

網路品質量測的最後一哩路—使用者端量測

古立其

網路與資安組

財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心
lku@narlabs.org.tw

李慧蘭

網路與資安組

財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心
gracelee@narlabs.org.tw

摘要

為了確保網路品質，骨幹網路在核心節點及網路接取點設有種種的量測機制。但在抵達使用者的上網設備前的最後這段使用者端網路，卻往往成為品質監測的死角、網路問題發生的罩門。為了在網路障礙發生的初期即時偵知，並在隨後使用者與網路維運者協同解決問題時提供客觀及全面的偵錯資訊，以利迅速釐清問題範圍、排除障礙，使用者端網路量測極其重要。本文簡介現有的商用及開源使用者端網路量測方案，並對其不足之處，勾勒未來使用者端量測需具備的特性及發展方向。

關鍵詞：網路效能量測, 使用者端量測, 網路品質

I. 前言

運作中的網路有可能因為接頭氧化、機房光纖被扯斷、道路施工挖斷光纜、設備卡板故障等因素而產生障礙。為了確保網路運作在最高的品質，骨幹網路的維運者通常會在骨幹網路的核心節點 (Core Nodes) 及網路接取點 (GigaPOPs) 設置主動式或被動式網路效能量測系統，以便在網路發生障礙時，能夠在第一時間偵知，並迅速縮小可能的問題範圍，以便網路維運人員能盡快鑑定問題，進行查修，讓網路的可用度 (Availability) 保持在最高。

被動式網路量測，通常是通過獲取路由器或交換器等網路設備的狀態資訊，或是以網路設備內建的測試指令對線路狀態進行簡單的查測。隨著軟體定義網路 (Software defined network; SDN)[1] 以及 P4 技術[2]的發展，網路維運人員被賦與了更高的網路控制彈性，因此也可以藉由以軟體控制可程式化網路設備的方式，進行線上即時封包資訊的收集 (In-line telemetry; INT)[3]，得到線路的封包遺失、延遲時間等資訊，來達成被動式量測的目的。被動式量測完全不影響線路上的既有通訊，因此不會對網路的傳輸造成干擾。然而被動式網路量測往往受到網路設備的視野所限，僅能獲得局部的網路狀態，而且除非發生嚴重的網路障礙，否則通常對於網路品質的微量下降並不敏感，無法反應網路真實的使用經驗。

主動式網路量測則是實際在網路上佈署網路量測主機，讓量測主機之間定時進行兩兩對測，以 ping / one-way ping / traceroute 等方式進行封包遺失率、單向延遲時間、來回延遲時間、路徑變化等量測。必要時還可以排程進行線路頻寬量測。主動式量測等於以派駐在各地的主機，

以實地使用網路的方式來進行量測。因此得到的量測結果不但可以忠實反應網路細微的品質變化，同時也與真實使用網路的感受相吻合。然而量測主機一般僅能安裝在電力、網路供應穩定、骨幹網路維運者擁有控制權的機房，因此大多僅限於骨幹網路的核心節點及網路接取點機房。以台灣高品質學術研究網路 (Taiwan Advanced Research and Education Network; TWAREN)[4] 為例，主動式量測主機即安裝於 5 個核心節點及 12 個 GigaPOP，如圖 1 所示。因此量測結果雖然準確，卻僅能反應骨幹網路至各網路接取點之間的網路品質。



圖 1 TWAREN 核心及接取節點分佈圖

從網路接取點到使用者所在的單位、以及進入該單位後，一路連接至使用者終端設備的網路，即所謂的「最後一哩」網路，不在主動式網路量測的涵蓋範圍內。然而最後一哩網路，卻往往是最容易發生網路障礙及人為設定錯誤的線段。不僅因為各使用者所在地的網路環境各異，當使用者遭遇網路問題，向管理者反應或報修時，所能提供的障礙描述，往往不夠全面。受使用者的資訊、相關背景所限，當網路維運者想與使用者協同查找問題時，也非所有使用者都有能力依管理者的指示取得資訊，或操作命令列介面。網路維運者難以根據有限的資訊收

飲問題範圍，找出問題根因。

使用者端網路量測，則是跨越了最後一哩，直接在使用者端的連網設備上執行的網路量測。此類量測通常是設計成需安裝的單機版軟體，或是直接在瀏覽器上執行的網頁版 Javascript 程式。透過從使用者端直接與指定的骨幹網路量測伺服器端進行對測，以便對網路封包遺失率、延遲時間、以及可用頻寬等網路品質進行量測。將網路量測執行在使用者端，最大的優勢就是克服了無法涵蓋使用者端最後一哩網路的劣勢，能真正測出完全符合使用者使用體驗的網路品質狀態。當網路發生障礙時，從使用者裝置的視角所得到的量測結果，正是過去在排除網路問題時，最缺乏的資訊。與骨幹端的數據結合後，將大大增強鑑定問題發生位置及問題類型的能力，對於網路維運者有莫大的裨益。然而使用者端的裝置很少全時開機，難以收集長時間的網路變化狀態；單機軟體型式的量測軟體使用者的接受度較低（使用者對於安裝額外的軟體可能有資安方面的顧忌、又或是沒有安裝軟體的管理者權限）；網頁版 Javascript 型式的量測軟體受瀏覽器的安全框架所限，難以串連本機端的其他輔助量測工具（例如 traceroute），而且僅在網頁開啟時能產生作用，網頁一旦關閉，功能即告結束，對於需要長時間量測才能鑑定的網路問題，能提供的資訊有限。然而使用者端網路量測受惠於大資料的整合，在整合同一網路環境、或相近網路環境的其他使用者端量測結果之後，可以疊合出單一全時量測主機所無法獲取的網路全貌資料，為其所長。關於使用者端量測的優缺點及其應用，將在後方章節詳細論述。

II. 現有的量測方案

現今的網路監控可以在故障或中斷時即時通知網管人員，以確保最佳的服務可用度。網路效能監控也期望可以全面提升應用效能和使用者體驗的滿意度，在使用者尚未發出抱怨聲音之前，可以由使用者端自主式和自助式的量測獲得效能量化的數據，加速判斷應用程式效能低落是因為網路還是因為應用程式的服務端所造成。

網路上許多雲端網路效能量測網站，不只是測試各項應用的效能，還有根據不同作業系統平台，如 Mac、Windows、Android 和 iPhone 等所執行的網路效能進行量測。測試的項目一般包含 download 速度、upload 速度、封包來回延遲時間 (Round trip time; RTT)、封包延遲時間變異量 (jitter)、使用者端 IP 位址、所屬 ISP 網段、IP 地理位置 (國家和城市)、選擇量測對象的伺服器位置等等。以下為目前常見的雲端效能量測平台：

Cloudflare[5]-由知名的 CDN 供應商 Cloudflare 所提供，在全球超過 80 個國家的 200 多個城市佈署量測機器，連上網頁之後，自動選取最近的量測點進行量測。網頁上會轉換 IP 位址為地理資訊，並進行 download 和 upload 速度的量測。如圖 2 所示。

Cloudflare 的這套工具稱為 Workers，是邊緣運算架構，

類似 AWS 的 Lambda serverless 服務，基於 W3C 標準規範的 Service Worker 所開發而來，因此主要以 JavaScript 進行撰寫。

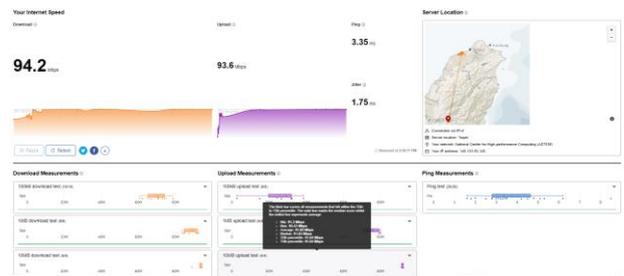


圖 2 Cloudflare 效能量測圖

Ookla[6]-美國公司 Ookla 旗下最著名的產品 speedtest.net 和 Dnswat，以發展網路測速工具聞名。該公司經常發表全球機場 wifi 網路速度排名、全球 5G 網速排名等而打響知名度。其測項及介面如圖 3 所示。

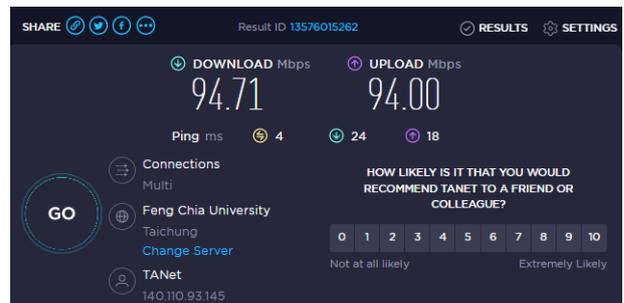


圖 3 Ookla Speedtest 效能量測圖

Fast[7]-由 Netflix 集團所贊助，網頁上 privacy 隱私權聲明，告知收集資訊的免責聲明，與網路監控產品服務商或網路服務商合作，將 Fast.com 網路速度測試軟體整合在這些公司的產品和服務中。Fast 的量測畫面及呈現的資訊如圖 4 所示。

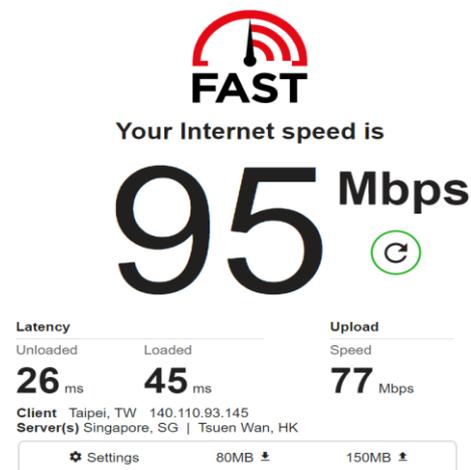


圖 4 Fast 效能量測圖

SpeedOf.Me[8]-是一個純 HTML5/Javascript 網路測速平台，不需執行 Flash 或 Java。所量測的主機位於 AWS 美西，主機 IP:100.20.22.41/54.69.233.224。提供量測的歷史資料 CSV 檔下載，包含：測試日期時間、download、upload、latency，測試項目如圖 5 所示。



圖 5 SpeedOf.Me 效能量測圖

IXIA Hawkeye[9]-商業版主動式效能監控系統，量測架構可在 endpoint to endpoint 之間，長時間定期自動量測，另有一中央控制平台收集 endpoint 的量測結果，控制量測參數。量測項目提供各種應用的 IP 效能傳輸(ftp、mail、http/https)，視訊會議傳輸效能(zoom、teams、skype)等，另支援無線網路連線測試：訊號覆蓋率和連線品質驗證。使用者端的探針除了軟體式 agent 安裝在 endpoint 之外，還有硬體式的 raspberry Pi (xrpi)，xrpi 體積小可以做為可攜式量測探針。Hawkeye 顯示畫面如圖 6 所示。

Hawkeye 為商業產品中的佼佼者。相對於一般量測程式僅針對封包遺失率、來回延遲時間、傳輸頻寬等基本網路特性進行測試，Hawkeye 最大的優勢為具備相對完整的應用層量測功能。其量測標的包含的應用相當廣泛，包含 http、https、FTP、mail、DNS、zoom 視訊、Teams 視訊、skype 視訊、data transfer、等等。可設定 threshold 對異常數值進行告警，且具 auto threshold 選項，針對量測值的常態變化進行學習並自動決定 threshold 門檻，可避免初次設定數值不佳引發太多 fail 告警次數。並可針對應用的伺服器主機進行測試，實際反應應用服務在此網路條件下的效能。

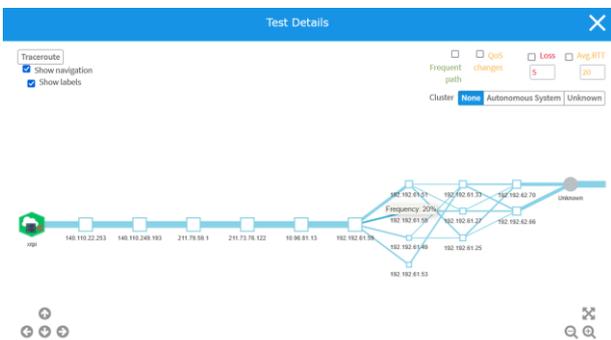


圖 6 Hawkeye 路由追蹤圖

但受限於其基本設計，在適用的網路量測情境亦有所限制。例如其使用者端需要安裝 agent。使用者通常會排斥被強制安裝 agent。為此往往需要在靠近使用者的網路環境中，安裝一台我方可以控制的效能量測機器。此外，使用者端與待測端(可能為骨幹端的 Hawkeye 伺服器，或是各種應用對應的雲端服務主機)之間的量測封包需能夠順利透過，量測才能進行。因此若使用者端的組織內有防火牆，防火牆須配合對應的量測功能開放多個埠號。例如 agent 為了要跟 Hawkeye 中央控制台溝通，需要開放註冊埠 TCP 10117；agent 要回報量測結果給中央控制台，需要開放埠號 TCP 25025-25050；使用者端對使用者端進行 RTP 對測，例如 Skype4B、VOIP 服務等，需要開放 UDP 10115。隨著要量測的應用不同，還需要增開各服務對應的埠號。由於需要請使用者先安裝 agent，再請對方開放防火牆的諸多埠號，過程中會耗費許多時間與人力，更需要說服對方配合，因此適用情境較受限制。以上量測方案的測試項目可統整如表 1。

表 1 現有使用者端量測方案比較表

| 方案 | 封包延遲 | 上下傳速度 | 地點偵測 | 路由 | 應用量測 |
|--------------------|------|-------|------|----|------|
| Cloudflare Workers | V | V | V | | |
| Ookla Speedtest | V | V | V | | |
| Fast | V | V | | | |
| SpeedOf.Me | V | V | | | |
| Hawkeye | V | V | V | V | V |

III. 使用者端量測的需求

市面上效能管理產品有兩大類:應用層效能管理 APM(Application Performance Management)和網路層效能管理 NPM(Network Performance Monitoring)。APM 是在應用服務系統中植入 agent，即時且隨時都在監控應用服務的回應時間、處理時間和耗費的資源，因此也可以做到監控使用者在連線特定應用的服務品質，可明確指出造成緩慢的應用程式，進一步做到貼近使用者經驗的效能優化。NPM 是針對網路設備節點之間的效能品質網路 QoS 量測，效能的指標以網路品質為主，例如：封包遺失率、RTT 等。

從終端使用者電腦，途經的網路和防火牆，應用程式或系統效能到後端資料庫，每個環節的效能都可能造成服務效能不佳的原因。以國網中心常見的網路故障排除事件為例，國網中心自行維運 TWAREN 網路骨幹，

當有外部使用者反映效能問題時，為了快速且準確的找出原因，通常會先分段式確認網路效能。從靠近使用者端的骨幹網路到提供服務的內網，分段式查找問題。為了加速判斷網路效能問題點，因此提出由終端使用者端進行網路效能量測，以網頁方式進行。避免使用者排斥在電腦上安裝 agent 軟體，也避免區域防火牆阻攔特定埠號。在過去網路查修的經驗中，適用的使用者端網路效能量測功能須具備以下特點：

- 以網頁作為量測工具，包含 Chrome、FireFox、Safari 和 Edge。
- 可進行單次量測：可選擇量測數量 (packet number)、持續量測時間 (test duration) 或同時連線數 (parallel connections)。例如：送 10 個封包；送 60 秒；同時以 2 個連線傳送。
- 可進行排程量測。可選擇量測數量 (packet number)、持續量測時間 (test duration) 或同時連線數 (parallel connections)。例如：在 2022/9/30 00:00~03:00 送 1000 個封包或是送 3 小時。
- 量測項目包含：download 速度、upload 速度、ping 時間 (RTT)、jitter、packet loss、Web 回應時間 (httping)、traceroute。實際上傳檔案、實際下載檔案。
- 量測頁面必須顯示資訊：日期時間、使用者端 IP 位址、所屬 ISP 網段、IP 地理位置 (國家和城市)、選擇量測對象的伺服器位置。
- 量測結果可網頁顯示量測結果和提供檔案報告下載。
- 可區分使用者權限。一般權限均可進行基本項目量測。關閉網頁後，仍可呈現量測歷史紀錄。而進階權限可提供報表下載、效能差異分析和效能改善處置建議。
- 所量測的資料均集中儲存於後端資料庫；提供資料庫平台進行以下管理：
 - 可依時間戳記顯示。
 - 提供使用者量測資料調閱比對效能差異。以數據、圖、表顯示。
 - 可依量測參數設定 threshold，提早告警效能異常現象。
- 研判網路發生問題點
- 改善網路效能建議
 - 建議使用者進行網卡調校或其他處理方式。
 - 建議網路維運人員處理方式。

從上述的市面上現有的使用者端量測方案中可以比較發現，除了商用的方案提供更多元的路由及應用層量測之外，一般免費方案僅聚焦於上、下傳的傳輸速率為主。對於驗證使用者端線路是否符合所租用方案的宣稱速率，尚有幫助之外，對於其他類型的網路障礙的釐清幫助相當有限。如果測速結果為 0 (或量測失敗)，只能得知使用者端至量測伺服器端連線不成功，但無法進一步分析

究竟為線路斷線、防火牆阻擋、或路由設定有誤等原因。如果測速結果數據不佳，亦缺乏分段驗證的能力，無法進一步查知造成傳輸速率不如預期，問題出在何段線路上。因此使用者端量測尚需搭配伺服器端的資料統整與分析能力，從不同位置、或相近網路環境的量測結果交叉分析，將可能發生問題的範圍進一步縮小，並對問題的種類進一步分析，以利維運人員查找問題的根因。

IV. 結論與展望

在雲端服務逐漸成為市場主流的同時，網路的品質也逐漸負擔更加吃重的角色。可以說網路連線的品質，直接決定雲端服務的品質與滿意度。而隨著雲端服務的興起，網路的連線型態，也逐漸從過去以兩個使用者間的 peer to peer 為主的連線方式，向使用者對雲端服務機房為主的方式過渡。也由於這種演變的產生，使用者端網路品質的掌握，成為雲端服務在 5G 時代走向低延遲、高傳輸量、高穩定度的未來的重要關鍵。使用者端最後一哩的網路品質唯有使用者端網路量測才能測得的特性，註定了使用者端網路量測在未來不可或缺的重要地位。

然而目前市面上的使用者端量測大部份側重於上下傳頻寬量測，對於鑑別網路故障類型及障礙發生位置的幫助十分有限。若能減低使用者端量測對頻寬的依賴、增強使用者端量測同時對多個不同位置的骨幹量測點的量測能力，拉長使用者端量測的時間長度，並在後端結合相近網路環境的使用者端量測的結果，並存大數據中套用人工智慧輔助判斷故障類型、故障位置及初步處置的建議，將可同時增加使用者端量測對於使用者及骨幹維運者在監測網路品質及排除網路故障上的幫助，讓網路品質得到最大的提升。

參考文獻

- [1] Software-defined networking, https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking
- [2] P4 (programming language), [https://en.wikipedia.org/wiki/P4_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/P4_(programming_language))
- [3] The P4.org Applications Working Group, "In-band Network Telemetry (INT) Dataplane Specification", 2020/11/11, https://p4.org/p4-spec/docs/INT_v2_1.pdf
- [4] 台灣高品質學術研究網路 (TWAREN, TaiWan Advanced Research and Education Network), <https://www.twaren.net/>
- [5] Cloudflare Speed Test, <https://speed.cloudflare.com/>
- [6] Ookla Speed Test, <https://www.speedtest.net/>
- [7] Fast Speed Test, <https://fast.com/>
- [8] SpeedOf.Me Speed Test, <https://speedof.me/>
- [9] IXIA Hawkeye, <https://www.keysight.com/tw/zh/products/network-visibility/hawkeye.html>