

白皮书

硬件 RAID 与软件 RAID：
哪一种最适合我的应用？

2017 年 10 月



内容

| | |
|---|---|
| 简介 | 1 |
| 什么是 RAID? | 1 |
| 软件 RAID | 2 |
| 软件 RAID 实施方案 | 2 |
| 操作系统软件 RAID..... | 2 |
| 硬件辅助型软件 RAID..... | 3 |
| 硬件 RAID | 4 |
| 硬件 RAID 实施方案 | 5 |
| 分立 RAID 控制器卡..... | 5 |
| 基于磁碟阵列控制芯片 (ROC) 技术的集成硬件 RAID 解决方案..... | 6 |
| 硬件或软件 RAID 哪一种最适合我的应用? | 7 |
| 操作系统软件 RAID | 7 |
| 硬件辅助型软件 RAID | 7 |
| 硬件 RAID | 7 |
| 更多硬件 RAID | 7 |
| 结论 | 9 |

简介

近年来，RAID（独立磁盘冗余阵列）技术逐步发展成满足数据保护要求的服务器选项。RAID 的首款实施方案诞生于 1990 年，搭载高性能 I/O 处理器的控制器板价格非常昂贵。该处理器的性能与主机 CPU 一样强大。当时，基于硬件的 RAID 解决方案是唯一选项，而 RAID 控制器的成本限制了其在昂贵服务器中的应用。

如今，RAID 的技术广泛应用，从操作系统软件功能到独立的控制器，均可在高端存储区域网络内提供优异的数据完整性。这项技术适用于装载大量硬盘驱动的笔记本电脑、台式机、工作站、服务器以及移动存储盒这类移动环境。RAID 甚至还可以应用于 TV 机顶盒或个人存储设备。

本白皮书从较高层面针对各种 RAID 解决方案进行了概述。本书开头定义了“软件 RAID”与“硬件 RAID”，介绍了这些不同 RAID 实施方案的工作原理及其优势，帮助用户为个人应用选择最佳 RAID 解决方案。

什么是 RAID？

RAID 是一种将多块独立式硬盘驱动虚拟化为一个或多个阵列的方式，能够改善性能、容量和可靠性（可用性）。总阵列容量取决于构建的 RAID 阵列类型以及硬盘驱动的数量和容量。总阵列容量与使用软件或硬件 RAID 无关。后续章节介绍不同实施方案、优势和缺点，以及它们对于系统性能和增强数据可用性的效率所产生的影响。

表 1 • RAID 类型

| 产品特点 | RAID 0 | RAID 1 | RAID 1E | RAID 5 | RAID 5EE | RAID 6 | RAID 10 | RAID 50 | RAID 60 |
|--------------|--------|--------|---------|---------|----------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 最少驱动数量 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 6 | 8 |
| 数据保护 | 无保护 | 一次驱动故障 | 一次驱动故障 | 一次驱动故障 | 一次驱动故障 | 两次驱动故障 | 最多一次硬盘故障 (在每个子阵列中) | 最多一次硬盘故障 (在每个子阵列中) | 最多两次硬盘故障 (在每个子阵列中) |
| 读取性能 | 高 | 高 | 高 | 高 | 高 | 高 | 高 | 高 | 高 |
| 写入性能 | 高 | 中 | 中 | 低 | 低 | 低 | 中 | 中 | 中 |
| 读取性能 (降级) | N/A | 中 | 高 | 低 | 低 | 低 | 高 | 中 | 中 |
| 写入性能 (降级) | N/A | 高 | 高 | 低 | 低 | 低 | 高 | 中 | 低 |
| 容量利用率 | 100% | 50% | 50% | 67%–94% | 50%–88% | 50%–88% | 50% | 67%–94% | 50%–88% |

软件 RAID

简而言之，软件 RAID 是 RAID 任务在计算机系统的 CPU 中运行。下图显示了一种软件 RAID 系统。

部分软件 RAID 实施方案中包含一个硬件，初看上去类似于硬件 RAID 实施方案。因此，了解 RAID 代码利用 CPU 计算能力这一点至关重要。提供 RAID 功能的代码运行于系统 CPU 中，其与所有相关应用共享操作系统的计算能力。

软件 RAID 实施方案

软件 RAID 可通过多种方法实现：

- 作为纯正的操作系统软件 RAID 解决方案
- 作为包含某些专用硬件的解决方案，可提升性能并减少系统 CPU 资源占用率

操作系统软件 RAID

在这种情况下，RAID 实施方案应用在不含其他任何硬件的主机中运行。此类软件 RAID 使用计算机系统附带的硬盘驱动，该系统内置 I/O 接口或无处理器主机总线阵列卡 (HBA)。RAID 在操作系统加载 RAID 驱动程序软件后立即激活。这种纯正的软件 RAID 解决方案通常集成于服务器操作系统中，可供用户免费使用。低成本是这种解决方案的主要优势。

图 1 - 操作系统软件 RAID



操作系统软件 RAID 的优点：

- 低成本：RAID 功能内置于操作系统内，无需额外付费。唯一的成本是附加硬盘驱动。

操作系统软件 RAID 的缺点：

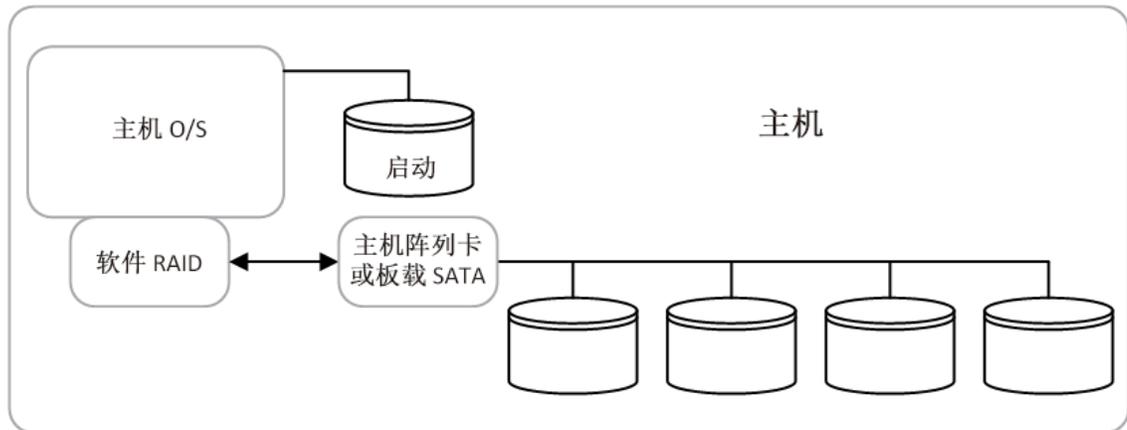
- 启动时无保护（无法在启动时管理或保护数据）：RAID 软件启动过程中或激活前可能发生驱动器故障或数据受损，导致系统无法运行。
- 附加服务器性能负载：服务器性能受 RAID 应用的影响。涉及的驱动越多（例如涉及 RAID 5 中的奇偶校验），RAID 系统越复杂，因此对整体性能的影响越大。该解决方案更加适用于简单的 RAID 0/1/10 场景。

- 操作系统迁移受限：RAID 功能可能受限于当前操作系统。如果部分操作系统版本不支持 RAID 功能，则没有任何方法可以将阵列迁移到其他操作系统或同一操作系统的不同版本。
- 容易感染病毒：RAID 作为应用程序在操作系统中运行，其功能将遭受病毒攻击或其他有害软件的影响。
- 系统崩溃导致数据完整性受损：服务器中的软件或硬件问题将影响数据一致性和完整性。
- 无回写缓存：软件 RAID 仅以直写模式运行，但硬件 RAID 可在由电池供电的情况下以回写模式运行，提升了数据保护等级。回写模式显著增强 RAID 阵列的写操作性能。不能为软件 RAID 增加电池。
- 取决于驱动器品牌和型号。

硬件辅助型软件 RAID

然而，这仍属软件 RAID，只是使用硬件辅助弥补纯正软件 RAID 的缺点。这类解决方案通常带有附加硬件（例如采用 RAID BIOS 的 HBA，或者仅将 RAID BIOS 集成于主板）。附加 BIOS 确保 RAID 功能在系统导通后的可用性，能够在启动期间提供冗余，帮助削弱介质错误对 RAID 的影响，避免数据损坏或系统操作故障。此外，这些解决方案多数可以提供一个 BIOS 安装软件，适用于系统启动。这显著简化了 RAID 阵列的安装和维护，无需通过硬盘或 CD-ROM 安装或启动操作系统。此外，硬件辅助型软件 RAID 通常配有各种驱动程序，适用于最为常见的操作系统，因此比纯正的软件 RAID 更加独立于操作系统。

图 2 • 软件 RAID



硬件辅助型软件 RAID 的优点：

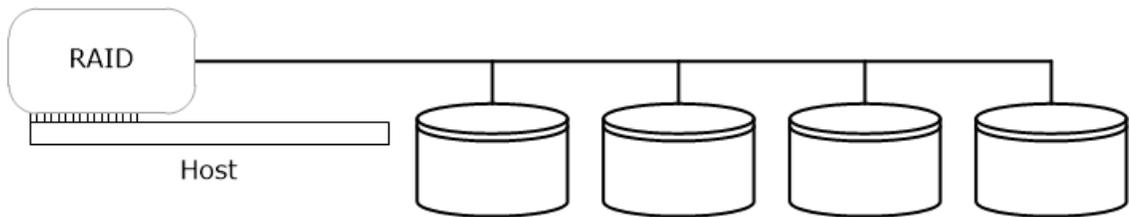
- 价格适中：主板中的 BIOS 仅需 HBA（插卡）或附加闪存；如果控制器支持 RAID 5，还可能还包含一个硬件 XOR 加速器。
- 启动时受保护：当启动驱动器出现介质错误或完全故障时，数据可用性不受任何负面影响。
- 通过专用 GUI 和软件编译并维护 RAID：轻松安装并维护 RAID 阵列。
- 硬件辅助型软件 RAID 的缺点：
- 附加服务器性能负载。服务器性能受 RAID 应用的影响。涉及的驱动越多（例如涉及 RAID 5 中的奇偶校验），RAID 系统越复杂，因此对整体性能的影响越大。该解决方案更加适用于简单的 RAID 0/1/10 场景。

- 操作系统迁移受限：只要驱动程序在操作系统中运行，RAID 功能便仍然依赖于操作系统。然而，各种操作系统的多个驱动程序允许将阵列迁移到其他操作系统。对于最新推出的操作系统，这可能受 RAID 驱动器可用性的限制（如更新的操作系统版本可能需要新 RAID 驱动器 - RAID 驱动器相比于常规 HBA 驱动器程序更加复杂，所需开发时间可能较长）
- 容易感染病毒：RAID 作为应用程序在操作系统中运行，其功能将遭受病毒攻击或其他有害软件的影响。
- 系统崩溃导致数据完整性受损：服务器中的软件或硬件问题将影响数据一致性和完整性。
- 无回写缓存：硬件辅助型软件 RAID 仅以直写模式运行，但硬件 RAID 可在由电池供电的情况下以回写模式运行，提升了数据保护等级。回写模式显著增强 RAID 阵列的写操作性能。不能为硬件辅助型软件 RAID 增加电池。
- 取决于驱动器品牌和型号。

硬件 RAID

硬件 RAID 解决方案通过专属处理器和存储器运行 RAID 应用程序。在该实施方案中，RAID 系统是一种专用于 RAID 应用程序的独立式小型计算机系统，能够将该任务从主机系统中卸载。

图 3 • 硬件 RAID



硬件 RAID 作为解决方案的重要组成部分（例如在主板中集成）或附加卡提供。如果必要的硬件已在系统解决方案中集成，则硬件 RAID 可以作为软件升级在现有系统中应用。因此，与软件 RAID 相似，硬件 RAID 初看上去可能无法识别。

辨别解决方案是软件还是硬件 RAID 最简单方法是读取 RAID 解决方案的技术规格或数据表。如果解决方案中包含一个微处理器（通常称为 I/O 处理器、处理器，有时称为 ROC（“磁碟阵列控制芯片”）），则该解决方案为硬件 RAID 解决方案。如果不含处理器，则为软件 RAID 解决方案。

这对于用户的选择至关重要，因为软件 RAID 与硬件 RAID 实施方案对系统产生的影响不同。相关影响包括：

- 运行其他应用程序时的 CPU 利用率和性能
- 可添加到系统中的硬盘驱动可扩展能力
- 数据丢失后可轻松恢复
- 高级数据管理/监视性能
- 支持跨不同操作系统统一管理硬盘驱动
- 支持添加电池备份选项，允许用户使能控制器写入缓存，以提升系统的写操作性能

硬件 RAID 实施方案

硬件 RAID 可通过多种方法实现：

- 作为分立 RAID 控制器卡
- 作为基于磁碟阵列控制芯片技术的集成硬件

分立 RAID 控制器卡

这是一张插入式扩展卡，通常内置 RAID 处理器（I/O 处理器）及专属驱动器接口（I/O 控制器）。它通常可插入计算机系统主板的 PCI-X 或 PCIe 插槽。这些插卡通常价格最为昂贵，但也是灵活性和性能最优异的 RAID 解决方案。此处的 RAID 功能完全独立于主机（计算机系统）。该卡的分立式特性允许使用最高性能的 I/O 处理器以及最快的存储器。RAID 卡可以将创建冗余存储子系统的任务完全从计算机系统中卸载，即使发生驱动器故障也不会影响系统其余部分的性能。可以使用更加复杂，但空间效率更高的 RAID 等级（如 RAID 5 或 RAID 6），同时不会影响系统。

卡中的附加 I/O 接口通常可用于提升系统可扩展能力（添加更多硬盘驱动并扩大容量）。即使多个 RAID 阵列也不会影响主机系统的性能。这些可以轻松地迁移到其他操作系统，甚至其他主机系统或平台。

分立 RAID 控制器卡的优点：

- 启动时受保护：当启动驱动器出现介质错误或完全故障时，数据可用性不受任何负面影响。
- 性能独立于服务器中的工作负载：存储器和处理器速度更快，不影响主机系统中运行的应用程序的性能。
- RAID 应用程序独立于主机：系统崩溃后，不出现数据完整性问题。
- 在断电情况下提供加强保护：硬件 RAID 实施方案通常持续跟踪非易失性硬件中正在进行的写操作。软件 RAID 实施方案则不受这种保护，难以在写操作期间发生断电时恢复运行。
- 不易感染病毒：RAID 阵列完全独立于主机系统和操作系统。如果主机系统故障，并不会发生数据完整性问题。
- 卸载主机中的 RAID 任务：最适用于复杂的 RAID 5 或 RAID 6 场景，此类场景通常具备最佳性价比。
- 通过专用 GUI 和软件编译并维护 RAID：轻松安装并维护 RAID 阵列。
- 便于迁移和更换：卡可以插入任何系统，方便更换或将其升级为性能最佳的最新版本。也非常容易从一个操作系统迁移到另一操作系统。
- 支持高级 RAID 功能：典型示例包括硬盘热插拔、阵列级迁移和在线扩容。
- 控制器上缓存：通过使用缓存存储器提升访问速度，包括在存储器受电池保护时使用回写缓存。
- 与驱动的品牌和型号无关。

分立 RAID 控制器卡的缺点：

- 成本最高：插卡中的 I/O 处理器和附加存储器提升成本。

基于磁碟阵列控制芯片 (ROC) 技术的集成硬件 RAID 解决方案

在 ROC 解决方案中，RAID 处理器、内存控制器、主机接口、连接硬盘驱动的 I/O 接口，甚至存储器均可在同一芯片中集成。该芯片可集成于主板，在节约成本的同时提供硬件 RAID 功能（仅需一个高度集成的 ASIC）。ROC 可替代许多服务器主板中的 I/O 接口芯片（例如 SCSI 控制器芯片）。这表示 ROC 解决方案不只为硬盘驱动集成了连接。

图 4 • 集成硬件 RAID



基于 ROC 的硬件 RAID 的优点：

- 启动时受保护：当启动驱动器出现介质错误或完全故障时，数据可用性不受任何负面影响。
- RAID 应用程序独立于主机：系统崩溃后，不出现数据完整性问题。
- 不易感染病毒：RAID 阵列完全独立于主机系统和操作系统。如果主机系统故障，并不会发生数据完整性问题。
- 在断电情况下提供加强保护：硬件 RAID 实施方案通常持续跟踪非易失性硬件中正在进行的写操作。软件 RAID 实施方案不受这种保护，难以在写操作期间发生断电时恢复运行。
- 卸载主机中的 RAID 任务：最适用于复杂的 RAID 5 或 RAID 6 场景，此类场景通常具备最佳性价比。
- 通过专用 GUI 和软件编译并维护 RAID。轻松安装并维护 RAID 阵列。
- 支持高级 RAID 功能：典型示例包括硬盘热插拔、阵列级迁移和在线扩容。
- 控制器上缓存：通过使用缓存存储器提升访问速度，包括在存储器受电池保护时使用回写缓存。
- 以主板中的 RAID (ROMB) 或者通过插卡实现。

基于 ROC 的硬件 RAID 的缺点：

- 成本中等：与分立硬件 RAID 解决方案相比，其芯片数量有所减少，可降低成本并增强可靠性。由于 I/O 处理器和 I/O 接口在同一芯片中高度集成，因此这些复杂芯片的时钟频率目前可能受限。下一代 ROC 解决方案可能会解决这个问题。
- 灵活性和迁移受限：只有在其他系统配备类似的（兼容性）ROC 解决方案时，RAID 才能迁移到这些系统。

硬件或软件 RAID 哪一种最适合我的应用？

了解不同 RAID 实施方案的特点后，以下典型服务器部署场景可以优化 RAID 子系统，从而实现整体服务器性价比目标。

操作系统软件 RAID

由于性能和数据可用性是关键指标，因此纯正的软件 RAID 解决方案是入门级 RAID 0 或 1 的理想选择。然而，软件 RAID 无法用于启动驱动，原因是操作系统 RAID 功能只能在操作系统启动后使用。

目标应用

- 具有高性能要求的入门级服务器
- 具有数据可用性要求的入门级服务器

硬件辅助型软件 RAID

硬件辅助型软件 RAID 可作为具有成本效益的解决方案高效应用，与操作系统软件 RAID 相似，但具备启动能力要求。

目标应用

- 无大规模数据存储要求的工作站
- 无数据保护要求的入门级服务器

硬件 RAID

硬件 RAID 解决方案主要应用于功能最为丰富且性能最优异的应用。这些解决方案能够以主板中的 RAID (ROMB) 形式实现，或者通过插卡扩展性能和可用性（控制器冗余）。

目标应用

- 无数据存储要求的入门级服务器
- 连接网络存储的计算机引擎

更多硬件 RAID

一般而言，硬件 RAID 相比于基于软件的解决方案具备更多优势，适用于更加复杂的 RAID 算法。例如，测量结果指示软件 RAID-6 实施方案对系统计算资源造成沉重负载，在降级模式下尤为如此。此时，硬件 RAID 对于这类配置极具吸引力。

目标应用

- 具有大规模数据存储要求的高性能工作站
- 要求存储子系统具备高性能和可扩展性的入门级企业服务器。

表 2 • 不同 RAID 实施方案的特点

| 产品特点 | 操作系统软件 RAID | 硬件辅助软件 RAID | 硬件 RAID 控制器 ROC 或附加卡 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------------------|
| 启动期间提供数据保护 | 否 | 是 | 是 |
| 可进行回写缓存 | 否 | 否 | 是 |
| 在断电情况下提供加强保护 | 否 | 否 | 是 |
| 配有独立于主机操作系统的 RAID | 否 | 否 | 是 |
| RAID 性能 | 取决于服务器负载 | 取决于服务器负载 | 高：独立于服务器负载 |
| RAID 功能易受病毒攻击 | 是 | 是 | 否 |
| 在启动期间设置 | 否 | 是 | 是 |
| 迁移至其他操作系统版本的能力 | 否 | 受限 | 是 |
| 典型的 RAID 应用 | RAID 0、1 | RAID 0、1 | 高级 RAID：RAID 5 或 RAID 6 |
| 适用于任何驱动 | 否 | 是 | 是 |
| 对于 CPU 性能的影响 | 大 | 大 | 小 |

结论

本白皮书介绍硬件 RAID 相对于软件 RAID 实施方案的优势。

硅技术的不断发展推动硬件 RAID 所需的处理器集成于单芯片解决方案，不久将发展为普及的服务器芯片组，大幅节省实施方案的成本。这种方式将硬件 RAID 解决方案更为广泛的部署于低价位服务器，使其面向更多用户。

目前，新的数据保护等级和管理效能已经实现，RAID 双驱动故障保护和数据加密便是两种代表性示例。与外部 RAID 配置相比，这些硬件 RAID 实施方案在许多情况下能够提供成本更低，但性能更高的解决方案。



Microsemi 公司总部
One Enterprise, Aliso Viejo, CA 92656 USA
美国境内：+1 (800) 713-4113
美国境外：+1 (949) 380-6100
传真：+1 (949) 215-4996
电子邮件：sales.support@microsemi.com
www.microsemi.com

© 2017 Microsemi 公司。保留所有权利。Microsemi 及 Microsemi 徽标是 Microsemi 公司的商标。所有其他商标和服务标志的所有权归相应所有者持有。

Microsemi 对此处所包含的信息或针对任何特定用途的产品及服务的适用性不作任何担保、陈述或保证，同时对因应用或使用任何产品或电路而引起的任何问题概不负责。以下销售的产品或由 Microsemi 销售的任何其他产品均已经过有限测试，不应将其用于任务重型设备或用途。我们相信所有性能指标均稳定可靠，但这些指标未经具体验证，买方须单独使用产品或将其搭配或安装在其他最终产品中，执行并完成所有的产品性能相关测试及其他测试。买方不应依赖 Microsemi 提供的任何数据和性能指标或参数。买方有责任独立确定任何产品的适用性，并对其进行测试和验证。由 Microsemi 提供的以下信息依照“原封不动，缺点毕陈”的原则，此类信息附带的任何风险完全由买方承担。无论涉及此信息本身还是此信息所描述的任何事物，Microsemi 都不会以明示或默示的方式对任何一方授予任何专利权、许可证或任何其他知识产权权利。本文档提供的信息归 Microsemi 所有，Microsemi 保留对文档中的信息、任何产品及服务随时进行变更的权利，恕不另行通知。

Microsemi 公司（纳斯达克：MSCC）为航空与国防、通信、数据中心和工业市场提供一系列全面的半导体和系统解决方案。我们的产品包括高性能与抗辐射模拟混合信号集成电路、FPGA、SoC 和 ASIC；电源管理产品；用于设定世界时间标准的定时和同步装置以及精确时间解决方案；语音处理设备；射频解决方案；分立元件；企业级存储及通信解决方案、安全技术和可扩展防篡改产品；以太网供电集成电路和中跨设备；并且具备定制设计的能力和服务。Microsemi 总部位于加利福尼亚州的 Aliso Viejo，在全球大约拥有 4800 名员工。如需了解详细信息，请访问 www.microsemi.com。

ESC-2171644