

基于 SOA 的三维信息网格体系结构研究*

史文翀^{a, b}, 曾文华^{a, b}

(厦门大学 a 软件学院; b 智能信息技术福建省重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 在总结现有网格体系结构的基础上, 针对所存在的问题, 从网格资源使用和功能管理、面向用户操作以及网格系统自身特性等角度分析设计了相应的架构 layer tier 和 vertical 并且全面考虑这三种架构思想的各个作用因素, 提出了基于 SOA 的三维信息网格体系结构 (3DIGA) 原型, 并对其中一些关键技术和问题进行了研究, 提出了一些诸如网格服务代理器、资源集成池、服务工厂等重要的概念。最后将该三维信息网格体系结构应用到海洋信息网格集成系统的软件框架上。

关键词: 信息网格; 面向服务结构; 三维网格体系结构; vertical 海洋信息网格

中图分类号: TP303 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2007)10-0308-05

Research of SOA-based 3-dimensional information grid architecture

SHI Wen-chong^{a, b}, ZENG Wen-hua^{a, b}

(a. Software School b. Key Laboratory for Intelligent Information Technology of Fujian Province, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005 China)

Abstract This article summarized some existing grid architectures. With regard to some problems in the grid architecture research, corresponding kinds of structures were designed from three points of view, such as the grid resources & function management called layer, user-oriented operations called tier and the grid characteristics called vertical. After all factors considered, the architecture reconstructed and a prototype based on SOA named 3-dimensional information grid architecture (3DIGA) was proposed. And then did the research for some essential technologies, such as grid service proxy, the resource integration pool, service factory and so on. Finally applied the 3-dimensional information grid architecture to the ocean information grid integrative system for practice.

Key words information grid; SOA; 3-dimensional grid architecture; vertical; ocean information grid

0 引言

网格已经从最初的以“计算力”资源的共享和集成为主的计算网格研究扩展到能解决数据处理能力的信息网格; 进行信息资源无缝共享的信息网格; 比信息网格具有更高级表现形式的知识网格, 以及各类面向领域的应用网格研究, 如交通信息网格、天文网格、制造网格、医疗网格以及本文所提出的海洋信息网格 (ocean information grid OIG) 等。笔者认为, 网格的发展趋势应该是集成的系统, 是集成现有各类不同功能网格, 如计算网格、数据网格、信息网格等, 并将这些资源进行全面整合, 最终形成集计算资源、存储资源、数据资源等各类资源于一体的多功能超级虚拟服务器。

网格体系结构是构造网格的基础工作, 是关于如何构建网格的技术。在不同应用领域的网格有不同的结构特征和功能特征, 这对网格体系结构的研究产生了相当大的影响。目前为止, 国外较为成熟的网格体系结构有五层沙漏结构^[1]和开放网格服务结构 (open grid services architecture, OGSA)^[2], 以及将 Web service 技术与网格技术相结合而产生的 WSRF (Web service resource framework)^[3]。WSRF 的目的是要阐明怎样将有状态加入到 Web 服务中, 并已经形成了一系列的规范接口。

在国内, 中国科学院计算所研究的织女星网格体系结构^[4,5]最具有代表性, 总的特色是服务网格的思想, 其概念及创新点所遵循的指导思想是 VEGA。

网格早期的许多研究工作致力于提供网格中间件, 以提高网格应用的开发、部署和管理效率来解决网格应用的一些共性问题。但是不同的中间件系统使得各类网格应用难以互操作而导致彼此之间互相独立, 逐渐背离了网格计算的全球统一的资源池这个最终目标。另外, 网格体系结构的研究大多基于网格的功能和性能的角度, 忽略了用户作为网格服务主体的影响因素。在网格应用系统中, 对于所需的网格资源, 用户需要知道该资源的情况, 进行配置才可以使用^[6,7]。这样, 每个用户均可能要保存一张庞大的资源情况库, 使用户对资源使用非常不方便。目前, 已经有很多网格项目将最新的技术, 比如 Web service 技术、SOA (service oriented architecture) 技术等结合到网格体系结构的研究中, 但是传统软件体系结构的思想考虑不够。各类应用网格的体系结构在不断研究完善中, 对综合的因素考虑也有所欠缺。正是基于以上网格体系结构研究过程中存在的这些问题, 本文从网格资源使用和功能管理、面向用户操作以及网格系统自身特性等角度分析了相应的架构, 并且综合考虑这三种架构思想的各个因素, 提出了基于 SOA 的三维

收稿日期: 2006-07-05; 修返日期: 2006-09-28 基金项目: “985 工程”智能化国防信息安全技术科技创新平台项目 (0000-X07204)

作者简介: 史文翀 (1981-), 男, 浙江温州人, 硕士研究生, 主要研究方向为信息网格、网格体系结构 (shiwenchong@126.com); 曾文华 (1964-), 男, 江苏兴化人, 教授, 博导, 博士, 主要研究方向为人工智能、软计算、网格计算、计算机体系结构、嵌入式系统、智能控制。

信息网格体系结构 (3-dimensional information grid architecture, 3DIGA)。

1 基于 SOA 的信息网格体系结构

SOA 的目标在于融合全球范围内协同服务, 这与网格的目标是一致的。虽然 SOA 可能成为软件系统应用层不断加强敏捷性的概念性框架结构, 但是模块化服务的实施要求对资源进行比现今典型架构更好的控制; 虽然 SOA 也可以使用常用 Web 服务协议 (如 XML, SOAP WSDL 和 UDDI) 来分配流程, 但是它却无法自行描述资源的分配与管理, 而这正是网格计算与 SOA 轨迹的交汇处^[8-9]。网格允许有效地收集分布式资源, 定义了数据和资源的虚拟化以及弹性机制, 包括监控、资源与数据发现及安全。在基于 SOA 的网格系统中, 服务的概念将更广泛, 包括计算资源、存储资源、网络、程序、数据库等均以网格服务^[1-5, 8]的形式出现。

1.1 SOA 在信息网格应用中的优势

SOA 在信息网格中应用具有如下的一些优势^[10-12]:

- a) 支持多种客户类型。借助精确定义的服务接口和对 XML、Web 服务标准的支持, 可以支持多种客户类型, 包括 PDA、手机等, 这也符合网格作为全球资源池的要求。
- b) 编码灵活性。通过对模块化的低层服务采用不同组合方式来创建高层的网格服务, 从而实现重用。
- c) 更好的伸缩性。依靠服务设计、开发和部署所采用的架构模型实现伸缩性, 达到网格互操作的目的。
- d) 更高的可用性。网格服务提供者和使用者的松散耦合关系允许使用者无须了解提供者的实现细节, 服务的位置对网格客户保持透明, 只有在运行时才需要知道具体的位置。

1.2 基于 SOA 的网格服务调用模型

基于 SOA 的网格调度模型, 如图 1 所示。定义了对资源服务映射创建、服务发现与绑定、身份认证授权三个方面的调用流程, 并针对网格环境中大量临时性的短暂服务, 通过定义其接口来解决动态服务实例创建、服务发现、生命周期管理、事件通知、引用管理和安全性等问题。

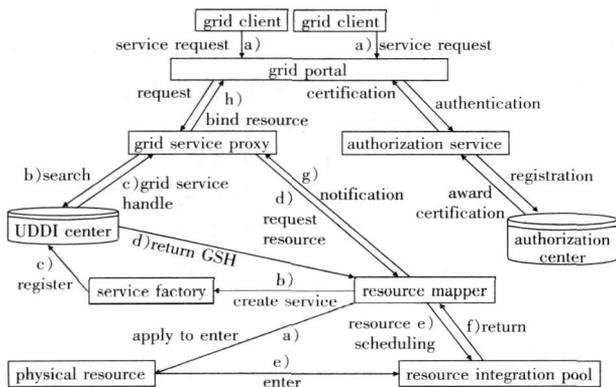


图 1 网格服务调用模型

用户调用服务的过程有: a) 网格用户向网格门户提出服务请求, 门户提供用户身份的证书认证, 然后将服务的请求和证书提交给 GSP (grid service proxy), GSP 根据 WSDL 定义生成一个用户代理 (proxy); b) 代理在虚拟组织所维护的注册中心 UDDI 中查找满足要求的服务, 查找过程中用户可以对性能、服

务提供地点等各个方面提出相应的要求; c) 网格注册服务根据用户的要求, 在众多的服务提供者中进行筛选, 最后返回满足要求的服务提供者, 获取一个网格服务句柄 (grid service handle, GSH); d) GSP 通过得到 GSH 的 WSDL 选项向资源映射器 (resource mapper) 提出使用相应资源的请求; e) 资源映射器根据提供的资源 GSH 在资源集成池 (resource integration pool, RIP) 中调用该资源返回 f) g); h) 代理服务器获得该资源后提交给网格用户进行绑定使用。

对于服务的创建过程, 本文通过定义一系列的接口, 如 factory、registry 等来支持服务实例的创建。当用户资源提供服务时只要对资源映射器提出加入申请 a), 通过在接口 factory 上使用 create service 的操作 b), 创建一个新的网格服务实例, 并在 UDDI 中注册 c), UDDI 将全局唯一 GSH 返回给资源映射器 d) 供映射资源时使用, 得到用户服务标志后该用户资源便被加入到 RIP 中 e)。

在身份认证过程中, 网格门户根据用户的资源请求信息进行认证。首先, 门户通过授权服务 (authorization service) 判断此用户的注册信息是否已经在认证中心 (authorization center) 注册授权过, 如果有便直接返回该用户的授权证书; 如果没有历史注册记录, 便会生成临时用户的安全证书。这种认证证书会通知网格服务代理 GSP 查找、绑定服务的权限范围, 保证分布式资源的合理使用。

2 三维信息网格体系结构

2.1 三种网格体系架构思想

为了更完善、更周全地考虑网格体系的体系结构, 根据 SOA 以服务为中心的思想以及分层模型的优势, 本文从几个不同的角度对网格体系结构进行划分, 从而体现服务网格和以人为本的思想, 更好地将网格及其资源作为一种服务提供给用户进行全面共享和协同工作。

2.1.1 第一种网格体系结构的主要思想

网格的根本特征是实现资源共享, 消除资源孤岛, 本质是对大规模分布资源进行管理和协调, 因此资源管理在网格系统中占有举足轻重的作用和意义。本文首先从网格资源的使用和功能管理的角度, 对网格体系自底而上进行划分, 建立 layer 层体系结构思想, 如图 2 所示。

1) 构造层 (fabric layer) 它是网格功能应用的基础层, 向上提供各类最基本的资源, 由各种不同类型资源构成。其中包括主机、存储设备、大型仪器等有形的物理资源和软件程序、应用服务、网络带宽等逻辑资源。

2) 集成层 (integration layer) 该层中本文提出了资源集成池 RIP 的概念, 它借鉴了网格计算池的基本思想。当没有构成资源池时, 各类资源只能供给某一领域的应用程序使用, 而并没有真正达到所有资源共享的目的。RIP 对物理资源和逻辑资源进行汇集和抽象, 可以在屏蔽某些异构数据和资源后, 将所有的资源进行抽象化而得到资源池。在 RIP 中, 资源以形成抽象资源 (abstract resource) 的形式存在。

3) 领域层 (domain layer) 这是该体系结构中最重要的一层, 该层主要实现面向服务的各类资源管理功能; 实现由抽象资源向服务转变的过程, 提供给上层统一的服务形式, 并引入

面向服务的工作流,实现 workflow 管理;实现资源的分配以及任务的映射(mapping)等。采用面向服务的安全机制和系统管理机制实现管理全局的服务发现、动态服务创建、通知、注册和生命周期管理等功能。

4)表示层(presentation layer) 该层主要实现资源服务对用户的表现形式,通过网格门户(grid portal)和 API使用用户在权限范围内,通过不同的方式调用不同表现类型的服务,为应用层提供服务请求的统一入口。

5)应用层(application layer) 从下层各类服务资源得到支持,进行数据处理、分析、信息挖掘、决策支持等应用。

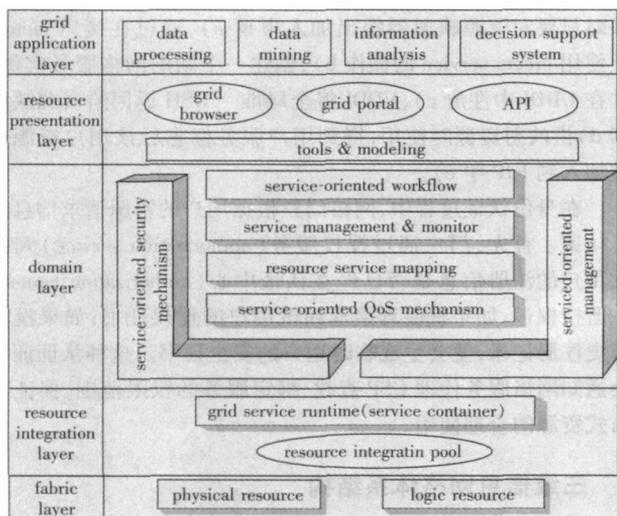


图 2 Layer 层原型图

2.1.2 第二种网格体系结构的主要思想

SOA 是一种面向服务的架构,而服务的对象就是系统的各类用户和资源服务请求者。在基于 SOA 的网格体系结构中,用户通过网格系统能够真正实现全面共享网格中的各类资源和服务。本文从用户的视角定义另一种体系结构,并对各层视图进行划分建立 tier 层体系结构,如图 3 所示。

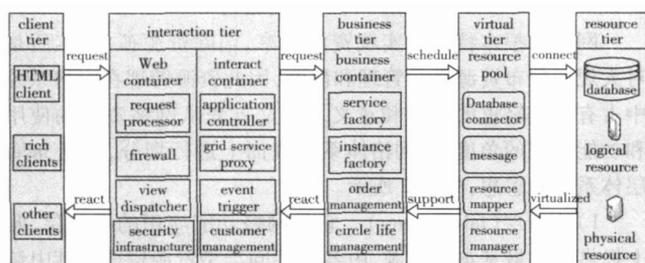


图 3 Tier 层原型图

1)资源层(resource tier) 资源层是用户使用网格资源的基础层,是由用户能够实际使用的各类同构、异构资源组成的功能层。其主要功能与第一种体系中的构造层相似。

2)虚拟层(virtual tier) 对资源层提供的异构资源进行虚拟化过程,其目的是屏蔽底层资源的异构性,为上层提供统一形式的资源,并为进一步转变成各类服务提供给用户提供支持。该层中的虚拟组织(virtual organization)既提供了对资源层的虚拟化,又能协同各类资源的工作。

3)业务层(business tier) 该层是重要的核心管理层,包括服务的创建、维护、服务生命周期(circle life)管理等业务性功能。本文使用传统设计模式中的工厂(factory)模式来形成

一个服务工厂(service factory)。它根据需求对资源池中的抽象资源进一步抽象,形成可以直接使用和调用的各项服务。同时对外公开各项服务的接口以使用户进行调用访问。

4)交互层(interaction tier) 该层提供基于公钥的网络安全基础设施(grid security infrastructure, GSI)协议、一次登录(single sign-on, SSO)的身份验证、通信保护和一些对受托托管的初始支持。SSO 允许用户只进行一次身份认证,随后建立代理证书,便可被程序用于任何远程服务的身份验证。

该层提出了网格服务代理器(GSP)的概念,GSP主要功能是代理用户取得所需的网格服务。代理包括门户代理和服务器代理。GSP是介于网格门户与 grid 服务器之间的一台服务器。通过 GSP,网格门户不是直接到 grid 服务器去取想要的服务,而是向代理服务器发出请求,request 信号会先送到代理服务器,由代理服务器来取回网格门户所需要的服务并传送或通知给网格门户。这样既保证网格服务的统一化管理,又可以容易保证服务提供的安全性。网格服务代理器的具体工作原理如图 4 所示。从整体的工作过程来看,GSP 实质上代理完成服务的注册、查找、绑定和使用过程。

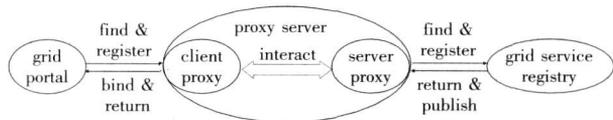


图 4 网格服务代理图

5)用户层(client tier) 该层主要提供网格门户。网格门户源自于 Web 门户,它允许网格用户或网格服务请求者通过门户提供的接口来访问网格中的资源和服务。

2.1.3 第三种网格体系结构的主要思想

网格系统具有其自身的特性,如异构性、可扩展性和动态自适应性等。从优化、管理网格系统及体现网格系统自身特性等角度出发,本文给出了信息网格体系结构的第三种体系结构(vertical)。Vertical 体系架构将分散在前两种体系中的特性要点抽象综合出来,作为独立的一个体系。其核心思想在前两种各自功能层次中均有对应的内容,主要包括:

a)安全性(security)。实现对网格中大规模分布式异构资源有效的、一致的管理和共享,保证资源不被非法破坏和获取,网格的安全性必须作为第一要素考虑,并在体系结构中得到体现。网格系统需要全部或部分的标准安全功能,包括身份及权限认证、访问控制、保密性和抵抗赖性等。

b)可维护性(maintainability)。在网格系统中,某个或某些资源与服务出现故障或问题,不应该影响整个服务的质量,因此需要有系统动态监测服务来监视和管理整个网格资源。在出现问题时能够有相应的策略维持其他服务的正常提供,而不影响整个网格系统。

c)可扩展性(scalability)。网格作为一个动态系统,其规模是动态变化的。可扩展性就是要求在资源(物理资源和逻辑资源)规模不断扩大、应用功能不断增长的情况下,不会导致网格共享性能的降低。

d)可管理性(manageability)。网格系统中,资源、服务、用户等均是分布存在的,虽然没有集中式服务器的统一管理,但是如果整个网格没有一个有效管理,如用户及权限管理、各项服务管理、异构资源管理等,系统就容易出现问

e) QoS 机制 (QoS mechanism)。QoS 是一组服务集合的性能, 该性能决定用户对服务的满意程度, 是网格区别基础设施或中间件的一个关键要素。它包括通信延迟、带宽、可靠性、容错能力以及抖动控制等因素。

2.2 构造三维网格体系结构

综合三种体系结构可以发现, vertical 体系中的各项要素影响着 layer 体系和 tier 体系的各功能层。在功能实现上, 前两种体系结构又均包含着 vertical 体系中全部或部分的特性思想。比如 QoS 机制, 在 layer 体系上, 网格服务作为广泛、分布的服务, 必须为用户提供异构网格资源的单一系统映像, 因此透明地满足用户需求及用户和其他服务的交互决定了 QoS 是网格的内在需求。在 tier 体系上, 不同的用户, 甚至同一用户对服务的功能、性能、成本等均有不同考虑, 因而 QoS 要为用户提供不同等级的服务质量, 如响应时间、吞吐率、可用性等。结合三种体系结构, 可以得到一个如图 5 所示的架构。可以看到, 三种体系结构的结合产生相当复杂的结构, 各层或各种特性的关系描述非常繁杂, 不易于体系结构的设计和实现, 违背了软件体系结构设计的基本要求。

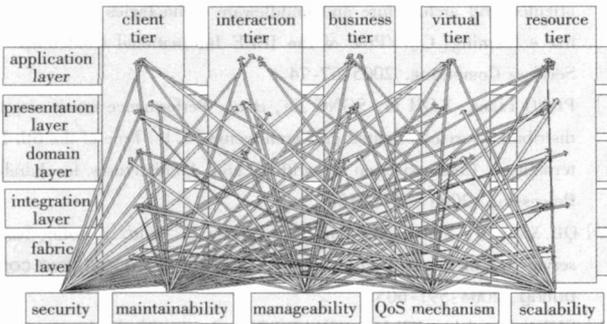


图 5 三种思想混合体系结构图

为了得到清晰紧凑体系结构的整体框, 本文将三种网格体系结构的思想进行重构, 提出了基于 SOA 的三维信息网格体系结构 (3DIGA), 如图 6 所示。所谓三维架构是指将上文阐述的三种网格体系结构思想进行重新组合, 即从网格功能考虑的第一种思想作为第一维 layer 体系, 从用户角度考虑的第二种架构作为第二维 tier 体系, 而把第三种从网格特性和管理角度的思想作为第三维 vertical 体系, 从而构造出三维架构原型。图 6 的架构原型图显然比图 5 要简单清晰。从复杂到简单, 三维架构并没有对其各功能层相互联系进行缩减, 反而更突出了相互之间作用的关系。

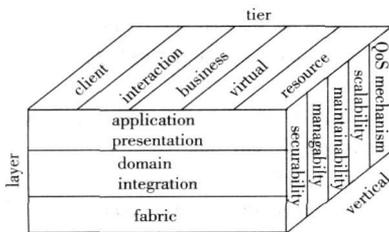


图 6 三维信息网格体系结构(3DIGA)原型图

3DIGA 基于 SOA 架构, 并以组件为驱动, 具有多层、多列的特性, 各层功能清晰, 同时通过三维架构来充分体现 vertical 体系的各项特性对 layer 体系和 tier 体系各功能层的影响。由于三维体系结构具有传统分层模式高内聚、低耦合的优点, 并且在各层次中, 使用了许多经典的软件设计模式, 如工厂模式、

MVC 模式等, 将传统软件体系结构中的技术融入到网格技术中, 有利于信息网格系统的发展和应用。

3 3DIGA 应用: 海洋信息网格

3.1 海洋信息网格的提出

海洋信息集成系统已经从最初的单一海洋要素采集器、海洋监测站的多要素观测系统, 发展到区域、国家级和全球性的海洋信息集成系统。但从已经用于实践的数据库型、办公自动化型、决策型等三类海洋管理信息系统来看, 还普遍存在着一些问题。其中最关键的问题就是从各种途径得到的宝贵海洋数据没有进行有效的管理和共享, 以及海洋数据资源的分散特性, 导致信息服务的完整性、系统性存在问题, 而网格可以实现海洋分布式数据资源的共享。因此本文提出建立海洋信息网格集成系统来解决海洋信息化存在的问题。

3.2 海洋信息网格体系结构

根据海洋信息化的实际情况, 设计出海洋信息网格体系结构 (ocean information grid architecture, OIGA), 如图 7 所示。

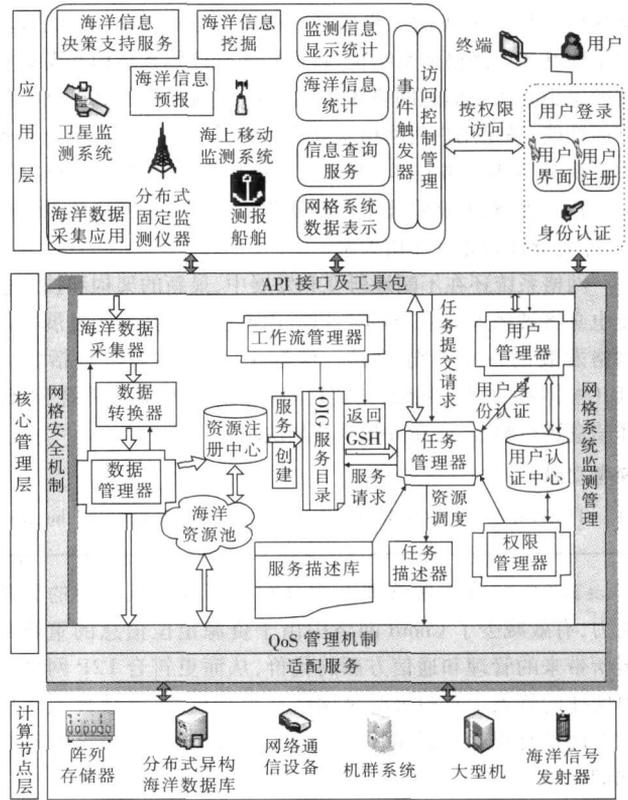


图 7 海洋信息网格集成系统架构图

OIGA 体系整体上仍然按照传统的分层模型去设计, 结合 3DIGA 和 SOA 思想, 从而为更好地实施和实现海洋信息网格集成系统奠定架构基础。OIGA 体系结构总体上分为三层:

a) 计算节点层。实现网格构造层功能, 主要负责机群配置、数据库管理、设备仪器的组织和管理, 以及根据制订的通信机制进行数据分发和传送, 对监测的海洋数据进行采集和获取等。该层提供的资源包括计算资源、存储资源、监测设备资源、分布式数据库、海洋检测数据、网络资源等。主要涉及海洋网格基础平台的搭建和数据信号的传输接收, 即信息采集工作。

b) 核心管理层。它是整个架构的中间层, 也是核心层。

该层搭建以网格中间件为基础的网格平台,并在此平台上实现体现 3DIGA 第三维思想的管理功能和基础性功能。该层工作原理如图 7 所示,整体框架是 SOA 在系统核心管理层中的体现。任务管理器接收用户的任务请求,通过用户管理功能得到身份认证后到 OIG 服务目录中寻找相应服务的注册信息,然后通过调用机制得到相应的资源服务。在这之前就已经将所有可用的资源,包括逻辑资源和物理资源创建成服务在 OIG 服务目录中注册便于任务管理器查找。

e)应用层。该层主要功能有两方面:(a)对分布的海洋各类数据信息进行接收,并将异构数据进行统一化处理和存储;另外,还提供了基于 Web 的用户界面,提供门户入口,完成对收集的海洋信息进行统计、发布、查询等应用和实时显示网格系统运行状况等基本功能。(b)对基础应用层的高级扩展,将基础应用层收集的数据信息进行信息挖掘,为决策分析等的应用提供接口,这也是信息网格上升为知识网格的必要途径。

4 结束语

网格是一种实现资源广泛共享与协同使用的新模型。本文提出的基于 SOA 的三维信息网格体系结构(3DIGA)综合考虑了现有各类网格体系结构,将最新的软件体系结构和面向服务的思想融入到信息网格体系结构中,这有助于提高网格的各方面性能,满足用户对网格实现服务的需求。该原型融合了各项最新的 Web 服务技术,为信息网格体系结构的设计提出了一个新的思路,能够将几个不同视角结合到一个网格体系结构中,并充分体现相互作用关系。

网格系统还在不断地研究和发展中,最新的架构和技术思想也必将被融入进来。同时,以应用推动网格技术的发展也是网格发展的一个指导思想。课题下一步的工作包括完善 3DIGA 体系的理论基础,并实现海洋信息网格集成系统,对海洋信息进行整合、发布并提供高层决策。

参考文献:

[1] FOSTER I, KESSLMAN C, TUECKE S. The anatomy of the grid

(上接第 307 页)在资源管理上充分利用了各节点自身的管理能力,有效减少了 Chord 网络中由于资源定位信息的重新部署所带来的管理和通信方面的代价,从而更符合 P2P 网络自由便捷的特点。实验表明该网络在可扩展性、高效性及实用性方面具有很强的优势,能够满足应急、抢险等要求即时组网的需求。

参考文献:

- [1] SAROU S, GUMMADIK P, GRIBBLE S D. Measuring and analyzing the characteristics of Napster and Gnutella hosts[J]. *Multimedia Systems* 2003, 2(9): 170-184
- [2] LARKE I, SANDBERG O, WILEY B, *et al* Freenet a distributed anonymous information storage and retrieval system [C] //Proc of ICSI Workshop on Design Issues in Anonymity and Unobservability. Germany. [s n], 2000 46-66
- [3] LV Q, CAO P, COHEN E, *et al* Search and replication in unstructured peer to peer networks [C] //Proc of ACM SIGGRAPH' 02 San Antonio [s n], 2002 84-95
- [4] STOICA I, MORRIS R, KARGER D, *et al* Chord a scalable peer

enabling scalable virtual organizations [J]. *International Journal of Supercomputer Applications* 2001, 15(3): 200-222

- [2] FU J Z, ZHANG Y L, WANG H F. Study on OCSA-based manufacturing grid architecture [C] //Proc of the International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics 2005 1323-1327
- [3] YANG Qing, WANG Ru-chuan, WANG H a r y a n. Research of adaptation of infrastructures for WSRF in grid computing [J]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications* 2005, 12(4): 1-5
- [4] 查礼, 李伟, 余海燕, 等. 面向服务的织女星网格系统软件设计与评测 [J]. *计算机学报*, 2005, 28(4): 495-504.
- [5] 徐志伟, 李伟. 织女星网格的体系结构研究 [J]. *计算机研究与发展*, 2002, 39(8): 923-929.
- [6] ORDA I Z O, SANJEEVAN K, SANGUESA R. A 3-tier grid architecture and interactive applications framework for community grids [C] //Proc of the 4th International Conference on Computational Science-ICCS 2004 Poland [s n], 2004 67-74
- [7] BASU S, TALWAR V, AGARWALLA B, *et al* Interactive grid architecture for application service providers [C] //Proc of the International Conference on Web Services (ICWS' 03). 2003: 23-26.
- [8] WANG Gui ling, LI Y u r s h u n, YANG Sheng wen, *et al* Service-oriented grid architecture and middleware technologies for collaborative learning [C] //Proc of the IEEE International Conference on Services Computing 2005 67-74.
- [9] PENG Liang, KOH M, SONG Jie, *et al* Performance monitoring for distributed service oriented grid architecture [C] //Proc of the 6th International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing 2005: 351-356.
- [10] QU Xiang-li, YANG Xue-jun, GUI Chun-mei, *et al* A policy-based service-oriented grid architecture [J]. *Grid and Cooperative computing* 2004 597-603
- [11] CHEN Han-hua, JIN Hai, ZHANG Ming-hu, *et al* Early experience in QoS-based service grid architecture [J]. *Advanced Web Technologies and Applications* 2004: 924-927.
- [12] HUANG Yan. JISGA: a jinr-based service-oriented grid architecture [J]. *International Journal of High Performance Computing Applications* 2003 17(3): 317-327

to peer lookup protocol for Internet applications [C] //Proc of ACM SIGCOMM. San Diego [s n], 2001: 149-160.

- [5] ZHAO B Y, HUANG L, STRIBLING J, *et al* Tapestry: a resilient global scale overlay for service deployment [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 2004, 22(1): 41-53
- [6] MAYMOUNKOV P, MAZRES D. Kademia: a peer to peer information system based on the xormetric [C] //Proc of the 1st International Workshop on Peer to Peer System (PTPS' 02). Cambridge [s n], 2002: 53-65
- [7] 胡进锋, 黎明, 郑纬民, 等. 带宽自适应的 P2P 网络路由协议 [J]. *软件学报*, 2005 16(5): 991-999
- [8] 陈贵海, 须成忠, 沈海英, 等. 一种新的常数度数的 P2P 覆盖网络 [J]. *计算机学报*, 2005 28(7): 1084-1095
- [9] JAN S, MAHAJAN R, WETHERALL D. A study of the performance potential of DHT-based overlays [C] //Proc of the 4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems Seattle Washington [s n], 2003: 256-261.
- [10] KAASHOEK M F, KARGER R. Koorde: a simple degree optimal distributed hash table [C] //Proc of the 2nd International Workshop on P2P Systems (PIPS' 03). Berkeley [s n], 2003: 98-107.