

网络存储原理及应用

梁新元 王田 黄正洪 编著



中国科学技术出版社

网络存储原理及应用

梁新元 王田 黄正洪 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

网络存储原理及应用/梁新元, 王田, 黄正洪编著.
—北京: 中国科学技术出版社, 2007.8
(学科建设)
ISBN 978-7-5046-4776-4

I.网… II.①梁…②王…③黄… III.网络存储-研究-中国
IV.G642.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 129645 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志, 未贴防伪标志的
为盗版书

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 010-62103210 传真: 010-62183872

科学普及出版社发行部发行 新千年印制有限公司印刷

*

开本: 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张: 15 字数: 375 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

册数: 1—1000 册 定价: 26.00 元

ISBN 978-7-5046-4776-4/G·459

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

内容简介

网络存储技术是最近几年 IT 行业最热门的技术之一。本书全面深入地介绍了网络存储技术的基本原理、体系结构、设计方法、应用实例分析、研究情况和发展趋势。内容包括存储技术和存储体系的演化、分类、研究情况和趋势；存储技术中的基础技术——RAID 和 SCSI 技术；网络存储相关协议 SMB、BFS、FCP、FCIP、iFCP、iSCSI 和 NDMP 等；NAS、SAN 和 IP 存储的概念、特点、体系结构；存储管理、存储备份与容灾；存储虚拟化概念、意义及实现；P2P 技术和网格存储；存储产品的概况，几个存储系统的设计实例和应用实例分析。本书适合于计算机、通信、电子、信息、自动化等相关专业的对网络存储感兴趣以及从事相关工作的科研人员、研究生和大学高年级学生作为教学参考书，也可以供计算机信息系统集成开发及应用的工程技术人员参考。

前 言

随着计算机科学的迅速发展，目前，信息存储领域正朝着高速 I/O 通道、集群存储、大容量、高性能、可管理、高可靠性、高可用性和低成本的方向发展。为此，国内外的科研单位、教学部门和产业界都投入了大量的人力和物力进行研究，产生了可喜的理论成果、应用技术和实际产品。

当今的存储技术，已由单纯的以服务器为中心的存储模式变为以数据为中心的存储模式。存储模式的改变和网络技术的发展（下一代互联网、P2P 和网络计算等）导致了网络存储技术的飞速发展，网络存储技术面临着巨大的发展机遇和诱人的前景。

本书主要介绍网络存储的基本技术、原理和应用，反映了国内外学者近年在网络存储方面的理论研究和科研成果，并对目前信息存储领域的主要趋势和国内外的主要研究成果及新技术进行了介绍，希望对从事网络信息存储的学习人员、研究人员和开发人员具有一定的参考价值。

全书共分为 3 部分，包括 3 篇，共 13 章。第一篇为网络存储技术基础篇，由第 1 章到第 6 章组成，主要介绍网络存储的基本技术和基本原理，分别介绍存储的基础技术——RAID 和 SCSI 技术，网络存储的主要类型附网存储 NAS、存储区域网 SAN 和 IP 存储。第二篇为网络存储技术应用篇，由第 7 章到第 9 章组成，主要介绍网络存储的应用情况，分别介绍网络存储的管理、备份和容灾，对几个存储系统的设计实例和应用案例进行了介绍和分析。第三篇为网络存储新技术及发展篇，由第 10 章到第 13

章组成，主要介绍网络存储技术和体系的发展趋势、国内外网络存储研发情况、存储虚拟化概念、P2P技术和网格存储。

第一篇为网络存储技术基础篇，由第1章到第6章组成，主要介绍网络存储的基本技术和基本原理，分别介绍存储的基础技术——RAID和SCSI技术，网络存储的主要类型附网存储NAS、存储区域网SAN和IP存储。第1章为概述，描述了当前网络存储技术及系统的基本概念和动态及研究意义。第2章为SCSI技术，对其体系结构、工作原理及标准进行了阐述。第3章为网络存储安全保障技术RAID技术，主要论述了RAID概念、基本原理和级别。第4章为NAS存储技术，详细地讨论了NAS的结构、特性、文件共享协议NFS和SMB及并对它们进行了分析和比较。第5章为基于光纤通道的存储区域网络SAN技术，主要讨论了SAN的概念、特点、拓扑结构、现状和发展，详细讨论了光纤通道协议的概念、作用、服务功能和拓扑结构，对NAS和SAN进行了深入分析和比较，讨论了它们之间的融合问题。第6章为基于IP的存储区域网络，讨论了IP存储技术的作用、功能、体系结构、相关技术、协议及实现策略，对iSCSI的实现、设备发现等问题进行了详细分析。

第二篇为网络存储技术应用篇，由第7章到第9章组成，主要介绍网络存储的应用情况，分别介绍网络存储的管理、备份和容灾，对几个存储系统的设计实例和应用案例进行了介绍和分析。第7章为网络存储管理，分别讨论了NAS、SAN的存储管理，并对NDMP进行了阐述。第8章的内容是网络存储中的备份和容灾，着重对数据的备份、复制、容灾等关键技术进行了介绍，并提供了一些备份和容灾的方案。第9章涉及的是网络存储的应用，主要讨论网络存储应用必要性、存储方案的选择和设计，介绍了几种典型网络存储的应用方案。

第三篇为网络存储新技术及发展篇，由第10章到第13章组

成，主要介绍网络存储技术和体系的发展趋势、国内外网络存储研发情况、存储虚拟化概念、P2P技术和网格存储。第10章为网络存储现状和发展趋势，介绍了国内外网络存储研发情况、网络存储技术和体系结构的现状和发展趋势，为后续三章网络存储新技术的介绍打下了基础，做好了铺垫。第11章的内容是介绍存储虚拟化技术，着重对存储虚拟化的概念、背景、意义、实施、层次、关键问题、管理软件结构、应用、发展趋势等问题进行了描述。第12章的内容是网格存储，对下一代网络存储——网格存储的意义、优势、存储体系、特性进行了讨论，介绍了网格存储的相关标准，着重阐述了网格的体系结构和网格管理。第13章涉及的是分布式网络存储系统的P2P技术，主要讨论P2P计算模式、存储技术，介绍了P2P存储系统的类型、拓扑结构和典型系统，着重介绍了基于P2P的网络存储系统——Peer-Store，分析了P2P技术面临的问题和发展趋势。

本书第1、7、10、12章由梁新元和王田编写，第2、3、4、13章由王田编写，第5、6、8、9、11章由梁新元编写，全书由梁新元统稿。

本书的出版得到重庆工商大学出版基金资助。

由于网络存储技术仍处在迅速发展的阶段，因此还有不少的新技术和新文献不能在书中反映，且因为作者的学术水平及实际能力有限，书中错误与不妥之处，敬请读者批评指正。

在编著本书的过程中，参考和引用了许多国内外有关的书刊和文献资料，同时得到作者所在单位和学科的领导、同事及朋友的大力支持，特此向提供这些书刊和文献资料的作者及所有支持和帮助过我们工作的朋友表示衷心的感谢。

梁新元、王田于重商学府苑
2007年1月

目 录

第1章 概 述	(1)
1.1 存储体系结构及其演变	(1)
1.2 传统的存储系统	(5)
1.2.1 附服务器存储 (SAS)	(7)
1.2.2 直接连接存储 (DAS)	(8)
1.3 网络存储的优势	(10)
1.3.1 网络存储系统的性能	(10)
1.3.2 网络存储的应用	(12)
1.4 网络存储	(13)
1.4.1 附网存储技术 (NAS)	(14)
1.4.2 存储区域网 (SAN)	(16)
1.4.3 JINI 技术	(20)
1.4.4 IP - SAN	(20)
1.4.5 各种存储方案的比较和选择	(21)
1.5 网络存储技术研究的意义	(24)
1.5.1 信息爆炸使存储技术面临挑战	(25)
1.5.2 传统的存储技术导致信息孤岛	(25)
1.5.3 数据存储技术关系到现代企业的生存	(26)
1.5.4 网络存储设备关系到信息安全	(26)
1.5.5 网络存储市场前景	(26)

第2章 SCSI 技术	(29)
2.1 概述	(29)
2.1.1 SCSI 标准及其演化	(29)
2.1.2 SCSI 标准类型	(32)
2.2 SCSI 体系结构及工作原理	(38)
2.2.1 操作系统与 SCSI I/O	(38)
2.2.2 SCSI 体系结构模型	(41)
2.2.3 SCSI 总线的配置	(44)
2.2.4 SCSI 命令执行过程及总线阶段	(46)
第3章 网络存储安全保障技术	(48)
3.1 RAID 的基本概念	(48)
3.2 RAID 的基本原理	(49)
3.2.1 设备虚拟化	(49)
3.2.2 磁盘分块	(50)
3.2.3 RAID 数据的组织	(53)
3.2.4 冗余技术	(56)
3.2.5 分块数据校验	(60)
3.3 各级 RAID	(62)
3.3.1 RAID 0: 分块	(63)
3.3.2 RAID 1: 镜像	(63)
3.3.3 RAID 2: 专有磁盘的并行访问	(64)
3.3.4 RAID 3: 使用专有校验磁盘的同步访问	(65)
3.3.5 RAID 4: 使用专用校验磁盘的独立访问	(65)
3.3.6 RAID 5: 使用分布式校验的独立访问	(67)
3.3.7 RAID 6: 使用双校验的独立访问	(69)
3.3.8 不同级 RAID 的组合	(71)
第4章 NAS 存储技术	(75)
4.1 NAS 概述	(75)

4.1.1	NAS 体系结构	(75)
4.1.2	附网存储的类型	(78)
4.1.3	附网存储特性	(81)
4.2	NAS 的结构	(83)
4.2.1	NAS 的软件组成	(85)
4.2.2	NAS 的硬件结构	(85)
4.3	NAS 中的文件共享协议	(86)
4.3.1	NFS	(88)
4.3.2	SMB	(92)
4.3.3	NFS 和 SMB 的比较	(95)
第 5 章	SAN 存储技术	(96)
5.1	SAN 概述	(96)
5.1.1	SAN 概念	(96)
5.1.2	SAN 技术特性	(100)
5.1.3	SAN 结构和构造	(102)
5.2	光纤通道协议	(105)
5.2.1	光纤通道——SAN 的基础	(105)
5.2.2	FC 功能定义	(109)
5.2.3	FC 服务功能	(110)
5.2.4	FC 拓扑结构	(111)
5.2.5	光纤通道网络设备	(112)
5.3	SAN 与 NAS 的比较	(114)
5.3.1	SAN 与 NAS 的异同	(116)
5.3.2	NAS 和 SAN 的比较	(116)
5.3.3	SAN 与 NAS 区别和联系	(120)
5.4	SAN 的现状和发展	(121)
5.4.1	SAN 的现状	(121)
5.4.2	SAN 的发展	(121)

第6章 基于IP的存储区域网络	(123)
6.1 IP存储概述	(123)
6.1.1 IP网络存储技术	(123)
6.1.2 IP存储技术的应用	(126)
6.1.3 功能描述	(128)
6.1.4 体系结构	(130)
6.1.5 相关技术	(131)
6.1.6 实现策略	(135)
6.2 IP存储协议	(137)
6.2.1 Fibre Channel over IP (FCIP)	(137)
6.2.2 Internet Fibre Channel Protocol (iFCP)	(138)
6.2.3 Internet SCSI (iSCSI)	(139)
6.2.4 iSCSI与其它几种SAN互连协议的比较	(150)
6.3 iSCSI的实现技术	(155)
6.3.1 iSCSI的实现方式	(155)
6.3.2 iSCSI SAN构成	(156)
6.4 IP存储网络中的设备发现机制	(160)
6.4.1 Service Location Protocol (SLP)	(162)
6.4.2 Internet Storage Name Server (iSNS)	(166)
第7章 网络存储管理	(168)
7.1 概述	(168)
7.1.1 网络存储管理技术产生的背景	(168)
7.1.2 网络存储管理的具体内容	(170)
7.1.3 国内外研究状况	(172)
7.2 NAS系统存储管理	(175)
7.2.1 NAS存储管理软件的结构	(175)
7.2.2 NAS管理软件的各模块功能说明	(179)
7.3 SAN存储资源管理技术	(183)

7.3.1	SAN 的基本管理原则	(183)
7.3.2	SAN 管理技术	(184)
7.3.3	存储区域网络管理面临的挑战	(188)
7.3.4	系统的整体架构	(191)
7.4	网络数据管理协议	(194)
7.4.1	NDMP 的概念	(194)
7.4.2	NDMP 的体系结构	(195)
7.4.3	基于 NDMP 的网络数据备份与恢复	(197)
第 8 章	网络存储中的备份和容灾	(200)
8.1	存储备份技术的作用	(200)
8.2	数据备份的概念	(201)
8.3	备份的分类	(206)
8.3.1	按照备份操作的方式划分	(206)
8.3.2	按照备份数据的文件组成方式划分	(208)
8.3.3	根据备份数据对应用产生的影响程度划分	(209)
8.3.4	根据备份数据所处的位置划分	(209)
8.4	存储备份的关键技术及其产品	(210)
8.4.1	镜像技术及其产品	(210)
8.4.2	快照技术及其产品	(212)
8.4.3	虚拟私有网络备份	(213)
8.4.4	无服务器备份	(214)
8.4.5	磁带虚拟化备份技术	(214)
8.4.6	并发备份技术	(215)
8.4.7	分层存储管理备份	(216)
8.5	数据备份与数据容灾	(217)
8.5.1	数据容灾的概念	(217)
8.5.2	数据备份与数据容灾之间的关系	(219)
8.6	数据容灾技术	(221)

8.6.1	概述	(221)
8.6.2	数据容灾等级	(222)
8.6.3	数据容灾的关键技术	(225)
8.7	网络存储备份系统	(228)
8.8	基于IP的SAN的远程容灾备份	(231)
8.9	基于光纤通道的高可用容灾存储系统	(234)
第9章	网络存储应用	(242)
9.1	网络存储应用的必要性	(242)
9.1.1	传统存储技术的局限	(243)
9.1.2	网络存储NAS和SAN的优势	(244)
9.1.3	网络存储的前景	(244)
9.2	网络存储方案的选择	(245)
9.2.1	带宽	(245)
9.2.2	扩展性	(245)
9.2.3	稳定性、安全性	(246)
9.2.4	RAID结构	(246)
9.2.5	升级能力、性价比	(247)
9.3	网络存储应用及方案	(248)
9.3.1	网络存储——银行数据安全存储之道	(248)
9.3.2	网络存储系统高校校园网的应用	(250)
9.3.3	网络存储方案在医疗信息管理中的应用	(255)
9.3.4	智能化小区安防监控存储解决方案	(260)
9.3.5	构建电台音频网络存储系统的方案	(262)
第10章	网络存储现状和发展趋势	(268)
10.1	网络存储研发的现状	(268)
10.2	网络存储技术和体系结构概况	(279)
10.2.1	当前常用的几种解决方案	(279)
10.2.2	网络连接安全设备与基于对象存储	(282)

10.2.3	统一存储网 (USN)	(284)
10.3	网络存储体系结构的发展趋势	(288)
10.3.1	基于 InfiniBand I/O 路径的存储系统	(288)
10.3.2	直接存取文件系统 DAFS 技术	(289)
10.3.3	串行 ATA	(290)
10.3.4	SAN 与 NAS 的融合	(291)
10.3.5	iSCSI 对象存储系统	(293)
10.4	网络存储系统发展趋势	(298)
10.4.1	公用计算将成为网络存储的发展方向	(298)
10.4.2	下一代智能存储系统的特点	(299)
10.4.3	自主运算存储系统	(300)
10.4.4	分布式异构存储系统	(301)
10.4.5	统一的网络 I/O 存储系统	(303)
10.4.6	存储虚拟化	(304)
第 11 章	存储虚拟化技术	(307)
11.1	存储虚拟化概述	(307)
11.1.1	存储虚拟化的研究背景	(307)
11.1.2	存储虚拟化的研究意义	(309)
11.1.3	存储虚拟化的概念	(311)
11.1.4	存储虚拟化的层次	(325)
11.1.5	存储虚拟化的实现模式	(336)
11.1.6	存储虚拟化的若干关键问题	(339)
11.2	存储虚拟化管理软件架构	(346)
11.3	虚拟存储的应用	(351)
11.4	存储虚拟化的实施	(353)
11.5	统一虚拟存储体系结构	(354)
11.6	存储虚拟化的发展趋势	(355)

第 12 章 网络存储	(361)
12.1 存储网格：下一代网络存储	(361)
12.1.1 从计算网格到存储网格	(361)
12.1.2 存储网格的优势	(362)
12.1.3 存储行业如何应对网格	(363)
12.1.4 IP 存储——通向网格的阶梯	(366)
12.2 网络存储和开放标准	(367)
12.2.1 用于网络存储的标准	(367)
12.2.2 标准组织、关键标准和体系结构的角色	(368)
12.2.3 实现和管理网络存储的考虑	(374)
12.3 网格体系结构概述	(376)
12.3.1 网格的基本功能模块	(377)
12.3.2 五层沙漏体系结构	(379)
12.3.3 开放网格服务体系结构	(381)
12.3.4 Web 服务资源框架	(383)
12.4 网格管理	(387)
12.4.1 网格的资源管理	(387)
12.4.2 网格的信息管理	(394)
12.4.3 网格的数据管理	(399)
12.4.4 网格 QoS 保证技术	(402)
12.4.5 网格中的安全性问题	(404)
第 13 章 基于 P2P 网络存储技术研究	(408)
13.1 概述	(408)
13.1.1 P2P 计算模式	(408)
13.1.2 P2P 存储技术	(409)
13.2 P2P 分布式存储系统	(410)
13.2.1 P2P 存储系统分类	(410)
13.2.2 P2P 存储系统的拓扑结构	(411)

13.2.3 典型的 P2P 存储系统	(412)
13.3 基于 P2P 的网络存储系统——PeerStore	(414)
13.3.1 PeerStore 系统模型	(414)
13.3.2 PeerStore 的基本原理	(415)
13.3.3 PeerStore 的特点	(418)
13.4 面临的问题	(418)
13.4.1 知识产权保护	(418)
13.4.2 网络病毒传播	(419)
13.4.3 安全问题	(420)
13.5 发展趋势	(421)
参考文献	(423)

第 1 章 概述

本章首先对存储体系结构及其演变做了简单的回顾，对主要的网络存储技术及其应用作了简要介绍，然后对网络存储技术的作用和研究意义进行了分析。

1.1 存储体系结构及其演变

存储服务市场的爆炸性增长。跨平台使用的网络存储设备是在光盘存储技术、硬盘存储技术和网络通讯协议技术基础上通过软件集成而实现的。网络存储设备提供网络信息系统的信息存取和共享服务，其主要特征体现为超大存储容量、大数据传输率以及高系统可用性。

存储网络的演化是基于存储的本质需求和存储技术中最佳要素的融合，来满足以因特网为中心的商业对存储提出的越来越高的要求。由于 INTERNET 的快速发展、在线数据存储的快速增长、电子商务等众多需求，原来以服务器为中心的存储技术已不适合今天的存储需求。以存储网络为中心的存储技术得到快速的发展，目前网络存储技术沿着三个主要的方向发展：NAS、SAN、IP-SAN。同时，由于 NAS、SAN、IP-SAN 系统的一些固有缺点，使得网络存储新技术不断出现，如 DAFS、Infini-Band、统一虚拟存储、NASD 等等。可以将存储技术分为三个阶段总线存储阶段、存储网络阶段和虚拟存储阶段。

信息时代，信息生产力的核心是表示信息的数据。所有现代