

知识网格研究综述¹⁾

夏火松¹ 陈国栋² 范昭岩¹ 章伟¹

(1. 武汉科技学院经济管理学院, 武汉 430073; 2. 台州学院数信学院, 台州 317000)

摘要 知识网格把网格技术的思想运用到信息管理和知识管理领域, 推动了知识管理研究的发展, 标志着目前网格研究已经从计算网格发展成为面向服务的网格。本文检索了国内外自 2001~2006 年所发表的知识网格方面的重要学术论文, 经过仔细阅读、筛选和分类后从知识网格概念的阐释、知识网格体系结构的研究、知识网格基础支持理论的研究、知识网格的应用研究这四个方面对具有重要研究意义的、处于领先水平的知识网格研究进行述评, 最后总结了知识网格研究的热点和研究的趋势。

关键词 网格计算 知识网格 语义网 知识本体 知识流

Review of Knowledge Grid Literature

Xia Huosong¹, Chen Guodong², Fan Zhaoyan¹ and Zhang Wei¹

(1. Wuhan Institute of Science and Technology, Wuhan 430073; 2. College of Mathematics and Information Engineering of Taizhou University, Taizhou 317000)

Abstract Knowledge grid applies grid computing to the fields of information management and knowledge management and promotes the development of knowledge management research. It marks the current grid research has developed from the computing grid to the service-oriented Grid. In this paper, some important domestic and overseas papers about the fields of knowledge grid are searched from 2001 to 2006. after having carefully read, sifted and distributed, the author conducts the knowledge grid research which has the most theoretical significance and on the world leading level from the perspectives of explanation of the concept of knowledge grid, the systematic framework of knowledge grid, the theoretical base of the knowledge grid, and the application of grid knowledge grid. In the end, the hotspots and trends of KM research are summed up.

Keywords grid computing, knowledge grid, semantic network, ontology, knowledge flow

1 引言

网格计算思想最早是在 1960 年提出的, 但是对网格的大规模研究是近 10 年的事情。1995 年研究人员提出网格这个概念是从电力网中借用来表示计算能力的聚合, 但是网格作为一种技术真正起源于 20 世纪 90 年代初由美国政府资助的分布式超级计

算机项目 I-WAY。网格计算就是把整个互联网整合成一台巨大的超级计算机, 实现计算资源、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源、专家资源的全面共享。最近几年, 网格的研究和应用得到飞速发展, 各国政府也投巨资来促进本国网格的研究, 比较著名的网格项目有: 欧洲网格项目, 英国 e-Science 网格项目, Globus 项目, 地球系统网格 (Earth System Grid II, ESG) 项目, 日本在 2003 年启动的“国家研究

收稿日期: 2006 年 8 月 18 日

作者简介: 夏火松, 男, 1964 年生, 武汉科技学院经济管理学院副院长, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向: 知识管理、离散数据挖掘、信息管理和电子商务。陈国栋, 男, 1980 年生, 硕士研究生, 台州学院数信学院助教, 主要研究方向: 知识管理和数据挖掘。E-mail: jellychen8@yahoo.com.cn。范昭岩, 女, 1982 年生, 武汉科技学院研究生, 主要研究方向: 离群数据挖掘。章伟, 男, 1982 年生, 硕士, 主要研究方向: 电子商务和信息管理。

1) 国家社会科学基金资助项目 (编号: 07BTQ010)、湖北省教育厅重点项目 (编号: D200517003)、湖北省教育厅教学研究项目 (编号: 20040216) 和校基金重大项目 (编号: 20063102)。

网格”和“商务网格”,韩国的网格计划之一 N * Grid。台湾也启动了“知识创新网格”的三年科研计划(2003~2005年)。中国对网格计算的研究也丝毫不落后于欧美发达国家,现阶段的网格项目主要有国家高性能计算环境(National High Performance Computing Environment, NHPCE)和中国教育科研网格等。

从网格研究的现状来看,把网格技术的思想运用到信息管理和知识管理中已经引起广泛关注,信息网格和语义网格的研究在这一阶段得到快速发展,并在此基础上提出了知识网格(Knowledge Grid)的概念,它标志着目前网格研究已经从计算网格发展成为面向服务的网格。

本文检索知识网格相关文献的时间范围是2001年到2006年6月,采用的检索方式是关键字检索。在对中文期刊库检索时,使用“知识网格”作为关键字,检索的期刊库有中国期刊网、万方数据库和中文科技期刊数据库(维普)等,总共检索到121篇符合条件的学术论文。在对外文期刊库检索时,使用“Knowledge Grid”作为关键字,检索的期刊有EBSCO、ABI、CCC西文期刊目次数据库、万方外文文献数据库(ENPS)等,总共检索到159篇符合条件的学术论文。由于有些学术论文中,知识网格不是研究的重点,所以通过浏览和初步筛选得到中文文献51篇,外文文献106篇。其中,以中国科学院计算机研究所诸葛海研究员为代表的一些中国专家在研究知识网格时,使用英文来发表学术论文,所以检索到的英文文献要远多于中文文献。

经过对这些文献进一步阅读和分类之后,笔者发现国内外对于知识网格的研究,一般集中在四个方面:一是知识网格概念的阐释,二是知识网格体系结构的研究,三是知识网格基础支持理论的研究,四是知识网格的应用研究。这四个方面是笔者根据知识网格研究的时间顺序总结出来的,不是绝对的,而是相对的。笔者总结这四个方面也有一定的依据。首先,对于某个领域的研究,会有很多学者对这个领域提出相关的概念。其次,在知识网格的概念被认可之后,又会对知识网格体系结构和框架进行研究。然后,在研究知识网格体系结构的同时,对其框架的某个功能模块,用什么样的理论来支持,用什么样的技术来实现,这样的问题就会被提出来,因此将对知识网格的基础支持理论作出研究。最后,在前三个方面的研究逐渐成熟后,就会把这些理论引入到各个领域,解决某些实际问题。下文就从这四个方面

对知识网格进行综述,并总结知识网格研究的热点问题 and 研究的趋势。

2 知识网格的概念与阐释

Fran Berman 于2001年11月在“Communications of the ACM”上发表了短文“From TeraGrid to Knowledge Grid”^[1],提出了知识网格(Knowledge Grid)这一概念,指出知识网格研究的主要内容是:利用网格、数据挖掘、推理等技术从大量在线数据集中抽取和合成知识,使搜索引擎能够智能地进行推理和回答问题,并从大量数据中得出结论^[1]。之后他也做了大量的工作,推动了知识网格研究的发展。意大利学者 M. Cannataro 于2001年提出,在从大量数据集获取知识(知识发现)方面,知识网格完全能够为知识发现提供一种高性能的服务。他对知识网格在知识发现中的重要作用作了初步设想^[2],从而奠定了他对知识网格研究的方向:为知识发现提供一种智能网格服务环境。他的这种研究思路为后来一些学者对知识网格的研究产生了重要影响。

中国科学院计算机研究所诸葛海研究员领导的中国知识网格研究组(<http://kg.ict.ac.cn>)成立于2001年,是最早研究知识网格的课题组之一,参与了开创该领域的工作,引起了国外同行的密切关注。该研究组认为知识网格是一个智能互联的环境,能使用户(或虚拟角色)有效地获取、发布、共享和管理知识资源,并为用户和其他服务提供所需的知识服务,辅助实现知识创新、协同工作、问题解决和决策支持。诸葛海研究员是知识网格的创始人之一,他的研究推动了知识网格在我国乃至世界的发展。中国科学院计算机研究所知识网格研究组的时鹏在《知识网格:管理共享知识资源》一文中详细介绍了中国知识网格研究组的研究重点:知识资源的规范组织——资源空间模型,资源的智能聚合——软设备,资源的语义互联——语义链网络,知识网格的模型和方法。与国外一些专家研究不同的是,以诸葛海研究员为代表的中国知识网格研究组主要研究基于自组织的对等语义链网络模型和基于规范组织的资源空间模型,以及各自的范式理论和完整性理论,进而将两者有机地集成起来,形成新的资源组织模型和理论,并将其作为知识网格的资源组织模型。

3 知识网格的体系结构研究

M. Cannataro 在发表的“Knowledge Grid”一文中,

详细介绍了一种基于分布式知识发现的知识网格体系结构,并提出了核心知识网格层和高水平知识网格层两种体系结构模型^[3],并且在这篇文章中把知识网格的思想和智能数据挖掘思想结合起来,为知识发现提供了新的研究思路,也为后人的研究提供了理论基础。意大利卡拉布里亚大学(University of Calabria)的 D. Talia 总结了基于网格的数据挖掘、知识网格环境、知识网格服务框架和 VEGA^[4]的设计思想,随后又对知识网格和数据挖掘深入研究,提出了基于网格的分布式知识发现系统。除此之外,他在 OGSA(开放的网格服务体系)、XML 数据整合、本体论和 P2P 技术方面都作了一定研究^[5]。

伦敦大学皇家学院计算系计算科学教授 Yike Guo 领导的“发现网项目”(Discovery Net Project),研究在分布式网格计算环境下设计一种支持知识发现和数据挖掘进程的体系机构。这个体系机构包括三个主要模块:资源发现服务(Resource Discovery Server)、知识服务(Knowledge Server)和元信息服务(Meta-information Server)。

在国内,比较早地提出网格体系结构的是中国计算机研究所研究员徐志伟。他在《织女星网格的体系结构研究》^[6]一文中,指出了网格的体系结构研究中的一些关键问题,例如网格体系结构的组成部分和资源路由器、网格计算协议、网格浏览器等重要概念,为以后知识网格体系结构研究提供了支持。

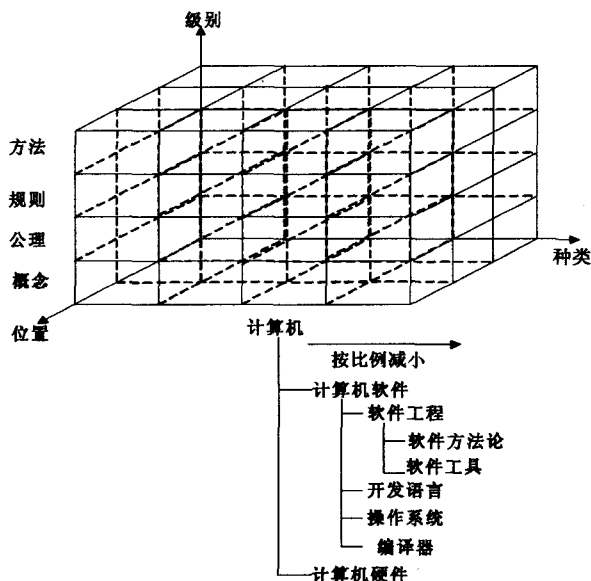


图1 三维知识空间

2002年,诸葛海研究员介绍了一种面向全球分布知识共享的多维知识网格模型和平台(图1)^[7],提出了“知识网格操作语言(KGOL)”及执行机制。通过 KGOL,网络用户可以创作自己的知识网格,给它们赋予知识,并且可以编辑这些知识,而且所有的知识对所有其他网格都是开放的。同时,也可以从其他知识网格中获取自己需要的知识。诸葛海研究员在《China's E-science knowledge grid environment》一文中,介绍了知识网格的多空间体系结构。这是一个如图2所示的三层结构,人类层反映知识网格的社会和人类行为特征,包括知识空间、用户空间和社会组织规则三个功能模块。这三个功能模块既是相互独立的,又是相互合作的。语义层包括知识表示子空间、角色子空间、需求子空间、服务子空间和规范语义空间。语义层的主要功能是避免用户直接与资源实体层的交互,它能够把收集的异构数据通过语义进行规范,以人机可理解的形式表述,并且使得资源实体层的任何变化用户都能即时察觉,实现用户透明化。资源实体层包括智能通信平台和资源实体空间。后者包含知识存储子空间、XML 文件子空间、HTML 文件子空间、软设备子空间等。知识存储子空间通过定义在语义空间的原语来实现。

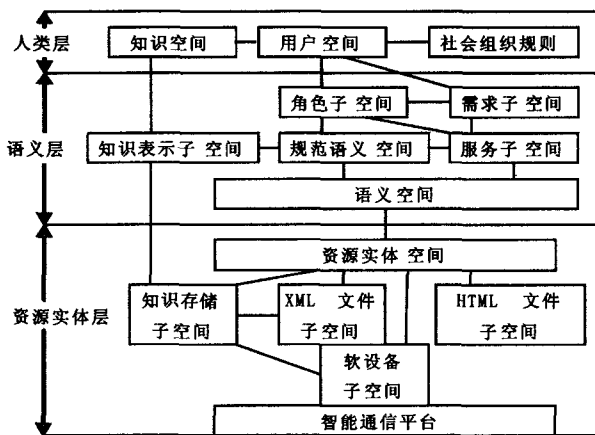


图2 知识网格多空间体系结构

在知识网格的体系结构研究理论逐渐成熟后,一些专家把知识网格思想和自己研究的领域结合起来,提出了一些重要的概念和研究思路。华中科技大学李玉华博士研究并提出了通用知识网格(Universal Knowledge Grid)^[8-12]。他认为通用知识网格有五个主要组成部分:智能人机接口、本体服务、数据挖掘本体服务、知识聚合本体服务和元数据目

录服务,并对通用知识网格下以用户为中心的数据挖掘本体进行设计和 OWL 实现。利用数据挖掘本体来满足各种不同领域、不同层次用户的知识发现服务,使系统具有开放性、可扩展性和高用户可用性。

浙江大学网格计算研究所对知识网格的应用研究取得了很多成就^[13-15]。在语义网的基础上提出了一种知识基础网格框架(KB-Grid),以实现全球知识共享。该研究所认为知识基础网格通过语义网能够建立大规模的分布式知识集成系统,它能使全球知识共享并能使 Web 知识再利用。

西安电子科技大学温有奎教授主要研究知识元挖掘^[16-18]。在知识元研究的基础上,他提出了基于知识元来建立语义网格平台^[19,20]、实现知识发现的思想,对基于网格的知识发现的概念、网格的知识服务结构、基于知识元的语义网格知识发现基本模型作了深入阐述和研究。

天津大学李从东教授在知识网格的三层框架模型的基础上,结合 Web 服务提出了一种面向分布式知识发现的知识网格框架以实现在分布式环境中并行处理数据、发现知识^[21],并且对此框架进行了开发实现^[22]。

4 知识网格的基础支持理论研究

M. Cannataro 认为,语义网和语义网中本体能够很好地解决异构知识的规范化问题,为分布式知识发现提供一种智能环境。因此,他后来的大部分研究都是针对语义网和知识本体的,例如基于本体的知识发现服务研究^[23]和语义网的研究^[24]。在这些研究中,他提出了一种基于知识发现和本体的网格服务体系(图3),在一定程度上很好地解决了异构知识的整合和共享,为知识共享可视化提供了研究基础,推动了知识网格研究的发展。

国内对知识本体的研究也是在 M. Cannataro 的思想的指导下展开的。本体能够以一种明确的、形式化的方式表示领域概念及其相互之间的关系。因此,本体的研究主要解决对异构知识的抽取、聚合以及存储和检索,以人机可理解的方式对知识进行表示。对于本体的研究也集中在基于本体的知识发现和基于本体的知识表示等方面^[25-29]。

以诸葛海研究员为代表的中国知识网格研究组提出了对等知识流模型(Knowledge Flow Model)^[30,31],揭示了知识共享的动态本质和社会性。

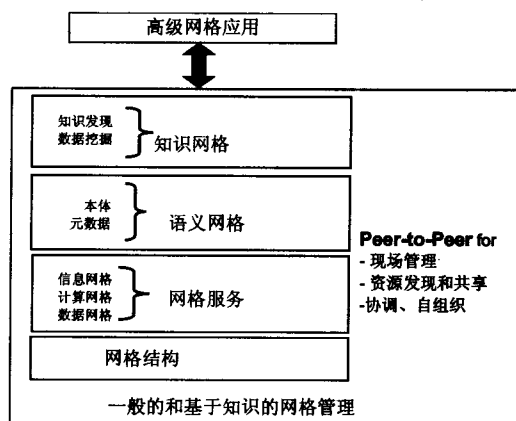


图3 基于知识发现和本体的网格服务体系

这个模型有机地结合知识流网络、语义链网络和对等网,构成了知识网格的高层组织形态,为知识管理提供了一种新方法。这种知识流模型能够在合作研究组织的端到端知识共享和管理中起到至关重要的作用。除此之外,他还提出了模型的具体构成,比如工作流的定义、规则和方法,知识流的处理模型,在大规模研究组织中进行端到端知识共享的初步构思等。在此基础上,诸葛海等研究人员提出了知识网格的“资源空间模型(Resource Space Model)”^[32-35],即按照四个步骤来设计逻辑层的资源空间:资源分析以及组织管理严密的资源划分;设计二维资源空间;连接资源空间;资源空间的设计策略和工具,包括模型引用、类比和抽象策略、资源字典、独立检验工具和正交检验工具等。

三维语义浏览器是一个智能化的用户接口,能够使人们通过可视化形式来共享知识。该研究组提出通过三维语义空间浏览器和知识流模型实现虚拟组织间的有效知识共享。建立语义资源规范组织的理论^[36,37]也是该研究组近期的研究成果。这个理论集成了多维资源空间模型和语义链网络模型。该理论的关键是基于正交分类语义和语义链语义的范式理论。该理论支持单一语义点的访问、语义聚合和完全知识服务。开发建立语义链网络的算法和软件工具、语义视图匹配和知识提炼,开发了语义链网络类比推理和语义链计算模型的算法和工具,通过使用基于组件的技术来定义复杂的服务需求。创建基于规范化理论的单一语义映像,实现基于 Web 的映像聚合和服务集成。该研究组也提出了基于语义的方法来集成知识流和数据流,还提出了用主动文档框架来实现主动信息服务。在“Automatic Generation of Document Semantics for the E-science Knowledge

Grid”一文中,提出了能够实现文档语义自动生成的方法和思想。

除此之外,该研究组还提出了具有社会与生态特征的统一资源组织模型和未来互联环境模型,多值语义关联与继承的规则及其推理方法。这些理论和方法在推动知识网格发展方面起到很好的推动作用。

5 知识网格在各领域的应用研究

基于网格的电子化学习(E-learning)的研究是知识网格应用研究之一。日本德岛大学信息科学和智能系统学院 Luyi Li 和 Yanlin Zheng 等主要研究 e-learning 及其支持环境^[38]。Yanlin Zheng 在研究了知识网格的相关知识后,提出了基于知识网格的 e-learning 系统,提出实现基于知识网格下的 e-learning 的构想。他只是论述了开发这种体系环境支持、服务支持和框架结构等,其他方面并没有做进一步的研究。

香港浸会大学 WK Cheung 主要研究智能网。他在分析了下一代智能网的特点和功能后,结合知识网格的思想,提出了一种知识/语义的智能网格,认为这种网格能够很好地满足下一代智能网的要求^[39]。

在医学方面,P. Brezany 提出了利用知识网格治疗大脑外部创伤(TBIs),并把它命名为 TBI 知识网格^[40]。这种网格能够从分布的、异构的数据中获取相关的知识,这些知识能够给 TBI 患者提供有用的远程治疗帮助。浙江大学的陈华钧、吴朝辉等在 KB-Grid 的基础上,结合语义本体论和知识网格技术,开发基于知识网格的中医药信息共享与服务平台 TCM^[41,42],能规范组织中医药信息资源表达、管理中医药信息共享与集成、提供智能化中医药信息与知识服务。

在生物界,莫斯科大学 Irina G. Strizh 认为生物学科的发展必然导致海量数据的出现,生物学家除必须掌握本领域的知识外,还要熟悉生物界的其他方面知识,但这些知识又是异构的,在一定程度上很难聚合。知识本体能够构建和规范化这些专家知识,因此他利用本体论结合生物领域知识,完成了数据整合和信息分析,实现了知识共享^[43]。

得克萨斯理工大学 Gong Zhipeng 分析了 Globus Toolkit,认为它只能通过网格做些基本的工作提交和控制服务,系统内的一些调度算法仅仅实现平行

计算,不能针对特殊需要做些特殊的数据挖掘工作,也不能对大量的、分布式的数据进行分析。从这个角度出发,他提供了 QoS,能够在知识网格的环境下指导调度算法解决以上问题^[44]。这是把知识网格思想运用到 Globus Toolkit 系统中,对其进行改善的一个很成功的例子。

美国 Argonne 国家实验室 G. von Laszewski 主要对基于知识网格的工作流进行研究^[45]。在他的研究中,提出了一种性能良好的工作流的框架,并在此基础上开发出了一种可扩展的工作流框架模型。按照这种框架,能够很方便地实现设计、建立和配置工作流知识库服务,这种服务尤其适用于社区网格。

中国知识网格研究组提出了实现基于知识网格的协同研究和教育及开展在文化领域中的应用。诸葛海研究员还积极筹划,指导湖南科技大学成立了知识网格实验室,主要承担国家重大基础研究计划 973 项目“语义网格的基础理论、模型与方法研究”。

图书馆是知识管理应用研究最为广泛的领域,把知识网格思想应用在图书馆领域的研究也十分活跃^[46~49]。国外数字图书馆大都基于网格结构和 P2P 结构,面向服务是图书馆体系结构的基本原则^[50]。基于这些结构的数字图书馆能够灵活地处理信息、提炼知识,而且能够实现图书馆管理系统之间的互操作,真正达到信息资源和知识资源的共享。国内数字图书馆的建设也是基于这些结构展开研究的,其中比较成功的例子是清华大学推出的 CNKI^[51](Construction of National Knowledge Infrastructure)知识共享平台。武汉大学信息资源研究中心也在 2005 年 11 月组织了一次主题为“数字图书馆网格应用模型研究”的研讨会,探讨了网格在图书馆领域的应用。

知识网格的应用研究也延伸到其他各个领域。在制造业^[52~54],利用网格技术实现制造业的知识共享和制造业计算能力聚合与提高。在校园知识共享方面,一些高校借助强大的技术实力,建立了校园知识网格平台,进行知识的聚合、发布和共享。例如,清华大学、浙江大学、华中科技大学和河海大学等。在军队信息领域,在软件业,在 GIS 方面等领域的研究也都取得了一定的成就。

6 知识网格研究的热点和趋势

近几年对于知识网格的理论研究和体系结构的研究已经越来越成熟,在此基础上又出现了很多研

究热点^[55,56]:

(1)知识获取与知识表示的理论、模型、方法和机制。在知识网格中获取知识有两种方法:一种方法是人们直接通过交流互相获取知识,或通过接受他人发布的知识资源获取知识;另一种方法是知识网格通过对诸如数据、文本和图像等资源进行抽取、挖掘、归纳、演绎、合成来获取知识。知识网格应该能够辅助人或虚拟角色有效地获取和发布知识,并以人机都可理解的方式将其表示出来。因此,我们应建立一个开放的原语集合来实现知识表示。这些原语应能表示多粒度的知识,并能通过原语操作得到新的知识。

(2)知识可视化和创新。主要包括智能化的用户接口(如语义浏览器或知识浏览器),它能使人们通过可视化来共享知识。语义链网络和认知图可以缩短知识表示和知识可视化之间的鸿沟。接口应体现知识网格的个性特征,并能通过类比推理、归纳机制及组织规则来激发知识创新。

(3)知识的有效组织、评估、提炼和衍生。知识可通过基于语义的范式来组织,以确保有效的检索和修改操作,因此异构知识的语义规范也是研究热点之一。知识网格应能删除冗余知识,并提炼所含的知识来合理扩展有用的知识。它也会有助于从已有的良好知识、范例和类似文本的知识源中衍生出新知识。

(4)知识关联和集成。知识网格应能关联和集成不同级别(如概念级、公理级、规则级和方法级)和不同领域的知识资源,以此来支持跨领域的类比推理、问题解决和科学发现。

从全球网格消费市场趋势来看,目前网格经济仍然处在萌芽阶段,其潜力还远远没有被开发。据Global Information公司预测,全球网格花费将从2003年的2.5亿美元发展到2008年的49亿美元(图4)。2003~2004年,是网格技术的原创研究阶段,主要是对网格技术进行研究性探索;2004~2006年,是网格技术的应用基础研究阶段,重点解决网格技术从研

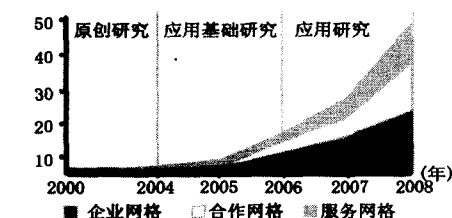


图4 全球网格消费趋势

究领域向应用领域的过渡;2006~2008年,是网格技术的应用研究阶段,全球网格消费将出现爆发性增长。

参 考 文 献

- [1] Berman F. From TeraGrid to Knowledge Grid [J]. Communications of the ACM, 2001, 44(11): 27-28.
- [2] Cannataro M, Talia D, Trunfio P. KNOWLEDGE GRID: High Performance Knowledge Discovery Services on the Grid [C]. Lecture Notes in Computer Science, 2001 (2242): 38-50.
- [3] Cannataro M, Talia D. The knowledge grid [J]. Communications of the ACM, 2003, 46(1): 89-93.
- [4] Talia D. Grid-Based Data Mining and the KNOWLEDGE GRID Framework[OL]. <http://msi.umn.edu>.
- [5] Talia D. Knowledge Discovery Services and Tools on Grids [C]. Lecture Notes in Computer Science, 2003 (2871): 14-23.
- [6] 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): 948-951.
- [7] Hai Zhuge. China's e-science knowledge grid environment [J]. Intelligent Systems, IEEE, 2004(19): 13-17.
- [8] Yuhua Li, Zhengding Lu. Ontology-based universal knowledge grid: enabling knowledge discovery and integration on the grid [C] // Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Services Computing, 2004.
- [9] Yuhua Li, Zhengding Lu. Ontology-based universal knowledge grid: enabling knowledge discovery and integration on the grid [C] // Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Services Computing, (SCC'04), 2004: 557-560.
- [10] 李玉华, 卢正鼎. 通用知识网格下以用户为中心的数据挖掘本体研究[J]. 计算机科学, 2006, 33(2): 216-219.
- [11] 李玉华, 卢正鼎, 廖振松. 基于本体的通用知识网格架构研究[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 21-24.
- [12] Yuhua Li, Zheng Ding, et al. Data mining ontology development for high user usability [J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006(11): 51-56.
- [13] Wu Z, Chen H, Xu J. Knowledge base grid: realize global knowledge sharing by combining grid and semantic Web [J]. ICEIS, 2003 (2): 258-265.
- [14] Wu Zhaohui, Chen Huajun, Xu Jiefeng. Knowledge base grid: a generic grid architecture for semantic Web [J]. 计算机科学技术学报(英文版), 2003(18): 462-473.
- [15] Chen H, Wu Z, Xu J. KB-grid: towards building large-scale knowledge system in semantic Web [C]. Lecture Notes in

- Computer Science, 2003(2774): 1381-1388.
- [16] 温有奎, 徐国华. 知识元链接理论[J]. 情报学报, 2003(6): 665-670.
 - [17] 温有奎, 徐端颐, 潘龙法. 基于 XML 平台的知识元本体推理[J]. 情报学报, 2004, 23(6): 643-648.
 - [18] 温有奎. 基于“知识元”的知识组织与检索[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(1): 55-57.
 - [19] 温有奎, 温浩, 徐端颐. 基于知识元的文本知识标引[J]. 情报学报, 2006(3): 282-288.
 - [20] 温有奎, 温浩, 徐端颐, 潘龙法. 基于知识元语义网格平台的知识发现研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(4): 4-6.
 - [21] 李从东, 杜红. 面向分布式知识发现的知识网格框架研究[J]. 情报科学, 2005, 23(2): 281-283.
 - [22] 李从东, 李晓宇. 面向分布式知识发现的知识网格框架及其实现[J]. 华北工学院学报, 2005, 26(1): 26-30.
 - [23] Cannataro M. Knowledge discovery and ontology-based services on the grid[J]. Ninth Global Grid Forum, Semantic Grid Research Group, Workshop, October 5-8, 2003.
 - [24] Cannataro M, Talia D. Semantics and knowledge grids: building the next-generation grid[J]. Intelligent Systems, IEEE, 2004, 19(1): 56-63.
 - [25] 李玲, 唐胜群. 知识网格中基于 RDF 的知识表示技术和应用[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(12): 223-225, 229.
 - [26] 孙娟, 窦万春, 刘茜萍. 基于本体论的认知协作[J]. 计算机应用, 2004, 24(11): 44-46.
 - [27] 白治江, 韩伟, 王成道. 网格中基于本体的服务和知识发现服务[J]. 计算机应用与软件, 2005, 22(4): 12-14.
 - [28] 刘炜, 李大玲, 夏翠娟. 元数据与知识本体[J]. 图书馆杂志, 2004, 23(6): 50-54.
 - [29] 储结兵. Ontology 技术在知识服务中的应用[J]. 大学图书馆情报学刊, 2005, 23(3): 31-32.
 - [30] Hai Zhuge. Knowledge flow management for distributed team software development[J]. Knowledge-Based Systems, 2002, 15(8): 465-471.
 - [31] Hai Zhuge. Discovery of knowledge flow in science[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(5): 101-107.
 - [32] Hai Zhuge. Resource space model, its design method and applications[J]. Journal of Systems and Software, 2004, 72(1): 71-81.
 - [33] Hai Zhuge. Resource space grid: model, method and platform: research articles[J]. Concurrency and Computation: Practice & Experience, 2004, 16(14): 1385-1413.
 - [34] Hai Zhuge. Fuzzy resource space model and platform[J]. Journal of Systems and Software, 2004, 73(3): 389-396.
 - [35] Hai zhuge. Editorial: semantics, resource and grid[J]. Future Generation Computer Systems, 2004, 20(1): 1-5.
 - [36] Hai Zhuge. Semantic grid: scientific issues, infrastructure, and methodology[J]. Communications of the ACM, 2005, 48(4): 117-119.
 - [37] Hai Zhuge. Algebra model and experiment for semantic link network[J]. International Journal of High Performance Computing and Networking, 2005, 3(4): 227-238.
 - [38] Zheng Y, Li L, Ogata H, et al. Using knowledge grid construct next generation e-learning[C]. World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, 2003(1): 1849-1852.
 - [39] WK Cheung, J Liu. On knowledge grid and grid intelligence: a survey[J]. Computational Intelligence, 2005, 21(2): 111-129.
 - [40] Brezany P, Tjoa A M, et al. Knowledge grid support for treatment of traumatic brain injury victims[C]. Lecture Notes in Computer Science, 2003(2667): 446-455.
 - [41] Chen H, Wu Z, Huang C. TCM-Grid: weaving a medical grid for traditional Chinese medicine[C]. Lecture Notes in Computer Science, 2003(2659): 1143-1152.
 - [42] Chen H, Wu Z, Huang C. Open grid services of traditional Chinese medicine[J]. Systems, Man and Cybernetics, 2003(5): 4546-4551.
 - [43] Irina G Strizh. Functional genomics and bioinformatics ontologies for data and knowledge sharing in biology: plant ROS signaling as a case study[J]. BioEssays, 2006, 28(2): 199-210.
 - [44] Gong Zhipeng. QoS guided data mining tasks scheduling on knowledge grid[OL]. <http://etd.lib.ttu.edu>.
 - [45] Von G Laszewski, Ruscic B, Amin A, et al. A framework for building scientific knowledge grids applied to thermochemical tables[J]. International Journal of High Performance Computing Applications, 2003, 17(4): 431-447.
 - [46] Lombardo S, Machì A. A model for a component based grid-aware scientific library service[C]. Lecture Notes in Computer Science, 2004(3149): 423-428.
 - [47] 韩毅. 基于知识网格的区域数字图书馆建设框架[J]. 大学图书馆学报, 2003, 21(6): 11-14.
 - [48] 郭琳. 利用知识网格构建数字图书馆知识服务平台[J]. 情报资料工作, 2005(2): 29-31.
 - [49] 董慧, 杨宁, 等. 基于本体的数字图书馆检索模型研究(I): 体系结构解析[J]. 情报学报, 2006, 25(3): 269-275.
 - [50] 毕强, 韩毅, 等. 国外基于网格技术的数字图书馆结

- 构体系比较研究[J]. 情报学报, 2006, 25(3): 330-336.
- [51] 张宏伟, 张振海. CNKI 网络资源共享平台: 基于知识网络的门户式数字图书馆解决方案[J]. 现代图书情报技术, 2005(4): 6-9.
- [52] 颜波, 黄必清, 等. 网络研究现状及其在制造业中的应用[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(9): 1021-1030.
- [53] 叶作亮, 顾新建, 等. 制造网络: 网络技术在制造业中的应用[J]. 中国机械工程, 2004, 15(19): 1717-1720.
- [54] 黄琛, 范玉顺. 知识服务网络及其在制造网络中的应用[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(4): 467-474.
- [55] 诸葛海. 利用知识网络实现知识创新[J]. 中国信息化, 2004(3): 68-69.
- [56] Hai Zhuge. Future interconnection environment [J]. Computer, 2005, 38(4): 27-33.

(责任编辑 许增棋)