

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

無線區域網路基地台天線之分析與設計

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-050-CC3

執行期間：91 年 12 月 01 日至 92 年 11 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：吳瑞北

計畫參與人員：龐一心，劉禹顯，陳建庄，朱順發

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 93 年 3 月 1 日

國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫成果精簡報告

學門領域：電信學門

計畫名稱：無線區域網路基地台天線之分析與設計

計畫編號：NSC 91－2622－E－002－050－CC3

執行期間：91 年 12 月 1 日至 92 年 11 月 30 日

執行單位：國立台灣大學電信工程研究所

主 持 人：吳瑞北

參與學生：

姓 名	年 級 (大學部、碩士班、博士班)	已發表論文或已申請之專利 (含大學部專題研究論文、碩博士論文)	工作內容
龐一心	博士班		協助理論的指導與諮詢
劉禹顥	碩士班	碩士論文一篇，國際會議論文一篇	模型建立與最佳化設計
陳建庄	碩士班		反射板與天線罩之研究
朱順發	碩士班	國際會議論文一篇	錐形天線之研究

合作企業簡介

合作企業名稱：慧友電子股份有限公司

計畫聯絡人：陳晨鐘

資本額：4 億 9 仟 7 百萬元

產品簡介：各種光電子設備之設計製作安裝銷售，產品以 CCD Camera、影像多工器(Multiplexer)、數位監視錄放影機(Digital Video Recorder)為主

網址：<http://www.everfocus.com.tw>

電話：(02) 2698-2334

中 華 民 國 93 年 2 月 27 日

一、中文摘要

本計畫擬針對無線區域網路基地台天線進行分析與設計。內容包括天線單元與天線陣列的數值模擬及參數分析，並針對天線陣列建立等效電路模型，提供快速的最佳化設計。最後利用所得的分析結果，設計符合規格需求的天線，進行實驗量測加以驗證。

關鍵詞：無線區域網路、基地台天線、天線陣列、基因演算法

Abstract

This project aims at developing the methodology for analysis and design of base station antennas for wireless local area network (WLAN) applications. The major topics include the electromagnetic simulation of antenna elements and antenna array, together with their parametric study. For the antenna array, an equivalent circuit model will also be proposed to provide a fast and efficiently optimal design approach. With the simulation results, antennas satisfying the specifications will be designed and measured.

Keywords: wireless local area network (WLAN), base station antennas, antenna array, genetic algorithm.

二、研究背景與目的

無線區域網路 (wireless local area network, WLAN) 結合行動通訊 (mobile communication) 與區域網路 (local area network, LAN) 兩種通訊技術 [1], [2], 其基本想法是藉由無線電波的傳遞，來達到資料傳輸和資源共享的目的，因此不需鋪設電纜，可以節省成本以及免去鑿壁所造成環境美觀的破壞，而且只要在無線電波可傳遞的範圍內，隨時隨地都可以上網，具有相當的機動性和方便性。尤其近幾年來筆記型電腦

(laptop) 和掌上型電腦 (例如 PDA，以及 Pocket PC) 的普及率增加，使用者對上網的需求也大幅提高，無論是校園、會議中心、咖啡廳、以及機場，都是可以拓展無線上網的商機所在。其市場發展潛力之大，可見一斑。

無線區域網路利用天線來收發無線電波，因此天線特性的好壞，對資料的傳輸品質將有很重大的影響。應用於無線區域網路的天線不僅要有足夠的頻寬以抵抗環境造成的頻率偏移，還必須針對使用地區的環境特性，裝置點的位置，而有不同的設計。其挑戰性大，單價也仍相當高，是值得投入開發的領域。

無線區域網路的基地台天線須使用陣列 (antenna array)，場型隨使用情況不同而有不同的需求，很難有簡單的設計公式可進行最佳化設計。目前國外多仰賴工程師的經驗及嚐試錯誤法來進行，不僅耗時且不易傳承。因此本計畫研究的主題便是建立快速有效而系統化的方法，來進行無線區域網路基地台天線的設計。為了避免耗時的全波分析 (full-wave analysis)，將提出一個以電路模型為基礎的設計方式，並搭配基因演算法 (genetic algorithm, GA) 的技巧 [3]，來迅速得到最佳化的設計。

三、結果與討論

本計畫研究對象主要為圖一之串接式印刷雙極天線陣列 (series-fed printed dipole antenna array)，包括六個雙極天線單元以及其間的傳輸線，可視為同軸饋入式共直線天線 (coaxial collinear antenna) 之變形 [4]，並應用於 2.4 GHz 無線區域網路。承載介質板 (substrate) 的相對介電係數 (relative permittivity) ϵ_r 為 3.38，厚度 h 為 0.5 公厘。整個天線陣列的尺寸約為 $6.5 \lambda \times 0.2 \lambda$ ，其中 λ 是中心頻率下在該介質內的傳導波長 (guided wavelength)。對這樣大尺寸的天線結構，若欲以全波電磁模擬軟體來作最佳化

設計，則會相當耗時且困難，因此必須找出能快速且準確地預測此天線陣列行為的等效電路模型以利最佳化過程的進行。

圖一顯示陣列主由天線單元和傳輸線構成，最直觀的想法就是把天線單元換成其等效的輸入阻抗，如圖二所示。首先忽略所有的電磁耦合效應，對個別天線單元作全波分析，以取得其等效的輸入阻抗。由於天線單元只有兩種，且尺寸都小於一個波長，所以分析費時很少。兩種天線單元的結構及個別對應的反射係數繪於圖三，顯示天線單元確可應用在 WLAN 2.4 GHz 頻段，此處所使用的分析軟體為 IE3D [5]。然而此一簡單電路模型(simple circuit model)的電路分析結果，和全波模擬相比有很大的差異，如圖四所示。

接著考慮天線單元與傳輸線間的耦合效應以改善電路模型。為此，天線單元必須連同傳輸線作分析，如圖五所示，並擷取參考面上的 S 參數，將之放入圖二的天線模型中。圖六比較此一改良版電路模型(improved circuit model)和全波分析的反射係數，二者具有相當程度的類似，尤其是在操作頻帶內已有顯著的改善，但仍嫌不足。

電路模型進一步加入天線單元間的耦合。為了方便說明，以三個天線單元組成的天線陣列為例。圖七為此天線陣列的示意圖，圖中各節點電壓(node voltage) V_k 以及分支電流(branch current) I_j 滿足下列的聯立方程式：

$$V_k = Z_{kj} \cdot I_j, \quad (1)$$

其中 $k, j = 1 \dots 5$ 。阻抗矩陣(impedance matrix)

Z_{kj} 中的對角子矩陣 $\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} Z_{33} & Z_{34} \\ Z_{43} & Z_{44} \end{bmatrix}$ 可

由前述改良版等效電路模型中圖五(a)的 S 參數獲得，而對角元素 Z_{55} 則由圖五(b)的反射係數轉換得到。其他交互阻抗值(mutual impedances)則可由模擬對應的二個天線單元來取得，且須注意此兩天線單元間要保持開路狀態。值得注意的是，為了避免相鄰二天線單元在相鄰二輸入埠間產生的耦合效應過於嚴重，因此在模擬時將二輸入埠間距離至少設為基板厚度的五倍。

節點電壓和分支電流另外還須滿足傳

輸線方程式：

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} jZ_{01} \cot(\beta_1 l_1) & jZ_{01} \csc(\beta_1 l_1) \\ jZ_{01} \csc(\beta_1 l_1) & jZ_{01} \cot(\beta_1 l_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} V_4 \\ V_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} jZ_{02} \cot(\beta_2 l_2) & jZ_{02} \csc(\beta_2 l_2) \\ jZ_{02} \csc(\beta_2 l_2) & jZ_{02} \cot(\beta_2 l_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

上述方程式中， Z_{0j} ， β_j ，和 l_j 分別代表第 j 個傳輸線的特徵阻抗(characteristic impedance)，傳播常數(propagation constant)，以及物理長度(physical length)，其中 $j=1, 2$ 。將方程式(2)和(3)代入(1)中，就可以求出從第一個天線單元看進去的輸入阻抗值 Z_{in} ：

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} \quad (4)$$

圖八為此一進階電路模型(advanced circuit model)和電磁分析軟體 Ensemble 模擬結果的比較 [6]，兩者在天線操作頻段內已有很好的一致性。然而相對於全波分析，電路模擬所需的計算時間微乎其微。

以上述建立的進階等效電路，應用基因演算法對这一天線陣列作頻寬最佳化設計。圖九說明在基因演算法中所欲設計調整的參數，其中 W_1 至 W_5 是天線單元間傳輸線的寬度， W_6 和 W_7 是天線輸入端阻抗轉換線的寬度，而 L_6 和 L_7 則是其長度。各參數在基因演算法裡的設定值則列於表一，這些設定值是根據演算法收斂性以及實作解析度來選取的。另外，每個世代(generation)的個數設為 270 個，突變率(mutation rate)則由 1% 動態改變到 2% [7]，而目標函數(objective function)的設定為：

$$\text{objective function} = \sum_j |S_{11}(f_j)|^2 \quad (5)$$

其中 f_j 為最佳化頻帶內的取樣頻率點，而 $|S_{11}(f_j)|$ 表示訊號輸入端在頻率 f_j 下的反射係數大小。首先取樣頻率點設為

$$f_j = 2.2 + (j-1) \cdot 0.025 \text{ (GHz)}, \quad j = 1 \dots 17. \quad (6)$$

據此得到的 -10 dB 反射係數頻寬有 260 MHz，量測結果也有 240 MHz，如圖十所

示，均約為原來設計下 140 MHz 頻寬的兩倍，但是量測到的頻率響應略往低頻偏移。為了解決此一現象，將取樣頻率點往高頻偏移，即

$$f_j = 2.3 + (j-1) \cdot 0.025 \text{ (GHz)}, \quad j=1 \dots 17. \quad (7)$$

除此之外，天線單元的長度也稍作減短以提高其共振頻率。經由改變取樣頻率點以後設計出的天線之特性繪於圖十一，可以發現其頻寬模擬值高達 700 MHz，而量測到的頻寬也有大約 260 MHz。圖十二為中心頻率 2.442 GHz 下的天線輻射場型，其中磁場平面上的輻射場型變化不到 2.5 dB，此一全向性(omnidirectional)輻射很適合無線區域網路的應用。

為了增加天線增益(antenna gain)，天線的一側加上角形反射板(corner reflector) [8]，如圖十三所示，如此一來其天線增益可由原先的 7 dBi 提高至 13.5 dBi。

四、結論與成果自評

針對串接饋入式平面印刷雙極天線陣列，本研究計畫提出了以模型建構為基礎的最佳化設計方式，來取得最佳頻寬的天線設計。利用所建構的等效電路模型，結合基因演算法，設計出新的天線陣列尺寸擁有 11 % 的頻寬，大約是原來天線 6 % 頻寬的兩倍。由於最佳化設計是以電路分析方式進行，相較於全波分析，可以節省大量的設計時間，而且此一系統化設計的應用也可以加以推廣。同時也利用反射板的設計來提高天線的增益，實驗結果顯示其增加量可達 6 dB，據此可提供不同需求的設計。

本計畫已達成原先預期的目標，建立一個快速有效而系統化的方法，來進行無線區域網路基地台天線的設計。此一設計方法的建立，配合有效的自建模擬軟體，可以建立國內基地台天線的研發基礎。不僅可以提升國內廠商在此方面的設計能力，也可大幅增加台灣在無線區域網路產業的競爭力。

五、人才培育成果

本研究計畫提供了整個天線陣列分析

與設計的完整流程，包括模擬分析、參數擷取、模型建構、設計、與實作量測，參與人員在無線通訊、天線技術、電磁理論、數值分析、以及產業應用等各方面獲得完整的訓練，尤其是天線設計與量測技術的經驗累積，將可投入無線區域網路領域的市場，進而帶動國內此一產業的進步。

本研究計畫人員並已在國際知名會議上發表兩篇相關學術論文。

六、技術特點，可利用之產業及運用價值

以模型建構為基礎的天線最佳化設計方式是本計畫所開發的技術特點，可以應用在無線通訊天線設計產業上。所發展的技術與累積的經驗，可以縮短天線設計的時程。並可針對不同的需求取得最佳的設計，提高其附加的價值。

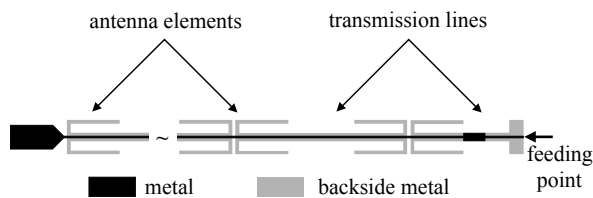
七、誌謝

感謝林怡成教授於本計畫的技術指導，和劉安錫同學在基因演算法程式設計的貢獻。也要感謝慧友電子陳晨鐘協理與林北尉先生在整個計畫的參與討論，以及天線製作上的協助。

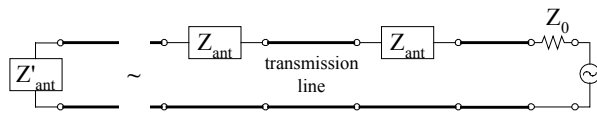
八、參考文獻

- [1] R. Schneiderman, *Wireless personal communications – the future of talk*, IEEE Press, pp. 79-93, 1994.
- [2] B. Tuch, "Development of WaveLAN, an ISM band wireless LAN," *AT&T Technical Journal*, vol. 72, no. 4, pp. 27-37, 1993.
- [3] Y. Rahmat-Samii and E. Michielssen, *Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms*, New York: Wiley-Interscience, pp. 1-27, 2000.
- [4] H. Miyashita, H. Ohmine, K. Nishizawa, S. Makino, and S. Urasaki, "Electromagnetically coupled coaxial dipole array antenna," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 47, pp. 1716-1726, Nov. 1999.

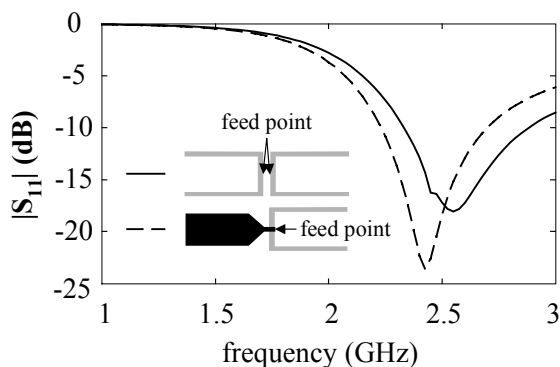
- [5] Zeland Software, Inc., *IE3D simulator*, ver. 9.0, <http://www.zeland.com>.
- [6] Ansoft Corporation, *Ensemble*, <http://www.ansoft.com>.
- [7] J. A. Vasconcelos, J. A. Ramírez, R. H. C. Takahashi, and R. R. Saldanha, "Improvements in genetic algorithms," *IEEE Trans Magn.*, vol. 37, pp. 3414-3417, Sep. 2001.
- [8] J. D. Kraus and R. J. Marhefka, *Antennas for All Applications*, 3rd ed., chap. 10, 2002.



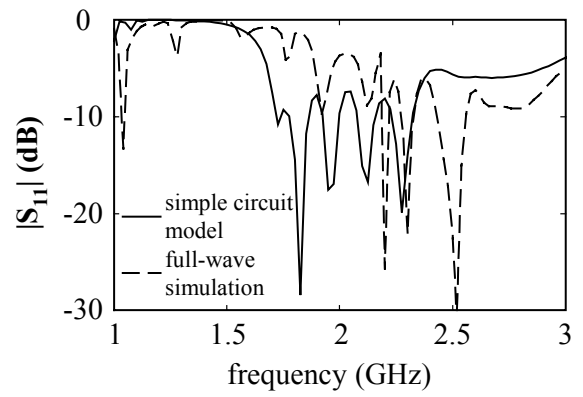
圖一、串接式雙極天線陣列的基本架構。



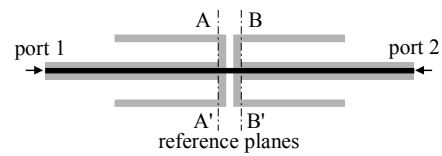
圖二、串接式雙極天線陣列的簡單等效電路模型。



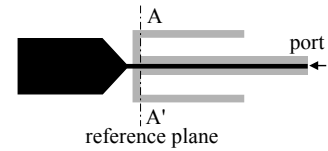
圖三、兩種天線單元架構的反射係數模擬值。



圖四、簡單電路模型與全波分析之比較。

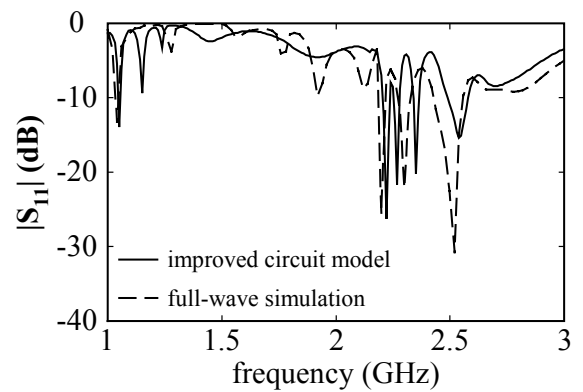


(a)

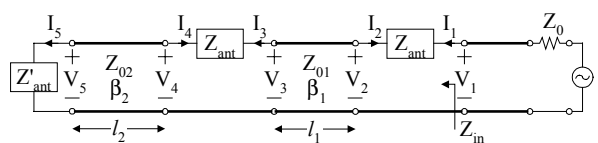


(b)

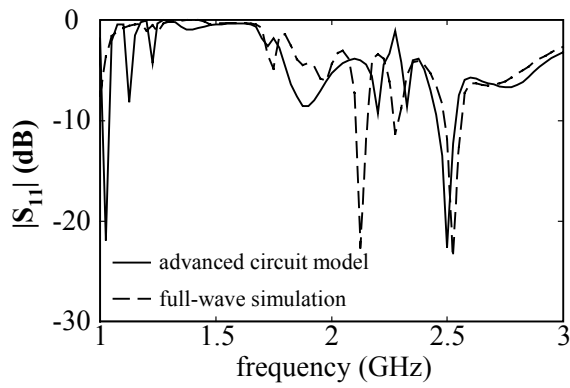
圖五、改良版等效電路模型中兩種天線單元的模擬結構圖，虛線為反射係數參考面，距離饋入埠均為半個波長。



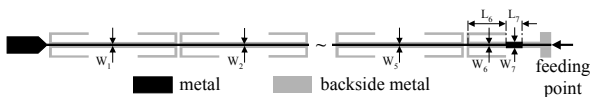
圖六、改良版電路模型與全波分析之比較。



圖七、建立進階等效電路模型的說明例子。



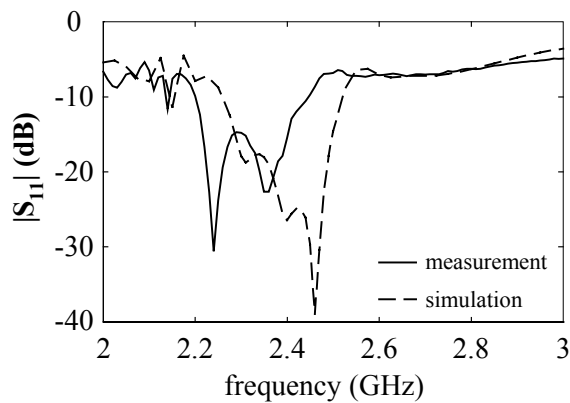
圖八、進階電路模型與全波分析之比較。



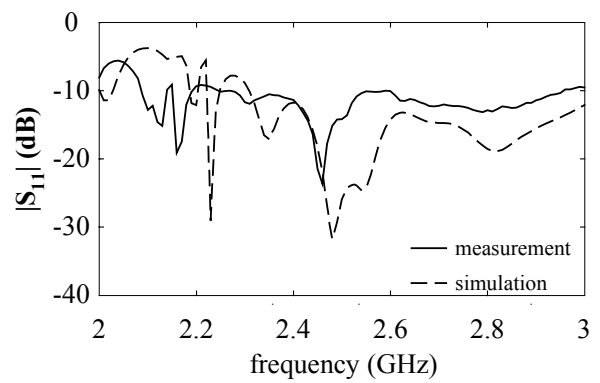
圖九、基因演算法中設計的參數。

表一、基因演算法的參數選取

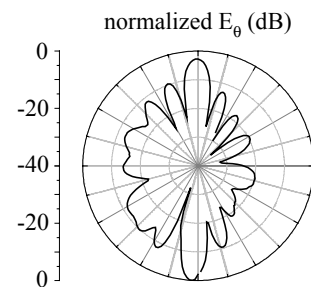
參數	解空間 (mm)	編碼 位元數	解析度 (mm)
$W_1 \sim W_7$	0.3 ~ 2.5	5	0.13
L_6, L_7	0 ~ 31.0	5	1.0



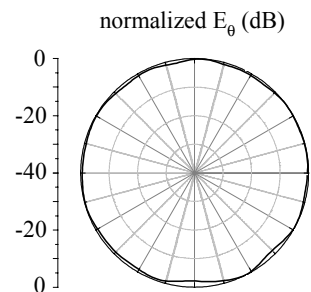
圖十、最佳化設計之反射係數模擬值(虛線)與量測值(實線)比較。最佳化設計中的取樣頻率點為 $f_j = 2.2 + (j-1) \cdot 0.025$ (GHz), $j=1 \dots 17$ 。



圖十一、最佳化設計之反射係數模擬值(虛線)與量測值(實線)比較。最佳化設計中的取樣頻率點為 $f_j = 2.3 + (j-1) \cdot 0.025$ (GHz), $j=1 \dots 17$ 。

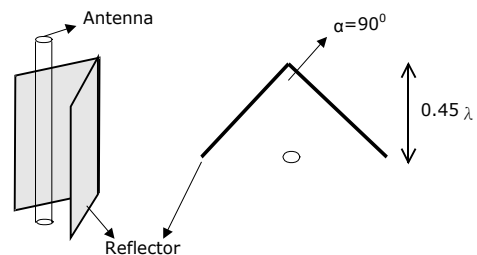


(a)



(b)

圖十二、頻寬最佳化設計的天線輻射場型：(a) 電場平面上的輻射場型；(b) 磁場平面上的輻射場型。



圖十三、加了反射板後天線陣列的立體圖和俯視圖。