

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

60 GHz 高速無線區域網路前瞻性技術研究--總計畫(3/3) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 95-2219-E-002-002-
執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 09 月 30 日
執行單位：國立臺灣大學電信工程學研究所

計畫主持人：李學智
共同主持人：闕志達、蘇炫榮
計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：曾文方
碩士班研究生-兼任助理：羅勳章

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96 年 11 月 28 日

[illegible]

協同主持人：蘇炫榮 教授

☐赴國外出差或研習心得報告一份

☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份

☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

中 華 民 國 96 年 9 月 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

60 GHz 高速無線區域網路前瞻性技術研究(總計畫)

計畫編號: NSC 95-2219-E-002-002

執行期限: 95 年 8 月 1 日 至 96 年 7 月 31 日

主持人: 李學智 教授 國立台灣大學電信工程學研究所

協同主持人: 闕志達 教授 國立台灣大學電子工程學研究所

協同主持人: 蘇炫榮 教授 國立台灣大學電信工程學研究所

一、中文摘要

隨著無線多媒體影音應用的風行，無線區域網路所使用的 2.4 GHz 及 5 GHz 頻段已逐漸有擁塞、不敷使用的現象。其原因除了現有頻段不夠容納高品質的多媒體需求外，介質存取控制協定效率低也是主要原因之一。本計畫研究在具有極大可用頻寬的 60 GHz 頻段設置無線區域網路的可行性，並設計及製作可用於此頻段的無線收發機。60 GHz 頻段的波長短、極有利於多天線的設置，因此使用多輸入多輸出天線來倍增傳輸率也是本計畫的重點。整體而言，一個無線區域網路的效能取決於其所使用的通道環境、實體層的演算法、收發機及天線的製作、以及介質存取控制協定的效率，本計畫藉由下列三個子計畫同時考慮這些因素，以完成一個初步但完整的寬頻無線區域網路設計。

子計畫一：60 GHz WLAN 通道特性的量測、數據分析與系統模擬(李學智教授主持)

子計畫二：高速多天線分頻正交多工通信基頻收發機之設計與製作(闕志達教授主持)

子計畫三：高速多天線分頻正交多工無線區域網路的整合介質存取控制及實體層設計(蘇炫榮教授主持)

本年度為本總計畫執行之第三年度，本篇報告將總結各個子計畫在本年度之研究成果。

(關鍵字：無線區域網路、60 GHz、正交分頻多工調變、多輸入多輸出通道、收發機、智慧型天線、多重性、介質存取控制)

二、英文摘要

The current 2.4 GHz and 5 GHz wireless

LAN bands are becoming inadequate to fulfill the demand, partly due to insufficient bandwidth, but also due to the inefficient MAC protocols that are being used in the current wireless LAN. In view of this, in this group project, we investigate the possibility of deploying wireless LANs with wideband transmission in the 60 GHz band where ample unlicensed bandwidth is available. In addition, as the short wavelength at 60 GHz implies both compact multiple-antenna deployment and high spatial diversity within a small area, we also consider MIMO transmission techniques as a wireless LAN depends on the characteristics of the channel it is being applied to, the physical layer transceiver design, antenna design, and the MAC protocols. As such, this group project relies on the following three projects to cover all these performance-defining factors, in order to gain preliminary but comprehensive insights into the design of a wideband wireless LAN.

Subproject 1: WLAN Channel Characteristics Measurement, Analysis, and Simulation at 60GHz

Subproject 2: High Speed Baseband Multi-Antenna OFDM Transceiver Design and Implementation

Subproject 3: Integrated MAC and Physical Layer Design for a High Speed Multi-Antenna OFDM WLAN

This is the third year of the group project, and this report summarizes the research outcomes of each subproject in this year.

(Keywords : WLAN, 60GHz, OFDM, MIMO, Transceiver, Smart Antenna, Diversity, MAC)

三、計畫緣由與目的

使用更大的頻寬以及更高的頻段來做無線數據傳輸，已有多種方式被提出。例如 HIPER LINK 規劃使用 17GHz 的頻段，幾百 MHz 的頻寬來提供室內定點 155Mbps 的無線傳輸。歐洲 Advanced Communications Technologies and Services (ACTS) 的幾個不同的計畫，分別提出使用 19GHz, 40GHz 及 60GHz 來做 70, 264 及 150Mbps 的傳輸。日本的 Multimedia Mobile Access Communication (MMAC) 委員會則在研究使用 40GHz 及 60GHz 來做室內無線網路 156 Mbps 傳輸的可能性。至於 60 GHz 的頻段，美國 FCC 已保留 59~64 GHz 的頻段；無需申請執照即可使用，限制為等效全向輻射功率(EIRP)要小於 10W。在日本則釋出 59~66 GHz 的頻段，其限制為饋入到天線端的功率要小於 10dBm，天線增益要小於 47dBi。在歐洲則釋出 62~63 GHz, 65~66 GHz 給行動寬頻系統使用，同時亦提供 59~62 GHz 給無線區域網路使用。有鑑於 60 GHz 頻段的全球通行性，本計畫將把重點放在此一頻段的使用。

60 GHz 的通道特性已有不少的研究，其重要特性包括：因波長短而有較大的自由空間損失，更大的人員阻擋損失，較小的繞射現象，更大的穿透損失，例如玻璃的穿透損失可達 3~7dB，15 公分厚的牆壁穿透損失達 36dB，門窗、木板隔間的穿透損失亦不容忽視，因此室內環境 60 GHz 的無線區域網路，需要每一個房間都有一個 Access Point。另外，由於 cell 小，其多路徑延遲擴散小，若使用方向性天線，可以再減少延遲擴散。延遲擴散減少，對頻率的衰落變化將較緩和，數據傳輸速率可以提高。

在寬頻傳輸的實體層(Physical Layer)設計方面，近年來已有相當多研究著眼在既定頻寬下利用不同的調變/多工技術，或採用更先進之時域/頻域/空間訊號處理或編碼方式來提昇傳輸速率及通道容量，增加頻譜效能(spectral efficiency)。而商用系統除傳輸速率外尚需考慮提供多樣化之頻寬與服務品質(QoS)，與系統成本。如現存各種陣列型訊號處理或較複雜之可適性信號處理方式雖然可提昇系統效能，然昂貴的製作成本與大量電功率消耗將降低該系統在移動端如手機上實作之可行性。就上述考量而言，利用多載波調變(Multi-Carrier Modulation)，如正交分頻多工調變(OFDM)技術，相對於單一載波調變將更有助於達成寬頻

傳輸及提昇頻譜效能，並維持合理系統複雜度。正交分頻調變目前已廣見於無線區域網路(IEEE 802.11a/g)、數位音訊/視訊廣播系統(DAB/DVB-T)或有線數據通訊等各式系統。如其中國際電機電子工程師學會提出 IEEE802.11a/g 為高速無線區域網路標準，IEEE 802.16a 為寬頻無線傳輸(BWA)標準。歐洲電信標準組織提出 (DVB-T)作為數位電視之地面廣播標準與 ETSI 300 401 為數位廣播系統(DAB)標準。此外在有線系統方面如 xDSL 系統採用之離散式多音調傳輸(DMT)亦為相同技術。

本計畫使用 OFDM 技術，同時考慮使用多個發射天線與多個接收天線，或稱為多輸入多輸出 (multiple input multiple output, MIMO) 通道，來製作具前瞻性的高速收發機。MIMO 的技術，由於天線通常放置於不同的地點，因此造成無線電波的傳送會經由不同的空間路徑，可借助空間多樣化(space diversity)達到較佳的接收表現。其中較著名的方法係以時空編碼(space-time coding)的方式達成多樣化；另外如波束合成(beamforming)可收集某個方向的訊號並除去其他方向來的干擾；BLAST 的接收方式係以消除不同傳送與接收天線間的訊號彼此間所造成的干擾來達成增加傳輸速率的目標。

除此之外，現有無線區域網路頻帶之所以擁塞的另一主要原因其實是因為其介質存取控制(MAC)協定的效率過低所致。目前無線區域網路所使用 MAC 協定是 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance，「能避免碰撞的載波感測多重存取」)，此類 MAC 協定通常會因為使用者的傳輸互相撞擊、或為了避免撞擊而延遲傳輸，而造成實體層頻寬的使用率降低。在某些情形下，延遲傳輸所浪費的時間可能高達封包成功傳輸所需時間的三分之一以上。換句話說，在一個 MAC 協定效率低的網路中，使用者真正能感受到的傳輸速率其實是遠低於實體層所提供的。有鑑於這個弊病，IEEE 802.11 於 2003 年新成立了一個高產能(High Throughput)工作小組(定名為 802.11n)專門為了解決此一問題，並商討改進現有的 802.11a MAC 及實體層以作為近程解決無線區域網路頻帶擁塞的對策(遠程對策即為上述開發更寬頻段)。其目的在使改進過的 802.11a 能達到高於 100 Mbps 的產能。也就是說，802.11n 將在同樣的頻寬中達到至少是目前 802.11a 兩倍以上的產能。由此我們可

以瞭解到，單是實體層的設計並不足以達到最大的頻譜效能。如欲使本計畫所開發的 60 GHz 收發機發揮最大的效益，完善的 MAC 協定設計將不可或缺。MAC 協定一般又與實體層收發機的設計息息相關，本計畫同時從實體層的觀點來優化 MAC 協定，並從 MAC 的觀點來優化實體層設計。至於目前無線區域網路無法提供的多媒體訊息即時傳遞所需的服務品質保證，本計畫亦會在 MAC 協定的設計中探討。

四、研究方法與成果

本計畫共分三個子計畫，子計畫一除了負責通道量測及特性分析以提供子計畫二及子計畫三做為系統模擬以及基頻信號處理器模擬之輸入參數外，將從實際通道的觀點來探討實體層演算法的設計，提出 60 GHz 的無線區域網路系統架構，並探討 MIMO 的通道特性、通道容量及信號處理法則；子計畫二負責基頻收發機的電路實現，與其他子計畫共同探討收發機參數制定以及高效率演算法的設計；子計畫三將研究整合的 MAC 及實體層設計，從 MAC 協定的角度出發，此子計畫將探討在 60 GHz 頻段 MAC 協定及實體層演算法的理論極限，並提供兩者間的互動關係以與其他子計畫進一步優化實體層演算法。

第三年度各子計畫的研究成果簡述如下：

子計畫一：60 GHz 高速無線區域網路前瞻性技術研究-子計畫一：60 GHz WLAN 通道特性的量測、數據分析與系統模擬(3/3)

計畫編號: 95-2219-E-002-003

本年度的計畫，我們提出了改良型的室內無線通道模型。我們將室內的多路徑波分解成直接波成份及間接波成份。我們發現間接波成份的統計特性如多路徑波的平均功率，功率延遲剖面斜率及多路徑波的平均到達速率與收發天線所在的位置及天線間距沒有很大的關係。但直接波的大小則受收發天線的間距及阻擋情形影響甚大。然而直接波的成份是可以依據實際的通道情形來加以預測。本報告亦探討 60GHz 受人體阻擋的損失與天線型式及阻擋情形的關係。同時探討室內 MIMO 系統的天線極化特性對通道容量的影響。

(關鍵字：室內電波傳播模型，60GHz 通道特

性，MIMO 通道特性，MIMO 通道容量，MIMO 極化效應)

子計畫二：60 GHz 高速無線區域網路前瞻性技術研究—子計畫二：高速多天線分頻正交多工通信基頻收發機之設計與製作 (3/3)

計畫編號: 95-2219-E-002-004

在本年度中，依照之前已設計完成的適用於 60 GHz 無線區域網路的基頻系統設計、送發機架構及相對應的基頻接收機，來進行基頻接收機之硬體設計與實現。此系統採用 MIMO OFDM 技術。目前已經把整個基頻接機的硬體架構已經設計完畢，在其中有考慮到如何讓整個硬體架構達到較小及低功率之表現。

關鍵詞：多輸入多輸出技術，正交分頻多工調變，高速率無線區域網路，基頻收發機。

子計畫三：高速多天線分頻正交多工無線區域網路的整合介質存取控制及實體層設計(3/3)

計畫編號: 95-2219-E-002-003

在第三年的計畫裡，我們把研究重點放在三個重要的實體層及介質存取控制的議題上。第一個是將計畫前兩年研究的分群傳輸方式應用在 MIMO 下行(Downlink)通道。也就是說，我們將原本用於點對點通訊的 MIMO 分群傳輸技術延伸至點對多點的廣播環境。因為多個接收端會遭遇不同的衰退通道，原本發展的最大訊噪比濾波方式無法直接應用。針對此問題，我們推導了最佳的多用戶傳送及接收端天線陣列處理演算法。我們同時考慮傳送端的功率分配，以便在有通訊品質需求的限制之下能使總傳輸功率降至最低，或是在總功率固定的情形下達到最佳通訊品質。

第二個議題是閉路(Closed-Loop) MIMO 傳輸機制的回饋頻寬耗費問題。我們限制接收端僅能用有限個位元來將測量到的 MIMO 通道狀況回報給傳送端，並研究量化(Quantization) MIMO 通道資訊的方法。除此之外，我們也探討了通道資訊的量化與通道隨時間變化對系統造成的影響，並提出解決辦法。

最後，我們將閉路 MIMO 傳輸機制與可適性調變編碼、混合自動重新傳輸合併使用。之所以探討這個問題是因為這樣的組合早已成為所有下世代無線通訊網路的關鍵技術。利用本計畫第一年研發的可適性系統優化演算法，我們成功地在 MIMO 通道資訊因量化及回饋延遲而不準確的情形下，將系統傳輸速率提升至最大。

關鍵詞：無線區域網路、60 GHz、正交分頻多工調變、多輸入多輸出通道、多重性、智慧型天線、介質存取控制、混合自動重新傳輸、可適性調變編碼、多重存取、多用戶偵測、傳輸功率分配。