

虚拟采办实施全系统全寿命全方位管理的技术需求

冯 珊¹, 郭四海^{1,2}, 周凯波¹

(1. 华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074; 2 武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 基于仿真的采办系统复杂性决定了它对全系统、全寿命、全方位系统管理的需求. 为了开发这样一种复杂管理系统, 首先应将管理需求转换成相应的功能, 使预期采办对象系统的全寿命过程得以有效实现. 为此, 对描述问题域的使命空间概念模型 CMMS, 及对数据、信息、知识、模型进行一体化描述的可扩展标记语言 XML 和支持组件按需组合型应用开发的可扩展建模与仿真框架 XMSF 技术体系结构进行了综合论述. 详细给出了 CMMS 的定义、意义、形成、性能要求, 并与用户空间概念模型 CMUS 和综合表示概念模型 CMRS 一起, 通过软件开发过程模型 SDP 实现开发与验证的方法. 随后, 以 CMMS 产生初始能力文件的过程为例进行了应用分析. 在总结了已完成的各项系统前期开发工作基础上, 指出为达到可组合性需进一步研究建模与仿真的技术基础, 并应将人工智能与计算智能嵌入建模与仿真的应用系统中.

关键词: 复杂性; 需求分析; 使命空间概念模型; 基于仿真的采办; 决策与控制; 人工智能与计算智能; 可组合性

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785 (2009) 01-0030-14

Technological requirements for a simulation-based acquisition system to manage all aspects of a total system 's life cycle

FENG Shan¹, GUO Si-hai^{1,2}, ZHOU Kai-bo¹

(1. Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: This paper proposes that the complexity of a simulation-based acquisition system depends on the management requirements of total system, including all aspects of its whole life cycle. To develop such a complex management system, the first step is to transfer the management requirements into corresponding functions, by which the targeted life cycle procedure of the whole objective system can be carried out effectively. The conceptual model of mission space (CMMS) was applied to problem area description; extensible markup language (XML) was used as a data, information, knowledge and model integrated descriptive standard; the extensible modeling and simulation framework (XMSF) was used for a component-based, requirements guided system. Composition styles were fully discussed. The research focus was on CMMS and the paper introduces its definition, meaning, formation, performance requirements and applications in detail. Next, a conceptual model of user space (CMUS) and a conceptual model synthetic representation (CMSR), through a software development process (SDP) model, were used along with CMMS to form a development baseline. Afterwards, a case study of CMMS used for producing the initial capability document was evaluated and conclusions made. The technical background of modeling and simulation (M&S) should be further studied for composability access and it was shown that AI and CI capabilities should be embedded into applied M&S systems.

Keywords: complexity; requirement analysis; conceptual model of mission space; simulation based acquisition; decision and control; artificial Intelligence and computational intelligence; composability

军事装备建设的规模与质量历来衡量一国的国

防能力, 关系国之安危. 现代高科技军事装备日趋复杂多变, 是一国通过多部门协作甚至国际合作综合运用各种最新科学技术获得的成果, 常被认定为国家综合国力的具体体现, 其重要性不言而喻. 军事装备采办概指军事装备的获得过程, 为了界定论域便

收稿日期: 2008-07-10

基金项目: “十一五” 国家部委预研资助项目 (4130400501); 国家部委预研重点基金资助项目 (40A04050707); 国家自然科学基金重大基金资助项目 (79990580).

通信作者: 冯 珊. E-mail: sfeng@mail.hust.edu.cn

于分析,参照英国国防部国防采办手册(第 5 版)的定义:“国防采办是应用全系统全寿命管理方法进行国防能力的确定,并实施采购管理、保障管理和退役/处置的过程。国防能力指军费使用者或军种需要实现的作战效果”。该定义的优点在于对装备采办的解释与我军的现行采办管理概念相吻合,而且在定义中明确了全系统全寿命管理方法是装备采办的固有属性。现代武器装备的高新科技含量大、复杂度高、采办周期长、采办进度远赶不上作战需求和技术进步的变动速度^[1]。基于仿真的采办 SBA(simulation based acquisition)应运而生,对应于真实世界的实物采办,称数字世界中的 SBA 为虚拟采办。自 1997 年美国国防部建模与仿真委员会首次提出基于仿真的采办 SBA 概念到 2006 年国防部颁布“采办建模与仿真主计划”,10 年的 SBA 实践,已经基本改变了实物采办所面临的技术困境,起到了缩短采办周期,降低成本,有效规避风险,提高装备质量的显著效果。然而, SBA 面临的复杂性挑战,不仅来自被仿真的具体装备系统及其采办过程的固有复杂性,更来自应用 M&S(model & simulation)技术进行采办复杂大系统全系统、全寿命过程仿真和管理决策时所面临的技术挑战。虽然 M&S 技术是决策者获取尚未出现而当前又必须加以考虑的态势的经验和直觉的惟一手段,但因其技术水平相对于待求解的复杂决策问题而言尚不足以单独当此重任,因此, SBA 亟需全系统、全寿命、全方位优化管理支持其有效完成使命。该管理系统的建立属于时间尺度大、空间分布广、决策主体与客体关联交互多,而信息/知识/资源相对有限的非常复杂的问题,既涉及一些新理论方法和技术,又要在系统规范、协议和使能工具等多方面集成当今前沿成果。特别是采办立项前期的需求工程中,如何将军事需求正确体现为采办目标系统的效能问题,一直是关注的焦点,本文试图以使命空间概念模型 CMMS(conceptual model of mission space)、基于可扩展标记语言 XML(extensible markup language)和可扩展建模与仿真框架 XMSF(extensible modeling and simulation framework)为技术支撑,迈开 SBA 全寿命、全系统、全方位管理(以下简称三全管理)系统研究与开发的第一步。

1 SBA 三全管理复杂性分析

在采办项目范围内,以合适的逼真度和实用的精度在数字世界中实现采办全系统的发展或成长过程,即刻划采办对象系统全寿命过程,是 SBA 的基本任务。虚拟采办 SBA 是真实采办的支持系统,通

过 SBA 系统中的管理策略仿真试验可给真实采办提供最优的管理解决方案。又因为两者在采办管理决策问题、决策者和决策环境上的一致性, SBA 采办目标/对象系统的成长过程是伴随 SBA 全寿命管理决策过程一起发展的。一个 SBA 项目最终获得预期的理想目标/对象系统时,也应是全寿命优化管理基于阶段决策优化积累形成的结果。本节从采办客体、主体和 M&S 技术多侧面阐明真实采办和 SBA 的系统复杂性及相应的管理功能需求。

1.1 采办目标/对象系统复杂

为适应信息时代高技术战争的作战需要,采办目标系统多属功能、结构和行为复杂的技术密集型产品。例如需要具有精确打击、隐形、自愈、自我生存能力和适应各种自然/人工环境的功能,其结构涉及机械、电子、控制、液压、气动、材料、计算机软硬件多种学科的技术类别,其行为应表现为用各种性能指标度量的整体性能,如作为飞行器的发现、跟踪和摧毁敌方目标的能力。目标系统可以是由各种功能单元构成的具有独立外部行为的单一种武器装备系统,也包括由自治的、相互交互的、可互操作的多种装备集成的系统的系统 SOS(system of systems)。本质上, SOS 属不同时空和作战需求条件下可提供不同能力的动态多装备系统之集合。全系统管理也就是管理全系统的内部结构与外部功能和行为。

1.2 采办过程复杂

采办目标系统的全生命周期亦称全寿命周期,概指为响应未来作战需求而提出适用新型系统的创新要求或研发设想开始,到该新型系统停止装备使用或退役为止的全过程。全寿命过程常需持续数年至数十年,包括需求定义、方案论证、技术开发与演示、生产与部署、使用与保障、退役与处理各个特征属性不同的阶段。从采办系统工程的角度,有必要按具体系统特点和管理体制划分采办阶段,方便安排、组织、管理各阶段任务,制定科学的程序并实施具体的工作纲要。更重要的是阶段划分有利于设定具体阶段目标和阶段任务的入口和出口标准,实现渐进式开发策略和螺旋上升式技术能力增长策略,使采办工程在低风险条件下有序完成。采办全寿命管理,就是实现目标系统的生命周期管理,也就是全过程分阶段优化管理。

1.3 采办主体复杂

采办活动的运行管理是由政府主管部门、相关军兵种、科研院所、参与活动的企业事业单位等多层次的多个机构组成的综合组织来完成的。采办管理体制就体现在采办组织机构和采办运行的有机结合

上. 其中既包含内部组织的人员间的责权分工、相互合作与配合, 也包括内部与外部环境有制约的协调关系等. 由于各采办参与主体在不同采办阶段的角色重要性不同, 在制定具体决策时, 常处于合作、竞争乃至冲突相交织的状态. 冲突是管理决策面临的客观环境, 而总体利益和目标的一致又使合作成为解决冲突获取一致性决策的有效方法. 在全寿命管理决策过程中, 不失时机地保持各采办参与主体行为的目标一致性是获取高效率采办的关键. 我国采办主管部门倡导在采办全系统、全寿命管理原则上增加全方位管理, 总称三全管理. 主要在于强调发挥各决策主体的主动性和行为协调一致性, 以保证最优采办策略的实施. 实施强有力的监管控制机制是成功采办的保证, 世界各国多采取统一指挥、集中监控、分散决策的采办策略, 我国也不例外.

1.4 SBA的综合复杂性

现实世界采办系统的复杂性必然导致 SBA 系统的复杂性. 在数字世界中, 基于 M&S 技术本质再现实际采办过程, 是用复杂模型系统模拟实际采办复杂大系统, 是用一种 SOS 解释描述和模拟另一种 SOS 的仿真试验. 这是一项十分复杂的任务, 既涉及一些理论方法问题, 又要突破一些关键技术, 还要关注规范、协议和多种工具的突破性进展. 进入 21 世纪后, SBA 系统体系结构已经由集中式、封闭式发展到分布式、开放式和交互式, 并期望构成可互操作、可重用、可移植、可拓展及具有强交互能力的对等式协同仿真体系结构, 但其中有不少关键技术仍在攻关中. 为了发挥 SBA 对真实采办的有效支持作用, 在采办应用开发中, 应强化控制与决策理论、方法与技术, 并将之嵌入 SBA 工作系统作为有机组成部分^[2]. 用软科学、弱方法与 M&S 技术互补的解题策略, 是一种可行的选择.

2 SBA 三全管理的功能需求分析

2.1 多人多目标分布式动态优化决策功能

根据 1.1~1.4 小节阐述的复杂性, 相应的 SBA 全系统、全寿命、全方位管理决策是一套复杂的决策功能体系, 是和现存的任何一种管理信息系统 MIS (management information system)、决策支持系统 DSS (decision support system)、执行信息系统 EIS (executive information system) 乃至企业资源规划系统 ERP (enterprise resource planning) 不同的综合管理决策系统. 例如, 就决策主体而言, 它既支持高层领导或一般采办人员的个人决策, 也支持组织机构决策和委员会式多人研讨决策. 它可以运用网络分布的各

种决策资源, 分处各地的决策者在网上同步或异步完成决策, 所以它是分布决策方式. 又如采办周期长导致的技术风险, 需通过分时序阶段决策来降低, 以保证采办到该时段的成熟技术, 并达到阶段出口目标要求, 但同时保证阶段间系统行为的连贯性, 所以它支持动态优化决策. 然而, 单一的动态规划和多人多目标决策模型都不适用. 另外, 阶段决策目标是总目标体系下的综合目标, 各种子目标间还存在着纵向和横向的联系等, 这些复杂性都不是传统 MIS/DSS/ERP 和已有运筹学工具已经具有的性能. 另外, 系统决策主体, 需要在各个决策节点上, 都能方便地获得已经嵌入系统管理流程中的决策支持技术. 所以, 从决策视图看, 决策流程提供的决策支持功能, 应是实时按需调用功能组件灵活组合而成的, 是工作系统嵌入式的支持方法^[3]. 据此, SBA 三全管理软件系统应设计为网络环境下基于 Web 组件的体系结构, 以满足按管理决策需求由组件链接实现具体的功能流程的要求.

2.2 综合优化管理决策功能的使能技术

在 1.1 小节已阐明的系统复杂性中, 还说明复杂装备体系中整体系统性的重要性, 如 SOS 是按作战需求动态组合的能力系统, 这个能力系统的战斗力发挥就取决于其外部行为表现的整体性. 整体性的获得又基于多重一体化技术管理手段, 如 C⁴ISR 系统中信息系统与主战武器装备系统的一体化, 将作战人员、作战平台和装备系统纳入统一网络系统环境等, 本节讨论拟试用的促进达到一体化管理的基本使能技术.

2.2.1 促进 M&S 技术网络化的使能技术

2000 年以后, 基于 M&S 与 Web/XML 技术的结合, 促进了 XMSF 技术的形成. 由于 XMSF 体系结构所具备的使 M&S 技术网络化的优点和在可组合性方面的创意和功能, 提供了解决 SBA 复杂工程技术问题的多种可能性^[4]. 如可以设计具体模型/仿真应用程序的包装器, 使之兼具语法可组合和语义可组合的功能, 成为在网上可以重新按需配置的计算单元, 达到按需构建组合件的目标. 但只有形式化方法, 没有基本理论的支持, 模型与仿真的可重用和可互操作性问题还是不能彻底解决的. 为了迎接更高复杂度仿真的挑战, 必须研究模型抽象描述, 快速建模、柔性组合和自动部署的仿真方法论及使能技术工具.

2.2.2 评估时空和逻辑的一致性的支持工具

SBA 及 SBA 三全管理系统是在数字世界中再现真实世界采办及其管理活动的复杂模型体系行为

仿真系统.在过程仿真中要求仿真对象的状态和行为必须和实际对象的状态和行为保持所需的一致性.当目标系统尚未物理实现时,如何检验和评估仿真过程行为符合客观世界的时序和因果关系,这些一致性要求应如何掌握,尚未形成实用的技术标准,这些都是 SBA 研究中值得重视的基本技术问题.

2.3 在不确知和不确定条件下进行决策

上述复杂性要求在实施 SBA 工程中,始终以决策与控制手段保证基于各个基本采办流程的优化决策自底向上逐级促使上层节点目标的优化.但由于军事需求变动导致目标体系不确知,所以从初始认

知模型开始,通过仿真迭代循环、渐次逼近的问题求解弱方法应经常使用;又由于外部影响因素的不确定,动态适应性建模方法与技术也是必要的手段^[5-6].例如图 1 表明渐进式采办策略中,合理划分采办阶段,设置阶段性的能力增长目标,使技术按阶段呈螺旋上升态势,并分段实现具体性能指标和放行出口标准.这样采办的成功取决于始终如一地和不断的确定军事需求和技术成熟度,争取当期以成熟技术达到阶段出口标准.再由之促使装备研制与生产稳步前进并逐步实现装备能力递增.相应的决策仿真工具系统由图示的功能组件组合而成.

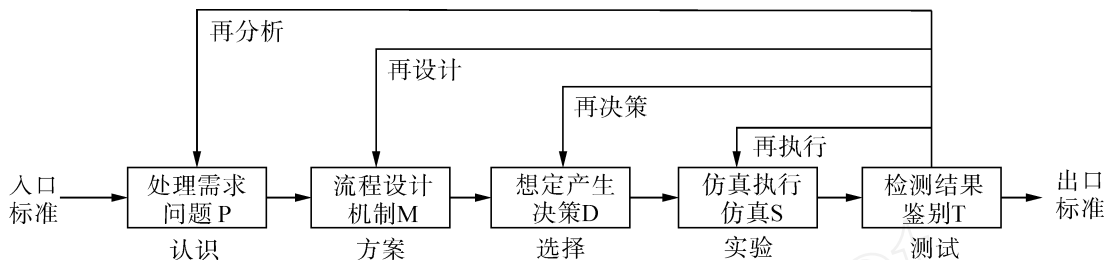


图 1 采办阶段决策仿真执行过程示意图

Fig 1 Simulation executing of the acquisition stage decision making

2.4 模型与信息的一体化表征

SBA 的本质在于利用模型系统的运行来考察实际采办过程,模型的准确性是仿真的质量保证.而 SBA 的表达对象种类繁多又各处于不同空间节点上,各自描述不同的实体,但却要求模型概念一致,信息相容等.在采办全寿命周期内,各采办主体,不论其组织归属、角色和专业归属如何,对同一事件/客体,有一致理解,必须基于共享信息/数据/知识,按同一规范下的结构化描述.而对整个采办对象系统及其构成部分则应按统一的综合结构化规范描述模型来理解其结构归属和演化过程.前者由基于 XML 信息交换与集成支持环境与工具承担,后者由使命空间概念模型 CMMS 完成.与面向仿真开发的体系结构 XMSF 一起构成面向 SBA 分析、设计与仿真应用系统开发的基本支撑技术.

3 使命空间概念模型与概念模型

在建模与仿真技术领域,概念模型 CM (conceptual model) 是通用术语,通常指仿真建模前的技术准备工作,包括自然语言表述的模型需求,将之结构化,再进而形式化表述为概念模型.而使命空间概念模型却是军用建模与仿真技术领域的专用术语,特指基于高层体系结构的仿真开发中对被仿真的系统全局的宏观抽象表征,该表征与系统实现无关^[7].本文的主题是军事装备采办,因此,以下所论 CMMS

和 CM 都不是通用术语.本节分定义、意义、性能要求等方面论述.

3.1 定义

概念模型 CM 对一种具体仿真模型的非软件式一致性描述,通过采用独立于任何仿真实现的语法、语义或图表等工具,说明该仿真模型表征什么和如何表征.概念模型为仿真模型的开发奠定基础,由之确定仿真什么和如何进行仿真,用以缩小问题和题解之间的概念差距,为问题的解决和系统的研制提供一致性基础,是一切系统开发的起点^[8].

使命空间概念模型 CMMS 用于复杂大型军事仿真系统的分析阶段,常是多个概念模型的集合,除了具备 CM 的描述特质外,被认为是现实世界最初抽象和高层元模型.它的建立与特定的军事使命范围有关,它与用户空间概念模型 CMUS (conceptual model of user space) 和综合表示概念模型 CMSR (conceptual model of synthetic representations) 一起称作支持性概念模型.

复杂大型装备虚拟采办系统三全管理系统研发过程中,称全系统顶层概念模型为使命空间概念模型 CMMS 它独立于 SBA 的具体仿真实现,并由多个概念模型 CMs (conceptual models) 构成.它根据用户空间概念模型给出的用户需求,采集信息,进行数据形式化处理和各 CMs 建模等,进而构建系统全局概念或设想,重点在于明确军事采办使命.而用户空

间概念模型 CMUS, 主要描述用户的各种需求, 包括系统/子系统规范 SSS (system/subsystem specification), 接口需求规范 RS (interface requirements specification), 软件需求规范 SRS (software requirements specification) 等。完备的 CMUS 是构建 CMMS 的先决条件, 如它按用户需求定义了 CMMS 的仿真范围 (scope)、逼真度 (fidelity) 和分辨率 (resolution)。而这些定义对 CMSR 也是必要的, CMSR 为 CMMS 引导的系统开发中的各 CMs 提供综合表示支持, 包括算法、公式和其他科学技术基础知识等, 作为 CMMS 描述模型中知识层面的补充。据此, 以集合结构化描述所述概念模型的内涵及其间关联:

- 1) CMMS (CMs, CMUS, CMSR, etc);
- 2) CMs (Entity, Actions, Process, Tasks, Interaction, Environment);
- 3) CMUS (SSS, RS, SRS, Scope, fidelity, resolution);
- 4) CMSR (Algorithm, Formula, Knowledge, etc).

3.2 意义

CMMS 是一种鸟瞰全局的任务顶层抽象描述, 可以由许多子系统概念模型组成, 从系统仿真实现视图, CMMS 是 SBA 采办对象系统的全局粗粒度模型或顶层模型。从 SBA 全寿命、全系统、全方位管理视图, 它是决策问题层次结构化的总描述, 它的意义表现在 3 个方面:

1) 从系统仿真开发的角度, CMs 和 CMMS 引导具体建模的作用, 为系统开发作构思准备。

2) 从问题求解的视角, 在系统分析阶段, 研究者主要面对“问题空间”, 所建对象系统的模型是通用视图的概念模型。复杂系统的构思用单一概念模型不足以概括全局, 使命空间概念模型就起到表征系统全局的作用。

3) CMMS、CMUS、CMSR 是应用软件系统设计与开发的权威依据, 是已知需求的表述, 也是问题求解的已知条件和约束条件, 题解的产生从这里开始。如据以产生需求向功能转换的任务功能概念模型 FCM (function conceptual model) 和任务仿真概念模型 SCM (simulation conceptual model) 乃至基于 FCM 和 SCM 迈向具体系统建模与仿真对象模型 FOM (function object model) 和 SOM (simulation object model) 的实现。

3.3 软件开发过程模型 SDP

SBA 及其三全管理系统, 作为复杂应用软件系统, 其各组分软件开发过程分别用具体的 SDP (software development process) 模型表述。其过程简述为:

在 CMUS、CMMS 和 CMSR 支持下, 产生描述各具体任务实例的功能概念模型 FCMs (function conceptual models) 和相应的实例仿真概念模型 SCM s (simulation conceptual models), 再根据具体 FCM 建立对象模型 FOM 和相应的仿真对象模型 SOM 及对象实现模型 DM (implementation object model)。如图 2 所示, 开发工作顺序为 CMUS → CMMS → CMSR → FCM → SOM → DM。这是以功能实例概念模型为主创建仿真对象模型的情况。若以仿真概念模型修正功能对象模型, 则 SDP 模型的工作顺序将是 CMUS → CMMS → CMSR → SCM → DM → SOM → FCM → DM。

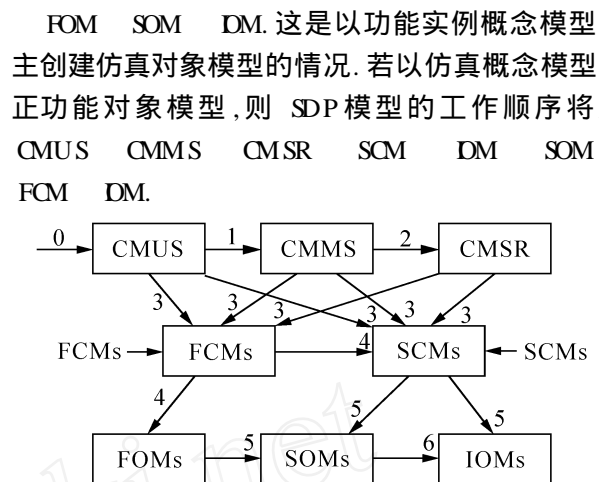


图 2 SBA 模型的软件开发过程

Fig 2 Software development process of SBA model

3.4 SBA 三全管理系统中 CMMS 的作用

1) 使命和共识基础。展示采办主持者 (里程碑决策者) 在理解和分析军事战略的作战能力需求基础上所提出的功能解决方案与实施方略, 并给出采办任务全寿命、全系统全方位管理的概念定义, 作为采办参与者对使命概念模型 CMs 元模型和模型管理理解和共识的基础。

2) 概念模型的元模型。各概念模型 CMs 以实体、动作、过程、任务、交互条件、环境因素等作统一结构化描述, 这种描述亦称元模型, 各描述因素解释如下:

a) 实体 (Entity): 包括系统中涉及的各类实体, 包括人员、组织结构、装备及其组成部分、信息及其它资源。

b) 动作 (Actions): 不可再分的实体行为。

c) 过程 (Process): 相关联的动作集合。

d) 任务 (Mission/Tasks)。任务定义为旨在完成特定目标的多个过程序列, 有初始 (入口) 条件和终结 (出口) 条件, 并可测量验证。过程组合称任务, 一项复杂系统的采办总任务亦称使命 (Mission), 可按时序分为阶段, 各阶段又可分解为多个具体任务称 Tasks

e) 交互条件 (Interact conditions)。指 CM 与 CM 间或与 CMMS 间的相互作用。

f)环境因素 (Environment factors). 指作为行为主体 CMMS或 CMs自身以外的部分.

g)任务分解应用编码 (Tasks code). 保证每个模型和对应的实体的惟一性.

3)寿命周期阶段划分. 明确采办总任务或使命 (Mission)由多个完成特定目标的过程序列 (阶段)构成,每个过程阶段可分解为多个子任务 (Tasks),如图 3所示.

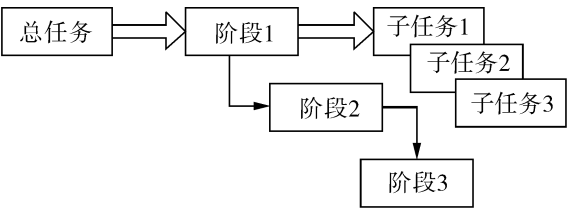


图 3 采办阶段任务分解

Fig 3 Acquisition mission-stage-task decomposition

4)工程规划和任务分解. 里程碑决策者可按 CMMS和 CMs进行使命分析,确定如何按照需求预定的目标、时间、资源来安排如何进行工程规划,图 4是按总使命优化管理目标将采办过程划分为若干段的构思过程示意.

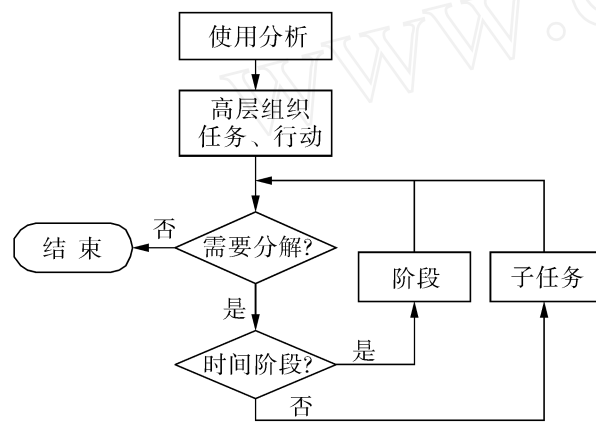


图 4 虚拟采办任务分解构思示意图

Fig 4 The procedure of SBA mission-stage-task decomposition

3.5 SBA 三全管理对 CMMS的性能要求

以下的性能要求指在采办项目启动后,CMMS对三全管理所起的持续支持作用.

1)决策可溯性. 由于采办过程等于采办系统成长过程,因而导致了知识和技术探索发现的复杂性. 全过程中问题会不断被发现,继而不断进行问题再诊断,且据之不断修正需求定义达到两相适应的过程. 所以,CMMS也是一个根据开发者的仿真演示和用户的反馈,不断进行修改完善的模型系统,但它始终保持其权威性和先行性. 如其中每个具体决策概念模型 CMs都表征一次具体的决策过程,是对系统组成部分曾做何种决定的明确描述,包括具体子任

务仿真对象、输入、输出、内容、仿真建模的假设和简化程度等. CMMS应作为权威技术档案文件的组成部分备查. 决策可溯性指采办过程中,任一系统构成部分的现状,都可以追溯到其生命周期和归属. 这一点在关键决策点对系统进行校核、验证与确认 VV&A (verification, validation and accreditation)时,尤为重要.

2)进行一致性分析的依据. 采办属知识创新过程,是一个集中监控,分散实施的集体知识获取,又是不断验证的过程. 科学共识必须建立在统一的数据、信息、知识和模型. 仿真规范表达与相关过程的规范表达基础上. 前者属对客观事物的静态描述,后者属对客观事物的动态演化过程的描述. 在 SBA 三全管理系统中,前者采用基于 XML的数据标准 DS,后者采用基于 XMSF技术体系结构的 CMMS,旨在使 SBA 参与者用同样的语言和判断标准讨论同一事物,从而获得协调一致的见解^[9].

3)支持柔性按需组合或集成. 因为在 SBA 开发和管理决策的具体仿真实现中,都统一按 CMMS这个高层元模型的规范进行各个组分的概念模型 CMs及其间交互关系的设计,并采用模型级别与问题类型等唯一性标注,对各仿真模型加注了旨在支持组合、集成适宜性的标签. 所以,在其作为被组合的组分时,会彼此提供相互了解是否适应集成的知识或选择怎样的接口等技术信息,这些都有利于推进基于模型与仿真可重用性与互操作性的系统组件可组合性柔性按需组合或集成.

3.6 CMMS开发与验证

参照系统工程寿命过程国际标准 ISO/IEC15288,结合美国联合能力集成与开发系统和英国精明采办的采办经验,列出 SBA 三全管理系统的 CMMS开发实例.

3.6.1 CMMS全局构思图

设想采办项目总决策者,俗称里程碑决策者 MD (milestone decision maker),根据军事需求文件、已有经验知识和相关资源对将要进行的采办工程勾画出的一个鸟瞰全景,如图 5. 图 5 的外围图像群由概念开发开始,顺时针方向,依次表征了实际采办过程的关键功能过程链接及其工作内容性质、该项工作所属组织机构等,而图中间扁圆圈上分列的是与各功能过程对应的计算机及应用软件,表征对各过程的数字化仿真. 计算机围绕的核心部分是仿真的资源库,表征可资用的各种数字化了的各类文件资料、政策、规范、规章、制度等. 在总决策者的全局构思中,现实世界的采办过程和数字世界的仿真采办

是共存的,而且通过交互后者支持前者高质量完成采办目标.图中数字世界的标题和现实世界的下标题则分别用 XMSF技术框架和采办技术目标标志工程的质量目标.在正式组织采办工程项目启动前,

图 5就是第一个 CMMS 它是实现采办使命的顶级蓝图,由多个功能过程子概念模型 CMs组成.可以按子概念模型分解为任务过程系列.

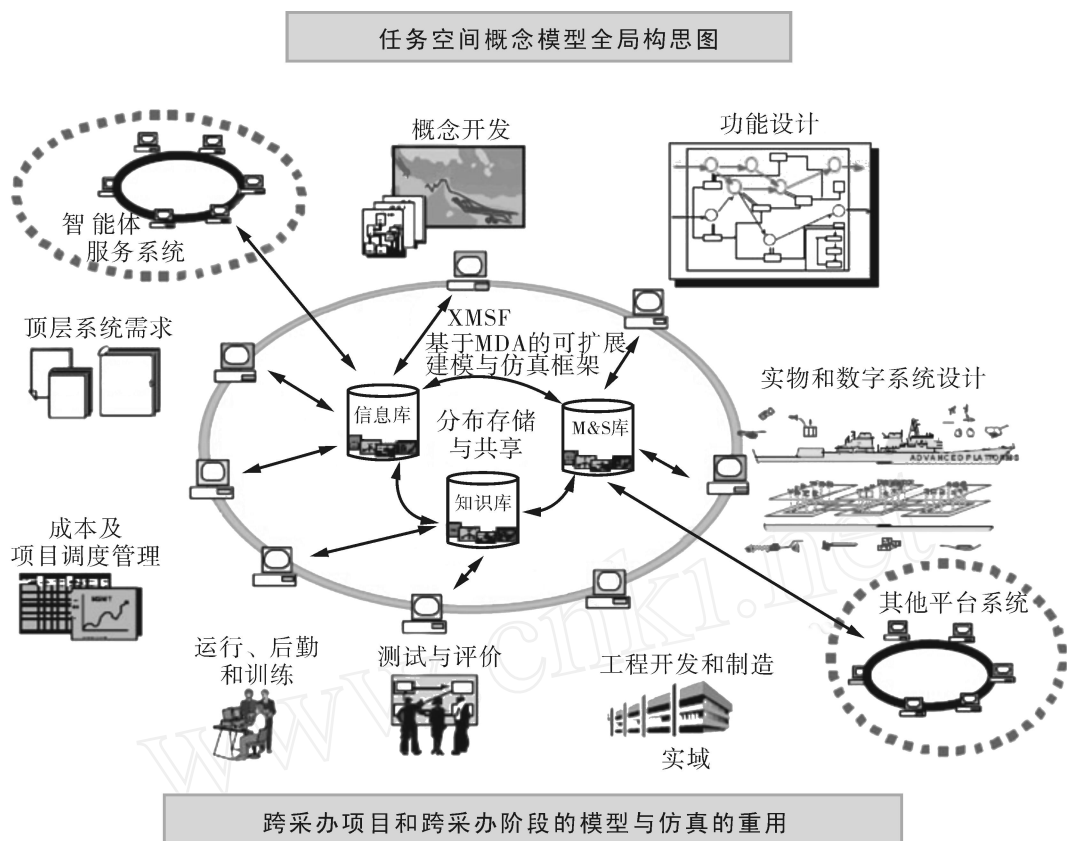


图 5 使命空间概念模型全局构思图

Fig 5 A global view of conceptual model of Mission space

图 5作为里程碑决策者的第一手采办使命资料,支持项目管理办公需要进行的组织管理工作,如提示以下应列入日程表的工作:

- 1)有了对采办任务的全局鸟瞰,已表明要解决的问题全部和提示研究该如何解决;
- 2)应向预期的对任务承担者,如仿真开发者,交流使命和任务使其从中了解自己建什么模型、如何建;
- 3)应确定采办需求方(军方)与采办承办方(项目方)进行交流的信息标准;
- 4)应安排对符合军事需求的采办活动进行分析、设计、实现以及校核、验证和确认 VV&A 的基础和促进这方面的工作准备;
- 5)CMMS应为模型与仿真的可重用性和互操作性做出贡献;这个 CMMS要不断充实和完善,各个 CM应纳入 CM库。

3.6.2 CMMS分阶段二维描述

图 6是图 5的二维文字描述,把形象思维结果转换成了逻辑思维下的二维表格形式.该图已经能说明采办对象系统整体的全寿命状态是由多个具有显著不同目标和内容的工作阶段按时序塑造而成的.该过程由一种综合的迭代的系统管理机制保证其实现.各阶段都设定了输入和输出的量化质量标准,用以表征和管理技术风险.关键进程结点定为里程碑决策点,严格按一定的程序和标准评估,采办对象系统在该决策点是否达到该结点规定的放行标准,因而可将采办进程推进到下一阶段.图 6还体现了综合管理特性,全程配合了项目规划、计划和相应的工程预算管理,以及技术风险管理.基于图 6,在项目小组主持下,按具体项目要求提出图 7的分阶段方法、技术工具资源等作为综合表达概念空间模型 CMSSR 的补充,并以用户需求权威文件格式和内容,补充用户空间概念模型 CMUS

里程碑决策点	△A		△B		△C	
阶 段	阶段1	阶段2	阶段3	阶段4	阶段5	
采办工程内容	军事需求 初选ICD 方案精选 方案审查	CDD草案 技术开发	CDD 系统开发与演示验证 ➢ 设计准备 ➢ 状态审查	CPD 生产与部署 ➢ 初始低速生产 ➢ 初始作战试验 ➢ 初始作战评价 ➢ 全速生产 ➢ 决策审查	使用与保障	
活动类别	系统采办前期		系统采办		持续保障	
人员组织	里程碑决策者 中央用户责任者 一体化顶层小组IPT	里程碑决策者 项目规划主任 一体化综合层小组IPT	里程碑决策者 项目设计组 技术监督组 项目计划主任	PPB综合管理者 项目生产主任 决策审本组 项目层IPT	国防后勤责任者 项目保障组 军种用户责任者 项目层IPT	
风险分析	全程进行政策风险、管理风险、进度风险、技术风险和费用风险分析					
PPBS管理	按各有关机构协作联合实验采办规划、计划和预算管理，并有制度约束					

图 6 分阶段 CMMS

Fig 6 CMMS view by stages

阶段	阶段1	阶段2	阶段3	阶段4	阶段5
技术与使用 方法工具 资源	• 同行评议法 • DELPHT法 • 群决策方法 • 层次分析法 • 效用函数法 • 相关分析法 • 综合评价法 • 模糊综合评价法 • ACTD	• 方案比较法 • 工作分解结构 • 模拟仿真技术 • 综合评价方法 • 效费分析 • 不确定性分析（ 包括敏感性分析和 概率分析等） • 风险评估 • 专家评估法	• 系统工程管理SEMP • CAD/CAE/DFA/DFM/ DFT/DFC • 寿命周期费用分析 • 项目风险分析 • 并行工程CE • 持续采办与寿命周 期过程保障CALS	• CAM/CAPP/CAE/DFA • 全面质量管理 • 质量功能布署QFD • EXP/MRP II/ • CALS • 计算机集成制造 • 柔性制造系统FMS • 计算机数控CNC	• CALS • 运筹学 • 统计分析 • 物流技术 • 维修管理信息系统 • 数据挖掘技术 • 综合保障工程 • 故障模式/影响及 危害性分析FMBC • 故障树
用户需求 权威文件	形成CDD草案 能力开发文件草案	形成CDD文件 能力开发文件	形成CDD文件 能力生产文件	形成全速生产审查文件	形成持续保障文件

图 7 CMSR和 CMUS补充

Fig 7 Complementary contents to CMSR & CMUS

3. 6. 3 汉语文字和 XML 结构化描述

CMMS(CMs,CMUS,CMSR)在对于 SBA 开发与
管理进行支持时,要求其描述的内容可被计算机处
理,表 1所示的 XML文件就是符合要求的可计算结
构化描述文档,详见 3. 6. 4小节.

3. 6. 4 CMMS和 CMs的开发

概念模型作为对现实世界的抽象描述,CMMS
和它所包含的 CMs、CMSR、CMUS都具有模型本质,
其开发可用 UML (unified modeling language)、DEF
(ICAM definition languages)及 UCM (unified change
management)等图示化规范语言型开发工具进行,其
中 UCM以其可读性、描述能力和可计算性相对占优

而可用性较强,但从其所建模型到仿真实现的可转
换性考虑,UCM并不比另一种人机可读的多功能描
述语言可扩展标记语言 XML 占优. 所以选择了
XML技术作为 SBA系统数据/信息/知识/模型/仿
真统一描述格式,并采用可扩展建模与仿真框架
XMSF作为 SBA实现的技术体系结构,以支持模型/
仿真的可组合性. 因 XML 为 XMSF的重要组成部
分,所以必然用 XML技术表征 CMs,而将 CMMS表
征为 CMs的集合/集成. 用汉语和 XML对照的概念
模型描述示例,见表 1为采办任务决策目标方案的
汉字和 XML对照表达.

表 1 采办任务决策目标方案
Table 1 Decision schema of acquisition task

采办任务决策目标方案文字描述	采办任务决策目标方案 XML描述
	< ? xml version = " 1. 0 " encoding = " UTF-8 "? >
基本信息描述	< TargetScheme >
对应阶段决策模型信息	< AndNodeList Name = " Base Information " Memo = " 基本信息描述 " >
对应阶段决策模型编号 ;	< CoDetailModelMemo = " 对应阶段决策模型信息 " >
对应阶段决策模型名称 ...	< DetailCode Value = " 001 " Memo = " 对应阶段决策模型编号 " / >
	< DetailName Value = " 决策模型 1 " Memo = " 对应阶段决策模型名称 " / >
	< / CoDetailModel >
对应采办任务信息	< CoSBA Task Memo = " 对应采办任务信息 " >
对应采办任务编号 ;	< SBA Id Value = " 1 " Memo = " 对应采办任务编号 " / >
对应采办任务名称 ...	< SBAName Value = " 采办任务 1 " Memo = " 对应采办任务名称 " / >
	< / CoSBA Task >
对应元模型信息	< CoMetaModelMemo = " 对应元模型 " >
对应元模型编号 ;	< MetaModelId Value = " 1 " Memo = " 对应元模型编号 " / >
对应元模型名称 ; ...	< MetaModelName Value = " 元模型 1 " Memo = " 对应元模型名称 " / >
	< / CoMetaModel >
	< / AndNodeList >
决策目标方案内容描述	< AndNodeList Name = " SchemeContent " Memo = " 决策目标方案内容 " >
战术决策	< Tactics Memo = " 战术决策方案属性 " >
飞行速度 : 1. 0 Ma	< Speed Unit = " Ma " Value = " 1. 0 " Memo = " 飞行速度 " / >
射程 : 70 km	< Range Unit = " km " Value = " 70. 0 " Memo = " 射程 " / >
作战高度 : 5 km	< Altitude Unit = " km " Value = " 5. 0 " Memo = " 作战高度 " / >
抗干扰能力 : 高	< AntiJamming Value = " 高 " Memo = " 抗干扰能力 " / >
武器系统可用性 : 90 (百分制)	< Useable Value = " 90 " Memo = " 可用性 " / >
可信赖性 : 高	< Depend Value = " 高 " Memo = " 可信赖性 " / >
综合作战能力 : 优	< Capability Value = " 优 " Memo = " 综合作战能力 " / >
单发毁伤能力 : 优	< SingleHam Value = " 优 " Memo = " 单发毁伤能力 " / >
...	< / Tactics >
	< / AndNodeList >
	< / TargetScheme >

至于 CMMS 的 XML 文档,由于包含 CMs 多且有层次结构,为节省空间此处就不列举了.表 1 目标方案 XML 文档是人—机可读和可理解的.同时,经过转换即成为具有可计算性的软件代码,有利于支持启动 SBA 的系统设计与开发阶段.

3. 6. 5 CMs 的验证

根据 CMMS (CMs, CMUS, CMSR) 的定义,应首先验证各具体概念模型 CMs 是否能以模型的功能、行为和结构映射出预期的军事需求子目标,再按验证通过的 CMs 集合来验证 CMMS 是否全面而充分地达到概括表征军事需求总目标的要求.因为,最终用户的给定标准和规范等权威信息,CMUS 和 CMSR 强调表征,所以与 CMUS 和 CMSR 的一致性保证是确立 CMs 的先决条件.下面举例验证各 CM 的内容时,默认这方面已通过包括时序逻辑分析和结构

逻辑分析的形式分析验证,而只集中在需求满足程度方面需进行的评估和验证.评估和验证的目的是在不断完善 CM 过程中,寻求更符合需求目标的仿真模型.图 8 所示 CMs 验证流程选择了两种模型修正策略,分别依据想定分析修正参数和多分辨率建模理论精化模型结构的理论.

修正策略 1 按不同想定设计仿真实验,观测行为仿真反映的因果关系,据以调整仿真运行的参数.

修正策略 2 按统计分析获得的知识修改仿真模型结构和分辨率.

思路是先通过想定分析排除可能存在的未知因素,实现模型参数的精化.再用同一粒度最好的参量化模型,进行需求目标导向的模型,结构自优化过程,逐步修改模型.该验证方法正在试探中,修正策略可以有多种组合.

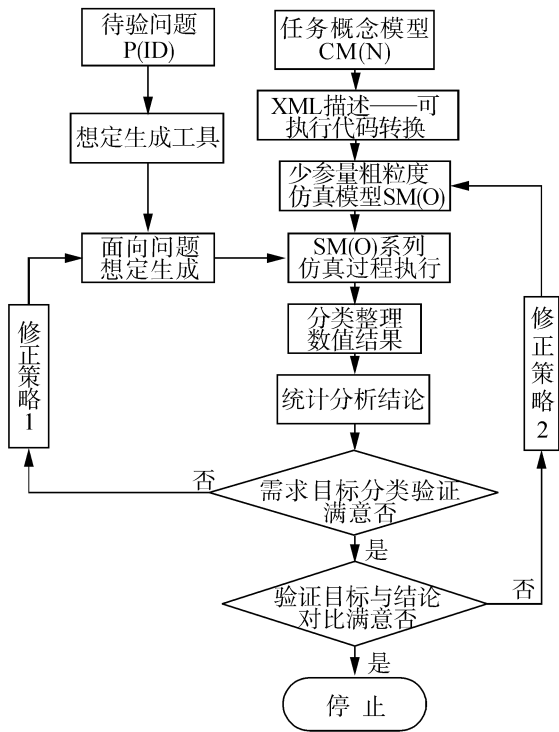


图 8 概念模型验证—修正流程

Fig 8 A flow chart of validation-revision conceptual model of Mission space

4 一体化描述语言 XML

根据 SBA 三全管理的应用需求,采用 XML 作为系统人—人、人—机、机—机的通信技术。

4.1 可扩展标记语言 XML 技术体系

XML 是由互联网联合组织 (World Wide Web Consortium, W3C) 于 1998 年 2 月发布的一种通用语言规范,定义了在互联网上进行数据表示和数据交换的新标准,作为定义和描述信息的标记语言,XML 的语法简单但严谨。XML 的主要特点是,通过定义语义标记,允许不同专业人员开发与自己特定领域有关的标记语言,并可以将数据表示成为一种文本化的、易于阅读和程序理解的格式,这种数据表示不依赖于具体的硬件和平台。XML 还提供了一种可编辑、易解析,并且可以表示为任何类型的结构或半结构化信息的交换模式,非常适合于基于网络的异构系统间的数据交换。

XML 的技术体系包括 3 个部分:基础标准、编辑工具以及相关的编程支持。XML 基础标准按其作用可以分为 3 类,如图 9 所示。

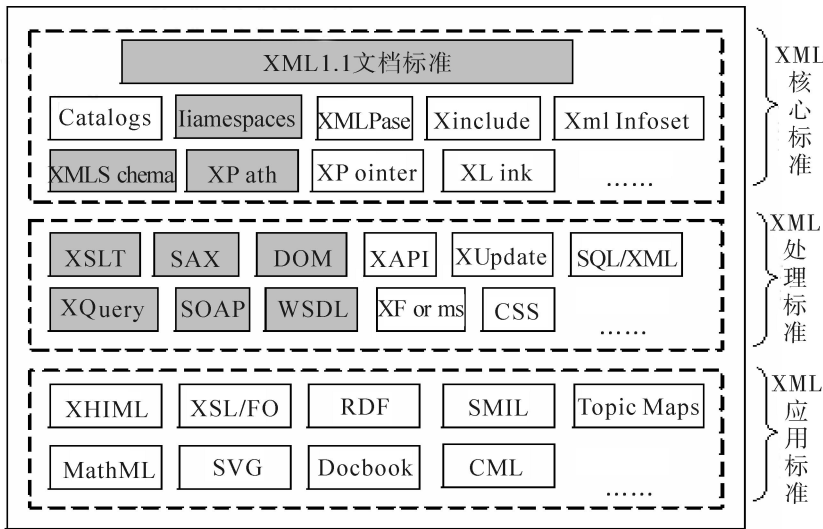


图 9 XML 的技术体系—XML 基础标准

Fig 9 Technological architecture-fundamental factors of XML standards

4.2 基于 XML 一体化描述技术的物理模型

在 SBA 三全管理系统中,基于 XML 的数据/信息/知识/模型/仿真统一描述框架从物理模型上分为 3 层:数据源层、集成模式层和用户视图层。如图 10 所示。其中,数据源层可以是遗留关系数据库和对象数据库、XML 文档、电子表格和文件系统等;集成模式层包括多数据源的集成的 XML 文档;用户视图层包括符合不同阶段采办技术专家或用户以特定设备显示属性需求的视图。

4.3 面向 SBA 的 XML 应用

SBA 中面向采办目标对象系统的仿真开发与全系统、全寿命、全方位管理决策属于建模与仿真密集型活动。完备、一致和权威的输入输出描述至关重要。由于 SBA 中使用不同来源的各种数据、信息、知识、模型通常有各种不同的表达规范,为了达到采办决策主体间基于共享信息的共识和模型与仿真可重用和互操作的要求,所有 SBA 的数据/信息/知识/模型/仿真均采用 XML 进行统一描述。特别是对于

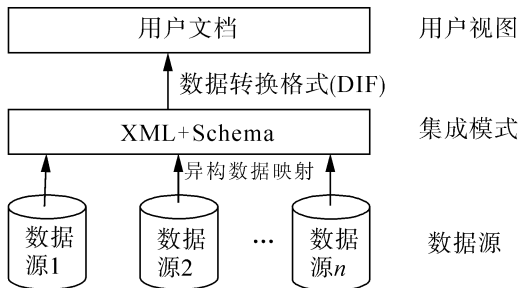


图 10 基于 XML 的统一描述框架物理模型

Fig 10 Physical model of XML based descriptive framework

执行某项具体采办任务的抽象描述,例如根据真实世界中以一般文件描述的军用性能指标等需求,进行该产品的概念设计时,可以采用基于 XML 的方案描述格式形成备选方案集,然后在此基础上再经过反复求精、排序择优的决策过程,结合经验知识和革新知识,将之塑造成决策者满意的新产品的最优概念设计方案^[10-11]。

4.4 二进制 XML

应用中发现虽然 XML 有最大普遍性和人员易读性的优点,但它的使用导致文档更大,需要对文本数据进行解析,需要将结果信息插入到应用中。采用基于 XML 模式压缩的二进制 XML,自动将原 XML 转换成二进制格式,因而可以使表达更紧凑,解析更快,并能更快的完成数据绑定工作。它仅是 XML 另一种格式,仍可保留其 Web 服务的基础。已有 Sun 公司研究表明,二进制 XML 的速度可接近公共对象请求代理体系结构 CORBA (common object request broker architecture) 方法调用速度。因此,可以消除 XML 技术选择的后顾之忧。

5 可扩展建模与仿真框架 XMSF

SBA 三全管理系统采用基于组件的体系结构以适应按需组合系统的系统 SOS 的需求。在应用软件系统实现的层面上,一方面要定义好系统组件,获得最大的可组合性以达到按需提供管理功能/服务的目标,另一方面强调基于 XMSF 技术框架适应 M&S 技术网络化的发展前景。

5.1 XMSF 背景与宗旨

可扩展建模与仿真框架 XMSF 由美国海军所属部门于 2002 年率先提出,旨在从体系结构上建立一个框架,使之能涵盖 M&S 领域内各种不同类型的仿真系统,能利用开发各种标准和资源,以便提高仿真系统的互操作性和可重用性,为一体化组合建模技术奠定基础。它必须随着仿真技术和各种支撑技术的发展而发展,在发展中建立与框架相关的标准、规

范和协议。简言之,XMSF 就是使用各种开放标准、Web Service、XML 和简单对象访问协议为未来的 M&S 应用创建一个框架^[12-13]。

国内跟踪美国 XMSF 研究动向,开展了以 Web/XML/Internet/Grid 为支撑技术,采用面向服务的架构,支持新一代武器装备仿真应用的开发、集成、重用和重组的多种研究活动^[14-15]。但基于 XMSF 技术体系结构实现的大型复杂军用仿真系统实例,尚未见报道。

5.2 XMSF 定义与技术

XMSF 定义为一组基于 Web 的建模与仿真标准、描述和推荐的集合,它并非一种应用,而是一套技术解决方法的标准和分布式方法的集合。这个集合利用 Web 服务和技术为 M&S 应用建立了一个技术框架。迄止 2005 年 XMSF 已纳入以下 4 种核心技术^[16-19]:

1) Web Services 和相关的标准。包括 a) 简单对象访问协议 SOAP (simple object access protocol); b) 发现和集成规范 UDDI (universal description, discovery, and integration); c) Web 服务描述语言 WSDL (web services description language); d) 可扩展标记语言 XML; e) 可扩展样式表转换语言 XSLT (extensible stylesheet language transformations);

2) Internet 技术和网络协议。用以促进仿真技术网络化;

3) 技术兼容性问题。M&S 应用及遗留系统的移植概念指导下,构建新系统并寻求新的 XMSF 扩展原则;

4) M&S 组件与作战系统集成应用。当务之急的应用是 M&S 技术与作战系统集成,用 M&S 增强作战效果和效率。XMSF 必须支持模型标签及多级模型和成分组合,包括推理认证组合成分的适应性。

5.2.1 SBA 三全管理系统的组件

SBA 三全管理系统开发沿用面向对象方法,在应用软件实现层面,组件是定义好了良好接口的物理实现单元,也是应用软件系统中可置换或可独立配置的部分,每个组件体现系统设计中特定“类的实现”。组件的置换、配置不依赖于组件(类的定义)而取决于它支持的接口,只有具有同类接口的组件才能彼此置换。简言之,组件就是定义好的良好输入/输出接口的系统部件或子系统。为了置换或组合操作的方便,在组件的计算界面之外,附有非功能性信息,如推理信息、控制信息、执行时间均值、要求接口类型等。当组件实例化时,根据需求选项可以自行注册和提供配置信息。

5.2.2 可组合性

上述组件的定义已经保证了基于标准接口的组件组合操作的实现,这种组合能力称语法可组合性.语法可组合性不保证组合产生的组合件是有意义的或执行有效的.特别针对模型和仿真的可组合性,系统开发时需要基于模型/仿真可重用性按需组成组合模型/仿真,要求其运行所产生的结果,能反映被仿真系统的本质规律,即语义可组合能力.语义可组合性尚无实现的准则可依.目前,在 SBA 三全管理系统设计与开发中,原则上规定仿真模型可组合性应从 3 个层次上实现:

- 1)模型组分可连接并能彼此交换数据;
- 2)模型组分间必须就数据类型、数据包构成及数据交换的控制方式达成一致,这样组分间应互相互理解交换数据的算法、约束、背景等;
- 3)模型组分间必须相互充分了解彼此所属整体的功能和用途,而且确知组合是有意义的^[20].也就是说,可以实现设计层面上的语义可组合.管理系统基于组件组合构建的理论与实践可参考本研究工作组的前期成果^[21-23].

5.3 XMSF的新发展——XMSF Profile

有研究界定了仿真可组合性问题的内涵,并明确区分了两类不同的可组合性问题,即语法可组合和语义可组合.但其语义可组合理论并没有明确语法组合如何支持语义组合及语义组合如何约束语法组合.该理论以组合结果是否有效作为判断模型是否具有语义可组合性的标准,但并没有对模型组合过程进行有效的约束,即并没有解决模型如何组合才能形成新的应用模型或仿真系统的问题.虽然围绕这个问题集中进行着许多研究^[24],但尚未完全解决.又有新资料表明 XMSF 趋向于发展为一组 Profile, Profile 的意思是一个有目标的新能力定义,或多个现有能力间互操作的定义.其内容包括:选定的元数据标记、协议标准、与 Web 技术间的相互关系等.北约 XMSF Profile 研究小组认为 XMSF Profile 是正式的技术规范,它应用可互操作、基于 Web 的技术实现可组装、可重用的建模与仿真.

6 用 CMMS进行需求定义实例

图 11 表明采办里程碑决策者从理解军事需求

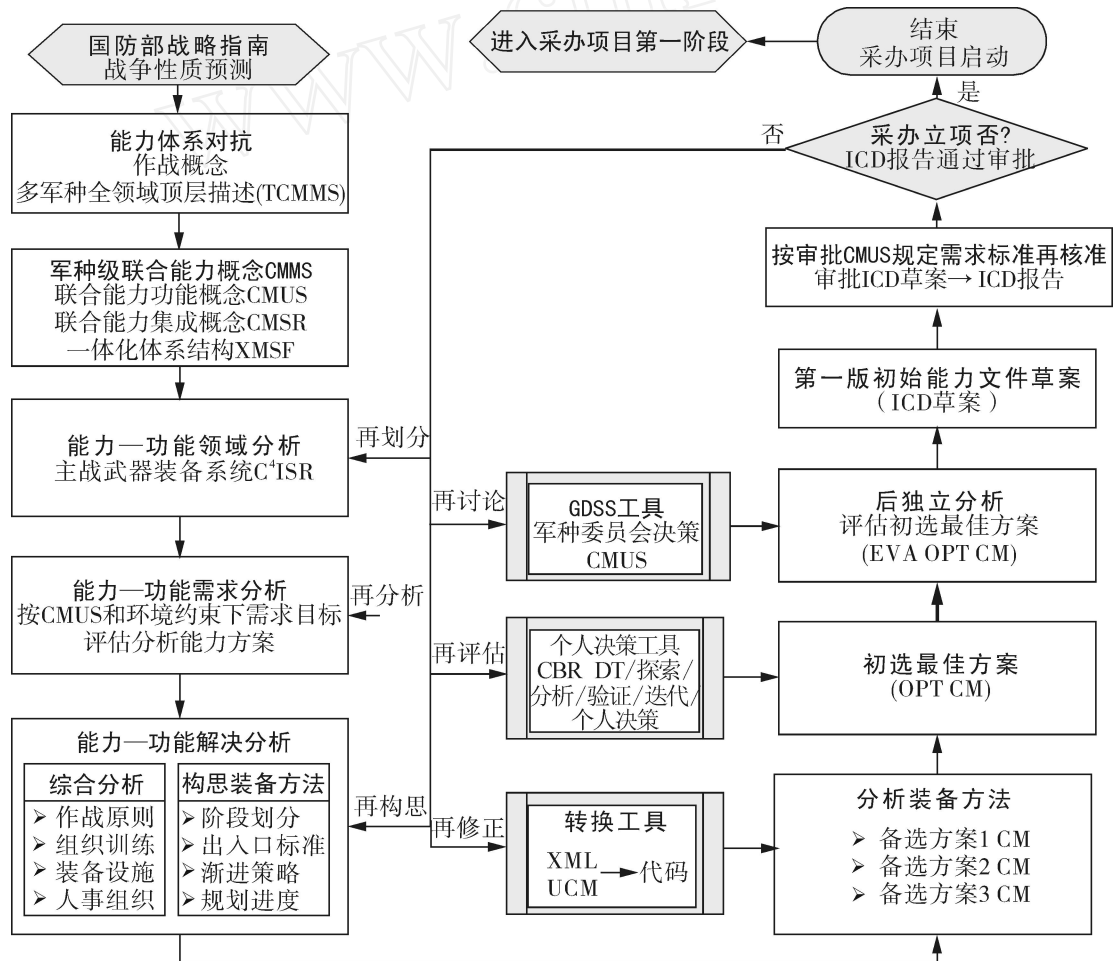


图 11 初始能力文件产生过程

Fig 11 Production of initiate capacity document

到初始能力文件 ICD 草案生成和根据 ICD 报告批准能力采办立项的过程。立项的过程虽然有工具支持如 A、B、C 的工具框所示,但主要的判断和选择还是以人为主的认知过程。由图中可见,在能力—功能解决分析框中,从能力需求描述到体现能力的功能设计,即基于综合分析到构思装备方法再到具体备选装备方案,主要是依靠里程碑决策者的领域知识和科学预见性,在已有的经验性的、尚未形成科学体系的知识基础上构思的。既然是构思就不属于可用数学精确描述的良结构问题,这类问题只有用弱方法进行求解,这是不能保证获得最优解决方案的。若 CMMS 中有大量验证过的 CMs,可以缩小最优解的搜索范围,若 CMUS, CMSR 提供了足够多的需求技术和解决方案标准规范等条件,可以排除许多非劣解。基于 3.3 小节的 SDP 模型,通过以 FCM 和 SCM 为中心的过程,可以从少参量 CM 开始,循环迭代不断修正获得满意解,是一个务实的试验搜索方法。但是这些都是获得个人满意解或集体协调一致解的必要条件,而不是充分条件。所以,结论是虽然三大支撑技术 CMMS, XML, XMSF 为保证 SBA 开发和行使三全管理提供强有力的计算技术支持,但目前,最需要的支持还是对决策者认知过程和创新过程的智力支持。

7 结束语

为了在国际前沿技术基础上,能从较高的起点做起,解决面临的 SBA 三全管理复杂问题,完成了以下多个方面的研究工作:

1) 基于 SBA 系统复杂性,确定 SBA 三全管理功能需求与需求功能的支撑技术,根据 SBA 三全管理系统与其管理对象 SBA 系统强互相依存的特点,为了突出基于组件的柔性可组合性,选择基于组件的体系结构和 XMSF 技术框架作为系统软件实现层面的技术支撑,并确定了组件结构定义及其可组合性实现方法。

2) 为了在人—人、人—机、机—机、机—网进行有效通信和决策可溯性,采用基于 XML 的一体化数据/信息/知识/模型描述,并以基于 XML 的 CMMS 实例阐明其物理实现和具体应用。

3) 按系统工程寿命过程国际标准和已有知识经验,建立了符合认知过程和应用要求的 CMMS 系列和多种概念模型,给出概念模型的验证—修正流程和基于概念模型的软件开发过程模型 SDPM,明确示范应用模型从概念到代码实现的过程,显示了概念模型在问题域与题解区间的桥梁作用。

4) 采用可扩展建模与仿真技术框架 XMSF,使命空间概念模型 CMMS 和基于可扩展标记语言 XML 的数据/信息/知识/模型/仿真一体化描述标准作为 SBA 三全管理系统开发的技术支撑,所进行的工作通过项目阶段验收证明其可行、有效和具有技术前瞻性。

5) 本文已完成的工作,只是向工程实用的 SBA 三全管理系统迈出的第一步。近期继续研究的问题集中在 M&S 技术网络化和 M&S 的 Web Service 包装器 (Web Service wrapper) 实现以及相关的技术基础和理论基础问题。特别要关注在以仿真技术反映人类构思最本质的特性方面,亟需基于人工智能 AI 和计算智能 CI 的使能技术支持。

参考文献:

- [1] Defense Acquisition Research Team. Introduction to defense acquisition management [M]. 6th ed. Washington, USA: Defence Acquisition University Press, 2003.
- [2] 冯珊,郭四海. 面向虚拟采办的智能决策支持系统概念框架 [J]. 智能系统学报, 2008, 3(3): 201-211.
FENG Shan, GUO Sihai. A conceptual framework for the SBA-oriented intelligent decision support system [J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2008, 3(3): 201-211.
- [3] STEREN A. A work system view of DSS in its fourth decade [J]. Decision Support Systems, 2004, 38(3): 319-327.
- [4] KATHER NE L M, BRUNTON R, DAV D D. Developing and integrating Web-enabled RTIs—an XMSF update [C]// Proceedings of the 2003 Fall Simulation Interoperability Workshop. Orlando, USA, 2003: 121-134.
- [5] ZHANG Shifeng, STEVE G. A soft architecture and framework for web-based distributed decision support systems [J]. Decision Support Systems, 2007, 43(3): 1133-1150.
- [6] FENG Shan, GUO Sihai, LI Xiaodong. The fuzzy technological framework for a web-based decision support system [C]// Proceedings of the 11th World Multi-Conference on Systems, Cybernetics and Informatics. Orlando, USA, 2007 (3): 7-11.
- [7] MARTON L, MAR ANELA G. CMMS under the class—An approach to deal with substantive interoperability [C]// Proceeding of the 2004 Fall Simulation Interoperability Workshop. Orlando, USA, 2004.
- [8] STEWART R. Conceptual modeling for simulation: Issues and research requirements [C]// Proceeding of the 2006 Winter Simulation Conference. Piscataway, USA, 2006: 792-800.
- [9] 张琦,王达,黄柯棣. 使命空间模型研究初步 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16(11): 2378-2380.
ZHANG Qi, WANG Da, HUANG Kedi. A study of mission space model [J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(11): 2378-2380.

- [10] 冯 珊,郭四海,周凯波,等. 虚拟样机概念设计工具中的智能技术[J]. 华中科技大学学报, 2007, 35(8): 48-51.
FENG Shan, GUO Sihai, ZHUO Kaibo, et al Intelligent technology used in the tools for the conceptual design of virtual prototypes and its evolution[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2007, 35(8): 48-51.
- [11] 冯 珊,熊 然,郭四海. 面向多学科虚拟样机的概念设计工具研究[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(1): 1-5.
FENG Shan, XIONG Ran, GUO Sihai Development of a multi-discipline oriented virtual prototype based on conceptual design tools[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(1): 1-5.
- [12] SHEEHAN J. Knowledge acquisition for simulation requirements: Exchange of mission space models using the conceptual models of the mission space (CMMS) data interchange format (DIF)[C]// Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference. Orlando, USA, 2000.
- [13] KATHER N E L M, TOLKA, PULLEN J M, et al XMSF as an enabler for NATO M&S[C]// Proceedings of 2003 NATO Annual Modeling and Simulation Conference. Antalya, Turkey, 2003.
- [14] 李伯虎,柴旭东. SBA 支撑环境技术的研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(2): 181-185.
LI Bohu, CHAI Xudong Supporting environment technology of simulation based acquisition[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(2): 181-185.
- [15] 李伯虎,柴旭东,朱文海,等. 现代建模与仿真技术发展中的几个焦点[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(9): 1871-1878.
LI Bohu, CHAI Xudong, ZHU Wenhai, et al Some focusing points in development of modern modeling and simulation technology[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(9): 1871-1878.
- [16] 何 明,裘杭萍,刘晓明. 基于 XMSF 的建模与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1032-1036.
HE Ming, QIU Hangping, LIU Xiaoming Research of modeling and simulation on XMSF[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(5): 1032-1036.
- [17] BRUTZMAN D M. Extensible modeling and simulation framework (XMSF): Challenge for Web-based modeling and simulation[D]. Monterey, CA: Naval Postgraduate School, 2002.
- [18] ERNEST H, MOPPER J. Observations on the complexity of composable simulation[C]//Proceeding of the 1999 Winter Simulation Conference. Phoenix, USA, 1999.
- [19] 张 童,刘云生,查亚兵. 可组合仿真系统的概念框架研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(8): 1710-1712.
ZHANG Tong, LIU Yunsheng, ZHA Yabing Research of concept framework for composable simulation system[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(8): 1710-1712.
- [20] WEISEL E, PETTY M D, MIELKE R. A survey of engineering approaches to composability[C]// Proceedings of the Spring 2004 Simulation Interoperability Workshop. Orlando, USA, 2004: 722-731.
- [21] 冯 珊,闵 君,沈 冲. 建造信息系统的构件集成方法[J]. 计算机仿真, 1999, 16(3): 4-8.
FENG Shan, MIN Jun, SHEN Chong A component integration approach for construction information system[J]. Computer Simulation, 1999, 16(3): 4-8.
- [22] 冯 珊,唐 超,梅 纲. 基于 Agent 的互操作方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(5): 608-611.
FENG Shan, TANG Chao, MEI Gang A study on agent-based technique for software interoperability[J]. Systems Engineering and Electronics, 2003, 25(5): 608-611.
- [23] 冯 珊,郭四海. 武器装备虚拟采办技术风险综合评估[J]. 智能系统学报, 2008, 3(5): 384-392.
FENG Shan, GUO Sihai A comprehensive means for evaluating technical risk in the simulation-based acquisition model for weapon system[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2008, 3(5): 384-392.
- [24] DU NEVELD A J, STOTER R. Wonder tools: A comparative study of ontological engineering tools[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2000, 52(6): 1111-1133.

作者简介:



冯 珊,女,1935年生,教授,博士生导师.主要研究方向为复杂系统建模与仿真、人工智能与计算智能的工程应用及多 Agent 系统等.多年来主持智能集成系统工程研究室工作,承担国家级自然科学基金及国防预研基金重点科研项目并多次获国家及省部级科技进步奖.发表学术论文 160 余篇,其中 66 篇被 SCI、EI、ISTP 及 NSPEC 等收录.



郭四海,男,1976 年生,博士研究生,主要研究方向为建模与仿真、人工智能技术及虚拟采办决策支持系统等.



周凯波,男,1972 年生,副教授,主要研究方向为智能化集成系统.发表学术论文 20 余篇.