

The background of the entire page is a photograph of a server room. It shows multiple rows of server racks stretching into the distance. The racks are filled with server units, and there are many blue network cables bundled together and hanging from the racks. The lighting is dim, with a blueish tint, and the floor is made of large, light-colored tiles. The overall atmosphere is technical and professional.

arm

白皮書

更聰明的數據儲存

Arm的運算型儲存指南

數十億個儲存裝置的可靠夥伴

更聰明的數據儲存

Arm的運算型儲存指南

arm

2019年9月

白皮書

內容

- 1 關於本文件
- 2 運算型儲存介紹
- 3 運算型儲存如何運作？
- 4 運算型儲存的好處
- 5 運算型儲存架構
- 6 簡略概述：為你的裝置增添運算型儲存
- 7 運算型儲存的創新
- 8 保護你的儲存裝置
- 9 運算型儲存的下一步

1. 關於本文件

這份文件提供運算型儲存的總覽，並討論為傳統儲存裝置與系統增添運算能力的好處。它聚焦於我們夥伴正在開發基於Arm的解決方案，並針對使用Arm Cortex處理器開發智慧儲存裝置，提供實用的建議。

本文件使用下列名詞與縮寫

縮寫	意思
DRAM	動態隨機存取記憶體
FPGAs	場域可程式閘陣列
NAND	非揮發性快閃記憶體
NN	神經網路
NVMe	非揮發性記憶體儲存裝置
NVMe-oF	非揮發性記憶體儲存裝置外接存取
OCI	開放容器計畫
PCIe	快捷週邊組件互連介面
SAS	序列式SCSI(小型電腦系統介面)
SSD	固態硬碟
TCP/IP	傳輸控制/網際網路協定

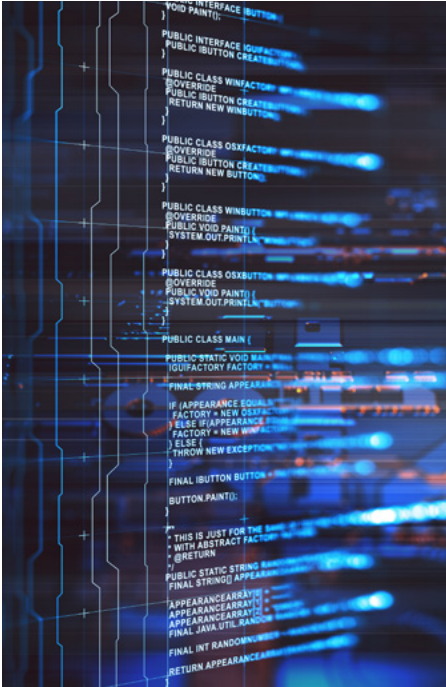
2. 運算型儲存介紹

我們現在可以存取的資訊，更勝以往。預期每年我們產生的數據量將以驚人的27%¹成長，這意味全世界從最大到最小的企業組織，都需要尋找新的管理方式。

不過，企業領袖們想要獲得的不僅僅是數據本身的事實與數字，為了在越來越數位化的世界中成功，他們需要及時的分析與洞見，並把它們轉換成附加價值與服務。因此，支撐他們運作的架構與技術必須能夠以快速且有效率的方式，傳送儲存數據與分析資料。

運算型儲存為傳統的儲存裝置與系統增添運算能力，這可以藉由直接在儲存碟(通常是SSD)上進行處理，因而減少未加密數據安全無虞的移動。

¹ 2018 年到2025年我們創造、擷取與複製的數據量，可望從33皆位元組(zettabyte)成長至175皆位元組。資料來源：Data Age 2025.《世界從終端到核心的數位化》，IDC白皮書。<https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>



我們今日儲存在固態硬碟(SSD)上的巨量資訊，如果想要從資料中取得資訊，必須把它從裝置移至伺服器或處理器。數據的移動，會帶來數個挑戰：

+ 增加延遲

有多項介面與協定會造成延遲。數據從NAND往SSD DRAM移動，以NVMe協定進行封包(package)，然後透過PCIe協定或光纖協定傳送，然後再跨系統移動。它隨後會通過系統的DRAM，最終到達主機的CPU，並且必須在這裡解開封包，數據然後才能夠進行處理。此外，由於儲存的數據比系統DRAM還要大，因此這個流程必須重覆多次。所有這些都需要時間，並且會增加延遲。

+ 消耗頻寬與電力

傳送數據需要能源，並且會產生熱。隨著更多的數據移動，系統的瓶頸會阻礙數據的傳送並增加電力需求，同時造成延遲。

此外，數據在從它所在的儲存區域傳送出來之前，無法進行處理。在數據可用之前，會讓主處理裝置停頓 -- 使用上有了此一落差，伺服器因為等待處理數據而出現閒置，浪費很多的時間與電力。

這非常昂貴(特別是儲存距離處理很遠時)，並會產生額外的運作花費(OpEX)。

+ 增加對安全與隱私的憂慮

未加密的數據從儲存裝置移進與移出，意味有被非被信賴的一方干擾的風險。

把運算能力導入傳統儲存裝置與減少數據的移動，意味企業得以更有效率且以更符合成本效益的方式處理受信任的資訊，並透過機器學習充分獲得大數據的洞見。

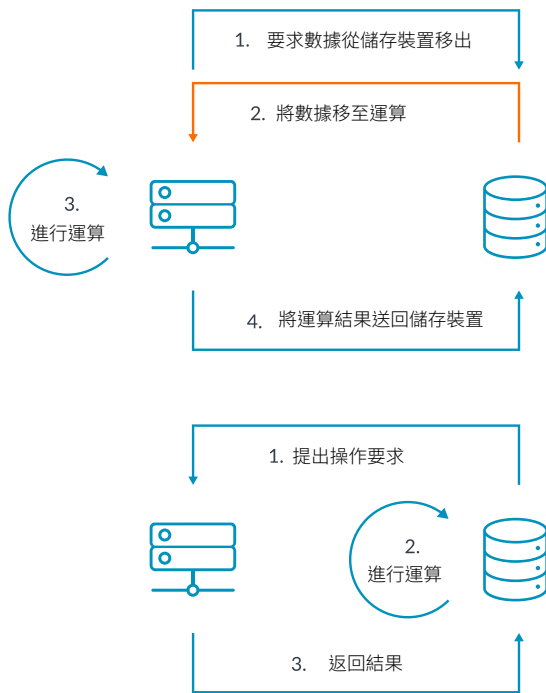
描述智慧型儲存解決方案的方式有許多。除了「運算型儲存」，架構師與設計人員也可以交互使用下列用詞：

- + In-situ processing
- + In-storage compute
- + On-device processing
- + Edge computing or device edge computing

3. 運算型儲存如何運作？

我們以實用的案例來開場：如果我們需要在資料庫中進行搜索，而不是把大量資訊從儲存裝置移動到伺服器來尋找數據，搜尋可以在裝置本身上進行，而且只有搜尋結果會輸出。當你的系統擁有數個運算型儲存裝置，它們可以平行處理數據。你可以想像當你針對大量數據反覆執行這些功能，移動的減少與處理的加速彼此加乘起來，可以變成相當顯著的提升。

如以下所顯示，這樣會限制數據的移動。



傳統儲存解決方案

- ✦ 提出把數據從儲存裝置移出的要求
- ✦ 所有數據移至運算
- ✦ 處理在伺服器內進行
- ✦ 處理結果移回儲存裝置

在大多數案例中，由於系統記憶體與儲存裝置(GB對TB)彼此大小懸殊，此一處理必須重覆數百次。

運算型儲存

- ✦ 提出一個作業的要求
- ✦ 處理在儲存裝置上進行
- ✦ 只有我們想要的結果會輸出到伺服器

-全球網絡儲存工業協會(Storage Networking Industry Association; SNIA)：

「運算型儲存解決方案通常瞄準的應用，是處理不斷成長的儲存工作負載，大於傳統的運算伺服器架構²。」

²資料來源：全球網絡儲存工業協會 <https://www.snia.org/computational>

4. 運算型儲存的好處

運算型儲存可以協助我們在各種的應用中實現新興技術的潛力。我們來看看一些衝擊最大的領域：



物聯網

在儲存碟(SSD)上處理數據，可以幫助降低管理接下來一兆個連網裝置將產生的額外數據量的複雜性與成本。終端裝置產生的數據可以在區域進行處理，只有針對關鍵的數據或改變或警報才需要發出信號。



人工智慧(AI)

即使是依賴大型或壓縮數據的應用，例如影像辨識，都可以近乎即時地進行，而不用等到資訊傳送之後再進行。在緊急的情況下，這可能有改變任何人的一生。



機器學習(ML)

ML機器學習的相關運用可以直接在儲存磁碟機內的數據上直接進行，提升搜尋與返回結果至伺服器的效率，而不是移動數個TB的原始數據到伺服器。利用儲存在磁碟機內的數據運行模型的ML推論，可以用如Arm [Neon](#)等標準處理快速且高效完成，或是使用專門的神經網路(NN)加速器，或可以透過內建在磁碟機內的FPGA來執行。



邊緣運算

為了極大化新興技術如5G、AI與IoT的好處，數據必須在網路的終端或裝置的邊緣³進行處理。這與把運算能力帶到儲存裝置的目標一致。低電力需求意味裝置可以擺在離伺服器較遠之處，毋需傳送大量的數據進行處理。

Arm的夥伴NGD系統公司，正在探索利用運算型儲存來協助航空公司更快速與有效地分析飛航數據。今日，航空公司每個小時都會產生數個TB的數據，要卸載與分析這些數據需要花上數個小時，但營運者根本沒有那麼多的時間。有了運算型儲存，這些飛航分析資料可以即時的在正確的時間點提供給正確的人，為隨時在空中飛行的120萬人提升安全性。

NGD系統公司的Scott Shadley對此提出更詳細的解釋：「當處於一個現代的社會，我們隨時產生極大量的資訊，而擁有分類、搜尋與管理這些資訊的能力，已經超越我們目前架構的範圍。讓運算更加靠近數據帶來無法衡量的價值，而能夠加速數據分析也可以創造出顯著的好處。」

³資料來源：與希捷科技公司合夥進行的《邊緣的現狀》(State of the Edge)報告。

<https://www.stateo.theedge.com/>

4.1 運算型儲存對架構師、開發人員與製造商的好處

運算型儲存提供許多顯著的好處，對於SSD製造商，有如下幾個關鍵的好處：

1

更快的反應時間與減少的延遲時間

把運算能力移至需要之處，可以讓結果以近乎即時的速度進行遞送。在資料能被處理之前，不需要封裝在協定中，透過路由器和交換機移動和複製，然後在伺服器上解壓縮。



2

極小的頻寬與電力使用

數據仍然留在儲存碟(通常是SSD)上，只有結果遞送到伺服器。這讓裝置依需要，可以只安裝在網路的終端。



3

以數據為中心的處理

具有時效性運算需求的工作負載，部署在儲存碟上。



4

提升的安全性與隱私性

未加密的數據，不會離開儲存碟(SSD)進行處理。



5

擴充性

隨著更多的裝置加入系統，運算資源也跟著擴展。



6

彈性

SSD可以在不影響目前運作情況下，增加運算力。已經內建的額外能力，未來可以加以利用。





4.2 運算型儲存對組織的好處

根據IDC市場研究公司的報告指出，在2025年之前全球將有近乎三成的數據需要即時處理。這意味：

「想要提供卓越的客戶體驗並擴大市佔的企業，
必須擁有可以迎合即時數據成長的數據基礎架構⁴。」

目前，大量的數據在硬碟、SSD或數據池上集中與儲存。不過，數據必須要移動，企業組織才能獲益。有了運算型儲存，原本花在移動數據的時間，將可用來處理數據。

對於企業組織，其它的好處包括：

1

更低的成本

數據中心內伺服器工作負載變得較低，需要電力也會減少，因此運作與冷卻成本也會比較低。



2

降低實體佔地面積

由於需要儲存與管理數據的伺服器數量較少，基礎建設因此變得較為精簡，成本也比較低。



3

提升效率

人們幾乎可以即時存取資訊。送出要求後的完成時間會比較快。



4

提升數據中心內的數據安全

未加密的數據，不會離開儲存碟(SSD)。



5

最佳的管控

企業組織擁有額外的能力，卻不會因此被拖累。他們可以使用通用的程式碼，以及可以安裝在桌上型或筆電的開放原始碼作業系統與容器(containers)軟體，來利用運算型儲存。



⁴ 資料來源：2025年數據年代。《從終端到核心的全球數位化》- 由希捷科技贊助的IDC 白皮書 #US44413318 <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>



5. 運算型儲存的架構

SSD已經擁有相當顯著的內建運算能力，而運算型儲存則利用這一點，從中獲益。從傳統的儲存解決方案轉換至更有智慧的裝置，只需要在系統單晶片(SoC)的控制器上進行極小的改變。

5.1 蘊含的議題：電力與成本需求

- ✦ SSD內部通常已經擁有大量的DRAM，一般為每TB的NAND搭配大於/等於1GB的DRAM。以SSD控制器內部元件的整體耗電量與成本來說，此一處理的需求讓運算型儲存得以獲得部署，而不會顯著增加耗電量與成本。
- ✦ 儲存碟(SSD)可供運算型儲存任務取用的運算單元，可能不太一樣。在比較低階的運用上，可能只仰賴既有的運算處理能力在背景處理，或是在深夜複在比較低的情況下處理。如果需要更多運算型儲存效能，SSD控制器可以增加額外的處理能力，包括從Arm高效率的CPU一直到多叢集的Arm高階高效能CPU。此外，我們也可以用專屬的NN(類神經網路)處理器來增加特別的處理能力，以加速一般的AI/ML運用，或是靠整合專屬的硬體加速器或FPGA。

5.2 與業界標準一致

- ✦ [全球網路儲存工業協會\(SNIA\)已經建立運算型儲存的技術工作團隊\(TWG\)](#)，以訂定業界標準，並鼓勵裝置與系統間的可交互作用性，而Arm也是這個團隊的創始成員之一。團隊共有超過四十個代表的公司，彼此通力合作為不同類型的運算型儲存定義相關的方法。在大多數情況下，伺服器系統必須能夠將工作負載部署至儲存碟(SSD)，然後引動這些工作負載並接收結果，不過專屬的分立系統也能派上用場。提供運算型儲存磁碟機服務與能力的方法正在開發中，以確保運算型儲存碟(CSD)的標準化，並確保由多家廠家提供的磁運算型儲存碟(CSD)能被採用與部署。

對於固定用途與可程式化運算型儲存服務的定義，TWG已完成統一。如同其名稱所暗示，固定用途的運算型儲存服務提供可以進行組態與使用的固定功能。可程式化運算型儲存服務可以進程式化，以提供一種或多種運算型儲存服務。

存取固定與可程式化的運算型儲存服務，可能包含延展其介面(NVMe、SAS等)協定以增加新的指令。這讓運算型儲存碟(CSD)接收到指令時，指令會被截取，然後採取特定的行動。增加新的協定指令需要業界的統一，以確保來自各個製造商的裝置彼此能夠交互運作。



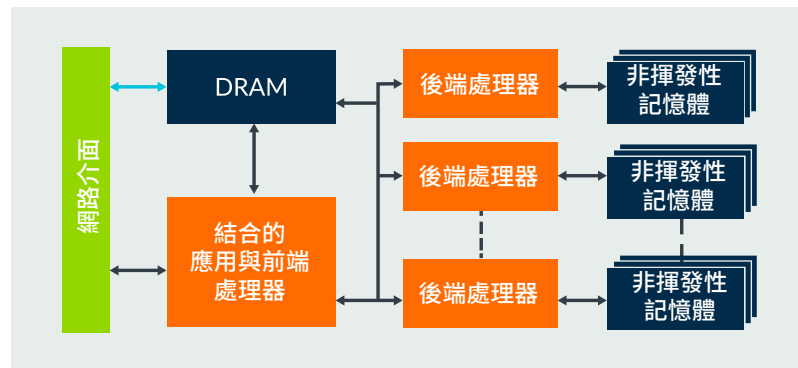
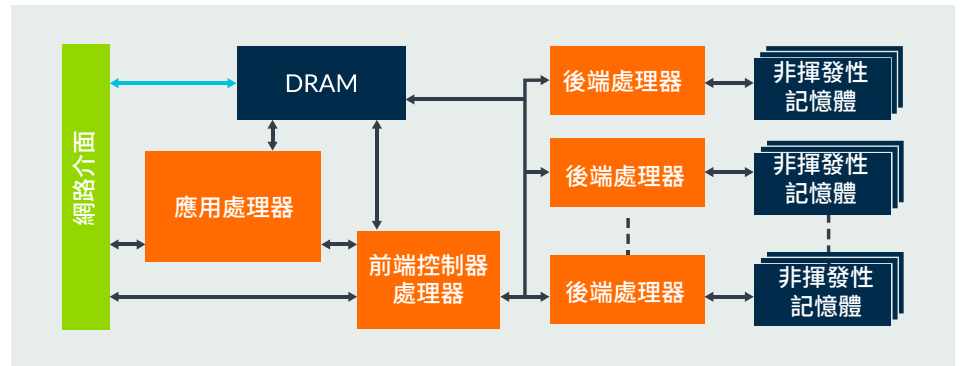
5.3 利用運算型儲存

- + 利用運算型儲存的第一步，是找到與運算型儲存合規的裝置與服務。
 - + 每一個裝置都必須宣告其可用的服務，以便主機能利用磁碟機的這些能力。
 - + 其次，服務必須適當地進行組態。這包括能讓服務可以適當運作的參數組態。
 - + 一旦完成組態後，運算型儲存服務儲存碟可以直接使用這些服務，或是透過相介接的儲存介面(NVMe、SAS等)執行標準的儲存運作，間接使用服務。在使用固定用途運算型儲存服務的情況下，固定指令可以調用運算型儲存功能以針對數據執行行動。在可程式化運算型儲存服務情況裡，指令可以啟動工作負載或進行下載。
- + NVMe可能是支援運算型儲存第一批完成強化的儲存介面。NVMe可以透過PCIe搭載，讓伺服器直接把任務卸載給直接附接的儲存碟磁。在另一種情境下，非揮發性記憶體儲存裝置外接存取(NVMeoF)允許這些磁碟機可以部署在距離伺服器適當距離處，譬如透過TCP/IP以標準乙太網路進行連接。隨著運算型儲存的演化，TCP/IP埠可以加入磁碟機放在PCIe/NVMe埠的旁邊，或是完全取代PCIe/NVMe埠。
- + 一種賦予可程式化運算型儲存服務的方式之一，就是讓開放原始碼的Linux作業系統在儲存碟(SSD)上運行。這樣會讓儲存碟看起來像是標準的伺服器，因此可以用與其它伺服器完全相同的方法進行管理在相同的基礎架構之下。例如，我們可以使用標準的Linux開放原始碼環境來開發運算型儲存碟(CSD)，然後利用常用的開放原始碼應用如 [Docker](#) 或 [Kubernetes](#)，進行容器化、下載與管理。這讓儲存碟轉型成數據中心內部可以部署與管理的伺服器，或遠端部署成符合成本效益的終端伺服器。

用戶要利用Linux運行可程式化的運算型儲存服務，必須在他們的桌上型電腦或筆電上撰寫C語言，以便對數據執行想要的功能(搜尋、調處等)。此一C語言可以利用安裝在用戶電腦上如Docker的工具，編譯成OCI合規的container image。編譯完成後，container image可以利用協作器部署至運算型儲存驅動器，並以如runc等OCI合規的容器運行版進行執行。同樣地，容器軟體必須在儲存碟(SSD)上利用Arm處理器與Linux一起運行才行。此時，可執行的內容發揮與當初被寫入時完全一樣的功能，並彷彿是主機電腦般針對來自儲存碟(SSD)的數據提出要求，並執行運算。

- ✦ 一般SSD控制器的前端與後端的運算通常由 [Arm Cortex-R 處理器](#) (Cortex-R82, Corext-R8 或 Cortex-R5) 負責處理。Cortex-R系列提供即時的能力，以確保及時處理對延遲承受度極低的控制碼。它們通常具有與處理器緊密耦合的一些記憶體，特別適合用來進行快速的執行以及對控制結構進行調處。若要賦能運算型儲存，一種可應用的處理器，例如[Cortex-A 處理器](#) 系列或[Cortex-R82](#)必須加入SSD控制器(SSD controller)，而這僅牽涉到進行極小的改變。

儲存內運算：



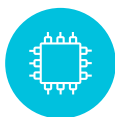
開發儲存控制器時，為運算型儲存增加額外的運算力是非常合乎成本效益的，特別是在現行採用的小型流程構造(small process geometries)，而且與儲存碟(SSD)內的大型記憶體相比，增加的成本微乎其微。開放原始碼軟體包括Linux與container software，讓運算力能夠派上用場。

藉由在儲存碟(SSD)上運行Linux，而這個儲存碟(SSD)同時可運行安全、標準的即時韌體，兩者可以隔離運行。如此我們可以取用大型開放原始碼社群的好處，來開發運算型儲存的工作負載。Arm已經和Linaro協力確保所有領先市場的Linux應用不但都已完成移植，同時也針對Arm處理器完成優化。2010年創立的 [Linaro](#) 持續與多家合作夥伴共同努力以Arm為基礎，打造興盛的Linux生態系統。

NGD系統公司曾經使用名為OpenALPR的開放原始碼應用。這個應用可以讓主管機關搜尋與比對汽車牌照，以展示運算型儲存裝置的優勢與可以平行處理各種任務的能力。OpenALPR透過Docker載入儲存碟(SSD)；容器(containers)的使用讓該公司得以即時運行不互相匹配的各種應用。

6. 簡略概述：為你的裝置增添運算型儲存

總結來說，實行運算型儲存有幾種方式，包括將Arm Cortex-A處理器嵌入SSD控制器的系統單晶片中。這種方法已經被多家Arm的合作夥伴所採用。



步驟一：應用處理器

Cortex-A處理器提供高效能與高效率的解決方案，並且專為複雜的運算任務設計。Cortex-R82處理器為高性能即時和性能進行了優化。這些具應用能力的處理器可以整合進入位於主數據途徑上或旁邊的SSD控制器SOC內。我們必須為核心開通通訊途徑，以便提出數據從SSD控制路徑移出的要求。



步驟二：基於Linux的作業系統

我們可以打造精簡版的Linux作業系統來運行Cortex-A處理器或Cortex-R82處理器。針對此一Arm處理器產品選項，Linux已經完成優化。Linaro是Linux核心的前五大貢獻者之一，透過我們對它的持續支援與投資，我們協助開發人員取用最尖端的程式碼，而這些程式碼不但可以免費取用，而且已經準備就緒可以在Arm上運行。業界的代表與開放原始碼社群通力合作開發可以減少碎裂(fragmentation)與冗餘(redundancy)的專案與工具，同時提供共同的基礎。



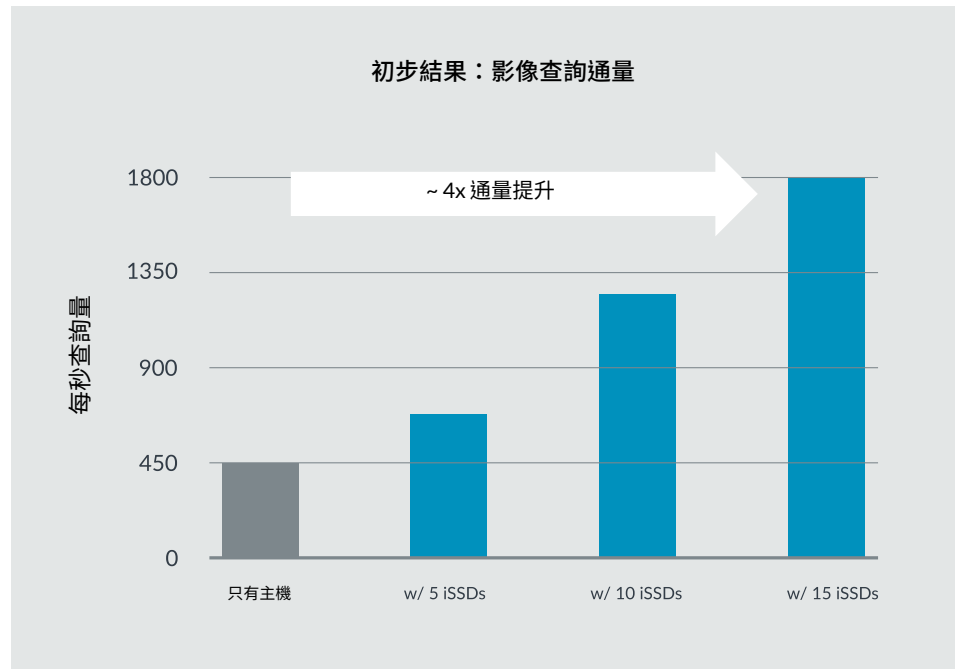
步驟三：容器化的工作負載

包括Docker與Kubernetes在內的開放原始碼容器(containers)軟體，可以用來讓工作負載容器化。我們可以在Linux安裝軟體上安裝包裝，也可以在標準的PC上打造運算功能。供這些運算功能使用的container，則可下載至Linux的安裝軟體，並在Linux容器上運行。

Docker與Kubernetes是我們由數千個合作夥伴組成的多元生態系統的一環，這些夥伴利用他們的專業協助製造商降低與Arm相關的開發成本與風險，同時縮短產品的上市時程。

7. 運算型儲存的創新

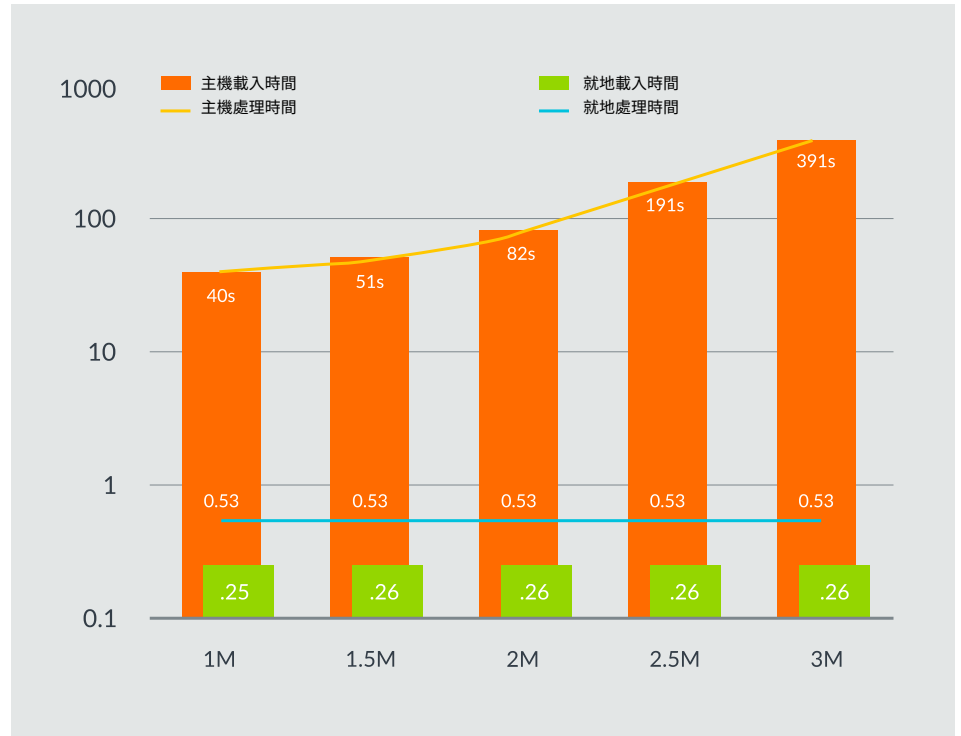
總部在加州的NGD系統公司一直與微軟研究院合作進行概念的驗證，以展示運算型儲存的優點。根據一項進行影像研究的試驗初步結果顯示，替SSD增加運算能力後與在主機裝置上處理數據相比，不但可以帶來顯著的吞吐量提升，每秒可以處理的影像查詢數量並可以提升四倍以上。



資料來源：NGD系統公司/微軟研究院

這個團隊利用NGD系統公司的 [Newport 運算型儲存平台](#)，讓數據不需移動就能進行處理。該團隊的就地處理能力，是在Arm Cortex-A53處理器上運行Linux64位元作業系統，而該處理器則是嵌入SSD控制器。

行銷副總Scott Shadley解釋說：「我們持續與微軟研究院合作來展示以Arm為基礎所建立的運算型儲存，讓分析大型數據更有效率，且符合成本效益。當我們考量到每個儲存碟(SSD)內的處理器數量，而不單只是考量伺服器內部能力時，可用的運算資源也會更多。」



[類似的研究](#)也表明出潛在的好處。NGD系統公司使用臉書的人工智慧相似度研究 (FAISS)，每秒的詢問數量顯著提升。在這項測試中，傳統伺服器針對所選擇的數據集，完成所需時間超過六分鐘。當他們使用運算型儲存，完成時間不超過半秒，並且維持服務的品質。



8. 保全你的儲存裝置

隨著數據的數量與價值與日俱增，破解管理與儲存數據的裝置安全性的嘗試，也越來越多。

安全性應該從頭開始就內建在裝置內，並隨著威脅的進化，具有更新安全性功能的能力。[平台安全架構\(PSA\)](#)提供一個框架，以確保所有裝置都有基礎層級的安全性，並達成一套基礎的安全性目標。它透過四個階段，降低開發安全產品的成本與複雜性：

- ✦ 分析：評估您的資產價值與所面臨的威脅
- ✦ 建構：硬體與軟體規格
- ✦ 實施：PSA合規的開放原始碼參考程式碼與API
- ✦ 認證：獨立的認證機制

我們擁有各種安全性矽智財可以支援我們的安全性目標，例如[Arm TrustZone](#)：這是一種驗證過的技術，迄今已經在數十億個系統單晶片內保護高價值的程式碼與數據。它在保全與非保全的程式碼之間提供隔離，這可以確保標準的SSD韌體被隔離，並針對新的工作負載獲得保護。Linux具備內建的安全性功能，並且是一套受到信任的作業系統。

9. 運算型儲存的下一步

運算型儲存讓我們得以為企業組織與社會，把大數據的優點極大化。它把運算力擺在需要的地方，並讓我們快速且簡便地存取重要的資訊。我們正與我們的夥伴共同努力以確保我們的產業設計出正確的儲存解決方案，而所有人都能從相關的發展獲益。



數據中心

「對於超大規模的儲存架構師而言，尋找一個避免數據在裝置間、甚至在同一個機架間移動的方式，將是至高無上的需求，而降低處理這些數據所消耗的電力，也一樣重要。」

- NGD系統公司行銷副總裁Scott Shadley



智慧城市

「運算型存裝置將被用來打造更強大且空間利用效率更高的終端系統。這對於透過5G網路提供服務與IoT及智慧城市等提案，極為重要。」

- Eideticom公司科技長Stephen Bates



汽車

「我們相信未來一輛自駕車就會產生超過4TB的數據。這些數據有一些會儲存在車內，且必須上傳至雲端進行如AI模型或3D地圖更新等進一步分析。為了決定哪些數據應該上傳，先行處理將是必要的，原因是考量到網路過載壓力，把所有數據都上傳並不是選項。針對這一點，運算型儲存是以最有效且最具生產力方式，能夠提供先行處理很棒的工具。」

- 邁威爾科技公司邁威爾科技長辦公室架構與解決方案副總裁兼研究員Noam Mizrahi

更多資訊

造訪我們的[網站](#)以獲取更多有關運算型儲存的資訊，或開始著手開發您自己的智慧儲存裝置。此外，您也可以[聯絡我們的專家](#)，獲取更多資訊。

arm

All brand names or product names are the property of their respective holders. Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in, this document may be adapted or reproduced in any material form except with the prior written permission of the copyright holder. The product described in this document is subject to continuous developments and improvements. All particulars of the product and its use contained in this document are given in good faith. All warranties implied or expressed, including but not limited to implied warranties of satisfactory quality or fitness for purpose are excluded. This document is intended only to provide information to the reader about the product. To the extent permitted by local laws Arm shall not be liable for any loss or damage arising from the use of any information in this document or any error or omission in such information.

© Arm Ltd. 2019