

虚拟天文台的技术进展

崔辰州 赵永恒 赵 刚 张彦霞

(中国科学院国家天文台 北京 100012)

摘 要

虚拟天文台是在望远镜和探测器的研制技术、计算机网络技术取得突破性进展的条件下产生的,与最新的信息技术紧密结合成为其发展最鲜明的特点。用可扩展标记语言(简称 XML)技术封装天文数据,把虚拟天文台建立在网格的体系结构之上是当今虚拟天文台技术发展的主流。按照目前虚拟天文台最具代表性的层次式体系结构分层介绍各个层次的相关技术,同时提出充分利用现有资源优势实施中国虚拟天文台计划的设想。

关键词 技术:虚拟天文台 — 标准 — 仪器:网络 — 方法:数据处理

分类号 P112

1 引 言

近十多年来,望远镜、探测器、计算机和互联网领域所取得的突破性进展使得天文数据资源急剧增长^[1]。已经实施和计划中的巡天计划产出的星表、光谱、图像等数据已达太字节(万亿字节,简称 TB)量级,并逐渐逼近皮字节(千万亿字节,简称 PB)量级。天文学正面临着一场“数据雪崩”。为此,美国国家科学院天文学及天体物理学发展规划委员会在题为“新千年的天文学和天体物理学”^[2]的未来十年发展规划中,把建立国家虚拟天文台作为小型项目中最优先的推荐项目。

虚拟天文台借助最先进的计算机和网络技术,力图实现分布在世界各地的各种大型天文数据的互联、融合和发现,使互联网成为一台威力无比的虚拟望远镜。届时,虚拟天文台将成为导致“天文学新发现”的关键因素^[3]。

虚拟天文台的概念一经提出便很快受到各国天文学界的高度重视,纷纷提出了各自的虚拟天文台计划。当前国际上已经得到资金支持的计划有美国国家虚拟天文台(简称 NVO)计划^[4]、英国的天文网格(简称 AstroGrid)计划^[5]、欧洲天文界的天体物理虚拟天文台(简称 AVO)计划^[6]。此外,国际上正在积极推动的项目还有澳大利亚虚拟天文台(简称 Australian

-VO) 计划^[7]、印度虚拟天文台 (简称 VO India) 计划^[8]、俄罗斯虚拟天文台 (简称 RVO) 计划^[64]、意大利虚拟天文台计划、加拿大虚拟天文台计划等。

由欧洲南方天文台 (简称 ESO)^[9]、欧洲空间局 (简称 ESA)^[10]、美国宇航局 (简称 NASA)^[11] 和美国国家科学基金会 (简称 NSF)^[12] 共同资助的“通向国际虚拟天文台之路 (Toward an International Virtual Observatory)”国际天文研讨会 (简称 Garching2002)^[13] 于 2002 年 6 月 10 日至 14 日在德国召开。会议期间, 以 NVO、AVO、AstroGrid 为首提出了成立国际虚拟天文台联盟 (简称 IVOA)^[65] 的倡议, 并阐述了 IVOA 的历史使命, 制定了相应的行动方案。

2 虚拟天文台的体系结构

从现有的代表性计划来看, 虚拟天文台将具有层次式的体系结构。按照美国国家虚拟天文台计划提出的方案, 虚拟天文台的体系结构如图 1 所示^[14], 分为 5 层。最底层是构造层, 包括基本的数据资源和计算资源; 其次是连接层, 通过文档中介和数据中介的使用为上层提供标准的元数据、数据模型和统一的信息访问接口; 中间是资源层, 主要实现资源和信息的发现以及数据的访问控制功能, 为上层提供标准的应用程序接口和通讯协议, 这是高层服务得以实现的基础; 再上层是汇集层, 在分布式资源的基础上实现高级数据分析、计算服务以及网格的各种系统管理功能; 最顶层是用户层, 提供虚拟天文台和用户之间最高层次的界面和工作台。

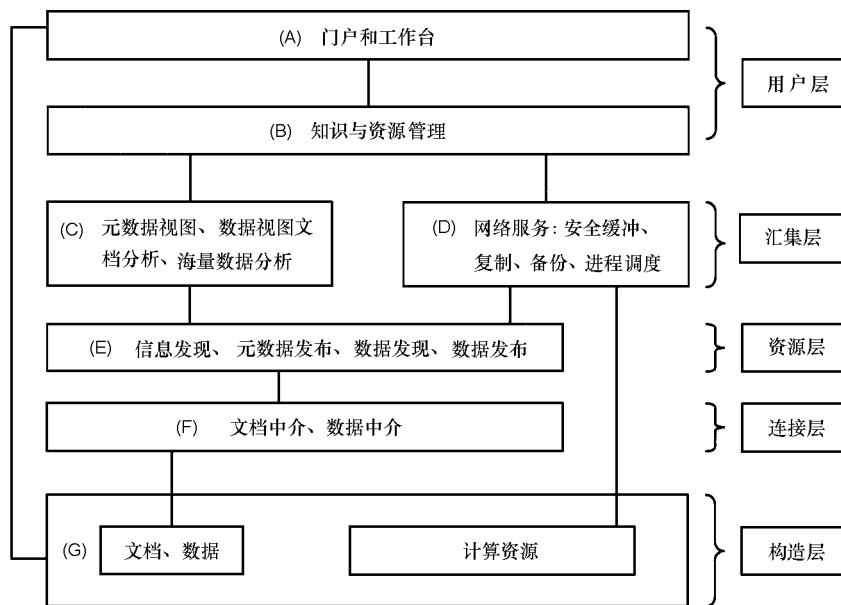


图 1 虚拟天文台体系结构^[14]

图 2 是正在信息技术 (简称 IT) 领域迅速发展的网格的体系结构^[15]。可见, 虚拟天文台的体系结构是在网格体系结构基础上根据自身的特点和需要进行适当扩充形成的。

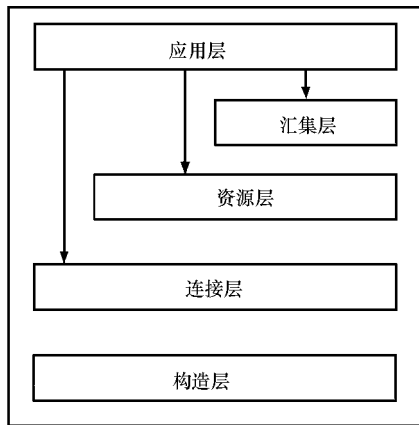


图 2 网络体系结构 [15]

点是不仅仅包括计算机和网页，而且还包括各种信息资源，例如数据库、软件以及各种信息获取设备等，它们被连接成一个整体。整个网络就如同一台威力巨大无比的计算机，向每个用户提供一体化的服务。简单地讲，传统互联网实现了计算机硬件的连通，Web 实现了网页的连通，而网格试图实现互联网上所有资源的全面连通。

网格作为互联网的第三次浪潮，在世界各国引起了前所未有的关注和重视。2002 年 4 月，由中国科学技术部主办的“网格战略研讨会” [20] 在北京召开。科技部通过“863”计划“高性能计算环境及其核心软件”专项的形式，在“十五”期间支持我国的网格研究和应用工作。中国科学院计算所已经开始织女星网格的研发工作。目前，国际上影响最大的网格计划是 Globus 计划 [15]。该计划的成员来自不同的企业和组织，其主要工作是开发、解决建立网格所需要的基本技术。现已推出了工具集 Globus Toolkit 2.2，这是一套旨在实现网格资源管理的中间件 (middle ware)。开放网格服务体系 (简称 OGSA) 计划 [21] 在 2003 年推出，它相当于 Globus Toolkit 3.0，将把网格和 Web 服务 [22] 统一在一起。Globus Toolkit 可以满足网格操作的主要需求，实现安全管理、资源管理、数据管理和信息管理等功能。

Globus 计划的发展在很大程度上代表了网格技术的发展，其主要发展阶段包括：

(1) 最初探索阶段：从 1996 年到 1999 年，期间推出了 Globus 1.0 标准，主要的工作是对网格技术进行广泛的探讨，制定网格技术所必需的核心协议。

(2) 数据网格阶段：从 1999 年到现在，推出了 Globus 2.2 标准，实现了大规模数据管理和分析功能。

(3) 开放式网格服务体系阶段：这个阶段从 2001 年开始，计划在 2003 年推出 Globus 3.0 标准，以实现与 Web 服务的融合，提供更好的主机环境、资源可视化以及其他高层服务。

(4) 初步可升级系统阶段：这个阶段将从 2003 年开始，使网格技术得到初步的实现，同时把网格技术向无线技术、普遍计算、对等网络 (简称 P2P) [23] 等方向进行扩展。

大多数虚拟天文台计划都表示自己的虚拟天文台将会建立在网格构架之上。网格为虚拟天文台的实现提供了极大的技术支持，同时天文学也因其自身独特的特点 [14] 为建立大规模网格原型提供了理想的试验环境。这些特点包括：

目前，IT 领域正在蓬勃发展的网格 (Grid) 技术 [16]、可扩展标记语言 (简称 XML) 技术 [17,18] 已经引起了天文学家的密切关注。

网格技术被称为是第三代互联网 [19]。从上世纪 60 年代末开始研究计算机分组交换技术到今天，互联网已经走过两代历程。第一代是 20 世纪 70~80 年代，主要的成就是把分布在世界各地的计算机用 TCP/IP 协议连接起来，主要的应用是电子邮件。第二代是 20 世纪 90 年代，主要的成就是把世界各地各类网站上的网页连接起来，主要的应用是 Web 信息浏览以及电子商务等信息服务。如今，互联网正处在从第二代向第三代过渡的转型期。第三代互联网，也就是网格，其主要特

- (1) 天文学家的群体为中等规模, 数千人, 不是太大;
- (2) 天文数据是异构的, 但又不是过分复杂, 因此可以很好地用于元数据标准、协议的制定和测试;
- (3) 天文数据的存储是高度分散的, 但大多可以以电子方式得到;
- (4) 天文学对安全性要求不高;
- (5) 天文学受到公众的广泛关注, 有良好的社会效应。

在 IT 领域与网格一样备受瞩目的另一项技术是 XML 技术。XML 是“eXtensible Markup Language”即“可扩展标记语言”的字母缩写。它是为了使文档结构化而开发的一种标记语言, 是标准通用标记语言 SGML^[18,24]的一个子集。开发 XML 的目的在于能在 Web 上以现有超文本标记语言(简称 HTML)^[25]的使用方式提供、接收和处理通用的 SGML 文档。XML 标准的制定由 XML 工作组负责, 经 World Wide Web 组织(简称 W3C)审阅后批准为 W3C 建议。目前, XML 的标准是 1.0 第二版, 于 2000 年 10 月发布。XML 非常显著的一个特点就是可扩展性, 不同学科、不同应用领域都可以根据自身的特点在其基础上编写各自的标记语言。现已存在的数十种相关的标记语言、标准或者协议, 均以 XML 1.0 为核心。

为了实现分布式数据资源的互联、融合和发现, 虚拟天文台将充分发挥中间件的作用^[26]。中间件是介于网络与应用之间的一层软件, 提供诸如认证、授权、资源目录和安全等服务。在传统的互联网中, 应用通常必须自己提供这些服务, 从而导致关于标准的竞争和标准间的不协调。中间件通过标准化和互操作性使开发高级的网络应用变得更加容易, 为处于自己上层的应用提供运行与开发环境, 帮助用户灵活、高效地开发和集成复杂的应用。中间件是基于分布式处理的软件, 其最突出的特点是网络通信功能。

虚拟天文台系统中的中间件必须具备以下功能^[14]: 能对分布式的数据资源进行处理; 能为上层系统提供统一的信息接口; 能对 TB 甚至 PB 量级的数据进行分析处理; 基于先进的技术并能随时采用新技术; 能实现各种数据的互联和融合; 能支持天文元数据标准和协议; 具备良好的可扩展性。

为了从技术上更好地了解虚拟天文台, 下面将按照体系结构分层阐述各层所涉及到的最新技术。

2.1 构造层

构造层是整个虚拟天文台系统的底层, 是各种基本资源的集合。它主要包括两大部分: 数据资源和计算资源。其中数据资源包括各种各样的观测数据(比如星表、星图和光谱等)、模拟数据以及经过处理后的中间和最终结果。计算资源包括网络中所有可利用的 CPU、存储资源、应用程序等。

纳入虚拟天文台系统的天文数据将以 XML 文档形式为主进行存储和交换。现正在开发的天文学标记语言有天文学标记语言(简称 AML)^[27]和天文仪器标记语言(简称 AIML)^[28]。AML 旨在为天文学提供一种标准的元数据交换格式, 其支持的对象有: 天体目标、文章、表格、图像、人和计划。AIML 是一种仪器描述语言, 它把天文仪器的特性、控制指令、数据流描述、消息格式、通讯机制、数据处理流程等进行封装。AIML 结合了 Java 语言的平台无关性和 XML 的强大威力, 可以使天文学家从世界各地方便地访问那些位于边远地区或者恶劣环境区域中的望远镜等天文仪器。为了实现在虚拟天文台环境下进行表列数据的交换, 天文学家

设计出一种 XML 文档格式定义: VOTable^[29,30], 2002 年 4 月 15 日公布 1.0 版本。Flexible Image Transport System (简称 FITS)^[31] 文档已被天文学界广泛使用了许多年, 彻底抛弃它是不明智的^[32]。为了使 FITS 文档与 XML 文档能更好地协同工作, 天文学家们已经做了一些尝试, 比如把 FITS 文件嵌入到 VOTable 文件中并开发基于可扩展数据格式协议 (eXtensible Data Format, 简称 XDF)^[33] 的 FITS 标记语言 (简称 FITSML)^[34] 等。

对于天体的标识, 最常见的方法是用赤经和赤纬来表示。这种表示方法很容易被天文学家接受, 但给数据的检索、交叉认证和转换等操作带来了很大的不便。为了改变现状, 美国 SLOAN 数字巡天项目 (简称 SDSS)^[35] 采用了 Hierarchical Triangular Mesh (简称 HTM) 表示法^[36], 将赤经、赤纬组合转换成一个字符串标识符, 以使计算机可以对天文数据进行快速的检索和运算。虚拟天文台系统中数据的表示也将广泛采用这种方法。

由于天文数据资源正在日益丰富, 数据的存储也是虚拟天文台必须考虑的问题。传统的基于主机的存储方式已很难满足需求, 网络存储必将成为主流。在这个领域, 有三种技术可能会成为虚拟天文台存储方案的主要候选对象, 即 Storage Area Network (简称 SAN)、Network Attached Storage (简称 NAS) 和 Internet SCSI (简称 iSCSI) 技术^[37]。

天文界是最早和最广泛使用共享科学的科学领域之一。近年来, 开放源代码运动^[38] 和共享软件^[39] 更是发展迅速。在虚拟天文台的建设中像 Linux 操作系统^[40] 这样的开放源代码软件将会得到广泛的使用。对于数据库系统的选用, 英国的 AstroGrid 计划最初曾考虑使用面向对象的商业数据库管理系统 (简称 DBMS), 而现在则更倾向于使用传统的关系型数据库管理系统 (简称 RDBMS), 并很可能采用开放源代码的免费数据库管理系统, 比如 MySQL^[41] 或者 PostgreSQL^[42]。

2.2 连接层

连接层相当于数据访问层, 它的功能是为其上的资源层提供统一的数据访问接口。连接层由两部分组成: 文档中介和数据中介, 分别负责提供文档和数据的访问接口。新数据的提供者在提供数据集本身的同时必须提供相应的数据中介, 以确保统一访问接口的实现。

这层中, 与中介相关的技术发挥着重要作用。主要涉及的概念有中介和数据模型^[43], 涉及的技术有语义网 (Semantic Web)^[44]、Globus、存储资源经纪人协议 (简称 SRB)^[45]。数据资源、计算资源的统一管理可以用网格来实现。采用 Globus 或者 SRB, 可以把全球的天文资源有机地连接在一起, 形成一个巨大的虚拟天文数据网格^[46]。

语义网主要是利用 XML 和资源描述构架 (简称 RDF)^[47] 技术, 借助“ontologies”的作用, 使网络中信息的含义得到良好的定义, 计算机和人都能对网页的内容有深入的了解。语义网最大的优点是可以让机器获得对网络空间储存的数据进行智能评估的能力, 推动人类知识的发展。

语义网并不是一个单独的网络, 而是对现有互联网的一种扩展。在语义网中, “ontologies”起到了非常重要的作用。这里, “ontologies”并不是哲学上“本体论”的意思, 而是一个规范地定义术语之间关系的文档。这个文档将按照分类学原理和事先制订的推理法则对网络上的术语进行管理。网页中的术语或者 XML 代码的含义通过网页内链接到“ontologies”的指针来定义。“ontologies”的使用能大大增强网络的功能, 促进知识的共享。

SRB 协议是一个客户端 / 服务器方式的中间件, 提供对互联网上异构数据资源的统一连

接接口。它与元数据目录 (简称 MCAT) 相结合, 可以解决对数据基于属性而非名称或物理位置的访问, 实现数据和元数据的整合。SRB 的工作原理如图 3 所示^[45]。

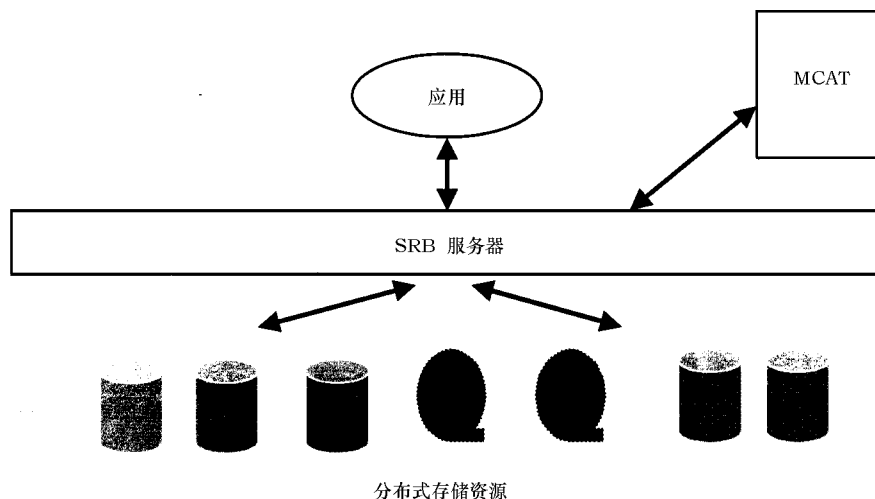


图 3 SRB 工作原理图^[45]

2.3 资源层

资源层界定了本地系统与全球虚拟天文台 (简称 GVO) 系统的边界, 定义了虚拟天文台系统中基本的服务、协议和机制。主要提供的机制有: 资源发现, 访问控制, 过程初始化、监控和管理。在这一层中, 将采用并扩展当前的网格技术。

在任何时间, 一旦某个资源可为虚拟天文台所用就应该被及时发现。资源和信息发现服务将实现重复性检查、参数化服务描述、分级目录和分布式对象界面定义等功能。为了实现这些功能, 虚拟天文台计划采用基于 Globus 的网格服务基础设施 (简称 Globus-GSI) 以及刚刚推出的统一描述、发现和集成协议 (Universal Description, Discovery, and Integration, 简称 UDDI)^[48,49]。

UDDI 最早应用于电子商务, 是由商业界和 IT 业界为了加速 Web 服务的推广、加强 Web 服务的互操作能力而推出的。UDDI 系统中使用商业注册中心来存储全球商家的信息。商家通过服务注册发布其可用的服务, 服务需求者通过注册中心查找服务。这个注册中心被看成是全球商家的白页、黄页和绿页, 它和语义网中的“ontologies”、SRB 中的元数据目录以及虚拟天文台中的语义概念空间 (见 2.5 节) 有着许多相似之处。

在虚拟天文台的建设过程中将开发标准的元数据访问协议。虚拟天文台提供两种类型的数据访问服务, 即面向数据集的和面向网格的数据访问。前者即为传统的通过网络对数据文件或者数据库进行访问的方式, 后者则是网格体系内部的数据访问方式。

不同数据集之间的相互协作可通过为每个数据集开发的数据中介来实现。对于数据的传输方式, 虚拟天文台将主要采用 GridFTP 协议^[50]。虚拟天文台的数据访问模式与标准的网格模式一致, 均为“沙漏”模型^[51]。在高层, 许多应用工具和协议共享一个统一的数据模型,

该模型由底层的各种异构数据、访问协议、数据表达形式通过文档中介和数据中介等中间件提供。

虚拟天文台将会提供多层面的用户访问, 比如简单的基于统一资源定位器 (Uniform Resource Locator, 简称 URL) 和文件方式的访问、基于 XML 协议的访问、基于简单对象访问协议 (简称 SOAP) [52] 方式的访问、基于 Java 空间 (Javaspaces) [53] 的访问等。

2.4 汇集层

汇集层是整个虚拟天文台体系结构中非常重要的一层, 主要包括两部分: 天文数据的计算和分析、网格系统管理。前者将负责实现元数据视图、数据视图、文档分析和海量数据分析等服务。后者是整个网格的管理核心, 网格操作系统必须提供网格安全, 数据缓冲、复制和备份, 进程调度等方面的服务。

计算服务将实现大规模数据的统计和查询、大规模星表的交叉认证、大规模星图数据的处理。分析服务将实现天文数据的多波段分析和天文数据的融合。这部分中, 主要有三种技术将发挥重要作用: Globus-GSI、对等网络以及 Web 服务。这三种技术并不是相互独立的, 而是彼此之间密切联系的。

2.5 用户层

用户层提供虚拟天文台与用户之间的直接接口。它包括两部分: 一部分是虚拟天文台门户和工作台, 也就是用户界面; 另一部分是知识管理和资源管理。前者功能的实现要依赖后者提供的服务。

为了实现知识共享, 虚拟天文台将制定一个语义概念空间和一个服务互操作空间。语义概念空间将对整个虚拟天文台系统中数据集的属性进行登记。服务互操作空间将为实现不同数据集间的互操作比如数据格式转化、单位换算等而开发的工具进行登记。知识管理将利用语义概念空间提供数据理解服务, 资源管理则负责优化和调度大规模的分布式计算。

现在天文学界已经存在许多很受用户欢迎的门户网站。将来的虚拟天文台不会抛弃这些网站, 而是要对它们在互操作性、适应性等方面的功能进行扩充, 并在此基础上开发新的面向网格的超级天文门户。

在虚拟天文台门户和工作台部分, 为了完成用户需求提交以及底层异构数据和处理结果的显示, XML 协议集中与网络发布相关的部分将发挥主要作用。其中包括用于数据封装的 XML; 定义 XML 文档结构、内容和语义的 XML Schema 和文档类型定义 (DTD); 用于定义 XML 文档显示样式的可扩展样式表语言 (简称 XSL) 和层叠式样式表 (简称 CSS); 用于在各种资源之间建立连接的 XML 路径语言 (简称 Xpath)、XML 链接语言 (简称 Xlink) 和 XML 指针语言 (简称 Xpointer); 描述网络服务的 Web 服务描述语言 (简称 WSDL) [54]; 用于在线图像生成的矢量标记语言 (简称 VML) [55]。

为了在用户层实现对知识和资源的有效管理, 达到知识共享的目的, 各种与网格和语义网相关的技术都可能被虚拟天文台采用。目前, 由于 Globus 推出的工具集很大程度上代表了网格技术的主流, 所以现有的几个主要虚拟天文台计划都将 Globus 标准作为自己的体系结构基础。与知识管理和资源管理相关的主要技术有 Globus 网格资源分配管理 (简称 GRAM)、OGSA、UDDI、语义网、SOAP、Java/J2EE [56] 以及 WSDL 等。

用户层的最终目标是为虚拟天文台的用户提供一站式服务。让用户从任何一个虚拟天文

台门户都可以使用到所有的可用资源, 包括天文数据、计算、应用工具等, 同时也可以从任何一个门户发布自己的数据和服务。

3 讨论和展望

虚拟天文台是一个新近提出的概念, 它的建设、发展还都处在设想、探索、试验阶段, 与最新 IT 技术的结合成为其发展的一个鲜明特点。

作为天文学和信息科学紧密结合的产物, 虚拟天文台将大大推动天文学和信息科学的发展。在天文学方面, 虚拟天文台将会使这个古老的学科焕然一新, 在宇宙学、银河系、稀有古怪天体、活动星系核、太阳系外行星、理论天体物理等领域取得突破性进展。在信息科学领域, 虚拟天文台作为网格最好的实验床将加速互联网和计算机科学的发展。

虚拟天文台的出现也为中国天文学提供了新的发展机遇^[57]。2001年9月, “虚拟天文台学术研讨会”在中国科学院国家天文台召开, 会议期间成立了中国虚拟天文台工作组。借助 LAMOST 项目的特色和优势, 中国科学院国家天文台提出了建设中国虚拟天文台 (简称 China-VO)^[58] 以及面向虚拟天文台的 LAMOST 计划, 并于 2002 年底加入国际虚拟天文台联盟。清华大学天体物理中心、中国科学院高能物理研究所、清华大学自动化系联合提出搭建“集成化天体物理研究平台” (简称 IARE) 的计划, 为我国高能天体物理的研究提供服务。北京大学天文系和北京天体物理中心也正在积极努力, 以推动相关计划的实施。

从概念提出时开始, 虚拟天文台就具有良好的开放性和国际合作性, 任何国家和组织都可以加入到其建设队伍中去。但是, 要想在这个队伍中发挥重要的甚至领导性的作用就必须对其做出相应的贡献。可喜的是, 目前我国天文界已经和将要开展的一系列巡天观测项目, 比如北京-亚利桑那-台湾-康涅狄格大视场多色巡天 (简称 BATC 巡天)^[59]、密云米波射电巡天和超新星巡天^[60]、LAMOST 望远镜^[61]、500m 口径射电望远镜 (简称 FAST)^[62]、太阳空间望远镜 (简称 SST)^[63] 等, 已经积累了一批国内自产的观测数据, 并将产出更丰富的观测数据, 这为中国进入国际虚拟天文台领域奠定了数据资源基础。以中国科学院计算所为代表的国内 IT 业专家已经开展并正在致力于网格、XML 等技术领域的研究, 这为中国进入国际虚拟天文台领域奠定了技术基础。

虚拟天文台的发展一直与互联网密切相联。我国的天文学家和计算机专家可以充分利用互联网的开放性使中国的虚拟天文台计划与国际上其他国家的计划处于同等的竞争地位。此外, Linux 操作系统和开放源代码运动的蓬勃发展, 可以为我们这样的发展中国家大大节省项目的资金投入, 并在技术开发上提供便利。中国的天文学家完全有可能利用这些资源优势, 与国内相关领域的专家精诚合作, 结合我国自产的观测数据和丰富的历史文献, 在国际虚拟天文台的建设中占有自己的一席之地。当然, 与欧美发达国家相比, 我国的科学技术水平还相对落后。因此必须集中、高效地利用有限的资源, 扬长避短, 建设有中国特色的虚拟天文台。

参 考 文 献

1 Szalay A, Gray J. Science, 2001, 293: 203

-
- 2 Astronomy and Astrophysics Survey Committee. Astronomy and Astrophysics in the New Millennium (Decadal Survey). <http://www.nap.edu/books/0309070317/html/>
 - 3 Towards a National Virtual Observatory: Science Goals, Technical Challenges, and Implementation Plan, June 2000 (white paper). <http://www.astro.caltech.edu/nvoconf/whitepaper.pdf>
 - 4 [NVO] <http://www.us-vo.org>
 - 5 [AstroGrid] <http://www.astrogrid.org/>
 - 6 [AVO] <http://www.eso.org//avo/>
 - 7 [Australian-VO] <http://www.atnf.csiro.au/projects/avo/>
 - 8 [VO India] <http://vo.iucaa.ernet.in/~voi>
 - 9 [ESO] <http://www.eso.org/>
 - 10 [ESA] <http://www.esa.int/>
 - 11 [NASA] <http://www.nasa.gov>
 - 12 [NSF] <http://www.nsf.gov/>
 - 13 [Garching2002] <http://www.eso.org/gen-fac/meetings/vo2002/>
 - 14 Messina P, Szalay A. Building the Framework for the National Virtual Observatory. Project Description. <http://www.us-vo.org/docs/nvo-proj.html>
 - 15 [Globus] <http://www.globus.org>
 - 16 [GGF] <http://www.gridforum.org/>
 - 17 [XML] <http://www.w3c.org/XML>
 - 18 [XML] <http://www.oasis-open.org/cover/>
 - 19 李国杰. 计算机世界, 2001, 40: B8
 - 20 [Vega-Grid] <http://www.ict.ac.cn/xinwen/dt0204266.htm>
 - 21 [OGSA] <http://www.globus.org/ogsa/>
 - 22 [Web Service] <http://www.w3.org/2002/ws/>
 - 23 [P2P] <http://www.peer-to-peerwg.org/>
 - 24 [SGML] <http://www.w3.org/MarkUp/SGML/>
 - 25 [HTML] <http://www.w3.org/MarkUp/>
 - 26 [middleware] <http://middleware.internet2.edu/>
 - 27 [AML] <http://monet.astro.uiuc.edu/~dguillau/these/>
 - 28 [AIML] <http://pioneer.gsfc.nasa.gov/public/aiml/>
 - 29 [VO Table] <http://cdsweb.u-strasbg.fr/doc/VO Table/>
 - 30 [VO Table] <http://www.us-vo.org/VO Table/>
 - 31 [FITS] <http://fits.gsfc.nasa.gov/>
 - 32 Giaretta D, Wallace P, Bly M *et al.* VO Data Model-FITS, XML plus NDF. [http://star-www.rl.ac.uk/ADASS2001/ADASS2001_giarettd.pdf](http://star-www.rl.ac.uk/ADAS2001/ADASS2001_giarettd.pdf)
 - 33 [XDF] <http://xml.gsfc.nasa.gov/XDF/>
 - 34 Thomas B, Shaya E, Cheung C. ASP Conf. Ser., 2001, 238: 487
 - 35 [SDSS] <http://www.sdss.org/>
 - 36 [HTM] <http://www.sdss.jhu.edu/>
 - 37 [Net-Storage] http://www.pcworld.com.cn/2002/user_services/memory.asp
 - 38 [Sourceforge] <http://sourceforge.net>
 - 39 [GNU] <http://www.gnu.org/>
 - 40 [LINUX] <http://www.linux.org/>
 - 41 [MySQL] <http://www.mysql.org>
 - 42 [PostgreSQL] <http://www.postgresql.org/>
 - 43 [VO DM] <http://hea-www.harvard.edu/~jcm/vo/>
 - 44 [Semantic Web] <http://www.w3.org/2001/sw/>

- 45 [SRB] <http://www.npaci.edu/DICE/SRB/>
- 46 Rajasekar A K, Wan M. SRB & SRBRack—Components of a Virtual Data Grid Architecture. <http://www.npaci.edu/DICE/Pubs/JBv3.htm>
- 47 [RDF] <http://www.w3.org/RDF>
- 48 [UDDI] <http://www.uddi.org/>
- 49 [UDDI] <http://www.uddi-china.org/>
- 50 [GridFTP] <http://www.globus.org/datagrid/gridftp.html>
- 51 The Globus Project. Introduction to Grid Computing. http://www.globus.org/about/events/US_tutorial/slides/Intro-01-Grids3.ppt
- 52 [SOAP] <http://www.w3.org/2002/ws/>
- 53 [Javaspaces] <http://java.sun.com/products/javaspaces/>
- 54 [WSDL] <http://www.w3.org/TR/wsdl>
- 55 [VML] <http://www.w3.org/TR/NOTE-VML>
- 56 [Java/J2EE] <http://java.sun.com>
- 57 赵永恒. 科学, 2002, 54 (2): 13
- 58 [China-VO] <http://www.china-vo.org>
- 59 [BATC] <http://vega.bac.pku.edu.cn/>
- 60 [NAOC] <http://www.bao.ac.cn>
- 61 [LAMOST] <http://www.lamost.org/>
- 62 [FAST] <http://www.bao.ac.cn/bao/LT/>
- 63 [SST] <http://sun.bao.ac.cn/>
- 64 [RVO] <http://www.inasan.rssi.ru/eng/rvo>
- 65 [IVOA] <http://www.ivoa.net>

Technology Progress of Virtual Observatory

Cui Chenzhou Zhao Yongheng Zhao Gang Zhang Yanxia

(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

Abstract

The project of Virtual Observatory (VO) is the result of breakthroughs in telescope, detector, computer and Internet technologies. The combination with the new information technology is the major characteristic of the VO development. Extensible markup language (XML) and Grid as two trends of information technology will be adopted widely in the VO. XML and the related technologies are used for information storage and exchanging within the VO. The VO architecture is based upon the standard layered architecture of Grid. In the paper, technologies related in each layer of the VO architecture are introduced. The global virtual observatory provides new chances for Chinese astronomy. Using the abundant resources in the Internet and chances provided by open-source software, Chinese astronomers should cooperate with national IT experts and push the virtual observatory projects of China as soon as possible.

Key words techniques: virtual observatory—standards—instrumentation: network—methods: data analysis