

一种基于虚拟工作空间的有状态 网格服务副本复制方法

宋宝燕¹, 李旭峰¹, 奚丽娜¹, 毛艳英¹, 申德荣², 于 戈²

(1. 辽宁大学信息科学与技术学院, 辽宁沈阳 110036; 2. 东北大学信息科学与工程学院, 辽宁沈阳 110004)

摘 要: 网格副本复制技术只能对无状态的数据、文件资源等进行复制, 而不能对网格服务这种包含软硬件需求、有状态的服务形式进行复制. 为解决网格服务的访问瓶颈、负载均衡等问题, 本文提出一种基于虚拟工作空间的有状态网格服务副本复制方法 Ragsres. Ragsres 利用虚拟工作空间良好的执行分离属性和对执行环境可定制化的特性, 实现对网格服务运行所需的软硬件环境的搭建和复制; 根据虚拟机监控快照技术的数据转换原理, 完成网格服务内存状态的复制; 采用 web 服务的有状态资源模拟技术, 实现有状态资源的状态复制.

关键词: 网格服务; 虚拟工作空间; 虚拟机监控; 副本复制

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 10-1949-06

A Replica Creation Approach of Grid Service with State Based on Virtual Workshop

SONG Bao yan¹, LI Xu feng¹, XI Li na¹, MAO Yan ying¹, SHEN De rong², YU Ge²

(1. School of Information Science and Technology, Liaoning University, Shenyang, Liaoning 110036, China;

2. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China)

Abstract: The replica creation technology of Grid can not replicate Grid Services which are with state and include software and hardware requirements, while only replicate datum and file resources which are no state. Aiming at resolving the question such as accessing bottleneck, load balance of Grid Service, we advise a replica creation approach of Grid Service with state based on Virtual Workshop called Ragsres. Ragsres implements the replication of software and hardware environment using customized trait and well executing separation attribute of Virtual Workshop. It accomplishes the replication of Grid service memory state based the snapshot of Virtual Machine Monitor. The approach realizes the replication of resources with state, which adopting modeling technology of Web service.

Key words: grid service; virtual workshop; virtual machine monitor; replica creation

1 引言

目前, 网格技术一般采用 OGSA (Open Grid Services Architecture) 模型. OGSA 模型要求网格资源和功能能够完全面向 web 服务, 按照 web 服务的形式来实现, 并能够将服务所用到的资源完全封装在服务之下. 在 OGSA 模型下, 仍然会面临诸如要求就近访问网格服务、消除访问网格服务瓶颈、解决网格服务的超负荷和负载均衡等问题. 这就要求网格技术能够实现对网格服务进行复制. 网格服务副本复制需要考虑对网格服务运行时的状态进行复制: 包括网格服务运行所需的软件环境、硬件环境、网格服务运行的内存状态等.

现有网格中的副本复制技术多讨论的是针对数据、文件资源等静态无变化的副本进行复制, 无法解决网格

服务副本复制中的相应问题, 并且目前国内外对网格服务副本复制技术相关研究亦很少.

本文针对网格服务副本复制技术进行了深入研究. 为了便于讨论, 本文将已有的网格中副本复制称为无状态的副本复制, 将网格服务副本复制称为有状态的副本复制. 本文对有状态的网格服务副本复制所涉及的各种状态进行了深入分析, 充分考虑了网格服务所需的环境和网格服务及资源状态不断变化的特点, 提出了一种基于虚拟工作空间的有状态网格服务副本复制方法——Ragsres. Ragsres 将网格服务抽象为网格服务本身以及网格服务的状态, 利用虚拟工作空间良好的执行分离属性和对执行环境可定制化的特性, 实现了对网格服务运行所需的软硬件环境的搭建和复制; 根据虚拟机监控快照技术的数据转换原理, 完成了网格服务内存状态的复

收稿日期: 2007-08-10; 修回日期: 2008-04-22

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60873068, 60673139, 60703068); 辽宁省教育厅高等学校科研项目计划(No. 20060349); 沈阳市科学技术计划项目(No. 1063305 F-00(061833))

制;采用了 web 服务的有状态资源模拟技术,实现了有状态资源的状态复制.

2 相关技术

2.1 虚拟工作空间

虚拟工作空间^[1-3](Virtual Workshop, VW)是一种典型的虚拟化技术,能够按照用户的需求构造可定制的应用环境.它所使用的虚拟机技术拥有突出的隔离执行特性,使其能够以一种非常灵活而又可控的方式在资源上进行部署.类似的虚拟化技术还有虚拟机工厂^[4],但虚拟机工厂将虚拟机的配置和部署结合到了一起,不利于所需环境的灵活配置.

虚拟工作空间采用 XML Schema 进行描述,包含配置好的自动配置信息、软件模块信息、配置信息及网络接口信息等.虚拟工作空间使用的虚拟机^[5]技术实现了对物理主机的一种抽象,运行在主机上的虚拟机监控程序(Virtual Machine Monitor, VMM)能通过截取和模拟客户机发出的特权指令来创建和管理多个分离的虚拟机, VMM 还提供了接口允许网格用户开始、暂停、停止和恢复多个虚拟机,虚拟工作空间可认为是这样一组 VMM 的集合.虚拟机的状态可以被序列化成虚拟机映像,虚拟机映像的配置可以反映虚拟工作空间的软件需求.

虚拟工作空间由虚拟工作空间信息服务、配置服务和部署服务组成,其形式化描述为:

$\langle \text{VirtualWorkshop} \rangle ::= (\langle \text{InformationService} \rangle,$

$\langle \text{ConfigurationService} \rangle, \langle \text{DeploymentService} \rangle)$

$\langle \text{InformationService} \rangle$: 虚拟工作空间信息服务,包含已经配制好的虚拟工作空间的详细描述和一些基本属性.

$\langle \text{ConfigurationService} \rangle$: 虚拟工作空间配置服务,可以按照默认配置或用户需求构造形式化的虚拟工作空间.

$\langle \text{DeploymentService} \rangle$: 虚拟工作空间部署服务,负责将形式化的虚拟工作空间部署并绑定在物理资源上.

2.2 副本复制技术

现有的副本管理服务^[6]是数据网格的重要组成部分,其作用是对数据资源副本的复制、发布、发现及选择等进行统一管理.其中的副本复制是对文件、对象^[7]、海量数据、广域数据^[8]等数据副本进行复制,它注重的是资源在什么位置进行复制,使用什么策略能够更快地复制文件,如何更快的传输副本,其复制过程较简单.

在传统副本管理中研究者更多讨论的是副本复制后副本的发布、发现及选择策略和方法^[6-8].一般包括副本管理、副本目录管理、副本选择几部分,其中副本管理又可分为复制管理和 GridFTP 传输服务;副本目录管理记录每个资源有多少个副本,副本资源的位置信息等;副本选择从查找到的所有副本中选择最佳副本.

3 Ragsres 的体系结构

本文将网格服务抽象成网格服务本身及网格服务的状态.网格服务本身是指网格服务的主体程序、接口等,网格服务的状态是指网格服务运行所需的软硬件环境、网格服务使用的有状态资源的状态、网格服务的内存状态等.因此在有状态的网格服务副本复制中,如何实现网格服务状态的复制成为关键.

3.1 网格服务

有状态资源^[9,10]:有一定生命周期的能够被一个或多个网格服务认知和检测的包含一组用 XML 文档表示的有状态数据的网格资源.

网格服务:通过标准化的 Web 服务接口与用户进行交互,并能够主动调用相关的有状态资源完成相应功能的一组可执行代码集合.

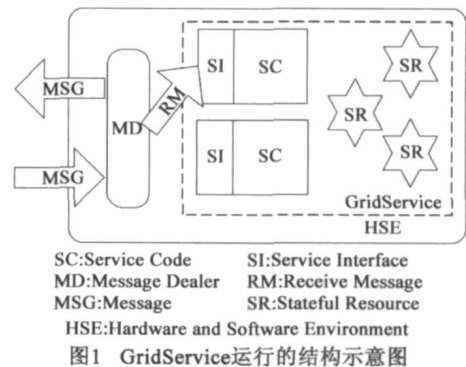


图1 GridService运行的结构示意图

图 1 是网格服务 (GridService) 运行的结构示意图,其形式化描述如下:

$\langle \text{GridService} \rangle ::= (\langle \text{SC} \rangle, \langle \text{SI} \rangle, \langle \text{SR} \rangle)$

$\langle \text{SC} \rangle$: 网格服务的主体程序,是无状态的一些类文件的集合,运行中需要通过标准网格服务接口访问和操作内部的 SR,控制 SR 状态的改变.

$\langle \text{SI} \rangle$: 网格服务的接口,按照 web 服务描述语言进行定义,包含网格服务所能提供功能的详细描述,接收 SOAP 消息按统一格式对 SC 进行访问.

$\langle \text{SR} \rangle$: 网格服务内部的有状态资源,是一种网格资源,能够与网格服务进行交互,进行一些有状态的操作,并发送结果或消息给 SC.

网格服务运行时的状态 (ServiceState) 包括网格服务运行所需的软件环境、硬件环境、SR 的状态、SC 运行时的内存状态:

$\langle \text{ServiceState} \rangle ::= (\langle \text{HSE} \rangle, \langle \text{SRState} \rangle, \langle \text{SCState} \rangle)$

$\langle \text{HSE} \rangle$: 网格服务运行所需的具体软、硬件环境 (SE, HE),包括硬盘、内存、网络带宽和 Web 服务器等.

$\langle \text{SRState} \rangle$: SR 的状态,如文件系统中文件的内容,关系数据库表中的一条记录,或 EJB 对象的属性值等.

$\langle \text{SCState} \rangle$: SC 运行时的内存状态,包含网格服务运行时

的变量值、堆栈数据和 PC 计数器值等。

在相同主机环境下包含多个网格服务时, 网格服务消息处理机制能够将每条消息与其对应的网格服务关联起来, 以便有效的防止消息接收的混乱与丢失。

〈MD〉: 消息处理器, 为同一主机环境下的多个网格服务转发消息, 按照解析出的网格服务标识把消息发送给对应的网格服务。

MSG: 发送给网格服务所在主机的 SOAP 消息。

RM: 分发到目标网格服务的消息。

3.2 Ragsres 的体系结构

Ragsres 处于 OGSA 架构中的第三层, 可以分解为复制管理服务、信息获取解析服务、硬件配置服务、软件配置服务、网格服务程序及状态复制服务。Ragsres 的体系结构图如图 2 所示。

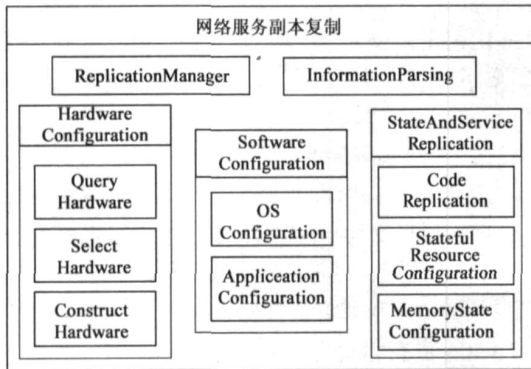


图2 Ragsres的体系结构图

Ragsres 的体系结构形式化描述如下:

〈Ragsres〉 ::= (〈ReplicationManager〉, 〈InformationParsing〉, 〈HardwareConfiguration〉, 〈SoftwareConfiguration〉, 〈StateAndServiceReplication〉)

〈ReplicationManager〉: 复制管理服务, 是 Ragsres 的入口, 负责调度和协调各个子服务的运行。在一定条件下, 能够自动触发网格服务副本复制。

〈InformationParsing〉: 信息获取解析服务, 用来从 MDS4 (使用 Globus Toolkit 4 实现的目录索引服务) 中获取网格服务注册的各种信息。

〈HardwareConfiguration〉: 硬件配置服务, 用来搭建和配置硬件环境 (HE), 只能获取现有的硬件资源并加以改造。硬件配置服务能够在没有查找到合适资源时, 通过谈判从某个安装有 VMM 的主机上创建一个满足硬件需求的虚拟机, 提供硬件服务。

〈SoftwareConfiguration〉: 软件配置服务, 为网格服务配置所需的软件环境 (SE), 包含网格服务自身所需的 SE 和有状态资源所需的 SE。网格服务自身需要的 SE 主要是操作系统和服务容器, 有状态资源需要的 SE 是其能够存在和进行操作所依托的软件。软件配置服务通过使用虚拟机硬盘映像或直接安装软件来达到软件配置

的目的。理想情况是通过广域环境的多台主机上的资源构建 SE。

〈StateAndServiceReplication〉: 网格服务程序及状态复制服务, 实现了网格服务程序 (SC)、服务内存状态 (SCState) 和有状态资源状态 (SRState) 的复制。

硬件配置服务、软件配置服务和网格服务程序及状态复制服务也包含多个子服务, 每个子服务的功能将在下一部分进行详细的介绍。

4 Ragsres 的复制方法

Ragsres 需要对网格服务的四种状态进行复制。当完成各种状态及网格服务主体程序复制后, 就完成了网格服务副本复制。网格服务副本复制后, 其副本的发布与定位方法同无状态副本管理中的副本发布与定位方法, 本文不再描述。

4.1 Ragsres 的准备工作

对网格服务进行复制, 必须先取得原网格服务的原始信息, 信息采集工作由信息获取解析服务来完成。信息获取解析服务可以自动查询和获取指定网格服务注册的软硬件信息, 并能按照需求解析文档的部分或全部内容。文档中包含的硬件信息一般包括内存大小、硬盘大小、网络带宽等, 软件信息包含操作系统和应用程序的类型、版本等。

复制管理服务以原网格服务的标识符作为输入, 需要调配各个子服务的运行, 同时它还负责安全认证和事务处理, 安全和事务不在本文的讨论范围之内。

4.2 硬件环境的复制

Ragsres 中硬件环境的“复制”实质上是指对现有的硬件资源的获取和改造, 其形式化描述为:

〈HardwareConfiguration〉 ::= (〈QueryHardware〉, 〈SelectHardware〉, 〈ConstructHardware〉)

〈QueryHardware〉: 硬件查询服务, 查询符合条件的虚拟工作空间或硬件资源。当内存、硬盘、网络等所需全部硬件条件均满足时, 才算查到一真正可用的资源。

〈SelectHardware〉: 硬件选择服务, 从查找到的资源集合中选择一个最佳的硬件环境。选择标准如下: 硬件资源主机上的操作系统类型和版本与所需系统匹配, 优先选择; 硬件资源来自虚拟工作空间, 拥有虚拟机监控程序, 优先选择; 硬件扩展空间大 (资源的容量比需要的容量大得多) 的资源, 优先选择。

〈ConstructHardware〉: 硬件构造服务, 负责创建合适的用户硬件环境, 在没有查找到可用硬件的时候才调用, 需要通过谈判来实现。

算法 1 硬件环境的搭建算法

Step1 调用信息获取解析服务获得原网格服务的硬件信息。

Step2 调用硬件查询服务在虚拟工作空间服务中查找符合原服务硬件需求的已经配置好的可用虚拟工作空间. if(虚拟工作空间的配置高于或等于原服务硬件配置)Step7.

Step3 在 MDS4 中查找可用硬件资源, if(找到可用硬件资源)Step7.

Step4 调用硬件构造服务, 构造符合原服务需求的最小虚拟工作空间.

Step5 调用虚拟工作空间的部署服务, 将虚拟工作空间部署在广域范围内多台机器的硬件资源上. if(部署成功), 报告硬件搭建成功, Step8.

Step6 报告硬件搭建不成功, 回滚, Step8.

Step7 if(可用虚拟工作空间或可用硬件资源不唯一)调用硬件选择服务, 报告成功.

Step8 结束.

Step4 中的硬件构造服务将硬件需求传递给虚拟工作空间服务创建一个新的虚拟工作空间. 新的虚拟工作空间将包括多个虚拟机, 创建过程必须通过 VMM 所在主机环境的允许和授权才能进行, 在这里我们假设已经进行了完全无限制的授权. 硬件构造过程中, 硬件构造服务检查主机的硬件是否满足需要, 满足则调用 VMM 创建需要的虚拟机, 不满足则挑选其他主机. 如果主机环境满足要求但不包含 VMM, 硬件构造服务会在主机上自动安装 VMM. 在成功创建后还需要进行网络配置, 可以通过使用外网 IP、共享主机 IP 或虚拟网络来实现.

4.3 软件环境的复制

软件环境的复制由软件配置服务来实现, 其描述形式如下:

$\langle \text{SoftwareConfiguration} \rangle ::= (\langle \text{OSConfiguration} \rangle,$
 $\langle \text{ApplicationConfiguration} \rangle)$

$\langle \text{OSConfiguration} \rangle$: 操作系统配置服务, 主要完成在新搭建的硬件环境中配置与原服务相同的操作系统. 如果操作系统的类型不同, 则所需的文件和组件复制之后无法使用.

$\langle \text{ApplicationConfiguration} \rangle$: 应用程序配置服务, 主要用来复制网格服务和有状态资源需要的应用程序. 关于应用程序的信息, 是无法在 MDS4 中查到的, 我们通过和原网格服务的接口进行信息交换并在全局元素声明 (GED) 中查找原网格服务的资源属性文档, 获取软件的类型和版本, 然后进行复制和重构.

算法 2 操作系统的复制算法

Step1 调用信息获取解析服务获得原网格服务的操作系统类型和版本信息.

Step2 检查已经配置好的硬件环境的操作系统类型和版本, if(类型相同) 报告成功, Step10.

Step3 搜索虚拟工作空间信息服务(包含有系统模块

和应用程序模块的名称、位置和绑定的设备等信息), if(搜索到有相同操作系统类型和版本的虚拟工作空间后)将操作系统模块文件进行克隆并传回 else Step6.

Step4 if(硬件环境上不包含 VMM)由操作系统配置服务自动安装 VMM.

Step5 由 VMM 将传回的系统模块进行加载. 转 Step8.

Step6 在 MDS4 中搜索所需系统的 ISO 映像文件, if(没有搜索到 ISO 文件)报告失败进行回滚, Step10.

Step7 缓慢安装 ISO 镜像文件.

Step8 操作系统配置服务调用虚拟工作空间部署服务为新的系统安装各种硬件驱动程序(这些驱动都来自于 VMM 所在的主机, 如 VMware^[11]中是通过 VMware Tools 来完成这一任务的).

Step9 if(驱动安装成功)报告成功.

Step10 结束.

应用程序复制不同于一般文件复制, 大多为安装态, 需要借助虚拟工作空间服务通过添加虚拟硬盘映像来实现.

算法 3 应用程序的复制算法

Step1 调用应用程序配置服务, 使其与原网格服务通过接口进行信息交换以获得原服务的应用程序的类型和版本.

Step2 检查已经配置好的操作系统上是否装有 VMM, if(没有 VMM)进行自动安装.

Step3 在本地主机上查找安装有这些应用程序的硬盘, if(存在)将这些硬盘映射为 VMM 的虚拟硬盘, 报告成功, Step7.

Step4 在虚拟工作空间信息服务中查找是否有安装这些应用程序的虚拟工作空间, if(存在)将他们的虚拟硬盘映射为自己的虚拟硬盘, 报告成功, Step7.

Step5 在 MDS4 中查找是否有装有 VMM 的机器上有需要的应用程序, if(存在)将硬盘映射为自己的虚拟硬盘, 报告成功, Step7.

Step6 在 MDS4 中查找需要的应用程序的 ISO 镜像文件, if(存在)通过 VMM 在虚拟机上安装 else 报告失败进行回滚.

Step7 结束.

4.4 网格服务及其状态的复制

网格服务本身、有状态资源的状态和内存状态的复制由网格服务程序及状态复制服务来完成, 本文将其形式化描述如下:

$\langle \text{StateAndServiceReplication} \rangle ::= (\langle \text{CodeReplication} \rangle,$
 $\langle \text{StatefulResourceConfiguration} \rangle, \langle \text{MemoryStateConfiguration} \rangle)$

$\langle \text{CodeReplication} \rangle$: 网格服务程序复制服务, 能够完成网格服务主体程序及有状态资源的复制. 它们是无状态的, 可以通过调用无状态副本复制来完成

《StatefulResourceConfiguration》: 有状态资源配置服务, 主要完成有状态资源的状态复制. 有状态资源的状态用资源属性文档进行描述, 文档放在 GED 中, 资源的每一个有状态数据用资源属性文档的一个元素来表示.

资源属性文档实际上是有状态资源的映射, 文档定义了网格服务调用者能够直接进行查询和更新的结构, 任何通过资源属性文档进行的操作都会直接反映到有状态资源上.

《MemoryStateConfiguration》: 内存状态配置服务, 用来复制内存中的数据. 虚拟工作空间的 VMM 提供一种 snapshot 功能, 它能将虚拟机的内存数据热拷贝并存储在虚硬盘上, 然后将其复制到新的虚拟机上, 再由 VMM 加载 snapshot 来恢复内存.

算法 4 网格服务及状态的复制算法

Step1 调用网格服务程序复制服务对网格服务进行复制(包括对 SC、SI 和 SR 的复制).

Step2 调用有状态资源配置服务, 在 GED 中查找原网格服务的资源属性文档.

Step3 将资源属性文档读取并复制到新复制好的软件环境中, 与相关的应用软件和有状态资源建立映射关系.

Step4 按照资源属性文档的内容重新构造有状态资源的状态.

Step5 检查原网格服务的状态, if(服务处在非运行态) Step8.

Step6 调用内存状态配置服务, 将现有内存数据做成 snapshot 拷贝存储在硬盘上.

Step7 将 snapshot 复制到新搭建的环境上, 由 VMM 加载到虚拟内存中, 对内存数据进行恢复.

Step8 结束.

4.5 Ragsres 的调用过程

Ragsres 的调用过程如图 3 所示. 当 Ragsres 满足一定条件时(如访问服务的用户数达到预先设定的某个值时), 触发复制管理服务进行复制, 调度过程如下:

(1) 复制管理服务调用硬件配置服务, 通过信息获取解析服务获得注册的硬件信息. 硬件配置服务先在虚拟工作空间然后在 MDS4 中查找可用硬件, 如不成功与主机进行谈判.

(2) 复制管理服务调用软件配置服务接收硬件配置服务结果, 并通过信息获取解析服务获得注册的软件信息, 按照软件要求完成操作系统和应用程序的配置.

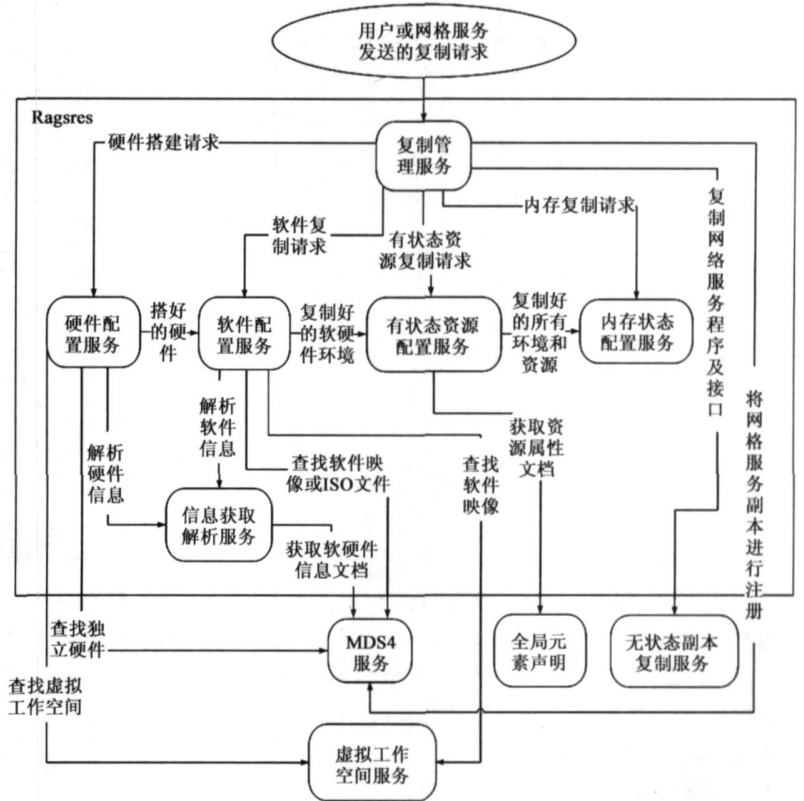


图3 Ragsres的调用图

(3) 复制管理配置服务调用网格服务程序及状态复制服务来完成原服务代码、有状态资源和内存数据的复制.

5 实验及其分析

实验使用 4 台微机构成一个分布环境进行模拟: CPU 2.4G、内存 1G、硬盘 80G、100M 集成网卡. 其中 a 机器装有 LINUX 操作系统、Globus 工具包, 用来实现 MDS4 服务; b 机器装有 Windows2003 Server 操作系统及作为原服务的网格服务, 原网格服务需要对 Word 和 access 数据库进行操作; c 机器作为新服务的承载机, 装有 WindowsXP 并且创建了一个包含 Windows2003 Server 操作系统的虚拟机和一个没有系统的虚拟机; d 机器安装了 Windows2000, 虚拟机上装有 word 和 access 及 Windows2003 Server 的 ISO 镜像文件. 实验结果如表 1.

表 1 不同复制环境下 Ragsres 的复制时间

服务运行环境所需硬件	VM 操作系统与所需操作系统	VM 上安装 word	VM 上安装 access	复制完成时间
不存在	/	/	/	超时
存在	不适合	未安装	未安装	37 分 12 秒
存在	适合	未安装	未安装	12 分 23 秒
存在	适合	已安装	未安装	5 分 6 秒
存在	适合	已安装	已安装	35 秒

实验表明, Ragsres 能够较好的完成网格服务副本的复制任务. 当所需软硬件条件完全满足时, 在装有操作系统的虚拟机上复制仅需 30 多秒, 而在没有操作系统的虚拟机上复制则需 20 多分钟, 操作系统的复制成为决定网格服务副本复制性能高低的一个重要因素.

图 4、图 5 显示了对同一个网格服务在使用和未使用 Ragsres 时的测量结果.

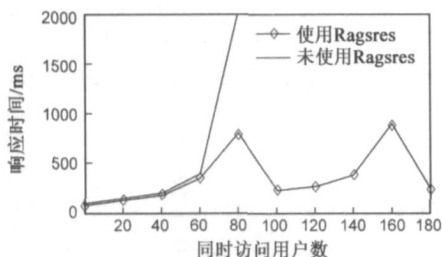


图4 用户同时访问的响应时间

在图 4 中, 未使用 Ragsres 时, 当同时访问网格服务的用户数小于 60 的情况下响应时间较少, 当用户数达到 80 后, 服务处于超负荷状态, 响应时间迅速增加. 而使用 Ragsres 后, 当访问用户数接近 70 时开始对网格服务进行复制, 复制成功后一部分用户转向访问网格服务的副本, 由于网格服务的用户访问数减少, 响应时间迅速降低. 因此 Ragsres 可以较好地解决访问瓶颈的问题.

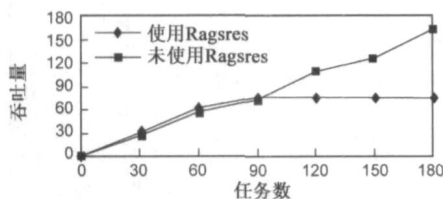


图5 Ragsres的吞吐量

图 5 是在使用和未使用 Ragsres 时吞吐量的比较, 未使用 Ragsres 时, 网格服务只有一个, 随着任务不断增加, 吞吐量增大最终达到饱和. 使用 Ragsres 后, 当吞吐量趋近饱和的时候可以通过复制出新的网格服务来成倍提高整体的吞吐量.

6 结论及展望

本文提出的 Ragsres 是一种全新的副本复制方法, 能够对有状态的网格服务进行复制, 而原网格副本复制技术只能进行无状态的副本复制, 这是二者最大的区别. Ragsres 完成了对网格服务所需硬件环境的搭建、软件环境的复制、网格服务程序代码、有状态资源的状态和内存状态的复制. Ragsres 在所需资源是安装态的情况下, 能够在很短的时间内完成复制任务, 为网格服务的复制提供了一种参考的方法. Ragsres 能够解决网格服务的过载和访问瓶颈问题. 在以后的工作中, 我们会继续完善安全和事务方面的功能, 并考虑当原服务进行更新时, 复制的新服务如何进行更新的问题.

参考文献:

- [1] K Keahey, K Doering, I Foster. From sandbox to playground: dynamic virtual environments in the grid[A]. In Proceedings of the Fifth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing[C]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004. 34-42.
- [2] K Keahey, I Foster, et al. Virtual workspaces in the grid[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3648: 421-431.
- [3] K Keahey, I Foster, et al. Virtual workspaces: achieving quality of service and quality of life in the grid[J]. Scientific Programming, 2005, 13(4): 265-275.
- [4] I Krsul, A Ganguly, et al. VMPlants: providing and managing virtual machine execution environments for grid computing[A]. In Proceedings of the ACM/IEEE SC2004 Conference on Supercomputing[C]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004. 7-19.
- [5] R Figueiredo, P Dinda, J Fortes. A case for grid computing on virtual machines[A]. In Proceedings of the 23th International Conference on Distributed Computing Systems[C]. Washington, DC: IEEE Computer Society Press, 2003. 550-559.
- [6] K Ranganathan, I Foster. Identifying dynamic replication strategies for a high performance data grid[A]. Proceedings of the Second International Workshop on Grid Computing[C]. London, UK: Springer-Verlag, 2001. 75-86.
- [7] H Stockinger, A Samar, et al. File and object replication in data grids[J]. Journal of Cluster Computing, 2002, 5(3): 305-314.
- [8] A Chervenak, R Schuler, et al. Wide area data replication for scientific collaborations[A]. In Proceedings of 6th IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing[C]. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005. 1-8.
- [9] I Foster, J Frey, et al. Modeling Stateful Resources with Web Services[OL]. http://www.ibm.com/developerworks/library/ws_resource/ws_modelingresources.pdf, 2004-03-05.
- [10] K Czajkowski, D Ferguson, et al. The WS-Resource Framework[OL]. http://www.globus.org/wsrfl/specs/ws_wsrfl.pdf, 2004-03-05.
- [11] VMware[OL]. <http://www.vmware.com>, 2007-07-20.

作者简介:



宋宝燕 女, 1965年7月出生于辽宁省开原市. 博士, 教授, 计算机学会高级会员. 主要从事网格技术、分布数据库技术、数据流技术和数据库技术等方面的研究工作.
E-mail: bysong@hu.edu.cn

李旭峰 男, 1979年4月出生于辽宁省盖州市. 2005年进入辽宁大学计算机软件与理论专业攻读硕士研究生, 从事网格技术研究.

E-mail: wangyi123@netease.com