



# NVIDIA BlueField DPU 能效

白皮书

# 内容目录

借助 NVIDIA BlueField DPU 提升数据中心能效 .....	5
数据中心革命 .....	5
数据中心消耗的电量在不断增加.....	6
有助于降低数据中心电力成本的策略.....	7
借助特定领域专用的处理器来提升服务器效率 .....	9
测试通过硬件加速的 DPU 卸载来降低服务器耗电量 .....	9
5G 用户面功能网络卸载与 CPU 微休眠相结合 .....	10
使用 BlueField-2 DPU 进行 OVS 网络卸载.....	11
通过将 IPsec 安全功能卸载到 BlueField DPU，每台服务器可节省高达 247 瓦的耗电量.....	13
卸载 VMware vSphere 和 Redis 键值存储的网络功能.....	15
网络卸载将节能降耗转化为经济效益.....	17
更高的能源价格意味着从 DPU 卸载可节省更多的成本.....	18
通过 DPU 卸载和节能进一步节省成本 .....	19
通过 DPU 卸载降低 TCO .....	22
DPU 卸载是提高数据中心效率的新一波浪潮 .....	23

## 插图目录

图 1:	到 2030 年, 数据中心的耗电量预计将占到全球电力需求量的 3% (最佳情况) 到 13% (最差情况) (来源: 2015 年华为论文; 作者是 Anders S.G. Andrae。)	6
图 2:	数据中心 PUE 自 2007 年以来出现了大幅下降, 但近年来已趋于平稳。 (资料来源: Uptime Institute 2021 年调查。)	8
图 3:	在服务器空载 (0%)、半载 (50%) 和满载 (100%) 时, 通过提升 CPU 效率和进行网络卸载, 电信 UPF 工作负载可节省的 CPU 耗电量	10
图 4:	与在 CPU 上运行内核态 OVS 相比, 采用 BlueField DPU OVS 卸载所节省的耗电量达 127 瓦 (29%)。	12
图 5 和 6:	IPsec 加密和解密的测试表明, 相较于完全以软件运行 IPsec, 将 IPsec 卸载到 BlueField-2 硬件可以显著节省电力。IPsec 客户端和 IPsec 服务器的节能效果显著。	14
图 7:	在 25Gb/s 网络上对运行 Redis 工作负载的 VMware vSphere 分布式服务引擎的测试表明, 将网络功能卸载到 DPU, 可释放 12 个 CPU 核心, 同时可提高 Redis 的性能。	16
图 8:	受全球局势影响, 意大利、法国和德国的平均电价比 2022 年初翻了一番 (甚至更多)。 (来源: 根据 Rystad Energy 提供的数据而制作的 Axios 图表。)	19
图 9:	典型的数据中心在 2007 年的能源使用情况明细, 其中只有 50% 的电力用于为 IT 设备供电, PUE 为 2.0 (来源: 美国国家环境保护局于 2007 年 8 月 2 日针对数据中心能效向国会提交的能源之星报告)。	20
图 10:	典型的美国数据中心在 2014 年能源使用情况明细, 其中 57% 的电力用于为 IT 设备供电, 而 43% 用于冷却、供电、照明和其他用途, 这使得 PUE 下降到了 1.75。(来源: 劳伦斯伯克利国家实验室 (Lawrence Berkeley National Laboratory) 的 Sehabi 等人于 2016 年 12 月发布的“美国数据中心能源使用情况报告”。)	20

## 表格目录

表 1.	通过提升 CPU 效率 (微休眠和频率调节) 和进行网络卸载, 电信 UPF 工作负载可节省的 CPU 耗电量 (由爱立信发布)。	11
表 2.	通过将 OVS 卸载到 BlueField DPU, 无线电信工作负载可节省的耗电量。	12
表 3.	将 IPsec 加密从 CPU 卸载到 BlueField DPU 可节省的电力。	15
表 4.	将 VMware ESX 网络功能卸载到 BlueField DPU 后的 TCO 计算结果, 其中 Redis 工作负载最初运行在 1 万台服务器上, 并支持每台服务器每秒处理 1400 万个 Redis 事务。...	17
表 5.	电力价格越高, 意味着从 DPU 卸载可节省更多的成本。根据 2020/2021 年的电价, 在不同国家/地区 (美国各州), 通过使用 DPU 卸载在 3 年期间将 1 万台服务器的每台服务器耗电量降低 200 瓦, 可节省的成本估算值。	18

表 6. 典型数据中心 PUE 随时间推移而下降；如果每台服务器的用电量减少 100 瓦，在不同 PUE 水平下，可节省的总用电量 ..... 21

表 7 为拥有 1 万台服务器的大型数据中心计算将 IPsec 加密/解密卸载到 BlueField DPU 的 TCO。 ..... 22

---

# 借助 NVIDIA BlueField DPU 提升数据中心能效

由于成本上升和供电量方面的限制，能效在数据中心内变得越来越重要。提升能效的最佳方式之一是，使用 DPU（数据处理器）或智能网卡来卸载和加速网络、安全、存储或其他基础架构功能以及控制平面应用，从而将服务器耗电量降低多达 30%。节省的电量会随着服务器负载的增加而增加。在 3 年的服务器生命周期内，对于拥有 1 万台服务器的大型数据中心可以轻松节省 500 万美元的电力成本，同时还可进一步节省冷却、配电、机架空间和服务器资本成本。

了解为什么在 IT 领域内能效成为一项越来越重要的指标，以及提升数据中心能效的六种主要策略。您可以查看多个示例，了解 [BlueField DPU](#) 加速和卸载技术是如何降低耗电量，并同时降低资本性支出 (CapEx) 和运营性支出 (OpEx)，助力实现更低的 TCO。

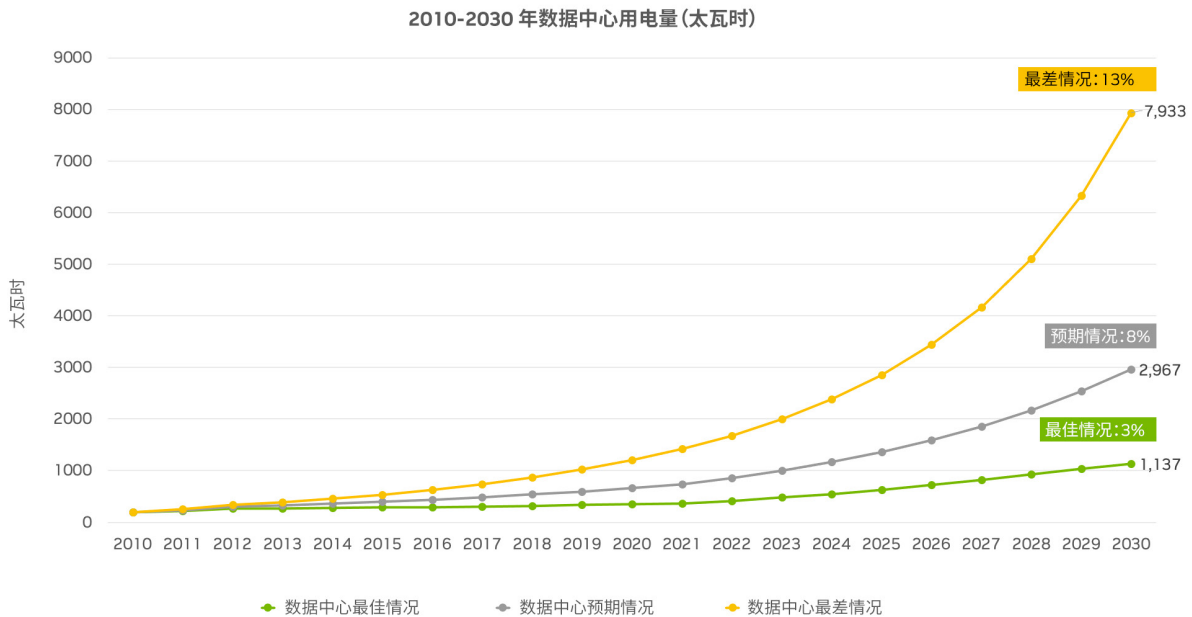
## 数据中心革命

起初，能效并不是数据中心关注的焦点，数据中心的重要关注点是一些其他目标，例如更大限度地提升计算密度、缩短上市时间，以及部署冗余系统来实现高可用性。现在，大部分数据中心都可以快速上线，并实现更高的可用性和计算密度，因此改善耗电量并降低相关电力成本便成为优化现有数据中心和设计新数据中心的主要目标。

# 数据中心消耗的电量在不断增加

据估计，数据中心目前消耗的电量占全球发电量的比例略高于 1%，<sup>1</sup>这一占比在美国为 1.8%，<sup>2</sup>在欧洲为 2.7%。<sup>3</sup>根据华为在 2015 年发布的一项研究，到 2030 年，数据中心消耗的电量占全球发电量的比例预计将上升到 8%（可能的估算值），甚至会高达 13%（最差情况预测值）。

图 1： 到 2030 年，数据中心的耗电量预计将占到全球电力需求量的 3%（最佳情况）到 13%（最差情况）（来源：2015 年华为论文；作者是 Anders S.G. Andrae。）



<sup>1</sup> 伯克利实验室的 Arman Shehabi、Sarah Josephine Smith 等人于 2016 年 6 月发布的“[United States Data Center Energy Usage Report](#)”（美国数据中心用电情况报告）。

<sup>2</sup> 奥地利环境局和德国 Borderstep 研究所于 2020 年 11 月 9 日发布的[欧盟委员会报告](#)“Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-Friendly Cloud Market”（生态友好型云市场的节能云计算技术和政策）。

<sup>3</sup> Huawei Technologies Sweden AB 的 Anders S.G. Andrae 和 Tomas Edler 于 2015 年 4 月 30 日发布的“On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030”（通信技术的全球用电量：到 2030 年之前的趋势）

最近，由于需求旺盛、供应链受限以及石油和天然气供应受到地缘政治影响，全球电价在不断飙升。此外，许多数据中心可以获得的供电量都有硬性限制，也就是说，即使数据中心所有者愿意支付相关费用，数据中心也无法以任何价格获得额外的电力。这就形成了一个强劲的激励因素，促使数据中心提高效率，以便通过一个数据中心来容纳更多应用、租户，并实现更高的生产力，而不是再构建或租用一个新的数据中心。

此外，云服务提供商不仅承受着持续的竞争压力，要不断降低软件即服务、平台即服务和基础设施即服务（SaaS、PaaS、IaaS）的每小时租用成本，而且在许多地区还要承受不断上涨的电力成本。各种组织（服务提供商、企业和政府机构）都面临着提高能效来应对气候变化的压力，通常是通过购买更昂贵的“绿色”电力来替代火力发电产生的电力。

在节省资金、更大限度地提升每个数据中心的利用率以及应对气候变化等压力下，每个数据中心运营商都在力争提升服务器的能效。

## 有助于降低数据中心电力成本的策略

数据中心运营商通常会采取多种策略来降低耗电量和电力成本：

1. 在电力供应成本更低或供应量更丰富的地区建立新的数据中心，这种方式可以降低电力成本而非耗电量。
2. 改善电源使用效率 (PUE)，这意味着更大限度地提升供应给数据中心的电力中用于实际计算设备的电力所占的百分比。不过，这本身并不能衡量或提升各个服务器的能效。
3. 提高冷却效率，因为冷却所消耗的电量在数据中心用电量中所占的比例最高可达 30%。具体方法包括对组件采取液体冷却方式、将热通道和冷通道分离开来、允许更高的数据中心温度，以及在温度更低的地区建立数据中心，从而利用免费空气冷却和/或回收数据中心产生的过多的热量。这可以降低冷却所需的电力，并降低 PUE 比率。
4. 使用虚拟化、容器和可组合基础架构更大限度地提升每台服务器的工作负载利用率。
5. 提升单台服务器的能效。
6. 将选定的 IT 工作负载外包给公有云，或外包给电力成本更低的主机托管中心。不过，并非所有工作负载都可以外包，公有云的高能效所带来的好处也并非始终都能惠及租户

前三种策略能够降低耗电量和/或电力成本，但不会提升服务器的能效。所有数据中心都应努力降低 PUE 比率，该比率的计算方式是：数据中心消耗的电量除以服务器本身消耗的电量。低能效数据中心的 PUE 可能为 2 或更高（这意味着向数据中心供应的电量中，仅有一半实际上用于计算设备），而能效很高的超大规模数据中心声称 PUE 介于 1.12 到 1.25 之间。

可以通过更高效的配电设备和冷却方式来改善 PUE，例如利用外部空气、允许更高的数据中心温度，以及采用变速风扇。不过，PUE 并未将服务器效率考虑在内，而且在过去的几年中，数据中心平均 PUE 已趋于平稳，因为大部分数据中心都已充分利用最简单的方式来提升冷却效率和配电效率。

图 2： 数据中心 PUE 自 2007 年以来出现了大幅下降，但近年来已趋于平稳。  
(资料来源： [Uptime Institute 2021 年调查](#)。)



第 4 种策略是更大限度地提升每台服务器的利用率，从而减少所需的服务器数量，并提高每台服务器的效率，但这也可能会增加每台服务器的耗电量。第 5 种策略旨在设法降低每台服务器的耗电量。网络卸载有助于改善这些指标：可实现更高的服务器利用率（第 4 种策略）和更高的服务器效率（第 5 种策略）。

将应用从本地数据中心外包给大型云服务提供商可以节省电力，因为大型云提供商可以构建非常节能的服务器和数据中心。事实上，大部分较大的数据中心都已经在使用智能网卡和 DPU 来执行网络卸载和存储卸载。不过，并非所有工作负载都可以转移到公有云，并且企业也在将部分工作负载从公有云转回到企业数据中心，这可能是由于数据隐私和管控问题，也可能是因为它们能够在本地以更低的成本运行这些工作负载。此外，目前还不清楚，大型云服务提供商的高能效所带来的用电量下降是否惠及到了客户，让他们实现了成本上的节省。



# 借助特定领域专用的处理器来提升服务器效率

当今的数据中心依靠软件定义的基础设施来实现灵活性、可扩展性和易管理性。在典型服务器中，虚拟化、网络、存储、安全、管理和配置均由运行在服务器主 CPU 上的 VM、容器或代理程序来处理。这不仅会消耗最高可达 30% 的处理器计算资源，而且 CPU 在运行这些类型的基础设施工作负载方面效率并不高。通用 CPU 擅长处理通用单线程工作负载，并且通常是针对性能而非能效进行了优化。

使用特定领域专用的加速器有助于提升性能、降低耗电量，并释放服务器 CPU 核心来运行它们更擅长的应用。例如，GPU 能够接管可并行执行的任务，尤其是那些数学密集型任务、面向图形的任务或 AI 相关任务，从而提高服务器的运行速度和能效 - 与常规 CPU 相比，能够利用每瓦电量完成更多计算任务。

同样，在运行数据中心基础设施任务方面，DPU 的效率要比通用 CPU 高得多。DPU 有专门的硬件引擎来用于加速网络、数据加密/解密、密钥管理、存储虚拟化和其他任务。此外，DPU 上的 CPU 核心通常比一般服务器 CPU 更节能，并且可以直接访问网络管线。因此，即使一些网络任务无法通过 DPU 的专用引擎来加速，DPU 核心也能比服务器 CPU 更高效地执行 SDN、遥测、深度数据包检查或其他网络任务。

# 测试通过硬件加速的 DPU 卸载来降低服务器耗电量

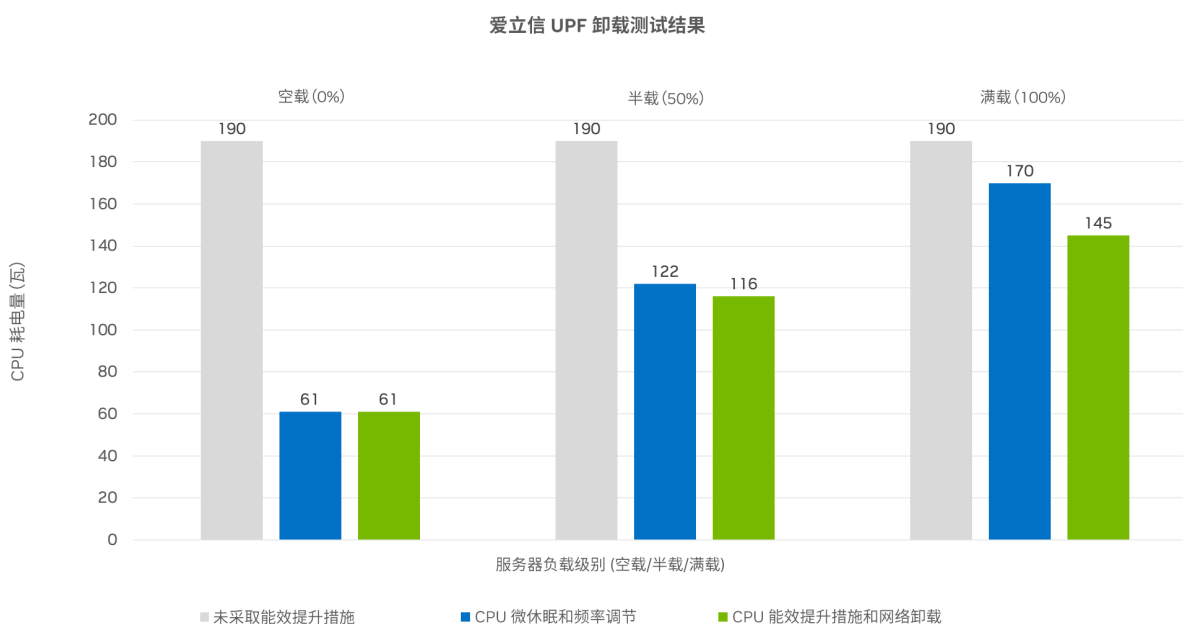
通过将网络和安全任务卸载到 NVIDIA BlueField DPU，可显著提升效率。该 DPU 包含特定领域专用的加速器，这些加速器擅长执行基础设施任务处理，包括网络、存储和安全。该 DPU 还具有比 x86 CPU 更节能的 Arm CPU 核心，非常适合卸载基础设施应用的控制平面和/或服务器虚拟化平台或容器管理软件的部分功能。

NVIDIA 与主要合作伙伴通力合作，在多项测试中将各种任务卸载到智能网卡或 DPU 来测试耗电量节省情况。

## 5G 用户面功能网络卸载与 CPU 微休眠相结合

爱立信是一家领先的电信设备制造商，该公司分别在将网络卸载到 NVIDIA ConnectX-6 Dx 智能网卡以及不进行网络卸载的情况下，对运行在服务器上的 5G 用户面功能 (UPF) 进行了测试。<sup>4</sup> 研究人员还测试了启用 CPU 微休眠（让 CPU 在不忙时进入休眠模式）和频率调整（让 CPU 根据工作负载级别调整频率）所节省的电量。结果表明，当工作负载较低时，CPU 微休眠和频率调整可节省更多电量，而当工作负载很重时，ConnectX-6 网络卸载可节省更多电量。

图 3： 在服务器空载（0%）、半载（50%）和满载（100%）时，通过提升 CPU 效率和进行网络卸载，电信 UPF 工作负载可节省的 CPU 耗电量



研究表明，当服务器满载时，网络卸载所节省的电量可高达 23%（每个 CPU 45 瓦）。CPU 电源管理在满载运行的情况下只能节省有限的耗电量。其原因在于，在工作负载较高的情况下，微休眠和频率调整收效甚微，而 ConnectX 智能网卡更节能高效。

<sup>4</sup> 如需查看爱立信关于节能高效的论文，请浏览此[网页](#)

表 1. 通过提升 CPU 效率（微休眠和频率调节）和进行网络卸载，电信 UPF 工作负载可节省的 CPU 耗电量（由爱立信发布）。

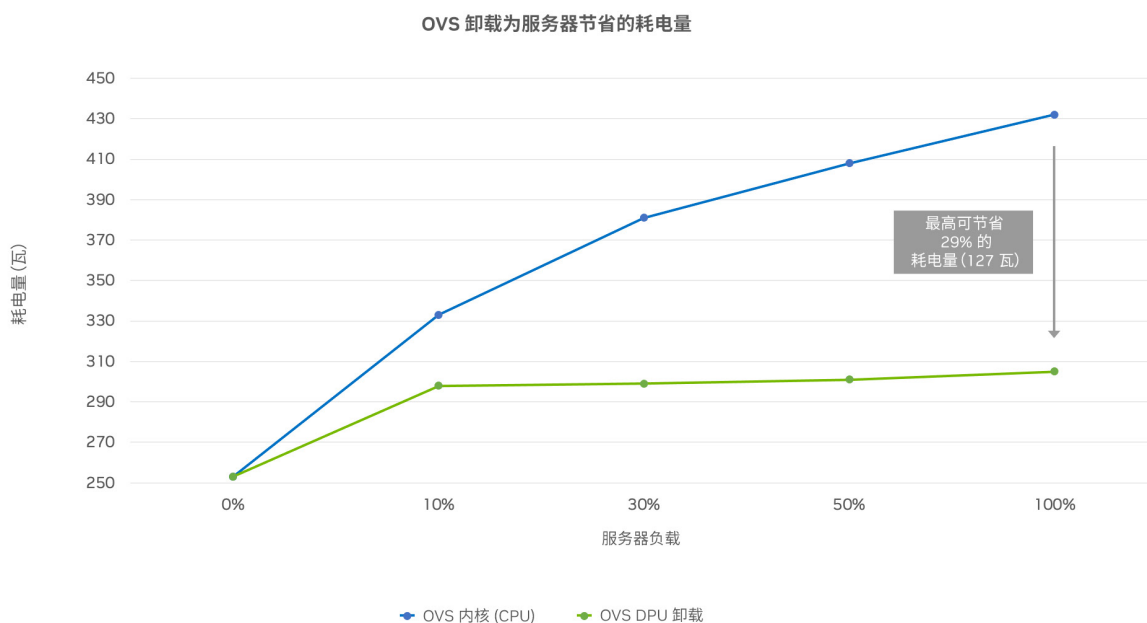
满载下的电信 UPF 服务器	每个 CPU 的耗电量（节省额）	3 年间 1 万台服务器的电力成本（0.15 美元/千瓦时）
未提高 CPU 效率或进行卸载	190 瓦	749 万美元
CPU 微休眠和频率调整	170 瓦（节省 20 瓦或 10.5%）	670 万美元（节省 79 万美元）
网络卸载（无 CPU 效率措施）	145 瓦（节省 25 瓦或 14.7%）	572 万美元（节省 98 万美元）
CPU 效率和网络卸载	145 瓦（节省 45 瓦或 23.7%）	<b>572 万美元（节省 177 万美元）</b>

NVIDIA BlueField-2 DPU 嵌入了 ConnectX-6 Dx 智能网卡，节能效果可与 ConnectX-6 Dx 相媲美。如果将其用于卸载其他控制平面或管理平面功能，还能节省更多电量。由于许多企业数据中心已启用某种形式的 CPU 微休眠和频率调整，因此通过网络卸载实现的节能降耗将大有裨益。尽管如此，当前还有很多企业数据中心尚未启用硬件加速的网络卸载。

## 使用 BlueField-2 DPU 进行 OVS 网络卸载

在第二个示例中，NVIDIA 将助力一家北美知名的无线运营商通过 Open vSwitch (OVS) 网络卸载来实现节能降耗。OVS 是一款用于软件定义网络 (SDN) 的通用开源工具。通常，OVS 作为操作系统内核软件运行在服务器的 x86 CPU 上，但现在可以卸载到 BlueField DPU 的网络加速器上。在这项测试中，NVIDIA 对比了工作负载在空载（0%）至满载（100%）不等的情况下，在内核（CPU 上）中运行 OVS 与将 OVS 卸载到 DPU 上的耗电量变化。

图 4: 与在 CPU 上运行内核态 OVS 相比, 采用 BlueField DPU OVS 卸载所节省的耗电量达 127 瓦 (29%)。



当工作负载为满载时, DPU 卸载最多可降低 29% (127 瓦) 的耗电量, 因为 BlueField DPU 在处理 OVS SDN 任务时, 比 x86 CPU 速度更快、更节能高效。

表 2. 通过将 OVS 卸载到 BlueField DPU, 无线电信工作负载可节省的耗电量。<sup>5</sup>

在满载下将 OVS 卸载到 BlueField-2 DPU	每台服务器的耗电量	3 年间 1 万台服务器的电力成本 (0.15 美元/千瓦时)
在 CPU 上运行内核态 OVS	432 瓦	1690 万美元
将 OVS 卸载到 BlueField DPU	305 瓦	1190 万美元
节省的电量	127 瓦 (29%)	<b>500 万美元 (节省额)</b>

<sup>5</sup> Dell PowerEdge R740 服务器, 配备 2 个英特尔至强 Gold 6248“Cascade Lake”CPU @2.50GHz (40 个物理核心, 80 个 HT 核心), 以及 Red Hat 8.3 KVM。BlueField-2 DPU 卡, 配备 2 个 25GbE 端口。

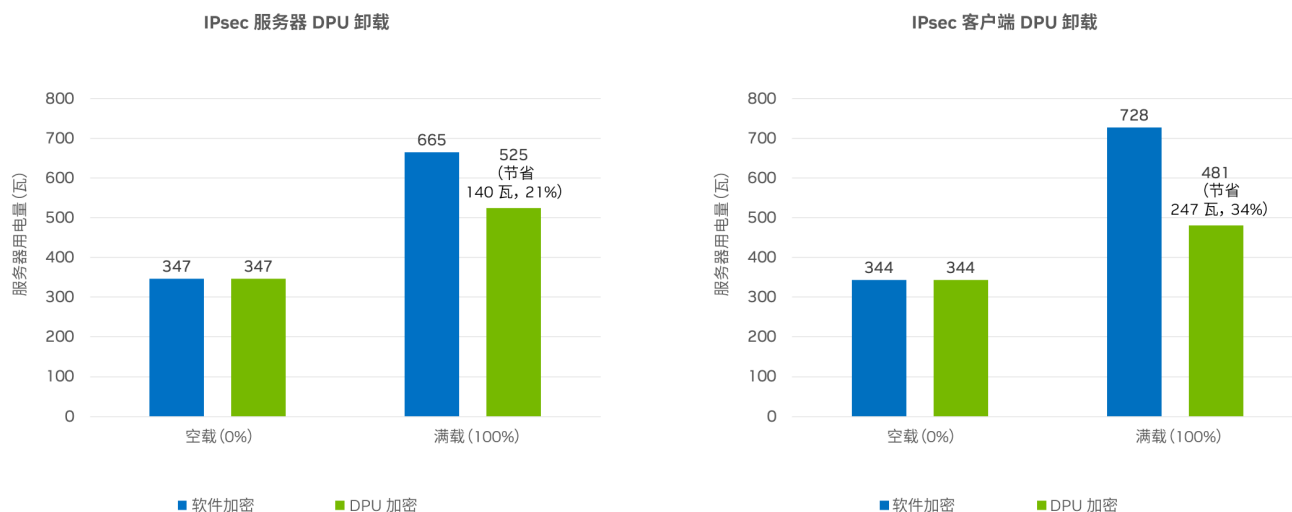
启用 DPU 卸载功能后，服务器的网络吞吐量提升了两倍多（从 19.8Gbps 增至 49.3Gbps），同时释放了原本用于运行内核态 OVS 的 18 个虚拟 CPU 核心。此外，测试表明，当负载为 30% 时，与在 CPU 中运行 OVS 相比，将 OVS 卸载到 DPU 后平均延迟降低了 5 倍（从 31.5 $\mu$ s 降至 5.5 $\mu$ s）。上述电力成本节省表假设数量相同的服务器已部署或未部署 DPU。得益于更快的 OVS 网络吞吐量、更低的延迟和释放的 CPU 核心，客户可以大幅减少 DPU 卸载所需的服务器，因此实际节省的成本远远高于表中所列的金额。

## 通过将 IPsec 安全功能卸载到 BlueField DPU，每台服务器可节省高达 247 瓦的耗电量

在第三项测试中，NVIDIA 对比了采用主流 IPsec 算法加密网络流量时的耗电量。IPsec 在 OSI 七层模型的第三层（即 IP 协议层）加密（和解密）网络流量。对于数据中心而言，在每条网络链路上采用加密技术的需求日益高涨。因为它是实现零信任安全的重要一环，即使数据中心的其他服务器或应用遭到网络安全对手的破坏，数据也能受到妥善保护。IPSec 是在服务器之间或客户端与服务器之间加密非 web 数据中心内部流量的常用工具，但在高网速下，它会给 CPU 带来沉重的负担。与标准 CPU 相比，具有适当卸载功能的智能网卡或 DPU 能以更快的速度、更低的耗电量执行 IPsec 加密和解密。

测试表明，相较于使用 CPU（以软件实现 IPsec），使用 DPU（DPU 硬件加速 IPsec）加密 IPsec 流量使服务器的耗电量降低 21%（每台服务器节省 140 瓦），并使客户端的耗电量降低 34%（每台服务器节省 247 瓦）。

图 5 和 6：IPsec 加密和解密的测试表明，相较于完全以软件运行 IPsec，将 IPsec 卸载到 BlueField-2 硬件可以显著节省电力。IPsec 客户端和 IPsec 服务器的节能效果显著。



正如预期的那样，当服务器处于空载（空载 = 无加密流量 = 无负载卸载）时所节省的电力最少，而处于满载（大量加密工作需要卸载）时所节省的电力最大。这意味着，当每台服务器均以接近满载运行时，DPU 可以最大程度地节省电力并提高服务器效率，这与通用数据中心策略不谋而合，即最大限度地减少所需的服务器数量，并最大限度地利用硬件加速卸载的优势。

表 3. 将 IPsec 加密从 CPU 卸载到 BlueField DPU 可节省的电力。<sup>6</sup>

在满载下将 IPsec 卸载到 BlueField-2 DPU	每台服务器的用电量 (节省)	3 年间 1 万台服务器的电力成本 (0.15 美元/千瓦时)
IPsec 服务器 + 软件加密	665 瓦	2620 万美元
IPsec 服务器 + DPU 加密卸载	525 瓦 (节省 140 瓦, 21%)	2070 万美元 (节省 550 万美元)
IPsec 客户端 + 软件加密	728 瓦	2870 万美元
IPsec 客户端 + DPU 加密卸载	481 瓦 (节省 247 瓦, 34%)	1900 万美元 (节省 870 万美元)

值得注意的是，许多已知的 IPsec 实现方式都需要额外使用专用的加密加速器卡或优化的 CPU 库。不过，将加密任务卸载到 DPU 后，便无需再使用专用加密卡，而且仍然比使用优化的 CPU 库更节能高效。由于层出不穷的网络威胁和/或更严格的数据隐私法规，对现有应用和服务器施加新的加密要求（如 IPsec 或 TLS）在当今世界很常见。通过在服务器上部署 NVIDIA BlueField DPU，客户能够在需要时启用网络或存储加密卸载，而无需占用大量宝贵的 CPU 核心。

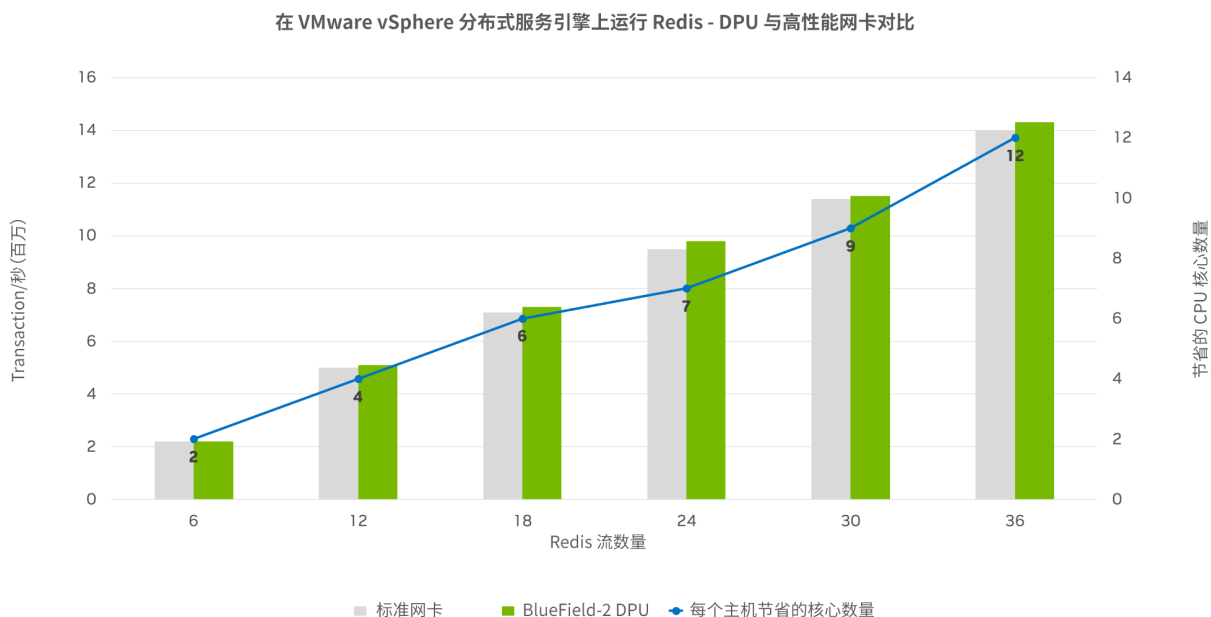
## 卸载 VMware vSphere 和 Redis 键值存储的网络功能

VMware 和 NVIDIA 在服务器上测试了 Redis 键值存储在两种情况下的性能，一是在服务器 CPU 上运行 VMware ESXi 网络功能，二是将 ESXi 网络功能卸载到 BlueField DPU 上。在运行 36 个 Redis 流时，具有 DPU 卸载功能的服务器实现了略快一些的性能（每秒多处理 3.5% 的事务），同时释放了 12 个 CPU 核心来运行 Redis 或其他应用。在运行 36 个 Redis 流时，通过 DPU 卸载可节省 64 个之前繁忙的 CPU 核心中的 18%。

---

<sup>6</sup> IPsec 服务器和 IPsec 客户端计算机各配备 2 个运行 RHEL 8.3 的英特尔至强 Platinum 8380“Ice Lake”CPU @2.30GHz（共 80 个物理核心/160 个 HT 核心）。DPU 即 BlueField-2 VPI 卡，配备 2 个 100GbE/EDR 端口、已启用加密技术、拥有运行 Ubuntu 20.04 的 16GB DRAM。

图 7: 在 25Gb/s 网络上对运行 Redis 工作负载的 VMware vSphere 分布式服务引擎的测试表明, 将网络功能卸载到 DPU, 可释放 12 个 CPU 核心, 同时可提高 Redis 的性能。<sup>7</sup>



得益于释放的 CPU 核心, 客户可以部署更少的服务器来支持与原来相同的工作负载。这样一来, 客户可以节省购置服务器和数据中心基础设施的资本性支出。此外, 由于服务器数量的减少而消耗更少的电力 (以及相关配电和冷却电力), 客户还能节省运营性支出。对于本该需要部署 1 万台服务器实现 VMware 上的 Redis, TCO (总体拥有成本) 分析显示 BlueField 卸载可将所需的服务器数量减少 15%, 并在 3 年期间节省 5650 万美元。

在节能计算方面, 我们做一个简单假设, 即每台使用 DPU 的服务器要多消耗 65 瓦, 因此运行三年期间需要额外花费 500 美元。得益于 BlueField DPU 的高效网络功能, 使用 DPU 的服务器实际上会比标准服务器消耗更少的电力, 可在 TCO 方面节省更多运营性支出。

<sup>7</sup>服务器配备 2 个英特尔至强 Platinum 8380“Ice Lake”CPU @2.30GHz, 拥有 80 个物理核心 (每个插槽 40 个核心) 和 1TB DRAM。BlueField-2 DPU 卡, 配备 2 个 25GbE 端口和 16GB DRAM。



表 4. 将 VMware ESX 网络功能卸载到 BlueField DPU 后的 TCO 计算结果，其中 Redis 工作负载最初运行在 1 万台服务器上，并支持每台服务器每秒处理 1400 万个 Redis 事务。<sup>8</sup>

VMware vSphere 分布式服务引擎上实现 Redis	不使用 DPU	使用 BlueField DPU 卸载
所需的服务器数量	10,000	8,500
每台服务器的成本 (HW+SW)	51,071 美元 (不使用 DPU)	53,911 美元 (高出 2,840 美元)
服务器总资本性支出	5.107 亿美元	4.582 亿美元 (节省 5250 万美元)
每台服务器的运营性支出 (3 年)	5,500 美元	6,000 美元 (高出 500 美元)
总运营性支出 (3 年)	5500 万美元	5100 万美元 (节省 400 万美元)
总体拥有成本 (3 年)	5.657 亿美元	5.092 亿美元 (节省 5650 万美元, 约 10%)

## 网络卸载将节能降耗转化为经济效益

我们看到，将网络任务卸载到 BlueField DPU 可将每台服务器的耗电量降低多达 34% 或高达 247 瓦。我们还看到，服务器利用率越高，基于硬件的网络卸载所节省的能耗就越多。节能的价值取决于当地的电力成本和 PUE 比率。如果 DPU 卸载和加速能够减少支持相同工作负载所需的服务器数量，则可以节省更多的资本性支出和能耗。

假设每台全天候 (24 x 7 x 365) 运行的服务器可节省 247 瓦，且每千瓦时的电力成本为 15 美分 (美国实际的电力成本为每千瓦时 8 美分到 23 美分不等，西欧为每千瓦时 12 美分到 38 美分不等)，这意味着拥有 1 万台服务器的大型数据中心每年可减少 325 万美元的运营性成本 [0.247 千瓦 \* (24 小时/天 \* 365 天/年) \* 0.15 美元/千瓦时 \* 10000 台服务器]。这不仅可以大幅节省成本，还能让功率受限的数据中心安装更多服务器，并提高数据中心及其租户的环保信誉。

---

<sup>8</sup>每台使用 DPU 的服务器成本计入了配备一个双 25GbE 端口、16 GB DRAM 的 BlueField-2 DPU E 系列以太网卡的一般市价，减去一个双 25GbE 端口智能网卡的一般市价，而且每台服务器都标配了配套的 VMware vSphere 分布式服务引擎，并包括了必要的软件许可。

# 更高的能源价格意味着从 DPU 卸载可节省更多的成本

随着能源价格不断攀升，DPU 卸载的节电量也将不断增加。许多发达国家的电价明显高于我们在上述示例中使用的 0.15 美元/千瓦时。以下是截至 2021 年 12 月不同国家/地区及美国部分州的一般电价。

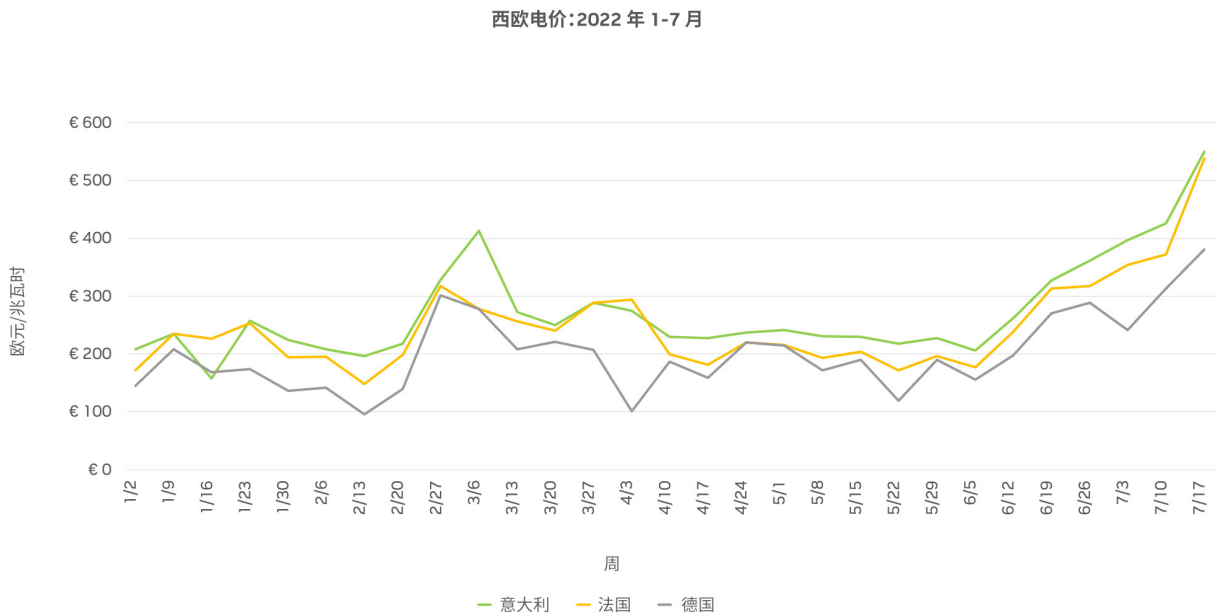
表 5. 电力价格越高，意味着从 DPU 卸载可节省更多的成本。根据 2020/2021 年的电价，在不同国家/地区（美国各州），通过使用 DPU 卸载在 3 年期间将 1 万台服务器的每台服务器耗电量降低 200 瓦，可节省的成本估算值。

国家/地区	每千瓦时电价（2021 年 12 月） <sup>9</sup>	按每台服务器节省 200 瓦计算，3 年期间 1 万台服务器所节约的成本（不含所节约的散热费用）
本文的基准	0.150 美元	789 万美元
中国	0.076 美元	399 万美元
美国德克萨斯州	0.084 美元	440 万美元
墨西哥	0.085 美元	447 万美元
美国俄勒冈州	0.088 美元	463 万美元
韩国	0.100 美元	526 万美元
美国佛罗里达州	0.101 美元	531 万美元
以色列	0.157 美元	825 万美元
美国平均电价	0.162 美元	851 万美元
法国	0.177 美元	930 万美元
美国加利福尼亚州	0.180 美元	946 万美元
巴西	0.185 美元	972 万美元
瑞典	0.205 美元	1077 万美元
日本	0.214 美元	1125 万美元
英国	0.298 美元	1566 万美元
西班牙	0.306 美元	1608 万美元
德国	0.320 美元	1682 万美元

<sup>9</sup>根据 GlobalPetrolPrices.com 网站截至 2021 年 12 月统计的全球各国电价，以及美国能源信息署 (EIA) 发布于 2021 年 11 月的 2020 年美国各州统计数据。不包括 2022 年能源价格涨幅。

受新冠肺炎疫情造成的供给短缺和地区冲突影响，能源价格大幅上涨，尤其是在欧洲，实际电价比上图中显示的数字大致翻了一番，这意味着从 DPU 卸载所节省的 TCO 也翻了一番。此外，部分地区出台法律要求或社会期望更多的使用可再生能源生产的“绿色”电力，这也有可能在未来几年内推高电力成本。

**图 8：** 受全球局势影响，意大利、法国和德国的平均电价比 2022 年初翻了一番（甚至更多）。（来源：根据 Rystad Energy 提供的数据而制作的 Axios 图表。）



## 通过 DPU 卸载和节能进一步节省成本

降低服务器耗电量可以节省额外的附加成本，因为这同时减少了配电和冷却成本。每瓦进入数据中心的电力都需要电源管理硬件，例如不间断电源、发电机（加上燃料输送和存储）和配电装置。而消耗的每一瓦电力也会转变成必须从数据中心排放出来的热量。可高达 40% 的数据中心耗电量专门用于冷却。因此，服务器端节省的每一瓦电力都会同时减少数据中心冷却装置所需的电量，以及供电和散热所需的资产设备数量。

图 9: 典型的数据中心在 2007 年的能源使用情况明细, 其中只有 50% 的电力用于为 IT 设备供电, PUE 为 2.0 (来源: 美国国家环境保护局于 2007 年 8 月 2 日针对数据中心能效向国会提交的能源之星报告)。

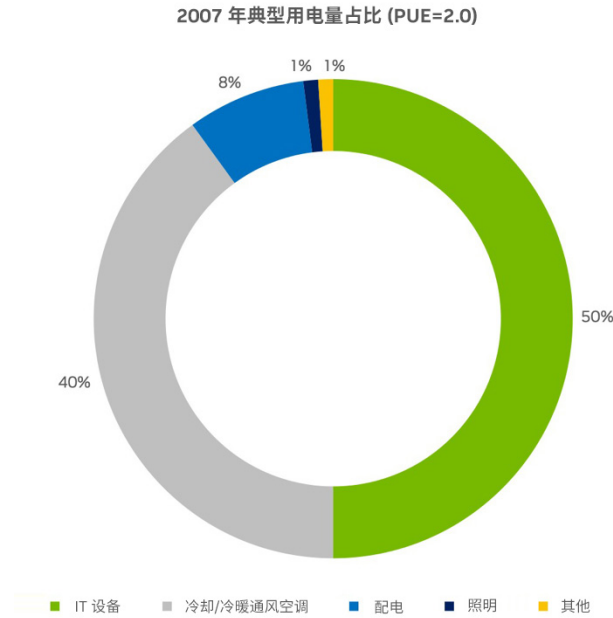


图 10: 典型的美国数据中心在 2014 年能源使用情况明细, 其中 57% 的电力用于为 IT 设备供电, 而 43% 用于冷却、供电、照明和其他用途, 这使得 PUE 下降到了 1.75。(来源: 劳伦斯伯克利国家实验室 (Lawrence Berkeley National Laboratory) 的 Sehabi 等人于 2016 年 12 月发布的“美国数据中心能源使用情况报告”。)

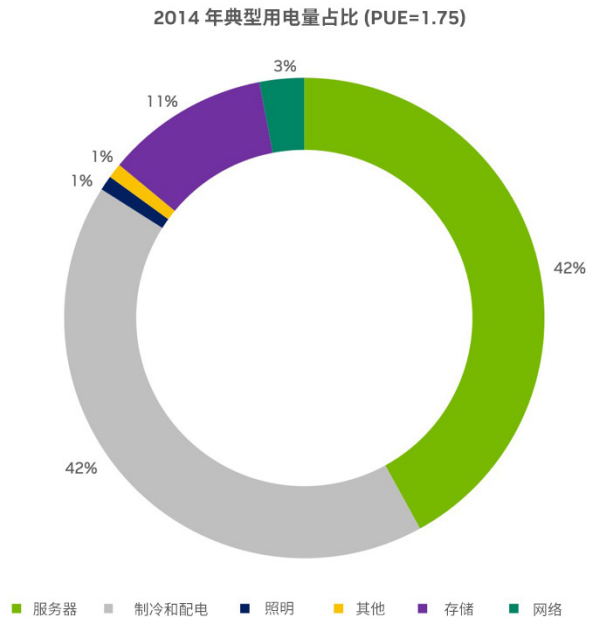


图 9 和 10 中的饼图显示了如何通过降低用于冷却系统、配电设备和其他用途的用电量占比，将典型的美国数据中心 PUE 值从 2007 年的 2.0 降至 2014 年的 1.75。到 2020 年，数据中心的平均 PUE 进一步改善（下降）至 1.57，这意味着用于冷暖通风空调的用电量占 29%，配电设备占 5%，照明/其他用途占 2%，IT 负载（服务器、存储和网络）占 64%。当 PUE 为 2.0 时，服务器或网络设备上每节省一瓦，相当于整体节省了两瓦。而当 PUE 为更高效的 1.5 时，服务器每节省一瓦，总用电量便可节省 1.5 瓦。

**表 6. 典型数据中心 PUE 随时间推移而下降；如果每台服务器的用电量减少 100 瓦，在不同 PUE 水平下，可节省的总用电量**

数据中心 PUE 评级	服务器所节省的用电量	节省的总用电量
PUE 为 2.0 (2007 年的平均值)	每台服务器 100 瓦	每台服务器 200 瓦
PUE 为 1.75 (2014 年的平均值)	每台服务器 100 瓦	每台服务器 175 瓦
PUE 为 1.5 (2020 年的平均值)	每台服务器 100 瓦	每台服务器 150 瓦
PUE 为 1.2 (2021 年超大规模数据中心)	每台服务器 100 瓦	每台服务器 120 瓦

PUE 值越高，服务器所节省的用电量就越多。PUE 值为 2.0 表示每 2 瓦进入数据中心的电力，只有 1 瓦电力输送给了服务器，因此在服务器上节省 100 瓦，整体上就节省 200 瓦。这涵盖了供电、风扇和空气冷却设备的运营成本（和电力损失），以及各种运营性支出（例如照明和摄像头）。这是 DPU 效率优势的又一例证：超大规模数据中心在较新的服务器上基本上全都采用了 DPU 卸载技术，尽管它们通常需要支付较低的电价，而且其 PUE 比率较低，服务器获得倍数较小的能效提升。由于企业数据中心的 PUE 比率一般更高，平均电力成本也更高，因此刚刚开始实施 DPU 卸载的企业将能为每台服务器带来比超大规模数据中心更可观的电力节省。

请注意，PUE 不会衡量服务器效率或每个已交付应用的耗电量。如果服务器已经应用虚拟化，并提高供电和冷却效率，将 PUE 降到了理想水平（目前企业数据中心约为 1.5），此时若要进一步节能，最佳做法是在服务器内部使用卸载技术。

通常情况下，由于网络卸载释放了 CPU 周期，每台服务器上能够运行更多创收工作负载，还能进一步降低成本。在服务器中部署 DPU 卸载，通常可以让每台服务器执行更多工作（更多的连接、更多的虚拟机和更多的用户等）。由于需要更少的服务器的数量，客户可以节省一大笔资本性支出。加上更少的服务器数量所消耗的电力、占地空间和其他数据中心资源（冷却、配电、管理）也随之减少，从而显著节省了运营性支出。

# 通过 DPU 卸载降低 TCO

DPU 卸载所节省的总拥有成本 (TCO) 等于  
 因部署更少的服务器来执行所需工作而节省的资本性支出  
 减去在服务器中部署 DPU 而花费的额外资本性支出  
 加上运行更少的服务器而节省的运营性支出  
 加上因卸载而降低每台服务器耗电量所节省的运营性支出  
 减去来自 DPU 耗电量的额外运营性支出 (如有)。

以下示例展示了基于 DPU 的实际效率。我们之前举过一个示例，对 IPsec 客户端中进出的所有流量进行加密，接下来，我们以此为例，计算三年期间 1 千或 1 万台服务器的 TCO。通过使用 DPU，我们降低了服务器的耗电量并释放了 CPU 核心，从而能够部署更少的服务器来处理与原来相同的工作负载。我们计算了因减少服务器而节省的资本性支出，以及每台服务器因使用 DPU 加密卸载而节省的电力。其中假设电力成本为 0.15 美元/千瓦时，PUE 为 1.5。

**表 7 为拥有 1 万台服务器的大型数据中心计算将 IPsec 加密/解密卸载到 BlueField DPU 的 TCO。**

大型数据中心的 TCO	不使用 DPU 的服务器	使用 DPU 卸载的服务器
所需的服务器数量	10,000	8,200 (减少 18%)
每台服务器的成本	10,500 美元 (不使用 DPU)	12,000 美元 (使用 DPU) <sup>10</sup>
服务器总资本性支出	105,000,000 美元	98,400,000 美元 (节省 660 万美元, 约 6.3%)
每台服务器的用电量	728 瓦 (0.728 千瓦)	481 瓦 (减少 247 瓦, 约 34%)
3 年总用电量	191,318,400 千瓦时	103,653,576 千瓦时 (减少 45.8%)
服务器电力成本 (0.15 美元/千瓦时)	28,697,760 美元	15,548,036 美元 (节省约 1310 万美元)
总电力成本 (PUE=1.5)	43,046,40 美元	23,322,054 美元 (节省约 1970 万美元运营性支出)
3 年 TCO (资本性支出 + 运营性支出)	148,046,640 美元	121,722,054 美元 (节省约 <b>2630 万美元, 约 17.8%</b> )

<sup>10</sup>每台使用 DPU 的服务器成本计入了配备一个双 100GbE/EDR 端口、启用加密卸载和 16GB DRAM 的 BlueField-2 DPU VPI 卡的一般市价，减去一个双 100GbE 端口智能网卡的一般市价。

我们发现，BlueField DPU 的卸载和加速功能显著节省了双向成本。卸载可释放 CPU 核心，从而减少服务器部署数量，节省资本性支出。通过减少服务器数量，降低每台服务器的耗电量，客户能显著减少运营性支出。因此，拥有 1 万台服务器的大型数据中心三年期间可大幅节省 2600 万美元。通过使用 DPU，服务器可节省 6.3% 的资本性支出，由于较低的电力成本，运营性支出又节省了 46%。在本示例中，假设电力价格为 0.15 美元/千瓦时，PUE 为 1.5，DPU 可为服务器节省 660 万美元资本性支出，而在三年的运营中，运营性支出可节省 1970 万美元。（更高的电力价格和/或更高的 PUE 比率将节省更多的运营性支出和 TCO。）

## DPU 卸载是提高数据中心效率的新一波浪潮

使用适当 DPU 实现通过硬件加速的网络卸载，可大幅减少每台服务器的耗电量，从而提高服务器效率、数据中心效率，降低用电量，减少冷却负载，最终大幅降低成本。在这个能源成本不断上涨和对绿色环保 IT 基础设施需求不断增加的世界中，采用 DPU 将是大势所趋，通过它来降低数据中心的资本性支出和运营性支出，进而降低 TCO。

如需详细了解 NVIDIA BlueField DPU，请访问

[https://www.nvidia.cn/networking/products/data-processing-unit/。](https://www.nvidia.cn/networking/products/data-processing-unit/)

如需在 VMware vSphere 上亲自在线测试 NVIDIA BlueField DPU，请单击此处申请：

[https://www.nvidia.com/en-gb/launchpad/infra-optimization/experience-vmware-project-monterey-early-access-on-bluefield-2-dpu/。](https://www.nvidia.com/en-gb/launchpad/infra-optimization/experience-vmware-project-monterey-early-access-on-bluefield-2-dpu/)

## 声明

本档仅供参考，不可视为对产品特定功能、状况或质量的保证。NVIDIA Corporation（以下简称“NVIDIA”）对本档中所含信息的准确性或完整性不作任何明示或暗示的陈述或保证，并且对其中存在的任何错误不承担任何责任。对使用此类信息的后果或因使用此类信息而造成侵犯第三方专利权或其他权利的后果，NVIDIA 概不负责。本档不作为对开发、发布或交付任何资料（定义如下）、代码或功能的承诺。

NVIDIA 保留随时对本档进行纠正、修订、增强、改进以及任何其他改动的权利，恕不另行通知。

客户在下订单之前应获取最新的相关信息并验证这些信息是否为当前信息以及是否完整。

除非 NVIDIA 授权代表与客户另行签署销售协议，否则 NVIDIA 产品的销售受订单确认时所提供的 NVIDIA 标准销售条款和条件（以下简称“销售条款”）制约。就购买本档中提及的 NVIDIA 产品而言，NVIDIA 在此明确拒绝应用任何客户一般条款与条件。本档不直接或间接形成任何合同义务。

NVIDIA 产品并非针对医学、军事、航空、航天或生命保障设备而设计，并未授权用于也不保证适用于上述设备，亦不得用于 NVIDIA 产品之失效或故障合理预计会造成人身伤亡或财产或环境破坏的应用场合。客户如果在此类设备或应用场合中融入和/或使用 NVIDIA 产品，NVIDIA 不承担任何相关责任，风险由客户自行承担。

NVIDIA 并未表示或担保本档提及的产品适用于任何指定用途。每款产品所有参数的测试不一定由 NVIDIA 进行。客户应自行负责评估和确定本档所含任何信息的适用性，确保产品适合客户所计划的应用场合，并针对该应用场合进行必要的测试以避免应用场合出现问题或产品失灵。客户产品设计中的缺点可能会影响 NVIDIA 产品的质量和可靠性，并且可能会导致超出本档规定的额外或不同的条件和/或要求。NVIDIA 不承担由下列情况造成的失灵、损坏、成本或问题相关的任何责任：(i) 以任何违反本档的方式使用 NVIDIA 产品；或 (ii) 客户产品设计。

本档对 NVIDIA 专利权、版权或其他 NVIDIA 知识产权并未作出任何明示或暗示的许可。NVIDIA 所发布的有关第三方产品或服务的信息并不构成 NVIDIA 对于使用该产品或服务的许可，亦不构成担保或支持。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其他知识产权的许可，或者需要获得 NVIDIA 的专利权或其他知识产权的许可。

仅在 NVIDIA 事先书面批准，不修改任何内容且完全符合所有适用的出口法律和法规并附有所有相关条件、限制和声明的情况下，才允许复制本档中的信息。

本档及所有 NVIDIA 设计规范、参考板、文件、图纸、诊断信息、列表和其他文档（统称与单称均为“资料”）均“如实”提供。NVIDIA 并未作出与资料相关的明示、暗示、法定或其他形式的保证，并明确否认与非侵权、适销性和特定用途适用性相关的所有暗示保证。在法律未禁止的范围内，NVIDIA 在任何情况下均不对由使用本档引起的任何损害负责，包括但不限于任何直接、间接、特殊、偶发、惩罚性或继发性损害，无论此等损害以何种方式造成，亦无论基于何种责任理论，即使 NVIDIA 已被告知有可能发生此类损害，NVIDIA 也不承担任何责任。尽管客户可能会因任何原因造成损失，但是 NVIDIA 针对本文所述产品向客户承担的全部责任应仅限于该产品的销售条款。

## 商标

NVIDIA 和 NVIDIA 徽标均为 NVIDIA Corporation 和/或其关联公司在美国和其他国家/地区的商标或注册商标。其他公司和产品名称可能为其各关联公司的商标。

## 版权

© 2022 NVIDIA Corporation 及其附属公司。保留所有权利。