

# The Emergence of Edge Computing

## 一、動機

雲端運算因得以集中化運算資源，而達到經濟規模並降低系統管理與運作的邊際效益。不僅如此，也因為雲端運算的發展，組織得以省去自行建置 data center 所需要的成本支出。因為此二重要價值，使原先分散的資源逐漸向中心化發展。

Edge computing 的起源與 CDN 相關，由於 CDN edge nodes 除了擁有 prefetch 以及 cache web content 的服務外，另外也發展出一些 content customization 的功能，這些功能的發展令 Edge computing 發現了在 edge node 進行運算處理的可能性。Akamai CDN 與 edge computing 便存在許多相似之處，僅 Akamai 系統中的各節點(Akamai edge server)的工作內容在於網頁內容的快取；而 edge computing 系統網路中的各節點(cloudlets)能運作於任意程式，成為執行雲端運算的中心。

有鑑於新科技(如: AR、VR、AI)的出現、行動運算(mobile computing)需求的上升以及 IoT 的發展，使運算需求與應用趨於分散。若是將所有數據採取後端中心化的方式處理，將會對後端的雲端系統造成過大負荷。因此，基於 CDN 以及 cloud computing 的概念，發展出了 edge computing，能更接近於 mobile device 以及 sensor，並且透過在 cloudlet 進行 computing 從而**放大智慧型裝置的運算能力**，並減輕後端 IT 設備與 cloud data center 的資源負擔。總的來說，edge computing 可說是隨著行動運算及物聯網發展而誕生的概念。

本篇旨在介紹 edge computing 產生的時空背景與其應用領域，點出 edge computing 的優點並解決舊有網路架構所遭遇的困難，如：智慧型手機應用程式需要大量與回應快速的運算以及網路塞車等問題。

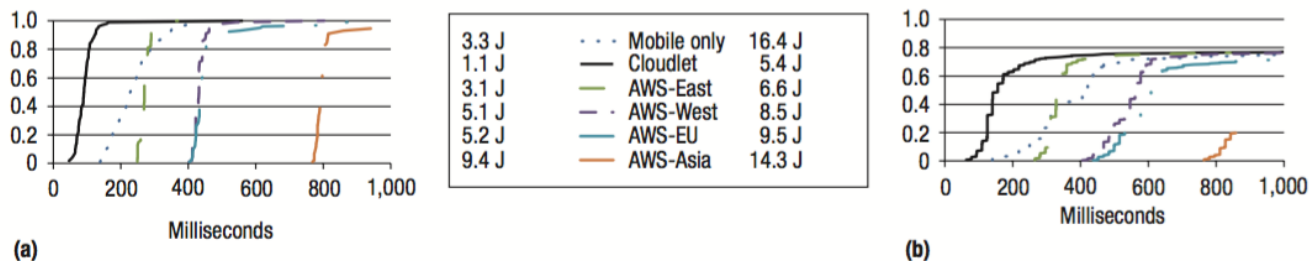
## 二、議題

Edge computing 最核心的概念便是就近處理，意即各個存在於 IoT 邊際網路上的裝置會將運算工作交由「距離」最近的 cloudlets 負責。不同於一般現實生活中所認知的物理距離，在網路世界所述的距離包含了延遲(latency)、傳輸週期的穩定性(jitter)及頻寬(bandwidth)。而距離近也就意味著低延遲 (low latency)、訊號傳輸週期穩定(low jitter)以及大頻寬(high bandwidth)。由文中的實驗可知 Proximity 相當重要，並且能夠從至少四處帶來對 edge computing 的優勢：

### 1. **Highly responsive cloud services(加快雲端服務的回應):**

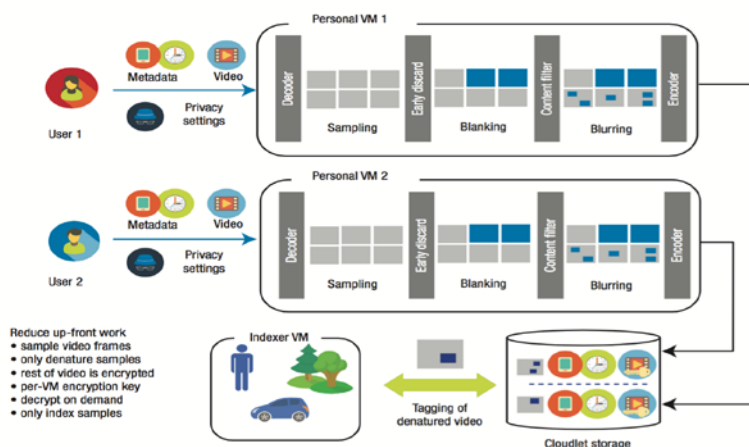
服務時間往往為影響一般使用者對服務評價的最直接因素，下圖為 AR 及臉部辨識服務在不同服務平台的回應時間與平均所需耗能之累積分布圖，從圖中可得知

cloudlet 能有較快速的回應時間並減少能源消耗，有利於需要 computation-intensive 與 latency-sensitive 的應用程式發展。其次為 AWS(Amazon Web Service)，當中又以位於美東的 AWS server 表現最佳(該實驗進行於未在美東的卡內基美濃大學)，而距離美東越遠的 AWS 伺服器表現越差，因此 cloudlets 就近處理的特性是具有優勢的。



## 2. Scalability via edge analytics(藉由邊際分析提高可擴展性):

由於資料會先進入 cloudlet 進行 computation 處理，因此透過 cloudlet 得以有效的減少在雲端上傳輸、轉換所需的頻寬。使用過程中產生的數據只會傳遞到距離最近的 cloudlets 上，而負責的 cloudlets 會即時地進行運算並且只回傳伴隨著 metadata 的最終結果，此運作架構稱為「GigaSight framework」。藉由 GigaSight framework 得以將進入雲端的流量頻寬減少三至八個數量及，因此可降低運行服務所需的設備建置成本，從而提高雲端服務的擴展性，也就更有利於需要 computation-intensive 與 latency-sensitive 的應用程式發展。對於 IoT、飛行器 sensor、自駕車，cloudlet 的即時分析皆能帶來相當大的幫助。下圖為利用 GigaSight framework 進行影像運算的示意圖：



## 3. Privacy-policy enforcement(加強隱私政策):

隨著隱私權與個人資料保護的意識逐漸抬頭，也有越來越多的相關法律規範，使用者希望個資的控制權能掌握於自己，例如：得以自行決定何時欲刪除或修改敏感而不希望傳送出去的資訊。然而在一般的 IoT 架構中，資料無時無刻都會從 sensor 收集直接傳送至 IoT hub 中，因此便難以對自身隱私有所控制。而文中所提出的 IoT 隱私保護架構能將使用者個人裝置所傳出的 data stream，先傳送至一個位在使用者所信任 domain 下的 cloudlet 進行處理，如此便可確保資訊僅會在使用者信任

的環境下運算後再上傳至 IoT hub 上。而 sensor 所傳送的資料也僅會被存放於 cloudlets 一段有限的時間，且當 IoT hub 欲進一步要求詳細 sensor 資料時(full-fidelity request)，使用者得以拒絕。因此透過 cloudlet 中的 privacy mediator，在傳送 data 到 cloud 前於 cloudlet 便可實施相關隱私政策。

#### 4. Masking cloud outages(隱藏短暫的服務中斷):

網路世界實為一個充滿敵意的環境，雲端服務可能會受到網路上的攻擊或受網路設備影響而中斷，cloudlets 可以扮演 proxy server 角色短暫地維持主要服務的運作，讓使用者不會感受到服務中斷。因 cloudlet 比起雲端更接近於 mobile，其生存更多的仰賴於 mobile，因此可短暫的 mask cloud inaccessibility，讓雲端服務中斷不會受太大影響。

除上述議題外，雖然 Proximity 能擁有較低的能源消耗以及即時的反應能力，但到底在所需要的距離上需要多近，則也是另一個需要討論的議題。

### 三、研發方向

Edge computing 技術是將 Akamai 的 CDN 概念加以延伸，於 cloud 與 end device 或 sensor 間增加一個 cloudlet 橋梁。透過 cloudlet，mobile application 便不用進行太多複雜運算，而可以將這些運算交由 cloudlet 處理完畢再回傳，進而降低 response time 與能源消耗，也就令 edge computing 與 edge analytics 能帶來許多應用。

然而，edge computing 也面臨了挑戰。在技術方面，軟體機制以及 collective control 與 cloudlet 的分散式運算的演算法仍有許多未知的部分，有別於 cloud computing 集中化的低管理成本，edge computing 分散式架構下的複雜控管機制將會是一大挑戰，在未來仍有許多的優化空間。此外，cloudlet 周邊的 security 也是值得注意的發展方向。而在商業化方面，在沒有足夠的 cloudlets 應用被開發出來時，很難吸引資金透入部署 cloudlet，但倘若沒有足夠的 cloudlets 被部署，也難以吸引開發者投入。不僅如此，cloudlet 的部署尚需要 complex set of industries(跨產業)、communities、及 standards organizations(跨標準組織)等一同涉入，才能共同發展一個有效的、可實行的商業模式。

### 四、未來預測

隨著 SDN、NFV、ultra-low-latency 等的發展，以及各式各樣 mobile device 如穿戴式裝置、智慧型手機等的出現，edge computing 的出現提供了許多好處也解決了一些 cloud computing 的議題，必定為趨勢發展的方向。建立在 CDN 以及 cloud computing 的基礎上，edge computing 能夠提供更高的 responsive cloud service 於行動運算上，使得手機的計算能力得以被放大，從而帶起需要更多複雜運算的應用程式發展，例如：自動駕駛、AR、VR 等，提高用戶的體驗。此外，在 IoT 方面，edge computing 也為其提供了可擴展性與 privacy-policy enforcement，得以解決 IoT 的一些隱患，並促進 IoT 的發展。