



北京邮电大学

Beijing University of Posts and Telecommunications

## SAN 技术辨析

学院：	计算机学院（国家示范性软件学院）
班级：	2022211301
姓名：	卢安来
学号：	2022212720
时间：	2024 年 10 月 31 日

## 目录

<b>SAN 技术辨析 .....</b>	<b>1</b>
<b>1. 引言 .....</b>	<b>4</b>
1.1. SAN 技术背景 .....	4
1.2. SAN 技术在存储领域的重要性 .....	4
<b>2. SCSI 技术概述 .....</b>	<b>5</b>
2.1. SCSI 简介 .....	5
2.2. SCSI 的工作原理 .....	5
2.3. SCSI 的特点及应用场景 .....	6
<b>3. FCP 技术概述 .....</b>	<b>6</b>
3.1. FCP 简介 .....	6
3.2. FCP 的工作原理 .....	6
3.3. FCP 的特点及应用场景 .....	7
<b>4. iSCSI 技术概述 .....</b>	<b>7</b>
4.1. iSCSI 简介 .....	7
4.2. iSCSI 的工作原理 .....	8
4.3. iSCSI 的特点及应用场景 .....	8
<b>5. FC-SAN 技术概述 .....</b>	<b>9</b>
5.1. FC-SAN 简介 .....	9
5.2. FC-SAN 的架构与组件 .....	9
5.3. FC-SAN 的特点及应用场景 .....	9
<b>6. IP-SAN 技术概述 .....</b>	<b>10</b>
6.1. IP-SAN 简介 .....	10
6.2. IP-SAN 的架构与组件 .....	10

6.3. IP-SAN 的特点及应用场景 .....	10
<b>7. 各技术之间的相互关系 .....</b>	<b>11</b>
7.1. SCSI、FCP、iSCSI 的联系与区别 .....	11
7.2. FC-SAN 与 IP-SAN 的对比分析 .....	11
7.3. 各技术在存储网络中的应用互补性 .....	12
<b>8. 发展趋势与展望 .....</b>	<b>13</b>
8.1. SAN 技术发展趋势 .....	13
8.2. 新型存储网络技术展望 .....	13
8.3. SAN 技术在未来的挑战与机遇 .....	13
<b>9. 总结 .....</b>	<b>14</b>
9.1. 主要内容回顾 .....	14
9.2. SAN 技术在我国的发展现状 .....	14
9.3. 对存储网络技术发展的建议与思考 .....	15

# 1. 引言

## 1.1. SAN 技术背景

**存储区域网络**（Storage Area Network, SAN）技术的诞生源于数据存储需求的快速增长和传统存储架构的局限性。在 20 世纪 90 年代末期，随着企业数据量呈指数级增长，传统的**直连式存储**（Direct Attached Storage, DAS）<sup>2</sup>已无法满足大规模数据管理的需求。DAS 存储架构在资源利用、扩展性、备份效率和管理维护等方面都存在明显不足。这些问题最终推动了 SAN 技术的发展与成熟。SAN 通过构建专用的**存储网络**，将**存储设备与服务器分离**，实现了存储资源的**集中管理**和**高效共享**。

## 1.2. SAN 技术在存储领域的重要性

SAN 技术为企业级存储架构带来了革命性的变革，极大地提升了存储系统的性能和可靠性。

在数据管理方面，SAN 通过**资源池化**和**动态分配**机制，显著提高了存储资源的利用率。在业务连续性保障上，**多路径访问**和**故障切换**功能为关键业务提供了可靠保障。通过**远程复制**和**快照备份**等技术，SAN 为企业建立了完善的**灾难恢复机制**。同时，高速网络互联和**负载均衡**等特性也极大地提升了数据访问性能。

<sup>1</sup> [存储区域网络 - 维基百科，自由的百科全书](#)

<sup>2</sup> [直连式存储 - 维基百科，自由的百科全书](#)

## 2. SCSI 技术概述

### 2.1. SCSI 简介

SCSI（Small Computer System Interface）<sup>3</sup>是一种智能的设备级接口标准，最初由 ANSI 制定，用于在计算机和外围设备之间传输数据。它不仅是一种**物理接口规范**，更是一套完整的**通信协议体系**。

经过多年发展，SCSI 技术形成了一系列重要标准，不断提升传输速率和性能表现，具体性能表现可见表 2-1。

表 2-1 SCSI 各版本性能表现

SCSI 版本	传输速率	总线宽度	主要特点
SCSI-1	5MB/s	8 位	最早的 SCSI 标准
SCSI-2	10MB/s	8/16 位	引入宽总线概念
Ultra SCSI	20MB/s	8/16 位	提高时钟频率
Ultra2 SCSI	40MB/s	8/16 位	LVD 技术应用
Ultra3 SCSI	80MB/s	16 位	双沿采样技术
Ultra320 SCSI	320MB/s	16 位	数据流控制增强

### 2.2. SCSI 的工作原理

SCSI 采用主从架构，通过**命令描述符块**（Command Descriptor Block, CDB）进行通信。

在**总线仲裁阶段**，多个 SCSI 设备通过优先级机制竞争总线使用权，确保公平访问和高效利用。在**选择阶段**中，发起者选择目标设备并建立通信连接，为后续数据传输做好准备。在**命令传输阶段**，系统发送 SCSI 命令描述符块，指定具体的操作类型和参数。在**数据传输阶段**执行实际的数据交换，支持同步和异步两种传输模式，并实施数据完整性检查。最后的**状态返回阶段**负责处理命令执行结果，包括错误处理和异常情况的管理。

<sup>3</sup> [小型计算机系统接口 - 维基百科，自由的百科全书](#)

## 2.3. SCSI 的特点及应用场景

SCSI 技术凭借其在表 2-2 中列出的独特技术优势，在存储领域获得了广泛应用。

在性能方面，SCSI 提供**高带宽**和**低延迟**的数据传输能力，特别适合高性能存储系统。可靠性设计包含完善的错误处理机制，使其成为关键业务数据存储的理想选择。其支持多种设备类型的特性提供了良好的扩展性，而设备级的智能命令处理能力则有效降低了主机系统的负载。

表 2-2 SCSI 技术特点列举

技术特点	具体表现	应用价值
高性能	高带宽、低延迟	适用于高性能存储系统
可靠性	完善的错误处理	关键业务数据存储
扩展性	支持多种设备	灵活的系统构建
智能化	设备级命令处理	降低主机负载

## 3. FCP 技术概述

### 3.1. FCP 简介

**网状通道协议**（Fibre Channel Protocol, FCP）<sup>4</sup>是一种高性能的传输协议，专门设计用于在光纤通道网络上传输 SCSI 命令和数据。

该协议充分利用了光纤通道的**高带宽**和**低延迟**特性，为企业级存储系统提供了可靠的数据传输保障。FCP 通过将 SCSI 命令封装在 FC 帧中传输，实现了存储网络的高效互联。

### 3.2. FCP 的工作原理

FCP 采用分层的协议架构，在 FC-4 层实现了 SCSI 命令集的映射。其工作过程包括连接建立、命令传输、数据交换和状态返回等阶段。在**连接建立阶段**，FCP 通过 N\_Port 之间的登录过程建立通信关系。**命令传输阶段**，SCSI 命令被封装在 FC 帧中发送。**数据交换阶段**使用 FC 的序列和交换机

<sup>4</sup> [光纤通道 - 维基百科，自由的百科全书](#)

制，确保数据传输的可靠性和完整性。最后的状态返回阶段则负责确认命令执行结果。

### 3.3. FCP 的特点及应用场景

FCP 协议具有显著的技术优势，在企业级存储系统中得到广泛应用。其超高速传输能力源于光纤通道的优异性能，可见表 3-1，其可实现高达 32Gbps 的传输速率。在可靠性方面，FCP 通过硬件级的数据完整性检查和纠错机制，确保数据传输的准确性。支持长距离传输的特性，则为构建跨区域的存储网络提供了可能。FCP 的应用场景举例可见表 3-2。

表 3-1 FCP 性能指标

FCP 特性参数	指标	说明
最大传输速率	32 Gbps	单链路速率
最大传输距离	10 km	单模光纤
端口数量	224 个	单交换机域
帧大小	2148 字节	标准 FC 帧
延迟水平	< 100 μs	典型值

表 3-2 FCP 应用场景分析

应用场景	适用程度	主要优势
数据中心	极其适合	高性能、低延迟
企业存储	非常适合	可靠性高
备份系统	适合	带宽大
灾备中心	较适合	支持远距离

## 4. iSCSI 技术概述

### 4.1. iSCSI 简介

互联网 SCSI（Internet SCSI，iSCSI）协议<sup>5</sup>是一种基于 TCP/IP 的存储网络标准，它通过在 IP 网络上传输 SCSI 命令和数据，实现了低成本的存储网络解决方案。iSCSI 技术将 SCSI 协议与成熟的 IP 网络基础设施相结

<sup>5</sup> [iSCSI - 维基百科，自由的百科全书](#)

合，使得企业可以利用现有的网络资源构建存储系统，显著降低了部署成本。

### 4.2. iSCSI 的工作原理

iSCSI 系统由发起器（Initiator）和目标器（Target）两部分组成，通过 TCP/IP 会话传输 SCSI 命令和数据。在会话建立阶段，发起器与目标器进行身份认证和参数协商。随后，SCSI 命令被封装在 TCP/IP 数据包中传输，目标器接收并解析命令后执行相应的存储操作。整个过程中，iSCSI 协议通过序列号管理、错误恢复等机制确保数据传输的可靠性。

### 4.3. iSCSI 的特点及应用场景

iSCSI 技术凭借其独特优势（见表 4-1），在中小型企业存储系统中获得广泛应用。它可以充分利用现有的 IP 网络基础设施，**无需额外构建专用网络**，极大地降低了部署成本。iSCSI 支持远程存储访问，特别适合构建异地灾备系统。在管理维护方面，网络管理人员可以利用现有的 IP 网络管理工具和经验，简化了系统运维工作。

表 4-1 iSCSI 性能指标

iSCSI 性能参数	指标	说明
最大传输速率	100Gbps	基于以太网
传输距离	无限制	基于 IP 路由
数据包大小	1500 字节	标准 MTU
巨型帧	9000 字节	Jumbo Frame
延迟水平	0.5-2ms	典型网络延迟



## 5. FC-SAN 技术概述

### 5.1. FC-SAN 简介

FC-SAN 是一种基于光纤通道协议的高性能存储网络架构，专门设计用于满足企业级存储系统的严苛要求。它通过构建独立的光纤通道网络，为存储设备和服务器之间提供高速、可靠的数据传输通道。FC-SAN 的架构设计充分考虑了企业级存储系统的性能、可靠性和可管理性需求，成为大型数据中心的首选存储网络方案。

### 5.2. FC-SAN 的架构与组件

FC-SAN 系统由多个关键组件构成，包括主机总线适配器（HBA）、FC 交换机、存储设备、光纤链路和管理软件。HBA 负责在主机端实现 FC 协议处理和数据传输。FC 交换机提供高速数据交换和智能路由功能。存储设备则负责数据的存储和管理。整个系统通过光纤链路互联，并由专业的管理软件实现统一控制和监控。

### 5.3. FC-SAN 的特点及应用场景

FC-SAN 以其卓越的性能和可靠性著称，特别适合对存储性能要求极高的应用环境。在金融、电信等关键业务系统中，FC-SAN 通过专用网络架构和完善的冗余设计，确保了数据访问的高性能和连续性。它的可扩展性和灵活的拓扑结构，也为存储系统的长期发展提供了充分的空间。专业的管理工具则简化了复杂存储网络的日常运维工作。

## 6. IP-SAN 技术概述

### 6.1. IP-SAN 简介

IP-SAN 是一种基于 IP 网络实现的存储区域网络，主要采用 iSCSI 协议进行数据传输。这种架构充分利用了现有的 IP 网络基础设施，为企业提供了经济实用的存储网络解决方案。IP-SAN 的出现使得中小型企业也能够构建专业的存储网络系统，极大地推动了存储网络技术的普及。

### 6.2. IP-SAN 的架构与组件

IP-SAN 系统主要由 iSCSI 启动器、以太网交换机、iSCSI 存储设备、网络链路和管理软件组成。iSCSI 启动器可以是专用的硬件设备，也可以是软件实现的方案。标准的以太网交换机负责数据传输，而 iSCSI 存储设备则提供实际的存储空间。系统通过普通的网络链路互联，管理软件则实现了存储资源的统一管理和监控。

### 6.3. IP-SAN 的特点及应用场景

IP-SAN 为企业提供了一种灵活且经济的存储网络方案。它可以充分利用现有的 IP 网络基础设施，显著降低了部署成本。在远程存储访问方面，IP-SAN 借助 IP 网络的普遍性，轻松实现了跨地域的存储访问。系统的管理维护也相对简单，网络管理人员可以利用熟悉的 IP 网络工具进行日常运维。

## 7. 各技术之间的相互关系

### 7.1. SCSI、FCP、iSCSI 的联系与区别

表 7-1 SCSI、FCP、iSCSI 各维度比较

比较维度	SCSI	FCP	iSCSI
物理介质	铜缆	光纤	以太网
传输距离	25 米以内	10 公里	无限制
性能特点	中等带宽 低延迟	高带宽 低延迟	中等带宽 较高延迟
成本因素	中等	较高	较低
部署复杂度	简单	复杂	中等
管理要求	基础	专业	一般

如表 7-1，这三种技术虽然都以 SCSI 命令集为基础，但在具体实现上各具特色。FCP 技术直接在光纤通道网络上传输 SCSI 命令，保持了原有的命令结构，实现了高效的数据传输。iSCSI 则通过 TCP/IP 网络封装和传输 SCSI 命令，在兼容性和成本方面具有显著优势。在性能表现上，由于协议开销、传输介质和实现架构的差异，三种技术呈现出不同的特点。FCP 凭借专用网络和简化的协议栈获得最佳性能，而 iSCSI 则在普遍性和灵活性方面表现突出。

### 7.2. FC-SAN 与 IP-SAN 的对比分析

表 7-2 FC-SAN 与 IP-SAN 各维度对比

对比维度	FC-SAN	IP-SAN
网络基础	专用光纤网络	现有 IP 网络
实施成本	较高	较低
传输距离	可达 10km	理论无限制
性能表现	超高性能	中等性能
可靠性	极高	较高
管理难度	较复杂	相对简单
扩展性	中等	极好

如表 7-2，FC-SAN 和 IP-SAN 作为两种主流的存储网络架构，在技术特点和应用场景上形成了鲜明的对比。FC-SAN 采用专用的光纤通道网络，通过独立的传输介质和专门的协议栈，实现了极高的性能和可靠性，特别适合对存储性能要求极高的核心业务系统。然而，其部署成本较高，管理维护也相对复杂。IP-SAN 则充分利用现有的 IP 网络基础设施，具有部署简单、成本较低的优势，且在网络扩展性方面表现出色，但其性能会受到网络拥塞等因素的影响。

### 7.3. 各技术在存储网络中的应用互补性

在实际应用中，不同存储网络技术往往采用互补的方式共同部署，不同常见的技术选型可参考表 7-3。在分层存储架构中，核心业务系统通常采用 FC-SAN 以保证极致性能，而一般业务应用则使用 IP-SAN 以降低成本。在数据备份和灾难恢复方面，往往采用混合架构：本地备份使用 FC-SAN 保证备份性能，远程灾备则利用 IP-SAN 的远距离传输优势。

表 7-3 应用场景技术选型

应用类型	推荐技术	原因说明
核心数据库	FC-SAN	需要极高性能和可靠性
文件服务	IP-SAN	成本效益好，便于管理
备份系统	混合架构	兼顾性能和成本
远程灾备	IP-SAN	适合远距离传输
开发测试	IP-SAN	灵活性好，成本低

## 8. 发展趋势与展望

### 8.1. SAN 技术发展趋势

当前存储网络技术正经历深刻变革，新一代传输技术不断突破速率限制，FC 技术已实现 64G 传输速率，并向 128G 发展，以太网技术则已达到 100G，未来将向 400G 迈进<sup>6</sup>，如表 8-1。在此基础上，NVMe over Fabrics 技术的成熟为存储网络带来了新的发展机遇<sup>7</sup>。智能化管理正成为行业焦点，AI 技术在存储管理、资源调度等方面的应用不断深入，自动化运维工具极大提升了管理效率。

表 8-1 SAN 技术发展趋势

技术指标	现状	近期目标	远期展望
FC 速率	32G/64G	128G	256G
以太网速率	100G	400G	800G
存储时延	微秒级	亚微秒	纳秒级
管理节点规模	千节点	万节点	十万节点

### 8.2. 新型存储网络技术展望

存储网络技术的创新不断涌现，NVMe over Fabrics 技术通过简化协议栈、优化传输路径，实现了极低的访问延迟，为高性能计算和人工智能等新兴应用提供了有力支撑。存储虚拟化技术的发展使得资源管理更加灵活，多租户隔离和动态资源调度能力不断增强。云原生存储技术则推动了存储服务的敏捷化转型，将微服务架构和容器技术引入存储领域，为云计算时代的存储创新提供了新思路。

### 8.3. SAN 技术在未来的挑战与机遇

面对数字化转型的浪潮，存储网络技术面临诸多挑战。性能需求的持续提升要求存储网络不断突破技术极限，安全威胁的日益复杂化也给网络

<sup>6</sup> 中国信通院发布《下一代数据存储技术研究报告（2021 年）》---中国科学院网信工作网

<sup>7</sup> [NVMe over Fabrics: The Evolution of Non-Volatile Storage in the Datacenter – OpenFabrics Alliance](#)

防护带来新的考验。同时，异构系统的整合、成本压力的增大、管理复杂度的提升等问题也需要行业共同探索解决方案。

然而，挑战与机遇并存。新型传输技术的突破为存储网络注入了新的活力，场景定制化需求催生了更多细分市场机会，服务化转型则开辟了新的商业模式。开放协作的产业生态正在形成，为存储网络的创新发展提供了广阔空间。

## 9. 总结

### 9.1. 主要内容回顾

本文深入分析了存储区域网络（SAN）相关技术的发展与应用。通过对 SCSI、FCP、iSCSI 等核心协议的剖析，以及对 FC-SAN 和 IP-SAN 两大主流架构的研究，系统地阐述了现代存储网络技术的内涵与外延。文章不仅对各种技术的特点和应用场景进行了详细分析，还探讨了它们之间的关联性和互补性，为理解存储网络技术提供了全面的视角。

### 9.2. SAN 技术在我国的发展现状

近年来，我国 SAN 技术市场呈现出蓬勃发展态势，市场规模持续扩大，年增长率保持在 20% 以上。存储网络技术的应用领域不断拓展，从最初的金融、电信等传统行业，逐步扩展到互联网、医疗、教育等新兴领域。随着本土企业技术能力的提升，存储解决方案的本土化程度显著提高，更好地满足了国内用户的具体需求。

在技术层面，我国存储网络领域的自主创新能力显著增强。多家企业在高速传输、智能管理等核心技术领域取得突破，部分产品性能已达到国际先进水平。行业标准规范体系不断完善，为技术创新和产业发展提供了有力支撑。存储网络产业生态日趋成熟，已形成了较为完整的厂商体系，包括硬件设备、软件平台和技术服务等多个层面。

### 9.3. 对存储网络技术发展的建议与思考

**技术发展**方面，企业和研究机构需要持续投入核心技术研发，特别是在高性能传输协议、智能化管理等关键领域。同时，应当积极参与国际标准制定，推动行业标准化工作，为技术创新提供规范指导。在此基础上，促进新技术与传统存储架构的深度融合，推动技术创新与实际应用的结合。

**产业发展**层面，应着力构建完善的产业生态体系，推动上下游企业协同发展。重点培养专业技术人才和复合型管理人才，为产业发展提供人才保障。同时加强国际交流与合作，积极引进和消化先进技术经验，推动产业整体水平提升。

**应用创新**方面，需要深入挖掘行业应用场景，根据不同领域的特点开发定制化解决方案。创新商业模式，推动存储即服务等新型应用模式的发展。同时要加强技术服务能力建设，为用户提供全方位的存储解决方案，推动存储技术在各个领域的深入应用。