

赛百平台及其技术挑战

暨中美赛百平台研讨会总结报告

曹军威

清华大学信息技术研究院研究员、院长助理

清华信息科学与技术国家实验室（筹）

摘要：为了迎接 21 世纪科学研究的新挑战，美国国家科学基金提出了赛百平台（Cyberinfrastructure，简称 CI）战略。本报告全面介绍中美赛百平台研讨会的情况，在综述 CI 背景和概念的基础上，重点总结了实现 CI 所要面临的技术挑战，同时指出，大力发展 CI 的研究和建设是推动我国科学技术在新世纪实现跨越式发展的一个机遇。

一、中美赛百平台研讨会

4 月 14 至 15 日，由清华大学和普渡大学联合举办的“中美赛百平台研讨会”（China-U.S. Symposium on Cyberinfrastructure）在清华大学信息大楼举行。来自美国科学基金、普渡大学、马里兰大学、加州大学圣地亚哥分校等 10 余名美方代表，以及清华大学、中科院、北京大学等 30 余位中方学者参加了会议。研讨会受到了美国科学基金（NSF）和中国国家自然科学基金委员会（NSFC）的资助。

研讨会主席由清华大学信息技术研究院院长李军研究员和普渡大学电子与计算机工程系 Rudolf Eigenmann 教授共同担任，分主题报告（14 日上午）、专题报告（14 日下午及 15 日上午）和集体讨论（15 日下午）三阶段进行。

NSF 赛百平台办公室主任，美国路易斯安那州立大学教授 Edward Seidel 教授作了题为“Cyberinfrastructure and Computational Science for Research and Education”的主题报告，其中全面介绍了 CI 理念的由来，概念和目前美国 CI 研究的现状与发展，CI 研究将要面临的技术挑战等等。

清华大学自动化系教授、中国工程院吴澄院士作了题为“Resource Sharing for Research and Education in China”的主题报告，全面介绍了中国科研教育领域优质资源共享的现状与发展，结合清华大学负责的国家大型仪器设备共享和国家精品课程集成项目等实例，深入探讨了其中的管理、组织、机制与技术问题。

参加研讨会并作主题报告的嘉宾还有北京航空航天大学副校长怀进鹏教授、中科院副秘书长谭铁牛教授和普渡大学赛百中心执行主任 Barbara Fossum 女士。他们详细介绍了各自单位 CI 相关技术研发与建设的现状。

与会学者围绕赛百平台应用使能“Cyberinfrastructure Application Enabling”、数据管理与高性能计算“Cyberinfrastructure for Data and HPC”、赛百平台软件开发“Software Development for Cyberinfrastructure”等几个专题做了 20 余个精彩的专题学术报告，并进行了面对面的深入讨论。研讨会从应用和计算技术等多个角度对未来五年 CI 研究所面临的技术挑战进行了深入探讨，主要讨论内容总结如下。

二、 CI 介绍

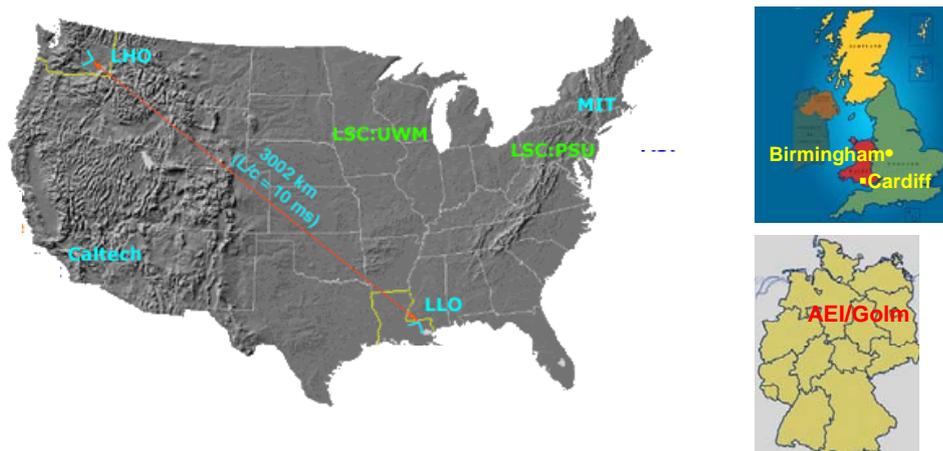
1. 背景

爱因斯坦 1915 年发表了广义相对论，其中一个预言就是引力波的存在，从上个世纪六十年代开始人类试图直接探测到引力波的尝试始终没有间断。进入新世纪，美国国家科学基金投资，由加州理工（Caltech）和麻省理工学院（MIT）负责建设的激光干涉引力波天文台（Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory，简称 LIGO）[1]终于投入了科学运行，LIGO 每天产生 1 万亿字节的数据，来自全世界 40 多个科研单位的 500 多名研究人员组成了 LIGO 科学合作组织（LIGO Scientific Collaboration，简称 LSC）[2]，共享分布在美国和欧洲的 10 多台高性能计算机的几千个 CPU 和上千万亿字节的存储能力，联合投入到 LIGO 的数据分析工作中（见图 1）。



(a)

(b)



(c)

图 1. (a). LIGO 位于美国华盛顿州 Hanford 镇的天文台（LIGO Hanford Observatory，简称 LHO）。(b). LIGO 位于美国路易斯安纳州 Livingston 镇的天文台（LIGO Livingston Observatory，简称 LLO）。(c). LIGO 数据网格（LIGO Data Grid，简称 LDG）[3]主要节点：第 0 层 LHO 和 LLO；第 1 层 Caltech；第 2 层包括美国 MIT、UWM 和 PSU，英国 Birmingham 和 Cardiff，还有德国的 AEI。（本图取自 LIGO 项目）

这仅仅是进入 21 世纪以后，在物理、天文、生物和医药等研究领域出现的众多联合项目的代表之一。随着先进计算和信息技术的发展，回答以前人类无法认识 and 解决的问题，如黑洞合并、暗物质结构、气候变化因素、蛋白质折叠以及基因测序等，开始逐渐成为可能，类似的科研呈现出新的特点和挑战：

- 设备昂贵。大型的望远镜、天文台、加速器、高性能计算机以及海量存储等，动辄花费上亿美元已经司空见惯。
- 数据量大。比如欧洲粒子物理研究中心制造的全球最强力的粒子加速器 2008 年投入运行后，每年将产生 20 千万亿字节的数据，对这些数据进行管理和分析需要的计算机资源可想而知[4]。
- 联合攻关。越来越多的科学研究不再是个人行为，跨组织、跨学科的联合攻关乃至国际合作成为必须。如合作承担国际热核聚变实验堆计划[5]的 7 个成员是欧盟、中国、韩国、俄罗斯、日本、印度和美国，中国要承担整个项目 100 亿美元中 10%。

NSF 从上世纪 80 年代就开始陆续资助先进计算技术的研究，包括在特定领域推动相关的应用，至今已经建设了数十个面向特定领域的信息、计算和数据的网络环境。

其中典型的例子包括：地震仿真网络（Network for Earthquake Engineering Simulation，简称 NEES）[6]、开放科研网格（Open Science Grid，简称 OSG）[7]、国家生态观测网（National Ecological Observatory Network，简称 NEON）[8]、地球科学网（The Geosciences Network，简称 GEON）[9]、国家大气研究中心（National Center for Atmospheric Research，简称 NCAR）[10]、计算纳米技术网（Network for Computational Nanotechnology，简称 NCN）[11]、国家虚拟天文台（US National Virtual Observatory，简称 NVO）[12]和万亿次网格（TeraGrid）[13]等等。

近年来美国这方面的需求急剧增加，在各个领域分别投入显然不是有效的方法，对于这些网络社区、虚拟组织和网格环境，虽然在其内部实现了资源共享，但彼此之间却各自独立，不能互通，也就是说没有实现真正意义上的开放平台。这也是美国致力于打造国家统一的赛百平台的根本原因。

CI 的概念是 NSF 在 2003 年公布的专家咨询报告（一般称为 Atkins 报告）[14]中提出的。类似的报告在美国极受重视，基本被认为是未来相关技术走向的风向标，比如，上世纪 90 年代高性能计算方面的两个报告[15]和[16]就奠定了美国目前这个领域的研究格局，相关工作现在均被纳入 CI 的框架中。NSF 从 2003 年开始面向各个领域（包括物理、天文、生物、化学、地球、大气、环境甚至社会科学）召集会议，了解需求，2006 年成立了专门委员会执行 CI 战略[17]，在 2006 年 7 月公布了第七版本的计划草稿[18]。

美国推动 CI 研究和建设的主力 — 国家超级计算应用中心（National Center for Supercomputing Applications，简称 NCSA）[19]和圣地亚哥超级计算机中心（San Diego Supercomputer Center，简称 SDSC）[20]，联合组成了 CI 合作伙伴关系（Cyberinfrastructure Partnership，简称 CIP）[21]，并且通过 CI 技术观察[22]和 CI 频道[23]等网上资源，大力推广和宣传 CI 战略，报道相关的最新技术进展。

世界各国也提出相应的计划支持本国 CI 的研究与发展，这包括英国与 e-Science 战略相结合的 e-Infrastructure[24]和日本启动的 Cyber Science Infrastructure[25]计划。

2. 什么是 CI?

在 Atkins 报告[14]中，对 CI 的概念有如此解释：“基础架构（Infrastructure）一词从上世纪二十年代开始被用作公路、电网、电话、桥梁以及铁路等类似的公共设施的总称，为工业经济的发展起到了支撑作用。虽然好的基础架构经常被人忽视，其重要性也只有出现故障时才能体现出来，但基础架构的确是人类创造出的复杂而昂贵的

系统。CI 作为一个新名词主要指基于分布计算机、信息和通信技术的基础架构。CI 对于知识经济的重要性可以与基础架构对工业经济的支撑作用相比拟。”

对照现实世界中基础架构的重要性，CI 是从基础架构的角度，重新审视数字空间资源的结果。在数字世界中，我们已经有一些类似现实世界中基础架构的成功例子，通过简短的 Email 地址，就可以实现通信；通过简单的域名就可以登陆相应的 Web 主页，以了解相关信息。Email 和 Web 实现了数字世界中的信息共享，但更深层次资源共享只有通过 CI 才能实现。在数字空间中，我们有计算、数据、网络 and 软件等资源，还有许多数字化的仪器设备等等。在科研领域，CI 资源的典型例子有高性能计算机、大规模数据存储、大型天文望远镜、粒子加速器、引力波天文台以及环境监测系统等。CI 淡化物理资源的概念，通过构建逻辑资源层（又称 Cyberresources），实现资源的透明访问，而不必关心资源具体的物理地址。

CI 实际上还要提供一个基于资源共享的应用使能开放环境（又称 Cyberenvironments）。典型的 CI 应用类型包括高性能计算、数据分析与可视化、虚拟组织与服务等[18]。比如，近十年发展起来的网格计算技术[26]，主要用于实现虚拟组织内跨组织的资源共享。如前面提到的 LIGO 数据网格，CI 可以提供一个开放环境，使得应用领域的科学家可以根据自己的需要，实现特定的网格服务，而且可以通过 CI 逻辑资源层，动态地添加资源。将来 LIGO 的引力波科学家可以使用 CI 开放环境直接构建 LIGO 的数据网格，而毋需通常那样，从底层资源开始，再向上逐步做起。LIGO 数据网格的计算能力不够时，尚可通过 CI 操作，动态获取其他空闲（如 TeraGrid）资源。从这个意义上说，网格是 CI 的具体应用，CI 是网格的构建平台（见图 2）。



图 2. CI 与网格的关系。

如图 2 所示，CI 在应用使能和资源方面，将现有相互独立的网络社区、虚拟组织和网格环境统一起来，通过资源的逻辑化和虚拟化，实现更广泛意义的共享，这也是在数字空间实现基础架构的核心价值所在。如前面提到的开放科研网格 OSG，则试图将高能物理、天文、纳米技术和生物信息学等几个方面的现有网格资源，进行二次整合，实现跨虚拟组织的资源共享，这是一个从网格迈向基于 CI 实现的典型例子。

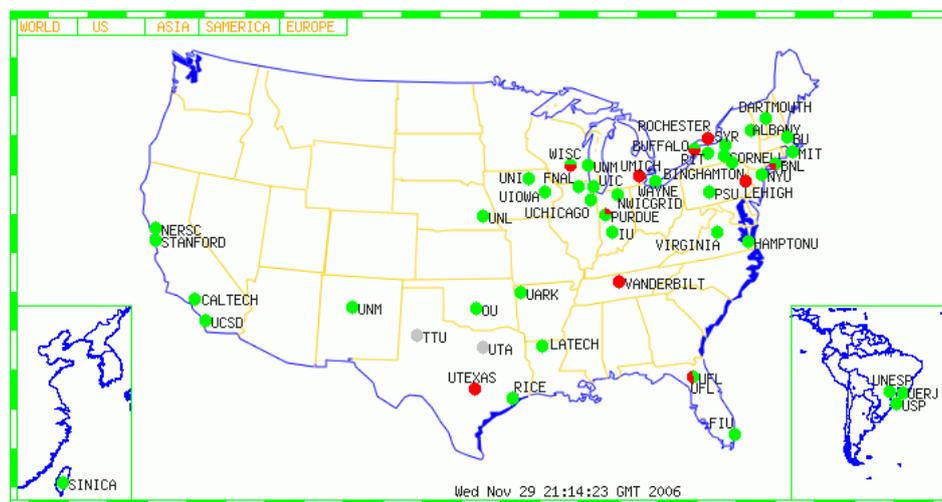


图 3. 开放科研网格（OSG）节点示意图。包括分布在全世界的 73 个节点，2 万多 CPU 和上千万亿字节的存储能力。（本图取自 OSG 资源监测网站 <http://osg-cat.grid.iu.edu>）

同现实世界中基础架构的复杂性和高昂投入相比，CI 是有过之而无不及，但 CI 研究本身并不包括具体的资源和应用。资源本身实现所需的内在技术不在 CI 的研究内容之列，比如，高性能计算机是 CI 集成的目标资源之一，但计算机本身的体系结构研究就不在 CI 的研究范围内，这并不是说计算机体系结构的研究不重要，只是不划分在 CI 研究的范畴内。同理，数据存储、高速网络和通信技术本身的研究，虽然对于 CI 的实现不可或缺，但并不是 CI 战略需要重点解决的问题。另外，CI 实现最终是通过应用来评价的，应用水平是检验 CI 发展程度的标志。好的 CI 环境可以使应用领域科学家（而不是计算机专业人员）自行实现满足其特定需求的网格和虚拟组织环境，而在某个特定的网格和虚拟组织内部，如何执行任务和管理数据不是 CI 要解决的问题。

目前对 CI 需求最迫切的还是科学研究领域。形象地说，未来 CI 就像科学家的手臂可以用来快速的构建满足特定领域需要的网格和虚拟组织环境，进而方便的伸向任何可用的科研资源。科学家可以全身心地投入到解决科学问题本身，而不是耗费大量的时间和精力去获取资源

CI 的概念一经提出，便得到工业界的高度重视，基础架构化符合技术发展的客观规律，也很容易让人联想到 Internet 和 Web 的成功，开始都是为了满足科研需要，而最终则导致一场信息技术的革命。CI 同样可以使人产生足够的联想和期待，一旦技术成熟，市场前景相当可观。

三、 CI 中的技术挑战

CI 给技术发展提供了一个全新的视角，其实现依赖于现有技术及其整合，例如网格计算、传感器网络、数字图书馆、协同和可视化环境等。现有技术有的可以直接应用到 CI 中，例如网格技术中的许多服务同样可以拓展到 CI 中，以实现其相应功能。现有技术之间在接口和实现上存在差异，CI 提出了消除这种差异的需求，这可以通过制定新的标准来完成。例如，数据网格和数字图书馆在各自的领域形成了不同的标准，必须加以整合，才有可能在统一的基础架构下，同时提供这两种资源和服务。现有技术在很多方面不能满足 CI 实现的功能需求，这是 CI 研究的核心内容所在。下面列举一些 CI 研究的新内容和挑战。

1. CI 逻辑资源层的实现

CI 逻辑资源层实现的技术挑战主要来源于 CI 资源的多样性。不同资源的交互方式和安全要求都有很大的不同，需要新的软件实现，以进行统一封装。

安全管理。不同的 CI 资源获取对安全的需求不同。比如高性能计算机，需要对用户进行认证和授权。CI 中一些精密和昂贵的仪器设备会对安全的要求更高，比如禁止一般用户进行某些特定的具有潜在破坏性的操作。CI 需要根据资源的不同制定不同的安全等级。CI 安全服务的实现，是需要能够在不同的安全等级间进行灵活切换的。

资源交互。在 CI 中，用户与资源的交互方式也有很大的不同。比如计算机一般是接到任务、进行规划和后台处理、最后返回结果。但 CI 中的一些资源可能需要与用户进行实时交互，比如天文望远镜。协同工作环境需要支持用户与用户间的实时交互。这些都为 CI 的资源管理提出更多的要求，比如支持资源的提前预订等等。

数据传输。CI 对于数据传输的需求更加广泛，一些科学数据可能是由上百万个小文件组成，也可能是数目不多的大文件，天文台的数据分析则需要实时的数据流。不同的数据传输协议在不同的情况下性能不同，CI 数据资源的封装需要提供多种方案，以满足不同的数据传输需要。

2. CI 应用使能开放环境的实现

CI 应用使能建立在资源共享的基础上，CI 虽然从基础架构的角度出发，在资源与应用使能方面进行了层次化，实现了统一，但是一些贯穿于各个层次之间的问题解决起来尚有挑战性。

安全管理。CI 需要提供环境和工具，以管理多个虚拟组织，面临着跨虚拟组织的用户和资源间的交互问题，这涉及一系列的不同层次（虚拟组织之间、用户与虚拟组织之间）的认证、授权和信任管理等问题，这与资源访问的安全机制有关，目前尚无很好的解决办法。

出错处理。目前对于简单的 Internet 应用，如 Email 和 Web，错误基本上由用户直接承受。而 CI 则要实现高端应用的基础架构化，CI 资源层的出错是需要应用使能层的软件进行处理的，这就增加了用户获得正确的出错信息的难度。

服务质量。服务质量（如任务完成时间）也无法单纯地在某个层次上解决，服务质量的保证需要各个方面的支持，需要从资源到应用，贯串始终。尤其在 CI 中，用户与资源、用户与用户之间，有时是需要实时交互的，这对服务质量的要求更高。

当然 CI 的研究和建设不仅仅是技术上的挑战，CI 研究具有天然的跨学科、跨组织和跨地域性，涉及到虚拟组织和安全方面的管理，有些问题超出了技术范畴，就不在此展开了。

总之，在美国，CI 是正在形成的新的基础架构，其发展代表先进计算和信息技术发展的最前沿方向，在推进和发展 CI 的过程中，一定会涌现出更多新的需求和相应的技术挑战。

四、 CI 与中国

在中国，对于发展 CI 研究和建设来说，在相关技术的研究方面已经具有良好基础。例如，在网格方面，已有相应工作基础和成果积累，包括中国国家网格[27]、中国教育科研网格 [28]、以网络为基础的科学活动环境综合试验平台[29]和高等学校仪器设备和优质资源共享系统[30]等等。现在则需要尽早从战略角度出发，打造国家统一的 CI，打通资源层并提供统一的应用使能环境，统一管理不同的虚拟组织和网格环境，以便尽可能减少资源分割和孤岛的形成，避免美国走过的弯路。

与此同时，中国经济在快速增长，科研条件不断提升，特别提出要加强打造重大科技基础设施，可以肯定，对 CI 的需求，在不久的将来，很快就会在中国体现出来。如能不失时机地开展 CI 的研究和建设，将先进计算和信息技术的应用和面向 CI 的理

念，融入到科研资源本身的建设过程中，则有利于我国科学技术在新世纪实现跨越式发展，有利于推进创新型国家的建设进程。

参考文献：

- [1]. LIGO – Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory. <http://www.ligo.caltech.edu>.
- [2]. LSC – LIGO Scientific Collaboration. <http://www.ligo.org>.
- [3]. LDG – LIGO Data Grid. <http://www.lsc-group.phys.uwm.edu/lscdatagrid>.
- [4]. LHC – The Large Hadron Collider. <http://lhc.web.cern.ch>.
- [5]. ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor. <http://www.iter.org>.
- [6]. NEES – Network for Earthquake Engineering Simulation. <http://www.nees.org>.
- [7]. OSG – Open Science Grid. <http://www.opensciencegrid.org>.
- [8]. NEON – National Ecological Observatory Network. <http://www.neoninc.org>.
- [9]. GEON – The Geosciences Network. <http://www.geongrid.org>.
- [10]. NCAR – National Center for Atmospheric Research. <http://www.ncar.ucar.edu>.
- [11]. NCN – Network for Computational Nanotechnology. <http://www.ncn.purdue.edu>.
- [12]. NVO – US National Virtual Observatory. <http://www.us-vo.org>.
- [13]. TeraGrid. <http://www.teragrid.org>.
- [14]. D. E. Atkins et al. Revolutionizing Science and Engineering through Cyberinfrastructure. National Science Foundation Blue – Ribbon Advisory Panel on Cyberinfrastructure, January 2003.
- [15]. L. Branscomb et al. From Desktop to Teraflop: Exploiting the U. S. Lead in High Performance Computing. National Science Foundation Blue – Ribbon Panel on High Performance Computing, August 1993.
- [16]. E. F. Hayes et al. Report of the Task Force on the Future of the NSF Supercomputer Centers Program. September 15 1995.
- [17]. OCI – Office of Cyberinfrastructure. <http://www.nsf.gov/oci>.
- [18]. NSF Cyberinfrastructure Council. NSF’s Cyberinfrastructure Vision for 21st Century Discovery, Version 7.1. National Science Foundation, July 2006.
- [19]. NCSA – National Center for Supercomputing Applications.
- [20]. SDSC – San Diego Supercomputer Center. <http://sdsc.edu>.
- [21]. CIP – Cyberinfrastructure Partnership. <http://www.ci-partnership.org>.
- [22]. CTWatch – Cyberinfrastructure Technology Watch. <http://www.ctwatch.org>.

- [23]. cichannel – The Cyberinfrastructure Channel. <http://www.cichannel.org>.
- [24]. T. Hey and A. E. Trefethen. Cyberinfrastructure for e-Science. *Science*, Vol. 308, No. 5723, pp. 817-821, May 6 2005.
- [25]. M. Sakauchi et al. Cyber Science Infrastructure Initiative for Boosting Japan's Scientific Research. *CTWatch Quarterly*, Vol. 2, No. 1, February 2006.
- [26]. I. Foster and C. Kesselman. *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*. Morgan-Kaufmann, 1998.
- [27]. 中国国家网格. <http://www.cngrid.org>.
- [28]. 中国教育科研网格. <http://www.chinagrid.edu.cn>.
- [29]. 以网络为基础的科学活动环境综合试验平台. <http://www.crown.org.cn>.
- [30]. Y. Wang and C. Wu. A Study on Education Resource Sharing Grid. *International Journal of Information Technology*, Vol. 11, No. 3, pp. 73-80, 2005.