

# G.hn 寬頻家庭網路技術與實用評估研究

楊舜凱\*<sup>a</sup>、郭斐華<sup>a</sup>、賴國祥<sup>a</sup>、李榮瑞<sup>a</sup>  
中華電信研究院寬頻網路研究所<sup>a</sup>

**摘要** — 因應客戶對網路連線之頻寬需求升高，電信業者在建置光纖到家(FTTH)後，遭遇到家庭複雜環境之佈建困擾，如何同時滿足成本、涵蓋率、服務速率及傳輸品質是電信業者極為重要的研究課題，可同時支援電話線、同軸電纜線與電力線的 G.hn 技術是理想的解決方案之一。本論文提出家庭有線媒介佈建時須考量的干擾議題與建議方案，並針對 G.hn 電力線技術現況進行設備能力評估測試，依據電信業者角度提出應用規劃需求，期能達到加速應用服務上線的目的。

## 一、簡介

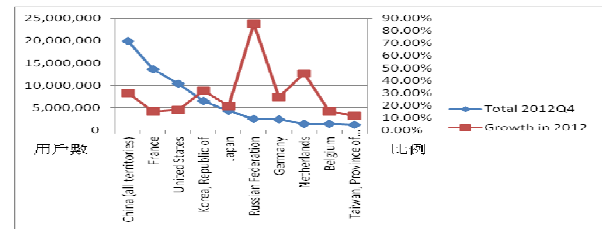
家庭網路技術區分為有線網路與無線網路技術，有線網路技術包含乙太網路(Ethernet)、電話線網路(PhoneLine)、電力線網路(PowerLine)與同軸電纜線網路(Coaxial)等，無線網路則以 Wi-Fi 技術較為普遍。以全球家庭環境內的線路特性而言，除了乙太網路、Wi-Fi 為兩種主要佈建技術外，北美地區多以同軸電纜線為另一種替代佈建選項，而亞洲及歐洲地區則多以電力線為另一種替代佈建選項，其目的在於能夠兼顧寬頻無縫隙接取與 IPTV 服務傳輸穩定度，因此家庭第三媒介選擇則顯得格外重要。

家庭網路除了關注高速技術外，傳輸媒介之干擾議題也是極為重要的問題。經研究發現同軸電纜線存在既有 Cable TV 及 Cable Modem 系統之干擾，電話線存在既有 VDSL2 系統訊號之干擾，電力線存在家電干擾、相同電力線技術頻寬共享或不同電力線技術訊號干擾，種種干擾問題均會造成家庭網路性能下降及涵蓋範圍縮小，每種技術應用仍有實用性的考量，因此可同時支援三種媒介的 G.hn 技術，便成為電信業者佈建家庭網路最重要的技術方案選擇之一。

## 二、家庭有線網路技術發展

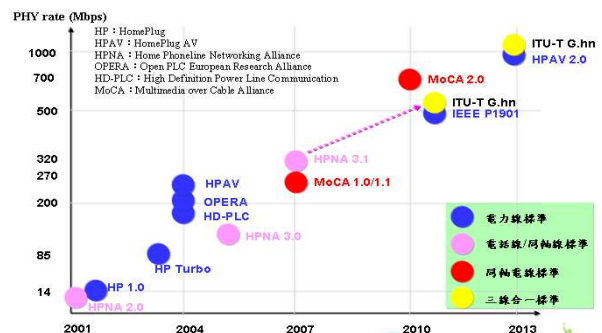
### 2.1 標準發展

對於 IPTV 服務而言，目前以無線技術傳送仍然存在掉包(Packet Loss)之疑慮，因此全球大部份電信業者仍以有線為 IPTV 主要傳輸媒介。依據 PointTopic 於 2012Q4 的分析報告[1]，2012 年第四季截止，全球 IPTV 總用戶數已超過七千五百萬用戶，約佔全球寬頻用戶數的 11.8%，用戶數前三大國家為中國、法國與美國，台灣排名第十名(總用戶數為 119 萬戶、年增率為 11.6%)，IPTV 用戶數分佈如圖一所示，IPTV 應用持續為全球寬頻網路佈建的主要趨動力量。



圖一：全球 IPTV 用戶數排名分佈

早期全球電力線通訊標準組織依其所在區域，分有美規的 HomePlug Powerline Alliance (HPA)、歐規的 Universal Powerline Association (UPA)、日規的 Consumer Electronics Powerline Communication Alliance (CEPCA)，三項電力線標準約從 2004 年左右制定完成，實體層(PHY)傳輸速率最高可達 200Mbps，而 Ethernet 層速率約接近 100Mbps。目前電力線標準產品普及率最高為 HPA 組織之 HomePlug AV(HPAV)[2]，而於 2011 年 HPA 組織與 IEEE 組織合作推出 PHY 傳輸速率為 500Mbps 的 IEEE P1901 標準[3]，2013 年 HPA 組織又發表 1Gbps 傳輸速率的 HomePlug AV2 標準，電力線標準發展演進如圖二之藍點。



圖二：有線家庭網路技術之發展趨勢

Home Phoneline Network Alliance (HomePNA)組織使用家庭現有的電話線以傳送語音與數據之家庭網路標準，普遍使用的 HomePNA 技術版本有 HomePNA 3.0，使用頻帶 4MHz~21MHz，速率為 128Mbps，並規範可選擇使用 Phoneline 和 Cable 任一作傳輸媒介，使用 Cable 媒介的技術稱為 HomeCNA (Home Coaxial Networking Alliance)，2007 年制定完成之 HomePNA 3.1 版本，若能透過家庭內的兩對線，發送兩條 HomePNA 訊務流，則可望達到 320Mbps 的 PHY 傳輸速率，標準發展演進如圖二之粉紅點。

同軸電纜線技術(Multimedia over Coax Alliance; MoCA)利用居家的有線電視同軸電纜線來實現家庭網路，MoCA 使用先進的 OFDM 調變技術，同時使用達

1GHz 高頻的同軸電纜線。2006 年 2 月提出 1.0 版標準，2007 年底提出 1.1 版標準，2010 年底通過 2.0 版標準，MoCA 運作於 800MHz 到 1.5GHz 頻段上的同軸電纜網路，可達到 270Mbps 以上的 PHY 傳輸速率，標準發展演進如圖二之紅點。

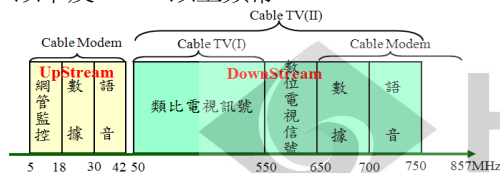
ITU-T 組織於 2008 年開始定義出一套可用於同軸電纜線、電話線和電力線實現 1Gbps 連線速率的標準技術：G.hn，將有效協助於家庭網路媒介之整合。ITU-T 已於 2010 通過 G.hn 主要標準技術，包括 PHY Layer(G.9960)[4]、MAC Layer(G.9961)[5]、MIMO 標準(G.9963)[6]，標準發展如圖二之黃點。參與 G.hn 標準制定的成員，包括知名的電信公司如 BT、NTT、at&t 等，晶片廠商如 Intel、Infineon、Broadcom 等支援，隨著國際電信業者明確表態支持下一代家庭網路 G.hn 標準，家庭市場混沌時代即將有更明確且單一選擇之家庭網路技術。

## 2.2 建置考量

在既有舊住宅內，"No New Wires"概念的家庭網路技術可對電信業者與用戶提供成本最低的技術解決方案，並且考量傳輸視訊可靠度與穩定性，我們將採用有線媒介來提供 IPTV 服務，無線則定位於上網數據服務，接下來針對電話線、同軸電纜線及電力線三種既有媒介在家庭網路建置時所要注意議題，特別是與該媒介上既有服務之干擾議題。

(1).電話線技術以屋內電話插座為寬頻引入點，每房間幾乎配置有一個插座，但網路覆蓋率及用戶移動性不及電力插座。其最大問題存在與 VDSL2 接收技術頻帶重疊，導致訊號相互干擾，使得 VDSL2 接收技術與家庭電話線技術的性能皆受到影響甚於無法連線。目前可行的解決方法有兩種，第一種為採用隔離工法，讓 VDSL2 訊號在家庭入口處就被截取下來，使得家庭網路內部只有電話線技術；第二種為採用頻帶分離方式，將家庭電話線技術頻帶移至較高的頻帶，例如大於 30MHz，不過這將影響到傳輸速率與涵蓋率。

(2).同軸電纜線的線路品質相較電話線與電力線佳，但其問題之一是寬頻引入點不多，用戶受限於同軸插座數量而無法自由移動。由於家庭同軸電纜線技術與有線電視業者之有線電視服務(Cable TV)與纜線數據機(Cable Modem)上網服務傳輸頻帶的重疊，導致彼此干擾議題，有線電視服務頻帶分佈如圖三。目前解決方法為不建議家庭同軸電纜線技術與 Cable Modem 同時提供服務，並且採用頻帶分離方式來避開 Cable TV，例如只能運作在 50MHz 以下及 1GHz 以上頻帶。



圖三：利用銅軸電纜線傳輸之服務現況

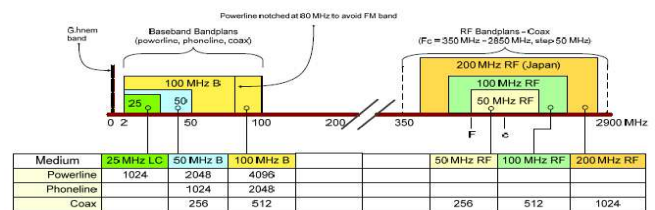
(3).電力線最大優勢在於家裡電力插座普遍，每間房間配置多個插座，用戶移動性幾乎可媲美無線技術，且同時具有電力線路與資訊線路合一的優勢，導致電力線

擁有其它電話線與同軸電纜線所沒有的便利性與獨特性，不過電力線通訊技術也有須克服之干擾問題，包括家電干擾問題、電力線技術共存時所衍生之頻寬共享與訊號干擾問題，依據先前研究論文[7]~[9]針對上述干擾問題分析並提出技術探討與解決方案，因此綜合來說，以台灣的住宅環境，電力線技術仍是國內較佳的傳輸媒介選擇，第四章將以電力線技術為主說明 G.hn 設備測試現況。

## 三、 G.hn 家庭網路技術研究

### 3.1 傳輸層技術

G.hn 針對不同傳輸媒介提供不同傳輸頻譜參數要求，如圖四所示，三個傳輸媒介皆有 Baseband Bandplans，頻帶範圍包括 2~25MHz、2~50MHz、2~100MHz，2~25MHz 只有電力線支援。對於線材品質較佳的同軸電纜線則有 RF Bandplans，可傳輸在高頻之 300MHz~2500MHz 間。G.hn 技術能夠調整 OFDM 參數以適應不同媒介的傳輸特性，例如線徑大小、傳輸延遲、干擾強度等，例如依據線路品質造成的傳輸延遲來調整子載波的數量，則三個媒介中以電力線子載波數量最多，電話線次之，同軸電纜線最少，數量等級以 8:4:1 比例定義，其相對應的子載波的帶寬為 1:4:8 分佈。



Source: HomeGrid forum

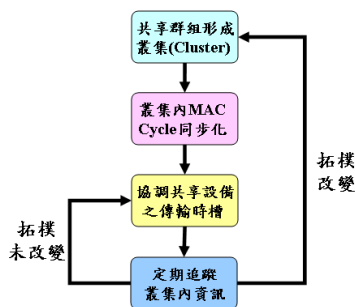
圖四：G.hn 傳輸頻帶與參數規範

為了克服電力線干擾問題，進一步提升 G.hn 的傳輸性能與應用，將目前單純使用火線的傳輸方式單輸入單輸出(Single-Input Single-Output; SISO)，加上利用相對乾淨的地線同時進行多輸入多輸出(Multi-input Multi-output; MIMO)傳輸。MIMO 主要著眼於提高傳輸速率、節省佈建成本、及拓展家庭領域的覆蓋範圍。依據 HomeGrid Forum 評估 PHY rate 理論值，G.hn SISO 100MHz 與 G.hn MIMO 50MHz 可接近速率約 1Gbps，而採用 G.hn MIMO 100MHz 可高達 2Gbps，這將優於現在主流技術(包括 HPAV、MoCA、HomePNA 等)的 3~4 倍。另外 G.hn 也制定 Relay 中繼功能，主要為導入中繼節點(Relay Node)以延伸傳輸距離，來解決因距離遠而無法通訊的兩端點。

然而影響電力線性能甚鉅的另一關鍵因素為電力線技術之間訊號共存問題，特別是相同電力線技術設備之不同群組同時運作在電力線網路之頻寬共享問題，此問題除存在家庭內，亦會因電力線訊號穿透電錶而發生於鄰居之間環境，所以共存問題更是電力線技術蓬勃發展後刻不容緩待解決之課題。為解決相同電力線技術群組間之頻寬共享問題，G.hn 制定 NDIM (Neighbor Domain Interference Mitigation) 技術，主要利用 Orthogonal Preamble 及 TMDA Coordination 兩種概念以大幅減輕頻寬共享之效應。

(1). Orthogonal Preamble：不同群組的封包均為正交向量訊號，此封包被鄰居 BPL 設備接收到也不會被當作相同技術設備的訊號，因而不被設備共享機制所考量，很自然把此訊號當成干擾雜訊，唯須注意距離很近時，性能會因訊號干擾影響得很嚴重。

(2). TMDA Coordination：執行流程如圖五所示，一開始將頻寬共享的群組連接成一叢集(Cluster)，將所有共享群組的 MAC cycle 同步化(MAC cycle 為交流電頻率的兩倍)，然後分配安排好的時段給所有共享群組內有彼此影響的設備，並定期更新叢集內資訊，資訊包括訊號干擾的強度、偵測新增與離開的群組或設備。假若叢集的拓樸有改變，則再更新叢集資訊；若叢集的拓樸未改變，則視安排調整傳輸時槽以滿足性能要求。採用正交同步(Orthogonal Sync)封包，以形成訊號干擾問題



圖五：NDIM 技術之 TMDA Coordination 運作流程

### 3.2 服務層技術

G.hn設備主要應用於家庭網路，電信業者或客戶通常藉由G.hn技術的多元性與便利性，用來提供屋內多重服務(例如高速上網服務、IPTV服務、VoIP語音服務等)終端設備之間、或者服務終端設備與家庭網路閘道器(Home Gateway)之間的連線，解決屋內佈線困難、影響美觀的議題以及資料傳輸的需求。由於各種服務對於網路品質與效能因子IP Packet Loss、Delay、Jitter等的需求與反應不完全一致，加上不同服務使用的封包種類與傳輸特性也有所差異，因此需要QoS、訊務分類機制(Traffic classification)、群播(Multicast)與廣播(Broadcast)等相關功能的輔助，使所有服務得以正常運作而且彼此不互相干擾。以下針對G.hn設備為了達到提供家庭網路多重服務所需具備的基本功能作一簡單介紹。

#### (1). QoS相關功能需求

目前家庭網路設備以及家庭網路閘道器較常使用的QoS功能包括Ethernet CoS以及IP ToS (IP Precedence或者DSCP)，其中又以IP ToS最為廣泛，因為電信業者或客戶通常比較少會在家庭網路內部使用IEEE 802.1Q VLAN的規劃。但隨著技術的發展與服務的演進，當家庭服務的種類愈來愈趨多元化，考量不同服務終端設備在IP位址的規劃與取得方式、以及不同服務使用的封包特性與運作需求的差異，電信業者對於家庭網路內部採用802.1Q VLAN的規劃與應用亦不無可能。因此，以電信業者的角度而言，G.hn設備必須同時具備上述兩種QoS功能，而且Ethernet CoS的優先處理順序必須高於IP ToS。此外，G.hn設備也必須提供QoS功能相關參數的設

定能力，例如Ethernet CoS以及IP ToS欄位值對應不同優先等級佇列(Priority Queue)之設定。由於一般家庭網路設備或者家庭網路閘道器大多具備四個以上Priority Queue能力，因此為了達到彼此介接配合的需求，建議G.hn設備至少須提供四個(以上)Priority Queue，而且支援絕對品質(Strict Priority)的保障機制，並且可以依據不同的訊務分類條件，將訊務對應到不同Priority Queue來決定封包的優先處理順序。

#### (2). Multicast與Broadcast相關功能需求

除了頻寬與設備性能議題外，為了達到網路效能、設備性能的最佳化，G.hn標準特別制訂相關規格，要求在G.hn PHY層與DLL層針對Multicast訊務做到類似乙太網路點對多點、一個Multicast群組(Group)以一份頻寬的特性來傳送，避免耗用G.hn網路多倍的頻寬與設備效能。除此之外，管控Multicast與Broadcast訊務是必要的，如果家庭內部G.hn設備是由電信業者提供，那對於電信業者的維運作業也有相當程度的幫助，可以減少服務障礙的申告以及障礙發生的責任釐清。針對Multicast訊務，為了滿足上述目標，G.hn設備必須支援IGMP Snooping功能，同時也須滿足電信業者IPTV服務一戶多機的需求。另外，針對Broadcast訊務的管控，G.hn設備至少須提供速率控制的功能，避免無效的Broadcast訊務造成家庭內部、甚至接取網路頻寬的浪費以及設備性能降低。

#### (a). IGMP Snooping功能：

當客戶以機上盒(STB)設備透過某個G.hn設備點選IPTV服務的頻道節目(Multicast Group)時，應該只有該G.hn設備會將對應的Multicast訊務傳送給LAN端連接的STB設備，而其他G.hn設備不會。而且根據IGMP Snooping功能的要求，各個G.hn設備接收到的IGMP控制訊息封包只能傳送給Multicast來源處，亦即連接家庭網路閘道器的G.hn設備，避免群播特性的IGMP控制訊息封包影響其他STB的正常運作。

#### (b). IPTV一戶多機服務需求：

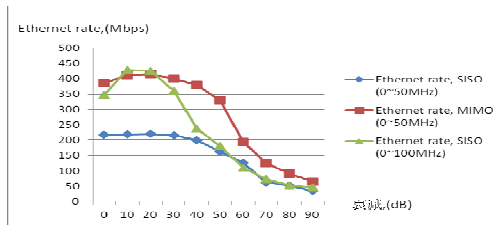
當客戶同時以多部STB設備透過G.hn設備點選相同的Multicast Group時，若其中一部STB先切換至新的Multicast Group時，則其餘STB收看原有的Multicast Group不應該受到影響，產生視訊畫面馬賽克或中斷的情形。

## 四、 G.hn 電力線設備測試結果探討

為了瞭解現階段G.hn設備商的研發進度與產品現況，特別利用目前G.hn設備商所提供的產品，針對性能、共存功能、QoS、Multicast與Broadcast等服務功能項目進行驗證。

#### (1).性能測試結果

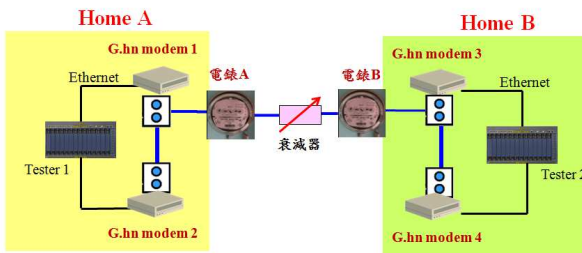
針對SISO 50MHz、SISO 100MHz、MIMO 50MHz模式進行性能與衰減測試，結果如圖六所示，我們發現目前G.hn設備最大速率可達400Mbps，衰減50dB以下，G.hn SISO (0~100MHz)比SISO (0~50MHz)性能有優勢，性能約增加1.5~1.8倍。MIMO性能比SISO(0~50MHz)幾乎接近2倍。



圖六：G.hn 傳輸頻帶與參數規範

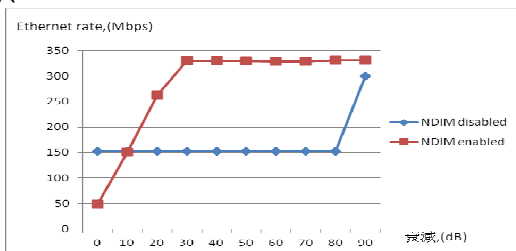
### (2). 共存功能測試結果

首先，我們以兩個家庭(Home A 及 Home B)模擬鄰居間共存問題，測試架構如圖七所示，電錶後端模擬家庭網路內部電力線環境，並且兩家庭電錶之間介接一衰減器模擬鄰居間之衰減程度。四部 G.hn 設備(SISO 100MHz)均為相同技術標準且設定成兩鄰居群組，以進行鄰居間共享問題之評估。



圖七：鄰居間頻寬共享問題之測試架構

由於目前 G.hn 設備 NDIM 功能只支援 Orthogonal Preamble，因此測試結果發現當關閉 NDIM 功能時，鄰居間衰減量大於 90dB，Home A 性能可達 300Mbps 以上，但若開啓 Orthogonal Preamble 功能，鄰居間衰減量只要大於 30dB 就可達 300Mbps 以上的性能，如圖八所示。不過當鄰居間衰減量為 30dB 以下，Home A 性能因訊號干擾而急遽下降，甚至可能只有 50Mbps 左右，此低於關閉 NDIM 功能的頻寬共享結果，不過一般台灣住宅環境來說，鄰居間因包括電錶與電力線，其衰減量應會大於 30dB。



圖八：G.hn 傳輸頻帶與參數規範

### (3). QoS功能測試結果

現階段G.hn設備大都只支援Ethernet CoS功能，尚未具備IP ToS能力，而且Ethernet CoS只能依照設備預設的方式對應Priority Queue，例如802.1p=0的優先權高於802.1p=2的優先權，無法依照電信業者或客戶的需求更改設定，而且也不提供Strict Priority功能，在多重服務使用情境的環境中，無法確保特定服務的傳輸品質。雖然G.hn技術提供了家庭網路更寬裕的頻寬能力，但是面對電信業者接取網路與高速上網服務速率不斷地提升、家庭內部終端設備數量的增加以及終端設備之間的多元

應用，加上家庭內部G.hn設備的佈署方式、電源干擾、與鄰居之間電力線技術的交互影響等，G.hn網路頻寬壅塞的機率還是存在，因此具備完善的QoS功能，仍然是G.hn設備的基本功能需求。此外，現階段產品啓動QoS功能時，會造成效能降低(約47%~81%)。

### (4). Multicast與Broadcast功能測試結果

現階段G.hn設備大都尚未支援G.hn PHY層與DLL層的Multicast功能，但仍可透過Unicast點對點的方式來傳送Multicast訊務。以現階段IPTV服務流量而言，單一高清(Hi-Definition)節目的頻寬需求大約是10~15Mbps流量，以家庭中使用IPTV四部STB計算，總頻寬需求約在60Mbps以內。因此，雖然對於G.hn網路的頻寬效益與設備效能無法達到最佳化，但如果事先做好服務規劃、環境評估與測試，仍有機會用來提供客戶良好的高速家庭網路新體驗。G.hn設備的Multicast效能，在單一Multicast Group條件下，Throughput大約與Unicast訊務接近，約為110~420Mbps，主要因素在於不同廠商設備SISO/MIMO、支援頻段的差異。另外，針對Multicast訊務所需之IGMP Snooping功能以及一戶多部STB的頂級視訊需求，部分G.hn設備出現IGMP控制Multicast訊務能力不符合預期的情形，亦即G.hn設備接收到預期不應接收的Multicast訊務。這對客戶而言，容易發生其他服務(例如高速上網服務)受到干擾的情形；而對於電信業者而言，則比較容易造成障礙判斷錯誤之維運困擾。針對Broadcast訊務的管控能力，G.hn設備目前幾乎皆可提供Broadcast訊務限速的功能，控制任兩個G.hn設備之間的Broadcast訊務流量在1Mbps左右，避免Broadcast訊務造成家庭內部、甚至接取網路頻寬的浪費以及影響設備的性能。

### 結論

由本論文測試結果發現，現階段G.hn電力線設備性能與傳輸層功能漸趨完善，性能已高達400Mbps速率，足以應付大部份服務速率需求，而有關鄰居間共存問題，G.hn已可提供第一階段Orthogonal Preamble功能來滿意大部份環境所需，未來將提供第二階段TMDA Coordination以解低衰減訊號干擾問題。服務層功能因現階段G.hn廠商著重於性能相關議題的開發，使得服務層仍存在許多異常與改善空間，短期內無法提供各項家庭網路服務應用(例如一戶多機MOD)，可能還需要加快研發的腳步，以滿足電信業者的建設時程以及服務需求。

### 感謝

感謝中華電信研究院各級長官於研究工作之支持及寬頻網路研究所 220 計畫相關同仁之技術協助，使得這篇論文能夠順利完成，謝謝。

### 參考文獻

- [1] PointTopic, 2012Q4.
- [2] HomePlug AV Specification version 1.0, December 2005.
- [3] IEEE STD 1901, "IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications," December 2010.

- [4] ITU-T Recommendation G.9960, "Next generation wireline based home networking transceivers – Foundation," June 2010.
- [5] ITU-T Recommendation G.9961, "Data link layer (DLL) for unified high-speed wire-line based home networking transceivers," June 2010.
- [6] ITU-T Recommendation G.9963, "Unified high-speed wire-line based home networking transceivers - Multiple Input/Multiple Output (MIMO)," Consented on 2011-09-16.
- [7] 楊舜凱, 楊文哲, 李榮瑞, 王井煦, "家庭高速電力線網路提供寬頻服務之研究", 2006年全國電信研討會論文集, 2006.
- [8] 楊舜凱, 李榮瑞, 王井煦, "家庭高速電力線網路傳輸干擾之研究", 2007年資訊科技國際研討會論文集, 2007.
- [9] 楊舜凱、賴國祥、李榮瑞, "電力線網路共存問題與解決方法之技術研究", 2012年全國電信研討會論文集, 2012.



