

技术验证

# Dell EMC PowerMax 与采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 结合起来，共同改善总体系统性能

以端到端 NVMe 和存储类内存作为持久存储，实现更高的性能和更低的延迟

作者：高级 IT 验证分析师 Kerry Dolan

2019 年 9 月

本 ESG 技术验证受 Dell EMC 委托，遵循 ESG 的许可发布。

## 目录

|  |    |
|--|----|
| 简介 .....                                   | 3  |
| 背景.....                                    | 3  |
| Dell EMC PowerMax.....                     | 4  |
| 体系结构非常重要.....                              | 4  |
| NVMe 驱动器的独特之处 .....                        | 4  |
| 最新: FC-NVMe 前端和一个采用英特尔傲腾技术的持久 SCM 存储层..... | 4  |
| ESG 技术验证.....                              | 6  |
| I/O 性能测试.....                              | 6  |
| 带宽: .....                                  | 6  |
| NAND 与 SCM 驱动器性能对比: .....                  | 7  |
| 应用程序级别的测试.....                             | 7  |
| 混合工作负载规模测试.....                            | 8  |
| 混合工作负载 QoS 测试 .....                        | 10 |
| 更重要的事实.....                                | 12 |

### ESG 技术验证

ESG 技术验证的目标是向 IT 专业人员介绍适用于各种类型和规模的信息技术解决方案。ESG 技术验证不意味着取代购买决策前应进行的评估过程, 而是为了提供对这些新兴技术的深入了解。我们的目标是介绍 IT 解决方案中一些更有价值的功能, 说明这些解决方案如何用于解决消费者的实际问题并发现需要改进的方面。ESG 验证团队的第三方专业意见基于我们的实际操作经验, 以及对生产环境中使用产品的客户进行的访谈。

## 简介

本报告记录了 ESG 对 Dell EMC 最新 PowerMax 产品的性能测试进行的审核；该产品实现了端到端 NVMe，并配置了采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 驱动器，可提供当今的实时应用程序所需的高性能和低延迟。

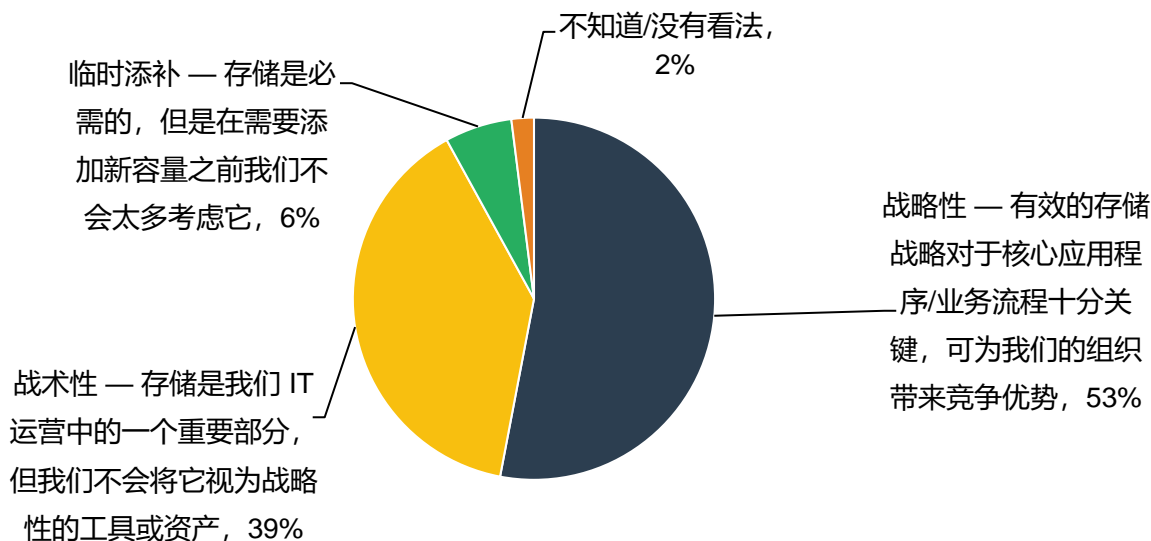
## 背景

企业正在收集数量越来越大的数据，不仅用在诸如在线事务处理 (OLTP)、Oracle 和 SQL Server 之类的驱动业务运营的应用程序中，也用于挖掘客户见解和执行业务趋势分析。在 ESG 的研究中，48% 的 IT 决策者报告说，他们的主要生产数据和辅助数据都在以超过 30% 的年增长率增长<sup>1</sup>。不断增长的业务需求和 IT 复杂性使得 IT 部门很难设计出优化的数据中心，无法提供成功运营所需的高级别的性能、可扩展性、效率和敏捷性。

存储一度被认为是一个静态的后台 IT 流程，如今，它在帮助实现业务成功方面扮演着一个关键角色。正确的存储基础架构可提供性能、效率、云功能性以及成本的优化组合。当被问及以下哪句话最恰当地描述了数据存储技术在其组织的 IT 和业务运营中所扮演的角色时，53% 的 ESG 调查受访者同意说存储扮演着战略性的角色，而且有效的存储战略对于他们的核心应用程序和业务流程至关重要<sup>2</sup>。

图 1. 存储的战略角色

下面哪一项最恰当地描述了数据存储技术在贵组织的 IT 和业务运营中所扮演的角色？  
(受访者百分比, N=356)



来源: Enterprise Strategy Group

<sup>1</sup> 来源: ESG 总体调查结果, [拷贝数据管理趋势](#), 2018 年 3 月。

<sup>2</sup> 来源: ESG 总体调查结果, [2017 年总体存储趋势](#), 2017 年 11 月。

企业需要经过整合的存储以便能够以高效而且经济划算的方式处理混合工作负载，但同时还要提供能够适应指数级数据增长的可扩展性以及当今的应用程序要求的高性能/低延迟。

## Dell EMC PowerMax

PowerMax 是为在大规模上要求高性能的经过整合的混合工作负载而设计的，此类工作负载包括 OLTP、决策支持、实时分析、SAP、Oracle 和 SQL 等等。最新 PowerMaxOS 版本实现了端到端 NVMe 并配置了采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 驱动器，以保证卓越性能和低延迟；据 Dell EMC 报告，它性能优异，可实现高达 1500 万的 IOPS 和 350 GB/s 的带宽。它设计了“6 个 9”的可用性、大规模可扩展性（从 13 TB 到最高 4 PB 的有效容量，256 个前端端口，64,000 个 LUN），并可以在同一阵列上整合开放系统、大型机、IBM i、文件存储和容器化应用程序。每一个 PowerMax brick 都包括一个引擎、最多两个阵列存储模块和冗余的组件。PowerMax 8000 支持最多 8 个 brick（16 个控制器），PowerMax 2000 最多支持两个 brick（4 个控制器）。

## 体系结构非常重要

最新的 PowerMax 继续秉承 EMC 在提供主流企业级阵列的悠久历史中一直坚持的设计理念，那就是：保持大的缓存容量以便主机主要从缓存 (DRAM) 中存取数据以实现卓越应用程序性能，但同时提供尽可能高的后端驱动器速度。PowerMax 基于一种多控制器体系结构，有全局整合缓存可供所有 16 个控制器访问，让尽可能多的数据可从缓存 DIMM 中存取，这提供了极低的延迟，加快了写入数据的摄取。添加的端到端 NVMe 和存储类内存 (SCM) 技术，是用于支持这一设计的最新创新。

## NVMe 驱动器的独特之处

虽说与普通硬盘相比，闪存驱动器显著提升了存储性能，但那些通过 SATA/SAS 接口连接的闪存驱动器在 I/O 并行化处理方面会受到不利影响，而这最终会影响到它们提供的性能。这些接口是针对传统硬盘驱动器设计的，不是针对高速闪存介质而设计。NVMe 协议是专门针对非易失性高速闪存介质而开发的。帮助实现高性能和低延迟的关键功能特性包括：NVMe 大幅增加了可运行的并行 I/O 操作的数量，实现了到主机 CPU 的精简连接，而且更简单的软件堆栈减少了 I/O 处理时间及 CPU 开销。这些功能特性加快了现有应用程序速度，并支持要求实时处理能力的新应用程序。另外，通过在更小的占用空间中处理繁重的工作负载，NVMe 阵列可以降低 TCO。

## 最新：FC-NVMe 前端和一个采用英特尔傲腾技术的持久 SCM 存储层

最新版的 PowerMax 增加了两项重要改进：1) NVMe over Fabric (NVMe-oF) 前端连接，它帮助实现了端到端 NVMe；和 2) 可选择采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 作为持久存储层，它提供了超低延迟。这些新的功能特性为要求最高级别性能的任务关键型应用程序奠定了存储基础，例如 OLTP 和实时分析应用程序。

- 添加一个 32 Gb 前端 FC-NVMe I/O 模块帮助实现了端到端 NVMe, 从而可以达到快速的缓存读取性能和低延迟。通过使 NVMe 协议能够运行在使用 Connectrix 交换机和 PowerPath 的光纤通道 SAN 上, 组织将能够更轻松地采用这些改进。
- SCM 驱动器提供了类似于 DRAM 易失性内存的性能, 但它是像 NAND 闪存这样的持久介质。PowerMax 允许添加采用双端口英特尔傲腾固态硬盘的 SCM 驱动器作为持久存储层。这不仅减少了驱动器读取延迟, 还能够使驱动器经受繁重写入负载的情况下保持较低的读取响应时间 — 这相对于 NAND 闪存是一项改进, 在承受大量写入操作时, NAND 闪存的读取延迟会增加。多数组织将把这些驱动器专门用于特定使用情形, 例如金融、电信、零售行业以及欺诈检测等领域的实时分析和高要求 OLTP。

这些改进可支持 PowerMax 体系结构的设计理念: 充分地利用缓存来加快主机读取和写入, 并减少从后端驱动器访问数据时的延迟。快速的协议和驱动器技术与自动化分层的这一强大组合, 造就了一个不仅能够提供卓越性能而且还能兼顾性能与成本的阵列。那些需要最高性能的工作负载可获得此性能, 而其他工作负载也不会有过重的成本负担。

其他 PowerMax 功能特性包括:

- 内置的机器学习引擎帮助实现自动化的数据安置而又没有任何开销。此引擎分析 I/O 并使用预测式分析, 通过将数据分配到合适的介质 (闪存或 SCM) 并选择当数据集非常活跃时何时绕过压缩/重复数据消除以避免性能瓶颈, 从而优化性能和成本。用户可以排定应用程序优先级并分配服务级别, 这些将纳入到此自动化流程中。
- 在从 2 个 brick 扩展到 8 个时, NVMe over fabric 提供了线性扩展能力, 每一个端口都能够访问每一个 DIMM 和后端驱动器。
- 全局线内重复数据消除和压缩提供了极高的效率, 包括可通过 Dell EMC 未来无忧客户忠诚度计划保证 3:1 的数据缩减率。
- 通过 FIPS 140-2 验证的静态数据硬件加密, 以及可保证安全性的防篡改审核日志。
- 集成拷贝数据管理。
- 无中断数据迁移。
- 基于 HTML 5 的 Unisphere 直观管理界面。
- 数据保护选项, 包括可节约空间的 SnapVX 快照; 可保证任意时间点恢复的 RecoverPoint; SRDF metro 提供的高可用性; 以及向 Dell EMC Data Domain 的直接备份。
- 其他软件选项, 包括 CloudIQ 存储监视和分析; PowerPath 多路径; 存储资源管理指标和报告工具。

图 2. PowerMax 2019 年第 3 季度版本



- ✓ 高达 4 PB 的有效容量
- ✓ 高达 1500 万的 IOPS
- ✓ 高达 350 GB/s 的吞吐量
- ✓ 高达 16 TB 的缓存
- ✓ 多达 576 个 CPU 核心
- ✓ Infiniband Virtual Matrix
- ✓ NVMe 后端
- ✓ 多达 256 个服务器端口: FC、FICON、iSCSI、NVMe-OF
- ✓ 多达 288 个驱动器: NVMe 闪存或 **SCM**



来源: Enterprise Strategy Group

## ESG 技术验证

ESG 审核了 Dell EMC 在其位于马萨诸塞州霍普金顿的设施中执行的测试。测试是使用 Dell EMC 内部工具执行的，目的是展示使用新的 32 Gb FC 控制器和 SCM 驱动器时的总体性能；使用行业标准基准对 Oracle 和 SQL Server 进行的应用程序级别的测试展示了混合工作负载的可扩展性和服务质量 (QoS)。

## I/O 性能测试

ESG 审核了 Dell EMC 性能测试的结果，此测试使用从运行 SLES 和 Windows Server 2012 的 Dell EMC PowerEdge R740 服务器生成的 I/O 测量了 IOPS、延迟和带宽。下面概述了我们的审核结果。

### 带宽:

端口带宽测试使用了一个双引擎 PowerMax 8000，并在使用 128K 随机读取和随机写入缓存命中率 I/O 工作负载的情况下比较了 16 Gb 和 32 Gb 前端控制器的性能。单端口和双端口测试针对读取操作表现出线性可扩展性，针对写入操作表现出近线性的可扩展性（再增加端口会遇到 PCI 限制）。

- 对于随机读取，单端口可扩展 100% — 从 1.53 Gbps 扩展到 3.07 Gbps；对于随机写入，单端口可从 1.44 Gbps 扩展到 2.74 Gbps。

采用端到端 NVMe 和 SCM 驱动器的 PowerMaxOS 2019 年第 3 季度版本



- ✓ 写入 IOPS 增加 500%
- ✓ 带宽增加 100%
- ✓ 延迟降低 26%



- 对于随机读取, 双端口可扩展 100% — 从 3.07 Gbps 扩展到 6.14 Gbps; 对于随机写入, 双端口可从 2.87 Gbps 扩展到 5.49 Gbps。

## NAND 与 SCM 驱动器性能对比:

后端驱动器测试使用了单引擎 PowerMax 8000, 比较了 NAND 闪存与 SCM 驱动器的性能。工作负载配置为缓存未命中, 以确保后端驱动器得到测试。

- 对于使用 NVMe-NAND 驱动器的 8K 随机读取 I/O 工作负载, 100K IOPS 时的响应时间是 0.2921 ms。使用采用英特尔傲腾固态硬盘的 NVMe-SCM 驱动器, 100K IOPS 时的响应时间是 0.2162 ms, 延迟降低了 26%。
- 使用了 8K 随机读取和 128K 随机写入进行的写入密集型测试表明, NAND 闪存驱动器可提供最高 5K 的 IOPS, 而采用英特尔傲腾固态硬盘的 SCM 驱动器可提供最高 30K 的 IOPS, 比 NAND 的 IOPS 高 500%。

## 为什么这很重要

为保持竞争力, 当今的企业 IT 组织必须提供快速的性能以实时支持应用程序的需求。

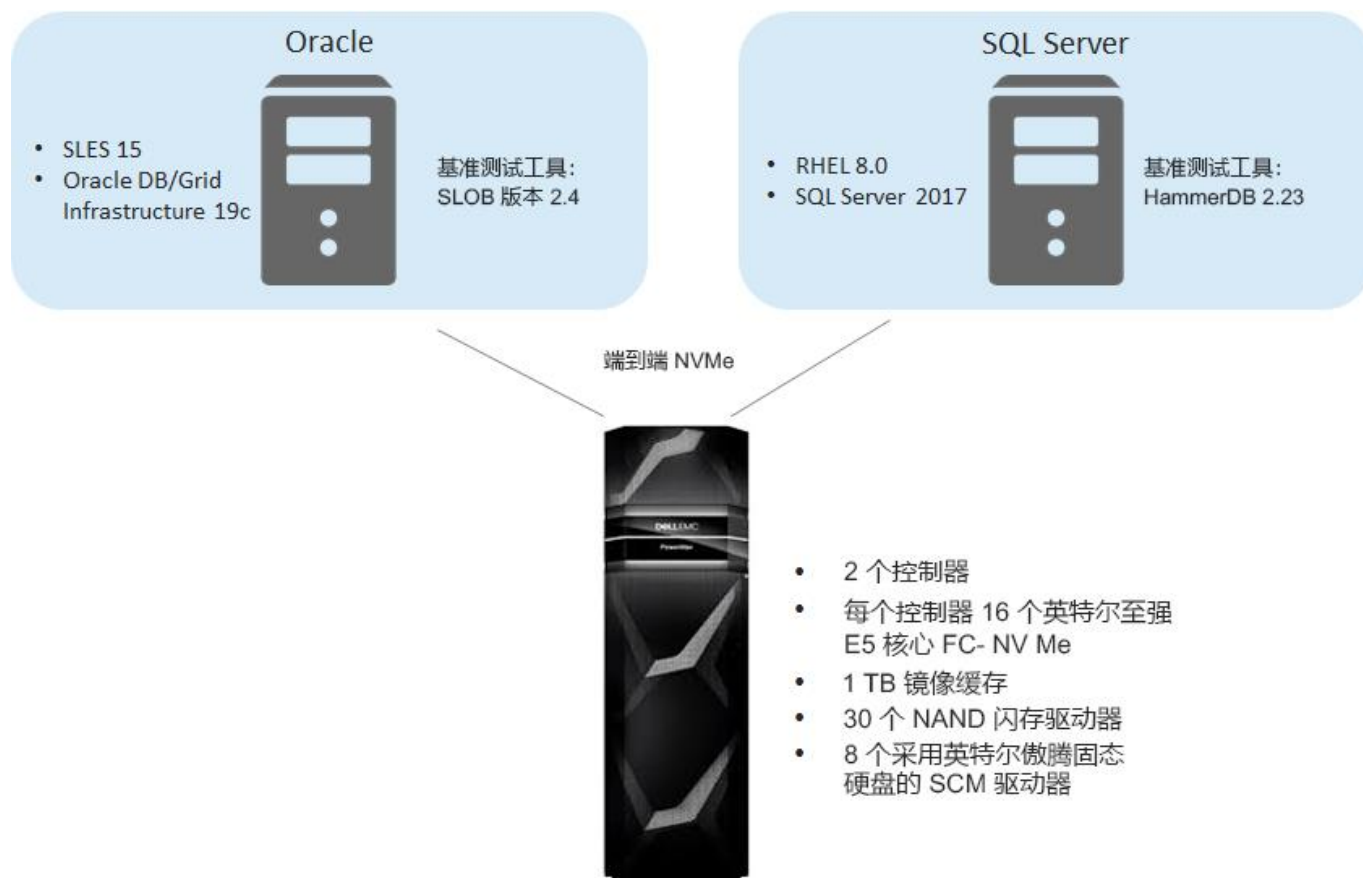
ESG 证实, 最新的单引擎 PowerMax 8000 在使用 32 Gb FC-NVMe 控制器并使用采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 驱动器的情况下, 与采用 16 Gb 控制器和 NAND 闪存驱动器相比, 可增加 500% 的写入 IOPS、增加 100% 的带宽, 并降低 26% 的延迟。这些功能使组织能够以同样的占用空间完成更多工作, 从而通过整合管理和降低诸如 Oracle 之类的应用程序以节点为单位的许可成本而降低 TCO。

## 应用程序级别的测试

ESG 验证了在规模和 QoS 两方面进行的应用程序级别的测试。测试平台使用了一个单引擎 PowerMax 8000, 它配有两个 32 Gb FC-NVMe 控制器、原始容量 1 TB 的镜像缓存, 以及由 30 个 NAND 闪存驱动器和 8 个采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 驱动器提供的存储容量。用于进行这些测试的主机是两台 24 核 Dell EMC PowerEdge R740 服务器, 每一台均配置 256 GB 的内存, 运行 PowerPath 7.0

- Oracle 工作负载是使用公开发布的 Silly Little Oracle Benchmark ([SLOB](#)) 版本 2.4 执行的。SLOB 是一个 Oracle I/O 工作负载生成工具包, 用于测量一个硬件平台是否适合部署要求高性能 I/O 的 Oracle 数据库。SLOB 测试是在 SLES 15 和 Oracle 数据库/Grid Infrastructure 版本 19c 上运行的。
- SQL Server 工作负载是使用 [HammerDB](#) 版本 2.23 执行的, 后者是一个行业标准的开源数据库负载测试和基准测定工具。使用 HammerDB 进行测试的 OLTP 工作负载模拟了典型网络经纪公司中用户的活动, 因为他们会生成交易, 执行客户查询, 并开展市场调查。HammerDB 测试是在 RHEL 8.0 和 SQL Server 2017 上运行的。

图 3. Oracle 和 SQL Server 测试平台



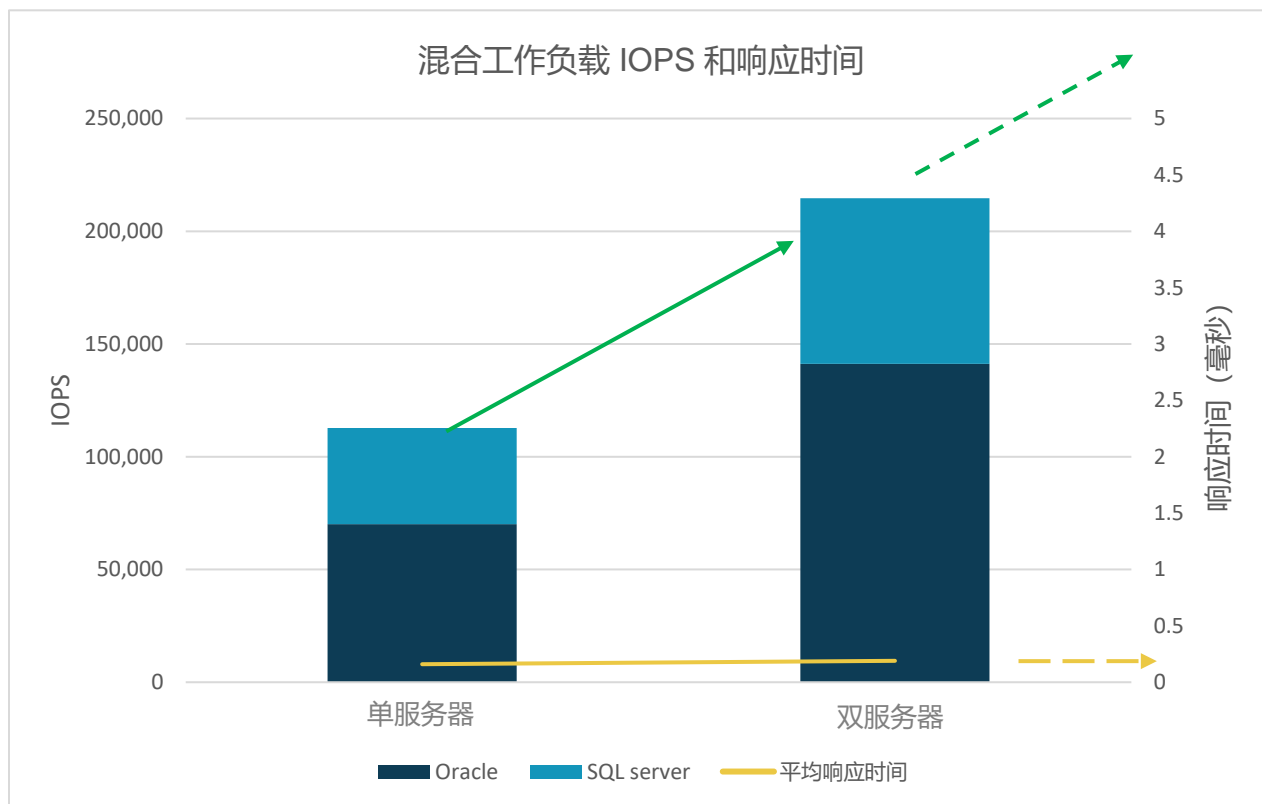
来源: Enterprise Strategy Group

### 混合工作负载规模测试

首先, 我们审查了混合工作负载规模测试结果。Oracle 和 SQL Server 工作负载首先用单台服务器生成, 然后用两台服务器生成, 使用了较为保守的缓存命中率: Oracle 为 60%, SQL Server 为 45%。单服务器测试看到了亚毫秒级的响应时间, 分别为 0.19 ms 和 0.13 ms, 提供了极低的应用程序延迟。在双服务器测试中, Oracle 工作负载的 IOPS 提升了 101%, SQL 工作负载的 IOPS 提升了 72%, 但响应时间仍保持在极低的水平, 分别为 0.19 ms 和 0.23 ms。图 4 显示了每项工作负载在扩展期间的 IOPS 和响应时间。虚线指示, 如果添加 PowerMax brick 和服务器的, 即使进一步提高 IOPS, 延迟也将保持在低水平。



图 4. 规模测试



来源: Enterprise Strategy Group

表 1. PowerMax 规模测试详细信息和应用程序级别的指标

| 测试   | 工作负载       | IOPS    | I/O 读取响应时间 (ms) | 日志文件并行写入平均等待时间 (ms) | TPM     |
|------|------------|---------|-----------------|---------------------|---------|
| 单服务器 | Oracle     | 70,128  | 0.19            | 0.37                | 不适用     |
|      | SQL Server | 42,604  | 0.13            | 不适用                 | 339,018 |
| 双服务器 | Oracle     | 141,176 | 0.14            | 0.38                | 不适用     |
|      | SQL Server | 73,485  | 0.23            | 不适用                 | 602,343 |

### 其他应用程序级别的指标

为了使这些结果在现实世界中有更好的适用性，我们分析了具体的 Oracle 和 SQL 指标。日志文件并行写入指标是一项 Oracle 自动工作负载 (AWR) 统计，它定量描述了等待数据块写入到在线重做日志中的进程的平均等待时间。较长的日志文件并行写入等待时间很可能预示着 Oracle 日志文件存在 I/O 问题。如表 1 所示，在测试期间，随着数据库活动量翻倍，不到半毫秒的日志文件写入时间基本上保持恒定 (0.37 ms 到 0.38 ms)。

- 此 Oracle 应用程序级别的指标，再加上高级别的 IOPS 以及较低的读写响应时间，清楚地表明，随着数据库流量的加倍，没有出现可察觉的 I/O 瓶颈。

TPM 测量的是 SQL Server OLTP 测试期间每分钟完成的新订单事务处理量。每分钟事务处理量是一个理想的指标，可很好地指示 SQL Server 数据库及其底层硬件基础架构的端到端性能。在本例中，当 OLTP 流量翻倍时，每分钟事务处理量提升了 78%。

- 这与 72% 的 IOPS 提升非常吻合，清楚地表明了所测试的单节点 PowerMax 有可预测的可扩展性。

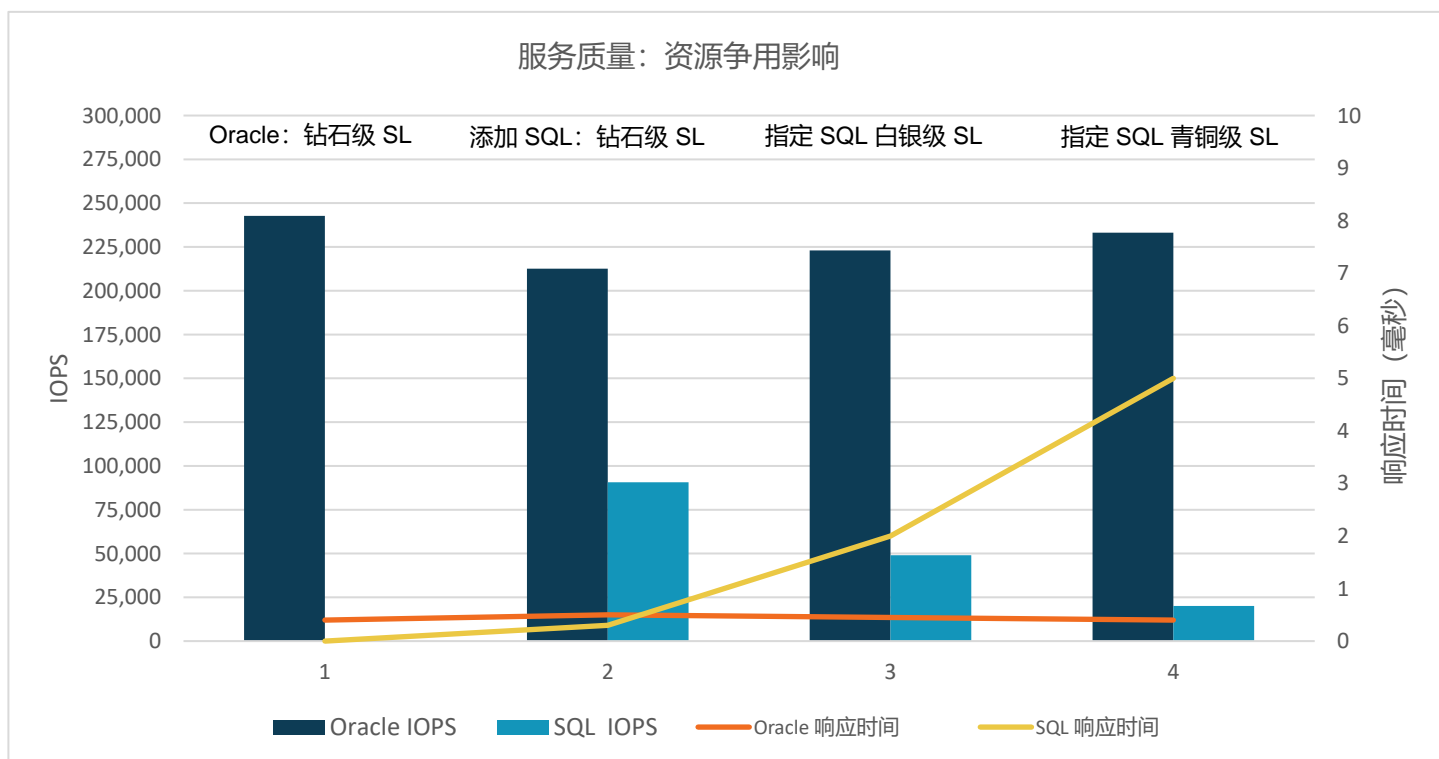
通过以此单节点性能测试的结果为基础对最大配置的 PowerMax 平台进行理论上的推测，ESG 坚信 PowerMaxOS 2019 年第 3 季度版的性能可支持混合工作负载，此混合工作负载中既包括业务关键型 Oracle 应用程序，也包括一个服务于成千上万的客户和每分钟数百万事务处理量的虚拟化 SQL Server 基础架构。

### 混合工作负载 QoS 测试

接下来，我们审查了 QoS 测试的结果，这些结果体现了在“资源争用”应用程序争用资源时应用程序的性能。该测试是分步骤进行的：

- 第 1 步：给 Oracle 工作负载指定钻石级服务级别，以获得最高优先级的性能。
- 第 2 步：添加未指定服务级别的 SQL Server 工作负载。
- 第 3 步：给 SQL Server 工作负载指定第二层的白银级服务级别。
- 第 4 步：给 SQL Server 工作负载指定第三层的青铜级服务级别。

图 5. QoS 测试：IOPS 和响应时间



来源: Enterprise Strategy Group

表 2. PowerMax QoS 测试详细信息

| 测试步骤  | Oracle IOPS | Oracle 响应时间 (ms) | SQL IOPS | SQL 响应时间 (ms) |
|-------|-------------|------------------|----------|---------------|
| 第 1 步 | 242,720     | 0.40             | 不适用      | 不适用           |
| 第 2 步 | 212,633     | 0.50             | 90,665   | 0.3           |
| 第 3 步 | 223,004     | 0.45             | 48,978   | 2.0           |
| 第 4 步 | 233,171     | 0.40             | 20,129   | 5.0           |

图 5 和表 2 显示, Oracle IOPS 一开始是 242K, 在添加 SQL 工作负载后下降了 12%, 但是在 SQL 服务级别降低到白银级之后又提升了 5%, 在 SQL 服务级别降低到青铜级之后再次提升了 5%。在整个测试过程中, Oracle 响应时间一直保持在极低的水平 (不超过半毫秒)。

SQL IOPS 在最初不受服务级别约束时为 90K, 但在指定了白银级服务级别后降低了 46%, 而且在服务级别下降为青铜级之后又降低了 59%。SQL 响应时间一开始为较低的 0.3 ms, 但是当服务级别下降到白银级时提高到了 2 ms, 下降到青铜级时进一步提高到 5 ms。

此测试表明, 高优先级工作负载将保持高 IOPS 和低延迟, 与此同时, 低优先级工作负载将以较低的性能继续正常发挥作用。

### 为什么这很重要

像 Oracle 和 SQL Server 这样的企业应用程序每天都在驱动业务运营, 而且针对诸如 OLTP 和实时分析之类的工作负载要求高性能。要为诸如在线交易、欺诈检测、零售客户交互之类的应用程序收集它们所需的庞大数据量和提供近乎即时的数据访问, 必须有一个企业级的存储基础来支持这些应用程序。只要任务关键型工作负载能够保证出色性能, 大规模混合工作负载整合就能够提高成本效益。

ESG 证实, 配有端到端 NVMe 以及采用了双端口英特尔傲腾技术的 SCM 驱动器的最新 PowerMax 8000, 能够在 IOPS 提升的过程中让 Oracle 和 SQL Server 混合工作负载保持极低的延迟 (不到 1/4 毫秒) 随着 IOPS 的提升, Oracle 日志文件未出现 I/O 瓶颈, 而且 SQL 每分钟事务处理量可线性扩展。这些结果, 再加上经过现场验证的 PowerMax 在添加引擎时的可扩展性, 证实了 PowerMax 可服务于成千上万个客户和每分钟数百万的事务处理量。

我们还证实, 在混合工作负载环境中, 此阵列能够基于指定的服务级别来提供高优先级的性能。低优先级的应用程序可以同时运行, 但高优先级的工作负载将保持其 IOPS 和响应时间 — 无论其他活动处于什么状态。这样就可以在单个阵列上进行整合, 而不会损及应用程序性能。

## 更重要的事实

基础架构供应商必须不断创新,以便让企业能够充分利用新兴技术的优势。就在不久之前,诸如实时分析之类的应用程序还被认为是前沿的技术,只有那些精通技术而且财大气粗的组织才有资格使用,但是,时代的进步已使这些技术可以进入几乎任何一家组织中。对于许多组织来说,当前的挑战是建立一个强大的基础架构,以便支持分析、欺诈检测、交易、交互式零售 — 以及尚在构想中的其他未来技术 — 所需的庞大数据量和快速数据访问。

Dell EMC 在满足这些要求方面已经取得巨大进步,这应该没有什么奇怪的,因为该公司的研发投入力度之大是出了名的。最新的 PowerMax 操作系统版本将端到端 NVMe 和采用双端口英特尔傲腾技术的 SCM 添加到了这个本来已经很快而且可扩展的存储平台,而且与少数其他几个也支持 SCM 的阵列不同,PowerMax 将 SCM 驱动器作为一个持久存储层而不是高速缓存包括在阵列中。这些新功能提供了显著的性能改进,同时使组织能够整合数据块、文件和大型机工作负载,缩小硬件占用空间以减少功耗、精简管理并降低 TCO。

而且性能改善是实实在在的;Dell EMC 报告了高达 1500 万 IOPS 和 350 GB/s 吞吐量的卓越性能,而且读取延迟低于 100 微秒。ESG 验证了使用单引擎 PowerMax 8000 进行的内部测试和应用程序级别的测试。前一项测试表明读取 IOPS 增加 500%、带宽增加 100% 而且延迟降低 26%。Oracle 和 SQL Server 测试表明响应时间极低 — 即使在 IOPS 翻倍的情况下也不超过 1/4 毫秒;而且可以轻松做到让 PowerMax 为任务关键型 Oracle 工作负载提供优先性能,同时以不同的服务级别运行 SQL Server 工作负载。这些是持久存储所能达到的性能级别,开始比肩内存的速度。

ESG 希望看到客户对这些新的 PowerMax 功能特性会有何反应。在目前,双端口英特尔傲腾 SCM 尚未经过业内的广泛测试,但 Dell EMC 已经投入了巨大力量进行测试和集成,以确保平稳运行。另外,NVMe-oF 迄今只能在 Linux 上使用,但是在不久的将来将提供对其他操作系统的支持。

PowerMax 是 Dell EMC 多年来在存储体系结构方面进行的创新工作的结晶。它灵活而且可扩展,具有 AI/ML 驱动的数据安置功能,并采用未来无忧的设计。凭借其多控制器、“共享一切”的横向扩展体系结构、端到端 NVMe 以及采用英特尔傲腾技术的 SCM 固态硬盘,PowerMax 为传统的高要求工作负载(如 Oracle、SQL Server 和其他 OLTP)以及新一代应用程序(例如实时分析)提供了高级别的性能、可扩展性、整合和效率。

所有商标名称均为其各自公司的资产。本出版物中包含的信息是由 Enterprise Strategy Group (ESG) 认为可靠的来源提供的，但 ESG 不保障其可靠性。本出版物可能包含 ESG 的观点，这些观点会随时发生改变。本出版物的版权归 Enterprise Strategy Group, Inc. 所有。未经 Enterprise Strategy Group, Inc. 明确许可，不得对本出版物的整体或部分以硬拷贝方式、电子方式或其他方式进行复制或将其再分发给未经授权的任何人，否则都将违反美国版权法并将引起民事损害诉讼，乃至刑事诉讼。如有疑问，请与 ESG 客户关系部门联系，电话：508.482.0188。



**Enterprise Strategy Group** 是一家从事 IT 分析、研究、验证和战略的公司，致力于为全球 IT 社区提供市场资讯和可行见解。

© 2019 Enterprise Strategy Group, Inc. 保留所有权利。



[www.esg-global.com](http://www.esg-global.com)



[contact@esg-global.com](mailto:contact@esg-global.com)



电话 508.482.0188