



DPU 功率效率

白皮書

目錄

運用 NVIDIA BlueField DPU 提高資料中心功率效率.....	5
資料中心革命.....	5
資料中心電力消耗逐漸增加.....	6
降低資料中心能源成本的策略.....	7
使用特定領域處理器提升伺服器效率.....	9
測試硬體加速 DPU 卸載功能以降低伺服器功耗.....	9
5G 使用者平面函數功能卸載加上 CPU 微休眠.....	10
使用 BlueField-2 DPU 卸載 OVS 網路.....	11
將 IPsec 安全性卸載到 BlueField DPU 可為每個伺服器節省高達 247W.....	13
使用 VMware vSphere 和 Redis 鍵值資料庫進行網路卸載.....	15
從瓦數到美元的網路卸載節能成果.....	17
能源價格飆升表示 DPU 卸載可大幅節省成本.....	18
DPU 卸載和能源效率可額外節省成本.....	20
DPU 卸載所節省的整體擁有成本.....	23
DPU 卸載是提升資料中心效率的下一波浪潮.....	24

圖表清單

圖 1：	預計到 2030 年，資料中心的耗電量將佔全球電力需求的 3% (最佳情況) 至 13% (最糟情況) (資料來源：華為於 2015 年發佈的論文，作者：Anders S.G. Andrae)。	6
圖 2：	資料中心 PUE 自 2007 年以來大幅提升，但近年卻變化不大。(資料來源：Uptime Institute 2021 年問卷調查)。	8
圖 3：	電信 UPF 工作負載在閒置、50% 負載和 100% 負載時的 CPU 效率和網路卸載 CPU 節能成果。	10
圖 4：	與在 CPU 核心執行 OVS 相比，BlueField DPU OVS 卸載可減少 127 瓦或 29% 的功耗。	12
圖 5 與 6：	Testing of IPsec 加密與解密測試顯示卸載至 BlueField-2 硬體比起完全於軟體中執行 IPsec，可大幅節省能源。IPsec 用戶端和 IPsec 伺服器都大幅節省能源。	14
圖 7：	在 25Gb/秒網路上測試使用 VMware vSphere 分散式服務引擎處理 Redis 工作負載，顯示卸載網路至 GPU 時，可節省 12 個核心，且 Redis 效能更快。	16
圖 8：	2022 年初，由於烏克蘭戰爭，義大利、法國和德國的平均能源價格增加了一倍 (或以上)。(資料來源：Axios 圖表取自 Rystad Energy 資料。)	19
圖 9：	2007 年一般資料中心的一般能源使用狀況明細資料，只有 50% 的電力用於 IT 設備，且 PUE 為 2.0 (資料來源：美國環境保護局 Energy Star Report to Congress on data center efficiency (資料中心效率能源之星國會報告)，2007 年 8 月 2 日)。	21
圖 10：	2014 年一般美國資料中心的能源使用狀況明細資料，其中有 57% 的能源用於 IT 設備，只有 43% 用於冷卻、佈建能源、照明和其他用途，以至於 PUE 提升為 1.75。(資料來源：「United States Data Center Energy Usage Report」(美國資料中心能源使用狀況報告)，作者：勞倫斯柏克萊國家實驗室的 Sehabi 等人，於 2016 年 12 月 發佈。)	21

表格清單

表 1.	Ericsson 發佈的 CPU 效率 (微休眠和頻率調整) 以及電信 UPF 工作負載網路卸載帶來的 CPU 節能成果。	11
表 2.	為無線電信工作負載將 OVS 卸載至 BlueField DPU 時的節能成果。	12
表 3.	將 IPsec 加密從 CPU 卸載到 BlueField DPU 可節省電力。	15

表 4. 計算將 VMware ESX 網路卸載至 BlueField DPU 的總體擁有成本時，Redis 工作負載起初於 10,000 部伺服器上執行，且每部伺服器每秒支援 1,400 萬次 Redis 交易。..... 17

表 5. 電力價格飆升越高，表示 DPU 卸載節省成本越高。根據眾多國家/地區和美國州別 2020/2021 年的電價，預估使用 DPU 卸載技術將每部伺服器電耗降低 200 W，搭載 10,000 部伺服器的資料中心 3 年內預估可節省的成本。..... 18

表 6. 一般資料中心 PUE 比率逐漸下降，以及不同 PUE 等級下，每部伺服器節省 100 瓦能源時的總節省能源。..... 22

運用 NVIDIA BlueField DPU 提高資料中心功率效率

由於成本上升和電力容量限制，能源效率對資料中心日益重要。提升效率的最佳方法之一是使用資料處理器 (DPU) 或 SmartNIC 卸載並加速網路、資安、儲存或其他基礎架構功能及控制層應用程式，進而將伺服器耗電量降低達 30%。隨著伺服器負載增加，節省的電力也會隨之增加，在伺服器為期 3 年的生命週期內，輕鬆為搭載 10,000 部伺服器的大型資料中心節省 500 萬美元的電力成本，還能額外省下冷卻、電源供應、機架空間和伺服器資本等成本。

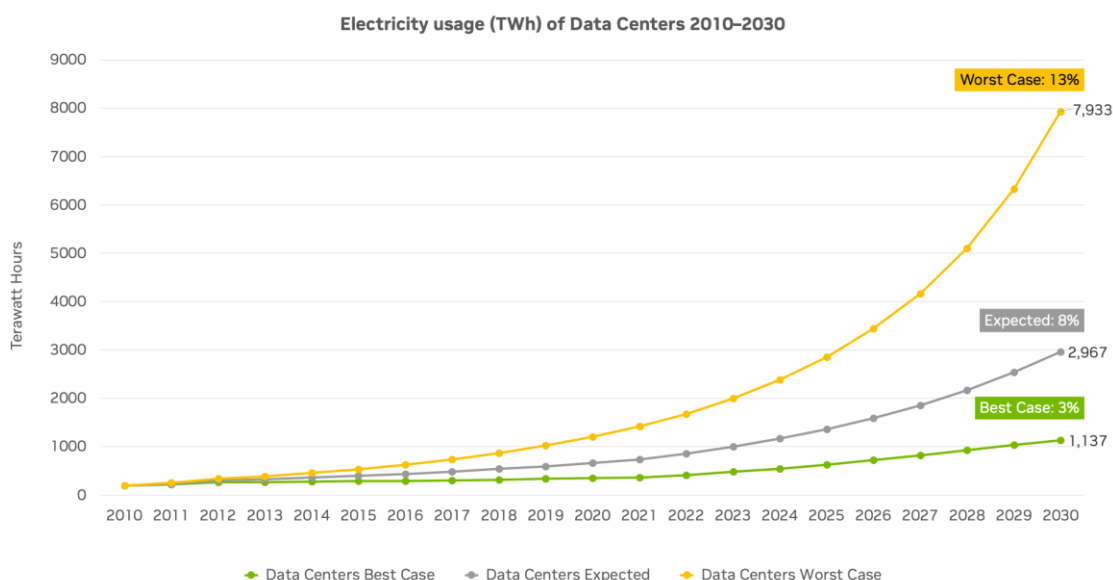
瞭解為什麼能源效率日益成為重要 IT 指標，以及改善資料中心功率效率的六大策略。檢視多個範例，瞭解 [BlueField DPU](#) 加速和卸載功能如何降低電力消耗，同時降低資本支出和營運成本，以提供較低的整體擁有成本。

資料中心革命

電力效率起初不是資料中心的重點。諸如最大化運算密度、加速上市時間，以及使用備援系統達到高度可用性等其他標準，才是首要之務。現在大多數資料中心都可以快速上線，並提供高可用性、改善功耗和降低相關能源成本，已成為最佳化現有資料中心和設計新資料中心時的首要目標。

資料中心電力消耗逐漸增加

目前估計資料中心消耗的電力占全球電力產量的 1% 以上；佔美國電力產量的 1.8%；¹以及歐洲電力產量的 2.7%。²根據華為在 2015 年發表的研究報告，預計到 2030 年，資料中心消耗



電力將提升至佔全球電力產量的 8% (最可能的預估值)，甚至高達 13% (最嚴重狀況的預估值)。³

圖 1：預計到 2030 年，資料中心的耗電量將佔全球電力需求的 3% (最佳情況) 至 13% (最糟情況) (資料來源：華為於 2015 年發佈的論文，作者：Anders S.G. Andrae)。

¹ 「[United States Data Center Energy Usage Report](#)」 (美國資料中心能源使用狀況報告)，作者：勞倫斯柏克萊實驗室的 Arman Shehabi、Sarah Josephine Smith 等人，於 2016 年 6 月發佈。

² 「Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-Friendly Cloud Market」 (節能雲端運算技術與推行環保雲端市場的政策) [歐洲委員會報告](#)，作者：奧地利環保局與 Borderstep Institute，於 2020 年 11 月 9 日發佈。

³ 「On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030」 (通訊技術的全球電力使用狀況：至 2030 年的趨勢)，作者：Huawei Technologies Sweden AB 的 Anders S.G. Andrae 與 Tomas Edler，於 2015 年 4 月 30 日發佈。

最近，由於高度需求、供應鏈限制，以及石油和天然氣供應受到地緣政治破壞，全球電力價格持續飆升。此外，許多資料中心面臨電力供應的嚴峻限制，也就是說，即使擁有者願意付費，花再多錢也無法為資料中心供應額外電力。這為提升效率帶來強大誘因，以便在同一資料中心中支援更多應用程式、租戶並提高生產力，而無需再建置或租用另一個資料中心。

雲端服務供應商也在持續面臨競爭壓力，得在降低軟體、平台和基礎架構即服務 (SaaS、PaaS、IaaS) 的每小時租金成本，以及在許多地點電力成本日益增加之間掙扎。各類型的組織，無論是服務供應商、企業和政府機構亦面臨提高效率以對抗氣候變遷的壓力，這些組織通常會購買更昂貴的「綠色」能源，而非燃燒化石燃料產生的電力。

面臨節省成本、最大化資料中心使用率和對抗氣候變遷的壓力，所有資料中心營運商都在努力提高伺服器的功率效率。

降低資料中心能源成本的策略

資料中心營運商通常會採取多種策略來降低電力消耗和成本：

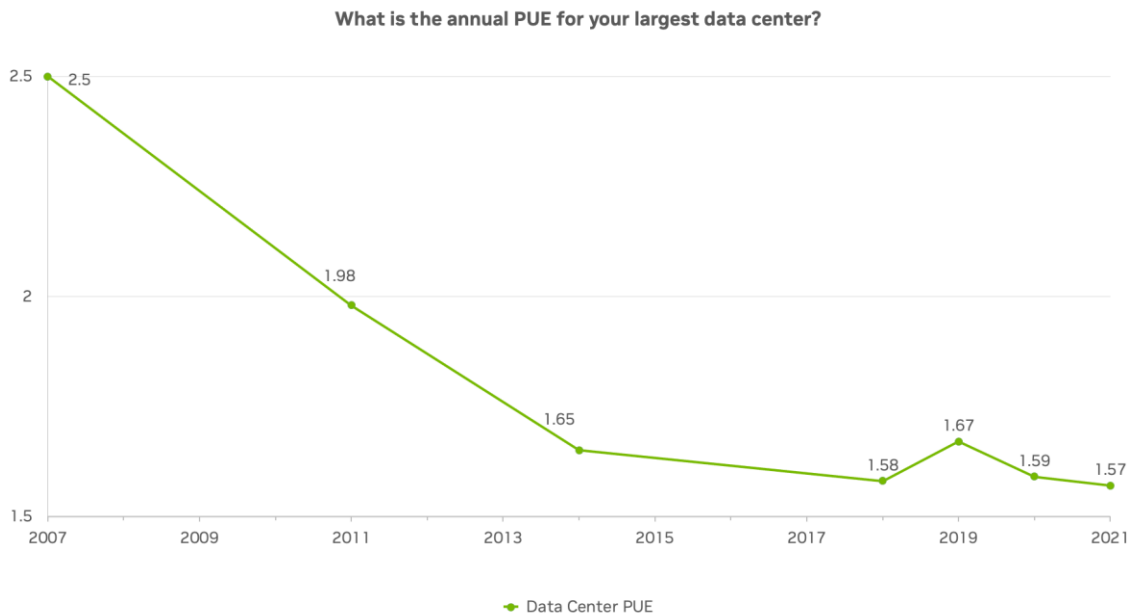
1. 在電力成本較低且/或供應充足的地方建立新的資料中心，可以降低能源成本但不會降低電力消耗。
2. 改善電源使用效率 (PUE)，則表示盡可能善用傳輸至資料中心，供實際運算設備使用的能源比例。然而，這種做法本身不會測量或改善個別伺服器的能源效率。
3. 提升冷卻效率，因為冷卻可佔資料中心能源使用量的 30%。這包括元件的液體冷卻、分離冷熱通道、讓資料中心溫度升高，以及在較低溫的氣候環境設置資料中心，以運用免費的空氣冷卻和/或回收資料中心產生的多餘熱能。這能減少冷卻所需的電力 (並降低 PUE 比率)。
4. 透過虛擬化、容器和組合式基礎架構，將各伺服器的工作負載使用率提升到最高。
5. 提高個別伺服器的電力效率。
6. 將特定 IT 工作負載外包給公有雲，或能源成本較低的代管中心。然而，並非所有工作負載都可以外包，而租戶也不見得能得益於公有雲能源效率帶來的好處。

前三種策略可降低功耗和/或成本，但不會提高伺服器效率。所有資料中心都應致力於降低 PUE 比率，此比率的計算方式為「進入資料中心的電力量」除以「進入伺服器本身的電量和」。

若資料中心效率低下，PUE 可能達 2 或以上 (也就是說，提供給資料中心的電力，只有一半實際用於為運算設備供電)，而效率最高的超大規模資料中心，PUE 則介於 1.12 至 1.25。

透過更有效率的配電設備和散熱設計，例如使用外部空氣、提高資料中心溫度，以及使用可變速風扇等，都可以改善 PUE。然而，PUE 並不代表伺服器效率，而在過去幾年中，一般資料中心的 PUE 變化不大，因為大多數資料中心已經運用最簡單的方法來改善冷卻和配電效率。

圖 2：資料中心 PUE 自 2007 年以來大幅提升，但近年卻變化不大。(資料來源：[Uptime Institute 2021 年問卷調查](#))。



第四種策略則是最大化每部伺服器的使用率，這能減少所需的伺服器數量，並提升各伺服器的效率，但也可能增加每部伺服器的能耗。第五種策略是想辦法降低各伺服器的能耗。網路卸載有助於改善這些指標：提高伺服器使用率 (策略四) 並改善伺服器效率 (策略五)。

將應用程式從本機資料中心外包給大型雲端服務供應商可節省電力，因為大型雲端供應商打造出相當節能的伺服器和資料中心。事實上，大多數較大的供應商都已使用 SmartNIC 和 DPU 來執行網路和儲存卸載。然而，並非所有工作負載都可以移至公有雲，企業也因為資料隱私和主權考量，或是因為透過本機執行這些工作負載的成本較低，而選擇從公有雲召回某些工作負載。此外，我們也還不清楚大型雲端服務供應商是否將因能源效率節省下來的好處，藉由降低成本的方式完全與客戶分享。

使用特定領域處理器提升伺服器效率

現今的資料中心仰賴軟體定義的基礎架構，提供彈性、可擴充性且易於管理。在一般伺服器中，虛擬化、網路、儲存空間、安全性、管理和佈建皆由在伺服器主要 CPU 上執行的虛擬機器、容器或代理程式處理。這不僅會消耗多達 30% 的處理器週期，CPU 在執行這類基礎架構工作負載時的效率也不高。一般用途的 CPU 擅長一般用途的單一執行緒工作負載，且通常針對效能而非功率效率最佳化。

使用特定領域的加速器可提升效能、降低功耗，並釋出伺服器 CPU 核心來執行最擅長處理的應用程式類型。舉例來說，GPU 可接管能平行處理的工作，尤其是數學密集、繪圖運算導向或以人工智慧為主的工作，讓伺服器更快速、節能，比起一般 CPU，每消耗 1 瓦的能源可完成更多運算工作。

同樣的，DPU 執行資料中心基礎架構的工作時，比一般用途 CPU 更有效率。DPU 具備專門硬體引擎，可加速網路、資料加密/解密、金鑰管理、儲存空間虛擬化和其他工作。此外，DPU 上的 CPU 核心通常比一般伺服器 CPU 更有效率，還能直接存取網路流程。因此，即使網路工作無法透過 DPU 的特定領域晶圓加速，DPU 核心在執行 SDN、遙測、深度封包檢查或其他網路工作時，依然比伺服器 CPU 更有效率。

測試硬體加速 DPU 卸載功能以降低伺服器功耗

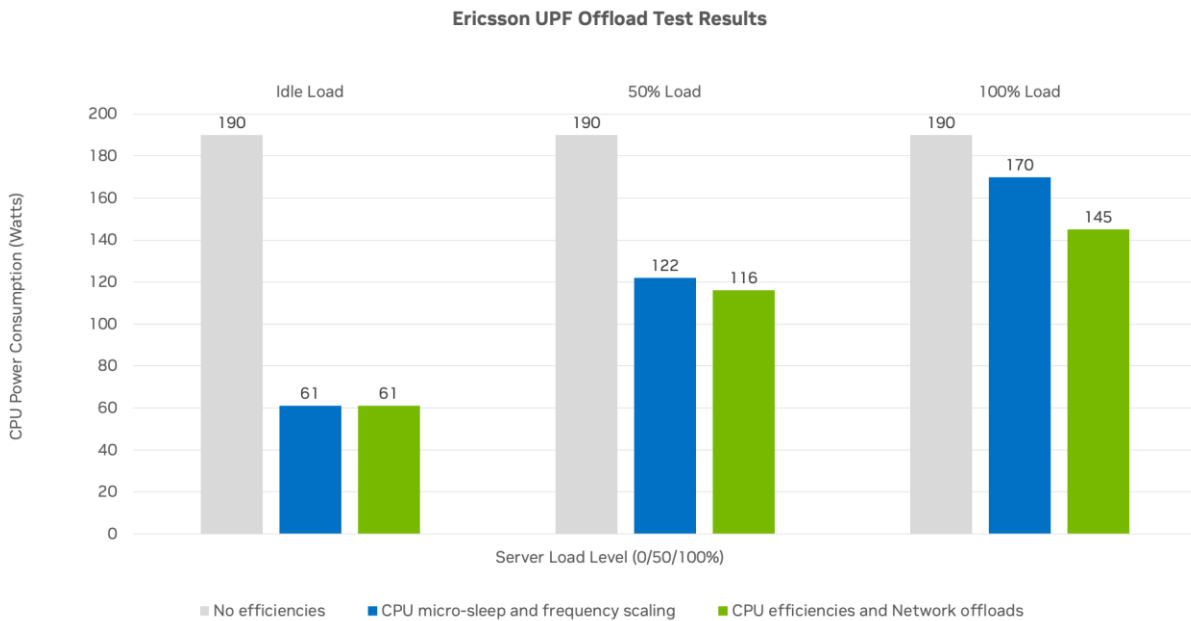
將網路和安全性工作卸載至 NVIDIA BlueField DPU，大幅提升效率。其中有擅於處理像是網路、儲存和資訊安全性等基礎架構運算的特定領域加速器。DPU 也配備 Arm CPU 核心，比 x86 CPU 更節能，非常適合卸載基礎架構應用程式和/或部分虛擬機器監視器或容器管理軟體的控制層。

NVIDIA 與主要合作夥伴攜手，透過多項測試來檢測將各種工作卸載到 SmartNIC 或 DPU 的節能效果。

5G 用戶平面功能卸載加上 CPU 微休眠

頂尖電信設備製造商 Ericsson 在伺服器上測試卸載與未卸載網路至 NVIDIA ConnectX-6 Dx SmartNIC 時的 5G 用戶平面功能 (UPF)。⁴他們也測試了啟用 CPU 微休眠 (CPU 在不繁忙時進入休眠) 和頻率調整 (CPU 會根據工作負載等級調整頻率) 時的節能成果。研究發現，當工作負載較低時，CPU 微休眠和頻率調整可以更進一步節省能源，而 ConnectX-6 網路卸載可在工作負載最重時達到最佳節能效果。

圖 3：電信 UPF 工作負載在閒置、50% 負載和 100% 負載時的 CPU 效率和網路卸載 CPU 節能成果。



研究顯示，當伺服器負載為 100% 時，網路卸載可節省高達 23% 的能源 (每個 CPU 45 瓦)。CPU 電源管理在 100% 負載時帶來的節能效果有限。這是因為工作負載較高時，ConnectX SmartNIC 可以節省更多能源，並更進一步提高效率，而微休眠和頻率調整則無效。

⁴如需 Ericsson 節能論文，請參閱此網頁

表 1. Ericsson 發佈的 CPU 效率 (微休眠和頻率調整) 以及電信 UPF 工作負載網路卸載帶來的 CPU 節能成果。

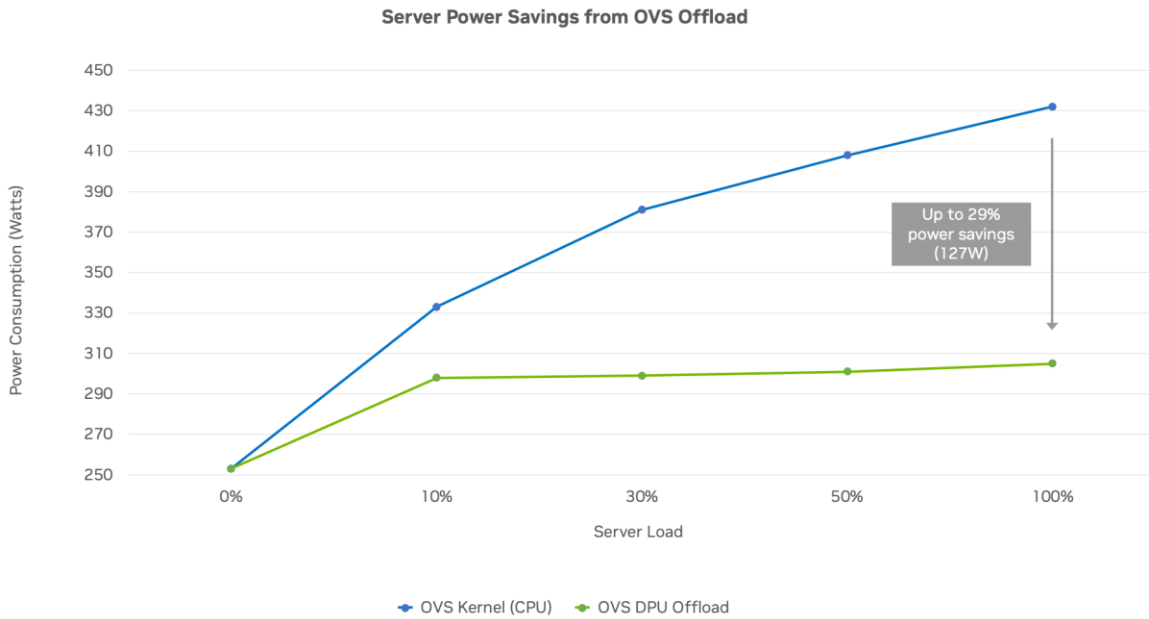
100% 負載時的電信 UPF 伺服器	每個 CPU (節省) 功耗	10,000 部伺服器 3 年內的能源成本 (0.15 美元/千瓦小時)
無 CPU 效率或卸載	190W	749 萬美元
CPU 微休眠和頻率調整	170W (節省 20W 或 10.5%)	670 萬美元 (節省 790,000 美元)
使用網路卸載而非 CPU 效率	145W (節省 25W 或 14.7%)	572 萬美元 (節省 980,000 美元)
CPU 效率加上網路卸載	145W (節省 45W 或 23.7%)	572 萬美元 (節省 177 萬美元)

NVIDIA BlueField-2 DPU 嵌入 ConnectX-6 Dx SmartNIC，並能帶來與 ConnectX-6 Dx 類似的節能成果，如果用於卸載其他控制平面或管理平面功能，可再節省更多能源。這種透過網路卸載節省能源的方法能帶來好處，因為許多企業資料中心已啟用某種形式的 CPU 微休眠和頻率調整。然而，很少有企業資料中心已經採用硬體加速網路卸載。

使用 BlueField-2 DPU 卸載 OVS 網路

第二個節能範例，則可參閱 NVIDIA 為北美主要無線網路供應商 Open vSwitch (OVS) 提供網路卸載的工作成果。OVS 是用於軟體定義網路 (SDN) 的常見開放原始碼工具。通常，OVS 為作業系統核心空間軟體運行在伺服器的 x86 CPU，但可以卸載至 BlueField DPU 上的網路加速器。在本測試中，工作負載從 0% 增到 100%，而 NVIDIA 則比較了在核心 (CPU 上) 執行 OVS，以及將 OVS 卸載到 DPU 之間的功耗差異。

圖 4： 與在 CPU 核心執行 OVS 相比，BlueField DPU OVS 卸載可減少 127 瓦或 29% 的功耗。



DPU 卸載可在工作負載 100% 時降低高達 29% (127W) 的功耗，因為與 x86 CPU 相比，BlueField DPU 在處理 OVS SDN 工作時的速度更快，功率效率也更高。

表 2. 為無線電信工作負載將 OVS 卸載至 BlueField DPU 時的節能成果。⁵

在 100% 負載時將 OVS 卸載至 BlueField-2	每部伺服器功耗	10,000 部伺服器 3 年內的能源成本 (0.15 美元/千瓦小時)
在 CPU 上的核心中執行 OVS	432 瓦	1,690 萬美元
OVS 卸載至 BlueField DPU	305 瓦	1,190 萬美元
節能成果	127 瓦 (29%)	500 萬美元 (節省成本)

⁵Dell PowerEdge R740 伺服器搭載 2 個 Intel Xeon Gold 6248 「Cascade Lake」 CPU @2.50GHz (40 個實體核心、80 個 HT 核心) 和 Red Hat 8.3 KVM。搭載 2 個 25GbE 埠的 BlueField-2 DPU 卡。

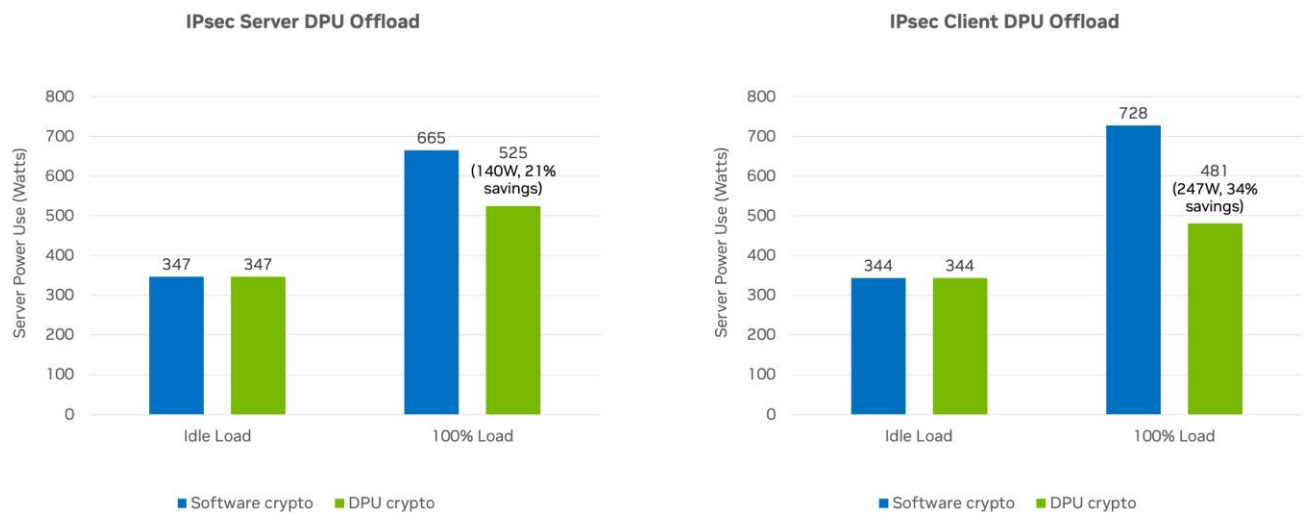
搭載 DPU 卸載的伺服器可提供兩倍以上的網路輸送量 (49.3 Gbps 對比 19.8 Gbps)，同時釋放出在系統核心中執行 OVS 所需的 18 個虛擬 CPU 核心。此外，負載為 30% 時，測試顯示將 OVS 卸載到 DPU 與在 CPU 中執行 OVS 相比，平均延遲降低 5 倍 (5.5 μ s 對比 31.5 μ s)。上表所顯示節省的能源成本假定無論搭載或不搭載 DPU，都會部署相同數量的伺服器。在現實中，隨著 OVS 網路輸送量加快、延遲降低並節省 CPU 核心，使用 DPU 卸載時需要的伺服器數量會減少，因此可節省的成本會比表格所列的結果更多。

將 IPsec 安全性卸載到 BlueField DPU 可為每個伺服器節省高達 247W

在第三項測試中，NVIDIA 比較執行常用 IPsec 演算法加密網路流量時的電耗。在 7 層 OSI 模型中，IPsec 會在第 3 層 (IP 協定層) 加密 (和解密) 網路流量。資料中心越來越要求在所有網路上進行加密，因為這是零信任安全做法的一環，即使資料中心內的其他伺服器或應用程式遭到網路安全對手入侵，也能保護資料。IPSec 是最受歡迎的工具，用於加密伺服器之間或用戶端和伺服器之間的非網路內部和資料中心間流量，但在高速網路下，會為 CPU 造成沉重負擔。具備適當卸載功能的 SmartNIC 或 DPU 可以更快速地執行 IPsec 加密和解密，且功耗比標準 CPU 少。

比較使用 CPU (IPsec 在軟體中) 和 DPU (在 DPU 硬體中進行 IPsec 加速) 加密流量時的電耗，結果顯示伺服器可節省 21% (每部伺服器 140W)，用戶端則可節省 34% 的能源。

圖 5 與 6：Testing of IPsec 加密與解密測試顯示卸載至 BlueField-2 硬體比起完全於軟體中執行 IPsec，可大幅節省能源。IPsec 用戶端和 IPsec 伺服器都大幅節省能源。



一如預期，當伺服器負載為 0% 時 (無負載 = 無加密流量 = 無可卸載)，幾乎未節省能源；而負載為 100% 時 (需要卸載大量加密工作)，節省最多能源。這表示，只要盡可能讓每部伺服器的負載接近 100%，就能將 DPU 和伺服器效率所節省的電力提升到最高，這也符合一般資料中心的策略，也就是盡可能降低所需伺服器數量，並透過硬體加速盡可能發揮卸載優勢。

表 3. 將 IPsec 加密從 CPU 卸載到 BlueField DPU 可節省電力。⁶

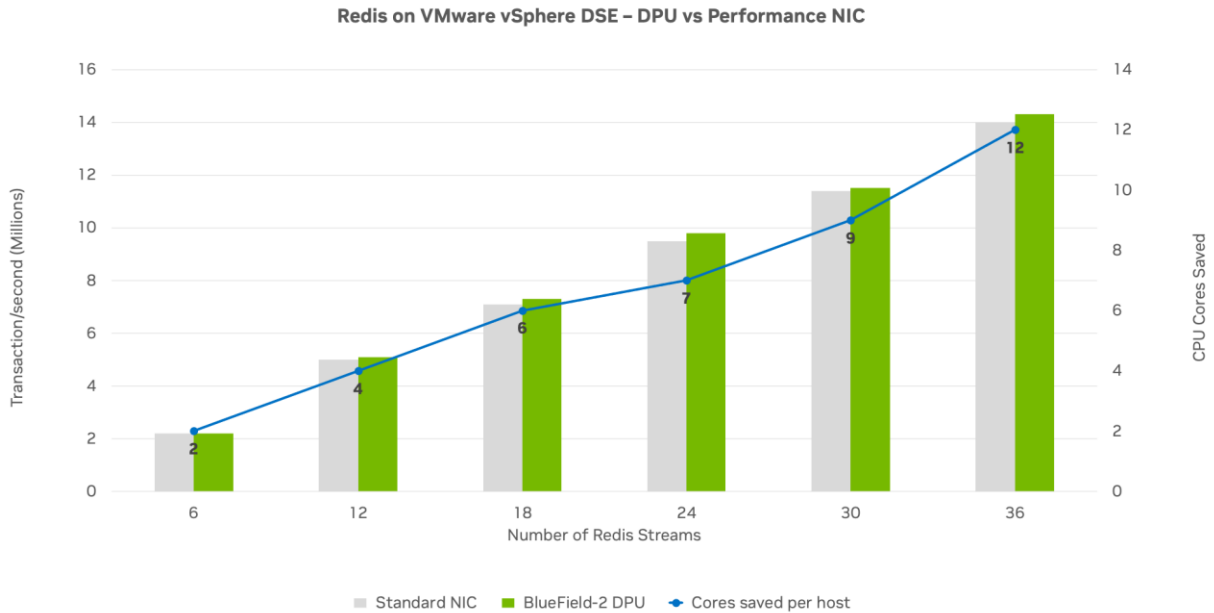
在 100% 負載時將 IPsec 卸載至 BlueField-2	每部伺服器 (節省) 功耗	10,000 部伺服器 3 年內的能源成本 (0.15 美元/千瓦小時)
IPsec 伺服器, 軟體加密	665W	2,620 萬美元
IPsec 伺服器 DPU 加密卸載	525W (節省 140W 或 21%)	2,070 萬美元 (節省 550 萬美元)
IPsec 用戶端, 軟體加密	728W	2,870 萬美元
IPsec 用戶端 DPU 加密卸載	481W (節省 247W 或 34%)	1,900 萬美元 (節省 870 萬美元)

值得注意的是，許多已知需要提前執行的 IPsec 實作都使用專用的加密加速器卡或最佳 CPU 函式庫。然而，若要將加密技術卸載到 DPU 上，便不需要專用的加密卡，而且比使用最佳 CPU 函式庫更能提供功率效率效益。由於新興網路威脅和/或資料隱私規範更加嚴格，在現今的世界中，經常對應用程式和伺服器施加新的加密規範 (如 IPsec 或 TLS)。部署搭載 NVIDIA BlueField DPU 的伺服器，客戶可在必要時開啟網路或儲存空間加密卸載，而無需消耗大量 CPU 核心。

Redis 鍵值資料庫於 VMware vSphere 上使用網路卸載 VMware 和 NVIDIA 測試了在伺服器 CPU 上執行 VMware ESXi 網路，以及將 ESXi 網路卸載至 BlueField DPU 時，於伺服器上執行 Redis 鍵值資料庫的效能。執行 36 個 Redis 串流時，使用 DPU 卸載的伺服器的效能略快 (每秒交易次數增加 3.5%)，並釋放 12 個 CPU 核心來執行 Redis 或其他應用程式。執行 36 個 Redis 串流時，DPU 卸載節省了 64 個先前忙碌的 CPU 核心中的 18%。

⁶IPsec 伺服器和 IPsec 用戶端機器各搭載 2 個 Intel Xeon Platinum 8380 「Ice Lake」CPU @2.30GHz (總共 80 個實體/160 個 HT 核心)，並執行 RHEL 8.3。DPU 是 BlueField-2 VPI 卡，具備 2 個 100GbE/EDR 埠、啟用加密功能，以及執行 Ubuntu 20.04 的 16GB DRAM。

圖 7： 在 25Gb/秒網路上測試使用 VMware vSphere 分散式服務引擎 (Distributed Services Engine)處理 Redis 工作負載，顯示卸載網路至 GPU 時，可節省 12 個核心，且 Redis 效能更快。⁷



由於節省了 CPU 核心，客戶支援相同工作負載時，可部署較少伺服器。如此一來，由於伺服器數量減少，以及資料中心基礎架構成本減少，可節省資本支出；而因為伺服器數量下降，導致耗電量 (以及相關的配電和冷卻電量) 降低，因此也可節省營運成本。對於最初需要 10,000 部伺服器的 Redis-on-VMware 部署，總體擁有成本分析顯示 BlueField 卸載可將所需伺服器數量減少 15%，並在 3 年內節省 5,650 萬美元。

在計算節省的能源時，我們簡單假設使用搭載 DPU 的伺服器時，每部伺服器多使用 65W，因此三年來要額外花費 500 美元。事實上，因為 BlueField DPU 具有高效率網路功能，搭載 DPU 的伺服器實際上的耗電量很可能低於標準伺服器，進而在總體擁有成本方面大幅節省營運成本。

⁷伺服器搭載 2 個 Intel 「Ice Lake」 Xeon Platinum 8380 CPU @2.30GHz，配備 80 個實體核心 (每個插槽 40 個核心) 和 1TB DRAM。BlueField-2 DPU 卡搭載 2 個 25GbE 埠和 16GB DRAM。

表 4. 計算將 VMware ESX 網路卸載至 BlueField DPU 的總體擁有成本時，Redis 工作負載起初於 10,000 部伺服器上執行，且每部伺服器每秒支援 1,400 萬次 Redis 交易。⁸

Redis on VMware vSphere DSE	無 DPU	有 BlueField DPU 卸載
所需伺服器數量	10,000	8,500
每部伺服器成本 (HW+SW)	51,071 美元 (無 DPU)	53,911 美元 (多出 2,840 美元)
伺服器總資本支出	5.107 億美元	4.582 億美元 (節省 5,250 萬美元)
每部伺服器 3 年的營運成本	5,500 美元	6,000 美元 (多出 500 美元)
3 年總營運成本	5,500 萬美元	5,100 萬美元 (節省 400 萬美元)
3 年整體擁有成本	5.657 億美元	5.092 億美元 (節省 5,650 萬美元/10%)

從瓦數到美元的網路卸載節能成果

我們看到，將網路工作卸載到 BlueField DPU 可降低多達 34% 或 247 瓦的電耗。我們也看到伺服器使用率越高，硬體網路卸載的節省的電量就越高。節省能源的價值取決於當地電力成本和 PUE 比率。如果 DPU 卸載和加速使得支援工作負載所需的伺服器數量減少，則可以額外節省資本支出和能源。

假設每部執行 24x7x365 的伺服器可節省 247W 的電力，且每千瓦小時的能源成本為 0.15 美元 (美國實際電力成本從每千瓦小時 0.08 美元至 0.23 美元不等；西歐則為 0.12 美元至 0.38 美元)，也就是說搭載 10,000 部伺服器的大型資料中心，每年營運成本可節省 325 萬美元 $[0.247 \text{ kW} * (24 \text{ 小時/天} * 365 \text{ 天/年}) * \$0.15/\text{千瓦小時} * 10,000 \text{ 部伺服器}]$ 。這不僅可大幅節省成本，更能在有電力限制的資料中心內安裝更多伺服器，並改善資料中心和租用戶的綠色認證。

⁸每部搭載 DPU 的伺服器成本，反映使用 BlueField-2 DPU E 系列乙太網路卡，且具備 2 個 25GbE 網路埠和 16GB DRAM 的一般市售價，並減去具備 2 個 25GbE 埠的 SmartNIC 一般市售價，且配置於針對 VMware vSphere DSE 進行設定並組合套裝的伺服器，包含必要的軟體授權。

能源價格飆升表示 DPU 卸載可大幅節省成本

隨著能源價格的飆升，DPU 卸載所節省的電力成本將隨之增加。許多已開發國家的價格明顯高於上述範例所述的 0.15 美元/千瓦小時。以下是截至 2021 年 12 月，不同國家/地區和部分美國州別的一般電力價格。

表 5. 電力價格飆升越高，表示 DPU 卸載節省成本越高。根據眾多國家/地區和美國州別 2020/2021 年的電價，預估使用 DPU 卸載技術將每部伺服器電耗降低 200 W，搭載 10,000 部伺服器的資料中心 3 年內預估可節省的成本。

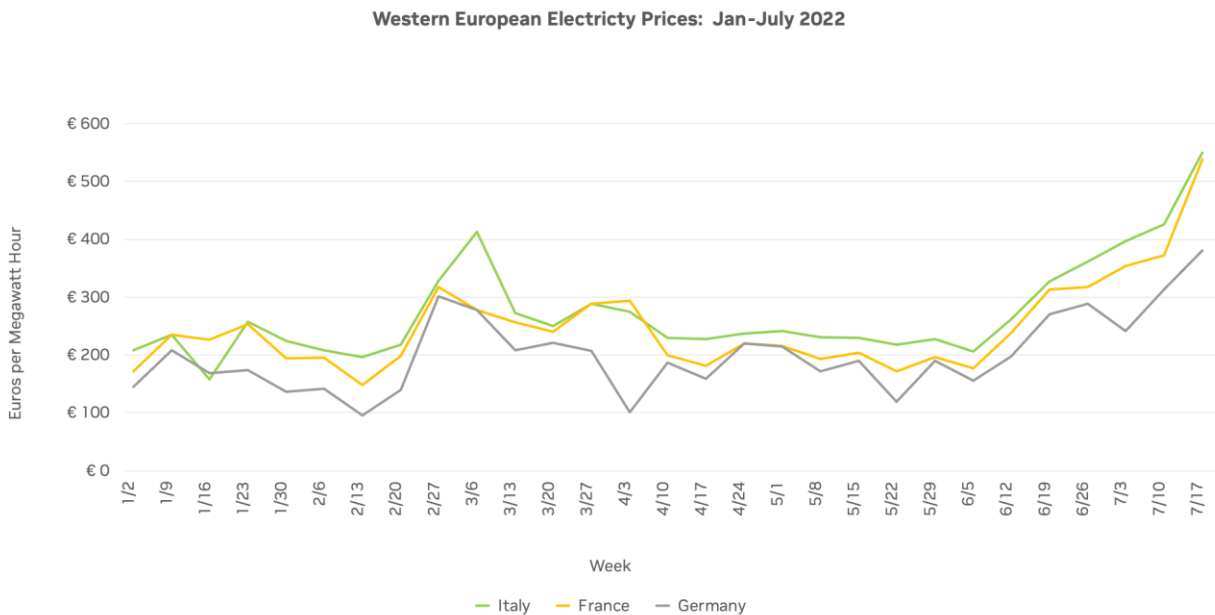
國家/地區	每千瓦小時電價 (2021 年 12 月) ⁹	每部伺服器節省 200W，共 10,000 部伺服器 3 年內節省的價值 (不計入節省的冷卻成本)
本文基準	0.150 美元	789 萬美元
中國	0.076 美元	399 萬美元
美國德州	0.084 美元	440 萬美元
墨西哥	0.085 美元	447 萬美元
美國俄勒岡州	0.088 美元	463 萬美元
南韓	0.100 美元	526 萬美元
美國佛羅里達州	0.101 美元	531 萬美元
以色列	0.157 美元	825 萬美元
美國平均	0.162 美元	851 萬美元
法國	0.177 美元	930 萬美元
美國加州	0.180 美元	946 萬美元
巴西	0.185 美元	972 萬美元
瑞典	0.205 美元	1,077 萬美元

⁹各國家/地區 2021 年 12 月的電價取自 GlobalPetrolPrices.com 網站，以及美國能源資訊局 (EIA) 2020 年美國各州統計資料 (於 2021 年 11 月發佈)。不包括 2022 年因烏克蘭衝突所導致的能源價格飆升。

國家/地區	每千瓦小時電價 (2021 年 12 月) ⁹	每部伺服器節省 200W，共 10,000 部伺服器 3 年內節省的價值 (不計入節省的冷卻成本)
日本	0.214 美元	1,125 萬美元
英國	0.298 美元	1,566 萬美元
西班牙	0.306 美元	1,608 萬美元
德國	0.320 美元	1,682 萬美元

因為疫情造成的短缺，以及俄羅斯入侵烏克蘭，能源價格攀升，在歐洲尤其嚴重。能源價格相較於以上圖表已成長大約一倍，表示 DPU 卸載所節省的總體擁有成本價值也翻倍。此外，在某些地區，對於多加使用再生能源產生之「綠色」能源有法律規範或社會期待，因此預計在未來幾年也會導致電力成本增加。

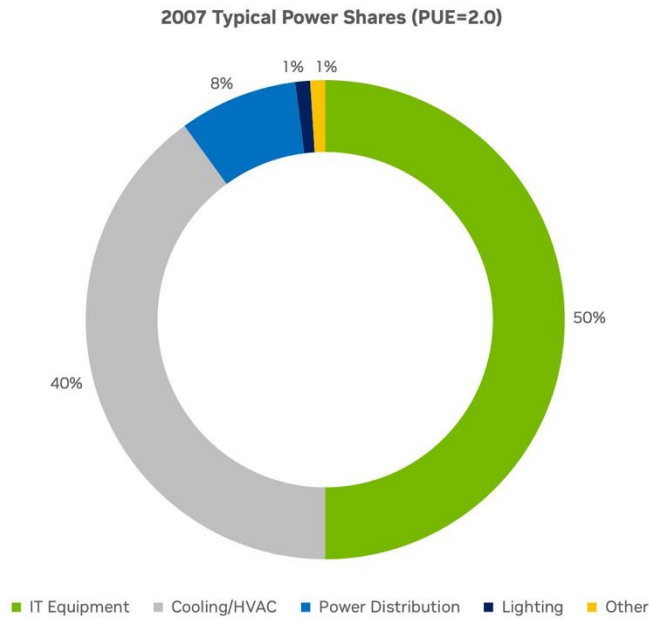
圖 8： 2022 年初，由於烏克蘭戰爭，義大利、法國和德國的平均能源價格增加了一倍 (或以上)。(資料來源：[Axios](#) 圖表取自 Rystad Energy 資料。)



DPU 卸載和能源效率可額外節省成本

減少伺服器電耗可額外節省輔助成本，因為同時也能降低配電和冷卻成本。進入資料中心的每瓦電力都需要使用電源管理硬體，例如不間斷的電源供應器、發電機 (加上燃料輸送和儲存空間) 和配電器。消耗的每瓦電力也會產生必須從資料中心排除的熱能。多達 40% 的資料中心電耗專門用於冷卻。因此，伺服器端節省的每瓦電力都能同時降低冷卻資料中心所需電量，以及供應電力和消除熱能所需的資本設備數量。

圖 9： 2007 年一般資料中心的一般能源使用狀況明細資料，只有 50% 的電力用於 IT 設備，且 PUE 為 2.0 (資料來源：美國環境保護局 [Energy Star](#)



[Report to Congress on data center efficiency \(資料中心效率能源之星國會報告\)](#)，2007 年 8 月 2 日)。

圖 10： 2014 年一般美國資料中心的能源使用狀況明細資料，其中有 57% 的能源用於 IT 設備，只有 43% 用於冷卻、佈建能源、照明和其他用途，以至於 PUE 提升為 1.75。(資料來源：「United States Data Center

Energy Usage Report」(美國資料中心能源使用狀況報告)，作者：勞倫斯柏克萊國家實驗室的 Sehabi 等人，於 2016 年 12 月 發佈。)

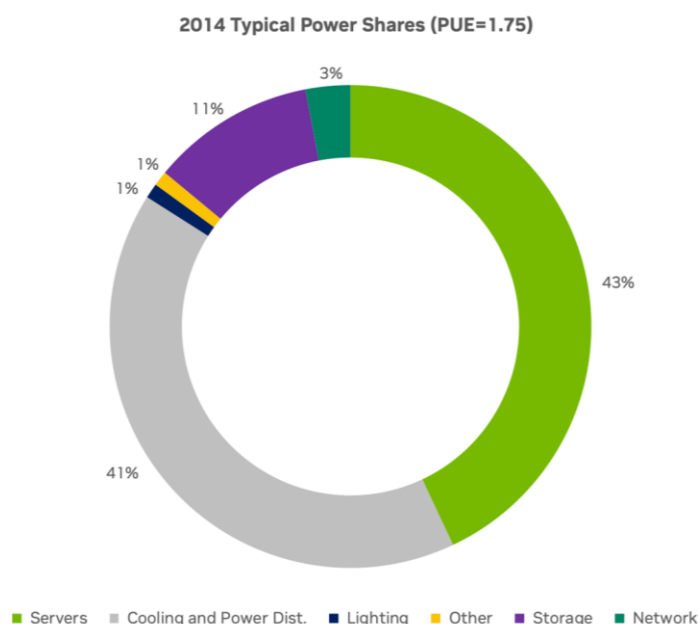


圖 9 和 10 中的圓餅圖顯示，降低冷卻、電力佈建設備和其他用途所消耗的電力比例，讓典型美國資料中心的 PUE 從 2007 年的 2.0 提高到 2014 年的 1.75。到 2020 年，平均資料中心 PUE 進一步提升 (也就是下降) 至 1.57，一般功耗可細分為冷卻/HVAC 佔 29%、電機設備為 5%、照明/其他則佔 2%，剩餘 64% 皆用於 IT 負載 (伺服器、儲存空間和網路)。PUE 為 2.0 時，每在伺服器或網路設備節省 1 瓦能源，整體就能節省 2 瓦。若 PUE 的效率提高至 1.5，每在伺服器節省 1 瓦能源，整體仍能節省 1.5 瓦。

表 6. 一般資料中心 PUE 比率逐漸下降，以及不同 PUE 等級下，每部伺服器節省 100 瓦能源時的總節省能源。

資料中心 PUE 等級	每部伺服器節省能源	總節省能源
PUE 為 2.0 (2007 年的一般標準)	每部伺服器 100W	每部伺服器 200W
PUE 為 1.75 (2014 年的一般標準)	每部伺服器 100W	每部伺服器 175W
PUE 為 1.5 (2020 年的一般標準)	每部伺服器 100W	每部伺服器 150W
PUE 為 1.2 (2021 年超大規模資料中心標準)	每部伺服器 100W	每部伺服器 120W

PUE 越高，伺服器層級的節能效果越高。PUE 2.0 表示每有 1 瓦能源進入伺服器，就會有 2 瓦能源進入資料中心，因此在伺服器節省 100 瓦，整體可節省 200 瓦。這反映出營運能源輸送、風扇和空氣冷卻設備，加上其他營運成本行政支出，如照明和攝影機的營運成本 (與能源損失)。這證實了 DPU 的效率優勢，而超大規模資料中心大致上皆已在所有較新的伺服器上採用 DPU 卸載技術，即便他們一般而言所需支付的電力費用較低，且因為 PUE 比率較低，伺服器層級的功率效率增幅乘數也較低。剛開始採用 DPU 卸載的企業，由於企業的 PUE 比率和平均電力成本較高，比起超大規模資料中心，每部伺服器可節省更多能源。

別忘了 PUE 不會測量每個已執行應用程式的伺服器效率或電耗。伺服器虛擬化後，我們便能「輕鬆收獲」能源供應和冷卻效率將 PUE 提升至良好程度的好處 (目前企業資料中心約為 1.5)，因此在伺服器內部使用卸載功能，是額外節省能源的最佳做法。

由於網路卸載釋放 CPU 週期，通常就能因可執行更多會產生收益的工作負載，以及伺服器本身節省的費用，額外降低成本。在伺服器中部署 DPU 卸載通常能讓每個伺服器執行更多工作 (更多連線、更多虛擬機器、更多使用者等)。如此一來可大幅節省資本支出，是因為需要的伺服器數量減少；也能大幅節省營運成本，因為伺服器的電耗、所需的廠房空間和其他資料中心資源 (冷卻、配電、管理) 也降低。

DPU 卸載所節省的整體擁有成本

DPU 卸載所節省的擁有權總成本 (TCO) 等同於

「執行預期工作時，所需部署伺服器數量減少而節省的資本支出」

減去「在伺服器中部署 DPU 的額外資本支出」

加上「營運伺服器數量減少所節省的營運成本」

再加上「因卸載使得每部伺服器功耗下降所節省的營運成本」

然後減去「DPU 功耗帶來的額外營運成本 (若有)」。

以下範例以真實世界的 DPU 效率為基準。以我們前述加密所有進出 IPsec 用戶端的流量為例，我們計算出三年期間內使用 1,000 或 10,000 部伺服器的總體擁有成本。使用 DPU 可降低伺服器的電耗，並釋放 CPU 核心，減少處理相同工作負載時需部署的伺服器數量。我們計算因所需伺服器數量減少而節省的資本支出，以及使用 DPU 加密卸載可節省的每部伺服器電耗。能源成本假設為 0.15 美元/千瓦小時，而 PUE 則為 1.5。

表 7. 計算在搭載 10,000 部伺服器的大型資料中心內，將 IPsec 加密/解密卸載到 BlueField DPU 時的總體擁有成本。

大型資料中心整體擁有成本	沒有 DPU 的伺服器	具備 DPU 卸載功能的伺服器
所需伺服器數量	10,000	8,200 (減少 18%)
每部伺服器成本	10,500 美元 (無 DPU)	12,000 美元 (搭載 DPU) ¹⁰
伺服器總資本支出	105,000,000 美元	98,400,000 美元 (節省 660 萬美元/ 6.3%)
每部伺服器功耗	728W (0.728 kW)	481W (減少 247W/34%)
3 年總功耗	191,318,400 千瓦小時	103,653,576 千瓦小時 (減少 45.8%)
伺服器能源成本 (0.15 美元/千瓦小時)	28,697,760 美元	15,548,036 美元 (節省 1,310 萬美元)
總能源成本 (PUE=1.5)	43,046,640 美元	23,322,054 美元 (節省 1,970 萬美元的資本支出)
3 年整體擁有成本 (資本支出 + 營運成本)	148,046,640 美元	美元 121,722,054 (節省 2,630 萬美元 / 17.8%)

我們看到 BlueField DPU 從卸載和加速功能兩方面皆大幅節省成本。卸載可釋放 CPU 核心，減少部署的伺服器數量，進而降低資本支出。伺服器數量減少且每部伺服器電耗較低，則可大幅降低營運成本。因此，搭載 10,000 部伺服器的大型資料中心，在三年內可節省 2,600 萬美元。DPU 的使用可顯著節省 6.3% 的伺服器資本支出，但因為能源成本降低，更能大幅減少 46% 的營運成本。在此範例中，假設能源成本為 0.15 美元/千瓦小時，且 PUE 為 1.5，則此 DPU 可節省 660 萬美元的伺服器資本支出；但三年的營運成本則可節省 1,970 萬美元。(電力成本較高和/或 PUE 比率較高，可更進一步節省營運成本和整體擁有成本。)

DPU 卸載是提升資料中心效率的下一波浪潮

使用適當 DPU 提供硬體加速網路卸載功能，可大幅減少每部伺服器的功耗，進而提升伺服器與資料中心效率，並因降低耗電量和減少冷卻負載大幅節省成本。面對能源成本不斷攀升和綠

¹⁰每部搭載 DPU 的伺服器成本，反映使用 BlueField-2 DPU VPI 卡，且具備 2 個 100GbE/EDR 網路埠、啟用加密卸載和 16GB DRAM 的一般市售價，並減去具備 2 個 100GbE 埠的 SmartNIC 一般市售價。

色 IT 基礎架構需求增加的世界，DPU 的使用將越來越受歡迎，以減少資料中心的資本支出和營運成本，進而降低整體擁有成本。

若要深入瞭解 NVIDIA BlueField DPU，請造訪：<https://www.nvidia.com/zh-tw/networking/products/data-processing-unit/>。

若要測試在線上搭配 NVIDIA BlueField DPU 使用 VMware vSphere，請於此處申請：<https://www.nvidia.com/en-gb/launchpad/infra-optimization/experience-vmware-project-monterey-early-access-on-bluefield-2-dpu/> (英文)。

備註

本文件僅供參考用途，不得視為對產品某些功能、條件或品質的保證。NVIDIA Corporation (「NVIDIA」) 不為本文件中所載資訊的準確性或完整性做任何明示或默示的聲明或保證，亦不為本文件所含的任何錯誤負責。對於使用這類資訊，或使用資訊導致侵犯專利或其他第三方權利的結果，NVIDIA 概不負責。本文件不得作為開發、發佈或交付任何素材 (定義如下)、程式碼或功能的承諾。

NVIDIA 保留在不另行通知的情況下隨時對本文件進行修正、調整、增強、改進和任何其他變更的權利。

客戶應在下訂前取得最新相關資訊，並確認該資訊是否仍適用且完整。

NVIDIA 產品售出時係根據訂單確認當下適用的 NVIDIA 標準銷售條款與條件，NVIDIA 授權代表與客戶簽署的個別銷售協議 (「銷售條款」) 另有規定者除外。NVIDIA 特此明確反對於購買本文件中所述 NVIDIA 產品時援引任何客戶一般條款與條件。本文件並未直接或間接形成契約義務。

NVIDIA 產品並非專門設計、授權或保證適用於醫療、軍事、航空、太空或生命支援設備，亦不可用於在 NVIDIA 產品發生問題或故障時可合理預期導致人身傷害、死亡、財產或環境損害的應用程式。將 NVIDIA 產品納入或用於此類設備或應用程式的後果，NVIDIA 概不負責，故此類納入或應用的風險，客戶需自行承擔。

NVIDIA 不為本文件所述產品適用於任何特定用途做任何聲明或保證。NVIDIA 並無義務測試各項產品的所有參數。客戶需對以下行為負起完全責任：評估並判斷本文件中所含任何資訊的適用性、確保產品適用且適合客戶規劃之用途，並針對應用程式進行必要測試，避免應用程式或產品違約。客戶產品設計上的缺陷極可能影響 NVIDIA 產品的品質和可靠性，進而導致本文件所載以外的其他或不同條件或要求。若基於或可歸因於 (i) 任何與本文件相悖的方式使用 NVIDIA 產品或 (ii) 客戶產品設計而導致任何違約、損壞、成本或問題情事，NVIDIA 概不負責。

本文件並未以明示或默示的方式授予任何 NVIDIA 專利權、版權或其他 NVIDIA 智慧財產權相關許可。NVIDIA 針對第三方產品或服務發佈的資訊不代表 NVIDIA 授權使用該項產品或服務，也不代表任何保證或認可。使用此類資訊可能需獲得第三方根據其專利或其他智慧財產權發佈的授權，或是 NVIDIA 根據其專利或其他知識產權發佈的授權。

只有 NVIDIA 事先以書面形式批准、未經修改且完全符合所有適用的出口法律與規範，並檢附所有相關條件、限制與通知，才可複製本文件中的資訊。

本文件和所有 NVIDIA 設計規格、公板、檔案、繪圖、診斷、清單和其他文件 (統稱和獨稱為「素材」) 均依「現況」提供。NVIDIA 對於素材的內容不做任何明示、默示、法定或其他保證，且不提供任何未侵權、適銷性及適合特定用途的默示保證。在法律未禁止的範圍內，NVIDIA 在任何情況下概不對任何損害承擔責任，包括但不限於基於使用本文件造成之任何直接、間接、特殊、偶發、懲罰性或衍生性損害負責，即使 NVIDIA 已獲知此類損壞的可能性。儘管客戶可能因任何原因遭受任何損害，NVIDIA 針對此處所述產品對客戶的累計與所有責任仍應以該產品的銷售條款為限。

商標

NVIDIA 和 NVIDIA 標誌皆為 NVIDIA Corporation 及/或其關係企業於美國及其他國家的商標和/或註冊商標。其他公司及產品名稱可能為其各自相關公司的商標。

版權

© 2022 NVIDIA Corporation & Affiliates. 保留一切權利。