

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

十億位元級(Gigabit)無線感知式協同型網路之研究--子計畫一:十億位元級(Gigabit)無線感知式協同型網路之通道量測與傳輸品質分析(1/2)
期中進度報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 96-2219-E-002-024-
執行期間：96年08月01日至97年07月31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：曹恆偉

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 97 年 05 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☐ ~~成果報告~~
☐ 期中進度報告

子計畫一：十億位元級(Gigabit)無線感知式協同型網路之通道量測
與傳輸品質分析(1/2)

計畫類別：☐ 個別型計畫 ☒ 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2219-E-002-024

執行期間：96 年 8 月 1 日 至 98 年 7 月 31 日

計畫主持人：李學智 教授

共同主持人：曹恆偉

計畫參與人員：簡均哲、曾文方、吳念恩、邱明家、劉甄詒

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年 ☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學電信工程學研究所

中 華 民 國 97 年 5 月 29 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫

總計畫：十億位元級(Gigabit)無線感知式協同型網路之研究

子計畫一：十億位元級(Gigabit)無線感知式協同型網路之通道量測與傳輸品質分析(1/2)

計畫編號: NSC 96-2219-E-002-024

執行期間：96 年 8 月 1 日至 97 年 7 月 31 日

計畫主持人：李學智 教授

計畫參與人員：簡均哲、曾文方、吳念恩、邱明家、劉甄詒

一、中文摘要

本計畫的主要目的是探討及瞭解具有認知及合作能力的 Gigabit 無線傳輸網路的通道特性，建立認知式無線電及協同合作型無線電通道特性的量測系統，進行室內 MIMO 通道特性的量測與 Gigabit 的傳輸模擬，建立協同合作型通道及認知式無線電通道的模型，進行通道特性及系統架構對可傳輸速率的影響，探討協同合作技術在 OFDM 系統及波束形成上的應用，探討虛擬天線陣列與 MIMO 的關係，及對合作型無線電通道容量的影響。本計畫通道量測的結果，將提供子計畫二以驗證其所提的基頻信號處理法則及通道傳播模式，提供子計畫三以進行跨層設計，提供子計畫四進行 MAC 層規約的研究。

(關鍵字：認知無線電、合作無線電、Gigabit 無線傳輸通道量測、虛擬天線陣列、多輸入-多輸出系統、系統容量)

二、英文摘要

The main purpose of this Subproject is to investigate and understand the channel characteristics of a cognitive and cooperative wireless Gigabit network, to build a channel measurement system for cognitive and cooperative radios, to conduct measurement for indoor MIMO channels and simulations for Gigabit transmission, to establish channel models for cognitive radios and cooperative radios, to study the effect of system architecture and channel characteristics on the achievable data rate for the cognitive and cooperative channels, to study the effect of virtual antenna array and MIMO on the channel capacity of the cognitive and cooperative radios. The subject 2 can use the measurement data to verify their proposed channel models and signal processing algorithms. The subproject 3 and subproject 4 can use these channel data

to design the cross-layer protocol. and to study the C³ (cognitive, collaborative, and coordinative) MAC protocol.

(Keywords: Cognitive Radios, Cooperative Radios, Gigabit Transmission, Channel Measurements, Virtual Antenna Array, MIMO, Channel Capacity)

三、計畫緣由與目的：

近年來，行動通訊與無線網路系統為因應行動能力的需求及多媒體的大量存取，不斷朝向低耗能且高速、廣泛的傳輸方向前進，為滿足此高速率且可靠的傳輸品質，勢必需發展一套具有突破性的無線網路架構及無線傳輸技術，Gigabit 無線傳輸正是無線通訊領域前瞻性研究的主題。

為達到多樣化的無線高速存取系統，需要能結合現有無線網路架構，達成以下設計目標：

- (1) 低成本、低耗電但高品質的傳輸。
- (2) 整合密度高的模組化產品。
- (3) 能和現有無線傳輸架構共存及相容。
- (4) 高自由度的頻譜利用及規劃。

欲達到高頻譜使用效率，我們首先會面臨到通道資源分配的問題，為整合無線資源達到有效率的傳輸模式，無線通訊系統的設計觀念必須由單層的獨立研究拓展到跨層(cross layer)的最佳化設計問題上面。而為因應無線通道干擾及頻寬資源的嚴重不足，具有感知能力(cognitive)及可以互相合作(cooperation)的多重傳輸模式可達到高頻譜效率及可靠度以提昇系統效能，而建構於此種傳輸模式下，首要課題便是如何針對其傳輸架構去做實際通道的量測，建立出偵測、分析干擾源的系統，進而完成 Gigabit 通道的模型及驗證。

為達到 1Gbps 無線傳輸，實體層需佔有很寬的頻帶，為和現有系統相容，系統須具備感知週遭環境的能力，透過跨層級的溝通、分

析學習及調適過程，進行頻譜資源、發射功率、位元率、編碼率等的調整達到最佳效能。

本子計畫的主要目標即是探討在 Gigabit 高速傳輸之感知式無線電及合作型無線電網路之通道特性，建立這種系統之通道特性的量測系統，以瞭解其通道特性，並據以提出感測，分析及適應調變的信號處理法則，同時設計物理層的信號傳輸實驗，以分析、評估傳輸性能。感知式無線電及合作型無線電所需要的通道資訊與過去通道量測所想要的資訊不太相同，因此在量測系統及量測方法上另外考量。因此本計畫所擬進行的研究將具有前瞻性及其獨特性。

四、研究方法與成果:

1. Gigabit 傳輸技術

要達到 Gigabit 的傳輸速率，無線通訊的技術、網路架構、以及頻譜使用，都必須有突破性的觀念及做法。多輸入-多輸出的技術可以有效的提升頻譜使用效率。MIMO 技術的研究，國內外都已積極地進行。MIMO 多通道間的相關係數會影響系統可獲致的容量，鑑於行動端收發機的體積限制，天線的間距變得很小，可能造成天線元素之間有很大的耦合係數，耦合係數對 MIMO 通道容量的影響是值得探討的問題。另外，小型手機若使用極化分集或場型分集，或許可以減低天線間的相關係數，增加通道容量，但是這些推測需要實驗數據來加以驗證。台大電信所已建立 MIMO 的通道特性量測系統，本計畫將利用該量測系統進行極化分集，場型分集，天線耦合係數的量測，並分析其對 MIMO 通道容量的影響。

MIMO 的分析，通常假設通道估測完美無誤。然而實際的 MIMO 系統，尤其在低 SNR 的環境下，通道估測會有誤差，通道估測誤差對傳輸性能的影響，亦是本子計畫擬探討的重點。

2. 協同合作型傳輸(cooperate transmission)技術

最基本的協同合作傳輸模式包含訊號源端(source)、中繼傳遞端(relay)及接收端(destination)。通道量測時需考慮到中繼傳遞端同時扮演接收及傳輸的角色，接收鄰近點的訊號再傳送至較遠的目的端會造成接收及傳輸功率上的差異，在量測時需能有效隔離。此外這三個端點之間的相對距離(near field or far field)及掩蔽(shadowing)等效應對協同合作傳輸的影響需一併加以分析與探討。

在 AWGN 通道的環境下，實際上的傳輸率可由以下通道容量來表示

$$R = \log_2 \left(1 + \frac{1}{\gamma} \text{SNR} \right) \quad (1)$$

其中 γ 代表編碼損耗，接收機複雜度等因素的影響，而 SNR 可表示成

$$\text{SNR} = g \frac{p_t}{\sigma^2} \quad (2)$$

p_t 為傳送的功率， g 為通道的增益， σ^2 為雜訊功率。

現定義一傳送端 S，而 g_1 、 g_2 分別代表 S 到兩個接收端 U_1 、 U_2 的通道增益， g_R 表示兩個接收端之間的通道增益。

若 U_1 為 S 欲傳送的目的地，則此一直接鏈結的最大傳輸率($S \rightarrow U_1$)為

$$R_{\text{direct}} = \log_2 \left(1 + \frac{P_t g_1}{\gamma_{\text{direct}} \sigma^2} \right) \quad (3)$$

γ_{direct} 為 S 到 U_1 的編碼損耗， p_t 為全部的傳送的功率。

接著考慮透過 relay U_2 的鏈結至目的端 U_1 的情形(cooperative mode)。傳送端 S 至 relay U_2 ($S \rightarrow U_2$) 的最大傳輸率為

$$R_c = \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_c P_t g_2}{\gamma_c \sigma^2} \right) \quad (4)$$

λ_c 為第一階段 S 至 relay U_2 的傳輸功率比例， γ_c 為 S 到 U_2 的編碼損耗。 U_2 將接收來自 S 的訊號解碼之後再傳送至 U_1 ，其最大傳輸率($U_1 \rightarrow U_2$)為

$$R_r = \log_2 \left(1 + \frac{\lambda_r P_t g_2}{\gamma_r \sigma^2} \right) \quad (5)$$

λ_r 為第二階段 U_2 至 U_1 的傳輸功率比例， γ_r 為 U_2 到 U_1 的編碼損耗。比較以上兩種鏈結全部傳輸功率相同的情形下，即 $\gamma_c + \gamma_r = 1$ 。

定義 η_c 為傳送端 S 至 U_2 的傳送時間比例，則 U_2 至 U_1 的傳送時間比例為 $\eta_r = 1 - \eta_c$ 。使用 relay 的協同傳輸模式最佳傳輸率為解以下 minmax 方程式

$$R_{\text{coop}} = \max_{\eta_c, \eta_r, \lambda_c, \lambda_r} \{ \min(\eta_c R_c, \eta_r R_r) \} \quad (7)$$

並限制 $\gamma_c + \gamma_r = 1$ 及 $\eta_r + \eta_c = 1$ 。再給定特定功率比 γ_c 的形況下，最佳傳輸率為

$$R_{\text{coop}}(\lambda_c) = \frac{R_r R_c}{R_r + R_c} \quad (8)$$

因此根據通道量測所得到的通道資訊，適

當的分配功率傳輸比例 γ_c 及 γ_r ，則系統最佳傳輸效能則是配合當時的通道環境選擇最適合的傳輸模式

$$R_{opt} = \max_{\lambda_c, \lambda_r} \{R_{direct}, R_{coop}\} \quad (9)$$

協同傳輸分集 (cooperate diversity) 的效果由(9)可顯現出來。由此可知編碼損耗、通道增益及通道相關性等參數會影響傳輸的效能，在此我們將透過實際通道量測的結果來分析對協同合作傳輸的影響。

3. 感知式無線電及中繼無線電通道量測系統的建立

感知式無線電具有感知、分析及適應調變的能力，為了要和現有的系統並存，它需要能夠感知所在位置周遭的無線電環境，例如頻率的使用狀態，可能的干擾源分佈，通道的統計特性等等。要瞭解周遭的頻率狀況，除了要量測瞬時的頻譜分佈外，還需要知道頻譜分佈的時間變化或時間累積分佈。

合作型無線電利用中間的移動終端機來做信號中繼，協助信號的傳送。不同位置，不同方位的中繼終端機，可以視成虛擬的陣列天線 (Virtual Antenna Array) 或是 Virtual MIMO，它可以增加通道容量。然而中繼的過程會引進信號的延遲時間，不同中繼路徑的延遲時間差是否造成符際間干擾 (Intersymbol Interference ISI)，以及中繼過程是否要做解碼及再編碼，以及中繼合作的法則，都是合作無線電需面對的課題。本計畫擬與其他子計畫共同設計實驗來量測中繼無線通道的通道特性，以及實驗量測中繼無線電的傳輸性能。

4. 實驗結果

圖一為多個中繼點的架構，其中訊號源和接收端及所有的中繼點皆為多根天線的設計，透過中繼點來達到多重傳輸為本實驗的目的。

圖二為通道容量對於訊雜比的比較圖，我們比較了在中繼點使用不同的濾波技術，包含 MF(match filter)、AF(amplify and forward)、ZF(zero forcing)、MMSE(minimum mean square error)等方法，由此圖可知，MMSE 在高的訊雜比和低的訊雜比皆表現的比其他方法好，印證了 MMSE 同時考慮干擾和背景雜訊所帶來的好處。而 MF 因未考慮到干擾問題，因此在高訊雜比時表現最差。Upper Bound 為考慮第一個跳躍的理論通道容量值，因此為

假設中繼點可完美的收送訊息所得到的結果。

圖三為通道容量對於中繼點個數的比較圖，我們亦比較了多種濾波設計，由結果得知 MMSE 仍優於其他濾波方法，AF 則是因無法取得同步的關係，因此在高訊雜比時表現的比 ZF 差。

圖四及圖五為通道容量對於訊雜比及中繼個數的比較圖，我們特別比較了 QR 分解的方式，發現透過接收端的非線性接收方式可將多根天線的合作關係進一步表現出來，因此可得到比 MMSE 還多的天線分集。

五、結論：

為達到 1Gbps 無線傳輸，實體層需佔有很寬的頻帶，為和現有系統相容，系統須具備感知週遭環境的能力，透過跨層級的溝通、分析學習及調適過程，進行頻譜資源、發射功率、位元率、編碼率等的調整達到最佳效能。

感知式無線電把人類的學習行為及認知過程，應用在無線通訊的技術上，使得無線通訊具有學習的能力，成為一個具有智慧的系統，但是整個通訊系統也變得益加複雜。感知式無線電的第一要件是能感知周遭的頻譜情況，因此必須瞭解通道的特性。

訊號源的增加看似會造成通道資源的競爭，然而藉由感知彼此之間的訊號形式後，可以達成分程傳遞等各種形式的協同合作關係，除了能克服無線通道傳輸上的衰減問題外，這些訊號源將形成虛擬的天線陣列架構，結合多輸入多輸出的通道理論可達到波束增益，分集增益，多工增益及干擾消除等多項優點。對於達到 Gigabits 的無線傳輸效率及可靠性，感知無線電系統及協同合作傳輸具有極大的潛力。

參考文獻

- [1] Sendonaris, A., Erkip, E., and Aazhang, B., "User cooperation diversity-PART I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp.1927-1938, 2003
- [2] Sendonaris, A., Erkip, E., and Aazhang, B., "User cooperation diversity-PART II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp.1939-1948, 2003
- [3] Cover, T. M. and El Gamal, A. A, "Capacity theorems for the relay channel," *IEEE Trans. Inf. Theory* vol. 25, no. 5, pp. 572-584, 1979
- [4] Ochiai, H. and Mitran, P. and Poor, H.V. and Tarokh, V, "Collaborative beamforming for distributed wireless ad hoc sensor

networks,” *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 53, pp. 4110-4124, 2005

- [5] Laneman, J. N. and Wornell, G. W., “Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415-2425, 2003
- [6] Mitola, J., and G. Maguire, Jr., “Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal,” *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 6 no. 6, pp. 13-18, August 1999
- [7] Federal Communication Commission (FCC) ET dockdt no. 03-138: Facilitating opportunities for flexible efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies. *Technical report*, 2003
- [8] IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks, <http://www.ieee802.org/22/>.
- [9] N. Devroye, P. Mitran, and V. Tarokh, “Achievable Rates in Cognitive Radio Channels,” *39th Annual Conf. Info. Sci. and Sys.*, Mar. 2005

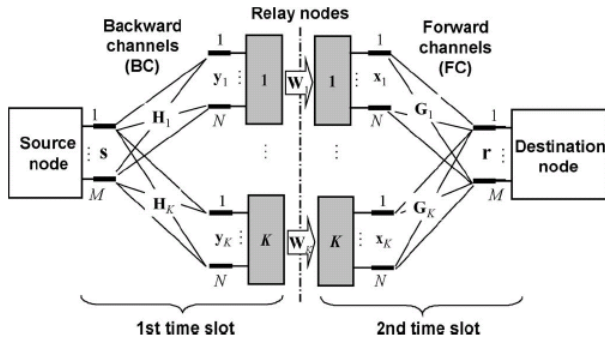


Fig. 1. Block diagram of the multiple MIMO relay structure

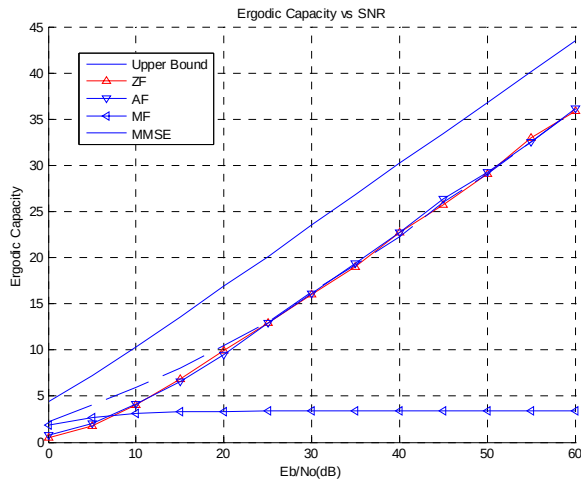


Fig. 2. Ergodic capacity vs. SNR (N=M=4, K=4)

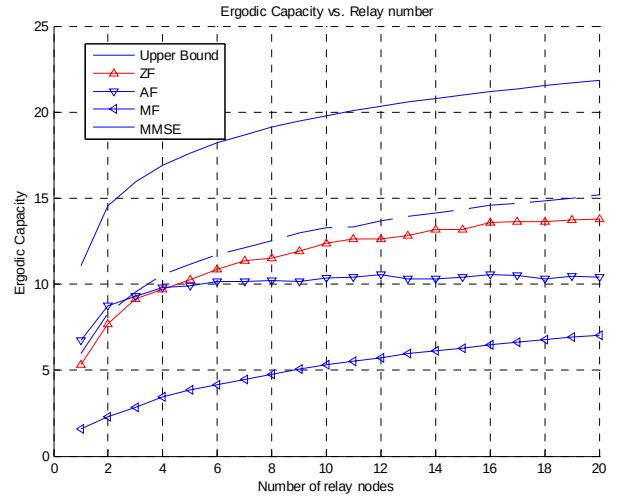


Fig. 3. Ergodic capacity vs. number of relays (N=M=4, SNR=20dB)

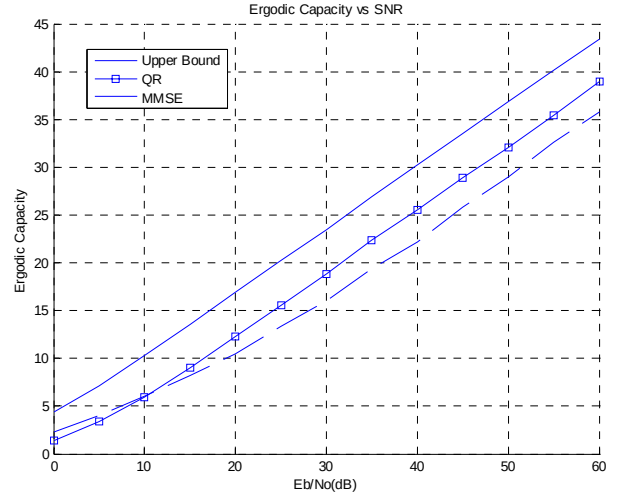


Fig. 4. Ergodic capacity vs. SNR (N=M=4, K=4)

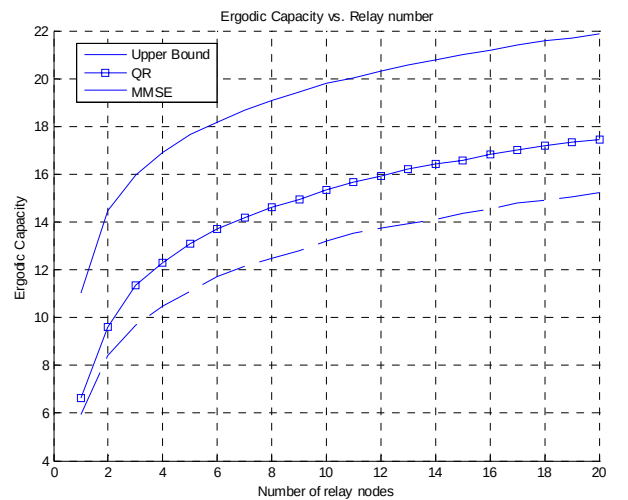


Fig. 5. Ergodic capacity vs. number of relays (N=M=4, SNR=20dB)