

白皮书

# 联想凌拓芯片设计行业 存储解决方案及实施指南

## 文档目的

本文档用于描述芯片行业的发展历程，主要流程，面临的挑战，联想凌拓芯片行业数据存储与管理解决方案，针对EDA的解决方案优势，以及通过实施指南的分享，阐释联想凌拓如何帮助用户、合作伙伴等，建立对行业的清晰认知，与获取专业的解决方案。

## 版本历史

文档名称	文档版本编号	文档版本日期
芯片设计行业存储解决方案及实施指南	V2.0	2021-7
	V1.0	2020-5

## 产权说明

本文档产权为**联想凌拓科技有限公司**（Lenovo NetApp，简称“联想凌拓”）所有，用本文件中出现的任何文字叙述、文件格式、插图、照片、方法、过程等内容，除另有特别注明，版权均属联想凌拓所有，受到有关产权及版权法保护。任何个人和公司，未经联想凌拓的书面授权许可，不得复制或引用本文件的任何内容，无论通过电子形式或非电子形式。

## 目 录

<b>1、概览</b> .....	<b>3</b>
1.1 芯片设计行业及存储 .....	3
1.2 联想凌拓存储行业方案地位 .....	3
<b>2、芯片设计流程</b> .....	<b>4</b>
2.1 逻辑设计（Logical design）工作流 .....	5
2.2 EDA 典型的存储工作环境 .....	6
<b>3、EDA 环境下的挑战及联想凌拓存储解决方案</b> .....	<b>7</b>
3.1 EDA 典型的存储工作环境 .....	7
3.2 存储层面的挑战及联想凌拓存储解决方案 .....	8
<b>4、联想凌拓存储针对 EDA 的解决方案优势</b> .....	<b>13</b>
4.1 性能 .....	14
4.2 横向扩展架构实现 EDA 数据全生命周期管理 .....	14
4.3 高可用性 .....	15
4.4 存储效率 .....	15
4.5 统一存储 .....	15
4.6 QoS .....	16
4.7 数据保护 .....	16
4.8 FlexGroup 性能的优化 .....	16
4.9 EDA 业务上云 .....	19
<b>5、实施指南</b> .....	<b>19</b>
5.1 硬件考虑 .....	19
5.2 Aggregate 设计考虑 .....	20
5.3 Data ONTAP .....	20
5.4 存储网络 .....	20
5.5 Flash Cache .....	21
5.6 文件系统及 NFS 考虑 .....	21
5.7 Volume 考虑 .....	22
5.8 项目分级考虑 .....	22
5.9 目录结构考虑 .....	25
5.10 对象存储和 S3 .....	27
<b>6、总结</b> .....	<b>27</b>
<b>7、更多参考资料</b> .....	<b>28</b>

## 1、概览

### 1.1 芯片设计行业及存储

从市场发展趋势来看，集成电路市场正在加速向中国迁移，市场格局加快调整，云计算、物联网、智能制造，大数据、VR、5G 等新业态引发的产业变革刚刚兴起，新的商业模式不断产生会催生更多芯片需求，集成电路产业格局面临重塑的机遇，这将是中国集成半导体电路企业面临的机会。

电子设计自动化（Electronic design automation EDA）软件是由中国集成半导体电路企业使用，以创建高度复杂的集成电路（ICS）。芯片设计器件尺寸不断缩小，从 90nm 几年前 14nm，10nm，7nm，5nm 和 FinFET，这意味着设计的复杂性和设计元素的数量大幅增长。随着尺寸越来越小，更长的时间花费在逻辑和物理验证阶段，其中大量的模拟和测试台运行，以验证设计功能和完整性。由于执行成本的上升，设计验证正在成为一个重要组成部分的整体设计周期。虽然各种工具供应商已经拿出更快的应用程序来运行这些模拟，配合同样强大的和优化的基础架构包括存储，以获得更优的性能来缩减上市时间为非常重要的目的。

在逻辑验证阶段发生的建模和仿真消耗大量的计算资源，这取决于芯片设计的大小和复杂性。为了在复杂设计的模拟过程中适应这些芯片设计，它每年都会增加计算基础设施。在验证过程中，通过网络共享存储（NAS）基础结构生成、写入和读取大量文件。这种 EDA 工具在其不同的构建和模拟阶段生成了许多文件，这些文件存放在 NAS 存储上的不同目录结构中，随着计算集群的规模不断扩大，共享存储基础设施也必须横向扩展（增加存储节点），以处理所需的 I/O 操作、带宽和延迟的验证。而网络文件系统（NFS）v3 是验证环境中流行的基于文件的协议。

### 1.2 联想凌拓存储行业方案地位

联想凌拓是 EDA 和半导体市场的主要存储供应商，几乎所有的半导体软件公司在使用 Data ONTAP，而国内外芯片行业巨头几乎全部使用联想凌拓存储存取构建和模拟测试设计（DUT）所需的所有文件，以及在此阶段的生命周期内生成的文件。

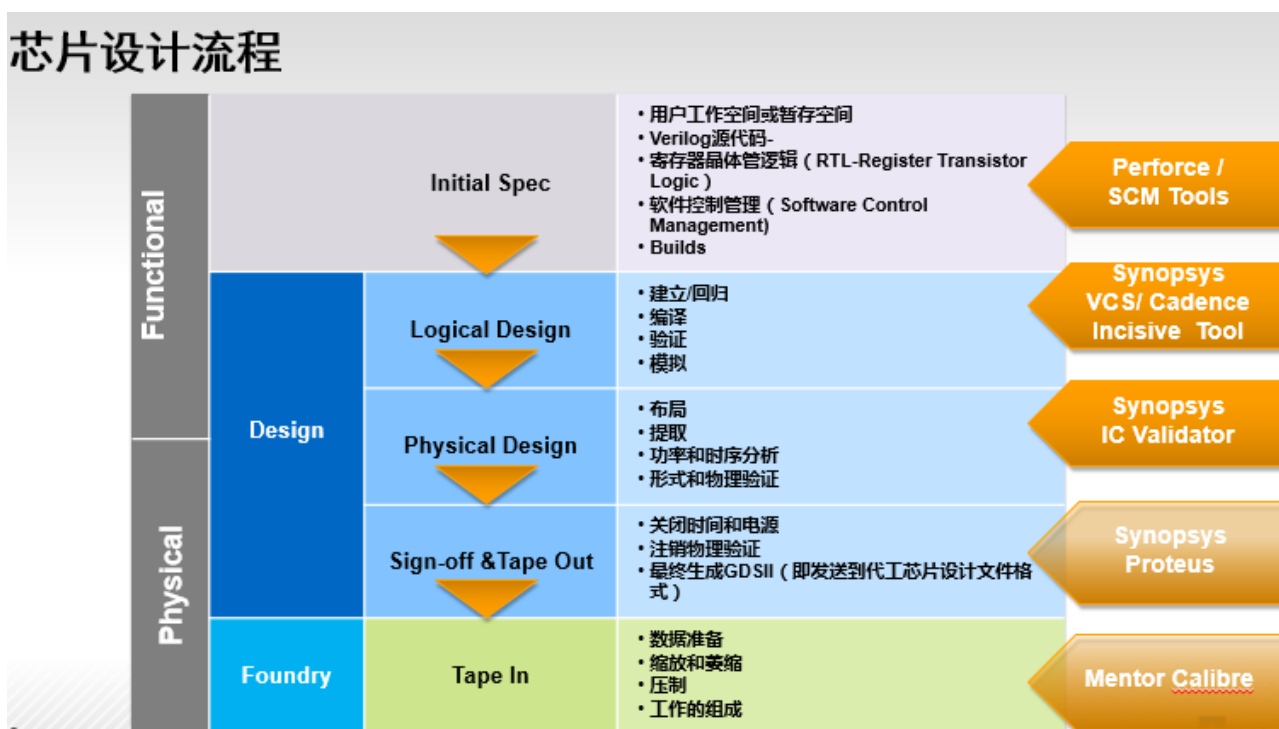
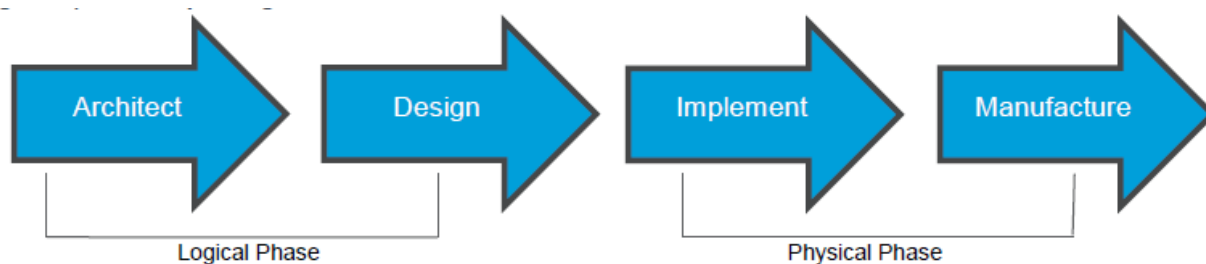
在 EDA 芯片设计周期中使用的工具多达上百种，要在数据中心部署存储阵列，就需要了解不同的工具和应用程序生成的关键工作负载。联想凌拓客户团队在 EDA 核心团队的指导下，更接近真实的环境下获得令人满意的结果，缩短作业完成时间和时钟时间，优化 EDA 工具的许可成本，始终是联想凌拓一如既往的目标。

联想凌拓存储 NAS 功能专为基础设施的共享访问网络文件系统（NFS）和二进制文件设计，提供高可用性和弹性的解决方案来存储和管理从芯片设计过程中产生的数据。群集文件系统提供了可扩展存储体系结构，为验证阶段生成的许多目录中的数百万文件提供存储。它解决了芯片设计不断增长的存储需求，同时有效地处理了在整个芯片的验证工作流程中生成的不同工作负载。ONTAP 群集文件系统提供了以下关键功能，以缩短芯片设计过程，加快上市时间并提高投资回报率（ROI）。

本文将为优化网络存储的数据中心基础设施的半导体公司用于设计与 EDA 工具的下一代芯片提供实施指南。

## 2、芯片设计流程

在一个典型的芯片设计工作流程大致分为前端设计（也称逻辑设计）和后端设计（也称物理设计）并没有统一严格的界限，涉及到与工艺有关的设计就是后端设计。如图所示：逻辑 (logical) 和物理 (physical)。逻辑阶段包括初始规范 (Initial Spec) 和逻辑设计 (Logical Design)。物理阶段包括将逻辑设计转换为物理芯片，在签署和退出阶段，最终检查完成后，设计交付给晶圆厂制造。



### ● 逻辑设计 Logical design

这是芯片设计过程的第一阶段，在这一阶段芯片架构使用编程语言，如 Verilog 建模。为了模拟设计，这些源文件被读取和编译成一个可执行的芯片模型。这个阶段也被称为 VC 编译或建设阶段，SIMV 是可执行的，是由过程中创建的默认名称。芯片模型的大小和特点与设计相关的。

芯片模型创建后，进行芯片设计模拟。用户通常通过使用作业调度程序提交或运行计算场中的作业。测试是用来验证逻辑设计行为，并检查是否匹配设计意图和目的。在设计确定相对无错误后，逻辑设计被传递到流程中的下一个阶段，称为后端或物理设计，逻辑设计转换为实际物理芯片设计。

在存储角度，在逻辑设计的建立和仿真阶段表现出高 I/O 负载特性(90%Metadata 操作，检查深目录结构的目录/文件属性，并确定文件是否在创建前存在，应用程序 getattr 时产生的试图读取文件并关闭，打开后检查一致性 (check close to open consistency -CTO) 延迟问题多数发生在大量的 getattrs，Lookup-长路径，生成多个查找。

● **物理设计 Physical design**

在这个阶段，逻辑设计被转换成一个实际的设计，可以被制造成一个芯片。在这个过程中发生的几个步骤，包括逻辑合成，布局和路由，以及各种性能和可制造性检查。设计规则检查 (DRC) 验证物理布局准备制造，根据版图与原理图 (LVS)，这保证了物理和逻辑电路匹配。在此阶段还可以进行提取、定时和其他检查，以确保芯片设计满足其目标规格。

在物理设计阶段同样表现出高 I/O 负载特性。

● **签署和退出阶段 Sign-off and tape-out**

最后的检查都是在这一阶段，包括 DRC，LVS，定时，功率和信号完整性。在所有检查都通过后，该设计被记录到指定的大文件，用铸造和工艺节点制造。

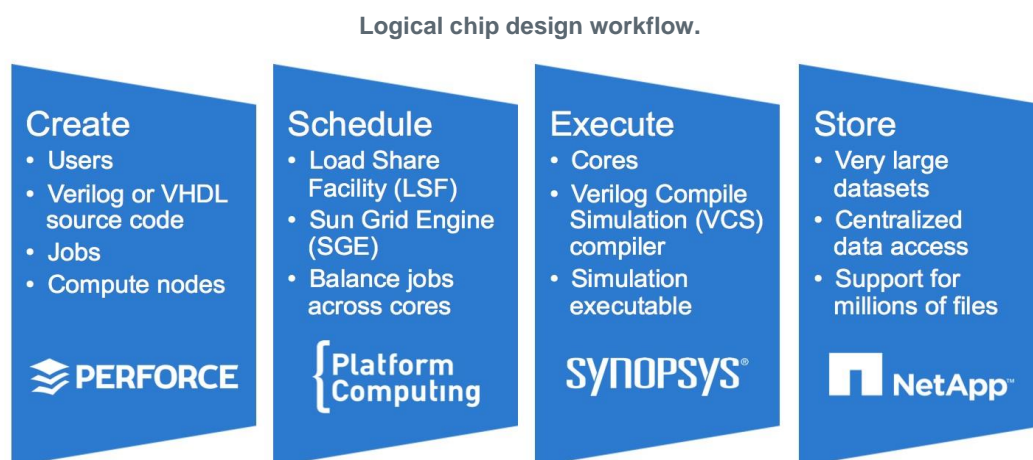
在签署和退出阶段是大文件读写，表现出高带宽的负载特性。

● **Tape-in**

这个阶段发生在晶圆厂或制造 tape-in。这个阶段不同的操作例如，缩放和萎缩，光学邻近校正/分辨率增强技术 (OPC / RET)，数据和工作组成进行压裂，以确保前期的设计可用于硅芯片的制造。

## 2.1 逻辑设计 ( Logical design ) workflow

典型的逻辑芯片设计工作流程如下图所示，由以下四部分组成：



- **Create**

在这个阶段，设计人员通常会从软件控制管理（SCM）系统中检查源代码树，以创建或编辑设计规范。源代码往往通过使用硬件描述语言（VHDL，Verilog HDL，业界公司一般都是使用后者）。用一种常用的软件控制管理工具管理和控制源代码的不同版本。

- **Schedule**

设计师和验证工程师需要执行许多编译和模拟工作，以验证他们的设计。作业调度器通常用于管理大量的作业，并在大型计算场中高效地提交作业。IBM Platform Computing 公司的 LSF 软件被普遍用于 EDA 用户场景的作业调度。

- **Execute**

作业调度程序为 EDA 应用程序作业配置了可用 Slots 的数目。在作业分配了一个 slot 后，它将开始执行 EDA 应用程序的构建或模拟，由提交该作业的用户指定。这个过程的 EDA 应用程序有时会持续到超出设计 tape-out 的时间，这种设计错误被捕获并启动修复，以尽量减少成本和返工。

- **Store**

存储层以 Volume 和 Aggregate 的形式提供大型容器来存储和管理所有不同的设计文件，这些文件数量可以数以亿计。存储作为 EDA 工具和工作负载之间共享文件的中心位置。联想凌拓存储还提供了其他的比如存储效率等其他好处，在本文的后半部分讨论了。

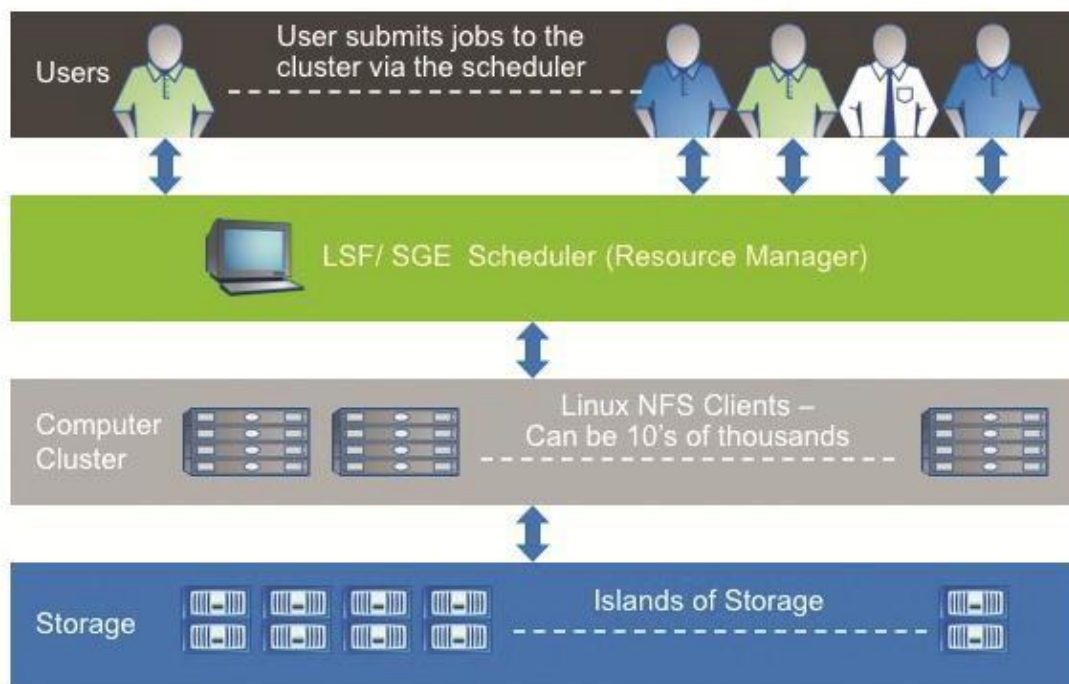
## 2.2 EDA 典型的存储工作环境

下图代表了一个典型的 EDA 环境，用户提交成百上千个并发工作队列。调度程序将作业发送到计算服务器池（Server Pool），它有数万甚至数十万个 CPU Core 来处理作业，从而产生大量文件存取于共享存储中。

EDA 应用程序提交的作业生成 I/O 执行读取，写入，修改和删除操作，这些操作在本质上是高度并行的。EDA 应用程序读取并编译各种源文件，为每一个芯片设计生成一个可执行文件，此可执行文件用于模拟由不同的测试台。

VC 的应用程序生成一个深的目录结构，在一个单一的目录包含大量小文件和子目录，该目录结构宽而深，EDA 应用其实是一个巨量文件数的工作环境，在实质上是深而宽的许多目录和子目录，文件近数百万。

在 VC 的编译和仿真过程中，大量的元数据操作如 NFS getattrs, setattrs, 查找和访问调用随着打开，关闭，删除链接，并修改生成工作负载的一部分。其余部分的工作量包括读和写操作是高度顺序的性质。



多年来，ASIC 设计的复杂性的增加已经提出了一个重大挑战，EDA 应用程序的工作完成时间受不同的应用程序和基础设施制约，最近的一项行业调查表明，33%的 EDA 性能瓶颈是源于存储。

### 3、EDA 环境下的挑战及联想凌拓存储解决方案

复杂的芯片设计在计算服务器池（Server Pool）中运行的验证作业的数目相应增加，但以非线性方式增长。然而，存储和管理这些大型设计文件的后端存储通常没有优化以处理不断变化的工作负载。本节强调了应用程序和存储管理员和架构师在 EDA 环境中遇到的主要挑战。

#### 3.1 EDA 典型的存储工作环境

缩短上市时间对半导体芯片制造商至关重要。因此，能够同时运行并行作业并快速完成它们是一个很强的要求。运行时间的任何改进都会造成巨大的差异。以下是一些 EDA 应用程序所面临的主要挑战：

- 大多数半导体环境将在本地驱动器上同时运行不同的芯片设计的多个验证过程，这些设计后来被转移到共享存储。在逻辑设计过程中管理和维护来自不同自动化工具和脚本的结果是艰巨的任务。
- 半导体芯片的设计越来越复杂，越来越多地产生更大的文件和更多的文件数量。为了确保高 I/O 性能的 EDA 工具，重要的是要在控制器的内存（DRAM），以有效地服务 I/O 请求在设计过程中，以适应积极的工作集大小。
- 在芯片设计过程中，一些 EDA 作业可能会产生更多的 I/O 请求（包括读写），从而导致存储资源的瓶颈。识别和管理失控的工作和平衡存储资源的挑战。
- 控制成本优化 EDA 工具，以更好地执行所产生的工作量是至关重要的。

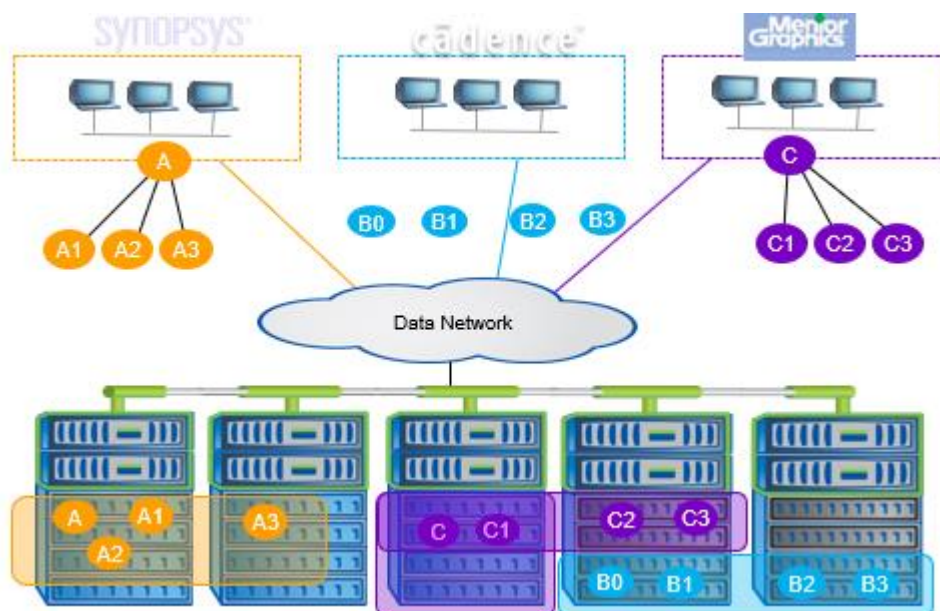
### 3.2 存储层面的挑战及联想凌拓存储解决方案

存储始终是一个中央存储库，存取所有的设计文件，并运行各种不同的 EDA 工具来处理数据。然而，随着芯片设计复杂度的提高，各种 EDA 工具的工作量也有所不同。如果没有足够的存储设计及优化，在高数据芯片设计环境中，性能瓶颈将源于存储。

下面列出的项目在 EDA 应用程序环境突出了一些主要的存储瓶颈以及联想凌拓存储解决方案的简单描述。

- **可线性扩展存储性能对应计算服务器池（Server Pool）高速增长**

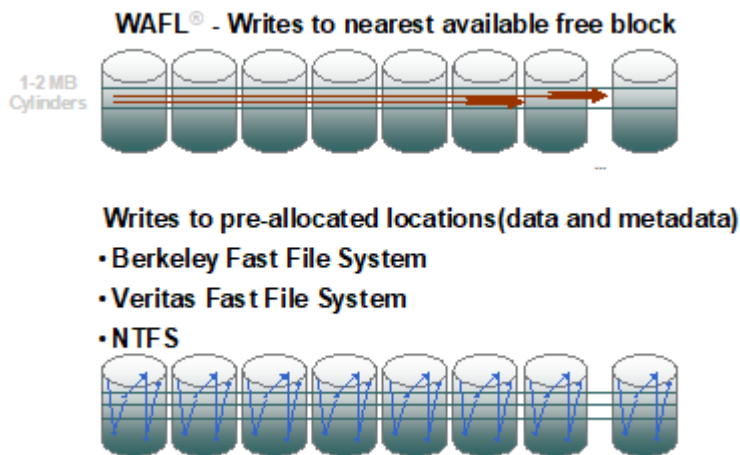
建议半导体行业用户，基于联想凌拓存储建立可预知存储性能，例如典型的存储控制器+磁盘（全闪），可对应的计算服务器池 CPU 核数，或可对应的 IOPS 及带宽，或可对应的项目组数等。利用可预知存储生产性能，动态地横向扩展存储集群，统一集群命名空间建立和验证，支持不同型号的存储及磁盘介质。如单个文件系统仍无法满足业务要求，FlexGroup 跨多个节点多个文件系统提供更高的 NAS 文件系统性能。



- **更高磁盘性能和全闪 SSD 的优化**

联想凌拓存储独有专利技术，配合 NVRAM 日志功能，藉由硬盘区块的配置佳化，可将大量的随机写入转为少量的顺序写入，真正达到并行写入 (Stripe Write) 并减少磁头移动的次數和磁头移动的距离，加速文件存取和搜寻的速度。





同时，基于以上技术，ONTAP 独特的 WAFL 文件系统恰好非常适合 SSD 硬盘的写场景，与传统的 RAID 写入方式不同，WAFL 写入方式能够将存储设备所有硬盘的空间都利用起来，避免了热点盘的现象，也避免了传统 RAID 的写惩罚机制针对某颗 SSD 的超高磨损而带来的故障率升高。ONTAP 针对全闪存储的 SSD 硬盘还有非常多的独特优化，这些优化使得 FAS 全闪存储能够在性能和功能性上都领先于其他竞争产品，这一点也得到了市场本身和第三方权威分析机构的第一名的认可。

● EDA 编译和仿真过程中，如何提高巨量的元数据操作系统响应时间

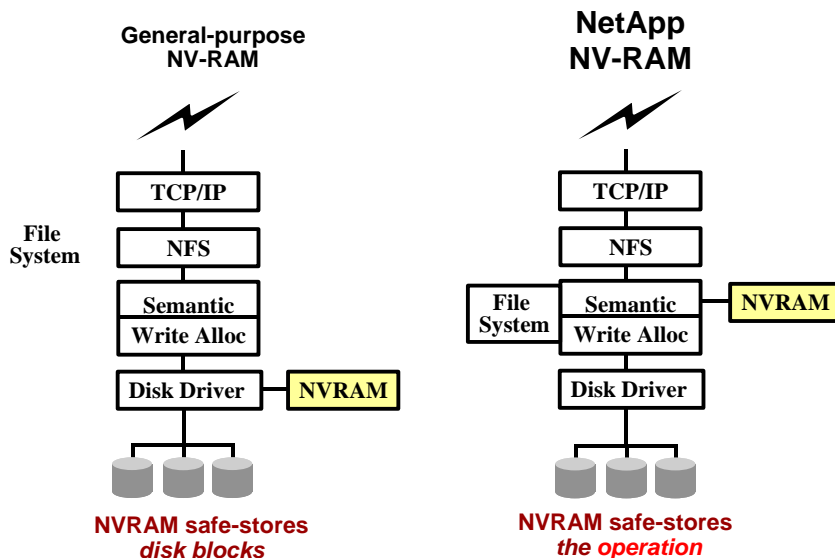
Flash Cache 是一种基于联想凌拓存储控制器（FAS 或 DM）上 NVMe 磁盘性能加速卡，可作为主内存或基本内存的扩展缓冲区。它主要用作读取缓存。Flash Cache 可以非常有效地为元数据和读取工作负载降低延迟。由于 EDA 验证工作负载包含数百万个小文件、大量的元数据需要进行大量读取，Flash Cache 可以为其缓存元数据和数据，从而加快 I/O 请求处理速度，并减少后端磁盘访问次数。这样就可以提升整体 EDA 设计应用程序运行时的性能。它已经获得我们大多数 EDA 客户的一致认可。而联想凌拓建议用户每个控制器上最小配置 1TB Flash Cache 卡用于 EDA 业务的元数据加速。



注：全闪存储不需 FlashCache 来加速全闪盘性能。

● EDA 应用其实是一个巨量文件数的工作环境，如何保证文件系统一致性而不会数据掉失

联想凌拓存储独有专利技术利用存取速度较硬盘快一千倍的 NVRAM 内存，担任文件系统的日志，同时保护 metadata 及 data 的交易纪录，并加速写入的效率和反应时间、保证文件系统的一致性、保证写入的交易不会因断电而流失。

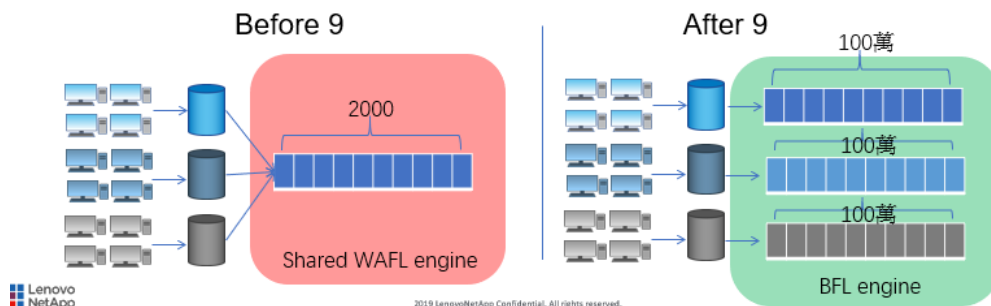


任何时刻文件系统都是处于一致性的状态，即使遇到不正常断电或不正常关机后，也不需执行硬盘检查，即可在复电后 2 分钟内提供服务。

注：1995 年 5 月提出专利申请，在 1998 年 10 月获得专利（专利号码：5, 819, 292），题目为「Method For Maintaining Consistent States of A File System and For Creating User-Accessible Read-Only Copies of A File System」，前半部分就是 WAFL，后半部分就是快照 (Snapshot)。另一项专利于 1995 年 6 月申请，在 1998 年 9 月获得专利（专利号码：5, 948, 110），题目为「Method For Providing Parity In a RAID Subsystem Using Non-Volatile Memory」，这就是如何利用 NVRAM 来加速 RAID，并保护 RAID 数据的一致性。WAFL 结合 NVRAM、RAID、Snapshot 的设计难度极高，故从 1992 年至今仍未有其它厂商可以做到。

● 老化文件系统不断删除和写入，磁盘花费更多的时间找到连续的自由空间及整理文件系统碎片

EDA 业务特性，开始会有大量文件读取，中间会有小文件读写与删除，最后会有大量读写与删除，因为由计算服务器池（Server Pool）同时存取，所以大量读写与删除会同时发生，若 delete 响应时间不够及时，可能导致 timeout。



在 ONTAP 9 以后，Delete queue 的限制改为基于 volume 而非 node，每个 volume Delete queue 高达 100 万 (size >1TB volume)

老化文件系统不断删除和写入，磁盘花费更多的时间找到连续的自由空间及整理文件系统碎片，每周 WAFL 会自动自我扫描检查每颗有资料的硬盘所有区块，检查的周期与时间长度亦可自行调整，在指定的时间内未完成时，也会在下次检查时继续未完成的部分。如此可以提早剔除将会发生故障的扇区，提供更安全、稳定的硬盘环境，更进一步降低风险。

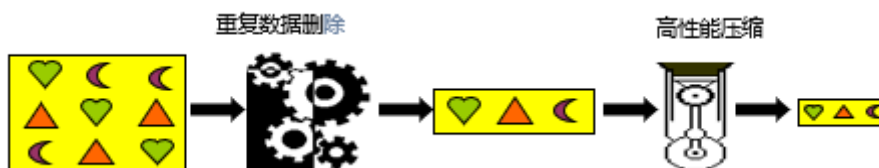
当然，系统可以启动 CSC 功能，只有存储有空闲性能，就启用 CSC 连续磁盘碎片整理功能。

注：全闪存储不存在碎片整理问题。

- **如何得到更高的磁盘利用率，降低购买成本-数据重删及压缩功能**

由于 EDA 工作负载和文件的性质，ONTAP 通过使用重复数据消除可以提供高达 20%的效率，通过使用压缩可以提供高达 30%的效率，总共节省了高达 50%的空间。（根据国内一个实际的 EDA 客户使用存储的监控情况，得到的重删压缩比数据是 1.75:1，即节省了 43%空间）

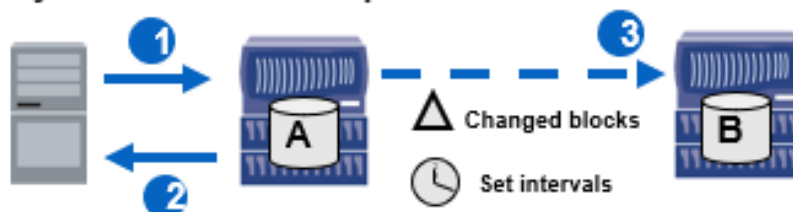
联想凌拓存储全闪存储默认重删除/压缩都是打开的只有 1%到 2%的性能下降，尽可能的提高效率降低磨损率是一个对于全闪存储来说非常关键的要求。联想凌拓存储系列全闪存储在推向市场的第一刻就具备了在线重删和压缩两个关键性数据效率工具。



- **如何保护 EDA 应用重要数据—快照，数据异地复制及双活**

联想凌拓存储另一项较为重要的特色就是 Snapshot 了，每个 Snapshot 都是一个 consistency point，也是一个完整的只读文件系统，WAFL 只要复制指针就可以非常快速的产生一份新的只读文件系统，同时原有使用中的文件系统所占用的硬盘区块都会被锁定，任何要写入的资料都不能再覆盖这些被 Snapshot 过的硬盘区块，而是会写到新的、未被使用与未被锁定的区块。因为只复制指针，所以与真正的文件占用空间相比，至少小了数百倍以上，不但非常节省存储空间，Snapshot 的速度更是能够在数秒内完成 1TB 的快照。

### Asynchronous SnapMirror



同时，联想凌拓存储不需额外软件的协助即可传送有数据更新的硬盘区块，可提供无距离限制的多对多和串联式的异步镜射复制及同步镜像复制，另外凌拓存储提供 SAN+NAS 全方位的两地三中心解决方案。

- 一些 EDA 作业可能会产生更多的 I/O 请求（包括读写），从而导致存储资源的瓶颈，如何识别和管理失控的工作和平衡存储资源的挑战

联想凌拓存储提控 QoS 功能，工作负载包括 IOPS 和数据吞吐量，分别以 IOPS 和 MBps 为单位来度量，设置对象包括：

- Storage virtual machines (SVMs)
- FlexGroup
- FlexVol® volumes
- Qtree (ONTAP9.8)
- LUNs
- Files

包括控制抢占资源的工作负载，管理不同租户不同应用要求，实时调整。

另外，存储能识别和管理失控的工作，EDA 业务管理员能尽快定位及排除故障。

```
Client
a700s::statistics top*> client show -max 100

a700s : 4/17/2019 14:28:25
*Estimated
Total
IOPS Protocol      Node vservers Client
-----
10858      nfs a700s-02 svm_nfs 192.168.200.204
8841      nfs a700s-02 svm_nfs 192.168.100.204
7644      nfs a700s-01 svm_nfs 192.168.200.202
7600      nfs a700s-01 svm_nfs 192.168.200.200
7541      nfs a700s-02 svm_nfs 192.168.100.206
7541      nfs a700s-01 svm_nfs 192.168.100.200
```

```
File
a700s::statistics top*> file show -max 100

a700s : 4/17/2019 14:30:09
*Estimated
Total
IOPS      Node vservers volume File
-----
924 a700s-01 svm_nfs fg1 /mp2-1m8/vdb.1_1.dir/vdb_f8451.file
924 a700s-01 svm_nfs fg1 /mp2-1m8/vdb.1_1.dir/vdb_f8403.file
924 a700s-01 svm_nfs fg1 /mp2-1m8/vdb.1_1.dir/vdb_f8341.file
924 a700s-01 svm_nfs fg1 /mp2-1m8/vdb.1_1.dir/vdb_f8072.file
924 a700s-01 svm_nfs fg1 /mp2-1m8/vdb.1_1.dir/vdb_f8036.file
```

- EDA 业务上云

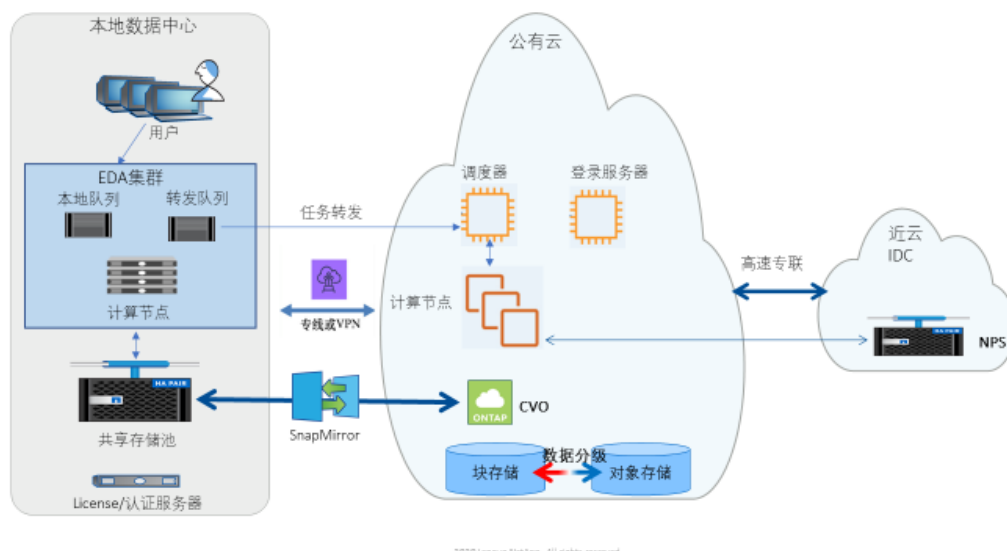
越来越多的 EDA 工作负载要么正在考虑迁移，要么已经迁移到云中，以获得为验证和编译等 EDA 作业租用计算（仅花费运营支出 (OPEX)）的成本优势，而不是花费资本支出 (CAPEX) 和 OPEX 在您自己的硬件和数据中心空间上。

这些工作负载利用云还提供了额外的好处，例如通过在附近的云区域启动实例，能够在世界任何地方本地化这些作业。这在当今流行的在家办公中变得更加明显。

ONTAP 在公有云上提供了许多用于存储 EDA 数据集的功能和选项，包括 Cloud Volumes ONTAP、适用于 AWS 和 Google Cloud 的 Cloud Volume Services、Azure NetApp File、虚拟桌面托管服务、Cloud Insights 以及云中的 Kubernetes 服务与 Project Astra。

此外，ONTAP 还提供诸如用于将冷数据分层到云的 FabricPool 以及用于本地快速缓存现有 EDA 数据集的 FlexCache 卷等功能，这些 EDA 数据集可以从本地或云实例进行部署。使用 FlexCache 和 FlexGroup 卷可以消除在其他 EDA 解决方案（例如 Lustre 上的 AWS）中的一些复杂性，因为无需不断将新数据同步到云，并且单击几下按钮创建单个大型命名空间。

### 仿真业务上云参考架构 Cloud Volumes ONTAP (CVO) 和 NetApp Private Storage (NPS) 实现



7

© 2020 Lenovo NetApp. All rights reserved.

## 4、联想凌拓存储针对 EDA 的解决方案优势

联想凌拓存储为芯片设计公司提供数据存储解决方案。除了提供大量的存储空间，各种芯片设计的逻辑过程中，联想凌拓存储还提供以下功能，有助于缩短整体芯片的设计周期：

- 性能
- 横向扩展架构
- 高可用性
- 存储效率
- 统一存储
- QoS
- 数据保护
- EDA 业务上云

## 4.1 性能

联想凌拓存储能够处理任何类型的工作负载。NVRAM 的独特组合和 WAFL (Write Anywhere File Layout) 和 4KB 大小数据块文件优化写入性能。联想凌拓存储独有专利技术，配合 NVRAM 日志功能，藉由硬盘区块的配置佳化，可将大量的随机写入转为少量的循序写入，真正达到平行写入 (Stripe Write) 并减少磁头移动的次数和磁头移动的距离，加速档案存取和搜寻的速度。这提高了随机读写操作和存储空间效率，同时提供高效备份 EDA 应用数据的能力。

每个联想凌拓存储控制器具备基于 PCIe 闪存缓存 (FlashCache) EDA 的工作量提高读性能和元数据加速功能。

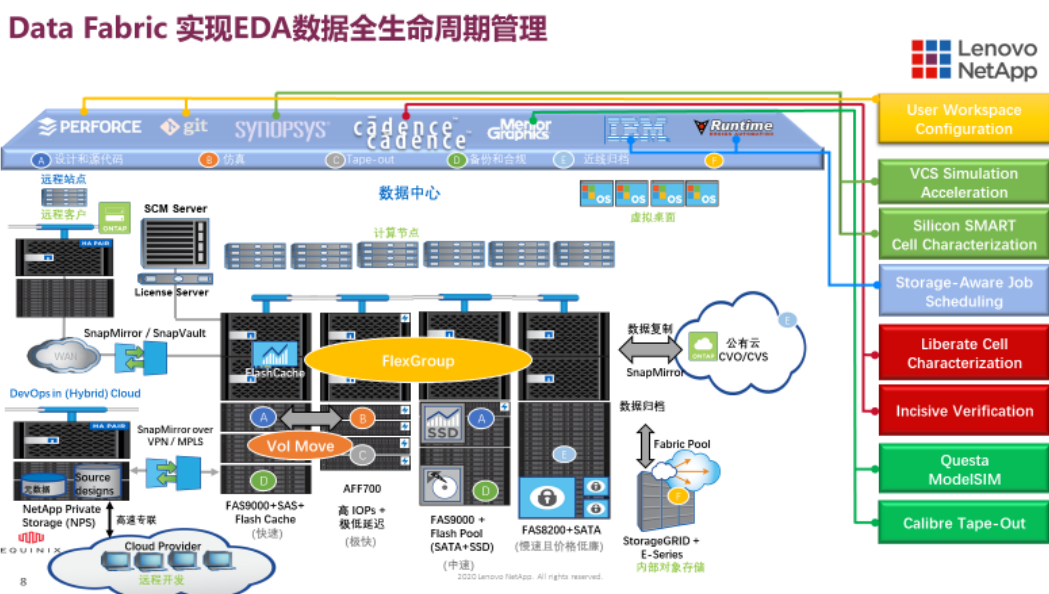
理想情况下，EDA 环境主要使用 NFS 从计算节点上存储卷。联想凌拓和 Linux®开源社区和 RedHat Linux 也有密切合作，提高内核性能，使 Data ONTAP®高效整合。

## 4.2 横向扩展架构实现 EDA 数据全生命周期管理

联想凌拓存储 Data ONTAP 集群是一个集群扩展的架构，并提供了存储效率，如快照，数据远程复制、节省空间的克隆，自动精简配置，压缩，重复数据删除技术，网络负载均衡、FlashCache 加速，FlashPool 存储加速层和不断的数据空间迁移 (Volume move) 操作。

这些集群 Data ONTAP 的能力，为芯片设计过程中运行不同的工作负载，如在一个集群命名空间建立和验证/模拟。同时，也可以有多个集群命名空间，可以运行多个芯片设计过程，作为安全的多租户而不会损害知识产权。

在单一的存储群集可安装程序运行的所有 EDA 的组件，配置存储空间和资源可以实现无缝升级扩展，不中断用户的应用，在计算服务器池 (Server Pool) 增加并发处理量同时，增加存储性能达到更高的整体系统性能。



联想凌拓高度推荐使用高端的闪存存储平台，如 AFF(DMF)，以最大化每个节点中可用的 RAM 和 CPU。

### 4.3 高可用性

联想凌拓存储具有很高的可靠运行时间与 6 个 9 可靠性，进一步提高了可靠性和灵活性在 EDA 的环境，并可提供第三方权威证明（IDC 报告）。

- 联想凌拓存储的高可用性（HA）集群可以提供无缝故障转移，在任何情况下，硬件发生故障时不会造成任何中断，不会影响用户运行。
- RAID-DP 允许有两个磁盘奇偶校验，RAID-TP 允许有三个磁盘奇偶校验，保护 3 块磁盘同时故障。在典型的 EDA 环境中，客户使用单个磁盘池。在 RAID 组中使用磁盘的最大数量（例如，28 个磁盘的 SAS 磁盘），强烈建议有效率地使用可用的磁盘空间，而不是多个小型 RAID 组的集合。
- 不间断的升级（NDU）。联想凌拓 Data ONTAP 存储可以进行固件不间断升级。硬件故障，也可在存储控制器切换。此功能有助于提高存储系统的可用性，同时在存储系统上执行一些紧急和非例行维护活动。EDA 工具在此过程中不会遇到任何中断。

### 4.4 存储效率

多年来，联想凌拓存储始终提供了强大的功能来提高存储效率。

- 快照。联想凌拓存储提供基于指针的快照副本，可瞬间创造快照保护。对性能几乎没有影响，快照副本不承担任何额外的存储空间。可以安排快照计划以创建用于存档 EDA 数据的副本保护。
- Thin Provisioning。联想凌拓存储提供 Thin Provisioning，NFS 配置默认启用 Thin Provisioning。此功能减少了初始存储空间的消耗。
- FlexClone。联想凌拓提供了克隆技术，可以瞬间克隆卷/或文件而不消耗任何额外的空间。在 VC 环境下使用 FlexClone，它是一个强大的工具可以用来克隆一个生产数据快速测试，不影响母卷。在开发和测试程序完成后，克隆卷可以从其父卷中断开，以作为生产环境中的常规卷使用。
- 数据重删、压缩、压紧。联想凌拓提供了数据重删和压缩功能，对于 EDA 数据可以通过重删提供高达 20% 的效率，通过使用压缩可以提供高达 30% 的效率，总共节省了高达 50% 的空间。

注：重删及压缩的功能，建议在全闪存存储系统（>ONTAP9.2）中启用，对性能几乎没有影响及更优的存储空间效率。

### 4.5 统一存储

联想凌拓存储提供多协议支持，例如，NFS，CIFS，FCP、iSCSI 可以在同一个存储并存。一个 EDA 环境主要使用 NFS，在一些情况下，文件系统是在 Windows 用户 CIFS 使用。可以实现相同的文件系统同时提供 NFS 和 CIFS 访问同时保证数据一致性。

## 4.6 QoS

如之前所述，一个典型的 EDA 环境，用户提交成百上千个并发工作队列。调度程序将作业发送到计算服务器池（Server Pool），它有数万甚至数十万个 CPU Core 来处理作业，从而产生大量存储在存储器中的文件。

通过存储服务质量 (QoS) 保障，精细控制每种工作负载的性能，确保应用程序可预测性，助力实现规模化整合。确保存储集群内每一个项目的性能保证。所以 QoS 是针对一个大型混合 EDA 企业一个必不可少的功能。

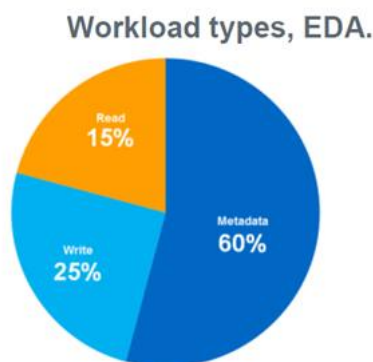
## 4.7 数据保护

联想凌拓存储提供了高效的数据保护服务，这些功能内置在 Data ONTAP 中，提供一致的备份数据，复制整个站点和灾难恢复。

- SnapMirror 和 SnapVault。联想凌拓存储提供数据保护功能将数据复制到一个不同的位置或一个灾难恢复（DR）数据中心。这两种技术都使用快照来执行后台的数据传输，而 EDA 卷则将数据提供给前端的计算服务器。
- SnapRestore。快照将文件或卷恢复到某个时间点，可以通过文件系统指针，在大量文件环境中快速指针恢复。

## 4.8 FlexGroup 性能的优化

EDA 工作负载给存储系统带来了一系列独特的挑战，这主要是由于存储系统具有巨大的容量、高文件数和大量的元数据操作，以及对制造商的高性能要求。



- **容量**

联想凌拓 FlexVol 卷在单个容器中提供高达 100TB 的空间。然而，在某些情况下，EDA 工作负载可能需要超过这个数量。FlexGroup 卷通过 NAS 协议为 EDA 工作负载提供了一个多字节容器，随着数据集的增长，该容器可以无中断地扩展或缩小。FlexGroup 最大可支持 20PB。



- 高文件计数环境

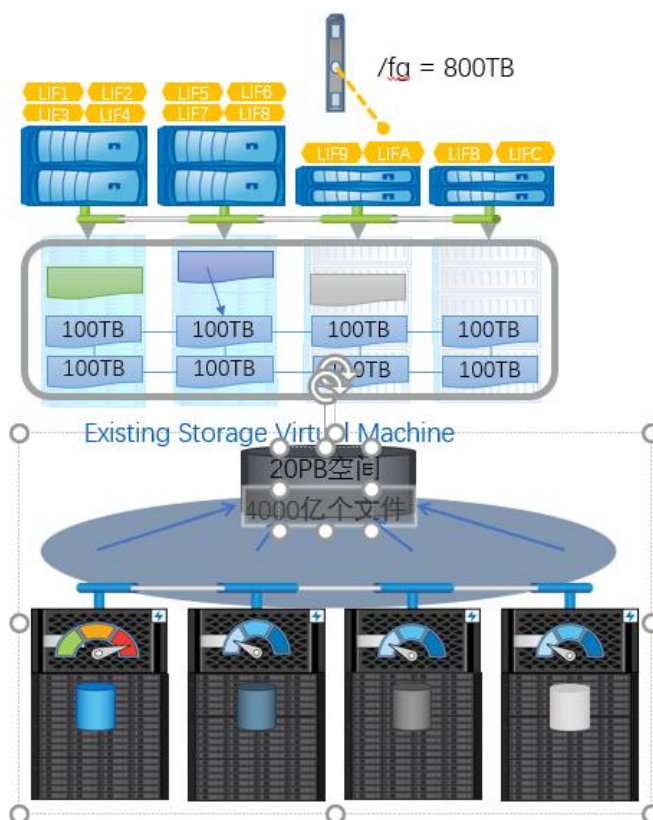
联想凌拓 FlexVol 卷在单个容器中最多支持 20 亿个文件。在某些情况下，这一数额可能不够。EDA 文件系统布局可以包含每个目录的数千个文件，具有深度目录结构。联想凌拓 FlexGroup 卷可以在群集中的多个成员卷和节点上以指数方式增加文件计数，以提供可包含数万亿个文件计数的容器。FlexGroup 最大可支持 4000 亿个文件。

- 性能

联想凌拓 FlexGroup 卷为高文件数、元数据繁重的工作负载（如 EDA）提供多线程并行操作。通过将接收负载分散到多个 FlexVol 成员卷、多个网络接口和多个群集节点上，联想凌拓 FlexGroup 卷以可预测的低延迟提供高吞吐量和 IOPS，这些延迟在大规模上仍然表现良好。此外，在所有 flash FAS 中使用 ONTAP 和 flash 优化可以提高 EDA 工作负载的性能和密度。有关所有 Flash FAS 系统上 EDA 工作负载的性能验证，请参阅 TR-4324。

- 简单

联想凌拓 FlexGroup 卷将容量、高文件计数处理和性能与一个简单、易于部署的容器混合在一个 NAS 命名空间下。数据存取和负载平衡中，由 FlexGroup 卷使用的 ONTAP 子系统自动处理，无需担心数据是本地还是远程放置。有关更多信息，请参阅 TR-4557：联想凌拓 FlexGroup 卷 - 技术概述。



FlexGroup 卷可以很好地处理工作负载，如图所示。

使用了以下配置：

- 2 节点 AFF A700 集群
- 每个节点的单个 800GB 固态硬盘聚合
- FlexVol：单节点，100%本地
- FlexGroup：跨 HA 对，每个节点 8 个成员（总共 16 个成员）

工作量如下：

- GCC 库编译，仅克隆操作（这些显示了 FlexVol 和 FlexGroup 卷的最高最大吞吐量）
- 4 台物理服务器
- 客户机上的用户工作负载/线程从 4 到 224

图 FlexVolume 克隆操作的最大实现吞吐量（读+写）与跨越 2 个节点的单个 FlexGroup 卷进行比较。注意，当工作量达到 64 个线程时，最大吞吐量达到了 Flexvol 卷的近 5X，而没有看到卷看到的相同降级。

Figure 3) FlexVol compared to FlexGroup: Maximum throughput trends under increasing workload.

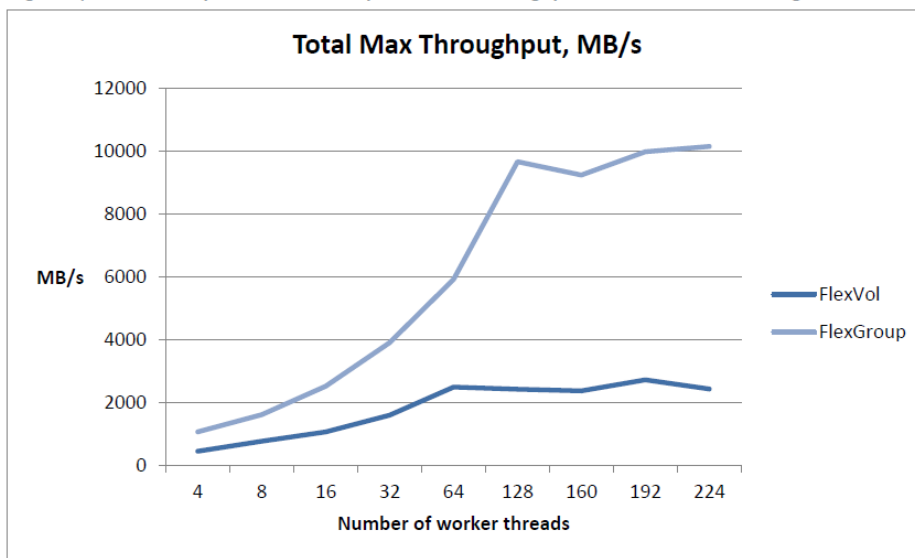
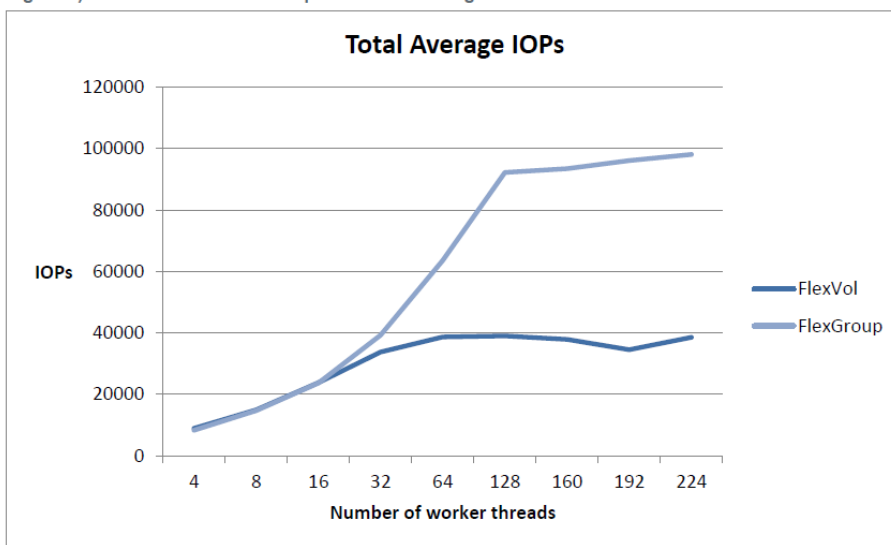


Figure 5) FlexVol versus FlexGroup: Maximum average total IOPs.



## 4.9 EDA 业务上云

如上章所述，联想凌拓提供了 EDA 业务快速上云的解决方案。

## 5、实施指南

随着芯片设计在当今时代的日益复杂，正确的选择存储平台，可以处理计算 Pool 的并发 I/O 请求。

本节介绍了适用于 EDA 环境的 ONTAP 实施指南。尽管 FlexGroup 卷更适合 EDA 配置到存储系统的工作负载类型，但本节也涵盖了 FlexVol 卷，因为 FlexGroup 卷可能缺少特定 EDA 环境所需的特性或功能。

### 5.1 硬件考虑

选择合适的存储平台，随着存储规模和配置不足，可能会导致潜在的存储瓶颈，导致 EDA 工具性能下降。具有多个内核和大内存占用的存储控制器是 EDA 应用程序工具的强烈要求。更快的串行访问 SCSI (SAS) 磁盘或 SSD 应始终用于设计，需要更快的响应时间。

当满足以下存储硬件条件时，EDA 工作负载性能更佳：

- 大内存/RAM
- 用于并发处理的更多内核/CPU
- 大容量

联想凌拓强烈建议在您的销售团队（中端，如 AFF A320，或高端平台，如 AFF A700 或 AFF A800）的指导下使用全闪存存储平台，以更大限度地提高每个节点的可用 RAM 和 CPU。

全闪存存储为 EDA 工作负载提供以下优势：

- 更高的密度容量和更低的功耗，以减少机架占用空间。
  - 更小的机架占地面积也意味着更低的成本。
- 闪存的默认开启的例如 inline 重复数据删除、压缩和压紧，提高了存储效率。
- 驱动器的使用寿命更长。
- 优化性能，延迟比串行连接 SCSI (SAS) 或 SATA 低。
- 支持 NVMe 连接的驱动器。
- 每个驱动器的 I/O 比整个机械驱动器架更多。

#### 其他硬件注意事项：

为了获得更一致的性能级别，请在集群中使用 Flash Cache 卡或 Flash Pool 聚合来处理 EDA 工作负载。Flash Cache 卡能为 FlexGroup 卷提供与它们为 FlexVol 卷提供的相同的性能优势。

如果您已经在使用 AFF 系统，则 Flash Cache , Flash Pool 不会为您提供任何额外的好处。

## 5.2 Aggregate 设计考虑

### 实施指南

- 为了在使用 FlexGroup 卷或多个 FlexVol 卷时获得一致的性能，请确保 FlexGroup 卷或 FlexVol 卷的仅跨具有相同磁盘类型和 RAID 组配置的 Aggregate。
- 用户建立应用可预知性能，选择大控制器，少节点数。
- 少 aggregate，大 aggregate，磁盘 Data aggregate 保留 15%空间，启用 CSC 功能，文件系统碎片整理，全闪不存在碎片问题。
- SAS/SSD 磁盘 Raid Group Size 要在 RAID-DP(21+2 或 22+2)基础上配置。
- 使用多个存储设备，多卷分布数据在不同存储设备，或采用 FlexGroup 功能，避免单控制器的限制。

## 5.3 Data ONTAP

EDA 环境强烈建议采用 Data ONTAP 9 和后来的版本。在需要高度并发性的高文件计数环境中，改进的多线程和多任务存储能力将进一步提高作业处理和响应时间。

### 实施指南

- 它提供了更多的并行网络线程来处理 I/O 请求。
- 它有更平衡的 CPU 利用率在所有的核心。
- WAFL 和 RAID 层现在可以运行更多的异步线程并行。
- 不再有任何子目录或硬链接限制。
- 它有助于顺利删除，删除更均匀应对繁重的写工作负载。

## 5.4 存储网络

确定存储的网络瓶颈，芯片设计在不同阶段的高层次的并发性造成计算 Pool 访问一个以上的存储网络。高网络利用率发生在尖峰期间的验证和仿真阶段，其中在网络流量的读取和写入的峰值分布在整个逻辑芯片设计过程。在这些时刻，用户通常会遇到高 CPU 利用率的存储，从而触发网络的高响应时间。

### 实施指南

- 在每个存储控制器上聚集至少两个网络接口，更高的接口数量能提供更好的吞吐量和响应时间。
- 多个 10GbE 或更高的带宽连接需要的工作量所需的网络性能。不推荐使用 VLAN 集群来分割网络带宽。

## 5.5 Flash Cache

存储上的缓存层减轻了 EDA 负载的 I/O 需求量。随机数据访问加大提高磁盘的性能压力，基于闪存缓存提供更多的读 I/O。

- Flash Cache 基于闪存的高速缓存提供额外的 I/O 读请求，而磁盘数量有助于提高性能的写密集型工作负载。
- 基本内存（DRAM）、Flash Cache 和磁盘之间所有的数据移动都对应用程序完全透明。
- 建议使用 Flash Cache 中的默认设置（元数据和随机模式）。

### 实施指南

- 建议每 FAS 控制器配置最低 1TB 闪存缓存。
- 需要推荐更大容量的闪存缓存设置，这取决于单个控制器上芯片设计的数量，内存中的活动工作集大小，以及其他变量。

注：FlashCache 不适用于全闪存存储。

## 5.6 文件系统及 NFS 考虑

几乎所有的 EDA 工作量访问后端存储控制器的文件系统基于 NFSv3 协议。

- NFSv3 是一个无状态的协议，如 EDA 异步写入。
- NFSv3 的客户端和存储采用远程过程调用（RPC）的通信。
- 红帽企业 Linux（RHEL）6.X 是更常见的 Linux 厂商支持的版本，大部分在半导体公司计算机 Pool 环境中使用。

### 文件系统实施指南

- 新的内核版本的 RHEL（rhel7.2 或以后），优化了 TCP 协议栈。
- 计算节点指定适当的 NFS 挂载选项。
- 保持目录结构尽可能平坦，减少目录的深度，尽量保持卷的目录深度小于 5
- 建议将文件系统扩展到多卷。这将保证更好的 inode 和目录文件数量对性能的影响
- 保持短路径名。长路径名产生额外的 NFS 查找、添加元数据量。查找目录结构中的文件也需要更长的时间。
- 卷的 maxfiles 默认值为每 32KB 对应 1 个 inode，可以增加至每 4KB 对应 1 个 inode。
- 考虑开启 no\_atime\_update 与 minra(避免 read-ahead)，提升性能。
- EDA 模拟的主要协议是 NFSv3。如果需要 NFSv4.x 及其特性，请不要使用 NFSv4.0，而请使用 NFSv4.1 或更高版本。如果您希望在 NFSv4.x 中使用 FlexGroup 卷，请使用 ONTAP 9.8 或更高版本。但是 EDA 场景是 high metadata workloads，要采用 NFS v4 性能要低于 NFSv3。
- 所以在 NFS client 端要指定 mount options 参数：  
vers=3,rw,bg,hard,rsiz=65536,wsiz=65536,proto=tcp,intr,timeo=600

## 5.7 Volume 考虑

使用 ONTAP 部署 NAS 共享时，数据包含在称为“卷”的结构中。此卷代表客户端的唯一文件系统 ID，这有助于确保 NAS 共享在整个 SVM 中保持唯一性。ONTAP 中的卷可以是 FlexVol 或 FlexGroup 卷。

### 选择 FlexVol 或 FlexGroup 卷

在设计 EDA 存储解决方案时，重要的是要考虑要使用的卷类型。FlexGroup 卷可以为高元数据工作负载提供卓越的性能，例如在 EDA 环境中看到的那些，大部分情况建议采用 FlexGroup 卷。但与 FlexVol 卷相比，FlexGroup 卷目前可能缺乏必要的功能支持。需要查阅 FlexGroup 最新的功能支持列表是否满足业务需求。

另外，如果是数据类型是非常大的文件（~GB），建议不用 FlexGroup，更理想的状况是单个文件占用空间不要超过 FlexGroup member volume 的 1-5%。

## 5.8 项目分级考虑

一个 ONTAP 集群在纯 NAS 环境中最多可包含 24 个节点，在存在 SAN 时最多可包含 12 个节点。这些节点可以是高性能节点（例如 AFF）和配置机械磁盘以满足容量需求的较便宜节点的混合。您可以根据 SLA、性能需求、容量要求和许多其他考虑因素构建集群以对工作负载进行分层。例如，您可以在容量节点上预配一个项目以启动，并且随着性能需要提升，将项目无中断地移动到集群中的 AFF 节点以获得高吞吐量、低延迟的结果。当项目生命周期完成时，使用卷 Vol move 将数据重新定位到成本较低的节点，或使用 SnapMirror 技术将其复制到灾难恢复站点。

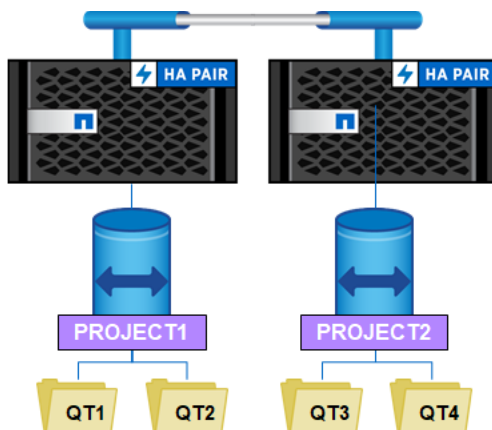
在 ONTAP 9.2 及更高版本中，您可以使用 FabricPool 将项目分层需求带到云中，并将冷数据从 Snapshot 副本或 SnapMirror 目标分层到 S3 存储桶，无论是在公有云中还是使用 ONTAP S3 或 StorageGRID® 的私有云。有关 FabricPool 的更多信息，请参阅 TR-4598: FabricPool 实施指南。

### 数据生命周期管理挑战

在许多情况下，各个构建版本保存在单独的目录中。在 ONTAP 中，您可以根据需要将这些目录设置为 qtree，以利用更精细的导出策略规则和配额。

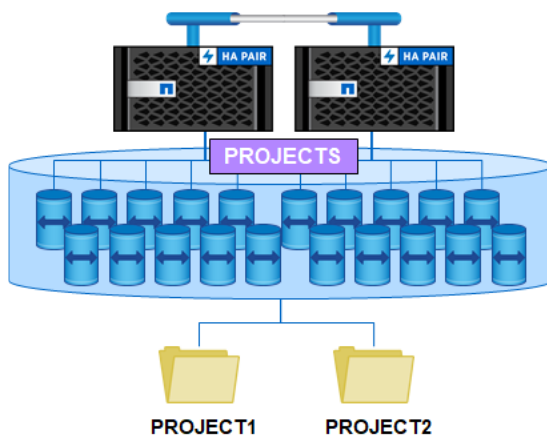
这种方法的缺点是目录和 qtree 中的数据量很大并且难以轻松移动。需要使用 rsync 或 XCP 等工具来迁移这些包含许多文件的大目录。在处理实时数据时，这个挑战更大，因为项目无法承受仅仅为了迁移数据而停机。这使得项目分层变得困难和站不住脚。备份变得基于时间而不是数据驱动，由于构建树结构的复杂性，IT 团队最终会备份过多的数据。

### Build releases using qtrees with FlexVol volumes



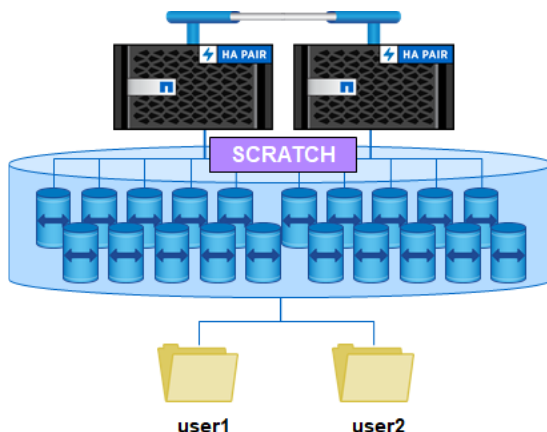
但是，使用 qtree 和 FlexGroup 卷的好处可能会压倒缺点。FlexGroup 卷无需担心单个节点的性能和容量，而是自动将数据工作负载分配到多个节点，所以无需数据迁移和移动，并更有效地利用您的存储资源。当您将 qtree 添加到组合中时，您可以保持数据分布，但会增加比如使用空间上限(Quota)和数据分组(by project)等许多好处，这些好处可能会压倒迁移造成的任何不利因素。在下图 中，虽然只显示了两个 qtree，但在一个卷中最多可以有 4,995 个 qtree。

### Build releases using qtrees with FlexGroup volumes



将暂存空间 (Scratch) 与 FlexGroup 卷一起使用时，最好跨越多个相似的节点并为每个用户工作区分配一个 qtree。然后，为空间和文件使用监控和实施启用配额，以便单个用户不会超出其他用户的容量。此外，在 ONTAP 9.8 中，您可以为这些用户 qtree 设置 qtree QoS 策略，以控制同一 FlexGroup 卷中每个用户的性能。

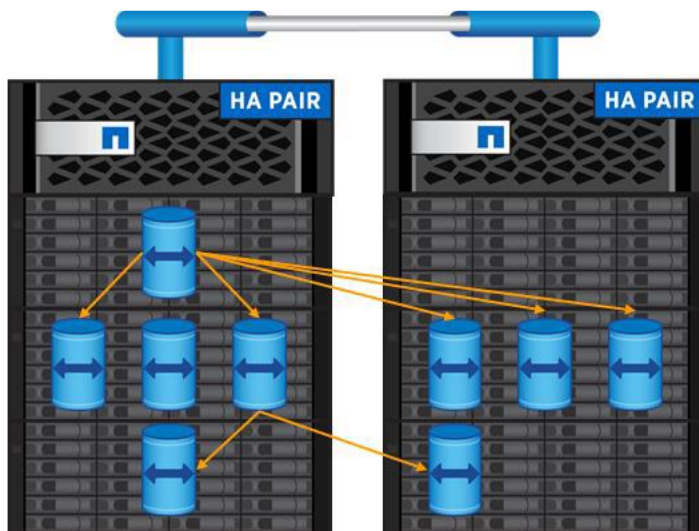
### Scratch space workloads using qtrees with FlexGroup volumes



注意：Scratch 内文件变化率非常大，是否设置 Snapshot 和 SnapMirror 以及相关频率要谨慎评估。另外，根据我们的经验，Scratch 内文件平均大小都接近 10GB，甚至有几十 GB，所以根据之前的实施指南，要评估一下实际环境内是否使用 FlexGroup。

### 数据生命周期管理解决方案

### Volume-based multitenancy using junctioned FlexVol volumes

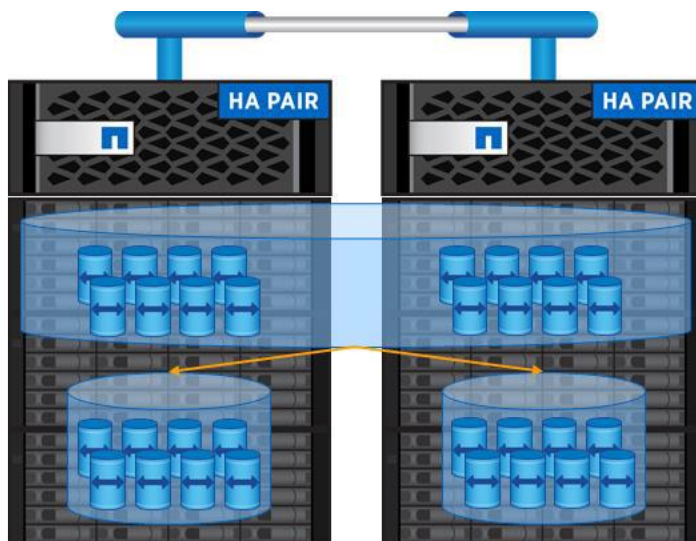


这种方法提供了传统 qtree 和目录无法提供的几个好处，包括能够根据性能或容量需求为单个项目无中断地迁移数据。存储管理员还可以使用 SnapMirror 或 SnapVault 软件复制单个项目，而无需将多个项目（通过使用 qtree）复制到目标站点。

此外，您可以创建 FlexClone 卷来为卷创建测试/开发/暂存空间方案，而使用 qtree 则不能。通过在 ONTAP 9.2 中引入聚合内重复数据删除，此设置聚合中的多个卷提高存储效率。



### Volume-based multitenancy using junctioned FlexGroup volumes



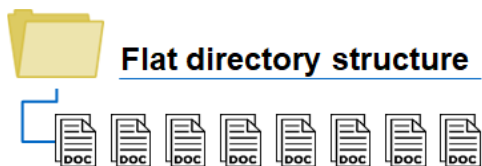
出于许多相同的原因，您还可以将 junctioned path 与 FlexGroup 卷结合使用 - 使用 qtree 的卷无法提供精细数据管理和复制。

FlexGroup 卷挂载到命名空间中的其他卷，就像 FlexVol 卷一样。与单个 FlexVol 卷相比，每个 FlexGroup 卷在系统中使用的整体 FlexVol 卷更多。

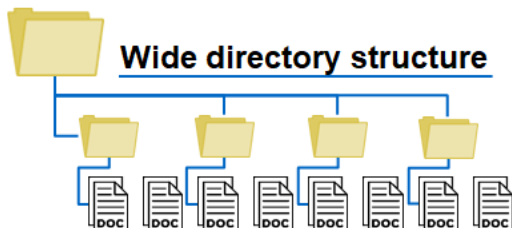
## 5.9 目录结构考虑

当您使用单个文件夹在单个级别包含数百万个文件的平面(flat)目录结构时，maxdirsize 值可能是一个问题。文件、文件夹和子文件夹散布的文件夹结构对 maxdirsize 的影响很小。有几种目录结构方法：

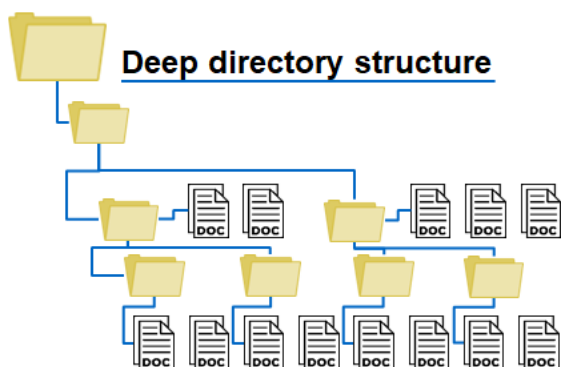
**扁平目录结构：** 单个目录包含多个文件



**宽式目录结构：** 许多顶级目录的文件分布在目录中



**深层目录结构：**较少的顶级目录，但有许多子文件夹；文件分布在目录中



### 扁平目录结构如何影响 FlexGroup 卷

扁平目录结构（单个/几个目录中的许多文件）对各种文件系统都有负面影响，无论它们是否是 ONTAP 系统。影响领域可能包括但不限于：

- 内存压力
- CPU 利用率
- 网络性能/延迟（尤其是在大量文件查询、GETATTR 操作、REaddir 操作等期间）

所以避免采用。

### 目录结构实施指南

- 为了获得更佳的性能，请尽可能避免 ONTAP 中的扁平目录结构。只要文件或文件夹的路径长度不超过 NAS 协议标准，宽或深的目录结构效果更好。
- 如果扁平目录结构不可避免，请密切注意卷的 maxdirsize 值，并根据需要在 NetApp 支持的指导下增加它们。
- 减少目录的深度，尽量保持卷的目录深度小于 5。
- NFS 路径长度由客户端操作系统定义。
- 有关 SMB 路径长度的信息，请参阅 [Microsoft Dev Center](#) 链接。

## 5.10 对象存储和 S3

随着 EDA 公司越来越接近将他们的工作负载放入云中，对象存储的概念作为一种为网格工作负载提供服务的方式得到了更深入的考虑。这篇 [SemiWiki](#) 文章宣传了云对 EDA 计算的好处，并指出了您可能希望将其中一些数据集移动到对象存储的一些原因。

ONTAP 9.8 及更高版本提供本机 S3 对象支持，并且能够为来自同一集群（尽管不是同一卷）的 NFS 和对象工作负载提供服务。TR-4814: [ONTAP 实施指南中的 S3 详细介绍了 ONTAP 9.8 S3 解决方案的工作原理及其适用的位置。](#)

此外，您可以使用联想凌拓 FabricPool 将 ONTAP S3 用作从成本较高的闪存存储中提取冷数据的分层目标。您可以在 TR-4598: [NetApp FabricPool 实施指南](#) 以及 TR-4826: [带有 StorageGRID 的联想凌拓 FabricPool](#) 中了解有关联想凌拓 FabricPool 的更多信息。

如果您正在寻找一个更大规模的对象存储平台，该平台可以跨越多个全球数据中心并提供分布式命名空间以及比 ONTAP 当前提供的 S3 实施更强大的策略驱动对象存储系统，那么联想凌拓 StorageGRID 是一个不错的选择。

## 6、总结

随着芯片设计器件尺寸不断缩小，这意味着设计的复杂性和设计元素的数量大幅增长，对于高并发的 EDA 流程，如我们已经说明了优化存储可以极大地优化 EDA 工具的运行时间，从而提高生产力和缩减上市时间。本文做了一个非常详细的尝试：

- 了解 EDA 工作流和访问模式，
- 了解 EDA 应用层和存储层的挑战
- 建立一个已验证的工作负载，以确定可预知存储性能
- 优化的基础上，确定选用的联想凌拓存储

联想凌拓存储可以优化 EDA 运行的 I/O 性能，不同芯片的设计可以有不同程度的改进，适当的优化存储与定期文件系统维护可以显著提高仿真性能。更多的评估和验证其他 EDA 工具，使用联想凌拓存储、共享、管理并存取设计文件，使用的不同阶段的芯片设计和制造工艺，推动 EDA 行业的业务，这实现两个重要的要求：

- 提高 ROI
- 更快的上市时间

## 7、更多参考资料

### Technical reports

- TR-4617: [Electronic Design Automation Best Practices in ONTAP](#)
- TR-4063: [pNFS Best Practices](#)
- TR-4067: [NFS Best Practices and Configuration Guide](#)
- TR-4100: [Nondisruptive Operations with SMB File Shares](#)
- TR-4571: [FlexGroup Volumes Best Practice Guide](#)
- TR-4523: [DNS Load Balancing in ONTAP](#)
- TR-4598: [FabricPool Best Practices](#)
- TR-4668: [Name Services Best Practice Guide](#)
- TR-4678: [Data Protection and Backup for NetApp ONTAP FlexGroup Volumes](#)



## 关于我们

联想凌拓科技有限公司，是由联想和 NetApp 在中国共同出资、共同注册的合资公司。公司总部设立于天津空港经济区，并在北京，上海，深圳，广州，成都设有分公司。作为独立管理、独立运营的公司，联想凌拓专注于提供智能数据管理解决方案及服务，以中国客户需求为导向，依托领先的技术基因，结合本地化人才优势、研发创新实力、业务覆盖和服务网络，致力于不断推出领先的智能化数据管理技术，帮助中国客户释放数据的惊人潜力，全面打造现代化 IT 架构，加速企业实现数字化转型。

## 联系我们

销售热线：400-116-0099

服务与技术支持热线：400-828-3001

联想凌拓官方网站：<https://lenovonetapp.com/>

扫描二维码了解更多信息：



联想凌拓  
企业微信公众号



联想凌拓  
渠道公众号 - 存储互联



联想凌拓  
bilibili 空中沙龙

©2022 Lenovo NetApp. 保留所有权利