

文章编号:1001-9081(2010)06-1645-03

基于 BOM 动态测试框架的设计与实现

李泽民, 张 威, 赵 萌

(装甲兵工程学院 信息工程系, 北京 100072)

(handsongod@163.com)

摘 要:为基于基本对象模型(BOM)的仿真模型测试提供测试平台,提高模型可靠性,为仿真系统的集成提供可靠的仿真模型,缩短仿真系统集成联试的周期,设计了独立的模型测试平台,在测试平台中提供 BOM 模型运行所需要的对象管理、数据分发、时间管理等服务,通过仿真模型在平台中的运行结果分析,验证模型接口以及功能。模型测试平台可为各种类型的模型提供仿真运行环境,平台运行效率可达到超实时仿真要求,模型集成效率提高。在大规模模拟作战仿真系统开发中,可推广使用模型测试平台,提高模型可靠性,降低集成成本,缩短集成周期。

关键词:基本对象模型;测试;框架;仿真平台;集成

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Design and implementation of dynamic testing framework based on base object model

LI Ze-min, ZHANG Wei, ZHAO Meng

(Department of Information Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: This paper proposed test platform design and implementation for Base Object Model (BOM)-based simulation model to enhance the model reliability and shorten simulation system integration cycle in the test. An independent model test platform was designed, which can provide object management, data distribution, time management and other services needed by the BOM model running. The running results of simulation model were analyzed and then model interfaces and functions were verified. Model test platform provides running environment for all types of simulation model, the platform operation efficiency can meet super-real-time simulation requirements, and model integration efficiency increases. In large-scale combat simulation system development, the promotion of model testing platform can improve the model reliability, reduce the integration costs and shorten the integration period.

Key words: Base Object Model (BOM); testing; framework; simulation platform; integration

0 引言

仿真系统的规模与日俱增,仿真构件的可重用性以及将简单的仿真构件组装成一个复杂的仿真系统也受到越来越多的重视。基于这个目的,仿真互操作标准组织(Simulation Interoperability Standards Organization, SISO)提出了基本对象模型(Base Object Model, BOM)^{[1]13},BOM是概念模型、仿真对象模型或联邦对象模型中的一个部分,而上述模型可以在开发或扩展仿真联邦时作为其中的某个组成部分。在搭建基于BOM组件的作战仿真应用系统中,由于涉及到的仿真模型种类多、数量大,具体实现这些模型的组件数量大,不断地使组件集成的规模扩大,同时增大了集成联试过程中的时间消耗,出现故障定位困难。在仿真应用系统的集成联试过程中,如何提高系统集成效率,快速地定位故障,缩短集成联试周期,是亟待解决的问题。国内国防科学技术大学完成了基于KD-SmartSim^[2]的组件测试工具^[3],但其测试的内容是接口测试,是对组件对外公布和订购数据的测试,难以对模型功能进行全面覆盖。因此,本文通过设计基于BOM的动态测试框架,完成BOM组件的动态测试,从而提高仿真应用系统集成效率。

1 BOM 集成测试分析

为实现BOM与仿真运行平台的集成^[4],在对BOM组件进行集成前,首先要进行相关测试,测试主要包括接口测试和BOM功能测试。接口测试主要参考相关的接口设计文件,考查接口数据项在正确输入以及边界输入情况下,输出结果的正确性及合理性。与基于成员级别进行复用的仿真系统相比,基于BOM组件层次复用的仿真系统由于其复用的层次更低,粒度更小,所以系统复杂度增大。BOM功能测试对外部输入数据要求较高,主要原因在于:功能测试结果与输入数据因子逻辑相关性较大,即各个因子间要在合理的值域内才可输出满足仿真需要的结果数据。

设某一功能为 $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$,其中 x_1, x_2, \dots, x_n 为在某一时刻 t 影响功能函数输出的因子。

设 x_i 对应的值域为集合 $S_i (1 \leq i \leq n)$,则功能测试结果理论上测试用例空间中测试序列的最大个数如式(1):

$$|S_1| \cdot |S_2| \cdot \dots \cdot |S_n| \quad (1)$$

从式(1)中可见,随着因子个数增加以及因子值域集合元素个数的增加,影响输出结果的用例个数会明显增加,当模型比较复杂时,模型测试的复杂度 $O_T(n)$ 会提高。独立的功

收稿日期:2010-01-04;修回日期:2010-03-16。

作者简介:李泽民(1976-),男,黑龙江伊春人,讲师,硕士,主要研究方向:军事信息系统、作战仿真系统;张威(1968-),男,新疆奎屯人,教授,博士,主要研究方向:军事信息系统、软件工程;赵萌(1976-),男,吉林长春人,讲师,硕士,主要研究方向:军事信息系统、作战仿真系统。

能模型测试尚如此,若将多个功能集成后,系统测试的复杂度会倍增,甚至会呈平方或指数级别增长。

另外,对于作战仿真来说,模型的功能不仅是相关因子的函数,同时也是时间的函数。对于功能测试来说,不仅要各个参数因子作为测试用例输入,还要将时间作为输入。此时单个仿真模型的功能函数如式(2)所示:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (2)$$

其中 t 为仿真时间。式(2)能力输出不仅是基本因子的函数,同时也是时间的函数。这样仅依靠简单的接口测试或功能测试难以满足要求。传统的静态测试程序采用的方式是输入、处理、输出的逻辑过程,难以对有时序要求的逻辑进行测试。

在 BOM 开发结束后,为实现仿真平台对 BOM 组件的集成,一种方法是将 BOM 组件直接集成入仿真平台运行,实现基于仿真平台的模型测试,由于多个组件进行集成,其复杂度大大加大。主要体现在测试的复杂度方面,若在某作战仿真系统中有 m 个 BOM 模型,且假定此 m 个模型共同决定了一个系统功能。如每个模型都不可保证其可靠性,若某个系统功能出现故障,则需要分析 m 个模型。如此系统中有 n 个系统功能都出现故障,假定 n 个功能均与 m 个模型相关联,则需要对 $m \times n$ 个可能出现的故障模型进行检查,这样使故障排除的复杂度大大增加。

在系统集成阶段,需要排除一个简单模型的故障所需要的用例规模也大大增大。若 BOM 模型 B_i 需要进行测试的用例集为 U_i ,则多个 BOM 模型构成的系统对单个模型进行测试时,其用例集合为多个 BOM 模型 B_1, B_2, \dots, B_n 共同组成的一个序列 $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ 。若 U_i 的用例个数为 $|U_i|$,则系统的用例数目为:

$$\prod_{i=1}^n |U_i| \quad (3)$$

由式(3)可见,当多个模型集成时,对单个模型进行测试,用例集合元素数量激增,这样不利于在集成阶段实现对 BOM 模型的测试。

从时间开销上看,提高 BOM 组件的可靠性对提高仿真系统集成阶段的开发效率的影响也是巨大的。首先,若将 BOM 的故障遗留到集成阶段,会出现什么样的问题,现作如下假设:

设模型集合为 $A\{A_i | A_i \text{ 为 BOM 模型且 } 0 < i < n\}$ 。其中的某一模型 A_i 与其他的 $n-1$ 个模型有关联关系,则当 A_i 出现故障时,会导致其他 $n-1$ 个模型的集成工作受到影响。若 A_i 的故障排除时间为 T_i , A_i 出现故障的概率为 P_i ,则进度迟滞的时间为 $P_i T_i n$ 。系统由于所有模型故障引起的时间迟滞为:

$$\sum_{i=1}^n (P_i T_i n) \quad (4)$$

由式(4)可见,在集成情况下,模型对开发时间的需求复杂度是 $O_T(n^2)$ 。每个模型故障排除时间的降低,会对系统开发的进度产生线性贡献。

通过以上分析可以看出,在基于 BOM 的仿真系统的 BOM 模型集成过程中,提高单个模型可靠性对仿真系统整体集成效率的提高至关重要。另外,需要降低式(4)的时间复杂度,这样可以提高系统集成的效率。降低时间复杂度的方法是将集成工作解聚合,即将多个 BOM 模型 B_1, B_2, \dots, B_n 分为若个组,利用比仿真平台要简单的测试程序完成对分组模型的测试。

基于 BOM 的仿真模型在测试过程中,对测试环境要求较高,要对其接口以及功能进行测试,必须提供功能强大的测试环境支撑,能够提供接口、功能测试环境。

2 测试框架设计

2.1 主要仿真服务

在模型功能的测试中,必须为模型提供所依赖的实体状态和行为数据,仿真中许多实体间的行为具备很强的依赖关系,所以从测试平台的内容上,必须提供对多个、多种类型 BOM 的运行支持,其运行机制如图 1 所示。图 1 中包含 3 种类型的 BOM,分别为 T_1, T_2, T_3 。这 3 种类型的 BOM 分别对应了不同数量的 BOM 实体对象。这 3 种类型的 BOM 实体之间存在着逻辑上的关联,测试环境提供了 BOM 运行所需的环境,通过输入的数据,驱动各个 BOM 模型的实例对象在测试环境内运行,并将结果输出。通过输出结果与预期的对比,判断模型的正确性。

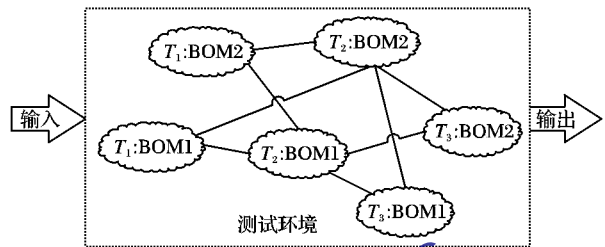


图1 运行机制

测试环境主要提供的服务如下:

- 1) 对象管理。本服务将处理对象实例的注册、修改及删除和交互的发送及接收。在本组服务中对对象实例发现是一个基例。如果模型实例 F 订购了模型实例 O 的注册类或其注册类的超类,实例 O 将在实例 F 上有一个候选发现类。
- 2) 数据分发。由于测试框架采用集中的单机版运行方式,所以在数据分发上,与采用分布式仿真系统的数据分发概念不同,基于 BOM 的测试环境不需要如真实仿真平台那样运行在不同的主机上,所以对分布式的数据交换和同步没有需求,对象与对象间的数据交换不是采用数据传输服务实现,而是通过共享内存的方式。为降低对象间数据交换时对象间的耦合性,本测试框架采用虚拟内存表的方式实现数据分发。
- 3) 时间服务。测试环境中的时间模型可以表示为沿时间轴上的点。每一 BOM 模型在执行期间可以沿时间轴推进。模型推进不受其他模型推进的约束。通过集中式的时间管理,为每个成员提供仿真运行所需的时间驱动数据。

2.2 对象管理服务过程

在对象管理服务中,测试平台首先要根据 BOM 模型,创建相应的对象,通过对想定数据的解析,获得对象的初始化数据;也可以根据用户输入的信息,实现对对象的初始化。在这个过程中,主要对仿真对象的部署位置、性能参数、仿真过程中行为参数等信息进行设置。完成初始化的对象,添加到指定模型的工厂类中;由模型工厂类实现对模型对象的统一管理,向仿真引擎提供集中的对象访问接口,实现对象访问服务,仿真引擎可以获得对象句柄和数据,也可以对对象数据进行维护。

2.3 数据分发服务

为完成不同类型实体间数据交换的需要,实现对象数据以及交互数据的数据分发,采用基于内存表的方式实现数据的数据分发,对数据的公布采用对内存表的数据更新来实现;对数据的订购则采用对内存数据的读取来实现。数据的数据分发主要涉及到两种类型的数据,即对象的数据结构以及对象间的交互数据。在逻辑上两种类型数据的生命周期不同。内存数据表的初始化以及维护过程如图 2 所示。

根据实体对象来创建实体属性表,实体属性表是相同类型对象以及不同类型对象间进行数据交换的内存数据区。根

据实体接口内容向实体属性表中添加内存表的字段,并向表中添加字段所对应的数据值。在仿真运行过程中,模型实现对自身状态数据的解算,计算结果要公布给其他类型对象,通过更新内存表中字段对应的数据,完成对内存表数据的更新,数据需求方对数据的获取,通过对实体属性表数据的检索实

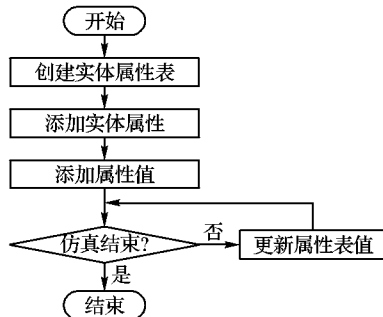


图2 数据分发服务

	战斗机	轰炸机	攻击机	航空兵指挥所	地导防空指挥所	地空导弹发射装置
战斗机	攻击	攻击	攻击	上报情报	—	—
轰炸机	—	—	—	上报情报	轰炸	轰炸
攻击机	—	—	—	上报情报	轰炸	轰炸
航空兵指挥所	指挥	指挥	指挥	—	—	—
地导防空指挥所	—	—	—	—	—	指挥
地空导弹发射装置	防空	防空	防空	—	—	—

通过测试框架,可实现为以上各种不同类型的 BOM 模型间对象管理以及数据交互提供支持。可实现 6 种模型以及 36 类交互数据的模拟支持。针对空中作战应用,对测试框架进行了运行效率实验,分别规划相同的测试场景,参与测试的 BOM 模型类型相同,但调整参与运行的仿真实体的数量,仿真步长为 1 s,并记录仿真过程的推进比如表 1 所示。

表1 性能记录表

实体个数	系统时间/s	仿真时间/s	推进比
10	10.0	100.0	10.00
100	10.0	80.5	8.05
200	50.0	370.0	7.40
500	100.0	540.0	5.40

测试框架的性能如图 3 所示,仿真平台计算时间是各个仿真实体串行计算时间的总和,其计算公式如式(5)所示:

$$T_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n T_i \quad (5)$$

其中: T_{total} 表示仿真平台计算总时间, T_i 表示单个仿真实体仿真计算时间, n 表示仿真实体个数。 T_i 的时间决定于仿真计算模型的复杂程度以及与仿真实体产生交互的仿真实体的个数。综上,在仿真实体与其他所有仿真实体发生交互的情况下, T_{total} 计算的复杂度为 $O(n^2)$ 。即随实体个数增加,推进比会下降。从图 3 中可见,随着实体数目的增加,推进比呈现下降趋势,在对 500 个实体进行测试时,仿真引擎总体性能仍然为超实时,可以满足对测试平台的超实时要求。

4 结语

本测试框架能够实现测试场景的编辑,为测试提供完整的环境准备,可通过提供的基本服务实现对各种不同类型的 BOM 模型进行接口以及功能测试,提供了完备的动态测试平台,模拟了仿真系统集成平台的服务功能,为仿真系统集成提

现对其他实体数据的订购。通过这种共享内存的方式,使不同类型模型对象间实现了数据交换,使测试程序能够模拟仿真平台中对象数据交换服务。

2.4 时间服务

时间服务是测试框架使 BOM 模型实现模型计算的时间驱动,基于 BOM 测试框架的运行采用统一的逻辑时间管理机制,实现各种相关模型的解算时间驱动。

3 框架应用

通过在空军作战 BOM 模型测试中的应用,对测试框架的功能以及性能进行了验证。为模型集成到 KD-SmartSim^[2] 中提供了模型测试准备,其主要的模型类别包括:战斗机、轰炸机、攻击机、航空兵指挥所、地导防空指挥所和地空导弹发射装置。

实体的主要交互矩阵如下所示:

供了清晰测试运行环境,可提高模型研制效率,提高 BOM 模型质量,为基于 BOM 的仿真应用系统集成提供高效率的模型开发支持工具。通过在空军作战模型 BOM 的测试与集成中的应用表明,其功能与性能达到了预期要求。

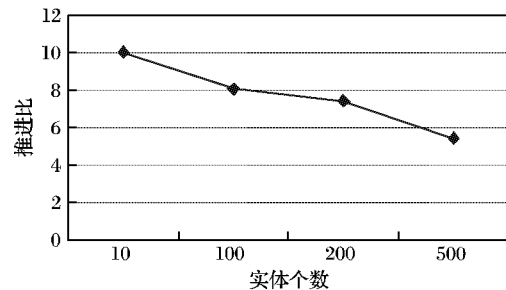


图3 测试框架的性能

参考文献:

- [1] SISO Base Object Model Product Development Group. Base Object Model (BOM) template specification SISO-STD-003 [S]. Orlando, USA: SISO Base Object Model Product Development Group, 2006: 11.
- [2] 龚建兴. 基于 BOM 的可扩展仿真系统框架研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
- [3] 刘晓斌, 邱晓刚, 龚建兴, 等. 基于 BOM 的组件测试研究和实现[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(18): 5936-5939.
- [4] SISO Base Object Model Product Development Group. Guide for Base Object Model (BOM) use and implementation SISO-STD-003 [M]. Orlando, USA: SISO Base Object Model Product Development Group, 2006: 27.
- [5] 龚建兴, 邱晓刚, 黄柯棣. 构建可扩展的 HLA 联邦成员架构[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11): 3126-3130.
- [6] 孙世霞, 邱晓刚, 黄柯棣. 联邦成员一致性测试软件研究[J]. 计算机仿真, 2003, 20(1): 86-89.
- [7] 彭勇. 基于 BOM 的仿真模型组件测试方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.