

第十三屆旺宏科學獎 成果報告書

參賽編號：SA13-554

作品名稱：夜來風雨聲，「雨量」知多少

姓名：林芸伍

關鍵字：降雨強度、電波訊號、智慧型手機

研究計畫名稱：夜來風雨聲，「雨量」知多少

壹、研究動機-----	p.2
貳、研究目的-----	p.5
參、研究設備及器材-----	p.6
肆、研究過程或方法及進行步驟-----	p.10
伍、研究結果-----	p.19
陸、討論與應用-----	p.23
柒、結論-----	p.27
捌、參考資料(文獻)及其他-----	p.28

壹、研究動機

依據相關研究報導指出，德國、荷蘭、以色列、瑞士等國利用覆蓋廣大範圍的無線基地台系統，測量發射、接收電磁波過程時的訊號強度衰減程度，進行降雨量的推估^[1,3,6]。訊號衰減除了受降雨參數影響，也和風速、風向、濕度、溫度、雜訊源數目等相關，均需從降雨參數(雨滴直徑大小、直徑大小的分布)著手，推導每一個參數對訊號的影響，並利用統計的方式排除雜訊源造成的誤差。台灣山高水流急，許多地區(如台北)又低窪，一旦降雨強度超過一定限度，便很有可能造成土石流和淹水，雨量站分布又不平均，無法準確得知山邊降雨強度(圖 1-1)，若能透過手機快速得知土石流警訊，能有效減少人員傷亡。

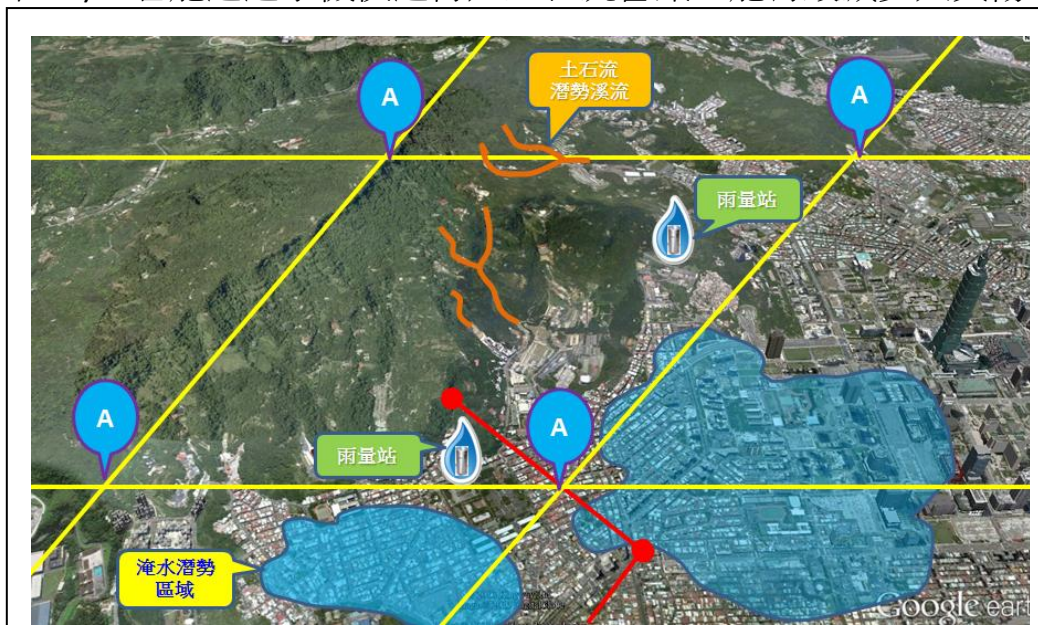


圖 1-1 臺北盆地地勢低窪，易受土石流及淹水威脅，雨量站分布不均，無法準確得知山邊降雨強度。

據荷蘭 Overeema, Leijnseb and Uijlenhoet (2013)研究基地台微波訊號的處理分析為例，發現藉由訊號的衰減與降雨強度的統計分析，可提供空間解析度 1km*1km 及時間解析度小於 10 分鐘的資料(圖 1-2，圖 1-3)。然而該研究未能從降雨相關的理論著手，推導符合物理關係的降雨強度-訊號衰減迴歸公式。

受限於國內實施的〔個人資料保護法〕，本研究無法取得涉及通訊內容隱私權的基地台-基地台的訊號。因此，我決定使用設置密度較高的 Wi-Fi 熱點作為訊號發射源，並利用手機作為訊號接收器。

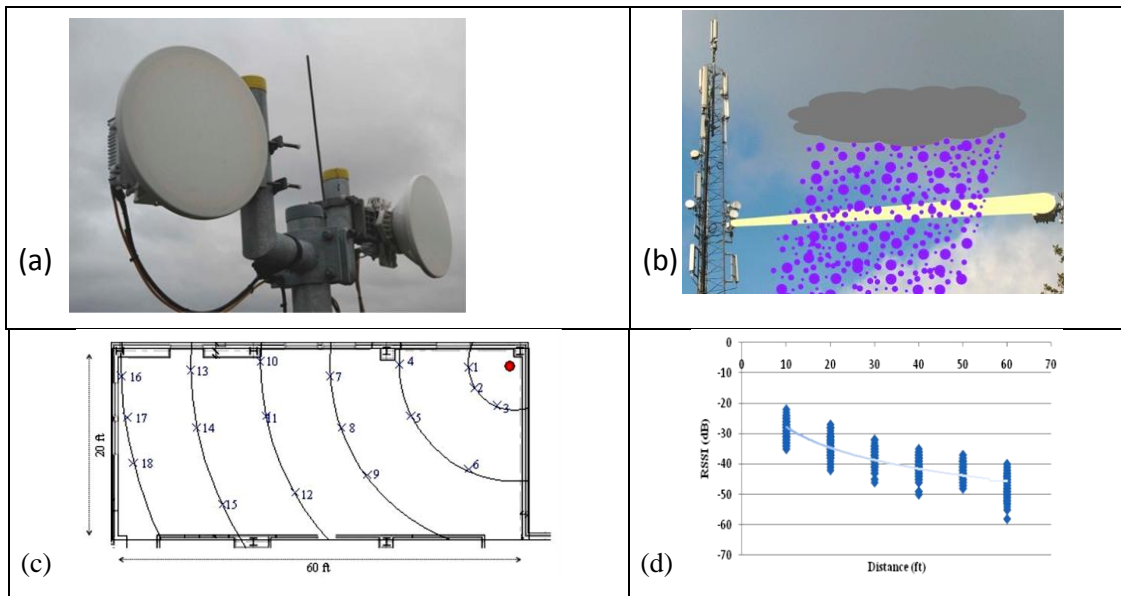


圖 1-2 (a)手機基地台無線訊號傳輸裝置，(b)訊號發射與接收示意圖^[1]

2.4GHz 無線訊號傳輸(c)發射源(紅點)與接收端(x)佈置圖，(d)接收功率隨距離變化圖^[3]

Wi-Fi 熱點分為行動和固定兩種，行動熱點是由手機的 3G 訊號轉換而成，固定的熱點則為生活中常見的 AP(Access Point)，兩者皆提供 2.4GHz 的無線訊號，圖 1-2 中 2.4GHz 無線訊號傳輸(c)發射源(圓紅點)與接收端(x)佈置圖，(d)為接收功率隨距離的變化圖^[3]。依據資料顯示，面積 271.7 平方公里的台北市約有六千餘熱點，等同每 0.04 平方公里設置一個熱點。為了描述該現象，假設有一張 100 公尺*100 公尺的方格紙(圖 1-3)，紅點表示熱點位置，黑點表示手機的位置，每兩格的地方放置一個熱點，其餘格子上放置手機，取手機與熱點中點作為測量點，量測密度提升為 50 公尺*50 公尺，是熱點量測密度的 4 倍。若改用手机和 Wi-Fi 熱點之間的訊號進行降雨強度量測，將能增加訊號的空間和時間密度。此外 Wi-Fi 訊號不涉及通話內容，而且只要個別手機用戶接受，即可加入追蹤的目標，增加資料擷取點，提升降雨觀測系統的空間密度。

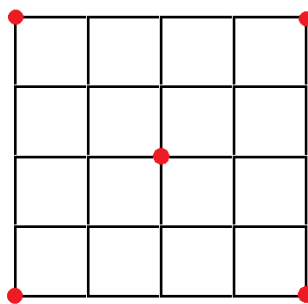


圖 1-3 紅點表示熱點位置，其餘格子點表示手機的位置

若是在固定熱點稀少的山區，可改用行動熱點，只要使用兩隻手機即可進行測量。因此只要擁有發射源和接收器，然後將衰減值帶入標準迴歸式，即可立刻得到該地點的雨量及瞬間降雨強度。

貳、研究目的

經過跟指導老師討論後，考慮目前設備及器材的限制，決定進行「降雨強度與無線電波訊號衰減的相關性」、「發射與接收器之間的距離與無線電波訊號衰減的關係」、以及「雜訊源數目對衰減值的影響」(圖 2-1)等實驗，再將實驗的結果上傳到資料庫後進行分析和運算，建立標準迴歸式。未來只要知道訊號衰減值可立刻算出對應的雨量及降雨強度。

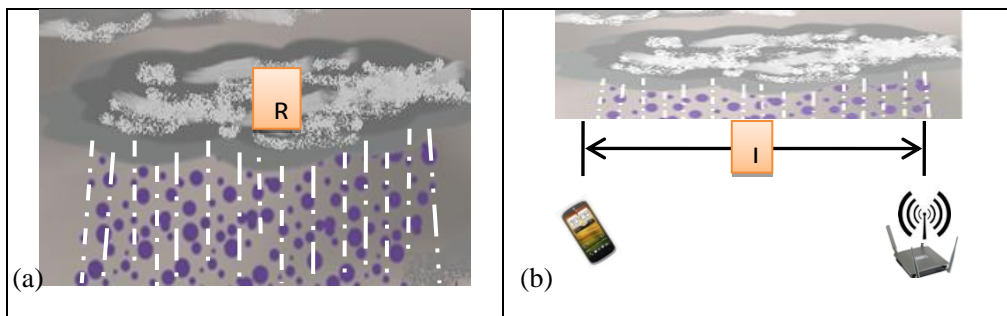


圖 2-1 電波訊號衰減與(a)降雨強度(R)，(b)發射與接收間距離(L)相關示意圖

我主要研究的目的和問題是

- 一.探討發射器與接受器在固定距離下，不同降雨量對訊號衰減的影響
- 二.探討發射器與接受器在不同距離下，相同降雨量對訊號衰減的影響。
- 三.探討發射器與接受器在不同距離下，室外固定降雨對訊號衰減的影響。

參、研究設備及器材

由於考慮到成本和實用性，本研究利用市面上標準化的產品進行實驗。

發射與接收器材包括:訊號發射源(市售 2.4GHz 無線網路路由器、市售 2.4GHz、5GHz 雙頻無線網路路由器)、訊號接收器(手機)、電源供應器 (表 3-1 說明)。

表 3-1 實驗中使用發射與接收器材說明

	<p>(a) D-Link DIR-506L 雲享機</p> <ul style="list-style-type: none"> ●無線頻率：2.4 - 2.4835GHz ●提供高達150Mbps無線傳輸 ●路由器/AP/Wi-Fi熱點模式 ●大容量1700mAh鋰電池 <p>(b) HTC ONE SV 智慧手機</p> <ul style="list-style-type: none"> ●4.3 吋 Super LCD2 螢幕 ●1.2GHz 雙核心 ●記錄接收 DLink 無線電波功率
	<p>(c) D-Link DIR-510L 雲享機</p> <ul style="list-style-type: none"> ●內建 3 根天線，增強無線訊號 ●同步雙頻(2.4GHz+5GHz)，低干擾、效能高、傳輸快 ●內建 4000mAh 鋰電池可提供智慧型電子裝置快速充電
	<p>(d) InFocus M210</p> <ul style="list-style-type: none"> ●4.7 吋 IPS 觸控螢幕 ●1.3GHz 四核心 ●記錄接收 DLink 無線電波功率
	<p>(e) PQI i-Power 7800mAh 行動電源</p> <ul style="list-style-type: none"> ●7800 mAh 大電池容量 ●4 顆 LED 電量指示燈 ●用來提供電源給 D-Link DIR-506L，維持穩定的訊號強度。

降雨量測設備包括: 蓮蓬頭(6"與 9"直徑)、雨量筒、流量計、碼表、夾鏈袋
(表 3-2 說明)。

表 3-2 實驗中使用的降雨量測設備說明

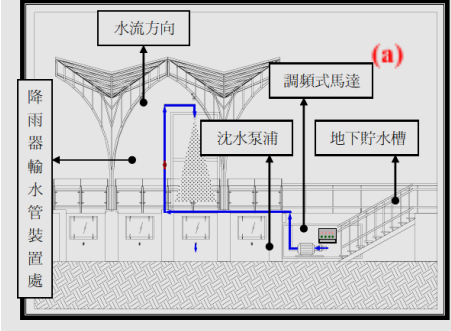
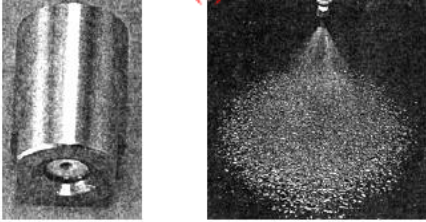

		
<p>(a)加壓馬達</p>	<p>(b)雨量筒</p>	<p>(c)碼表</p>
		
<p>(d)流量計</p>		<p>(e)量杯</p>

此外，借用到經濟部水利署水工試驗室內的人工降雨模擬器，進行室外降雨實驗，還有台灣大學水工試驗所的室內降雨模擬器，進行室內降雨模擬實驗；數據資料處理使用的軟體說明如表 3-3；表 3-4 人工降雨模擬器設備說明。

表 3-3 數據資料處理使用的軟體說明

	<p>(a) Dropbox免費的網路空間</p> <ul style="list-style-type: none"> •提供網路空間儲存檔案。 •提供了同步檔案的功能。 •可以在多台電腦及多個不同的裝置上，輕鬆地同步檔案。
	<p>(b) Team Viewer 免費遠端操控程式</p> <p>Team Viewer 可以在很短的時間內連線到全世界的任何電腦或伺服器。可以用電腦遠端控制手機，可以在不必碰到手機的情況下，遠端控制其截圖和實驗。因為器材之緣故，不容易直接控制手機，需透過其遠端控制功能，讓實驗得以順利進行。</p>
	<p>(c) Wi-Fi Analyzer 免費訊號分析儀</p> <ul style="list-style-type: none"> •Wi-Fi Analyzer 可以快速掃描 Wi-Fi 訊號，找出預設好的發送源，並依時間顯示出 Wi-Fi 訊號之衰減程度，還可以過濾掉其它的發射源，讓使用起來更加方便。 •Wifi Analyzer 會將所有掃描到的訊號源以圖表顯示出來 詳列出各訊號的強度和通道 在 Wireless outer 的設定頁變更最佳的通道，提升連線素質。

表 3-4 人工降雨模擬器(Rainfall simulator)設備說明

	<p>(a) 供水系統示意圖</p> <ul style="list-style-type: none"> ●可模擬45-135 mm/hr降雨 ●觀測面積為(2×4)平方公尺 ●噴水高度約為4公尺 ●供水系統係由調頻式馬達控制輸送水壓,並經由控制室內的沈水泵浦抽送至地面架上出水口,以人工手動控制閥開啟或關閉控制輸送至降雨模擬器。
	<p>(b) 圓錐形噴嘴</p> <ul style="list-style-type: none"> ●人工降雨模擬器之圓錐形噴嘴可模擬接近「自然降雨」之降雨條件,控制設計出水量能噴灑均勻分佈。 <p>(c) 圓錐形噴嘴以噴灑水量情形</p>
	<p>(d) 供水系統示意圖</p> <ul style="list-style-type: none"> ●可模擬100-200 mm/hr降雨 ●一個噴嘴觀測面積為(1×1)平方公尺 ●噴水高度約為3.5公尺 ●供水系統係由加壓馬達控制輸送水壓,以人工手動控制閥開啟或關閉,並排除其中之空氣,使實驗所得到的參數更加精確。

肆、研究過程或方法及進行步驟

一、基本假設與推導

假設降雨時，雨滴的形狀為球體，則理論降雨強度 I 的積分形式可以下式表示：

$$I = \int_0^{\infty} V(D) v(D) N(D) dD \dots\dots\dots(1)$$

式中 D 為雨滴直徑；球體雨滴的體積為 $V(D) = \pi D^3 / 6$ ； $N(D)$ 為雨滴譜(分佈)，雨滴分佈一般可用 Marshall-Palmer 或 Gamma 分佈的函數形式描述； $N(D)dD$ 表示單位面積內雨滴直徑位於 D 至 $D+dD$ 之間雨滴數；而 $v(D)$ 為雨滴降落速度，可由下式決定：

$$v(D) = C_w D^{0.5} \dots\dots\dots (2)$$

式中 C_w 為係數。考量雨天測量固定目標物測得(接收到)的電磁波功率，與在無下雨條件下測得的電磁波功率比較，其差值則為電磁波功率衰減值，而其關係式可寫為下式：

$$\log P_a - \log P_o = - \int_0^L K_t dL \dots\dots\dots (3)$$

式中 P_a 及 P_o 分別是雨天測量的電磁波功率與無雨條件下測得的電磁波功率； L 是雷達(發射端)到目標物(接收端)之間的距離； K_t 是在 L 距離內電磁波功率的衰減係數。若僅考慮發射端與接收端的距離時，則 L 距離內的平均衰減係數 \overline{K}_t 則可表為下式：

$$\overline{K}_t = (\log P_o - \log P_a) / L \dots\dots\dots(4)$$

要研究降雨雨滴顆粒對入射電磁波干擾的影響，關鍵是估算降雨顆粒的衰減係數。則 L 距離內的平均衰減係數 \overline{K}_t 通常可表示為：

$$\overline{K}_t = \int_0^{\infty} Q_t(D) N(D) dD \dots\dots\dots(5)$$

其中 Q_t 為衰減截面積(可表為 aD^b ， a 與 b 為待定參數)。在觀測距離內的平均衰減係數 \overline{K}_t 與理論降雨強度 I 的關係式可簡化成：

$$\overline{K}_t = \alpha I^\beta \dots\dots\dots (6)$$

式中係數 α 、 β 取決於入射電磁波的波長、雨滴直徑及分佈。可利用量測的實驗數據推求(6)式中 α 、 β 係數值。

將理論降雨強度 I 換成實驗的量測降雨強度 R ，則可把公式(6)改寫為：

$$Kt = \alpha R^\beta \dots\dots\dots(7)$$

式中 α, β 皆為常數，依據實驗結果分析而定； R 為量測降雨強度；將量測有雨訊號強度(SS)扣除無雨時的訊號強度(SS)即是衰減值，而無雨時的訊號強度做為背景值。將原式取對數後可得：

$$\log Kt = \log \alpha + \beta \log R \dots\dots\dots(8)$$

二、研究過程與步驟

一開始我先由室內實驗做起，利用蓮蓬頭作為降雨裝置，發射無線電波進行實驗量測，分析接收器所獲取的數值，計算出原先發射與接收的訊號強弱以及衰減間的關係。本研究則是將發射端及接收端分開，以手機模擬為遠端基地台(接收端)的概念，發射端(D-Link DIR-506L 雲享機, 簡稱為 D-Link) 發出 2.4GHz 頻率的無線電波，經過降雨模擬器產生的雨區產造成衰減後，再由接收器(HTC 手機) 存取資料，用以建立一套迴歸關係式。配合實驗設備與場地的條件，實驗佈置依室內降雨實驗及室外降雨實驗分別闡述如下：

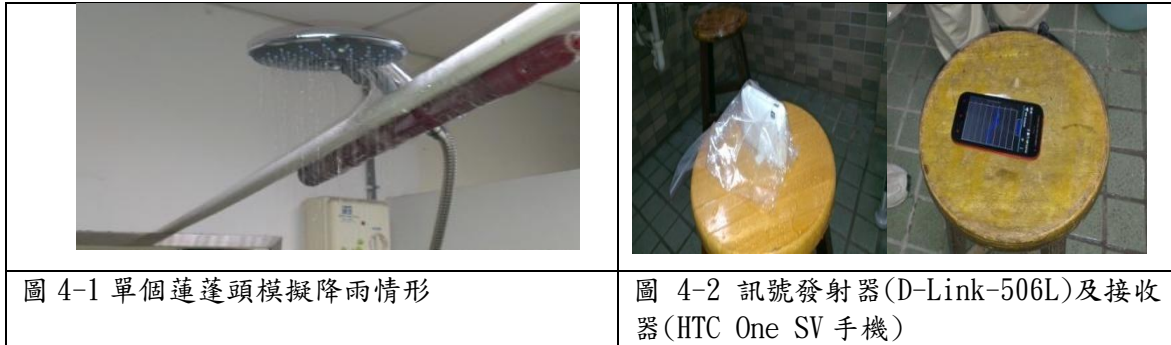


(A)室內實驗(1)

1. 目的：探討發射器與接受器在固定距離下，不同降雨量對訊號衰減的影響。

2. 佈置：

(1)設置發射器（D-Link）和接收器(HTC 手機)於降雨模擬器內（單個蓮蓬頭，圖 4-1 所示），兩者距離 1 公尺。



(2)因考量降雨試驗，則利用透明不干擾無線電波傳播的夾鏈袋(塑膠袋)保護通訊裝置，再利用訊號接收器之分析軟體，進行接收訊號的特徵分析，研究無線電波經過雨區時之衰減特性。

(3)準備時注意事項:

- (a)經過多次測試，發現單層塑膠袋仍會滲水，因此HTC手機和D-Link分別套上了兩層夾鏈袋；
- (b)將一個直徑6”蓮蓬頭接上水管，以橡皮圈圈緊防止漏水；
- (c)為了增加降雨率定的精確度，使用口徑20公分的雨量筒，再倒入量筒中測量體積。

3. 降雨率定：

- (1)將水龍頭旋轉角度分為 0 度到 90 度，以 15 度作為間距。
- (2)用雨量筒接降雨，用碼表計時十秒後倒入量筒內記錄總水量。
- (3)把總水量除以雨量筒截面積再乘以 360，換算成時雨量(mm/hr)

4. 實驗步驟：

- (1)先設定發射器與接受器距離為 1 公尺作為基準。
- (2)依照降雨率定的讀數進行實驗，雨量由 0 開始逐步增加。

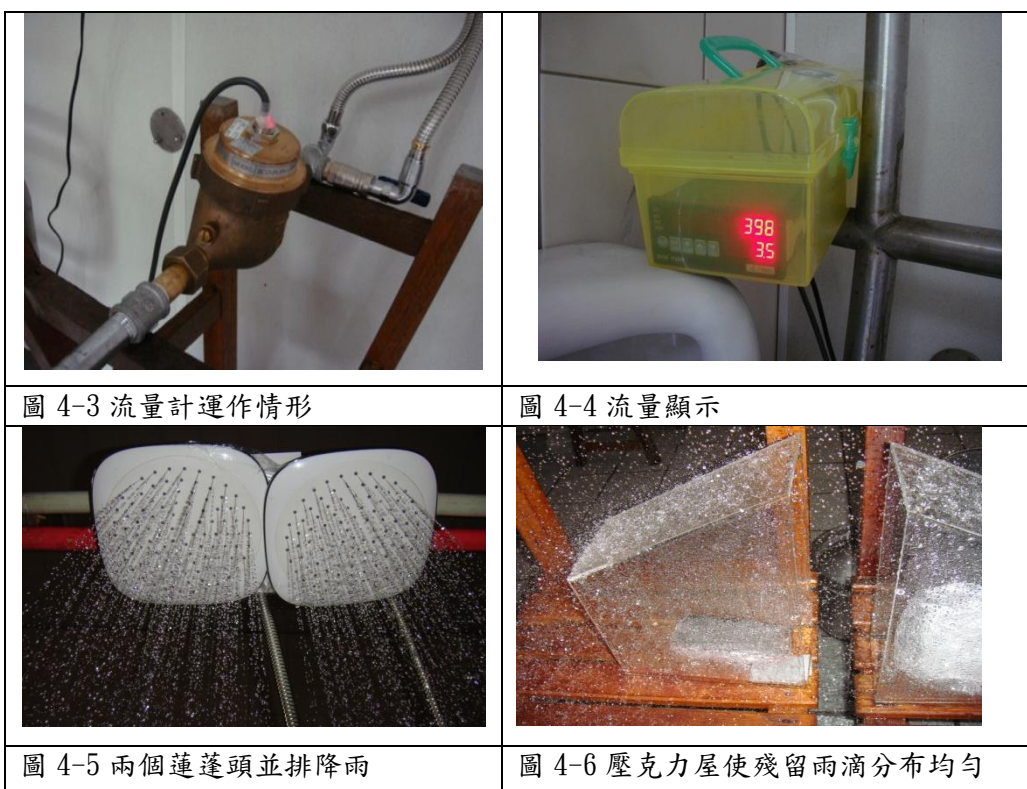
- (3)依序設定距離為 0.25、0.5、1.5、2 公尺，用 Wi-Fi 分析儀量測無線電波經過雨區時之衰減值；重複步驟(2)。
- (4)步驟(1)-(3)完成後，進行無降雨時發射器和接收器在不同距離的衰減值量測。

(B) 室內實驗(2)

1. **目的：**探討發射器與接受器在不同距離下，相同降雨量對訊號衰減的影響。
2. **佈置：**
 - (1)使用雙蓮蓬頭(2 個並排) 相鄰架設於竹竿，離地面約 2 公尺，並使用流量計以率定。
 - (2)我使用流量計進一步量化所設定的資料組。選定流量計讀數 1、2、4、6.5 及 13L/min，分別以雨量筒測量 20 秒之雨量率定。
 - (3)測量距離設定為 5 至 30cm，以配合以波長有 12.5cm(2.4GHz 的波長) 為遠場及近場之界線，改採花灑式的蓮蓬頭，使降雨更均勻。
 - (4)採用兩個蓮蓬頭並排，來改善預備實驗降雨雨區範圍太小的問題，若雨區無法涵蓋發射器與接受器間的距離時，可能會影響衰減值情形。
 - (5)討論研究事項：
 - (a)最低雨量仍超過1000mm，遠大於合理範圍；
 - (b)由於夾鏈袋平放桌面，其表面容易積水，經過多次實驗，發現積水對衰減值的影響甚大。
 - (c)在防水設施上增加壓克力屋，頂部採斜面設計以防止積水，原本希望可以不用夾鏈袋。然而雨滴經彈跳仍會潑灑至壓克力屋內，但至少可以使雨滴均勻附著在夾鏈袋上而非大量積水而產生誤差。
 - (d)為防雨水通訊實驗器材仍包覆夾鏈袋，當沒有下雨時所量到的衰減值 (含夾鏈袋殘留雨滴) 則應視為背景值，在計算分析時扣除。

3. 實驗步驟:

- (1)實驗開始時，將水管接上水龍頭，設定發射器與接受器距離為 5 cm。
- (2)雨量由 0 開始，依序按照率定之不同降雨關係讀數進行實驗。
- (3)依序設定距離為 10、15、20、25、30 cm，用 Wi-Fi Analyzer 量測讀取無線電波經過雨區時之衰減值；重複步驟(2)。



(C)室內實驗(3)

1. 目的: 探討發射器與接受器在固定距離下，室內模擬降雨對訊號衰減的影響。
2. 佈置:
 - (1)人工降雨模擬器
 - (a)借用台灣大學水工試驗所內的降雨模擬器(表 2-4(d))，進行室內降雨實驗，因為噴頭設計的降雨現象較接近現實情況；設定馬達轉速用以控制，進行降雨實驗。
 - (b)實驗步驟

- (i) 實驗開始時，將供水系統打開，依序設定降雨量為最大刻度之 25%、50%、75%、100% 四種降雨條件。
- (ii) 使用直徑 20 公分的雨量筒，開啟降雨模擬器後等待至雨滴散佈均勻，再將雨量筒放在模擬器下接雨 2 分鐘，最後率定出平均降雨量(mm/hr)。
- (iii) 依序設定發射器(D-Link510L，因為之前的 D-Link506L 被雨水淋濕功率降低，且 510L 有 5GHz 發送功能)與接受器(InFocus 210)距離為 20cm，用 Wi-Fi 分析儀量測讀取無線電波經過雨區時之衰減值。

表 4-11 幫浦讀數以及實際雨量值

次	讀數	9.5	14.25	19	14.25	9.5
1		189.2	173.9	200.6	170.1	146.7
2		126.1	172.9	204.5	169.6	148.1
3		135.7	161.5	206.7	158.6	134.7
平均		150.3	169.4	203.9	166.1	143.16
標準差		27.76	5.62	2.52	5.30	6.01

單位:mm

(D) 室外實驗

1. 目的：探討發射器與接受器在不同距離下，室外模擬降雨對訊號衰減的影響。

2. 佈置：

(1) 人工降雨模擬器

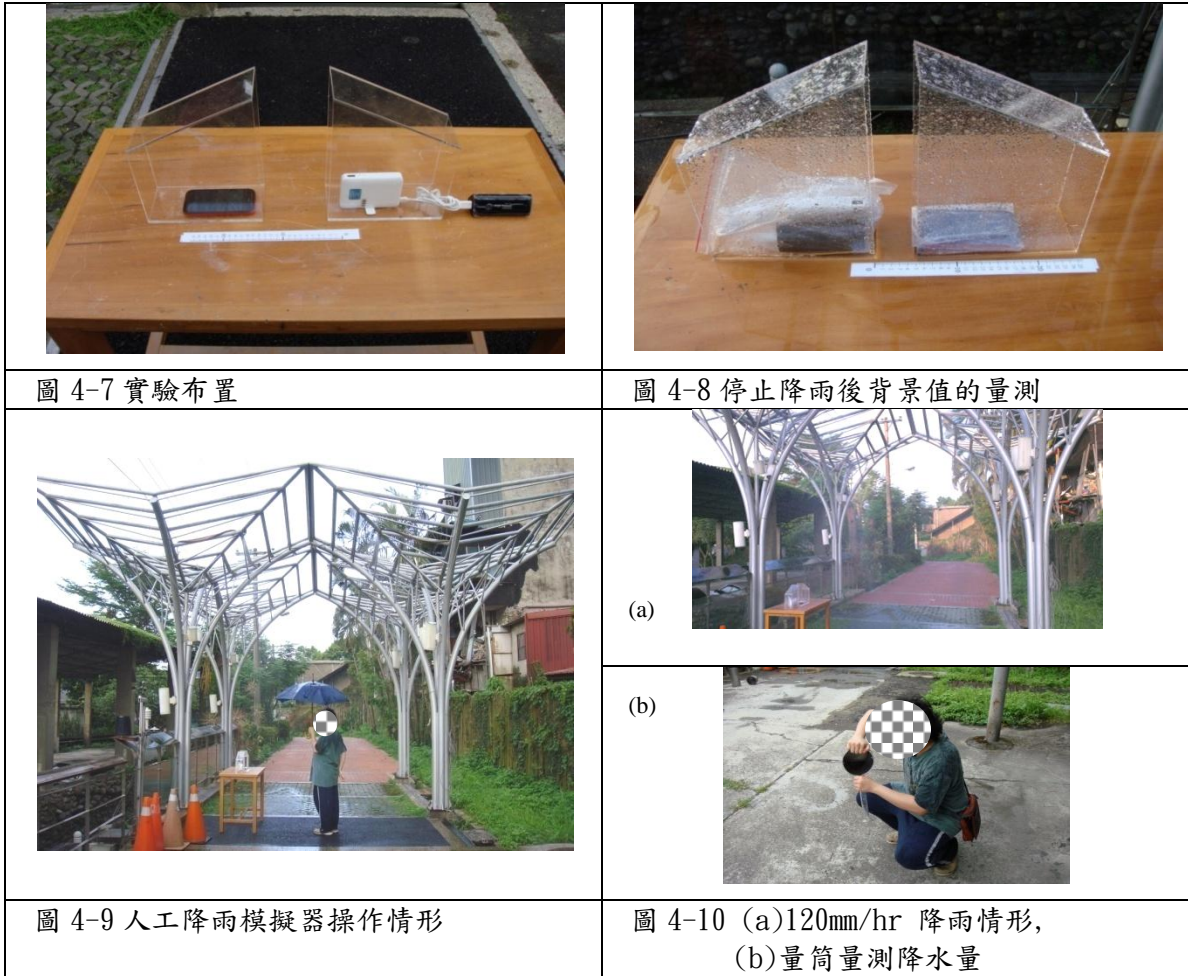
(a) 借用經濟部水利署水工試驗室內的降雨模擬器(表 3-4)，進行室外降雨實驗(供水系統示意圖表 3-4(a)所示)，因為噴頭設計的降雨現象與實際自然降雨相近，且雨量較接近現實情況；設定馬達轉速用以控制，進行降雨實驗。

(c) 實驗步驟

(i) 實驗開始時，將供水系統打開，設定降雨量 70 及 120 mm/hr 兩

種降雨條件。

(ii)依序設定發射器與接受器距離為 10、15、20、25、30 cm，用 Wi-Fi 分析儀量測讀取無線電波經過雨區時之衰減值。



(E)現場觀測

- (1)8 月 21 日潭美颱風侵台，晚上 8:30pm 到 11:45pm 之間進行觀測；本研究在 9:20~9:30 的 10 分鐘時段由迴歸公式計算結果為 6.88mm，相當於 41.3mm/hr。根據經濟部水利署雨量站資料分析，發現靠近觀測點的公館及中正橋雨量站所量測的值相當接近，證明雨量筒的精確度。雨量站與觀測點位置圖 4-11 所示；圖 4-12 畫出了潭美颱風雨量站降雨強度觀測值。圖 4-13 及圖 4-14 潭美颱風(左)及康芮颱風過後(右)觀測情形。
- (2)康芮颱風過後，在 9 月 1 日引進西南氣流使全台各地降下豪大雨，圖 4-16 雨量站降雨強度觀測值，發現靠近觀測點的公館及中正橋雨量站所量測的值較小於，本研究在 11:10~11:20 的 10 分鐘時段以及 12:40~12:50

的十分鐘時段觀測值為分別為 2.54mm 及 3.92mm，相當於降雨強度 14.7mm/hr 及 23.5mm/hr。從數據來看，當時可能受到強風的影響。

(3) 2014.09.21 鳳凰颱風(圖 4-5)，晚上 8 點~8 點 40 分之間進行觀測，本研究在當天的這 40 分鐘，測出其降雨強度為 36mm/hr，根據經濟部水利署雨量站資料分析，發現靠近觀測點的台北及中正橋雨量站所量測的值相當接近，證明雨量筒的精確度。

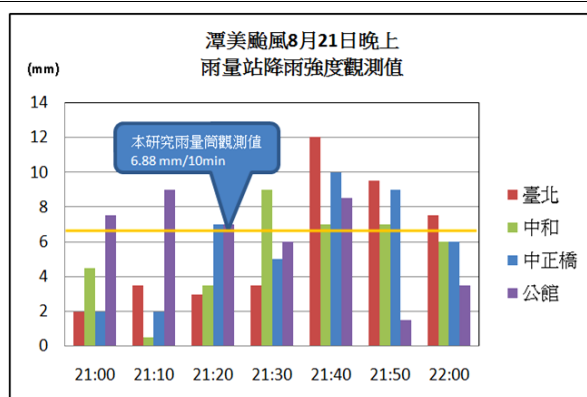


圖 4-11 雨量站與觀測點位置

圖 4-12 潭美颱風雨量站降雨強度觀測值



圖 4-13 觀測點場景



圖 4-14 潭美颱風(左)及康芮颱風(右)觀測



圖 4-15 鳳凰颱風觀測

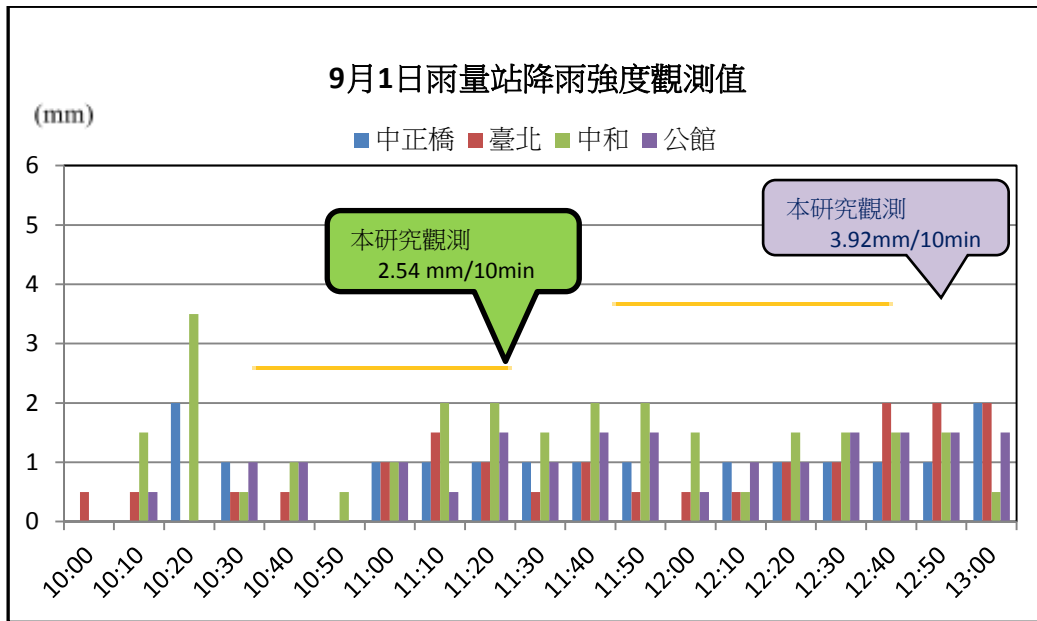


圖 4-16 康芮颱風過後 9 月 1 日中午雨量站降雨強度觀測值

伍、研究結果:

處理完的數據整理成表格以方便分析，如表5-1, 表5-2, 表5-3, 表5-4所列，其中SS(Signal Strength,單位: dBm)為訊號強度，R(mm/hr)為降雨量,L(cm)為距離。

表5-1室內實驗(1)

L(cm)=100	
R	SS
0	-47.50
1300	-48.23
2000	-48.74
2300	-51.86
2600	-55.14

表 5-2 室內實驗(2)

L(cm)=10		L(cm)=15		L(cm)=20		L(cm)=30	
R	SS	R	SS	R	SS	R	SS
0	-40.68	0	-37.6	0	-36.86	0	-37.2
1318	-49.33	780	-39.7	1032	-42.35	1135	-39.7
3210	-49.54	1089	-52.7	3027	-45.87	2064	-37.7
5618	-39.52	3325	-55.0	3887	-44.12	2637	-36.0
7223	-41.42	5480	-49.2	6466	-45.95	4104	-43.4

表 5-3 人工降雨模擬器

L(cm)=5		L(cm)=10		L(cm)=15		L(cm)=20		L(cm)=25	
R	SS	R	SS	R	SS	R	SS	R	SS
0	-20.33	0	-26.20	0	-26.50	0	-29.55	0	-32.44
70	-20.93	70	-27.89	70	-29.50	70	-31.14	70	-33.13
120	-23.00	120	-28.12	120	-29.95	120	-32.68	120	-36.22

表 5-4 現場觀測

L(cm)=20	
R	Kt
14.7	-0.70
23.5	-0.80
41.3	-2.75

Kt 為衰減值, 為 SS(0) - SS(R)

(A) 訊號強度(SS)與降雨強度(R)的關係

由表 5-1 的室內實驗(1)，雨量越小時衰減越不明顯，和理論不合。分析發現蓮蓬頭的面積小於訊號傳播範圍，靠近雨區邊緣的地區無法被均勻的覆蓋。除此之外，本實驗使用單一個直徑 6 吋蓮蓬頭(直徑約 15.24cm)，有效雨區比雨量筒的口徑(直徑 20cm)還要小，容易造成雨量率定上的誤差。

室內實驗(2)的結果較符合預期，但由於降雨為連續柱狀，大雨量和小雨量訊號衰減的差異多半為附著在防水夾鏈帶上的雨滴所造成，當重複進行實驗時，發現相同條件下所接收到的訊號強度有所不同。之後進行室外實驗時已加裝壓克力防水罩，增加雨滴分布的均勻度。蓮蓬頭的降雨強度只能控制在 780 – 7223

mm/hr 之間，與自然界的降雨差異頗大，故量測到的數據不採計在標準迴歸式。

室外降雨實驗的結果較符合理論預期，降雨強度設定在 70 及 120 mm/hr，為合理的自然降雨的強度。

根據前一節數據的分析之後，室外降雨實驗(包括人工降雨模擬器及颱風豪雨現場觀測)共 21 組資料數據呈現較合理的規則性，適合當作標準迴歸式的數據。

人工降雨模擬器產生的雨滴譜較接近自然中的情形，雨區也能完全涵蓋發射及收發器間的距離(L=5,10, 15, 20, 25 cm)，且降雨強度可以控制在 70 及 120 mm/hr，是合理的自然降雨的強度。另外，其衰減值 Kt 和雨強度的關係式和 3 組現場觀測數據的迴歸式誤差不大，故未來可持續使用降雨模擬器的數據提供更多數據。

利用表 5-4 室外降雨實驗的結果共 21 組數據進行分析。首先將表 5-4 中有雨時的訊號強度扣除無雨時的訊號強度求得衰減值 Kt，並將距離 15, 20, 25 cm 的衰減值做平均後取迴歸趨勢線(紅色虛線)，相關係數 $R^2 = 0.717$ ，若僅用距離 20 cm 的衰減值取迴歸趨勢線(黑實線)，相關係數 $R^2 = 0.792$ ；我們發現當發射器和接收器相距 20cm 時，衰減值和降雨強度的關係最為相關。將 20cm 的趨勢線代入上表 3-5 中 3 組現場觀測數據的衰減值 Kt 後，發現其中兩組與中央氣象局的觀測結果誤差只 15%以內，而潭美颱風來襲時的觀測值代入趨勢線時誤差 40%，故不採納。修正以後，迴歸結果 $y = -0.36 \ln(x) + 0.356$ ($x=R$ ； $y= 10 \log Kt$)，Kt 已是 dBm 值為對數函數值，所以寫成 $10 \log Kt = -0.36 \ln(R) + 0.356$ ，又因為 $2.303 \log(R) = \ln(R)$ ，可求得公式(7)的關係式，其中 $\alpha = 2.3$ ， $\beta = -0.83$ ，相關係數為 0.89。

由上述結果分析發現，未來在進行實驗或觀測時只維持接收器和發射器距離為 20 公分即可。至於不同距離所造成的誤差，除了 12.5 公分附近受到遠場/近場通訊的影響而誤差每公尺約 10%以外，其餘距離的誤差皆在 2.5%以內。

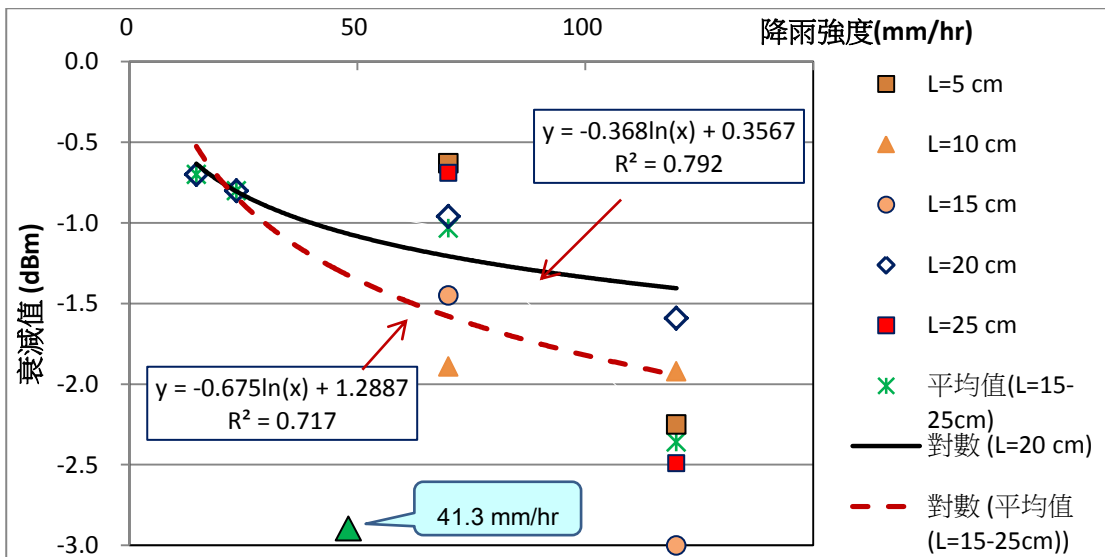


圖 5-1 訊號強度衰減值(Kt)與量測降雨強度(R)的關係(L=20cm 室外降雨實驗)

(B) 訊號強度與距離(L)的關係

將距離(L)因素考慮後，圖 5-1 已是衰減值(Kt)、距離(L)與降雨強度(R)的關係分析圖。將表 5-4 室外降雨實驗的 L=5, 10, 15, 20, 25 cm 納入分析，可得到圖 5-2 相當線性的關係，而在 15 cm 後有一轉折趨勢，可能是為電磁波遠場效應的影響。

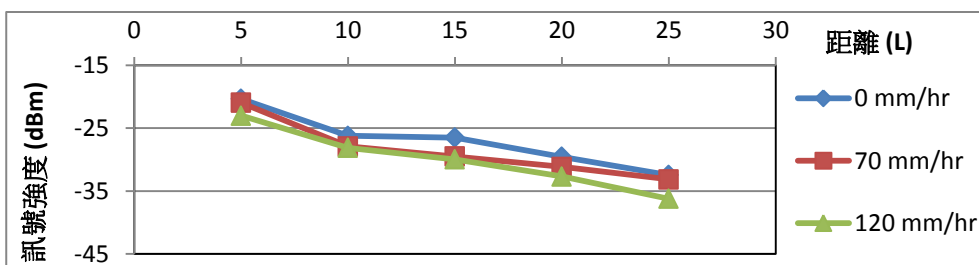


圖 5-2 訊號強度與距離(L)的關係分析

(C) 雜訊源和訊號的關係

當波源較多時容易出現干擾現象因而影響訊號之穩定度。由於 2.4GHz 為普遍使用的 Wi-Fi 無線通訊頻率，容易受到行動熱點和戶外 AP 的影響，即使在波源較少的學校內進行實驗，仍有 20 種以上無線網路訊號與主訊號互相干涉，造成訊號震盪劇烈(圖 5-3)。除了數據分析時適度篩選資料外，也可改用指向性天線來進行實驗，增加訊號的穩定性和可靠性。

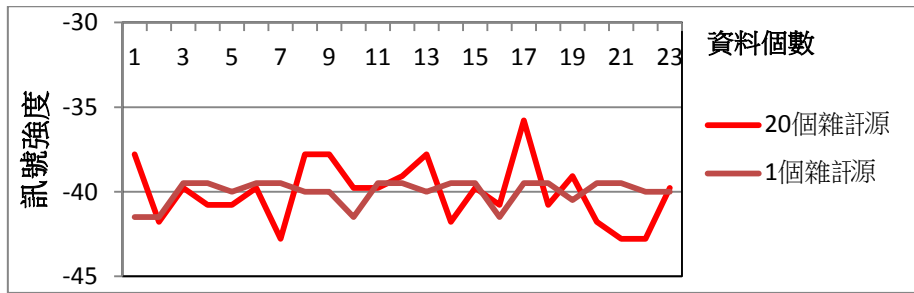


圖 5-3 波源較多時易干擾訊號之穩定度

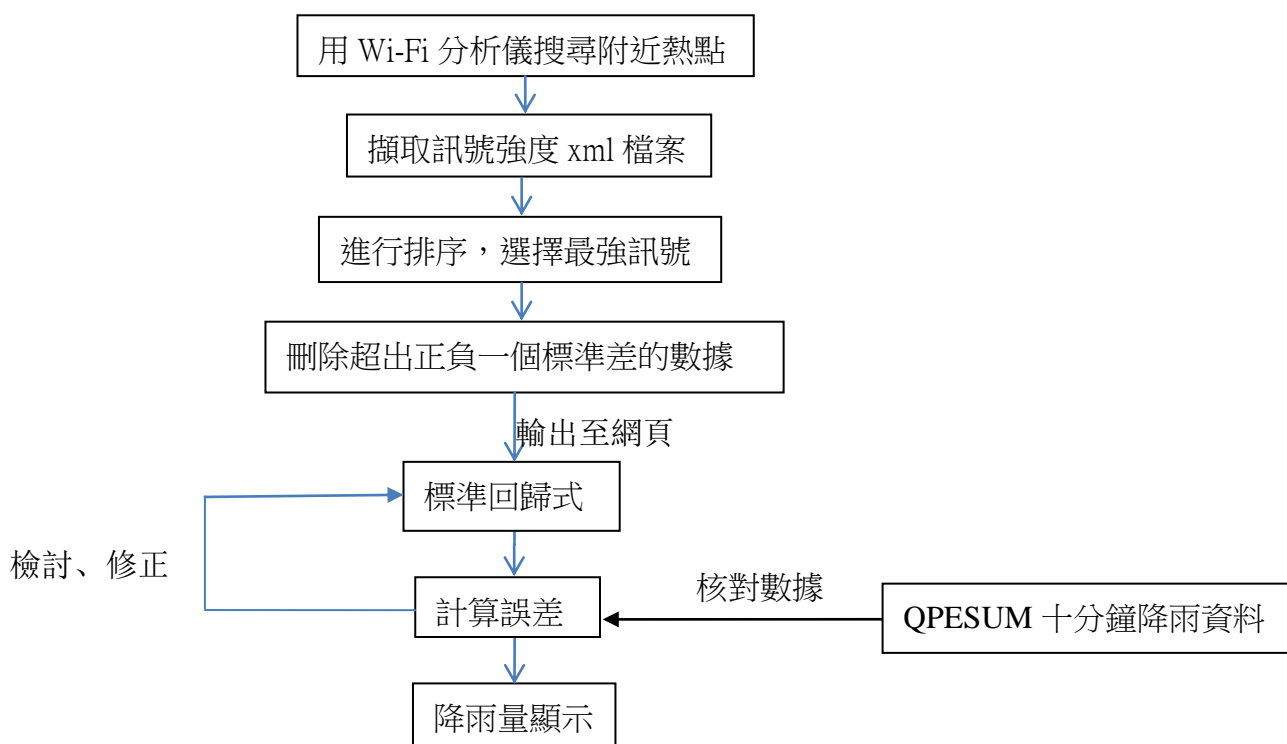
陸、討論與應用

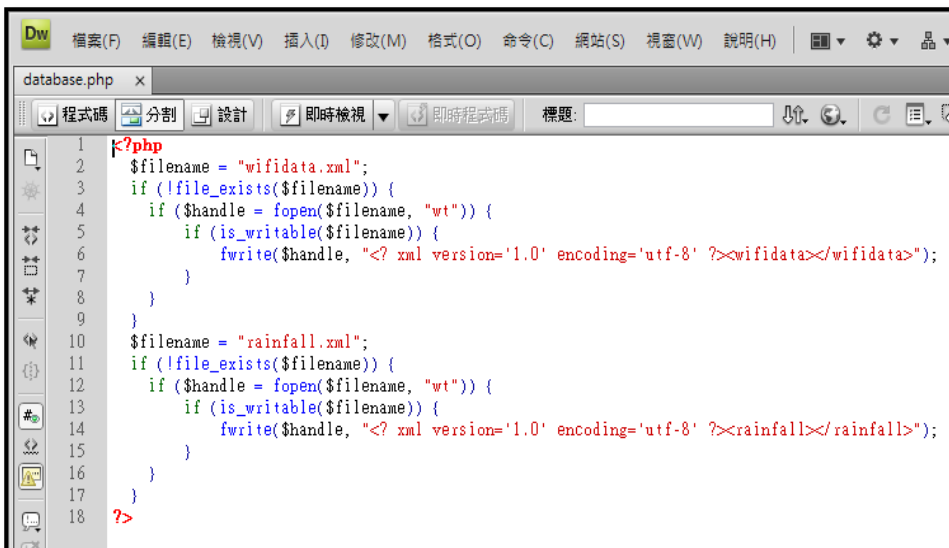
一、應用

本計畫為應付未來龐大的數據量，擬建置資料庫自動計算標準迴式，每當從實驗或現場觀測獲得數據將置入系統重新運算，修正迴歸式，並與中央氣象局所觀測的結果進行誤差的比較，同時輸出至手機上的網頁，提供視覺化、互動式的資訊。

1. 訊號處理

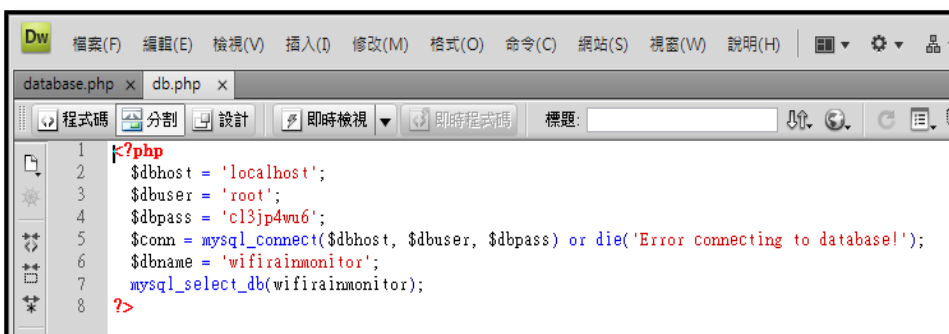
首先利用 Wi-Fi 分析儀在定點位置搜尋附近的訊號，等待程式開啟五秒後訊號定時再以秒為單位共十秒擷取訊號強度的 xml 檔，進行排序後找出最強的訊號存入資料庫中。接著計算訊號強度的標準差，刪除超過正負一個標準差的數據後進行平均，作為一筆資料，套入原來的迴歸式，計算出對應的降雨量，再從 QPESUM(氣象局資料庫)擷取每十分鐘降雨量，計算相對誤差，並以此修正原迴歸公式。最後將結果繪製成圖表輸出至電腦和行動裝置上(圖 6-1)。目前只能將數據和圖表從 xml 檔先讀取自資料庫(圖 6-2)，再從資料庫上傳到網頁上顯示(圖 6-3)，之後將進一步寫成行動 app，提供完整的服務。





```
1 <?php
2 $filename = "wifidata.xml";
3 if (!file_exists($filename)) {
4     if ($handle = fopen($filename, "wt")) {
5         if (is_writable($filename)) {
6             fwrite($handle, "<? xml version='1.0' encoding='utf-8' ?>wifidata</wifidata>");
7         }
8     }
9 }
10 $filename = "rainfall.xml";
11 if (!file_exists($filename)) {
12     if ($handle = fopen($filename, "wt")) {
13         if (is_writable($filename)) {
14             fwrite($handle, "<? xml version='1.0' encoding='utf-8' ?>rainfall</rainfall>");
15         }
16     }
17 }
18 ?>
```

圖 6-2 將 xml 檔案讀取至資料庫的程式



```
1 <?php
2 $dbhost = 'localhost';
3 $dbuser = 'root';
4 $dbpass = 'cl3jp4wu6';
5 $conn = mysql_connect($dbhost, $dbuser, $dbpass) or die('Error connecting to database!');
6 $dbname = 'wifirainmonitor';
7 mysql_select_db($dbname);
8 ?>
```

圖 6-3 從資料庫讀取資料到網頁的程式

2. 結果顯示

我將結果上傳到網頁上，共三個頁面(圖 6-4)。第一個頁面以 flash 軟體繪製雨量筒作為背景圖，水位顯示換算成 24 小時累積降雨量。第二個頁面顯示距離用戶最近的一個雨量站所記錄的一日累積雨量。第三個頁面則提供該地點的降雨強度/時間趨勢圖。顯示的部分採用分級設色的概念，依據中央氣象局的定義分為大雨(50mm/day)、豪雨(130mm/day)、大豪雨(200mm/day)以及超大豪雨(350mm/day)四種，分別以綠色、黃色、橘色以及紅色呈現。所有蒐集的資料將公開給各相關機構使用。

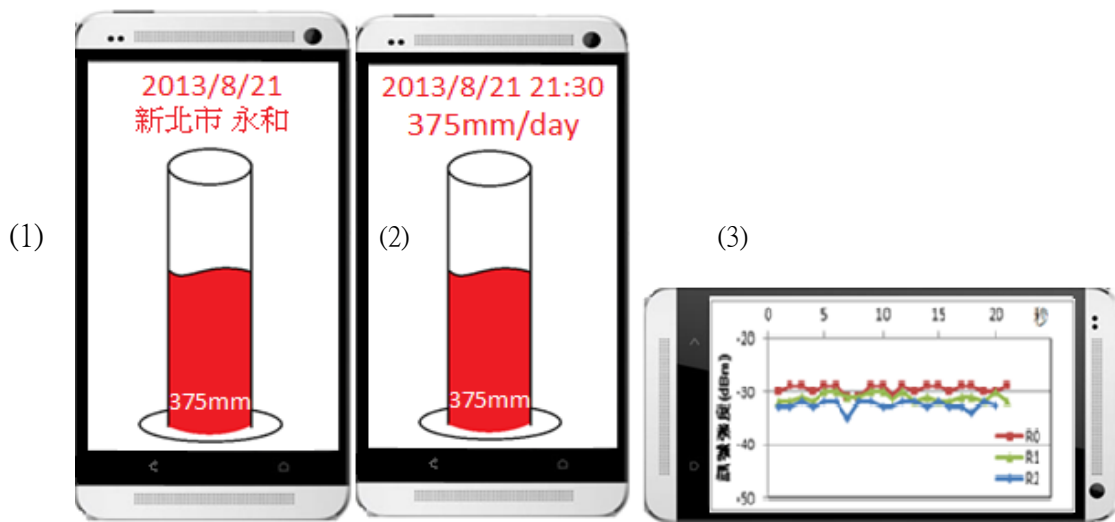


圖 6-4 程式畫面顯示:(1)觀測瞬時降雨呈現(2)距用戶最近之雨量站一日累積雨量
(3)降雨強度/時間變化圖

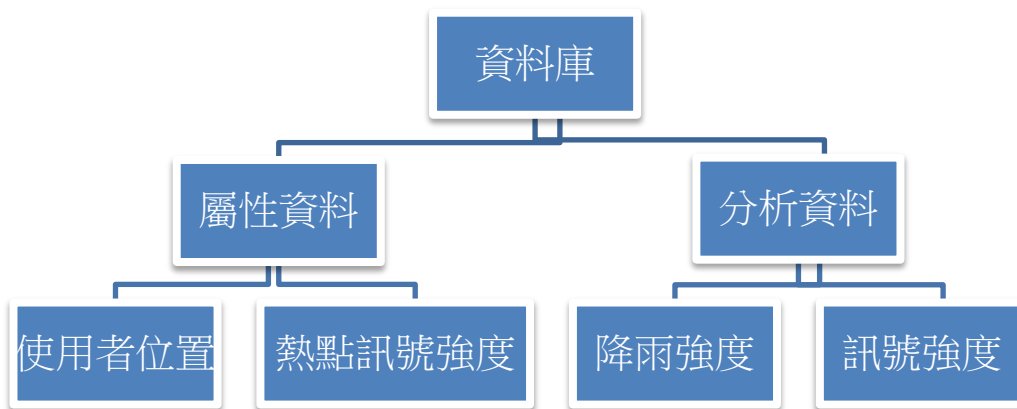


圖 6-5 資料庫結構樹狀圖

當降雨達到資料庫中預設警戒值(依照使用者位置之地形、排水情形，配合相關可利用的資訊)(圖 6-5)，手機將以響鈴和震動等方式警告使用者要緊急撤離該區域，並配合 GPS 衛星，提供最安全的逃難疏散路徑。

三、展望

1.本研究希望能藉由手機接收之無線電波訊號，提出一套可以利用無線電波與降雨強度之關係，得知即時降雨大小資料。目前僅建立出 2.4GHz 訊號的衰減值(Kt)、距離(L)與降雨強度(R)的關係，但手機與 Wi-Fi 熱點的密度遠高於基地台，

也比起傳統的雨量筒或雷達更能提供小區域降雨情形，除了提供個人水情資料外，還能增進人們對瞬間降雨的了解以及預報的準確度，並與雷達回波、雨量站等觀測資料整合成在時間、空間的降雨量分佈圖，提升改善觀測精度以提供救災準備、淹水及土石流警戒之依據，以減少災情，增進國家社會安全，提高人民的生活品質。

2. 在實際的應用上，手機和熱點之間的訊號可能會受到建築物、公車等障礙物的影響而發生額外的衰減，但基本上只要所搜尋到的訊號強度超過-50dBm且趨勢穩定，應該可處理發生繞射所造成衰減的情形。未來希望透過 Google Earth 等擁有 3D 分析功能的軟體，來判斷手機與熱點之間是否有障礙物。

柒、結論

1. 本研究總共分為室內降雨實驗、室外降雨實驗以及現場觀測三個階段來進行，共取得了 42 個實驗組數。從實驗結果資料得知，電磁波訊號強度(SS)會隨降雨強度(R)的增加而減弱。
2. 從 3 組現場觀測數據證明人工降雨模擬器的降雨最接近實際情形，且降雨強度為 70 及 120 mm/hr，為自然界中合理的雨量。
3. 根據室外降雨實驗以及現場觀測 21 組資料數據找出號強度衰減值(Kt)與降雨強度 (R)的關係，建立標準迴歸線。

$$\log Kt = \log \alpha + \beta \log R \dots\dots\dots(8)$$

該公式的形式符合由雨滴參數推導的公式，其中 $\alpha = 2.3$ ， $\beta = -0.83$ 。

4. 當雜訊源越多時訊號震盪越劇烈，數據處理的過程須刪除正負一個標準差的數據，以獲得較精確的迴歸結果。
5. 距離(L)與訊號強度的對數值可建立相當線性的關係，而在 15 cm 後的轉折趨勢，可能是電磁波的遠場/近場效應所造成，未來值得更進一步討論。
6. 未來希望建立資訊系統讓我們隨著更多數據的累積而及時修正標準迴歸線，並輸出資料至手機上的網頁供視覺化的服務。

捌、參考資料(文獻)及其他

1. Overeema, A., Leijnseb, H.,&Uijlenhoet, R. (2013). Country-wide rainfall maps from cellular communication networks.PNAS, 110(8), 2741-2745.
2. Bianchi, B., Rieckermann, J., & Berne, A.(2011).Detection of faulty rain gauges using telecommunication microwave links. 12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil.
3. Cebula III, S.L., Ahmad, A., Graham, J.M., Hinds, C.V., Wahsheh, L.A., et al. (2011). Empirical channel model for 2.4 GHz IEEE 802.11 WLAN.Proceedings of the 2011 International Conference on Wireless Networks.
- 4 .Seltmann, J.E.E., Kunstmann, H., Chwala, C., Qiu, W., Hipp, S., Siart, U., et al.(2010). PROCEMA: avirtual institute to measure precipitation combining mobile phone transmission and radar.ERAD 2010 - the sixth European conference on radar in meteorology and hydrology.
5. Esteves, M.,Planchon, O.,Lapetite, J.,M., Silvera, N.,&Cadet, P. (2000).The `emire' large rainfall simulator: design and field testing.Earth Surf. Process. Landforms, 25, 681-690.
6. Kaufmann,M.& Rieckermann,J. (2011). Identification of dry and rainy periods using telecommunication microwave links.12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil.
7. Kvicera,V.& Grabner, M. (2010).Rain attenuation on terrestrial wireless links in the mm frequency bands.Advanced Microwave and Millimeter Wave Technologies Semiconductor Devices Circuitsand Systems, Moumita Mukherjee (Ed.).Obtained from:<http://www.intechopen.com/books/advanced-microwave-and-millimeter-wave-technologies-semiconductordevices-circuits-and-systems/rain-attenuation-on-terrestrial-wireless-links-in-the-mm-frequency-bands>
8. Messer, H., Zinevich, A. and Alpert, P. Science(2006).
- 9.王永琦、蔡義誌、林俐玲(民 96)。室內模擬降雨觀測土壤初始含水量對入滲與

逕流之影響。水土保持學報，39 (4) ，453- 466。

10.中央氣象局歷史颱風資料庫。民 102 年 8 月 25 日，取自：

http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2009080804&year=2009&c_name=莫拉克&e_name=MORAKOT

11.中央氣象局南部觀測站。民 102 年 8 月 25 日，取自：

http://south.cwb.gov.tw/index1.php?web=402&web_title=%e9%9b%b7%e9%81%94%e5%9b%9e%e6%b3%a2%e5%9c%96

12.蔡嘉倫、游政谷 (民 101)。微波降雨雷達觀測之初步分析與應用。大氣科學，40(2)，109-134。

13.台灣颱風洪水研究中心，觀測分析與即時預報、定量降雨預報技術。民 102 年 8 月 30 日，取自：<http://www.ttfri.narl.org.tw/study02E.html>