

VDSL2 高速網路技術研究與應用

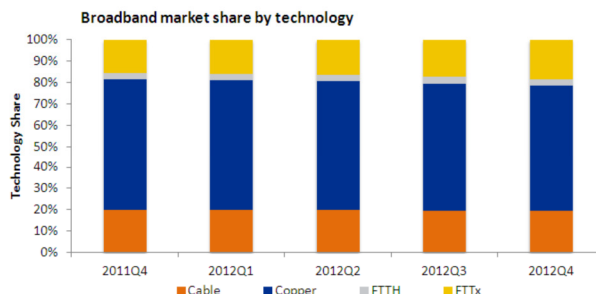
黃龍進^a、陳國財^a、楊舜凱^a、賴國祥^a、李榮瑞^a、Orr Bruce^b
中華電信研究院寬頻網路研究所^a
Alcatel-Lucent^b

摘要—FTTx+VDSL2 接取網路是當前寬頻接取網路的主流之一，也是接取網路光化演進不可或缺之網路架構。本論文針對 VDSL2 新技術：Vectoring、Bonding、G.inp 應用於提升 VDSL2 網路頻寬、強化電路可靠度，提出詳細之剖析，及研擬之規劃與應用。由測試結果可知，將 Vectoring 技術與多對線 Bonding 技術結合，再搭配 G.inp 保護技術，將可提升傳輸速率，如此達到增加高速涵蓋率範圍，同時亦可增強銅線傳輸的服務品質。

議題已成為未來國內外寬頻網路與服務發展之重要目標。

一、簡介

隨著全球寬頻服務的快速成長，消費者對於寬頻服務的需求與日俱增，全球電信業者無不積極的建置寬頻網路來滿足用戶對網路頻寬和高品質的寬頻服務之需求。由於 VDSL2 (Very-high-bit-rate digital subscriber line 2) 為了高速寬頻服務的需求，持續發展新一代技術，如何審慎研究新一代 VDSL2 設備相關技術，及評估與測試驗證所新一代高速 VDSL2 網路設備，將是未來 VDSL2 網路設備與新技術引進時刻不容緩之新課題。本篇論文主要在探討 VDSL2 網路新技術，包含 Vectoring 技術、Bonding 技術及 G.inp 技術；由研究結果及實際驗證數據可知，透過新技術的引進可有效提升服務的速率及品質。



圖一：全球寬頻技術趨勢

COUNTRY	DOWNSTREAM SPEED	COVERAGE	DATE
Austria	100 Mbit/s	100%	2020
Denmark	100 Mbit/s	100%	2020
Finland	100 Mbit/s symmetric	100%	2015
France	100 Mbit/s (min. 50 Mbit/s)	100%	2025
Germany	50 Mbit/s	75%	2014
Sweden	100 Mbit/s	90%	2020
U.K.	25 Mbit/s	90%	2015

圖二：歐洲地區國家制定寬頻速率與預定時程

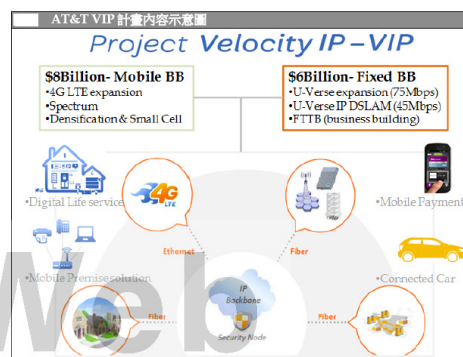
二、VDSL2 市場發展現況與趨勢

依據 Point-Topic 的統計資料，截至 2012 年 12 月底，全球寬頻用戶數約為 6 億 4 千萬用戶，而 2011 年 12 月底時的寬頻用戶數約為 5 億 9 千萬用戶，期間每季全球寬頻用戶數以約 2% 的幅度持續成長，顯示全球電信業者仍致力擴大其寬頻網路的建設與用戶接取頻寬的提升。另外根據 Point-Topic 公司發表的數據分析[1]，如圖一所示，截至 2012 年 Q4 為止，仍以 DSL(Digital Subscriber Line)寬頻用戶數最多，約佔全球寬頻用戶數六成左右。

在美國 FCC 所公佈之國家寬頻計劃中，目標在 2015 年可提供 1 億家戶（約佔 90% 總家戶數）達 50Mbps 寬頻接取，而在 2020 年則將寬頻接取頻寬提升至 100Mbps。在歐洲地區主要國家，包含丹麥、芬蘭、法國等也制定出頻寬達到 100Mbps 的時程，以達成國家高速政策和市場服務滲透率目標，如圖二所示[2]。至於在國內方面，行政院於 2010 年 7 月發佈「數位匯流發展方案」，規劃 2015 年達成 80% 家戶可接取 100Mbps 有線寬頻網路，以及新興視訊服務用戶普及率可達 50%；而今年更要求業者能加速落實。以下介紹目前全球電信業者，對於固網建設的目前現況與未來規劃，由此可知，提升 100Mbps 寬頻接取網路頻寬能力和提供視訊服務穩定接取品質等

2.1 美國 AT&T

AT&T 目前利用 12a bonding 技術，提供 24/3Mbps 之商用服務，同時為了因應其他業者的競爭挑戰，在 2012 年 11 月宣佈名為 Project Velocity IP（簡稱 VIP）的計畫，將在 2015 年之前投入 140 億美元，分別以 80 億與 60 億，升級行動網路與固網網路。其中在固網部分，將藉由導入 Vectoring 與 Bonding 等技術的輔助，提升傳輸速率達 75Mbps 至 100Mbps 的等級，期望爭取新增 850 萬 U-Verse 用戶以達到整體 3 千 3 百萬戶的機會，圖三為 AT&T VIP 計畫內容示意圖[3]。

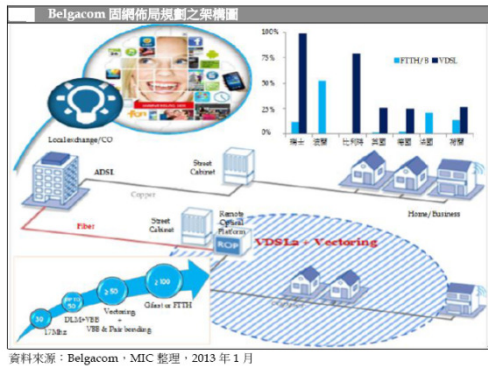


資料來源：AT&T、MIC 整理，2013 年 1 月

圖三：AT&T VIP 計畫內容示意圖

2.2 比利時電信(Belgacom)

Belgacom 採用 FTTC+VDSL2 的架構提供寬頻服務，用戶數已達 4 百萬，同時於 2011 年 9 月開始引進 Vectoring 技術，以期望提升服務速率。目前 Belgacom 在商用的 FTTC+VDSL2 寬頻服務可提供 30Mbps 的下行速度，但在增加 Vectoring 技術後，將可提升至 50Mbps，並朝向 100Mbps 的長期目標前進。圖四為 Belgacom 的固網規劃與架構圖[4]，在此架構圖中，DSL 技術仍扮演不可或缺的角色。



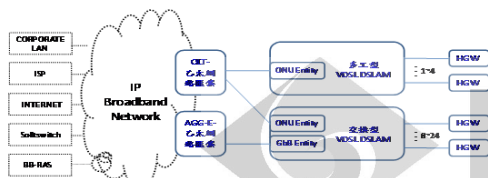
圖四：Belgacom 的固網規劃與架構圖

2.3 荷蘭電信 KPN

KPN 於 2011 年中開始佈建 Bonding 技術架構，其為歐洲首家應用此技術，並將其商業化之電信業者。同時至 2012 年底已提供至少 40Mbps 的網路速率，且滲透率約可至 70%。另外亦於 2012 年中採用相同技術來提供既有客戶免費升級之方案，使 50Mbps 之用戶可升至 80Mbps 之高速網路速率(上行為 8Mbps)。為了提升速率，KPN 也於 2012 年中著手引進 Vectoring 技術，期望能在電話線上提供更高速的服務[5]。

三、 VDSL2 新技術之研究

Broadband Forum 在 2010 年 9 月新制訂 TR-167 第二版標準，規範新一代 GPON 網路應用架構，用以規範 GPON 網路技術如何應用於寬頻接取網路，以結合 TR-101 標準所規範的乙太寬頻 DSL 網路的需求和功能，進一步成為未來寬頻接取網路發展新主流之一，如圖五所示[6]。在此網路架構中，新一代寬頻接取節點(Access node)設備整合 VDSL2 局端功能和 GPON 網路用戶端功能，使得寬頻接取節點設備在匯集 VDSL2 用戶訊務後，可以藉由 GPON 網路作為高速網路服務的接取與傳送。



圖五：結合 GPON 網路技術之新一代 FTTC+VDSL2 網路架構

自 ITU-T 在 2006 年公佈了 VDSL2 技術規範(G.993.2)後，VDSL2 網路技術已成為 FTTx 網路主要 DSL 接取技術。繼提供高速接取頻寬之標準制訂後，VDSL2 技術逐漸朝向 100Mbps 以上高速傳輸實用化發展，其中包括新一代突波保護技術(G.inp)、遠端自我串音消除技術(G.vector)，以及多對線 Bonding 技術(G.bond)。在高速 VDSL2 實用化技術中，為有效克服來自同一電纜鄰線間的串音干擾，實現 VDSL2 技術於真實環境中提供 100Mbps 速率的應用。ITU-T 於 2010 年 4 月制訂 VDSL2 遠端自我串音消除技術(G.993.5)，以消除電路受到相鄰電路的串音干擾影響，讓 VDSL2 電路得以提供幾近於無串音干擾下的速率性能。且 ITU-T 早在 2005 年便已制定相關多對線 Bonding 技術，包括 G.998.1 ATM-based 和 G.998.2 Ethernet-based 多對線 Bonding 技術標準。在隨著 Vectoring 技術的標準化和高速頻寬需求日益增加下，結合 Bonding 技術提供高速頻寬應用自 2010 年下半年逐漸受到電信業者與設備業者的重視；其中以結合 G.998.2 Ethernet-based 多對線 Bonding 技術標準最為普遍。

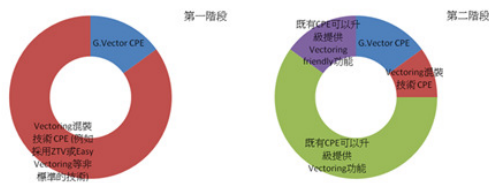
3.1 Vectoring 技術

環境中干擾雜訊包含了鄰線間自我遠端串音干擾、異質雜訊(Alien noise)、以及突波雜訊干擾，而 Vectoring 技術主要是用於消除同電纜鄰線間自我遠端串音干擾外，其餘雜訊並無法被消除，對 Vectoring 技術便形成了限制。然當距離增加時，電路衰減的影響將逐漸超過串音干擾的比重，因此 Vectoring 技術的效益亦將隨著距離增加而遞減。Vectoring 技術的基本架構，在局端(Central Office, CO)包含了向量運算單元(Vector Processing Unit)，主要是透過信號通道估計、串音消除管理與信號通道偵測與更新等三大功能模組來達成消除串音的目的。在上行串音干擾消除上，透過局端設備聯合交換 VDSL2 電路上行之接收信號，以關聯分析(correlation analysis)進行串音干擾量之校正。至於下行串音的消除，由於用戶端設備(Customer-premises equipment, CPE)分散於各用戶處，便無法以關聯分析進行，而改採下行預編碼方式，進行串音干擾補償量的計算與運作。

在 ITU-T G.993.2 中的 Annex X 和 Y，提出了 Vectoring friendly 的概念，使得原先不具備 Vectoring 技術的 CPE 設備進行韌體升版至具有 Vectoring friendly 的能力，並將電路改接至具有 Vectoring 技術的 CO 設備；則此電路對其他使用 Vectoring 技術的電路所造成的干擾便可被量測並消除，但仍無法獲得 Vectoring 技術的效益。雖然透過 Vectoring friendly 或是更換成 Vectoring CPE 設備可改善非向量電路對向量電路造成的衝擊，但需對非向量電路的 CPE 設備進行韌體升版或是至用戶端進行設備更換，如此都將增加電信業者佈建的成本、甚至拉長佈建時程以及可能造成客戶的困擾。

為了解決既有非向量電路的問題，如 Zero-touch Vectoring(ZTV)等新 Vectoring 混裝技術被提出，主要訴求是當用戶不需具有向量效能之服務時，透過其智慧訊號分析技術，可將此電路對其他向量電路造成的干擾消

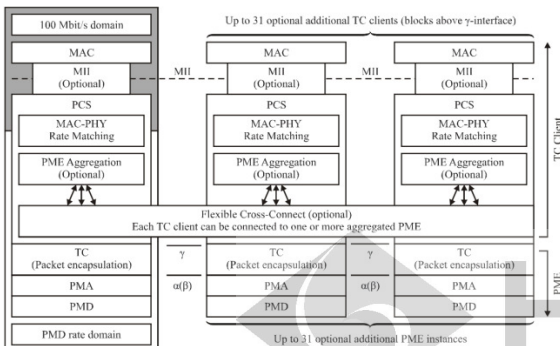
除掉，且並不需要對其 CPE 設備進行韌體更版，並提出兩階段的方式，透過 Vectoring 混裝技術，來逐步佈建 Vectoring VDSL2 高速網路架構，如圖六所示。考量將大量既有 VDSL2 之電路要升級成向量電路或是具有 Vectoring friendly 能力之電路，將耗費龐大的佈建成本及時程，如此並不具經濟效益。故第一階段除有用戶需求升級至向量電路外，其餘電路則先採用 Vectoring 混裝技術，來避免干擾已供裝的向量電路。在第二階段，用戶頻寬的需求逐漸增加後便升級至向量電路，同時既有的 VDSL2 用戶端設備也逐漸升級至 Vectoring friendly 的能力。其餘一小部分即無法是向量電路，亦無法升級至 Vectoring friendly 的韌體，將仍使用 Vectoring 混裝技術來消除對其他電路的干擾影響。



圖六：既有非向量 VDSL2 網路演化至向量 VDSL2 網路

3.2 Bonding 技術

Bonding 技術的應用目標已從以往延伸距離為主的建置，逐步朝向提升速率演進之趨勢，其技術主要是在 TPS-TC 層(Transmission Protocol Specific TC Layer, 簡稱 TC 層)之上增加速率匹配(Rate Matching)和實體介質個體聚合(Physical Media Entity Aggregation, PME Aggregation)等管理功能，並透過網綁通訊協定，用以管控群組內之多條電路運作，如圖七所示[7]。因此 Bonding 技術可以根據群組內各電路的狀態，自動判斷是否將該電路納入服務載送群組；並在不中斷服務下，進行群組內電路之加入或移除功能運作。Bonding 技術可網綁之最大電路數約為 32 路，但基於成本考量，應用多以 2 到 8 路網綁為主。群組內電路速率最大差異可達 4 倍，而時間延遲差容許度在 100Mbps 速率下則可達 6 萬 5 千個位元時間。目前依商用化 VDSL2 設備傳輸性能評估，2 對線 17a profile VDSL2 網綁技術，其下行 100Mbps 傳輸距離約為 300 公尺，相較 30a profile 技術拓展約 3 倍之範圍。



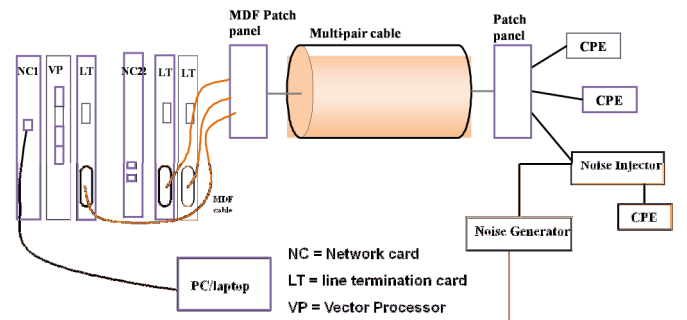
圖七：網綁技術架構

3.3 G.inp 技術

突波雜訊是影響 VDSL2 寬頻服務穩定性之一的重要因素。最初 VDSL2 防突波雜訊保護機制，係採用穿插(interleaving)技術和前向誤碼校正(Forward Error Correction)等機制；受限於記憶體容量，高突波保護能力的提供須付出傳輸頻寬降低與延遲時間增加作為代價。為克服上述問題，提升 VDSL2 技術傳送高頻寬服務的能力，ITU-T 於 2010 年 6 月制訂新一代突波保護機制之技術標準(G.998.4)，簡稱 G.inp 技術。G.inp 技術藉由實體層資料的儲存與重送機制取代原先倚賴高深度的 interleaving 機制，作為突波雜訊干擾的防制與錯誤之校正。然而 G.inp 技術僅針對欲傳送資料採用重送機制，其他標頭資訊(overhead message)則沿用傳統的穿插機制，以減少暫存器記憶體容量的需求和防制突波能力的提升。另外，G.inp 技術可依突波雜訊類型，單一高突波雜訊(Single High Impulse Noise Event, SHINE)和週期性電子突波雜訊(Repetitive Electrical Impulse Noise, REIN)，透過規劃運作參數分別給予不同而適當的重送保護機制，以提升電路頻寬之使用效率及適當的突波雜訊保護能力。

四、 VDSL2 新技術之規劃應用

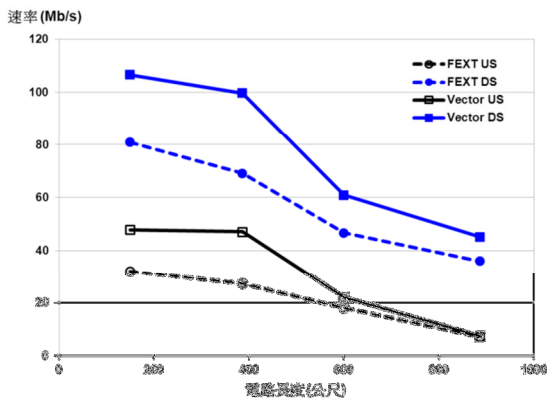
為了評估新技術所能帶來的效益，唯有先透過實際驗證測試來研究新技術之效能，以便研擬實際應用時的規劃。因執行 Vectoring 技術晶片的差異，可架構可分為 Board-level 跟 System-level 兩種，以提供電信業者不同的需求，而本文中測試所採用的架構便是為 System-level。測試架構如圖八所描述，將不同卡板的線路接入實體電纜(26AWG)中，以確認 Vectoring 技術可實用於跨卡板的架構，然後再分別接到用戶端的設備上。測試分兩個階段進行，第一階段驗證了 Vectoring 技術的效能及 G.inp 的突波保護能力，第二階段測試了當結合 Vectoring 技術、Bonding 技術及 G.inp 技術所能實現之高速網路頻寬能力。



圖八：新技術測試架構

在第一階段驗證測試中，進行 Vectoring 技術的效能測試，結果如圖九；估計在 500 公尺的距離內，Vectoring 技術的效能較佳，在下行方向約有 30%的增益，而在上行方向約為 60%的增益。當電路長度逐漸增加後，Vectoring 技術之效益已逐漸減少。驗證 G.inp 技術之保護能力的結果，如圖十；透過使用 REIN 及 SHINE 的突波雜訊來測試並比較 interleaving 技術及 G.inp 技術的保

護能力。在 REIN 的測試中，interleaving 技術在雜訊寬度 1symbol 時便有封包遺失，當增加為 2symbols 時則電路斷線；而 G.inp 技術則是到了 5symbols 才使得電路斷線。若改以 SHINE 進行測試時，G.inp 技術可抵抗雜訊至 20symbols 才有封包遺失。



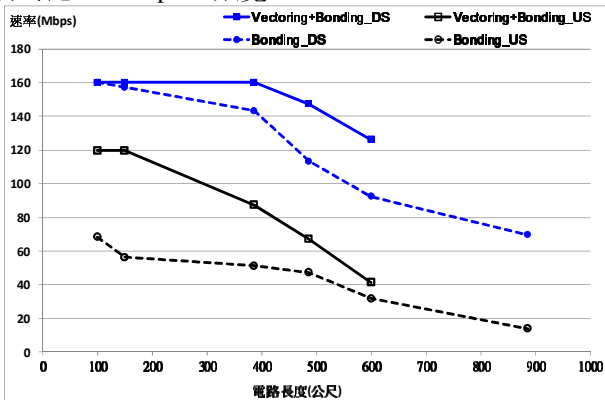
圖九：Vectoring 技術之效能

Noise width	Interleaving INP=2			G.inp		
	1 symbol	2 symbols	3 symbols	4 symbols	5 symbols	20 symbols
REIN	1682	line drop	n/a	0	line drop	n/a
SHINE	5	148	n/a	0	0	1

單位：封包遺失量(packet)

圖十：G.inp 技術之突波保護能力

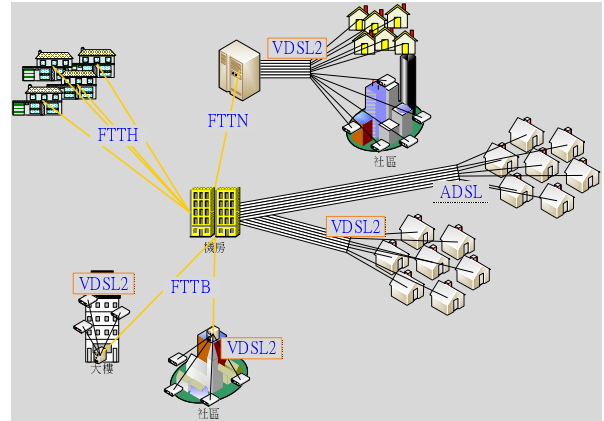
在第二階段中，同時啟用 Bonding 技術及 Vectoring 技術，並以 fast-mode 模擬啟動 G.inp 下的環境，測試結果如圖十一所示。若僅使用 Bonding 技術，下行 100Mbps 約可達 500 公尺；但合併啟用 Vectoring 技術後，下行 100Mbps 則可再延伸至 700 公尺。結合兩者技術，在實驗室設定之參數下，目前下行最高速約為 160Mbps；在不考量限制時，下行 200Mbps 的頻寬亦是可達的，而上行可達 120Mbps 之頻寬。



圖十一：高速網路頻寬之實現

考慮當技術應用於實線環境時可能的演化及架構，參如圖十二之研擬架構；除 FTTH 及 xDSL 之接取網路，原先採 FTTB 或 FTTN 搭配 VDSL2 所提供之網路，可透過 Bonding 技術或 Vectoring 技術，以及合併技術來升級接取網路之頻寬。依供裝範圍或數量上的差異，如 FTTB

便可搭配 Board-level 的 Vectoring VDSL2，而 FTTN 供裝的可選擇 System-level 的 Vectoring VDSL2。有效快速提升用戶供裝服務速率的方案，可先行採用 Bonding 技術，或在不變更用戶設備下改接至 Vectoring 設備，並啟動 Vectoring 混裝技術(如：ZTV 等技術)、或遠端升級同網線之所有用戶設備支援 G.friendly 功能，使該 Vectoring 設備提供高速頻寬。



圖十二：新技術應用之規劃架構

致謝

感謝中華電信公司各級單位主管與同仁對於本文相關研究工作之支持，以及中華電信研究院寬頻網路研究所主管與同仁之技術指導與協助，同時要感謝阿爾卡特朗訊(Alcatel-Lucent)公司的協助驗證測試，使得本篇論文能順利完成。

參考文獻

- [1] Point-Topic, "World Broadband Statistics- Q4 2012", March, 2013, pp. 9-10.
- [2] Graham Finnie, "DSL Acceleration: Making It Work(White Paper)", Chief Analyst, Heavy Reading, June 2012, pp 4.
- [3] MIC, "2012年第四季全球領導電信業者關鍵議題短評", January, 2013, pp.1-2.
- [4] MIC, "2012年第四季全球領導電信業者關鍵議題短評", January, 2013, pp.5-6.
- [5] KPN Telecom, "KPN Annual Report 2012", Jan 2013, pp 36.
- [6] 中華電信公司電信雙月刊第40卷第1期, "新一代FTTX+VDSL接取網路技術之探討", February, 2010, pp. 4.
- [7] ITU T Recommendation G.998.2, "Ethernet-based multi-pair bonding", January 2005, pp 5.