



行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

無線通信通道特性的模擬、量測與分析—子計劃三：
 無線通信系統傳輸錯誤率及統計特性的分析
 The analysis and calculation of the BER
 performance and statistical characteristics for
 wireless communication system

計畫類型：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 88-2213-E-032-011

執行期間：87年8月1日至88年7月31日

計畫主持人：丘建青教授

處理方式：

可立即對外提供參考

一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

執行單位：淡江大學電機系所

中華民國 88 年 7 月 31 日

無線通信通道特性的模擬、量測與分析—子計劃三：無線通信系統 傳輸錯誤率及統計特性的分析

The analysis and calculation of the BER performance and statistical characteristics for wireless communication system

計劃編號：NSC 88-2213-E-032-011

執行期間：87年8月1日至88年7月31日

計劃主持人：丘建青

淡江大學電機系教授

一、中文摘要（關鍵字：多重路徑、符元干擾、位元錯誤率、失效率、遺傳演算法則、圓弧陣列天線、扇形天線）

在室內環境，由於無線電波很容易受到遮蔽物的影響，這些遮蔽物如：牆壁、天花板及傢俱等，使得無線電波將經由多重反射、繞射等路徑而到達接收天線，此現象稱之為多重路徑效應。由於此效應造成的符元干擾，使得通訊位元錯誤率及失效率增加，亦即通話品質變差了。遺傳演算法則在這裡是被用來把具有指向性的圓弧陣列天線組合成為一種具有扇形輻射場型的扇形天線。並且研究以這樣的扇形天線在室內無線毫米波通道的特性分析。根據數值結果顯示，這種經過設計所合成的扇形天線在室內無線毫米波通道中能夠有效地抑制多路徑效應所造成的衰減，並且明顯地提高系統的資料傳輸速率。

英文摘要（keyword: multipath, intersymbol interference, bit error rate, outage probability, genetic algorithm, circular arc array antenna, sectored antenna）

Radio wave is easily effected by obstacles in indoor environments. The obstacles are walls, ceilings, furniture in indoor environment. These obstacles will cause multiple reflection and diffraction of the radio waves and the phenomenon is called as multipath effect. Due to this multipath effect, the intersymbol interference which increases the bit error rate and outage probability of the communication

system occurred. As a result, the quality of communication becomes worse. The genetic algorithm is used to synthesize the directional circular arc array antenna as a sectored antenna. Then, the performance of this sectored antenna in indoor wireless millimeter wave channel is investigated. Numerical results show that the synthesized sectored antenna is effective to combat the multipath fading and can increase the transmission rate of indoor millimeter wave system.

二、計畫緣由與目的

近幾年來，室內辦公室的無線資訊網路已經引起了相當多人的關注與研究。對於目前日漸擁擠的頻帶而言，60GHz 的毫米波頻帶的使用是另外一種選擇。事實上，毫米波頻帶在於降低通道的傳播延遲時間有顯著的功效[1], [2]。但是無論如何，幾種多路徑效應所造成的衰減，還是限制了資料傳輸的速率。尤其當無線通訊使用者在操作手機的時候，並不知道波的來向，因此，適當地運用窄波束的天線，可以有效的抑制衰減的問題。根據這樣的結果，對於多路徑效應而言，使用具有扇形輻射場型的天線是一種相當有效的對策[3], [4]。

為了組成一種具有扇形輻射場型的天線，究竟要如何來調整陣列天線上的激勵電流大小與相位，則是可以看成一種處理最佳化的問題。近來的一些處理最佳化方法的文獻[5]中，一種有名的法則，遺傳演算法則，

是利用編碼的技巧將所有要搜尋的變數作編碼運算處理之後，再作隨機任意選取搜尋。理論上而言，遺傳演算法則會避開掉入區域極值的危險，找到問題的全域極值。因此，我們利用遺傳演算法則把具有指向性的圓弧形之陣列天線組合成為一種具有扇形幅射場型的天線，並且研究以這樣的扇形天線在室內無線毫米波通道的特性分析。

三、研究方法及成果

(一) 以遺傳演算法則來完成弧形陣列天線的輻射場型

由於圓形陣列天線之排列方式具有空間上的對稱性，只要將天線的電流激勵方式，彼此在空間上作位移的調整就可以輕易地完成全方向的掃瞄。因此除了可以得到良好的天線特性之外，並且可以節省在訊號處理以及硬體設計方面的複雜度與成本。

如圖 1 所示，我們假設總共有 M 根天線，以天線與天線之間的間距為 $\lambda/2$ 等距離依序地排列在半徑為 R 的圓型陣列上，此時天線與天線之間在空間上的張開的角度為 $2\pi/M$ 。我們只有啟動(turn on)在部分弧形範圍內的 N 根天線，並且調整在天線上的激勵電流，使得輻射場型符合我們所設計的要求。我們由 [6] 可以寫下弧形陣列天線的輻射場型：

$$F(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^L I_n e^{j\alpha_n} e^{j\beta R \sin\theta \cos(\phi - \phi_n)} FE(\phi - \phi_n) \dots\dots\dots(1)$$

其中， I_n 與 α_n 分別為天線上激勵電流的大小與相位， β 是波速，而 $FE(\theta, \phi)$ 為正規化的單元因子(element factor)。

在此，我們考慮一種各向異性的單元因子 [7] 為：

$$FE(\theta, \phi) = \frac{1}{3} \sin\theta \left[1 + 2 \max \left(\cos\phi, -\frac{1}{2} \right) \right] \dots\dots\dots(2)$$

我們設計輻射場型的目標，是希望在波

束展開的範圍內降低其漣波(ripple)的成份，而在其他的範圍之中有較低的旁波瓣位準(sidelobe level, SLL)。遺傳演算法則可以幫助我們找到滿足此適應性函數的最佳解。

首先，將欲搜尋的參數範圍進行編碼(encode)，將每個參數值編碼成一串有限位元的字串(即每一字串代表一個參數值)。接著根據問題的需要，隨機地抽取一定數目的物種，作為母代的初始族群(population)，將初始族群經過編碼(decode)，根據問題要求的目標定義一適應函數(fitness function)藉以評量每個物種的適應特性及表現行為，判斷此物種是否該生存下去，然後根據每個物種的適應度(適應函數值)大小來複製較佳的物種。根據所要設計的輻射場型，我們可以寫下適應性函數：

$$SF = \left[\sum_{i=1}^J a_i (D_{d_i} - D_o_i)^2 \right]^{-1} \dots\dots\dots(3)$$

其中， D_d 是事先設計好的輻射場型值， D_o 是我們要用遺傳演算法則重複計算的參數，而 a_i 是在不同參數下所具有的權重。而且，此時 $J=2L$ 。

完成複製之後，將產生的新族群根據交配率，隨機性的把一族群中兩兩物種的部份位元相互交換，接著根據突變率隨機性的改變一族群中某些字串(物種)的部份位元值，以產生新的子代。然後從資訊交換生產池中挑選最佳的字串解碼成真正的數值。如此一代接著一代的進化，猶如生物界中的自然演進，直到找到符合要求的最佳解。遺傳演算法則的流程圖如圖 2 所示。

(二) 通道模型與系統描述

(A) 通道特性的計算

電波的傳播會以不同的路徑到達接收端而造成多路徑(multipath)效應，我們可以用一等效的基頻脈衝響應(baseband impulse response)來描述此多路徑波道的特性，其表示式如下：

$$h_b(\tau) = \sum_{k=0}^N \beta_k e^{i\theta_k} \delta(\tau - \tau_k) \quad \dots\dots\dots(4)$$

其中， k 是某多路徑的指標， β_k 是第 k 道波的增益， θ_k 是相位移， τ_k 是第 k 道波到達的時間， $\delta()$ 是單位脈衝響應。

讓我們考慮一種有四個鐵櫃的典型房間，如圖 3 所示。只要給定環境的發射、接收位置，則可以藉由改良後的彈跳式射線追蹤法來計算該環境的通道脈衝響應[8]。

(B)系統方塊圖

在本文中，我們所使用的調變解調器是二位元相移鍵(Binary phase shift keying, BPSK)的系統，並且考慮脈波整型(pulse shaping)、相位回復(phase recovery)以及時序回復(timing recovery)的電路，如圖 4 所示，為一以等效基頻通道模型為基礎的調變解調機制。其中， $h_t(t)$ 與 $h_r(t)$ 分別為發射波形濾波器以及接收波形濾波器，它們都是凸餘弦函數平方根(square root of the raised cosine function)的脈衝響應，而且止捲因數(rolloff factor) α 為0.5。而時序之重建是採用封包平方法(envelope-square scheme)[9]得到。至於相位之重建，是將解調之信號回授並以此回授信號幫助相位之重建，又稱為次最佳重調變法(near optimum remodulation scheme)[10]。

(三)數值結果

為了組成一種具有六扇形幅射場型的扇形天線，我們考慮一個落在 xy 的平面上，半徑為 $R = 2.392\lambda$ 以及有 $M = 30$ 個輻射單元的圓形陣列天線，而啟動的單元個數為 $M/2$ 。我們要求在主波束寬為 60° 內的漣波位準為 $\pm \frac{1}{2}dB$ ，而旁波瓣位準低於主波束 $10dB$ 。我們利用遺傳演算法則透過Eq. (3)的適應性函數去計算求得輻射單元上的激勵電流。最後完成的幅射場型如圖 5 所示。

接下來，我們考慮一個長 \times 寬 \times 高為 $11m \times 12m \times 4m$ 的典型房間，如圖 3 所示。我

們假設牆壁、天花板、地板的厚度皆為 25 公分厚的水泥，且其材質係數是在 57.5GHz 為

$\epsilon_r = 6.5 - 0.43j$ [1], [11]。發射天線和接收天線都是半波長偶極天線，而且極化方式皆為垂直極化，而發射天線所擺的位置是在建築物的中央，亦即座標(5.5m, 6m, 3.5m)的位置；接收天線的高度固定在 1.5 公尺，且均勻的分佈在建築物中，大約有 2000 個左右的接收點。藉由扇形天線的幅射場型，除了在扇形的範圍內可以接收的到能量訊息之外，其他來向的能量訊息將會降低。因此，通道脈衝響應經由扇形天線之後，將會適當地減少其他來向的多路徑干擾。

為了進一步的了解該環境的通道靜態特性，因此，我們可以觀察在有無扇形天線下的均方根延遲擴散(rms delay spread)之累積分佈圖，如圖 6 所示。我們清楚地看到，經由扇形天線之後，平均而言，可以降低均方根延遲擴散約為 20%。

圖 7 為典型的房間在有無扇形天線下，失效率對資料傳輸速率的關係圖。由圖觀察得知，使用扇形天線確實能夠有效地降低失效率的問題。然而，為了要更進一步地降低失效率問題，並且有效地提高資料的傳輸速率，因此我們引進一個決策回授等化器(decision feedback equalizer, DFE)[12]用來降低多路徑效應的干擾。其中，決策回授等化器採用 4 個前項分接延遲增益(tap gain)以及 3 個後項分接延遲增益。由圖 7 的數值結果顯示，當同時使用扇形天線以及決策回授等化器的技術時，系統的資料傳輸速率能夠提高至 20Mbps，有效地增進系統的通訊效能。

四、結論與討論

我們研究了以遺傳演算法則把具有指向性的圓弧形之陣列天線組合成為一種具有扇形幅射場型的天線。根據我們所要設計的幅射場型以及陣列天線的擺設方式，將要調整陣列天線上的激勵電流大小與相位，看成一

種處理最佳化的問題。首先，設定好我們所希望的天線規格，透過適應性函數的調整，例如主波束寬、旁波瓣位準以及其他參數的調整等等，使用遺傳演算法則進行多點搜尋，不但可以避開掉入區域極值的危險，並且可以獲得我們所要的最佳近似解。

此外，我們將設計好的扇形天線輻射場型應用在室內無線毫米波通道的失效率分析。我們可以藉由彈跳式射線追蹤法來計算獲得該環境的通道脈衝響應。根據這些的通道脈衝響應，我們完成了扇形天線在二位元相移鍵控系統、相位回復以及時序回復電路中的效能分析。根據數值結果顯示，我們清楚地看到，經由扇形天線之後，平均而言，可以降低均方根延遲擴散約為 20%。另外，在室內無線毫米波通道中，這種經過設計所合成的扇形天線比起只有全向性的天線而言，能夠降低 40%的失效率。表示能夠有效地抑制多路徑效應所造成的衰減，並且明顯地提高系統的資料傳輸速率。

五、參考文獻

- [1] T. Manabe, Y. Miura and T. Ihara, "Effects of antenna directivity and polarization on indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 14, pp. 441-448, April 1996.
- [2] A. M. Hammoudeh and G. Allen, "Millimetric wavelengths radiowave propagation for line-of-sight indoor microcellular mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44, pp. 449-460, Aug. 1995.
- [3] G. Yang, K. Pahlavan and T. J. Holt, "Sector antenna and DFE modems for high speed indoor radio communication," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, pp. 925-933, Nov. 1994.
- [4] M. R. Williamson, G. E. Athansasiadon and A. R. Nix, "Investigating the effects of antenna directivity on wireless indoor communication at 60 GHz," *PIMRC '97., The 8th IEEE International Symposium* vol. 2, pp. 635-639, Sept. 1997
- [5] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989
- [6] F. Ares, S. R. Rengarajan, J. A. F. Lence, A. Trastoy and E. Moreno, "Synthesis of antenna patterns of circular arc arrays," *Electronics Letters*, vol. 32, pp. 1845-1846, Sept. 1996.
- [7] Y. C. Jiao., W. Y. Wei, L. W. Huang, and H. S. Wu, "A new low-side-lobe pattern synthesis technique for conformal arrays," *IEEE Trans. Antenna Propag.*, Vol. 41, pp. 824-831, June 1993
- [8] S. H. Chen and S. K. Jeng, "An SBR/Image approach for radio wave propagation in indoor environments with metallic furniture," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 45, pp. 98-106, Jan 1997.
- [9] J. C. Chuang, "The effects of multipath delay spread on timing recovery," *IEEE Tran. Veh. Technol.*, vol. 35, pp. 135-140, Aug. 1987.
- [10] J. Greenstein and B. A. Czekaj-Augmn, "Performance comparisons among digital radio technologies subjected to multipath fading," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 30, pp. 1184-1197, May 1982.

[11] K. Sato, T. Manabe, T. Ihara, H. Saito, S. Ito, T. Tanaka, K. Sugai, N. Ohmi, Y. Murakami, M. Shibayama, Y. Konishi and T. Kimura, "Measurements of reflection and transmission characteristics of interior structure of office building in the 60GHz band," *Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication*, vol. 1, pp. 14-18, Oct. 1996.

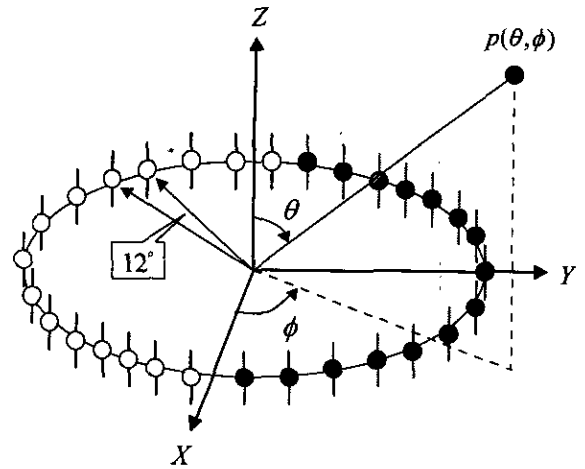


Fig. 1

[12] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principle and Practices*, Prentice-Hall, 1996.

Captions

Fig. 1. Geometry of circular arc array shaded circles indicate "on" elements.

Fig. 2. The flow chart for genetic algorithms.

Fig. 3. Model of a typical room.

Fig. 4. Block diagram of equivalent baseband communication system.

Fig. 5. Radiation pattern of circular arc array synthesized by the genetic algorithm.

Fig. 6. Cumulative distribution of rms delay spreads

Fig. 7. Outage probabilities versus transmission rate for three different receiver structures.

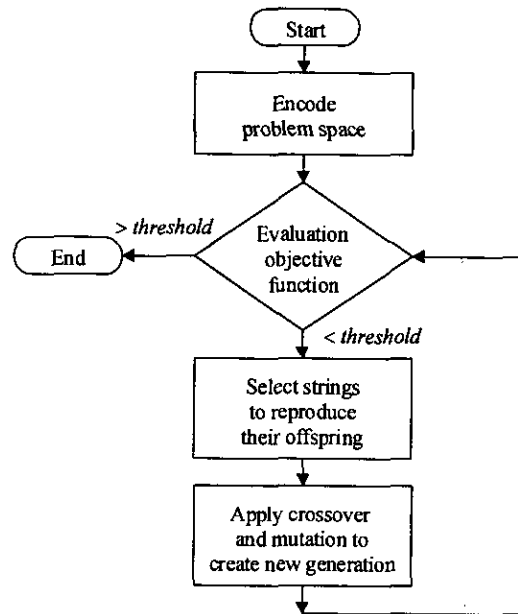


Fig. 2

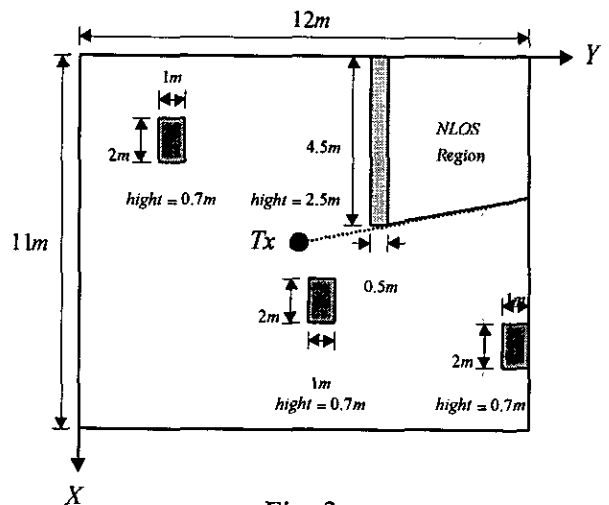


Fig. 3

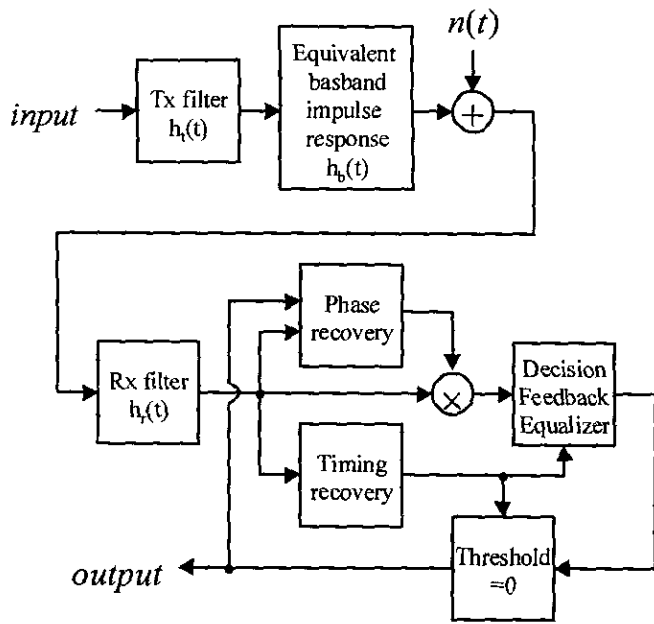


Fig. 4

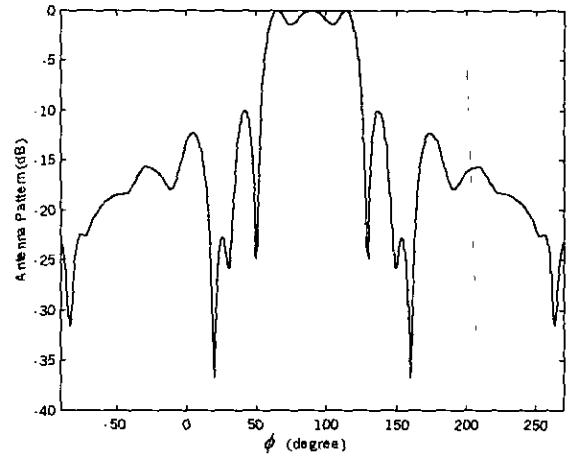


Fig. 5

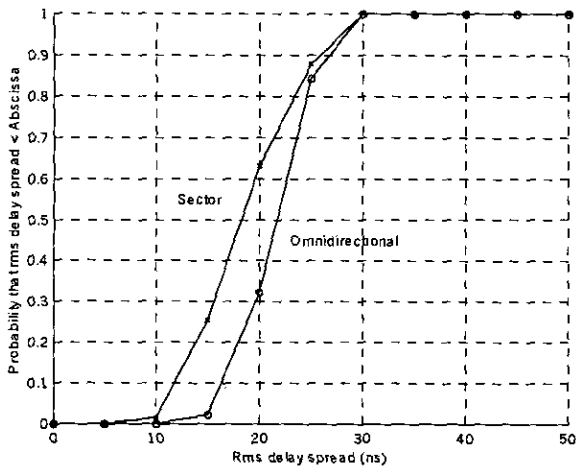


Fig. 6

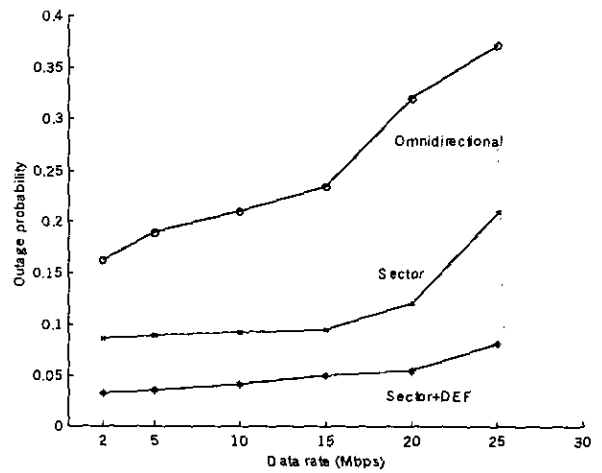


Fig. 7