



2011—2012

*Report on Advances in
Computer Science and Technology*

中国科学技术协会 主编
中国计算机学会 编著

计算机科学与技术 学科发展报告

中国科学技术出版社



图书在版编目(CIP)数据

2011—2012 计算机科学与技术学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国计算机学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2012. 4
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-6020-6

I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①计算机科学-学科发展-研究
报告-中国-2011—2012 IV. ①TP3-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 042205 号

选题策划 许 英
责任编辑 夏凤金
封面设计 中文天地
责任校对 韩 玲
责任印制 王 沛

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010-62173865
传 真 010-62179148
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 350 千字
印 张 16
印 数 1—2500 册
版 次 2012 年 4 月第 1 版
印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷
印 刷 北京凯鑫彩色印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6020-6/TP·385
定 价 48.00 元

(凡购买本社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换)
本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

2011—2012
计算机科学与技术学科发展报告
REPORT ON ADVANCES IN COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY

首席科学家 胡事民

专 家 组 (按姓氏笔画排序)

马华东	马建峰	王怀民	王国仁	过敏意
刘克	孙凝晖	李建中	肖侬	金芝
赵耀	查红彬	侯紫峰	徐宝文	徐恪
黄华	黄继武	章毅	臧斌宇	

学术秘书 徐恪(兼) 朱征瑜

序

科学技术作为人类智慧的结晶,不仅推动经济社会发展,而且不断丰富和发展科学文化,形成了以科学精神为精髓的人类社会的共同信念、价值标准和行为规范。学科的构建、调整和发展,也与其内在的学科文化的形成、整合、体制化过程密切相关。优秀的学科文化是学科成熟的标志,影响着学科发展的趋势和学科前沿的演进,是学科核心竞争力的重要内容。中国科协自2006年以来,坚持持续推进学科建设,力求在总结学科发展成果、研究学科发展规律、预测学科发展趋势的基础上,探究学科发展的文化特征,以此强化推动新兴学科萌芽、促进优势学科发展的内在动力,推进学科交叉、融合与渗透,培育学科新的生长点,提升原始创新能力。

截至2010年,有87个全国学会参与了学科发展系列研究,编写出版了学科发展系列报告131卷,并且每年定期发布。各相关学科的研究成果、趋势分析及其中蕴涵的鲜明学术风格、学科文化,越来越显现出重要的社会影响力和学术价值,受到科技界、学术团体和政府部门的高度重视以及国外主要学术机构和团体的关注,并成为科技政策和规划制定学术研究课题立项、技术创新与应用以及跨学科研究的重要参考资料和国内外知名图书馆的馆藏资料。

2011年,中国科协继续组织中国空间科学学会等23个全国学会分别对空间科学、地理学(人文-经济地理学)、昆虫学、生态学、环境科学技术、资源科学、仪器科学与技术、标准化科学技术、计算机科学与技术、测绘科学与技术、有色金属冶金工程技术、材料腐蚀、水产学、园艺学、作物学、中医学、生物医学工程、针灸学、公共卫生与预防医学、技术经济学、图书馆学、色彩学、国土经济学等学科进行学科发展研究,完成23卷学科发展系列报告以及1卷学科发展综合报告,共计近800万字。

参与本次研究发布的,既有历史长久的基础学科,也有新兴的交叉学科和紧密结合经济社会建设的应用技术学科。学科发展系列报告的内容既有学术理论探索创新的最新总结,也有产学研结合的突出成果;既有基础领域的研究进展,也有应用领域的开发进展,内容丰富,分析透彻,研究深入,成果显著。

参与本次学科发展研究和报告编写的诸多专家学者,在完成繁重的科研项目、教学任务的同时,投入大量精力,汇集资料,潜心研究,群策群力,精雕细琢,体现出高度的使命感、责任感和无私奉献的精神。在本次学科发展报告付梓之际,我衷心地感谢所有为学科发展研究和报告编写奉献智慧的专家学者及工作人员,正是你们辛勤的工作才有呈现给读者的丰硕研究成果。同时我也期待,随着时间的久远,这些研究成果愈来愈能够显露出时代的价值,成为我国科技发展和学科建设中的重要参考依据。



2012年3月

前 言

2011年是第十二个五年计划正式迈入历程的开局之年。“十二五”规划明确了今后五年国家的战略方向与工作重点,并对经济社会发展做出了全面部署。在关系到经济社会发展命脉的规划中,国家仍然坚持不懈地把全面提高信息化水平作为今后工作的重中之重,对构建下一代国家信息基础设施、加快经济社会信息化、加强网络与信息安全保障等提出了长远而迫切的要求。而计算机科学与技术作为反映国家信息化水平的重要学科,对国家的经济、国防等领域的发展有着举足轻重的地位。

为了更好地了解计算机科学与技术学科的发展状况,总结发展中的经验和不足,促进和提高本学科未来的发展水平,在此我们调研并总结了本学科所涉及的各个领域中领先的关键技术和产业化研究,汇总并编纂了这份报告。

本报告包括1份综合报告和11份专题报告。综合报告回顾、总结和科学评价了近两年来本学科的最新进展和研究成果,对比了国内外技术的发展状况,并分析了未来发展趋势。11份专题报告分别详细介绍了本学科在计算机系统结构、计算机软件与理论、计算机应用技术方面的核心技术等方面所取得的巨大进步。在计算机系统结构方面,国产核心芯片技术已经达到领先水平并得到了广泛应用,海量信息存储技术已实现突破进展并已成为国家信息化的核心组成部分,以自主技术为核心的中国高性能计算生态链正在构建中,以可演进为基础的互联网体系结构研究取得重大进展,以及在互联网带动下的物联网技术也在起步发展。在计算机软件与理论方面,不确定数据管理技术引领数据库技术潮流,软件生产工具和集成环境得到了飞速发展,以中间件为代表的系统软件技术取得关键技术成果,模型检测方法引起了学术界与工业界的关注。在计算机应用技术方面,图形和图像处理与分析技术成果显著,人工智能领域研究的国际影响力显著提高。

综合我国国民经济和“十二五”规划,在未来的发展中,计算机科学与技术学科将肩负着提高国家信息化水平的重要使命,将重点发展新一代移动通信、下一代互联网、三网融合、物联网、云计算、集成电路、新型显示、高端软件、高端服务器和信息服务等高新技术,推动国家的信息化建设,促进高新技术产业的迅猛发展,同时也为其他产业的发展提供信息化支撑。

由于计算机科学发展日新月异,涉及面广,信息量大,技术层次较深,故本报告在编写中难免有所遗漏,敬请读者不吝提出宝贵意见,以完善今后的编写工作。

中国计算机学会

2012年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国计算机学会

综合报告

计算机科学与技术学科发展研究	(3)
一、引言	(3)
二、最新研究进展	(5)
三、国内外研究进展比较	(26)
四、发展趋势及展望	(35)
参考文献	(40)

专题报告

国产通用处理器发展研究	(45)
不确定数据管理技术发展研究	(56)
高性能计算发展研究	(72)
计算机图形学发展研究	(89)
互联网领域学科发展研究	(103)
软件生产工具与集成环境发展研究	(136)
海量信息存储系统及技术发展研究	(150)
模型检测发展研究	(169)
物联网发展研究	(187)
中间件技术发展现状与热点问题	(197)
人工智能发展研究	(213)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Computer Science and Technology	(237)
---	-------

Reports on Special Topics

Report on Advances in Chinese CPUs	(241)
Report on Advances in Uncertain Data Management	(241)
Report on Advances in High Performance Computing	(242)
Report on Advances in Computer Graphics	(242)
Report on Advances in Internet Development	(242)
Report on Advances in Software Production Tools and Integrated Development Environment	(243)
Report on Advances in Mass Storage System and Technology	(244)
Report on Advances in Model Checking	(244)
Report on Advances in Internet of Things	(245)
Report on Advances in Middleware Technology	(245)
Report on Advances in Artificial Intelligence	(246)

综合报告

计算机科学与技术学科发展研究

一、引言

国家已经把全面提高信息化水平作为“十二五”规划的重要内容,提高信息化水平需要加快建设宽带、融合、安全、泛在的下一代国家信息基础设施,推动信息化和工业化深度融合,推进经济社会各领域信息化。发展信息产业和现代服务业是推进新型工业化的关键,而计算机科学与技术学科是知识经济的重要组成部分,更是国家现代化、信息化实施的理论基石。计算机科学与技术既是信息化研究的一个重要内容,也是信息化实现的重要手段。

过去的“十一五”期间,国家在信息产业,特别是计算机科学与技术相关产业方面部署了多个重大科研计划,在关键技术研发和产业化方面取得了长足的进步,同时在高性能计算、下一代网络、图形和图像、物联网、软件工程、信息安全、云计算等前沿的分支学科方面也取得了丰硕的成果。本报告将回顾、总结和科学评价近两年来本学科发展的新进展、新成果,对比本学科国内与国外技术的发展状况,并简要分析本学科的未来发展趋势。

1. 计算机系统结构方面

我国学者在核心芯片技术、信息存储技术、高性能计算技术、计算机网络技术以及物联网技术等方面均取得了丰硕的成果。各种具有自主知识产权的中国“芯”不断涌现,利用国产飞腾芯片设计的超级计算机“天河一号”荣登世界超级计算机榜首。目前国产芯片已经在国防、社保、教育、农业、电信、金融、保险、卫生等各行各业中得到了广泛应用。总体而言,经过国人的不懈努力,已经掌握了处理器芯片体系结构设计的核心技术,达到了国际领先水平。同时,我们立志于打造高效能、高安全、高可靠性、低能耗技术、自主知识产权为核心的网络存储产业。科技部在2008年设立了“海量存储系统关键技术”重大项目,其目标为研制面向PB级高性能、易扩展、高可用、易管理的海量存储系统,实现在海量存储系统技术上的突破。同时,在2009年完成重大基础项目“下一代互联网信息存储组织模式与核心技术研究”的基础上,于2010年设立“面向复杂应用环境的数据存储系统理论与技术基础”项目,进一步围绕新型智能存储系统及其服务支撑技术进行研究。目前研制的PB级存储系统与技术预期指标都已经通过测试,进入应用示范阶段。此外,以自主技术为核心构建中国的高性能计算生态链,重视基础技术突破来促进中国高性能计算的研究和发展。我国已经成功研制2台千万亿次超级计算机,采用了CPU-GPU异构系统技术,国产的高性能计算机已经位居TOP500前列。我国还针对金融、电信等领域的关键应用,研制出了高端容错计算机产品,以打破国外产品在这些领域的垄断,降低中国的信息化建设成本。也在核心电子器件、高端通用芯片、基础软件产品、并行算法以及高性能计算软件等方面取得了突破。计算机网络技术方面,不同于国际上改良式路线与革命式路线,我国学者提出了可演进的互联网体系结构,即互联网体系结构必

须通过改变约束其扩展的基本要素,而产生新的指标扩展空间。2009 年启动的“973”项目“新一代互联网体系结构和协议基础研究”,从 IPv6 互联网出发解决互联网的重大技术挑战,继承和发展前期项目的初步理论研究成果,不仅注重体系结构的理论探索,同时更加注重体系结构和协议的基础研究,并继续深入研究多维可扩展的网络体系结构及其基本要素,以及体系结构对规模可扩展、性能可扩展、安全可扩展、服务可扩展、功能可扩展、管理可扩展的支持。路由器体系结构和相关技术的研究也取得了较大的进展,在国家“863”高科技重大专项“新一代高可信网络”项目的支持下,可重构路由器方面的研究达到了国际先进水平。可重构路由器可根据不断变化的功能需求动态加载不同的处理构件,不但能满足各种新出现的互联网处理需求,如视频感知的处理,而且可以降低设备功耗,延长使用周期和减少电子垃圾,因此更加节能环保。随着温家宝总理“感知中国”战略构想的提出,我国政府已经充分敏感地意识到物联网是信息技术变革的重大机遇,挑战物联网核心理论问题,发展我国具有自主知识产权的物联网技术,推动我国在该领域的跨越式发展,已在政府、学术、产业各界形成高度共识。我国学者围绕物联网体系结构、物联网的基础理论、设计方法与实践,提炼基础科学问题,在多种异质网络融合与自治,信息感知、理解、交互过程,物联网中间件平台、软件自适应能力和环境感知的服务提供等方面进行深入研究。

2. 计算机软件与理论方面

我国学者在数据库技术、软件工程技术以及系统软件技术等方面也取得了重大的突破。数据库技术领域,国内研究机构从 2008 年起,每年在国际顶尖期刊和会议上都有不确定数据管理方面的文章发表,提出了不确定数据流的聚类 and 不确定数据流的 top-k 查询技术,基于概率语义的不确定图数据库上频繁子图挖掘,基于 EMD 距离的概率数据相似性查询技术等,表明国内在不确定数据管理方面的研究工作与国际是同步的,并且取得了国际同行认可的研究成果。软件工程领域方面,国内近几年在软件中间件方向取得了丰硕成果。在应用服务类中间件、应用集成类中间件、业务架构类中间件等主要几大类中间件中均有不俗的作为,尤其在应用服务器中间件上更是成果颇丰。

3. 计算机应用技术方面

我国学者在图形和图像处理与分析技术、人工智能与机器学习技术等方面也取得了许多成就。图形和图像处理与分析技术方面,我国在计算机辅助几何设计、图形实时绘制、计算机动画、虚拟现实、人机交互以及可视化等领域发表了一系列有重要影响的论文,取得了众多高水平的研究成果。形成了以 Bézier 和 B 样条方法为代表的参数化特征设计和隐式代数曲面;发展了预计算的实时绘制框架,并提出了一套完整的大规模场景绘制理论与方法;在计算机动画的基础研究、平台构建、系统集成和产业应用方面均取得了重要进展;并且重点支持了三维物体输入技术、全景动态光场采集与处理技术、虚拟场景生成技术、多通道人机交互技术等方向。人工智能与机器学习方面,我国人工智能领域的部分专家学者在国际学术界的影响力日益增加,有少数学者已经在国际上处于领先/领导地位,在国际重要的人工智能学术杂志和人工智能学术会议上,我国学者担任重要学术职务

的人数、每年发表的论文数目持续增长,受邀在相关学术会议上做大会报告的人数和国内承办人工智能重要国际会议的次数不断增加。特别需要提到的是,人工智能领域的著名会议 IJCAI 2013 将在北京召开。除了学术领域的进展,我国在智能机器人、个性化推荐系统、Web 语义等实际应用领域也取得了许多有价值的研究成果。

虽然近几年国内在计算机科学与技术学科中取得了许多重要的理论研究成果以及有价值的应用成果,但是作为信息产业的先导者,与世界先进水平相比还有一定差距,里程碑式和原创成果不多,许多研究在总体上还没有跳出跟踪研究的模式。而且我国在核心技术应用研发成果市场的占有率较低,信息技术产业在国际市场上竞争力较弱,有价值的具备自主知识产权的研究成果相比国外仍有较大差距,也导致国内企业在国际上容易受到竞争对手掣肘。

未来仍需要在计算机科学与技术学科继续深入理论研究,减少与国外先进成果的差距,同时注重研发核心技术应用,抢占国际市场,此外,还应该加强自主知识产权的研发与保护,提升国内信息技术产业的竞争力。

我国计算机科学与技术学科未来需要突破制约信息产业发展的核心技术,掌握集成电路及关键元器件、大型软件、高性能计算、宽带无线移动通信、下一代网络等核心技术,提高自主开发能力和整体技术水平。同时加强信息技术产品的集成创新,提高设计制造水平,重点解决信息技术产品的可扩展性、易用性和低成本问题,培育新技术和新业务,提高信息产业竞争力。学科发展应以应用需求为导向,重视和加强集成创新,开发支撑和带动现代服务业发展的技术和关键产品,促进传统产业的改造和技术升级。计算机科学与技术学科还需要把发展高可信网络作为重点,开发网络信息安全技术及相关产品,建立信息安全技术保障体系,具备防范各种信息安全突发事件的技术能力。

二、最新研究进展

“十一五”期间,国家在信息产业,特别是计算机科学与技术相关产业方面部署了多个重大科研计划,在关键技术研发和产业化方面取得了长足进步。

计算机科学与技术学科下有三个二级学科,分别为计算机系统结构、计算机软件与理论、计算机应用技术。近几年来,我国在各二级学科下的各核心专题技术(表 1)中均取得了巨大的进步。

表 1 计算机科学与技术学科细分

学 科	专 题
计算机系统结构	核心芯片技术
	信息存储技术
	高性能计算技术
	计算机网络技术
	物联网技术

续表

学 科	专 题
计算机软件与理论	数据库技术
	软件工程技术
	系统软件技术
计算机应用技术	图形和图像处理与分析技术
	人工智能与机器学习技术

下面将从各方面介绍本学科近年来取得的最新进展。

(一) 计算机系统结构仍然是学科发展的核心动力

长期以来,计算机系统结构作为计算机科学与技术的核心基础学科,一直发挥着重要作用。近几年来,该学科取得很多关键性的进步,推动了计算机科学与技术的发展。

1. 国产核心芯片在各方面达到国际领先水平并得到广泛应用

处理器芯片是信息技术的“心脏”,是信息产业的基础部件,是通信设备、网络设备、高性能计算机的核心部件。长期以来,芯片市场主要被国外公司垄断,限制了诸多行业的发展,给国家安全带来了潜在的威胁。从国家战略出发,我国大力发展具有自主知识产权的国产处理器芯片,目前已形成以“龙芯”、“飞腾”、“众志”、“申威”等为代表的国产芯片系列。处理器的关键技术包括核结构设计、Cache 设计、核间通信技术、总线设计、存储器设计、低功耗设计、可靠性及安全性设计等诸多方面。

近年来,国产处理器芯片研发取得了显著成果。龙芯系列芯片由中国科学院计算技术研究所研制。自 2001 年龙芯课题组在中国科学院计算技术研究所知识创新工程的支持下正式成立龙芯 1 号设计与验证系统成功启动 Linux 操作系统以来,龙芯系列芯片已经经历了 10 年的发展,依其研发历史及面向领域的不同,分为三大系列:32 位处理器龙芯 1 号系列处理器以低功耗、低成本为主要特征,针对消费类电子和低端嵌入式应用;64 位的低功耗单核通用处理器龙芯 2 号系列处理器面向个人计算机、行业计算机终端和云计算终端等领域设计,适用于三网融合、工业控制等方面;龙芯 3 号系列处理器则是 64 位的多核处理器,面向高性能计算机和服务器等领域设计。目前,龙芯系列处理器产品已经在各领域取得了广泛应用。如在安全领域方面,在通过了严格的可靠性实验之后,龙芯系列处理器作为核心元器件,已被应用到了几十种型号和系统中。而在通用领域方面,在各种个人计算机、企业服务器及高性能计算机、云计算终端中都可以看到龙芯系列处理器。如龙芯 3B 处理器,将会被应用到曙光高性能计算机中,其中的 8000 颗龙芯 3B 可达到每秒 6000 千万亿次的计算能力;国产万亿次高性能计算机 KD-50-I 则是基于龙芯 2 号设计,是个人高性能计算机的首次尝试研制。在整体架构上,龙芯三大系列处理器从 1 号到 3 号呈现出设计愈加复杂、性能愈加完善的趋势。

2. 海量信息存储技术引发新的信息技术发展热潮

随着信息技术的普及和快速发展,信息量的爆炸使得存储的扩容和升级已经远远超

出了处理器和网络的升级速度,海量存储已成为继计算机浪潮和互联网浪潮之后的第三次信息技术发展浪潮。

“十一五”期间,国家大力发展信息化建设,信息系统正从以计算为核心转向以数据为核心,海量信息存储将成为国家信息化的核心组成部分。科技部在 2008 年设立了“海量存储系统关键技术”重大项目,其目标为研制面向 PB 级高性能、易扩展、高可用、易管理的海量存储系统,实现在海量存储系统技术上的突破。同时在 2009 年完成重大基础项目“下一代互联网信息存储组织模式与核心技术研究”的基础上,于 2010 年设立“面向复杂应用环境的数据存储系统理论与技术基础”项目,进一步围绕新型智能存储系统及其服务支撑技术进行研究,研究面向服务且支持节能和安全的智能化存储体系,研究自组织的动态数据对象管理和资源共享方法、存储服务 QoS 和效用评价方法,建立面向复杂应用环境的数据存储系统理论与技术基础。围绕智能存储系统技术,已提出了主动对象存储系统架构、策略触发机制、主动服务模式等,并初步建立按需服务模型,为复杂环境下的存储服务提供理论基础。围绕 PB 级海量存储系统这一总体目标,部署了从新型存储器件、网络存储设备、海量存储系统、存储软件及其在关键行业中的应用示范几方面进行研究,加强原理和技术创新,采用“产学研用”结合的组织模式,集中优势单位共同承担项目研究工作。目前研制的 PB 级存储系统与技术预期指标都已经通过测试,进入应用示范阶段。

近两年,国内研究团队分别在基于对象的海量存储系统和可扩展 SAN 系统研究方面取得突破,并在中国资源卫星中心、石油勘探部门、国家计算机网络与信息安全中心等单位进行应用。华中科技大学研制出基于对象的 PB 级海量存储系统软件 Cappella,支持访问容量达到 PB 级,最高可扩展至 32PB,聚合带宽达 60GB/s,可支持 6000 并发访问,支持文件总数达到 10 亿量级,单目录下文件数量可达千万级别。系统综合采用了带外数据传输、元数据服务器集群、基于 bloom filter 的多维度高效空间组织、动态数据分布、负载均衡等技术,使系统性能随资源的增加拟线性的增长。中科院计算所针对海量网络存储系统的高可靠性问题,研制出蓝鲸网络冗余关键技术,采用带外冗余管理方法,实现了应用读写操作的完全并行化,不仅通过支持多台存储设备间的数据冗余大大提高了存储系统整体的可靠性,而且保证了系统的性能扩展性。以蓝鲸网络冗余技术为基础的 SkySAN 存储系统已经应用到了武汉、新疆等多个大规模存储系统的项目中。通过研究,突破了多控制器体系结构、高速 I/O 技术、高速缓存技术、多控 I/O 协调调度技术、高速互联交换总线、高速互联背板设计等技术难题,浪潮、华为研制出两款八控八活一冗余的高端磁盘阵列,大大缩小了与 EMC、HDS 等国际领先厂商的技术差距。华为 S8000 高端磁盘阵列具有八控八活的新一代 Scale-out 双层驱动体系架构,支持全局部件冗余和业务负载均衡,提供多种存储协议,提供大容量存储管理和高性能应用。

江南计算所、国防科技大学已研制出了 324、216 端口的 QDR Infiniband 交换机,目前已经在国产高性能计算机、海量存储应用示范系统等项目进行了实际应用,实践证明,该交换机运行稳定、性能优异,完全可以替代国外同类型产品。在相变随机存储方面,华中科技大学等单位已在实验室进行了一些相关研究,取得了一些重要突破。主要进展包括:①基于紫外对准光刻技术研究出与 CMOS 加工工艺配套的相变存储器工艺设计;

②标准 CMOS 工艺兼容的相变随机存储器芯片成套加工工艺;③256bit 存储器测试芯片的研制和 1Mbit 相变存储器测试芯片中外围电路的设计和流片;④新型高速、低功耗的相变存储器器件设计。在 STT-RAM 存储技术方面,清华大学开展 STT-RAM 研究,主要进展包括:①实现了低临界电流密度存储单元;②研发出稳定的刻蚀工艺;③设计并制造出 1Mbit 的 STT-RAM 存储芯片。

初步搭建起了磁性多层膜中电子自旋输运测试的平台,可以对存储单元的性能进行系统分析。华中科技大学、清华大学、中科院计算所等单位围绕海量存储系统相关软件进行研发,取得系列成果,主要包括面向海量存储管理的存储虚拟化软件技术、分级存储及数据管理关键技术、数据备份及数据保护技术、存储访问安全关键技术、存储设备安全预警和数据主动迁移技术等。面向海量存储管理的存储虚拟化技术可实现跨存储设备的资源虚拟化,方便管理;分级存储技术可满足不同类型数据的不同需求,使数据价值和生命周期与可用性、性能、数据保护和成本相匹配;数据备份技术通过多级别恢复功能,支持文件备份和主流数据库备份;存储安全访问既保护存储设备自身的安全,又确保数据在存取过程中完整、可靠和有效。

西北工业大学、中国电子科技集团公司第十五研究所等单位在“863”重大项目的支持下,紧跟国外先进存储测评技术的发展,通过大量研究和实验,针对海量存储系统、磁盘阵列、存储网络设备、存储软件和存储器件等先后提出了评测体系、评测规范和相关的评测工具。研制海量存储系统评价与测试平台,开发了不同的存储测评工具和管理系统,可将国内外多种型号和规模的海量存储系统纳入统一的评测体系中,并对性能、可用性、功能和能耗等多个方面可同时进行评测。开发虚拟磁盘阵列模拟器、存储性能测试工具。在此基础上,构建了海量存储系统评测与测试平台,包括电磁兼容实验室、电气安全实验室、性能检测室和系统检测实验室等。建立了国内首家第三方存储测评机构,制定了磁盘阵列产品测评技术规范等企业标准,同时联合“产学研用”单位共同申请和建立存储测评国家行业标准,为用户和企业提供技术参考,促进存储产业快速健康发展。

中国资源卫星应用中心的应用示范项目的第一期应用示范工程在中心已部署一套 320TB 容量的高性能、易管理的海量存储系统,接入自研的高性能 IB 交换网络、高端磁盘阵列、并行文件系统软件和存储一体化管理软件,解决中心现有的存储系统性能和容量相对有限、不能满足高分卫星发射后系统的生产存储区及在线存储区的性能处理瓶颈问题;解决多个地面存储系统相互之间比较独立,未建立统一的存储资源管理系统,而造成的系统管理和维护工作量较大,不能满足未来业务不断变化和发展的的问题。在实际运行的 8 个月中,系统表现良好,未出现故障。目前,第二期 1PB 的应用示范系统已经测试完毕,正在进行部署安装。部署完毕后,中心存储系统国产设备所占的比例超过 80%,打破国外厂商对高端存储技术及市场的垄断,保障国家战略安全。另外,华为团队研制的海量存储系统目前正在中石油东方物探公司部署应用,高端盘阵、数据安全灾备软件产品等已在电信等部门大量使用。

上述产品的应用表明,我国自主开发的海量存储系统已经可以应用在空天领域等关键业务部门,可以逐步取代国外产品。通过“863”、“973”等项目建设,“十一五”期间,我国

在存储相关技术方面得到很大提高,申请了一批发明专利,形成系列软件著作权,其中部分专利涉及系统底层研发技术,对后续建立专利保护,提升国内存储产品研发水平意义重大。通过总体项目研究,在国内外专利分析方面,形成了《信息存储技术领域专利分析报告》。在存储标准化方面,形成《海量存储系统技术标准化框架性建议报告(讨论稿)》,并提交两项行业标准报批稿,三项国际标准建议,应邀参加 SNIA、ISO 国际标准工作组会议等。在项目总体组的推动下,成立了“中国存储产业创新技术联盟”,以更好地推动存储产业发展。

通过存储系统与技术研发,锻炼和培养了一大批技术开发人员,企业内的研发人员技术能力也得到大幅提高。通过项目研究,形成了完善的合作开发机制,探索实践了一套产学研紧密关联的产业链,一大批前沿成果得以转化成产品。同时,还建立了 PB 级的存储开发验证环境,为后续存储技术的进一步研究提供了条件保障。

3. 以自主技术为核心构建中国高性能计算生态链

“十一五”期间,我国高性能计算机在研制、应用和产业化等方面都得到了较大较快的发展(表 2)。已经成功研制“天河”和“曙光星云”两台千万亿次超级计算机,国产高性能计算机分别在 2010 年 11 月和 6 月位居世界 TOP500 的榜首和第二名。不少高性能计算应用由此从百核扩展到千核、万核以上处理器的应用。

表 2 2010 年中国高性能计算机 TOP10 排行榜

序号	厂商	型号	安装地点	年份	应用领域	处理器核	Linpack 值 (GFlops)	峰值(GFlops)
1	国防科大	天河一号 A	国家超级计算天津中心	2010	科学计算/工业	202752	2507000.00	4701000.00
2	曙光	曙光星云	曙光天津产业基地	2010	科学计算/工业	120640	1271000.00	2984300.00
3	中科院过程所	Mole-8.5 Cluster	中国科学院过程工程研究所	2010	科学计算/粒子模拟	33120	207300.00	1138440.00
4	曙光	魔方/曙光 5000A	上海超级计算中心	2008	科学计算/工业	30720	180600.00	233472.00
5	联想	深腾 7000	中国科学院超级计算中心	2008	科学计算	12160	106500.00	145293.00
6	曙光	曙光星云/Dawning TC3600	成都超级计算中心(二期)	2010	科学计算/工业	5720	76350.38	141389.60
7	曙光	生物专用机/Dawning TC3600	中国科学院计算技术研究所	2010	生物学	4160	55527.55	102828.80
8	IBM	xSeries x3650M2 Cluster	工程公司	2010	工业	8960	51200.00	90680.00
9	HP	Cluster Platform 3000	中国电信	2010	电信	7848	41880.00	79420.00
10	IBM	Blade-Center HS22	网络公司	2009	工业/游戏	7168	41270.00	72540.00