

# MIMO 雙頻單極天線設計與探討

方瀚陞<sup>a</sup>、林伯彥<sup>a</sup>、孫卓勳<sup>\*a</sup>、莊清松<sup>b</sup>  
 國立台北科技大學<sup>a</sup>  
 龍華科技大學電子工程系所<sup>b</sup>

**摘要** — 本篇提出 MIMO 天線是設計在 2.45/5.8GHz 無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN)無線通訊頻帶上。設計方式為單極天線共平面波導(Coplanar waveguide, CPW)結構饋入設計，兩根天線之間是以背對背形式排列，距離為 2.45GHz 的 0.167 分之一波長，並加入 2.45/5.8GHz 彎曲共振器作為隔離結構，利用高頻模擬軟體進行結構型分析模擬，及調整抗耦合元件將 MIMO 天線進行優化，並與實際量測結果驗證比較。

## 一、簡介

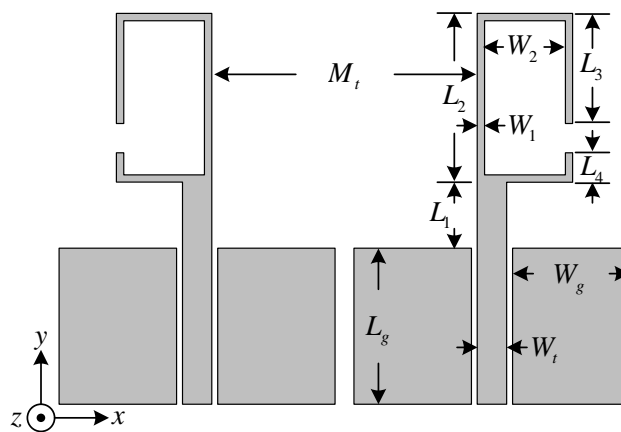
近年來，在無線收發系統中，發射端和接收端使用多根天線的架構用來傳送或接收資料的方式已經變成一種重要的趨勢。多輸入-多輸出(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)無線接收技術應用於行動寬頻通訊上之技術開發及研究的重要性是有目共睹的。主要是在於 MIMO 無線接收技術可以在相同頻率和時間內，透過多根天線來傳送相關的資料串，雖然資料傳遞過程中會遇到阻礙物，因此會有反射或散射現象的產生，但是可以利用其空間的自由維度之優勢(若比較於單一天線系統)，會在不同的角度、時間及衰減情況下資料到達接收端，而在接收端裡面的數位訊號處理器會組合計算訊號並組成原始資料，這是結合了空-時編碼(Space-Time Coding)技術，在不增加傳輸功率及頻寬之條件下，就能夠相對提升資訊傳輸可靠性、速率，以及解決一般行動通訊所碰到之各種干擾及通道衰落問題。在現今頻譜資源(Spectral Resource)有限的情況 MIMO 無線接收技術可以不增加無線傳輸功率及頻寬條件之下，確實可以達到相對提昇通訊可靠性及頻譜使用效率。因此，MIMO 無線接收技術已被規範於第四代行動寬頻長期演進技術(Long Term Evolution, LTE)或全球互通微波存取(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)無線區域網路協定中。

現今要實現 MIMO 無線接收技術有兩大基本的限制，第一個為製作尺寸限制，主要是現今的通訊設備尺寸都往輕、薄、小等尺寸來發展，但是，每一根天線都佔有一定的體積。因此，無線通訊設備上的天線數量是由設備的體積來決定的(或者是只能在無線通訊設備所預設的體積內製作)。第二個為空間相關性和電磁耦合的物理特性限制，每支天線都需要有良好的阻抗匹配、相似的輻射場型，因此緊密的天線間距會需要更高的空間相關性技術，反而降低了天線陣列的自由度。除此之外，緊密排列的陣列天線之間會存在著強烈的相互耦合效

應，這會直接讓天線本身的輻射能力及接收功率降低，這會使 MIMO 無線接收技術之封包相關係數(Envelope correlation coefficients, ECC)降低，而無法提升數據傳輸速率。

因此，介紹公開之文獻[1]-[7]是可以讓多根天線之間的耦合效應減少的方法：極化(Polarization)[1]-[3]是以天線的水平及垂直極化設計來達到隔離效果；電磁帶隙(Electromagnetic band-gap, EBG)[4]架構是利用高 K 的基板極複雜的電磁帶隙結構所組合而成的。超穎材料激發共振器(Metamaterial-Inspired Resonators)[5]-[6]是將超穎材料激發共振器放入電路中作為吸收及反射的特性來達到隔離效果；耦合器(Coupled)[7]是以天線後端的 90 度耦合器設計隔離匹配的方式，使兩饋入端相位差 90 度，達到隔離的作用。本篇論文從單一天線的設計架構到陣列天線結構以及其陣列元之間去耦合之結構等探討，使得無線接收技術在使用多天線系統時，能達到 MIMO 空間多樣及多工之接收技術之最佳效果，提高資料接收可靠度。

## 二、設計 MIMO 天線結構



圖一：MIMO 天線結構

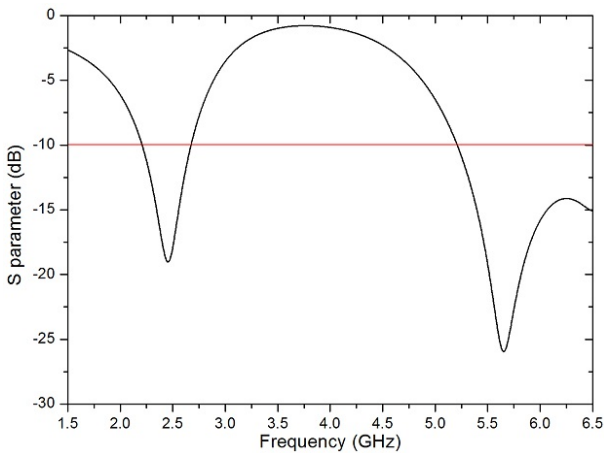
本篇天線是設計在無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN) 2400~2483.5MHz 及 5725~5852MHz 無線通訊頻帶上。製作在玻璃纖維(FR4)基板上，介電常數為 4.4，基板厚度為 1.6mm。天線是以 50 歐姆傳輸線共平面饋入結構，在主輻射體上切割出兩個共振路徑，分別為上半部份  $L_1+L_2+W_2+L_3$  所組成的 2.45GHz 的共振路徑，下半部份  $L_1+W_2+L_4$  所組成 5.8GHz 的共振路

徑，如圖一表示。表 I 為 MIMO 天線各參數尺寸大小。

表 I  
MIMO 天線各尺寸值

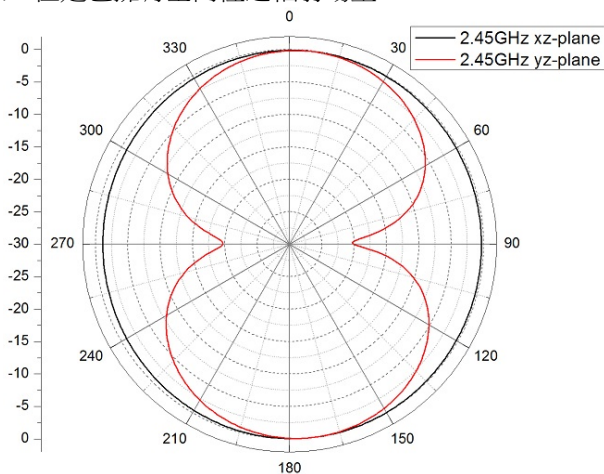
PARAMETER	$W_g$	$W_t$	$W_1$	$W_2$	$M_t$
VALUE(mm)	9	2	0.5	5	20.5
PARAMETER	$L_g$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$
VALUE(mm)	15	3.5	12.5	7	4

使用電磁模擬軟體 Ansoft HFSS 來設計，單一個單極天線之反射係數模擬結果為圖二所示。第一個頻帶為 2.2GHz 到 2.68GHz，頻寬比為 19.5%，反射係數為-19.0dB。第二頻帶為 5.2GHz 到 6.82GHz，頻寬比為 27.9%，反射係數為-20.6dB，此天線有良好的阻抗匹配。

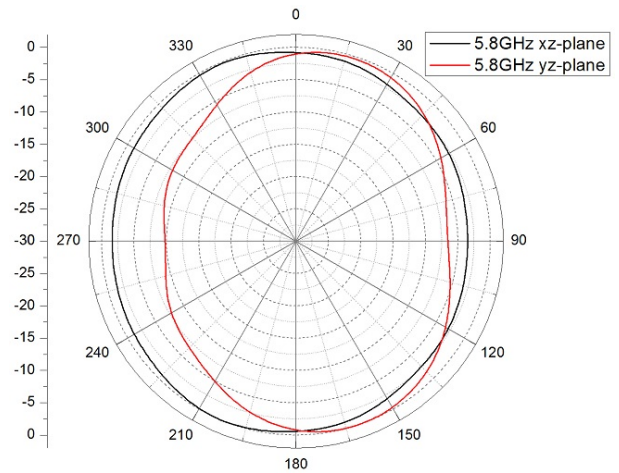


圖二：模擬單一雙頻單極天線之反射係數

圖三為單一個單極天線之 2.45GHz 輻射場型，因為在結構上並沒有對 2.45GHz 有遮蔽效果的金屬線，因此 2.45GHz 擁有全向性之輻射場型。圖四為單一個單極天線之 5.8GHz 輻射場型，在結構上 5.8GHz 的路徑有偏一邊的設計，因此 5.8GHz 之輻射場型也會有偏向一邊的結果，但是也擁有全向性之輻射場型。

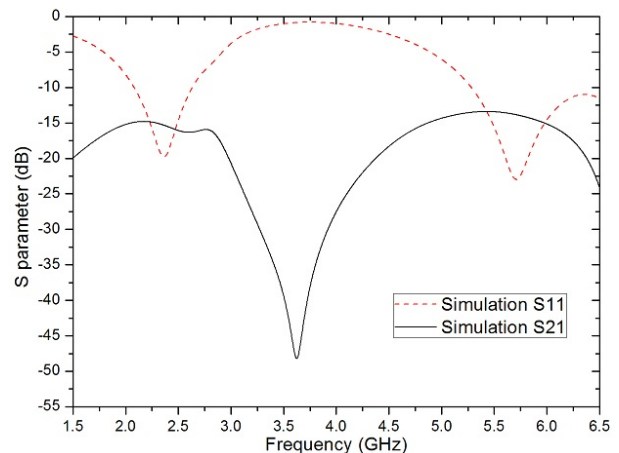


圖三：模擬單一雙頻單極天線 2.45GHz 之輻射場型

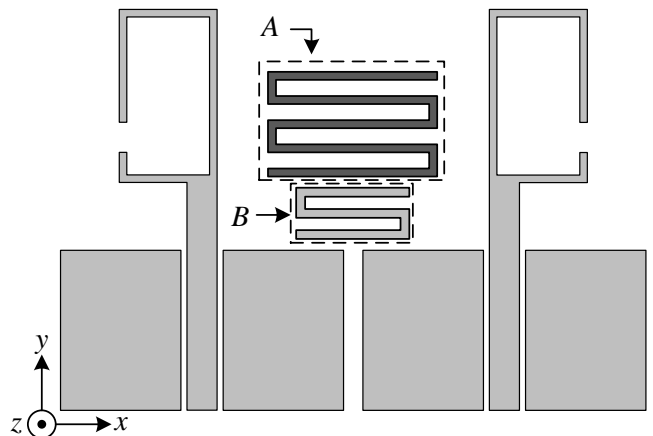


圖四：模擬單一雙頻單極天線 5.8GHz 之輻射場型

將兩個單極天線以對稱且背對背的方式排列，如圖一所示。兩根天線之距離為 20.5mm 相當於 2.45GHz 的 0.167 分之一波長。因為兩根天線之距離太過於接近，會使天線之間的電磁耦合效應提高。圖五為 MIMO 天線的反射係數模擬結果，第一頻率為 2.45GHz 的反射係數為-19dB 而穿透係數(耦合量)為-15.8dB，第二頻率為 5.8GHz 的反射係數為-20.6dB 穿透係數為-14.1dB。



圖五：模擬 MIMO 天線之 S 參數

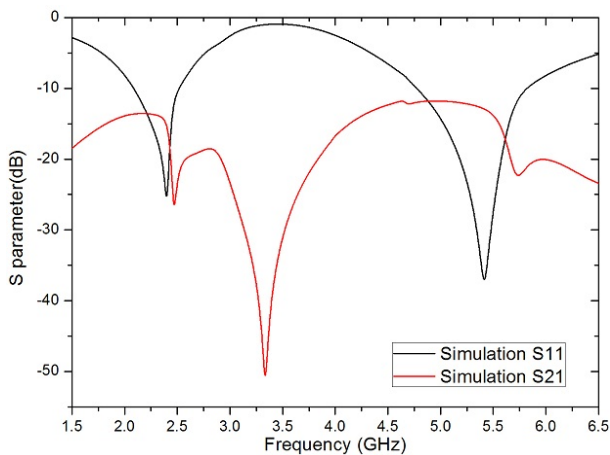


圖六：MIMO 天線加入去耦合結構

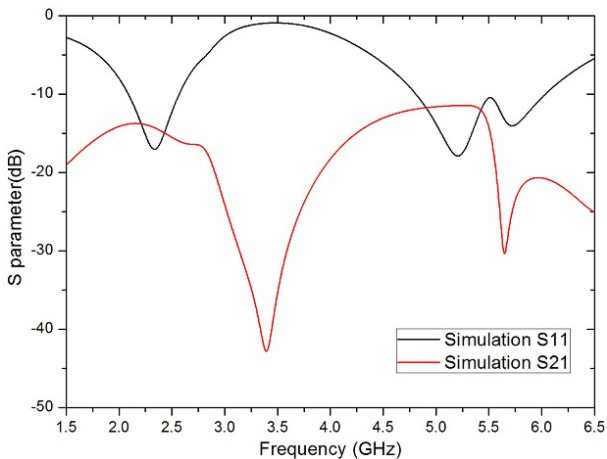
### 三、設計去耦合結構與量測

#### 3.1 去耦合結構

為了消除 MIMO 天線的電磁耦合之影響，在兩根天線的中心分別放置 2.45GHz 及 5.8GHz 的彎曲共振器作為去耦合結構，如圖六所示。由第一根天線所輻射出的輻射電場，由中間的共振器吸收，使第一根天線的輻射電場不會進入到第二根天線裡，達到去耦合的目的。圖六裡標示 A 的共振器是為 2.45GHz 的二分之一波長(約 61.22mm)所設計，共振器線寬為 0.5mm，中間間隔為 1mm，放置在 FR4 板的背面，並以模擬的方式找出 2.45GHz 共振器放置兩根天線中心最佳的高度。圖七表示只加入 2.45GHz 共振器所模擬的反射係數。模擬結果在 2.45GHz 的穿透係數為-23dB，下降幅度為 7.29dB。另外可以發現到加入 2.45GHz 共振器只會對 2.45GHz 頻帶有影響，不會對 5.8GHz 頻帶有作用。圖六裡標示 B 的共振器是為 5.8GHz 的二分之一波長(約 25.86mm)所設計的，共振器線寬為 0.5mm，中間間隔為 0.7mm，放置在 FR4 板的正面，並以模擬的方式找出 5.8GHz 共振器放置兩根天線中心最佳的高度。圖八表示只加入 5.8GHz 共振器所模擬的反射係數。模擬結果在 5.8GHz 的穿透係數為-22dB，下降幅度為 7.9dB。相同的也可以發現加入 5.8GHz 共振器只會對 5.8GHz 的頻帶有影響，不會對 2.45GHz 的頻帶有作用。因此，共振器形式的去耦合結構適合在此 MIMO 天線上做為隔離的用途

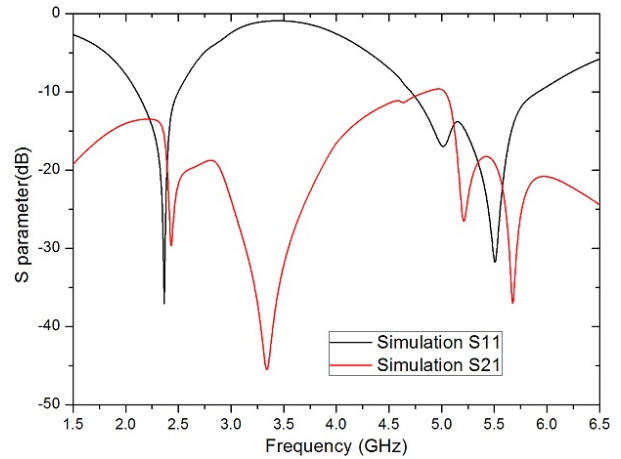


圖七：加入 2.45GHz 去耦合結構之反射係數



圖八：加入 5.8GHz 去耦合結構之反射係數

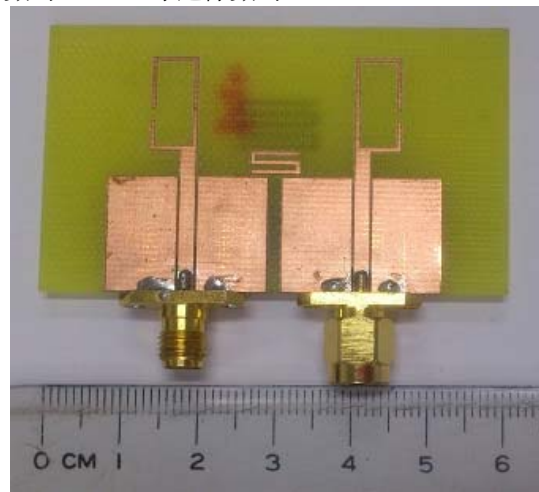
最後，將 2.45GHz 及 5.8GHz 的共振器同時放入 MIMO 天線裡，兩個共振器的距離為 0.5mm。圖九表示模擬 MIMO 天線中加入兩種頻率的共振器之反射係數。模擬結果在 2.45GHz 的穿透係數為-26.8dB，下降幅度為 11dB。在 5.8GHz 的穿透係數為-22.9dB，下降幅度為 8.8dB。因為 2.45GHz 的共振器是放置在整體電路的背面，而 5.8GHz 是放置在整體電路的正面，因此，這兩個共振器不會產生互相耦合的影響，而改變原本設計的特性，所以這兩個共振器可以分別獨立的吸收自身頻率的電磁耦合效應。



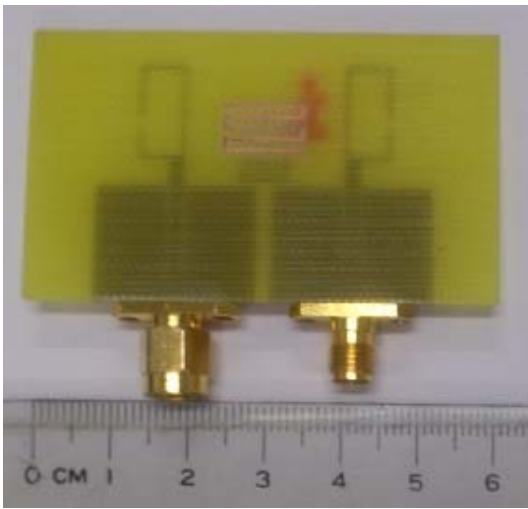
圖九：最後 MIMO 天線之反射係數

#### 3.2 量測結果

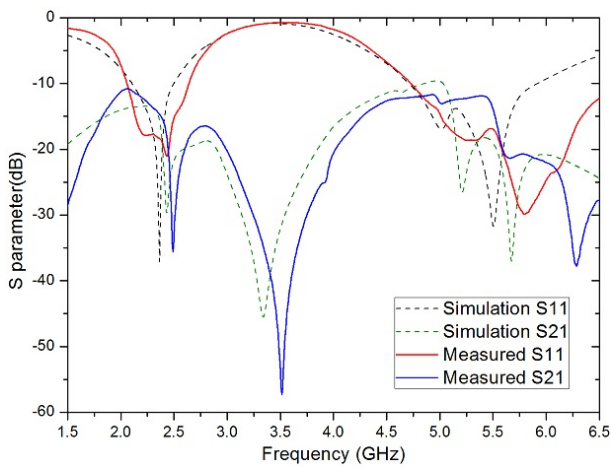
圖十表示實際 MIMO 天線電路的正面與背面。圖十一表示 MIMO 天線加入去耦合結構的模擬與實際量測結果。量測結果為第一頻率為 2.45GHz 的反射係數為-19.98dB 而穿透係數為-21dB，第二頻率為 5.8GHz 的反射係數為-29.9dB 穿透係數為-20.74dB。



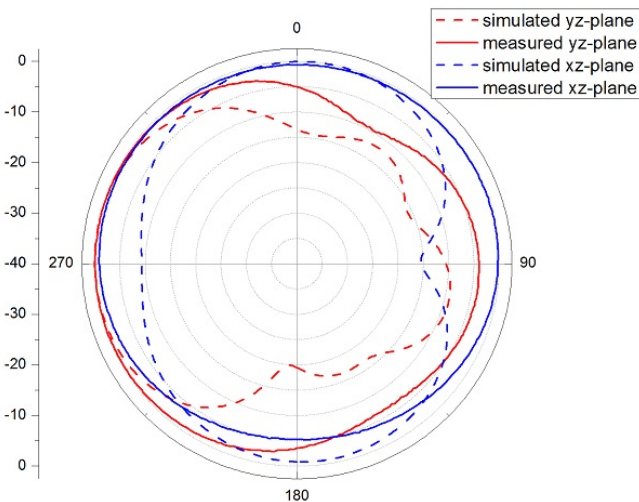
(a)



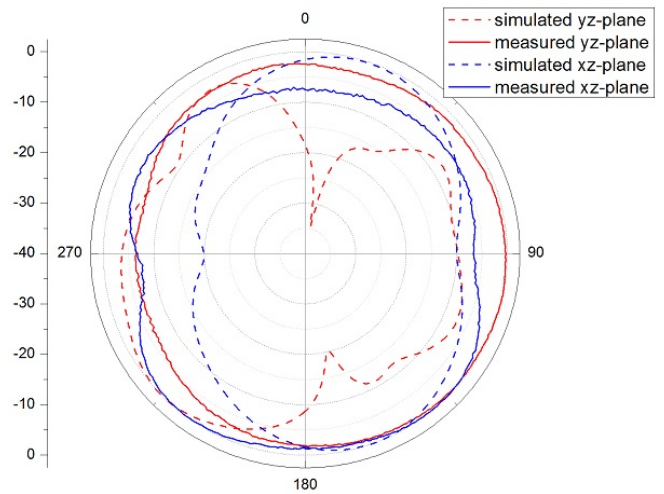
圖十：實際 MIMO 天線電路的正面(a)與背面(b)



圖十一：MIMO 天線之反射係數模擬與實際量測結果



圖十二：量測 MIMO 天線之 2.45GHz 輻射場型



圖十三：量測 MIMO 天線之 5.8GHz 輻射場型

量測 MIMO 天線的輻射場型是將其中一個天線的饋入端接上 50 歐姆負載，另一個天線量測輻射場型。圖十二表示模擬及量測 MIMO 天線的 2.45GHz 輻射場型及圖十三表示模擬及量測 MIMO 天線的 5.8GHz 輻射場型。2.45GHz 時天線增益為-0.253dB 而在 5.8GHz 時天線增益為 5.058dB。從圖十二及十三可以清楚的看到，在 x-z 平面的右邊有兩個明顯的零點(null)，這是由另外一邊接上負載的天線所產生的。而左邊則是一個半橢圓形的場型，因此，當兩根天線同時輻射時，整個 MIMO 天線的場型是為全向性且無死角的。

## 結論

本篇利用二分之一波長的共振器來作為 MIMO 天線去耦合之結構，實驗結果確實可以降低 MIMO 天線之間的電磁耦合能量，以達到隔離的作用。另外，共振器之間並不會互相影響自身以外的頻率，是一種較佳的隔離方式。因此本篇 MIMO 天線可以往多頻帶的方向繼續研究。

## 參考文獻

- [1] Yun-Trek Im, Jee-Hoon Lee, Rashid Ahmad Bhatti, and Seong-Ook Park, "A Spiral-Dipole Antenna for MIMO Systems," *IEEE Antennas and wireless propagation letter*, Vol. 7, 2008.
- [2] Chi-Yuk Chiu, Jie-Bang Yan, and Ross D. Murch, "Compact Three-Port Orthogonally Polarized MIMO Antennas," *IEEE Antennas and wireless propagation letters*, Vol.6, 2007.
- [3] Saou-Wen Su, and Cheng-Tse Lee, "Low-Cost Dual-Loop-Antenna System for Dual-WLAN-Band Access Points," *IEEE Transaction on antennas and propagation*, Vol.59, May, 2011.
- [4] KasraPayandehjoo, and Ramesh Abhari, "Employing EBG Structures in Multiantenna Systems for Improving Isolation and Diversity Gain," *IEEE Antennas and wireless propagation letters*, Vol.8, 2009.
- [5] Chih-Chun Hsu, Ken-Huang Lin, and Hsin-Lung Su, "Implementation of Broadband Isolator Using Metamaterial-Inspired Resonators and a T-Shaped Branch for MIMO Antennas," *IEEE Transactions on antennas and propagation*, Vol.59, No. 10, Oct. 2011.
- [6] Chi-Hsuan Lee, Shih-Yuan Chen, and Powen Hsu, "Integrated Dual Planar Inverted-F Antenna With Enhanced Isolation," *IEEE Antennas and wireless propagation letters*, Vol.8, 2009.
- [7] Shin-Chang Chen, Yu-Shin Wang, and Shyh-Jong Chung, "A Decoupling Technique for Increasing the Port Isolation Between Two Strongly Coupled Antennas," *IEEE Transactions on antennas and propagation*, Vol.56, No.12, Dec. 2008.