

网格服务创建方法及其在普适计算中的应用*

贺红¹⁺, 龚蓬¹, 林宗楷²

¹(山东大学威海分校 信息工程学院, 山东 威海 264209)

²(中国科学院 计算技术研究所, 北京 100080)

A Method of Creating Grid Service and Its Application in Pervasive Computing

HE Hong¹⁺, GONG Peng¹, LIN Zong-Kai²

¹(School of Information Engineering, Shandong University at Weihai, Weihai 264209, China)

²(Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

+ Corresponding author: E-mail: hehong@sdu.edu.cn

He H, Gong P, Lin ZK. A method of creating grid service and its application in pervasive computing. *Journal of Software*, 2006,17(Suppl.):192-199. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/s192.htm>

Abstract: By means of exposing the internal relationships between open Grid service architecture and pervasive applications, the fundamental theories and common methods of using transient Grid services to support pervasive computing are put forward. This paper shows how to construct standard interfaces, abstract basic functions, deploy runtime environment, integrate application systems and design transient services in engineering practice. The research background is a tax Grid engineering of services-oriented architecture which is described in detail. Experimental results show that this method is of simple, efficient and good at security, and transient Grid services can be used at all times and all places providing satisfied flexibility and adaptabilities to clients.

Key words: OGSA; transient service; pervasive computing; software deployment

摘要: 通过研究普适应用对网格计算平台的内在需求,提出了在网格中创建大量瞬时服务以支持普适计算的理论与方法,给出了可重用的基本模块化网格服务的创建方法,包括构造标准化接口、抽象基本功能、部署运行时环境、集成应用系统以及在工程实践中设计瞬时服务的侧重点,并且在一个明确的网格工程背景下验证了该方法的简单、高效和安全性,瞬时服务随时随地可用,为用户提供了满意的服务。

关键词: 网格;瞬时服务;普适计算;软件部署

普适计算使计算和信息服务以适合人们使用的方式普遍存在于我们的周围,以往相互隔离的信息空间和物理空间相互融合在一起,在这个融合的空间中,人们可以随时随地、透明地获得计算机系统的服务。网格是迄今为止我们能够找到的支持普适计算的最佳平台。网格架构(architecture)技术是一种如何构造网格的技术。虽然开放的网格服务架构(OGSA)有光明的应用前景,但是很少有文献明确地讨论在构造网格过程中具体的技术问题和实际的实施方案。如果不研究这些问题,将很难使用网格技术构造大规模的应用系统,也无法使用网格平台支持普适计算。因此,我们在网格平台上针对普适计算的特点研究应用软件开发与部署技术,提出了在网格中创建大量瞬时服务^[1]以支持普适计算的理论,并在工程实践中进行了检验。

* Received 2006-03-30; Accepted 2006-10-20

服务是一种通过信息交换来提供给客户某种能力的实体.服务可以定义为导致服务执行某些操作的特定信息交换的序列^[2].在开放的网格服务架构中,内部实体都是服务,网格={网格服务},网格上的软件开发过程实际上就是构造并部署网格服务的过程.由于服务操作可以只按照信息交换来定义,这给如何实现服务及放置服务带来了很大的灵活性,也为支持普适计算提供了机制.

为促进网格应用向支持普适计算的方向发展,我们讨论在 OGSA 网格项目实施中构造网格服务以及创建瞬时服务支持普适计算的实用性技术.OGSA 支持两种创建网格服务实例的方法:其一,Web 服务本身就可以作为用 XML 开发的网格服务^[3],其二是通过 GT3 支持的标准的 CreateService 接口封装应用程序成为一个网格服务^[4].

尽管 Web 服务天生就是一种网格服务,但是网格服务与 Web 服务是不同的,其最大的区别在于:网格服务可以是瞬时的、短暂的,它是作为基础结构正常操作的一部分而创建的.我们提出的方法是在网格中创建大量瞬时服务,能够识别和感知用户以及他们的动作和目的,理解和预测用户在完成任务过程中的需求,使用户能够方便地以各种移动设备与信息源进行交互,并且在一个明确的工程背景下验证了该方法的可行性和稳定性.

文章第 1 节描述了基本的模块化网格服务的创建方法,包括构造标准化接口、设计基本功能、部署运行时环境、应用系统集成以及为支持普适计算而设计的瞬时服务.第 2 节作为研究的工程背景给出了一个税务网格实施方案.第 3 节是实验,最后是结论.

1 在 OGSA 架构中创建瞬时服务支持普适计算

1.1 服务的接口和功能

在 OGSA 里,一切都表示为网格服务,或者说,一个符合一组约定的服务可以用于如生命周期管理、功能发现和通知等目的.OGSA 的不同功能可以通过不同的网格服务接口实现,这些可用的接口和相关机制是:

(1) GridService 是唯一必需的且特别重要的一个 OGSA 服务接口.OGSA 维护着一个内部的软件状态并且定义两个标准操作:Destroy 操作和 SetTermination Time 操作,以管理网格服务的生命期限.在 GridService 接口内部定义了一个标准的 WSDL(Web service description language)操作 FindServiceData,用于查询和搜索服务数据,包括:

Interface

ServiceDataName

FactoryLocator

GridServiceHandle(GSH)

GridServiceReference(GSR)

FindServiceDataExtensibility

SetServiceDataExtensibility

TerminationTime

尽管也可以包括其他接口,但是 GridService 规定了每个开放网格服务基础设施(OGSI)兼容的服务都必须支持的基本操作.

(2) HandleMap 接口将 GSH 映射到 GSR.

(3) Register 接口支持服务发现,该接口主要用于注册一个 GSH,而在 GridService 接口中的操作 FindServiceData 主要用于搜索 GSH 注册的消息.

(4) Factory 接口是创建新的网格服务实例的标准操作.CreateService 操作能够生成一个网格服务,返回其 GSH 和最初的 GSR.

(5) PrimaryKey 是提供给客户以查询某个特殊的网格服务实例的接口.

(6) NotificationSource/NotificationSink 接口用一种标准方式管理客户订阅通知消息/发送通知消息给实现该操作的服务实例.

(7) UpdateManagement 及其他接口提供操作使分布在一个复杂系统中的服务能够各自独立地被更新。

1.2 运行环境

虽然 OGSA 定义了网格服务实例的语义,但是它无须知道服务做什么和服务如何执行.实际上,网格服务在给定的运行环境或宿主机环境中要被初始化.给定的环境不仅包括编程模型、程序设计语言、SDK 以及调试工具,而且还包括如何按照网格服务的语义要求实现服务,如图 1 所示。

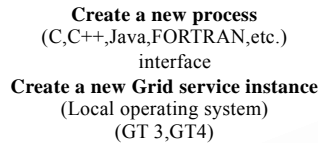


图 1 创建网格服务

另一方面,Web 服务可以在一个复杂得多的框架中或基于组件的运行环境中开发,如 J2EE,WebSphere,.NET 或 SUN One 等.在框架中,所有相关组件都被初始化并且组合起来实现复杂的应用,如图 2 所示。

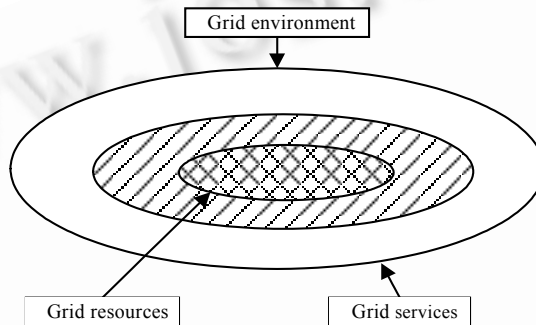


图 2 网格资源、网格服务和环境之间的关系

1.3 构建基本的模块化网格服务

网格不仅是一种应用,而且也是一种框架,使得我们能够动态地分配、再分配、平衡和管理大量的服务.从逻辑上看,部署 OGSA 框架需要解决内部集成、外部集成、多渠道应用以及改变业务工作类型等 4 方面的问题。

开发面向服务的应用需要采取下列步骤:

(1) 了解哪些流程可以转化为服务。

(2) 构建应用流程中心库.这些流程来自于被设计成一组服务的业务应用,是一个依赖于工作经验积累的过程。

(3) 确定适当级别的服务粒度,以确保服务可以有效地重用.粒度过细会导致服务过于具体而无法使用;粒度过粗又会导致服务过于笼统而无法使用。

(4) 培育重用文化是长期成功地总结及利用业务流程所必不可少的.它使组织能够把流程作为定义明确的一组服务来交付,而且很容易把这些服务提供给开发人员。

作为一个天生就是分布式的模型^[5],GT3 支持的面向服务的基础结构当然在服务的提供者之间而非单个服务内部以一种逻辑方式存在.一种纯粹的面向服务架构可能是这样的应用架构:每项功能都被定义成独立的服务,它们都具有良好定义的调用接口,可以按照业务流程需要的顺序被依次顺利地调用^[6].当我们在税务网格中使用 Web 技术来实现面向服务应用时,就可以得到一种新的软件构建方法.这种方式灵活、功能强大,而且能够降低开发成本并拥有成本,减少系统实施风险.面向服务的第一个也是最明显的部分就是面向业务的原子服务^[7],更加复杂和先进的功能可以逐渐添加到服务集合中.SOA 的最终目标不是创建服务,甚至不是建立 SOA 基

基础设施,而是基于服务实现一组新的、动态的功能,为组织在开展业务方面提供竞争优势。

创建基本的模块化网格服务有以下途径:

(1) 从头开始编写服务.这个选择也许适合现在正在开发全新系统或者改写应用软件的公司.大多数现代化编程环境和开发工具都提供了构建 Web 服务或网格服务的方式,不过易用性方面差异很大.此方法的优点是可以通过可重用性的最大化来创建服务.缺点是需要最大的投入。

(2) 将现有的代码改写成面向服务.如果只有接口逻辑出现了变化,通常没必要重新测试底层业务规则,这就减少了转换成本。

(3) 对现有的应用或者流程加以“封装”,为它们提供网格服务接口.封装方法具有几个优点:首先,底层系统本身不用改动,当然也不用重新测试.其次,可以采用任何级别的粒度进行封装,既可以为数据查询这样的简单应用创建服务,也可以把整个订单录入流程封装成一项服务.如果需要,较低级的服务也可以方便地组合成较高级的流程.第三,在大多数情况下,这种方法是把现有资源引入面向服务环境,快捷、稳便地带来最大投资回报的途径.最后,对于无法查看源代码的套装应用而言,这是让系统成为网格服务的唯一可行途径。

(4) 从套装的应用和系统中获得网格服务,这些系统在交付时随带即开即用的网格服务支持功能.各大 ERP 和 CRM 厂商已把各自的应用程序接口 API 改用面向网格服务或者提供基于 Web 服务的 API。

(5) 从第三方获得服务.让外部厂商提供服务执行的功能同样具有商业意义。

服务具有技术中立性,采用哪种技术来编写并不重要.服务也与用来实施服务的语言无关,采用相互兼容的标准方式来提供及联系服务,这是基于 Web 服务的 OGSA 有别于其他技术的一个主要特点。

根据自身的信息化特点和现实需求,企业可以有选择地决定企业创建与实施网格服务的具体途径和步骤,不必局限于上述某一种方法.在税务网格系统项目实施中,我们分别使用了上述第(1)~第(4)种方法来创建服务,使用次序由业务工作流程的需求来确定,依次为(4)、(3)、(2)和(1)。

为了构造 OGSA 需要完成 3 部分的工作:

- 定义和创建网格服务
- 建立注册中心
- 管理网格服务

当面向主要业务流程完成了定义和创建网格服务之后,在应用中,基于支持普适计算的需求通常还需要增加数据查询服务、数据分析服务以及生成格式化报表的服务等便于用户随时随地获取的服务.这些服务的设计基于业务人员对系统功能全面的了解和对用户需求的深刻理解和预测。

尽管网格技术提供了一个几乎完美的支持普适计算的平台,但是它并不能给所有人提供所有想要的东西.我们所能提供的支持普适计算的服务的核心可能仅仅是一个简单的、低层次的、易于实现的网格服务集合,这个简单核心服务集合应该能被组合成更加复杂的服务,并且产生更加复杂的结果.所以我们不必为所有的人准备好所有的服务,而是关注业务本身,仔细地定义虚拟组织结构和核心服务,通过准确定义 20%的核心服务来满足 80%的普适计算需求。

1.4 创建瞬时服务支持普适计算

不久的将来就会有大量的数据源能够通过 Internet 访问网格的应用.普适计算要求我们把网格上的计算能力输送到所有有计算需求的地方,使计算无处不在,无时不有^[8],如图 3 所示.为了实现这样的目标,网格服务应该随时适应用户在不同环境中的移动,使用户携带的移动设备可以无缝地与网格平台上提供的服务进行交互.让我们来看一个税务网格中的例子,一个人想通过手机而不是他上网的个人计算机查询他已缴纳所得税的情况,或为了方便想通过他附近的银行柜员机缴税,这就要求税务网格服务能够监测到这些需求,并能够与这些远程的数字设备进行通信.由于用户可能在查询期间从一个地方移动到另一个地方,所以新的连接不断产生以代替旧的连接,这就要求有新的瞬时服务替代旧的服务对用户需求进行响应。

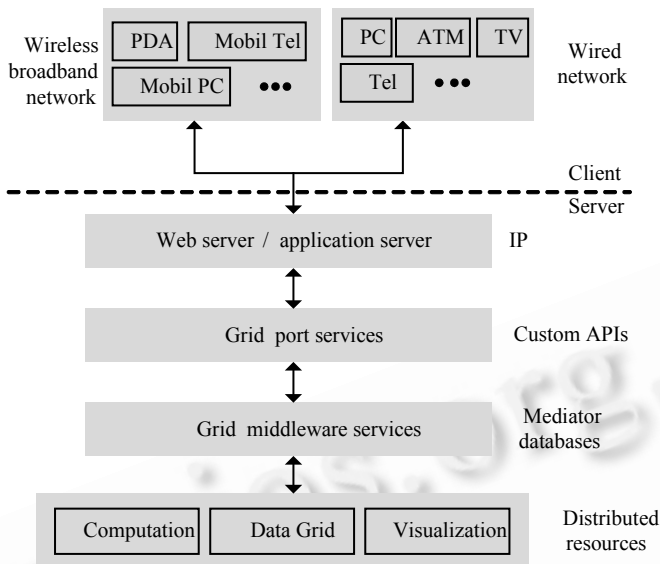


图3 各种数据源通过因特网访问网格服务

虽然现在的 OGSA 与普适计算要求的完美平台还有一些距离^[8],但它是迄今为止我们能够得到的支持普适计算的最可行的架构,因为 OGSA 的目标和普适计算对网络的需求完全一致.在基本的 Web 服务模型中,如果服务创建和撤销采用了超出 Web 服务标准本身所规定的机制,则使用 Web 服务来满足普适计算需求将不够灵活和方便.因为,普适应用的动态性和随机性经常需要初始化新的瞬时服务以满足客户需求,如处理与特定活动状态相关的管理和交互,当活动的状态不再需要时,相应服务可以撤销以节省资源.服务的瞬时性对于服务如何创建、命名、使用和发现有着重大影响.一个直接结果是把网格服务定义与该定义的一个实例区分开来.网格服务描述由定义网格服务接口及相应语义的 WSDL(和 OGS)扩展组成,网格服务实例是相应描述的一个可寻址的实例化服务,它可以是有状态的,也可以是瞬时的.瞬时服务的例子,如数据库查询、数据挖掘操作、网络带宽的分配、正在执行的数据传输和处理能力的预留等.这些方面表明服务可以用来管理大量短暂活动的超轻量级实体.

1.5 应用Agent管理网格服务

对于实施大规模应用而言,可计算网格是一个分布式和异构计算资源的组合,提供一个有效而且可靠的基础结构来管理广域范围内的计算资源和数据资源是一项复杂的任务.对于计算和数据敏感的应用,网格应该提供必需的计算和数据支持能力.在网格内部,许多自治的部件包括计算资源调度、复制管理器、索引系统、监视系统等等必须组合起来对应用提供高层次服务.对于网格来说,一种灵活的结构是每一个组件由一个专门的服务的集合实现,调用许多服务的复杂服务由简单组件互相协作完成.Agent 和多 Agent 系统能够给快速原型法、实验和网格协作的实现形式提供必需的技术支持.我们使用一个能够把概念上的可计算网格和 Agent 联系起来的基于 Agent 的可计算网格(Agent-based computational grid,简称 ACG)^[2],它提供完全分布式的环境,其中 Agent 系统和单个的 Agent 可以加入到一个广域分布的 Agent 团体中,并且使用网格本身的其他成员提供的服务和能力,ACG 允许使用方或请求方 Agent 在一段有限时间区间内动态地描述网格服务.网格成员通过通信空间相互通信,通信空间由元组空间实现.该模型的设计目的是提供一个灵活、有效的网格资源发现系统以在税务网格中协调和管理数量众多的网格服务 Agent(grid service Agents,简称 GSA).一个 ACG 网格服务就是一个能对网格用户提供实际服务的服务 Agent,这些 Agent 在系统中扮演着应用的角色,其计算能够分布在网格中完成.

ACG 体系结构可以看作是能够运行 GSA、服务请求 Agent 和一些基础结构服务的大量节点的合成,网格

成员之间互相合作以完成一项任务^[9,10].使用服务的模型是基于角色的,为了使 GSA 能被增添、更新和在网络中易于移动,需要研究 GSA 的发现机制,这就是网格服务注册(grid service registry,简称 GSR)这一角色,GSR 使用数据库技术,已经注册的服务在库中能被搜索和定位.这样的 GSR 对所有的节点提供了一种简单的、通用的注册服务,而且提供了一种注册数据库里包含最新信息的保证机制,它对节点的失败应该是鲁棒性的,同时,它将维护注册系统需要的网络流量降到最小.GSR 在每个网格节点上使用了一个网格服务管理员(grid service manager,简称 GSM),它在一个固定的、预定义的注册端口上,对所有节点提供一个通用的对 GSR 的访问点.通过在每个网格节点上定位一个服务器,服务请求 Agent 不需要任何局部化的网络信息就能访问 GSR.每个网格节点有一个单独的 GSM,所以系统可以通过服务管理员之间的交互来定义^[11].

2 税务网格工程

2.1 减少资源浪费和提高服务质量的迫切性

在美国现在有 4 个国家税务中心,它们的协同工作保持了数据的高度一致性,从而避免了偷税漏税和其他税务问题.在我国为了保持税务数据的一致性,省级税务中心正在建设之中,在一个省内的所有城市的数据库中心将被这些省级数据中心所取代.当一个省内的所有城市的数据库向省级数据中心集成完毕,市税务局的主要业务设备将成为闲置设备.我们的问题就是如何利用这些高性能的闲置计算机.例如,在山东省有 17 个地市局,原来每一个局里有两台小型计算机作为数据库服务器.在数据集成完成之后,有 34 台小型机被闲置下来.仅对于一个省来说,这就是一个巨大的资源浪费.考虑到资源浪费问题和进一步提高税务服务质量的需求,OGSA 被引入到我们的技术改造方案中来.

2.2 面向服务的基础结构

省级税务网络的拓扑结构如图 4 所示.

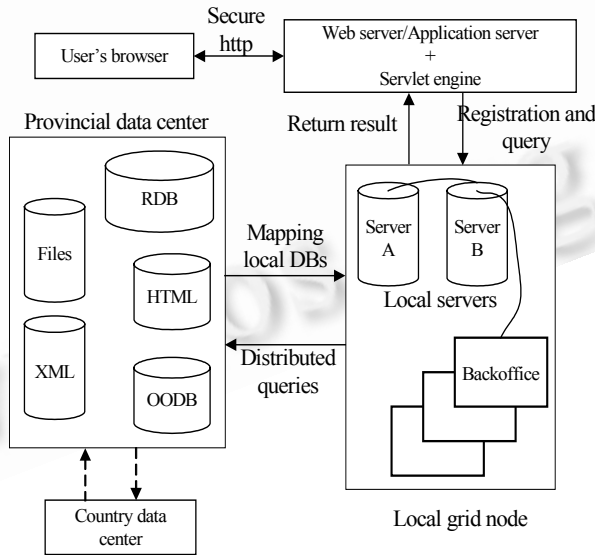


图 4 一个省级税务网络的拓扑结构图

网格中包括 3 种主要的虚拟组织成员:国家数据中心、省级税务中心和分布在全国各城市的地市级网格节点.基于网格的自相似性,我们在图中只描述了省级税务中心和本地网格节点的联结.

作为一个本地税务网格节点,节点上的网格基础结构由 3 部分组成:本地资源服务器、网格服务容器以及网格应用系统.本地资源服务器,作为本地税务网格的基础结构,它们可能是异构的,并且必须符合 GT3 所需要的运行环境,如 J2EE.操作系统可以是 Linux,UNIX 或者 Windows 等任意平台.网格服务容器由网格服务及其他

部分构成. 网格应用系统基于上述开放的网格服务基础结构, 可以在服务器端或客户端开发. 在该系统中, 主要业务工作的应用系统使用 Oracle 其他扩展应用在第 1 节已有详细描述.

当网格环境建立起来以后, 下述工作被逐步部署在网格中:

(1) 图 4 中的服务器 B 是后台办公系统的服务器, 它与服务器 A 连接, 作为本地税务局局域网的服务器主机, 在线支持本地税务系统的网上申报.

(2) 服务器 A 被当成一台 Web 服务器, 它的功能包括下面的内容:

- 文件管理, 包括文件和镜像数据库管理、数据备份、数据恢复、数据传递、副本定位和授权、无用文件处理以及文件转移管理.

- 内容管理, 包括组织纳税人的信息、支持在线查询、发布新闻和政策、在线支持商业管理、广告与统计管理以及隐私管理等.

2.3 税务网格中基本的模块化服务

在税务网格中我们集成了以下 4 个模块化应用系统: 税收征管系统、办公系统、政策与法规、外部信息系统.

在应用系统之外还定义和实现了以下瞬时服务:

(1) 数据查询服务. 为企业和个人纳税人提供两种类型的查询服务, 一种是政策服务, 包括纳税条目和税率、免税政策等. 一种是数据查询, 如为纳税人提供的按月度、季度、年度的纳税数额查询. 这些查询基于用户用上网的数字设备都能提供相应的丰富的信息显示.

(2) 数据分析服务. 为企业提供静态模型和交互税务分析.

(3) 与银行的交互服务. 税务征收部门可以查询组织的银行帐户等信息以确保纳税数据的准确性, 而银行则可以通过查询组织的纳税记录来了解组织经营的真实状况, 从而决定是否对企业贷款. 这个功能是行业间共享数据的尝试, 极大地减少了银行贷款风险.

(4) 生成格式化报表. 这项服务能生成常用的以及其他简单的税务报表格式供查询和下载.

还有一些基于经验创建的其他瞬时服务正在逐渐增加到服务集合中, 复杂服务可以用简单服务合成. 我们还使用一个内部注册中心来确保系统的安全性.

(5) 为企业与个人用户都提供了一些常用的数据挖掘工具.

为了支持普适计算, 瞬时服务的设计遵循以下编程原则:

- 简单编程以保证可靠性和运行速度
- 按照客户需求动态创建和撤销
- 服务能随时随处被使用
- 返回简单可靠的结果
- 不被授权的客户不能更改数据集以确保系统安全

3 仿真实验

在基于上述模型实现的原型上我们做了一个基本的性能测试. 实验目的是定位一个瞬时网格服务的开销. 实验环境由 1 台小型计算机、3 台服务器、30 台 PC 和两台百兆路由器组成. 这些机器操作系统使用 Linux, 瞬时服务执行环境用 JDK1.4.1. 这些机器被路由器分接成 3 个局域网. 时间测量程序安装在瞬时服务所在的主机上. 有两个会影响实验结果的主要因素^[12]. 一个是网络延迟, 另一个是机器的速度. 每个实验都重复了多次, 在不同的实验中我们改变各种实验参数. 所有瞬时服务代码及其附加数据大约在 15KB 左右, 对于在各个局域网内有 20, 30 和 50 个瞬时服务的情况, 我们分别进行查找, 并且记录了返回找到瞬时服务的数目和时间. 实验数据表明: 时间 time 并不随着发现服务的数量 num 而增加, 说明系统是稳定的, 见表 1.

表 1 瞬时服务的数量与定位时间的对应关系表

Num	Time	Num	Time	Num	Time	Num	Time	Num	Time
0	0	5	1.489 647	10	1.524 274	15	1.511 883	20	1.510 688
1	1.640 958	6	1.503 533	11	1.515 799	16	1.508 921	30	1.511 368
2	1.542 258	7	1.513 514	12	1.507 500	17	1.513 263		
3	1.512 325	8	1.521 809	13	1.504 264	18	1.510 675		
4	1.515 955	9	1.533 272	14	1.516 399	19	1.508 907		

4 结 论

虽然上述实验数据是近似的,但仍能证明方法的合理性,并且可以得出一些结论:首先,在广域网中定位瞬时服务要比在局域网中定位瞬时服务需要用更多的时间.其次,就搜索网络中的瞬时服务而言,定位瞬时服务的数量越多,需要的搜索时间也越多.考虑到这个新的基于网格的解决方案的紧迫性,我们没有涉及税务网格系统的可靠性、服务质量、规模以及安全性等超出税务网格基本业务需求的问题,一些必要的性能优化正在进行中.

References:

- [1] Foster I, Kesselman C, The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure (2nd ed.). Beijing: Elsevier Inc., China Machine Press, 2004.
- [2] Foster I, Kesselman C, Nick J, *et al.* The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations. *Int'l Journal of Supercomputer Applications*, 2001,15(3):200-222.
- [3] Bo W, Qing S. Migration to the new software architecture. 2006. <http://www.ccw.com.cn>
- [4] Foster I, Kesselman C, Globus: A metacomputing infrastructure toolkit. *Int'l Journal of Supercomputer Applications*, 1998, 11(2):115-129.
- [5] Smith J, Gounaris A, Watson P, *et al.* Distributed query processing on the grid. In: *Proc. of the 3rd Int'l Workshop on Grid Computing*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.
- [6] Taylor JT. Thoughts from the integration consortium: Enterprise information integration: A new definition. 2004. <http://www.dmreview.com>
- [7] Li ChL, Li LY. Apply Agent to build service management. *Journal of Network and Computer Applications*, 2003,26:323-340.
- [8] Oliver S, Prasad VB, Nigel D, *et al.* Leveraging the grid to provide a global platform for ubiquitous computing research. Technical Report, CSEG/2/03, Lancaster University.
- [9] Jin G. Pipechar network characterization service. 2001. <http://www.didc.lbl.gov/NCS>
- [10] Nick JM, Moore BB, Chung JY, *et al.* S/390 cluster technology: Parallel sysplex. *IBM Systems Journal*, 1997,36(2):172-201.
- [11] Yue K, Wang XL, Zhou AY. Underlying techniques for grid services: A survey. *Journal of Software*, 2004,15(3):428-442 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/428.htm>
- [12] Nie W. International virtual observatory alliance. 2006. <http://www.ivoa.net>

附中文参考文献:

- [11] 岳昆,王晓玲,周傲英. Web 服务核心支撑技术:研究综述. *软件学报*, 2004,15(3):428-442. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/428.htm>



贺红(1965 -),女,山东青岛人,博士,副教授,主要研究领域为算法分析与设计,网格计算技术.



林宗楷(1934 -),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为 CAD,计算机协同,普适计算.



龚蕴(1953 -),女,博士,副教授,主要研究领域为计算机协同,人工智能.