

## 面向服务的网格软件测试环境\*

郭勇<sup>1,2+</sup>, 邓波<sup>2</sup>, 衣双辉<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

<sup>2</sup>(北京系统工程研究所, 北京 100101)

### Service Oriented Grid Software Testing Environment

GUO Yong<sup>1,2+</sup>, DENG Bo<sup>2</sup>, YI Shuang-Hui<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

<sup>2</sup>(Beijing Institute of System Engineering, Beijing 100101, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-64836117, Fax: +86-10-64836117, E-mail: bodeng@tom.com, http://www.nudt.edu.cn

Guo Y, Deng B, Yi SH. Service oriented grid software testing environment. *Journal of Software*, 2006,17(11): 2335-2340. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/2335.htm>

**Abstract:** Grid software test is an important approach to assure the quality of grid services, so it has been the highlight of the grid technology. As an open architecture, SOA (service oriented architecture) supplies the effective method and means for grid technology. In this paper, the key technology for service oriented grid software test is discussed. The grid software testing environment is designed, and emphasis is laid on the grid services test, the grid performance test, and the test management of grid software.

**Key words:** SOA (service oriented architecture); grid technology; testing environment; Web services

**摘要:** 作为保证网格服务质量的重要技术手段, 网格软件测试已成为网格研究的热点内容. 作为开放的体系结构, SOA(service oriented architecture)为网格技术研究提供了有效的方法和手段. 分析研究了面向服务的网格软件测试关键技术, 重点从网格服务测试、网格性能测试和网格软件测试管理 3 个方面探讨了网格软件测试环境的构建.

**关键词:** SOA(service oriented architecture); 网格技术; 测试环境; Web 服务

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

随着面向对象技术和分布式对象技术的不断发展, 面向服务体系结构(service oriented architecture, 简称 SOA)<sup>[1]</sup>正在逐渐成为分布式计算解决方案的主流. 作为实现 SOA 的一种主流行业标准和参考实现, Web 服务<sup>[2]</sup>基于一系列开放的事实标准(如 XML(extensible markup language), SOAP(simple object access protocol), WSDL (Web service definition language), UDDI(universal description, discovery, and integration)等)也正在重新审视分布式对象技术面临的诸多问题<sup>[2]</sup>.

SOA 是一种关注服务的互操作、易于集成、可扩展和安全访问特性的分布式体系结构, 而网格是一种资源

\* Supported by the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant Nos.2003AA104010, 2003AA1Z2020 (国家高技术研究发展计划(863))

Received 2006-06-09; Accepted 2006-08-07

共享、协同工作的分布式系统,Web 服务成为连接二者的纽带,它们之间正在相互融合.作为网格技术的主流代表,Globus<sup>[3,4]</sup>研究小组和 IBM 联合提出 OGSA(open grid services architecture)<sup>[5]</sup>,在此基础上制订了开放网格服务基础设施(open grid services infrastructure,简称 OGSi)<sup>[6]</sup>和 Web 服务资源框架(Web service resource framework,简称 WSRF)<sup>[7]</sup>规范,并分别实现了符合规范的 Globus Toolkit 3.0 和 Globus Toolkit 4.0.基于 SOA,可以认为网格为信息和资源的分布共享提供了解决方案;基于网格,可以认为 SOA 为调整网格解决方案的架构、促进其透明性以及更好地支持广泛的平台和环境提供了方便而灵活的技术途径.

网格软件测试是保证网格服务(grid services)<sup>[2]</sup>质量的重要而必须的技术环节和手段,是网格技术研究的重要内容.本文将结合 SOA 探讨网格软件测试技术,并重点从网格服务测试、网格性能测试和网格软件测试管理 3 个方面探讨网格软件测试关键技术,为构建面向服务的网格软件测试环境提供技术途径.

## 1 SOA 和网格软件测试

网格系统早期的设计实现并未采用 Web 服务技术,Grid Services 没有体现出 SOA 所具有的可扩展和松耦合性<sup>[4,8-10]</sup>.采用这种方式会使得网格应用程序移植到其他平台且使环境变得复杂.

随着 Web 服务技术的发展以及相关标准规范的日益成熟,SOA 和网格技术基于 WSRF 和其他 Web 服务的解决方案加速了两者之间的融合.与最初的网格系统设计相比,面向服务的网格系统更好地实现了网格计算、系统管理和 Web 服务的一致性与协调性.

对于网格软件测试来说,完成网格系统各类质量特性测试所需的测试程序是网格软件测试的基础.在实现面向服务的网格软件测试程序时,存在两类测试程序实现方式:一类是将已有的基于 Web 服务的测试程序迁移到网格系统中;另一类是开发面向服务的网格系统测试程序.

为了实现面向服务的网格软件测试程序,需要综合考虑 SOA 和网格技术特性才能向用户提供真正可用的网格软件测试程序,因此,网格软件测试程序实现时需要体现 SOA 可扩展和松耦合的特性,需要将测试程序迁移到面向服务的模型中.此时需要考虑到测试程序中的每个操作,进一步还应将已有测试程序划分成更细粒度的 Web 服务单元.同时,为了确保网格结点能够独立工作,网格测试程序不应依赖于特定的数据库服务器或其他资源产生依赖.在面向服务的测试程序开发中采用网格的概念,需要从程序中删除那些依赖于单一主机或模块的部分;同时需要定义网格服务负载记录模块,记录网格系统的负载信息.而将已有的基于 Web 服务的测试程序迁移到面向服务的网格系统中所面临的主要问题是确定测试程序的组织结构,这主要包括建立要执行的操作列表、网格中的组件和节点之间通信是如何操作的以及各个步骤的编译次序.

本文将从网格服务测试、网格性能测试和网格软件测试工具方面探讨上述问题,为构建面向服务的网格软件测试环境提供技术途径.

## 2 面向服务的网格软件测试环境

网格服务是构成网格系统的基本功能单元,因此,网格服务测试也成为网格软件测试的基础部分.网格系统是实现高性能计算的一个有效手段,网格性能测试也是网格软件测试的重要内容,因此,研究并开发能够自动生成符合 SOA 标准的性能测试程序的通用测试工具,也成为面向服务网格软件测试环境的一个重要组成部分.为了便于维护测试环境,还需要实现针对 SOA 网格系统的有效测试管理工具.

### 2.1 网格服务测试

网格系统软件的发展与应用与其相应的技术标准或规范是分不开的,衡量一种网格系统是否能够符合用户需求,从很大意义上讲就是在衡量它们所提供的服务的正确性以及是否符合技术标准或规范.如 Web 服务测试,一个很重要的方面就是测试其是否符合规范,包括 UDDI,XML,SOAP,WSDL 等,只有符合这些规范,才能向用户提供正确的 Web 服务.而当前的主流网格服务大多也是采用 Web 服务,因此,Web 服务测试所使用的方法和技术可以被网格服务测试所借鉴和引用.另外,当前网格全球论坛以及 Globus 等网格研究组织联合推出了不少面

向网格服务的标准规范,而且正在修订和完善中.这些标准或规范将成为网格服务测试的重要依据.

网格服务测试的目标是确保网格服务为给定的请求传递期望的应答.然而对于大多数网格服务,准确预测客户端将会发送什么类型的请求、列举所有可能的请求是不可行的,因为请求输入的范围空间可能非常大.因此,验证网格服务是否可以处理范围广泛的请求类型和参数非常重要.

对于每个网格服务测试来说,需要考虑如下内容:

- 请求级.测试客户通过 HTTP(hypertext transfer protocol)或 SOAP 连接发送请求到服务器,包括确定需要测试什么类型和范围的请求,以确定网格服务能否正确地响应可能接收的范围广泛的请求.
- 应答级.分析应答以检查网格服务的正确性.可以通过手动检查或者工具以及脚本分析应答消息,从而验证该应答的规范符合性.这种分析可以利用期望的应答来执行文本比较,或者从 XML 文档抽取特定信息并且执行应用特定的检测.

这种请求类型的确定以及应答消息的分析验证依靠手工或者简单的脚本往往无法提高测试的效率与准确性,因此,研制开发合适的网格服务测试工具是必要的.利用网格服务测试工具,可以快速、容易并有效地自动生成一个网格客户测试用例套件.该测试用例套件覆盖所有可能的方法,并且执行测试套件以发现严重的缺陷;或者自动运行基于 SOA 网格模型开发的测试用例,产生测试结果.更进一步地,在测试工具中加入回归测试控制机制,确保测试用例的重新运行而避免不必要的修改.

图 1 表明了基于 SOA 的网格软件测试环境中,网格服务测试的基本流程.

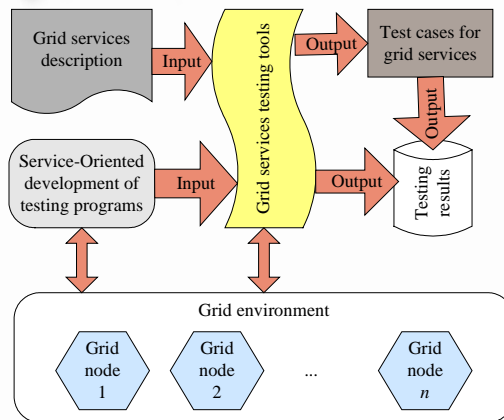


Fig.1 Grid services testing

图 1 网格服务测试

## 2.2 网格性能测试

性能测试的目标是验证在各种负载情况下网格服务的性能.进行性能测试的最佳方式是使得多个测试客户运行完整的网格服务测试,包括请求提交和应答验证.

性能测试不仅通过指定的并发请求数目来监视服务器的响应速率,还要测试各类负载是否导致网格服务功能性故障.因此,要求网格软件性能测试工具能够设置或者定制性能测试场景(主要是指定负载等级、负载分布等)来执行网格性能测试套件.根据高性能计算系统常见的应用场景,网格软件性能测试工具可设置的场景主要包括 bell 曲线、缓冲区测试、线性增加和稳定负载.这样,通过使用不同的测试场景来使用不同的测试用例,同时还应支持跨越远端的网格服务器分布虚拟用户,从而模拟极限测试与压力测试.

网格性能测试可以模拟频繁使用网格服务的情况,进而才能发现所存在的缺陷.网格软件性能测试解决方案主要包括:

- 多机测试:可以在网络中利用多台机器或通过运行模拟虚拟用户的网格软件测试工具,从而可以产生

比单一机器所能够产生的数目更大的负载。

- 定制场景:网格软件性能测试工具应至少提供默认的负载测试场景(如缓冲测试、线性增加、稳定负载等),或者允许创建测试用户定制的测试场景。这些场景可以模拟现实世界中可能发生的情况,而这些情况在正常使用网格服务时发生的可能性较大。
- 监视器:网格软件测试工具中的监视器可以在负载测试发生时监视各种系统资源,包括 CPU 和内存的耗用情况、请求反应时间等。

### 2.3 网格软件测试实施与管理

快捷、方便的测试用例管理与维护,对于构建一个合理而有效的网格软件测试环境是必不可少的。在设计面向服务的网格系统软件测试工具时,我们确定采用插件的系统实现方式。针对网格系统软件所提供的系统 API(application programming interface)接口和相应的网格服务,提供相应的测试插件。在该工具中,每个插件具有一致性的描述格式,并且通过网格系统软件测试工具提供统一的调用、管理等功能。这种体系结构的优点是灵活性和可扩展性,可以根据网格系统软件的发展进一步扩充相应的插件模块,从而最大限度地维持该工具的体系结构;同时,又能确保系统满足最新的网格软件测试需求。

在实现的测试工具原型系统中,主要提供了下列功能:

- 网格软件测试项目管理功能:提供网格软件测试项目的创建等功能,支持网格软件测试项目相关的操作。
- 测试用例管理功能:提供针对网格系统软件的测试用例浏览、显示和执行功能。在工具体系结构中,每个测试用例是通过相应的测试插件来实现的。针对网格系统软件提供的 API 接口,提供各种类型的网格软件测试用例。
- 测试用例执行功能:针对每个测试用例,网格系统软件测试用例都提供相应的调用接口的输入框,通过输入各种类型的参数(或者参数组合),可以针对各种网格系统软件 API 实施测试,并且在测试结果编辑窗口中提供该测试用例的执行结果信息。
- 网格软件测试消息日志功能:通过网格软件测试工具的消息视图,提供针对特定测试项目的所有测试用例执行活动的记录功能。

目前,面向服务的测试工具中比较典型的主要有 JUnit 以及用于监测 HTTP,SOAP 通信消息的 TCPMonitor 工具。JUnit 是一个易用的、灵活的、开源的测试平台,与其他开源项目一样具有很多优点,如通过使用无须人工干预的 JUnit 自动测试平台,很容易累积起大量的 JUnit 测试程序,从而保证以往的软件缺陷不会重现。另外,JUnit 便于和编译单元(如 Ant 等)以及 IDE(integrated development environment)单元(如 Eclipse,Netbeans 等)集成,以方便测试人员进行测试。但它也有不足之处:它仅支持同步测试,而且不支持重现和其他异步单元;同时,JUnit 是一个黑箱测试平台,因此在测试某些软件缺陷(例如内存泄漏、用户并发数等)时显得比较困难;JUnit 的另一个不足是,其测试被限制于一个 Java 虚拟机上,这就无法实现复杂系统或异构分布式软件的测试。

TCPMonitor 工具主要用于监测 Web 服务通信的 SOAP 报文,帮助调试人员跟踪分析 HTTP Web 服务会话。调试人员根据请求和应答报文进一步判断 Web 服务功能的正确性,因此具有 Web 服务正确性的验证功能,但请求类型的确定以及应答消息的分析验证依靠手工或者简单的脚本来实现,因此无法提高测试的效率与准确性,不具有自动化测试的特点。

从测试对象考虑,这些工具仅仅局限于 Web 服务,并不支持网格服务,同时也不支持性能测试以及测试用例的统一管理与维护,因此并不能满足现有网格软件自动化测试的需要。

基于上述分析与讨论,我们研究并开发了用于测试面向服务的网格软件测试工具 GridTestMaker(如图 2 所示)。

从实现角度来看,GridTestMaker 具有以下特点:

- 采用 Java 实现,扩展 JUnit 结构,不仅具有良好的跨平台性,同时具有在同一主机或不同主机上实现在远程 Java 虚拟机上运行 JUnit 测试的能力,进一步适应网格系统平台的分布式与异构性特点。

- 吸收 JUnit 可扩展动态框架的思想,运用插件的技术来设计用来加载被测试软件功能特性、度量被测试软件的性能.GridTestMaker 不仅可以完成针对静态资源的性能测试,如 HTML(hypertext markup language),而且也能完成动态资源,如 Servlets,Perl 脚本、Java 对象、数据查询、Web 服务以及网格系统中的网格服务等性能测试。
- 通过配置线程组的属性来模拟并发用户,并设置相关请求属性(如 Http 请求、SOAP RPC 请求等),进一步模拟大量的服务器负载、网络负载、软件对象负载,通过不同的加载类型,全面测试网格软件的性能。
- 提供多样化可扩展的性能测试与分析方案.根据不同网格软件的特点,设计相应的测试用例,并将这些配置用例形成一个测试计划,保存为用户可定制、可扩展的 XML 格式,运行完毕提供多种方式帮助测试人员收集测试结果,并提供多样化的性能分析工具,如图形化、表格等,帮助测试人员更直观地分析测试结果。
- 支持用户设定网格服务请求的范围.在给定的范围内,允许测试用例向网格服务发送请求;同时提供应答消息与正确消息的比较验证机制,从而实现网格服务正确性的自动化验证功能。
- 脚本的录制与回放.GridTestMaker 通过解析测试计划文件,支持测试脚本的录制与回放,保证测试场景的可重现性,提高测试用例的可维护性。

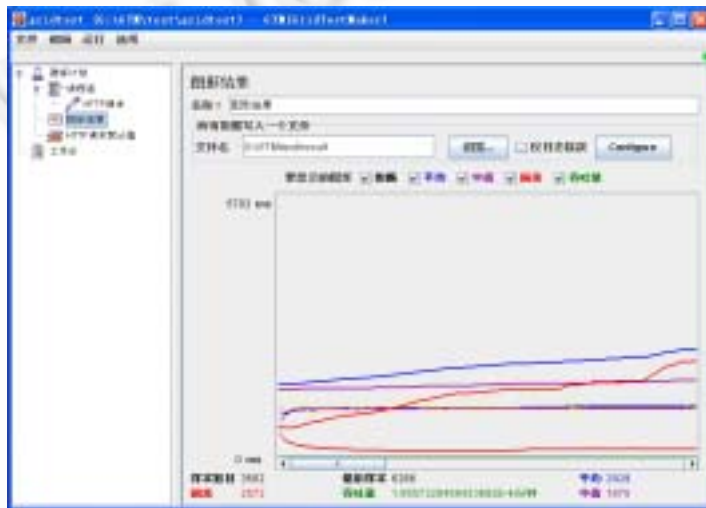


Fig.2 The testing tool: GridTestMaker

图 2 GridTestMaker 测试工具

### 3 总结

网格技术与 SOA 技术发展紧密相连,SOA 促进了网格系统的发展,而网格系统又丰富了 SOA 的内涵,因此,基于 Web 服务的测试技术对网格系统的测试起到了重要的借鉴作用.一方面,Web 服务测试应用程序经过一定的改造可以成为网格环境下的测试用例;另一方面,根据 SOA 与网格服务所采用的共同技术,如 WSDL, SOAP,XML 等,可以设计新的网格服务测试用例.这些面向服务体系结构的测试用例都成为网格软件测试环境的基本构成要素.同时,WSRF 的提出使得原有网格服务演变成 Web 服务和资源文档部分,这同时也影响了面向服务的网格软件测试环境的构建,需要在网格技术和 SOA 的进一步完善和发展中不断进行实践。

#### References:

- [1] W3C. Web services architecture. 2004. <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>

- [2] Yang FQ. Thinking on the development of software engineering technology. Journal of Software, 2005,16(1):1-7 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/1.htm>
- [3] Foster I, Kesselman C. Globus: A metacomputing infrastructure toolkit. Int'l Journal of Supercomputer Applications, 1997,11(2): 115-129.
- [4] Foster I, Kesselman C. The globus project: A statue report. In: Proc. of the IPPS/SPDP'98 Heterogeneous Computing Workshop. Orlando: IEEE Computer Society Press, 1998. 4-18. <http://ipdps.eece.unm.edu/1998/hcw/foster.pdf>
- [5] Foster I, Kesselman C, Nick JM, Tuecke S. Grid services for distributed system integration. Computer, 2002,35(6):37-46.
- [6] GGF. Open grid services infrastructure (OGSI) version 1.0. 2003. <http://www.ggf.org/documents/GWD-R/GFD-R.015.pdf>
- [7] Czajkowski K, Ferguson DF, Frey J, Graham S, Sedukhin I, Snelling D, Tecke S, Vambenepe W. The ws-resource framework version 1.0. 2004. <http://www.globus.org/wsrfspecs/ws-wsrf.pdf>
- [8] Zha L, Li W, Yu HY, Cai JP. Service oriented VEGA grid system software design and evaluation. Chinese Journal of Computers, 2005,28(4):495-504 (in Chinese with English abstract).
- [9] Furmento N, Lee W, Mayer A, Newhouse S, Darlington J. ICENI: An open grid service architecture implemented with Jini. Parallel Computing, 2002,28(12):1753-1772.
- [10] Gokhale A, Natarajan B. GriT: A CORBA-based GRID middleware architecture. In: Proc. of the 36th Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences (HICSS 2003). Big Island: IEEE Computer Society Press, 2003. <http://csdl2.computer.org/comp/proceedings/hicss/2003/1874/09/187490319b.pdf>

#### 附中文参考文献:

- [2] 杨芙清. 软件工程技术发展思索. 软件学报, 2005, 16(1): 1-7. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/16/1.htm>
- [8] 查礼, 李伟, 余海燕, 蔡季萍. 面向服务的织女星网格系统软件设计与评测. 计算机学报, 2005, 28(4): 495-504.



郭勇(1966 - ),男,湖南常德人,博士生,研究员,主要研究领域为计算机软件体系结构,分布式系统,系统性能评价.

邓波(1973 - ),男,博士,副研究员,主要研究领域为计算机分布式系统,软件工程.

衣双辉(1978 - ),男,助理研究员,主要研究领域为计算机分布式系统,系统软件.