

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
计算机科学与技术

网络存储导论

姜宁康 时成阁 编著

清华大学出版社



高等学校教材
计算机科学与技术

网络存储导论

姜宁康 时成阁 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍了网络存储的基本概念和常见的网络存储体系架构、关键技术及其技术走向,并结合实践介绍了一些基于世界著名公司产品的解决方案。全书共 14 章,分为 4 部分:基础知识——海量存储与数据备份、高级知识——数据系统整合、应用知识及存储产业的组织和推动力。

本书案例翔实,内容由浅入深,可作为高等院校“网络存储”课程教材,对工程技术人员也具有相当的理论参考价值和实际应用价值。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

网络存储导论/姜宁康,时成阁编著. —北京:清华大学出版社,2007.7

(高等学校教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-15050-3

I. 网… II. ①姜… ②时… III. 计算机网络—信息存储—高等学校—教材 IV. TP393.0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 053593 号

责任编辑:梁 颖

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.25 字 数:379 千字

版 次:2007 年 7 月第 1 版 印 次:2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:022655-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学	周立柱	教授
	覃 征	教授
	王建民	教授
	刘 强	副教授
	冯建华	副教授
北京大学	杨冬青	教授
	陈 钟	教授
	陈立军	副教授
北京航空航天大学	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王 珊	教授
	孟小峰	教授
	陈 红	教授
北京师范大学	周明全	教授
北京交通大学	阮秋琦	教授
北京信息工程学院	孟庆昌	教授
北京科技大学	杨炳儒	教授
石油大学	陈 明	教授
天津大学	艾德才	教授
复旦大学	吴立德	教授
	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
东华大学	乐嘉锦	教授
上海第二工业大学	蒋川群	教授
浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
南京大学	骆 斌	教授
南京航空航天大学	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授

南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 依	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

随着宽带通信技术和 Internet 应用在我国的不 断普及和发展,爆炸性增长的海量信息对于数据存储载体和数据管理技术提出了更高的要求,也对企事业单位的信息系统管理人员提出了新的挑战。一方面,怎样在有限资金允许的范围内选择合理、高效的数据存储解决方案,满足不断增长的数据存储需要,从而为企事业单位在计算机系统 中的投资提供最大限度的保证,已成为企事业单位信息系统管理人员重点关注的问题;另一方面,越来越多的企事业单位已经将信息数据视为企业的重要资产,怎样利用数据存储、数据安全管理的知识和技术,保护和使 用计算机网络和系统中的数据,发挥企事业单位信息化投资的综合效益,也成为有志于从事企事业信息系统管理的高级人才所必须了解和掌握的知识。

《中共中央办公厅、国务院办公厅关于加强信息资源开发利用工作的若干意见》(中办发[2004]34 号)和《国务院办公厅关于加快电子商务发展的若干意见》(国办发[2005]2 号)两份文件,对信息的采集、存储、备份、整合以及防止数据灾难的发生提出了重要的指导方针。我国网络存储产业的发展、容灾系统的建设和对存储技术人才的需求即将进入一个高速增长时期。

2006 年 5 月,信息产业部明确将“网络存储及备份恢复系统”、“网络威胁防御管理系统”等信息安全项目作为重点扶植对象;而根据中共中央组织部、人事部、国务院信息化工作办公室《关于开展信息化与电子政务培训的通知》精神,信息产业部电子信息中心已聘请时成阁博士等国内网络存储技术权威人士担纲设计,面向全国各省、市信息产 业管理干部开办了多届“数据安全存储与数据分析应用”高级培训班;教育部科技发展中心也相继在北京、上海、广州、济南、武汉、西安、沈阳、成都等地巡回举办“2006' 教育行业信息存储大会”,将校园网和教育领域的数据安全存储问题提上了议事日程;此外,关于建立中国“存储工程师”系列专业资格认证和培训体系的呼声也日益迫切。与此同时,IBM、NetApp 等国外存储厂商也在 2006 年度加大了在中国内地的宣传和市 场推广力度。

所有这一切,都预示着网络存储技术继宽带数据通信之后,将成为我国信息技术(IT)和网络业界新一轮的市场热点。

计算机的出现源于对于数据处理的需求,计算机网络的出现源于对信息通信的需求,Internet 的出现则源于对信息获取、发布平台的需求。而这 3 个阶段的应用重点,分别对应着计算机系统的 3 大组成要素:数据处理、数据通信和数据存储。

上述 3 个阶段对于该 3 大要素的应用需求特点如下。

要素	单机应用阶段	计算机联网阶段	Internet 应用阶段
数据处理	工作辅助	工作协同	工作交互
数据通信	机机(内部)、人机对话	人机、人人对话	人人、机机(外部)对话
数据存储	大量	安全	海量、安全

这 3 个要素在历史上都曾各自以其技术上的突破推动了计算机应用的发展,也分别带动了我国相关产业的发展热潮。例如,20 世纪 80 年代以个人计算机(PC)应用(数据处理)为代表的软件产业群的兴起和 90 年代以网络应用(数据通信)为代表的网络通信产业群的兴旺都令人记忆犹新;而在这之前,正是由于硅晶片作为数据存储载体的突破,催生了 70 年代现代计算机小型化的革命和 PC 的出现。

这 3 个要素不仅存在于计算机的系统当中,而且以一种循环的方式、以 10 年左右为周期交替着登上时代的浪潮峰顶,引发 IT 领域的革命。这是因为,当其中一个要素的技术取得重大突破以后,必然在此后的广泛应用中对其他 2 个要素提出更高的配合需求,从而激发其他要素的变革和技术进步。

2001 年是“网络股”泡沫破灭后的灾年,却是以 SAN(Storage Area Network)和 NAS(Network Attached System)技术为代表的“存储年”。这标志着数据存储继数据通信之后,再度成为国际 IT 行业的发展主题。遗憾的是,当时在国内 IT 业界没有引起足够的关注,导致了今天的国内存储设备市场完全被国外产品所垄断的悲哀局面。

在 Internet 的发展过程中,数据处理、数据通信、数据存储这 3 大要素交替主导的潜规则也同样发挥着作用。

从单机应用发展到 Web 1.0,是数据通信的发展高峰期(具体表现在宽带通信、移动通信、IP 电话等方面的数据通信技术应用),宽带和 BT 高速下载等应用得以大行其道;到了 Web 2.0 阶段,内容成为竞争的主要手段,多媒体技术的广泛应用和用户的主动参与性,使数据量呈爆炸性增长趋势,海量数据的安全存储就成为关键;而在 Internet 未来的发展阶段(Web 3.0),由于信息过剩导致了有效资讯的获取困难,更先进的数据处理技术(智能化的检索、信息整合手段)必将再次唱起主角。

从下表中可以直观地看到 Internet 从 Web 1.0、Web 2.0 到 Web 3.0 的这种发展演变轨迹。

阶段	Web 1.0	Web 2.0	Web 3.0
阶段特征	信息获取	信息爆炸	信息过剩
代表性技术	搜索引擎	RSS 等	检索过滤技术
网站功能	收集、发布、导航	归类、交流、存储	筛选、整合、服务
用户行为模式	主动寻找、被动接受	自动寻找、主动发布	智能寻找、自动发布
主要活动平台	PC	网站	整个网络
信息存放平台	下载收藏	个人空间	共享空间
发展瓶颈	网速	数据安全	处理能力
技术解决	宽带通信	网络安全存储技术	数据智能处理
核心要素	数据通信	数据存储	数据处理

由上表可以看到,信息数据的存储中心原本在于网站服务器,而有效信息的存储从 PC 逐渐转向网上个人空间;这一演变过程既是 Web 2.0 的特征,也是通往 Web 3.0 智能网络时代的条件准备和必经阶段。

当前 Internet 所处的阶段还只是从 Web 1.0 到 Web 2.0 的过渡时期,但是对于海量数据安全存储的需求已经在网络运营商、服务商和用户群中迅速地滋生膨胀,这也是即将出现的一个大好市场机遇。

未来的技术发展和市场竞争,关键在于人才的培养。作为国内第一部系统阐释网络存储理论和技术发展的书籍,本书的出版为国内 IT 业界打开了一扇全面了解国际最新网络存储技术知识和发展动向的窗口,也为国内高等院校的本科生、研究生提供了一部系统学习和掌握网络存储技能的基础教材。

本书的两位作者均在网络存储领域从事了多年的教学和研究工作,积累了丰富的专业知识和实践经验,其中时成阁博士更是中国第一套自主知识产权的网络存储安全操作系统的开发负责人。他们立足于国内企事业单位用户的需求特点,对于目前国内市场上的海外厂商产品进行了客观的比较分析,从而使国内用户和技术人员得以更全面、更好地了解相关技术产品的应用与研究发展的行业动向,这不仅有利于推动国内用户网络存储系统的建设、有利于我国网络存储技术研发人才的成长和提高,也为我国自主建设安全、高效的信息化社会作出了一份应有的贡献。

邓耀波

2007 年 6 月

网络存储是一个涉及计算机学科、通信与信息系统以及电子科学技术学科的新兴行业。随着人类社会数据财富的迅速增加,如何使得快速增长的数据系统健壮、可靠、便利可用已成为社会生活的迫切需要。本书出于推广网络存储知识、培养网络存储人才的目的,总结了两位作者近年来在数据系统整合、数据存储知识分析、数据存储产品考察、测试、项目实施诸方面的经验。

我们作为大学教师、企业产品的推广者,深知自己的能力是有限的。在撰写该书过程中,深深感受到本书内容对信息时代的重要性,同时也感受到时代的责任,希望把这本书奉献出来,给有志于存储技术的初学者和目前正从事该行业的工程师一些帮助。

本书分为基础知识、高级知识、应用知识以及存储产业的组织和推动力等4个部分。

在基础知识部分,主要给出了关于网络存储方面的概念、网络存储产品基本分类和性能参数评估因素,目的是希望读者了解网络存储方面的基本知识,便于在实际工作中了解自己可能接触到的网络存储设备,为今后进一步专门学习或培训做准备。

在高级知识部分,首先给出了数据系统整合的技术路线;然后针对海量存储系统和数据中心给出了设计实施方案。另外,针对具体的产品,作为一般的举例,给出了简要分析和实施注意事项。

在应用知识部分,以工程实践为背景,介绍了一般 SAN 系统的搭建、数据中心和容灾系统的设计,可以作为读者实际工作中的参考解决方案。

考虑到网络存储是一个新兴的产业,为了方便读者进一步了解相关信息,在存储产业的组织和推动力部分对部分国际性技术组织进行了描述,同时也对存储产品的主要供应商及其产品进行了一些介绍。

网络存储设备本身是一个计算机系统的数据存储外设,同时也是数据系统的核心部分。但是,随着信息网络的普及,为实现海量数据存储,不仅需要单个存储设备的网络连接,实现数据系统的异地备份和灾难恢复,更需要性能价格比高的网络基础作为支撑。为此,在阅读本书之前,要求读者对 IP 网络、SCSI 基础知识、计算机操作系统、数据库等知识有一定的了解。

在阅读过程中,如果有任何收获,请告诉别人;有任何意见,请告诉我们,便于及时

更正,避免更大的错误。

由于知识的积累是一个长期的过程,因此在本书中尽量标明了相关知识的来源。如果没有描述清楚,导致知识产权权益受损,请第一时间告诉我们,我们将本着传播知识、造福社会的目的加以协商解决。

最后,再次向给我们巨大鼓舞、带给我们平安与喜乐的同事和亲朋好友表示感谢。也感谢清华大学出版社为本书的出版作出的巨大努力。

姜宁康 时成阁
2007年6月于上海

第 1 部分 基础知识——海量存储与数据备份

第 1 章 RAID 与大容量存储	3
1.1 RAID 概念	3
1.2 RAID-0 等级	5
1.3 RAID-1 等级	6
1.4 RAID-2 等级	7
1.4.1 汉明码的原理	7
1.4.2 RAID-2 等级介绍	8
1.5 RAID-3 等级	9
1.6 RAID-4 等级	11
1.7 RAID-5 等级	11
1.8 RAID-6 和 RAID-7 等级	12
1.9 本章小结	13
第 2 章 磁盘存储阵列容错和性能介绍	14
2.1 磁盘阵列的额外容错功能	15
2.2 多数据流对磁盘阵列系统性能的影响	15
2.2.1 单主机连接情况下的磁盘阵列存储系统性能	15
2.2.2 多主机同时访问时系统性能变化	16
2.2.3 产品举例分析	18
2.3 相关磁盘阵列存储术语	21
2.4 本章小结	25
第 3 章 存储网络技术	26
3.1 存储网络基础	26
3.1.1 SCSI	26

3.1.2	TCP/IP	27
3.1.3	以太网	27
3.1.4	Fiber Channel	27
3.2	存储体系结构	28
3.2.1	直连式存储(DAS)	28
3.2.2	网络连接存储(NAS)	29
3.2.3	存储区域网络(SAN)	30
3.2.4	SAN 与 NAS 的区别和联系	31
3.3	以太网和存储网络相结合的多层环境	31
3.3.1	iSCSI	31
3.3.2	FCIP	32
3.3.3	SAN 的应用	32
3.3.4	将 SAN 拓展到城域网	32
3.4	新一代多层智能化存储网络	33
3.5	存储网络的未来发展	35
3.5.1	存储管理的自动化与智能化	36
3.5.2	提高存储效率	36
3.5.3	减少总体拥有成本,增加投资回报	36
3.6	如何建造企业 SAN 系统	36
3.6.1	SAN 应用系统评估	37
3.6.2	存储网络系统中的交换机	38
3.6.3	企业存储网络系统管理	42
3.7	本章小结	42
第 4 章	备份带库	44
4.1	磁带库基础	44
4.2	磁带库的发展	47
4.3	磁带库评估	48
4.4	本章小结	49

第 2 部分 高级知识——数据系统整合

第 5 章	数据分级存储	53
5.1	分级存储的必要性	53
5.2	分级存储的存储方式	54
5.2.1	在线存储	54
5.2.2	离线存储	55
5.2.3	近线存储	55
5.3	分级存储的优点	55

5.4	分级存储的管理	56
5.5	信息生命周期管理	56
5.6	分级存储案例	57
第 6 章	数据迁移	59
6.1	数据迁移的概念	59
6.2	数据迁移的特点	59
6.3	数据迁移的方法和策略	60
6.3.1	数据迁移的方法	60
6.3.2	数据迁移的策略	61
6.4	数据迁移的实现	61
6.4.1	数据迁移的技术准备	62
6.4.2	数据迁移工具的选择	63
6.4.3	数据抽取和转换的准备	63
6.4.4	数据迁移后的校验	64
6.5	本章小结	64
第 7 章	系统灾难备份	65
7.1	容灾技术的意义	65
7.2	容灾技术的分类	66
7.2.1	同步传输的数据复制	66
7.2.2	同步数据容灾的性能分析	68
7.2.3	异步数据复制	70
7.3	软件容灾方式	73
7.4	本章小结	73
第 8 章	系统恢复	75
8.1	灾难后信息的恢复规划	75
8.1.1	要素分析	75
8.1.2	信息技术构架	76
8.2	WAN 考虑因素	77
8.3	本章小结	81
第 9 章	基于 IP 的网络存储系统设计	82
9.1	IP 存储发展	82
9.1.1	存储隧道技术	83
9.1.2	本地 IP 存储技术	83
9.2	iSCSI 技术与应用	84
9.2.1	iSCSI 的概念	84

9.2.2	iSCSI 发展情况	84
9.2.3	iSCSI 的工作流程	85
9.2.4	iSCSI 与 FC 的比较	86
9.2.5	iSCSI 的优势与局限性	87
9.2.6	iSCSI 技术的应用	87
9.3	IP SAN 存储案例研究	88
9.3.1	用户现状与需求分析	88
9.3.2	系统设计原则	89
9.3.3	技术方案	90
9.3.4	方案的优势	92
9.3.5	系统建设的下一步设想	93
9.3.6	解决方案介绍	94
9.3.7	技术服务及培训	97
9.4	IP SAN 容灾及备份方案	98
9.4.1	需求分析	98
9.4.2	方案描述	99
9.4.3	方案的特点	104
9.4.4	容灾备份系统的关键点	105
9.5	NAS 存储的类型和发展	106
9.6	NAS 解决方案	108
9.7	本章小结	112

第 3 部分 应用知识

第 10 章	一般 SAN 系统构建案例	115
10.1	大型企业综合存储系统	116
10.1.1	业务的主要数据特性	116
10.1.2	用户状况	116
10.1.3	需求分析	116
10.1.4	系统设计	116
10.1.5	方案点评	117
10.1.6	其他可选的解决方案	117
10.2	券商容灾系统	118
10.2.1	技术准备	118
10.2.2	需求分析	119
10.2.3	系统设计	119
10.2.4	其他可选的解决方案	120
10.3	移动业务逻辑独立的存储系统	121
10.3.1	用户现状	121

10.3.2	需求分析	121
10.3.3	系统设计	122
10.3.4	其他可选的解决方案	123
10.4	不成功的 SAN 应用	124
10.4.1	网站 SAN 存储系统	124
10.4.2	某气象单位存储系统	125
10.4.3	某电视台非线性编辑系统	125
10.5	本章小结	126
第 11 章	数据中心设计	127
11.1	概述	127
11.2	需求分析和设计目标	127
11.2.1	系统现状	127
11.2.2	系统总体架构要求	128
11.2.3	系统建设目标	129
11.2.4	系统建设任务	129
11.3	系统设计原则	130
11.4	系统方案设计	131
11.4.1	系统总体结构图	131
11.4.2	数据库服务器设计	132
11.4.3	存储系统设计	133
11.4.4	负载均衡系统设计	135
11.4.5	应用服务器、浏览服务器和数据处理前置机设计	136
11.5	本章小结	137
第 12 章	海量存储系统设计	138
12.1	海量数据存储系统架构方案	138
12.1.1	本地存储网络构架	138
12.1.2	外部存储网络构架	139
12.1.3	磁盘阵列存储设施	141
12.1.4	磁带存储设施	143
12.1.5	介质存放设施	144
12.2	备份系统设计	146
12.2.1	远程备份容灾	146
12.2.2	存储资源监控	149
12.2.3	存储网络管理	150
12.2.4	系统监控管理	150
12.2.5	服务管理	151
12.3	海量存储系统扩展能力分析	151