

Grid 技术研究现状及应用

The Review on Grid Technology Research and Application

黄 昶 陆 伟 吴朝晖

(浙江大学计算机系 人工智能研究所 杭州 310027)

Abstract Computation grid is the infrastructure for the next generation internet. In the past five years, research on grid technology has been thriving and grid technology has been widely adopted by a number of government organizations and research institutions to establish their own large-scale resource sharing network. This paper presents a review of recent research on elemental grid technology. We focus on a brief overview on Grid's protocol architecture. In the end, we list a series of large projects to illustrate the current application situation based on the ongoing grid technology and preview the tendency of grid technology in the future.

Keywords Grid, Resource sharing, Coordinate, Grid architecture, Globus, Network OS

1 简介

在大型科学研究和工程领域,高性能的网络应用,如科学仿真,实时监控,需要由多个合作机构的共同参与,需要使用各机构拥有的资源。合作机构之间通过高速网络共享合作伙伴所拥有的计算、存储和显示资源来解决复杂的计算问题^[1]。这些地理上分布的资源形成了资源网格(Grid),利用资源网格上的资源进行的分布式计算被称为网格计算(grid computing)。简单地讲,Grid就是将位于全球不同地方的研究机构所拥有的硬件和软件设施联合起来以解决极端复杂的科学研究和计算问题。在硬件方面,Grid需要将地理上分布在不同的地方的硬件资源,如网络、计算机、数据仓库以及可视化虚拟现实显示等有机地连接起来。在软件方面,Grid的作用就像一个中间件,它将需要的各种硬件和软件资源有机地集成起来以便这些不同的部件能够协同运作。

Grid这一术语最早出现于上个世纪90年代中期,用于描述在科学工程计算领域,由个体或机构等各种类型的网络资源提供者组成的动态环境下,一种灵活、安全、协同的资源共享模式。近几年来,Grid技术逐渐成为研究热点。由美国国家科学基金会(NSF)资助的STAR TAP^[5](科学、技术和研究传输访问点)计划下属的Globus项目是Grid技术的主要发起者,致力于建立通用的资源网格的基础结构。Globus的两个参与机构,美国芝加哥伊利诺斯大学的电子可视化实验室和印第安那大学在1998年度IEEE/ACM超级计算会议(SC'98)上联合推出了一项联合研究成果,演示了全球研究机构联网的重要性。他们使用高级的高速网络来访问物理上分布在不同地方的分布式计算、存储和显示资源解决复杂的计算问题。

Grid计算网格具有自适应、可扩展等特点,应用程序可以集成网格结点提供的服务,利用资源的协同共享解决复杂的计算问题。分布式资源的协同共享是Grid技术解决的核心问题。在动态的环境下,将不同位置,异质类型的网络节点联系起来用于问题处理,必须要有一套机制用于这些自治节点间的协同。它包括资源认证、授权、资源发现、错误检测、失败恢复等等一系列问题。

Grid代表了下一代的Internet技术,它的最终目标是将地区间乃至国际间的计算网络连接起来,形成一个规模空前

的计算环境^[2]。目前,计算网格基础结构的研究正处于进展阶段,Globus已经推出了一套完整的Grid体协结构方案和制定了配套的协议、服务、API,并研制出了相应的工具包用于开发基于Grid的应用。本文将以Globus的研究为主线,介绍计算网格的概念,描述Grid的体系架构,Grid定义的服务类型和协议类型,介绍当前国际上网格技术的最新动态。

2 Grid 计算网格特点

2.1 广泛的资源类型

Grid提出了虚拟组织(Virtual Organization, VO)的概念。VO是由分布式节点构成的问题处理环境。虚拟组织的成员互相协作完成某一共同目标,这些成员可以是任意Internet上的节点。比如参与天文观测实验的研究机构,企业的原料供应商,销售商和存储仓库提供商,以及远程教学系统等等都可以认为是VO的实例。一个VO由若干个资源节点和VO用户组成,一个资源节点可能同时属于多个VO。图1是一个VO群组的示意图。VO成员间的协作是通过资源共享来实现的,每个成员都可以是资源的提供者和使用者的,它们之间根据一定的共享规则建立服务关系。

资源网格即Grid描述了一个VO内的资源分布情况。资源网格由若干个资源节点构成,资源网格下的资源类型十分广泛,主要可以划分为以下几类:

计算资源 资源节点执行某项任务,接受请求者的输入参数,调动进程进行处理,返回结果;

存储资源 资源节点具有存储设备,提供海量数据的存储服务;

网络资源 资源节点提供网络连接服务,负责带宽分配,负载控制,例如代理服务器;

代码资源 特殊的存储资源,资源节点是一个程序代码库,存放公用的程序代码,在协同的应用开发过程中经常用到,具有版本管理功能;

目录资源 特殊的存储资源,存放结构化数据,例如关系数据库。

2.2 包容现有的分布式技术

Grid研究的核心问题是资源共享,属于分布式计算领域研究的范畴,但是又区别于一般的分布式计算技术。首先,资源共享是大规模的,资源类型具有普遍性。Grid下的一个资

源节点可以代表文件服务器,数据库,程序,传感器等种种连接于网络的软硬件设施。目前的分布式技术处理的资源类型十分有限,Web 发布,B2B exchange^[7]以及 virtual enterprise^[8]技术主要解决信息资源的共享,但是并没有涉及应用程序的绑定调用和远端物理设备(如显示设备和传感器)的控制使用问题。其次,Grid 下的共享关系更加灵活,充分考虑到了网格节点的自治性。VO 具有开放的体系结构和灵活的共享机制和访问机制,对于参与成员没有过多的限制。与之相比,现有的分布式计算技术对于计算单元的种种限制,束缚了

它们的灵活性和扩展性。企业分布式计算技术,如 CORBA 和企业级 Java 仅允许同一组织内部的资源共享。SSP(Storage Service Provider)和 ASP(Application Service Provider)允许不同组织间的存储资源和计算资源的共享,但是必须加以一定的条件约束,比如 SSP 要求用户必须通过 VPN(Virtual Private Network)与服务提供者进行连接。

分布式计算本质上是一种网络环境下的资源协同共享,因此这些技术都可以运用 Grid 概念加以解释,使用 Grid 技术实现。

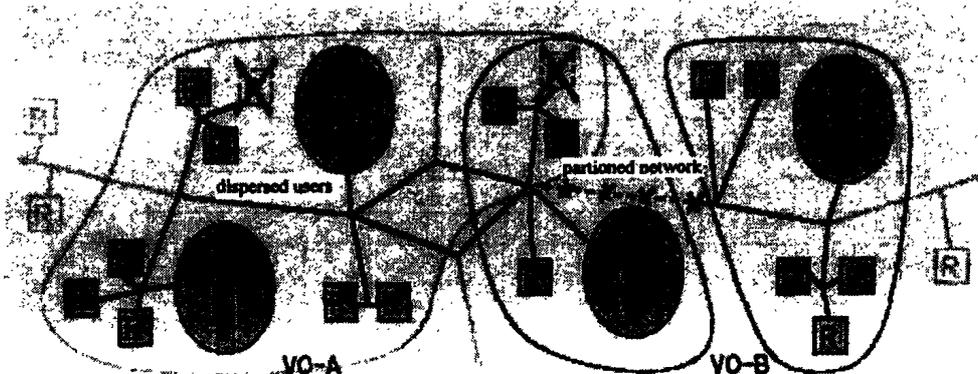


图1 广泛分布的 Virtual Organization

2.3 可扩展的体系结构

如上所述,建立、维护和管理跨组织的资源共享需要在网格部件间建立新的资源共享规则,这种新机制的引入是建立在原有各网格部件局部策略的基础上。在资源节点上构建共享中间件管理平台不能破坏组织对资源原有节点的局部控制机制。Grid 的设计者们仅仅定义了计算网格中各节点部件所必须满足的基本服务和功能,并且用协议的方式描述这些网格部件间的互操作行为,而不涉及部件底层的实现,从而使得这些节点可以很容易地改造成与 grid 兼容的资源节点。这种轻型化的设计思想使得在各种异质类型的网络节点上构建计算网格成为可能,从而确保了 Grid 模型的通用性。而 Grid 良好的层次划分和接口设计又充分考虑到今后 Grid 模型的扩展。因此,Grid 中的资源只是一个逻辑概念,Grid 探讨的问题只是从外部对这些资源提出最基本的服务要求,并将这些要求制定成相应的协议。比如,一个 FTP 服务器或者是一个网络硬盘驱动器,都可以作为一个 grid 存储资源节点的底层部件。只要通过调用它们提供的底层功能函数能够实现 Grid 规定的数据库资源服务,响应 Grid 的存储资源访问的协议,就可以将它们作为存储节点加入 Grid,而在网格环境中这两种由不同方式实现的数据存储服务并没有什么差异。

3 Grid 体系结构

3.1 设计思想

中间件是将各资源实体联系起来的软件,中间件接受上层网络应用的请求,分配适合的资源供应用访问并负责对这种资源访问的管理和调度。中间件连接上层应用和底层资源,构建一种松散耦合的共享连接。对于这种灵活开放的连接,在考虑中间件与上层应用,中间件和资源节点的接口设计上,必须考虑这些因素。

• 资源表达机制 资源实体之间的相互区别依赖于一种全局的命名机制,使其能够被方便的定位。此外,在身份识别

的同时,资源实体还必须能够表达自身所能提供的服务,以结构化的形式描述服务的元信息(metadata),其中包括资源类别,服务提供方式和访问限制等等。

• 资源注册机制 资源实体是分散的,而 Grid 是一种可扩展的结构,允许新的资源实体不断被并入计算网格。因此中间件必须提供一种注册机制,允许资源实体发布自己的服务。

• 资源发现机制 应用在每次向中间件提出请求时,中间件必须能够列出当前时刻有哪些资源节点可供该应用访问。这是十分必要的,因为 VO 是一种动态的计算环境,网格中的资源节点分布随时都会发生变化,中间件必须能够实时地反映这种变化。

• 代理机制 VO 中的资源共享不是简单的客户-服务器关系。资源提供实体在提供服务的同时可能也是资源的使用者。比如,在一个计算资源节点上执行的任务可能启动其他计算节点上的进程,或是调用某一目录类资源节点中的数据库。这种多资源节点捆绑在一起协同使用要求一种代理授权机制,用于访问控制。

3.2 协议层次

Grid 的研究者们定义了一个层次化的结构用于描述资源实体和中间件组成的计算网格。各种网格部件按照其承担的职能被归类到相应的层中,共分成 5 层,如图 2 中所示^[4]。每一个层次中的部件具有公共的属性,可以调用任何低层部件的功能来实现 Grid 所要求的服务。Grid 层次间通过一系列 Grid 协议进行交互,下面就针对每一层的服务和层间协议进行介绍。

3.2.1 局部层 代表资源实体的本地模式,是该资源实体局部控制的接口。Grid 目前对资源的划分,主要有 2.1 节中所描述的几类:计算资源、存储资源、目录资源、代码资源等等。Grid 对每一类型的资源都有一定的限制,比如存储资源必须支持文件存储的操作,目录服务必须提供查询服务等等。满足这些功能要求的资源都可以并入 fabric 层。

局部层为上层的资源共享相关的服务提供最原始的操作。对于这些基本操作,Grid 没有施加太多的限制,这是 Grid 轻型化设计思想的体现。局部层的资源概念与 Resource 层的资源概念不同,这里的资源是物理概念,是共享服务的实现部分,而在 Resource 层里,资源是由 Grid 定义的支持某些特定协议,提供特定服务的单元,是一个逻辑概念。Resource 层以

统一的形式向上提供这些服务的调用,Resource 部件映射局部层中的部件,调用 fabric 本地操作完成这些规定的功能。比如网格中的一个目录资源节点,它的局部层可以是一个关系数据库,也可以是一个 XML 文档结构,这个抽象的资源节点向上提供的目录服务可以通过数据库查询或者是操纵 XML 文档来实现。

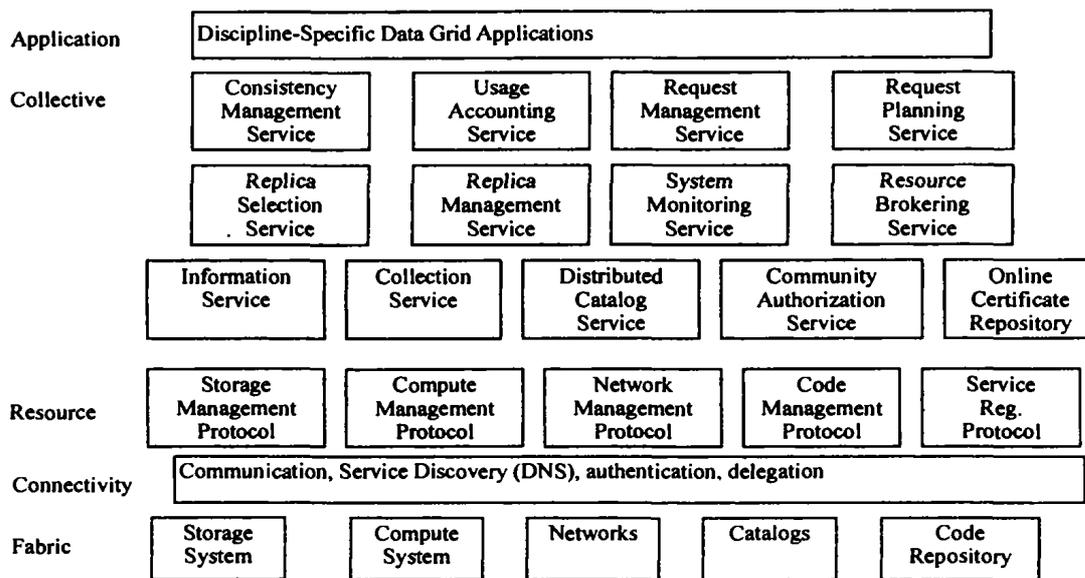


图 2 Grid 的协议体系

3.2.2 连接层 定义了 Grid 相关的网络事务的通讯和认证协议,负责用户对 fabric 层资源使用的安全认证和授权事宜。在连接层的设计上,研究人员总结出以下几个方面的要求:

- 一次登录。用户只需一次登录网格,即宣告连接入该网格,从此可以使用该网格下的多个资源,不必重复登录。
- 代理机制。连接层应该为每一个用户设立一个代理程序,在用户访问底层资源时完成一切与之相关的认证操作。同时这种程序还必须提供授权机制,允许用户将拥有的部分权利授予另一个用户代理程序。
- 与本地安全机制集成。一个计算网格中,每一个 fabric 层的资源都有各自的安全机制,并不是对所有的用户都开放,对于开放用户也赋予了不同的权利。连接层的安全机制必须集成这些本地资源的安全机制。比如同一用户在多个资源可能拥有不同的登录名,用户代理程序必须对这些登录名进行管理。
- 基于用户的委托关系。用户在使用来自多个资源提供者的资源时,连接层不能依赖这些资源提供者本地安全系统间的交互来配置运行时的安全环境,即不能以本地安全系统间的交互作为用户同时使用多个资源的前提。

除了认证机制外,连接层还为通信提供灵活的保护策略,如为不可靠的传输协议提供数据保护以及保护级别控制等等。

3.2.3 资源层 资源层是资源实体的抽象层。它建立在连接层的认证和通信协议之上,定义了对物理资源实体(fabric 层)资源共享的协商、建立、计费过程的协议。资源层部件调用 fabric 层的函数访问和控制局部资源,实现相关协议。这些协议必须充分考虑兼容底层不同类型资源的局部控制,同时又避免给上层结构调用资源层服务造成过多的限制,因

此设计者们在制定这些协议时十分注重协议的精简性,只定义了资源共享中所需的最基本的一些功能要求。下表列出了不同类型资源的功能要求:

表 1 Grid 资源的分类

资源类型	资源层功能要求
计算资源	启动进程;监控进程运行情况;管理分配给执行进程的资源;查询与计算任务相关的软硬件状态
存储资源	存取文件;管理分配给数据传输的资源(带宽, CPU, 存储空间等);查询软硬件状态,例如数据传输带宽,可用存储空间等
网络资源	管理分配给网络传输的资源;查询网络属性,负载
代码资源	版本管理
目录资源	目录查询和更新

从以上对资源层的功能要求来看,资源层的协议主要分为两大类:

• 信息类协议。用于获取资源实体的结构和状态信息。例如,网络资源的当前负荷情况,访问限制,目录资源的目录结构等等。目前典型的信息类协议有 GRIP(Grid Resource Information Protocol)用于资源信息模型描述;GRRP(Grid Resource Registration Protocol)^[9],用于将资源注册到 Grid 索引服务器(collective 层)。

• 控制类协议。用于实例化资源共享关系,比如启动进程,执行目录查询操作,资源预留等等。这类协议还包括对于资源访问过程的监控。目前典型的管理类型协议有 GRAM(Grid Resource Access and Management)^[9],一个基于 HTTP 协议的计算资源分配和进程管理监控协议;GridFTP^[10],一个扩展的 FTP 协议,支持高速并行传输管理并且使用连接层的安全协议进行数据传输;LDAP(Lightweight Directory Ac-

cess Protocol)目录访问协议。

3.2.4 协同层 建立资源层的基础上,可以统筹 VO 内部多个资源完成更加复杂协同共享行为。简单地说,资源层完成了单一资源实体的抽象化工作,使得它们能够以 Grid 定义的方式对外提供服务,而协同层则是协同地使用这些资源实体,这一层次的部件可以全局地管理 VO 内的 Grid 资源或者是绑定这些资源建立更加高级的资源共享服务。以下介绍几个协同层的典型服务。

- Grid 资源目录服务。该服务由 Grid 资源索引服务器提供,索引服务器维护一个 VO 内部所有 Grid 资源的目录,记载每个资源的一些属性,例如资源类型信息,当前是否可用等等。资源目录通过资源注册过程建立。Grid 资源用 GRIP 描述自身的资源信息模型并且通过 GRRP 将其注册至 Grid 资源索引服务器,索引服务器为该资源创建一个索引。资源索引服务器展示 VO 内部资源分布的情况。

- 资源分配,调度服务。资源分配服务根据应用提出的特定需求检索 Grid 资源索引目录,为应用定位合适的资源。资源调度服务能够协调多个应用对于同一资源的访问。

- 监控诊断服务。该服务动态监视 VO 内部资源的工作状态,报告资源访问过载,出错等异常情况,支持“入侵检测”,报告资源正遭受到的恶意使用或攻击。

- 数据副本服务。该服务管理同一数据在不同物理场地上的多个副本,在进行数据存储操作时,可以根据不同存储资源节点当前的工作状态(考虑贷款,负载等因素)选择最合适的副本用于传输,优化数据传输性能。

- 软件发现协议。该服务针对某类特定的应用,选取最合适的软件实现平台(计算类资源)。

- 计费服务。该服务可以集成 VO 资源的计费服务,全局地实现用户使用 VO 内资源的计费功能。

这些协同层的服务都是基于资源层提供的功能实现的。与资源层定义的通用型服务相比,协同层的服务除了一些通用的服务外,如 Grid 资源目录服务(每一个 VO 都必须提供),还可以结合特定领域环境提供与上层应用相关的服务。

3.2.5 应用层 Grid 体系结构的最高层是共享资源的使用者。在 VO 环境下,应用程序开发者可以调用 Grid 平台提供的资源发现、资源管理、数据存储等一系列服务方便地开发资源共享为特征的应用程序。应用程序可以调用协同层的服务完成涉及多个资源的操作,也可以直接访问资源层部件,通信格式即各个层次定义的协议。

以协议和服务的方式确定 Grid 层次结构的作法赋予了 Grid 极大的灵活性和扩展性。首先,Grid 没有对协议和服务的实现方式进行限制,这使得 Grid 能够很容易地在由不同平台主机节点上用不同的方法实现。

4 Grid 技术的应用现状及前景

目前欧美等国的科研机构已经积极投入到 Grid 应用热潮中,着手制定相应计划。美国国家自然科学基金会 NSF 在 Globus 项目的基础上,积极鼓励 Grid 技术的在科研工程领域的应用。在天文观测、科学试验仿真、教育、医疗、军事等领域,NSF 和 DARPA 相继批准了一系列应用研究项目。

Globus^[11]是一套支持新兴的高性能分布式计算应用开发的工具集,由美国 Argonne 国家实验室和南加州大学共同开发。Globus 服务解决广域多模态环境(如通信、安全、信息、数据访问和容错检测等)带来的重大挑战。比如,应用可以通

过使用 Globus 为特定的问题寻找网络中最适合的计算机资源,然后再应用这些计算机来解决问题。Globus 服务既可以用来开发更高级的工具,也可直接用在应用中。目前 Globus 开发包被许多组织采用,用于建立计算网格支持他们的应用。

National Technology Grid (NTG)国家技术网格是由美国国家自然科学基金会(NSF)发起的 PACI 计划(Partnership for Advanced Computational Infrastructure)的两个下属项目 NPACI(National Partnership for Advanced Computational Infrastructure)和 NCSA(National Computational Science Alliance)联合建立的全美科学技术研究网格。NTG 分发 Globus 的开发包,改造了全国范围内的许多科研设施,其中包括超级计算中心,研究实验室和许多高等院校。PACI 计划的目标是建立和鼓励原型化的计算网格应用于科学与工程研究领域,并且藉此建立美国下一代的计算网络主干设施。

DataGrid^[12]是欧盟赞助的一个国际性项目,致力于建立一个计算和数据集中的资源网格用于分析科学研究数据,最终使全世界范围内的科学研究人员能够共享这些数据资源和各种计算资源(如处理器,磁盘等等)。该项目有六个主要成员:CERNN,CNRS,ESRIN,INFN,NIKHEF,PPAARC。目前正设计和开发可扩展的软件方案和测试床用于处理许多 PB 级的分布式数据和大量分布的计算资源。DataGrid 的主要工作有:

- 建立一个研究网络,共同开发必要的技术组件,创建一个前所未有的全世界范围内的数据网格;

- 通过大规模的由真实用户参与的端对端应用实验,演示数据网格这项新技术的有效性。

美国国家宇航局(NASA)目前正在以 Globus 的开发包作为技术基础搭建它的信息能源网格 IPG。IPG 联合参与机构的超级计算机和存储设备,形成了一个统一的无缝的计算环境。IPG 将帮助来自政府部门,学术界和企业界的领导人合作解决 21 世纪的面向世界的重大问题。IPG 的远景规划是使全美的研究人员和技术人员能够随时访问他们所需要的远端超级计算资源和数据仓库。

此外在欧洲,以英国的 e-science^[13]计划为代表的国家级项目也纷纷出台。以上这些国家级的项目表明,首批 Grid 应用将主要针对科学研究领域,实现那些不易访问的重要实验仪器,实验数据,计算设备的大规模共享。

今后几年,围绕着资源网格体系结构的研究将继续深入,现有的 Grid 功能将继续完善,新的需求将被集成至基础结构的设计之中,最终实现在异质类型网络环境下搭建统一的资源网格的目标;实现 Grid 协议开发包将不断推出,加速上层 Grid 应用的开发过程。正如当初 OSI 结构提出到 ICP/IP 成为 Internet 标准通信协议一样,资源网格也终究将标准化,形成一套完整的体系,为分布式系统提供定义良好,易于实现的框架。下一代 Internet 即资源网格基础结构的研究是一项国际性的合作,需要各国的高等院校,研究机构和企业界的广泛参与,共同制定标准。

结束语 本文介绍了 Grid 计算网络的概念,对 Grid 的层次结构做了综述性介绍。Grid 是下一代 Internet 的存在形式。从分布式计算的观点看,Grid 是建立在目前 Internet 信息传输功能基础上,以高性能计算和海量数据操纵为特征的分布式问题处理环境(PSE),它为分布式系统提供了定义良好,易于实现的框架。从操作系统的角度,Grid 可以看作是一台

(下转第 35 页)

系列年会已派生出几个与 Petri 网关系密切的国际学术会议, 计有 Petri 网与性能评价模型国际会议, 简称 PNPM; 着色 Petri 网应用与经验国际专题研讨会; 并发与分布式系统国际会议。至于各种涉及通讯、信息系统国际会议设立的 Petri 网分会、地区性的、友好国家间的国际会议, 以及许多国家内的 Petri 网学术交流更是精彩纷呈。

6

会议的宴会在美丽的托伦斯湖畔举行, 从晚上七点半延续至半夜。它是一套完整的西餐, 但总量并不十分多, 主要时间用于交谈。席间, 指导委员会主席特地找到我, 商量 2005 年会议举办国的事; 2003 年会议已定由荷兰举办, 2004 年已有意大利申办成功, 他们希望中国能在明年二十四届荷兰会议上申办 2005 年二十六届 Petri 网年会。我想这是中国网人二十年来出成果出人才的结果, 更是中国人的荣誉。我承诺一定将此信息转达至中国计算机学会 Petri 网专业委员会, 转达给中国网人, 我更希望我们能申办这二十六届国际年会, 并取得成功。

7

千里迢迢参加国际会议, 每次都有不少收获。遇到老朋友、结识新朋友、更为今后的学术交流开拓了新的途径; 我曾在以 Petri 教授为所长的研究所进修和工作过, 这次遇到当时相邻办公室的博士生, 现在德国某大学教授, 我们对 Petri 网应用于工业系统有类似观点, 进而有口头合作意向, 现正努力促成; 在国防系统形式模型专题讨论会上有一澳籍华裔科学家作特邀报告, 涉及操作规划和 Petri 网的, 十分有兴趣, 在得知他今年九月将在上海的消息后, 我回京即请我们 Petri 网专业委员会在沪的秘书长请他与我们作一天上海学术研讨; 香港城市大学的某教授与我们是同行, 他除了对 Petri 网感兴趣

外, 对工作流有深入研究, 他在近期将过北京转北方访问, 正是留他半天、一天与我们交流的好时机。

8

去年访悉尼, 游凯恩斯, 留下深刻印象、美好回忆。

阿德莱德既无名胜, 又无古迹, 却让人留连忘返; 究其原因, 环境太好了! 南澳大利亚大学阿德莱德分部座落于市中心北部; 市中心呈正方形, 步行一周耗时仅 1 个半小时, 面积和北京颐和园相当。市北有托伦斯河流过, 河宽处水缓, 形成托伦斯湖; 从大学步行 10 分钟即可达湖畔绿地, 可遇嬉戏其中的野生禽兽。市东有座小山, 密林环绕, 鸟儿欢唱; 登顶远望, 一览无遗。西南海滩有轨可达, 沙细浪平, 水蓝天蓝。

除大学外, 不少科研部门以及众多澳大利亚国防科研机构设于阿德莱德。我相信他们会把事情越做越好, 会把事业越做越兴旺。我也希望以会议为契机与他们建立长期交流关系以及合作乃至稳定合作关系。

参 考 文 献

- 1 陆维明. Petri 网研究在中国. 计算机科学, 1992, 19(3)
- 2 陆维明, 林闯. Petri 网研究: 机遇与挑战. 计算机科学, 1994, 21(4)
- 3 陆维明. Petri 网与 DNA 计算. 计算机科学, 1998, 25(1)
- 4 陆维明, 甄强. Petri 网系统活性的研究. 计算机科学, 1999, 26(4)
- 5 Li Jiao, To-Yat Cheung, Weiming Lu. Characterizing Liveness of Petri Nets in Terms of Siphons, 203-216, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2002
- 6 Lakos C, et al. FORMAL METHODS IN SOFTWARE ENGINEERING AND DEFENCE SYSTEMS 2002, Journal of Research and Practice in Information Technology, Vol. 12, Australian Computer Society Inc. ISSN 1445-1336, ISBN 0-909925-90-9, 2002. <http://www.crpit.acs.org.au/>

(上接第 39 页)

虚拟机, 分散的网格节点是虚拟机的内部硬件资源, Grid 软件通过资源层服务驱动这些硬件设备, 并且协调这些设备的使用, 通过协同层的服务为上层应用提供系统调用。

在未来 10 年, 越来越多的分散于 Internet 上的资源将通过互联网被挖掘使用, 逐渐取代目前主要由 Web 站点构成的以信息发布为主要应用的模式, 计算网格将成为下一代 Internet 的存在方式。以 Grid 技术为代表的面向网络的计算环境将成为未来分布式研究的一个主流方向。

参 考 文 献

- 1 Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. Intl. J. Supercomputer Applications, 2001, 15(3)
- 2 Foster I, Kesselman C. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann, 1999
- 3 Casanova H, Dongarra J. NetSolve: A Network Server for Solving Computational Science Problems. Intl. J. of Supercomputer Applications and High Performance Computing, 1997, L1(3): 212~223
- 4 Reagan W. Moore, William Johnston, Ian Foster. Proposed Grid

Protocol Architecture GGF1 Presentation © <http://grid.lbl.gov/GPA/GPA.GGF-1.ppt>

- 5 <http://www.startup.net>
- 6 Armstrong R, et al. Toward a Common Component Architecture for High Performance Scientific Computing. In: Proc. 8th IEEE Symp. on High Performance Distributed Computing, 1999
- 7 Sculley A, Woods W. B2B Exchanges: The Killer Application in the Business-to-Business Internet Revolution. ISI Publications, 2000
- 8 Clements P E, Papaioannou T, Edwards J. Aglets: Enabling the Virtual Enterprise. In: Proc. of the Managing Enterprises-Stakeholders, Engineering, Logistics and Achievement Intl. Conference (MESELA '97), Loughborough University, UK, 1997
- 9 Czajkowski K, et al. A Resource Management Architecture for Metacomputing Systems. In The 4th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, 1998. 62~82
- 10 Allcock B, et al. Secure, Efficient Data Transport and Replica Management for High-Performance Data-Intensive Computing. In Mass Storage Conference, 2001.
- 11 <http://www.globus.org/>
- 12 <http://www.eu-datagrid.org/>
- 13 <http://www.escience-grid.org.uk/>