

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告廣義的機會式通訊：無線行動網路中之競爭、合作與感知-總計畫

Generalized Opportunistic Communications: Competition, Cooperation and Cognition in Wireless Mobile Networks: Spectrum sensing and management in cognitive wireless mobile networks

計畫編號: NSC 96-2221-E-009-115-MY3

執行期間: 97/08/01 98/07/31

主持人: 蘇育德教授 國立交通大學電信工程學系

中文摘要: 本計畫針對廣義的機會式通訊 (感知無線電) 各不同的層面的主要議題加以深入的探討, 四個子計畫, 計畫名稱分別為:

子計畫一: 動態頻譜偵測與無線電資源管理之感知傳輸設計。

子計畫二: 適用於協力式無線網路之感知式跨層設計。

子計畫三: 協同式感知網路之擇路協定及媒體接取控制設計。

子計畫四: 協力無線系統中感知媒體存取控制協定設計與用戶/基地台選取之研究。

本年度的工作主要集中在廣義的無線電資源之動態分配。在感知無線電中, 用戶須感知環境並調整傳輸狀態來通訊, 如調整使用的功率、頻寬大小和頻帶位置。如何有效地動態分配資源, 不管是集中式或分散式, 都是一個基本且重要的問題。本年度, 子計畫一考慮了在正交分頻多工存取系統中有中繼站可用時如何分配功率與載波以盡量增加用戶傳輸速率總和又能同時兼顧用戶間的公平性。子計畫二針對在協力式網路且允許許多封包接收的環境, 設計媒體存取控制協定以降低吞吐量的損失。此外, 當頻帶的使用權有優先次序時, 次要用戶如何去感知頻譜的使用狀況, 借用主要用戶的頻帶, 而主要用戶需開始使用該頻帶時又如何切換頻帶是一個非常重要的問題。子計畫三和四分別就此議題於不同的情況提供最佳的頻譜切換方式。

關鍵詞: 資源分配、頻譜切換、感知

Abstract—Cognitive radio (CR) technology has in recent years emerged as a new communication paradigm for next generation wireless mobile networks. It promises much more efficient radio resource utilization, improved system performance and novel new functionalities. The main theme of CR is the capability of a radio to sense and adapt to its environment, constantly making spectrum, transmission and networking decisions that optimize radio resources (energy/power, spectrum, cooperative nodes etc.) opportunistically. As it takes into account new dimensions

of transmission resources, e.g., spectrum (subcarriers), time slots that are originally assigned to other users but are currently idled or unused, we refer to systems using such techniques as generalized opportunistic communication systems.

This past year we have focused on the issues related to dynamic generalized radio resource allocations. The first subproject considers power and subcarrier allocation in a multiple-relay, multiuser network with total power, QoS, minimum user rates and fairness constraints. The objective is to maximize the total transmission rate. The second subproject proposes MAC protocol design in a multiple-packet reception environment. The other two subprojects deal with the spectrum handoff issue. When a secondary user is communicating within a band allocated to a primary user, it should have a contingent plan for spectrum handoff in case the primary user is re-activated.

Keywords- Resource allocation, Spectrum handoff, Cognitive radio.

I. 簡介

隨著無線通訊技術的發展, 頻譜的壅塞程度與日遽增, 然而, 根據美國聯邦電信委員會在2003年的報告, 在傳統頻譜分配方式下, 其使用效率範圍只能處於15%-85%, 這意味著頻譜使用率是非常低的。因此, 近年來有越來越多的學者在討論如何動態地調整系統參數來提升頻譜使用率。此外, 動態地調整系統參數不僅僅可以提升頻譜使用率, 同時也能夠提升系統的效能以及傳輸範圍。

如何動態地調整系統參數是一個多層面的問題, 例如: 頻譜的偵測, 通訊協定的制訂等等。無疑地, 跨層面的設計將是一種未來不可避免的趨勢。我們這個計畫分為四個子計畫, 將分別就這些發展中技術做深入的研究。四個子計畫的名稱與主持人分別為:

子計畫一: 感知無線行動網路之頻譜偵測與管理 (交通大學 蘇育德 教授)

子計畫二: 感知無線行動網路之協力式跨層設計 (交通大學 李大嵩 教授)

子計畫三：感知無線行動網路之協力式擇路協定及服務品質控制 (交通大學方凱田 副教授)

子計畫四：感知無線行動網路之協力式媒體存取控制協定設計與用戶/基地台選取研究 (交通大學王蒞君 教授)

以上四個子計畫互相整合程度請參見總計畫書。綜言之，各子計畫負責傳輸介面的一特定環節，互補性與相關性至為明顯，缺一不可。基本上，我們是集中在合作與競爭通訊理論的建構。在下面各章節中，我們將就各子計劃內容做一重點性說明。

II. 子計畫一

協力式(cooperative) 通訊不僅提供了額外傳輸的可能性，同時也改善了系統通道容量 (capacity)、吞吐量 (throughput)，以及涵蓋範圍。而在無線通訊系統中正交分頻多重存取不僅可以有效地對抗頻率選擇性衰減 (frequency selective fading)，同時也便於資源分配來達到各種服務品質 (quality of service) 的需求。因此，本計畫嘗試結合這兩種技術的優點並考慮其資源分配的問題。在此系統中，我們考慮上行 (uplink) 的傳輸，此外，我們考慮多個移動終端 (mobile station)、多個中繼站 (relay station) 的情況下，基地台除了訊號的接受外，還扮演了分配資源的角色。

針對這個問題，我們提出了兩個演算法在滿足各移動終端服務品質並同時兼顧公平性下來使得整體傳輸速率和是最大的。第一個演算法可分為四個步驟。第一個步驟是根據通道增益 (channel gain) 來決定哪些中繼站幫忙傳送。第二個步驟則是在決定中繼站後來做頻譜和功率的分配。第三個步驟則是做局部的調整。因為在少數的情況下，有可能部分的服務品質是無法被滿足的，藉由局部的調整我們可以克服這樣的現象。最後一個步驟則是細部的調整中繼站的配置。第二個演算法則有三個步驟。第一個步驟是根據速率來決定哪些中繼站幫忙傳送。第二和第三步驟則和第一個演算法相同。藉由模擬我們發現第二個演算法優於第一個演算法，此外，第二個演算法也能夠達到最佳速率和的94%，而同時又能夠有低複雜度和兼顧公平性的性質，這足以顯示出我們研究的價值。

III. 子計畫二

協力式網路中的媒體存取控制(MAC) 協定設計在多封包接收 (multi-packet reception, MPR) 通道是一個富挑戰性的題目。其主要原因有二。第一，中央控制器 (central controller) 需要知道所通道的 MPR 通道狀態以及所有使用者的流量情況才能夠決定存取集合群。要滿足這樣的需求是需要大量的額外通訊負載 (overhead)，當我們考慮一個大刻度 (large-scale) 的行動通訊網路，這樣的負載是足以影響到整個網路的吞吐量。第二個困難點是當封包由於碰撞 (collision) 造成接收

錯誤時，部分的使用者必須要幫忙重傳訊號。如果沒有適當地設計 MAC 協定來達到多異性 (cooperative) 的好處，那整體的吞吐量也是會降低的。因此，在這樣的情況下，適當地設計一個好的 MAC 協定是一件很重要的事情，而就我們所知，目前尚未有文獻著墨於這個重要的議題。

在這個計畫中，我們提出一個 MAC 協定，此協定可以有效綠地利用使用者沒有封包傳送的空檔來幫忙傳送，因此降低一般中繼 (relay) 可能產生的吞吐量損失。此外，我們提出的方法也可以達到 MPR 通道容量 (MPR channel Capacity, 詳細的定義請參見子計畫三本文)。透過馬可夫鏈 (Markov Chain) 模型我們做了最壞狀況的吞吐量數學分析，並且得到 (i) 因同時傳輸的中繼封包干涉對直接鏈結造成的吞吐量懲罰的封閉式上界；(ii) 傳送失敗的使用者因協力式中繼傳輸所獲得吞吐量增益的封閉式下界。分析的結果讓我們可以直接根據多封包接收通道係數檢視所提出協定的吞吐量性能。模擬結果不但證實了提出方法在系統吞吐量的優點，也驗證了分析的正确性。此外，模擬結果也顯示出我們提出的方法雖然會降低部分使用者的吞吐量，但是就網路整體的吞吐量來說是上升的，這也說明了利用使用者沒有封包傳送的空檔來幫忙傳送這個概念確實是有效益的。

IV. 子計畫三

在感知無線網路中，當主使用者(primary user) 開始使用頻道時，感知無線電使用者 (CR user) 必須做頻帶切換來避免干擾主使用者。如何去切換頻帶則是一個基本且重要的問題。此計畫增對這個問題提出了一個可行的機制。

在現實的情況中，如何正確的偵測每個頻帶以便找到適合的頻帶來做切換可能是無法達成的。其主要的原因在於正確的偵測每個頻帶是需要一段時間而可能對主使用者造成不可忽略的影響，因此，本計畫討論在部分知道的情況下如何去頻帶的切換。更精確來說，藉由部分可之的環境下的馬可夫決策過程 (Partial Observable Markov Decision Process, POMDP) 之幫助，我們可以透過探測部分的頻帶來估測整個網路環境並提出以 POMDP 為基準的頻帶切換機制 (POMDP-based Spectrum Handoff, POSH) 來找出最適合進行切換的頻帶而只需要知道部分的通道狀態。換一句話說，此機制是在受限於 POMDP 所得提供的資訊下試圖去尋求一最佳機制使得所需要等待時間切換的時間是最小的。模擬的結果也顯示此方法可有效率地讓感知無線電使用者在頻帶切換時所需要等待的時間是最少。

V. 子計畫四

子計畫四可分成三個部分。在第一部份，我們研究了被動式(Reactive-sensing Spectrum Handoff) 與主動

式頻譜切換 (Active-sensing Spectrum Handoff) 機制並比較其效能。其差異在於感知無線電使用者是否會在主使用者開始使用頻帶前先尋求可切換的頻帶。若在主使用者開始使用前 (後) 就先尋求則是屬於主 (被) 動式頻譜切換機制。藉由排隊理論, 我們提出了一個 pre-emptive resume priority (PRP) M/G/1 的模型來刻畫出主使用者和感知無線電使用者使用頻譜的交互行為。藉由這個模型, 我們可以比較出主動式和被動式頻譜切換的效能。此外, 我們也分析出在什麼樣的情況下使用哪種頻譜切換模式會比較好的。

接續第一部份, 我們在第二部分考慮如何預先選擇最好的頻譜做切換使得風包的傳輸延遲能夠被最小化。如同第一部份, 我們藉由 PRP M/G/1 模型去評估在不同的頻道切換選擇下所需要的總服務時間 (total service time)。之後, 我們提出了一個低複雜的貪婪 (greedy) 演算法, 來選擇切換的頻帶。此外, 此貪婪演算法只需要保持最多三個候選的頻帶即可, 所以此方法可以大幅減少所需的記憶空間。模擬的結果也顯示出提出的演算法相較於一般隨機選取的方法來說可以降低所需的總服務時間。

第三部分則是考慮了和之前兩部分不同的情況, 我們考慮了變動頻道帶寬 (variable channel bandwidth), 也就是說並非所有的頻道帶寬都是固定一樣的。在這樣的情況下, 我們提出了延遲頻寬乘積 (Delay bandwidth product, DBP) 作為判斷頻譜切換機制的一個準則。不同於一般延遲的定義, 此處延遲的定義亦是感知無線電使用者可容忍的延遲和主使用者的平均佔用時間之差。根據延遲頻寬乘積準則, 我們提出一個頻帶切換選擇的機制, 此機制也同時必須滿足服務品質 (quality of service) 的需求。考慮在支持語音和網頁瀏覽等服務項目的延遲需求下, 我們藉由模擬發現我們所提出的頻譜切換機制能比其他現有的頻譜切換機制高出 100% 至 200% 的傳輸量。

VI. 結論

在本年度我們著重於資源分配的議題上, 子計畫一考慮了在結合協力式通訊和正交分頻多工存取下中繼站、頻譜和功率分配的問題。子計畫二則是設計了通訊協定使得在多封包接收通道下可以有效綠地利用使用者沒有封包傳送的空檔來幫忙傳送, 降低一般中繼 (relay) 可能產生的吞吐量損失。子計畫三和四則是對於感知無線電使用者如何切換頻帶做了一系列的探討, 而部分研究也已經發表在國際會議上 [1]-[4]。

REFERENCES

- [1] Rui-Ting Ma, Yu-Pin Hsu, and Kai-Ten Feng, "POMDP-based Spectrum Handoff Protocol for Partially Observable Cognitive Radio Networks," in *Proceedings of IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC 2009)*, Apr. 2009, Budapest, Hungary.
- [2] Li-Chun Wang and Chung-Wei Wang, "Spectrum Handoff for Cognitive Radio Networks: Reactive-Sensing or Proactive-Sensing?," IEEE IPCCC, 2008.
- [3] Chung-Wei Wang and Li-Chun Wang, "Modeling and Analysis for Proactive Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks," IEEE ICC, 2009.
- [4] Samer T. Talat and Li-Chun Wang, "QoS-guaranteed Channel Selection Scheme for Cognitive Radio Networks With Variable Channel Bandwidths", ICCAS 2009.