



基础架构

FlexPod

NetApp
October 30, 2025

目录

基础架构	1
采用 Cisco UCSM , VMware vSphere 7.0 和 NetApp ONTAP 9 的适用于 FlexPod 的端到端 NVMe	1
TR-4914 : 采用 Cisco UCSM , VMware vSphere 7.0 和 NetApp ONTAP 9 的适用于 FlexPod 的端到端 NVMe	1
测试方法	3
测试结果	6
结论	9

基础架构

采用 Cisco UCSM , VMware vSphere 7.0 和 NetApp ONTAP 9 的适用于 FlexPod 的端到端 NVMe

TR-4914 : 采用 Cisco UCSM , VMware vSphere 7.0 和 NetApp ONTAP 9 的适用于 FlexPod 的端到端 NVMe

NetApp 公司 Chris Schmitt 和 Kamini Singh



与以下合作伙伴：

NVMe 数据存储标准是一项新兴的核心技术，通过为当前和未来的内存技术提供极高的带宽和极低的延迟存储访问，正在转变企业数据存储访问和传输。NVMe 将 SCSI 命令集替换为 NVMe 命令集。

NVMe 可与非易失性闪存驱动器，多核 CPU 和 GB 内存配合使用。它还利用了自 20 世纪 70 年代以来计算机科学领域的重大进步，实现了简化的命令集，可以更高效地解析和处理数据。端到端 NVMe 架构还使数据中心管理员能够重新思考他们可以在多大程度上推动虚拟化和容器化环境，以及面向事务的数据库可以支持的可扩展性。

FlexPod 是一种最佳实践数据中心架构，其中包括 Cisco 统一计算系统（Cisco UCS）, Cisco Nexus 交换机，Cisco MDS 交换机和 NetApp AFF 系统。这些组件是根据 Cisco 和 NetApp 的最佳实践进行连接和配置的，可为放心运行各种企业工作负载提供一个出色的平台。FlexPod 可以纵向扩展以提高性能和容量（根据需要单独添加计算，网络或存储资源），也可以横向扩展以适应需要多个一致部署的环境（例如部署更多 FlexPod 堆栈）。

下图显示了 FlexPod 组件系列。

FlexPod Datacenter solution

NetApp AFF A-Series
and NetApp FAS Series
storage family



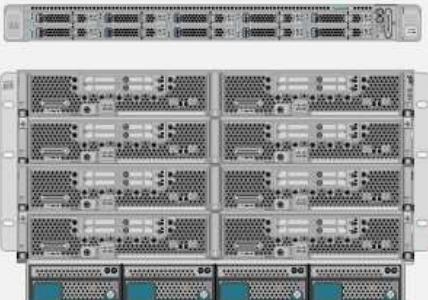
- AFF C190
- AFF A250
- AFF A400
- AFF A700
- AFF A800
- FAS 9000
- FAS 500f
- And more

Cisco Nexus and
Cisco MDS switch families



- Cisco Nexus 9000 Series
- Cisco Nexus 7000 Series
- Cisco Nexus 5000 Series
- Cisco MDS
- And more

Cisco UCS family



Configuration and connectivity
best practices

- Cisco UCS 6400 Series
- Cisco UCS 6300 Series
- Cisco UCS 6200 Series
- Cisco UCS 5108
- Cisco UCS 2408
- Cisco UCS 2304/2208/
2204
- Cisco UCS B-Series
- Cisco UCS C-Series
- And more

FlexPod 是推出 FC-NVMe 的理想平台。支持此功能的方法包括：在现有 Cisco UCS B200 M5 或 M6 服务器或 Cisco UCS C 系列 M5 或 M6 机架式服务器中添加 Cisco UCS VIC 1400 系列和端口扩展器；以及简单，无中断地升级到 Cisco UCS 系统 Cisco MDS 32Gbps 交换机； 和 NetApp AFF 存储阵列。安装支持的硬件和软件后，FC-NVMe 的配置与 FCP 配置类似。

NetApp ONTAP 9.5 及更高版本可提供完整的 FC-NVMe 解决方案。通过对 AFF A300， AFF A400， AFF A700， AFF A700s 和 AFF A800 阵列进行无中断 ONTAP 软件更新，这些设备可以支持端到端 NVMe 存储堆栈。因此，具有第六代主机总线适配器（HBA）和 NVMe 驱动程序支持的服务器可以使用原生 NVMe 与这些阵列进行通信。

目标

此解决方案简要概述了基于 FlexPod 的 VMware vSphere 7 的 FC-NVMe 性能。经验证，解决方案可成功传递 FC-NVMe 流量，并为具有各种数据块大小的 FC-NVMe 捕获了性能度量指标。

解决方案的优势

适用于 FlexPod 的端到端 NVMe 可为客户提供卓越的价值，并具有以下解决方案优势：

- NVMe 依赖于 PCIe，这是一种高速，高带宽的硬件协议，比 SCSI，SAS 和 SATA 等旧标准速度要快得多。Cisco UCS 服务器和 NetApp 存储阵列之间的高带宽，超低延迟连接，适用于大多数要求苛刻的应用程序。
- FC-NVMe 解决方案无损，可满足下一代应用程序的可扩展性要求。这些新技术包括人工智能（AI），机器学习（ML），深度学习（DL），实时分析和其他任务关键型应用程序。
- 通过高效利用整个堆栈中的所有资源降低 IT 成本。
- 显著缩短响应时间并提升应用程序性能，这与提高 IOPS 和吞吐量并降低延迟相对应。对于现有工作负载，解决方案可将性能提高 ~60%，并将延迟降低 ~50%。
- FC-NVMe 是一种简化的协议，具有出色的队列功能，尤其是在每秒 I/O 操作数（IOPS；即事务数更多）和并行活动数较多的情况下。
- 为 FlexPod 组件（例如 Cisco UCS，Cisco MDS 和 NetApp AFF 存储阵列）提供无中断软件升级。无需修改应用程序。

["下一步：测试方法。"](#)

测试方法

["上一页：简介。"](#)

本节简要概述了 FC-NVMe on FlexPod 验证测试。其中包括测试环境 / 配置以及针对使用 VMware vSphere 7 的 FlexPod 的 FC-NVMe 执行工作负载测试所采用的测试计划。

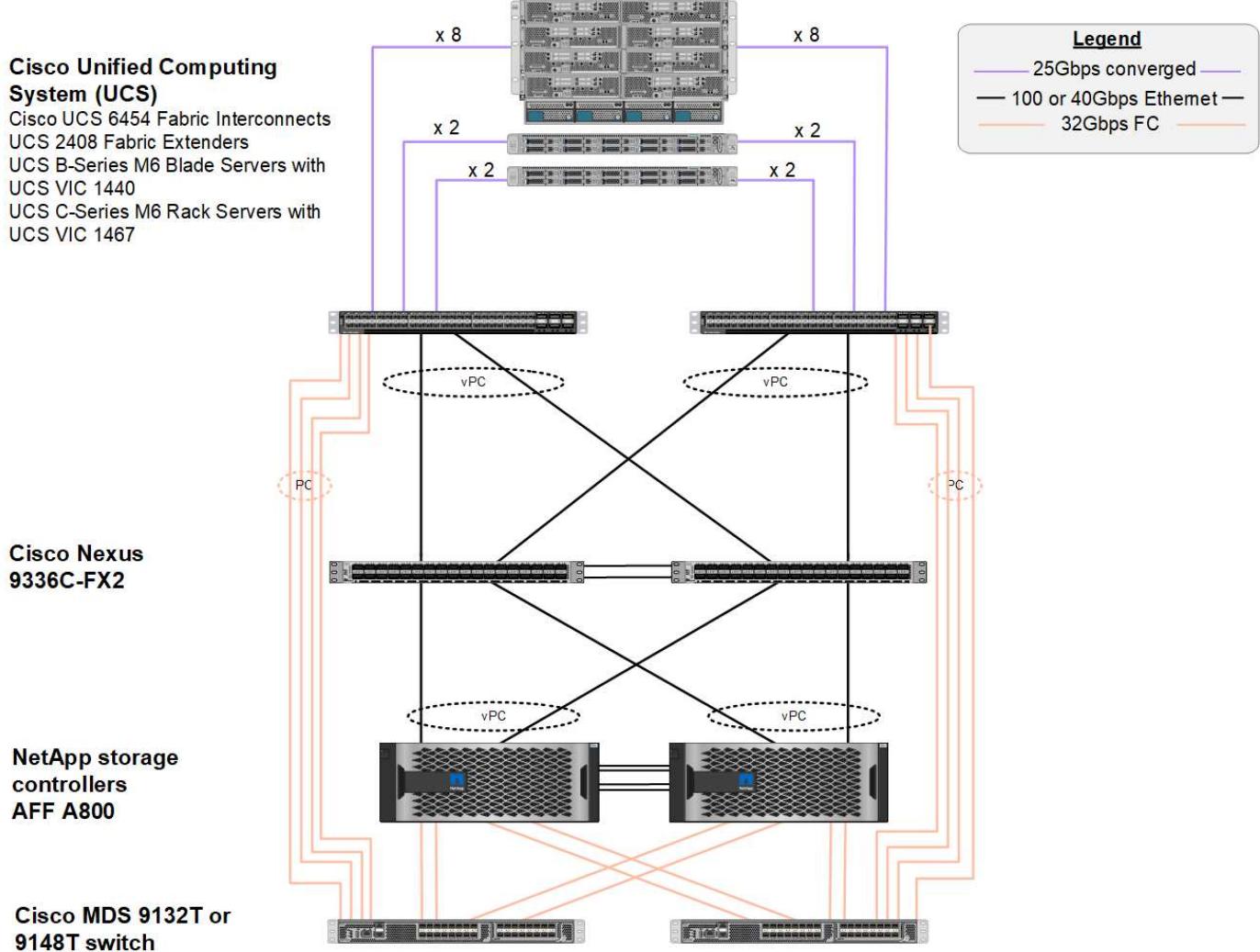
测试环境

Cisco Nexus 9000 系列交换机支持两种操作模式：

- NX-OS 独立模式，使用 Cisco NX-OS 软件
- ACI 网络结构模式，使用 Cisco Application Centric Infrastructure（Cisco ACI）平台

在独立模式下，交换机的性能与典型的 Cisco Nexus 交换机类似，端口密度更高，延迟低，连接速度更低。

采用 NX-OS 的 FlexPod 在计算层，网络层和存储层中设计为完全冗余。从设备或流量路径的角度来看，不存在单点故障。下图显示了此 FC-NVMe 验证中使用的最新 FlexPod 设计的各个要素的连接。



从 FC SAN 角度来看，此设计使用最新的第四代 Cisco UCS 6454 互联阵列以及在服务器中具有端口扩展器的 Cisco UCS VIC 1400 平台。Cisco UCS 机箱中的 Cisco UCS B200 M6 刀片式服务器使用 Cisco UCS VIC 1440，并将端口扩展器连接到 Cisco UCS 2408 阵列扩展器 IOM，且每个以太网光纤通道（FCoE）虚拟主机总线适配器（vHBA）的速度均为 40 Gbps。由 Cisco UCS 管理的 Cisco UCS C220 M5 机架式服务器使用 Cisco UCS VIC 1457，每个互联阵列具有两个 25 Gbps 接口。每个 C220 M5 FCoE vHBA 的速度均为 50 Gbps。

互联阵列可通过 32 Gbps SAN 端口通道连接到最新一代的 Cisco MDS 9148T 或 9132T FC 交换机。Cisco MDS 交换机与 NetApp AFF A800 存储集群之间的连接也是 32 Gbps FC。此配置支持 32 Gbps FC，光纤通道协议（FCP）以及存储集群与 Cisco UCS 之间的 FC-NVMe 存储。在此验证中，每个存储控制器使用四个 FC 连接。在每个存储控制器上，四个 FC 端口同时用于 FCP 和 FC-NVMe 协议。

Cisco Nexus 交换机与最新一代 NetApp AFF A800 存储集群之间的连接速度也为 100 Gbps，存储控制器上具有端口通道，交换机上具有 VPC。NetApp AFF A800 存储控制器在高速外设连接接口快速（Peripheral Connect Interface Express，PCIe）总线上配备了 NVMe 磁盘。

此验证中使用的 FlexPod 实施基于 "采用 UCS 托管模式的 FlexPod Datacenter，采用 Cisco UCS 4.2 (1)，VMware vSphere 7.0U2 和 NetApp ONTAP 9.9"。

经验证的硬件和软件

下表列出了解决方案验证过程中使用的硬件和软件版本。请注意，Cisco 和 NetApp 具有互操作性表，应参考这

些表来确定是否支持任何特定的 FlexPod 实施。有关详细信息，请参见以下资源：

- ["NetApp 互操作性表工具"](#)
- ["Cisco UCS 硬件和软件互操作性工具"](#)

层	Device	图像	注释
计算	<ul style="list-style-type: none"> 两个 Cisco UCS 6454 互联阵列 一个 Cisco UCS 5108 刀片式服务器机箱，带有两个 Cisco UCS 2408 I/O 模块 四个 Cisco UCS B200 M6 刀片式服务器，每个刀片式服务器具有一个 Cisco UCS VIC 1440 适配器和端口扩展卡 	4.2 版 (1f)	包括 Cisco UCS Manager , Cisco UCS VIC 1440 和端口扩展器
CPU	两个 Intel Xeon Gold 6330 CPU , 主频为 2.0 GHz , 具有 42 MB 第 3 层缓存，每个 CPU 28 个核心	-	-
内存	1024 GB (16 个 64 GB DIMM , 运行速率为 3200 MHz)	-	-
网络	两台 Cisco Nexus 9336C-x2 交换机，采用 NX-OS 独立模式	版本 9.3 (8)	-
存储网络	两个 Cisco MDS 9132T 32 Gbps 32 端口 FC 交换机	版本 8.4 (2c)	支持 FC-NVMe SAN 分析
存储	两个 NetApp AFF A800 存储控制器，具有 24 个 1.8 TB NVMe SSD	NetApp ONTAP 9.9.1.1 P1	-
软件	Cisco UCS Manager	4.2 版 (1f)	-
	VMware vSphere	7.0U2	-
	VMware ESXi	7.0.2	-
	VMware ESXi 原生光纤通道 NIC 驱动程序 (NFNIC)	5.0.12	在 VMware 上支持 FC-NVMe
	VMware ESXi 原生以太网 NIC 驱动程序 (NENIC)	1.0.35.0	-
测试工具	光纤	3.19	-

测试计划

我们制定了一个性能测试计划，用于使用综合工作负载在 FlexPod 上验证 NVMe。通过此工作负载，我们可以执行 8 KB 随机读取和写入以及 64 KB 读取和写入。我们使用 VMware ESXi 主机对 AFF A800 存储运行测试用例。

我们使用 FIO 这一开源合成 I/O 工具来生成综合工作负载，该工具可用于性能测量。

为了完成性能测试，我们对存储和服务器执行了几个配置步骤。以下是实施的详细步骤：

1. 在存储方面，我们创建了四个 Storage Virtual Machine (SVM，以前称为 Vserver)，每个 SVM 八个卷，每个卷一个命名空间。我们创建了 1 TB 卷和 960 GB 命名空间。我们为每个 SVM 创建了四个 LIF，并为每个 SVM 创建了一个子系统。SVM LIF 均匀分布在集群上的八个可用 FC 端口之间。
2. 在服务器端，我们在每个 ESXi 主机上创建了一个虚拟机 (VM)，总共四个 VM。我们在服务器上安装了 FIO 以运行综合工作负载。
3. 配置存储和 VM 后，我们可以从 ESXi 主机连接到存储命名空间。这样，我们就可以根据命名空间创建数据存储库，然后根据这些数据存储库创建虚拟机磁盘 (Virtual Machine Disk, VMDK)。

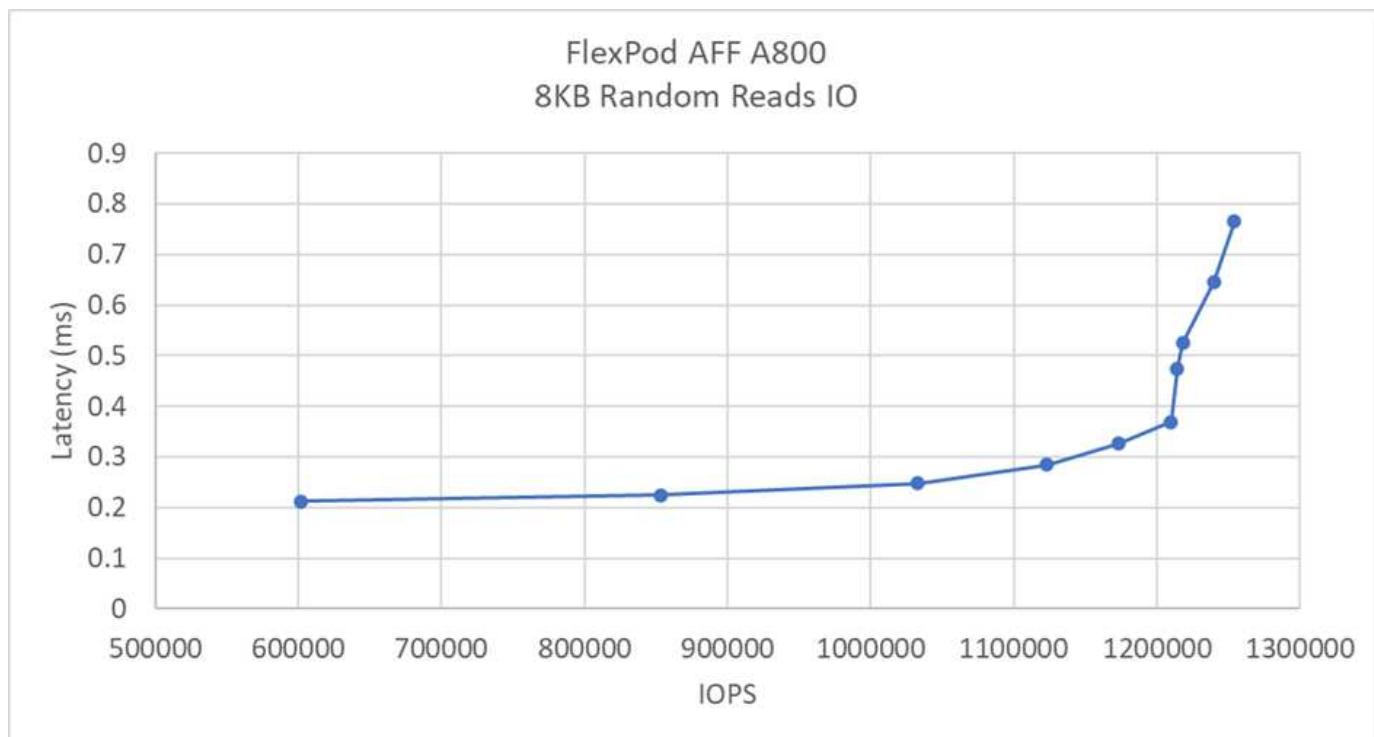
"[接下来：测试结果。](#)"

测试结果

"[上一篇：测试方法。](#)"

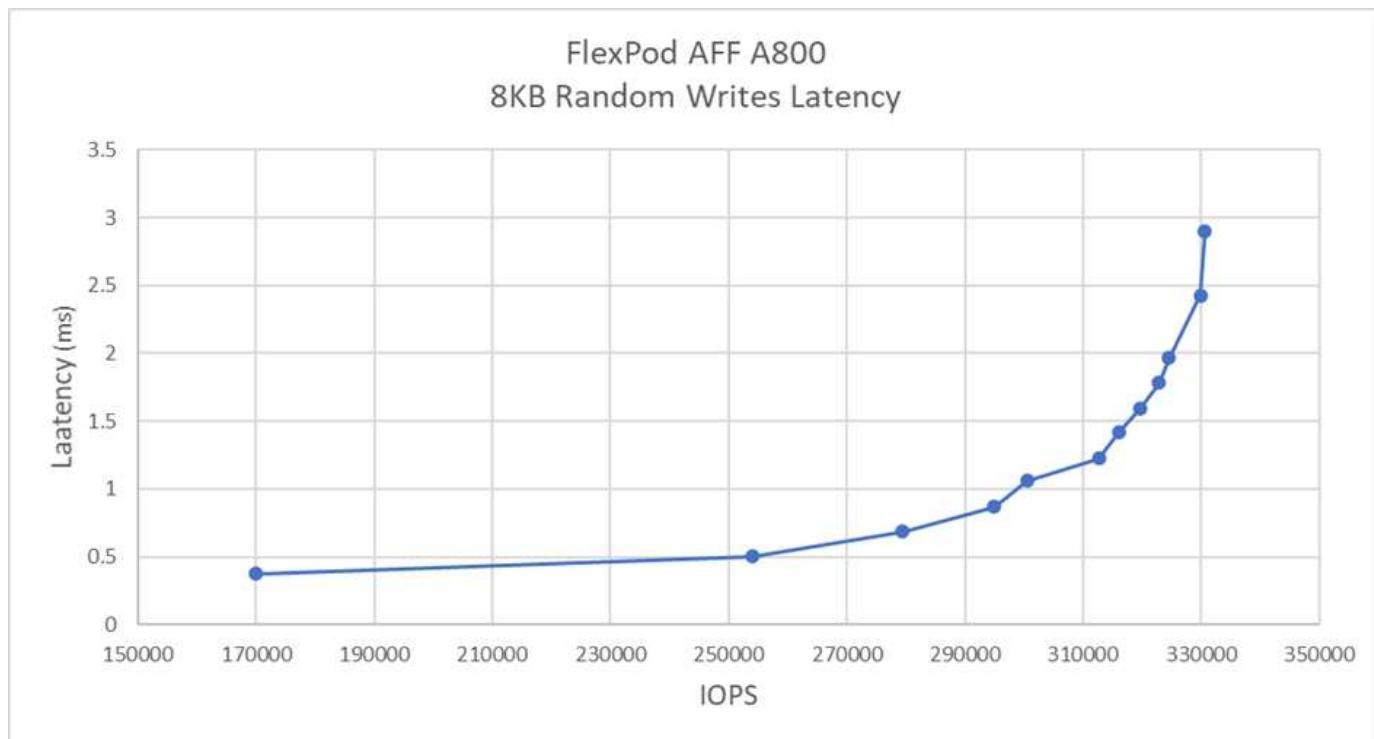
测试包括运行 FIO 工作负载，以测量 FC-NVMe 在 IOPS 和延迟方面的性能。

下图显示了我们在使用 8 KB 块大小运行 100% 随机读取工作负载时的结果。



在我们的测试中，我们发现系统实现了超过 120 万次 IOPS，而服务器端延迟仅保持在 0.35 毫秒以下。

下图显示了我们在使用 8 KB 块大小运行 100% 随机写入工作负载时的结果。



在我们的测试中，我们发现系统实现了接近 30 万次的 IOPS，同时服务器端延迟仅保持在 1 毫秒以下。

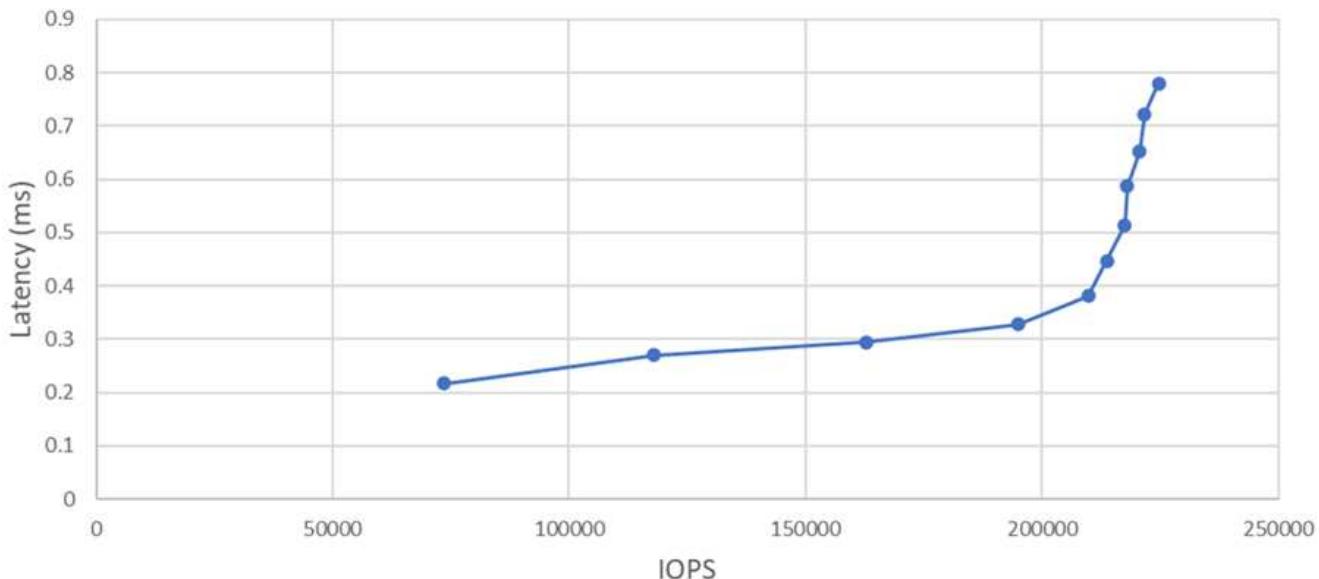
对于随机读取率为 80%，写入率为 20% 的 8 KB 块大小，我们观察到以下结果：



在我们的测试中，我们发现系统实现了超过 100 万次的 IOPS，同时服务器端延迟仅保持在 1 毫秒以下。

对于 64 KB 块大小和 100% 顺序读取，我们观察到以下结果：

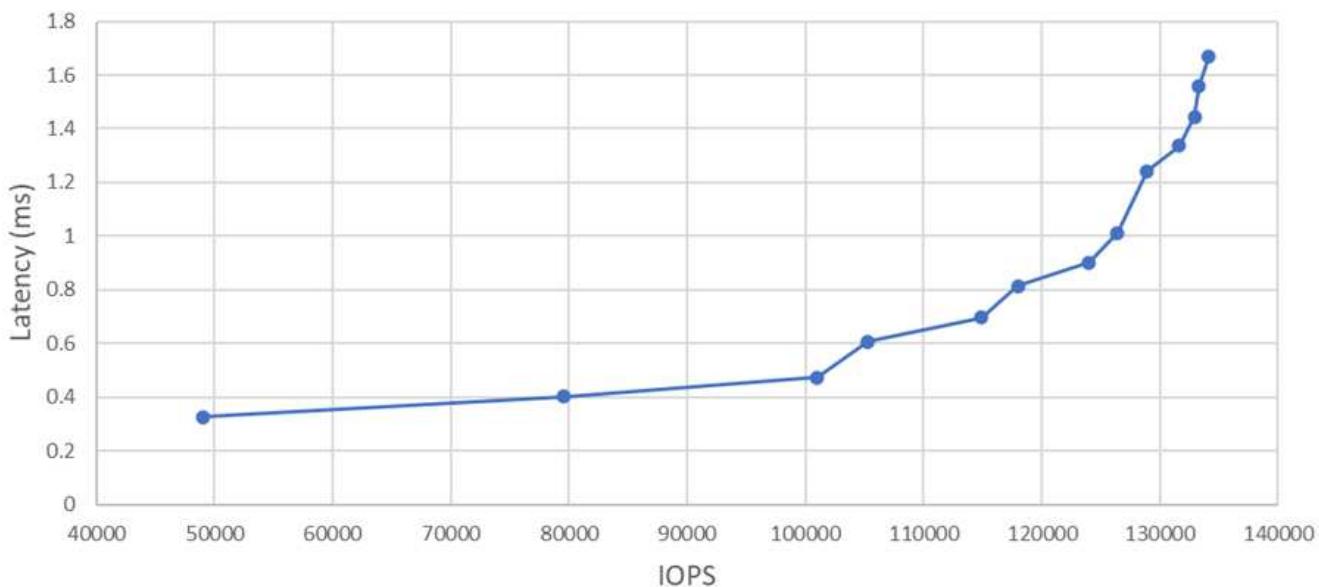
FlexPod AFF A800 64KB Sequential Reads Average Latency



在我们的测试中，我们发现该系统实现了大约 25 万次 IOPS，而服务器端延迟仅保持在 1 毫秒以下。

对于 64 KB 块大小和 100% 顺序写入，我们观察到以下结果：

FlexPod AFF A800 64KB Sequential Writes Average Latency



在我们的测试中，我们发现该系统可实现约 120,000 次 IOPS，而服务器端延迟保持在 1 毫秒以下。

"接下来：总结。"

结论

"[上一步：测试结果。](#)"

对于延迟不到 1 毫秒的顺序读取工作负载，此解决方案的观察吞吐量为 14 GBps 和 220 K IOPS。对于随机读取工作负载，吞吐量达到了 9.5 GBps 和 1.25 万次 IOPS。FlexPod 通过 FC-NVMe 提供这种性能的能力可以满足任何任务关键型应用程序的需求。

采用 VMware vSphere 7.0 U2 的 FlexPod 数据中心是为各种 IT 工作负载部署 FC-NVMe 的最佳共享基础架构基础，可为需要此功能的应用程序提供高性能存储访问。随着 FC-NVMe 不断发展，包括高可用性，多路径和额外的操作系统支持，FlexPod 非常适合作为首选平台，可提供支持这些功能所需的可扩展性和可靠性。

借助 FlexPod，Cisco 和 NetApp 创建了一个灵活且可扩展的平台，可用于多种使用情形和应用程序。借助 FC-NVMe，FlexPod 新增了另一项功能，可帮助企业高效地支持在同一共享基础架构中同时运行的业务关键型应用程序。借助 FlexPod 的灵活性和可扩展性，客户还可以从规模合适的基础架构入手，并随着不断变化的业务需求进行扩展和适应。

追加信息

要了解有关本文档中所述信息的更多信息，请查看以下文档和 / 或网站：

- Cisco Unified Computing System (UCS)

["http://www.cisco.com/en/US/products/ps10265/index.html"](http://www.cisco.com/en/US/products/ps10265/index.html)

- Cisco UCS 6400 系列互联阵列数据表

["https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/servers-unified-computing/datasheet-c78-741116.html"](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/servers-unified-computing/datasheet-c78-741116.html)

- Cisco UCS 5100 系列刀片式服务器机箱

["http://www.cisco.com/en/US/products/ps10279/index.html"](http://www.cisco.com/en/US/products/ps10279/index.html)

- Cisco UCS B 系列刀片式服务器

["http://www.cisco.com/en/US/partner/products/ps10280/index.html"](http://www.cisco.com/en/US/partner/products/ps10280/index.html)

- Cisco UCS C 系列机架式服务器

["http://www.cisco.com/c/en/us/products/servers-unified-computing/ucs-c-series-rack-servers/index.html"](http://www.cisco.com/c/en/us/products/servers-unified-computing/ucs-c-series-rack-servers/index.html)

- Cisco Unified Computing System 适配器

["http://www.cisco.com/en/US/products/ps10277/prod_module_series_home.html"](http://www.cisco.com/en/US/products/ps10277/prod_module_series_home.html)

- Cisco UCS Manager

["http://www.cisco.com/en/US/products/ps10281/index.html"](http://www.cisco.com/en/US/products/ps10281/index.html)

- Cisco Nexus 9000 系列交换机

["http://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/nexus-9000-series-switches/index.html"](http://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/nexus-9000-series-switches/index.html)

- Cisco MDS 9000 多层光纤交换机

"<http://www.cisco.com/c/en/us/products/storage-networking/mds-9000-series-multilayer-switches/index.html>"

- Cisco MDS 9132T 32 Gbps 32 端口光纤通道交换机

"<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/storage-networking/mds-9100-series-multilayer-fabric-switches/datasheet-c78-739613.html>"

- NetApp ONTAP 9.

"<http://www.netapp.com/us/products/platform-os/ontap/index.aspx>"

- NetApp AFF A 系列

"<http://www.netapp.com/us/products/storage-systems/all-flash-array/aff-a-series.aspx>"

- VMware vSphere

"<https://www.vmware.com/products/vsphere>"

- VMware vCenter Server

"<http://www.vmware.com/products/vcenter-server/overview.html>"

- 现代 SAN 的最佳实践

"<https://www.netapp.com/us/media/tr-4080.pdf>"

- 推出适用于 FlexPod 的端到端 NVMe

"<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/servers-unified-computing/ucs-b-series-blade-servers/whitepaper-c11-741907.html>"

互操作性表

- NetApp 互操作性表工具

"<http://support.netapp.com/matrix/>"

- Cisco UCS 硬件兼容性列表

"<https://ucshcltool.cloudapps.cisco.com/public/>"

- VMware 兼容性指南

"<http://www.vmware.com/resources/compatibility>"

致谢

作者谨向 Cisco 的 John George , NetApp 的 Scott Lane 和 Bobby Oommen 表示感谢，感谢他们在项目执行期间提供的帮助和指导。

版权信息

版权所有 © 2025 NetApp, Inc.。保留所有权利。中国印刷。未经版权所有者事先书面许可，本文档中受版权保护的任何部分不得以任何形式或通过任何手段（图片、电子或机械方式，包括影印、录音、录像或存储在电子检索系统中）进行复制。

从受版权保护的 NetApp 资料派生的软件受以下许可和免责声明的约束：

本软件由 NetApp 按“原样”提供，不含任何明示或暗示担保，包括但不限于适销性以及针对特定用途的适用性的隐含担保，特此声明不承担任何责任。在任何情况下，对于因使用本软件而以任何方式造成的任何直接性、间接性、偶然性、特殊性、惩罚性或后果性损失（包括但不限于购买替代商品或服务；使用、数据或利润方面的损失；或者业务中断），无论原因如何以及基于何种责任理论，无论出于合同、严格责任或侵权行为（包括疏忽或其他行为），NetApp 均不承担责任，即使已被告知存在上述损失的可能性。

NetApp 保留在不另行通知的情况下随时对本文档所述的任何产品进行更改的权利。除非 NetApp 以书面形式明确同意，否则 NetApp 不承担因使用本文档所述产品而产生的任何责任或义务。使用或购买本产品不表示获得 NetApp 的任何专利权、商标权或任何其他知识产权许可。

本手册中描述的产品可能受一项或多项美国专利、外国专利或正在申请的专利的保护。

有限权利说明：政府使用、复制或公开本文档受 DFARS 252.227-7013（2014 年 2 月）和 FAR 52.227-19（2007 年 12 月）中“技术数据权利 — 非商用”条款第 (b)(3) 条规定的限制条件的约束。

本文档中所含数据与商业产品和/或商业服务（定义见 FAR 2.101）相关，属于 NetApp, Inc. 的专有信息。根据本协议提供的所有 NetApp 技术数据和计算机软件具有商业性质，并完全由私人出资开发。美国政府对这些数据的使用权具有非排他性、全球性、受限且不可撤销的许可，该许可既不可转让，也不可再许可，但仅限在与交付数据所依据的美国政府合同有关且受合同支持的情况下使用。除本文档规定的情形外，未经 NetApp, Inc. 事先书面批准，不得使用、披露、复制、修改、操作或显示这些数据。美国政府对国防部的授权仅限于 DFARS 的第 252.227-7015(b)（2014 年 2 月）条款中明确的权利。

商标信息

NetApp、NetApp 标识和 <http://www.netapp.com/TM> 上所列的商标是 NetApp, Inc. 的商标。其他公司和产品名称可能是其各自所有者的商标。