

# 一种综合集成与演示验证一体化系统的构建方法\*

聂 镭,王宏强,姜卫东,黎 湘,庄钊文  
(国防科技大学 电子科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

**摘要:**复杂性科学问题研究中的综合集成方法是构建研究平台的一项重要内容。针对复杂性研究中的系统平台的建模问题,提出一种综合集成与演示验证一体化系统的构建方法,探讨了具体实现方式和数据同步与数据一致性维护等问题。在雷达目标特性研究中,运用上述综合集成与演示验证一体化系统的构建方法,完成了一个具备尺度一致性和可扩展能力的电磁散射特性验证与演示系统。

**关键词:**复杂性;综合集成;目标特性

中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1001-2486(2012)01-0052-06

## A system building method for synthetic engineering and concept demonstration

NIE Lei, WANG Hongqiang, JIANG Weidong, LI Xiang, ZHUANG Zhaowen

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Synthetic Engineering is an important topic in the study of complex scientific research procedures. In light of this, the current study proposed a system building method for synthetic engineering and concept demonstration, in which the specific details and consistency problems were discussed. The method was applied to the research of radar target signatures, in which an extendable system of electromagnetic scattering characteristics verification and demonstration was established.

**Key words:** complexity; synthetic engineering; target signatures

复杂性科学属于系统科学,是一个以复杂系统为研究对象,体系庞杂、内容丰富、方法独特的学科群<sup>[1-6]</sup>。复杂性研究的一个重要基础是综合集成方法,综合集成方法的实质是把专家体系、数据和信息体系以及计算机体系结合起来,构成一个高度智能化的人-机结合系统<sup>[7]</sup>。

围绕复杂性科学问题研究中的系统构建方法,国内外均开展了很多探索并制定过一些相关的行业标准。1983年美国陆军和美国高级项目研究计划局共同制定 SIMNET (Simulation Network, 仿真网络),旨在实现分布式交互仿真;1989年 IEEE DIS (Distributed Interactive Simulation, 分布式交互仿真)标准制定,美国军方基于 DIS 开展了高级概念技术演示项目的研究开发,经过信息管理技术体系结构框架在 C<sup>4</sup>ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, 指挥、控制、通信、计算机、情报及监视与侦察)系统中的成功实践,最终统一到高层体系结构的标准

之下,并完成了一批高级概念技术演示系统,如战争综合演练场;1995年开始提出的 HLA (High Level Architecture, 高层体系结构),是一个开放的、面向对象的体系结构,包含不同层次和粒度的对象模型,目前已广泛用于电子系统仿真领域<sup>[8]</sup>。目前有两种 HLA 标准,即美国国防部建模和仿真办公室 DMSO 制订的 HLA1.3 以及国际标准化组织 IEEE 于 2000 年 9 月制订的 IEEE 1516 标准,北约各国国防部门都规定了分布式仿真必须与 HLA 相容。在我国,从 1980 年起就有不少专家学者积极追踪这方面的研究情况,开展对它的概念研究,对分布式交互仿真技术从 DIS 发展到 HLA 提出了自己的见解<sup>[9]</sup>。许多院校和科研机构也开展了相关技术及软件系统的研究<sup>[8,10-11]</sup>,如国防科技大学开发了 KD-RTI,航天机电集团第二研究院开发了 SSS-RTI 等。此外, MAS (Multi-Agent System, 多智能体系统)是研究复杂性科学问题的另一分支。

然而,目前关于综合集成和交互仿真的研究

\* 收稿日期:2011-06-18

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(61025006);国家部委资助项目

作者简介:聂镭(1978-),男,河南南阳人,讲师,博士研究生,E-mail:nielei@nudt.edu.cn;

庄钊文(通信作者),男,教授,博士,博士生导师,E-mail:zwzhuang@nudt.edu.cn

大多侧重于分布式处理与逼真渲染效果,本文则以具有高复杂度和高精度特点的雷达目标特性研究领域为例,提供一种新的综合集成与演示验证一体化系统构建方法,通过构造一个从数据产生、算法计算到结果呈现各个环节都具备尺度一致性和工程可实现性的统一环境,实现参数调试、性能测试、功能验证、效果演示,解决目前算法集成时接口种类繁多(不同语言或嵌入方式之间)、代码重复编写(如通信及数据访问)、性能与效果对比缺乏一致性(不同算法或算法的不同版本之间)的问题。

### 1 系统模型

在 HLA 中,互操作定义为一个成员能向其他成员提供服务并接受其他成员的服务,系统的运行和成员间交互都经由运行支撑系统 RTI (Run Time Infrastructure) 来实现。HLA 本身并不能完全实现互操作,但它定义了实现联邦成员互操作的体系结构和机制,以及灵活的仿真框架,通过提供通用的、相对独立的支撑服务程序,将应用层同其底层支撑环境功能分离,保证了联邦范围内的

互操作和重用。典型的综合集成系统仿真多基于 HLA 的逻辑结构<sup>[8-9,11-12]</sup>。

HLA 标准和 RTI 接口能很好地提高仿真资源的可重用性和互操作性,但并不适合于复杂性科学问题研究中的算法集成系统构建,主要的原因:一是易用性不强,二是不存在完全开源的且完全实现 HLA 接口规范的 RTI 软件。在复杂科学问题研究中,需要将课题内容分解为各种工程化的软件或算法来实施,不同的研究目的和研究内容需要借助不同的开发、研究和分析工具,如 Matlab、Fortran、C++、Java 等,数据存储、传输与呈现方式也有很大差别。这样,在统一的框架体系下进行包括数据和软件在内的综合集成时,必须有适当的系统构建方法,来对科学和工程算法进行综合集成,对结果进行可视化演示,并对数据进行有效性、准确性的验证。我们提出一种一体化系统的构建方法:一体化系统平台由版本算法库管理模块、场景与流程设定模块、系统主控模块、组播通信模块、分析处理框架模块、组播通信模块、组播通信模块、分析处理框架模块、数据访问与管理模块,以及数据库模块组成。如图 1 所示。

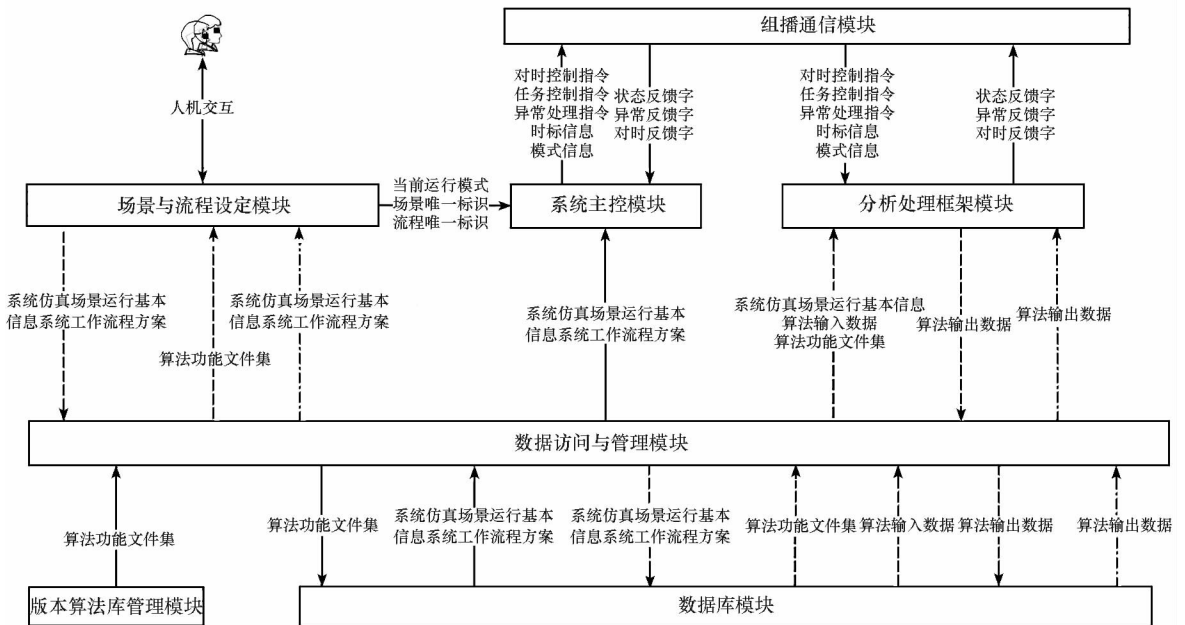


图 1 系统各模块间的关系  
Fig. 1 The relationship of the modules in the system

系统构建之初,首先将组成复杂性研究内容的各种算法编译成符合 COM 标准的算法功能文件集,然后由版本算法库管理模块输出算法功能文件集至数据访问与管理模块。根据系统当前的研究进度和运行目的,系统的运行模式可以划分

为验证与演示两种,前者适合于研究阶段进行数据有效性和算法功能等内容的验证,后者适合于验证完毕时对整体运行性能和效果进行演示。

系统运行的时候,场景与流程设定模块首先由人机交互选择系统运行模式。然后,若在验证

模式下,由人工对系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案进行设定(流程设定依据数据访问与管理模块输出的算法功能文件集,并进行了相应选择),分配场景唯一标识和流程唯一标识,然后将系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案输出至数据访问与管理模块;若在演示模式下,从数据访问与管理模块得到系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案,并由人工从中选择将要进行演示的系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案。最后将当前运行模式、场景唯一标识和流程唯一标识输出至系统主控模块。

在整个系统的运行过程中,各种算法通过嵌入分析处理框架模块来实现对时响应、模式响应和任务响应的功能,因此,分析处理框架模块的作用尤为关键。分析处理框架模块从组播通信模块得到模式信息,根据模式信息解析得到当前运行模式。若在验证模式下,从数据访问与管理模块得到系统仿真场景运行基本信息、算法输入数据和算法功能文件集,将算法输出数据输出至数据访问与管理模块;若在演示模式下,从数据访问与管理模块得到算法输出数据。无论在哪种模式

下,都从组播通信模块得到对时控制指令、任务控制指令、异常处理指令或时标信息,输出状态反馈字、异常反馈字或对时反馈字至组播通信模块。图 2 是分析处理框架模块的实现图。

数据访问与管理模块输出算法功能文件集至数据库模块,并从数据库模块得到系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案。若在验证模式下,数据访问与管理模块输出系统仿真场景运行基本信息、系统工作流程方案和算法输出数据至数据库模块,从数据库模块得到算法功能文件集和算法输入数据;若在演示模式下,数据访问与管理模块从数据库模块得到算法输出数据。

数据库模块包含五种 Scheme(功能数据方案):运行场景,工作流程,算法输出,算法输入和算法实体,每种 Scheme 包括若干张数据表,每种数据表保存相应 Scheme 对应的基本信息。其中运行场景 Scheme 对应系统参数表、环境参数表、各类传感器参数表;工作流程 Scheme 对应工作流程表和算法元素表;算法输出 Scheme 和算法输入 Scheme 对应各类算法输入输出数据表;算法实体 Scheme 对应各类算法功能文件表。该模块负责各类数据的存储和查询。

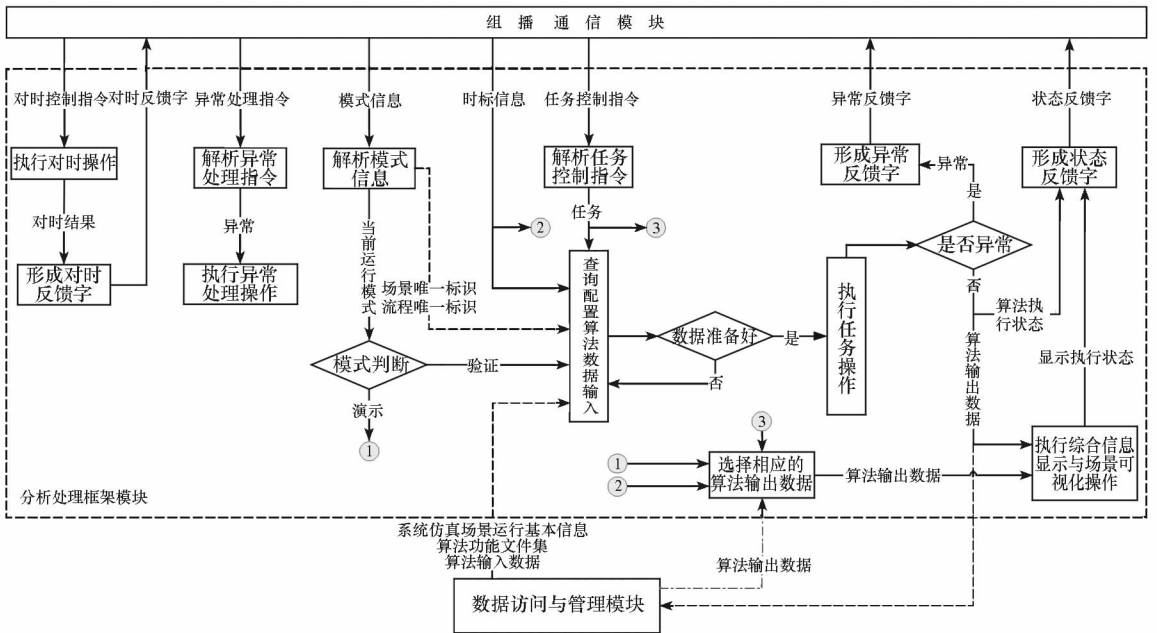


图 2 分析处理框架模块实现图

Fig. 2 The flow chart of analysis and process framework realization

## 2 数据同步与数据一致性维护

复杂性科学问题的研究过程中,综合集成系统的运行流程往往相当复杂,存在很多共同接口

与并行访问,各模块在运行中随时可能向系统请求数据,也可能需要输出数据到数据库或者修改运行时数据。然而,分布式运行着的其他模块不可避免地涉及相同数据内容的并行读写操作,尤

其是算法需要向数据库提交较大数据量的计算结果时更容易发生。上述情形发生时,可能引发存取冲突、数据交叉、无效数据等现象,这就是综合集成系统运行平台上的数据一致性问题。

算法 1 向表 A 写数据,其“写”过程可以用式 (1) 来表示,其中  $L_k$  表示  $t_k$  时刻数据提交后表 A 中的结果。

$$\begin{cases} L_1 = \{l'_1, l_2, \dots, l_p, l_{p+1}, \dots, l_n\} \\ L_2 = \{l'_1, l'_2, \dots, l_p, l_{p+1}, \dots, l_n\} \\ \vdots \\ L_p = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_p, l_{p+1}, \dots, l_n\} \\ \vdots \\ L_n = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_p, l'_{p+1}, \dots, l'_n\} \end{cases} \quad (1)$$

$t_p$  时刻,算法 2 从表 A 读数据,则从数据表 A 读到的结果为

$$L_p = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_p, l_{p+1}, \dots, l_n\} \quad (2)$$

从该过程可以看到算法 2 读到的数据既不是被算法 1 修改之前的数据,也不是被算法 1 修改之后的数据,它读到的是一个无效数据。该无效

数据的产生正是数据一致性带来的问题。要解决该类问题,可以采取的办法:在写数据时将要写的内容死锁(即不允许读数据),直到写完再解锁。也可以在提交记录时按整体提交。这种情况下的典型例子就是:当算法 1 和算法 2 都要向同一张表 A 中写数据,某时刻  $t$  算法 1 经查询取得要提交任务的索引号  $I$ ,但还没有将数据提交,此时算法 2 也经查询得到了要提交任务的索引号  $J$ ,那么  $I = J$ ,在他们提交任务时,将由索引号的唯一性引发 ORA - 00001:“违反唯一性约束条件”的错误。要解决该问题,采取的办法是:在任务提交时对提交错误进行判断,如果是出现上述错误,则程序将重新获得新的任务索引号,再次提交,直到成功为止。这样既解决了数据一致性问题,也因为并行执行任务提高了效率。数据一致性问题解决实现流程如图 3 所示。当  $t_1 < t_3 < t_2 < t_4$  时,索引号  $I = J$ ,将引发唯一性错误,这时通过重新获取索引号和提交数据实现并发计算的数据一致性问题。

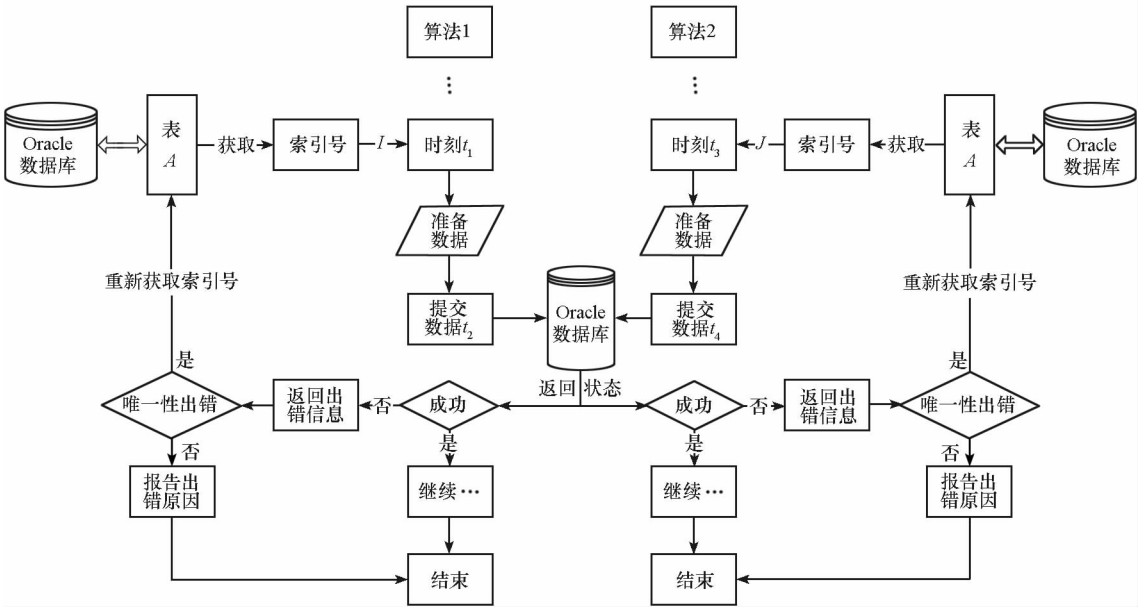


图 3 数据一致性问题解决实现流程图

Fig. 3 The flow chart of the solution of data consistence problem

### 3 方法实例

在雷达目标特性研究中,我们实践了上述综合集成与演示验证一体化系统的构建方法,完成了一个具备尺度一致性和可扩展能力的电磁散射特性验证与演示系统。系统平台由高性能计算服

务器集群、数据库磁盘阵列和工控机等组成。高性能计算服务器集群、数据库磁盘阵列和工控机等通过光纤、双通道光纤交换器和 1000Mb/s 以太网相连接,连接方式如图 4 所示。

电磁散射特性验证系统的工作原理和实现步骤是:

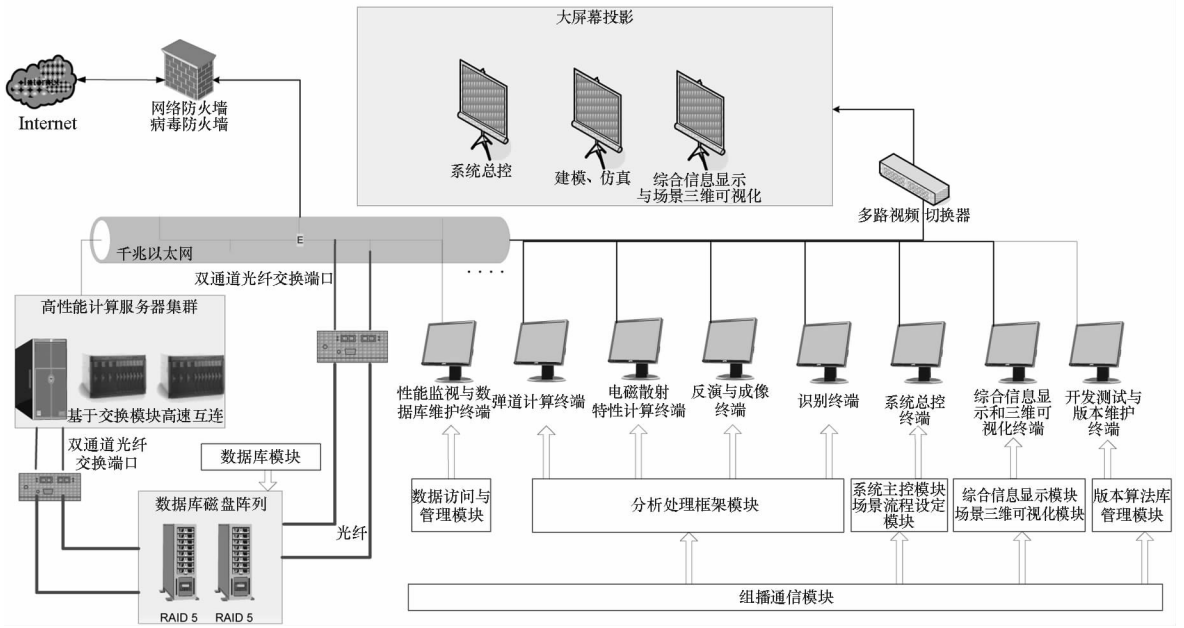


图 4 电磁散射特性验证与演示系统

Fig. 4 An system of electromagnetic scattering characteristics verification and demonstration

首先,在系统总控终端上将后续分析处理所需功能对应的算法功能文件形成算法功能文件集,输出至计算终端。然后在系统总控终端上进行场景与流程设定。选择所需的运行模式,根据模式执行相应操作:若在验证模式下,将流程规划为六个步骤,执行顺序依次为电磁散射特性计算、弹道计算、特性反演、超分辨成像、信息融合、综合识别,设定完毕后,将系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案输出至计算终端;若在演示模式下,只需选择已验证执行过的系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案。

继而,在系统总控终端和计算终端上进行对时及任务控制与执行:若在验证模式下,在系统总控终端,形成对时控制指令和模式信息,将对时控制指令和模式信息通过组播通信机制发送至计算终端,该终端依据对时控制指令进行相应的对时操作,并将对时结果形成对时反馈字,反馈给系统总控终端,根据验证模式进行后续操作。系统总控终端解析反馈的对时反馈字,当对时成功后,将定时产生时标信息,并通过组播通信机制发送至计算终端。同时,根据时标信息、系统仿真场景运行基本信息和系统工作流程方案,形成任务控制指令,并通过组播通信机制发送至计算终端。计算终端解析任务控制指令,按照解析任务内容,从数据库磁盘阵列中获取具体算法运行所需要的系统仿真场景运行基本信息、算法输入数据和算法功能文件集,执行相应任务,将得到的算法输出数

据执行综合信息显示与场景可视化操作,并输出至数据库磁盘阵列。由算法执行状态、显示执行状态形成状态反馈字,通过组播通信机制反馈给系统总控终端。

若计算终端在执行任务时,出现异常,则会将异常形成异常反馈字,通过组播通信机制反馈给系统总控终端。系统总控终端根据反馈的状态反馈字或异常反馈字,解析其内容,将其状态或异常显示出来,并根据其解析状态或异常、系统仿真场景运行基本信息、系统工作流程方案和时标信息形成新的任务控制指令,如此往复,直至系统运行结束。以上运行方式也适用于演示模式。

### 4 结 论

在雷达目标特性研究中,运用一种综合集成与演示验证一体化系统的构建方法,实现了一个具备尺度一致性和可扩展能力的电磁散射特性验证与演示系统。通过分析处理框架的设计,使用统一的控制及反馈方式、通信及数据访问模块接口,实现了演示与验证两种运行模式,并对数据同步和数据一致性问题进行了探讨。

### 参考文献 (References)

[1] 黄欣荣. 复杂性科学的研究纲领初探[J]. 系统科学学报, 2009, 17(3): 9-14.  
HUANG Xinrong. A preliminary creed research on complexity science[J]. Journal of Systems Science, 2009, 17(3): 9-14. (in Chinese)

- [2] 张嗣瀛. 复杂性科学,整体规律与定性研究[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2005, 2(1): 71-83.  
ZHANG Siying. Complexity science, the overall rule and qualitative research [J]. Complex Systems and Complexity Science, 2005, 2(1): 71-83. (in Chinese)
- [3] 蒋士会,郭少东. 复杂性科学的方法论探微[J]. 广西师范大学学报:哲学社会科学版, 2009: 33-37.  
JIANG Shihui, GUO Shaodong. Methodology exploration of complexity science[J]. Journal of Guangxi Normal University (Philosophy and Social Science Edition), 2009: 33-37. (in Chinese)
- [4] 金吾伦,郭元林. 复杂性科学及其演变[J]. 自动化信息, 2004: 9-11.  
JIN Wulun, GUO Yuanlin. Complexity science and its evolution[J]. Automation Information, 2004: 9-11. (in Chinese)
- [5] 张健. 复杂性科学几个新兴的应用研究方向[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(3): 33-40.  
ZHANG Jian. Several new application fields of complexity science[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2004, 1(3): 33-40. (in Chinese)
- [6] Krishan K. Characterizations of spatio-temporal complex systems[D]. Atlanta, Georgia Institute of Technology, 2005.
- [7] 黄欣荣. 复杂性科学的综合集成方法及其意义[J]. 重庆工学院学报:社会科学版, 2009, 23(5): 91-96.  
HUANG Xinrong. Comprehensive integrated method and its signification of complexity science[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology, 2009, 23(5): 91-96. (in Chinese)
- [8] 姚益平,郭敏,卢锡城. 一种基于CORBA及互操作协议的分布仿真基础支撑平台实现方法[J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(3): 4-9.  
YAO Yiping, GUO Min, LU Xicheng. A distributed simulation supporting platform realizing method based on CORBA and interoperability protocol[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2003, 25(3): 4-9. (in Chinese)
- [9] 王召福,刘晓建,金士尧. HLA联邦的桥梁扩展和影响时空一致性的实例分析[J]. 国防科技大学学报, 2002, 24(3): 4-8.  
WANG Zhaofu, LIU Xiaojian, JIN Shiyao. Bridge expansion of HLA federation and spatio-temporal consistency influenced instance analysis[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2002, 24(3): 4-8. (in Chinese)
- [10] 苏伟. 基于HLA/RTI的C4ISR的系统仿真方法与支持工具研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2002.  
SU Wei. HLA/RTI based research on C4ISR system simulation method and support tool [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2002. (in Chinese)
- [11] 张卫,张童,查亚兵. 基于HLA分布式仿真的Web服务化[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(5): 5-10.  
ZHANG Wei, ZHANG Tong, ZHA Yabing. A Web services technology based on HLA distributed simulation[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2008, 30(5): 5-10. (in Chinese)
- [12] 曹星平,黄柯棣. RTI测试研究[J]. 国防科技大学学报, 2002, 24(6): 4-8.  
CAO Xingping, HUANG Kedi. Testing research of RTI[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2002, 24(6): 4-8. (in Chinese)