



■ EANTC ■

測試思科新一代
行動 IP 網路解決方案



簡介

行動網路，是未來網路通訊的趨勢——無線寬頻技術將會無所不在，不僅能達到全世界的需求，還能將可產生收益的視訊及資料應用程式提供給各式各樣的用戶族群（請參閱 *Cisco: 推動行動資料蓬勃發展的視訊*）。

至少，這是通訊業者和廠商的共同目標。主要的難題在於：如何從今日以語音驅動的網路（少數智慧型手機用戶已開始在這方面遇到問題）蛻變成明日大量使用寬頻的解決方案？（請參閱「AT&T 推出行動資料點」。）

如何透過符合成本效益的方式將如此龐大的頻寬傳送至數量倍增的基地台？該如何重新定義這個龐然大物在行動通訊核心的定位？通訊業者所提供的資料應用程式所增加的收益是否能高於成本？若是如此，該網路是否應該保持中立，亦或該偏向此類應用？

揭開行動測試的面紗

Light Reading 與 歐洲高級測試中心 (European Advanced Networking Test Center AG — EANTC) 認為此類討論該多些客觀和事實了。目前，多數網路知識都受限於保密協議的規範，只由廠商實驗室及行動業者網路設計部門所擁有。我們的目標是要針對廠商的整個行動基礎架構籌劃一個獨立且公開的測試，包括有線回程傳輸（從基地台到行動服務節點）、網路核心（服務功能之間的連線與網際網路連線），以及具備大規模封包和語音閘道的「行動核心網路」（請參閱「瞻博網路 (Juniper) 挑戰思科公司 (Cisco) 的行動核心網路」）。

Cisco Systems Inc. (思科公司) (Nasdaq: CSCO) 是第一家與我們接觸提供籌劃與測試所有功能的廠商。這很令人驚訝，因為，過去的思科並不是以最佳行動基礎架構供應商著稱，但自從 Starent 收購行動之後，一切都一樣了（請參閱「思科計劃以 29 億美元購買 Starent」及「Cisco/Starent 交易造成瞻博網路的損失」）。

而且，思科與 Light Reading 合作進行的獨立公開測試已行之有年：

- 測試思科的媒體資料中心

目錄

簡介	2
網路設計	4
測試使用的硬體	6
測試案例：相位與頻率同步	7
測試案例：IP-RAN 中的 QoS	8
測試案例：路由處理器備援	10
測試案例：硬體升級 (CRS-1 到 CRS-3)	10
測試案例：連結與節點修復能力	11
測試案例：All-IP RAN 規模	13
測試案例：100GbE 輸送量	14
測試案例：NAT64 工作階段產能	15
測試案例：NAT64 模組備援	16

- 視訊體驗與規格化：深入探討思科的 IP 視訊應用
- 測試思科的 IP 視訊服務傳遞網路
- 測試 Cisco 的 IPTV 基礎架構
- 40-Gig 路由器測試結果

的確，思科致力於公開、獨立測試，這是眾所周知的。但是，我們不該完全依賴一家廠商所提供的資訊及報告：任何廠商都可以參與這項測試計劃。

關於歐洲高級測試中心 (EANTC)

歐洲高級測試中心 (EANTC) 是一所獨立測試實驗室，1991 年成立於柏林。此實驗室為服務供應商、政府及大型企業進行許多不分廠商的概念驗證和接受度測試。2000 年代中期之後，歐洲高級測試中心 (EANTC) 的主要服務範圍開始集中於為廠商和服務供應商進行封包式行動回程傳輸和行動封包閘道 (GGSN) 測試。從 2007 年起，歐洲高級測試中心 (EANTC) 的卡爾思登·奧森豪威爾 (Carsten Rossenhoevel) 同時兼任 城域以太網論壇 (Metro Ethernet Forum — MEF) 行動回程傳輸行銷工作小組主席。

歐洲高級測試中心 (EANTC) 在本計劃中負責詳細定義測試主題、在網路設計與預先籌劃階段期間與思科進行溝通、與測試設備廠商 (Spirent 和 Developing Solutions) 協同合作、於加州聖荷西的思科實驗室進行測試，並且將結果詳實記錄於本報告及後續報告中。歐洲高級測試中心 受 Light Reading 委託進行這項獨立測試，同時僅對 Light Reading 報告。出版前的文章初稿皆未由思科審閱。

測試中的網路

思科為 GSM/GPRS (2G)、UMTS (3G) 及 Long Term Evolution (LTE) 服務提供完整且真實的行動業者網路，其中包括行動核心、無線電網路控制器及 IP 回程傳輸基礎架構。

該網路以我們所建立的 歐洲高級測試中心需求規格 (Black-Box RFP) 為基礎；這項規格的用意在於做為美國、歐洲及亞太地區目前與未來的共用行動網路。具體而言，思科取了下列設備：

- ASR5000 行動閘道 — 由近期收購之 Starent 集團提供
- 思科的全新 CRS-3 旗艦級通訊業者路由器，包括預先生產的 100 GB Ethernet 設備
- 資料中心設備 (例如 Nexus 7000)
- ASR9000 和 7600 彙總層路由器
- 預先彙總系統 (例如 ASR1000、ME3600)，以及尚未發售的 ME3800 系列
- 基地台閘道器 (例如 MWR2941)

模擬項目包括基地台、用戶及其他接取環。所有元件皆裝載於思科實驗室中，採用整整 13 個 19 英寸機架。該網路的規模足以滿足超過 4500 個模擬基地台的需求，可供 150 多萬名行動用戶使用。這些測試是由固定的八人計劃團隊於 2009 年 12 月開始規劃，並於 2010 年 6 月及 7 月，與一個超

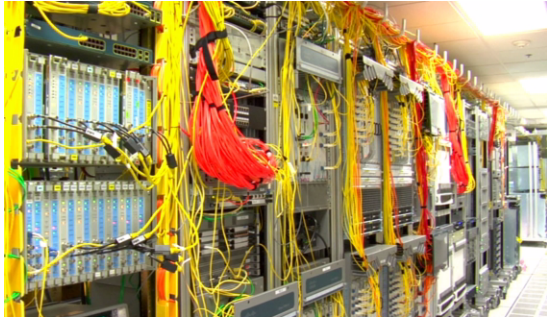


圖 1：思科的行動網路設備

過 30 位專家的團隊共同執行。

重點結果

我們針對絕大部分的行動通訊難題大規模驗證 思科產品。結果顯示，思科確實支援每一代行動網路，範圍涵蓋 GSM (2G) 和現代的 UMTS (3G)，以及新一代的無線電技術：Long Term Evolution (LTE)。保守地說，這項為期九個月、由第三方測試機構進行的行動基礎架構廠商效能測試，堪稱是最規模最大、最深入的公開獨立測試。

思科的所有技術與產品皆能展現出令人滿意的擴充性及尖端功能。具體來說，ASR5000 的行動核心測試在在顯示收購 Starent 是一項明智的舉動，確實能為 思科 服務增加一項既穩固又成熟的產品。在測試中，有些新產品出現某些初期問題，例如 ME3800 存取路由器和 CRS-3 的 100GigE 介面，不過所有問題皆在測試期間獲得解決。歐洲高級測試中心在測試期間所發現的錯誤，其實彰顯了一個特點：我們得以藉此評估思科的工程及品保團隊速度，以及該公司內部工程知識的完整性（相較於其他廠商常採用的純粹 OEM 產品或第三方元件裝配做法）。

將這些元件整合於一致且可運作的網路設計，是這項挑戰主要關鍵：各個相關業務單位必須協同合作，並且充分瞭解彼此的通訊協定支援。有些新產品系列支援 LTE 嶄新部署；有些產品則適用於 2G/3G/LTE 移轉。我想，沒有任何產品可以同具備所有功能。在少數幾個令人意外的案例中，我們的測試成為 Cisco 對 Cisco 的互通性演練；根據我們的經驗，並非只有 Cisco 如此，而是業界各大企業的通例。

現在是 LTE 部署進入黃金時段的好時機嗎？那可不一定。從這項相當廣泛的實驗室測試中，我們所能掌握的是：回程傳輸和核心有線基礎架構及行動核心中的關鍵元件基礎材料確實存在的，而且目前正持續擴充當中。但是，在正式的數學語言中，這些是必要（但不一定充分）的先決條件。實際的收費與帳務功能、資料佈建及故障管理等方面的整合，仍屬各行動業者未來的工作範疇。

既然我們在整理思科 所提供的服務務，那麼結果摘要是如何產生的呢？如您所見，歐洲高級測試中心團隊很難留下深刻印象；這種情形有點類似米其林美食指南餐廳評論家先嚐過包含生蠔及黑魚子醬、覆盆子、蛋奶酥與奶泡義大利濃縮咖啡在內的 12 道餐點，再與他所在其他知名餐廳的用餐經驗進行比較。這真是一項傑出的測試，不僅開業界之先例，而且是創新又富於勇氣的突破，同時更是令所有人員興奮不已的經驗。我們很高興在此分享思科的解決方案其豐富成果和深入觀點。當然，我們所

測試的思科的產品並不全然像黑魚子醬，不過，蛋奶酥也很不錯。謹此。



圖 2：啊！陽光！好熱啊！

網路骨幹與 IP 無線電存取網路 測試簡介

我們將這個大規模的測試分成兩個部份：這是兩項測試功能中的第一部份，測試項目是網路基礎架構骨幹及 IP 無線電存取網路 (RAN)。

第二篇文章著重於行動核心與應用程式服務測試。

第一節說明「傳統思科」部份：針對整合式間或應用程式感知服務，設計與建構有線資料網路。我們僅模擬 2G、3G 及 LTE 行動應用資料流程，以便保持合理的規模要求及測試複雜度。然而，DSL 與有線電視網路的有線住宅和商業應用（例如我們在 Medianet 測試中鎖定的應用範圍）可以透過增加節點與連結的數量來新增（思科的網路設計是以多重協定標籤交換技術 (Multiprotocol Label Switching, MPLS) 為基礎，類似於 Medianet 測試）。

當我們向服務供應商探詢有關封包式回程傳輸網路的主要困難之處時，多半得到了一致的回答：時脈同步、已成形之 3G 與 LTE 資料流量的規模、語音流量的服務層級保證，以及 LTE 需要的多點服務類型。同時，全球所有主要市場中都存在著多個 GSM 通訊業者，因此，具競爭力的價格就是最重要的層面。不同層面各具有特定的急迫性，這種情形因詢問的對象而異：

- 北美業者大多致力於解決互動資料流量並改善網路涵蓋範圍；也就是說，他們需要更多基地台，而每個基地台也都需要更多的（以太網路/IP）頻寬。他們信任美國政府全天候透過「全球定位系統」(Global Positioning System, GPS) 提供計時的意願，因此，網路時脈同步對他們而言並非主要議題，這一點並不令人感到驚訝（請參閱「電信市場焦點：北美」）。
- 歐洲長期並用 GSM 和 UMTS 網路，因此造就了大量的舊版 E1 連接設備，未來將需要以較低的價格維修這些設備。具備膝上型電腦硬體鎖的行動寬頻服務趨勢已成為主要的競爭差異因素，擁有最佳回程傳輸與基礎架構核心的業者終將贏得大多數的商務用戶。用戶似乎瞭解到，網路中立的缺點是缺乏有保障的服務層級，因此，大量服務（例如非互動式 HTTP 及點對點應用程式）的流量管理在檯面下的接受度最高，這也是不容否認的事實（請參閱「電信市場焦點：歐洲 II」及「電信市場焦點：歐洲」）。歐洲的建築物及地下公共運輸系統設有大量的 Picocell 網路基地台，因此，網路時脈同步是節省回程傳輸成本的重要資產（在正常運作的前提下）。
- 中東與亞太地區的區域市場都很多樣化，因此都需要具有高度競爭力的大規模部署。多數區域中的價格都非常低廉，語音服務最低只要每月 10 美元，統一費率資料服務則是最低每月 40 美元，而且每個使用者的平均收益 (ARPU) 持續下滑中。同時，印度、印尼及中國等國家每季增加的新用戶達數千萬之多。這些區域中的主要需求則在於全功能、低成本的大規模網路。在其中某些區域，最好還能增加更好的通話品質

（保證網路的語音品質且基地台順暢可用），這將是未來的附加需求。只有較講究的市場（例如新加坡）會考量 LTE 問題（請參閱「印度電信市場指南」、「電信市場焦點：中東」、「印度於 6 月增加 1800 萬用戶」、「SingTel 大肆賣弄 LTE」，以及「電信市場焦點：亞洲」）。

我們如何在單一測試計劃中納入以上所有需求？很簡單，因為我們一律排除價格：我們只在交給思科的設計要求中加入所有市場需求。網路必須具備足夠的成熟度，才能因應大規模資料服務、進行 2G/3G/LTE 移轉、儘可能提供時脈（頻率與相位）同步，而且必須具備骨幹和存取方面的修復能力，以及彰顯出服務品質的差異性。

思科在今年 1 月接受我們所賦予的這項挑戰之後，著實琢磨了一段時間，並在一個月後將設計和實作指南交回給我們。本指南經過無數次修訂，目前為第 30 版，思科便以本指南為網路測試基礎。

下圖是網路中所有節點和直接連線測試設備的完整實體拓撲（有關測試設備的詳細資料請見下一頁）。視網路採 LTE 或 3G 設定而定（若在移交示範的情況下，則同時取決於一對裝置的這兩種設定），ASR 5000 具有不同功能，而在測試專用圖中亦有此類標記，（本系列的下一篇文章將詳述這一點）。

從使用者角度來看，Cisco 顯然是在同一個網路中運用兩種截然不同的模式：其中之一以需要混合部署 2G/3G/LTE 的業者為對象，另一個則著眼於 LTE 斬新部署。兩種模式各具平行存取與初始的平行彙總系統（其中之一是 7609，另一個則是 ASR9010）。不過，LTE 流量的匯集都導向「演進式封包核心」(Evolved Packet Core, EPC)。最後，最上方是統一的 IP 核心，任何行動技術的後行動核心 (Post-Mobile-Core) 流量終將經由此處對外通往網際網路。下表概列我們所擁有的各類型模擬基地台數量、各類型所模擬的服務，以及針對該模擬所建立的使用者（或資料流）數量（請參閱「LTE 演進式封包核心」）。

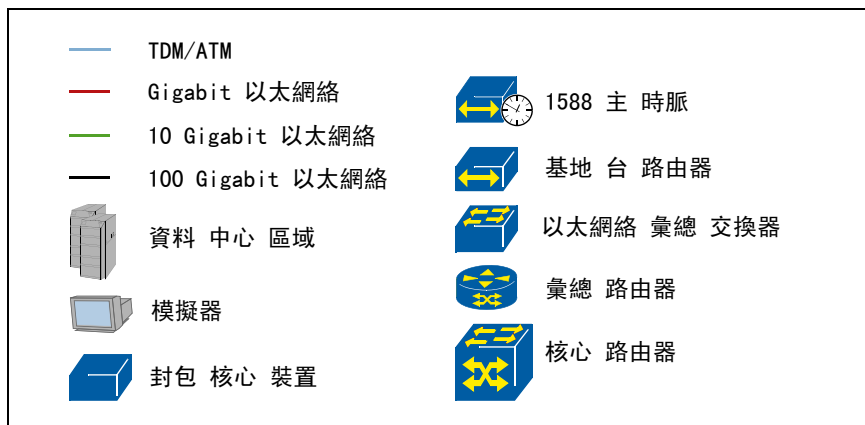
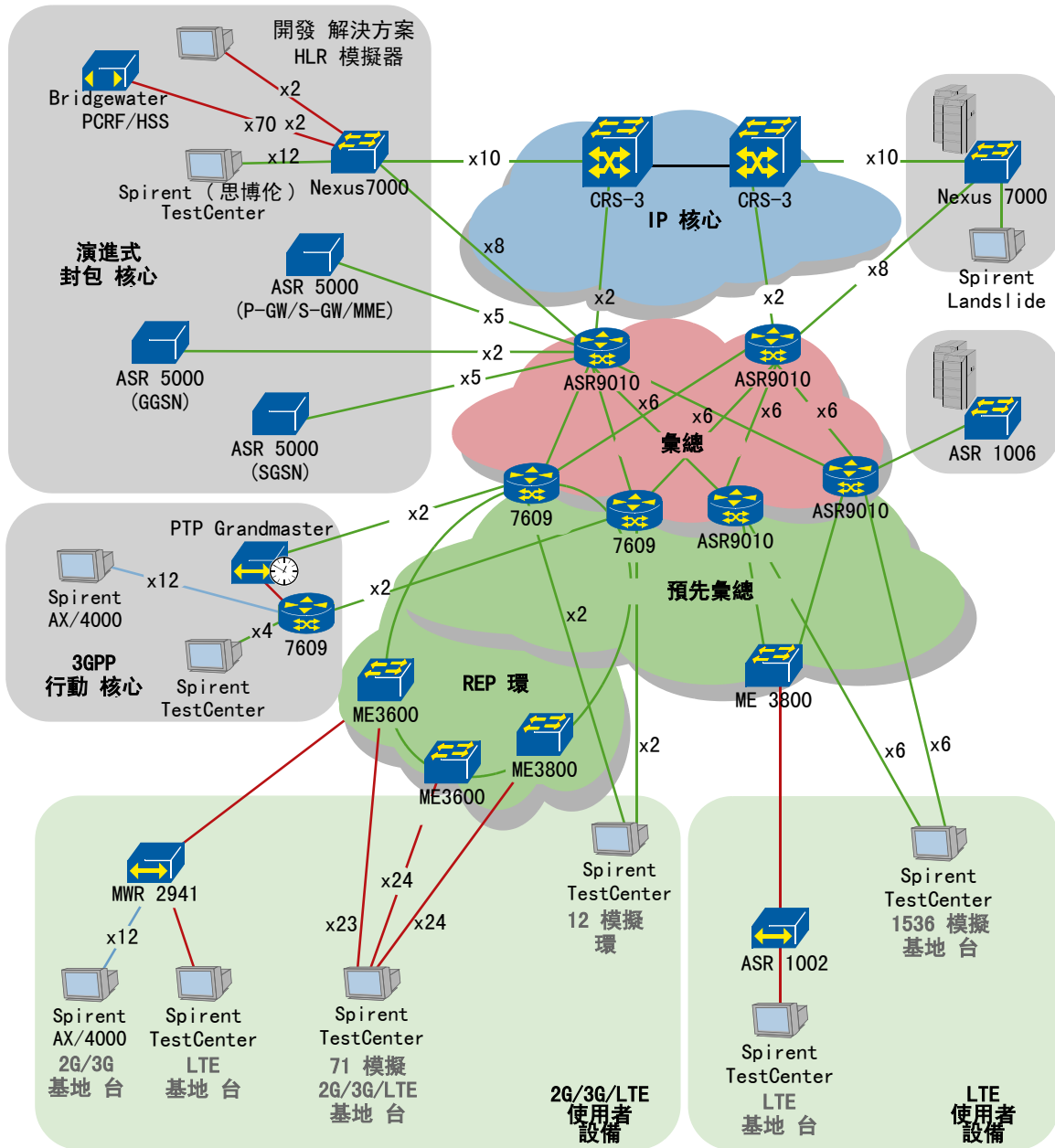


圖 3 實體 網路 拓撲

流量類型	說明	下游頻寬	每個信號塔的工作階段	每個信號塔的頻寬	封包大小	DiffServ 類別
Any-G 設定檔 (採用混合的 2G、3G、LTE 資料流) — 總共涵蓋 864 個 Any-G 模擬基地台						
2G (TDM)	語音與資料	0.025	226	5.67	280	加速轉送
3G (ATM 資料)	語音	0.020	406	8.12	512	最佳效果
3G (ATM 即時)	資料	0.134	95	12.77	64	加速轉送
LTE (即時網路)	X2 介面 (控制面板)	0.026	11	0.29	1,024	加速轉送
LTE (即時 - 使用者)	語音	0.020	40	0.80	64	加速轉送
LTE (串流)	IP 視訊、多媒體、網路廣播	0.342	10	3.42	1,024	類別 4
LTE (互動式)	網路瀏覽、資料庫擷取、伺服器存取	0.323	8	2.58	512	類別 2
LTE (背景)	電子郵件、SMS、點對點流量	0.354	10	3.54	512	最佳效果

All-IP 設定檔 (僅適用於 LTE 資料流) — 總共涵蓋 1,536 個 All-IP 模擬基地台						
LTE (即時 - 網路)	X2 介面 (控制面板)	未見於傳輸網路			1,024	加速轉送
LTE (即時 - 使用者)	語音	0.020	271	5.42	64	加速轉送
LTE (串流)	IP 視訊、多媒體、網路廣播	0.352	67	23.59	1,024	類別 4
LTE (互動式)	網路瀏覽、資料庫擷取、伺服器存取	0.356	50	17.78	512	類別 2
LTE (背景)	電子郵件、SMS、點對點流量	0.349	70	24.43	512	最佳效果

表 1. 模擬流量設定檔

測試使用的硬體

要歐洲高級測試中心運送 100 萬支手機到 Cisco 實驗室進行測試，是有點不切實際，而且我們也承認我們的團隊沒有這麼多人手可以操作它們。因此，我們必須採取比較聰明的方式，在模擬基地台（不論是 E1、ATM 或連接以太網路）、所有個別用戶流量，以及網際網路和語音流量間道時，我們與 *Spirent Communications plc* (NYSE: SPM; London: SPT) 合作。思博倫提供為數驚人的模擬器設備（基本上幾乎是該公司全系列產品的採購清單）。

對我們來說，這項測試計劃的難題是要找到能夠在我們所需測試之各領域提供支援的測試廠商。測試夥伴必須支援第 2-3 層測試，在這些測試中，封包爆量、標記、追蹤及高度擴充性是不可或缺的。此外，為支援我們的行動核心測試，我們需要的測試器必須能夠支援最新的 3rd Generation Partnership Project (3GPP) 標準（包括 Long Term Evolution）、能夠製造障礙並遵循 ITU-T G.8261 設定檔，而且能夠產生可設定狀態的第 4-7 層流量。



圖 4. Spirent 測試設備

當我們在 2009 年 11 月展開計劃時，我們選擇了思博倫通信 (Spirent Communications)，因為它是唯一適合測試中每一個部份的測試廠商。思博倫提供了可裝滿數個機架的測試器，其中包括：

- *Spirent TestCenter* — 此測試器用來產生所有第 2-3 層的流量、測試擴充性及修復能力。

- *Spirent XGEM* — 這項障礙產生工具用來執行 ITU-T G. 8261 同步測試，以及產生模擬服務供應商網路傳輸設備可能發生的真實單向障礙。
- *Spirent Avalanche* — *Avalanche* 適用於需要可設定狀態之流量和通訊協定模擬（例如 SIP）的所有測試。
- *Spirent AX4000* — 用來模擬 ATM 和 E1 流量。
- *Spirent Landslide* — 由於這項測試非常著重於思科的行動解決方案，因此我們使用 *Landslide* 來模擬行動裝置使用者（使用者設備）和 SGSN。

思博倫派遣一組工程團隊到現場支援測試，與歐洲高級測試中心及思科員工並肩合作。有了他們的支援，我們就可以開始進行測試了。讓我們看看思科的表現...

測試案例：相位與頻率同步

摘要．思科的 MWR2941 使用搭配 IEEE1588（高精度時間同步協定）與「同步以太網路」（Synchronous Ethernet）的混合解決方案，展現出達到 LTE MBMS 要求的準確頻率同步。

對於打算在行動回程傳輸中使用封包網路的業者來說，最大的挑戰之一就在於同步基地台與其個別控制器的時脈。事實上，不同行業（金融、電子、測試及量測等等）對於時間同步、頻率及相位同步的需求各有不同。

對於行動服務供應商而言，這些要求多半是因為他們必須以基地台空中介面頻率為準，唯有滿足這項需求，才能達到下列目標：a) 不會發生手機連線錯亂或失去連線的情形；以及 b) 當用戶從一個基地台轉移到另一個基地台時，不會出現業務中斷的情形。

LTE 多了同步基地台振盪器相位的特定要求，舉例來說，這樣就能夠輔助進行「多媒體廣播多點傳送服務」（Multimedia Broadcast Multicast Service, MBMS），或者可提升 eNodeBs 群組對於無線電資源的使用效率。

傳統上，行動網路中的同步功能由基地台的同步實體介面（第 1 層）提供；在舊式 E1/T1 連線中，這項功能是免費的。

不過，這項同步功能並非以太網路所固有，因為它使用的是傳統實體媒體。因此，轉換成以太網路傳輸方式後，業者必須運用其他方法同步基地台，除非他們準備永久保留一個與各基地台之間的舊式連結。

這類技術包含「同步 Ethernet」（SyncE）和「高精度時間同步協定」（PTP）這兩項；前者可以做到 Hop-by-Hop 實體層

同步，後者則是定義於 IEEE 標準 1588:2008 中，為透過整個以太網路/IP 網路傳送同步資訊的控制通訊協定。PTP 並不要求實際連接裝置（SyncE 則需要），同時也提供相位同步，但 SyncE 則不提供。不過，由於 SyncE 是透過第 1 層的實體介面進行，有時可以達到較高的同步品質，而且，此種技術不同於 1588，理論上來說，網路壅塞並不是問題。基於這些理由，思科在其所謂「混合同步」解決方案中充分利用兩種通訊協定。我們的目標並非驗證通訊協定一致性，而是其最終結果，亦即同步品質。

ITU-T 建議 G. 8261 中概列了透過封包交換網路進行同步測試的業界標準。這項標準定義同步解決方案應有的網路條件擷取與重播方法。不同的測試案例定義了數種實際情況的條件，我們選擇了其中三種進行評估：

- 測試案例 13：模擬網路條件的突發性劇烈改變？— 6 小時。
- 測試案例 14：模擬網路緩升至負載繁重的狀況，最後再次下降至較平靜的狀態？— 24 小時。
- 測試案例 17：網路發生失敗，進而模擬聚合情況 —？ 2 小時。

每個測試案例都定義如何在設有 10 台一般連續以太網路交換器的人工測試環境中建立出這樣的情況、如何擷取這樣的情況並用於多少訊框延遲、訊框延遲變化，以及網路所受到的損失。由於這樣的設定採用許多硬體，而且不會在不同交換器上產生重複的結果，因此，我們採用了 Spirent XGEM 這項障礙裝置來重建測試目的情況。

同時，我們在 Cisco 的 MWR2941 基地台路由器（從屬時脈）上測量了 1pps（每秒脈衝數）輸出介面的頻率和相位，再與 Grandmaster — Symmetricom 的 TimeProvider 5000（連接到地區資料中心的 Cisco 7609）進行比較。正如大多數同步廠商通常建議的，PTP 封包在網路中佔有優先權；在本例中，是以 VLAN 標頭中的 Priority 位元為基礎。

然後，我們使用 Symmetricom Inc. (Nasdaq: SYMM) 的 TimeWatch 軟體，針對 ITU-T G. 823 SEC 遮罩，測量了「最大時間間隔誤差」（Maximum Time Interval Error, MTIE）、「時間偏差」（Time Deviation, TDEV）及原始相位產業 — 標準方面的品質。

Symmetricom TimeMonitor Analyzer
MTIE on zoomed area: 0.000 hours to 24.00 hours; Fo=1.000 Hz; Fs=998.6 mHz; *7/9/2010 9:28:36 PM*; **7/10/2010 9:28:37 PM*;
HP 53132A; Test: Z1; Megatest: TC 14; real; Samples: 86283; Gate: 1 s; Ref ch1: T1/Time Data Only; T1 1->2;
July 9 2010

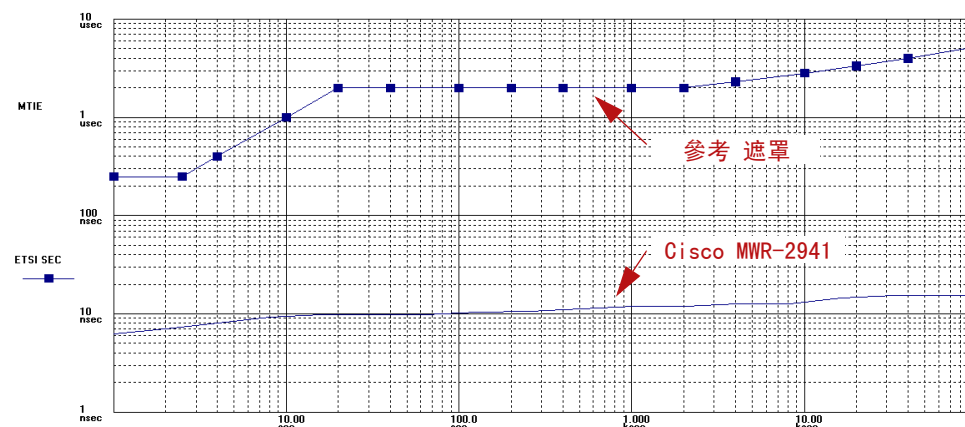


圖 5. 時脈同步測試結果 G. 8261 TC 14 MTIE

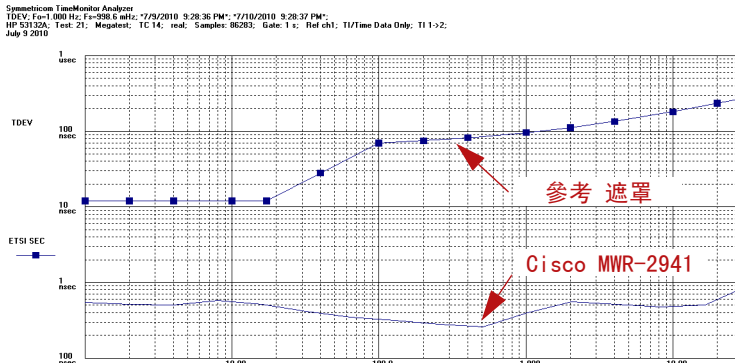


圖 6. 時脈同步測試結果 G.8261 TC 14 TDEV

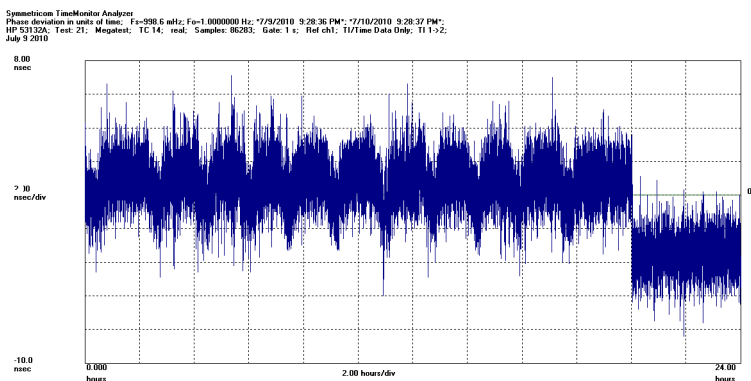


圖 7. 時脈同步測試結果 G.8261 TC 14 相位

每個案例皆以圖形表示相對從屬時脈 MTIE、TDEV 或相位（相對於主機時脈輸出介面的從機時脈輸出介面）。就所有壓力測試而言，其結果皆如預期落在遮罩內。在大多數案例中，MTIE 並未在一段時間後顯著增加，表示振盪器與主機時脈斷線後仍能在數分鐘至一小時內保持最佳狀態；這項低於負載的結果相當令人折服，原因可能只是多種同步技術的智慧組合。

在 G.8261 測試案例 14 中，我們注意到 Cisco MWR 2941 必須在測試期間自動重新校準其振盪器，才能與不斷變化的主機相位保持同步，不過，這項程序非常順暢與穩定，因此 Symmetricom 軟體能夠產生非常平順的 1.0Hz 介面相位報告，如同其他兩個測試案例一樣。我們提供了測試案例 14 的相位、MTIE 及 TDEV 圖表，如圖 5-7 所示。

測試案例：IP-RAN 中的 QoS

摘要. 此處在連結壅塞期間，ASR 9010 與 7609 平台可以適當地分類並按優先順序處理五種類別的流量。

比起一般的實際網路規劃，設計這個網路對 思科而言並不困難。由於採用模擬的使用者，因此其網路使用量是靜態的，不會突然爆量。該網路經過適當建置，適用於這樣的使用情形，而且並未發生壅塞。不過，在真實情況中，網路區域將同時出現使用尖峰期和高原期。

具體而言，基地台位置通常是根據尖峰使用量而預先規劃的，這樣才能應付大量的使用者負載；然而，回程傳輸網路的設計則非如此。基地台需求來自於現實中的人群所在地。以運動賽事或演奏會之類的活動來說，會有數百名使用者同時聚集在一起達數小時之久。

您可能說，以前去看過大型運動賽事，但語音通話從未發生問題。沒錯：語音通話問題主要與越來越多的資料流量加上實際情況有關。只要數個平行視訊資料

流就可能使單一基地台飽和。當然，在這些時段以外，地方網路資源的使用量並不會如此之高，不過，在活動進行期間，如果出現太多通話中斷或無法接通的情形，會讓使用者留下不好的使用經驗。

但是，在彙總與核心網路中規劃全程的完全負載，並不符合成本效益。這是因為壅塞時段較罕見，因此可以省下部份路由器成本。不過，在這些罕見的時段中，封包回程傳輸網路具備了一項重要且眾所皆知的功能：服務品質 (Quality of Service, QoS)。

附帶一提，LTE 設計採用智慧的先進機制，可在應用程式層的使用尖峰期防範網路壅塞問題（透過重新導向基地台流量的方法）。不過，我們尚未針對這些機制的實用性經過完整測試，而且，這些機制都不適用於 2G 與 3G 網路。

QoS 描述出別流量差異的一般功能，並根據流量的丟棄優先順序、丟棄可能性、潛在因素的增加或減少等，以不同方式來處理流量。此項測試的目標是要驗證在壅塞情況中，DUT 是否會按照優先順序處理流量。為證明這樣的優先處理方式可以在實際情況中運作，我們使用稍早解釋過的主機流量組態。為製造壅塞情況，我們移除了網路中的一個連結。我們在下列兩種系統上執行測試：思科的 ASR 9010 和 7609。

準備測試時，我們發現 Cisco 在 7609 與 ASR 9010 上採用的負載平衡雜湊演算法運作方式並不一致。這是整個業界的雜湊演算法通病，不過，以 Cisco 來說，有些連結的負載僅使用線路速率的 29%，而其他連結的使用率則高達 71%。

我們讓思科告訴我們哪些連接的負載較繁重，以確保移除這些連結必定可以造成路由器壅塞。在每個

流量類別	流量類型	應用			每個類別的遺失封包總數	
		類型	範例	方向	Cisco 7609	ASR 9010
最佳效果	2G (資料)、 3G (ATM 資料)	背景	所有資料	RAN->核心	零遺失	
	3G、LTE		SMS、電子郵件、下載	核心->RAN	2.79 %	7.59%
保證轉送 (cs2)	3G、LTE	互動式	網路瀏覽、資料庫擷取、伺服器存取	RAN->核心	零遺失	
				核心->RAN	零遺失	0.32%
加速轉送	2G (TDM)	即時 / 使用者	所有資料	RAN->核心	零遺失	
	3G (ATM)、LTE		語音、控制	核心->RAN	零遺失	
保證轉送 (cs4)	3G、LTE	串流	多媒體、隨選視訊、網路廣播應用程式。	核心->RAN	零遺失	
加速轉送	LTE	即時 / 網路	X2 介面	SideA->SideB	零遺失	

表 2. RAN、Cisco 7609 及 ASR 9010 中的 QoS 組態和結果。

案例中，我們移除了相似裝置類型之間的連結：7609 連接到彙總環之間的連結、7609 連接到 PTP Grandmaster 之間的連結，以及上游 ASR 9010 與

下游 ASR 9010 之間的連結。

選定連結之後，在 ASR 9010 測試中，我們計算出其中三種較低類別會發生壅塞；而在 7609 測試中

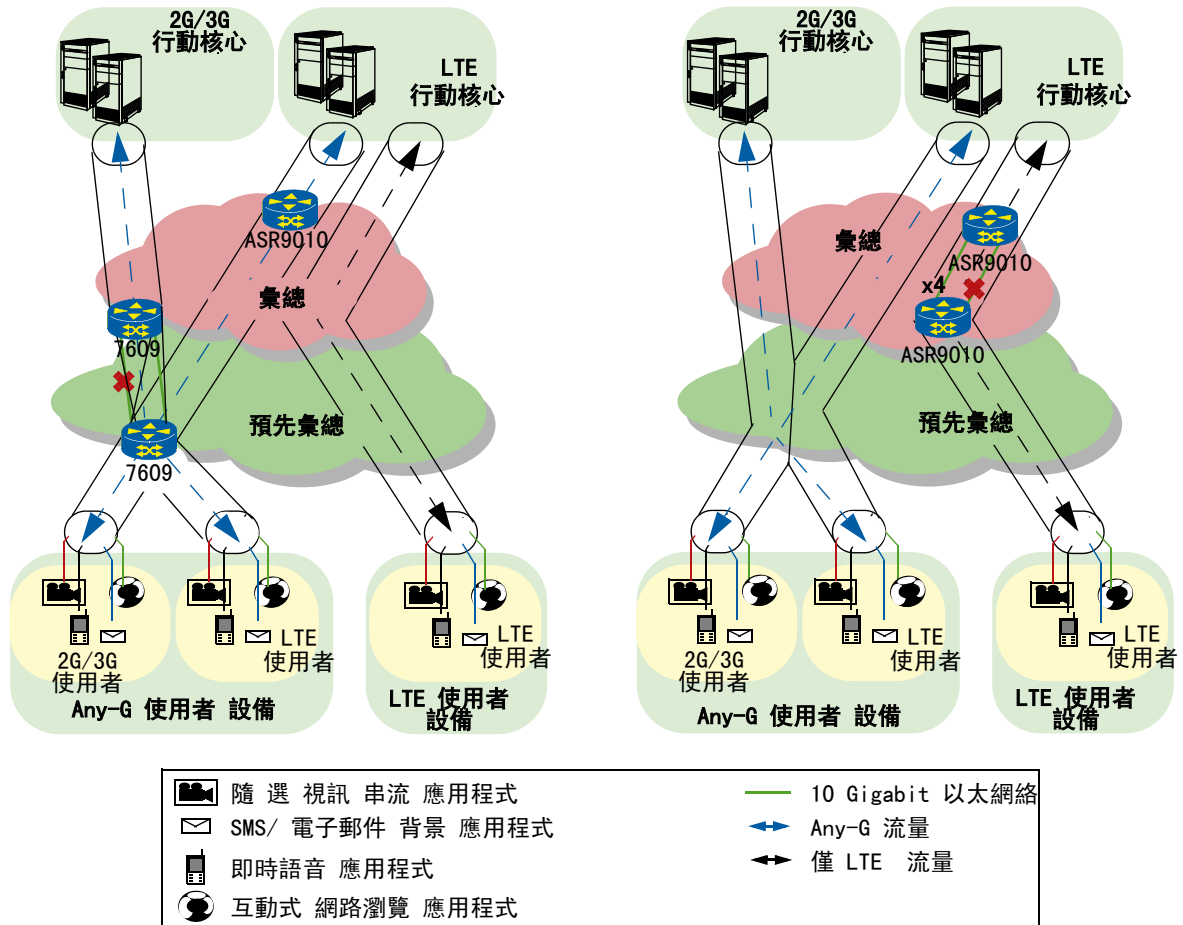


圖 8. RAN 中的 QoS — Cisco 7609 測試 (左), ASR9010 測試 (右)

則只有一種類別 (BE, 最佳效果) 會發生壅塞。這表示, 在前三種 (或四種) 類別當中, 無論哪一種應該都不會遺失任何封包。測試結果相當顯而易見。在 ASR 9010 測試中, 我們實際上看到優先順序最高的前三種類別 (EF, CS4, CS5) 完全未出現遺失封包的情況, 而優先順序較低的兩種類別 (CS2, BE) 則會發生少數遺失封包情形 (但並非全部遺失)。在 7609 測試中, 頻寬足可供優先順序最高的前四種類別通過且不會遺失封包, 我們只觀察到 BE 流量發生遺失情形。

測試案例: 路由處理器備援

摘要。 我們的測試顯示, 在 CRS-1 路由處理器卡的元件容錯轉移測試期間, 並未遺失任何 BGP 工作階段或 IP 訊框。

服務供應商的部署方案通常會包含單一裝置的修復機制。Cisco Mobility 解決方案中的核心元素 CRS-1 正是此類路由器, 因此應該盡可能內建修復功能, 而不需要在旁邊另外設一個一模一樣的路由器。畢竟, CRS-1 透過網路和行動核心連接行動服務資料中心, 因此, 儘可能降低該路由器的故障率是很重要的目標。

CRS-1 包含了兩個控制面板模組, 即 Ciscospeak 中的「路由處理器」(Route Processor, RP)。思科表示, 當使用中模組發生導致故障的災難事件時, 另一個備用模組會切換過來, 維持路由執行實體, 而且不會讓使用者失去其工作階段或任何訊框。Cisco 稱此功能為「無中斷路由」(Non-Stop Routing)。

我們將 CRS-1 連接到 10 個測試器連接埠, 並在每個連接埠上建立 iBGP 對等連線 (Peering) 工作階段, 同時設定 IS-IS 內部路由功能。我們在連接埠之間傳送雙向原生 IPv4 流量, 模擬將 4,500 個基地台彙總到網路核心時應呈現的流量狀態, 也就是每個流量方向增加高達 95.292 Gbit/s 的流量。當執行這項計劃時, 我們藉著拉出 RP 讓使用中的 RP 失效。

我們監控我們的「邊界閘道協定」(Border Gateway Protocol, BGP) 工作階段, 以及流經「待測裝置」(Device Under Test, DUT) 的流量, 並且確認所有 BGP 鄰居都保持在作用中, 而且任何時候都未遺失任何訊框。我們總共重複這項測試六次, 確認結果的一致性。每一次故障之後, 就會緊接著進行復原, 以確認解決方案能在恢復後的模式中運作, 儘可能以合理的速度恢復原始狀態。

根據我們的記錄顯示, 執行所有測試時並未遺失任何訊框, 也沒有遺漏任何 BGP 工作階段——這對思科一個大好消息。兩個 RP 彼此搭配運作良好, 而且可以同步狀態, 即使將卡拔掉, 也能維持正常的 BGP 工作階段。這項測試顯示, 配備有備援路由處理器的 CRS-1 是具備修復功能的路由器, 即使主要元件發生故障, 依然可以繼續維持正常運作。

測試案例: 硬體升級 (CRS-1 到 CRS-3)

摘要。 我們執行了即時交換器光纖升級, 將 CRS-1 路由器升級為低負載的 CRS-3, 以達到 100-Gigabit 乙太網路規模。測試結果顯示服務故障時間不到 0.1 秒, 有時甚至達到零封包遺失。

CRS-1 確實是大型路由器, 而不是可以為了硬體升級就必須要中斷服務的設備。由於經常會連接許多主要骨幹連結, 因此服務故障頻率絕對不可超過每月半分鐘 (可用性須達 99.999%)。

正因如此, 在核心路由器業務當中, 服務中硬體升級不會只是一件「可有可無」的事情。

從 Cisco 的 CRS-1 到 CRS-3 的交換器光纖硬體升級變得是必要的, 才能支援 100-Gbit/s 連接線介面模組。在過去, 每個交換器光纖連接器是執行速率是 40 Gbit/s。而 CRS-1 的中間面板設計則是目前推出的功能。交換光纖卡同時保留現錄介面模組是可行的。不需要重新佈線使用者連接埠。

Cisco 提供 CRS-1 4 插槽單機架系統 (產品零件編號為 CRS-4/S)。據該公司表示, 雖然傳輸流量並維持測試儀器的 BGP 工作階段是由路由器進行, 但仍需由 思科工程師實際將現有的交換器光纖卡更換成新卡 (稱為 FC-140G/S)。

說到這裡, 讓我們暫停一下。

CRS-1 上的交換器光纖等同於汽車引擎, 它會接收「模組服務卡」(Module Service Cards, MSC) 所傳送的使用者資料, 並且執行將資料轉送到適當對外 MSC 所必需的交換作業。因此, 打個比方, 我們的做法就等於是在汽車高速行駛於高速公路時, 將汽車引擎零件拆除並更換成更快速的引擎。至少可以這麼說, 我們是比較多疑的。

測試一開始, 我們透過 CRS-1 傳送原生 IPv4 流量, 同時在連接測試器與路由器的 10 個連接埠上一一設定 iBGP 工作階段。當流量順暢且沒有遺失任何封包, 同時所有 BGP 工作階段都很穩定時, 隨即啟動升級程序。我們必須實際拆下每一張交換器光纖卡, 再更換成新的 FC-140/S 光纖。當思科工程師更換光纖時, 我們則對路由器的命令列介面 (CLI) 進行監控。只要拆下光纖並插入新的光纖, 系統都能立即辨識到。我們總共重複整個測試順序三次, 而且每次都將四張交換器光纖卡全數換掉, 以確認結果的一致性。

每一次升級測試執行 20 分鐘。我們可以確認, 我們的 BGP 工作階段從未中斷過。如我們所預期, 第一次測試並未遺失任何訊框。而在接下來的兩次測試中, 我們記錄到少數不嚴重的遺失情況。在第二次測試中, 我們遺失了 9 個訊框, 而在第三次測試中, 則是遺失了 200 億個訊框中的 2,857 個。

根據我們的經驗, 服務供應商偏好在維護期間升級網路元件。CRS-1 通常位於網路核心, 在網路核心中, 關閉路由器以進行維護可能需要進行一連串網路作業, 而且很可能會對大批使用者造成妨礙。因此, 能在零缺失的情況下完成升級, 是很令人欽佩的目標。我們在測試中記錄到的訊框遺失數目如此微不足道, 因此, 服務供應商實在不需擔心在營運期間將 CRS-1 升級為 CRS-3 的問題。

相較之下, 要為行駛中的車輛升級引擎可是更加麻煩。

測試案例：連結與節點 IP RAN 回程傳輸的修復功能

摘要。 在本測試中，思科示範的彙總網路復原速度快達 28 毫秒，而在實體連結失敗後的預先彙總中，復原速度則為 91 毫秒。在現行不中斷任何實體連結的故障偵測測試中，彙總的網路復原速度為 122 毫秒，預先彙總中的復原速度則為 360 毫秒。此外，我們另外進行的測試則顯示 Cisco 7609 節點完全故障的網路復原速度不到 200 毫秒。

電信製造商的首要目標之一，在於生產高度可用的元件和解決方案。正如某個廠商不久前所說，網路運作絕對不能中斷；然而，實際的服務供應商需求情況則不見得如此。基於消費者在價格方面所施予的壓力，RAN 的修復功能應該成本低廉或完全免費。有些基地台廠商告訴我們，他們寧願讓基地台中斷連線，也不願投資昂貴的備援連線。這是因為當故障連結進行復原時，其他基地台會覆蓋發生故障的區域。在語音領域中，這樣是能夠維持正常運作，但就網際網路而言，每個基地台的頻譜大部分用於 3G 甚至 LTE 的資料傳輸，所以，這種做法就不太理想了。

Cisco 的 IP Backhaul 解決方案提供我們數個彙總層組合，每一層各部署不同的修復機制（功能和效能皆各異），而且可能價格不斐。第一層（存取層）採用原生以太網路修復功能：Cisco 專利的 Resilient Ethernet Protocol (REP)，Cisco 宣稱此協定能在第 2 層環狀拓撲提供快速且可預測的聚合次數。第二層（彙總層）採用 IP/MPLS，因此部署了 MPLS 復原機制：「快速重新路由」(Fast Reroute, FRR, RFC 4090)。

在測試中，我們使用前述的標準流量設定檔，同時模擬 2G、3G 和 LTE 使用者。然後，我們模擬三種故障類型：REP 環連結失效、在 7609 與 ASR 9010 之間含 FRR 保護服務的 MPLS 連結，以及兩個 ASR 9010 之間的 MPLS FRR 保護連結。

針對 MPLS，我們可以測試失效與還原情形，也就是當失效的連結恢復上線時，網路如何恢復正常行為。在存取修復功能中，思科表示 REP 並不執行

恢復行為，因此無法測試還原次數。思科的官方說法是，網路業者比較喜歡等候一段時間，再手動切換環中的流量方向。

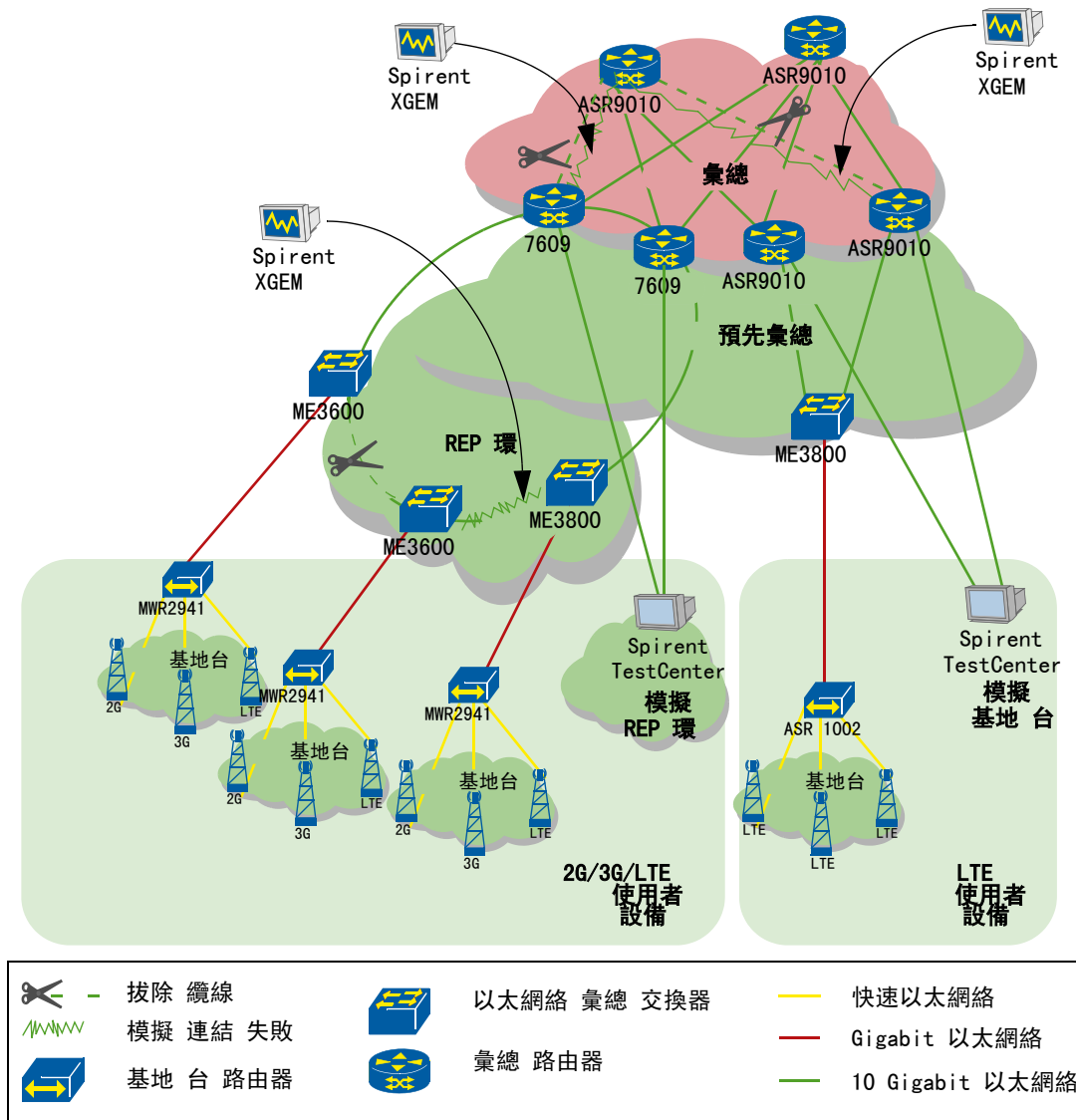
在我們獲得結果之前，這項測試出現了另一個困難：我們的實際演練應該模擬哪一種故障情形？當然，若光纖直接連接至使用中的路由器或交換器，一旦重要的光纖遭逢損害，就會在以太網路連結中斷時立即偵測到失效狀況。這是第一種類型的測試：實際動手拆除纜線。

不過，在其他更複雜也比較不幸運的案例中，發生故障的光纖可能是透過傳輸設備連接的長距離光纖。在此情況下，路由器或交換器完全不會察覺訊號遺失，因此必須仰賴健全的機制來偵測資料路徑中斷。此案例採用 Spirent XGEM 來進行模擬，該裝置會維持以太網路連結的正常運作，而且只單向丟棄所有封包。為了偵測這個狀況，Cisco 在 FRR 網路中使用「雙向轉送偵測」(Bidirectional Forwarding Detection, BFD)，並在 REP 網路中使用「探問機制」(Hello Mechanism)。依據標準 EANTC 程序，只要測試內容包含故障事件，就必須連續執行三次，以確保其一致性。

上述表 3 顯示我們所記錄到的結果。只要出現故障情形，就會影響流經失效連結的所有流量，其中最常見的包括由多種類別組成的下游和上游流量。表格中的每個儲存格代表所有方向與類別的服務中斷時間上限。

失敗的連結	失敗事件		每次重複的失敗次數		
			第一次執行	第二次執行	第三次執行
ASR 9010 — ASR 9010	實體連結	失敗	36.3 ms	30.3 ms	28.3 ms
		還原	0.0 ms	0.0 ms	0.0 ms
	模擬的 WDM 連結	失敗	51.8 ms	36.1 ms	37.5 ms
		還原	0.0 ms	0.0 ms	0.0 ms
7609 — ASR 9010	實體連結	失敗	27.9 ms	17.8 ms	27.4 ms
		還原	0.0 ms	0.0 ms	0.0 ms
	模擬的 WDM 連結	失敗	119.3 ms	121.1 ms	109.6 ms
		還原	0.0 ms	0.0 ms	0.0 ms
ME 3600 — ME 3600	實體連結	失敗	90.6 ms	87.1 ms	71.2 ms
		還原	未測試		
ME 3600 — ME 3800	模擬的 WDM 連結	失敗	357.7 ms	216.6 ms	191.8 ms
		還原	未測試		

表 3. 連結失敗測試結果



在包含所有已知因素的狀況下，其結果符合我們的預期：

- 「MPLS 快速重新路由」通常會在不到 50 毫秒內容錯移轉。
- 由於稱為「中斷前執行」(Make before Break) 的 MPLS 訊號功能，連結還原並不會顯示出明顯的封包遺失。
- 當 REP 失敗時，我們進行測量的接收端（模擬使用者）顯示出不同的值（取決於與它連接的環中有多少節點斷線）；這正是環的實際狀況。
- BFD 或快速探問測試結果顯示，失敗次數至少是控制通訊協定間隔的兩倍，因為它針對接收者採用兩個遺失控制訊息，以便發現服務中斷狀態。

IP RAN 回程傳輸的節點修復功能

不論是人為失誤或單純的停電事件，都有可能導致整個網路發生故障。本測試驗證思科的行動網路解決方案是否能提供繞過故障因素的機制。

為執行測試，我們在無預警的情況下關閉路由器的

所有電源供應，並觀察網路中的模擬使用者會如何反應。當然，我們預期網路的其他部份會繼續保持正常運作。具體而言，故障節點的對等點必須使用「快速重新路由」（在 Cisco MPLS 式彙總網路中）或 REP（在預先彙總網路中）繼續提供相同的服務等級。

我們選擇讓彙總網路與預先彙總 / 存取網路之間的邊界節點發生故障，也就是 Cisco 7609。該裝置故障會導致同時執行失敗偵測和復原機制。MPLS 快速重新路由與 REP。與連結故障測試類似，我們執行完整測試程序：測量故障與還原（恢復裝置電力）的服務中斷時間，總共測試三次以確認一致性。思科網路設計與測試網路中執行流量的組合，意味著任何保護方案都一定會超過剩餘網路容量。在評估結果時，我們將此類超額使用列入考慮，並將注意力放在高優先順序的流量；此流量應該不受網路容量減少影響，因此應該只會在故障事件期間受影響。

一開始，在下游方向（指向模擬客戶的流量，因此先傳送至受「快速重新路由」保護的 MPLS 網路，然後經由 REP 保護的預先彙總而進入存取）的測試執行顯示預期中的結果，也就是 170 至 240 毫秒。不過，在上游流量方面，我們觀察到超過一秒的服務中斷時間，這比思科所預期的時間還長。思

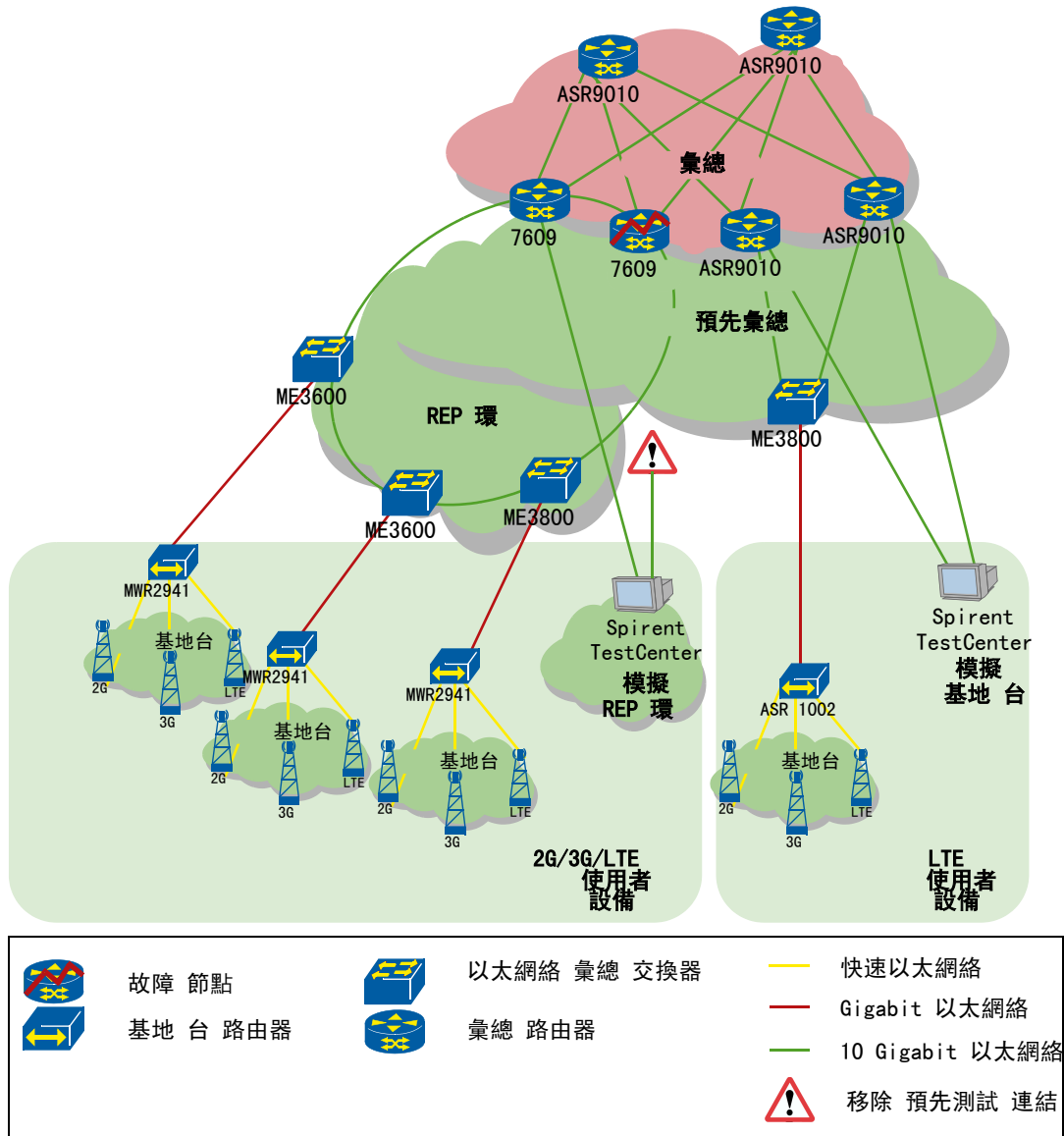


圖 9 節點 故障 測試 情況

科的工程師迅速查看問題，發現在我們模擬的流量負載環境下，7609 上的「熱待機路由協定」(Hot Standby Routing Protocol, HSRP) 花了比預期還長的時間重新寫入故障路由器的硬體位址。

利用修補程式修復此問題之後，上游流量容錯移轉時間就符合下游容錯移轉時間，如結果所示。注意：我們所測量的還原流量時間僅針對 MPLS 網路，因為 REP 環已在復原測試執行前以手動恢復。如先前在連結修復功能測試中所述，思科 ME3600/ME3800 元件上的 REP 通訊協定需透過手動方式還原。

測試案例: ALL-IP RAN 規模

摘要。 在橫跨 Cisco ASR 9010 與 Nexus 7000 之間的一系列 12 10-Gigabit 以太網絡連結中，我們製造了將近 120 Gbit/s 的無耗損流量。

在行動領域以外，這是令人難以置信的，但是絕大多數的行動回程傳輸網路依然採用舊式技術，例如「非同步傳輸模式」(Asynchronous Transfer Mode, ATM)，甚至是更早的 2-Megabit 「分時多工」(Time-Division Multiplexing, TDM) 網路。為因應迅速成長的 3G 資料流量，基地台廠商早已開始在 IP/ 以太網絡路上投資混合資料卸載，不過

從 ATM 完整轉移到封包技術（例如 Ethernet 和 IP），則是在現今新版 3G 技術和 Long Term Evolution (LTE) 出現之後才開始的。

當然，Cisco 欣然接受 LTE 推送技術，因為 Cisco 最拿手的領域就是 IP 領域。未來，新式網路甚至可以擺脫為舊式基地台傳輸舊版 ATM 和 TDM 流量的負擔。

在本測試案例中，我們同意驗證思科僅支援透過以太網絡進行 IP 服務的 LTE 回程傳輸架構。此類基礎架構不再支援舊版 2G 或 3G 設備，因此適合僅使用 LTE 的回程傳輸部署。這項 All-IP 思科網路設計的核心元素是思科的 ASR 9010。

在測試中，我們模擬大量的 LTE 用戶，從 LTE eNodeBs 傳送 IP 流量到行動核心。這次的流量模擬把思科的彙總模型列入考慮，而且，本質上是模擬彙總交換器和僅使用 IP 基地台路由器的集合。我們的目標是要驗證一對 ASR9010 能否支援下列項目：

- 769,000 位 All-IP 使用者
- 120 Gbit/s 全雙工頻寬

我們採用前述的實際使用者模擬組態。唯一必要的修改部分是進一步微調我們的通話模型，好讓直接

連線的 Nexus 7000 介面及下個躍點 ASR9010 達到線路速率。我們執行測試五分鐘，以確保網路能在這個負載條件下穩定運作。

結果，我們確定 119.46 Gbit/s 全雙工流量是可以達成的。

測試案例：100GbE 輸送量

摘要。 無論是 98 位元組（含）以上的 IPv4 封包、124 位元組（含）以上的 IPv6 封包，或是 IPv4 與 IPv6 混合的 *Imix* 封包大小，Cisco 的 CRS-3 100-Gigabit 乙太網路的全線路速率輸送量都能達到 100%。

對於預期會通過彙總 2G、3G 及 LTE 行動使用者的核心網路流量，我們很難評估其數量規模和多樣性。不論如何，基於 LTE 所要求的頻寬，以及 2G 和 3G 服務在封包回程傳輸所需之電路模擬服務的延遲效應，核心網路都應該要支援非常高的輸送量要求，並且儘可能降低延遲率。

供應商賴以解決回程傳輸容量問題的其中一個關鍵要素，將是在其核心網路中導入 100-Gigabit 以太網路。雖然這項測試並非鎖定核心網路元件，我們仍希望能夠確定，一旦寬頻行動資料傳輸門戶大開之時，行動業者將可以滿足所有客戶的容量需求。

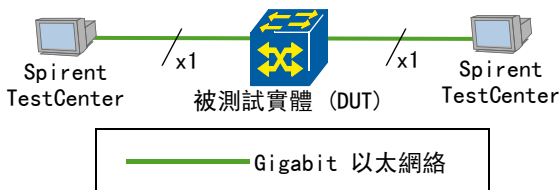


圖 10: 100-Gigabit 以太網路輸送量測試拓撲 (IPv4 或 IPv6)

此處，我們同意執行三種類型的測試：IPv4 輸送量效能、IPv6 輸送量效能，以及 IPv6 與 IPv4 的混合。光是將測試平台做好測試準備，本身就是一大難題，因為 C-Form Factor Pluggable (CFP) 光學的需求量相當高，而且思科裝置與思博倫測試器的實際測試介面也是如此。

Cisco CRS-3 的 100GbE 介面尚未出貨，我們評估的是量產前版本。我們尚在期待進行 CFP 測試，並且設法備妥我們的測試平台。

好消息是，CRS-3 的 100GbE 乙太網路介面可以透過測試中最小的統一訊框以完整線路速率執行：IPv4 為 98 位元組，IPv6 則為 124 位元組。這些小型訊框所需的硬體處理速度必須大於每秒 1 億個封包，這並非雕蟲小技。我們測試的其他訊框大小（分別為 256、512、1024、1280 及 1518 位元組）也都能順利通過完整線路速率測試。（我們為什麼沒有選擇 64 位元組訊框大小來進行線路速率測試？因為沒有任何一個網路會只執行空的 TCP 確認封包。思科曾經多次向我們確認，其設備已針對真實環境進行最佳化處理；如果針對不切實際的實驗室測試而最佳化，代價會過於昂貴。）

我們最初的測試顯示，使用小型訊框時，新介面的效率稍低於 100%。思科已進行過研究，並使用較新版的量產前硬體再次測試。使用新版硬體時，就能達到理想的單一大小封包輸送量效能：無論測試的封包大小為何，路由器都能達到線路速率。

除統一單一大小封包效能評估之外，我們也進行了

一組模擬典型網際網路混合流量 (*Imix*) 的測試。結果，在網路核心中，單一訊框大小不太可能佔據整個線路。

我們改請 *Cooperative Association for Internet Data Analysis (CAIDA)* 的工作人員透過數個公開交換器發布封包大小，讓我們能夠根據真實情況調整 *Imix*。針對 IPv4，我們採用的混合模式如下：98、512、1518 位元組。針對 IPv6，則以 124 位元組取代第一個訊框大小。在這兩種設定檔中，我們都將流量權重設定為偏好較小訊框（一半以上的流量皆為小型訊框），同時設定讓最大訊框大小只使用小型連接埠。

附帶一提，這項測試顯示，Spirent TestCenter 100-Gigabit 以太網路硬體非常新穎且耐人尋味。當我們嘗試設定 BGP 路由時，思博倫的專家很不好意思地告訴我們，他們目前只支援 100-Gigabit 以太網路流量產生器上的靜態路由。不過，我們確信他們會儘快修正此狀況。變通方案是，我們必須透過 Spirent TestCenter 與 Cisco CRS-3 上的十個 10-Gigabit 以太網路介面連接兩者。如上所述，我們刻意在測試器中設定錯誤的 *Imix* 封包大小組態，額外加上 18 位元組，讓我們的 IPv4 *Imix* 變成 116、530 和 1536 位元組（這是有效且合法的 *Imix*，但非常罕見）。這樣的組態順利通過測試，表示此類 IPv4 *Imix* 可以達到 100% 的線路速率。

至於我們刻意修改過的 142、530 及 1536 位元組混合訊框 IPv6 *Imix*，那就另當別論了。我們預期可以達到同樣的完整線路速率，結果卻令人失望。在所傳送的 36 億個訊框中，我們重複記錄到少於 40 個出現 Ethernet Frame Check Sequence (FCS) 錯誤的訊框。

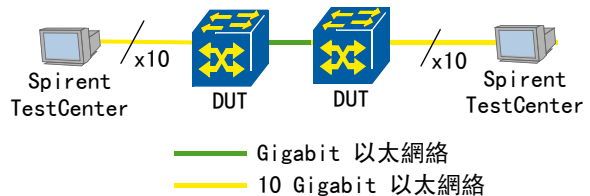


圖 11: 100-Gigabit 以太網路輸送量測試拓撲 (IPv4/IPv6 混合)

思博倫和思科都在開發實驗室裡投入幾個星期，終於為我們帶來好消息：我們在測試期間發現了硬體錯誤，但擔心錯誤修正程式尚未成形。因此，我們捲起袖子再次執行測試，確認修正程式確實能夠解決問題。現在，IPv6 *Imix* 測試結果達到完整線路速率，而且並未出現任何總和檢查碼錯誤。

測試所得的 100GbE 以太網路介面 100% 線路速率效能是正面的測試結果。另一項測試結果（可能也同樣令人印象深刻）則是思科（和思博倫）深入解決總和檢查碼錯誤問題核心並提供即時修正程式所展現的努力精神。

在執行測試時找出軟體或硬體問題，對我們而言相當重要，因為這樣能讓廠商的工程團隊在現場專注地解決問題。思科 果真在不到四週內就找到問題並加以解決。當然，廠商起初的反應是宣稱「測試計劃無效」及「測試設備故障」，不過，對此我們早已習以為常了。

測試案例：NAT64 工作階段設定 速率與容量

摘要。 這項測試在 CRS-1 平台上的 IPv6 與 IPv4 位址之間達到 4 千萬 NAT64 轉譯。

據 *Comcast Corp.* (Nasdaq: CMCSA, CMCSK) 表示 (摘錄自 American Registry of Internet Numbers (ARIN)): 「IPv4 位址集區將會在 2011 到 2012 之間的某個時間點耗盡。IPv6 則是真正能夠連接無限個裝置的新一代通訊協定。」 (請參閱「*Comcast, ISC Go Open-Source With IPv6*」。)

由於行動網際網路裝置的數量仍在持續增加中，行動服務供應商會比我們更早面臨（或即將面臨）IPv4 位址耗盡問題。

思科 面對位址耗盡問題的解決方案是使用「網路位址轉譯」(Network Address Translation, NAT)。舊式通訊協定形式（有時稱為 NAT44）可以將大型私人 IPv4 位址範圍加以遮罩和彙總，成為較小型的公共 IPv4 位址區塊。

較新的 NAT64 可以透過在 IPv6 與 IPv4 之間進行轉譯的方式提供相同功效。由於 IPv6 具有大量位址空間，只要 IPv4 依然在目前所架設的設備與伺服器上運作，IPv6 自然會成為行動用戶的最佳選擇。NAT64 可以彌補其中的鴻溝；這正是我們要對它進行測試的原因。

思科 以其 NAT 引擎做為網路 (CRS-1) 的核心。從網路設計觀點來看，這是合理的解決方案。位於行動業者網路邊緣的路由器可能會是上游使用 IPv6 位址的最後一點。

然後，CRS-1 會將流向仍以 IPv4 為主之網際網路的流量進行轉譯，再路由至其目的地。這種做法可讓通訊業者指派真實可用的 IPv6 位址給使用者的行動裝置。完成移轉至 IPv6 的作業後，只要刪除 NAT64 功能並更改對外的路由途徑即可。

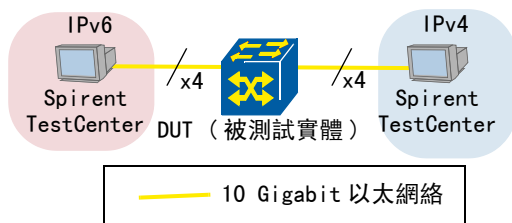


圖 12: NAT64 測試拓撲

本測試的目標是思科的 Carrier-Grade Services Engine (CGSE) 模組（安裝於 CRS-1 路由器中）。服務引擎是一個整合式的多 CPU 模組，除正常功能以外，還提供 IPv6 與 IPv4 之間的「網路位址轉譯」。

思科告訴我們，NAT64 轉譯功能是无狀態的，所以，當我們使用 Spirent 的 TestCenter（第 2-3 層流量產生器）執行測試時，才會覺得很順利。思科宣稱每個刀鋒型伺服器皆支援平行轉譯 2 千萬次，而且使用者每秒可建立 1 百萬個連線，同時要求我們進行驗證。CRS-1 機座中安裝了兩個 CGSE 模組；因此，我們預期 NAT64 應該能夠轉譯 4 千萬對唯一的來源和目標。

我們將幾個測試器連接埠定義為「用戶端」連接埠，也就是具有 IPv6 IP 位址的使用者。另外再將其他數個連接埠設定為僅使用 IPv4 的伺服器，讓使用者嘗試連線。透過這個方式，我們可以建立 4 千萬對唯一的來源和目標，因此必須轉換 CGSE 上 CRS-1 的啟用，才能建立端對端連線。

我們從每秒透過測試器傳送 1 百萬個唯一流量開始。由於連線是无狀態的，因此我們不需等待 TCP 設定時間，即可確定每秒能夠建立 1 百萬個新連線。40 秒後，我們果真達到 4 千萬個連線的目標數，而且持續傳送流量總計達 5 分鐘。

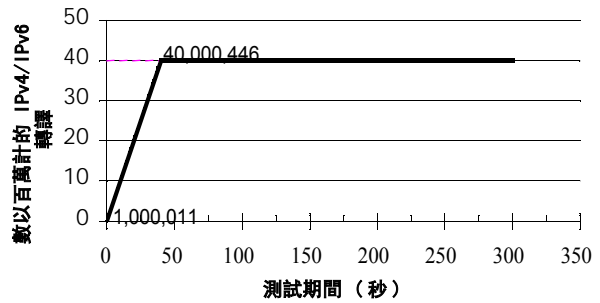


圖 13 NAT64 結果

測試案例：NAT64 模組備援

摘要。 我們示範在不到 120 毫秒內復原出現故障的 NAT64 模組。

即使再好的硬體仍有可能發生故障，服務供應商和廠商都對這個事實了如指掌。思科的元件故障規劃是在每個路由器中配備另一個 CGSE 模組，做為主要模組發生故障時的備份模組。CGSE 模組是負責 NAT 轉譯（本測試之重點）的一型服務模組。

對於服務供應商來說，安裝備援服務卡表示必須減少可用於網路界面的線路卡實際資產，但是，採用 NAT64 可使其服務具備高度的修復能力。

思科宣稱，CGSE 支援具備線路速率轉譯資訊計算和記錄的「高度可用架構」，可在發生模組故障時提供更優越的復原功能。我們決定測試這項說法。我們移除從機座中的使用中 CGSE 模組以模擬故障情形，同時經由配備 CGSE 的 CRS-1 從 Spirent TestCenter 送出流量。再從在網路中測得的訊框遺失數目推論出服務中斷時間。

這項測試的理論不同於傳統上在骨幹中進行容錯移轉的測試：畢竟，50 毫秒的復原速度對於 NAT64 使用者來說毫無意義。只要使用者幾乎不可能察覺曾經發生故障。舉例來說，TCP 可能會將暫時性的訊框遺失問題視為壅塞跡象，因而不採取任何因應措施。因此，此項測試的主要目的在於：若我們要求設定備援 CGSE 以支援每秒 2 千萬次轉譯，一旦發生故障，CGSE 仍然能夠正常運作。

我們送出應流向 IPv4 位址的 IPv6 流量，並從前述的 IPv4 位址將流量反向至 IPv6 主機進行回送。確認 CRS-1 CGSE 能夠正確轉譯流量之後，我們將使用中的 CGSE 模組拆除。該模組當時已設定為熱待機模式，也就是說，當我們重新插回被拆除的模組時，路由器應該會進行記錄，但不會遺失任何訊框。此時使用中的 CGSE 模組應該繼續維持正常運作。在每次測試中，我們都監控兩個模組中的使用中模組，並且重複測試總共三次。

在每次故障測試中，遺失封包的數量大約相同：最多 120,000 個。在整個測試期間，我們傳送超過 1 億 1900 萬個訊框，而在測量結果中，最長時間的服務中斷時間是 120 毫秒。在復原過程中（也就是當我們重新插入 CGSE 時）並未記錄到任何遺失訊框的情形。

這樣的結果應該能讓服務供應商放下心頭大石。增加另一個 CGSE 模組將可提高 NAT64 可用性，而且使用者幾乎不會察覺到曾經發生故障。

後記

正如我們在簡介中所述，Cisco 的所有技術和產品全數展現出值得信賴的擴充性及尖端功能。

我們的測試結果顯示出具修復能力與擴充性的 IP RAN 和核心，可以按優先順序處理流量，並且能夠提供隨時可用 LTE 的相位與頻率時脈。我們可以明確地說，思科擁有建構回程傳輸和核心有線基礎架構關鍵元件的基礎材料，而且隨時可以開始行動。

第二部份：

請注意，本文為 Light Reading 發佈之測試報告的第一部份。第二部份的內容已製作為另一份 PDF 文件，內容包括「行動核心」(Mobile Core) 和資料中心，可透過網路取得。

資料來源

本文由 Light Reading 於 2010 年 8 月 30 日首次透過下列網址公佈：

<http://www.lightreading.com/mobiletest>

作者

卡爾思登·奧森豪威爾 (Carsten Rossen) 是歐洲高級測試中心 (European Advanced Networking Test Center AG – EANTC) 的執行董事。歐洲高級測試中心為製造商、服務供應商與企業提供廠商中立的網路測試設備以及測試服務。奧森豪威爾領導歐洲高級測試中心的製造商測試、認證小組及互通性測試活動。奧森豪威爾在數據網路與測試方面有十五年的經驗。他的專長領域包括「多重通訊協定標籤交換 (Multiprotocol Label Switching, MPLS)」、「電信業者乙太網路」、「視訊三合一服務 (Triple Play)」與「行動後端存取網路」。

詹陸·甘巴 (Jambi Ganbar)，歐洲高級測試中心專案項目經理，負責專案管理、執行 IP 核心與數據中心測試，以及共同編寫文章。

喬納森·莫林 (Jonathan Morin)，歐洲高級測試中心專案項目經理，負責建立測試計劃，監督 IP RAN 和行動核心網路測試、共同編寫文章，以及協調內部說明文件。



EANTC AG (歐洲高級測試中心)
European Advanced Networking Test Center (歐洲高級測試中心)

Einsteinufer 17
10587 Berlin, Germany
電話: +49 30 3180595-0
info@eantc.de
<http://www.eantc.com>



Light Reading
United Business Media TechWeb 的其中一個部門

240 West 35th Street, 8th floor
New York, NY 10001, USA

<http://www.lightreading.com>

本報告版權所有 ? 2010 United Business Media and EANTC AG。作者盡全力確保本報告的準確性和完整性，但對於本文所含資訊之用途，作者概不負責。

本文所述之所有品牌名稱和標誌，皆為其個別公司在美國和其他國家的註冊商標。

2.0 版