保障体系规模宏大、复杂度高的特点，若采用现实仿真的方法进行研究实施性差且耗资巨大，因此采用分布式建模与仿真技术对装备保障体系进行研究具有重大现实意义。

近些年来对装备保障体系建模与仿真方面的研究有很多，其中大部分采用的都是基于离散事件的仿真方法。薛青等介绍了国外先进装备保障仿真平台 OPUS10 和 SIMLOX，分析了装甲装备保障仿真中的关键技术，并提出了装甲装备保障仿真平台的初步构想^[4]；彭英武等基于 HTECPN 提出了一种建立在层次化、模块化和标准化基础上的保障系统 Petri 建模思路，基于 Extend 平台设计了装备保障系统仿真模型^[5]；罗湘勇基于美国国防部体系结构框架(DoDAF)，提出了一种复杂装备系统的装备保障任务描述分解建模方法^[6]；李亢等提出了装备体系结构的语义模型——语义装备体系，提出了装备体系结构语义元模型，并基于元模型构建了装备体系的多视图本体模型^[7]。

采用离散系统仿真方法，体系的状态是由离散事件驱动的，难以发现与反映装备保障体系的“涌现性”及“自适应性”，因此，本文采用多 Agent 技术来对装备保障体系分布式建模与仿真进行研究。

多 Agent 技术是一种自底向上的建模方法，考虑到装备保障体系所具有的自适应性特点，将多 Agent 技术应用其中具有很强的适应性^[8]。近些年来，有一些学者尝试将多 Agent 技术应用于装备保障体系中。曾平华等将多 Agent 技术应用于装备故

障诊断与维修系统^[9]；黄海等人将基于 Agent 的离散事件仿真建模技术引入装备综合保障系统可靠性、维修性、保障性(RMS)的建模与仿真研究中^[10]；徐廷学等人详细研究了 Agent 技术在装备保障仿真和决策支持系统构建中的应用，并设计了结构模型和单元组成^[3]；李阳等提出了基于元胞自动机与 MAS 的装备维修保障系统双层结构建模框架^[11]；李博等人构建了基于 Multi-agent 的装备综合保障信息系统，研究了实现不同业务 Agent 之间信息交互的方法^[8]。

通过以上研究发现，目前在对装备保障体系的研究方面，还缺乏一种有效的建模与仿真软件系统，多 Agent 技术可以模拟系统的每个基本单元，并实现相互之间复杂的交互关系，是具有可行性的一种实现方法。目前将多 Agent 技术应用于装备保障体系建模与仿真的相关研究还较少，因此本文提出的仿真建模方法与仿真体系架构具有一定的价值意义。

1 基于多 Agent 的装备保障体系仿真建模方法

装备保障的实质是通过作用于武器装备的各种措施的组织与实施，使武器装备保持、恢复战斗力，保障作战部队的战斗行动^[3]。装备保障体系可以看作是各类实体在外界因素的影响下，通过相互之间的交流与合作，来共同实现各种保障任务，包括装备保养、装备维修等。

装备保障体系仿真建模的实质是对真实的装备保障体系进行合理、科学的抽象和提炼，不仅要设计每类实体对象的特性和功能，以及它们之间的相互关系，还要实现在不同情景下的反应机制，建立的运行流程要遵循真实体系的状况。

对装备保障体系仿真建模主要有以下几个过程：(1) 将真实系统中的主要模型元素进行提取和概括，确定 Agent 种类；(2) 根据实体对象的特性和作用，确立每类 Agent 模型具有的属性和行为；(3) 确定各类 Agent 之间的交互关系，建立起一个

多 Agent 系统; (4) 建立多种功能 Agent, 对整个系统的运行提供支持、维护和分析等功能, 如数据采集 Agent 等; (5) 通过建立数据库对系统的数据进行管理, 为后续分析提供基础; (6) 通过界面展示 Agent 来实现用户与机器之间的友好交互, 方便非技术人员的使用和交流。

根据 Agent 应对环境的不同机理, 可以将它们分为慎思型 Agent、反应型 Agent 和混合型 Agent 三类^[12]。慎思型 Agent 可以推理自身的行为, 它以传统的基于知识系统技术为基础, 用推理机对环境进行符号化的表示和维护; 反应型 Agent 没有中心符号化模型, 通过环境与行动之间的映射来进行决策, 其优点是反应迅速, 但智能化较低, 难以解决负责问题; 混合型 Agent 是对慎思型 Agent 和反应型 Agent 的集成。

1.1 Agent 模型种类

依据实现功能的不同, 装备保障体系可以构建多种类型的功能单位, 每种功能单位分别对应于一类 Agent, 通过设定各个 Agent 的基本属性, 就可以利用继承和重载的方式来减少开发的工作量。装备保障仿真系统包含的 Agent 类型主要可以分为两大类, 一类是对装备保障体系中真实对象的抽象化建模, 一类是功能性 Agent, 用于提供整个仿真系统需要的各项功能。

第一类 Agent 对象主要包含真实体系中的装备、部件、零件、保障机关、保障机构、维修场所、保障设备和保障备件等, 每种 Agent 的功能如下:

1、装备(Equipment): 是执行作战任务的主体, 也是维修保障的对象。装备由部件组成, 当某个部件出现故障时, 装备根据某种规则可能表现为瘫痪, 也可能还能继续工作。

2、部件(Unit): 是具有某种特定功能的零件组合体, 也是装备的基本组成单元。当某个零件发生故障时, 部件根据某种规则可能表现为瘫痪, 也可能还能继续工作。

3、零件(Part): 是装备的最小组成单元, 也是

发生故障的基体。每种零件具有不同的故障类型和发生不同级别故障的概率, 在仿真运行过程中, 每个零件独立工作, 并按照自己的规则库执行不同的行为。

4、保障机关(Support Office): 是执行保障任务的指挥机构。它负责接收装备的故障信息, 经过决策后将保障任务下发给保障机构。保障机关中的主要角色是指挥人员, 他们具有决策的能力。

5、保障机构(Support Organization): 是统筹各类保障资源的机构。它的下属包括维修场所、资源包和保障人员等, 当它接收到保障任务后, 会根据任务的类型进行任务分配, 并统筹好各类保障资源。

6、维修场所(Repair Place): 是执行维修任务的具体单位。在维修场所储备有各种保障资源, 每个维修场所内部有两个维修站点, 当接收到维修任务后, 维修站点派出维修车辆去执行。

7、保障设施(Support Facility): 是执行维修任务所必须的设施, 是每个维修场所的标配。仿真系统中设置了两类保障设施: 维修车辆与维修工具。

8、保障备件(Support Spare): 是执行维修任务时具有特殊性的一类维修工具。每种故障模式分别对应不同的保障备件, 当缺少保障备件时, 保障任务需排队等待执行。

对于第二类功能性 Agent, 本仿真系统包含数据采集 Agent 和界面 Agent 两类。

1、数据采集 Agent: 用于收集所有 Agent 发送的中间结果数据, 并存入数据库的相应表中进行管理。

2、界面 Agent: 用于生成与用户进行交互的界面, 可以展示仿真系统的各类模型数据和仿真过程中的结果数据。

根据各类 Agent 的特点, 构建的方法也有所不同, 主要的建立方式如图 1 所示。

1.2 仿真系统中的主要交互关系

在确定好系统中的主要 Agent 模型, 以及系统

的主要运行规则之后,就能很容易地掌握系统中存在的各类交互关系,利用这些交互关系就能建立起整个 Multi-Agent 系统。在仿真系统中,各类 Agent 之间主要是以消息传递的方式进行交互的,为了便于理解,图 2 用图形化的方式展现了其中包含的主要交互关系。

2 基于多 Agent 的装备保障仿真体系结构

装备保障仿真软件系统在体系结构上可分为四层,分别为仿真支撑层、物理数据库层、仿真运行层和仿真应用层,如图 3 所示。仿真支撑层主要进行仿真之前保障体系模型和保障任务的准

备,以及仿真之后的数据库管理和查询分析工作。物理数据库层主要负责存储仿真前和仿真运行过程中产生的各种模型、保障任务、保障规则和仿真数据。仿真运行层主要进行各 Agent 模型在仿真运行过程中的管理,以及仿真的控制,仿真数据的实时采集工作。仿真应用层则基于仿真数据进行态势显示、模拟推演和体系评估等。仿真平台的运行流程如图 4 所示。

在仿真软件系统中,各个 Agent 根据设定好的功能正常运行,当某个零件发生故障时,整个仿真软件系统就对其进行维修和保障,仿真软件系统的运行可以说是由各个零件随机的维修过程组成的。

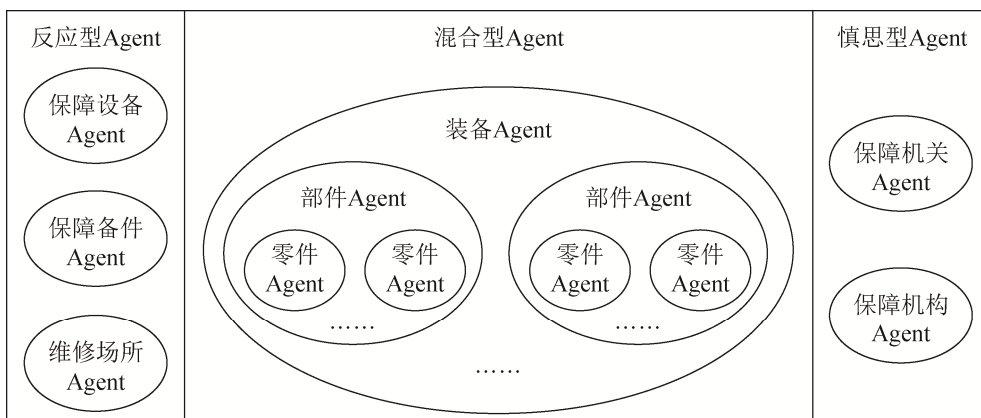


图 1 装备保障 Agent 模型示例
Fig.1 Model Example for Equipment Support Agent

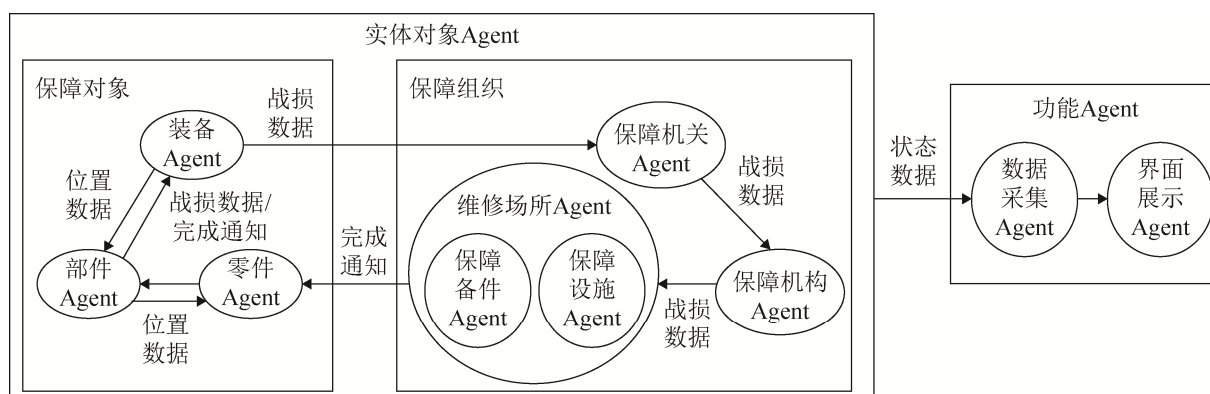


图 2 仿真系统中的主要交互关系
Fig.2 Main Interactions in the Simulation System

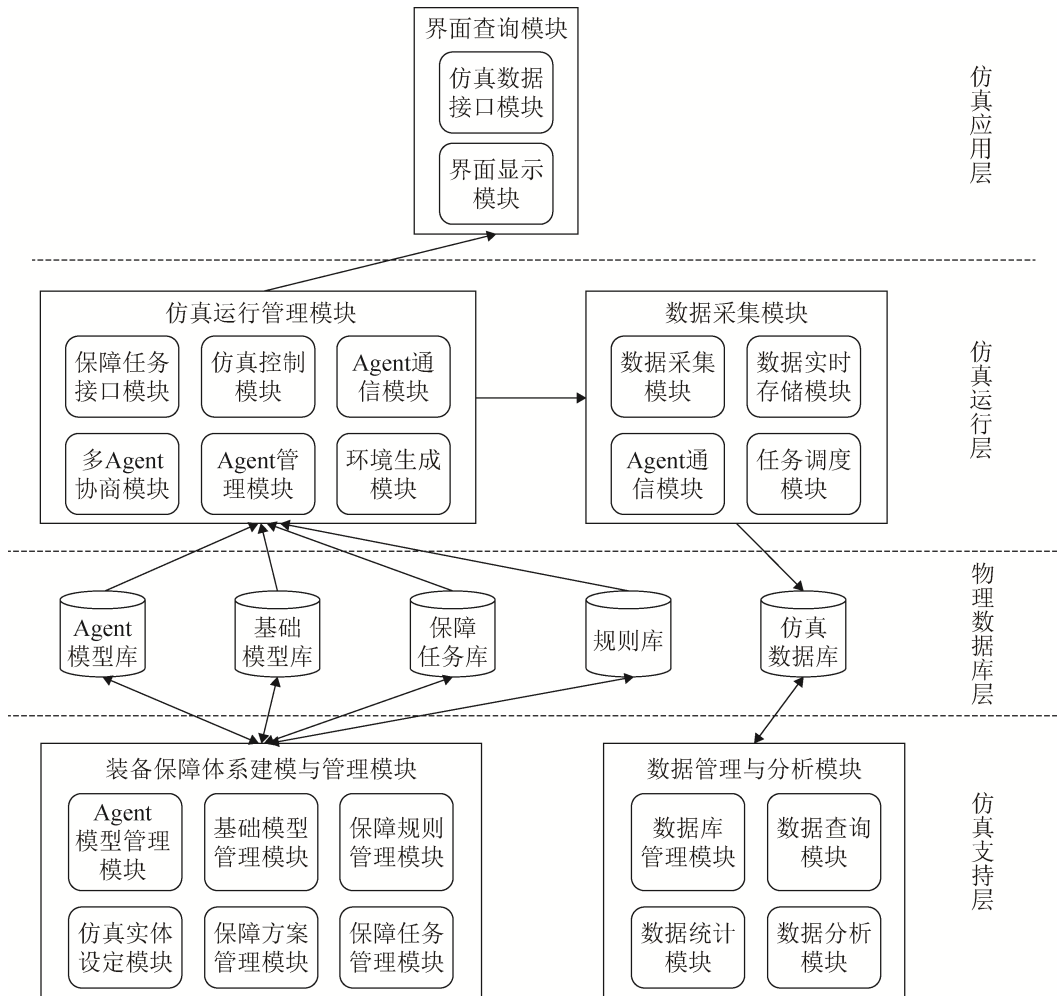


图 3 装备保障仿真软件原型系统的体系结构

Fig.3 Architecture of the Prototype System for Equipment Support Simulation Software

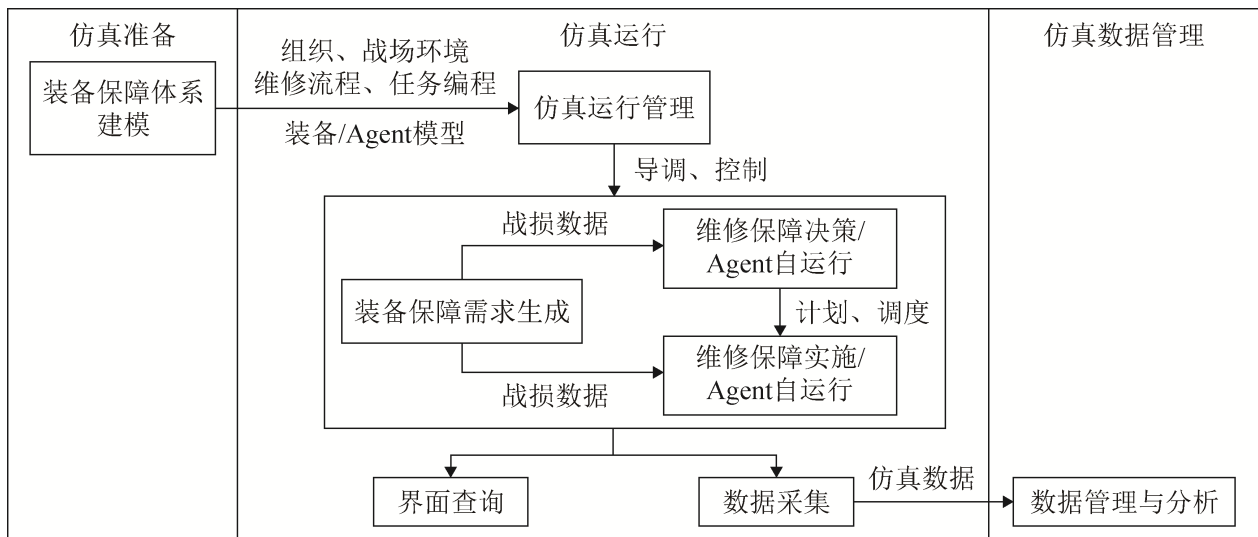


图 4 仿真系统的运行流程图

Fig.4 Running Flow Chart of the Simulation System

3 原型系统与实例验证

3.1 软件原型系统

JADE(Java Agent Development framework, JavaAgent 开发框架)是一个提供了基本中间层功能的软件平台,是目前应用最为广泛的 Agent 中间件。JADE 是一个完全分布式的中间件系统,具有灵活的基础设施,它提供了一个实时的运行环境,可以执行 Agent 整个生命周期必须的功能和 Agent 自身的核心逻辑,对 JADE 的应用和开发需要在集成开发环境 Netbeans 上完成^[13]。针对实体对象的特点,建立每一类 Agent 的功能与属性,以及之间的通信机制,从而形成一个多 Agent 系

统,其中各个 Agent 独立运行,并相互影响,协调工作。软件原型系统还利用 JavaFX 设计了查询界面,可以查询到系统的初始化模型库和仿真

数据结果。界面如图 5 所示。

设备	类型编号	状态编号	模型编号	生产日期	工作日期	故障等级	故障等级
1	1	0	0	2015-05-19 00:00:00.0	2015-05-19 00:00:00.0	0.0	0
2							
3							

设备	子组件
3	10
3	11
3	12

图 5 软件原型系统查询界面

Fig.5 Query Interface of the Software Prototype System

3.2 实例验证

假定一共包括 10 辆装备,每个装备包含三个部件,每个部件包含三个零件,即每个装备的组成形式如图 6 所示。

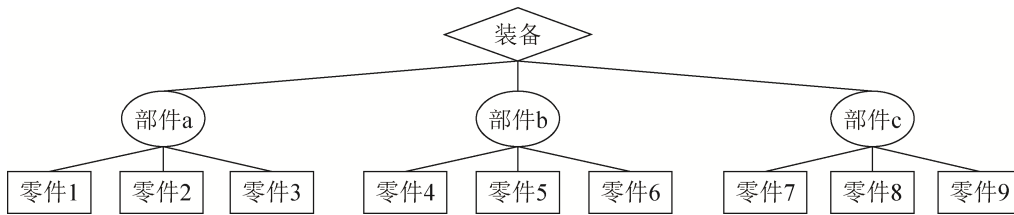


图 6 装备的组成形式

Fig.6 Form of an Equipment

每种零件具有不同的故障模式,以不同的概率发生三种级别的故障,设定为一级故障、二级故障和三级故障,每种级别的故障必须送到相应级别的维修场所,因此共包含三个维修场所,分别为一级维修场所、二级维修场所和三级维修场所。假设维修所需的保障设备和保障备件充足,不存在用完的情况。

3.2.1 仿真实体的建立

利用在 MySQL 数据库中建立的基础模型库,通过添加表格中的数据,就可以设定原型系统中

各种实体对象的相关属性。

1、零部件、装备等实体对象的属性表

该表储存了所有装备、部件和零件的初始化信息,包括类型号、状态号、故障类型号、生产日期、投入使用的日期等,图 7 是表格的部分截图。

2、部件对零件及装备对部件的装配关系表

该表记录了每个装备包含的组成部件编号、每个部件包含的组成零件编号,通过查询这个表就可以了解一个装备的具体组成形式,图 8 是表格的部分截图。

id	type_id	name	state_id	fault_model_id	date_made	date_workon	time_worked	fault_level
0	0	装备0	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
1	1	部件1	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
2	1	部件2	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
3	1	部件3	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
4	2	零件1	0	1	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
5	2	零件2	0	2	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
6	2	零件3	0	3	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
7	2	零件4	0	4	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
8	2	零件5	0	5	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
9	2	零件6	0	6	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
10	2	零件7	0	7	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
11	2	零件8	0	8	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
12	2	零件9	0	9	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
13	0	装备1	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
14	1	部件4	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
15	1	部件5	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
16	1	部件6	0	0	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
17	2	零件10	0	1	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)
18	2	零件11	0	2	2015-10-01	2015-10-01	(Null)	(Null)

图 7 零部件、装备等实体对象的属性表

Fig.7 Attribute Table of Units, Parts, Equipments and Other Entity Objects

id_group	id_child
0	1
0	2
0	3
1	4
1	5
1	6
2	7
2	8
2	9
3	10
3	11
3	12
13	14
13	15
13	16
14	17
14	18
14	19

图 8 部件对零件及装备对部件的装配关系表

Fig.8 Assembly Relation Table of Units with Parts, and Equipment with Units

3、机构实体对象属性表

该表记录了保障机关、保障机构和维修场所的编号、类型、名称、等级和决策延时等信息，假设只含有一个保障机关、一个保障机构、三个维修场所，则表格数据信息如图 9 所示。

id	type_id	name	level	code	decisionDelay
0	3	supportOffice	0 (Null)		3000
1	4	supportOrganization	0 (Null)		3000
2	5	repairplace1	1 (Null)		3000
3	5	repairplace2	2 (Null)		2000
4	5	repairplace3	3 (Null)		1000

图 9 机构实体对象属性表

Fig.9 Attribute Table of the Organization Entity Object

4、保障机关对保障机构的管理关系表

该表记录了保障机关、保障机构和维修场所之间的管理关系，即保障机关管理保障机构，保障机

构管理维修场所，这样就能很容易地根据机构实体对象属性表来填写本表，如图 10 所示。

id_manage_org	id_affiliate_org
0	1
1	2
1	3
1	4

图 10 保障机关对保障机构的管理关系表

Fig.10 Management Relation Table of the Support Office to the Support Organization

5、机构对应的资源分配表

该表记录了每种机构所含有的各类资源的初始库存、当前库存和消耗数量等信息。图 11 是对该表格的一段截取。

id_organization	id_resource	amount_current	amount_initial	amount_consumed
2	0	10000	10000	0
2	1	10000	10000	0
2	2	10000	10000	0
2	3	10000	10000	0
2	4	10000	10000	0
2	5	10000	10000	0
2	6	10000	10000	0
2	7	10000	10000	0
2	8	10000	10000	0
2	9	10000	10000	0
2	10	10000	10000	0
3	0	10000	10000	0
3	1	10000	10000	0
3	2	10000	10000	0
3	3	10000	10000	0
3	4	10000	10000	0
3	5	10000	10000	0
3	6	10000	10000	0
3	7	10000	10000	0
3	8	10000	10000	0
3	9	10000	10000	0
3	10	10000	10000	0
4	0	10000	10000	0
4	1	10000	10000	0

图 11 机构对应的资源分配表

Fig.11 Resource Allocation Table Corresponding to Organizations

3.2.2 仿真结果分析

按照仿真系统的设计思想，在建立好基础模型库和仿真实体数据后，在 NetBeans 上运行了程序，并按照设定出现了相应的仿真结果。

下面将针对装备保障体系仿真建模的几个重点，对结果进行分析：

1、装备保障体系模型元素的生成

通过查看远程监视 Agent(RMA)提供的界面，可以查看当前系统中生成的 Agent。从截图 12 中可以看出，以 ID 号为标示符的装备、部件和零件，以及保障机关 Support Office、保障机构 Support

Organization、维修场所 repairplace2-4 和数据采集 Data Collection 都生成了对应的 Agent。除此之外, JADE 提供的 Agent 管理系统(AMS)、目录服务(DF)、远程监视(RMA)也生成了相应的 Agent, 为整个平台的运行提供管理服务。

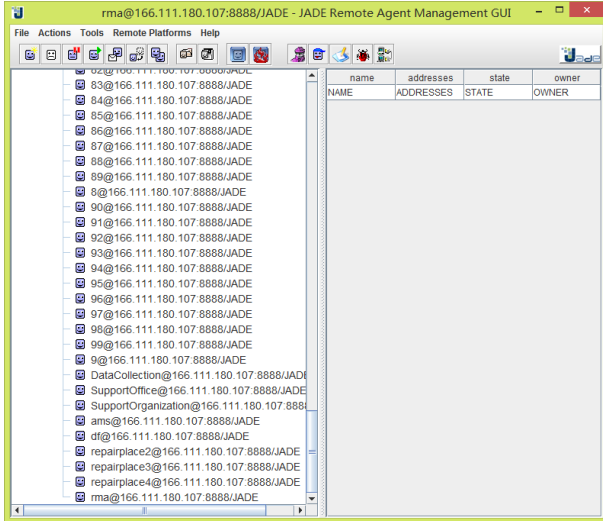


图 12 运行结果的 RMA 界面

Fig.12 RMA Interface of the Running Results

2、实现对装备保障体系流程的仿真

在仿真运行的每个阶段, 程序均设置了一条输出语句, 并根据程序的运行流程按照顺序对发生的事件进行了编号, 即 1-13, 通过降低发生故障的概率和减小各种决策时间, 可以降低在一次维修任务过程中出现其他维修任务的可能性, 就能得到一次完整的从 1 到 13 连续输出的仿真结果。图 13 是某次仿真结果, 可以看出该仿真软件系统完全是按照预先设定的顺序在执行, 实现了对装备保障体系流程的仿真。

此外, 每一次维修任务是通过消息传递的方式完成的, 所以还可以应用 JADE 的调试工具 Sniffer Agent 提供的界面, 来查看各个 Agent 之间传输的消息, 如对某次仿真, 选取其中一个零件和它的上级部件、装备, 以及保障机关、保障机构、维修场所和决策监控中心, 通过观察它们之间发送的消息可以验证流程的顺利执行, 如图 14 所示。



图 13 仿真结果输出

Fig.13 Output of the Simulation Results

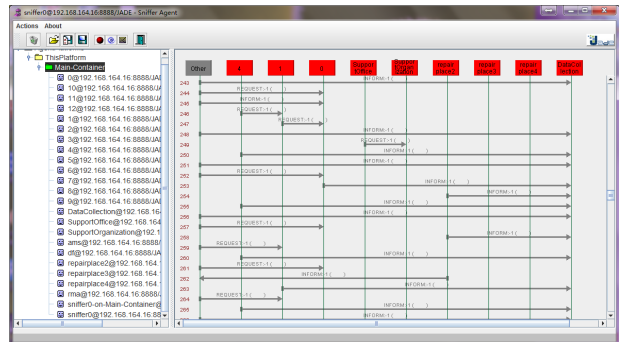


图 14 运行结果的 sniffer 界面

Fig.14 Sniffer Interface of the Running Results

3、装备保障体系数据的管理

仿真过程中, 数据采集 Agent 会接收所有 Agent 的数据并存入名为 equipmentsupport 的数据库相应的表中, 该数据库含有的表格如图 15 所示。

针对每一次仿真结果, 装备和部件的数据表记录了该装备或部件每一秒的状态和位置, 零件的数据表记录了该零件每一秒的状态、位置和故障等级, 维修场所数据表记录了该维修场所接收或完成维修任务的时间、维修对象和完成站点。下面分别对某次仿真中“装备 0”(如图 16)、“部件 1”(如图 17)、“零件 77”(如图 18)和“二级维修场所”(如图 19)的数据表格进行了截图。

图 15 结果数据库中的表格
Fig.15 Tables of the Result Database

编号	名称	时间	当前状态	位置坐标X	位置坐标Y
0	装备0	2015-10-23 14:30:24		0	26.352 38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:25	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:26	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:27	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:28	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:29	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:30	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:31	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:32	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:33	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:34	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:35	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:36	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:37	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:38	1	26.352	38.234
0	装备0	2015-10-23 14:30:39	0	26.2445	39.9595
0	装备0	2015-10-23 14:30:40	0	25.3449	39.5227
0	装备0	2015-10-23 14:30:41	0	24.4035	39.8599
0	装备0	2015-10-23 14:30:42	0	24.9199	39.0035

图 16 “装备 0”数据表截图
Fig.16 Data Table Screenshot of “Equipment 0”

编号	名称	时间	当前状态	位置坐标X	位置坐标Y
1	部件1	2015-10-23 14:30:24		0	26.6736 37.2872
1	部件1	2015-10-23 14:30:25	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:26	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:27	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:28	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:29	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:30	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:31	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:32	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:33	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:34	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:35	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:36	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:37	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:38	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:39	0	26.352	38.234
1	部件1	2015-10-23 14:30:40	0	26.2445	39.9595
1	部件1	2015-10-23 14:30:41	0	25.3449	39.5227

图 17 “部件 1”数据表截图
Fig.17 Data Table Screenshot of “Unit 1”

编号	名称	时间	当前状态	位置坐标X	位置坐标Y	故障等级
112	零件77	2015-10-23 14:30:24		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:25		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:26		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:27		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:28		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:29		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:30		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:31		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:32		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:33		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:34		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:35		0	14.1798 26.6936	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:36		0	14.5631 27.4419	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:37		0	15.4872 27.0596	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:38		0	15.6517 28.046	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:39		0	16.4689 27.4697	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:40		0	16.4642 28.4697	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:41		0	16.1619 29.4229	0
112	零件77	2015-10-23 14:30:42		0	15.339 28.8547	0

图 18 “零件 77”数据表截图
Fig.18 Data Table Screenshot of “Part 77”

编号	名称	Agent本地名称	时间	零件编号	零件名称	维修站点	任务状态
3	二级维修场所	repairplace3	2015-10-23 14:30:30	110	零件75	维修站点2	接收到任务
3	二级维修场所	repairplace3	2015-10-23 14:30:32	110	零件75	维修站点2	完成任务
3	二级维修场所	repairplace3	2015-10-23 14:30:41	70	零件47	维修站点2	接收到任务
3	二级维修场所	repairplace3	2015-10-23 14:30:43	70	零件47	维修站点2	完成任务

图 19 “二级维修场所”数据表截图
Fig.19 Data Table Screenshot of “Second Level Repair Place”

从该数据库的结构和表格中的数据可以看出, 数据采集 Agent 对每个 Agent 的数据都进行了全方位的、系统化的管理, 为后期的分析处理提供了有力的依据。

综上所述, 该仿真软件系统很好地实现了整个运行流程, 并且具有较好的性能指标。因此, 本文提出的基于多 Agent 的装备保障体系的仿真建模方法和基于多 Agent 分布式建模与仿真的体系结构具有较强的可行性。

4 结论

本文通过对装备保障体系的分析, 提出了基于多 Agent 的装备保障体系的仿真建模方法, 使用多 Agent 技术对其进行了分布式仿真建模, 设计了体系中 Agent 的种类、功能及相互之间的交互关系, 各个 Agent 都是一个独立的实体对象, 具有特定的属性和行为准则; 本文给出了基于多 Agent 分布式建模与仿真的体系结构, 利用 JADE 开源平台设计、实现了装备保障体系仿真软件原型系统, 并进行了实例验证, 仿真软件系统中的各个 Agent 按照预先设定的属性和行为正常运行, 建立的多 Agent

系统能够协调完成装备的各类保障任务,并具有较好的性能指标。

参考文献:

- [1] 贺波, 刘晓东. 论保障装备体系发展的趋势与建设思路[J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2007, 25(1): 78-80.
He Bo, Liu Xiaodong. Trend and Construction Probe on Accountrements Systematic Development Guarantee[J]. Journal of Xi'an Aerotechnical College, 2007, 25(1): 78-80.
- [2] 徐宗昌. 装备保障性工程与管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006:12-36.
Xu Zongchang. Equipment Support of Engineering and Management[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006:12-36.
- [3] 徐廷学, 赵建忠, 刘勇, 等. Agent 技术在装备保障领域中的应用研究[J]. 国防技术基础, 2010, (11): 34-40.
Xu Tingxue, Zhao Jianzhong, Liu Yong, et al. Research on the Application of Agent Technology in the Field of Equipment Support[J]. Technology Foundation of National Defense, 2010, (11):34-40
- [4] 薛青, 罗佳, 郑长伟, 等. 装甲装备保障仿真技术研究[C]. 第 13 届中国系统仿真技术及其应用学术年会论文集, 2011: 5.
Xue Qing, Luo Jia, Zheng Changwei, et al. Research on the Simulation Technique in Armored Equipment Support[C], Proceedings of 13th Chinese Conference on System Simulation Technology & Application (CCSSTA'2011), 2011: 5.
- [5] 彭英武, 李庆民, 王睿, 等. 基于 HTCPN 和 Extend 的装备保障系统建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(11): 2539-2545.
Peng Yingwu, Li Qingmin, Wang Rui, et al. Study on Modeling and Simulation of Equipment Support System Based on HTCPN and Extend[J]. Journal of System Simulation, 2011, 23(11): 2539-2545.
- [6] 罗湘勇. 基于 DoDAF 的装备保障任务建模与仿真的验证[J]. 海军航空工程学院学报, 2012, 27(5): 579-582.
Luo X Y. Verification of Equipment Support Task Modeling and Simulation Based on DoDAF[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2012, 27(5): 579-582.
- [7] 李亢, 李新明, 刘东. 基于语义元模型的装备体系结构建模方法[J]. 系统工程与电子技术, 2015, 37(11): 2503-2512.
Li Kang, Li Xinming, Liu Dong. Modeling Method for Weapon System of System of Systems Structure Based on Semantic Meta-model[J]. Systems Engineering and Electronics, 2015, 37(11): 2503-2512.
- [8] 李博, 徐宗昌, 黄书峰, 等. 基于 Multi-Agent 建模的装备综合保障系统研究[C]//2012 年第 14 届中国系统仿真技术及其应用学术年会论文集, 2012: 562-566.
Li Bo, Xu Zongchang, Huang Shufeng, et al. Research on the Integrated Logistics Support System Based on Multi-Agent Modeling Method[C]. Proceedings of 14th Chinese Conference on System Simulation Technology & Application (CCSSTA' 2012). 2012: 562-566.
- [9] 曾平华, 左召军, 熊纯, 等. 多 Agent 装备故障诊断与维修系统研究[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2006, 6(3): 21-24.
Zeng Pinghua, Zuo Zhaojun, Xiong Chun, et al. Design of Multi-agent-based Equipment Fault Diagnosis and Reparation Sysem[J]. ChangSha Aeronautical Vocational and Technical College Journal, 2006, 6(3): 21-24.
- [10] 黄海, 曹军海, 单志伟. 基于 MAS 的装备综合保障仿真系统设计 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2008, 22(3):17-21.
Huang Hai, Cao Junhai, Shan Zhiwei. Design of the MAS-based Material Integrated Support Simulation System[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2008, 22(3):17-21.
- [11] 李阳, 金伟, 武昌. 基于 CA 与 MAS 的军用装备维修保障建模仿真[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(7): 161-164.
Li Yang, Jin Wei, Wu Chang. Modeling and Simulation on Maintenance Support of Military Equipment Based on CA and MAS[J]. Fire Control & Command Control, 2012, 37(7):161-164.
- [12] 翁华明. 基于 Agent 的装备维修保障决策研究[D]. 国防科学技术大学, 2005:10-14.
Weng Huaming. Research on Agent-Based Equipment Maintenance Support Decision[D]. National University of Defense Technology, 2005:10-14.
- [13] 于卫红. 基于 JADE 平台的多 Agent 系统开发技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 1-13.
Yu Weihong. Developing Technology of Multi-Agent Systems Based on JADE Platform[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011: 1-13.