

领域科学数据云资源聚合模型

葛敬军^{1,2} 胡长军¹ 刘歆¹ 李扬¹ 刘振宇¹

(北京科技大学计算机与通信工程学院 北京 100083)¹ (南昌航空大学信息工程学院 南昌 330063)²

摘要 数据中心作为领域科学数据资源的核心设施,正在变得过于复杂、昂贵和低效。大规模领域应用和用户数量的增长,给数据中心的连接性、稳定性和安全性带来严峻的挑战。关于数据中心的资源整合、自动部署以及资源集中化管理正在受到当前学术界和企业界的广泛关注。以实现领域数据中心资源聚合、共享以及统一管理为目的,通过构建领域科学数据云,将多个数据中心连接成一种虚拟的数据网络,以便为领域数据访问、数据集成和数据管理提供环境和服务支持。着重研究了数据云代理模型、异构源共享模型以及资源消息模型。这些模型对于提高数据中心可扩展性和容错性、降低数据中心资源整合成本以及实现从传统数据中心向云化数据中心过渡起到非常关键的作用。最后,将领域科学数据云资源聚合模型引入到油气井科研数据共享服务平台的开发、部署、运行及监控管理中。实践证明,领域科学数据云模型是切实可行的,对于推动领域数据集成、共享、管理研究具有重要的参考意义和应用价值。

关键词 领域科学数据云,数据共享,资源聚合,虚拟化

中图法分类号 TP311 文献标识码 A

Resources Aggregation Model towards Domain-specific Scientific Data Cloud

GE Jing-jun^{1,2} HU Chang-jun¹ LIU Xin¹ LI Yang¹ LIU Zhen-yu¹

(School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)¹

(School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)²

Abstract Data center as the core facilities of the scientific data resources, is becoming overly complex, expensive and inefficient. Along with the large scale application and the increase number of the users, the connectivity, stability and safety of the data center become a serious challenge. Researches on resource integration, automatic deployment and resources centralization management in data center, are concerned by the current academic and business fields. This paper constructed domain-specific scientific data cloud to connect multiple decentralized and self-organizing data center into a virtual data network. It provides environment and service support for scientific data access, data integration, data sharing and data management, in order to realize data resources gathered, the large-scale scientific data sharing and unified management. And on this basis, this paper studied the data center agent model, heterogeneous source sharing model and resources communication model emphatically. Study of these models plays a critical roles to improve the data center scalability and fault tolerance, to reduce the data center operation and maintenance cost, and to realize the transition from the traditional data center to cloud data center. Finally, this paper introduced the resources aggregation model towards domain-specific scientific data cloud into the development, deployment, operation and monitoring management of the oil and gas well scientific data sharing service platform. The practice demonstrates that the open scientific data cloud model technology is feasible, and has an important reference significance and application value to promote scientific data integration, sharing, and management research.

Keywords Scientific data cloud, Data sharing, Resource integration, Virtualization

1 引言

近年来,全球信息化进程大大加快,正在改变和影响着各个领域。领域的边界变得模糊,领域之间的协作交流更加紧密。各个领域内的数据以前所未有的速度激剧增加,据估计,

每年的数据规模达到若干PB^[1]。虽然数据呈指数激增,但是大多数还是被“锁”在各个数据中心内,数据资源在数据中心之间并不能按照需要进行有意义的交流^[2]。领域数据共享受限于物理分布、架构不同、相互独立的数据中心,数据中心之间的资源融合成为制约领域数据共享的主要瓶颈;而且随着

到稿日期:2012-11-17 返修日期:2013-01-25 本文受国家重点基础研究发展规划“973”项目(2013CB329605),十二五国家科技支撑计划课题(2011BAK08B04)资助。

葛敬军(1975-),男,博士生,讲师,主要研究方向为领域数据工程,E-mail:gejingjun2000@126.com;胡长军(1963-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为数据工程、高性能计算;刘歆(1986-),男,博士生,主要研究方向为复杂网络与复杂系统、数据空间等;李扬(1983-),女,博士,讲师,主要研究方向为数据集成与进化计算等;刘振宇(1984-),男,博士生,主要研究方向为领域数据工程与数据管理。

数据规模的扩大,这种瓶颈将更加严重,同时也对数据中心在可扩展性、统一性、异构性、可靠性以及成本控制等方面提出了新的挑战和更高的要求^[3,4]。

(1)可扩展性。大规模快速增长的数据对数据中心分布存储的可扩展性提出了更高的要求,同时要求数据在组织和管理方式上也必须有良好的可扩展性^[5,6]。

(2)异构性、可靠性。地理分散、不同领域、不同类型的数据中心在有效地组织、发布以及聚合数据资源的过程中必须要考虑资源的异构性和可靠性问题。

(3)统一管理。数据中心之间具有资源分散、缺乏统一管理等先天不足,无法获得整体的数据资源视图,从而也就无法进行数据的全面分析和利用。当前各个领域迫切需要对数据中心进行整合,建立统一的数据中心管理体系^[7]。

(4)成本控制。一方面,由于区域、行业间发展不均衡,造成数据中心的空置浪费。另一方面,传统的数据中心因为其节点和数据的规模较小,对能耗的考虑较少。根据研究人员调查,能耗成为构成数据中心开销的一个重要组成部分^[8,9]。

另外,数据中心还面临数据规模和应用激增、数据中心高运行成本难以承受、高开发难度制约应用、运维管理分散以及接入平台分散等诸多问题^[10]。

综上所述,数据中心对扩展、连接、安全、高可用的需求日益增长。因此,寻找一种有效平衡上述各个需求的数据中心资源整合以及灵活的存储容量扩充,成为一个关键问题。

本文在数据中心虚拟化的基础上,提出一种支持数据中心资源整合的领域科学数据云资源聚合模型。在保持原有数据中心不变和不影响现有应用的情况下,通过领域科学数据云的框架模型、数据云代理模型、异构源共享模型以及资源消息模型,实现了数据中心的资源连通、统一管理、部署以及监控资源运行。本文第1节概述领域数据发展以及数据中心面临的挑战;第2节讨论目前数据中心的相关研究;第3节阐述领域科学数据云、架构以及关键模型;第4节通过一个应用案例介绍领域科学数据云的模型实现;最后进行总结并展望下一步的研究工作。

2 相关工作

目前,针对数据中心的整合与分散还没有固定的标准和模式。数据中心的研究工作主要集中在分布式存储、虚拟化、存储网络以及流程自动化等。分布存储主要研究数据在数据中心上的组织和管理。数据中心不仅包含结构化的数据,也包含半结构化的数据和无结构的数据。文献^[11]主要介绍了Google的BT(BigTable)数据管理技术。BT是建立在GFS, Scheduler, LockService和MapReduce之上的一个大型的分布式数据库,与传统的关系数据库不同,它把所有数据都作为对象来处理,形成一个巨大的表格,用来分布存储大规模结构化数据。Amazon SimpleDB使用非常简单的数据模型及精炼的SQL语言^[12]。与传统关系数据库相比,SimpleDB是完全反范式的,允许更灵活地处理数据,具有无限的扩展能力。数据可以分布在多个节点上,并且跨多个节点复制数据。Apache Cassandra^[13]是由一堆数据库节点共同构成的一个混合型的、非关系的分布式Key-Value存储系统,类似于Google的BigTable,和其他数据库比较,其突出的特性是模式灵活、基于Column的结构化、列表数据结构、多数据中心识别、分

布式写操作以及高伸展性。

数据中心的虚拟化研究是针对数据中心的低层架构进行抽象,屏蔽低层物理设备的差异,通过实现从低层硬件、系统的虚拟化到存储、网络的虚拟化,使数据中心的IT资源成为一个虚拟的资源池,其可以按照一定的粒度进行资源分配,从而实现硬件资源的共享和复用,并提供多个独立的、隔离的应用环境。目前,支持虚拟化的产品有VMWare、ESXServer、XEN、KVM等。其中,VMware虚拟化软件套件能提供虚拟化基础架构、应用程序和管理等多种服务。ESXServer能整合数据中心的计算、存储和网络资源,构建动态虚拟资源池^[14]。TPM(Tivoli Provisioning Manager)是IBM实现数据中心资源虚拟化管理的核心产品,可以自动完成服务器、存储器、网络设备、操作系统、中间件、应用程序的部署和配置^[15]。

从上面的介绍可以看到,分布式存储以及虚拟化技术主要实现了业务系统在物理硬件存储和部署上的整合,并未改变各业务系统在独立的系统环境下运行的状态。从业务应用逻辑角度看,各系统仍然保留原有的应用架构、技术路线,独立管理业务数据。从应用逻辑的角度看,业务应用系统仍然保持分散部署、分散运行的状态,并未改变目前技术架构标准不统一、运行环境复杂、系统间呈信息孤岛等现象。虚拟化和分布式存储并不能满足数据中心对业务系统的全面整合要求,尤其在业务逻辑、应用逻辑的层次上缺乏足够的软件进行支持,并非完全意义上的应用系统整合^[16-18]。因此,在数据中心整合方面,需要采用更为先进、完整的技术手段实现数据中心资源整合以及存储容量扩充的目标。

3 领域科学数据云资源聚合模型

领域科学数据云是针对相同领域、地理分散、不同架构的数据中心,提供实现数据中心之间的数据聚合以及有效地组织、发布、共享数据资源的策略,在所有涉及的数据中心范围内,可以随时随地集成、访问和控制任何类型的数据,适时地按照所需方式共享业务所需的精确数据,并且有效管理应用组合和数据增长。严格来讲,领域科学数据云不是新概念,它只是数据网络的延伸。具体来说,领域科学数据云是通过增加一个中间的连接代理系统来保证两个数据中心系统的资源相通。中间连接代理系统是领域科学数据云的关键,采用硬件和软件集成的方法,将计算、存储、网络、共享与应用紧密集成与融合,旨在支持异构存储和服务器环境,构建更加灵活、统一的数据中心管理环境,为用户提供一体化的数据传输与资源服务。数据中心的资源整合目前还没有固定的标准和模式,领域科学数据云为实现数据中心资源聚合以及从传统数据中心架构过渡到云架构提供一种思路。以下5个方面可以概括领域科学数据云的功能及特性:

(1)高可靠。采用中间连接代理简化数据中心之间的连接,摆脱低效的点对点连接。

(2)易扩展。基于全分布式、去中心化、积木式的逐步融合策略,整合数据中心资源以及存储容量扩充。

(3)易管理。简化数据中心,以简单的方式交付各种数据资源,降低部署和管理虚拟化环境的复杂性。

(4)可视化。创建可靠的数据视图,用于访问、集成以及传送,使之更易于透明控制。

(5)敏捷性。应用需求的不可预测,支持对变化作出迅速的响应。

3.1 领域科学数据云总体框架

领域科学数据云总体框架(见图1)分为4个部分:虚拟化资源层、数据云模型层、资源聚合层、服务管理层。

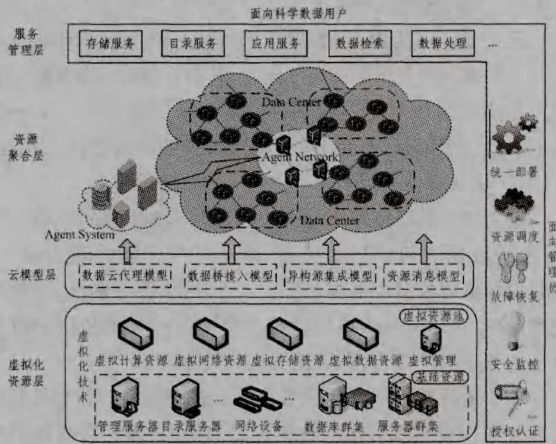


图1 领域科学数据云总体框架

虚拟化资源层:包括硬件IT虚拟资源和软件虚拟资源。硬件IT资源基于虚拟化技术,构建计算节点、存储节点,形成动态虚拟计算资源池、存储资源池和网络资源池。软件IT资源通过虚拟化引擎把各种操作系统、数据库系统以及应用系统组成虚拟主机、虚拟数据库和虚拟应用,在物理硬件层面上实现存储和部署的整合。

数据云模型层:提供包括数据云代理模型、数据桥接入模型、异构源集成模型、资源消息模型,在虚拟化资源的基础上,为实现构建统一资源管理体系、多数据中心的资源聚合提供模型支持。

资源聚合层:通过中间的连接代理系统在虚拟数据中心之间建立连接,将多个数据中心的资源聚合成一个虚拟的数据云,构建支持异构数据中心的云环境,提供适合各种应用的一体化资源管理与数据服务。

服务管理层:提供资源管理与数据服务的门户界面和服务接口,以松耦合的方式为领域数据用户和数据中心管理人员提供包括数据存储、数据处理、目录检索、统一部署、故障诊断、安全监控以及授权认证等的的数据服务以及可视化管理工作。通过门户界面透明地访问多数据中心资源聚合以后的所有资源和服务。

下面具体介绍领域科学数据云涉及到的几个关键模型。

3.2 数据云代理模型

数据云代理模型可以形式化定义为:

定义1 $iAgent = (Agent_Manager, Catalogue_Server, Data_Access, Backup_Switch)$ 是一个四元组,其中, $Agent_Manager$ 是代理管理器,一方面负责与数据中心以及其他数据中心建立连接,另一方面负责元数据管理、任务分配、监控管理、协调同步、负载均衡、并发控制等工作; $Catalogue_Server$ 是资源目录、元数据交换服务器,负责资源目录信息、元数据交换和授权认证工作; $Data_Access$ 是数据接入与交付服务器,负责数据交付工作; $Backup_Switch$ 是数据中心的容错交换机,负责数据中心的数据备份工作。

应该说, $iAgent$ 是以代理管理器为中心,通过使用虚拟化的交换机、服务器资源,组成一种高度虚拟化、可扩展、具有容错能力的自治系统,在数据中心中即插即用,不用配置或修改任何主机设置。如图2所示,在这个系统中,各种资源各司其职,相互配合, $Agent_Manager$ 负责部署、配置、元数据管理以及负载均衡; $Data_Access$ 运行异构源共享模型,屏蔽底层异构物理资源,提供统一数据接入环境。 $Catalogue_Server$ 通过运行资源通信模型,让数据中心任何两台服务器之间的通讯都可以选择通信路由,避免持续热点拥堵; $Backup_Switch$ 是高度集成的虚拟交换机,负责数据安全、容错备份、维护数据中心的软状态,即使在发生故障时,连接都转向这个中间交换机,以保持数据中心性能下降不明显。 $iAgent$ 主要有3种通信:数据中心 $iAgent$ 之间的通信、 $iAgent$ 代理与数据中心之间的通信以及 $iAgent$ 代理系统内部的通信,其中 $iAgent$ 之间的通信是以数据消息标签的形式代替文件传输,这样可以减少数据中心之间的数据交互。

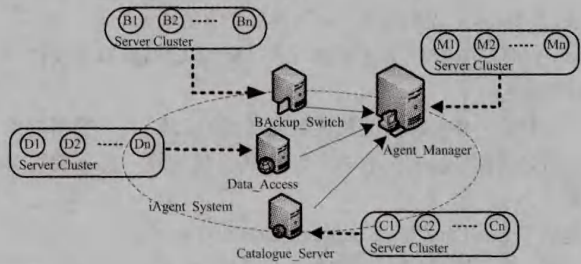


图2 数据云代理模型

通过数据云代理模型把物理分布、相互独立的数据中心在逻辑上“黏合”起来,利用异构源共享模型以及资源消息模型创建统一的数据中心管理环境,用以支持数据中心的异构整合、个性化配置以及统一管理,以满足数据中心对业务逻辑、应用逻辑的全面整合要求。下面分别介绍与数据云代理模型相关的其他2个模型。

3.3 异构源共享模型

异构源共享模型包括两个子模型:数据桥接入模型和异构源集成模型。数据桥接入模型是为数据透明接入提供接入规范;异构源集成模型是来自于多个异构数据源的数据进行集成。数据桥接入模型和异构源集成模型的结合实现了多个异构数据源的访问。

定义2 数据桥接入模型 $Bridge$ 为三元组 (C, M, S) ,其中, C 为数据应用,具体形式是应用者提出的一些元数据请求; M 为数据接入处理,负责与 C, S 的交互; S 为所有数据资源集合。

数据应用 C 与数据资源 S 没有直接相连,数据接入应用完全通过 M 进行,由 M 使用不同的数据接入API从不同的数据源 S 获取数据,并把数据交付给数据应用 C 处理, C 处理、修改的数据也是通过 M 传给数据资源 S 。

定义3 统一交付模型 M 表示为一个四元组 $M = (ST, Meta, iViewer, Rule)$,其中, ST 表示数据资源类型,包括DBMS、文件系统、电子表格、XML文档等; $Meta$ 为数据应用 C 请求的元数据; $iViewer$ 是一个有多个树根的数据对象集合,可以记录数据对象的所有操作; $Rule$ 为数据视图 $iViewer$ 生成规则,在不同的数据源之间使用统一交付模型的规则说明。

统一交付模型 M 一方面负责接入数据资源,根据应用 C 的元数据请求,使用不同数据资源的接口获取数据。另一方面,依据视图生成规则,生成不同数据视图,将数据以数据视图的形式统一交付给应用 C。

定义 4 数据视图 $iViewer = (Root, Object, Record)$ 是一个三元组,其中,Root 为数据视图中的各个树根,它实际上是由元数据所描述的目标;Object 为数据对象;Record 为修改记录,表示 C 对 M 数据视图的修改记录,记录最初是空的。

数据视图是由根对象、与根关联的所有对象以及修改记录所组成的。 $iViewer$ 是数据对象的分层描述。数据视图由 M 生成,C 可以对数据视图的数据对象进行遍历、读取或修改。数据视图还可以序列化为 XML Schema。数据视图提供 `createDataView`、`getRootObject` 和 `deleteDataView` 等操作。

定义 5 数据对象 Object 表示为一个四元组 $Object = (Name, Type, \sum_{i \in N} \langle a_i, v_i \rangle, isa)$,其中,Name 为数据对象名称;Type 描述数据对象的类型; $\sum_{i \in N} \langle a_i, v_i \rangle$ 为数据对象的属性列表,其中 a_i, v_i 分别是属性和属性对应的值;isa 是定义在 Object 上的偏序关系,表示数据对象之间的关系,具有自反性和传递闭包;

数据对象 Object 是构成数据视图的元素,每个数据对象都通过属性来保存内容,通过 isa 关系链接在一起。数据对象提供了 `createDataObject`、`getDataObject` 和 `deleteDataObject` 操作,除此以外,数据对象还为属性提供了接入 (getter) 和设置 (setter) 等操作。

数据桥接入模型的所有操作都针对数据视图,使得数据访问更加直观。构造好数据视图,就可以使用 XPath 语言来遍历数据视图中的数据对象。

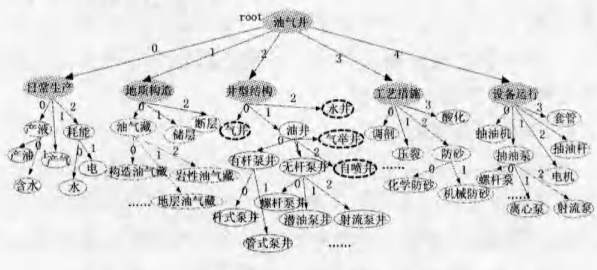


图 3 油气井数据视图

下面以一个油气井生产数据为例,说明数据桥接入模型的数据视图操作。图 3 中油气井数据包括日常生产数据、油气井所在区域的地质构造数据、油气井井身结构数据、工艺措施以及设备运行状况数据等。油气井各种数据是以某种主题聚集成的数据视图,数据视图还可以再以主题聚集生成数据视图。图 3 是以油气井为主题建立起来的数据视图。获取油气井的相关数据信息,可以通过遍历数据视图来实现。对数据视图的具体操作如下:

```
DataObject root = dataView.getRootObject(); // 首先需要获取数据视图的根元素;
DataObject Well = root.getDataObject("Well"); // 接入油气井对象;
String WellType = well.getString("Type"); // 查看是油气井哪一类信息;
DataObject Well_Type_Struct = well.getDataObject("WellType[Type='Oil_Well']"); // 了解井型结构;
```

```
DataObject Oil_Well = (DataObject)wellstruct.get(1);
// 如果选择是油井,可以根据油井的索引直接从数据视图中访问它;
Int Geo_StructReservoir = Geo_Struct.getInt("Reservoir"); // 查看油气井地质构造中的储层属性;
List Cur_ProductList = Cur_Product.getList(); // 调出树结构中油气井日常生产所包含哪些数据;
```

定义 6 异构源集成模型 $HSI = (iViewer, Relevance, Axiom, Rule)$,即 HSI 是一个四元组,其中, $iViewer$ 为数据视图的集合;Relevance 为数据视图之间的关联属性集合;Axiom 为模型中的公理集合;Rule 为一组 Horn 式的规则集合,规则由 $iViewer$ 和 Relevance 构成。

定义 7 关联属性 $Relevance = (isa, ReL, ReD)$,其中,isa 表示数据之间的层次关系,即父类与子类之间的关系;ReL 表示集成模型中数据视图之间的关联属性集合,即对象类型属性集合;ReD 为连接集成模型中数据视图和特定数据类型的关联属性集合,即数据类型属性集合。

在数据桥接入模型生成数据视图的基础上,图 4 利用异构源集成模型实现对多种数据视图的集成,即把数据视图映射到 HSI 模型上,按照领域的概念以及规则集成数据视图。HSI 支持丰富的查询语言,提供全局数据视图的数据环境。异构源集成模型根据 Axiom 公理隐含知识和 Rule 规则对模型进行分类,形成统一的数据操作环境,解决资源操作差异问题。通过数据视图集成透明地访问和控制各个数据中心的资源和服务。

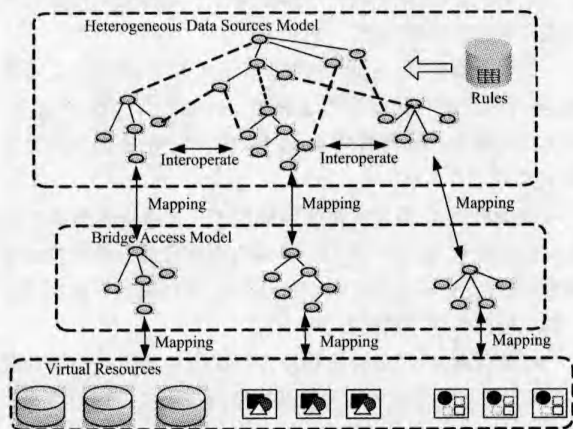


图 4 异构源数据视图集成

3.4 资源消息模型

资源消息模型支持各种传输、协议和数据格式,在各个数据中心的代理系统之间自由地传输消息,利用在消息内插入来自数据中心的资源目录信息,实现多数据中心的资源目录交换,生成统一资源目录和可视化配置管理。

定义 8 消息 $Message = (Sender, TimeStamp, \sum_{i \in N} ServDir_i)$ 是一个三元组,其中,Sender 表示消息的发起人;TimeStamp 表示消息发送时间戳; $\sum_{i \in N} ServDir_i, i \in N$ 表示消息主体,ServDir 为消息主体所携带资源目录信息,包括资源 ID、资源提供机构、资源描述。

消息的主体有两个来源,一个是数据中心内部抽取形成的资源目录、元数据信息;另一个是通过数据中心代理从其他数据中心获取来的资源目录信息。消息主体可以包含多个资源目录信息(见图 5);消息的定义描述为某个代理在某个具

体时间发送包含若干个资源目录信息的信息。这种定义实质上是一个包含了时间和消息发送人地址的函数,它能够在分布式环境下唯一标识一个消息。消息及消息主体可以任意扩展。

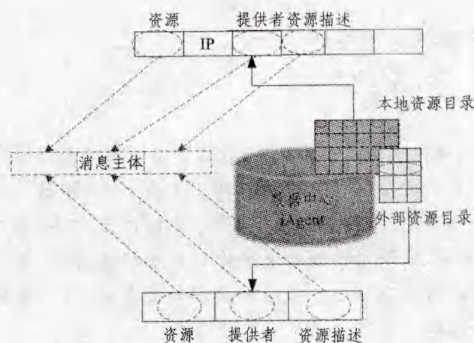


图5 消息主体来源

消息主体再加上消息头就可以封装消息报文。消息头包括消息报文类型、消息发起人、消息接收人、消息长度、消息相关属性、消息交换状态等。具体的消息报文格式如图6所示。一个消息报文可以包含多个消息。

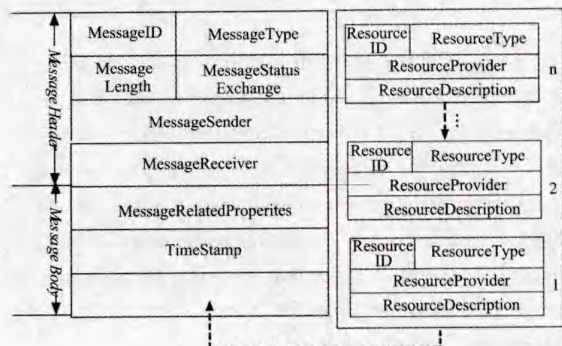


图6 资源消息报文

消息报文类型有两种:Hi消息和Ack消息。Hi和Ack消息报文格式一样,不同的是消息发起人和消息接收人。Hi和Ack消息报文具体互换过程可以结合下面的例子介绍,如图7所示。

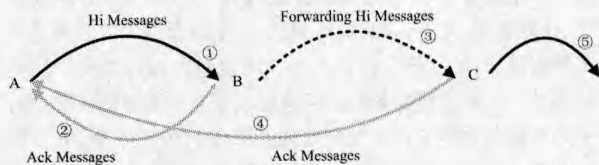


图7 资源目录交换过程

A发送Hi消息报文给B;

B接收Hi报文后,主要做了3件事:1)解析报文,把Hi报文中的消息主体信息存储到目录列表;2)用自己的服务目录替换Hi报文中的消息主体;3)将报文消息头的消息发起人和消息接收人信息进行对调,形成Ack报文发送给A;

B再把A的Hi报文转发给C,B具体做的是修改Hi报文消息头的消息接收人为C,转发给C;

C接收Hi报文,同样做了3件事:解析→保存→修改→发送给A;

C再转发给其他。

在代理之间的资源目录交换过程中,每个消息交换都会经历3个阶段:准备阶段、路由阶段以及接收阶段。

准备阶段:从本地资源目录表抽取资源目录信息(资源ID、资源提供机构、资源描述),形成消息主体,设置消息头信息,封装消息报文(见图6)。

路由阶段:从一个消息输入到另外一个消息输出,不断地修改消息头接收人字段,寻路,转发。

接收阶段:对接收到的报文进行拆包、解析、抽取消息主体信息,并添加到本地资源目录列表中;如果本地已有这项资源目录则更新之,如果没有则添加到列表中。

4 实例验证

为了验证领域科学数据云资源聚合模型的有效性,我们将模型应用到油气井科研数据服务管理中。在石油勘探研究院计算中心和油田计算中心的基础上,建立一个面向研究人员、决策人员与管理人人员,集科研、管理、生产、设计、诊断、决策数据为一体的油气井科研数据云。油气井科研数据云提供油田之间科研协作的应用场景有:在井位论证时,实现多个油田的研究成果关联,以便能够查询油田单井信息以及历年的井位部署的图件和报告等资料;采用视图查询关联邻井及其生产动态数据;研究人员提交阶段研究成果,管理人员可以跨区域随时完成审批工作流程等。

资源聚合模型的构成部件主要采用华为Cloud OS软件、OSCA融合架构平台以及Dsware存储。在Citrix Xen和Redhat KVM虚拟化的基础上,Cloud OS提供一体化管理、自动化部署和运维功能;OSCA对存储、网络以及应用进行垂直整合;Dsware存储引擎将物理分离的存储设备逻辑统一成一个大集中存储。图8给出的是油气井科研数据云示意图。对于油气井科研数据,资源聚合模型所能做的就是满足各项应用需求并以合理的方式来连接各个计算中心、实现聚合数据、消除异构以及统一管理。



图8 油气井科研数据云

在计算中心上设置iAgent代理系统,由iAgent代理实现数据中心的资源相连。在iAgent之间进行元数据资源目录消息交换以及数据传输和处理,最终在各个计算中心都会保存一份能够反映所有计算中心的资源服务目录。通过统一资源目录视图,可以便捷地使用和管理各个计算中心资源。

(下转第34页)

结束语 为了将 CompCert 的验证式方法引入具体实践以符合安全领域的应用要求,这里尝试以行业标准为依据对其经过形式化验证的编译方法进行改造、升级。首先,以 C90 及 C 安全子集为依据对 CompCert 进行测试,充分了解经过验证的编译器特性。然后,以测试结论为指导,对该编译器经过验证的编译过程进行 C 标准改造及实现 C 安全子集编译,最后形成 C 安全子集可信编译器。通过测试应用发现,该编译器已经基本符合 C 安全子集的编译要求,且没有降低 C 代码的执行效率。

参 考 文 献

- [1] CEI/IEC 60880:2006, Nuclear power plants. Instrumentation and control systems important to safety. Software aspects for computer-based systems performing category A functions [S]. Geneva: CEI/IEC, 2006
- [2] RTCA/DO-178B, Software Considerations in Air-borne Systems and Equipment Certification[S]. Washington DC: RTCA, 1992
- [3] INRIA. CompCert development team. CompCert [EB/OL]. <http://compcert.inria.fr/index.html>, 2012-07
- [4] Klein G, Elphinstone K, Heiser G, et al. seL4: Formal verification of an OS kernel[C]//Proceedings of the ACM SIGOPS

22nd symposium on Operating systems principles. NY, USA: ACM New York, 2009: 207-220

- [5] Coq development team. The Coq proof assistant [EB/OL]. <http://coq.inria.fr/>, 2012-07
- [6] Nipkow T, Paulson LC, Wenzel M. Isabelle/HOL: a proof assistant for higher-order logic[M]. London: Springer-Verlag, 2002
- [7] Xavier L. Formal verification of a realistic compiler[J]. Commun ACM, 2009, 52(7): 107-115
- [8] Sandrine B, Xavier L. Mechanized semantics for the Clight subset of the C language[J]. Journal of Automated Reasoning, 2009, 43(3): 263-288
- [9] Xavier L. The CompCert C verified compiler Documentation and user's manual, version 1. 11[R]. Paris: INRIA Paris-Rocquencourt, 2012
- [10] ISO/IEC 9899-1990. Programming languages-C [S]. Geneva: ISO/IEC, 1990
- [11] GJB 5369-2005. 航天型号软件 C 语言安全子集[S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2005
- [12] GB/T 15272-94. 程序设计语言 C[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 1994
- [13] MISRA. The MISRA C team. MISRA C [EB/OL]. <http://www.misra-c.com/Activities/MISRAC/tabid/160/Default.aspx>, 2012-07

(上接第 29 页)

结束语 领域应用需求的飞速增长和多样化使得数据中心的规模越来越大、越来越复杂。领域科学数据云为此提供一种解决思路。领域科学数据云的核心在于实现数据共享,而共享的前提是数据的统一标准和一致管理。领域科学数据云的实现基础是中间连接代理系统。由连接代理系统利用数据云代理模型、异构源共享模型以及资源交换消息模型构建统一的数据中心管理环境,用以支持异构存储和服务器,并提供一体化的数据传输与资源服务,实现数据中心的积木式连接、去中心化的资源融合以及存储容量扩充。通过实验验证,将领域科学数据云资源聚合模型应用在油气井科研数据共享服务是行之有效的。领域科学数据云为实现数据中心资源聚合以及从传统数据中心架构过渡到云架构提供了有价值的参考。下一步的工作是要进一步完善领域科学数据云的资源交付、自动部署以及运维管理等,以期能更好地服务于具体的领域应用。

参 考 文 献

- [1] 王意洁,孙伟东,周松,等. 云计算环境下的分布存储关键技术[J]. 软件学报, 2012, 23(4): 962-986
- [2] Gray J. Rethinking data center network connectivity for new architectures [EB/OL]. <http://www.searchnetworking.techtarget.com/news/2240036484/Rethinking-data-center-network-connectivity-for-new-architectures>, 2012-08-06
- [3] 从孤岛到融合: 数据中心网络架构的革命[EB/OL]. http://net.chinaunix.net/a2011/0920/1248/000001248682_2.shtml, 2012-08-06
- [4] 新蓝图: 云计算和数据中心融合[EB/OL]. <http://www.ciotimes.com/infrastructure/sjk/61535.html>, 2012-10-06
- [5] Meng X, et al. Improving the scalability of data center networks with traffic-aware virtual machine placement[C]//Proc IN-FOCOM. 2010: 1154-1162

- [6] Greenberg A, Hamilton J R, Jain N, et al. VL2: A scalable and flexible data center network[C]//Proc. of the SIGCOMM 2009. 2009: 51-62
- [7] 数据中心: 融合基础架构[EB/OL]. <http://www.dlnet.com/datacenter/tech/78307.html>, 2012-08-06
- [8] Li B, et al. EnaCloud: an energy-saving application live placement approach for cloud computing environments[C]//Proc of International Conf on Cloud Computing. 2009: 17- 24
- [9] Valancius V, Laoutaris N, et al. Greening the Internet with nano data centers[C]//Proc of CoNext. 2009: 37-48
- [10] 张伟, 宋莹, 阮利, 等. 面向 Internet 数据中心的资源管理[J]. 软件学报, 2012, 23(2): 179-198
- [11] Chang F, Dean J, Ghemawat S, et al. Bigtable: A distributed storage system for structured data [C]//Proc. of the 7th USENIX Symp. on Operating. Systems Design and Implementation. Berkeley: USENIX Association, 2006: 205-218
- [12] Chaganti P. Cloud computing with Amazon Web Services. Part 5: Dataset processing in the cloud with SimpleDB[OL]. <http://www.ibm.com/developerworks/library/ar-cloudaws5/>, 2009
- [13] A brief overview of the Cassandra storage engine [EB/OL]. <http://cassandra.apache.org/>, 2012-10-05
- [14] Waldspurger C A. Memory resource management in VMware ESX server[C]//Proceedings of the 5th Symposium on Operating Systems Design and Implementation(OSDI2002), ACM Operating Systems Review, Winter 2002 Special Issue. Boston, MA, USA, Dec. 2002: 181-194
- [15] Velte A, Velte T. Microsoft Virtualization with Hyper-V[M]. McGraw-Hill Inc. New York, NY, 2009
- [16] 钱琼芬, 李春林, 张小庆, 等. 云数据中心虚拟资源管理研究综述[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(07): 2411-2415
- [17] 张成峰, 谢长生, 罗益辉, 等. 网络存储的统一与虚拟化[J]. 计算机学报, 2006, 33(06): 11-14
- [18] 初佃辉, 王显志, 王忠杰, 等. 面向个性化需求的虚拟服务资源整合方法[J]. 计算机学报, 2011, 34(12): 2370-2380