

具智慧型天線系統功能之 IEEE 802.11g 於 ZIGBEE 系統干擾環境下之效能評估

鄭獻勳^a、權振萬^{*}、雷翔羽^{*}、邱弘智^{*}

sjeng@ndhu.edu.tw, cwtsung@stu.edu.tw, s99637110@stu.edu.tw, s11637107@stu.edu.tw

樹德科技大學電腦與通訊所^{*}

國立東華大學電機工程研究所^a

摘要—IEEE 802.11 為結合 IEEE 802.11a 和 IEEE802.11b 的優點所開發之系統，其操作頻帶置於 2.4GHz，但此頻帶上亦有 ZIGBEE 系統存在。本論文中將智慧型天線系統的波束合成演算法則—主要到達方向法(The Dominant DOA Approach)與虛擬反運算法(The Pseudoinverse Dominant DOA Approach)應用於 IEEE802.11g 系統，並評估系統受到 ZIGBEE 系統同頻干擾後之效能表現。模擬的結果顯示，將以到達方向法為基礎的波束合成演算法，應用於 IEEE 802.11g 系統後，系統效能之位元錯誤率於同頻干擾下之表現較為未使用時來的好。因此，波束合成演算法則可以改善因 ZIGBEE 系統之干擾造成的衰落現象，增加訊號增益，達到提升 IEEE 802.11g 系統通訊品質的目的。

關鍵字：無限區域網路 IEEE 802.11g、ZIGBEE、智慧型天線。

一、緒論

自從1997年IEEE802.11 標準公布後，無線網路受限於最高2Mbps的傳輸速率，而1999年IEEE802.11b推出後，捨棄IEEE 802.11中利用跳頻技 (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)，保留直序式展頻 (Direct sequence Spread Spectrum, DSSS)，並且加上互補碼調變技術 (Complementary Code Keying, CCK) 將速率推達 11Mbps。其後推出的IEEE802.11g，可視為在2.4GHz 免照頻帶的802.11b的延伸版本，並且利用正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 的技術，使得系統傳輸速率可達54Mbps。而 802.11g 向下相容於 802.11b，所以 802.11b 裝置不會直接干擾到 802.11g 的存取點 (Access Point, AP)。在現實中因為 IEEE802.11g 與 ZIGBEE 傳輸裝置都是在 2.4GHz 頻段中被使用，所以當此兩種系統在環境中共存時將會有干擾產生，在本文中我們將 IEEE802.11g 的訊號當作我們主要接收的訊號而 ZIGBEE 傳輸裝置則當作干擾使用，當 IEEE802.11g 訊號受到 ZIGBEE 訊號干擾時可能會造成 IEEE802.11g 訊號的解碼錯誤以及效能的衰減，本文中主要是探討在 IEEE802.11g 的環境當中，當訊號受到 ZIGBEE 傳輸裝置干擾的效能評估。

二、無限區域網路 IEEE 802.11G 傳輸訊號

傳輸的訊號可以用(1)複數基頻表示：

$$r_{RF}(t) = \text{Re} \{ r(t) \exp(j2\pi f_c t) \} \quad (1)$$

其中 Re 表示取複數訊號的實部， f_c 為載波中心頻率。基頻傳輸訊號由數個 OFDM 符碼子訊框(subframe)所組成，如式(2)：

$$r_{\text{PACKET}}(t) = r_{\text{preamble}}(t) + r_{\text{SIGNAL}}(t_{\text{SUBFRAME}} - t_{\text{SIGNAL}}) + r_{\text{DATA}}(t_{\text{SUBFRAME}} - t_{\text{DATA}}) \quad (2)$$

其中 $r_{\text{preamble}}(t)$ 、 $r_{\text{SIGNAL}}(t_{\text{SUBFRAME}} - t_{\text{SIGNAL}})$ 、 $r_{\text{DATA}}(t_{\text{SUBFRAME}} - t_{\text{DATA}})$ 表示符碼子訊框，而 t_{SIGNAL} 、 t_{DATA} 為符碼子訊框的延遲時間，(t_{SUBFRAME}) 分別為 16 μ s 和 20 μ s。

總結 OFDM 符碼各子訊框表示式，如式(3)：

$$r_{\text{SUBFRAME}}(t) = w_{\text{SUBFRAME}}(t) \sum_{k=-N_{ST}/2}^{N_{ST}/2} C_k \exp(j2\pi k \Delta_f t) (t_{\text{SUBFRAME}} - T_{\text{GUARD}}) \quad (3)$$

其中 Δ_f 、 N_{ST} 分別為子載波間隔以及總載波個數。

三、ZIGBEE 訊號產生

ZIGBEE 所使用的調變技術為 O-QPSK 調變。因此，當資料經過封裝以後會經過 O-QPSK 進行調變。如圖一。此電路按照如下步驟：

1. 把發送基頻的位元流每 4 位元分為一列，並轉換成符號。例如：“1010”的位元串轉換成符號“5”。需要注意的是，IEEE 802.15.4 中規個從最低效位元 (LSB: Least Significant Bit) 開始順次傳輸，因此位元流的順序不是“0101”，而是反過來“1010”。
2. 將得到的符號轉換成對應的 PN 串列的片碼串列 (32 片碼) 後，進行頻譜延伸。依照下面表 I，得到符號 “5” 的 PN 串列的片碼串列為 “00110101001000101110110110011100”。

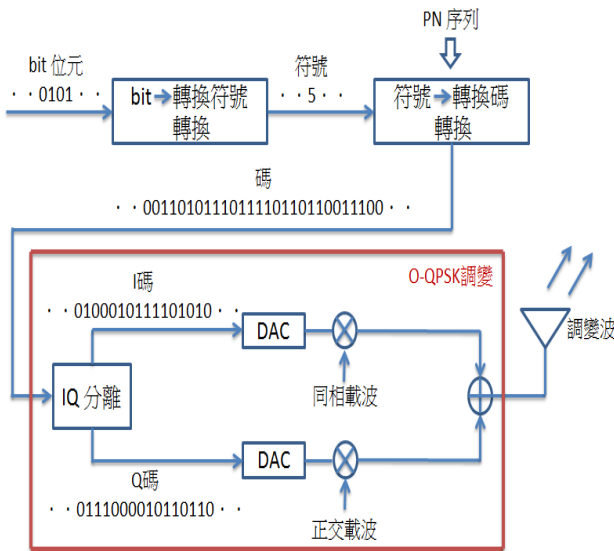
3. 將被轉換的 PN 串列的片碼串列分為奇數片碼和偶數片碼，分別將奇數片碼和偶數片碼作為 I 相 PSK 信號和 Q 相 PSK 信號。例如：“5”的 PN 串列的 I 相 PSK 信號和 Q 項的 PSK 信號分別為“010001011101010”，“0111000010110110”。
4. 分別對 I 相 PSK 信號和 Q 相 PSK 信號進行 D/A 轉換，將其轉換成類比信號。從此處開始的電路即是類比電路。
5. 將得到的兩個類比信號，分別與載波和載波經過 $\pi/4$ 的延遲電路而得到的正交載波相乘，可得到調變波的同相成分和正交成分。
6. 調變波的同相成分和正交成分加疊，產生調變高頻電波，如使用功率增幅器對信號進行增幅，那麼信號就能從天線傳輸出去。

Data symbol (Decimal)	Data symbol (Binary) (b ₀ b ₁ b ₂ b ₃)	Chip values (c ₀ c ₁ ... c ₃₀ c ₃₁)
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	1000	11101101100111000011010100100010
2	0100	00101110110110011100001101010010
3	1100	00100010111011011001110000110101
4	0010	01010010001011101101100111000011
5	1010	00110101001000101110110110011100
6	0110	1100001101010100100010111011011001
7	1110	10011100001101010010001011101101
8	0001	10001100100101100000011101110111
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	0101	01111011100011001001011000000111
11	1101	01110111101110001100100101100000
12	0011	00000111011110111000110010010110
13	1011	01100000011101111011100011001001
14	0111	10010110000001110111101110001100
15	1111	11001001011000000111011110111000

四、智慧型天線系統

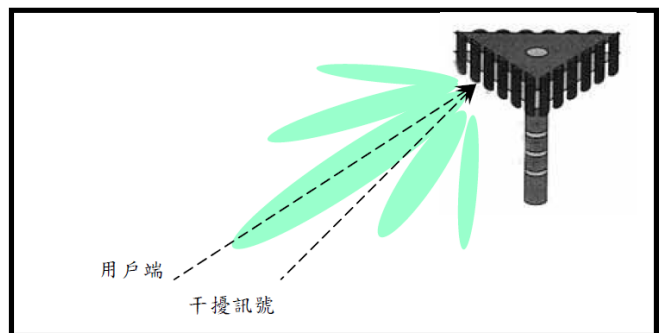
4.1 自適性天線陣列系統(Adaptive Antenna Array)

自適性天線陣列系統具有動態調整的特性，不僅會依據目標用戶的所在位置來產生特定方向的窄波束外，且波束可以隨著用戶端的移動而進行動態調整，使其在波束場型上有最高增益的主波束指向目標用戶的方向，並利用對振幅及相位的調整，使得多重路徑與其它用戶的角度上生成零強度(Null)的場型，以降低多重路徑衰落的程度與抑制同頻干擾的影響。如圖二所示，經由加權向量對波束場型的調整，自適性天線陣列系統更可以提供空間分集的功能來合成同調(Coherent)的多重路徑訊號，如此對目標用戶的訊號能得到更大的增益並增加對系統的效能改善。



圖一：訊號產生電路

表 I
2.4GHz 模式符號到子碼對應表



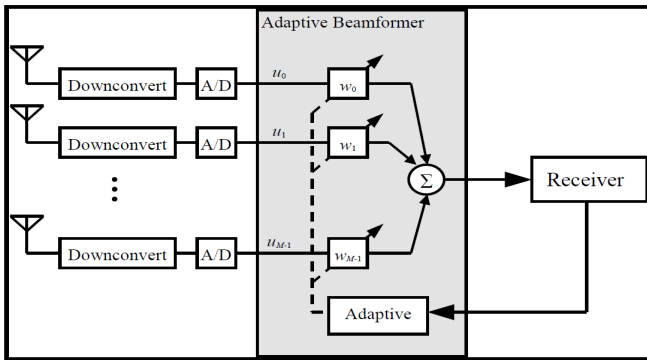
圖二：自適性天線陣列系統

自適性天線陣列系統的基本架構如圖三所示。自適性天線陣列系統主要是利用一個自適性的波束合成器來產生適當的波束場型以收發訊號；利用降頻器等射頻/中頻元件及類比/數位轉換器將陣列天線接收到的訊號轉換至基頻後，自適性波束合成器會根據目標用戶的空

間特徵(Spatial Signature)來合成訊號，而自適性波束合成器的工作原理便是將接收之基頻陣列訊號 \mathbf{u} 與一組複數之加權向量 \mathbf{w} 作運算處理，如對第 k 個使用者而言，在第 i 個時間取樣點上的輸出訊號 $y_{k,i}$ 即為(4)， \mathbf{H} 為轉至運算：

$$y_{k,i} = \mathbf{w}_{k,i}^H \mathbf{u}_{k,i} \quad (4)$$

透過與此複數加權向量之運算可對接收訊號作振幅與相位上的調整，以增加目標用戶的訊號強度，並抑制與降低其它用戶與本身多重路徑造成的干擾，而此加權向量是經由自適性之演算法則運算產生。



圖三：自適性陣列天線系統架構

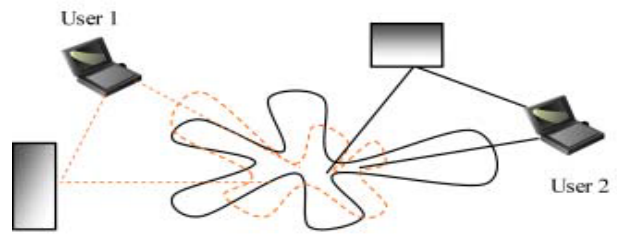
波束合成的技術有四種，第一類是以訊號空間特徵為基礎的演算法，分別為共軛複數空間特徵法(The Complex Conjugate SS Approach)和虛擬反運算空間特徵法(The Pseudoinverse SS Approach)，第二類是以訊號到達方向為基礎所推演的演算法則，分別為主要到達方向法(The Dominant DOA Approach)，以及虛擬反運算到達方向法(The Pseudoinverse DOA Approach)。而本文中將利用以到達方向為基礎的演算法來合成波束。

4.2 波束合成

波束合成之基本原理是利用一組複數的加權向量來調整無線電波的波束場型，使用適當的輻射場型收發訊號，以得到空間分集的功能來增強訊號強度與抑制雜訊及同頻干擾，本論文將採用主要到達方向以及虛擬反運算到達方向法之演算法則來產生所需的加權向量，演算法則之內容敘述如下：

1. 主要到達方向法(Dominant DOA Approach, DDOA)

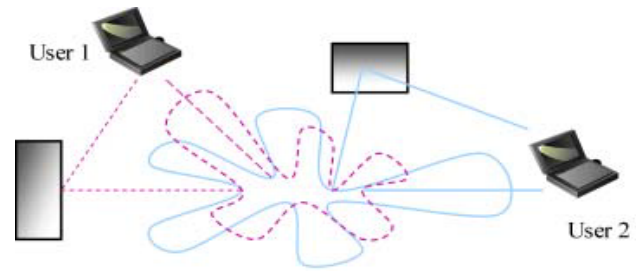
首先，先取得上鏈訊號空間特徵，再估測出訊號之入射角度，再根據所估測出的訊號入射角度及所對應的相對振幅大小 $\{|\alpha_k|\}$ ，選擇相對振幅最大者所對應的訊號入射角度產生此角度的陣列天線響應 $\mathbf{a}(\theta_k)$ 並取其共軛複數作為下鏈的加權向量。如圖四。



圖四：主要到達方向法之示意圖

2. 虛擬反運算到達方向法 (Pseudoinverse DOA Approach, PIDOA)

這個方法與主要到達方向法相當類似，在上鏈中取得每個用戶端的訊號入射角度，將訊號到達方向 $\{\theta_k\}$ 的天線陣列響應做虛擬反運算產生加權向量，此加權向量會將主波束指向想要訊號的方向，並且把零強度波束放置在其它用戶與多重路徑等不要訊號的到達方向上，這樣就可以把干擾最小化。如圖五。



圖五：虛擬反運算到達方向法之示意圖

五、 角度擴展

角度擴展在模擬訊號到達方向角度上是非常重要的，可提供智慧型天線系統所需的資訊。智慧型天線系統可使用波束合成技術來達到提升通訊品質的目的，當傳送訊號在路徑環境中經由反射、折射、散射等效應，在接收天線陣列可以在某一角度接收到訊號，但由於多重路徑的影響，接收天線陣列也可以在其他的角度接收到相同的訊號，產生所謂的角度擴展現象。在本論文中是假設角度擴展為 60 度，而每一個使用者的到達方向角度是利用常態分佈來產生，最後產生出訊號到達方向角度可由表 II 得知。

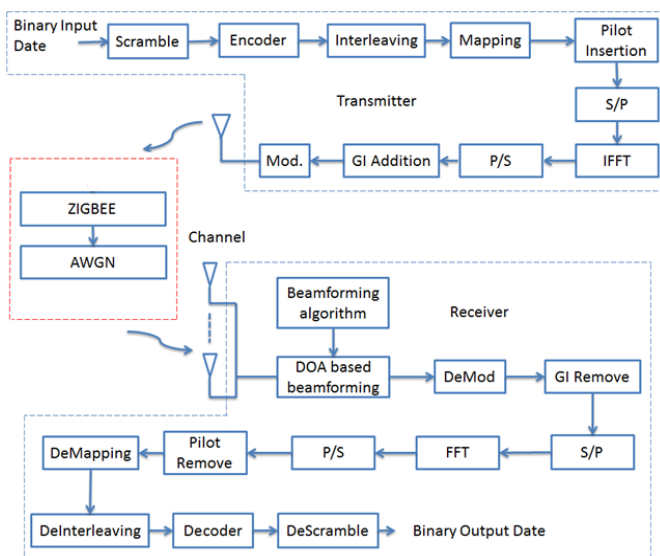
表 II
本論文所使用之到達方向角度

使用者	到達方向角
IEEE 802.11g使用者	-23.09
Zigbee使用者1	11.1414
Zigbee使用者2	-6.7675
Zigbee使用者3	33.5207

六、 利用智慧型天線系統之 IEEE 802.11g 於 ZIGBEE 系統干擾環境下之效能評估

6.1 系統參數設定與模擬環境假設

本論文模擬系統如圖六：



圖六：系統傳輸方塊圖

在模擬的場景中，設定 802.11g 所使用的調變為 QPSK，並且傳輸速率為 12 Mbps，其封包的產生是假定接收端已知發射端所使用的傳送速率，及其他解調所需的資訊，故只產生資料欄位的位元，並經過位元處理，為了節省模擬複雜度，在本文中 802.11g 發射機系統中並未加入迴旋編碼，而只是將資料補足到 12 Mbps 系統所需的位元數。模擬參數如表 III。智慧型天線系統參數中，天線個數為 8，並且天線間距 0.0625 公尺 ($d = \lambda/2$)。在本文中，ZIGBEE 扮演著干擾訊號的角色，此干擾訊號將先經過展頻，在使用 O-QPSK 進行調變發射到接收端。本文中所使用之參數如表 V 中紅色的部份。

表 III

IEEE 802.11g 時間參數表

Parameter	Value
N_{SD} : Number of data subcarriers	48
N_{SP} : Number of pilot subcarriers	4
N_{ST} : Number of subcarriers, total	52 (= NSD+NSP)
ΔF : Subcarrier frequency spacing	0.3125 MHz (= 20MHz/64)
TFFT : IFFT/FFT period	3.2 μ s (= 1/ ΔF)
TPREAMBLE : PLCP preamble duration	16 μ s (= TSHORT+TLONG)
TSIGNAL : Duration of the SIGNAL BPSK-OFDM symbol	4.0 μ s (= TGI+TFFT)
TGI : GI duration	0.8 μ s (= TFFT/4)
TGI2 : Training symbol GI duration	1.6 μ s (= TFFT/2)
TSYM : Symbol interval	4 μ s (= TGI+TFFT)
TSHORT : Short training sequence duration	8 μ s (= 10*TFFT/4)
TLONG : Long training sequence duration	8 μ s (= TGI2+2TFFT)

表 IV

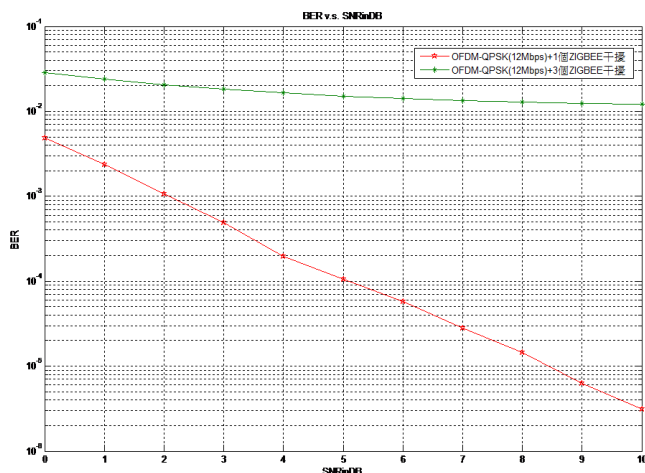
IEEE802.15.4 操作頻段和調變參數

PHY	Frequency Band	Spreading parameter		Data Parameters		
		Chip Rate	Modulation	Bit Rate	Symbol Rate	Symbol
868/915MHz	868-868.6 MHz	300 Kchip/s	BPSK	20k b/s	20k symbol/s	Binary
		600 Kchip/s	BPSK	40k b/s	20k symbol/s	Binary
2.4 GHz PHY	2.4-2.4835 GHz	2.0 Mchip/s	OQPSK	250k b/s	20k symbol/s	16-ary Orthogonal

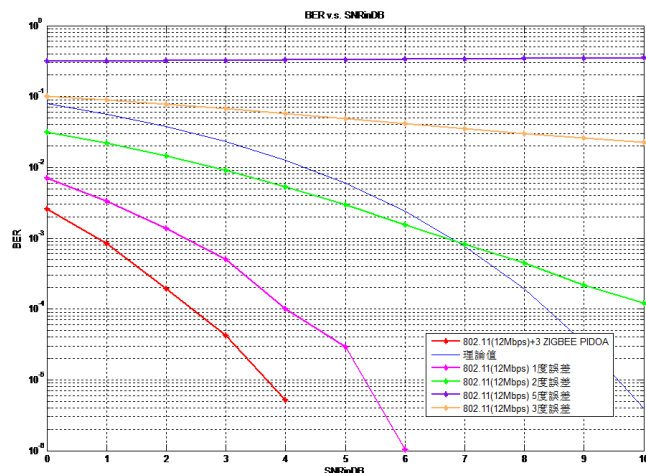
6.2 模擬結果

1. IEEE802.11g 使用 DDOA 之效能表現

如圖七所示，因 DDOA 演算法則僅提升接收訊號之訊雜比，並無法將波束場形中零功率點指向 Zigbee 干擾訊號的方向。因此，我們可以發現當 Zigbee 使用者個數提升時，DDOA 波束合成演算法則之效能將因此下降。



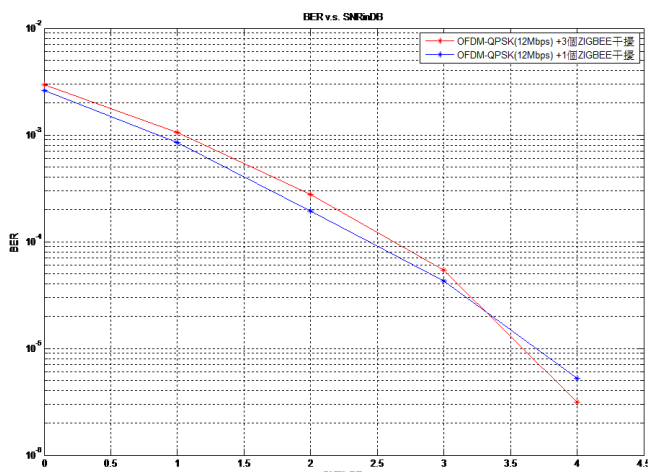
圖七：DDOA 演算法則改善模擬圖



圖九：角度誤差

2. IEEE802.11g 使用 PIDOA 之效能表現

圖八為虛擬反運算到達方向波束合成演算法之模擬結果，此一波束合成方式可將波束場型中零功率點指向干擾訊號，所以此波束合成方式可以消除掉所有的干擾，使得效能可以得到大幅度的提升，由圖中可以看到不管 IEEE802.11g 訊號受到 1 組 ZIGBEE 訊號干擾或者是 3 組 ZIGBEE 訊號干擾只要使用虛擬反運算到達方向波束合成演算法都可以很好的使效能得到提升。



圖八：PIDOA 演算法則改善模擬圖

3. 利用智慧型天線系統之 IEEE 802.11g 在 3 組 ZIGBEE 干擾下的角度誤差

圖九為在具有不同的角度誤差時，虛擬反運算到達方向角度波束合成法對誤差角度造成的衰減程度作模擬探討，使用虛擬反運算到達方向法，在估測角度有 2 度誤差時，系統對於系統效能改善幅度大幅降低至和不使用智慧型天線系統接近。誤差達 3 度之後效能已比沒有波束系統差。由上述兩例模擬結果，相較於未使用波束合成系統，在一定訊雜比的環境之下，當估測角度和實際訊號到達方向角度有相當程度的誤差內時，系統仍然可以提升。

結論

本文評估以智慧型天線系統來解決 IEEE 802.11g 和 ZIGBEE 裝置之間干擾的問題，文中利用了以到達方向角為基礎的主要到達方向法與虛擬反運算到達方向法兩種演算法則分別來解決此一室內之干擾現象。

經過模擬以後發現 DDOA 演算法雖然複雜度較低但是還是會保留干擾訊號導致錯誤率無法下降，而 PIDOA 演算法雖然複雜度較高但是因為此演算法幾乎消除了所有干擾，所以效能能夠得到提升。

參考文獻

- [1] IEEE Std 802.11-1999, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society.
- [2] IEEE Std 802.11a-1999, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : High-speed Physical Layer in the 5 GHz band, LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society.
- [3] IEEE Std 802.11b-1999, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.
- [4] IEEE Std 802.11g-2003, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band.
- [5] 張峰賓, Performance Evaluation of IEEE 802.11g With Smart Antenna System in the Presence of Bluetooth Interference Environment, 2005/9.
- [6] Joseph C. Liberti, Jr. and Theodore S. Rappaport, "Smart Antenna for Wireless Communications" Prentice Hall PTR, 1999.
- [7] Simon R. Sunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication System" John Wiley & Sons Ltd, 1999.
- [8] S. U. Pillai, and B. H. Kwon, "Forward/ Backward Spatial Smoothing Techniques for Coherent Signal Identification." IEEE Transactions on ASSP, Vol. 37(1): pp. 8-15, Jan 1989.

Abstract

IEEE 802.11g combines the advantages of IEEE 802.11a and IEEE 802.11b. The operating band of 802.11g is the 2.4 GHz. However, ZIGBEE system also utilizes this band. This thesis applies the beamforming algorithms of smart antenna system including the dominant DOA and the pseudoinverse DOA to the 802.11g system and evaluates

the performance of 802.11g system under the co-channel interference of ZIGBEE. The simulation results show that when DOA based beamforming algorithms are applied to IEEE 802.11g, the BER will decrease. The DOA based beamforming algorithms can improve the fading phenomenon due to interference of ZIGBEE system, increase the gain of signal, and suppress the co-channel interference between devices. Therefore, the smart antenna can boost the communication quality of IEEE 802.11g system.

Keywords : WLAN IEEE 802.11g, ZIGBEE, smart antenna

