

## 無線通訊之多重路徑衰弱效應的變異度分析與亂度化探討

李楊漢 梅剛正

淡江大學電機工程學系

TEL:(02)2621-5656 EXT2730

FAX:(02)2622-1565

E-mail:yhlee@ee.tku.edu.t

### 摘要：

無線通訊的訊號強度，受到多重路徑衰弱效應與環境的影響，使得接收訊號強度指示器(RSSI)訊號不斷改變。在本論文中，我們用實驗與數學分析，對RSSI訊號的變化程度做個完整的探討，驗RSSI訊號具有優秀的變異性與不可預測性。並且我們再提出一演算法使得RSSI訊號變為高亂度的二進位數值，做為良好亂數產生的方式。

關鍵詞：wireless communication, RSSI, multipath-fading, pseudo random number, wireless security

### 1.簡介：

在無線通訊上，最重要的是考慮到多重路徑衰弱(multipath fading)效應[1,2]；因為多重路徑衰弱會造成訊號強度的衰減，影響通訊品質；當訊號傳輸頻率越高時，多重路徑衰弱就越顯著，所以很多無線通訊皆配備接收訊號強度指示器(RSSI)，負責表明目前通訊的品質。多重路徑衰弱效應的發生，除了空氣中傳輸的衰減(fading)外，還有各種散射、繞射、反射物[3,4]等；環境的影響可分為兩大類--long-term fading[5]及short-fading[6]。Long-term fading的發生是指在傳輸路徑上一些相關地形的微小變化；short-term fading的形成是指在傳輸路徑上各種移動或固定的反射物體；動態因素的影響亦十分廣闊，包括物體移動造成訊號強度改變[7]或發生都卜勒(Doppler Effect)效應[8]，各種人工噪音[9]及溫度、溼度的變化[10]，訊號因為不同路徑造成抵達時間的不一致(Delay Spread)[11,12]，相近傳輸頻帶的訊號會有干擾現象(Coherence Bandwidth)[13,14]等，它們皆可造成傳輸訊號的強度、相角、頻率及接收時間的改變。產生多重路徑衰弱效應的因素多且複雜，其中還有時變性因子(time varying)，而測量多重路徑衰弱效應通常用RSS訊號表示，本篇論文的主旨是探RSS訊號的變異性，對於各種因素造成的訊號強度改變是否有固定的模式或週期，進而利用其特性來產生高亂度的數值[15]。本文著重於靜態環境RSSI訊號的變異度分析(變動的環境會使RSSI

訊號更無規則)；在第二段介紹實驗系統以及測量的環境；第三段對於RSS訊號在時間上的特性做分析；第四段RSS訊號在頻率上的特性做分析；第五段對於RSS在空間上的特性做分析；第六段則是說明RSS不同環境下的變異性及轉為高亂度數值的演算法；最後一段(第七段)做個總結與介紹RSS變異性的應用。

### 2.系統介紹：

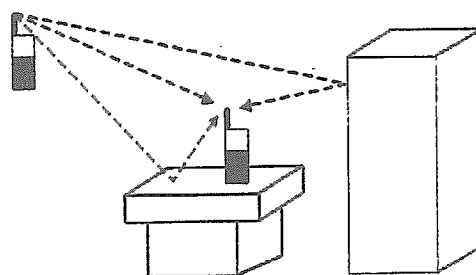


Figure 1: 由環境因素造成之多路徑衰弱示意圖

如圖(一)所示，首先從天線或無線網路卡接收外在環境所造成的多重路徑衰弱效應，其衰弱特性會顯示在無線通訊系統中頻解調器之RSSI經由輸入並記錄，接收訊號強度指示器(RSSI)即可用於測量接收訊號的強度大小，RSSI訊號本身為連續波形，所以必先經過取樣及量化：

$$R(nT) = R(t)|_{t=nT}, 0 \leq n \leq \infty$$

$R(t)$  為 RSSI 訊號,  $T$  為取樣週期,  $R(nT)$  為離散 RSSI 訊號。在我們設計的程式中, 把訊號強度量化分為 64 個等級; 最小是 0, 代表訊號非常微弱或是無法接收信號; 最大是 63, 代表訊號非常清晰強烈; 而 0 與 63 之間的值越大就代表接收訊號越強, 並且取樣週期  $T=3$  second。我們藉著 RSS 的測量來發現多重路徑傳輸造成訊號的強度變化 (訊號強度的改變當然不只是由多重路徑傳輸所造成, 但可想像成訊號在各種路徑傳輸會受到不同環境的影響)。

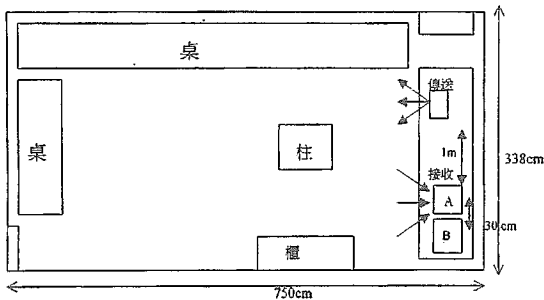


Figure 2 :測量地點簡圖

圖(二)所示為測量地點簡圖, 傳送端與接收端 A、B 放至於右邊桌上, 傳送端與接收端 A 距離 1 公尺, 接收端 A 和接收端 B 相距 30 公分; 注意: 因為接收訊號強度指示器(RSSI)有最大上限(即 63), 為了測量多重路徑的衰弱效應, 所以不能使訊號強度一直維持在最大值以上, 否則無法知道多重路徑所產生的強度變動性。

### 3. RSS 訊號之時間上的特性:

#### 3-1. 變異性的檢驗:

在這段主要是討論測量 RSS 訊號時, 以相同的位置且長時間測量; 我們測量 RSS 訊號的地點如圖(二)所示, 我們使用接收端 A 來接收 RSSI 訊號; 此時, 我們盡量保持周圍環境的一致性 & 測量位置的固定; 量測出的結果如圖(三)所示:

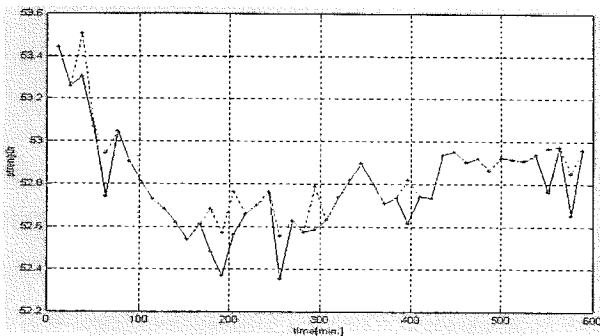


Figure 3 :時間與訊號強度關係圖

圖(三)所示為測量圖(二)所示地點的時間與 RSSI 大小關係圖, 可看出全部共測量 588.8 分鐘。在上段介紹過, 系統的取樣週期為 3 秒鐘, 所以圖(三)中的每一點代表 12.8 分鐘間的 RSSI 訊號取樣值的平均數(共 256 個 RSS 取樣值做平均)。實線表示平均數大小與時間作圖, 進一步分析此圖及測量數值的關係, 發現在一些相對低點都有包括 0 這個特殊值, 0 值在測量中是有可能會發生的, 它代表最強烈的多重路徑衰弱效應, 但也有可能是測量硬體的瞬間故障, 為了分析方便, 我們以虛線表示去除 0 值後的平均數大小與時間作圖, 一個起伏較低的圖。觀察圖(三)所形成的波形, 雖然無明確的固定波形, 但是變化範圍不是很大(以虛線圖來說, 最大值與最小值差約 1.2); 我們有興趣的是在圖(三)中較平穩的一段(500 分鐘---564 分鐘), 在上面曾經說過, 每一個點代表 256 個 RSS 取樣值做平均, 所以我們 500---564 分鐘間取出 1200 個連續的取樣值做數學處理得到以下結果: 最大值=56, 最小值=51, 平均值=52.917500, Variance=1.010694。

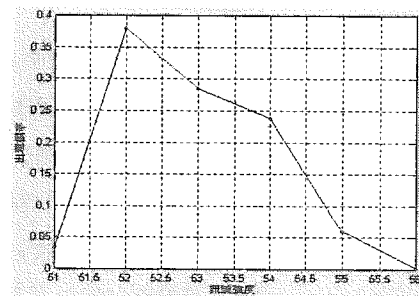


Figure 4 : 1200 個 RSS 訊號強度出現機率分布圖

我們特別選出平穩的一段做分析, 是希望表現出在較穩定的情形下, RSS 仍具有高的變異性。由圖(四)知 RSS 的大小值集中在 52、53、54, 而其他的值出現機率並不多且最大值和最小值差異並不大, 所以此時的多重路徑衰弱效處於較穩定的狀態; 接著考慮訊號本身的變異性, 我們定義一個數學式:

$$U = \frac{\sum |R(mT+3) - R(mT)|}{(k-1)}, T=3, m=1,2,3,\dots,k-1 \quad (1)$$

$R(mT)$  為 RSS 之取樣訊號, 因為取樣時間 3 秒鐘一次, 所以  $T=3$  second,  $k$  代表 RSS 之取樣訊號總個數, 此數學式即表示全部前後兩取樣訊號差異性的總和再取平均數, 我們稱  $U$  為訊號的變異度。用上述之數學式計算後得  $U$ (變異度)=1.0867, 表示接收到的訊號與下一筆訊號在強度上應該會有 1.0867 的差異。我們把此段時間波形圖附上, 即圖(五), 做為參考用。其實由圖(五)的波形很難看出有什麼固定的特徵現象。圖(六)為相

關係數圖，形成一雜亂的波形。

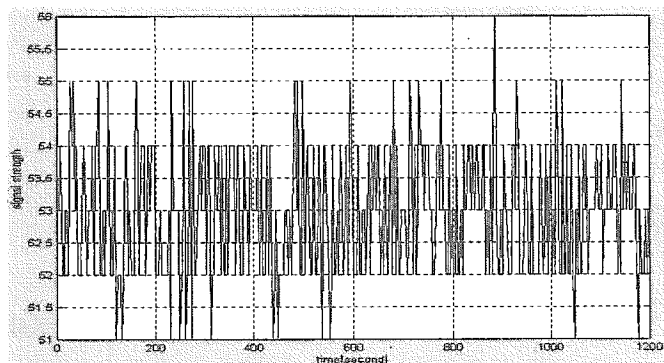


Figure 5.1 :RSS 訊號強度與時間之波形圖(0 sec.---1200 sec.)

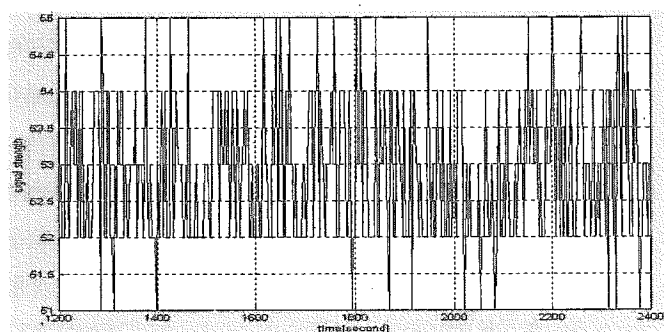


Figure 5.2 :RSS 訊號強度與時間之波形圖(1200 sec.---2400 sec.)

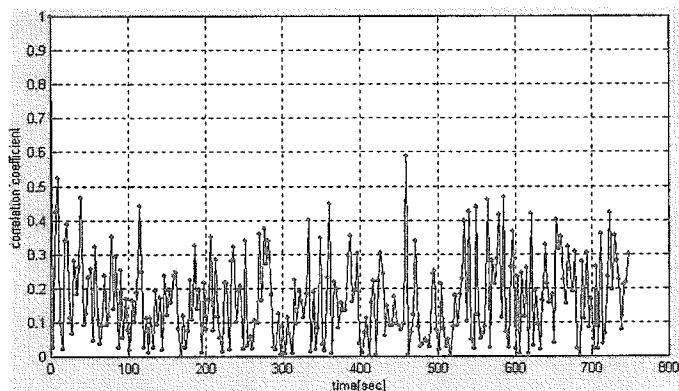


Figure 6 :相關係數圖

### 3-2.週期性的檢驗：

為了試驗能否找出 RSS 值的週期性，我們使用近似 correlation 的方式，也就是把時間 T 的 RSS 訊號取樣值跟時間 T+3 的取樣值做相減再取絕對值的動作(因為取樣時間為 3 秒鐘一次)，如數學式(2)所示，在本測試中是先測量 100 個取樣值跟延遲 3 秒後測量的 100 個值做相減在取絕對值的動作：

$$d_1 = \frac{\sum |X(mT) - X(mT + 3)|}{k}, \quad T = 3, \quad m = 1, 2, 3, \dots, k$$

$$:$$

$$d_n = \frac{\sum |X(mT) - X(mT + 3n)|}{k}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

X(T)為 RSS 訊號強度序列，在此先假設為 100 個點(即 k=100，m=1,2,3,.....,100)，並且 n=1,2,3,.....,1100；(2)式與(1)式幾乎完全相同，不過(1)式是計算訊號本身的變異度，而(2)式為計算原訊號與延遲 3n 秒後所量得的訊號之變異度；所以當變異度(即 dn 值)較小時，代表與原訊號與延遲 3n 秒的訊號差別不大，此時極可能開始出現週期性，我們以 dn 值和 delay tim 做出圖(七)。在此我們做了有限時間的檢驗，在圖(七)中，delay tim 一開始為 0 時，變異度為 0；當 delay tim 增加時，變異度馬上大幅上升，並且維持在一定水準；dn 值大多超過 1 以上，最低也有 0.85，而平均值為 1.13，所以無明顯週期性的現象發生(注意：因為此實驗為有限值，並不能保證在很長時間後會有週期性現象發生(即差值很小))。

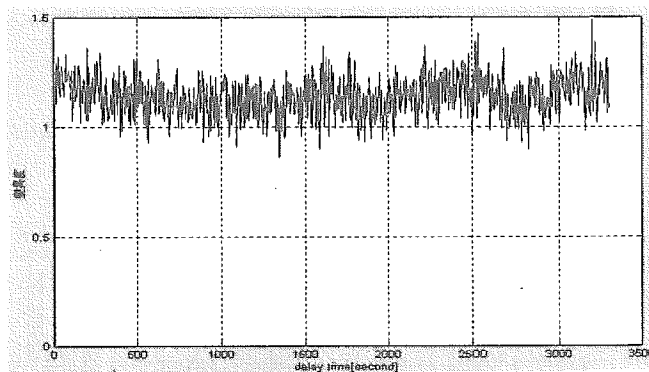


Figure 7 :週期檢驗圖

### 3-3.不同時間段落的訊號變異性分析：

接著我們對某些時刻加以分析，如 A.76.8---89.6 分鐘、B.332.8---345.6 分鐘、C.448---460.8 分鐘、D.512---524.8 分鐘，這些時刻 RSS 訊號強度的平均值皆非常相近，約為 52.9，如圖(一)所示。考慮 A,B,C,D 四訊號的變異度，改變式(1)為兩個不同訊號取樣值相減，即為兩個不同訊號之變異度：

$$U = \frac{\sum |X1(mT) - X2(mT)|}{k}, \quad T = 3, \quad m = 1, 2, 3, \dots, k \quad (3)$$

X1(mT)與 X2(mT)為相同個數但不同取樣時間或不同測量環境的訊號取樣值，(3)式代表兩訊號間的平均差異，利用(3)式如此可做出表格(一)。由表格(一)可知，ABC 四個 RSS 訊號自身的變異性與相互間的變異性都有一定水準(接近 1)，就算此四個訊號的平均值很接近，但仍有一定的變異性。

### 4.RSS 訊號在頻率上的特性

我們在時間軸上無法找到其固定的規律性，轉為從頻率軸看：圖(八)為圖(五)的頻譜波形圖，由圖(八)發現，在某些頻率時，

	Variance	訊號變異度		不同訊號間的變異度
A 訊號	1.10481	1.1412	A 與 B 之間	1.1797
B 訊號	1.0642	1.1373	A 與 C 之間	1.2227
C 訊號	1.0018	1.1333	A 與 D 之間	1.0430
D 訊號	0.88661	0.9961	B 與 C 之間	1.0039
			B 與 D 之間	1.1055
			C 與 D 之間	0.9531

Table 1 : 訊號本身的變異度與不同訊號間的變異度

會有特別高的功率產生；比較不同訊號的頻譜功率圖，如果發現高的功率皆發生在相同頻率範圍內，即我們可稍微預測其頻譜圖形，再轉為時間軸即可模擬出訊號。先定義出何謂特別高的功率，我們假定有超過平均功率 2 倍大之功率的頻率點為特殊點，即：

$$\frac{W(mf)}{\left(\frac{\sum W(mf)}{N}\right)} > 2, \quad m = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

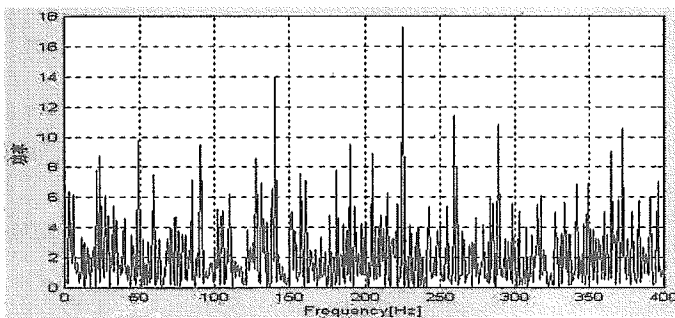


Figure 8 : 功率頻譜之波形圖

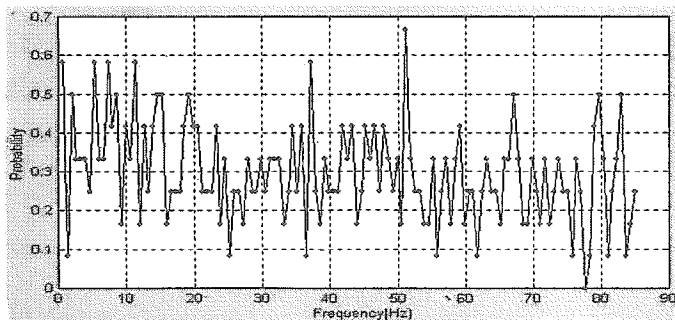


Figure 9 : 頻率特殊點的出現機率分布圖

把不同訊號的頻率特殊點之出現機率分布圖繪成圖(九)，圖(九)代表 12 個不同訊號在頻譜上會產生特別高的功率時之頻率統計圖；把圖(九)想像成是 RSS 訊號頻譜上的固定波形，因為此圖有高功率發生的頻率，代表很多 RSS 訊號的頻譜圖在此頻率也會產生高功率的現象；通常低功率的頻率波形難以模擬，但因其影響較小可暫時忽略；把圖(九)跟許多不同地訊號頻譜圖比對，可發現有很大的差距，證明 RSS 在頻譜上呈現隨積分布。

### 5.RSS 訊號之空間上特性：

測量方式由圖(二)所示，接收端 A 及接收端 B 相距 30cm 並且同時接收傳送端的訊號；在這段是說明當測量 RSS 訊號時，以相同時間但不同位置所作的測量；當然在做測量時的位置差距非常小，試驗在幾乎相同的多重路徑下，兩個同時測出的數據的差異性有多少。(有些客觀因素很難克服，例如測量時所需之無線網路卡，兩個完全相同的無線網路卡是不可能擁有的)圖(十)與圖(十一)為兩同時時間測量之 RSS 訊號在時間軸和頻譜圖的比較，發現其實位置改變一點，兩訊號間的波形圖就有很大的差異；由表格(二)可進一步了解這種差異性，訊號變異度是用(1)式計算，兩訊號間的變異度是由(3)式計算；比較計算結果，訊號間的變異要比自身的變異性大很多，這是很合理的事實；當位置稍微變動時，訊號的接收距離、角度及行走路徑都會稍微改變，再加上兩台 RSS 訊號接收器硬體上的差異，所以就造成兩接收訊號更大的變異性。圖(十二)為兩 RSS 訊號強度出現機率分布圖，可明顯表示出兩訊號在強度分布上的不同性，訊號一出現較多強度值為 37、38，訊號二有兩個較大值 38 與 40，因此兩訊號間的平均值與變異度才會相差如此遠。

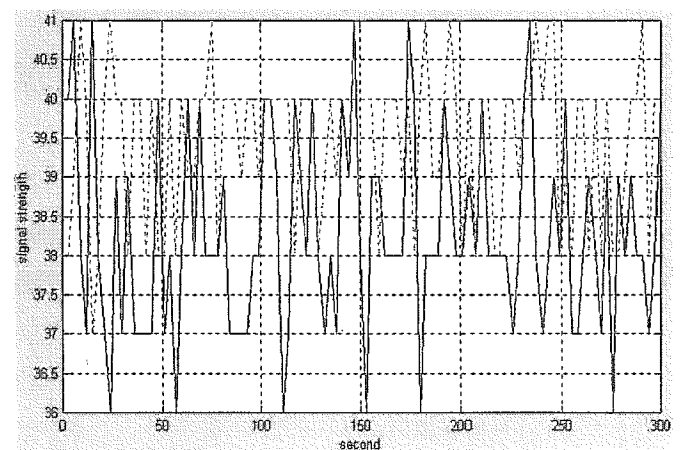


Figure 10 : 同時時間不同位置之 RSS 訊號在時間軸的比較

	最大值	最小值	平均值	Variance	訊號變異度	兩訊號間變異度
訊號一	41	35	37.8090	1.3039	1.2012	1.6770
訊號二	42	36	39.1620	1.1569	1.1231	

Table 2 :兩 RSS 訊號的資料

	最大值	最小值	平均值	Variance	變異度
A.實驗室(am05:09)	43	40	41.197917	0.5728082	0.7718
B.實驗室(am00:04)	48	40	43.600260	1.3675524	1.0782
C.住家	38	28	34.744125	2.5768243	1.4810
D.屋頂(6m)	60	49	55.652838	1.7419248	1.0722
E.屋頂(10m)	52	48	49.884115	1.6545393	1.4198
F.樓梯間	52	44	48.523810	2.8446701	1.4337
G.空曠區	48	41	43.581818	1.178371	0.8229

Table 3 :各種環境下的數值

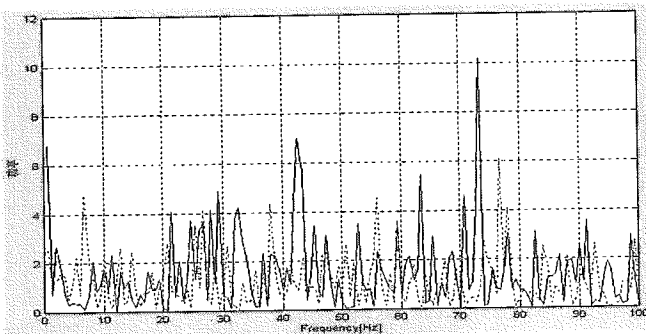


Figure 11 :同時間不同位置之 RSS 訊號在頻率軸的比較

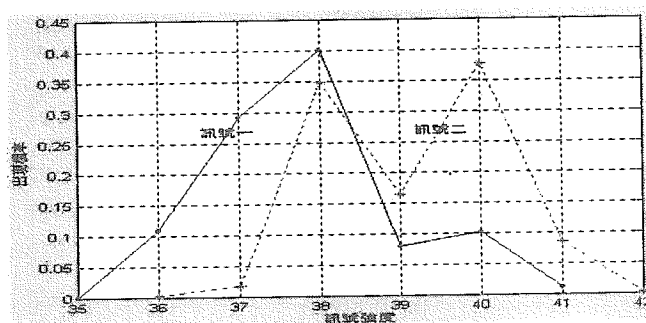


Figure 12 :兩 RSS 訊號強度出現機率分布圖

## 6.不同環境下的變異度及亂數演算法：

### 6-1.不同環境下的討論：

在本節中討論的是在不同環境下測量 RSS 訊號強度之變異性大小，在此我們不管 RSS 訊號強度大小，只考慮 RSS 訊號的變異性；並且仍不考慮動態的因素，因為動態情形的發生只會使變異度更大，一切以較平穩的狀況為準。

表格(三)為一些不同環境下的 RSS 訊號強度測量值，D 和 E 代表相同地點但傳送端與接收端的距離不同，A 和 B 代表測量時間的不同；通常環境越複雜，訊號的變化就越大；C 的地點為住家，有各種傢具裝潢造成的 RSS 訊號強度改變，是所有表中最混亂的地點；而 G 為室外空曠區，應該屬環境較單純的場所，

但訊號仍有一定的變化程度。一般來說，越雜亂的環境會有三種特性：

- 1.最大值與最小值的差距較遠，
  - 2.Variance 大，
  - 3.變異度高；
- 以此三種標準來比較的話，還是以 C 的地點較好。其實 Variance 和變異度有一定程度的關連性，通常標準差較低的話，變異性也會偏低。圖(十三)為表格中各訊號強度機率分布圖，一個良好產生亂數的環境，訊號強度出現的機率不能太集中，簡單來說其機率分布圖不能太尖陡，即訊號強度出現機率的極大值差越低越好；由圖(十三)可看出，C 訊號的出現機率最大值为最小，就代表其波形較平穩，出現機率較平均，變異性就越大。最完美的波形為長直線，出現機率皆相等且訊號範圍廣，也只有 C 訊號最接近此種圖形。

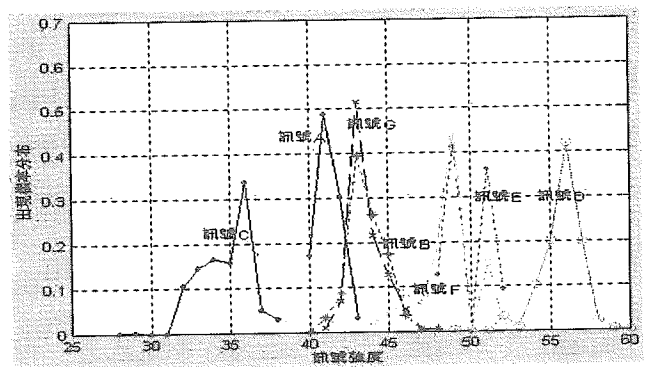


Figure 13 :各種 RSS 訊號強度出現機率分布圖

### 6-2.環境亂數的演算法：

由上述分析可知，並不是所有環境下的 RSS 訊號強度都具有很高的變異度，表格(三)顯示，A 訊號與 G 訊號的變異度較差，而由圖(十三)觀察，A 訊號及 G 訊號都屬非常尖陡的圖形，RSS 訊號強度都太集中，造成訊號的變異性下降。經由前面三、四、五段得知，訊號間的變異性要比訊號自身的變異性大，再加上完全保持原測量的環境是不可能的，一定會有些動態因素存

在，傳送與接收硬體的差異，使得要預測 RSS 訊號強度的變化還是非常困難，現在的問題是如何把這些數值轉為亂數輸出；其實有很多方法可用，在此提供一種作為參考：考慮一 RSSI 強度訊號，其共有 129 個取樣值，我們的想法是利用前後相減的方式，如果相減後為負數，就取其的 2's 補數：

$$X(n) = R((n+1)T) - R((nT)) \quad , T=3 \quad , \quad n=1,2,3,\dots,128$$

$$\text{If } X(n) \leq -16 \quad , X(n)=0$$

$$\text{If } X(n) \geq 16 \quad , X(n)=15$$

$$\text{If } X(n) < 0 \quad , X(n)=X(n)+16 \text{ (2's complement)}$$

$$\text{then} \quad 0 \leq X(n) \leq 15$$

$R(nT)$ 表 129 個 RSS 訊號值， $X(n)$ 為相減後的結果；利用(5)式的方法， $X(n)$ 的值會限制在 0 和 15 之間，剛好 4 bit 的二進位值可完全表示，因此最後的結果為  $128 \times 4 = 512$  bits 的亂數值。

舉例來說，有一 RSS 訊號為：

$$R(nT)=[34 \quad 43 \quad 40 \quad 35 \quad 35 \quad 41 \quad 45 \quad 36 \quad 38 \quad 41 \quad 42 \quad 32]$$

$$\text{所以 } X(n)=[9 \quad 13 \quad 11 \quad 0 \quad 6 \quad 4 \quad 7 \quad 2 \quad 3 \quad 1 \quad 6]$$

$$\text{亂數 } P(n-1)=[1001 \quad 1101 \quad 1011 \quad 0000 \quad 0110 \quad 0100 \quad 0111 \quad 0010 \quad 0011 \quad 0001 \quad 0110]$$

不過對於表格(三)中變異度較小的訊號而言，用(5)式做出的結果會集中在 0, 1, 15, 2, 14 這些值上面，如圖(十四)所示；中間部份幾乎無出現機率，由於這種情況可能會造成亂數的 0, 1 分布不是很均勻，所以必須對(5)加以修正。有一個想法是把訊號切成兩等分，第一等分還是用(5)的方法，第二等分也一樣用(5)式，只不過現在以 8 作為 0 點、9 為 1、7 為 -1 以此類推。圖(十五)為四等分的  $X[n]$ 出現機率分布圖，發現切為四等分  $X[n]$ 的分布機率才會比較平穩；雖然由圖形可看出分布機率仍不是很平均，但已經有所改善。接下來直接把  $X[n]$ 轉為二進位後即得 512 bit 的亂數值。

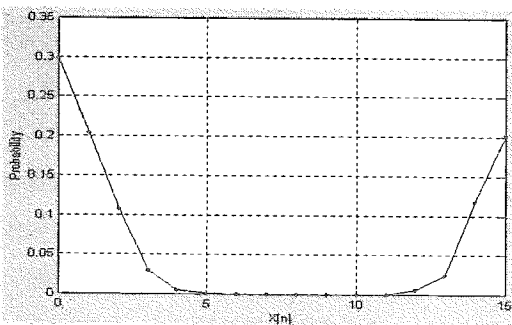


Figure 14 :訊號差值  $X[n]$ 機率分布圖

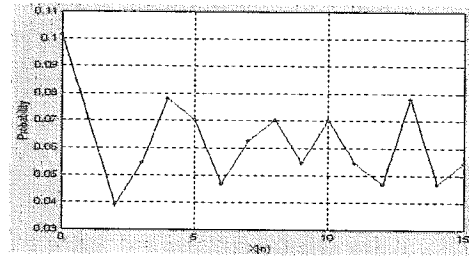


Figure 15 :四等分的  $X[n]$ 出現機率分布圖

## 7.結論：

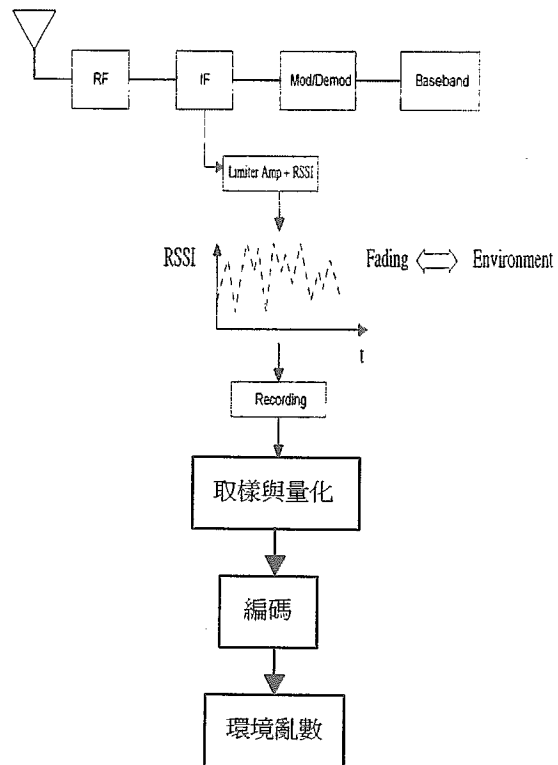


Figure 16 :完整系統架構圖

圖(十六)為完整系統架構，也是本論文的精要；在前面幾段都在探討靜態環境下 RSS 訊號的變化情形，顯示 RSS 訊號的變異性及不可預測性，就是為了要利用這些特性產生良好的亂數。先從無限通訊電路中取出 RSSI 強度訊號，經過 A-D converter 後將其數位化並可使用上一段提出簡單的演算法把 RSSI 訊號編成亂數；亂數的產生在密碼學中為不可缺少的一部份，使用的範圍亦十分廣闊；如公開金鑰系統、金鑰交換運算(KEA)、認證碼的產生[16,17,18]等等，在無限通訊系統中，資料的傳送是在無線媒介中，因此其資料的隱密性較其他的系統差；所以在無線通訊系統中加密與解密是非常重要的研究課題[19,20]，而加解密通常會使用到亂數。本論文利用無限傳輸上既有的

RSSI 訊號來產生優良亂數，對於無限通訊的安全性有所提升。

Reference:

- [1] "Adaptive equalization for a multipath fading environment with interference and noise" Lo, N.W.K.; Falconer, D.D.; Sheikh, A.U.H. Vehicular Technology Conference, 1994 IEEE 44th, 1994, Page(s): -256 vol.1
- [2] "Improved carrier recovery for signals affected by multipath fading" Gameiro, A. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1994. Wireless Networks – Catching the Mobile Future., 5th IEEE International Symposium on Volume: 1, 1994, Page(s): -252 vol.1
- [3] P.Beckmann and A.Spizzichino, The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces, Macmillan, New York, 1963 p.20.
- [4] H.Bremmer "Terrestrial Radio Waves," Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1949; B. Van der pol and H.Bremmer, phil. mag. LXXVI, November, 1937 (original paper).
- [5] "Long term fading in microcellular radio" Brown, P.G.; Constantinou, C.C.; Maclean, T.S.M. Micro-Cellular Propagation Modelling, IEE Colloquium on, 1992, Page(s): 4/1 -4/6.
- [6] "Short-term fading prediction-based power control method for DS-CDMA cellular mobile radio networks" Jyh-Hong Wen; Long-Chyuan Yeh; Jang-Ren Chiou Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1997. Waves of the Year 2000. PIMRC '97., The 8th IEEE International Symposium on Volume: 3, 1997, Page(s): -912 vol.3.
- [7] A.D.Spaulding, "The Determination of Received Noise Levels from Vehicular Traffic Statistics," IEEE Nat. Telecomm. Conf. Rec., 19D-1-7, December 1972
- [8] "Doppler angle and flow velocity estimation using the classic and transverse Doppler effect" Bor-Ray Lee; Huihua Kenn Chiang; Cheng-Deng Kuo; Win-Li Lin; San-Kan Lee Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, IEEE Transactions on Volume: 46 1, Jan. 1999, Page(s): 252 -256.
- [9] E.N.Skomal, Man-Made Radio Noise Van Nostrand Reinhold, New York, 1978, chap.2.
- [10] W.C.Y.Lee, "An Approximate Method for Obtaining Rain Rate Statistics for Use in Signal Attenuation Estimating." IEEE Trans. Anten. Prop., vol. 27, May 1979, pp.407-413.
- [11] "A narrowband high frequency channel simulator with delay spread" Behm, C.J. HF Radio Systems and Techniques, Seventh International Conference on (Conf.Publ.No.441), 1997, Page(s): -391
- [12] "Path loss, scattering and multipath delay statistics in four European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone" Seidel, S.Y.; Rappaport, T.S.; Jain, S.; Lord, M.L.; Singh, R. Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume: 40 4, Nov. 1991, Page(s): 721 -730
- [13] "Coherence bandwidth measurements in a suburban microcell at 62.4 GHz" Hammoudeh, A.; Sanchez, M.G. Electronics Letters Volume: 34 4, 19 Feb. 1998, Page(s): 329-330
- [14] "Coherence bandwidth measurements in an indoor microcell at 62.4 GHz" Hammoudeh, A.; Kermaol, J.-P.; Sanchez, M.G. Electronics Letters Volume: 34 5, 5 March 1998, Page(s) 429 -431
- [15] "On improving pseudo-random number generators" Deng, L.-Y.; George, E.O.; Chu, Y.-C. Simulation Conference 1991. Proceedings, Winter, 1991, Page(s): 1035 -1042
- [16] D.E. Denning, "Cryptography and data security," Addison-Wesley, Reading, 1982
- [17] Philip E. F. & Martin P.J.K. "Information Systems Security" VNR 1993
- [18] Bruce Schneier, "Applied Cryptography", p.429, 1996, 2<sup>nd</sup>
- [19] "Security System for Wireless Local Networks" Korba, L. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1998. The Ninth IEEE International Symposium on Volume: 3, 1998, Page(s): 1550 -1554 vol.3
- [20] "Concepts and applications of wireless security systems for tactical, portable, and fixed sites" Harrington, J.J.; Pritchard, D.A. Security Technology, 1997. Proceedings. The Institute of Electrical and Electronics Engineers 31st Annual 1997 International Carnahan Conference on, 1997, Page(s): 133 - 139