

国家自然
科学基金

项目资助
XIANGMU ZIZHU

ZHUANZHU

海量信息存储安全技术及其应用

邵必林 边根庆 等著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

海量信息存储安全技术及其应用

邵必林 边根庆 等著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书结合课题组多年的科研成果,对海量信息安全存储系统涉及的相关理论和技术进行了全面、系统的介绍。全书共分为8章:第1章概述了海量存储的硬件基础、存储系统和存储结构的发展,海量存储技术及其应用;第2章论述了海量信息存储的负载均衡机制;第3章论述了网络存储中的动态最优路径机制;第4章阐述了分级存储系统的数据迁移技术;第5章论证了海量网络存储系统中的副本优化策略;第6,7章讲述了海量信息存储中的安全控制与数据加密技术;第8章阐述了有关海量信息存储对等网络中的快速搜索技术。

本书从理论和实践两个方面,在对海量信息存储安全技术的理论进行深入分析和研究的同时,给出了相关模型和算法的仿真过程,有利于广大读者更为深入地理解有关海量信息存储安全技术的实现过程和算法设计思想。本书可供信息类相关领域的研究者或技术人员查阅,也可作为相关专业研究生的教材或参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

海量信息存储安全技术及其应用/邵必林等著. —西安:西北工业大学出版社,2014.2

ISBN 978-7-5612-3902-5

I. ①海… II. ①邵… III. ①信息管理—存储管理—信息安全—研究
IV. ①TP333

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 012934 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本:727 mm×960 mm 1/16

印 张:17.25

字 数:293 千字

版 次:2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

前 言

信息社会的典型特征是越来越多的信息被数据化,伴随着信息技术的快速发展和深度应用,数据化信息呈现爆炸式增长。据有关调查显示,截至2012年,全球每年产生大约1 800EB的网络数据信息,而且这个数字正在以每年60%的速度持续增长。在石油勘探中,数字化勘探的数据量可以达到300GB/km²,对10 000km²的地方进行勘探会产生3PB的数据量。在金融领域,金融机构要保留10年以上的历史流水数据,对于国际性大银行,这意味着至少需保留1 000TB交易数据和3 000TB的非结构化数据。在信息存储安全方面,大量基于网络存储的数据信息是企业的核心竞争力和重要机密的载体,关系到企业在市场竞争中的生死存亡。如中国千年绝活“景泰蓝”制瓷技术、“纸中之王”中国宣纸等技术被窃取,皆给企业造成了难以估量的损失,与此相反,跨国企业美国可口可乐公司对其代号7X的可口可乐配方,采取了严密的保护措施,为公司赢得了超过800亿美元的无形资产收益和持续的核心机密安全保障。面对急剧涌现的海量数据,传统的数据存储和处理技术已不能满足实际应用的客观需要。如何实现海量数据的安全存储并保证其得到快速有效的处理,已成为行业和学术领域亟待研究解决的热点和难点问题。

当前,国内外出版的有关海量存储系统方面的书籍,大多数是对存储系统架构的实现原理和常用经典算法的介绍,而对广受关注的存储安全技术、存储资源优化、定位搜索技术及海量存储的应用涉及不多或论述得不够完整和深入。近年来,课题组在国家自然科学基金项目“海量信息动态存储安全机制和快速定位算法的研究”(基金号:61073196)、陕西省自然科学基金项目“海量信息存储安全技术的研究”(基金号:2005F38)等资助下,针对当前海量信息存储系统中存在的问题,通过研究存储负载均衡机制中海量信息存储节点负载优化和调度策略,提出了加权最少连接数算法的改进算法;通过研究分级存储系统中的数据在各级存储设备之间的自适应迁移问题,提出了基于数据价值迁移模型MSDV,实现对数据价值的准确判定;通过深入分析副本管理策略,并将副本技术引入海量网络存储系统,研究基于免疫原理的副本选择算法和基于万有引力的副本替换算法;通过研究基于IP的网络存储技术在

IP SAN架构上的实现,提出了一种基于 iSCSI 技术的远程容灾系统模型;通过分析基于角色和任务的访问控制策略,阐述了访问控制的约束机制和约束条件;通过构建基于 k -means 聚类算法的资源搜索模型与研究网络存储策略,提出了基于改进跳表的快速定位算法解决查找速度问题;在分析海量信息网络中用户节点之间通信安全机制的基础上,提出了基于集中式 LKH 和 DLKH 的双重 LKH 架构的分层式密钥管理机制。通过上述内容的研究,最终构建了海量信息安全存储系统的理论模型,形成了较为完备的支持快速定位的海量信息动态存储安全系统的体系架构,其成果可用于指导各种存储系统性能算法的优化设计,对强化网络存储与安全技术的无缝结合,有效解决海量信息安全存储和快速定位问题具有学术和实用价值。全书从读者易于理解的角度出发,重点对海量存储系统的安全存储、存储资源优化、定位搜索等技术进行了全面、深入的论述,并对这些技术的相关概念、原理进行了系统阐述,同时对当前海量存储技术及其应用给予了具体的描述。

全书共分为 8 章,其中第 1 章概述了海量存储系统的存储介质、SCSI 协议与 FC 协议、存储系统的发展以及海量存储技术及应用领域;第 2 章论述了海量信息存储系统中负载均衡机制;第 3 章论述了网络存储中的动态最优路径机制;第 4 章阐述了分级存储系统中数据迁移技术;第 5 章论证了海量网络存储系统中副本优化策略;第 6,7 两章分别讲述海量存储系统中的安全控制、数据加密技术和组密钥管理机制;第 8 章阐述了海量信息存储对等网络中的快速搜索技术。

本书是笔者及卢才武、陈永峰、张志霞、李智杰、叶娜、顾清华、张维琪等课题组成员多年研究成果的结晶。书中部分内容采用了课题组成员所指导的西安建筑科技大学毕业的常永宽、高松、吴宝江、冯锐涛、王艳云、赵宏、王洪娟、闫瑾等研究生的学位论文成果。另外,本书部分内容还参考了国内外同行专家学者的最新研究成果,对他们为本书做出的贡献表示诚挚的感谢!此外,龚培娇、李荣、许陆丹、权西瑞、赵华龙、王辉、燕佳芬、宋丹、蔡婷等研究生对本书进行了整理校对工作,在此一并表示由衷的谢意!

尽管在编写过程中力求使本书能更好地满足读者的需要,但因为内容涉及面广且有一定的深度,加之目前信息存储与安全技术发展日新月异,限于水平,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

著 者

2013 年 10 月于西安

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数据存储的硬件基础	1
1.2 SCSI 协议与 FC 协议	7
1.3 存储系统	11
1.4 存储结构的发展	13
1.5 海量数据存储技术及其应用领域	19
1.6 小结	24
参考文献	24
第 2 章 海量信息存储的负载均衡机制	27
2.1 负载均衡及其分类	27
2.2 负载均衡调度算法	29
2.3 一种改进的动态加权最少连接数算法	36
2.4 小结	49
参考文献	49
第 3 章 网络存储中的动态最优路径机制	53
3.1 Pareto 模型在网络存储中的资源优化	53
3.2 基于 B+ 树算法的资源搜索研究	66
3.3 小结	83
参考文献	84
第 4 章 分级存储系统的数据迁移技术	88
4.1 分级存储概述	88
4.2 数据迁移策略	92
4.3 信息生命周期管理理论	98
4.4 MSDV 数据价值迁移模型	101
4.5 基于 MSDV 的数据迁移策略	105
4.6 基于 MSDV 的迁移策略的实现及性能分析	112

4.7 小结	122
参考文献	122
第5章 海量网络存储系统中的副本优化策略	126
5.1 副本管理	126
5.2 OptorSim 模拟器及相关配置	131
5.3 基于免疫原理的副本选择策略	139
5.4 基于引力的副本替换算法	159
5.5 小结	167
参考文献	168
第6章 海量信息存储中的安全控制技术	172
6.1 概述	172
6.2 数据备份	174
6.3 数据容灾技术	176
6.4 远程磁盘镜像	181
6.5 一种基于 IP SAN 的远程数据容灾系统	193
6.6 访问控制技术	196
6.7 小结	204
参考文献	205
第7章 数据加密技术及组密钥管理	209
7.1 加密技术的基本原理	209
7.2 组密钥管理	210
7.3 逻辑密钥树	216
7.4 双重 LKH 体系的组密钥管理机制的建立	221
7.5 小结	227
参考文献	228
第8章 海量信息存储对等网络中的快速搜索技术	232
8.1 海量信息存储对等网络技术	232
8.2 海量信息存储对等网络中的资源搜索算法	235
8.3 基于权值跳表的分布式数据定位策略	245
8.4 基于 k -means 聚类资源搜索模型的构建	255
8.5 小结	266
参考文献	266

第 1 章 概 述

1.1 数据存储的硬件基础

数据的传输和应用建立在存储的基础上,存储数据的物理实体称为存储介质。不同的存储介质具有不同的物理机理,从而导致数据存取过程的差异性。作为存储系统的设计者,有必要理解各种存储介质的具体数据存储过程以及相应的存取特性,进而创建合理的数据布局 and 调度机制,从而提高存储系统的整体性能。

目前,为了更好地满足各种环境的存储要求,市面上的存储介质有磁带、光盘、磁盘、固态盘和 U 盘,这些存储介质虽然有着不同的特性,但都朝着便携式、大容量、高速度、低价格的方向发展。其中磁盘设备由于存取速度快、数据查询方便、简单易用、安全的磁盘阵列技术等优点占据了一级存储市场的主要份额,磁带设备则以技术成熟、价格低廉等优点占据了二级存储市场的重要地位,光盘设备由于同时兼有两者的特点,应用更为广泛。此外,随着存储技术的改进,固态盘在存储领域中也越来越受到青睐,U 盘以其独特的便携式特点,在存储领域中也具有不可替代的位置。海量数据存储中常用介质有磁带、光盘和磁盘三大类,由这三种介质分别构成了磁带库、光盘库、磁盘阵列三种主要存储设备。三种不同的存储介质具有不同的数据存储特点和应用环境,具体见表 1.1。

表 1.1 存储介质种类及特点

	介质优点	介质缺点	数据存储速度	应用环境
磁带	容量大、保存时间长	数据顺序检索、定位时间长	慢	海量数据的定期备份
光盘	单位存储容量成本低,携带方便,数据查询时间短	表面易磨损、寿命短	快	海量数据的在线访问和离线存储
磁盘	数据读取、写入速度快,操作方便	发热量大、噪声大、盘片易损	很快	海量数据的即时存取

1.1.1 磁带

自从第一台磁带驱动器 IBM726 发明以后,经过了多年的发展,磁带存储技术已具有稳定性强、可靠性高、成本低等诸多优点。磁带成为了重要的存储设备。磁带技术可以通过脱机来减小在数据备份、迁移和保护等应用中数据丢失的可能性。另外,磁带技术在可靠性、成本等方面也比其他存储设备更具优势,至今相同容量的磁带库比磁盘阵列系统的成本要低很多。因此只要不断提高输入/输出(I/O)的传输速率,增加单个磁带的容量,简化磁带管理软件的应用界面,磁带技术在短期内应该不会过时。目前解决企业数据长期保存或异地备份的有效方法主要是采用磁带存储技术。随着制造技术和生产工艺的不断改进,磁带将变得越来越小,存储能力越来越大,磁带库所占空间将越来越小。随着磁带机自动化程度的提高,传动系统故障率的降低,磁带存储性能的提高,磁带在存储备份市场的主导地位还会持续相当长的时间。

在处理大量备份任务的系统中,往往采用磁带库来改善归档性能。磁带库不仅数据存储量大,而且在备份效率和人工占用方面拥有无可比拟的优势。在网络系统中,磁带库通过存储区域网络系统可形成网络存储系统,为企业存储提供有力保障,既便于实现远程数据访问,又易于通过磁带镜像技术实现磁带库备份。目前,磁带库仍然是数据仓库、企业资源计划系统等大型网络应用环境的数据存储首选设备。

1.1.2 光盘

光盘存储技术是近 20 年来发展迅速的光学信息存储技术,通过调制激光束,实现在光学圆盘镀膜介质上把信息编码以光点的形式记录下来。在记录及读取过程中,激光头不直接接触光盘的表面,这样可以避免破坏光盘上记录的信息。光盘存储具有存储密度高、容量大、检索时间短、易于复制、保存时间长等诸多优点,因此光盘存储技术在诸多领域得到了应用。

单张光盘的存储容量从 CD 盘片的几百兆字节到最新蓝光 DVD 的几十吉字节,这样的容量对于海量信息存储系统来讲是远远不够的,要想满足海量的数据存取,需将几十、上百甚至上千张光盘组合起来使用。目前光盘存储的主要结构有以下几种:光盘塔、小型计算机接口光盘塔、网络光盘塔、光盘库、光盘镜像服务器,见表 1.2。其中光盘镜像服务器是一种网络附加存储设备,代表了光盘库的发展方向。

表 1.2 三种光盘设备性能比较表

性能 种类	访问速度	容量	成本	可同时共 享使用的 用户数	应用环境
光盘塔	中等	小	较高	少	片库管理
光盘库	慢	较大	最高	较多	信息管理存储中心
光盘镜像服务器	很快	最大	最低	多	多种网络环境

随着光盘存储技术的发展,光盘产品呈现系列化,产品价格也不断降低,使光盘的应用领域越来越广泛。目前,光盘不仅能满足海量数据的存储要求,而且还能实现一些基本的离线备份功能,因此目前多媒体海量信息存储载体或重要文献资料备份媒体依然采用光盘作为存储介质。

1.1.3 磁盘

磁盘是当前应用最为广泛的存储设备,它利用磁记录技术在涂有磁记录介质的旋转圆盘上进行数据存取。磁盘由盘片、磁头、机械臂、马达、底座及电路板等部件组成(见图 1.1)。其中盘片由涂有磁粉的光滑合金材质制成,磁头与机械臂相连,通过马达带动旋转来实现数据的读/写。磁盘的内置马达是用步进电机做成的,它通过精确的齿轮或音圈来实现磁头精确的寻址。由于磁盘具有存储容量大、数据传输率高、数据可长期保存等特点,因此在计算机系统和存储系统中占有重要地位。



图 1.1 磁盘盒内部结构

磁盘的每个盘片都有两个盘面,对应的每个面上都有一个读/写磁头,每个盘面在逻辑上又划分为不同磁道和扇区(见图 1.2)。磁盘通过格式化被划分成许多同心圆,这些同心圆轨迹叫磁道。传统磁盘的每个盘面有 300~1 024 个磁道,新式大容量磁盘每面的磁道数更多。这些同心圆又被划分成具有相同角速度的圆弧,每段圆弧称为一个扇区。磁盘中每个扇区是最小的读/写单位,也就是说每次至少读/写一个扇区,不能发生读/写更小单位的数据的情况。磁盘中所有盘面上的同一磁道,沿着主轴方向构成一个圆柱,通常称为柱面。

最近二十多年,磁盘在技术上得到了很大的改进。

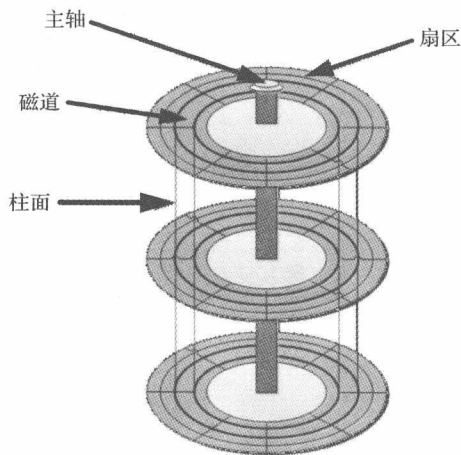


图 1.2 磁盘盘片结构图

在技术上,1986年,面向块设备的SCSI协议成为磁盘驱动器的标准接口协议;1989年,朱建刚和 Neal Bertram 针对磁介质薄膜提出了交换微粒度结构,提高了磁密度;1991年,针对磁盘读通道提出的最大似然率算法,降低了高速数据传输过程中的误码率;1995年,希捷开发出液态轴承马达,减轻了磁盘噪声和热量;1996年,IBM 采用了基于巨磁阻的磁头技术,提高了磁头的灵敏度;2005年,制定了3G接口的SATA标准,同年,日立和希捷开始使用垂直磁记录技术。

在容量上,磁盘也一直保持指数式增长。早期个人计算机中20MB容量的磁盘已经被认为是很大的;20世纪90年代中期,个人计算机内部磁盘容量已有8~20GB,不仅存放文档,还存放各种多媒体数据;2007年,1TB的磁盘驱动器开始推向市场;2009年早期,普通桌面硬盘的典型容量是320~500GB,而单盘容量2TB的硬盘也开始推广。

在磁盘容量性能提高的同时,磁盘尺寸也在不断地减小。1980年,IBM推出的首个GB级容量的磁盘IBM 3380,它有一个冰箱大的体积,重约250kg;而目前广泛应用于个人电脑的硬盘高度才26mm,长宽不过10多厘米。

1.1.4 磁盘阵列

磁盘阵列又称廉价磁盘冗余阵列(Redundant Array of Inexpensive Disks, RAID),是指使用两个或两个以上同类型、同容量、同接口的磁盘,在磁盘控制器的管理下按照特定的方式组成特定的磁盘组合,从而快速、准确和安

全地读/写磁盘数据。

磁盘阵列的特点是将数据有选择性地分布存储在多个磁盘上,不仅提高数据的可用性及存储容量,而且使得数据存取速度快、吞吐量大,从而避免硬盘故障所带来的灾难性后果。磁盘阵列把多个硬盘驱动器连接在一起协同工作,提高了存取速度,同时把磁盘系统的可靠性提高到接近于无差错的等级,因此磁盘阵列是一种容量大、速度快、安全性高的存储设备。不同的应用磁盘阵列具有多种不同级别,其中常用磁盘阵列级别特性见表 1.3。

表 1.3 常用磁盘阵列级别特性比较

磁盘阵列级别	名称	容错	磁盘数量	速度	应用
Level0	无容错条带磁盘阵列	无	至少 2 块	磁盘并行输入/输出	视频、图像编辑等需要高带宽的应用
Level1	磁盘镜像方式	有	至少 2 块	读取速度是单个磁盘的两倍,写入速度与单个磁盘相同	会计、金融、付款等需要高可靠性的应用
Level5	交叉存取加分布奇偶校验	有	至少 3 块	最快的读取速度,中等的写入速度	文件、数据库 Web、E-mail 等应用服务器
Level10	镜像条带集	有	至少 4 块	同 Level0	数据库服务器和需要高可靠性、高性能的服务器
Level10+1	条带集镜像	有	至少 4 块	同 Level1	图形应用、通用文件服务器

1.1.5 固态硬盘

固态硬盘是一种特殊的存储设备,其读/写方式和存储介质都不同于传统存储设备。传统的磁盘或磁带的读/写过程靠磁头与盘片或磁带间的相对运动来完成数据的存取,而固态硬盘不包含机械部件,使用半导体器件(如 RAM, FLASH 等)作为存储介质,依靠电信号来完成数据的存取。第一个现代固态硬盘于 1978 年由 Storage Tek 公司开发出来。虽然在此之后,固态硬盘在多家公

司的推动下,技术得以不断发展,但直到 1995 年,M-Systems 公司开发了具有闪存的固态硬盘(Solid State Disk,SSD)之后,固态硬盘才得以在空间、军事领域取代磁盘成为主要的存储设备。

与普通磁盘相比,固态硬盘由于没有旋转介质,表现出了极佳的抗震性和较好的存取性(固态硬盘的 I/O 吞吐能力甚至高出传统磁盘两个数量级)。此外,固态硬盘还具有如下特性:低容量的基于闪存的固态硬盘在工作状态下能耗和发热量较低;内部不存在任何机械活动部件,不会发生机械故障,也不怕碰撞、冲击、震动;工作温度范围更大,其芯片的工作温度范围很宽($-40\sim 85^{\circ}\text{C}$);比同容量硬盘体积小、重量轻。由于以上特性,目前固态硬盘在军事、车载、工控、视频监控、网络监控、网络终端、电力、医疗、航空、导航设备等领域得到广泛应用。但是闪存介质具有先擦除后写入的特性,使固态硬盘在读/写速度上具有不对称性,同时较高的成本也影响了固态硬盘的推广。

在当前电子消费市场上,基于 USB 接口的闪存存储卡及数码相机的存储卡有中等顺序操作和随机读性能,但表现出很差的随机写性能。在笔记本电脑市场中,虽然 SSD 已经出现在笔记本硬盘中,而且有替代磁盘的趋势,但高额的成本是其大规模应用的瓶颈(在同等容量下其价格是移动硬盘的 10 倍以上)。在企业 and 数据库领域,企业级固态硬盘的设计注重高性能、高可靠性与节能应用,因此有着非常好的顺序存取和随机读性能。

1.1.6 USB 闪存驱动器(U 盘)

U 盘(USB flash disk),全称 USB 闪存驱动器。它是一种使用 USB 接口的无需物理驱动器的微型高容量移动存储设备,通过 USB 接口与电脑连接,实现即插即用。U 盘的称呼最早来源于朗科科技生产的一种新型存储设备,当时称为“优盘”,使用 USB 接口进行连接。优盘连接到电脑的 USB 接口后,优盘的资料可与电脑交换。而之后生产的类似技术的设备由于朗科已进行专利注册,而不能再称之为“优盘”,而改称谐音的“U 盘”。后来,U 盘因其称呼简单易记而广为人知,是移动存储设备之一。

U 盘虽然小,但相对来说却有很大的存储容量。早期闪存盘容量较小,仅可存储 16~32MB 文件,即便是这样,也相当于当时通用的可擦写移动存储介质软盘容量的 10~20 倍。随着科技的发展,U 盘的容量也依摩尔定律飞速猛增。到 2012 年为止,4GB 容量的 U 盘已基本处于淘汰的边缘,主流 U 盘容量发展为 16~32GB,相当于 4~8 张 DVD 光盘的容量。U 盘最大容量则已达到 1TB,相当于 240 余张 DVD 光盘的容量。

大多数 U 盘支持 USB 2.0 标准,其优点有小巧便于携带、存储容量大、价格便宜、性能可靠等。U 盘体积很小,通常仅大拇指般大小,质量极轻,一般在 15g 左右,特别适合随身携带,人们可以把它挂在胸前、吊在钥匙串上,甚至放进钱包里。市场上现有的 U 盘容量有 4GB、8GB、16GB、32GB、64GB 等,以最常见 8GB 的 U 盘为例,30~50 元左右就能买到。U 盘中无任何机械式装置,抗震性能极强。如图 1.3 所示为金士顿公司生产的个人版 U 盘。

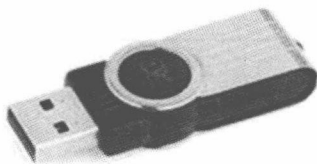


图 1.3 金士顿(Kingston)U 盘

1.2 SCSI 协议与 FC 协议

数据的传输和共享离不开协议,协议是通过在通信的源端和目的端之间接口设备来实现的。当前存储系统中常用的两大主机与外存储设备通信的协议是小型计算机接口(SCSI)协议、光纤通道(FC)协议。SCSI 协议与 FC 协议都是由多个协议组成的协议簇,它们功能的实现依托于相应的接口或硬件。对于 SCSI 协议,对应的实现是 SCSI;而对于 FC 协议则通过多个部件来实现,如 FC 协议的底层逻辑由 FC 适配卡实现,其上层逻辑在操作系统的 FC 卡驱动程序中得以实现。下面分别对这两个协议做一下介绍。

1.2.1 SCSI 协议

SCSI 协议,全称是小型计算机系统接口(Small Computer System Interface,SCSI)协议。它是计算机和智能设备(硬盘、软驱、光驱、打印机、扫描仪等)之间进行通信的通用接口标准,已成为高端计算机中优先选择的连接协议。SCSI 协议支持数据并行传输,具有良好的扩展性和兼容性。

自从 1986 年 SCSI 协议出现以来,经历了三代发展,形成了十几个版本,与最初的 SCSI 协议相比,目前的 SCSI 协议更加完善,包含了一系列的技术和标准。在一条总线上,SCSI 协议可最多支持 16 个设备,传输速率可达 640Mb/s。SCSI 协议不同版本的性能见表 1.4。

表 1.4 SCSI 协议不同版本及性能指标

特性 协议		传输频率 MHz	数据频宽 b	传输率 Mb/s	可连接设 备数/台
SCSI - 1		5	8	5	8
SCSI - 2	Fast	10	8	10	8
	Wide	10	16	20	16
SCSI - 3	Ultra(Fast - 20)	20	8	20	8
	Ultra Wide	20	16	40	16
	Ultra(Fast - 40)	40	8	40	8
	Ultra2	40	16	40	16
	Ultra2	80	16	80	16
	Ultra160	80	16	160	16
	Ultra320	80	16	320	16
	Ultra640	160	16	640	16

SCSI 协议的设计者借鉴了其他网络通信协议,通过采用分层结构来实现 SCSI 协议。这既有助于开发者、硬件设计者更好地实现 SCSI 协议,也有助于用户更好地理解 and 利用 SCSI 协议。图 1.4 所示是当前流行的 SCSI - 3 协议体系结构。其中,指令层协议,不仅包括所有设备最主要的指令,同时也包括特定设备的指令;传输层协议,是一套设备间通信和共享信息的标准集规则;物理层互连协议,是关于接口的一些规范,例如电子信号方法和数据传输模式等。



图 1.4 SCSI - 3 体系结构

SCSI 协议采用客户机/服务器(C/S)模式实现两个主体之间的通信。发起方通常是由主机或者服务器上应用程序、文件系统或者操作系统发出的 I/O 请求,目标方通常是位于磁盘、磁盘阵列等设备上的驱动程序。发起方向目标方发送请求,目标方根据请求发送或接收一定大小的数据,并通过响应来告知对方是否完成或者出错。发送方和目标方的通信请求通过下层物理介质进行传输,至于底层的物理介质是什么,发送方和目标方并不关心。也就是说,两者只需要遵循相同的通信协议即可,下层的介质对二者来说是透明的。SCSI 协议的信息交互方式如图 1.5 所示。

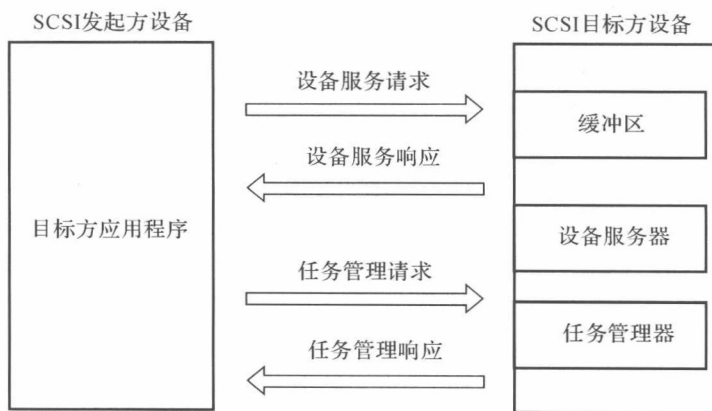


图 1.5 SCSI 协议信息交互图

SCSI 协议最初是针对硬盘开发的,随着技术的不断改进,目前,SCSI 协议可以用于多种设备之间的数据传输,如磁带驱动器、打印机和光介质驱动器等。在 SCSI 协议之前,用于设备之间通信的接口只针对特定类型的设备。例如,HDD 接口只能用于硬盘。此外,SCSI 协议还具有以下特点:可支持多台设备,传统的 SCSI 协议总线可以支持 1~8 台设备,当前的 SCSI 协议总线可以支持 1~16 台设备;SCSI 协议可以在对一个设备传输数据的同时,对另一个设备进行数据查找;SCSI 协议适配器或 SCSI 协议卡具有高度的独立性,可以大幅度减少中央处理器(CPU)对 I/O 的处理时间;SCSI 协议能提供更高的传输带宽,最快可达 640Mb/s 以上。

SCSI 协议最初的实现形式是并行 SCSI 协议总线或 SCSI 协议接口。近些年来,随着 SCSI 协议标准的发展,SCSI 协议设计在保留传统 SCSI 协议技术特点的基础上,正在转向串行点对点模式设计。当前,串行 SCSI 协议已可支持最高 6Gb/s 的传输速率。

1.2.2 FC 协议

FC 协议,全称是光纤通道(Fibre Channel,FC)协议。它最初是针对局域网主干线设计的一种高速数据传输协议,是为了替换快速以太网和 FDDI。由于 FC 协议具有支持长距离传输、较低的误码率、较小的数据传输延迟以及支持设备数量大等优点,因而在存储领域也获得了广泛的应用,并且有替代 SCSI 协议的趋势。在存储系统中,FC 协议多应用于像服务器这样的多硬盘系统环境,能满足高端工作站、服务器、海量存储子网络等设备或网络系统对高数据传输速率的要求。

FC 协议不仅是指通过光缆铺设的一种通道,也是一种功能强大的高速协议,它是由多层协议组成的一个协议簇。FC 协议标准定义了 FC-0 到 FC-4 五层通信协议,如图 1.6 所示。其中,FC-0 层作为 FC 协议标准的最底层,定义了系统中的物理接口、传输媒介和信息传输的光电参数,其中的传输媒介既可以采用光导纤维也可以采用铜轴电缆,但是考虑到同轴电缆的传输距离较短而且容易受到电磁干扰的影响,因此通常采用光导纤维;FC-1 层定义了如何对传输的数据进行编码和解码的问题,同时该层还提供链路初始化和数据错误恢复功能;FC-2 层提供了编址、数据组帧、流量控制和路由等功能,该层支持 FC 协议的最大传输帧长可以到 2 112B,并且还可以根据上层应用的不同提供不同的服务类别;FC-3 层提供条块化复用、端口地址绑定、多播等服务;FC-4 层是 FC 协议标准的最高层,这一层对高层协议(如 IP 协议)和 FC 协议底层的通信方式进行了规定。



图 1.6 FC 协议栈