文章编号:1001 - 2486(2002)06 - 0091 - 04

RTI 测试研究*

曹星平,黄柯棣
(国防科技大学机电工程与自动化学院,湖南 长沙 410073)

摘 要 运行支撑系统(RTI)作为应用高层体系结构(HLA)进行分布仿真的支撑系统,是实现 HLA 的核心。RTI 的功能和性能直接关系到 HLA 仿真系统开发与应用的成败。首先阐述了 RTI 测试的内容和指标,接着结合例子详细研究了 RTI 测试的方法,最后对 RTI 测试研究进行了总结,为提高基于 HLA 的分布交互仿真系统的质量及可信度提供了基础。

关键词 运行时间支撑系统;高层体系结构;功能测试;性能测试
中图分类号:TP391.9 文献标识码:A

The Research of RTI Testing

CAO Xing-ping, HUANG Ke-di
(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Run-Time Infrastructure (RTI) is the core of implementing High Level Architecture (HLA) simulation. The function and the performance of RTI has a direct bearing on the success of HLA simulation system. This paper first expatiates the theory and target of RTI testing. Then it studies the method of RTI testing with samples. In the end it summarizes the test research of RTI testing.

Key words: Run-Time Infrastructure; High Level Architecture; functional testing; performance testing

仿真支撑软件是为支持仿真系统开发、运行和维护而设计的软件系统,它在仿真研究和开发的过程中,以一致的用户接口为用户提供尽可能多的服务。

运行支撑系统 RTI(Run-Time Infrastructure)是高层体系结构 HLA(High Level Architecture)仿真系统运行时的支撑软件系统,它按照 HLA 的接口规范标准进行开发,提供了一系列用于仿真互操作的服务,是 HLA 仿真系统进行分层管理控制、实现分布仿真可扩充性的支撑基础,也是进行 HLA 其它关键技术研究的立足点。作为 HLA 进行分布仿真的支撑系统,RTI 是实现 HLA 的核心,对运行过程中动态信息的管理和集成提供有效的支持,如图 1。

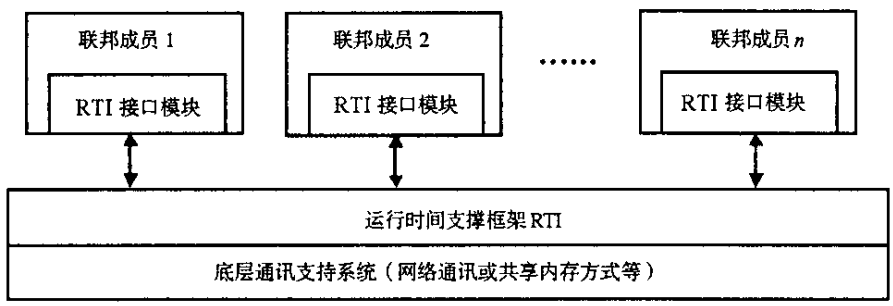

图 1 HLA 仿真体系结构

Fig.1 HLA architecture of simulation

* 收稿日期:2002 - 04 - 30
作者简介:曹星平(1974—),女,博士生。

RTI的功能和性能直接关系到HLA仿真系统开发与应用的成败,而测试是保证软件质量的重要手段。软件测试在软件生存期中占有非常突出的重要位置。在软件开发的过程中,需要不断地复查与评估,不断地进行检验,以利于把发现的错误和问题得到及时的解决。为保证质量,在国防科技大学机电工程与自动化学院开发KD-RTI版本过程中,我们对其进行了一系列功能与性能测试。

1 RTI测试内容和指标

1.1 RTI测试内容与方式

测试是检验开发工作的成果是否符合要求,通常测试工作分为:单元测试、集成测试、验证测试、系统测试。软件测试主要包括正确性测试与效率测试(即性能评价)。

测试活动可以采用各种不同的策略。这些策略的区别在于它们表明了不同的出发点、不同的思路以及采用不同的手段和方法。软件测试的策略按照测试的时间可分为在线测试和离线测试;按测试的目的可分为纠错测试和检错测试;按测试过程切入系统的程度可分为白盒测试和黑盒测试。

由前面的分析并结合RTI软件的需求,这里RTI测试的内容主要是功能测试和性能测试。前者保证软件的正确性,后者保证软件的效率。这里研究的对RTI测试采用的方法主要是黑盒测试,根据需求规格说明书考虑确定测试用例,推断测试结果的正确性。

1.2 RTI测试指标

软件测试首先要明确测试的指标,包括功能指标和性能指标。RTI的功能测试指标主要是RTI的六大类服务的功能要求。按照联邦成员接口调用顺序,分别进行单类服务以及各类服务之间的交叉测试,检查RTI是否符合六大类服务的要求。

RTI的性能测试指标有时间延迟、最大数据传输率、消息丢失率,定义分别如下:

(1)时延(或属性延迟,Attribute Latency)

属性延迟定义为发送成员即将调用更新属性值服务之前到接收成员执行相应的反射属性值回调之后所用的时间。属性延迟的值以ms为单位。属性更新的延迟是实时仿真所关心的关键因素,因为实时仿真的有效性依赖于数据的及时性。

(2)最大数据传输率(或属性吞吐量,Attribute Throughput)

最大数据传输率定义为成员在零消息丢失率的情况下交换属性更新的最大速率。该值的测量单位是每秒传输的属性的大小(字节/s)。

(3)消息丢失率(或丢包率,Message Loss Percentage)

消息丢失率定义为没有被反射成员所反射的消息的百分比。该值应表示为发送消息数的百分比。消息的丢失可由底层传输介质、协议或RTI软件引起。

2 测试方法

软件测试在明确了测试的指标后,还必须应用具体的测试方法,实施测试过程,比如"对比法"、"极端法"、"穷举法"等,只有应用有效的测试方法才能有效地实施测试,使得测试的结果可信。下面分别研究RTI功能和性能测试的方法。

2.1 功能测试

RTI提供了六大类服务功能。六大类服务包括:联邦管理服务、声明管理服务、对象管理服务、所有权管理服务、时间管理服务、数据分发服务。根据调用关系,RTI软件被分为两部分:一部分被包装成RTIamb类,定义和实现联邦成员所需的与RTI通讯的接口,由联邦成员主动调用;另一部分被包装成FedAmb类,定义和实现RTI所需的与联邦成员通讯的接口,由RTI回调使用。

测试RTI的功能可以设计为一个简单的成员,其目的是用来测试RTI是否根据规范完成所有服务以及服务的正确性、出错处理能力等。测试程序作为一个特殊的成员,其公布订购关系如下:

- 对象类

公布:选择对象表中的任何一个对象进行公布,如果公布多个,则多次选择。

订购:选择对象表中的任何一个对象进行订购,如果订购多个,则多次选择。

- 交互类

公布:任选交互表中的一个交互进行公布,若公布多个,则多次选择。

订购:任选交互表中的一个交互进行订购,若订购多个,则多次选择。

程序采用菜单界面,所有的服务(除回调函数)都包含在菜单响应函数中。这样可以测试每个服务功能的正确性,错误处理能力是否完善,根据成员的执行过程进行操作,可以测试服务的一致性。具体测试方案包括功能正确性测试、报错测试以及边界测试。

例如测试联邦管理服务的正确性,可以设计为以下几个步骤:

(1)运行一个成员,测试创建、加入、退出、销毁四个服务的正确性;

(2)运行多个成员(一般三个即可),测试创建、加入、退出、销毁四个服务的正确性;

(3)改变属性和交互的传输顺序类型(reliable、best effort 与 timestamp、receive 的四种组合),测试四个服务的正确性;

(4)运行多个成员,测试联邦管理的其它服务的正确性;

(5)运行多个成员,测试联邦管理的其它服务对联邦的影响是否符合规范的要求。

2.2 性能测试

RTI 性能测试主要是为了确保整个仿真系统开发的有效实施。系统测试按网络配置由简单到复杂逐步进行。在一定的测试配置条件下,在基本的网络测试的基础上,对于各种性能指标以及各种条件重复测试。例如可以在三台计算机上分别运行 RTI 软件、发送测试成员和接收测试成员。

2.2.1 最大数据传输率测试

成员传输属性更新的最大速率可以受到发送成员或接收成员的限制。对发送成员,更新属性吞吐量由每秒发送 updateAttributeValue() (UAV)调用的数目来测量。对接收成员,反射属性吞吐量由每秒接收 reflectAttributeValues() (RAV)调用的数目来测量。因此,两个平均速率的最小值才能表示为属性吞吐量。

更新属性吞吐量 = UAV 调用的数目/执行 UAV 调用的总时间

在测试期间,应在两个或多个成员之间对一个或多个对象实例进行大批量突发性的属性更新。计时器的开始和结束应在执行循环调用 UAV 服务的源代码行的前后。对于多个实例的更新,实例的集合最好用数组表示,而不用散列表,以减少用于查询的处理时间。如果通信介质的接口不能承受发送数据的吞吐量,可在 UAV 调用之间加入延迟。延迟的时间应在结果中进行记录。

反射属性吞吐量 = RAV 调用的数目/执行 RAV 调用的总时间

反射的回调函数中的代码应尽量少。回调代码只应包含用于查找所反射的对象的本地表示以及将属性数据拷贝到本地变量的代码。查找函数的时间复杂性及所搜索的对象容器结构中的对象数应在结果中予以记录。为简单起见,可以只更新一个对象实例。如果消息丢失率不为零,可在 UAV 调用之间加入足够大的延迟以保证消息丢失率为零。延迟的长度应在结果中予以记录。

在测量中,应使用不同的属性值集的大小及不同传输类型参数。对每一属性值集的大小都应使用 RTI 支持的两种传输类型分别进行测量。属性吞吐量的测量应在两个或多个既非时间控制又非时间约束的成员间进行。使用的成员数应在结果中予以记录。具体测量时,同样要对比 RTI 的两种数据传输方式 TCP 可靠传输和多目传输进行测量。

2.2.2 时延测试

属性延迟可以通过在更新对象实例的时戳属性中加入成员可得的最精确的当前时间进行测量。如果发送和接收成员有一个同步时间源,接收成员可以通过由同步时间源得到的时间减去从反射中收到的时戳来计算延迟。在 RAV 调用中应首先获得当前时间。测量时,每次只能发送一个属性更新,并且反射成员应当返回一个交互来确认属性的接收。发送成员在收到上一属性接收的确认之前不能发送下一更新。

如果没有同步时间源,接收成员应在收到时戳后立即将时戳发送给发送成员。在 RAV 回调服务和发送时戳之间的代码应尽量少。返回的更新应与收到的 AttributeHandleValuePairSet 中的属性值集的大小和属性数目完全相同,不应只包括时戳属性。接收成员从反射中取出时戳并计算延迟。延迟等于当前时间减去时戳后除以 2。发送成员直到收到上一更新所返回的时戳才能发送下一更新。

在测量中,应使用不同的属性值集的大小及不同传输类型参数。对每一属性值集的大小都应使用 RTI 支持的两种传输类型进行测量。属性延迟的测量应在两个既非时间控制又非时间约束的成员间进行。我们对 KD-RTI 进行了详细的功能与性能测试。图 2 所示是对 KD-RTI 延迟测试的一部分以及与美国国防部开发的 RTI1.3v6 的比较。从图中可以看出,KD-RTI 在字节数较小时延迟比 RTI1.3v6 小。

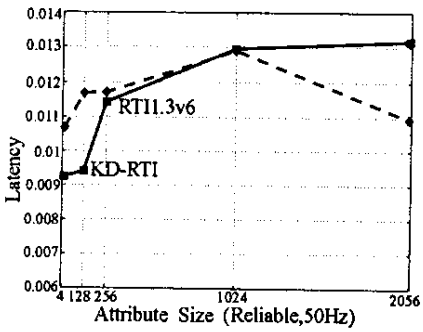

图 2 延迟比较

Fig.2 Comparison of latency

2.2.3 丢包测试

消息丢失率的测量与属性吞吐量的测量方法基本相同。需要在两个或多个联邦成员间进行一个或多个对象实例属性的更新。不同的是发送成员可以在循环调用 UAV 服务时加入不同的延迟来调节属性更新的频率。消息丢失率的报告中应对属性值集的大小、更新频率及使用的成员数予以记录。

丢包测量实际上是在测量网络通讯系统和 RTI 运行时系统组成的信息通道所能承载的最大信息传输速度,超过这个限度,RTI 和成员之间属性和交互的消息传递将不可靠,仿真不能有效实施;而时延测量实际上是测试该信息通道的响应速度。对于具体的仿真演练系统,其时延和最小传输速率是有要求的,这样通过 RTI 测量就可以知道 RTI 和网络通讯系统的性能能否满足仿真的要求。具体测量时,还要对比 RTI 的两种不同数据传输方式情况(TCP 可靠传输和多目传输)进行测试。

3 结论

一般来说,HLA 仿真系统建设一般是基于某些领域内的仿真演练任务,因此应根据 HLA 的内部运行特性、具体系统实际最大时延限制、消息转发速度、信息包长度、信息传递的突发性和同步性等要求,来确定 RTI 仿真系统平台的功能和性能要求指标,同时考虑到将来扩展的需要。

确定了 RTI 的功能和性能指标后,就要着手进行系统平台建设,比如网络是选用专用网,还是基于安全机制的 Internet 网。进行具体的仿真演练开发前,必须进行严格的 RTI 测试,这样才能保证仿真效果及可信度。

本文研究了 RTI 测试的目标、方法等问题。测试的目的是为了能够找出问题并加以改进。今后在实际仿真活动中应针对所采用的不同版本的 RTI 以及不同的网络配置情况进行详细测试,并且使测试过程尽量自动化。

参考文献:

[1] IEEE P1516.1 Draft Std. for M&S HLA-Federate IFSpec[S]. April 1998.

[2] Harris Clyde, Black Jerry. RTI Testing for a Performance Oriented Federation and Results [C]. Simulation Interoperability Workshop, 1998.

[3] Civinskas Wayne, Dufault Brett, Wilbert Deborah. RTI-NG Performance in Large-scale, Platform-level Federations[C]. Simulation Interoperability Workshop, 2000.

[4] 黄柯棣等.系统仿真技术[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1998.