

文章编号: 1001-2486(2011)02-0100-06

C⁴ISR 系统开发的仿真模型描述研究*

柏晓莉^{1,2}, 易先清², 罗雪山², 柏晓辉³

(1. 解放军 91746 部队, 北京 102206; 2. 国防科技大学 信息与管理学院, 湖南 长沙 410073;
3. 黑龙江大学 信息科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: C⁴ISR(Command、Control、Communication、Computer、Intelligence、Surveillance and Reconnaissance)系统开发的仿真模型涉及多个应用领域,具有多粒度、阶段相关性等的特性。本文提出了 C⁴ISR 系统开发的仿真模型体系,给出了仿真模型的规范化描述。建立了 C⁴ISR 系统开发的仿真概念模型,包括仿真实体、仿真实体的组织结构、接口连接关系、信息交互、功能、活动和动态行为,抽象地反映了 C⁴ISR 系统的组织结构、接口连接、信息交互、功能、活动等静态特征和动态特性;对 C⁴ISR 系统开发的仿真组件模型采用层次化设计的思想,分为原子仿真组件和复合仿真组件两类,每一仿真组件分为组件描述和组件实现两部分,组件描述部分采用格式化形式对组件模型进行全面的描述;对 C⁴ISR 系统开发的仿真组件模型进行 Web 服务封装,转换为以服务形式对外发布的仿真模型服务,定义了仿真模型服务的形式化描述。通过 C⁴ISR 系统开发的仿真模型体系和模型规范化描述,使各个开发阶段的仿真模型之间有机关联,促进了仿真模型的重用性和互操作性,提高了系统开发的仿真效率。

关键词: C⁴ISR 系统开发;仿真模型体系;仿真概念模型;仿真组件模型;仿真模型服务
中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Study on Simulation Model Description for C⁴ISR Systems Development

BAI Xiao-li^{1,2}, YI Xian-qing², LUO Xue-shan², BAI Xiao-hui³

(1. Unit 91746 of PLA, Beijing 102206, China;
2. College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;
3. College of Information Science and Technology, Heilongjiang University, Haerbin 150080, China)

Abstract: Simulation models of C⁴ISR possess the properties of multi-granularity in development and relating to many application domains. During the phase of development, those simulation models may have pertinent relationship. The current research proposed simulation model system for C⁴ISR systems development, which provided simulation model with standardization description. First, simulation concept model was established, which consists of simulation entity, organization structure, interface junction, information interaction, function, activity and dynamic behavior for simulation entity to reflect C⁴ISR systems characteristic abstractly. Simulation component model was designed with hiberarchy idea, which is composed of atomic component model and complex component model. Each component model consists of component description and component implement, whose component description adopts formatting form to describe component model roundly. Finally, component model was encapsulated in Web Services and published as simulation model service which is described in formalization. Through simulation model system and model specification description, simulation models of each development phase can be associated organically, which promotes model reuse and interoperability, and improves system development simulation efficiency.

Key words: C⁴ISR systems development; simulation model system; simulation concept model; simulation component model; simulation model service

C⁴ISR 系统开发是多次循环迭代、功能不断完善的演进过程,包括立项论证、需求分析、系统设计、系统研制、系统测试和系统使用多个阶段。

支持系统开发的仿真模型涉及多个应用领域,具有多粒度、阶段相关性等的特性。如何合理、有效地利用各个开发阶段中仿真模型之间的相互关联

* 收稿日期:2010-06-16

基金项目:国家部委重点基金资助项目(51306060101);黑龙江省教育厅 2010 年度科学技术研究项目(11551347)

作者简介:柏晓莉(1976—),女,博士。

性,从而提高各个仿真应用间仿真模型的可重用性和互操作性,使得系统开发过程中的各个仿真应用不再是各自为政,互不相关的过程,而是有序地组合成为一个有机的仿真支持过程,成为 C⁴ISR 系统开发仿真支持技术的重要研究内容^[1]。本文通过对 C⁴ISR 系统开发的仿真模型的规范化描述,使各个阶段的仿真模型之间有机地相互关联,促进 C⁴ISR 系统开发人员、军事人员与仿真工程人员之间的沟通与协作,促使不同人员对同一问题达成共识,使不同知识背景的人员可以进行交流,从而提高了仿真模型的正确性和互操作性。

1 C⁴ISR 系统开发的仿真模型体系

C⁴ISR 系统开发的仿真模型体系是面向 C⁴ISR 系统开发的整个过程,如图 1 所示。从现有 C⁴ISR 系统出发,针对 C⁴ISR 系统开发的仿真需求,对 C⁴ISR 系统进行仿真建模分析,建立 C⁴ISR 系统开发的仿真概念模型,在仿真概念模型的指导下,构建系统的仿真组件模型,而在组件模型的基础上可以对模型进行服务包装,得到仿真模型服务,进一步满足在分布式、异构环境下仿真模型的集成和重用。

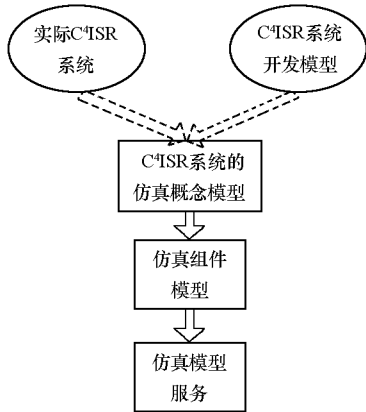


图 1 C⁴ISR 系统开发的仿真模型体系

Fig.1 Simulation model system for C⁴ISR system development

2 C⁴ISR 系统开发的仿真概念模型

仿真概念模型是关于被仿真系统中的基本概念及其关系的描述^[2]。仿真概念模型吸取建模过程中的经验,保存那些与具体仿真问题独立的、在整个 C⁴ISR 系统开发生命周期中可重复使用的仿真知识信息,为建立仿真模型提供一个公用起点和标准,便于 C⁴ISR 系统仿真模型的重复使用和自身的不断完善。

2.1 仿真概念模型

针对 C⁴ISR 系统开发的领域特点,系统组织结构、接口连接、信息交互、系统功能、系统作战活动和系统动态行为是 C⁴ISR 系统开发始终关注的核心问题,贯穿在系统开发的整个过程中^[3-4]。仿真概念模型将 C⁴ISR 系统中涉及的各类系统要素,如系统、系统节点、作战单元或组织、武器平台和设施等,抽象表示为仿真实体。仿真实体是构成仿真概念模型最基本的元素或单元,每个实体能够完成系统特定的功能和活动。实体按照一定的组织结构组合,形成具有特定逻辑结构的有机整体;实体之间的信息流构成了不同实体之间的信息交互关系;实体提供不同类型的接口完成其相应的信息交互;在系统活动中,实体具有响应不同事件、随时间推移而发生状态转变的动态行为特性。仿真概念模型分为六类,分别从仿真实体、仿真实体的组织结构、接口连接关系、信息交互、功能、活动和动态行为抽象地表示了 C⁴ISR 系统的组织结构、接口连接、信息交互、功能、活动等静态特征和动态特性,共同构成了不同视角的 C⁴ISR 系统开发的仿真概念模型。

定义 1 仿真概念模型 定义了 C⁴ISR 系统的静态结构和动态特性的仿真概念描述,静态结构包括 C⁴ISR 系统的组织结构、接口连接、系统功能、系统作战活动等逻辑关系描述;动态特性包括 C⁴ISR 系统的状态转移和系统事件跟踪等动态行为描述。静态和动态有机结合实现了对系统特征的全面仿真描述。

2.2 仿真实体概念描述

定义 2 仿真实体概念描述 描述了 C⁴ISR 系统仿真实体的静态结构和行为特征,确定了实体的类型、属性、输入输出端口,明确了仿真实体动态特征的基本要素和执行逻辑。实体模型可以形式化表示为:

$$SimEn_SCD = (IP, OP, \Sigma, X, Y, \delta_{in}, \delta_{out}, \lambda, t_a)$$

其中:

- 1) IP 和 OP 是实体的输入、输出端口集;
- 2) Σ 是实体的状态集;
- 3) X 是输入事件集, Y 是输出事件集;
- 4) $\delta_{in}(\sigma_i): \Sigma \rightarrow \Sigma$ 是内部转移函数, $\sigma_i \in \Sigma$, $\delta_{out}(\sigma_i, e_i, x_j): (\Sigma \times R \times IP) \rightarrow \Sigma$ 是外部转移函数, R 是非负实数,其中 e_i 是状态 σ_i 已流逝的时间, $\lambda(\sigma_i): \Sigma \rightarrow Y$ 是输出函数, $t_a(\sigma_i): \Sigma \rightarrow R$ 是时间推进函数。

2.3 系统结构仿真概念描述

定义 3 系统结构仿真概念描述 用于描述 C^4 ISR 系统要素组织结构的仿真描述规约,定义了表示系统要素的仿真实体以及各实体之间的逻辑连接关系,反映了系统要素之间的组成与组织结构关系。

系统结构仿真概念描述中包括两类描述元素:表示系统要素的仿真实体(Simulation Entities,简称 SimEns)和仿真实体之间的逻辑连接线(Logic Line,简称 LogL),可形式化表示为

$$SysStru_SCD = (SimEns, LogLs)$$

其中:

1) $SimEns$ 表示 C^4 ISR 系统中包含的仿真实体的集合,其中的每一个实体 $SimEn \in SimEns$ 是 $SimEns$ 的一个实例。若 $|SimEns|$ 表示集合 $SimEns$ 中实体的个数,则 $0 < |SimEns| < +\infty$,即 $SimEns$ 非空有限。

2) $LogLs$ 表示仿真实体之间逻辑结构连接线的集合,则 $LogLs \subseteq SimEns \times SimEns$,并且 $0 < |LogLs| < +\infty$,即 $LogLs$ 非空有限。

3) $LogLs$ 中的每一个元素 $LogL$ 表示 $SimEns$ 中两个不同实体之间的逻辑结构连接线,可以用一个四元组表示: $\langle ID, Type, From_SimEn, To_SimEn \rangle$,其中 ID 是 $LogL$ 的唯一标识; $From_SimEn$ 和 To_SimEn 分别表示了 $LogL$ 所连接的起始实体和终止实体, $From_SimEn, To_SimEn \in SimEns$ 且 $From_SimEn \neq To_SimEn$,即 $LogL$ 不能自环; $Type$ 表示 $LogL$ 的类型,如组成关系和组织关系等。组成关系定义了仿真实体之间组成关系,反映了系统要素之间的组成关系;组织关系定义了仿真实体之间的隶属关系或上下级关系,如指挥关系、指导关系、协同关系,反映了系统要素之间的组织关系。

2.4 系统接口仿真概念描述

定义 4 系统接口仿真概念描述 用于 C^4 ISR 系统的内部接口、外部接口以及人机接口的仿真描述,定义了表示系统节点的仿真实体之间的接口关系,反映了系统节点之间通过接口进行的信息传递和调用关系,确定了系统各物理或逻辑节点进行信息交互的接口和连接关系。系统接口仿真概念描述形式化表示为

$$SysInterf_SCD = (SysNode_SimEns, InterfLs)$$

其中:

1) $SysNode_SimEns$ 是表示系统节点的仿真实体集合,集合中的每一个元素 $SysNode_SimEn$

$\in SysNode_SimEns \subseteq SimEns$ 。 $SysNode_SimEns$ 非空有限,即 $0 < |SysNode_SimEns| < +\infty$ 。

2) 对于 $SysNode_SimEns$ 的每一个元素 $SysNode_SimEn$,都包含其相应的输入、输出接口集,用 $SysNode_SimEn \cdot Interf$ 表示。

3) $InterfLs$ 表示系统节点的仿真实体之间由输出接口到输入接口的连接线集合。 $InterfLs$ 的每一个元素 $InterfL$ 可以用一个四元组表示: $\langle ID, From_Interf, To_Interf, Info \rangle$,其中 ID 是 $InterfL$ 的唯一标志; $From_Interf$ 为 $InterfL$ 的起始接口,起始接口必须为输出接口; $From_Interf$ 为 $InterfL$ 的终止接口,终止接口必须为输入接口; $Info$ 表示接口之间传递的信息集合。

2.5 系统功能仿真概念描述

定义 5 系统功能仿真概念描述 是 C^4 ISR 系统功能组成的仿真描述规约,明确了各功能与完成功能的仿真实体之间的对应关系,反映了 C^4 ISR 系统的功能组成以及各个功能模块之间数据流。系统功能仿真概念描述可形式化表示为

$$SysFun_SCD = (SysFuns, SysFun_SimEns, DFlows)$$

1) $SysFuns$ 表示分解后的所有的系统功能集合, $0 < SysFuns < +\infty$,即 $SysFuns$ 非空有限;

2) $SysFun_SimEns$ 表示能够完成系统功能的仿真实体集合, $SysFun_SimEns \subseteq SimEns$, $0 < SysFun_SimEns < +\infty$,即 $SysFun_SimEns$ 非空有限;

3) $DFlows$ 表示功能之间的数据流集合, $DFlows \subseteq SysFuns \times SysFuns$,且 $0 < |DFlows| < +\infty$ 。

2.6 系统作战活动仿真概念描述

定义 6 系统作战活动仿真概念描述 是 C^4 ISR 系统各作战活动与完成活动的仿真实体之间对应关系的仿真描述规约,反映了 C^4 ISR 系统的作战活动组成以及各个作战活动之间信息流关系。系统作战活动仿真概念描述形式化表示为

$$SysActivity_SCD = (SysActs, SysAct_SimEns, InfoFs)$$

1) $SysActs$ 表示分解后的所有的作战活动集合, $0 < |SysActs| < +\infty$,即 $SysActs$ 非空有限;

2) $SysAct_SimEns$ 表示能够完成作战活动的仿真实体集合, $SysAct_SimEns \subseteq SimEns$, $0 < |SysAct_SimEns| < +\infty$,即 $SysAct_SimEns$ 非空有限;

3) $InfoFs$ 表示活动之间的信息流集合, $InfoFs \subseteq SysActs \times SysActs$,且 $0 < |InfoFs| < +\infty$ 。

作战活动描述的粒度由系统的应用决定,不同应用其作战活动描述的层次或粒度有所不同。检查作战活动、作战过程和作战活动之间的信息输入输出以及信息依赖关系是否合理,是发现系统运行的瓶颈与缺陷的有效途径。

2.7 系统状态转移仿真概念描述

定义 7 系统状态转移仿真概念描述 描述了 C⁴ISR 系统在完成作战使命过程中仿真实体状态的变化,明确了实体对各类事件产生的响应以及响应的顺序。系统状态转移仿真概念描述可形式化表示为

$$\text{SysStateTrans}_{_SCD} = (\text{SimEns}, \Sigma, \text{Evs}, \text{Rs}, \text{Acts}, \text{Tags}, \text{STs})$$

其中:

1) *SimEns* 表示 C⁴ISR 系统中包含的仿真实体的集合;

2) Σ 是非空有限状态集合,描述了仿真实体的初始状态、终止状态以及随事件变化的各种中间状态;

3) *Evs* 是触发仿真实体状态发生转移的各种事件集合; *Rs* 是事件发生的条件集合; *Acts* 是 *SimEns* 响应事件 *Evs* 时所产生的动作(行为)的集合;

4) $\text{Tags} \subseteq \text{Acts} \times \text{Evs} \times \text{Rs}$ 是触发标记的集合,对于 $act \in \text{Acts}, ev \in \text{Evs}, r \in \text{Rs}$, 触发标记元素 $\text{Tag} \in \text{Tags}$ 可表示为三元组 $\text{Tag} = (act, ev, r)$, 并记为 $\text{Tag} = act/ev[r]$, 即在条件 r 下发生事件 ev , *SimEn* 产生动作 act ;

5) $\text{STs} \subseteq 2^{\Sigma} \times \text{Tags} \times 2^{\Sigma}$ 是状态转移集合,若 $\text{ST} = (\Sigma', \text{Tag}, \Sigma'') \in \text{STs}$, 则存在 $\Sigma', \Sigma'' \subseteq \Sigma, \Sigma' \neq \emptyset, \Sigma'' \neq \emptyset, \text{Tag} \in \text{Tags}$, 即转移 ST 表示了仿真实体在触发标记 Tag 作用下,由源状态 Σ' 进入到目标状态 Σ'' 。

状态转移仿真概念描述了仿真实体对于输入事件的响应、状态的变化规律以及向外部环境输出事件等动态特征,刻画了系统的状态转移过程,反映了系统内部因素、外部因素以及作战态势之间的影响关系。

2.8 系统事件跟踪仿真概念描述

定义 8 系统事件跟踪仿真概念描述 用于描述 C⁴ISR 系统在完成特定作战使命过程中关键事件发生的时间序列,反映了表示系统各组成要素的仿真实体执行任务时相互协作的动态时间特性。系统事件跟踪仿真概念描述可形式化表示为

$$\text{SysEventTrace}_{_SCD} = (\text{SimEns}, \text{Evs}, \text{Acts},$$

$\text{Time}, \text{SP})$

其中:

1) *SimEns* 是仿真实体集合,即在特定仿真想定中表示各个系统节点或系统要素的实体集合; *Evs* 是想定中的各类仿真事件集合; *Acts* 是响应各类事件时产生的动作(或行为)集合。

2) *Time* 是在整个仿真想定过程中事件发生的时刻集合。

3) $sp = (\text{SimEn}, t, ev, act)$, $\text{SimEn} \in \text{SimEns}, t \in \text{Time}$ 为在某事件的发生时刻标记。对于时刻标记 $sp \in \text{SP}$, 存在 $ev \in \text{Evs}, act \in \text{Acts}$, 使得在时刻 t 事件 ev 发生并引发实体 *SimEn* 产生动作 act 。

3 C⁴ISR 系统开发的仿真组件模型

C⁴ISR 系统开发的仿真概念模型是仿真组件模型的设计和实现的基础和指导。仿真组件模型是仿真实体的仿真实现,通过仿真组件模型实现仿真实体的静态特性和动态行为^[5]。C⁴ISR 系统开发的仿真组件模型采用层次化设计的思想,分为原子仿真组件和复合仿真组件两类。每一仿真组件分为组件描述和组件实现两部分。组件描述部分采用格式化描述,它用一定的格式对组件模型进行完整的描述,包括模型标识、模型属性、模型功能、模型端口、模型结构和模型说明与约束这几个描述段。组件实现代码是实体模型的核心,是实现的具体体现。把模型描述和模型实现两部分规范化封装,便于模型的理解、使用和重用^[7]。

3.1 仿真组件描述规约

定义 9 原子仿真组件 是对 C⁴ISR 系统开发的仿真实体进行分解与抽象时无须再分的最小单元,是仿真方案设计中最基本的复用单位。

定义 10 复合仿真组件 由多个仿真组件通过组件端口相关联,可以共同完成组合功能的大粒度复用单元,其组成成员既可以是原子仿真组件实例,又可以是复合仿真组件实例。

仿真组件描述规约都包括了对组件标识、名称、类型、属性、功能和接口的定义,如表 1 所示。组件标识表示组件的唯一标识;组件名称表示组件所抽象的系统要素的名称;组件类型表示组件的分类;组件属性是对组件自身特征的描述;组件功能表示了组件对外界事件或信息的响应、处理机制;组件端口表示了组件与外界进行信息、数据交互的端口,包括输入端口和输出端口,是模型相互连接的重要信息;组件的相关说明对模型的使用范围、版本、验证、应用和文档等分别给出了描述规约,下一节将详细说明;复合仿真组件组成中

表 1 仿真组件描述
Tab.1 Simulation component description

原子仿真组件描述	复合仿真组件描述
<pre> Simple Component { Component ID; //组件标识 Component Name; //组件名称 Component TYPE; //组件类型 Component Attributes; //组件属性 Component Functions; //组件功能 Component Port; //组件端口 < InputPorts > //输入端口 < OutputPorts > //输出端口 < InitializationPorts > //初始化端口 < OtherPorts > //其他端口 Component RelativeDescription; //相关说明 } </pre>	<pre> Complex Component { Component ID; //组件标识 Component Name; //组件名称 Component TYPE; //组件类型 Component Attributes; //组件属性 Component Functions; //组件功能 Component Ports; //组件端口 < InputPorts > //输入端口 < OutputPorts > //输出端口 < InitializationPorts > //初始化端口 < OtherPorts > //其他端口 Component RelativeDescription; //相关说明 Component Structure; //组件结构 //组成该复合组件的子组件 attribute MasterSeq subcomponent; //组件相互之间的端口连接对 attribute PortLinkPairSeq Subportlink; } </pre>

还包括组件结构项,用于表示复合组件内子组件之间的组合结构关系。

3.2 相关说明描述

1)组件使用描述(Domain):描述组件实现原理、适用条件等的各类信息。

Component Domain

```

< attribute file Implement _Principle >
< attribute file Apply _Condition >
< attribute String Apply _Domain >

```

2)组件版本变更描述(Revision):描述组件所对应的某一发布或者更改的模型版本。

Component Revision

```

< attribute String RevisionId > //版本号
< attribute String taskId > //仿真应用任务标识
< attribute String fidelity > //精度信息
< attribute String Environment > //仿真软、硬件环境要求

```

< attribute Date createdate > //创建日期

3)组件模型验证描述(Validation):描述组件验证信息,管理有关该版本模型验模信息的各类文件。

Component Validation

```

< attribute file validation _inf > //模型验证文件信息

```

4)组件应用任务描述(Tasks):描述组件参与各类应用的信息,管理该组件模型对应任务的各类文件。

Component Tasks

```

< attribute file Task _inf > //应用任务文件信息

```

5)组件文档描述(Documents):描述组件模型各类文档信息。组件的描述和实现最终是以文档的形式存在,文档描述给出了组件各类文档管理、存储和关联信息。

Component Documents

```

< attribute file manage _info >
< attribute file save _info >
< attribute file relation _info >

```

4 C⁴ISR 系统开发的仿真模型服务

Web 服务提出了一种新的面向服务的体系结构^[6-7]。为了更好地应用组件技术和 Web 服务,使经过测试的仿真组件模型能有效地发布^[8],使仿真设计人员能够在分布的、异构的环境下对这些仿真资源进行透明的访问和高效的协同工作,在仿真组件模型的基础上进一步设计实现了 C⁴ISR 系统的仿真模型服务。

定义 11 仿真模型服务 是对 C⁴ISR 系统开发的仿真组件模型进行 Web 服务封装,转换为以

服务形式对外发布的仿真模型,组件的部分接口以 Web 服务接口的方式对外可被访问。仿真模型服务可以形式化表示为: $SimModelService = (SMSID, MetaInfo, Mapping, Interface, Context, Behavior, Binding, QoS)$, 其中:

1) $SMSID$ 为仿真模型服务的唯一标识。

2) $MetaInfo$ 为仿真模型服务的元数据集合,其具体内容一般由仿真模型服务提供者确定。关键元数据内容包括:名称、应用领域、功能描述、版本信息、使用历史、提供者和提供者联系信息等。

3) $Context = (Object, Assume, Restriction)$ 为仿真模型服务的应用情景信息, $Object$, $Assume$, $Restriction$ 分别表示仿真模型服务的目标、假设和约束。应用情景信息可以为使用人员提供服务的的应用信息描述,根据不同的应用情景,可以选择不同的服务实现,实现在不同仿真集成环境下的应用。

4) $Interface$ 表示仿真模型服务的功能语义,描述了仿真模型服务的静态接口语义,即仿真模型服务的输入输出参数。

5) $Mapping$ 表示仿真模型服务的与标准组件之间的映射关系。

6) $Behavior$ 表示仿真模型服务的行为,描述了仿真模型服务的动态语义。

7) $Binding$ 表示仿真模型服务的使用信息,描述了仿真模型服务的绑定信息,即定义了如何对仿真模型服务进行调用。

8) QoS 描述了仿真模型服务的服务质量,描述了仿真模型服务的非功能属性信息,是仿真模型服务组合的重要性能指标。

仿真模型服务的信息发布在 UDDI 服务器上^[9],仿真设计人员可以发现、查询、访问和获取仿真模型服务,这大大提高了仿真模型在分布异构环境下的重用性和互操作性。

5 结束语

本文针对 C⁴ISR 系统开发的仿真模型特点,

设计了其仿真模型体系,该体系包括仿真概念模型、仿真组件模型和仿真模型服务,给出各类仿真模型的规范描述。仿真模型体系使各个开发阶段的仿真模型之间有机关联,促进 C⁴ISR 系统开发人员和仿真人员相互理解、沟通和高效地协同工作,缩短系统开发时间,提高系统开发仿真效率。C⁴ISR 系统开发的仿真模型规范描述还有诸多不完善之处,对各个阶段仿真模型之间的衔接关系,模型信息的有效利用等问题还没提出行之有效的方案,后续研究工作将重点加以解决。

参考文献:

- [1] Blais C, Brutzman D. A Transformational Framework for Design, Development, and Integration of Simulation Models[C]//Proc. the 2004 Fall Simulation Interoperability Workshop, September 2004.
- [2] Tolk A, Diallo S Y. Data, Models, Federations, Common Reference Models, and Model Theory [C]//Proc. the 2007 European Spring Simulation Interoperability Workshop, 2007.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0 [R]. U. S.: Department of Defense, 2003.
- [4] Tolk A, Solick S. Using the C⁴ISR Architecture Framework as a Tool to Facilitate V&V for Simulation Systems within the Military Application Domain [C]//Proc. the 2003 Spring Simulation Interoperability Workshop, April 2003.
- [5] 卿杜政,李伯虎,孙磊,等. 基于组件的一体化建模仿真环境(CISE)研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(4): 900-904.
- [6] Tsai W T, Fan C. DDSOS: A Dynamic Distributed Service-oriented Simulation Framework [C]//Proc. the 39th Annual Simulation Symposium, 2006.
- [7] Chen X J, Cai W T. SOAr-DSGrid: Service-oriented Architecture for Distributed Simulation on the Grid[C]//Proc. the 20th Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation, 2006.
- [8] Diallo S Y, Tolk A. Adaptive Generative Grammar for JC3IEDM Web Services [C]//Proc. the 2007 Spring Simulation Interoperability Workshop, Norfolk, VA, 2007.
- [9] 杨林,张田文. 虚拟样机工程中仿真模型包装与发布机制[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(1): 317-321.