

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

頻譜規劃配置與管理基礎研究--子計畫一:頻譜共享機制與 感知型無線網路架構設計之研究(2/3) 期中進度報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 98-2219-E-009-001-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：國立交通大學電信工程學系(所)

計畫主持人：唐震寰
共同主持人：王蒞君

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99年05月21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

頻譜共享機制與感知型無線網路架構設計之研究

(Spectrum Sharing and Architecture Design for Cognitive Wireless Network)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：97-2219-E-009-012-

執行期間：98年8月1日至99年7月31日

計畫主持人：唐震寰教授、王蒞君教授

計畫參與人員：蔡昂勳、吳松融

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：國立交通大學電信工程研究所

中 華 民 國 9 9 年 0 5 月 3 1 日

目 錄

摘 要.....	1
第一章 計畫簡介.....	2
1.1 簡介	2
1.2 總計畫各子計畫之相關性與整合	3
1.3 章節介紹	4
第二章 感知無線的標準化與相關規範	5
2.1 感知無線電標準化的發展	5
2.2 感知無線電相關標準化活動	7
2.3 CR/DSA 標準的未來方向與軍方用途	11
2.4 總結	11
2.5 參考文獻	11
第三章 AD HOC 網路之感知無線電頻譜管理機制.....	13
3.1 AD HOC NETWORK 與感知無線電	13
3.2 感知無線電的需求	15
3.3 規範發展的實際範例	16
3.4 感知無線電規範的選擇與 AD HOC 的最佳化目標	18
3.5 結論	19
3.5 參考資料	19
第四章 感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰	21
4.1 簡介	21
4.2 感知無線電技術	21
4.3 感知無線電網路架構	22
4.4 頻譜感知(SPECTRUM SENSING)	25
4.5 頻譜決策(SPECTRUM DECISION)	27
4.6 頻譜共享(SPECTRUM SHARING)	29
4.7 頻譜遷移率(SPECTRUM MOBILITY).....	32
4.8 結論	33
4.9 參考文獻	33
第五章 結論及成果自評.....	35
5.1 結論	35
5.2 成果自評	36

摘要

感知無線電技術能提供通訊系統低成本與高彈性的設計空間，它先藉由感測周遭的無線電環境來改變通訊系統的通訊頻率、調變或編碼，利用這樣的方式充分使用該區域的閒置頻段，藉以提高系統頻譜使用頻率。由於頻譜資源有限以及不同通訊服務有不同的訊號品質要求，感知無線電網路技術在整合不同的通訊服務與頻譜管理上仍有著相當大的挑戰。比如說無線環境的感知與學習（radio sensing and learning）、頻譜機會（spectrum opportunity）的認定與分配，以及頻譜機會的實現等相關議題都引起廣泛的討論。本子計畫主要探討感知無線電的頻譜機會與智慧型感測方法，並說明目前感知無線技術應用在頻譜管理方面所面臨的挑戰，以期能將感知無線電應用目前的無線通訊領域及新興的頻帶上(如 700MHz 頻帶)。

本計劃已進入第二年，今年之目標延續上一年之研究，針對感知無線電網路架構，從頻譜共享及頻譜管理的觀點，研究支援感知無線系統網路架構及動態頻譜使用機制，於今年的研究成果有三個部份，（1）感知無線的標準化與相關規範；（2）AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制；（3）感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰。

關鍵詞: 感知無線電；頻譜共享；頻譜動態使用機制；干擾防範；頻譜切換。

第一章 計畫簡介

1.1 簡介

無線電頻譜是一種珍貴的資源，然而，目前各國針對「無線電頻譜」均是採用靜態分配管理，這樣的管理政策面臨到頻譜短缺的問題，於是各國開始重視「無線頻譜的使用狀況」。以美國進行30-3000MHz頻譜使用狀況調查與檢討為例，結果發現「頻譜運用最大問題不是匱乏，而是使用效率過低」，如以美國各地區平均使用率僅5.2%，其中使用率最高紐約地區也僅達13.1%。若再進一步檢討則發現，部分頻帶的使用率過高，部份頻帶卻空閒沒有使用，可知固定分配頻譜的使用效率是極不平均。

因此，動態頻譜存取技術被提出來解決這些頻譜使用效率偏低的問題。動態頻譜存取技術的關鍵就是感知無線電技術，該項技術有能力利用一些取巧的方法去使用執照用戶的無線通道及頻譜。透過異質性網路及動態存取技術，感知無線電網路可以提供較高的頻寬給用戶，而且透過動態及有效率地頻譜管理技術，這個目的就能輕易地達成。然而，感知無線電網路還必須克服可用頻譜的變動性以及滿足不同裝置所要求的服務品質。

本研究在 97 年度時，針對感知無線系統，從頻譜共享的觀點，研究了下列四個議題：

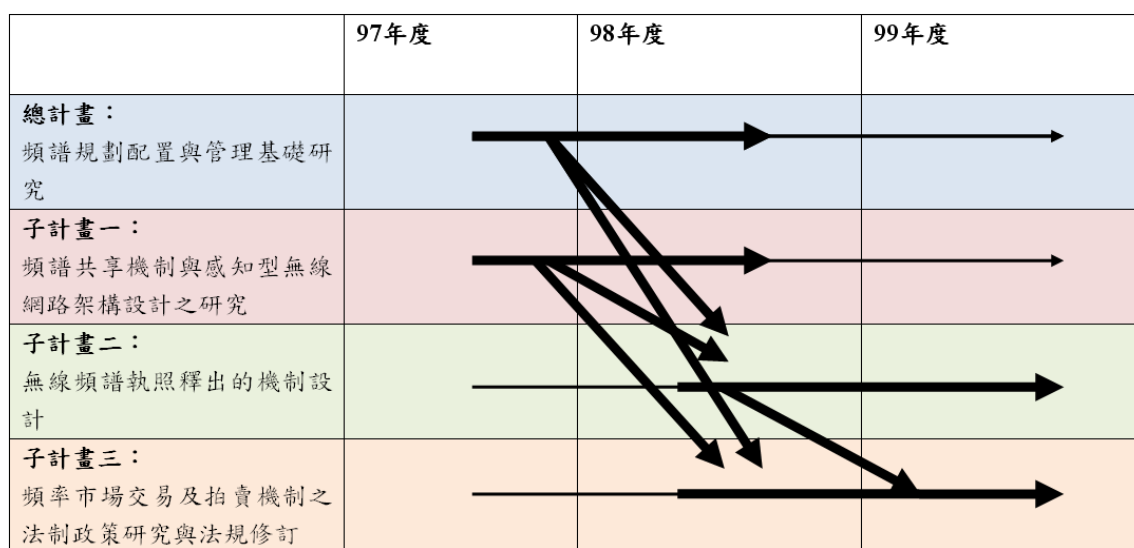
- (1) 討論感知無線電的誕生將如何影響未來頻譜的使用和管理；
- (2) 感知無線網路系統架構與頻譜存取控制協定之研究；
- (3) 正交分頻多工存取系統中考慮兩階層干擾之超微細胞分散式通道選取機制；
- (4) 700MHz 頻譜拍賣。

今年度之研究將延續上一年度之研究，針對感知無線電網路系統，從頻譜管理及頻譜共享之觀點，探討以下三個議題：

- (1) 感知無線的標準化與相關規範；
- (2) AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制；
- (3) 感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰。

1.2 總計畫各子計畫之相關性與整合

總計畫與各子項計畫間之相關性、預期逐年成果與整合程度以下圖說明之：



- (1) 總計畫以國內外新興通訊技術對頻譜需求現況之分析與資料蒐集為主，以比較法方式進行，詳盡檢視ITU、FCC、OFCOM等國際組織及先進國家之發展現況，與我國已經釋出之頻段進行比較分析，觀察各國頻譜使用及需求之不同所可能造成的問題及產業影響，為支援子計畫二、三之重要基礎研究；
- (2) 子計畫一重點在於支援頻譜共享之感知型網路與感知型無線架構設計，因感知型網路為未來重要之新興技術，可能改變未來頻譜管理及無線通訊產業之商業運作模式，並提供消費者更佳品質之服務，故未來頻譜管理應將頻譜共享機制納入考慮，並將研究成果提供子計畫二、三作為分析之基礎；
- (3) 子計畫二進行基礎機制設計文獻整理、斂核(Nucleolus)拍賣制度設計(J. Rawls' Justice theorem)、及斂核拍賣軟體設計(具誘因匹配的一次性賽局，Java程式開發)等基礎研究工作；
- (4) 子計畫三進行國內外近年頻譜政策與法規之文獻整理，比較分析評估各國模式優缺點和建置最適我國國情之頻譜規劃法規環境雛形。

1.3 章節介紹

本計劃第二年之目標在針對感知無線電網路系統，從頻譜管理及頻譜共享之觀點，研究支援感知無線系統網路架構及頻譜使用機制，於第二年的研究成果有三個部份，(1) 感知無線的標準化與相關規範；(2) AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制；(3) 感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰，簡介分別如下：

第二章在討論感知無線的標準化與相關規範。因為無線電頻譜是每個國家的珍貴資源，所以如何進行最有效率的頻譜資源規劃與利用一直是各國主管單位關切的主要議題。為了讓頻譜可以更有效的運用，感知無線電(Cognitive Radio)與動態頻譜共享(Dynamic Spectrum Access)技術引起廣大的討論並應用在不同的無線通訊系統、商業數據、緊急和軍事通信服務上。本章節的主要目的是介紹感知無線電過去和現在標準化的相關議題，以及討論標準化未來的發展。

第三章在研究 AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制。Ad Hoc network(隨建即連網路)為一種能夠在沒有預先建置網路裝置的環境下，由無線主機所臨時組成的網路。這幾年隨著無線通訊的蓬勃發展，不少專家學者提出利用感知無線電與動態頻譜存取技術來加強 Ad hoc 網路的頻譜使用率進而提升通訊品質和提高系統容量。本章節整理美國政府或國際單位在制定 Ad-Hoc 頻譜規範與感知無線技術的相關議題與運作方式。

第四章在探討感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰。感知無線電網路(CR network)利用異質性網路及動態頻譜存取技術提供高頻寬給用戶。然而，由於頻譜有限以及面臨不同服務品質(QoS)的要求，感知無線電網路技術未來在頻譜管理上仍有著相當大的挑戰。頻譜管理功能可以克服這些技術上挑戰。為了更進一步了解感知無線電網路，本文針對頻譜管理介紹了最新的發展和目前公開的議題。

最後針對今年的研究成果做個結論及成果自評。

第二章 感知無線的標準化與相關規範

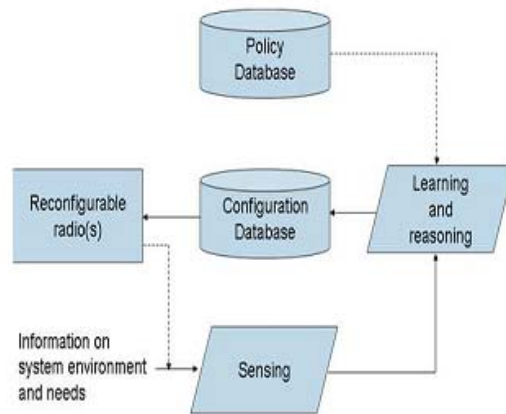
無線電頻譜是每個國家的珍貴資源，無線電頻譜可以應用在電信、數位電視、數位廣播、無線通訊等相關領域並帶給人民生活上的便利與經濟上的發展，因此，如何進行最有效率的頻譜資源規劃與利用一直是各國主管單位關切的主要議題。為了讓頻譜可以更有效的運用，感知無線電(Cognitive Radio)與動態頻譜共享(Dynamic Spectrum Access)技術引起廣大的討論並應用在不同的無線通訊系統、商業數據、緊急和軍事通信服務上。而目前最被大家熱烈討論的議題是”感知無線電的標準化”，感知無線電標準化的好處顯而易見，不但可以獲得通訊系統的規模效應和低成本優勢，並且能快速的被人們使用與利用。在數位電視頻段方面，美國聯邦通訊委員會（FCC）與英國通訊聯絡辦公室（Ofcom）提出許多和標準化相關的議題和技術規範，本文的主要目的主要是介紹感知無線電過去和現在標準化的相關議題，以及討論標準化未來的發展。

2.1 感知無線電標準化的發展

目前無線通訊系統的佈建日漸普及，無線通信方面的相關應用也如雨後春筍般蓬勃發展，然而，目前的通訊頻譜使用是相當缺乏效率的。為了改善這個問題，感知無線電技術遂應運而生，期能解決頻譜利用率低落的問題。感知無線電技術能提供通訊系統低成本與高彈性的設計空間，它先藉由感測周遭的無線電環境來改變通訊系統的通訊頻率、調變或編碼，利用這樣的方式充分使用該區域的閒置頻段，藉以提高系統的頻譜使用頻率。目前，美國聯邦通信委員會（FCC）和英國的通訊聯絡辦公室（Ofcom）已經將感知無線電(Cognitive Radio)與動態頻譜共享(Dynamic Spectrum Access)技術應用在數位電視頻譜的管理上，除了上述政府機關之外，一些國際電信聯盟標準化組織像是國際電信聯（ITU-R）與美國電子電機協會(IEEE)都對此感知無線電進行研究與探討。

感知無線電在具體的實做上可藉由軟體程式設定而在不同的協定下重新調整操作頻率，以符合不同的使用者的不同需求。另外在 IEEE SCC41 (中)P1900.1 將感知無線電做更具體的定義如下：

- a. 感知無線電為一種能夠在通信系統中感知環境和系統內部狀態，並且能夠利用這些訊息來達成預先設定目標。
- b. 感知無線電可利用無線電技術與其他相關的電子技術，自動調整其行為或操作，以達到預期的目標。



圖一 感知無線電系統構成概要圖

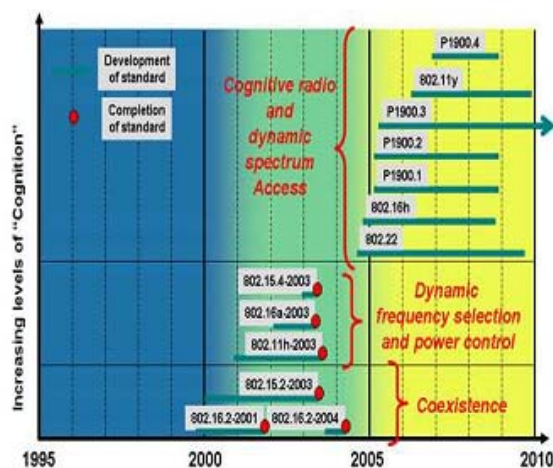
圖一為一個可能的感知無線電系統構成概要圖。其主要元件為可重新配置的無線電元件、感測元件與推理判斷元件，這三個配合政策(policy)元件與資料庫(database)來達到感知無線電的目的。首先，必須有一個可以透過一些參數而重新配置的無線電元件，在不改變硬體的架構下的傳輸過程中，即可以調整相關的傳輸參數，這些傳輸參數包含工作頻率、調變波形、輻射功率、傳送格式，結構長度，調變型式，空間傳輸模式等，軟體的方式去定義這些參數以達到最大的系統靈活度。接著，利用一感測元件在無線電環境中找出和感知相關訊息並辨識出特定時間與空間的頻譜作為使用頻譜資源並選擇最適當的頻譜與傳輸參數。最後，利用推理判斷元件，接受來自感測元件所輸入訊息和政策資料庫。該推理判斷元件可以從經驗中學習。藉由對新狀況的組合分析，不僅僅只是使用預先編碼的演算法，同時也利用結果作為學習機制。在標準的 IEEE 802.22 [8]，推理判斷元件被當成為頻譜管理的重要依據。除了三個主要元件之外，感知無線電系統需要依政策資料庫來決定什麼行為是在什麼情況下可以接受的。而這樣的資料庫可用來動態配置參數，並允許更新其內容。

IEEE 在這一領域曾經有兩個著名的標準活動- SCC41 (以前稱為 P1900) [9] 和 IEEE 802.22 [8]。這兩個標準活動都有一個工作小組來討論感知無線電共存 (sharing) 的議題。這議題的主題為將不同的系統做標準化的定義，已達大量使用的目的。由此可知，對無線系統而言，在相同頻帶下使用不同的協議應用是非常重要的。這個問題在無執照頻帶(unlicense band)的應用環境更是重要，種類繁多的應用與 IEEE 標準如 802.11、IEEE 802.15 和 IEEE 802.16 都需要被嚴格的定義清楚以避免信號被干擾。

對共存的議題而言，動態頻譜存取(DSA)與感知無線電(CR)技術的應用可以被認為是一個共存技術的演變。在有明確定義及分配的結構、頻率的系統中如 802.16e 或 m 下，共存議題會較易解決。然而在 IEEE 802.22 系統中，頻譜主要使用者如無線麥克風可以隨時開啟跟關閉，或是第二級使用者如網路服務提供者

(ISP)會競爭相同的可用頻率(空白空間)，因此共存的問題便變得很難解決的。

圖二顯示的是感知無線電標準在 IEEE 中對時間的演進，我們以共存標準當作一個開始點，一開始的共存標準以避免被干擾為目標，專家學者在初期提出了可以透過手動協調來減輕干擾的感知技術。在 1999 年就開始發展這些感知技術並將之視為第一代的共存標準。接著，人們了解到手動協調的技術可以改成自動化運作，而具有自動化運作的類功能即為第二代的標準，如 DFS 和 PC。在圖二中的紅點是指其的基本工作已經完成，那些沒有紅點則是仍在發展。目前為止，在特定頻段中保持次級使用者不影響到主要使用者(有執照者)為感知無線電中最重要的應用，這是因為當頻譜全部都被分配給主要使用者時，會時常發生頻譜短缺的問題(特別是在 VHF 跟 UHF)。但根據一天的時間和地理位置，大部分分配給主要使用者的頻段可能都沒有被使用到(見[10]例子)，而次級使用者可以在主要使用者沒有使用該頻段時利用該頻段來操作，所以次級使用者定義為可使用特定閒置頻譜的投機使用者。



圖二 感知無線電標準在 IEEE 中對時間的演進

2.2 感知無線電相關標準化活動

手動協調的感知無線電共存的標準訂定清楚解釋干擾與減輕被干擾的機制。這些工作對於後來演進的自動偵測與頻譜共享奠定了良好的基礎，許多標準包括動態頻率選擇(DFS)和發射功率控制(TPC)用來協助達成頻譜共享的目的。這些技術被設計用於偵測其他系統的使用狀況，動態地修改使用頻譜來保護主要使用者並允許在不同使用規章下達到共享頻譜的目的。在功能上他們幾乎和 DSA 系統為相同的，也能在 IEEE 802 標準中找到。迄今為止已完成標準的活動包括 IEEE 802.16.2-2001、IEEE 802.15.2-2003、IEEE 802.15.4-2003、IEEE 802.11h-2003、IEEE 802.16a-2003 和 IEEE 802.16.2-2004。更多關於標準的訊息描述比較可以在[11]中找到。本文分幾個部份來討論這些規範。

A. 受關注已完成的 CR 標準

SCC 41 和 IEEE 802.22 已經成為主要的感知標準，許多已經完成的 IEEE802

標準清楚地定義/計算各種不同使用的情境如相關建築物的阻隔。例如 IEEE802.15 是其中一個率先加入共存議題的標準族群，因為 IEEE802.15 規章需要共享同樣由 IEEE802.11 所使用的無執照許可頻段(2.4GHz)。

IEEE 802.15.2 作業團隊在定義感知無線電的共存及它如何發展與量測，在他們的工作中值得推薦的實際作法。IEEE 802.15.2 內含協調與非協調技術用於改善一般系統間的共存，特別是在於 IEEE 802.11 和 IEEE 802.15 之間，而 IEEE 802.15.2 定義共存如下：

「在一給定的共享環境下，各個系統能執行自己的作業程序，但每個系統不一定有相同的規範」。對於這類共存的系統沒有要求要使用感知技術，但感知技術可以促進整體系統的使用狀況。

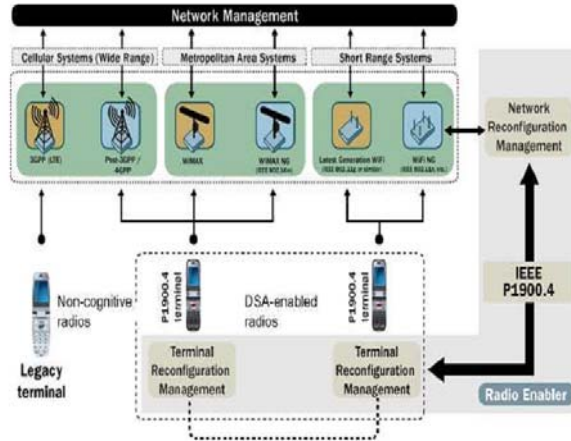
其他先前一些有關感知無線電的 IEEE 標準用來規範 DFS、動態頻道選擇 (DCS)及 TPC 的相關議題。這些標準包括有 IEEE 802.11h、IEEE 802.16-2004 及 IEEE 802.15.4。這些是規範定義有關其他系統(如軍事雷達)可能操作在非專用頻帶(UNII)及需要保護的頻帶的議題。這些技術發展對 802.11h 可以應用在其他有相似議題的通信系統有極大的幫助，而且連同感知無線電技術加以運用發展，而 IEEE 802.16-2004 是包括 DFS 和 TPC 的另一個標準。

B IEEE SCC41

標準協調委員會 (SCC41) 發起區域動態頻譜存取網絡 (DySpaN) 標準化專案。由 IEEE 通信和電磁兼容協會共同主辦 SCC41 / P1900 活動，SCC41 負責規劃管理干擾的技術、動態頻譜存取方法、無線技術的協調，及包括網絡管理和信息共享。SCC41 認為軟體無線電(SDR)對動態頻譜存取是一個關鍵因素 [12]，在不改變物理層 (PHY) 和媒體存取控制 (MAC) 的前提下，軟體無線電專注於發展建構觀念、規範互不相容無線網路間的管理流程。SCC41 [13]正在發展將在無固定網絡設施的網路環境下，垂直與水平的網路整合管理方法。

圖三表示在感知與非感知無線電存取網路之間的頻譜管理操作概念。該網絡可重新配置管理 (NRM) 與終端無線電管理 (TRM) 的互通訊息，以提供在無基礎的固定網路設施之間的提供互相操作的能力。

P1900.4 標準的基礎設施將允許終端和可重整網路利用現有的網路基礎設施，使工作無縫連接在一起。SCC41 並透過 (P1900.5) 和射頻頻譜遙感 (P1900.6 這兩個新的工作組織來製作發展介面的架構。



圖三 在感知與非感知無線電存取網路之間的頻譜管理操作概念

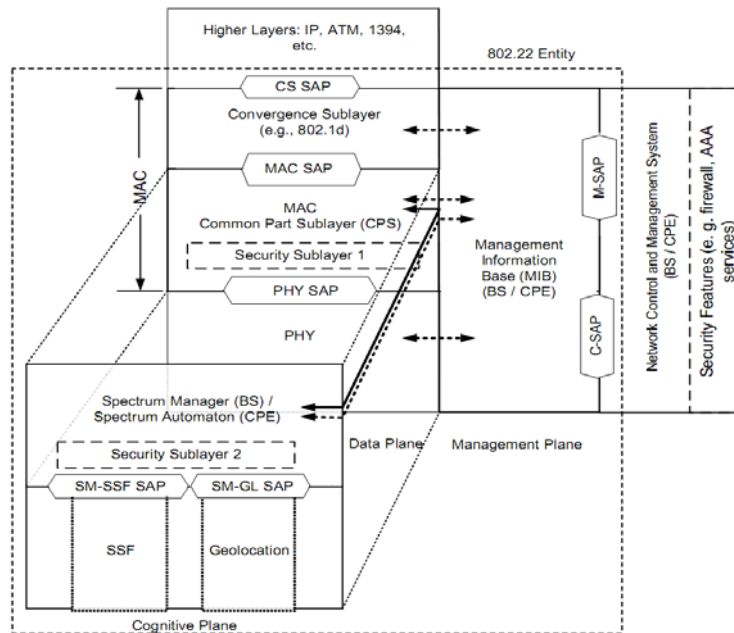
C. IEEE 802.22

IEEE 802 LAN/MAN 標準委員會創立 802.22 工作組織(WG)來對應由 FCC 所規定的無執照類比電視頻帶之使用狀況。在沒有干擾到 VHF 及 UHF 頻帶 (54862MHz) 情況下(也被視為電視的空白空間), IEEE 802.22 定義了免執照元件所使用的空間界面。底下是對 IEEE 802.22 的一些細部加強討論。

圖四所描述的是用在 802.22WG 的感知無線電節點所提議的協議參考模型 (PRM), PRM 界定了系統架構、不同方塊的功用還有他們之間的交互作用, 在 PRM 中, 將系統拆解為感知、資料數據/控制, 及管理等介面。在資料數據和控制及管理介面方面有著和其他 IEEE 相似的標準, 如頻譜感測功能(SSF)和地理資訊功能。而 PHY、MAC 及轉換層基本上都會跟 802.16 有相同的定義, 此外, 為了提供保護作用, 在服務存取點(SAP)之間通常會加上安全底層。

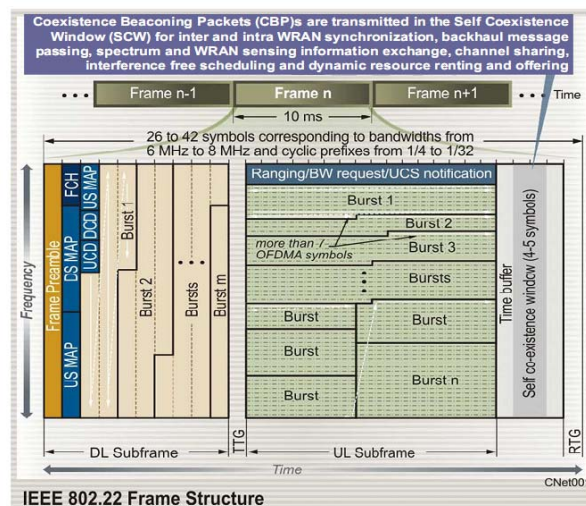
802.22WG 已採用了許多和 PHY、MAC 及服務品質(QoS)相關的特色, 這些出自於 IEEE 802.16-2004 和 802.16e 的標準已經針對其不同的傳播及操作情況特點做了些必要的調整。另外, 802.22 的安全工作也正在進行中, 如圖四所示, 安全機制被安插在 802.22 系統的 PRM 中, 其目的為增加對資訊的偵測、管理/控制及感知功能。對資料及管理/控制介面的安全指標包括有身份驗證和可用性、授權, 保密和隱私及不可拒絕性。而對感知界面的安全指標則是包括有身份驗證和可用性, 授權, 保密和隱私。

802.22 已經主動的加上自我共存的議題, 其主要原因為訊號在 VHF/UHF 頻帶的系統上有較遠的傳輸距離, 在使用相似的頻率的情況下, 如果不變化的 WRAN 細胞, 將有更多共通道的干擾。



圖四 在 802.22WG 的感知無線電節點所提議的協議參考模型(PRM)

圖五為 IEEE802.22 所提議的結構框架，此結構框架是延伸自 IEEE802.16-2004 及 802.16e，而在原先的結構上多加上了自我共存的窗口(SCW)。共存信號封裝 (CBPs)為在傳輸中達成 inter-WRAN 和 intra-WRAN 的同步處理，也就是說，當回程連接失效時，回程訊號傳輸仍然可以傳輸，及達成頻譜和 WRAN 感測信息的交換與通道共享。在 IEEE 802.22 標準草案文件中有說明這些功能的細節。



圖五 IEEE802.22 所提議的結構框架

D. 其他正在進行的 CR 作業

IEEE802.19 是在 IEEE802 中的一個技術顧問組織(TAG)，他們率先在 IEEE802 標準下，對於操作在無執照頻帶的共存議題做出些特別的法則，即在

CR 技術的發展下，監視確保“共存”文件是否符合新的 IEEE802 無線標準。就目前，802.19 正在擬訂建議的做法去評估共存的無線網絡，完成時，這些方法可能就會被使用在感知系統中。

IEEE 802.16 是針對執照頻段及無執照頻帶作使用規畫，而從一開始，共存議題就一直是其討論的核心，在 2004 年，802.16h 就針對在免執照頻段裡如何改善共存機制進行了許多研究，最後的結果將會被許多其他感知系統所運用。

2.3 CR/DSA 標準的未來方向與軍方用途

在早期，感知能力(對使用動態頻率分配、控制功率及其他響應的技術的訊號偵測)已經存在了，只是並未將這項技術訂定標準，但這樣技術已被清楚得看出其希望及潛力的價值，而現在及未來幾乎所有的無線標準都將加入 CR、DSA 和共存技術。整合這些技術的能力也被軍方所注意到。

此外，如果政府部門開放和評估開放新的頻帶明訂其必須使用到 CR 技術時，這些技術也會跟著增加其成熟度。還有許多議題還沒有完全整合併入，如辨識及定義有傷害的干擾，內部的調整、非頻帶間的影響、提供對感知系統的安全性考量及自我和內部系統的共存問題。這些議題都必須在政府當局調整他們政策和規則制定之前簡化。即使如此，現有的標準化工作仍遠遠低於近 10 年前由 Mitola 所推行的原始 CR 概念。現在的感知無線電加入了頻譜狀況的感測、地理環境的感測，資訊型式的通行感測及對流動資料的安全要求等。感知無線電依舊是個熱門的研究領域，更多標準化作業也將被要求整合更多新的發現結果。

2.4 總結

對有效頻譜使用的目的而言，感知無線電是個關鍵的技術，而標準化作業能使得此複雜的技術大量被開發、接受及降低成本。本文查閱了 IEEE 中已經完成的及正在進行中的感知無線電標準化活動。並提供各種進行中的標準化成果的比較，簡略地談到動態頻譜存取系統，還有共存及交互作用系統。最後我們討論了標準化的未來方向及感知無線電技術的運用。

2.5 參考文獻

- [1] J. Mitola, Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio, Ph. D. Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden, Spring 2000.
- [2] A. Mody et al., "Machine Learning Based Cognitive Communications in White as well as the Gray Space," in Proceedings of the IEEE MILCOM, Nov. 2007.
- [3] Choice, Competition, Innovation: Delivering the Benefits of the Digital Dividend, UK Office of Communications, 2007.
- [4] FCC Notice of Proposed Rulemaking FCC 04-113, Federal Communications Commission, May 2005.

- [5] M. Sherman, A. Mody, and R. Martinez, "IEEE Standards for Cognitive Radio Technologies," IDGA Software Radio Summit 2008, Feb. 2008.
- [6] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Communications, vol. 6, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [7] Standard Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management, IEEE P1900.1/D4.00, Mar. 2008.
- [8] IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks (WRANs), for a cognitive radio-based PHY/MAC/air-interface for use by license-exempt devices in spectrum that is allocated to the TV Broadcast Service: <http://grouper.ieee.org/groups/802/22/>, IEEE Std. 802.22, 2005.
- [9] The IEEE Standards Coordinating Committee 41 for Dynamic Spectrum Access Networks (DySpan): <http://www.scc41.org>, IEEE Std. P1900, 2005.
- [10] C. Stevensen, "Tutorial on the P802.22.2 PAR for: Recommended Practice for the Installation and Deployment of IEEE 802.22 Systems," <http://grouper.ieee.org/groups/802/22/>.
- [11] M. Sherman, A. Mody, R. Martinez, C. Rodriguez, and R. Reddy, "IEEE Standards Supporting Cognitive Radio and Networks, Dynamic Spectrum Access, and Coexistence," IEEE Communications Magazine, July 2008.
- [12] R. V. Prasad et al., "Cognitive Functionality in Next Generation Wireless Networks: Standardization Efforts," IEEE Communications Magazine, vol. 46, Apr. 2008.
- [13] J. Guenin, "IEEE Standards Coordinating Committee 41 on Dynamic Spectrum Access Networks: Activities, Technical Issues, and Results," Presentation - IEEE Standard Co-ordination Committee 41, Sept. 2007.
- [14] A. Mody, "Spectrum Sensing of the DTV in the Vicinity of the Pilot Using Higher Order Statistics IEEE 802.22 contrib., Doc : IEEE 802.22-07/0370r3," Aug. 2007.
- [15] S. Shellhammer, "Sensitivity Requirements for Sensing Wireless Microphones," <https://mentor.ieee.org/802.22/le/07/22-07-0290-04-0000-sensitivity-requirement-for-sensing-wireless-microphones.doc>, July 2007.

第三章 AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制

Ad Hoc network(隨建即連網路)為一種能夠在沒有預先建置網路裝置的環境下，由無線主機所臨時組成的網路。Ad Hoc network 最主要有兩個特點；首先，Ad Hoc network 簡化一般網路管理的程序以達到系統穩定性和使用上的彈性，其次，Ad Hoc 可以在位置移動、不定的連結或無法預測流量的環境下，作最理想的資源有效運用。此外，由於 Ad Hoc network 具有容易佈建的特性，因此，Ad Hoc network 有許多實際的用途，如公眾安全、軍事、國土防衛和商用無線系統等。這幾年隨著無線通訊的蓬勃發展，不少專家學者提出利用感知無線電與動態頻譜存取技術來加強 Ad hoc 網路的頻譜使用率進而提升通訊品質和提高系統容量，舉例來說，DARPA 次代通訊計畫的目的就是希望能利用感知無線電技術，將系統容量提高 10 倍。

本文整理美國政府或國際單位在制定 Ad-Hoc 頻譜規範與感知無線技術的相關議題與運作方式。一般來說，這些規範的制定與管理皆由美國或歐洲開始，並在爾後成為國際間規範的基礎。舉例來說，在 2005 的 FCC 即規定，無線寬頻存取裝置必須具有在 5GHz 頻帶上有動態頻譜選擇(DFS)的能力，這表示 Ad-Hoc 存取裝置可以利用動態頻譜選擇(DFS)技術偵測傳輸通道內是否有其他設備，在偵測到其他設備時會自動切換到新通道。

3.1 Ad Hoc network 與感知無線電

首先，我們先定義什麼是感知無線電和 Ad hoc 網路。美國或國際上對感知無線電沒有一個明確的無線電規範。ITU-R 8A 部門在軟體無線電的報告中，初步定義感知無線電為"一個能夠偵測及感知操作環境的無線電系統，且它能夠依據不同環境，動態的調整操作參數"。而 Ad hoc 網路，則被定義為沒有控制中心點，但可以自我組織點對點傳輸的行動網路。每個網路節點利用載波感應多重存取(Carrier Sense Multiple Access)的技術進行資料的連線與存取。在連線之前，每個網路節點會彼此進行協調，來決定任兩個網路結點所使用的通道，更進一步的，當節點之間的相互連接完成就可以形成一區域網路。由上述的程序可以得知，節點個數是頻譜管理上重要的因子。在頻率重用(frequency reuse)範圍內的節點數，決定了整個網路的通道需求與容量。

由上述可以得知，Ad Hoc Network 是一種特殊的無線網路架構。網路中所有節點的地位平等，無需設置任何的控制中心節點。網路中的節點不僅具有主機所需的功能，同時具有路由能力，與傳統無線網路相比，它具有以下特點：

1. 無基礎設施或中心節點：

Ad Hoc Network 是無基地台或嚴格的控制中心。所有節點的地位平等，即是一個對等式網路。節點可以隨時加入和離開網路。任何節點的故障不會影響

整個網路的運行，具有很強的抗毀性。

2. 自我組織：

Ad Hoc Network 的佈設或展開無需依賴於任何預設的網路設施。節點通過分層協定和分散式演算法發展各自的連線方式，節點透過無線電訊號的接觸後就可以快速、自動地組成一個獨立的網路。

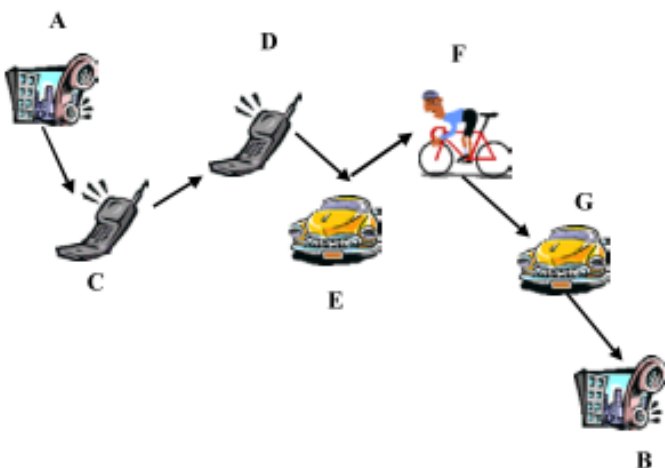
3. 多點式跳躍連接：

當節點要與其覆蓋範圍之外的節點進行通信時，需要中間節點的多點式跳躍轉接。與固定網路的多點式跳躍不同，Ad Hoc Network 中的多跳路由是由普通的網路節點完成的，而不是由專用的路由(Routing)設備(如路由器)完成。

4. 動態拓撲：

Ad Hoc Network 是一個動態的網路。網路節點具有高度的機動性，因此，網路的拓撲架構不是一個固定的架構，其拓撲架構是隨時在變化中。

Ad hoc 網路的傳送與接收通常不在視線(line of sight)中。它利用節點間資料封包的轉傳，橫跨網路將資料送達。圖一描述了 Ad hoc 網路中多跳躍(multi-hop)繞送的現象；A 點的信息藉由 C、D、E、F、G 的跳躍傳送，最後傳達到 B 點。



圖一、一個信息封包的傳遞路徑

此外，Ad Hoc Network 是一種具高度機動性的動態拓撲網路架構，因此，路由(Routing)的效率對整體Ad Hoc Network效能及自我組織能力影響甚鉅。近年在無線區域網路興起後，也有不少路由相關的研究。目前相關的研究都因襲傳統固定網路的通訊路徑演算法，即假設最短路徑(minimum number of hops) 就是最佳方案，而致力於尋找最「佳」的分散式演算法。但是在感知無線電的使用環境遠比固定網路複雜而多變，路徑信號強度、設備故障、電力供應中斷等均會影響感知無線電裝置(Ad Hoc)的選擇，且各節點的資源、移動性差異甚大，因此，利

用感知無線電技術的Ad Hoc Network協定設計需求目標應為：

1. 最佳化(Optimality)：

協定應具備最佳的選擇能力、換句話說是最快找到路徑的能力。

2. 彈性(Flexibility)：

是指一種適應的能力，以適應持續改變的感知無線電裝置，如回應網路的中斷、恢復、以及頻寬和延遲時間等等的改變。任一路徑中的節點發生問題後，應該可以很快地選擇下一個最好的路徑來避開問題的網路。

3. 快速收斂(Rapid convergence)：

任何互連網路的改變，應該儘可能以最小的時間散播給網路上每個路由節點。每當有線路改變狀態時，網路都會經歷一段不穩定期；如前所述，從網路狀況改變到所有路由節點都知道線路異動所需的時間，稱為收斂時間。

4. 簡易性(Simplicity)：

協定必須精簡以求效率。路由節點內部必須處理每一次的路徑新記錄，消耗寶貴的計算資源，所以較小的更新紀錄和媒體，代表需要的實體資源也較少，能獲得較佳的效能。

3.2 感知無線電的需求

現今美國國防部對網路的策略為增加無線電頻譜以及採用感知無線電和軟體無線電(software define radio)等新技術。然而，美國國防部的無線網路應用如：聯合戰術無線電系統(Joint Tactical Radio System)、寬帶網路波形(Wideband Networking Waveform)和士兵無線電波形(Soldier Radio Waveform)等無線電皆必須和其他軍事或民用系統共存，這大大限制頻譜使用範圍與應用。為了解決這個問題，DARPA 次代通訊計畫中，感知無線電被視為最有潛力的方法，感知無線電和軟體無線電可以在現有的頻譜規畫下，增加資料的傳送量。

DARPA 次世代通訊計畫期望透過新技術，使國防部提升頻譜利用效率達十倍以上。此計畫的目標，是讓無線電系統在最不干擾現有使用者的狀況下，能夠自動選擇頻譜和操作模式，並且在戰場環境中，確保美國系統穩定操作。經過深入的技術研究和規劃，次世代通訊(XG)計畫已經進入測試階段；透過測試，可以驗證感知無線電偵測其他傳輸設備以及調整傳輸的行為，並避免干擾其他設備的能力。其測試的頻率範圍從 30MHz 到 2GHz，並且藉由該測試確認頻譜使用的規範並提供合理的選擇方向。

除了美國政府之外，迄今為止，最有名的感知無線電系統佈署計畫為加拿大的 MILTON 佈署計畫。這計劃的起因為加拿大對偏遠社區的寬頻無線網路實踐的需求，因此在 1997 年時，渥太華研究中心開始研究在 5GHz 無執照頻帶上作感知無線電的可能性。而 MILTON 網路是一種不斷偵測無線電環境的無線網路，並且不斷對感知無線電裝置做出回應來達到其目的。

3.3 規範發展的實際範例

感知無線電規範應該只限制競爭系統的共存，但不限制應用技術。應用方法應該由無線電和通訊協定設計人員自己指定。舉例來說，不應該規訂使用指定的波形。規範應該保持最低程度的限制，以確保系統靈活運作。Ad hoc 無線網路只要遵守共存的規則，就可以依自己想要的模式運作。不過需要討論的是，網路的控制應不應該包括通道和信標(beacons)；基本上，這些東西不需要包括在規範當中，只需要系統商決定網路運作方式。當然，所有規範都需要由無線電實際測試來驗證是否可行。我們以下列例子來看 AD Hoc 網路規範的案例：

案例一、5GHz 雷達與無執照無線存取系統共享

WRC-03 是適用於感知無線電法規的發展前例，它允許無線存取系統(無執照操作)操作在 5GHz。WRC-03 規範允許雷達和無線存取系統共享 5GHz 頻譜。共享的基本條件建立在 5230-5350MHz 及 5470-5725MHz 頻帶間的動態頻譜選擇。

其規範標準流程整理如下：

- a. 最大的信號傳輸水平及無線存取系統(無執照的設備)的 EIRPs。
- b. 傳輸之前聽取(CSMA)。
- c. 在傳輸時並須監測始否有雷達存在。如果偵測到雷達的信號，十秒之內一定要停止傳輸。
- d. 至少要等 30 分鐘，才可以重新嘗試佔領雷達空出來的通道。

進一步，FCC 批准的 5GHz 共享情況，是感知無線電共享標準制定的好典範。用在無執照國家資訊基礎建設(U-NII)之設備的這些標準規範，都是以 FCC 的條例(47C.F.R.§ 15.407)作為標準。

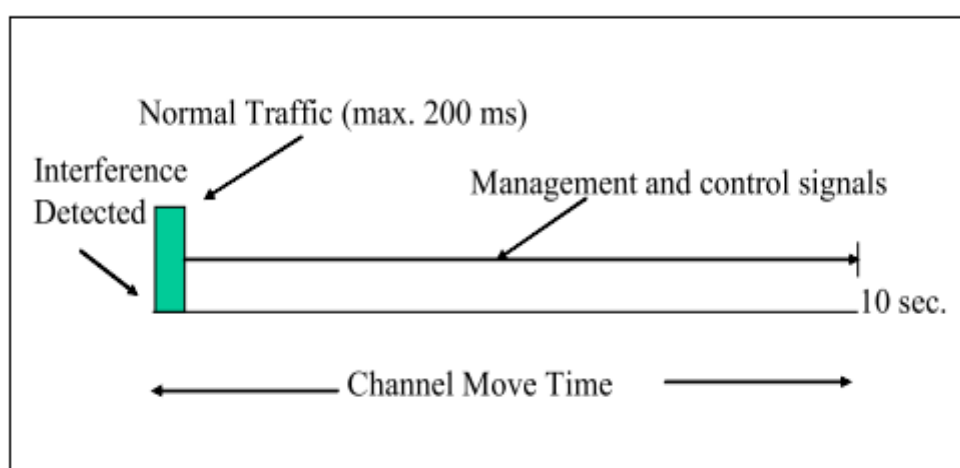
根據上述流程，目前仍有幾項議題值得大家注意，分別敘述如下：

(一) 檢查通道是否可用之時間：無執照國家資訊基礎建設(U-NII)之設備在傳輸啟動通道或者移動到新通道之前，應該檢查是否有雷達系統已經在通道上的操作。若 60 秒內沒有偵測到任何雷達系統的功率水平高於干擾門檻時，該設備就可以開始使用此通道。

(二) 更換通道時間：在偵測到雷達存在後，10 秒之內一定要停止傳輸。在這 10 秒內，最多只能維持 200ms 的正常傳輸，剩下的時間必須發送管理和控制信號，以方便空出操作通道。

(三) 非佔用期：此通道已經被標記為有雷達系統，因此它有至少 30 分鐘的非佔用期。非佔用期的時間由雷達被偵測到時開始計算。

現在我們來說明 FCC 的這些規範。圖二顯示出這些規範的涵意。從圖二我們可以看到，當節點偵測到雷達信號後，只能維持 200ms 的正常傳輸，在剩下的 10 秒內可以發送周期性的管理和控制信號。這使感知無線電系統有足夠的時間來決定和搬遷到新頻譜通道上。如何達到這樣的目的由網路設計者設計，不應該在法規內限制。另外，IEEE 對更換時間的要求更加寬鬆，並且在回應 FCC 03-287 時表示：偵測主要雷達信號的條件與設備應用有關，因此這也不需要納入 FCC 的規範當中。IEEE 同時表示這樣的靈活性，才不會限制未來性能更好的創新方法出現。



圖二、在雷達和無執照操作之下的動態頻率選擇(DFS)

案例二、無執照感知無線電系統對氣象雷達的干擾測試

在 ITU WRC-2003 規範下，加拿大已經完成無線存取 DFS 系統對氣象雷達的影響測試。此測試得到一些結論：

- (a) 動態頻率選擇(DFS)會比無線存取系統破壞雷達傳輸更早發現雷達的存在。
- (b) 雷達效能退化與平均干擾能量有關；-79dBm 是不讓雷達效能退化的邊界值。

目前國際無線電規範的改變約需 5~10 年，這樣的改變是發展而非革命。現代化頻譜管理主題並不在 WRC-07 的議程上。另外，WRC 指出現存的國際規範中提供了對感知無線電的支援；其中規定：除了有明確的條件下，會員國行政當局不得轉讓頻率劃分表內或其他條例規定的任何頻率給接收站；若使用授權的頻率，接收站不得造成有害干擾，也不能要求免除有害干擾，使用者必須按照憲法規定、公約和規章來經營。而 ITU-R 更引用 ITU-R M 162 附件一的內容；即感

知無線電在它移動之前，允許在通道上停留 10 秒，在這 10 秒內不得產生有害干擾。

3.4 感知無線電規範的選擇與 AD hoc 的最佳化目標

以下我們列出一些需要探討的感知無線電規範：

A. 機器可讀政策:

對管理單位而言，設備必須可以下載所需無線電規範。行動收發機可以下載無線電規範的標準格式並依據這些規範來達成感知無線電頻譜分享。且這些標準格式的規範中必須包含特定的地理資訊以及當地可用的頻段範圍。因此頻譜規範必須編成特定格式，讓所有無線電設備能夠解讀和利用。

B. 可接受的干擾:

當主要使用者開始傳輸時，其他的感知無線電裝置有可能對主要使用者造成干擾(非有害干擾)。這對任何感知無線電的規範中都是必要的假設。

C. 頻譜的使用分配與規則:

在規範當中必須設置一組規則，列出在任何情況下都禁止使用的頻段(如安全頻帶和無線電導航)。另外也應該避免使用固定式衛星的上行頻道，因為感知無線電系統可能干擾衛星接收機。

D. 避免被干擾:

以傳統觀念而言，感知無線電不應該避免干擾。因為感知無線電能夠自動適應環境，所以這條規範可以放入或不放入。

E. 服務定義的靈活性:

目前許可的服務可細分為移動式和固定式。另外不同的無線電通訊可大約依照不同的功能(語音、影像、資料、地理位置等)來區分。但是這些傳統服務的定義不再適用於感知無線電，因為感知無線電可以和相似或不同的系統間共享頻譜。

F. 安全需求:

為了防止篡改、認證、隱私和其他安全需求，需要額外的規範來定義。FCC 已經完成這項工作，且這不是本文章的焦點。

G. 更多的無執照頻譜分配:

美國或國際都需要增加頻譜分配給無執照使用。因為無執照頻譜是最適合感知無線電的使用。但是無執照頻譜數量受到目前擁擠和自由的操作形式所限制。事實上，[8 5.3.3 段]提到："在動態頻譜存取的世界裡，可能會有頻譜豬，藉由壟斷頻譜資源來排擠其他人"。因此法規的制定以及監測無執照頻譜使用狀況都是必要的。

H. 閒置的電視頻道無執照共享以及"3650MHz 頻段":

感知無線電的另外一個應用，是利用頻譜偵測和 GPS 技術找出閒置的電視頻道。這樣一來更有機會發展新的無執照無線通訊並提高電視頻譜的使用效率。

I. 最小信號水平:

FCC 條例(47 C.F.R. 15.407(h))明確規定 DFS 檢測的最低門檻，檢測雷達干擾的存在。有些系統有很低的傳輸信號，包括衛星通訊、天氣無線電、GPS 和信號最小的被動式服務(無線電天文學)。

J. 使用完全不同的波形(如 OFDM):

使用不同的波形可以提升頻譜容量和頻譜使用效率，例如利用頻譜中不同的時間、空間、資料傳輸率和其他頻譜特徵來改變波形。

K. 最差情況分析:

目前系統規劃，是以最壞情況作為分析基礎，來證明不會干擾現有系統。最差情況的分析可能不適合感知無線電系統，感知無線電系統規劃需要新的管理規章。

L. 試驗性的分配:

可以考慮將已分配的頻帶中取出小部分(10%)給感知無線電做測試。這項測試可能先在美國或歐洲實行，來證實感知無線電的可行性。實行測試的候選頻段可能是作為主要頻譜測試的 10MHz 頻段。

3.5 結論

本文說明美國政府或國際單位在制定 Ad-Hoc 頻譜規範與感知無線技術的相關議題與運作方式。一般來說，這些規範的制定與管理皆由美國或歐洲開始，並在爾後成為國際間規範的基礎。感知無線電的初步規範應用在雷達與無執照共享 5GHz 頻段，這樹立了良好的典範。然而，到目前為止，感知無線電還未清楚定義採取何種頻譜管理規範。本文裡，我們描述美國國防部正採用的原形標準和一些真實的案例。若這些案例能成功測試感知無線電的標準和概念，該案例的具體規範就會被採用。在驗證感知無線電的概念後，各國管理當局應該制定國內規章和支持國際正式通過感知無線電技術。

3.5 參考資料

- [1] XG Working Group, The XG Vision, Request for Comments, Version 2.0, Fall 2004
- [2] ITU Radio Regulations (WRC-03) Allocation of 5.47-5.725 GHz to the mobile service for implementation of wireless access systems (WAS) including RLANs, subject to the provisions of Resolution 229
- [3] Xue, Feng and P.R. Kumar, The Number of Neighbors Needed for Connectivity of Wireless Networks, Wireless Networks, 10, 2004 pp 169-181. [Kluwer Academic Publishing].

- [4] Proposer Information Pamphlet (PIP), BAA 05-05 for Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) Advanced Technology Office (ATO)]
- [5] Sydor, John, Interference Resolution in Frequency Reuse Environments using Cognitive Radio, Berkeley Wireless Research Center Workshop on Cognitive Radio, November 2004
- [6] IEEE 802.18 RR-TAG Comments to FCC 03-287 (2003)\
- [7] FCC, NPRM (FCC 03-322) Proposed changes to the Commissions authorization process to better accommodate software-defined radios and smart radio systems. December 17, 2003
- [8] Berggren et al. Dynamic Spectrum Access, Phase 1 Report TRITA-S3-RST-0407, September 23, 2004
- [9] FCC NPRM Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, ET Docket No. 04-186 May, 2004
- [10] FCC NPRM, Unlicensed Operation in the Band 3650-3700 MHz Docket No. 04-151, April 2004
- [11] NTIA (2004) Spectrum Policy for the 21ST Century – The President’s Spectrum Policy Initiative: Report1, Recommendations of the Federal Government Spectrum Task Force June 2004 Executive Summary Spectrum Sharing Innovation Test-Bed
- [12] Brandao, Andre, John Sydor and Wayne Brett 5 GHz RLAN Interference on Active Meteorological Radars, IEEE VTC2005-Spring 2005

第四章 感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰

感知無線電網路(CR network)利用異質性網路及動態頻譜存取技術提供高頻寬給用戶。然而，由於頻譜有限以及面臨不同服務品質(QoS)的要求，感知無線電網路技術未來在頻譜管理上仍有著相當大的挑戰。頻譜管理功能可以克服這些技術上挑戰。為了更進一步了解感知無線電網路，本文針對頻譜管理介紹了最新的發展和目前公開的議題。更具體地說，我們在不修改現有的網路架構下去討論「如何發展感知無線電網路」。首先，簡要介紹感知無線電及感知無線電網路架構，然後，針對四個主要在頻譜管理的問題進行討論：頻譜感知(spectrum sensing)，頻譜決策(spectrum decision)，頻譜共享(spectrum sharing)，頻譜遷移率(spectrum mobility)。

4.1 簡介

目前無線網路的頻譜管理仍是採用靜態頻譜分配政策，也就是由政府機構分配固定的無線頻譜給執照擁有者使用。然而，由於頻譜需求量的增加，該項政策於是面臨頻譜短缺的問題。不過，這些執照的頻帶有一大部分的使用是斷斷續續的，也就是這些頻譜並沒有被充分使用。因此，動態頻譜存取技術被提出來解決這些頻譜使用效率偏低的問題。動態頻譜存取技術的關鍵就是感知無線電技術，該項技術有能力利用一些取巧的方法去使用執照用戶的無線通道及頻譜。透過異質性網路及動態存取技術，感知無線電網路可以提供較高的頻寬給用戶，而且透過動態及有效率地頻譜管理技術，這個目的就能輕易地達成。然而，感知無線電網路還必須克服可用頻譜的變動性以及滿足不同裝置所要求的服務品質。所以，一個感知無線電用戶(CR user)必須擁有下列能力：

- (1) 有能力去決定哪些頻譜是可用的。
- (2) 有能力去選擇最佳通道。
- (3) 有能力與其他用戶協調進入這個通道。
- (4) 當發現執照用戶時，有能力退出該通道。

4.2 感知無線電技術

感知無線電網路的關鍵技術就是透過感知無線電技術，以某種取巧的方式達到分享頻譜的功能。感知無線電是一個具有智慧型適應行為的無線電技術，可隨著應用的環境而改變通訊系統參數(如傳送功率、頻率、調變方法)，來滿足使用者無線存取的需求。以下討論感知無線電的兩種特性：

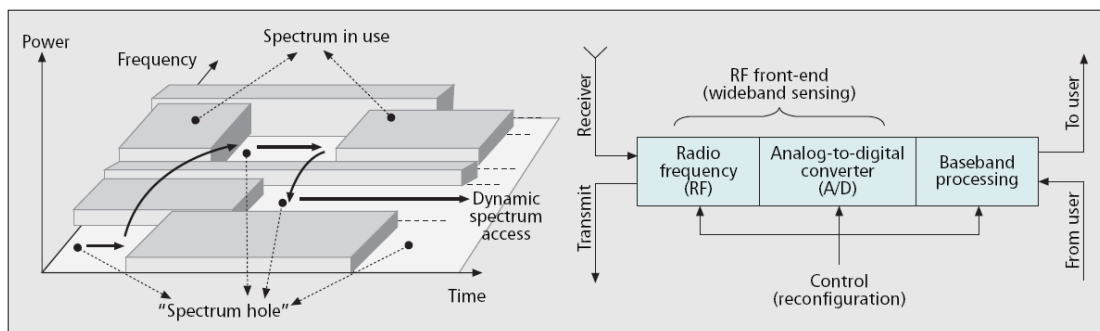
(1) 感知能力(Cognitive capability)：

感知無線電機在跟無線環境即時互動的同時，可以找出在某時間、某地點未被使用的頻譜。如圖一(a)所示，感知無線電可以使用未被使用的頻譜，這些未被使用的頻譜稱之為頻譜洞(spectrum hole)或白色空間(white space)。因此，最好的頻帶就可以被選為使用，並與其他用戶共享，而且不會干擾到有執照的用戶。

(2) 重置能力(Reconfigurability)：

一個感知無線電機可以被設計在各種不同的頻率上來傳送和接收，並依硬體設計使用不同的存取技術。透過這項能力，感知無線電機可以選擇最好的頻段和最適當的操作參數來重新配置。

為了提供上述兩項能力，感知無線電機必須有較新的無線電收發技術，如圖一(b)所示，感知無線電收發信機的主要組成為無線電前端(radio front-end)及基頻處理單元(baseband processing unit)，其最初構想源自軟體定義無線電機(SDR，software-defined radio)。



圖一：感知無線電概述，(a)頻譜空洞的概念；(b)感知無線電收發器架構

4.3 感知無線電網路架構

想要用通信協定來處理動態頻譜的問題，必須先知道廣泛的感知無線電網路架構。本節將介紹感知無線電網路架構。

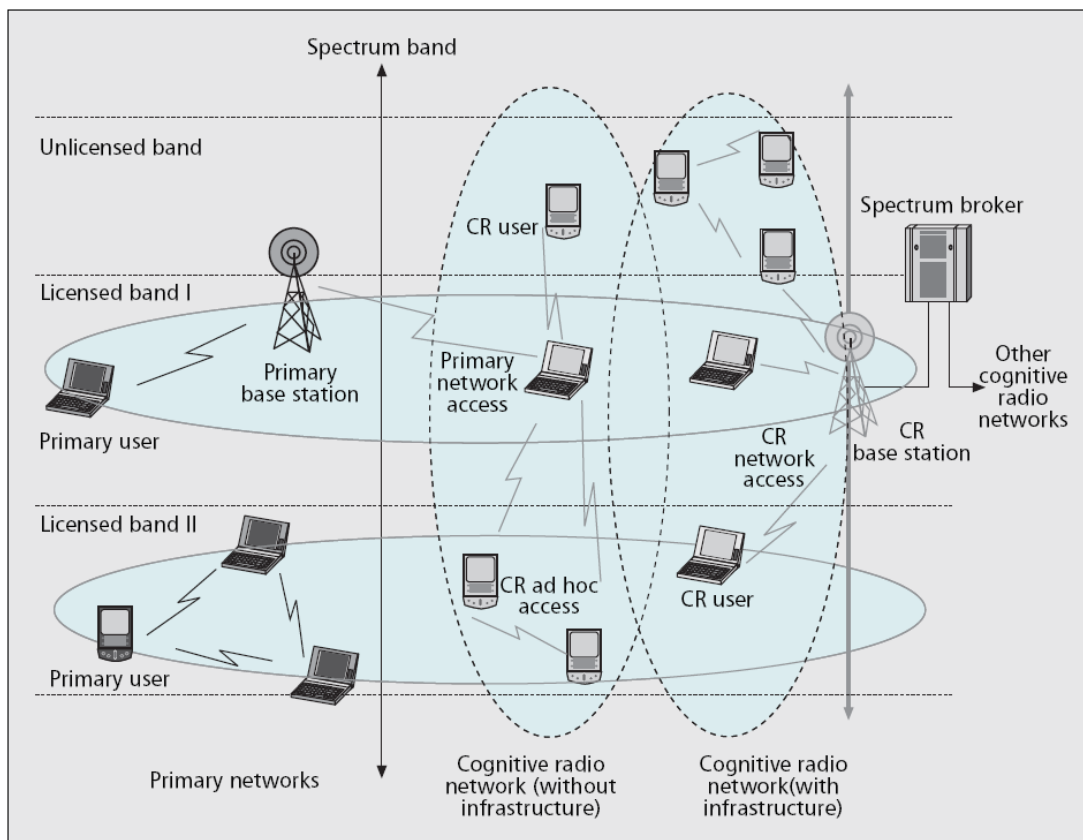
(1) 網路組成

如圖二，感知無線電網路的組成架構可以分成兩群，分別是主要網路(primary network)及感知網路(CR network)。

主要網路就是有執照或有授權的網路(licensed network)，也是現存的網路，在這個現存的網路中，主要用戶有權使用網路的頻帶。如果在主要網路中有公共基礎建設，主要用戶的所有活動就可以透過此主要基地台來管理及控制。由於主要用戶在此網路有較高的存取優先權，因此主要用戶的活動不應該被次要用戶或

非執照用戶所影響。

感知無線電網路也稱為動態頻譜存取網路(dynamic spectrum access network)、或二級網路(secondary network)、或無執照網路(licensed network)。因此，感知無線電網路並沒有執照權去使用有執照的網路。而且，感知用戶需要更多的功能才能去享用有執照的頻帶。感知無線電網路也可以配備感知無線電基地台，用來服務感知用戶之間的溝通。感知無線電網路也可能包含了頻譜中繼台(spectrum brokers)，頻譜中繼台將分配不同感知無線電網路之間的頻譜資源。



圖二：感知無線電網路架構

(2) 頻譜異質性

透過寬頻存取技術(wideband access technology)，感知用戶有能力去存取有執照的頻帶及無執照的頻帶，而且，感知無線電網路的操作形式可以分成執照頻帶操作(licensed band operation)及無執照頻帶操作(unlicensed band operation)，分述如下：

■ 執照頻帶操作(licensed band operation)：

有執照頻帶主要是用在主要網路之中，而且，感知無線電網路會著重在偵測主要用戶是否存在。其通道容量(channel capacity)取決於附近主要用戶的干擾。

一但主要用戶出現並使用這個通道，感知用戶就必須退出這個頻帶並立即移到可用的頻帶上。

■ 無執照頻帶操作(licensed band operation)：

如果主要用戶都不存在的時候，感知用戶就有權力去使用頻譜，而且，感知用戶需要更加複雜的頻譜分享方法去競爭無執照頻帶。

(3) 網路異質性

如圖二，感知用戶有三種存取模式：

■ 感知網路存取(CR network access)：

感知用戶可以存取自己的感知無線基地台，也可以操作在執照頻帶及無執照頻帶上。因為感知無線電網路之間的互動，感知無線電網路的頻譜分享策略可以跟主要網路相互獨立。

■ 感知隨建即連網路存取(CR ad hoc access)：

透過隨建即連網路，感知用戶之間的溝通也可以操作在執照頻帶及無執照頻帶上。

■ 主要網路存取(Primary network access)：

感知用戶也可以透過執照頻帶跟主要用戶溝通，但是感知用戶需要一個適應性媒體存取控制(MAC, medium access control)協議，才能利用不同的存取技術漫遊在多個主要網路之間。

(4) 頻譜管理組織

感知無線電網路的重點在於如何與主要用戶共存並且滿足所需的服務品質，所以，新的頻譜管理功能是必要的，但是也面臨三點設計上的困難，分述如下：

■ 干擾避免：

感知無線電網路應避免去干擾到主要網路。

■ 服務品質的認定：

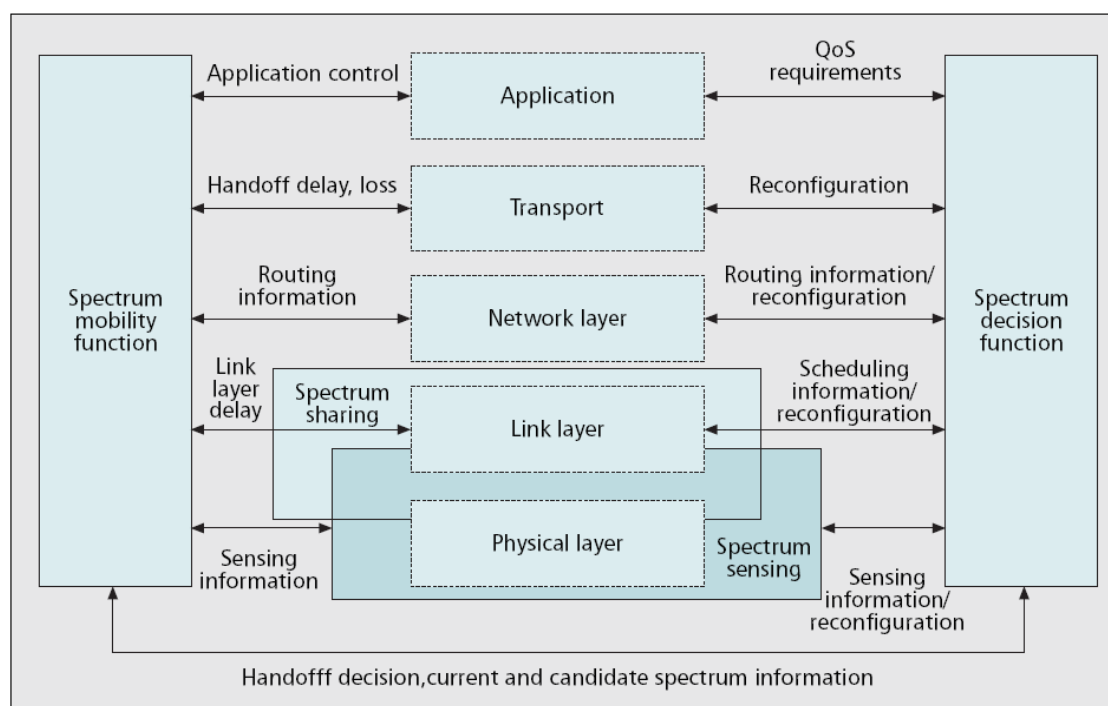
為了可以決定出適當的頻帶，感知無線電網路必須要對服務品質有認知的能力，同時還必須考慮動態及異質性頻譜的環境。

■ 無縫通訊：

不論主要用戶是否出現，感知無線電網路都必須能提供無縫通訊，使通訊不

中斷。

面對上述三項挑戰，感知無線電網路必須有能力去管理頻譜，而頻譜管理的過程包含了頻譜感知(spectrum sensing)、頻譜決策(spectrum decision)、頻譜共享(spectrum sharing)以及頻譜遷移率(spectrum mobility)。感知無線電網路的頻譜管理組織如圖三所示，從各層級大量的互動可以發現頻譜管理的功能是需要一種跨層設計的方法。



圖三：感知無線電網路的頻譜管理組織

4.4 頻譜感知(Spectrum Sensing)

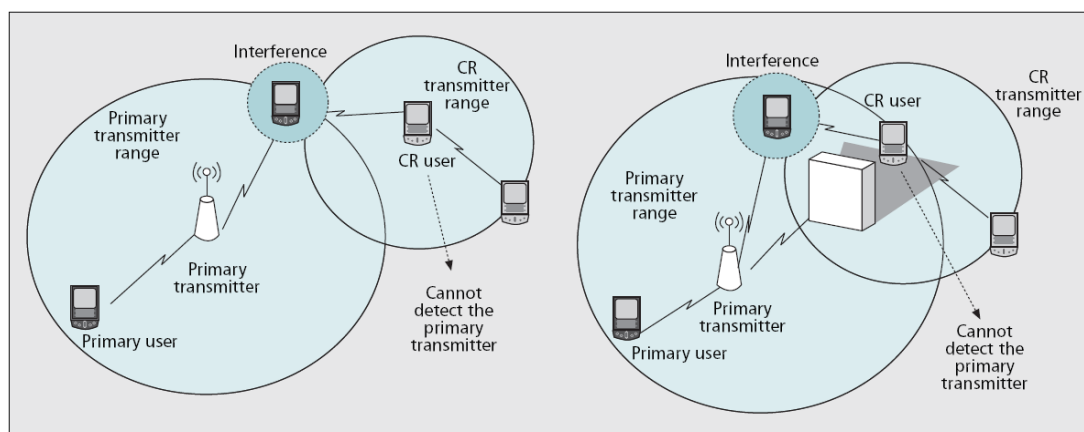
感知無線電機可以感知所處環境的變化而做相對應的改變，因此，頻譜感知是實現感知無線電網路最重要的能力。頻譜感知讓感知用戶能夠偵測頻譜空洞以適應當時的環境，而不干擾到主要網路。所以頻譜感知的實現，需要透過即時寬頻感知能力去偵測微弱的主網路信號。一般而言，頻譜感知的技術分為三類：主要發射機檢測，主要接收機檢測和干擾溫度管理。

(1) 主要發射機檢測：

發射機檢測是感知用戶去檢測主要發射機所發出的微弱信號，通常有三種方法：匹配濾波器檢測(matched filter detection)、能量檢測(energy detection)和特徵檢測(feature detection)。

如圖四(a)所示，由於缺乏主要用戶跟感知用戶之間的互動，發送器檢測技術僅能依靠從主要發射機所發出的微弱信號，因此，感知用戶並不知道主要接收機的資訊，所以主要發射機檢測技術無法避免干擾到主要接收機。而且，發射器檢測模式並不能防止隱藏終端問題(hidden terminal problem)。

另如圖四(b)所示，一個感知用戶可能對一個感知接收機有良好的視線通信，但是缺因為遮蔽效應(shadowing)而無法偵測到主要接收機的存在。因此，從其他用戶獲得感知資訊是必要的，這可以增加主要發射機檢測的正確性，我們稱此法為協同檢測(cooperative detection)。理論上，協同檢測透過合作機制會比單一用戶檢測更加正確，而且，多徑衰褪(multipath fading)跟遮蔽效應也能因此減輕。不過，協同檢測方法需要過多的資訊流量，這在資源有限的網路中會造成不良的影響。



圖四：發射機檢測問題，(a) 隱藏終端問題(hidden terminal problem)；(b) 遮蔽效應問題

(2) 主要接收機檢測：

雖然協同檢測可以降低干擾主要接收機的機率，但是對感知用戶而言，檢測頻譜空洞最有效的方法則是直接偵測正在接收數據的主要接收用戶。通常，主要接收機的射頻前端(RF front-end)會發出本地振盪器洩漏功率(local oscillator leakage power)，感知用戶可以針對此功率做檢測，不過，由於此洩漏信號通常較弱，所以一個可靠的偵測器就顯得非常重要。目前這個方法也只實踐在電視接收機的檢測。

(3) 干擾溫度管理

傳統上，透過發射機的輻射功率及位置，干擾可以在發射端受到控制，然而，干擾實際上是發生在接收端的，如圖四(a)所示。因此，美國聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)最近發展了一個新的模式用於測量干擾，稱為干擾溫度。這種模式將接收機所能容忍的干擾量作為干擾溫度極限，使

得在接收端的干擾受到了有效的控制。只要感知用戶不超過這個限制，就可以使用這個頻帶。雖然這種模式是最適合頻譜感知，但是這種模式的難度在於無法準確地確定干擾溫度限制。

(4) 頻譜感知之未來挑戰

■ 干擾溫度測量：

由於主要網路與感知網路缺乏互動，基本上，一個感知用戶很難察覺主要接收機的精確位置，因此，未來的技術必須要能測量或估計在附近位置接收機的干擾溫度。

■ 多用戶網路之頻譜感知：

多用戶環境因為包含了多個感知用戶和主要用戶，使得感知頻譜空洞及估計干擾更難達成。因此，頻譜感知功能應考慮多用戶環境的發展。

■ 頻譜效率感知：

當發射機傳送的時候，感知能力是無法作用的，因此，感知用戶若要執行感知能力時，必須停止傳送，如此一來，就降低了頻譜效益。由於這個原因，平衡頻譜效率和感知正確率是一個重要問題。此外，由於感知的時間直接影響傳輸的效能，必須發展新的頻譜感知演算法在最短的感知時間下達到所要求的感知正確率。

4.5 頻譜決策(Spectrum Decision)

感知網路還需擁有決策的能力，該能力會依據設備所需之服務品質，從可用之頻帶中挑選出最佳之頻帶來使用。這種觀點被稱為頻譜決策，並構成一個在感知網路比較重要的，但尚未開發的主題。頻譜決策跟通道特性以及主要用戶的操作息息相關，而且也受其他感知用戶的活動所影響。頻譜決策通常包含兩道程序：首先，根據感知用戶的當地觀察及主要網路的統計資訊，將每一個頻帶都描繪其特性，然後再根據所描繪之特性選擇最合適之頻帶。以下探討在感知無線電網路下的通道特性、決策程序以及研究上的挑戰。

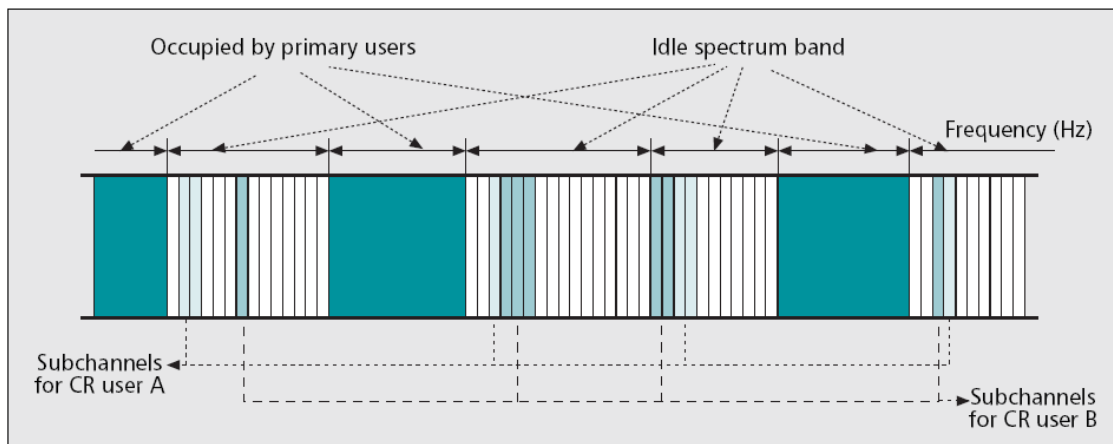
(1) 感知無線電網路下的通道特性

因為可用的頻譜空洞會有不同的特性，而且這些特性會隨時間改變，所以在描繪每一頻譜空洞時，應該考慮時變的環境及頻譜參數（操作頻率及頻寬）。因此，是有必要定義一個可以代表特定頻段的參數，例如干擾(Interference)、路徑損失(Path loss)、無線鏈路錯誤率(Wireless link errors)以及鏈路層延遲(Link layer delay)。

(2) 決策程序

在將可用的頻帶訂出特性之後，就可以依據服務品質需求及相對頻譜特性選出最適合的頻帶來使用，因此，傳輸模式及使用頻寬就會被重置。為了可以清楚地描述感知無線電網路的動態特性，必須先定義一個新的標準，那就是主要用戶的活動性(primary user activity)，主要用戶的活動性的定義就是一位主要用戶在感知用戶傳輸時出現的機率。因為當感知用戶在使用頻帶時，感知用戶無法確保這個頻帶會一直可用，所以必須考慮主要用戶多久會出現在這個頻帶。

然而，由於主要網路的運作，感知用戶很難在長時間內建立可靠的通訊通道，而且，感知用戶也許無法偵測到任何可用的頻帶去滿足用戶的要求。因此，在感知無線電網路中，感知用戶可以同時使用多個不連續的頻帶來傳輸訊號，如圖五所示。這個方法不僅可以建立一個高數據容量的信號，而且也可以避開干擾跟主要用戶的活動性的影響。即使在目前使用的頻帶中，其中一個頻帶必須換手，剩餘的頻帶也會維持目前的通訊傳輸。



圖五：多個頻譜決策的通道結構

(3) 頻譜決策之未來挑戰

■ 決策模式：

在感知無線電網路中，頻譜容量只使用訊雜比(signal-to-noise ratio, SNR)是不足以將此頻帶描繪出特性或定性，而且，不同設備的服務品質需求也不相同，因此，適應性的設備及適應性的頻譜決策模式之設計都是目前開放的議題。

■ 重置性協同(Cooperation with reconfiguration)：

感知無線技術使得傳輸參數可以重置，並操作在最佳之頻譜上，例如，不需要做頻譜決策，只利用適應性調變功能，即使訊雜比改變，傳輸率(bit rate)及傳

輸錯誤率(bit error rate, BER)仍然可以維持不變。因此，對於頻譜決策而言，重置性協同組織是需要的。

■ 異質性頻帶的頻譜決策(Spectrum decision over heterogeneous spectrum bands)：

目前，某些頻帶因為不同目的而被分配使用，而有些頻帶則是維持無執照的情況，因此，感知無線電網路應該要能支援頻譜決策可以操作在執照及無執照兩種頻帶上。

4.6 頻譜共享(Spectrum Sharing)

無線通道的共享性需要感知用戶間在傳輸上的合作，在這方面，頻譜共享應該包含許多媒體存取控制(MAC)協定的功能，而且，在感知無線電網路架構下，由於感知無線電的一些獨特的特性(如感知用戶與執照用戶共存、廣泛可用的頻譜等等)，使得頻譜共享面臨更多的技術挑戰，目前有關頻譜共享的研究大多著重在如何解決這些問題，這些問題及挑戰可以分成四類：頻譜共享架構、頻譜分配行為模式、頻譜存取技術及頻譜共享範圍。

(1) 頻譜共享架構：

頻譜共享架構可以分成集中式頻譜共享與分散式頻譜共享。

■ 集中式頻譜共享(Centralized spectrum sharing)：

集中式頻譜共享的頻譜分配及存取過程完全受到中央實體(central entity)所控制，而且，分散式的感知程序所得到的資訊(如頻譜分配的檢測資訊)都會傳送到這個中央實體，如此中央實體就能建構出所有頻譜分配的藍圖。此外，中央實體還可以將頻譜出租給受地理區域限制的用戶，讓這些受限制的用戶在一段特定的時間內使用。中央實體除了頻譜的競爭要考慮外，還必須考慮用戶之間的競爭，而這些考慮將由中央頻譜政策伺服器來完成。

■ 分散式頻譜共享(Distributed spectrum sharing)：

分散式頻譜共享的頻譜分配及存取過程是根據當地或當時的政策，由各個節點所決定。分散式解決方案也被使用在不同網路之間，如此，每一個基地台必須根據用戶所要求的服務品質去跟當時所面臨的干擾基地台來競爭分配頻譜。

目前在頻譜共享的研究，有大部分是在比較集中式頻譜共享與分散式頻譜共享的解決方案，結果顯示分散式的解決方案通常緊跟集中式的解決方案，但在節點之間的訊息交換會花費較多的成本。

(2) 頻譜分配行為模式：

頻譜分配行為模式可以分成協力頻譜共享與非協力頻譜共享。

■ 協力頻譜共享(Cooperative spectrum sharing)：

協力頻譜共享方法是先收集每一節點的干擾測量，然後考慮某一節點對其他節點在通訊上所造成的效應。協力頻譜共享方案採用一個一般共同的技術，就是組織成組一同分享當地的干擾資訊。這種本地化的運作在集中化與分散式頻譜分享方案之間取得一個有效的平衡。

■ 非協力頻譜共享(Non-cooperative spectrum sharing)：

非協力頻譜共享方法就是在非合作的情形下只考慮單一節點的影響，而在其他感知無線電節點的干擾則不考慮，所以非協力頻譜共享方案可能會造成較低的頻譜使用率，然而，非協力頻譜共享方法並不需要跟鄰近節點有頻繁的訊息交換。

協力方式一般優於非協力方式，並且接近全域最佳值(global optimum)。而且，協力技術可以導致某種公平程度並改善傳輸容量；另一方面，非協力方式的性能減低一般都會跟少量地訊息交換及低能量消耗互為補償。

(3) 頻譜存取技術：

■ 上疊頻譜共享(Overlay spectrum sharing)：

上疊頻譜共享是指節點可以存取未被執照用戶使用的部份頻譜，這種方式對主要網路所造成的干擾是最低的。

■ 下疊頻譜共享(Underlay spectrum sharing)：

下疊頻譜共享是指感知用戶利用展頻技術進行資訊傳輸，因此執照用戶會將感知用戶的干擾視為雜訊，只要此雜訊在主要用戶的容忍範圍內即可。

下疊頻譜共享技術可以使用較多的頻寬，代價則是複雜度較高。面對這種權衡關係，感知無線電網路的頻譜存取技術會將這兩種技術一起考慮，形成混合型的技術來解決存取的問題。

(4) 頻譜共享範圍：

頻譜共享範圍的方案在感知無線電網路中有兩種，分別是內部網路頻譜共享(intranetwork spectrum sharing)及跨網路頻譜共享(internetwork spectrum sharing)

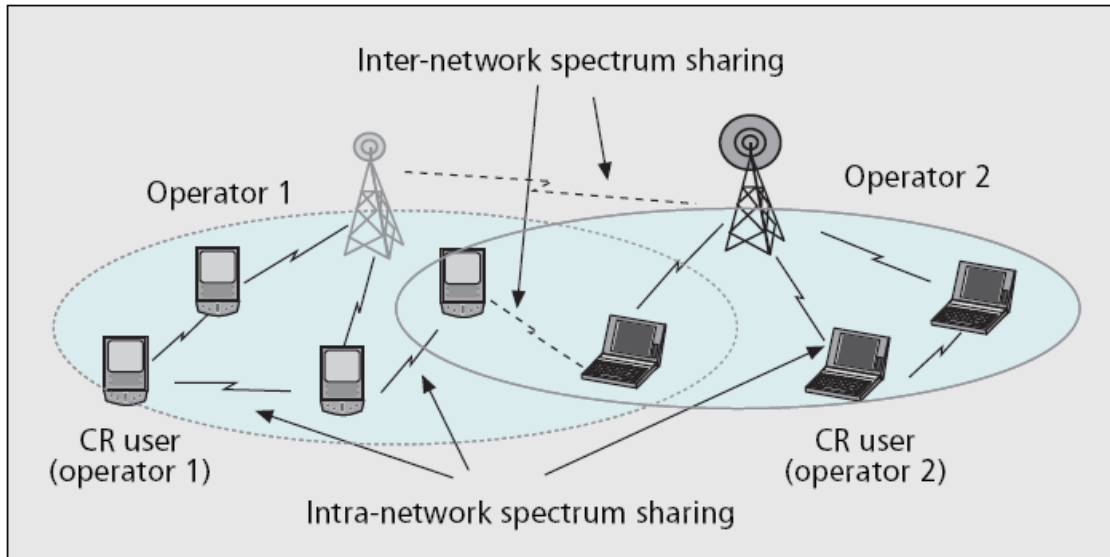
■ 內部網路頻譜共享(Intranetwork spectrum sharing)：

這些解決方案著重於一個感知無線電網路各實體之間的頻譜分配，如圖六所示。因此，一個感知無線電網路的用戶嘗試在不造成主要用戶的干擾前提下去存取可用的頻譜。內部網路頻譜共享引起了過去無線通訊系統從來沒想過的獨特挑

戰。

■ 跨網路頻譜共享(Internetwork spectrum sharing)：

感知無線電架構讓多個系統可以配置在重疊的位置及頻譜上，如圖六所示，截至目前為止，多個共存感知無線電網路的頻譜共享方式讓某些經營者政策對頻譜共享這個概念有更寬廣的視野。



圖六：感知無線電網路的內部網路頻譜共享以及跨網路頻譜共享

(5) 頻譜共享之未來挑戰：

頻譜共享有許多開放的研究議題，分別討論如下：

■ 共同控制通道(Common control channel)：

共同控制通道可以促進許多頻譜共享的功能，然而，當主要用戶進入一個通道的時候，感知網路必須將此通道空出來，因此，一個固定的共同控制通道是不可行的。此外，在感知網路中，所有感知用戶共同擁有一個通道，而這個通道特性取決於網路架構及時間的變化，因此，不是必須設計共同控制通道緩和技術，就是一個本地共同控制通道讓各節點成組來使用。

■ 動態無線電範圍(Dynamic radio range)：

無線電範圍跟其操作頻率是相互依賴的，因此，鄰接的各個節點會因為操作頻率的改變而有所不同，到目前為止，還沒有相關的研究來討論這個重要的議題，所以，有頻率感知的頻譜分享技術是值得討論的。

■ 頻譜單位(Spectrum unit)：

幾乎所有頻譜決策及頻譜共享技術的研究都是考慮一個通道為基本的頻譜

單位，因此，一個通道就是一個頻譜單位的定義在發展演算法中是相當重要的。

■ 位置資訊(Location information)：

目前的研究都有一個重要的假設，就是感知用戶（次要用戶）知道主要用戶的位置及發射功率，如此干擾的計算才能比較容易得到，然而，在感知無線電網路中，這個假設可能不會一直是正確的。

4.7 頻譜遷移率(Spectrum Mobility)

頻譜管理的第四個過程就是頻譜的變動管理。感知無線電會選擇最好的可用頻譜來使用，不過當主要用戶出現在一個頻譜時，感知用戶必須改變操作的頻帶，這就是頻譜遷移率。頻譜遷移率造成感知網路中一種新的切換型態，稱為頻譜切換。網路堆疊的不同階層的協定必需適應操作頻率的通道參數，此外，這些協定對於頻譜切換及結合延遲應該是很清楚的。

每次一個感知用戶改變其操作頻率時，網路協定就可能需要修改操作參數。在感知網路中，頻譜遷移率的目的為，在頻譜切換的時候，讓效能衰減量最小，以確保平順且快速的切換。

在遷移率管理協定中，有一項重要的資訊要求，就是頻譜切換的週期，這些資訊都可以從感知演算法獲得，所以一旦網路知道相關的延遲資訊之後，就可以讓頻譜切換所造成的效能衰退減至最小，而當前的通訊也能被維持。

感知無線電網路的本質特性引起兩個新的概念：頻譜遷移率及頻譜切換。到目前為止，還沒有任何研究在解決頻譜切換的問題。

雖然在蜂巢式網路中，以遷移率為主的切換機制已經被研究過了，而且也在這個領域奠定了基礎，不過，還是有開放的研究主題可以探討。

(1) 頻譜遷移率之未來挑戰：

以下是感知網路中，有效頻譜遷移率的開放研究議題：

■ 時域的頻譜遷移率(Spectrum mobility in the time domain)：

感知無線電網路會適應可用頻帶為主的無線頻譜，因為可用的通道會隨時間改變，在這樣的環境下，要維持服務品質是有挑戰性的。

■ 空域的頻譜遷移率(Spectrum mobility in space)：

當用戶移動時，可用頻帶也會隨之改變，因此，頻譜的連續分配也是一項主

要的挑戰。

4.8 結論

透過充分利用現有的無線頻譜，感知無線電網路正在制定解決目前的無線網路問題：可用頻譜的不足及頻譜使用效率過低。感知無線電網路因為具有感知無線電的能力，所以可以提供一個基本的頻譜感知通訊範例。本文探討了感知無線電網路在頻譜管理所要面對的問題及挑戰，特別是在頻譜感知(spectrum sensing)，頻譜決策(spectrum decision)，頻譜共享(spectrum sharing)及頻譜遷移率(spectrum mobility)所要面臨的未來挑戰。許多研究人員目前正在開發新的通信技術和協定去滿足感知無線電網路的需求，但是，為了確保更有效的頻譜感知通訊，還需要更多的研究投入。

4.9 參考文獻

- [1] FCC, ET Docket No 03-322 Notice of Proposed Rule Making and Order, Dec 2003.
- [2] I. F. Akyildiz et al., “NeXt Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey,” *Comp. Networks J.*, vol. 50, Sept. 2006, pp. 2127–59.
- [3] S. Haykin, “Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications,” *IEEE JSAC*, vol. 23, no. 2, Feb. 2005, pp. 201–20.
- [4] F. K. Jondral, “Software-Defined Radio — Basic and Evolution to Cognitive Radio,” *EURASIP J. Wireless Commun. and Networking*, 2005.
- [5] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, “Implementation Issues in Spectrum Sensing for Cognitive Radios,” *Proc. 38th Asilomar Conf. Sig., Sys. and Comp.* 2004, Nov. 2004, pp. 772–76.
- [6] O. Ileri, D. Samardzija, and N. B. Mandayam, “Demand Responsive Pricing and Competitive Spectrum Allocation via Spectrum Server,” *Proc. IEEE DySPAN 2005*, Nov. 2005, pp. 194–202.
- [7] M. Oner and F. Jondral, “On the Extraction of the Channel Allocation Information in Spectrum Pooling Systems,” *IEEE JSAC*, vol. 25, no. 3, Apr. 2007, pp. 558–65.
- [8] S. M. Mishra, A. Sahai, and R. W. Brodersen, “Cooperative Sensing among Cognitive Radios,” *Proc. IEEE ICC 2006*, vol. 4, June 2006, pp. 1658–63.

- [9] B. Wild and K. Ramchandran, "Detecting Primary Receivers for Cognitive Radio Applications," Proc. IEEE DySPAN 2005, Nov. 2005, pp. 124–30.
- [10] S. Krishnamurthy et al., "Control Channel Based MAC Layer Configuration, Routing and Situation Awareness for Cognitive Radio Networks," Proc. IEEE MILCOM 2005, Oct. 2005, pp. 455–60.
- [11] Q. Zhao et al., "Decentralized Cognitive MAC for Opportunistic Spectrum Access in Ad Hoc Networks: A POMDP Framework," IEEE JSAC, vol. 25, no. 3, Apr. 2007, pp. 589–99.
- [12] C. Peng, H. Zheng, and B. Y. Zhao, "Utilization and Fairness in Spectrum Assignment for Opportunistic Spectrum Access," ACM Mobile Networks and Applications (MONET), vol. 11, no. 4, Aug. 2006, pp. 555–76.
- [13] H. Zheng and L. Cao, "Device-centric Spectrum Management," Proc. IEEE DySPAN 2005, Nov. 2005, pp. 56–65.
- [14] R. Menon, R. M. Buehrer, and J. H. Reed, "Outage Probability Based Comparison of Underlay and Overlay Spectrum Sharing Techniques," Proc. IEEE DySPAN 2005, Nov. 2005, pp. 101–9.
- [15] J. Zhao, H. Zheng, and G.-H. Yang, "Distributed Coordination in Dynamic Spectrum Allocation Networks," Proc. IEEE DySPAN 2005, Nov. 2005, pp. 259–68.

第五章 結論及成果自評

5.1 結論

第二章提到了感知無線的標準化與相關規範，主要介紹感知無線電過去和現在標準化的相關議題，以及討論標準化未來的發展。對有效頻譜使用的目的而言，感知無線電是個關鍵的技術，而標準化作業能使得此複雜的技術大量被開發、接受及降低成本。由於美國聯邦通信委員會（FCC）和英國的通訊聯絡辦公室（Ofcom）已經將感知無線電(Cognitive Radio)與動態頻譜共享(Dynamic Spectrum Access)技術應用在數位電視頻譜的管理上，除了上述政府機關之外，一些國際電信聯盟標準化組織像是國際電信聯（ITU-R）與美國電子電機協會(IEEE)都對此感知無線電進行研究與探討。本章查閱了 IEEE 中已經完成的及正在進行中的感知無線電標準化活動。並提供各種進行中的標準化成果的比較，簡略地談到動態頻譜存取系統，還有共存及交互作用系統。最後討論了標準化的未來方向及感知無線電技術的運用。

第三章探討 AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制。Ad Hoc network(隨建即連網路)為一種能夠在沒有預先建置網路裝置的環境下，由無線主機所臨時組成的網路。本章說明美國政府或國際單位在制定 Ad-Hoc 頻譜規範與感知無線技術的相關議題與運作方式。一般來說，這些規範的制定與管理皆由美國或歐洲開始，並在爾後成為國際間規範的基礎。感知無線電的初步規範應用在雷達與無執照共享 5GHz 頻段，這樹立了良好的典範。然而，到目前為止，感知無線電還未清楚定義採取何種頻譜管理規範。本文裡，我們描述美國國防部正採用的原形標準和一些真實的案例。若這些案例能成功測試感知無線電的標準和概念，該案例的具體規範就會被採用。在驗證感知無線電的概念後，各國管理當局應該制定國內規章和支持國際正式通過感知無線電技術。

第四章在探討感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰。感知無線電網路(CR network)利用異質性網路及動態頻譜存取技術提供高頻寬給用戶。然而，由於頻譜有限以及面臨不同服務品質(QoS)的要求，感知無線電網路技術未來在頻譜管理上仍有著相當大的挑戰。頻譜管理功能可以克服這些技術上挑戰。本文探討了感知無線電網路在頻譜管理所要面對的問題及挑戰，特別是在頻譜感知(spectrum sensing)，頻譜決策(spectrum decision)，頻譜共享(spectrum sharing)及頻譜遷移率(spectrum mobility)所要面臨的未來挑戰。許多研究人員目前正在開發新的通信技術和協定去滿足感知無線電網路的需求，但是，為了確保更有效的頻譜感知通訊，還需要更多的研究投入。

5.2 成果自評

本計劃於 97 年針對感知無線系統，從頻譜共享的觀點，研究支援感知無線系統網路架構及可用頻段，探討了感知無線電的誕生將如何影響未來頻譜的使用和管理，同時簡介四種感知無線網路架構（IEEE 802.22、TACT-MAC、SCC41 與 Overlay/Underlay 架構），並且討論感知無線網路的使用場景，最後研究美國 700MHz 頻譜規劃，探討出一種新的頻譜共享模式，將可能在商業和公共安全的利益之間造就出一個成功的夥伴關係。

今年度之研究延續上一年度，針對感知無線電網路系統，從頻譜管理及頻譜共享之觀點去探討感知無線的標準化與相關規範，了解感知無線電過去和現在標準化的相關議題，以及討論標準化未來的發展。我們也研究 AD Hoc 網路之感知無線電頻譜管理機制，提出利用感知無線電與動態頻譜存取技術來加強 Ad hoc 網路的頻譜使用率進而提升通訊品質和提高系統容量。此外，我們知道感知無線電可以利用異質性網路及動態頻譜存取技術來提供高頻寬給用戶，但是由於頻譜有限以及面臨不同服務品質的要求，感知無線電網路技術未來在頻譜管理上仍有著相當大的挑戰，因此，我們探討感知無線網路應用於頻譜管理之挑戰。

今年度的研究結果，使我們更加了解感知無線電網路如何應用在現行的網路上，也對頻譜共享機制及動態頻譜的使用機制有更深一層的認知，對我們未來設計出符合經濟效率感知無線網路有很大的幫助，未來還會研究干擾防範的機制，來探討感知無線網路運用在 700MHz 頻段的可行性以及挑戰。

本計畫已發表之相關論文如下：

1. 「High Capacity Femtocells with Directional Antennas」，IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2010)。

國立交通大學出國報告書

99 年 5 月 2 日

報告人姓名	吳松融	申請單位 (學生請加註系級)	電信系 (9613807)	職稱 電話	研究生 035712121- 54580
出國目的/發表 論文題目	(中文) 具電感性負載之平面倒 F(PIFA) RFID 讀取器天線 (英文) A Capacitively-Loaded PIFA Based Reader Antenna for Portable RFID Application				
補助金額	80,000 元整	經費來源 (校內會計編號)		98N222	

報告內容應包括下列各項：

一、 參加經過

這次會議舉辦在西班牙巴塞隆納，前往巴塞隆納的過程中尚算順利，原訂在 4/19 號回國，但在回程時候，因為冰島火山爆發，造成法國機場封閉，以至於在回程飛機班次全部取消，我在巴塞隆納等了三天之後，先到馬德里再轉飛機到義大利威尼斯，但威尼斯飛機到台灣很少，旅行社無法幫我代訂到機票，所以我又到羅馬搭飛機回台灣。

在會議的過程中，我參與電磁傳播與線設計相關議題的會議與會場展示，本人聽了很多的演講，並參與討論，了解目前通訊領域發展的近況如 SAR 探討，線設計在 MIMO 上的應用，也觀看一些廠商的攤位。

二、 心得 (可含照片)

本項會議(歐洲天線及傳播會議, EuCAP)已成為歐洲地區天線及傳播學術研究領域最重要之國際會議並與國際電機電子工程師學會天線及傳播分會學術研討會(IEEE AP Society International Symposium)並列為全球天線及傳播領域之主要學術研討會。每年發表電信領域之創新研究，展示內容包含天線、傳播、高頻電路設計、濾波器設計等等

本次會議有許多世界知名的通訊領域專家，還有一些廠商代表，與其相談

甚歡，此次會議幾個重要的領域如下：(1) Cognitive Radio Networks and MIMO; (2) Antenna Design and Propagation; (3) EMC。

本人於此次會議中發表的論文為 ” 具電感性負載之平面倒 F(PIFA) RFID 讀取器天線 ” (A Capacitively-Loaded PIFA Based Reader Antenna for Portable RFID Application)”，本人也出席了 UWB Antennas 、Rectenna、SAR、Propagation 等 Session，了解目前其他人的研究成果，這些都讓我受益匪淺。此外會場中還有許多廠商的展出，包括 GaAs、SiGe foundry、微波電路設計軟體公司、微波元件公司、Agilent 和 Anritsu 儀器設備公司等。

而在此次會議中，除了本身研究可調變天線的議題外，在相關多頻帶天線，Rectenn 天線相關研究也都讓我獲益匪淺，而在會議期間能與做相關研究人員互相討論學術交流以及分享心得，更是我最大的收穫。

三、 考察參觀活動(無是項活動者，或前已敘述者可省略此項)
無

四、 建議

1. 建議學校可提供方案鼓勵博士生及博士後研究人員申請出國參加國際研討會，增廣知識見聞。
2. 鼓勵同學多利用參與 國際會議與其他國家的 Local Chapter 討論 Regional Conference 的相關事宜。

五、 攜回資料名稱及內容

開會電子檔一份、EuCAP 會議手冊、各研討會宣傳文宣

六、其他

