

低功耗廣域網路執行坡地與土石流防災監測傳輸之可行性研究

(3)

摘要

坡地災害發生前、中、後期，監測系統能否有效將待測之訊號有效傳遞到後台伺服器並順利即時上傳至雲端，一直是防災技術中關鍵的課題。長距離低功耗廣域網路為近年發展之通訊技術，在都會區之應用已經日趨成熟與廣泛；然而在坡地，受制於幅員遼闊、電力供應與基地台架設限制，長距離低功耗廣域網路之功能更為重要且須受到驗證。

108 年度計畫持續進行 107 年度之試驗方式，發現相對於地形與天候，植被可能對通訊品質的影響更高。此外該年度順利開發以雙機分工方式，以 P2P 方式通訊，經接收發射端訊號後轉發至接收端，達到中繼站橋接訊號的目的。經實地測試，在同樣的環境條件下可大幅降低訊號漏失率。此一作法相較開發單機雙工成本為低，也國內外為業界首創。然而因初步開發，為克服現場氣候條件而採用工業級電腦，成本高且耗電(60W)，因此本期(109 年度)計畫已採用較高傳輸效能、更穩定系統以及能耗更低之 LoRa 模組，於神木村與祝山停機坪間進行傳輸測試，直線距離約 4 公里，可順利傳輸，然穩定性仍需持續探究。另外 NB-IoT 過去已於新北市新店區被評估且分析漏失率，然效果不佳。本期計畫改於神木村進行測試，針對不同電信業者進行比較，初步成效較有進步。本年度重點項目除持續於現地進行長時間測試外，後續於明新科大校園打造模擬不同場域之通訊品質實驗場域，透過灑水系統模擬不同之天候、不同樹葉之樹種模擬植被干擾，以測試各種可能之現地情境。並進一步探討不同擺設高度、角度對通品質之影響，於完成階段一併提出最佳化之配置建議。

關鍵詞：坡地災害、監測系統、長距離低功耗廣域網路、物聯網、雲端
大數據

目次

摘要.....	I
目次.....	III
表次.....	V
圖次.....	VI
第一章 研究計畫內容.....	1
第一節 研究計畫之背景.....	1
一、邊坡監測面臨之大量且低功耗之通訊需求	1
二、坡地監測萬物聯網概念	2
第二節 通訊技術簡要回顧.....	3
一、長距離低功耗傳輸技術之發展	3
二、現行常見長距離低功耗傳輸技術之比較	4
三、LoRa 之技術發展.....	7
四、NB-IOT 之技術發展	10
五、未來與 5G 通訊方式之結合.....	12
第二章 前期計畫回顧.....	15
第一節 LoRa 傳輸部分	15
第二節 天線之影響.....	22
第三節 NB-IoT 傳輸部分	26
第四節 研究區域.....	29
一、南投縣信義鄉神木村與嘉義縣阿里山鄉	29
第三章 LoRa.....	31
第一節 LoRa 傳輸測試.....	31

一、 LoRa 現地耐候性試驗.....	31
二、 穩定性與效能較佳之 LoRa 模組	33
第四章 NB-IoT	63
第一節 NB-IoT 於神木村測試結果	63
第二節 NB-IoT 於祝山測試結果	67
第三節 NB-IoT 於南方澳測試結果	68
第五章 結論與建議.....	71
第一節 結論	71
第二節 建議.....	72
附錄.....	73
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	73
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	77

表次

表 1-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較	6
表 2-1 以中繼站方式與直接傳輸方式之成果比較	20
表 2-2 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗成果	21
表 2-3 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試	22
表 3-1 109 年 6 月 22 日神木村 LoRa 試驗成果統計表	32
表 3-2 氣象局神木雨量站 109 年 6 月 22 日至 7 月 6 日之日雨量統計	33
表 3-3 校內試驗傳輸率成果	42
表 3-4 神木-祝山 LoRa 設置地點及其裝設情況	50
表 3-5 2020 年 7 月 21 日神木-祝山 LoRa 通訊試驗結果	51
表 3-6 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台試驗傳輸率成果	53
表 3-7 LoRa 神木村長期試驗傳輸率成果	56
表 3-8 LoRa 神木村-祝山長期試驗傳輸率成果	60

圖次

圖 1-1 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖	2
圖 1-2 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖	4
圖 1-3 長距離星型架構示意圖	8
圖 1-4 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖	11
圖 1-5 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖.....	11
圖 1-6 不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖	13
圖 2-1 可能遭受干擾之點位空間分布圖	16
圖 2-2 現地實驗之地形狀況與訊號紀錄(T 為發送端；R 為接收端).....	17
圖 2-3 宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa P2P 橋接實驗點位置圖.....	18
圖 2-4 四季國小達雅樓之接收站(GateWay).....	18
圖 2-5 SI-1 處之發射端	19
圖 2-6 SI-2 之發射端.....	19
圖 2-7 SI-4 之中繼站.....	19
圖 2-8 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗配置	21
圖 2-9 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試	22
圖 2-10 本研究採用三種不同天線之方向圖	24
圖 2-11 天線增益比計算示意圖	24
圖 2-12 不同增益比天線之傳訊範圍	25
圖 2-13 107 年度採用 NB-IoT 模組接線配置圖與現地實測照片	26
圖 2-14 理想狀況下為期 30 天以 10 分鐘傳送 1 次之資料分布(藍色)與漏失區(紅色).....	27
圖 2-15 NB-IoT 現地測試點 A 之記錄.....	27

圖 2-16 NB-IoT 現地測試點 B 之記錄	28
圖 2-17 南投縣信義鄉神木村區域位置圖	29
圖 2-18 神木村 LoRa 測試地點，左為神木國小，右為出水溪鋼索檢知器	30
圖 2-19 祝山停機坪	30
圖 3-1 LoRa P2P 於神木村現地耐候性試驗	31
圖 3-2 LoRa 接收站裝設於神木國小	32
圖 3-3 本計畫採用 LoRa 模組使用收發器規格	34
圖 3-4 LoRa Gateway 無線閘道器規格	34
圖 3-5 LoRa Node 無線感測節點規格	35
圖 3-6 搭配太陽能模組之 LoRa Node	35
圖 3-7 本研究使用 LoRa 傳輸天線，左為 35dbi、700-2700MHz 全頻段天線，右 為 5dbi、915MHz 天線	36
圖 3-8 LoRa 控制介面示意圖	38
圖 3-9 LoRa 監測系統配置示意圖	38
圖 3-10 LoRa 擷取資料範例	39
圖 3-11 發射站裝設環境	40
圖 3-12 LoRa 校內傳輸測試配置圖	41
圖 3-13 Node 於校內傳輸試驗電池電量變化歷線圖	41
圖 3-14 校內傳輸試驗 RSSI 歷線圖	42
圖 3-15 校內傳輸試驗 RSSI 比對降雨事件	43
圖 3-16 人工降雨傳輸測試	44
圖 3-17 人工降雨傳輸測試 RSSI 歷線圖	44
圖 3-18 LoRa 紅樹林傳輸測試配置圖	45
圖 3-19 LoRa 紅樹林傳輸測試發射站裝設環境	45

圖 3-20 LoRa 紅樹林傳輸測試 RSSI 歷線圖	46
圖 3-21 LoRa 鳳岡灌木林傳輸測試配置圖	47
圖 3-22 LoRa 鳳岡灌木林傳輸測試發射站裝設環境	47
圖 3-23 LoRa 鳳岡灌木林傳輸測試 RSSI 歷線圖	48
圖 3-24 LoRa 神木-祝山傳輸測試配置圖	49
圖 3-25 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台傳輸測試配置圖	52
圖 3-26 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台傳輸測試裝設環境.....	52
圖 3-27 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台傳輸測試 RSSI 歷線圖	53
圖 3-28 LoRa 神木村長期傳輸測試配置圖	54
圖 3-29 LoRa 神木村長期傳輸測試裝設環境	55
圖 3-30 本團隊使用之太陽能儀器箱內部配置圖	55
圖 3-31LoRa 神木村長期傳輸測試 Node 電量變化圖	56
圖 3-32 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 歷線圖	57
圖 3-33 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 與時雨量比對圖	58
圖 3-34 LoRa 神木村-祝山長期傳輸測試配置圖	59
圖 3-35 LoRa 神木村-祝山長期傳輸測試 Gateway 裝設環境.....	59
圖 3-36 LoRa 神木村-祝山長期試驗 RSSI 歷線圖	60
圖 3-37 LoRa 神木村-祝山長期試驗 011 站 RSSI 與時雨量比對圖	61
圖 3-38 LoRa 神木村-祝山長期試驗 012 站 RSSI 與時雨量比對圖	61
圖 4-1 109 年 7 月 21 日那瑪嘎班溪橋 NB-IoT 傳輸測試	63
圖 4-2 本計畫所採用 NB-IoT 模組及其規格.....	64
圖 4-3 遠傳電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖	65
圖 4-4 中華電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖	65
圖 4-5 遠傳電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖	66

圖 4-6 中華電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖	66
圖 4-7NB-IoT 於祝山觀景台現場測試.....	67
圖 4-8 遠傳電信 NB-IoT 於祝山停機坪傳輸時間間隔比對圖	67
圖 4-9 中華電信 NB-IoT 於祝山停機坪傳輸時間間隔比對圖	68
圖 4-10 NB-IoT 於南方澳現場測試.....	68
圖 4-11 遠傳電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖	69
圖 4-12 中華電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖	69

第一章 研究計畫內容

第一節 研究計畫之背景

一、 邊坡監測面臨大量且低功耗之通訊需求

台灣為一高山島，人口眾多，土地資源卻十分有限，在地狹人稠的人口壓力之下，有限的國土資源往往過度開發利用。平原與盆地地區的開發無法滿足國人生活需求的情況下，乃擴張至丘陵山區開發。但在需求甚殷之下，往往過度地擴張，許多山坡地不當地開發為建地，破壞了原有的水土保持，進而對台灣自然環境與台灣民眾生命財產造成重大衝擊與危害。此外，因為山坡地大自然的條件屬於破碎地質，加上地震與颱風的誘因，所以山坡地的開發所形成的聚落，成為重要的保全對象。因此，如何兼顧國土開發利用與環境保育，以維護台灣自然山林生態以及確保民眾生命財產安全，已成為台灣社會當前最重要的環境課題。台灣地質構造複雜為全世界地殼變動最激烈地區之一，頻繁的地震、颱風侵襲加上人為土地開發不當，經常造成山崩、地層滑動、地盤下陷、房屋傾斜龜裂、土石流等嚴重災害，導致人民生命財產嚴重的傷害與損失。1999 年 921 地震、2001 年桃芝颱風、2001 年納莉颱風、2004 年敏督利颱風、2009 莫拉克颱風、2010 年梅姬颱風、2012 蘇拉颱風、2013 蘇拉颱風、2016 年美濃地震、2017 年蘇迪勒颱風等重大災害後，凸顯出防災科技研究對防、減災工作之重要性。

特別是上述事件都曾經遭遇到災區斷訊問題，不但監測訊號無法記錄傳出，一般之通訊也都中斷數時數日，使災區成為通訊孤島。另一方面，一旦電力中斷，原本採用高耗電之傳輸方法(如 4G)將無法發揮繼續傳輸或儲存監測資料功能。另一方面，在邁入多感測器(萬物聯網)時代，長距離低功耗之通訊方式，勢必為較低成本且在災害來臨前、中、後之重要維持通訊方式。

然而低功耗之傳輸方式較可能受到外在因素干擾，需針對坡地監測應用深入探討，此為國內較少探討部分。

二、坡地監測萬物聯網概念

隨著資訊及通訊技術(Information and Communication, ICT)的發展，無線監測網域(Wireless Sensor Network, WSN)，指在場域內分散佈建特殊功能的感應及傳輸元件，用來監測和記錄環境的現況資訊，並將資料透過通訊技術蒐集到遠端伺服器來進行分析、判斷及反應，一直都是國內外相關產官學研界積極投入研究發展的領域，早期希望各種監測設備所蒐集之資訊能透過不同的無線平台傳輸，如 Zigbee、WiFi、2G、3G 或 4G 等，但多受到傳輸距離、消耗電力及傳輸費用之限制，而無法在廣大的區域來佈建。

近 2~3 年來，如圖 1-1 所示，新發展的低耗能長距離廣域無線網路技術(Low Power Wide Area Network, LPWAN)，包含 LoRa、Sigfox、NB-IoT、Weightless 等無線通信技術皆已逐漸成熟，全球的物聯網與通訊廠商也積極廣設各種跨域或獨立的 LPWAN 基地台，將長距離、高覆蓋率、低功耗、低成本優勢與高端傳感器和智慧裝置結合，開始提供相關創新服務。因此，如能透過此新一代萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)並透過 LPWAN 通訊技術加以實證，將可大幅擴展物聯網的應用情境，包含應用於各種生活需求，改善生活環境。



圖 1-1 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖

第二節 通訊技術簡要回顧

一、長距離低功耗傳輸技術之發展

隨著物聯網迅猛發展，以及應用的日益增多，無線傳輸協議也越來越受到技術人員和大眾的關注，例如藍牙、WiFi、Thread、Zigbee、4G、5G 等等的物聯網和無線通信傳輸協議。其中 WiFi、Zigbee、4G 是目前在邊坡監測系統較常使用之通訊方式，然而電力需求、通視性高，是目前使用瓶頸。這些協議各有優缺點，也有各自的應用場景，但是對於長距離和低功耗只需要少量數據傳輸的應用場景，目前還沒有能夠很好的滿足要求的無線傳輸協議，這也就是 LPWAN 技術產生的原因。

LPWAN 三大陣營 NB-IoT、LoRa、Sigfox 脫離試運行的實驗網階段，2018 年都要大舉投入商轉，肩負海量物聯網基礎建設的重責大任，相關技術與廠商都卯足全力在最近投入網路、產品、服務等佈局，希望能搶占物聯網廣大商機。低功耗廣域網路(Low Power Wide Area Network, LPWAN)2017 下半年將陸續投入商轉，NB-IoT、LoRa、Sigfox 三大陣營脫離試運行的實驗網階段。NB-IoT 經過 R13 與 R14 版本的強化，技術架構逐漸完善；LoRa 聯盟會員已經突破 500 大關，周邊商品陸續問世；Sigfox 全球網路覆蓋達 32 個國家。NB-IoT 各大電信營運商陸續宣布開台，並投入公共事業、共享經濟、智慧城市等相關服務；LoRa 在智慧讀表、智慧農業、工業物聯網具備優勢；Sigfox 領先取得國內二類電信執照，並於跨國大範圍的智慧讀表、智慧監測等應用持續發展。

圖 1-2 為各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係，可看出為實現低成本之物聯網，通訊方式勢必得朝關係圖面左上方邁進。

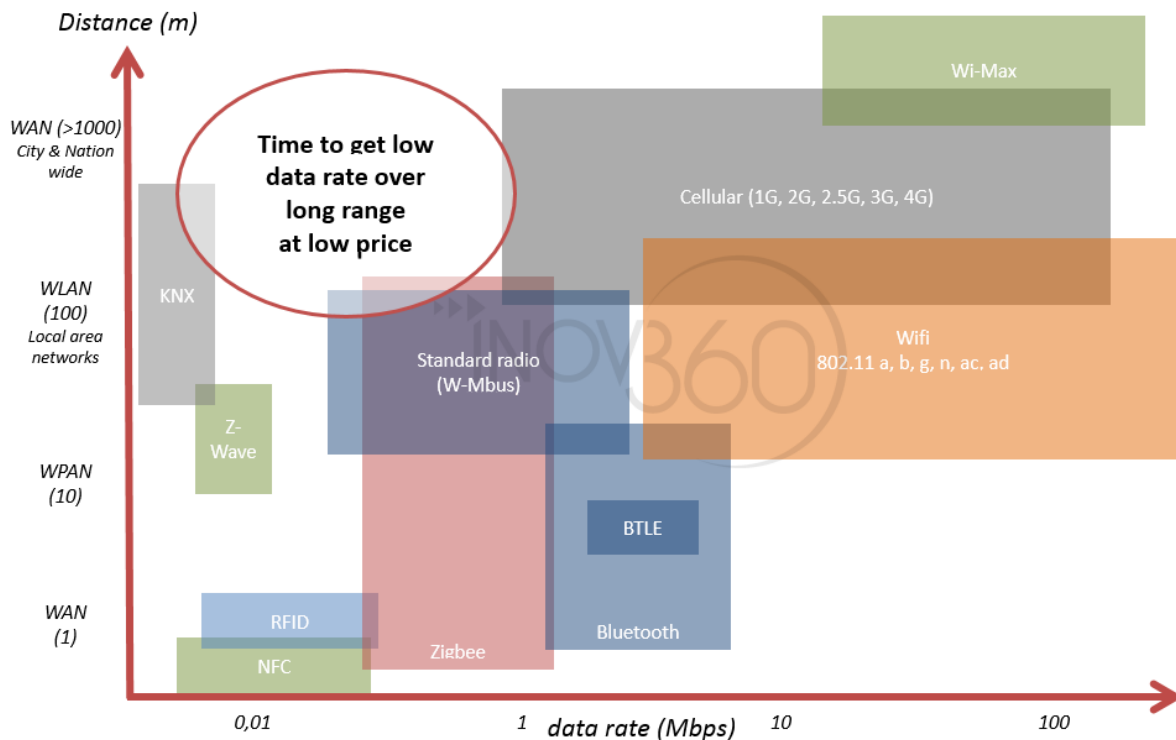


圖 1-2 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖

(圖片來源於：<https://www.inov360.com/en/sim-less-networks-the-new-eldorado-of-m2m-and-internet-of-things/>)

二、 現行常見長距離低功耗傳輸技術之比較

低功耗廣域網路專為機器對機器(M2M)應用而設計，這些應用通常對應偏遠地區需求，由於偏遠地區數據傳輸率相對較低，需要較長的電池續航時間，以及可長期在無人看管的情況下運行。對水保局進行防災業務而言相當重要，特別是人力無法時常到達之處。

從針對 LPWAN 所推出的三大蜂巢式技術看來，三項技術皆被定位為 LPWAN 範圍，彼此之間似乎相互競爭，但仔細看規格的話，可了解其市場定位有所差異。例如，EC-GSM-IoT 主要由 2G 技術演變而來，因此應用大多承接 2G 市場；LTE-M 則是針對需要用到 LTE 技術，但數據傳輸資料量偏低的應用，換言之，若需要使用 Mbit/s 等級的傳輸量，需使用 LTE-M；若只需要 kbit/s 數據傳輸，GSM 即綽有餘裕。

上述 LPWAN 技術各自有著不同特點，業界多預測未來其中一項技術將會力壓群雄，成為一枝獨秀。然而，正如 LoRa 創始人之一 Olivier Hersent 曾說過的，互相合作的共存關係更可能帶領未來技術走向新的發展。事實上，物聯網應用領域百百款，這幾種技術的特點也對應了不同領域的特殊需求。比如 NB-IoT，使用授權頻段和 LTE 技術，其網路不限制傳輸訊息次數，所能攜帶的資料量也更高，因此適用於重視網路傳輸穩定性和即時性的智慧工業領域，或者是需要聲音、影像檔等高資料傳輸的 IoT 裝置。相對地，NB-IoT 的功耗也高於 LoRa 技術，電池壽命的損耗較大。同時與電信業者的協作模式，在向使用者推廣時會更為快速、簡便，從另一角度來看，也受限於硬體成本(晶片)和月租成本。未來應發展多元搭配使用，以因地制宜。

初步針對 LoRa 與 NB-IOT 之比較如下幾點(表 1-1 所列)：

- (1).LoRa 功耗比較低(NB-IOT 耗電量至少 10 倍以上)
- (2).LoRa 網絡部屬可獨立建立(NB-IOT 必須依照營運商為主)
- (3).LoRa 頻段可以自行選擇(NB-IOT 必須依照營運商為主)
- (4).LoRa 模組成本比較低(NB-IOT 必須依照營運商為主)

表 1-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較

	LoRa	NB-IOT
創立時間	2015	2016
推動者	LoRa Alliance	3GPP
使用頻譜	非授權頻譜 Sub~1GHz ISM	1GHz 以下授權頻譜(營運商)
使用頻寬	125~500KHz	180KHz
最遠傳輸距離	20KM	20KM
傳輸速率	300bps~50kbps	50kbps
可連接數量	25 萬	10 萬
優勢	1. 營運成本低 2. 功耗較低 3. 資料傳輸速率彈性 4. 可與多電信營運商串接	1. 使用授權頻譜，干擾較小 2. 使用現有 4G 電信基地台
耗電量	待機 0.005W、發射瞬間約 0.15W	發射瞬間約 1W

三、 LoRa 之技術發展

隨著物聯網迅猛發展，以及應用的日益增多，無線傳輸協議也越來越受到技術人員和大眾的關注，例如藍牙、WiFi、Thread、Zigbee、4G、5G 等等的物聯網和無線通信傳輸協議。其中 WiFi、Zigbee、4G 是目前在邊坡監測系統較常使用之通訊方式，然而電力需求、通視性高，是目前使用瓶頸。這些協議各有優缺點，也有各自的應用場景，但是對於長距離，低功耗，只需要少量數據傳輸的應用場景，目前還沒有能夠很好的滿足要求的無線傳輸協議，這也就是 LoRa 技術產生的原因。

LoRa 技術是為了創建長距離通信連結的物理層無線調製方式。許多傳統的無線系統使用物理層頻移鍵控(FSK)調製，因為它是十分高效的低功耗方案。LoRa 技術基於線性 Chirp 擴頻調製，延續了移頻鍵控調製的低功耗特性，但是大大增加了通信範圍。Chirp 擴頻調製已經在軍事和航天通信方面應用了幾十年，因為它具有長距離傳輸與較佳的抗干擾性，而 LoRa 則是它第一次用作商業用途。

許多部署好的網絡都採用網狀架構。在一個網狀網絡中，每個單獨的端結點傳遞信息到其他結點，增加通信範圍以及網絡的小區容量。當結點增加的時候，它也增加了複雜度，減少了網絡容量，也減少了電池壽命，因為結點要收發從他們不相干的結點傳遞來的信息。長距離星型架構，由於長距離連接性，從而減少了電池壽命，如圖 1-3 所示。

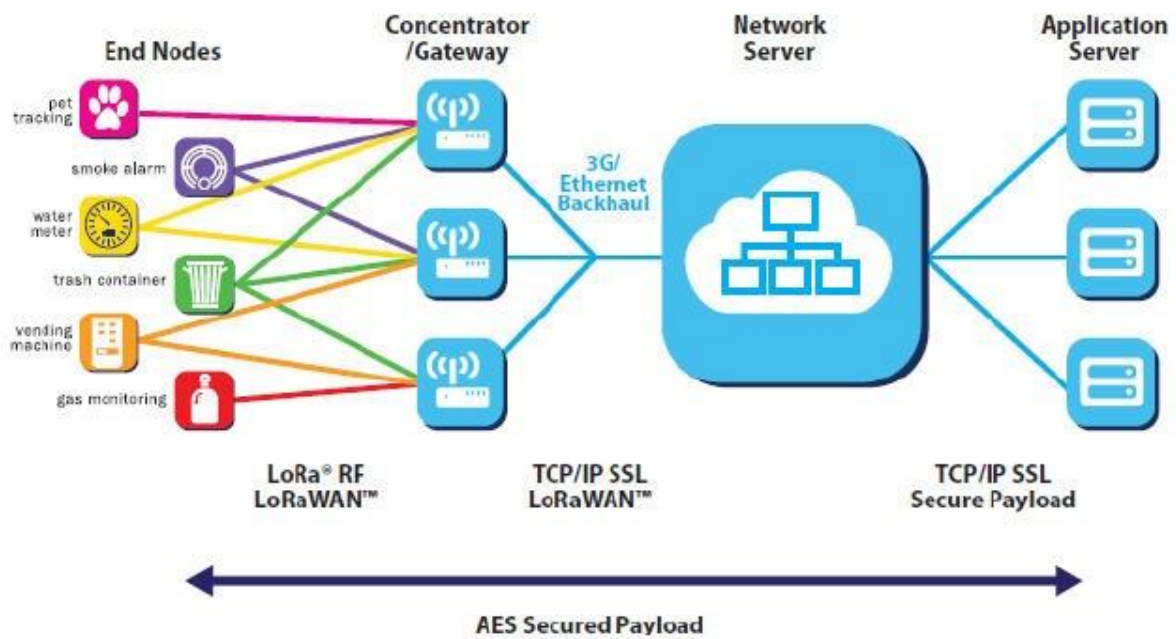


圖 1-3 長距離星型架構示意圖

(圖片來源於：lora-alliance.org)

LoRaWAN 的網絡結點不和特定網關相綁定，通過結點傳輸的數據，被多個網關接受。每個網關，通過一些信號隧道(例如蜂窩網、乙太網、衛星網、Wi-Fi)將從端結點收到的數據包發向雲端。由網絡伺服器理解和處理複雜任務，包括管理網絡、過濾冗餘數據包、進行安全性檢查、通過優化的網關進行調度確認、執行自適應數據率等。

LoRaWAN 網絡的結點採用異步通信，並且當它們有數據準備發送的時候，會採用事件驅動，或者調度機制進行通信。這個協議採用了阿羅哈法。在一個網狀網絡或者一個異步網絡中，例如蜂窩網，結點必須頻繁的被喚醒，來同步網絡和檢查消息。這種同步，大大的消耗了能量，成為電池壽命減少的一個重要原因。在最近的 GSMA 對於 LPWAN 空間的各項技術研究和對比中，LoRaWAN 比其他技術要優 3 到 5 倍。為了保證星型網絡的可行，網

關必須有能力處理大量來自各個結點的信息。LoRaWAN 的高網絡容量通過利用自適應的數據率，以及網關內多通道多數據機的收發器來實現。最重要的因素，是並發通道數，數據率，負載長度，已經結點間傳輸數據頻度。因為 LoRa 是擴頻基礎上的調製，所以每個信號基本上是正交的。當擴展因子變化的時候，有效的數據率也跟著改變。網關利用這種性能，能夠在同時在同一信道上接受不同的數據率。如果一個結點具有一個好的連接，並且靠近網關，網關當然可以利用最小的數據率，並且填充必須要更長的可用的頻譜。通過將數據率提高，空中的時間將被縮短，開放更多的潛在時間來傳輸。自適應的數據率也優化了結點的電池壽命。（以上改自原文網址：<https://read01.com/5xzLQE.html>）

LoRa/LoRaWAN 之推動者為 LoRa 聯盟，成員為 Cisco、IBM、Semtech、Microchip 等公司。特色為傳輸範圍號稱達 15~20KM，然而於坡地之穩定傳輸為本研究案探討重點之一、資料量 50kbps(足夠一般防災監測之數據檔)、電力壽命 10 年，亦為為本研究案探討重點之一。

四、 NB-IOT 之技術發展

NB-IoT 窄帶物聯網(Narrow Band Internet of Things)是依據 3GPP 國際標準規範所研發的新技術，基於授權頻譜的頻段，可直接部署於 LTE 網路，更可說是 5G 的前導技術與 LPWA 低功耗廣域網(Low Power Wide Area)中的解決方案。

國內電信業者積極佈局 5G，以 700MHz 頻寬的電信級網路提供 NB-IoT 通訊服務，NB-IoT 具有低功耗、低成本、廣覆蓋、大連接等特性，更適合用於建設智慧城市的各項發展，目前遠傳已陸續推出包括：車聯網、智慧路燈、智慧停車、智慧大樓、環境/空汙偵測、電池電量監控、資產追蹤與人身定位(穿戴裝置管理)...等智慧應用服務。

窄頻 IoT(NB-IoT)技術不僅擁有低功耗廣域傳輸的特性，更能與一般電信商基地台的蜂巢式網路架構一同運作，換句話說，相關製造商僅須傾注於設計的理念與功能性的完整性，毋須再擔心基礎架構的問題。也就是說 NB-IoT 可利用大部分現有的基地台，直接升級作為傳資料的媒介，相較於 LoRa 或 Sigfox 這些未授權(Unlicensed)頻段技術來說，擁有極大的優勢。

不過同樣都是藉由電信商的基地台傳輸訊號，為何 NB-IoT 的聲勢卻較 LTE-M 來得更高？根據市場研究報告指出，原因在於 NB-IoT 擁有較低的晶片成本與較高性能，且可透過 OTA(Over-the-air)即時更新，使得 NB-IoT 在短期內超越 LTE-M 需求。NB-IoT 資料是透過 4G，甚至於未來的 5G 訊號回傳，以現行的 4G 網路為利，NB-IoT 用的是 4G 破碎的頻段傳輸資訊，服務提供商或是一般用戶在使用資費上也不若手機月租費那麼昂貴。然而在台灣大部分山區 4G 基地台較針對聚落多處架設，位於人口少通訊需求較低之山坡地或林班地，訊號廣布率較低，因此 NB-IoT 在坡地防災監測之可行性，亦需透過本研究進行深入評估。

圖 1-4 與圖 1-5 分別為 NB-IoT 傳輸頻帶與頻寬在 LTE-4G 頻帶中之示意圖、NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖。

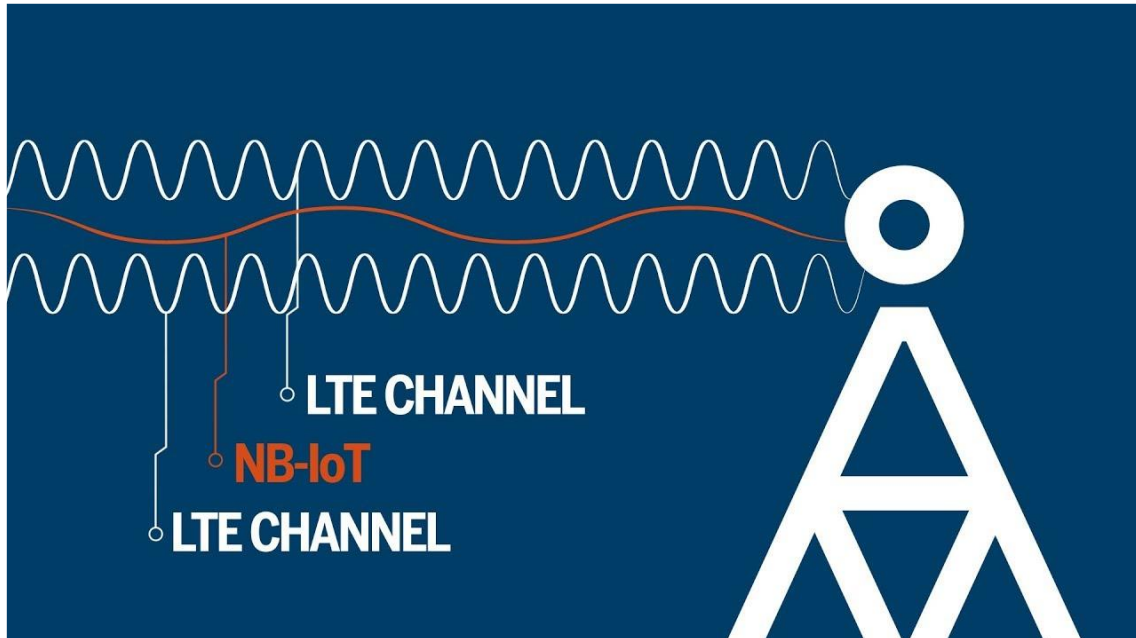


圖 1-4 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖

(圖片來源：<https://3smarket-info.blogspot.com/2018/08/emtc-nb-iot.html>)

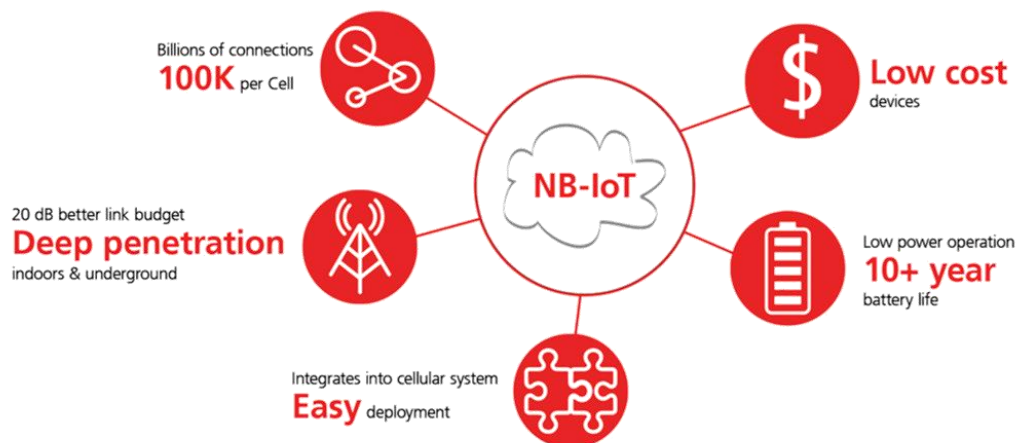


圖 1-5 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖

(圖片來源：<https://www.cicicom.gr/pages/nb-iot/>)

五、 未來與 5G 通訊方式之結合

第五代行動通訊系統(5th generation mobile networks 或 5th generation wireless systems)，簡稱 5G，是指第五代行動通訊技術，是 4G 系統後的延伸。美國時間 2018 年 6 月 13 日，聖地牙哥 3GPP 會議訂下第一個國際 5G 標準。由於物理波段的限制，也將會與其他通訊技術並用，包含長距離的其他傳統電信波段。5G 與 4G 相比概念是連線容量有著巨大提升，並仰賴物聯網的需求而建設成形。屆時所有物品之間的連結均可容納，舉個直觀一點的例子，就是除了電源，外部連結線均可以剪掉。不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖如圖 1-6 所示。

下一代行動網路聯盟(Next Generation Mobile Networks Alliance)定義了 5G 網路的以下要求：以 10Gbps 的資料傳輸速率支援數萬用戶；以 1Gbps 的資料傳輸速率同時提供給在同一樓辦公的許多人員；支援數十萬的並發連接以用於支援大規模傳感器網路的部署；頻譜效率應當相比 4G 被顯著增強；覆蓋率比 4G 有所提高；信令效率應得到加強；延遲應顯著低於 LTE。

下一代行動網路聯盟認為，5G 應會在 2020 年陸續推出，以滿足企業和消費者的需求。除了簡單的提供更快的速度，他們預測 5G 網路還需要滿足新的使用案例需求，如物聯網(網路裝置建築物或 Web 存取的車輛)、廣播類服務，以及在發生自然災害時的生命線通訊。

對於智慧硬體廠商而言，他們還希望 5G 能夠同時連接數千個低功耗物聯網(IoT)設備，並支援設備到設備(D2D)連接方式，以實現附近設備之間的低延遲連接。既能在降低延遲的同時還可以達到更快的網路傳送速率，這將需要大量的多輸入多輸出(MIMO)天線系統，更多的載波頻寬和頻譜，以及很可能使用極高頻率的 mmWave(經常被稱為解決方案)頻譜。其中，5G 最大的難點在於找到提高可用頻寬的頻譜。

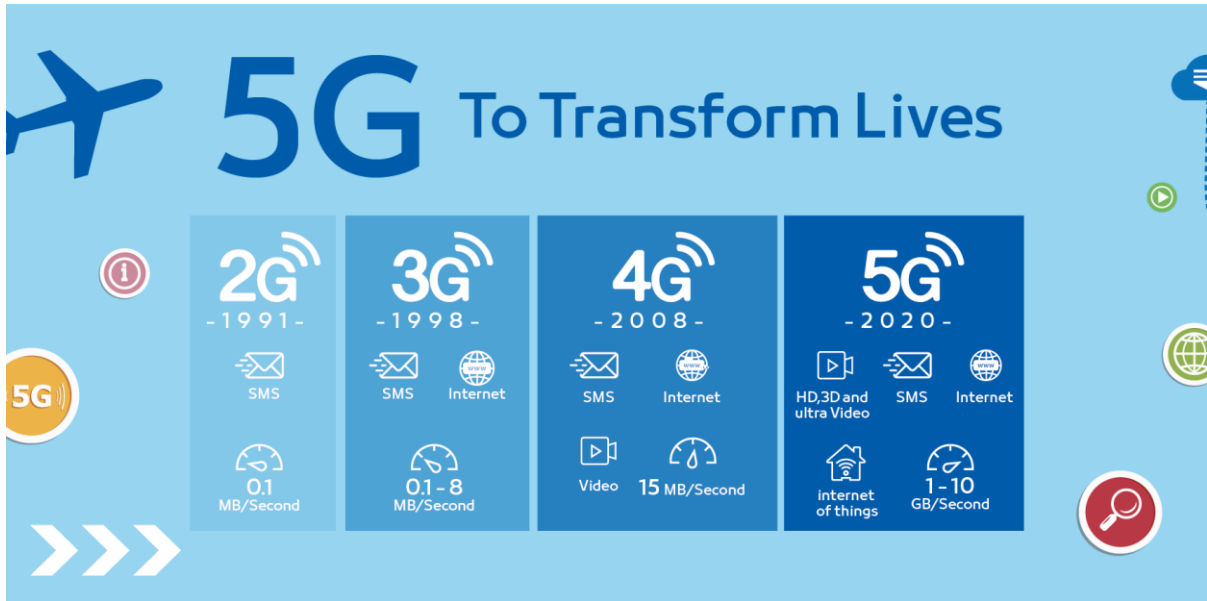


圖 1-6 不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖

(圖片來源於：<https://cic.org.sa/2018/05/al-khobar-city-of-saudi-arabia-becomes-first-recipient-of-5g-network-among-mena-cities-2/>)

由於 5G 技術將可能使用的頻譜是 28GHz 及 60GHz，屬極高頻(EHF)，比一般電信業現行使用的頻譜(如 2.6GHz)高出許多。雖然 5G 能提供極快的傳輸速度，能達到 4G 網路的 40 倍，而且時延很低，但訊號的繞射能力(即繞過障礙物的能力)十分有限，且傳送距離很短，這便需要增建更多基站以增加覆蓋。

因此在邊坡防災監測的應用上，基地台的普及率仍是最大關鍵，甚至需求高於 4G。如此一來，建置 LPWAN 後再與 5G 基地台連結更為重要的技術發展方向。

第二章 前期計畫回顧

第一節 LoRa 傳輸部分

對於本研究而言，無線傳輸技術首要難題為坡地複雜地形與訊號干擾源，107 年度之計畫「長距離低功耗廣域網路連結物聯網於監測資料傳遞應用上最佳化配置之研究」於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行以 LoRaWAN 傳輸實驗，於每個 SI 孔測試傳輸至四季國小達雅樓屋頂之成效。成果顯示，在四季聚落絕大部分點位可獲得穩定好通訊效果，資料漏失率絕大多數於 5% 以內，然而部分可達 20% 者，如圖 2-1、圖 2-2 所示，研判為受環境干擾所致，亦即 LoRaWAN 資料傳輸至雲端之品質受制於與基地台間之通訊，因此良好的位置選擇及傳輸技術的優劣，遂成為智能感測器以無線傳輸的關鍵。

結果中 SI-1 與 SI-2 兩處之效果最差，亦即漏失率最高，研判為地形與基地台干擾所致。SI-4 處之漏失率為零。因此 108 年度之計畫「建置坡地與土石流防災監測系統低功耗廣域網路之可行性研究」順利完成中繼站之開發，以一機「收」轉交另一機「發」，可順利將遠處訊號橋接。以本場址為例，於 SI-4 設為中繼站進行 SI-1 與 SI-2 兩處與四季國小之橋接，並分別採用 3dBi、5dBi、9dBi 之天線進行測試，其中變更天線者為位於 SI-4 處之中繼站。

各種實驗為期 30 分鐘，並以每 5 秒鐘 1 筆資料之頻率，分別於發送端與中繼端送、處理時間為 3 秒，故每筆資料之時間差應為 13 秒。評估方式為 13 ± 3 秒為容許範圍(橋接作業時間無法限制正好 3 秒)。各處空間關係如圖 2-3 所示。部分施作照片如圖 2-4~7 所示，成果紀錄分析如表 2-1 所列。從表 2-1 可以看出，以中繼站方式可以順利降低漏失率，最大可從 25% 降低至 0%。

孔號(位置)	與LORA-B直線距離(m)	晴天成功率	陰天成功率	雨天成功率	小雨成功率	大霧成功率
SI1	360	71.79%	75.68%		76.12%	90.91%
SI2、R	440	83.15%	100.00%		100%	
SI3	440	87.88%	81.09%		100%	100%
SI4	290	100.00%	100.00%		100%	
SI5	30	100.00%	100.00%	100.00%		
SI6	90	100.00%	100.00%			
SI7	90	95.24%	100.00%	100.00%		
SI9	50	100.00%	100.00%			
SI10	145	100.00%	100.00%			
SI11	310	96.88%				
SI12	310	100.00%	100.00%			
TI1	550	100.00%	100.00%			100%
平均		94.13%	95.66%	100.00%	93.41%	96.87%

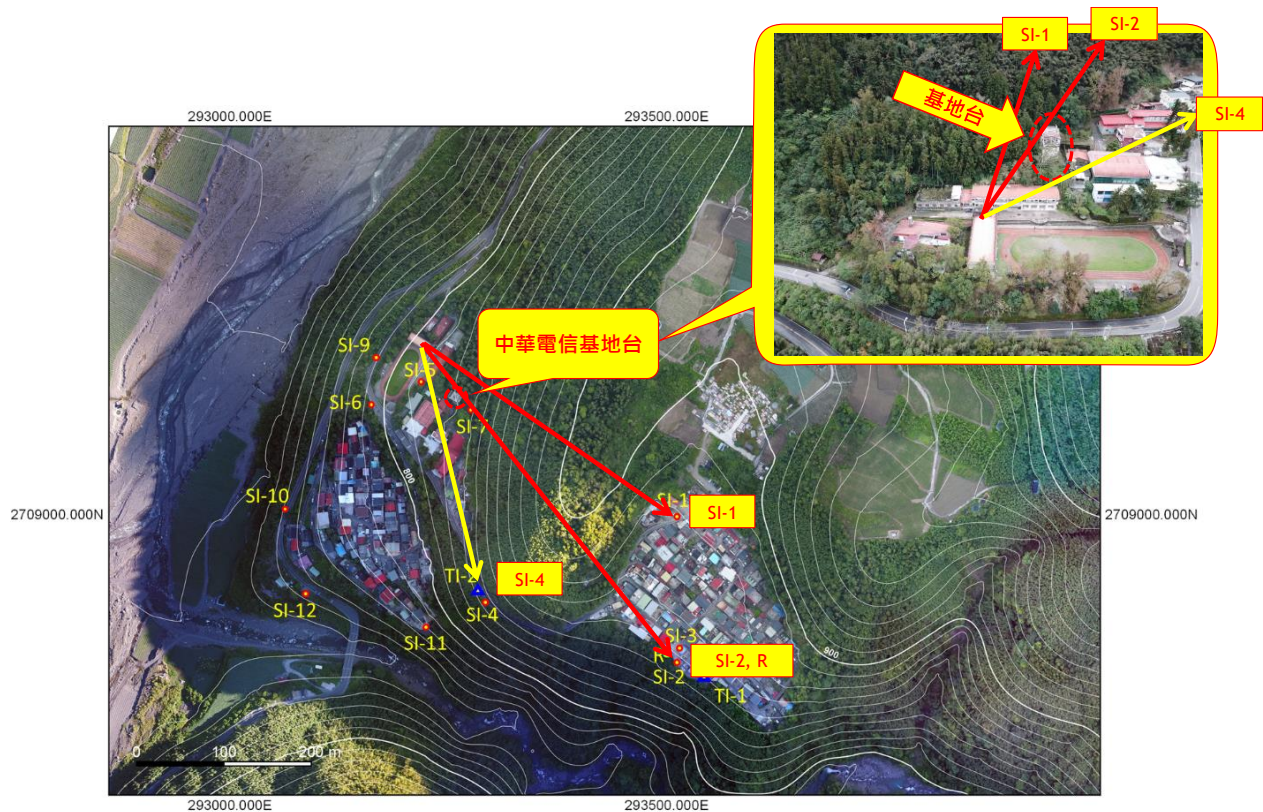


圖 2-1 可能遭受干擾之點位空間分布圖

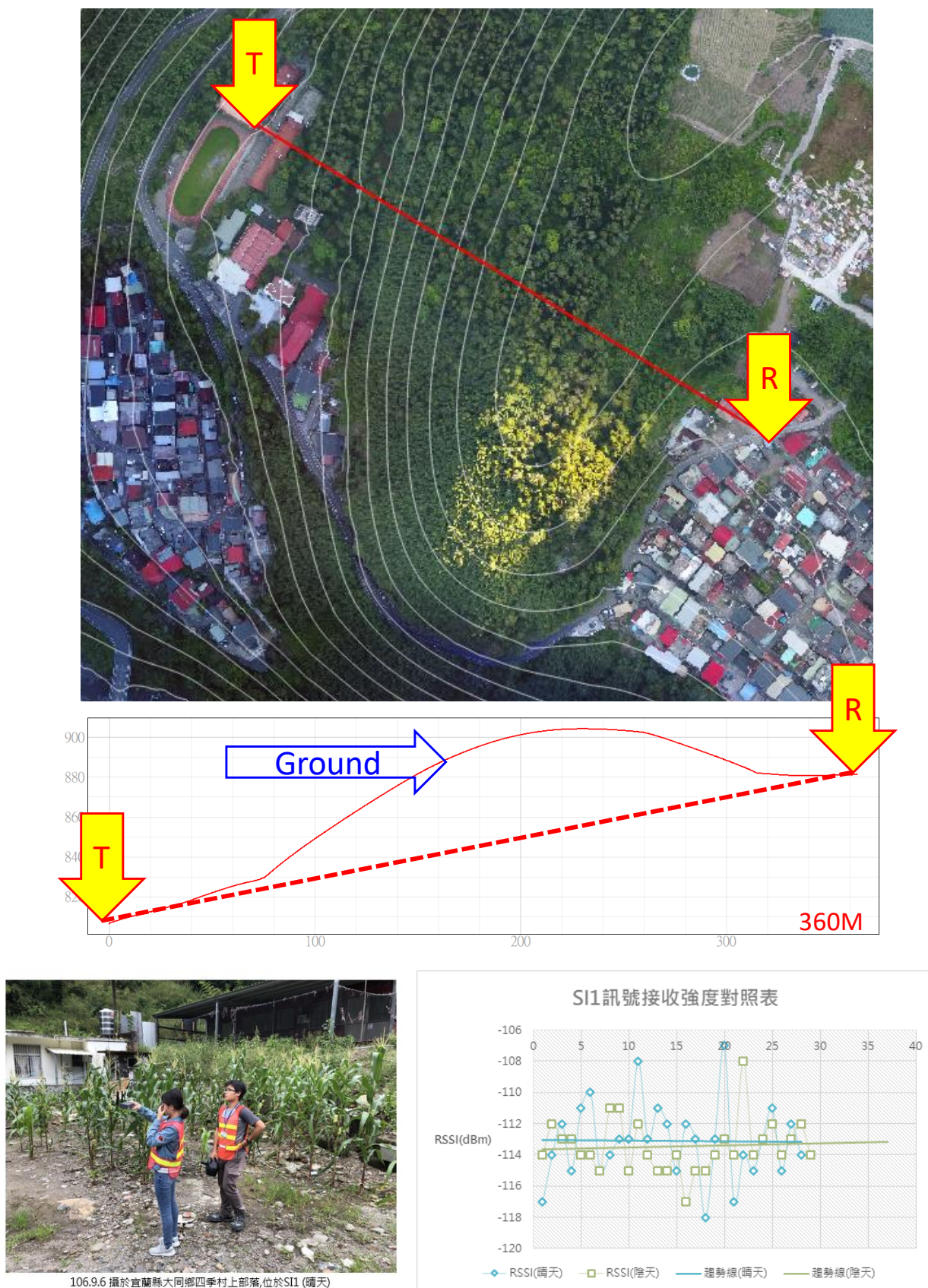


圖 2-2 現地實驗之地形狀況與訊號紀錄(T 為發送端；R 為接收端)

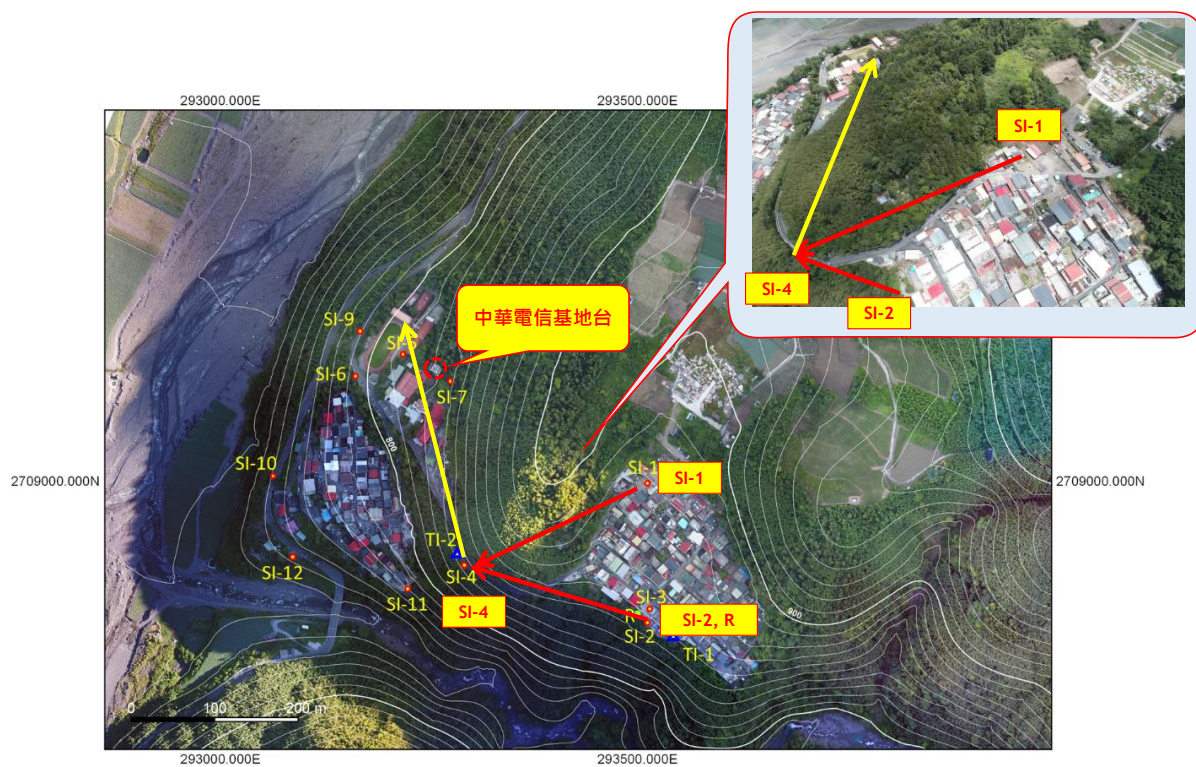


圖 2-3 宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa P2P 橋接實驗點位置圖



圖 2-4 四季國小達雅樓之接收站(GateWay)



圖 2-5 SI-1 處之發射端



圖 2-6 SI-2 之發射端



圖 2-7 SI-4 之中繼站

表 2-1 以中繼站方式與直接傳輸方式之成果比較

	原漏失率	中繼天線	漏失率	提升
SI-1	約 25%	3dBi	0%	是
		5dBi	7.89%	是
		9dBi	9.52%	是
SI-2	約 17%	3dBi	14.63%	是
		5dBi	13.16%	是
		9dBi	22.86%	否

在上述試驗成果中，發現使用橋接之 LoRa 傳輸方式，在 SI-1 處有顯著提升傳輸成功率，但在 SI-2 使用 9dBi 天線所得成果又較原漏失率高出許多，因此本團隊為了解利用此方式之傳輸漏失原因為何，故於中繼站、接收站個以一工業電腦進行傳輸紀錄，接收站再利用此電腦以 4G 方式將資料回傳至雲端，期望能更直接記錄各站間傳輸情況與影響傳輸的可能性為何。

團隊接著將此成果及做法移至神木村進行測試(圖 2-8)，也得到頗佳之成功率，惟於發射站裝置於河岸，可能受電線杆或植被干擾(107 年度試驗時位於河床中無此問題)，導致傳輸至中繼站有部分漏失，但成功率也有高達 97.58%之成果，未來希望以此橋接模式推展至更多場域，測試是否能順利傳輸。

在 108 年度計畫「建置坡地與土石流防災監測系統低功耗廣域網路之可行性研究」研發成果中，初期為克服現地氣候干擾，採用工業電腦為資料橋接傳輸以及現地儲存之用，如圖 2-8 為例所示。然而其耗電相當可觀(60W)如設置於現場做為長期監測所用，勢必得使用市電或高成本之太陽能板等設備。團隊也將著手開發、尋找傳輸穩定，且電力配置較佳之 LoRa 模組，使其效能、耐久性與適用性更利於監測時使用。

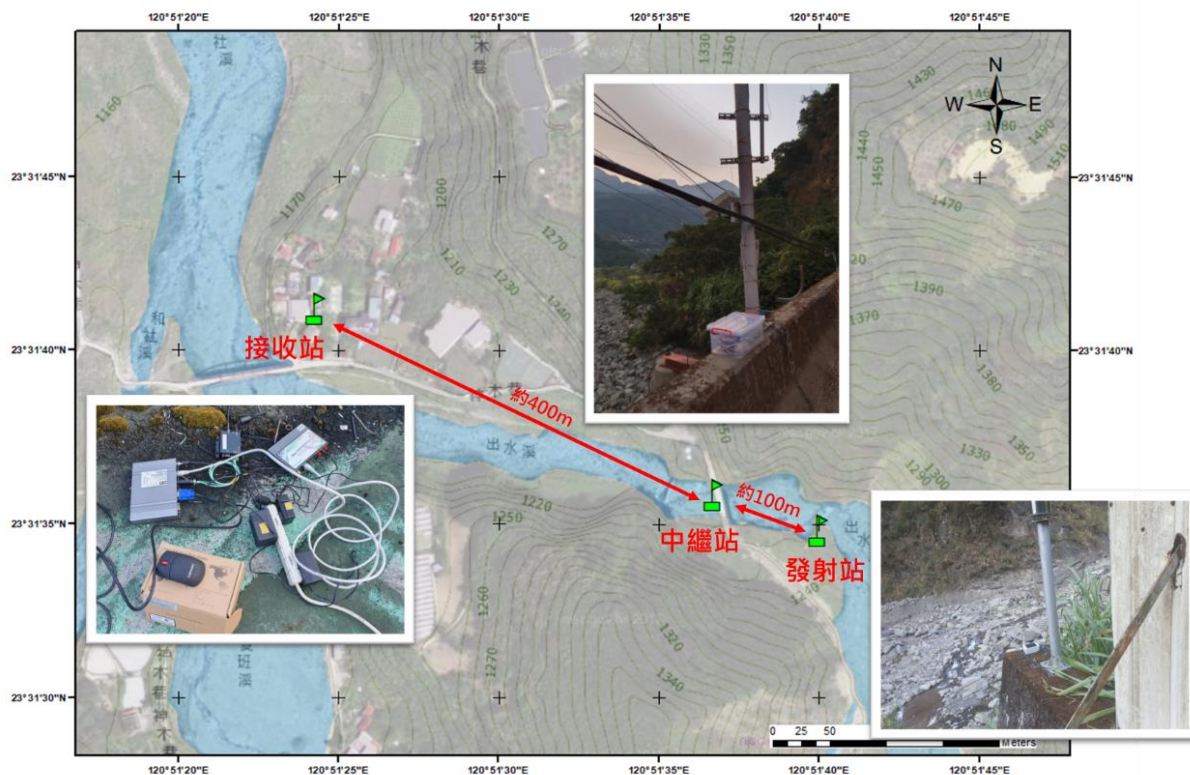


圖 2-8 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗配置

表 2-2 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗成果

	天氣	站別	障礙	成功率	漏失率
神木	晴	中繼	無	97.58	2.41
		接收	無	97.58	2.41

第二節 天線之影響

團隊目前採用增益比分別為 3dBi、5dBi 以及 9dBi 三種常用天線於 LoRa 傳輸，在 108 年度計畫中也將三種天線於相同環境下進行傳輸測試，如圖 2-9 所示。在測試結果比較下，發現並非使用增益越高之天線，資料傳輸漏失率就會降低，且在 9dBi 天線甚至完全無法通訊，因此本團隊推測其原因可能為增益之後天線傳輸的有效範圍改變(圖 2-10)，導致接收站之位置無法通訊，以及在幾次試驗中，設站位置位於濃密樹林中，進而導致傳輸失敗。

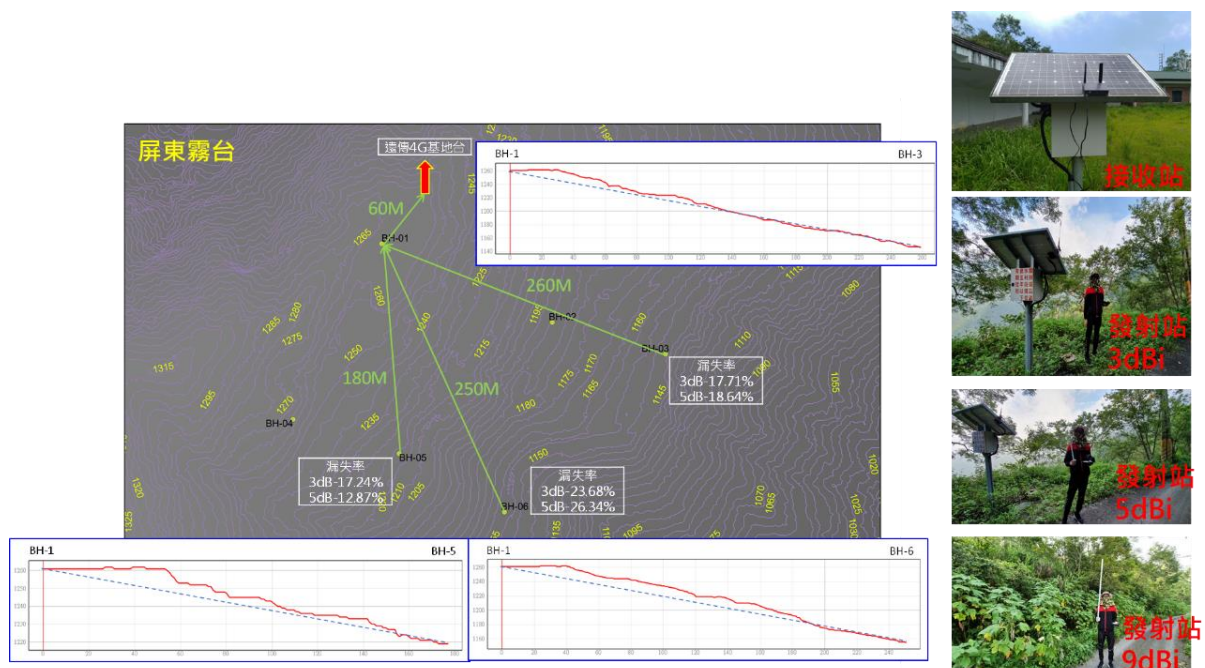


圖 2-9 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試

表 2-3 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試

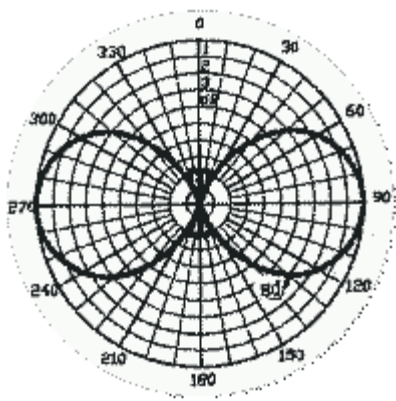
	與BH-1距離(m)	地形無法通視度	天線	平均RSSI	平均SNR	漏失率
BH-3	260	低	3dBi	-115.38	4.64	17.71%
			5dBi	-113.82	5.37	18.64%
BH-5	180	高	3dBi	-115.36	4.58	17.24%
			5dBi	-111.11	6.59	12.87%
BH-6	250	中	3dBi	-114.31	4.32	23.68%
			5dBi	-116.70	3.33	26.34%

一般認為在符合低功率傳輸之規範下，不得增加傳輸器功率時，可利用更大增益比之天線進行訊號增強與降低漏失率，然而根據第三節與第四節之結果發現，似乎與預期不符。初步推估成因可能為增益功率越大、訊號範圍越窄所致，蒐集相關資料如下：

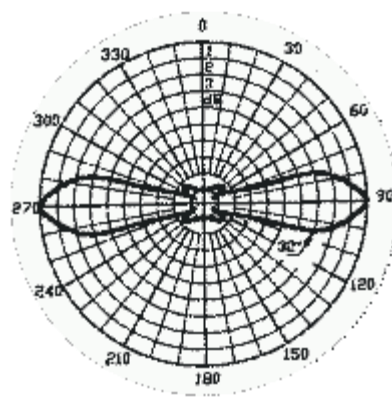
天線增益是指：在輸入功率相等的條件下，實際天線與理想的輻射單元在空間同一點處所產生的信號的功率密度之比。它定量地描述一個天線把輸入功率集中輻射的程度。增益顯然與天線方向圖有密切的關係，方向圖主瓣越窄，副瓣越小，增益越高，如圖 2-10~12 所示。天線增益是用來衡量天線朝一個特定方向收發信號的能力，它是選擇基站天線最重要的參數之一。一般來說，增益的提高主要依靠減小垂直面向輻射的波瓣寬度，而在水平面上保持全向的輻射性能。天線增益對移動通信系統的運行品質極為重要，因為它決定蜂窩邊緣的信號電平。增加增益就可以在一確定方向上增大網路的覆蓋範圍，或者在確定範圍內增大增益餘量。任何蜂窩系統都是一個雙向過程，增加天線的增益能同時減少雙向系統增益預算餘量。另外，表示天線增益的參數有 dBd 和 dBi。dBi 是相對於點源天線的增益，在各方向的輻射是均勻的；dBd 相對於對稱陣子天線的增益 $dBi = dBd + 2.15$ 。相同的條件下，增益越高，電波傳播的距離越遠。一般地，GSM 定向基站的天線增益為 18dBi，全向的為 11dBi。

當某種輻射源向空間輻射能量時，理想情況下能量是按球狀體散射開來，研究和實踐都發現，如果將這種能量輻射按某個方向集中發射，則能量所達到的距離以及該方向上所覆蓋的範圍都會有很大的提高。這種研究成果應用到無線通訊中就是天線的由來。而天線增益則是用於定量的描述天線把輸入功率(能量)集中輻射的程度，從通信角度講，就是在某個方向上和範圍內產生信號能力的大小。

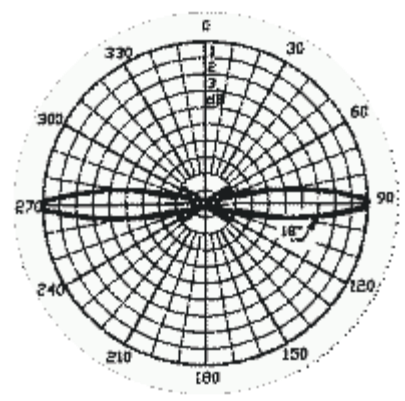
實際應用中，即使集中某個方向，天線還是會在空間各個方向都有大小不同的增益，天線增益通常是指產生最大增益的方向上的增益，單位為 dBi 或者 dBd，兩者的區別是參考基準不同，前者的參考基準是全方向性天線(在空間各個方向輻射特性相同的天線)，後者的參考基準是偶極子天線(可以簡單理解為雙向天線)。



(a)3dBi



(b)9dBi



(c)9dBi

圖 2-10 本研究採用三種不同天線之方向圖

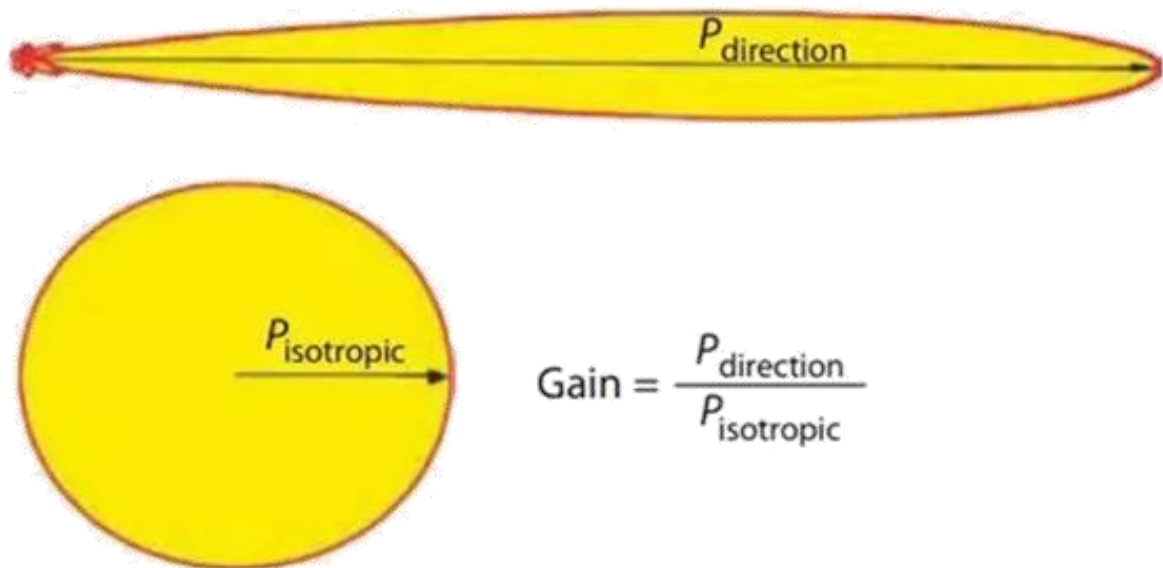


圖 2-11 天線增益比計算示意圖

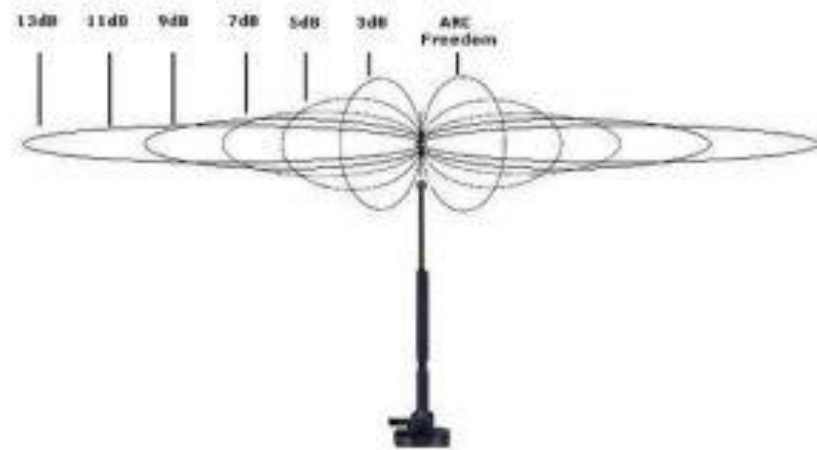


圖 2-12 不同增益比天線之傳訊範圍

天線增益不僅是天線最重要的參數之一，而且對無線通訊系統的運行品質也非常重要，增加天線增益，就可以增大某個方向上的信號覆蓋範圍，或者範圍不變，但該範圍內的信號強度增強。對於單天線而言，要想提高天線的增益，最簡單的辦法就是將天線的發射方向進一步縮窄，就是所謂的縮窄波瓣寬度。而這種方法在實際應用中對系統性能改善畢竟有限。通常直接提升頻寬和頻譜的方法也會受到各種條件制約，也不能無限制地增加。在頻寬和頻譜不變的前提下，為了提高系統的使用者容量、資料輸送量和覆蓋距離和範圍，智慧天線技術和 MIMO 技術應運而生。其中智慧天線技術利用多個天線組成天線陣列，利用天線之間的位置關係，通過向使用者發送相同的資料，相當於某個方向上集中輻射能量，從而提高天線增益，而 MIMO 技術則在收發端都採用多個天線系統，利用多徑傳播等電磁波特性，發收不同資料，提高傳輸效率的同時，實現了空間複用。從天線增益角度看，也可以認為不增大單個天線增益，而是增加天線數量，從而獲得收發天線增益乘積的效果。

(以上文字改寫自天線增益：

<https://baike.baidu.com/item/%E5%A4%A9%E7%BA%BF%E5%A2%9E%E7%9B%8A>)

第三節 NB-IoT 傳輸部分

NB-IoT 部分，同樣在前兩期計畫於南投縣信義鄉神木村、宜蘭縣大同鄉四季與英士部落中，發現 NB-IoT 所用之頻段，需確認當地之基地台業者是否有開通，並非與一般手機通訊所用之 4G、3G 網路共用，因此僅能選擇新北市新店區進行傳輸測試(圖 2-13)。

團隊於現場採用 10 分鐘 1 筆之傳送頻率測試之，測試地點為新北市新店區安坑山區，座標為 $24^{\circ}56'38.43''$ 北， $121^{\circ}30'8.67''$ 東。測試時間為期 30 天(108.07.06~108.08.05)，以 10 分鐘 1 筆資料計算之，總資料筆數需為 4320 筆。因此若測試時間實收筆數少於 4320 筆，則視為確定漏失；延續上述訂定之誤點評估方式，傳送頻率為 10 分鐘(=600 秒)，接收到之兩筆資料時差至 540~660 秒為成功，否則視為誤點漏失。亦即成果率為資料點得成果傳輸外，另外得準點才計算。

圖 2-14 所示之藍色區域視為(準點)成功區、紅色區域則為誤點漏失區，確定漏失者當然不會出現於圖上。經測試結果，測試點 A 之記錄如圖 2-15 所示、測試點 B 之記錄如圖 2-16 所示。經歸納可得測試點 A 之誤點漏失率為 21.9%、確定漏失率為 18.8%，故成功率為 63.4%；測試點 B 之誤點漏失率為 19.3%、確定漏失率為 15.8%，故成功率為 67.9%。另可觀察到集中漏失狀況，將於今年度計畫進行更進一步評析。



圖 2-13 107 年度採用 NB-IoT 模組接線配置圖與現地實測照片

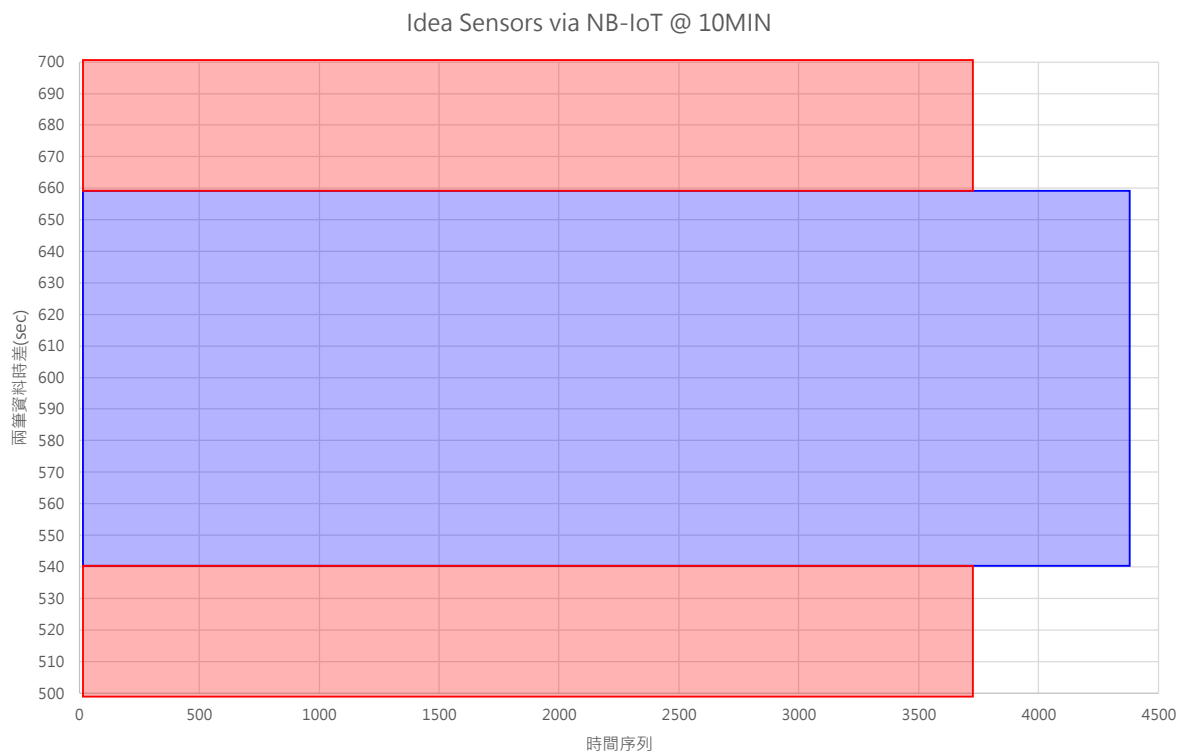


圖 2-14 理想狀況下為期 30 天以 10 分鐘傳送 1 次之資料分布(藍色)與漏失區(紅色)

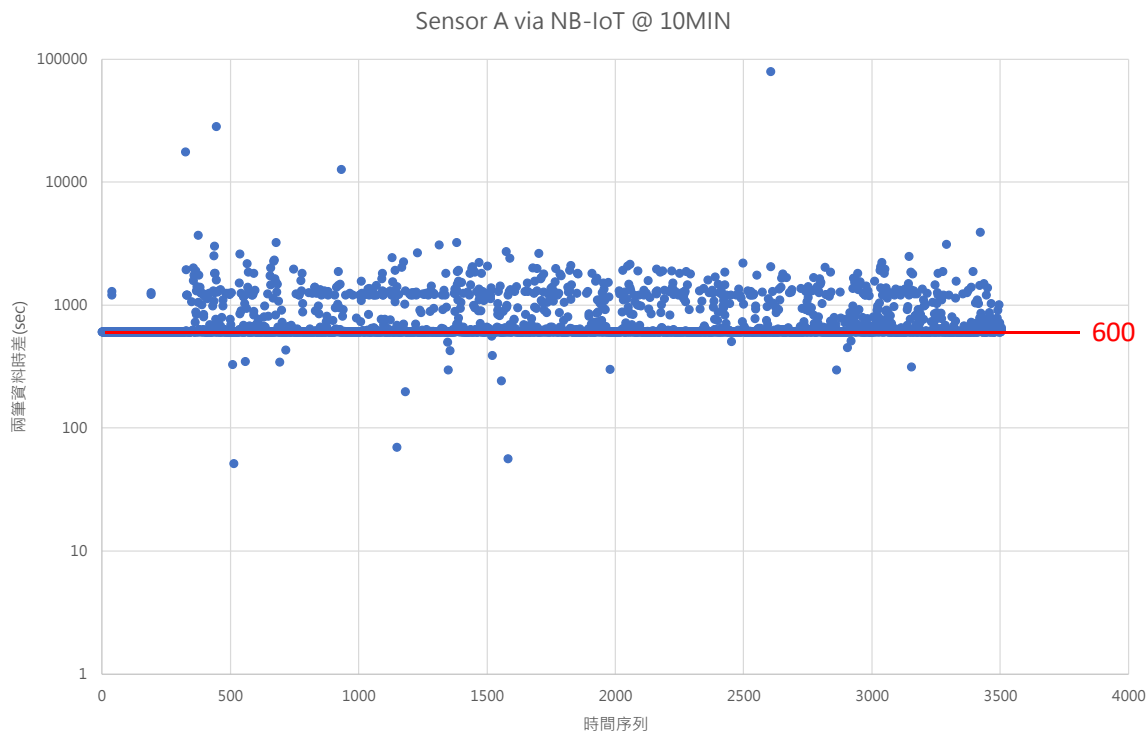


圖 2-15 NB-IoT 現地測試點 A 之記錄

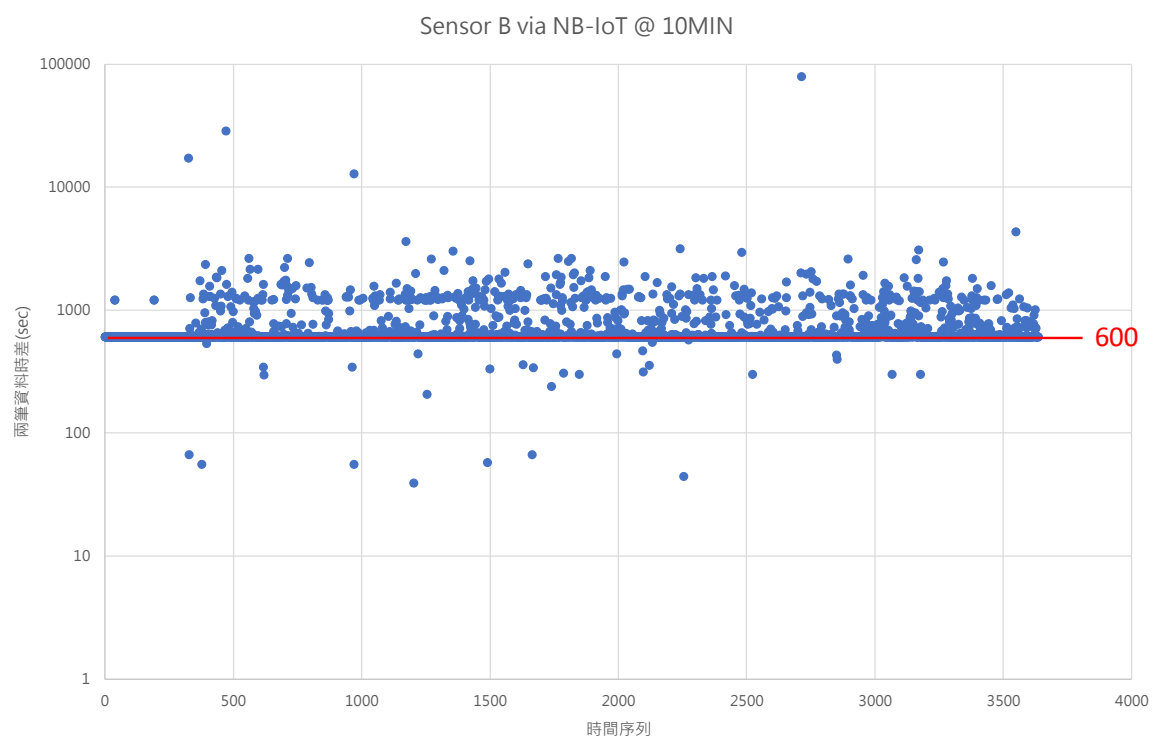


圖 2-16 NB-IoT 現地測試點 B 之記錄

第四節 研究區域

一、 南投縣信義鄉神木村與嘉義縣阿里山鄉

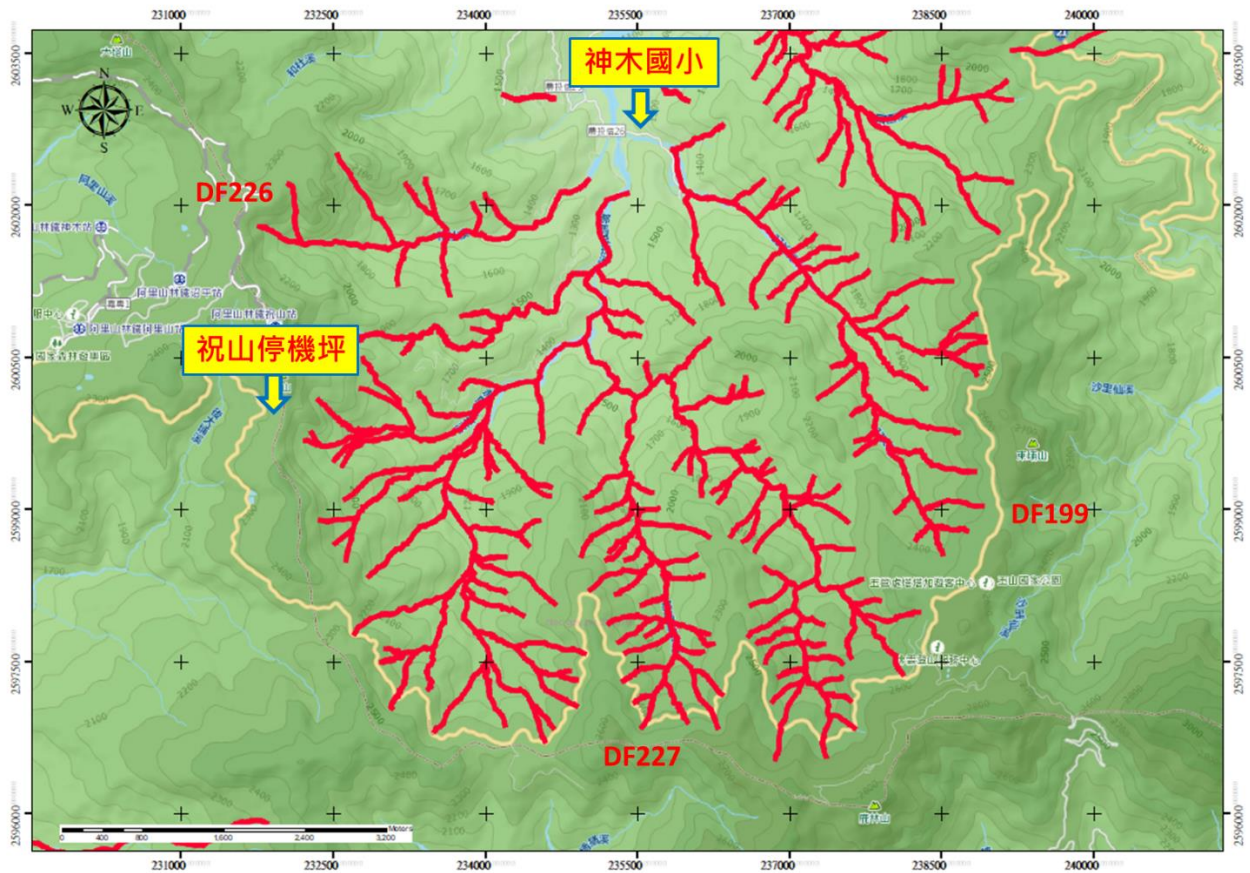


圖 2-17 南投縣信義鄉神木村區域位置圖

神木村：

南投縣信義鄉神木村，為南投水里往南沿台 21 線精豐丘、同富後，轉入產業道路神木巷即到達神木村。於民國 85 年賀伯颱風登入時，於此區域帶來 1094.5mm 最大日雨量、74mm/hr 最大降雨強度以及連續 24 小時 610.5mm 之累積雨量，造成陳有蘭溪與和社溪流出總土石 450,000 方(投縣 DF227)，而後續也經常傳出土石流災情，區域位置圖如圖 2-17，可以發現周圍土石流潛勢溪流之涵蓋範圍非常廣，其中包含和社溪(DF226)、郝馬嘎班溪(DF227)與出水溪(DF199)。圖 2-18 為本團隊於現場拍攝之測試地點，左圖為神木國小，右為出水溪鋼索檢知器設置點。



圖 2-18 神木村 LoRa 測試地點，左為神木國小，右為出水溪鋼索檢知器

嘉義縣阿里山鄉：

本研究於祝山之測試點為祝山停機坪(圖 2-19)，位於阿里山森林遊樂區內，於阿里山森林鐵路祝山站北方約 200 公尺處、南投縣與嘉義縣交界處，標高 2444 公尺，為著名觀景平台，下方即為土石流潛勢溪流 DF227。



圖 2-19 祝山停機坪

第三章 LoRa

第一節 LoRa 傳輸測試

本研究經由前期計畫之成果回饋與文獻回顧後，將現有中繼傳輸方式之 LoRa 模組，應用至神木國小觀測站進行傳輸測試，再利用其成果分析目前應用於監測系統時，最需迫切解決的問題，經測試與改善後進行升級，除於各類可能使用邊坡監測案場之環境長期設置並分析外，也針對植被、降雨影響傳輸訊號強度進行試驗，下面將分節進行其試驗之過程與說明。

一、LoRa 現地耐候性試驗

延續前期(108 年)計畫所得成果，得知 LoRa P2P 之發射站架設於鋼索檢知器所於壩體上，可在漏失率低於 10%情況下穩定傳輸，故本次試驗再次於神木村測試，其架設現場之裝置電力供給與整體耐候性是否可長時間運行。

測試期間為 109 年 6 月 22 日至 109 年 7 月 6 日，測站分布於下圖 3-1 所示，圖 3-2 則為裝設於神木國小屋突之 LoRa 接收站。



圖 3-1 LoRa P2P 於神木村現地耐候性試驗



圖 3-2 LoRa 接收站裝設於神木國小

本次試驗時間約為 14 天，試驗結果統計如表 3-1，資料傳輸成功率整體達到 96.42%，從氣象局神木雨量站日雨量統計結果顯示(表 3-2)，試驗期間僅有零星降雨，最大日雨量為 43mm，其餘並無較大的雨場事件，另外發射站之電壓也非常穩定，惟可能因訊號收發之時間誤差，以及傳輸天線之搭配，導致成功率無法達到 100%。

表 3-1 109 年 6 月 22 日神木村 LoRa 試驗成果統計表

鋼索檢知器 To 神木國小			
實收筆數	應收筆數	成功率%	漏失率%
112611	116790	96.42	3.57

表 3-2 氣象局神木雨量站 109 年 6 月 22 日至 7 月 6 日之日雨量統計

ObsTime	StnPres	SeaPres	StnPresMi	StnPresMaxTime	StnPresMi	StnPresMinTime	Temperatu	T Max	T Max Time	T Min	T Min Time	Precp
22	844.5	...	846.2	6/22/2020 22:11	843.3	6/22/2020 3:36	20	26.5	6/22/2020 11:49	15.9	6/22/2020 08:2	1.5
23	844.9	...	845.6	6/23/2020 23:03	843.7	6/23/2020 3:42	19.6	25.8	6/23/2020 13:02	15.5	6/23/2020 5:8	29
24	844.4	...	845.3	6/24/2020 8:39	843.5	6/24/2020 15:16	19.2	27.1	6/24/2020 12:22	15.5	6/24/2020 5:2	13
25	845.1	...	846.9	6/25/2020 22:29	843.9	6/25/2020 16:22	19.8	25.8	6/25/2020 11:41	15.8	6/25/2020 5:4	0
26	846.6	...	847.7	6/26/2020 20:00	845.6	6/26/2020 3:39	18.9	26.7	6/26/2020 12:01	15.8	6/26/2020 4:1	7
27	846.5	...	847.8	6/27/2020 9:50	845.8	6/27/2020 4:26	19.3	26.2	6/27/2020 11:34	15.8	6/27/2020 3:6	9
28	845.6	...	846.7	6/28/2020 6:58	844.6	6/28/2020 16:12	20.1	26.8	6/28/2020 11:30	16	6/28/2020 5:8	0
29	844.4	...	845.5	6/29/2020 8:43	843.5	6/29/2020 15:41	19.9	25.2	6/29/2020 10:55	16.2	6/29/2020 5:0	0.5
30	843.7	...	845.1	6/30/2020 22:21	842.6	6/30/2020 16:36	20.5	27.3	6/30/2020 11:34	16.6	6/30/2020 08:2	9.5

ObsTime	StnPres	SeaPres	StnPresMi	StnPresMaxTime	StnPresMi	StnPresMinTime	Temperatu	T Max	T Max Time	T Min	T Min Time	Precp
1	843.9	...	845.6	7/1/2020 21:23	842.9	7/1/2020 6:00	20	26.6	7/1/2020 9:46	16.9	7/1/2020 5:7	5.5
2	845.2	...	847.6	7/2/2020 21:37	843.9	7/2/2020 4:04	19.7	26.6	7/2/2020 11:19	16.8	7/2/2020 3:2	6.5
3	847.1	...	848.9	7/3/2020 22:01	846.1	7/3/2020 15:08	19.7	26	7/3/2020 12:00	15.8	7/3/2020 6:5	0.5
4	846.8	...	848.1	7/4/2020 0:01	845.1	7/4/2020 16:43	20.5	27.7	7/4/2020 11:56	17.1	7/4/2020 5:1	43
5	845	...	846.5	7/5/2020 0:01	843.9	7/5/2020 16:06	19.6	26.3	7/5/2020 11:01	16.2	7/5/2020 4:9	8.5
6	845.3	...	846.9	7/6/2020 21:34	843.5	7/6/2020 4:09	19.8	25.6	7/6/2020 9:37	15.3	7/6/2020 5:3	0

二、穩定性與效能較佳之 LoRa 模組

(一) LoRa 模組

經前期計畫試驗成果得知，原設備 LoRaWAN 及 LoRa P2P 於現地傳輸成果可能因設置位置或天線配置而有所限制，且 LoRa P2P 因傳輸原理導致有些微時間差，故本次研究經討論後決定採用系統升級較為穩定、硬體設施更有效節省能源之 LoRa 模組，其傳輸使用之收發晶片採用 Semtech SX1276(圖 3-3)，此晶片可實現-148dbm 之精度，以及增強+20dbm 的傳輸功率，在傳輸範圍、抗干擾性以及低能耗相較傳統設計有顯著的優勢。

本研究 LoRa 頻率是使用 915MHz、星狀無線網路架構，無線通訊距離於郊區之通視狀況下最大可達 15 km(LOS)，市區<2 km(LOS)之理論數據，其中 LoRa Gateway(詳細參數見圖 3-4)最多可接入 48 組 LoRa Node，LoRa Node(詳細參數見圖 3-5)又可提供 2~4 通道多重訊號輸入，電力部分於每 10 秒傳輸一筆資料為例，系統可維持 10 天以上，若搭配戶外太陽能電力系統(圖 3-6)，將可長時間於現地進行傳輸而不間斷。



Features

- LoRa Modem
- 168dB maximum link budget
- +20dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- +14dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 300kbps
- High sensitivity: down to -148dBm
- Bullet-proof front end: IIP3 = -11dBm
- Excellent blocking immunity
- Low RX current of 9.9mA, 200nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa and OOK modulation
- Built-in bit synchronizer for clock recovery
- Preamble detection
- 127dB Dynamic Range RSSI
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- Packet engine up to 256 bytes with CRC
- Built-in temperature sensor and low battery indicator

圖 3-3 本計畫採用 LoRa 模組使用收發器規格

Wireless characteristics	
Chipset	Semtech SX 1276
RF data rate	250 kbit/s
Frequency band	902 ~ 928 MHz
Channels	27
TX Power	20dBm
Wireless sensitivity	-144 dBm
USB,RS-232/485 Serial Port	
Baud rate (Default)	9600 bps
Data bits	8
Stop bits	1
Parity	None
Handle memory	
Max. handle LoRa Sensor Device	48
Active push data	No
Datalogger	
Full 48 LoRa Sensor Device Storage Capacity(Arrays)	16000
Real Time Clock	Yes
Power requirements	
Power supply	9 to 35 V
Idle	36mA@12 VDC
Work	40mA@12 VDC
Physical characteristics	
Dimensions (Not include Antenna)	148 x 30 x 110 mm

LoRa-Gateway



圖 3-4 LoRa Gateway 無線閘道器規格

Analog sensor Input	
Number of channels	2 differential channels
Input ranges	±5 V
ADC resolution	0.0001 VDC
ADC accuracy	16 Bit
Rain gauge sensor Input	
Number of channel	1 channel
Thermistor sensor Input	
Number of channel	1 channel (2 wires)
Temperature range	3K Thermistor
Sensor power support	
Voltage Output Maximum (100 mA)	5.0 VDC
LoRa Wireless characteristics	
Chipset	Semtech™ LoRa SX1276
RF data rate	250 kbit/s
Frequency band	902 ~ 928 MHz
Channels	27
TX Power	2/4/6/8/10/12/14/16dBm, 20dBm
Antenna (Standard)	2 dBi
Transmission Range (LOS)	Up to 15 km
Internal battery power	
Type	3.3V LiFePO4 3200mAh
Voltage range	3.0 ~ 3.6 V
Power consumption	
Idle	20uA@3.3 VDC(Support with 10mA sensor)
Work	<20mA@3.3 VDC(Support with 10mA sensor)
Battery life	
1 min sample interval(with Sensor)	Up to 3 month (1 x 3.3V 3200mAh LiFePO4 Battery)
External power charge	
USB	5 V
Solar power	5 V (Max. 6.5 V Input)
Physical characteristics	
Dimensions (Not include Antenna)	118 x 40 x 140 mm



圖 3-5 LoRa Node 無線感測節點規格



圖 3-6 搭配太陽能模組之 LoRa Node

(二) 傳輸天線

本研究將以兩種天線作為傳輸比較，分別為 700-2700MHz,35dbi 之全頻段天線及 902-928MHz,5dbi 之 915MHz 天線，如圖 3-7 所示。



圖 3-7 本研究使用 LoRa 傳輸天線，左為 35dbi、700-2700MHz 全頻段天線，
右為 5dbi、915MHz 天線

(三) 控制系統與介面

本次使用之 LoRa 模組可將裝置連接電腦後，直接修改站點名稱、調整傳輸頻率、回傳間隔以及 LoRa 相關基本參數(如圖 3-8 所示)，數據資料亦可經由電腦進行傳輸、檢視、刪除等功用，其容量約可儲存 16,000 筆，如資料過多則由第一筆資料進行覆寫，資料格式說明如下：

(1). LoRa Gateway 上資料範例如下(共 5 組 LoRa-AI,最多 48 組):

#0030404917052308040205003AD2-00202-002520000021923331-085,007AD2-00172+001

470000021923328-041,006AD2-00268-002040000021923334-091,005AD2-00177-00183000

0021923330-113,004AD2+00226-001710000021923335-085,054\r

表整批資料字頭

003 表LoRa Gateway 之Address

04049 表LoRa Gateway Datalogger 內資料記錄序號,最大16000,大於前述後以循環顯示

170523 表2017/5/23

080402 表08:04:02

05 表Gateway 上有收到5 組LoRa Node 資料,最大48

054 Gateway 內部運用字串,不用理會

\r 表整批資料字尾

每次收到資料需有字頭及字尾,資料才算完整,否則需重新下命令要資料

(2). 整批資料說明如下:

以下表5 組LoRa 資料:

0030404917052308040205003AD2-00202-002520000021923331-085,007AD2-00172+0014
70000021923328-041,006AD2-00268-002040000021923334-091,005AD2-00177-001830000
021923330-113,004AD2+00226-001710000021923335-085,054

(3). 單筆資料(共 36 byts)格式說明如下:

007AD2-00198+002030001521923328-040,

007 表LoRa 之ID

AD2 表LoRa-AI 模組之代號

-00198 表AI0 電壓資料,需除以10000, $-00198/10000=-0.0198$ VDC

+00203 表AI1 電壓資料,需除以10000, $+00203/10000=0.0203$ VDC

00015 表雨量計計數資料,需乘以雨量計轉換系數後即為單位時間內之雨量(mm)

21923 表量測得3K Ω Thermistor 電阻測值,可參考溫度計廠商提供之公式加以計算,

或參考下列公式計算溫度(Degree C)測值

溫度 = $-22.583562 * \ln(21923) + 206.259321$

328 表電池電力,需除以100, $328/100=3.28$ VDC

-040 表LoRa RSSI 訊號強度,以整數表示,-040=-40

, 表 LoRa 資料間隔標記

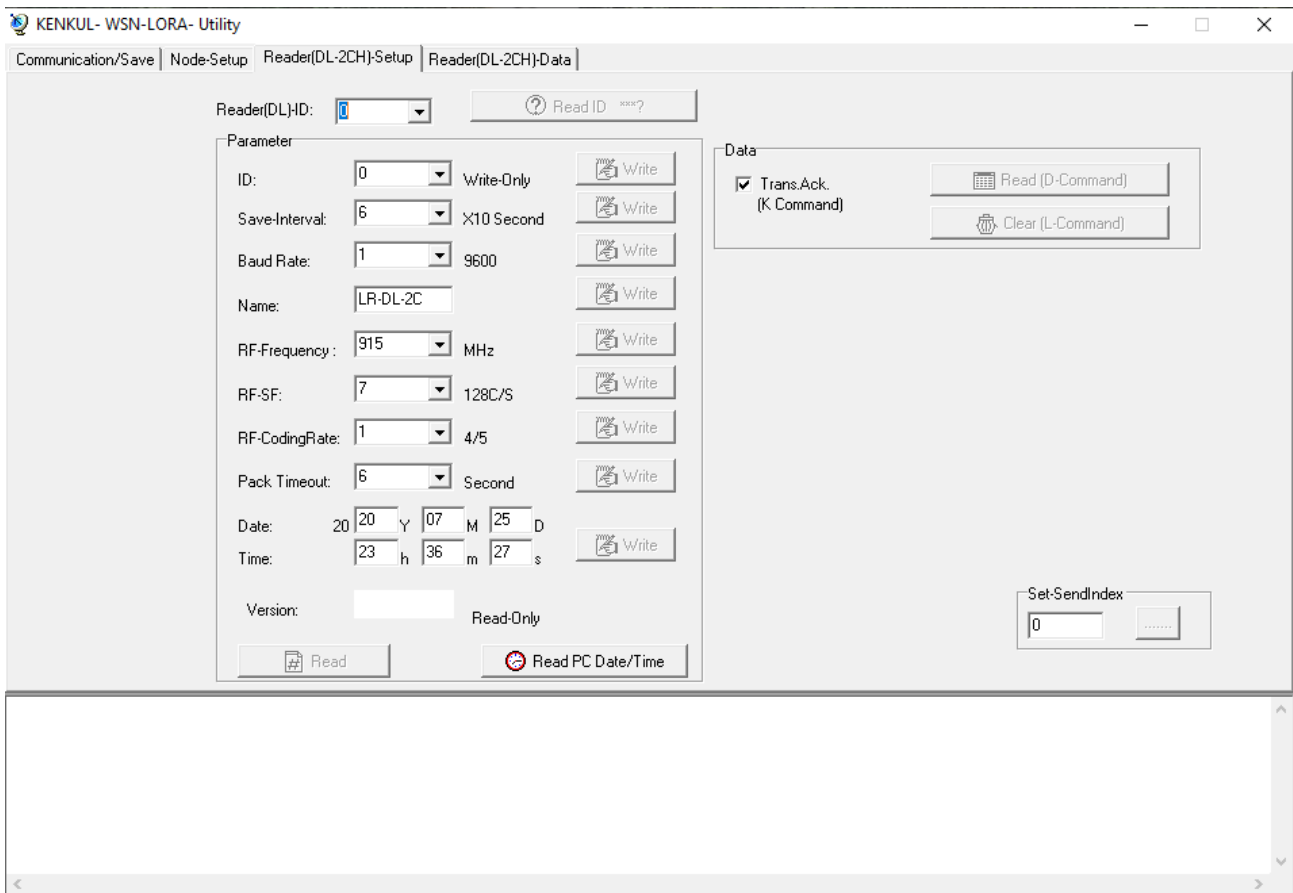


圖 3-8 LoRa 控制介面示意圖

本系統亦可依據各類監測系統客製化，如 LoRa 模組於現場蒐集資料後，事先做初步的運算，再將其資料回傳，並可視需求繪製圖表以供檢視。

監測資料經各站 LoRa Node 傳輸至 Gateway 後，可依照不同的傳輸方式將感測器資料回傳至主端，如 4G、有線網路或 NB-IoT 上傳至雲端及伺服器，作為後續分析、預警等。本架構可以使資料傳輸方便、快速，亦更加穩定，圖 3-9 為 LoRa 監測系統配置圖。

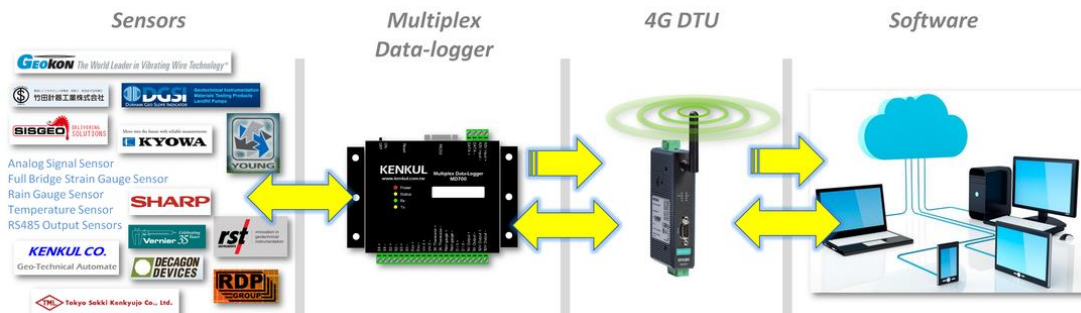


圖 3-9 LoRa 監測系統配置示意圖

(四) 傳輸原理與方法

LoRa 傳輸方法為利用發射端(Node)所傳送之電磁波經由調頻天線傳出，再由接收端(Gateway)接收後並記錄，而 Gateway 可同時接收多個 Node 所傳出之訊號，但因傳輸的時間會因為距離、介質和環境而有些微變化，導致 Gateway 無法於發射訊號到達時精準進行接收動作，故其採用被動接收方式持續記錄，以時間間隔做為記錄頻率，舉例來說：假設 Node 發射頻率為每 10 秒鐘一次，Gateway 記錄頻率是接收到後每 1 分鐘紀錄一次，因此在無漏失情形下會收到 6 筆，也就是每分鐘會有 6 次的傳輸量，而資料上會取最後一筆接收到的數值紀錄，如下圖 3-10 所示。

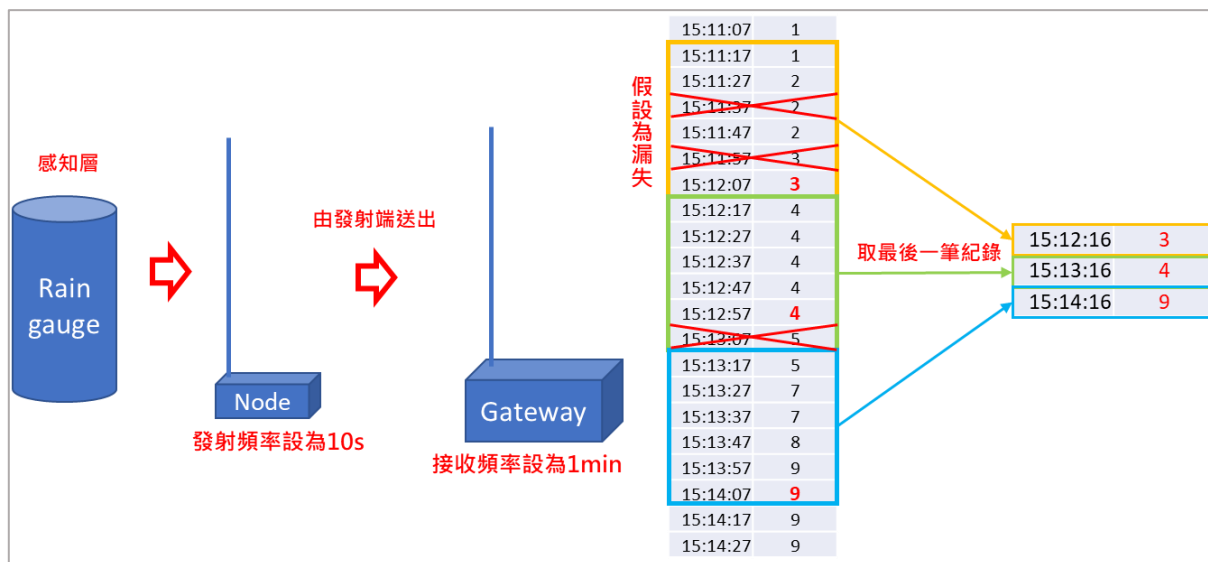


圖 3-10 LoRa 擷取資料範例

(五) 校內試驗結果

本團隊進行現地裝設測試前，於校內以及鄰近區域進行 LoRa 傳輸的穩定性、耐候性以及收發頻率調整之初步測試，其中地點包含明新科大校園內、新豐紅樹林以及東北方之鳳岡地區，以下將一一說明試驗流程、配置以及其成果。

1. 校內傳輸測試：

本次試驗目的為測試 LoRa 基本傳輸之效能，以及發射站(Node)太陽能與電池電力損耗情形。接收站設置於明新科大校園內土木系管四樓，發射站設置於鴻超樓頂樓以及停車場後方滯洪池(圖 3-11)，分別相距約 100 公尺以及 500 公尺，頻率部分設定為一分鐘發、一分鐘收，配置情形如圖 3-12 所示，測試時間約為 15 天。



鴻超樓9F(022)



滯洪池(021)

圖 3-11 發射站裝設環境

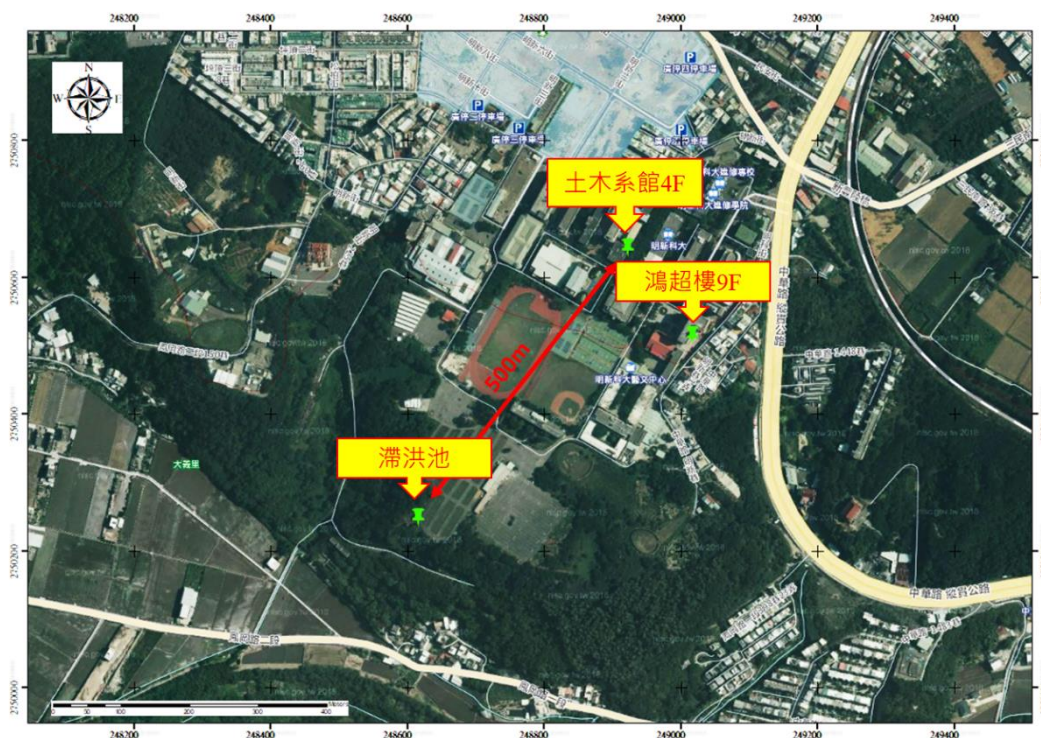


圖 3-12 LoRa 校內傳輸測試配置圖

試驗結果分析經整理後分為兩部分說明，電力部分，圖 3-13 為 021(滯洪池)、022(鴻超樓 9 樓)兩站於測試時間內之電池電量變化圖，橫坐標為時間，縱座標為電壓值 V，其中可以明顯看出因 022(橘)位於大樓頂端，上方無遮蔽影響太陽能發電，故電壓較 021 高，整體變化如預期白天高，晚上緩慢降低。

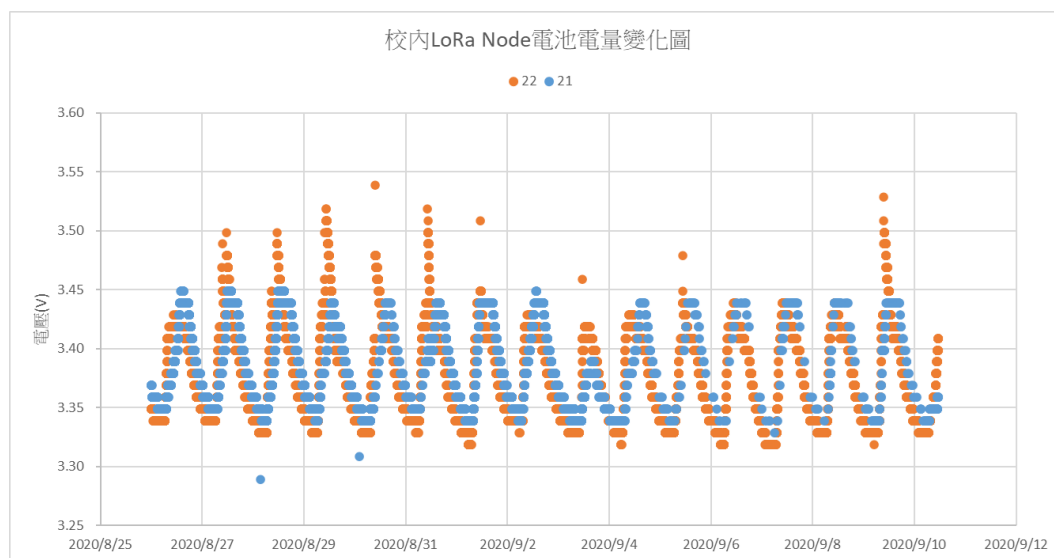


圖 3-13 Node 於校內傳輸試驗電池電量變化歷線圖

傳輸部分，結果整理如下表 3-3，其中 021 因與接收站間相距較遠，且有建物阻擋，使傳輸成功率僅為 48%，RSSI 結果如圖 3-14。垂直軸為訊號強度 RSSI，022 的訊號強度大約在 -115dbi 至 -85dbi 間，初期研判為頂樓訊號干擾導致部分時間較低；021 則因距離而落在 -124 至 -115 間。經由與降雨事件比對後，可由圖 3-15 觀察到時雨量為 26mm 以及 16mm 兩場降雨時，於此試驗中是有助於提升少量 RSSI。

表 3-3 校內試驗傳輸率成果

21	應到比數	實到比數	成功率	漏失率
	22287	10741	48.19	51.81

22	應到比數	實到比數	成功率	漏失率
	33832	22287	65.88	34.12

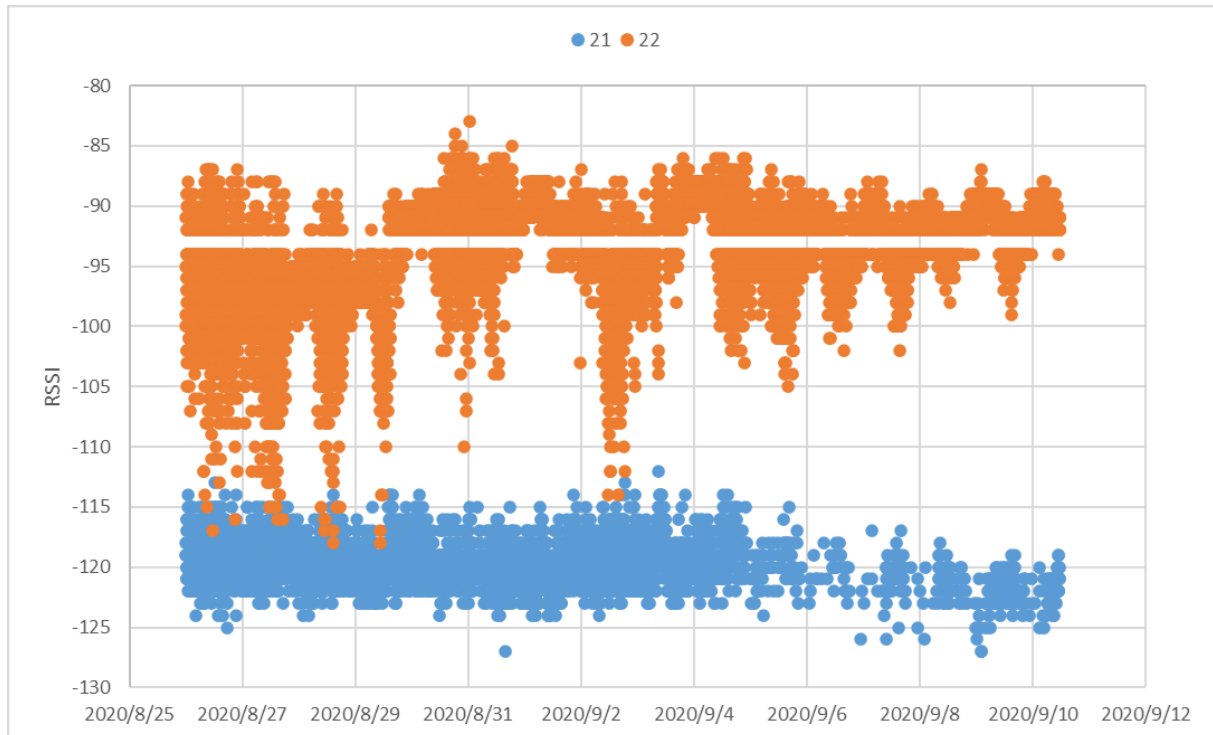


圖 3-14 校內傳輸試驗 RSSI 歷線圖

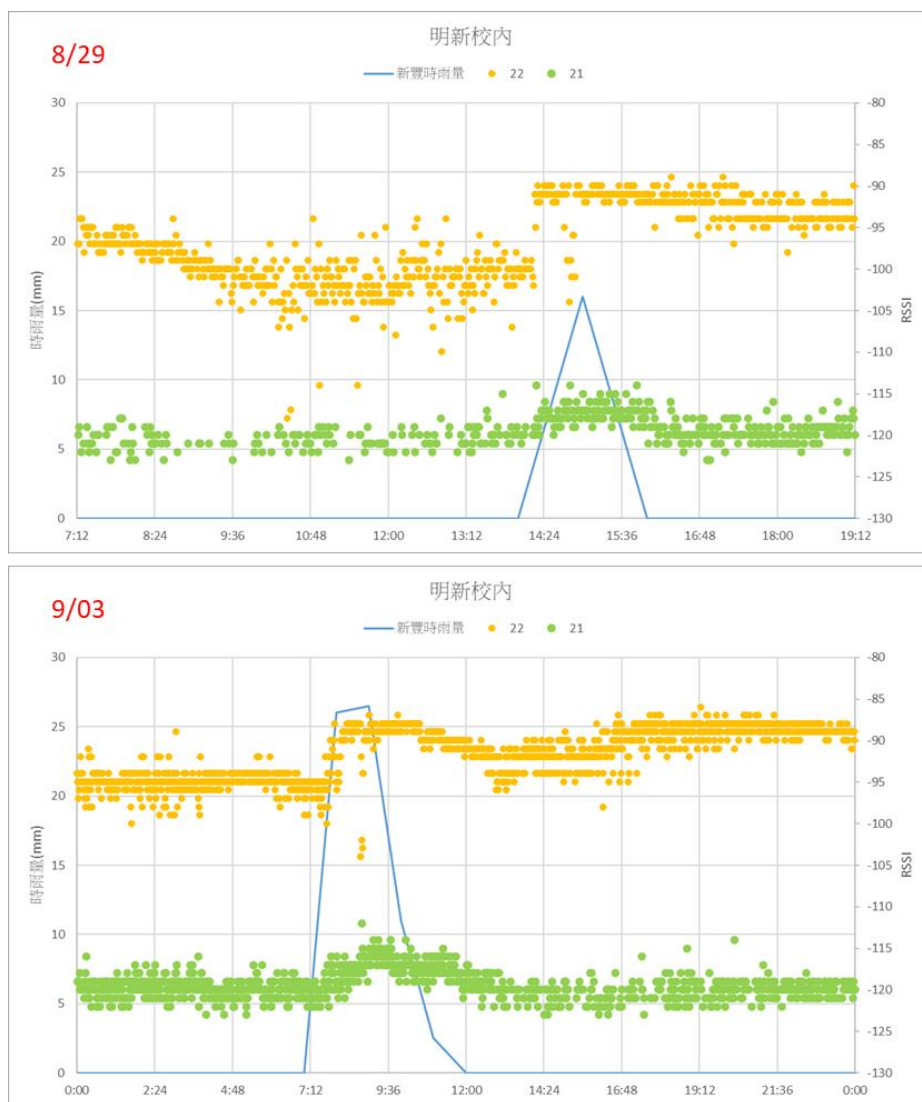


圖 3-15 校內傳輸試驗 RSSI 比對降雨事件

2. 人工降雨傳輸試驗：

本試驗目的為測試降雨對訊號強度 RSSI 影響，地點是位於明新校內所設置之試驗用大型土槽，經本團隊於上方架設人工降雨裝置後，可於 4×3m 範圍內進行均勻降雨。發射站與接收站間距即為人工降雨裝置範圍之兩側，現場設置情形如圖 3-16 所示，頻率為 10 秒發 10 秒收，於降雨開始並穩定後開始進行傳輸，約 15 分鐘後關閉閘門，觀察降雨與無降雨情況下之變化情形。



圖 3-16 人工降雨傳輸測試

試驗結果如圖 3-17 所示，在降雨期間 RSSI 多為-39dbi 及-40dbi，而降雨停止後則略升為-38dbi 及-39dbi，由此試驗結果可研判降雨會使傳輸訊號強度降低，但此結果與前次校內測試之結果不同，故將於現地設置長期傳輸穩定性測試時，觀察長距離降雨下之影響再進行探討。

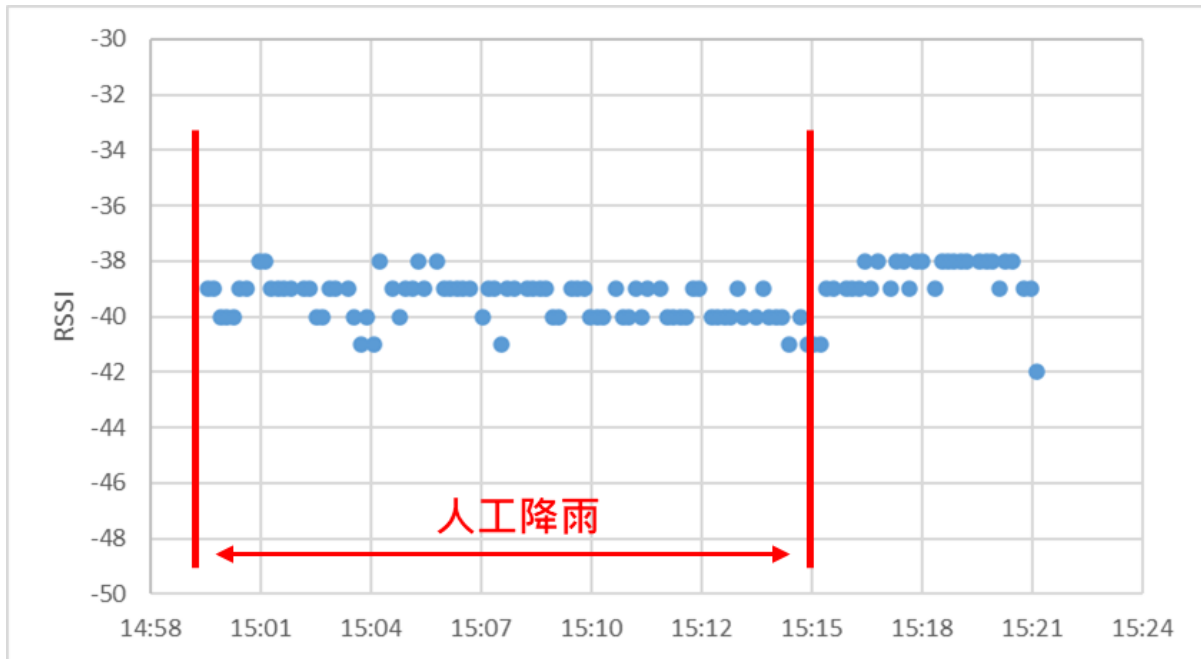


圖 3-17 人工降雨傳輸測試 RSSI 歷線圖

3. 紅樹林傳輸試驗：

在現場邊坡監測區域，常有因植被阻隔造成 LoRa 傳輸不穩定，

本試驗目的即為了解在同類型植被(紅樹林)中，不同距離間所造成的遮蔽差異為何。試驗地點位於新豐紅樹林生態保護區內，選定其中分布較密集、均勻之樹林，以間隔 50m、100m 兩站發射站進行測試，設置地點與現場如圖 3-18 和圖 3-19 所示。



圖 3-18 LoRa 紅樹林傳輸測試配置圖



圖 3-19 LoRa 紅樹林傳輸測試發射站裝設環境

因測試開始時，是自接收站攜行至預定地點放置 25 分鐘，由成果圖 3-20 所示，可以看到隨著收發站點間所穿過的樹林距離越長，RSSI 值相對越弱，反之在結束回程時則逐漸回穩。在固定距離的資料中，50m 之 RSSI 大約在-100dbi；100m 大約在-123dbi。

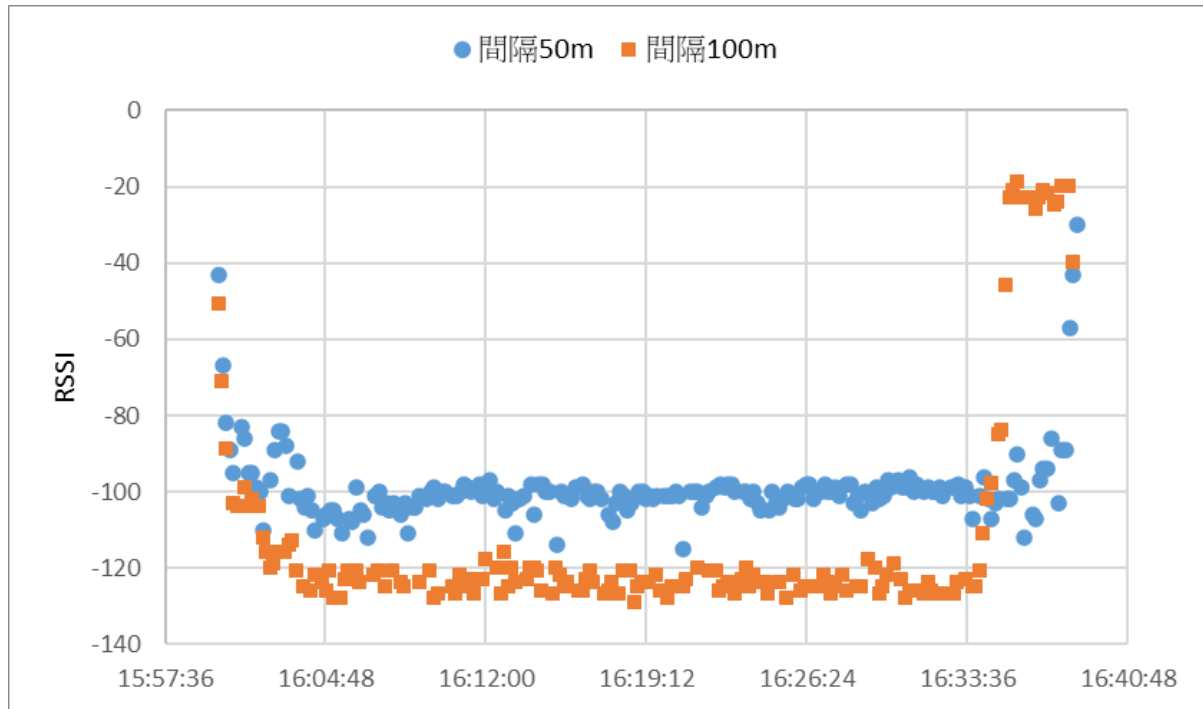


圖 3-20 LoRa 紅樹林傳輸測試 RSSI 歷線圖

4. 灌木林傳輸試驗：

繼前次紅樹林試驗後，本團隊另選定於現地邊坡較常見之灌木林，地點位於校園周邊之鳳岡地區，同樣進行 50m 與 100m 傳輸測試，設置地點與現場如圖 3-21 與 3-22 所示。



圖 3-21 LoRa 鳳岡灌木林傳輸測試配置圖



圖 3-22 LoRa 鳳岡灌木林傳輸測試發射站裝設環境

試驗結果如圖 3-23 所示，50m 之 RSSI 平均為-80dbi，100m 平均約為-95dbi，比較紅樹林所測試的結果研判，兩處試驗環境紅樹林屬於較密集之植被，故 RSSI 較低，而灌木叢屬於較稀疏植被，故 RSSI 優於紅樹林。

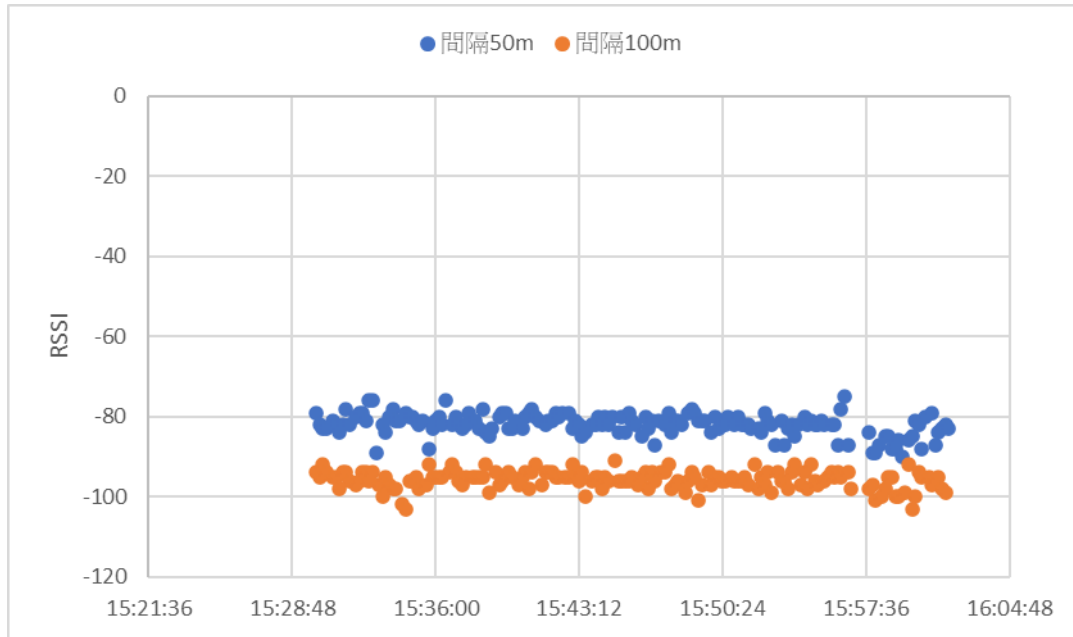


圖 3-23 LoRa 鳳岡灌木林傳輸測試 RSSI 歷線圖

(六) 現地試驗結果

在前段於校內所做之初步試驗後，本團隊將此套系統放置於傳輸需求較長之現地邊坡，並分別進行短期以及長期之傳輸測試，長期測試部分也加入電池電力損耗分析，以了解發射站在現場可能多霧或陰天的氣候條件下，電力是否足以持續供應。

1. 神木村-祝山停機坪(短期)：

本次試驗目的在於模擬將神木村之各項監測資料，回傳至電源、通訊皆較為穩定之區域，因神木村之監測儀器裝設地點(那瑪嘎班溪橋及上方壩體)電力以及網路需由國小以有線方式連接，電信訊號也僅遠傳有微弱且不穩定之網路，為確保兩者於災時尚可穩定接收與回傳，本計畫將發射站(Node)裝設於鋼索檢知器之壩體、那瑪嘎班溪橋以及神木國小三處(分別為 Node A、B、C)，接收站(Gateway)則架設於祝山停機坪，並分別以全頻段 35dbi 與 915MHz 主頻段 5dbi 兩種天線測試 LoRa 傳輸品質效果為何。測試時間為 109 年 7 月 21 日，

天氣神木地區為晴，祝山則為多霧，現場配置分布與裝設情況如圖 3-24 及表 3-4 所示。

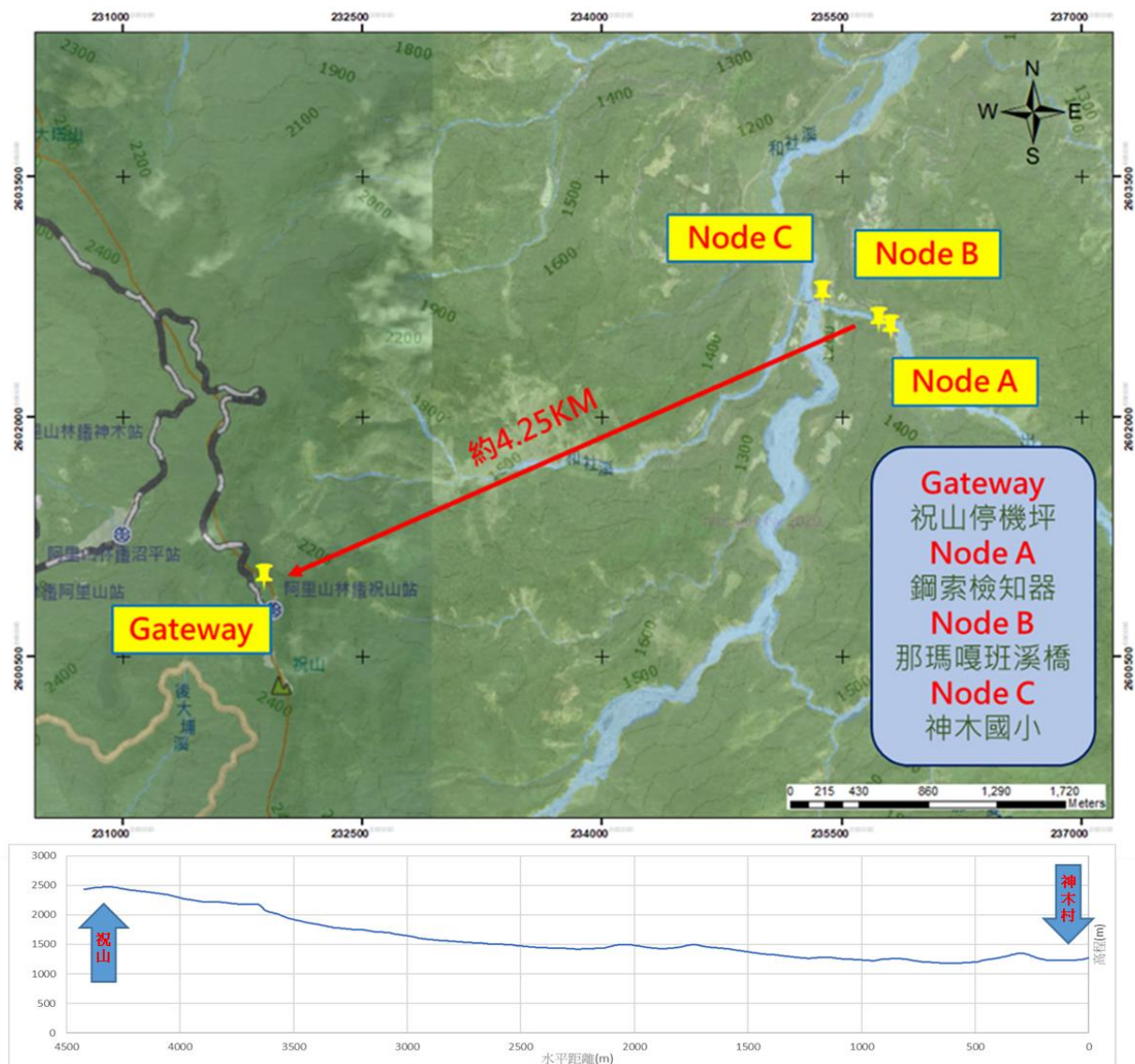


圖 3-24 LoRa 神木-祝山傳輸測試配置圖

表 3-4 神木-祝山 LoRa 設置地點及其裝設情況

設置地點	現場裝設情況
祝山停機坪 (Gateway)	
鋼索檢知器 (Node A)	
那瑪嘎班溪橋 (Node B)	
神木國小 (Node C)	

本次試驗結果如表 3-5，間格為每 10 秒發、1 分鐘收，持續傳輸 10 至 15 分鐘，再計算當次應到與未到次數，得到其成功與漏失率，另外也利用 RSSI 之訊號強度比較不同天線及不同地點之差異。藍色欄位為使用 35dbi 短天線進行傳輸，綠色欄位則為 5dbi 長天線，從資料結果可觀察到 5dbi 天線因主頻段即為 915MHz，傳輸成功率在有山壁阻礙下有非常明顯的提升，而神木國小因無近距離阻礙，故兩者成功率皆在 90%左右。另平均 RSSI 結果部分，使用不同天線並無明顯差異，而神木國小也僅略佳於另外兩處設站點。

表 3-5 2020 年 7 月 21 日神木-祝山 LoRa 通訊試驗結果

7/21祝山	那瑪嘎班溪橋 (35dbi)	那瑪嘎班溪橋 (5dbi)	檢知器 (35dbi)	檢知器 (5dbi)	神木國小 (35dbi)	神木國小 (5dbi)
應到	48	30	42	30	48	33
實到	16	19	11	30	43	30
成功率%	33.33	63.33	26.19	100.00	89.58	90.91
漏失率%	66.67	36.67	73.81	0.00	10.42	9.09
平均RSSI	-126	-125	-127	-122	-116	-117

2. 神木村-台 21 線(短期)：

經由前次試驗後，由於接收站位在保護區內祝山停機坪，維護和通行上較為費時，故本計畫也嘗試於台 21 線玉山景觀公路上，選定流域上方之夫妻神木觀景台進行短時傳輸測試。最長間距約為 4km，兩發射站分別設於神木國小以及鋼索檢知器，頻率為 10 秒發 10 秒收，配置地點與設置情形如圖 3-25 與 3-26 所示。

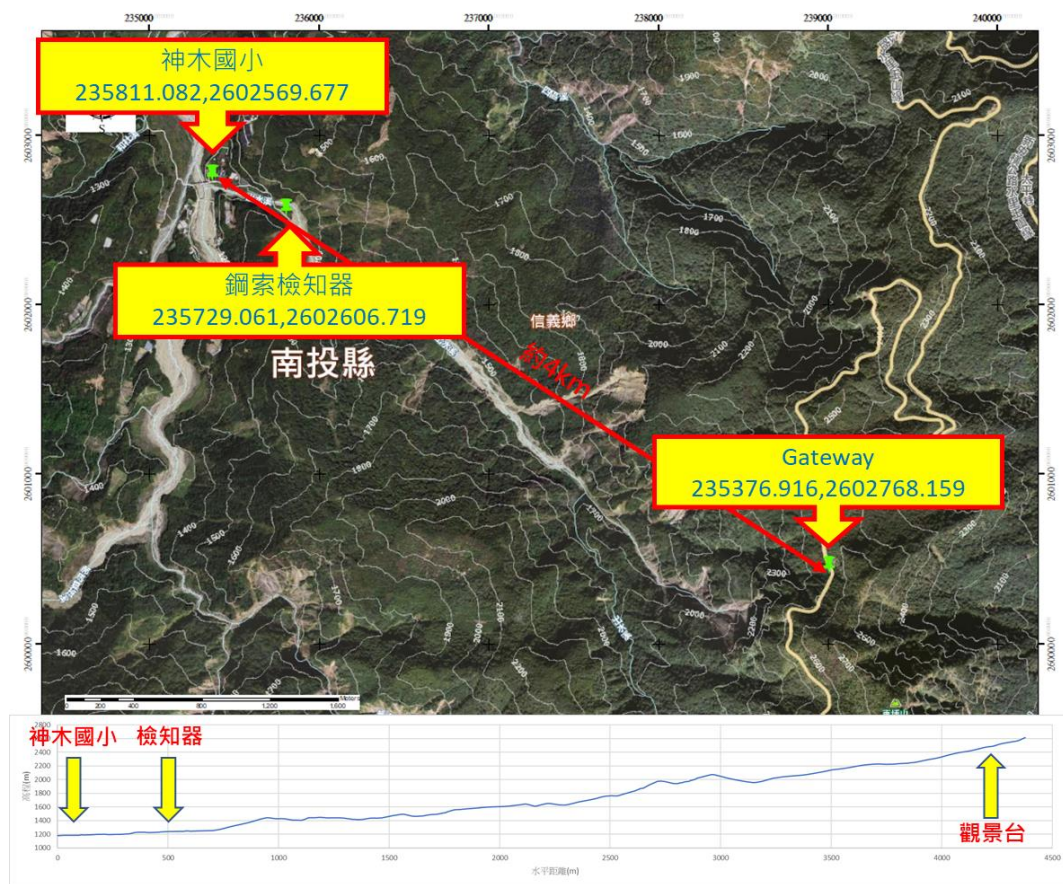


圖 3-25 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台傳輸測試配置圖



圖 3-26 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台傳輸測試裝設環境

測試結果如表 3-6 所示，在收發頻率皆設為 10 秒情況下，011 接收的成功率可達到 82.26%，但 012 卻僅達到約 57% 的成果，而因接收頻率相同，且有達到一半以上成功率，並且屬於均勻資料漏失特性，理論在增加固定時間內之發射頻率後，仍可提升不少。在 RSSI 的成果中(圖 3-27)，可發現位在相對近的鋼索檢知器發射站 012，RSSI 明顯較差於較遠的神木國小 011，此部分本團隊研判可能原因為天線設置之突出程度，神木國小站天線是架設於建物之頂樓，而鋼索檢知器則架設於地面，在直線通視部分則較架於頂樓之天線差，故造成遮蔽導致明顯不穩定。

表 3-6 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台試驗傳輸率成果

011	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	186	153	82.26	17.74

012	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	186	106	56.99	43.01

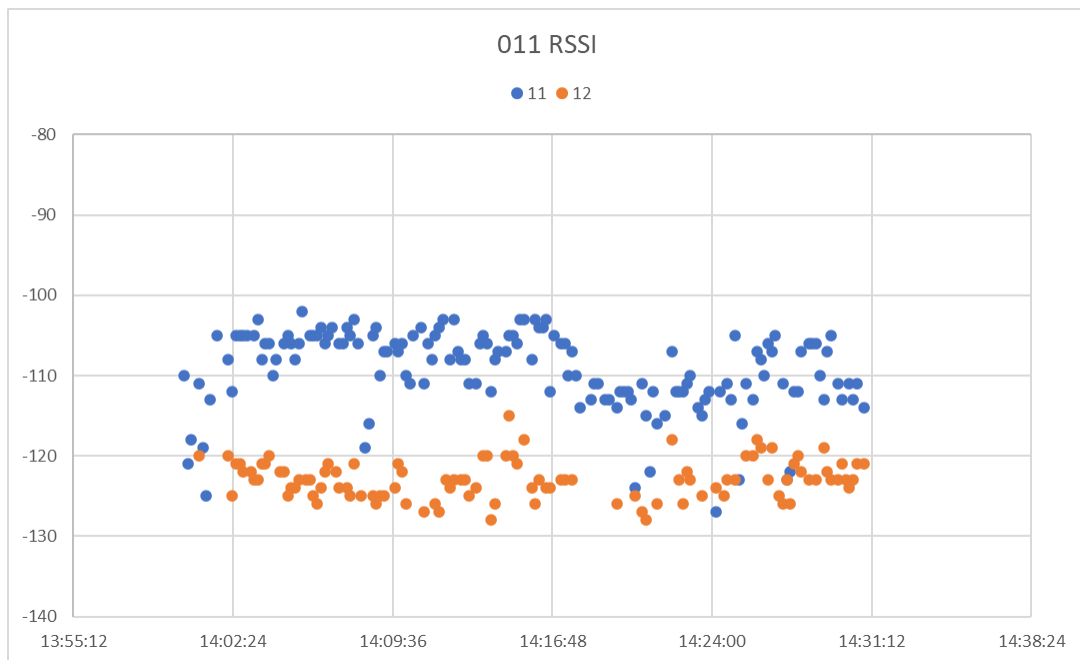


圖 3-27 LoRa 神木-夫妻樹神木觀景台傳輸測試 RSSI 歷線圖

3. 神木村(長期)：

在經本團隊對耐候與電力部分進行測試與改良後，將對整套系統進行長期測試，地點同樣位於神木村，頻率為 10 秒發 1 分鐘收，現場配置圖以及照片如下圖 3-28 與圖 3-29 所示，以完整觀察此處氣候條件下整體運作是否可行。發射站部分，本團隊使用 60W 太陽能板經由充電控制器回充電池後，在供應給 LoRa Gateway 以及將資料回傳至線上之 4G 模組，整體系統除太陽能外，其餘電池外接等裝置放置儀器箱內部。接收站部份，將其放置於 3W 太陽能板之儀器箱內，同樣回充至電池後再供應予主機。本次測試時間為 109 年 9 月 8 日至 109 年 10 月 8 日，約為一個月，其內部配置如圖 3-30 所示。

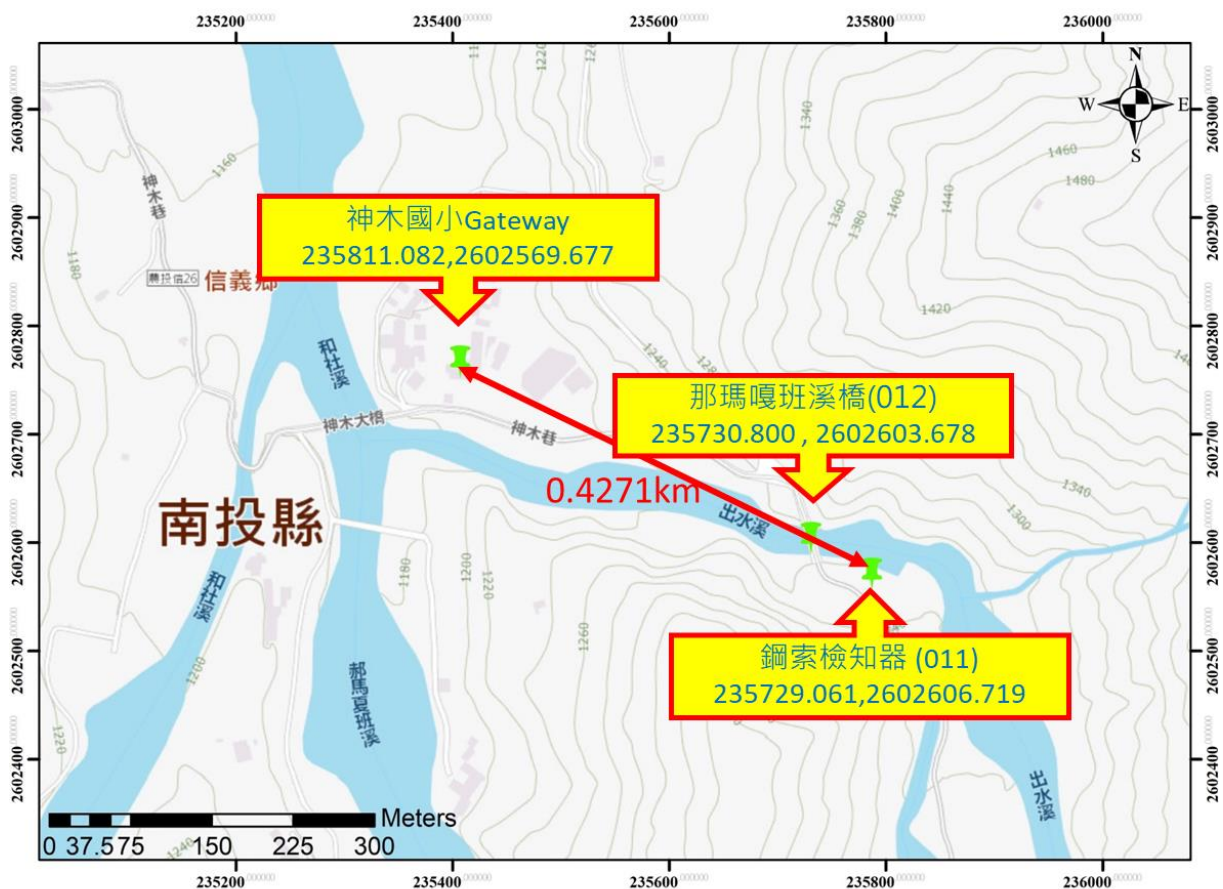


圖 3-28 LoRa 神木村長期傳輸測試配置圖



圖 3-29 LoRa 神木村長期傳輸測試裝設環境



圖 3-30 本團隊使用之太陽能儀器箱內部配置圖

測試結果分為電力耗能、傳輸成功率與訊號強度 RSSI 兩部分進行說明，圖 3-31 為現場兩站發射站之電池電量變化圖，其中鋼索檢知器發射站 011 因位於較無遮蔽處，故於日間時電池電量較為充足，而那瑪嘎班溪橋 012 即使未在部分遮蔽情形下，電力仍穩定維持在 3.4V 至 3.45V 之電壓，顯示太陽能供應非常穩定，有利於進行更長時間監測。

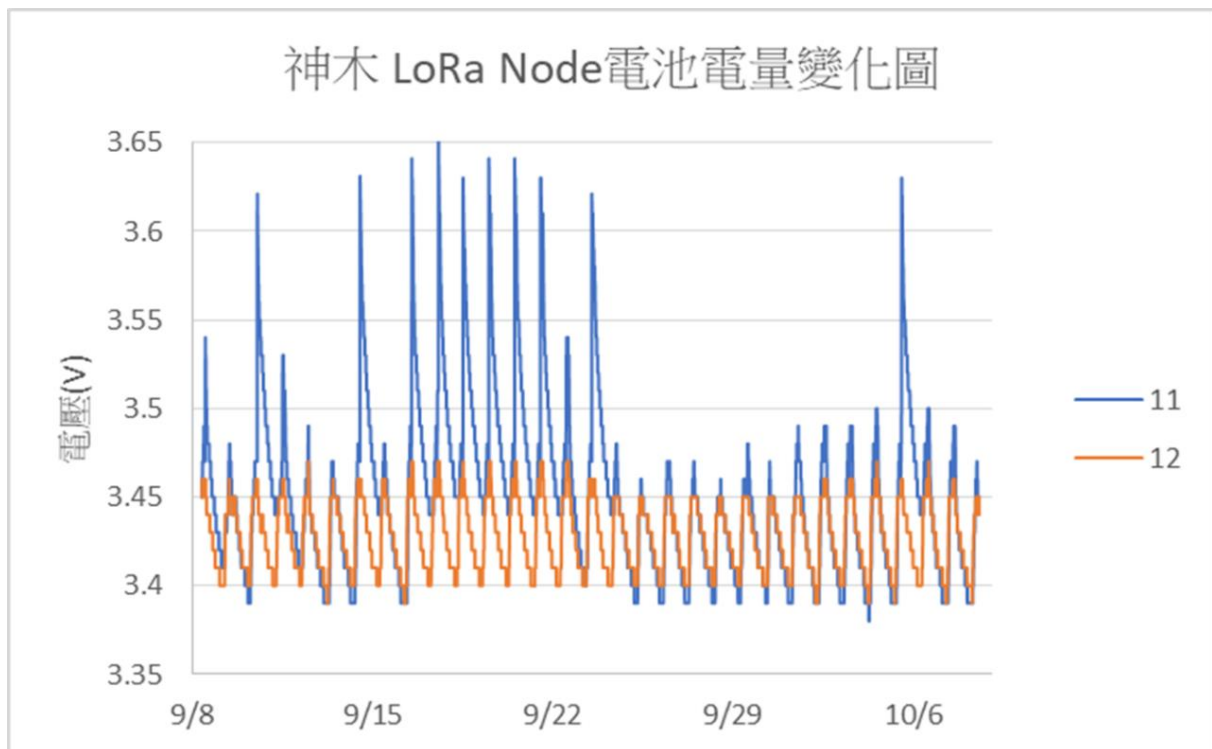


圖 3-31 LoRa 神木村長期傳輸測試 Node 電量變化圖

在資料接收成功率部分，表 3-7 中可以看出在 10 秒鐘發 1 分鐘收的頻率下，可完整接收兩站所有資料，皆達到 100% 的成功率，毫無漏失。

表 3-7 LoRa 神木村長期試驗傳輸率成果

011	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	8688	8688	100.00	0.00
012	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	8688	8688	100.00	0.00

而在訊號強度 RSSI 部分，圖 3-32 中顯示，兩者 RSSI 大多少於 -100dbi，屬傳輸穩定，而鋼索檢知器 011 站之訊號強度明顯較優且起伏較小，反之距離較近神木國小的 012 則較差且起伏明顯大許多，由裝設地點研判，012 是架設於周圍有電杆以及其他監測設備旁，且並無明顯高出其他設備，造成其干擾與訊號強度較低。另外本研究也將現地之降雨資料，與 RSSI 進行對比，9 月 8 日、9 日以及 16 日的次降雨事件中，降下了約 5-20mm 之時雨量，而由對比途中可以明顯看出在降雨發生時，兩站的 RSSI 有大幅度降低，顯示降雨對於 LoRa 傳輸還是有明顯影響(圖 3-33)。

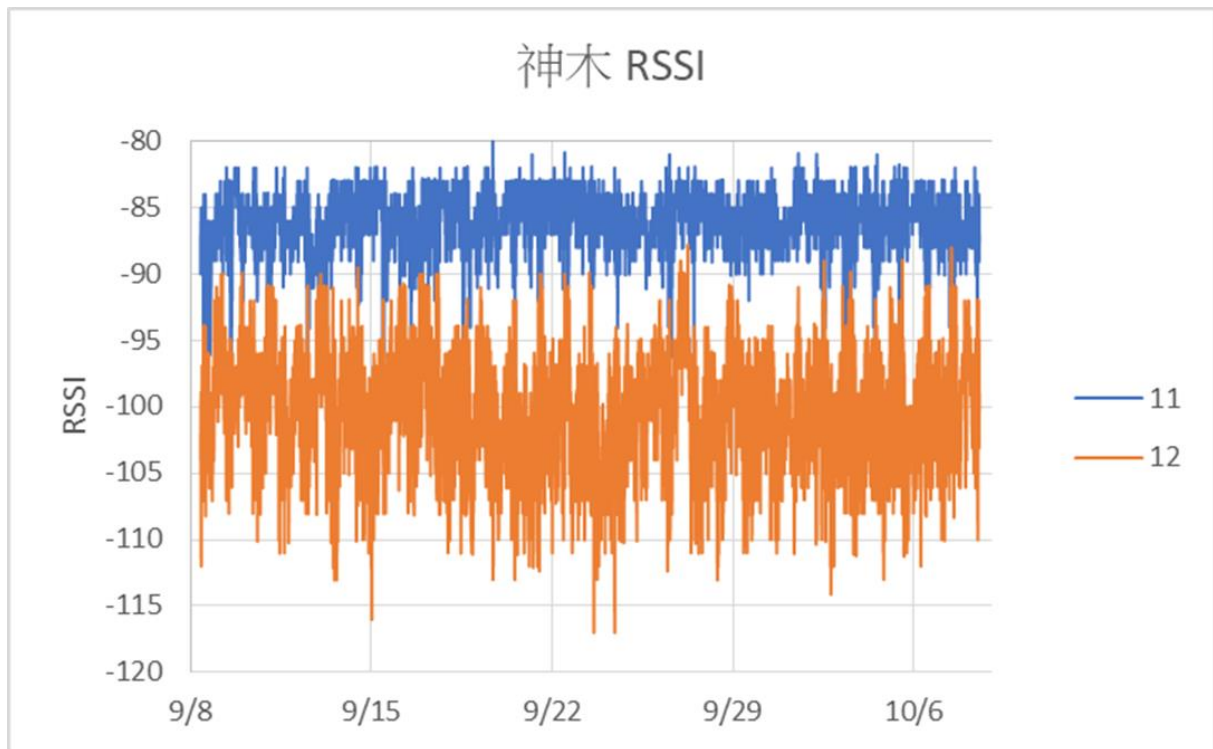
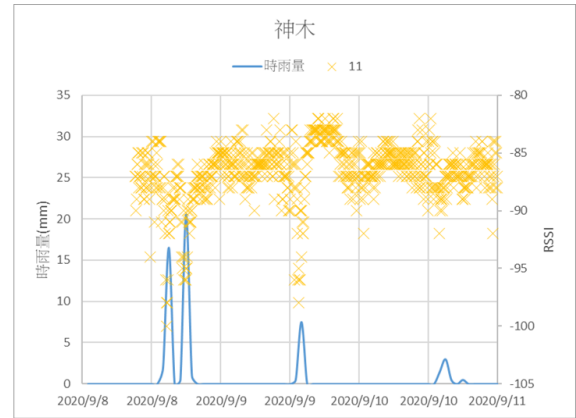
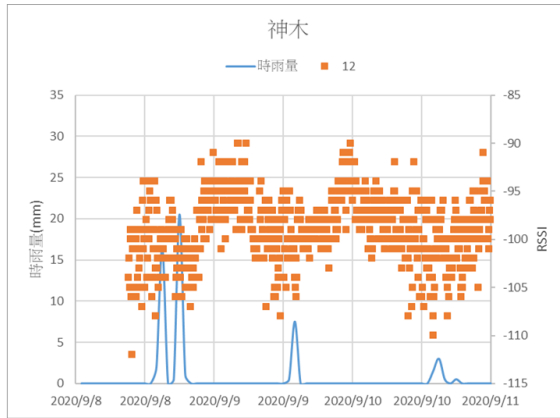


圖 3-32 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 歷線圖

9/8



9/16

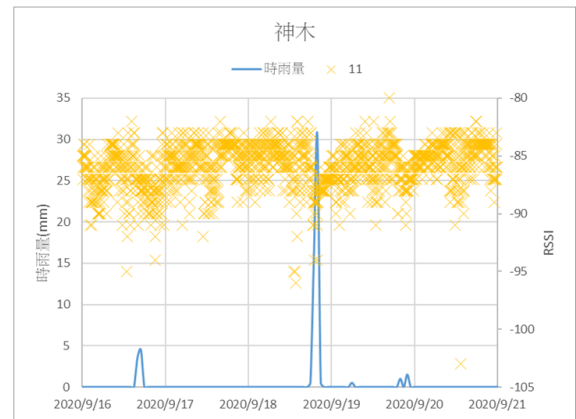
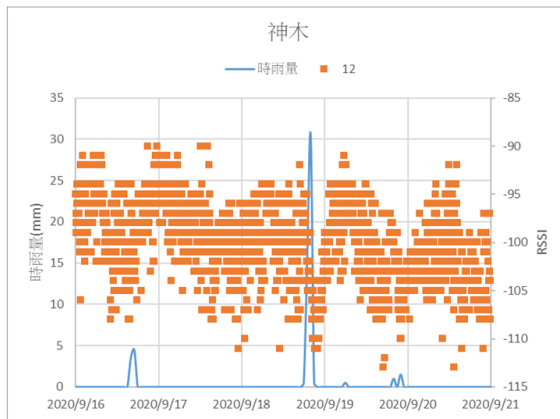


圖 3-33 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 與時雨量比對圖

4. 神木村-祝山(長期)：

經由長期設置於神木村所得之 LoRa 傳輸成果，可穩定且不流失資料地進行傳輸，因此本團隊也再次將接收站移至祝山停機坪進行長期傳輸試驗(圖 3-34 與圖 3-35)，發射站則維持於鋼索檢知器與那瑪嘎班溪橋上，觀察經由調整頻率為 10 秒發 1 分鐘收的條件下，成功率是否能顯著的提升，另外也藉此持續驗證降雨對於 RSSI 的變化情形。

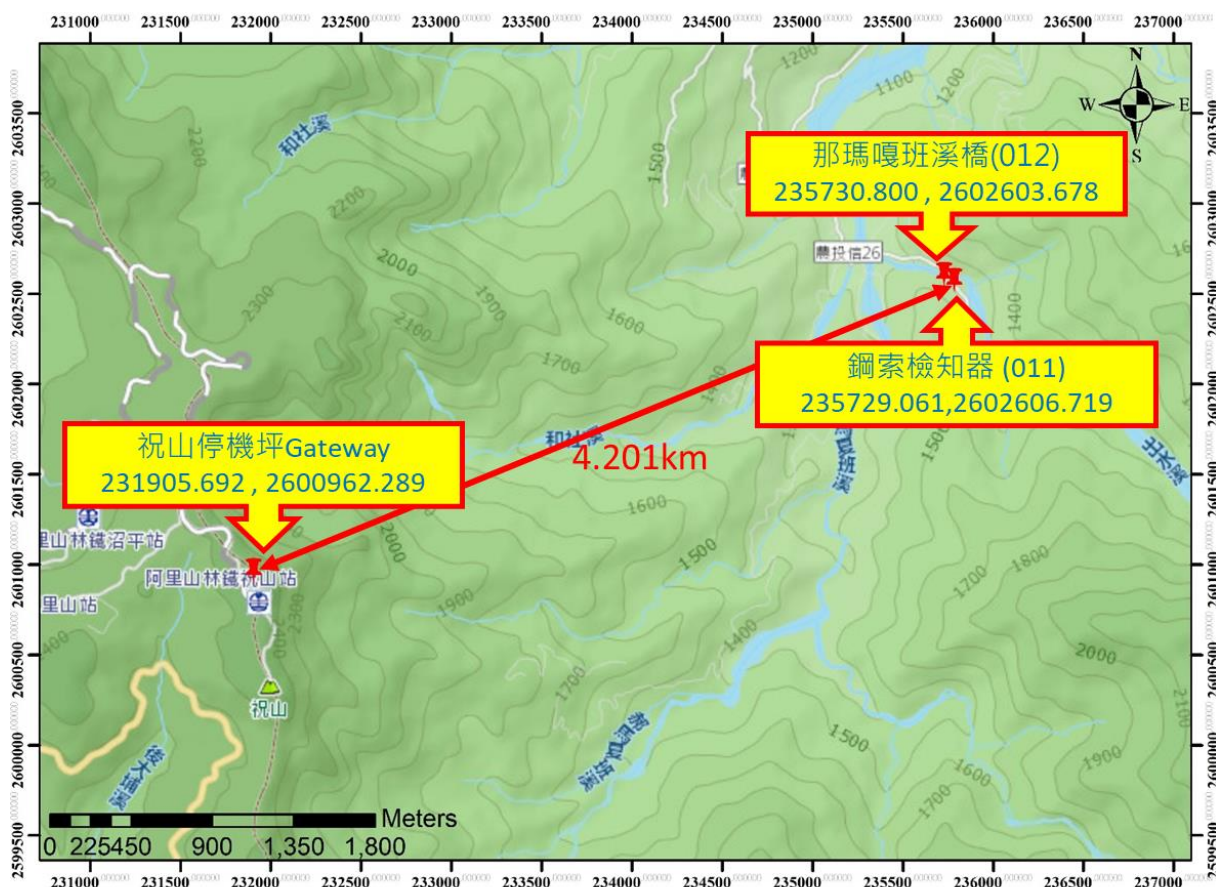


圖 3-34 LoRa 神木村-祝山長期傳輸測試配置圖



圖 3-35 LoRa 神木村-祝山長期傳輸測試 Gateway 裝設環境

在測試結果中(表 3-8)，成功率依舊為鋼索檢知器之 011 站較佳為 85%，而那瑪嘎班溪橋的 012 站也有達到 69%的成功率，有此可

證在適當的調整頻率下，雖使資料間隔時間增加，但仍可大幅度的提升其傳輸的成功率。

表 3-8 LoRa 神木村-祝山長期試驗傳輸率成果

011	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	6370	5418	85.05	14.95
012	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	6376	4419	69.31	30.69

另外在 RSSI 分析部分，仍為鋼索檢知器 011 較為穩定，而圖 3-36 中可觀察到強度已經非常接近-130，似乎低於-130 即無法傳送。在將雨量資料納入比較，因兩地相距逾 4km 之遙，高程變化也非常明顯，天氣情況可能有所不同，故分別使用阿里山雨量站、神木雨量站對兩站之 RSSI 結果進行比對。圖 3-37 與 3-38 中 10 月 11 日之降雨事件中，對 011 站似乎無明顯影響趨勢，其中阿里山與神木兩雨量站所量測到的時雨量也明顯不同，而 10 月 21 日降雨事件則有明顯資料漏失情況，另外對於 022 站，則對兩場降雨事件皆有相對應的漏失情形，此結果也證明降雨對 RSSI 有明顯影響。

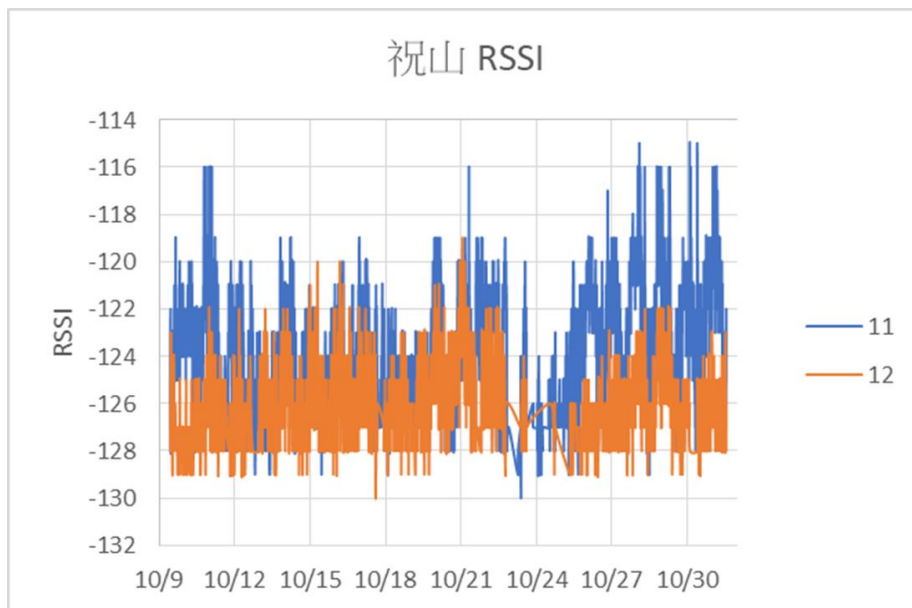
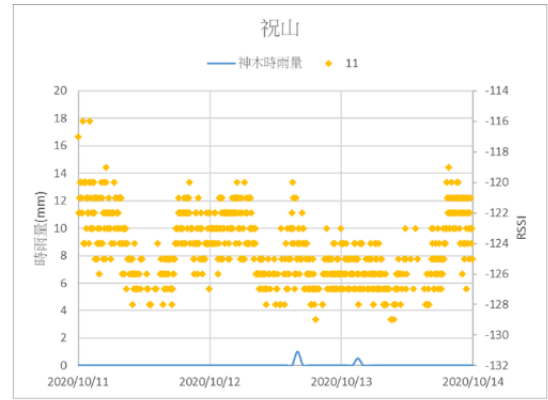
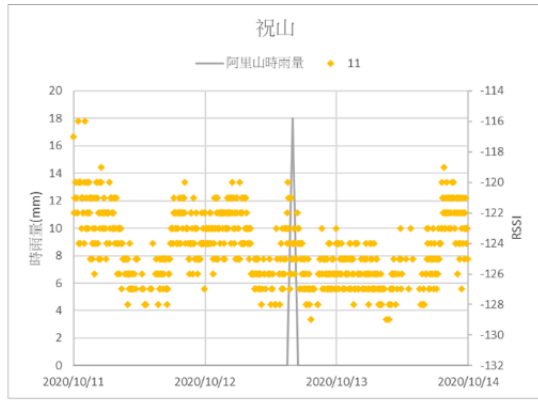


圖 3-36 LoRa 神木村-祝山長期試驗 RSSI 歷線圖

10/11



10/21

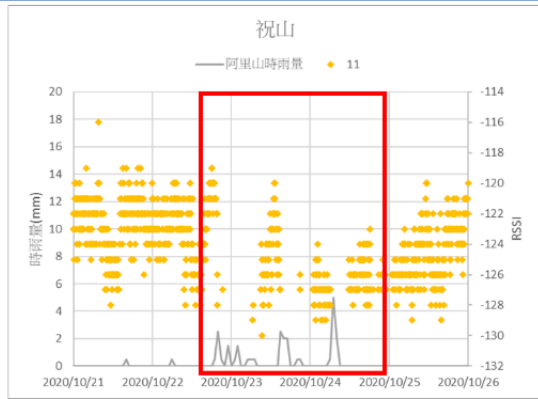
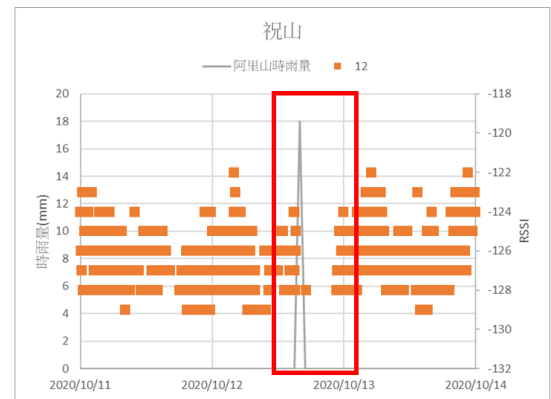
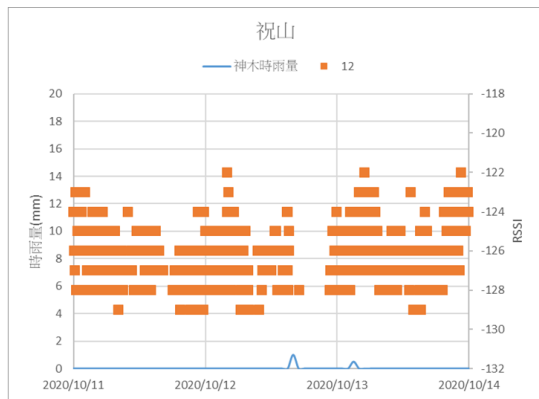


圖 3-37 LoRa 神木村-祝山長期試驗 011 站 RSSI 與時雨量比對圖

10/11



10/21

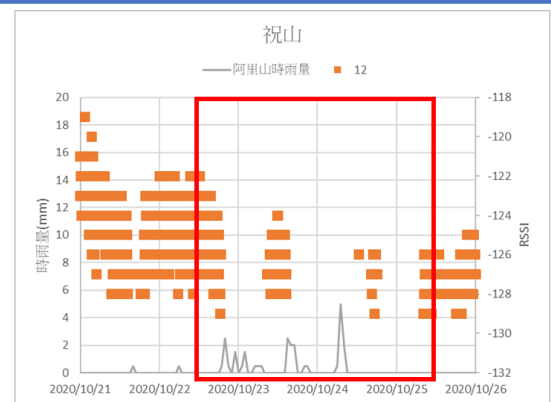
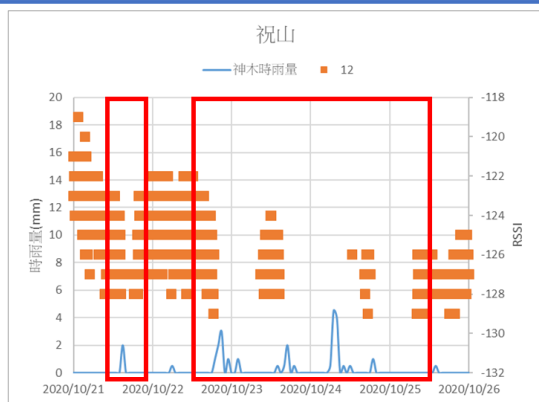


圖 3-38 LoRa 神木村-祝山長期試驗 012 站 RSSI 與時雨量比對圖

第四章 NB-IoT

NB-IoT 在經過前期計畫先後於南投縣信義鄉神木村、宜蘭縣大同鄉四季、英士部落與新北市觀天下社區測試後，結果顯示其傳輸品質與當地電信業者基地台訊號強弱有非常顯著的影響，因此本計畫選用遠傳電信與中華電信，至神木村、祝山以及南方澳測試兩家電信公司是否應用 NB-IoT 之頻段。

第一節 NB-IoT 於神木村測試結果

首先本計畫先於神木村神木國小與那瑪嘎班溪橋兩處進行傳輸測試，圖 4-1 為 109 年 7 月 21 日本計畫於那瑪嘎班溪橋測試照片。NB-IoT 選用模組為 SIMCOM SIM7020(圖 4-2)，其具有多種傳輸介面，顯著提升應用的靈活性，此外專為在各種無線電傳播條件下需要低延遲，低傳輸量數據的應用而設計。由於性能，安全性和靈活性的結合，此模組非常適合 M2M 應用，例如計量、資產追蹤、遠程監控、電子醫療等。本次試驗設置傳輸間隔為每 10 分鐘一筆，比較兩者之漏失率與延遲時間，現場由團隊成員手機訊號判斷遠傳電信訊號優於中華電信，故初步認為遠傳效果可能較佳。



圖 4-1 109 年 7 月 21 日那瑪嘎班溪橋 NB-IoT 傳輸測試



General features - SIM7020C: B1/B3/B5/B8 - SIM7020E: B1/B3/B5/B8/B20/B28 - Control Via AT Commands - Supply voltage range: 2.1V-3.6V - Operation temperature: -40°C to +85°C - Dimensions: 17.6 X 15.7 X 2.3mm - Weight: 1.3g±0.2g	Other Features - Firmware update via UART - TCP/UDP - LWM2M/COAP* - MQTT - FTP/HTTP/HTTPS*/SSL*/DTLS* - FOTA * - PSM/eDRX
Data - Uplink: 62.5Kbps - Downlink: 26.15Kbps	Interfaces - UART - SIM card (1.8V/3V) GPIO - ADC - Netlight - PSM_EINT - Reset - Powerkey
SMS Text and PDU mode	Certifications - CCC / TA / CTA (SIM7020C) - CE/GCF (SIM7020E) - RoHS / REACH
Consumption PSM: 5 uA	
Key Benefits - With Power Save Mode(PSM) and Extended Discontinuous Reception(eDRX), SIM7020 can extend battery life to 10 years - SIM7020 provides deeper coverage enhancement compared to GSM - The package and AT commands of SIM7020 mostly are compatible with SIM800C.	

圖 4-2 本計畫所採用 NB-IoT 模組及其規格

測試結果依據遠傳與中華兩家電信，以及神木國小與那瑪嘎班溪橋兩處地點整理出圖 4-3 至圖 4-6 四張圖表，其中垂直軸為資料傳輸間隔時間差，傳輸延時在兩家電信中都介於 2 分鐘內，遠傳電信在兩處皆無資料漏失量，反之中華電信在那瑪嘎班溪橋漏失兩筆，故由此結果研判遠傳之 NB-IoT 較適用於此區域，惟傳輸訊號較微弱，延遲時間長達 2 分鐘，如使用回傳頻率較高之監測設施，仍須考量此部分是否影響後端之分析與預警。

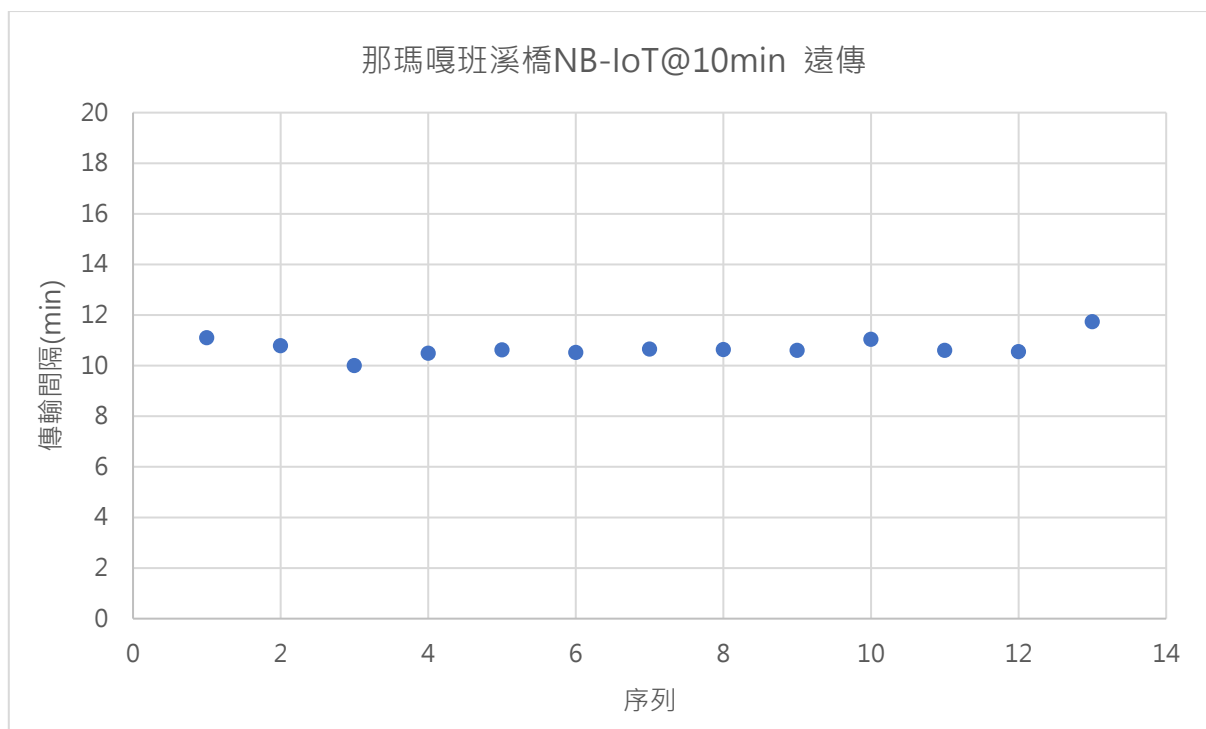


圖 4-3 遠傳電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖

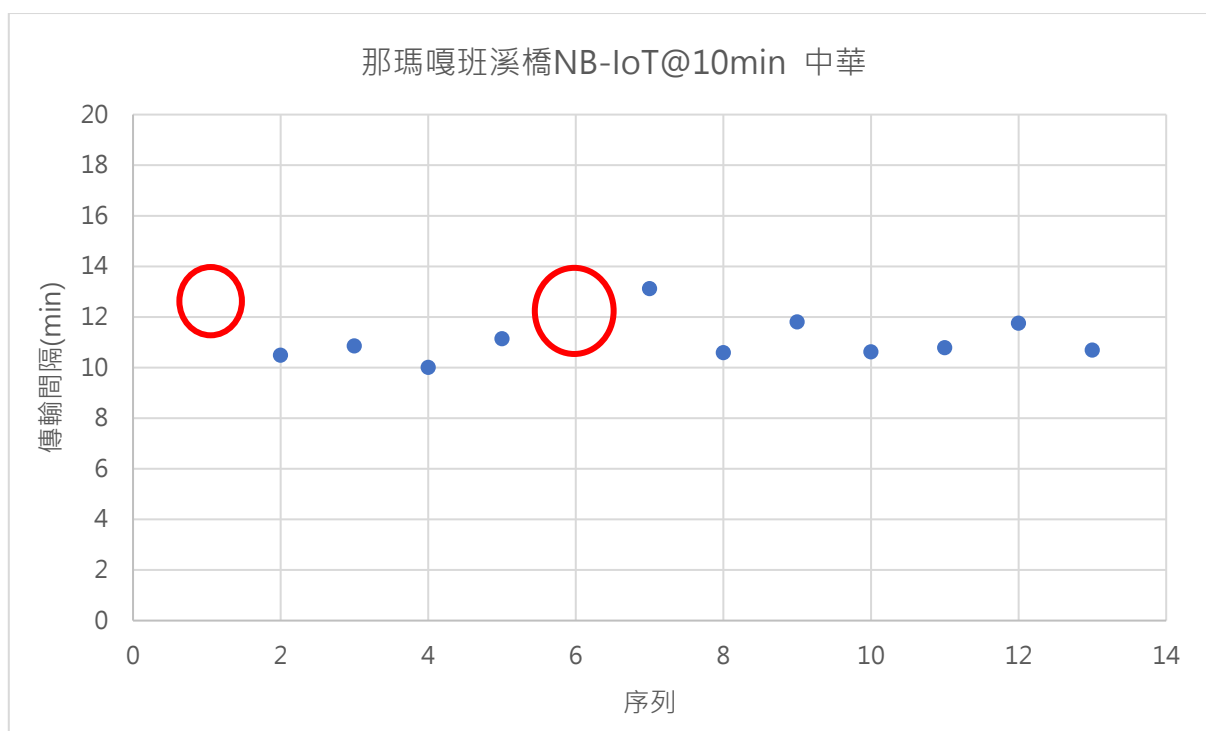


圖 4-4 中華電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖

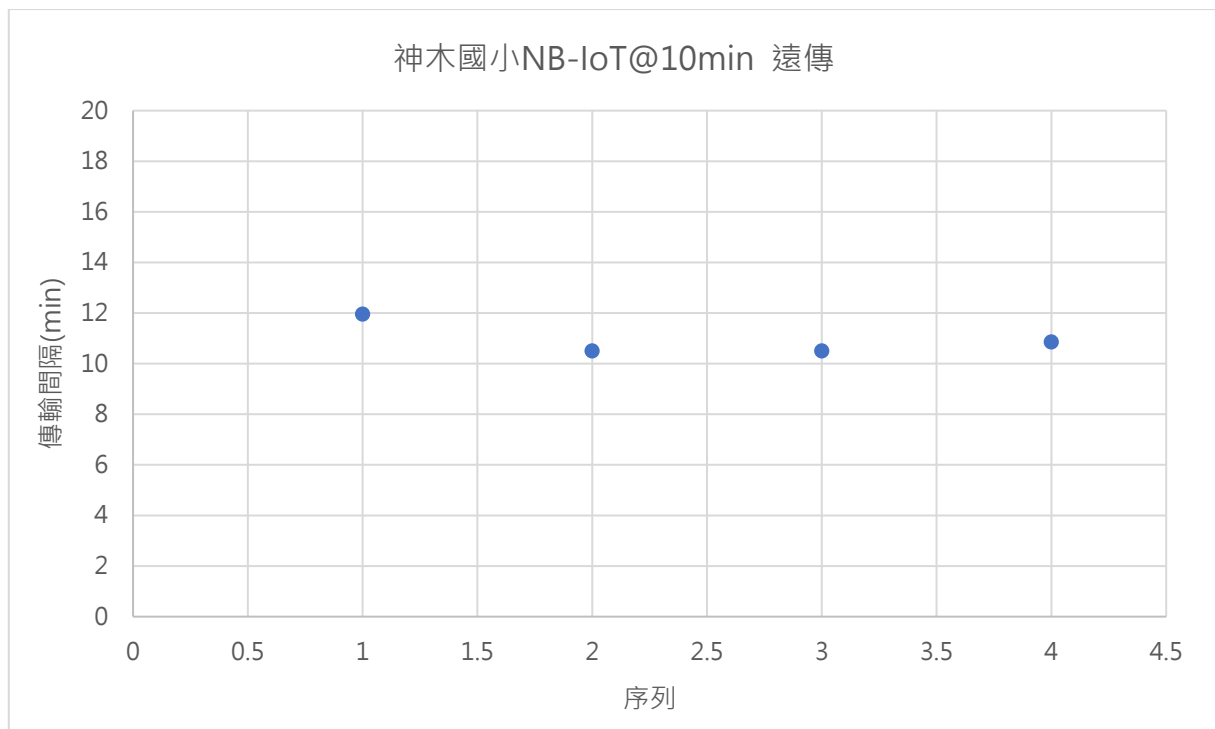


圖 4-5 遠傳電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖

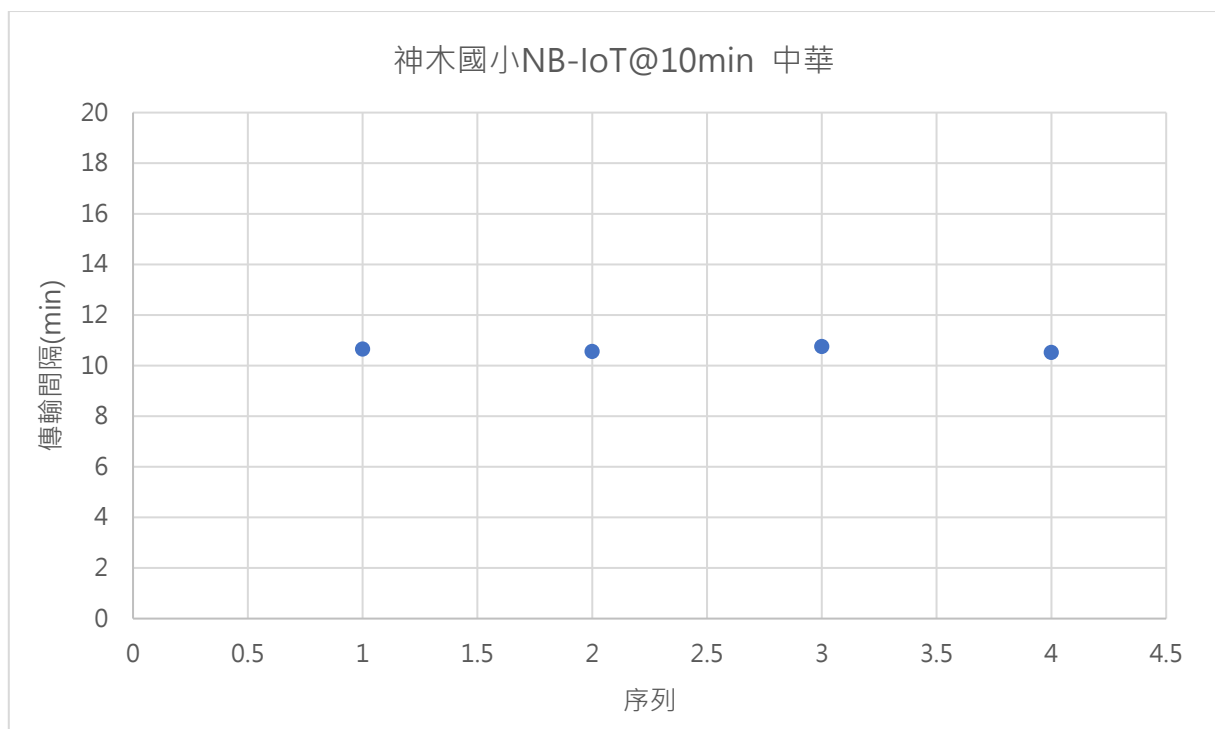


圖 4-6 中華電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖

第二節 NB-IoT 於祝山測試結果

本計畫也將中華電信與遠傳兩組 NB-IoT 放置於祝山進行測試(圖 4-7)，測試結果如圖 4-8 與圖 4-9，其中傳輸成功率兩者差異不大，皆落在約 82% 左右，而傳輸間隔也都在 5 分半，僅有部分到達 6 分鐘，整體而言差異並不明顯。



圖 4-7 NB-IoT 於祝山觀景台現場測試

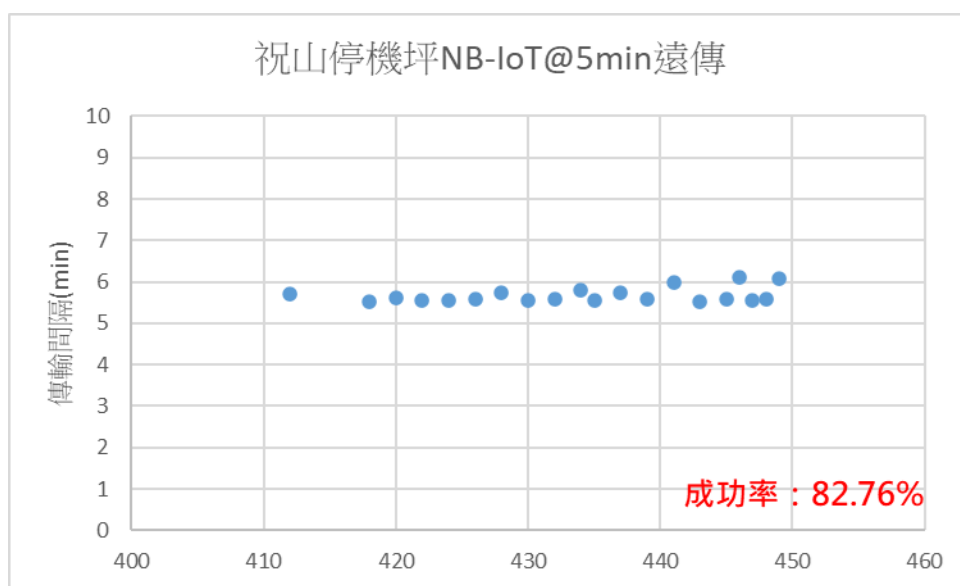


圖 4-8 遠傳電信 NB-IoT 於祝山停機坪傳輸時間間隔比對圖

現其呈現波浪狀之延遲規律，最長延時約在 6 分鐘左右，僅二至三筆有達到 6 分鐘多，另外值得一提的事，此區域之 NB-IoT 傳輸成功率中華電信明顯高於遠傳，中華電信為 93.52%，遠傳則僅 44.32%。

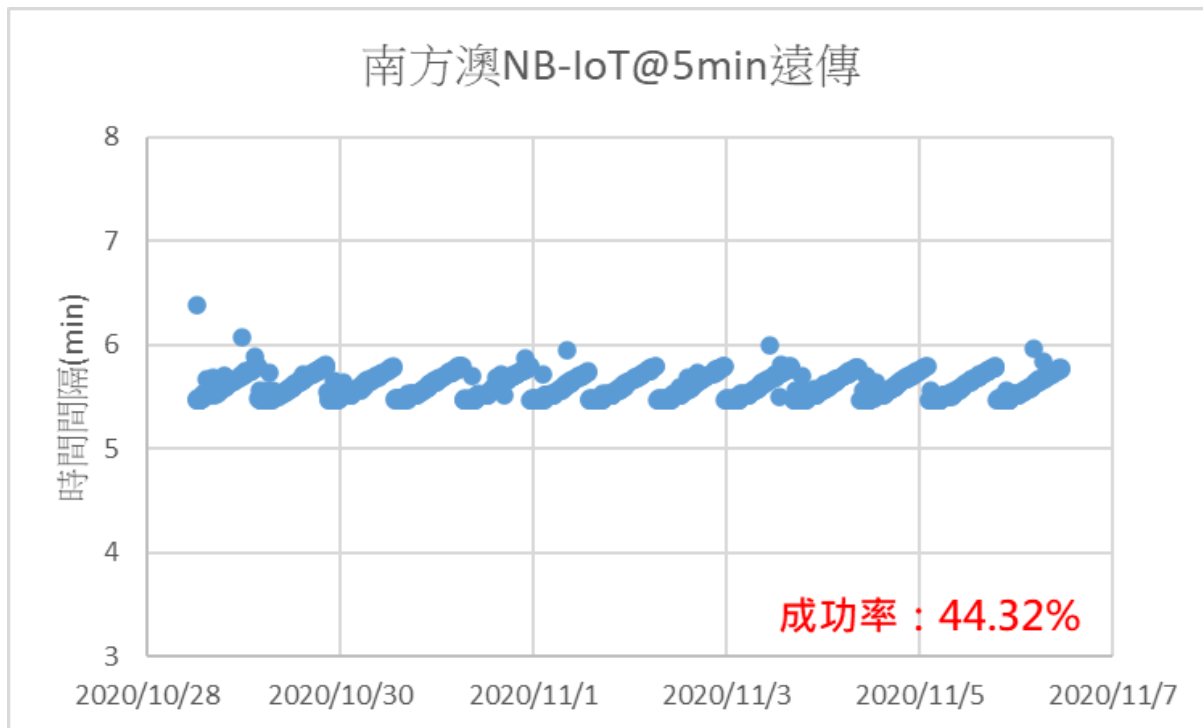


圖 4-11 遠傳電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖

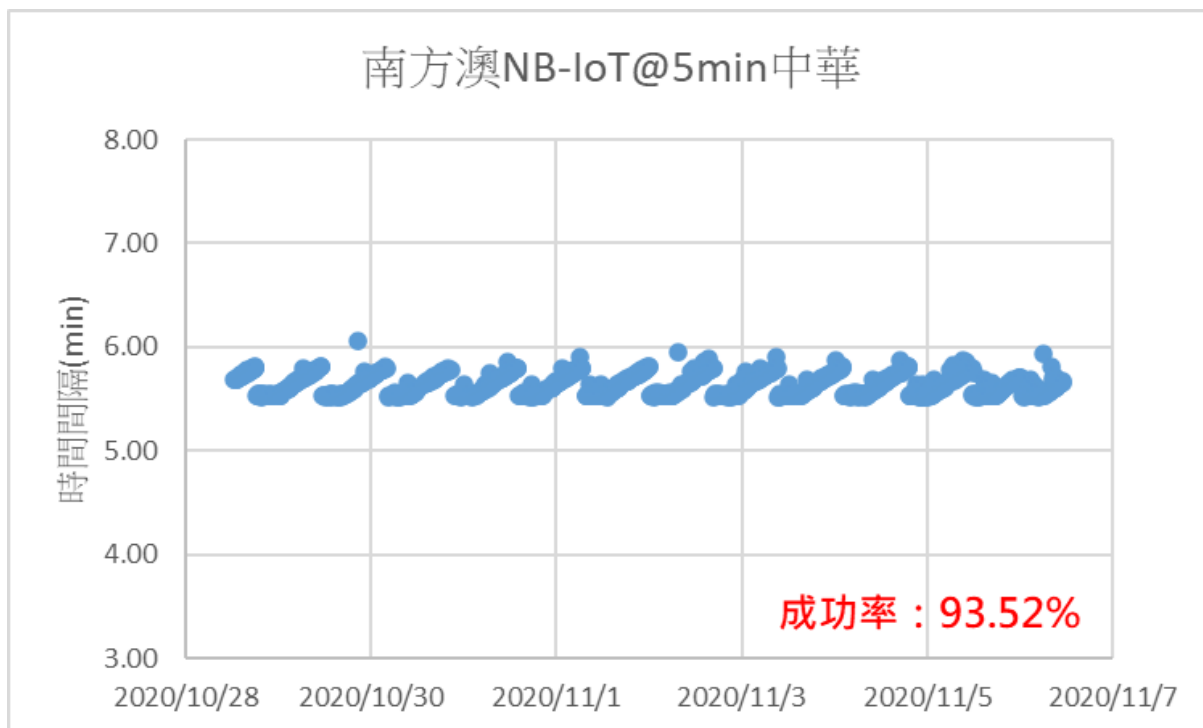


圖 4-12 中華電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、經本計畫室內試驗證明，LoRa 模組在植被之茂密程度越高處，其訊號強度 RSSI 越弱，未來如有需裝設於有植被影響處，且有一定距離下，需盡可能將天線高過植被，以減少植被對訊號的遮蔽所影響。
- 二、在多次 LoRa 現地裝設試驗中，天線的架設地點對傳輸影響甚鉅，相較於間隔距離，即使距離短，也可能因天線架設方式而造成訊號強度差。
- 三、LoRa 傳輸頻率部分，為補足接收站與發射站之間傳輸時差造成之漏失，至少須將接收頻率調整為發射頻率之兩倍，且在長距離傳輸中，適當依現場需求增加接收頻率的間隔時間，可有效提高傳輸成功率。
- 四、室內降雨對 LoRa 傳輸測試中，似乎因傳輸距離較短，無法明顯觀察出降雨對 RSSI 直接的影響，但經由長期現地測試後，可確定降雨期間將明顯降低訊號強度，而長距離傳輸時，甚至可能因此發生資料漏失，因此在設置規劃時，需評估設置地點 RSSI 是否過低，否則在降雨期間可能無法傳輸。
- 五、LoRa 長期設置試驗後，可確認本團隊之 LoRa 模組之耐候性已可應對長期監測之條件，太陽能電力供應也相當充足且穩定。
- 六、NB-IoT 部分，在目前所到之場址皆可進行此傳輸模式，為須考量與測試現場之物聯網電信何者有較佳成果，再進行設置。
- 七、NB-IoT 之傳輸延時須由現場電信訊號強弱決定，故如有傳輸時間限制的需求，建議先於現地實測後，再決定是否適合使用此模組進行傳輸。

第二節 建議

- 一、LoRa 在裝設於現場進行長期試驗期間，無較大雨場事件測試對傳輸的影響，是否因此導致無法傳輸的可能，建議未來可於汛期設置更長時之 LoRa 系統，供後續使用上參考。
- 二、LoRa 與 NB-IoT 傳輸模組中，目前僅使用單純傳輸測試，未來建議嘗試與現場監測設備進行連結，方可更確切了解其電力損耗在實際應用上是否可行。

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆
1	LoRa、NB-IOT技術已經提出4-5年了，目前在坡地監測遭遇的問題是？未能普及的原因是？	謝謝委員意見，目前本團隊所遭遇經驗為坡地位置通常距基地台較遠導致無法使用，以及電信業者未開通NB-IoT之通道供使用，故需經現場測試後才可使用。
2	本工作執行計畫書出現「預計2018年將完成…」(P4)，可見此文件已經2-3年未更新，建議補充國際上最新的應用。	謝謝委員提醒，已進行修正。
3	前期研究在四季聚落的通訊效果良好，資料漏失率小於5%，如果該技術要達商用標準，應該訂定怎樣的標準？	謝謝委員意見，將與局內人員商討適用標準，並於本報告期末階段提出建議。
4	本研究擬設置實測場地，模擬不同降雨情境，依據規劃要在戶外5ha場地設置降雨模擬，本案預算規模是否可以達到設置的需求？	謝謝委員意見，本計畫初步嘗試在有限預算規模下，調整實驗範圍，未來若蒙獲得後續補障，將再擴大規模，期能藉此記錄各種參數之影響。
5	續上，建議在真實降雨情境中，監測雨量，紀錄通訊效果，再進行分析即可。	謝謝委員建議，後續將改以遇到真實降雨情境並監測雨量、紀錄通訊效果，再進行分析。
6	建議本計畫的發展應該是朝向訂定LoRa或NB-IOT在坡地監測上通訊的標準，讓未來商用的發展可以有依據。	謝謝委員建議，未來將逐步朝向坡地實際應用方向進行發展。
7	本年度為計畫執行的第3年，前2年	謝謝委員意見，本次計畫以使用較

	已得知LoRa在資料傳輸上的問題所在，今年將以樹莓派取代之工業級電腦做為中繼使用，值得嘗試，但地形高低起伏的影響可預期將影響資料的傳輸成功率，本計畫擬利用明新科大的校地做為植被及天候影響之情境，然而圖3-7所示實驗場地相當平坦，有別於未來於山區之應用。因此，建議增加一個實驗場址，在不增加經費的條件下，對地形效應進行測試。	新且穩定之LoRa模組，也於山區進行初步實測，獲得長距離傳輸之驗證，或可免去開發中繼之需求以節省用電用地。未來將更進一步分析其長時間於坡地應用成果。
8	天線形式的選擇，如p44所述，前期計畫試用三種不同增益的天線均不理想，今年擬採(1)指向性天線(2)改變角度與相對位置來克服，建議於地形效應較惡劣的場域測試。	謝謝委員建議，本計畫已於部分土石流觀測站場域進行測試，未來將陸續選擇不同之場址進行實驗。
9	P45「長期現地試驗資料蒐集」一節中並未清楚說明(1)如何分析處理(2)分析的結果如何回饋到本年度的計畫目標上，應補充說明。	謝謝委員意見，請參閱P53圖4-5。
10	P45「NB-IoT通訊品質測試」一節，但於p11第四段中已明確述說其於坡地環境的最大缺點，為了讓坡地與土石流防災監測傳輸之願景早日達成，是否有必要再測試NB-IoT？請再評估。	謝謝委員建議，由於NB-IoT運作方式與LoRa不同，各具優勢，仍建議持續測試。
11	P-4提及長距離低功耗傳輸技術之發展，用詞描述請以本年度實際情形說明，如”NB-IoT…，2018年都要大舉投入商轉”；低功耗廣域網	謝謝委員意見，已修正。

	路2017下半年將陸續投入”； “Sigfox…，，預計2018年將完成 60個國家…等。	
12	P-31製作簡易雨量筒放置於模型 中，此雨量筒是否符合降雨標準量 測？	謝謝委員意見，將於現地再次試驗 後，於期末階段提出。
13	P-43天線位置影響試驗，將嘗試更 長距離傳輸穩定性測試，文中未提 出測試方法？	謝謝委員意見，本計畫預計選擇合 適場址進行測試，並以傳書成功率 以及RSSI等作為分析指標。
14	請補充計畫執行工作進度表。	謝謝委員提醒，已補充。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆
1	屏東霧台的測試中9dbi天線無法通訊，在前期研究中仍有使用，建議與前期比較，環境差異為何？為何導致完全無法使用？	感謝委員意見，經研究為天線中心頻率有偏差緣故，今年暫採同一天現進行實驗，不同增益比天線知表現祈能於未來持續深入研究。
2	圖3-1 (P29)、圖3-11 (P38) 圖中有表格曲線，請補充橫軸縱軸分別是？	感謝委員意見，已於期末報告書修正，補充橫軸縱軸定義。
3	P38、925Mhz、5dbi天線，是否誤植？（前述是915Mhz、5dbi）	感謝委員意見，已於期末報告書修正。
4	前期研究中，不同增益比中、愈高的增益比漏失率愈高，甚至霧台測試9dbi無法通訊為何？本年度改用35dbi天線？且在神木的測試中漏失率都偏高？	感謝委員意見，目前於計畫中使用之設備為35dbi天線，屬於全頻段天線，使漏失率提高原因研判為其中心頻率與LoRa稍有偏差，故導致無法傳輸。
5	NBIOT在神木的測試，在中華與遠傳條件原本就不同的情況下，結論遠傳之NB-IOT適用此區域，仍有待討論。另外，測試時間、樣本是否足夠，都需進一步比較。	感謝委員意見，本計畫於此項試驗目的為初步測試NB-IoT兩者於神木村是否有差異，其資料結果為遠傳略佳於中華。
6	下階段的降雨對傳輸的影響應該要先律定好降雨的不同等級，目前的規劃是比較粗糙的設計，是否能達超大豪雨的降雨條件？需要先行測試。	感謝委員意見，經本計畫測試結果，在目前可模擬人供降雨之範圍，對LoRa傳輸影響甚微，仍需由現地裝設測試，並記錄降雨事件進行分析。
7	LoRa現地耐候性試驗，目前無較大的雨場事件，若本年度均無適當雨場事件，是否有替代方案？	感謝委員意見，本計畫已於期末報告中，說明經由LoRa傳輸訊號強度分析降雨對其所造成之影響。
8	耐候性試驗只放置於現場14天，為何不是防汛期均放在現場做長期	感謝委員意見，因計畫初期僅先將設備做初步防護，故僅做14天測

	的耐候試驗？	試，但本計畫已執行分別於神木村與祝山進行長達20、30天之試驗。
9	P45表4-1工作執行進度表，期中報告前僅完成3個月之工作進度，如何在年底前完成年度計畫？	感謝委員意見，因研究所需不斷進行滾動調整，目前已完成大部分預定進度。
10	P57天線位置影響試驗未說明更長距離傳輸穩定性測試如何進行？如距離規劃、測試時間等，請補充。	感謝委員意見，已於期末報告書進行修正。

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆
1	在傳輸過程，影響成敗的因素最主要有那些問題？天氣？	感謝委員提問，在本計畫研究成果中顯示，降雨、植被與建物遮蔽、距離皆對其傳輸有明顯影響，其中遮蔽所造成的影響最甚。
2	傳輸除了距離有限制外，傳輸兩端的高度差是否有影響？	感謝委員意見，在本次計畫中，神木與祝山地區高度差達1200M以上、距離4000M以上，坡度達30%，過去似乎造成影響，本年度計畫成果顯示可克服，然而漏失部分仍須加強。
3	GateWay(中繼與儲存)是否可達成長時間自行供給電源，如太陽能板或燃料電池？	感謝委員意見，以目前成果而言如需利用太陽能板進行穩定供電，將需使用更大瓦數之太陽能板，也因此會受到設置地點限制。另外燃料電池取得不意且成本高，敬請同意提供團隊測試。
4	承上，目前是發送至電信基地台，那他發射通信頻率或是方式，能否用 UAV 無人機飛到通信範圍收取中繼資料(取代或併行)，應用布設於更為深山與其他試驗需求？(過去無人機業者嘗試過)	感謝委員建議，過去無人機業者嘗試過但似乎不甚容易，且成本甚高。未來如果天候與地形條件允許，敬請同意提供團隊無人機進行通訊中繼測試。
5	防災預警有其即時性，現場中繼發送的資料，除了上雲端，基地台之外，能否傳到現場其他裝置或中繼，如設置一個邊際運算裝置，接收現地監測資料，直接發簡易告警給當地專員或村里長，分享即時資訊，省去資料回傳後再做判釋。	感謝委員建議，本計畫旨在進行現地低功耗無線傳輸可行性測試，預警及警報部分建議由另案進行探討。

6	提供現地保全對象也能及時了解監測資料，而邊際運算裝置常時也能藉由網路更新，更新相關預警模式或參數，做汛期前整備調整等等。	感謝委員建議，本計畫旨在進行現地低功耗無線傳輸可行性測試，預警及警報部分建議由另案進行探討。
---	--	--