計畫編號：SWCB-108-224

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

Feasibility Study of Establishing LPWAN for Slopes and Debris Flow Monitoring System

執行單位：明新科技大學土木工程與環境資源管理系

執行期間：108 年 02 月 20 日至 108 年 12 月 31 日

計畫主持人：郭治平副教授

研究助理：吳晉維

研究人員：沈柏年、鄒尚辰、張凱翔、賴東樟、林恒益、蔡炳寬

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 108 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

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

摘要

坡坡地災害發生前、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。訊號無法有效傳出的原因可能為：電力中斷、基地台毀損、發訊器被淹沒等；而無法有效被接收的原因可能為地形障礙、其他電磁波訊號干擾、雨遮效應等。另一方面雖然目前廣用之4G通訊相對穩定，但受制於基地台之密集度，在訊號較差處縱使能通訊，卻須以更多功號維持通訊品質，其附加之電力與維護成本遂隨之提高。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。LoRa 與 NB-IOT 為長距離低功耗廣域網路中，較為成熟之技術之一且其耗電量目前為最低者。過去研究結果顯示，LoRa 在坡地無法通視狀態下可順利通訊，然而某些情況下漏失率會偏高。本 108 年度執行針對上述問題，進行一系列探討通訊品質與地形、天線功率、植被、天候之關係，並開發中繼站橋接通訊不良處，成功降低漏失率。另外 NB-IoT 一併進行評估，除遭遇基地台開台量與覆蓋率不足外，同樣有漏失問題。本年度主要成果為可利用中繼(P2P)方式克服地形與天候干擾，提高原本廣播(LoRaWAN)方式之接收成功率，然而如何讓中繼站同時以廣播(LoRaWAN)方式接收多處感測節點端(Node)之資料並同時具備中繼(P2P)方式橋接，尚在研發階段，預計於次年度完成並進行驗證。

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

Feasibility Study of Establishing LPWAN for Slopes and Debris Flow Monitoring System

ABSTRACT

Before, during, and after a slope field disaster, the monitoring system plays an important role and key lesson to effectively transmit the signal from field back to the server in real time on disaster prevention. Under some occasions that the signal cannot be effectively transmitted may be due to power interruption, damage to the base station, submerged by flood, and so on. It cannot be effectively received may be due to terrain obstacles, electromagnetic wave interference, rain cover effects, and so on. On the other hand, although the currently widely used 4G communication is relatively stable, it is limite by the denseness of the base station. The additional power and maintenance costs depend the mentioned. The Long range distance and low power wide area network, LPWAN, is a newly developed communication technology for used on getting bid data from monitoring. The technology is expected to ised for slope monitoring. Due to the limitations of wide area, power supply and base station installation restrictions, the function should be verified. LoRa and NB-IOT are the more mature technologies among LPWAN tecnologies, and their power consumption is the lowest. Previous research results show that LoRa can communicate successfully under terrain obstacles, but in some cases the leakage rate will be higher. Aiming at the above-mentioned issues, this year's implementation carried out a series of discussions on the relationship between communication quality and terrain, antenna power, vegetation cover, and

weather effect. Moreover, developing relay stations to make bridge between poor communication points was successfully reduce the leakage rate. In addition, the NB-IoT technology is also evaluated. Due to the lack of base station installation and coverage, NB-IoT technology can not be tested for every slope field. The technology also meets problems of leakage. This year's main achievement is that the relay (P2P) method can be used to overcome terrain and weather interference and improve the reception success rate of the original broadcast (LoRaWAN) method. However, how to make the relay station simultaneously receive multiple sensing node ends (LoRaWAN) and the relay (P2P) bridge is also and important key skill. It is still under research and development stage and is expected to be completed and verified in the next year.

Keywords: Slope disasters、monitoring systems、LPWAN、IOT、Big data

目次

摘要 I
目次 V
表次 VII
圖次 IIX
第一章　緒論 1-1
第一節　研究計畫之背景 1-1
第二節　通訊技術簡要回顧 1-6
第三節　107 年度計畫成果摘要與建議 1-19
第二章　研究方法與步驟 2-1
第一節　實驗儀器 2-1
第二節　通訊品質之定義評析 2-6
第三節　LORA 通訊橋接方式研發 2-14
第四節　LoRa 通訊方式實驗場址 2-22
第三章　試驗成果 3-1
第一節　NB-IoT 於室內測試 3-1
第二節　NB-IoT 於戶外測試 3-5
第三節　LoRaWAN 於現地測試 3-7
第四節　LoRa P2P 於現地測試 3-15
第五節　LoRa 搭配不同天線測試成果討論 3-35
第四章　結論與建議 4-1
第一節　結論 4-1
第二節　建議 4-2
參考文獻 5-1
附錄 附錄-1

一、期初會議記錄暨回覆辦理情形.....附錄-1
二、期中會議記錄暨回覆辦理情形.....附錄-3
三、期末會議記錄暨回覆辦理情形.....附錄-5

表次

表 1.2-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較.....1-9
表 2.1-1 SEMTECH SX1272/1273 晶片相關規格說明 2-3
表 2.2-2 RSSI 與 SNR 與發射接收品質關係 2-7
表 2.2-3 實驗成果案例(A).....2-10
表 2.2-4 實驗成果案例(B) 2-11
表 2.2-5 模擬實驗成果案例.....2-12
表 2.2-6 107 年度研究於四季聚落 LoRa 傳輸實驗訊號品質距離關係 2-27
表 3.3-1 霧台鄉某聚落 LoRaWAN 測試成果比較 3-14
表 3.4-1 以中繼站方式與直接傳輸方式之成果比較 3-21
表 3.4-2 第一組 LoRa 傳輸測試統計表.....3-25
表 3.4-3 第二組 LoRa 傳輸測試統計表.....3-27
表 3.4-4 第三組 LoRa 傳輸測試統計表.....3-29

圖次

圖 1.1- 2 可能遭受干擾之點位空間分布圖 1-4
圖 1.1- 3 現地實驗之地形狀況與訊號紀錄(T 為發送端；R 為接收端) 1-5
圖 1.2-1 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖 1-7
圖 1.2-2 長距離星型架構示意圖(圖片來源於：lora-alliance.org) 1-11
圖 1.2-3 LoRa 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖.....1-12
圖 1.2-4 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖.....1-14
圖 1.2-5 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖.....1-14
圖 1.2-3 不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖 1-18
圖 2.1-1 已模組化實驗設備.....2-1
圖 2.1-3 LoRa 接收器.....2-2
圖 2.1-4 LoRa 通訊設備電路板與天線資料 2-4
圖 2.1-5 本研究使用之 NB-IoT 模組.....2-5
圖 2.2-1 本研究計畫主要取得之參數圖表畫面示意圖 2-6
圖 2.2-2 模擬不同實驗資料漏失分布圖 13
圖 2.2-3 LoRa 中繼概念與現場實驗架構.....2-15
圖 2.2-4 網狀網路與星狀網路.....2-17
圖 2.2-5 LoRaWAN 的主要運行過程 2-18
圖 2.2-6 LoRa、LoRaWAN、LPWAN 之關係說明.....2-19
圖 2.2-7 屏東霧台鄉某潛在大規模崩塌場址空照套匯地形圖 2-22
圖 2.2-8 宜蘭縣大同鄉四季聚落測試位置分佈示意圖 2-23
圖 2.2-9 107 年度研究於宜蘭縣大同鄉四季聚落實驗之配置 2-25
圖 2.2-10 107 年度研究於宜蘭縣大同鄉四季聚落實驗之地形、現地照片與資料.....2-25
圖 2.2-11 107 年度研究於四季聚落實驗綜合成果圖 2-26
圖 2.2-12 預期取得最佳化之配置方式 2-28
圖 2.3-1 於神木村土石流觀測站建置 LPWAN 配置概念圖 2-30

圖 3.1-1 本研究採用之 NB-IoT 模組接線配置圖與實際照片 3-2
圖 3.1-2 NB-IoT 傳輸之控制與接收畫面 3-3
圖 3.1-3 傳輸頻率為 10 秒之 NB-IoT 於室內發送資料紀錄.....3-4
圖 3.1-4 傳輸頻率為 1 分鐘(10 秒)之 NB-IoT 於室內發送資料紀錄.....3-4
圖 3.1-5 傳輸頻率為 10 分鐘之 NB-IoT 於室內發送資料紀錄.....3-4
圖 3.2-1 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) 3-5
圖 3.2-2 NB-IoT 現地測試點 A 之記錄 3-6
圖 3.2-3 NB-IoT 現地測試點 B 之記錄 3-6
圖 3.3-1 霧台鄉某聚落進行測試點位相對位置與採用不同天線成果 3-7
圖 3.3-2 霧台鄉某聚落進行測試點位 BH-1 與 BH-3 剖面圖 3-8
圖 3.3-3 霧台鄉某聚落進行測試點位 BH-1 與 BH-5 剖面圖 3-8
圖 3.3-4 霧台鄉某聚落進行測試點位 BH-1 與 BH-6 剖面圖 3-8
圖 3.3-5 霧台鄉某聚落測試點位 BH-1 處 LoRa Gateway 與 4G 基地台照片3-9
圖 3.3-6 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線照片3-9
圖 3.3-7 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線照片3-10
圖 3.3-8 霧台鄉某聚落測試點位 BH-5 處 LoRa 發送端搭配 9dBi 天線照片3-10
圖 3.3-9 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線紀錄3-11
圖 3.3-10 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線紀錄 3-11
圖 3.3-11 霧台鄉某聚落測試點位 BH-5 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線紀錄 3-12
圖 3.3-12 霧台鄉某聚落測試點位 BH-5 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線紀錄

.....3-12
圖 3.3-13 霧台鄉某聚落測試點位 BH-6 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線紀錄
.....3-13
圖 3.3-14 霧台鄉某聚落測試點位 BH-6 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線紀錄
.....3-13
圖 3.4-1 宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa P2P 橋接實驗點位置圖.....3-15
圖 3.4-2 四季國小達雅樓之接收站(GateWay).....3-16
圖 3.4-3 SI-1 處之發射端.....3-17
圖 3.4-4 SI-2 之發射端.....3-17
圖 3.4-5 SI-4 之中繼站.....3-18
圖 3.4-6 SI-4 搭配 3dBi 天線 SI-1 處之傳輸結果.....3-18
圖 3.4-7 SI-4 搭配 5dBi 天線 SI-1 處之傳輸結果.....3-19
圖 3.4-8 SI-4 搭配 9dBi 天線 SI-1 處之傳輸結果.....3-19
圖 3.4-9 SI-4 搭配 3dBi 天線 SI-2 處之傳輸結果.....3-20
圖 3.4-10 SI-4 搭配 5dBi 天線 SI-2 處之傳輸結果.....3-20
圖 3.4-11 SI-4 搭配 9dBi 天線 SI-2 處之傳輸結果.....3-21
圖 3.4-12 宜蘭縣大同鄉英士部落區域位置圖 3-22
圖 3.4-13 LoRa 傳輸資料示意圖.....3-23
圖 3.4-14 宜蘭縣英士村第一組 LoRa 傳輸測試配置圖 3-24
圖 3.4-15 第一組現場裝設之中繼站(下)、接收站(上及右).....3-24
圖 3.4-17 第二組現場裝設之中繼站(左)、發射站(右).....3-26
圖 3.4-18 宜蘭縣英士村第三組 LoRa 測試配置圖 3-28
圖 3.4-19 第三組現場裝設之中繼站(左)、發射站(右).....3-28
圖 3.4-20 宜蘭縣英士村第四組 LoRa 測試配置圖 3-30
圖 3.4-21 第四組現場裝設之發射站(左)、中繼站(右).....3-30
圖 3.4-22 南投縣信義鄉神木村區域位置圖 3-32
圖 3.4-23 LoRa 於神木村之配置圖.....3-33
圖 3.4-24 神木村 LoRa 現場裝設情形.....3-33

圖 3.5-1 本研究採用三種不同天線之方向圖 3-36
圖 3.5-2 天線增益比計算示意圖 3-36
圖 3.5-3 不同增益比天線之傳訊範圍 3-37

第一章　緒論

第一節　研究計畫之背景

一、　邊坡監測面臨之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、每年頻繁之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 1.1-1** 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- 1 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖

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」成果顯示，在宜蘭縣大同鄉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 1.1-2、圖 1.1-3 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。部分無法即時上傳之資料仍需仰賴當地儲存於如記憶卡之媒體，並於事件後取出。

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%

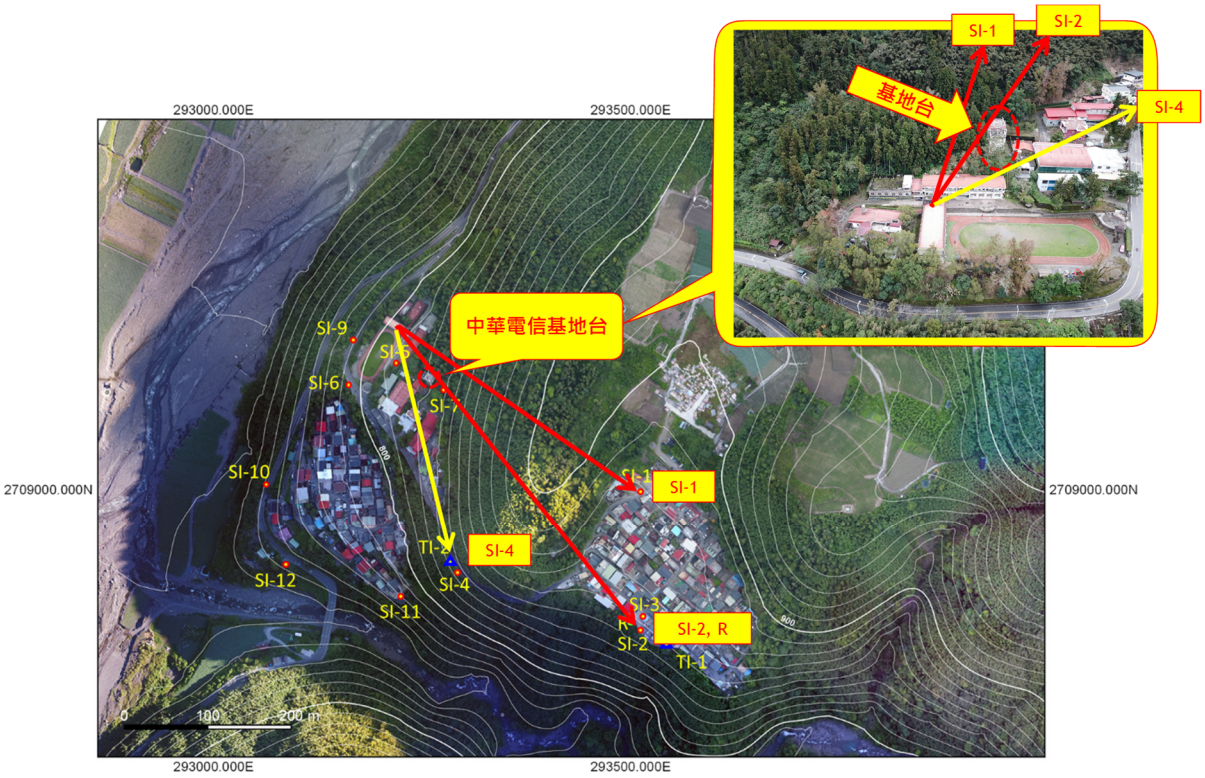
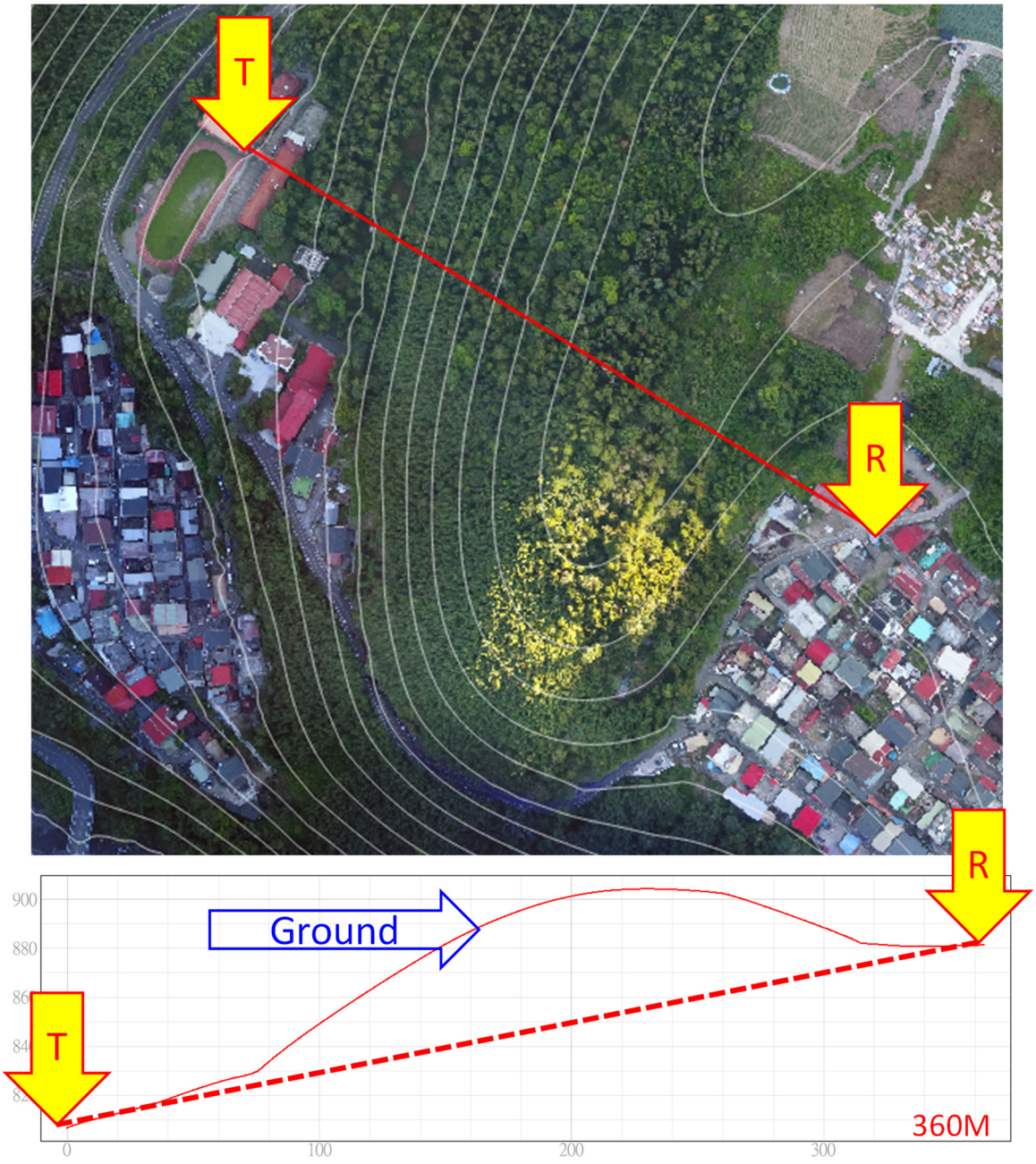


圖 1.1- 2 可能遭受干擾之點位空間分布圖





106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村上部落,位於SI1 (晴天)

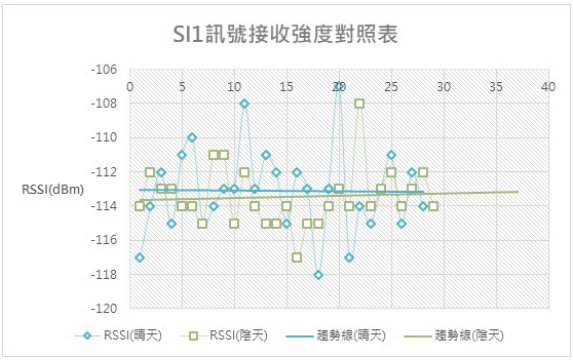


圖 1.1- 3　現地實驗之地形狀況與訊號紀錄(T 為發送端；R 為接收端)

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，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、服務等布局，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，預計 2018 年將完成 60 個國家的網路布建。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 1.2-1 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 1.2-1 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，須使用 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 1.2-1 所列)：

一、 LoRa 功耗比較低(NB-IoT 耗電量至少 10 倍以上)

二、 LoRa 網絡部屬可獨立建立(NB-IoT 必須依照營運商為主)

三、 LoRa 頻段可以自行選擇(NB-IoT 必須依照營運商為主)

四、 LoRa 模組成本比較低(NB-IoT 必須依照營運商為主)

表 1.2-1 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

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，以及很好的抗干擾性，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 1.2-2 所示。

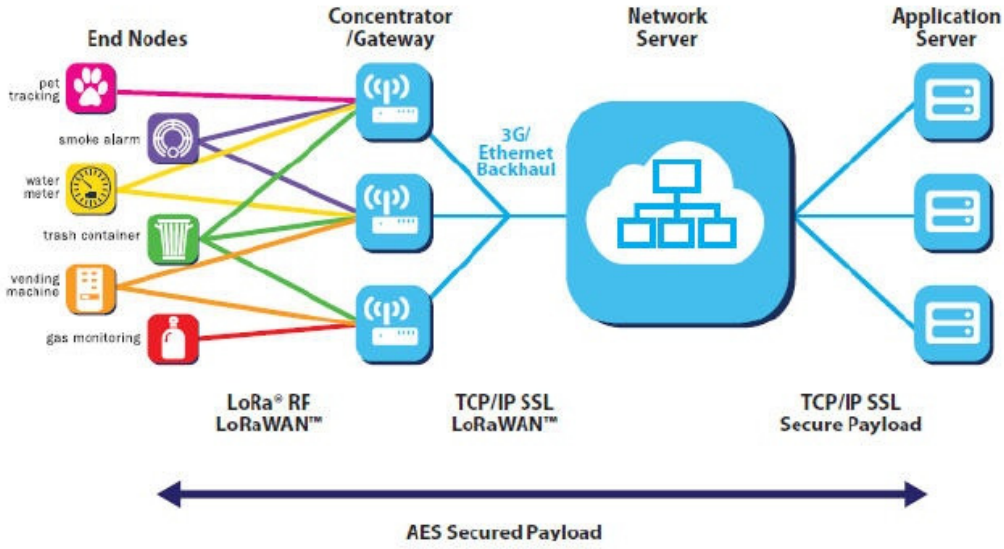


圖 1.2-2　長距離星型架構示意圖(圖片來源於：lora-alliance.org)

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**於坡地之最遠傳輸距離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**。

LoRa 執行以 M2M 實現 IoT 之概念如圖 1.2-3 所示。

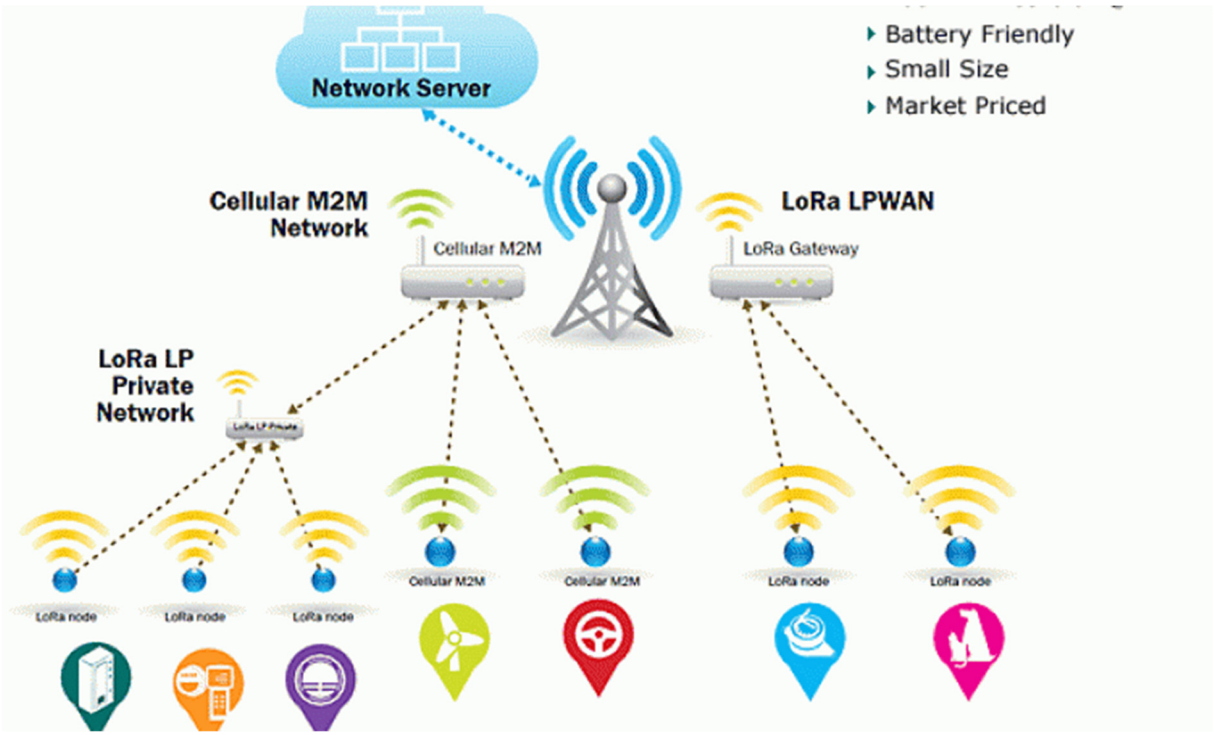


圖 1.2-3 LoRa 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖

(圖片來源：https://www.rcrwireless.com/20160704/carriers/operators-korea-netherlands-deploy-lora-networks-iot-tag23#prettyPhoto/0/)

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 1.2-4 與圖 1.2-5 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。

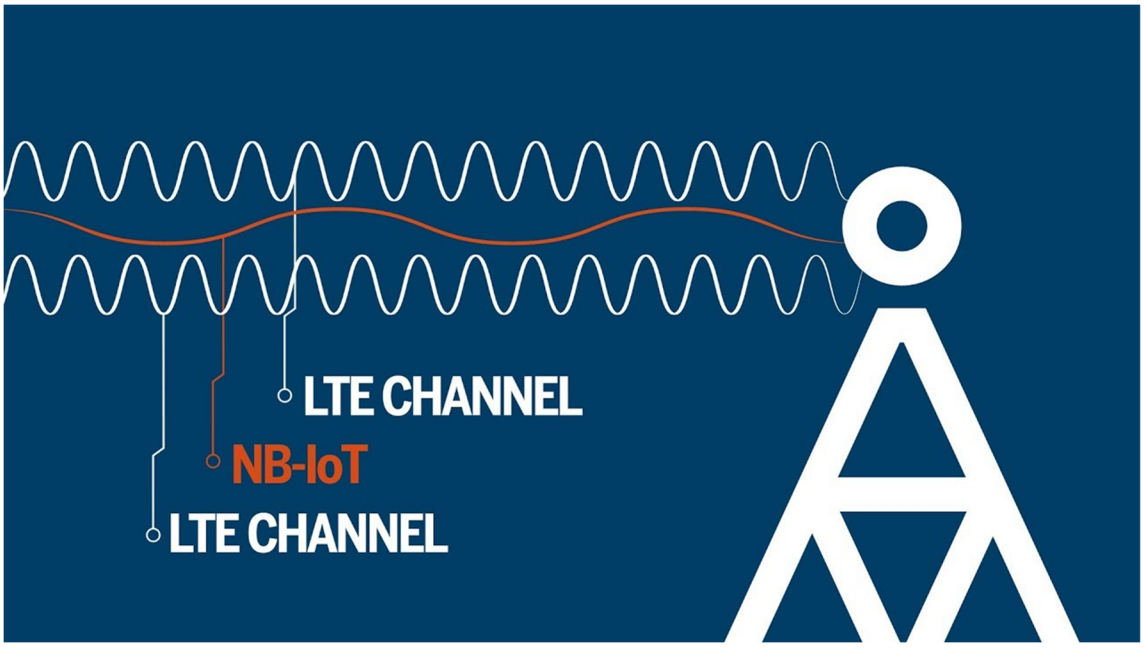


圖 1.2-4 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖

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

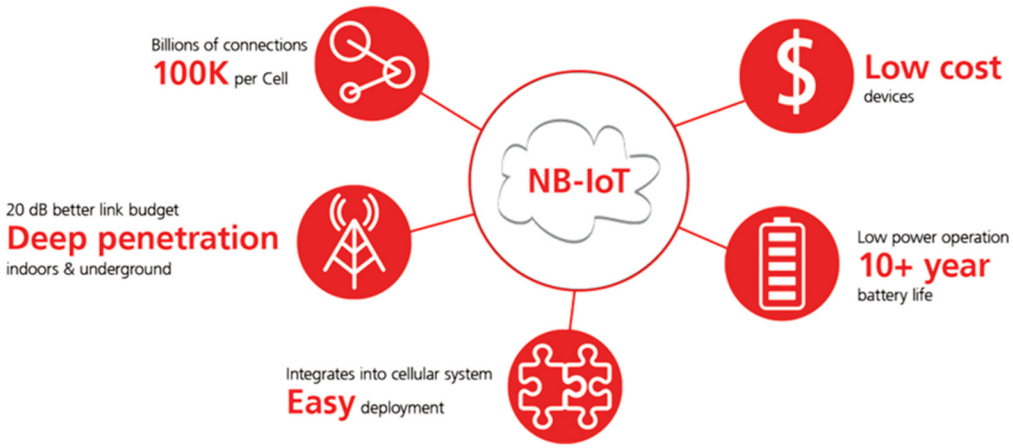


圖 1.2-5 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖

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

五、　LoRa 與 NB-IoT 比較

在低功耗廣域技術中，與 NB-IoT 齊頭並進的就是 LoRa，因此這兩項技術常常被拿來比較。LoRa 與 NB-IoT 其實各有利弊，並沒有明顯特徵表明誰優誰劣。從現階段來看，強調統一標準、超高可靠性的 NB-IoT 技術，與追求個性化布設、滿足場景化需求的 LoRa 技術，具有互補性。

1. 頻譜

LoRa 物聯網技術在非授權頻譜上工作。因此，由 LoRaWAN(LoRa 聯盟推動的低功耗廣域網協議)支持的應用程式成本較低。與 LoRa 的異步協議不同，NB-IoT 服務是同步的，並使用授權頻段。

2. 網絡

NB-IoT 與 LoRa 遠程覆蓋能力都不錯，NB-IoT 更優，其覆蓋範圍可延長至 18-21 公里，高於 LoRa 提供的 12-15 公里覆蓋範圍。不過，由於 LoRa 不依賴蜂窩數據或 WiFi，其覆蓋範圍在所有地區都保持相對穩定。

3. 耗電

耗電方面 LoRa 表現更好。由於 NB-IoT 在蜂窩授權頻譜上工作，設備必須定時進行網絡同步，相應會消耗電量。而基於 ALOHA 的 LoRa 架構中不需要這樣的網絡同步。在 LoRa 的異步頻段中，終端應用程式精確決定設備的「休眠」時間，因此電池電量可以輕鬆保存。NB-IoT 的線性發射器需要的「峰值電流」比採用非線性調製的 LoRa 多幾個數量級，對電池施加額外壓力。

4. 速率

在這方面，NB-IoT 較 LoRa 高出許多，其窄帶設置中的平均數據速率為 200Kbps，大約是 LoRa 工具運行的數據速率的 20 倍。NB-IoT 的較高數據速率使其成為需要更快速數據吞吐量應用程式的理想選擇。

5. 成本

LPWAN 協議無論多強大都需要考慮其低成本，否則它們不能是可行的

物聯網解決方案。LoRa 協議在這方面有優勢，約為 NB-IoT 等蜂窩 LTE 模塊價格的一半。NB-IoT 網絡的複雜性越高，授權頻段的費用就更高，也提高了 NB-IoT 的總成本。

6. 模式

從商業模式上來看，NB-IoT 屬於運營商建網，業務方不需要自己來考慮基站的部署，但網絡質量、安全都是不可控的風險，且企業自身的增值也會受到一定阻礙。LoRa，屬於企業自建網絡，基站需自己部署，後續需自己運維、優化等，覆蓋的點位、網絡質量及安全等維度都要自己負責。

(以上敘述修改自原文網址：https://kknews.cc/tech/2zxvz4y.html)

六、　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。

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 1.2-3　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。

第三節　107 年度計畫成果摘要與建議

1. LoRa 耗電量極低，僅約 0.005W，已於本階段進行壓力測試。以 5 秒 1 次的監測頻率，約 6.8 天從 3.34V 掉到 2.50V，因保護作用而關機。反推一般通訊頻率約 10 分鐘一次，則電力滿載後開始服務約可持續 816 天。
2. LoRa 在明新科大校園後山小規模崩塌地、南投縣信義鄉神木村土石流觀測站與宜蘭縣大同鄉四季聚落絕大部分點位可獲得穩定好通訊效果。
3. 本次研究實驗成果中，資料漏失率絕大多數於 5%以內，部分可達 20%者，研判為受環境干擾所致，研判因 LoRaWAN 資料傳輸至雲端之品質受制於與基地台間之通訊，部分無法即時上傳之資料仍需仰賴當地儲存於如記憶卡之媒體，並於事件後取出。
4. 續上，不同之排列方式與天線對於提升通訊品質之影響，將於後續研究進行長期實驗與探討。
5. 在通訊路徑上有 1M 厚之混凝土塊障礙物時，仍有良好通訊品質。
6. 本實驗採用之 LoRa 在空曠處至少可達 2.5KM 之通訊效果，在坡地仍需進一步驗證。

第二章　研究方法與步驟

第一節　實驗儀器

1. LoRa 部分

研究團隊利用已經將 ADC 電路板、天線與電源開發成模組化(圖 2.1-1)之 LoRa 發送器(圖 2.1-2)、接收器(圖 2.1-3)進行本年度之實驗。其中發送器可以直接連結感測器訊號線端子或以 RS-232 連接其他設備；接收器可以以 USB 連結電腦、透過 4G 傳送資料至後端伺服器、儲存資料在記憶卡。本次採用之儀器電力功耗為，待機 0.005W、發射瞬間約 0.15W。採用之晶片為 SEMTECH 出產，晶片之型號規格說明如表 1(擷取自 digikey 網站)、晶片與天線照片及說明如圖 2.1-4 所示。



圖 2.1-1　已模組化實驗設備



圖 2.1-2　LoRa 發送器



圖 2.1-3　LoRa 接收器

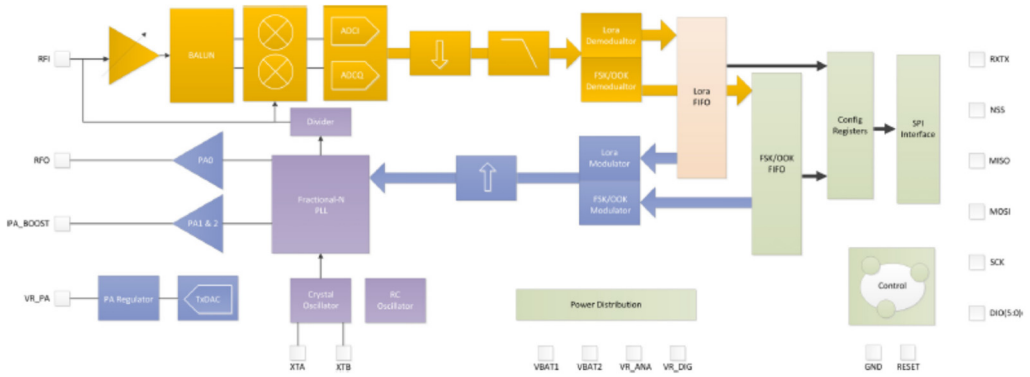
表 2.1-1 SEMTECH SX1272/1273 晶片相關規格說明

(http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1272.pdf)

SEMTECH　LoRa　SX1272/73

WIRELESS & SENSING PRODUCTS　DATASHEET

SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver



GENERAL DESCRIPTION

The SX1272/73 transceivers feature the LoRa™ long range modem that provides ultra-long range spread spectrum communication and high interference immunity whilst minimising current consumption.

Using Semtech's patented LoRa™ modulation technique SX1272/73 can achieve a sensitivity of over -137 dBm using a low cost crystal and bill of materials. The high sensitivity combined with the integrated +20 dBm power amplifier yields industry leading link budget making it optimal for any application requiring range or robustness. LoRa™ also provides significant advantages in both blocking and selectivity over conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between range, interference immunity and energy consumption.

These devices also support high performance (G)FSK modes for systems including WMBus, IEEE802.15.4g. The SX1272/73 deliver exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity and IIP3 for significantly lower current consumption than competing devices.

ORDERING INFORMATION

Part Number	Delivery	MOQ / Multiple
SX1272IMLTRT	T&R	3000 pieces
SX1273IMLTRT	T&R	3000 pieces

- QFN 28 Package - Operating Range from -40 to +85°C
- Pb-free, Halogen free, RoHS/WEEE compliant product

KEY PRODUCT FEATURES

- LoRa™ Modem
- 157 dB maximum link budget
- +20 dBm at 100 mW constant RF output vs. V supply
- +14 dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 300 kbps
- High sensitivity: down to -137 dBm
- Bullet-proof front end: IIP3 = -12.5 dBm
- 89 dB blocking immunity
- Low RX current of 10 mA, 100 nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61 Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ and OOK modulation
- Built-in bit synchronizer for clock recovery
- Preamble detection
- 127 dB 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

APPLICATIONS

- Automated Meter Reading
- Home and Building Automation
- Wireless Alarm and Security Systems
- Industrial Monitoring and Control
- Long range Irrigation Systems

Rev. 3.1 - March 2017
©2017 Semtech Corporation



			
用途	發送端天線	發送端天線	接收端天線
型號	-	AS-ST017003NF-T	RFA-WAVE-C55-U-B70-1
載波頻段	868MHz、915MHz	170MHz	865-928 MHz
輻射方向	全向	全向	全向
輸入阻抗	50Ω	50Ω	50Ω
增益	3~4 dBi	3 dBi	0.6~2 dBi
駐波比	≤1.5	≤2.0	≤3.0

圖 2.1-4　LoRa 通訊設備電路板與天線資料

2. NB-IoT 部分

預計採用 LTE Cat NB1 傳輸規格之收發器，頻帶為 Band 1/ Band 3/ Band 5/ Band 8/ Band 20/ Band 28，靈敏度為-116dBm，最大傳輸能量為 23 dBm(Class 3)，傳輸速率為上傳 26.15 kbit/s、下載為 62.5 kbit/s。儀器外觀如圖 2.1-5 所示。



圖 2.1-5 本研究使用之 NB-IoT 模組

第二節　通訊品質之定義評析

發送器與接收器之連結能力，以 RSSI(接收訊號強度指數)、SNR(訊號雜訊比)、資料漏失率關係進行評估，如圖 2.2-1 之紀錄韌體與軟體。

接收訊號強度指數(Received-signal-strength-indication，縮寫為 RSSI)是一個負的 dBm，表示 RF 信號的數值。信號越強，表示連線品質越好。因此，RSSI 越接近 0 越好。訊號雜訊比(Signal-to-noise ratio，縮寫為 SNR 或 S/N)是科學和工程中所用的一種度量，用於比較所需訊號的強度與背景雜訊的強度。其定義為訊號功率與雜訊功率的比率，以分貝(dB)為單位表示。大於比率 1:1(高於 0 分貝)表示訊號多於雜訊。SNR 是一個正的 dB，表示信號比雜訊強多少。雜訊太多就容易有重傳(collision)，有效傳輸就會降低；SNR 最好比 RSSI 高。LoRa 發射與接收品質，將由上述兩者評估，如下表 2.2-1 所示。

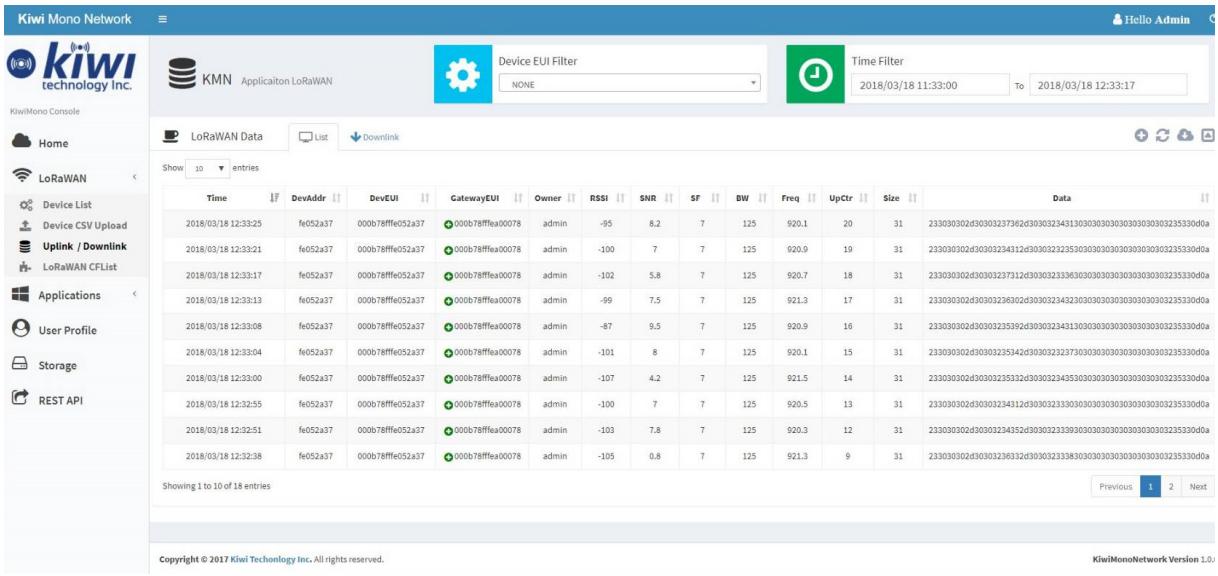


圖 2.2-1　本研究計畫主要取得之參數圖表畫面示意圖

表 2.2-2　RSSI 與 SNR 與發射接收品質關係

RSSI [dBm]	信號強度	
-50 ~ 0	強	
-100 ~ -50	中	
-100 ~ -140	弱	
< -140	極微(斷訊)	
SNR [dB]	雜訊	訊號品質
大	小	好
小	大	差

根據 107 年度計畫之實驗經驗，以及文獻中 Augustin et al.,於 2016 研究 LoRa 傳輸效果指出，SF=12 時，超過 80%資料可於 2,800M 外被成功接收。本研究採用 SF=7，頻寬較高，理論上成功率可能較低。一般評估漏失率方法有兩種，如下所述。

第一種為「遲到」，亦即：

漏失率=(數據間秒數超過預設傳輸時間的筆數)/(總筆數)

第二種為「未到」，亦即：

漏失率=(應該收到的筆數)/總筆數=(傳送時的時間(秒)/預設傳輸時間)

由宜蘭縣大同鄉四季聚落實驗成果(A)為例，如表 2.2-3 所示，本研究 LoRa 間傳送頻率為 5 秒 1 次，25 筆資料中，序列第 3、4、10、11、18、19 筆資料並未如期於 5 秒時送至雲端，資料間時間差為 6 秒，亦即遲到 1 秒。若以第一種算法，則漏失率為 12%；若以第二種算法，則漏失率為 0%。

由於本研究所有實驗 LoRa 傳送頻率皆設定為 5 秒 1 次，再傳輸到雲端紀錄資料，因此可能有網際網路傳輸之時間差。經實際實驗成果顯示，以第一種方式估算之漏失率約 20%，與文獻結果相當；以第二種方式估算之漏失率小於 10%。

然而若漏失情形過於集中，由宜蘭縣大同鄉四季聚落實驗成果(B)為例，如表 2.2-4 所示，本研究 LoRa 間傳送頻率依樣為 5 秒 1 次，28 筆資料中，序列第一組 11、12、13；第二組 22、23；第三組 27、28 筆資料不但未如期於 5 秒時送至雲端，且連續發生。除了 107 年度採用之評估方式，本研究將進一步分析資料漏失集中率，

以評估此種通訊方法是否適合。

以表 2.2-5 與圖 2.2-2 說明，(R1)為漏失率=0 之資料分布；(R2)為漏失集中率高之資料分布；(R3)為漏失集中率低之資料分布。由此可明顯看出資料(R3)比起(R2)能重現(R1)之趨勢。

本研究經取得上述分析後，將於次年進行降低資料漏失集中率與漏失率之現地因應方法。**未來在規劃利用 LoRa 或 NB-IoT 串接網際網路至雲端時亦將須特別注意訊號強度、雜訊比、資料漏失率與漏失集中率。**

表 2.2-3 實驗成果案例(A)

資料序號	日期	時間	時間差	RSSI	SNR
1	2018/9/6	02:01:04		-55	10.0
2	2018/9/6	02:00:59	00:00:05	-55	10.5
3	2018/9/6	02:00:54	00:00:05	-49	9.0
4	2018/9/6	02:00:48	00:00:06	-53	9.8
5	2018/9/6	02:00:43	00:00:05	-59	9.8
6	2018/9/6	02:00:38	00:00:05	-51	9.8
7	2018/9/6	02:00:33	00:00:05	-55	10.8
8	2018/9/6	02:00:28	00:00:05	-54	9.5
9	2018/9/6	02:00:23	00:00:05	-61	10.0
10	2018/9/6	02:00:18	00:00:05	-51	10.5
11	2018/9/6	02:00:12	00:00:06	-53	9.5
12	2018/9/6	02:00:07	00:00:05	-54	9.2
13	2018/9/6	02:00:02	00:00:05	-54	9.8
14	2018/9/6	01:59:57	00:00:05	-51	10.2
15	2018/9/6	01:59:52	00:00:05	-60	9.8
16	2018/9/6	01:59:47	00:00:05	-61	10.2
17	2018/9/6	01:59:42	00:00:05	-65	9.2
18	2018/9/6	01:59:37	00:00:05	-65	10.0
19	2018/9/6	01:59:31	00:00:06	-63	9.8
20	2018/9/6	01:59:26	00:00:05	-67	10.5
21	2018/9/6	01:59:21	00:00:05	-67	9.0
22	2018/9/6	01:59:16	00:00:05	-60	10.2
23	2018/9/6	01:59:11	00:00:05	-63	9.8
24	2018/9/6	01:59:06	00:00:05	-55	9.8
25	2018/9/6	01:59:01	00:00:05	-65	10.5

表 2.2-4 實驗成果案例(B)

資料序號	日期	時間	時間差	RSSI	SNR
1	2018/9/6	03:11:31	-	-117	-4
2	2018/9/6	03:11:21	00:00:10	-114	-3.8
3	2018/9/6	03:11:16	00:00:05	-112	1.8
4	2018/9/6	03:11:06	00:00:10	-115	-4
5	2018/9/6	03:11:01	00:00:05	-111	1.5
6	2018/9/6	03:10:55	00:00:06	-110	2.2
7	2018/9/6	03:10:50	00:00:05	-115	-1.2
8	2018/9/6	03:10:45	00:00:05	-114	-2.2
9	2018/9/6	03:10:40	00:00:05	-113	1.5
10	2018/9/6	03:10:35	00:00:05	-113	0.2
11	2018/9/6	03:10:25	00:00:10	-108	3.5
12	2018/9/6	03:10:19	00:00:06	-113	0.2
13	2018/9/6	03:10:09	00:00:10	-111	4
14	2018/9/6	03:10:04	00:00:05	-112	4
15	2018/9/6	03:09:59	00:00:05	-115	0.2
16	2018/9/6	03:09:54	00:00:05	-112	2
17	2018/9/6	03:09:49	00:00:05	-113	-1.8
18	2018/9/6	03:09:43	00:00:06	-118	-1.5
19	2018/9/6	03:09:38	00:00:05	-113	-0.2
20	2018/9/6	03:09:33	00:00:05	-107	3
21	2018/9/6	03:09:28	00:00:05	-117	-5.8
22	2018/9/6	03:09:18	00:00:10	-114	-1
23	2018/9/6	03:08:57	00:00:21	-115	-3.5
24	2018/9/6	03:08:52	00:00:05	-113	-0.2
25	2018/9/6	03:08:47	00:00:05	-111	3.8
26	2018/9/6	03:08:42	00:00:05	-115	-5
27	2018/9/6	03:08:32	00:00:10	-112	1.8
28	2018/9/6	03:08:16	00:00:16	-114	-0.5

表 2.2-5 模擬實驗成果案例

TIME	R1	R2	R3	TIME	R1	R2	R3
0	1	N/A	1	16	14	14	14
1	2	N/A	2	17	13	13	13
2	4	N/A	4	18	12	12	N/A
3	9	N/A	9	19	11	11	11
4	16	N/A	16	20	10	10	10
5	25	N/A	25	21	9	9	9
6	24	24	N/A	22	8	8	8
7	23	23	23	23	7	7	N/A
8	22	22	22	24	6	6	6
9	21	21	21	25	5	5	5
10	20	20	20	26	4	4	4
11	19	19	N/A	27	3	3	N/A
12	18	18	18	28	2	2	2
13	17	17	17	29	1	1	1
14	16	16	16	30	0	0	0
15	15	15	15				

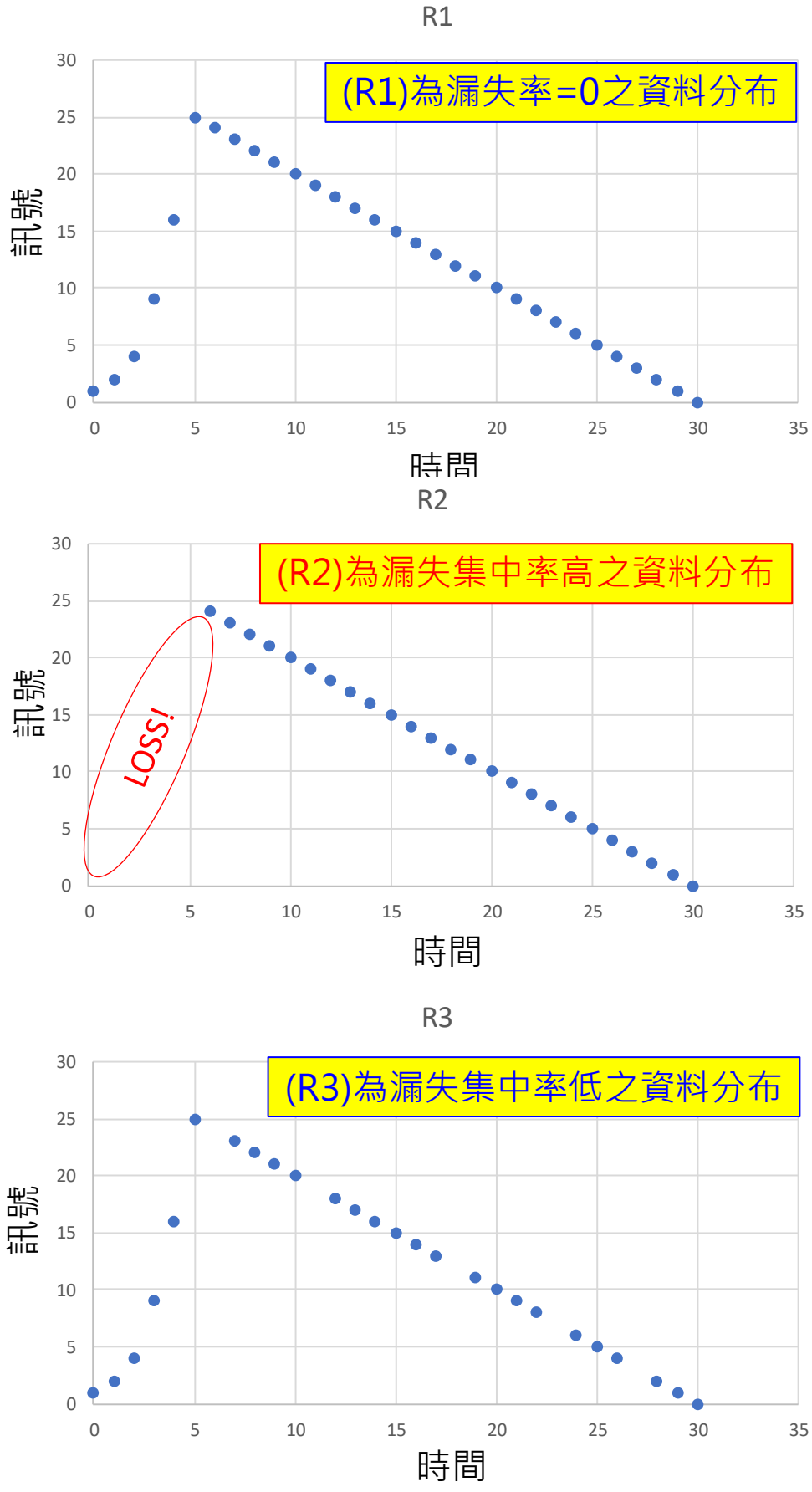


圖 2.2-2　模擬不同實驗資料漏失分布圖

第三節　LORA 通訊橋接方式研發

LoRa 是當今實現 IoT 的技術之一，採用擴頻技術的超遠傳輸方案，雖然 LoRa 可以節省通訊費用，也可以克服現地在沒有基地台狀況下要傳資料，並且低功耗長距離，但無線傳輸還是會因為地形地物而有所影響。根據 107 年度在宜蘭縣大同鄉四季聚落之研究經驗，某些通訊點位因受到地形或基地台等因素受到干擾導致漏失率增加，因此需透過中繼(或橋接)方式降低漏失率，如圖 2.4-6 所示。

此次中繼站概念就是要把原本可以透過 LoRa 直接傳輸之點位改採用中繼站方式來因應。

中繼站概念即在現場監測資料發送地點(A 點)傳送到接收站(B 點)間，找尋一處是對 AB 兩點都可收訊良好的地方，進行資料轉發動作；以技術成面來看就是單純將 A 點發射出來的資料訊號，在中繼站地方放置一台接收的 LoRa Gateway 器，當中繼站收到 A 點的資料後再透過中繼站內部程式轉送給中繼站的發射器往 B 點傳送；過程中為避免因為都是採用 LoRa 技術導致資料在中繼站的時候會不會因為邊接收邊發射導致訊號干擾碰撞問題，因此在中繼站的接收器和轉發的發射器 LoRa 頻段做調整，讓兩個發射器在不同的頻段上面，就可以避免此問題，也可以確保資料傳輸的完整性，。

團隊於研發初期，欲開發單機轉傳機制，亦即開發單一模組，可在接收訊號後，立即轉發給接收站。然而此以概念雖然看似容易，研發階段發現困難重重，不但成本相當高(已不符合低功耗之需求)，且國內外亦無相關文獻可循。

經不斷反覆嘗試，最後決定以雙機一收一發之轉傳機制，亦即單機負責收訊後，將資料交予另一機發送，此過程雖因轉交而需將多耗時間(以本案例，收 5 秒、轉交 3 秒、發 5 秒，共 13 秒)，但可大幅降低漏失率(提高成功率)，且耗電低，架構如圖 2.2-3 所示。

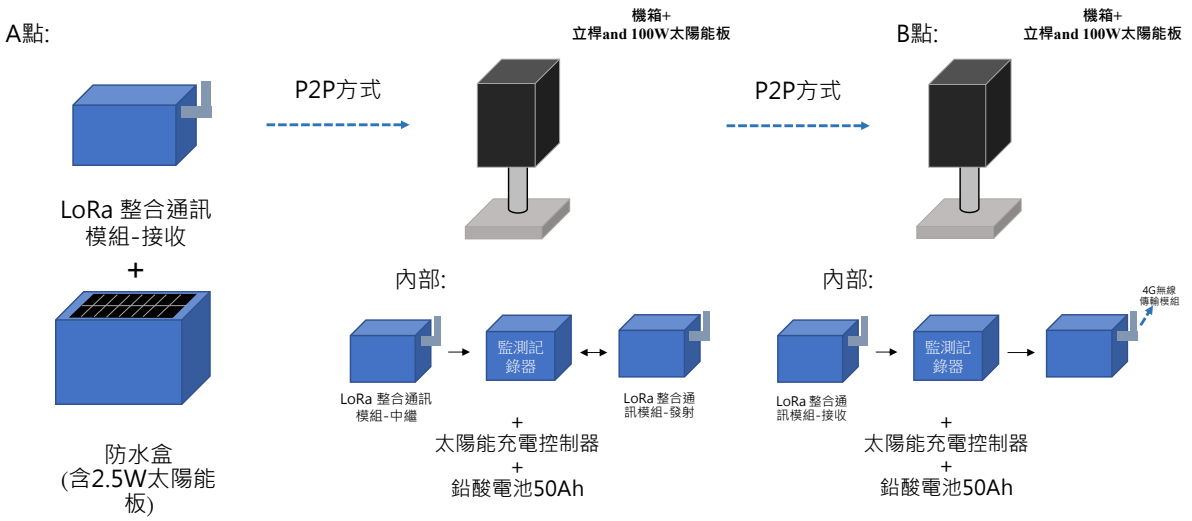


圖 2.2-3 LoRa 中繼概念與現場實驗架構

實際上，LoRa 傳輸方式可分為 LoRaWAN(廣域網路)與 P2P(點對點)方式，以下概述之。

總體而言，LoRa 僅包含鏈路層協議，並且非常適用於節點間的 P2P 通信；同時，LoRa 模塊也比 LoRaWAN 便宜一點；LoRaWAN 也包含網絡層，因此可以將資料發送到任何已連接到雲端的 4G 基站。只需將正確的天線連接到其插座，LoRaWAN 模塊就可以以不同的頻率工作。

雖然 LoRa 經常被誤用來描述整個 LPWAN 通信系統，但嚴格來說，LoRa 是 Semtech 擁有的專有調製格式。 SX1272 和 SX1276 LoRa 晶片使用稱為 chirp 擴頻(CSS)的調製技術來組成技術棧的物理層(PHY)。LoRa 有兩種不同的協議方式：LoRaWAN 和 Symphony Link。 Symphony Link 適用於需要高級功能的工業和企業用戶。LoRaWAN 適用於基於 LoRaWAN 的行動網路，在歐洲發展得比較快。低功耗廣域網(LPWAN)預計將會支持物聯網預測的數十億設備，在整個系統中，由很多個組件組成。物理(PHY)層在硬體層面定義了數據傳輸的電氣規格。數據鏈路層負責檢測 PHY 層的變化並建

立發送數據的協議。

LoRaWAN 是一個開放標準，它定義了基於 LoRa 晶片的 LPWAN 技術的通信協議。 LoRaWAN 在數據鏈路層定義媒體訪問控制(MAC)，由 LoRa 聯盟維護。 LoRa 和 LoRaWAN 之間的這種區別很重要，因為 Link Labs 等其他公司在 LoRa 晶片的頂部使用專有的 MAC 層來創建更好的混合設計 - 在 Link Labs 案例中稱為 Symphony Link。

正如上文提到的，LoRaWAN 是一種媒體訪問控制(MAC)層協議，專為具有單一運營商的大型公共網絡而設計。 它使用 Semtech 的 LoRa 調製方案構建，具體涉及到以下幾方面：

LoRaWAN 不適合專用網絡的解決方案，目前它的確更適合於公共廣域網絡。其根本原因在於在 LoRaWAN 中，所有頻道都調到相同的頻率，並且在單一區域最好只有一個網絡操作以避免碰撞問題。

由於網絡中的所有網關都綁定到同一台伺服器，因此確定哪個網關應對傳輸作出響應是伺服器的工作。在大型網絡中，任何給定的傳輸通常由多個接收器接收到，然後伺服器通知一個網關作出響應，其他網關忽略傳輸。該過程有助於避免下行鏈路和上行鏈路衝突，因為單個網關正在傳輸，而且重疊的網關可以簡單地偵聽其他傳輸。

另外，可以通過 LoRa 聯盟來為特定用途設置特定頻道。網絡運營商也可以從伺服器端限制其網絡中的下行鏈路數量，以確保低優先級端點不會因下行鏈路流量而「堵塞」網絡。

具體應用中面臨的另一個挑戰是 LoRaWAN 主要是數據鏈路(MAC)層(OSI 第 2 層)，只有網絡層的一些元素(OSI 第 3 層)。雖然這為應用程式提供了很大的靈活性，但它使應用程式開發人員有相

當數量的工作來提供完整的產品。這包括分組化，下行鏈路控制，多播等。

在最基本的層面上，像 LoRaWAN 這樣的無線協議相當簡單。LoRaWAN 是一種星型或星型對星型拓撲結構，因為在保持電池電量並增加通信範圍方面的優勢，所以普遍認為它比網狀網絡更好，如圖 2.2-4 所示。

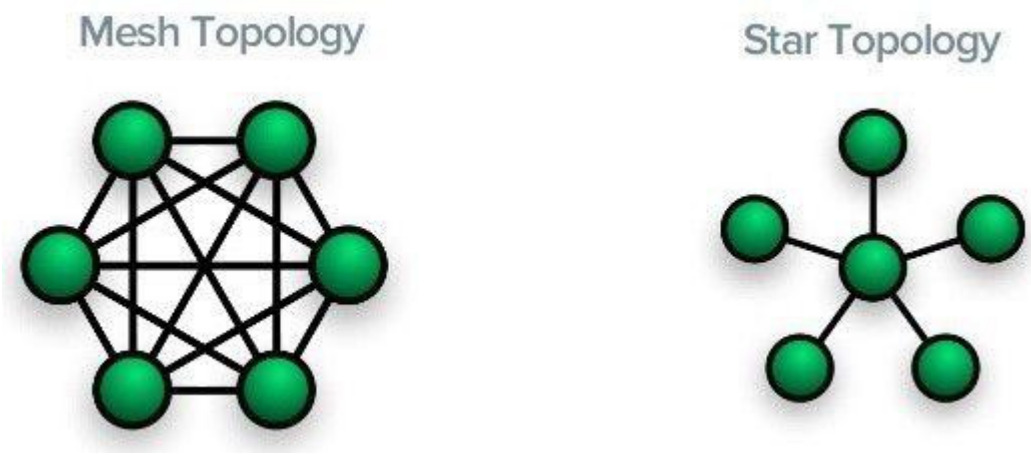


圖 2.2-4 網狀網路與星狀網路(https://kknews.cc/tech/pgok4ge.html)

具體而言，星型拓撲通過網關將消息中繼到中央伺服器，每個末端節點將數據傳輸到多個網關。然後網關將數據轉發到網絡伺服器，在網絡伺服器上執行冗餘檢測，安全檢查和消息調度。

這種設計的兩個明顯優勢在於：

1. 更簡單的跟蹤：由於終端節點向多個網關發送數據，因此不需要網關到網關的通信。 這簡化了終端節點移動跟蹤應用的邏輯。
2. 更好的公共網絡：這種不對成的關係讓中央伺服器來解決碰撞問題，所以 LoRaWAN 可能更適合部署在公共網絡。

圖 2.2-5 顯示了 LoRaWAN 的主要運行過程，頂欄顯示網關是否正在傳輸、底部顯示接收器通道(橙色表示正在傳輸；藍色不在傳

輸)，幾乎所有的LPWAN系統(包括LoRaWAN)都有多個接收通道，大多數 LoRaWAN 系統可以在任意數量的頻率通道上同時接收八條消息。

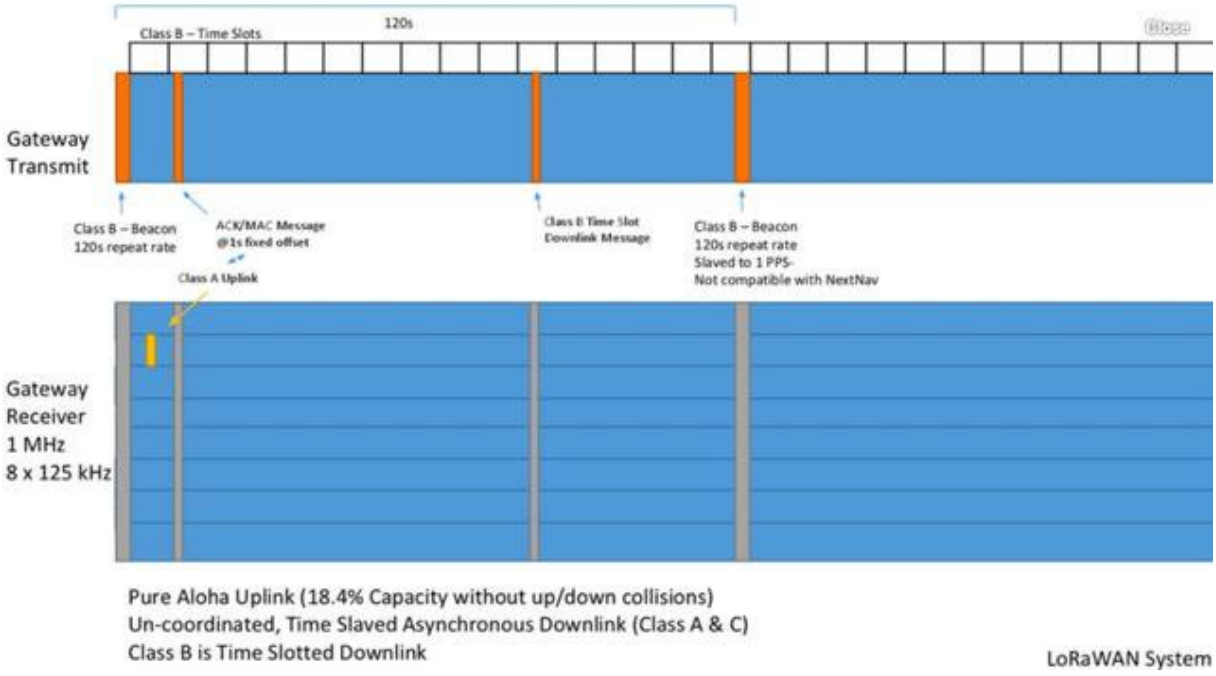


圖 2.2-5 LoRaWAN 的主要運行過程(https://kknews.cc/tech/pgok4ge.html)

綜上所述，面對類似於 LoRa 和 LoRaWAN 這樣容易混淆的名詞，下表總結了兩者之間最主要的幾點特性：

本質 LoRa 是 LoRaWAN 網絡物理層中使用的調製技術；基本上是 CSS(Chirp Spread Spectrum)調製，用於使用不同的擴頻因子提供不同的數據速率。LoRaWAN 由於其廣泛的覆蓋能力而被用作 WAN(廣域網)的無線網絡。應用在 LoRaWAN 系統中用作魯棒調製；有助於實現不同的數據速率。用作低功耗，低數據速率和長距離無線系統；在基於 IoT / M2M 的系統中很受歡迎。

所處位置在系統的物理層有特定的功能。它有四層： RF，物理層，MAC 和應用層。透過圖 2.2-6，用最簡單的公式可以說明如下：

- LoRa = PHY Layer
- LoRaWAN or Symphony Link = MAC Layer
- LoRa + LoRaWAN = LPWAN

(以上敘述改自原文網址：https://kknews.cc/tech/pgok4ge.html)

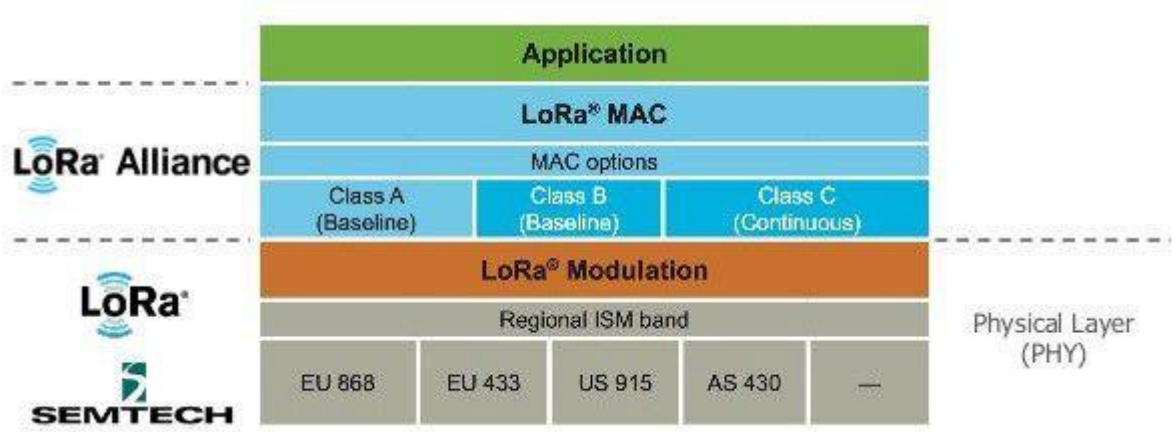


圖 2.2-6 LoRa、LoRaWAN、LPWAN 之關係說明
(https://kknews.cc/tech/pgok4ge.html)

為取得 RSSI、SNR 等資料，必須透過 LoRaWAN 方式連結，然而此方式無法實現中繼站(橋接)之目的，**因為發射端(A 點)訊號與中繼站訊號會使接收端(B 點)同時接收可能同時獲有時差的相同訊號！**

因此**為實現中繼站(橋接)之目的，本年度中繼站(橋接)之之開發暫時以 P2P 方式連接，以確認資料傳遞不產生衝突。然而如此一來，RSSI、SNR 等資料將因受制於傳輸方法而無法取得。**

本團隊為獲取加入中繼站之 LoRa 傳輸過程中之漏失率，以及將蒐集的資料以 4G 網路的方式上傳至雲端，將中繼站及接收站加入小型工業電腦進行控制。以中繼站而言，電腦為接收信號後，經電腦中程式處理儲存在設備中，另一方面將訊號利用發射端進行發送；接收站之電腦則為接收資料並儲存，再將結果經由 4G 網路更

新至雲端。



圖　LoRa 接收站(左)，以及 4G 模組(右)



圖 LoRa 中繼站

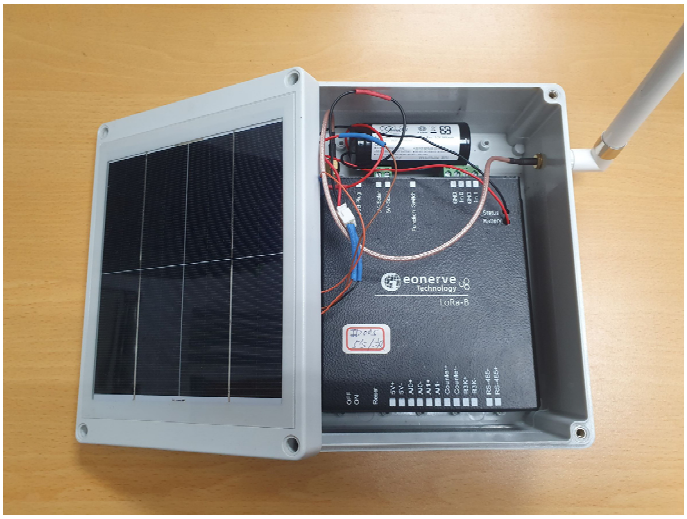


圖 LoRa 發射站

經 108.08.01 於宜蘭縣大同鄉之現地實驗確認本團隊開發之中繼站橋接方式不但可行，且大量降低原本具高漏失率之點位傳輸資料漏失率，後續也在宜蘭英士以及神木進行實測，結果將於第三章敘述。

第四節　LoRa 通訊方式實驗場址

一、　屏東縣霧台鄉場址實驗

屏東霧台鄉某潛在大規模崩塌場址，目前已經進行透過傳統 4G 連網之坡地相關監測作業，現地 4G 通訊息供業者為遠傳電信，但未提供 NB-IoT 服務，因此僅能以 LoRa 進行。由於現場已安裝之監測儀器透過 4G 連網之效果因不明原因不太穩定，且某些監測點電源供應較不易，考量導入 LPWAN 技術，因此團隊於 2019.07.16 至現場進行 LoRa 相關測試，場址地形如圖 2.2-7 所示。

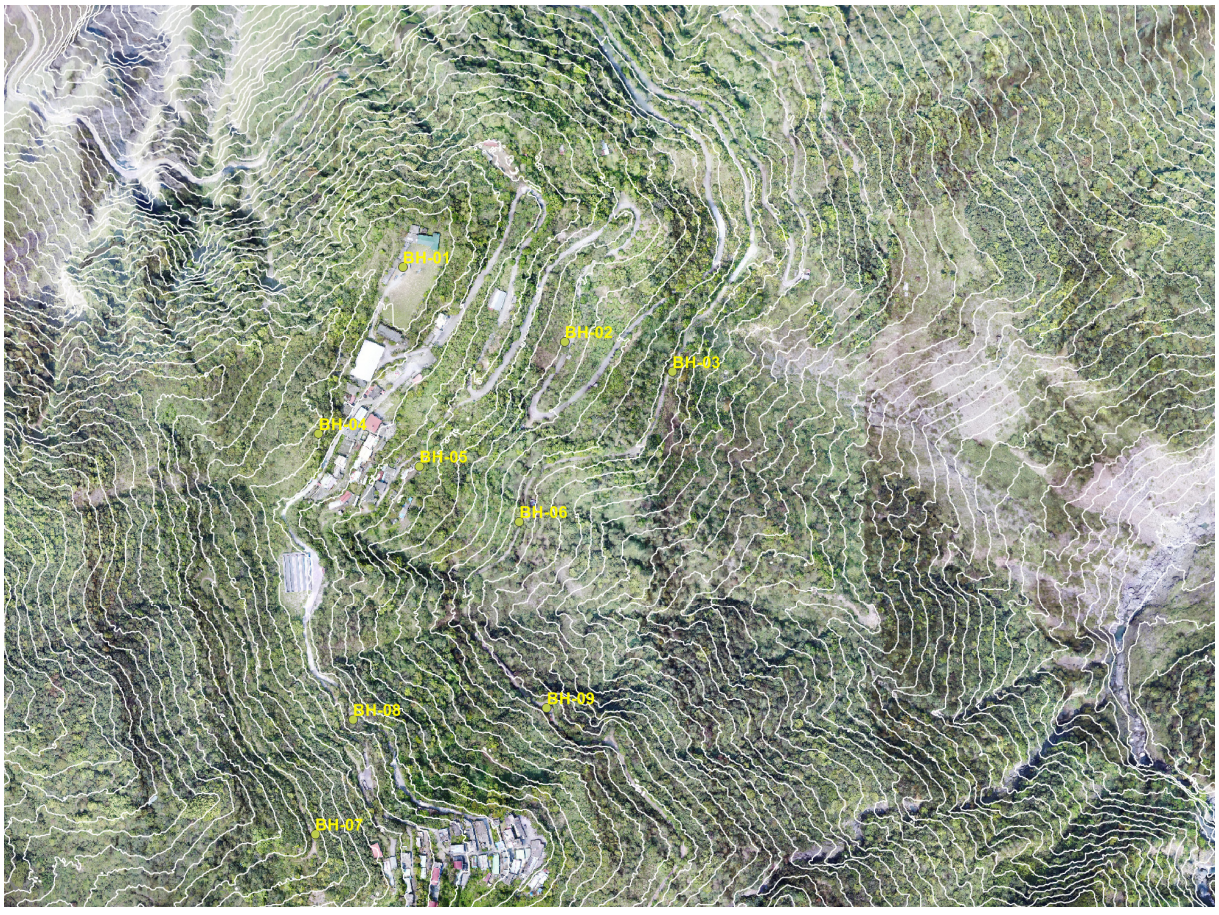


圖 2.2-7 屏東霧台鄉某潛在大規模崩塌場址空照套匯地形圖

二、　宜蘭縣大同鄉四季村坡地監測場址實驗

宜蘭縣大同鄉四季聚落，經 99 年度梅姬颱風來襲後，歷次颱風皆造成四季聚落受創甚巨，皆顯示四季部落邊坡滑動潛勢危機。研究團隊執行宜蘭縣政府委託調查與監測，目前共 11 處人工監測傾斜管孔位與鄰近 11 處半自計式水壓計孔位、兩處人工量測傾度盤、1 處自動化雨量監測站，如圖 2.2-8 所示。現地 4G 通訊息供業者為中華電信。

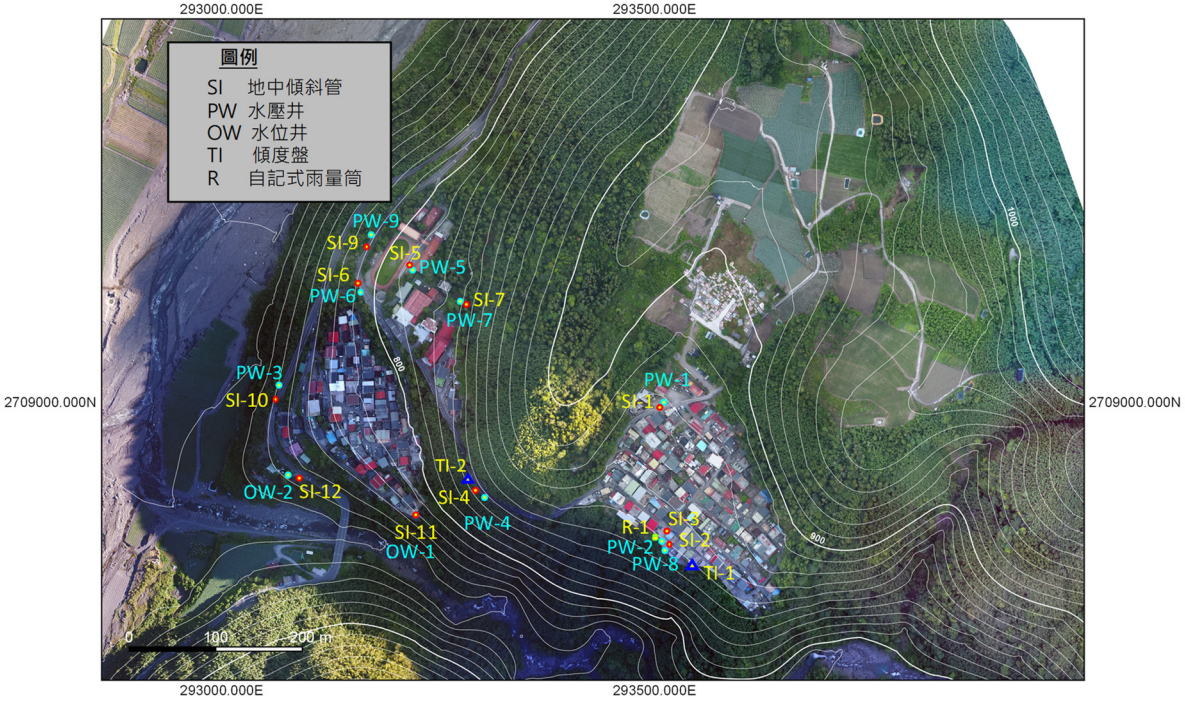


圖 2.2-8 宜蘭縣大同鄉四季聚落測試位置分佈示意圖

本研究亦於 107 年 9 月 6 日、10 月 10 日至現場進行以 LoRa 通訊能力之測試，紀錄與成果如下：

為了測試 LoRa 是否可於須進行自動化監測之潛在滑動坡地聚落進行遠距離傳輸，於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行實驗。現場配置照片如圖 2.2-9 所示、部分實驗記錄照片如圖 2.2-10 所示、成果如圖 2.2-11 所示。

- 時間：107.09.06
- 地點：宜蘭縣大同鄉四季聚落
- 天氣：初時為多雲炎熱的天氣，午後有雷陣雨，濕度 71%，溫度大

約 31℃。

各測試點位置狀況與最差情況下之成果：

點位	施測距離 (m)	通視性	RSSI (dBm)	實收資料數	漏失率 (%)
SI-1	360	不可	-113±5	28	28.21
SI-2、R	440	不可	-110±10	30	14.49
SI-3	440	不可	-114±3	29	12.12
SI-4、TI-2	290	不可	-114±10	29	0
SI-5	30	可	-55±5	22	0
SI-6	90	不可	-70±10	25	0
SI-7	90	不可	-80±10	20	4.76
SI-9	50	不可	-95±5	21	0
SI-10	240	不可	-105±5	20	0
SI-11	310	不可	-104±10	31	3.12
SI-12	310	不可	-101±5	20	0
TI-1	550	不可	-112±10	11	0

可以看出於大部分孔位 SNR 與 RSSI 相當穩定，漏失率在不同天候下，陰天最低為 3.8%左右、晴天為 3.3%左右、雨天為 0%，然而雨天樣本過低，建議未來仍需進行。本處之監測器傳輸為採用傳統 4G 之方式，本年度將以 LoRa 搭配 NB-IoT 傳輸方式為備案進行。

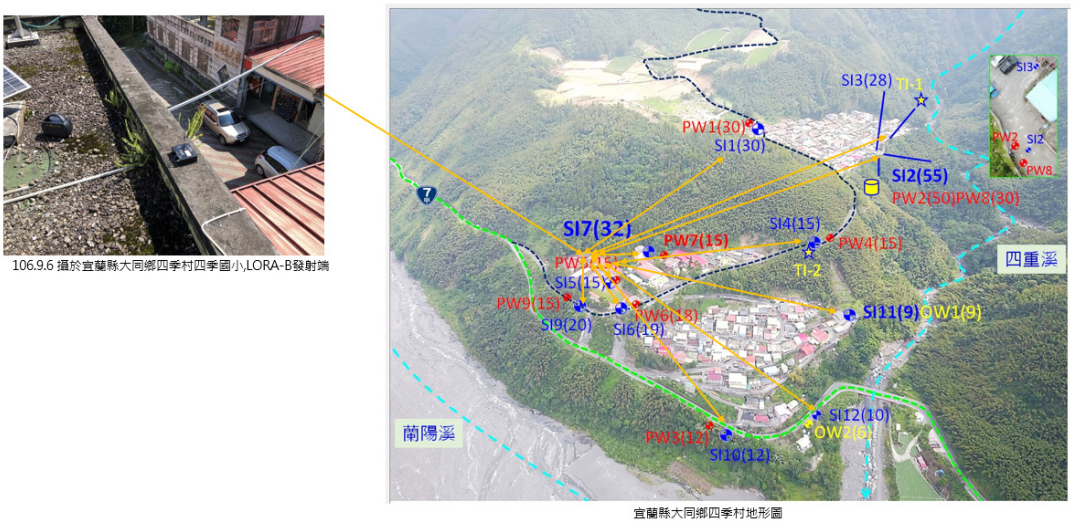
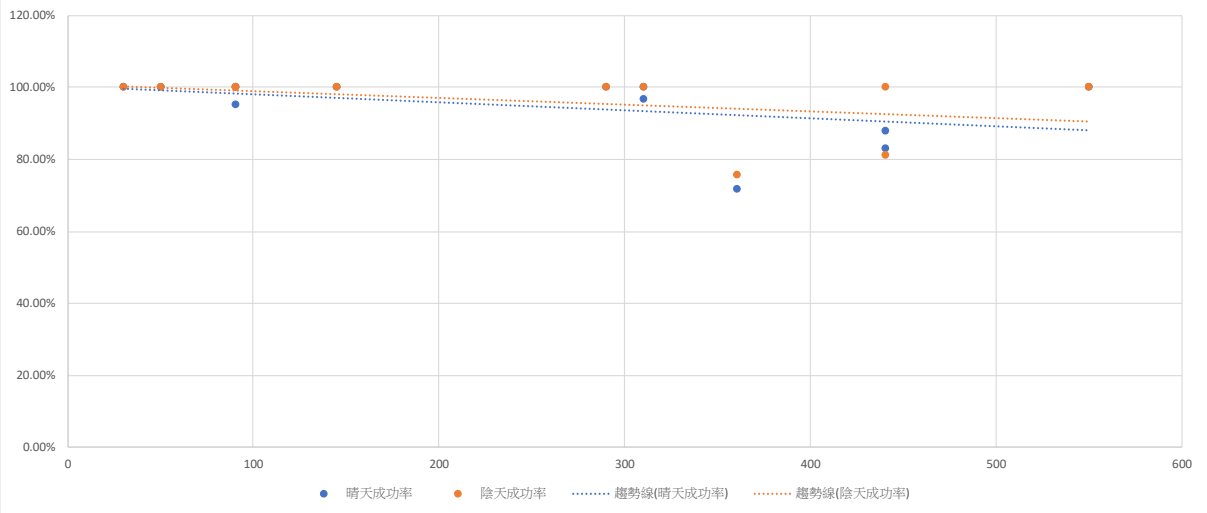


圖 2.2-9　107 年度研究於宜蘭縣大同鄉四季聚落實驗之配置



圖 2.2-10　107 年度研究於宜蘭縣大同鄉四季聚落實驗之地形、現地照片與資料

孔號(位置)	與LORA-B直線距離(m)	晴天成功率	陰天成功率
SI1	360	71.79%	75.68%
SI2、R	440	83.15%	100.00%
SI3	440	87.88%	81.09%
SI4	290	100.00%	100.00%
SI5	30	100.00%	100.00%
SI6	90	100.00%	100.00%
SI7	90	95.24%	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%
平均		94.13%	95.66%



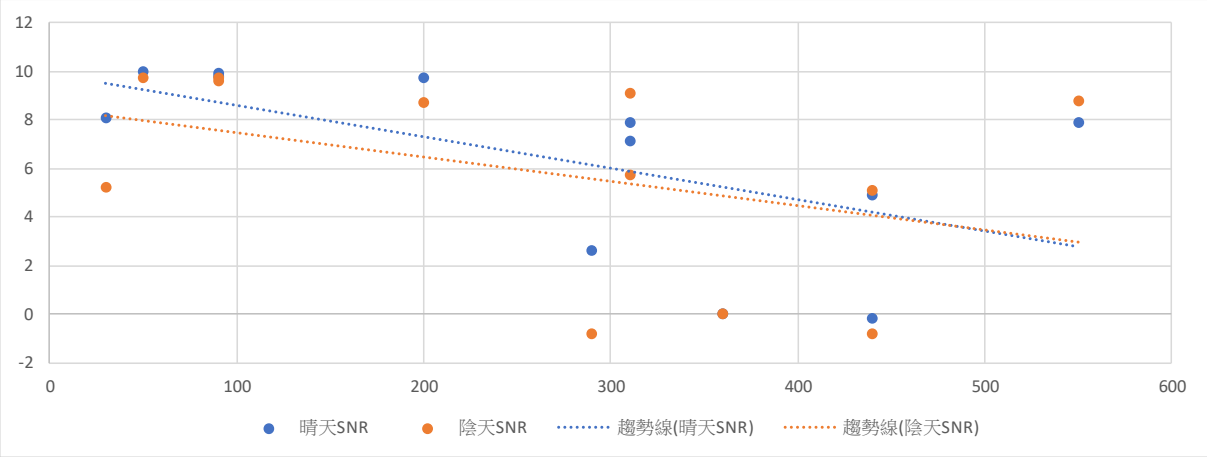
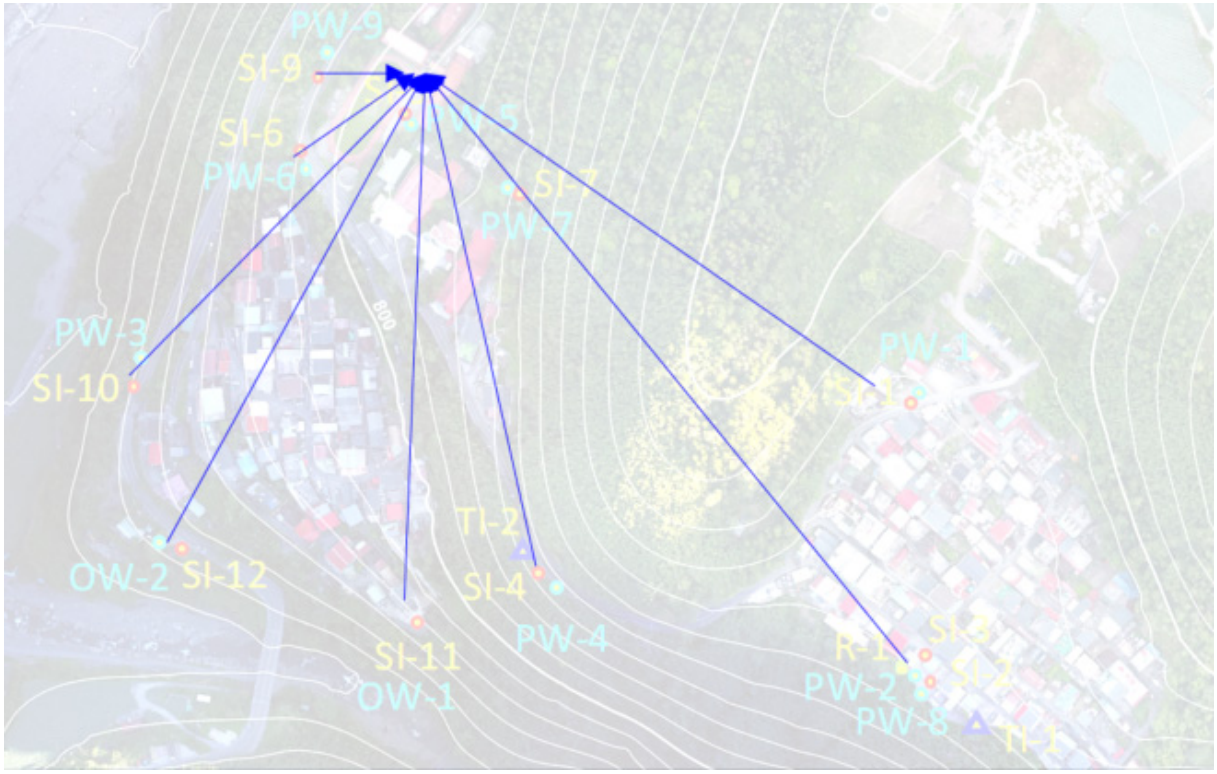


圖 2.2-11　107 年度研究於四季聚落實驗綜合成果圖

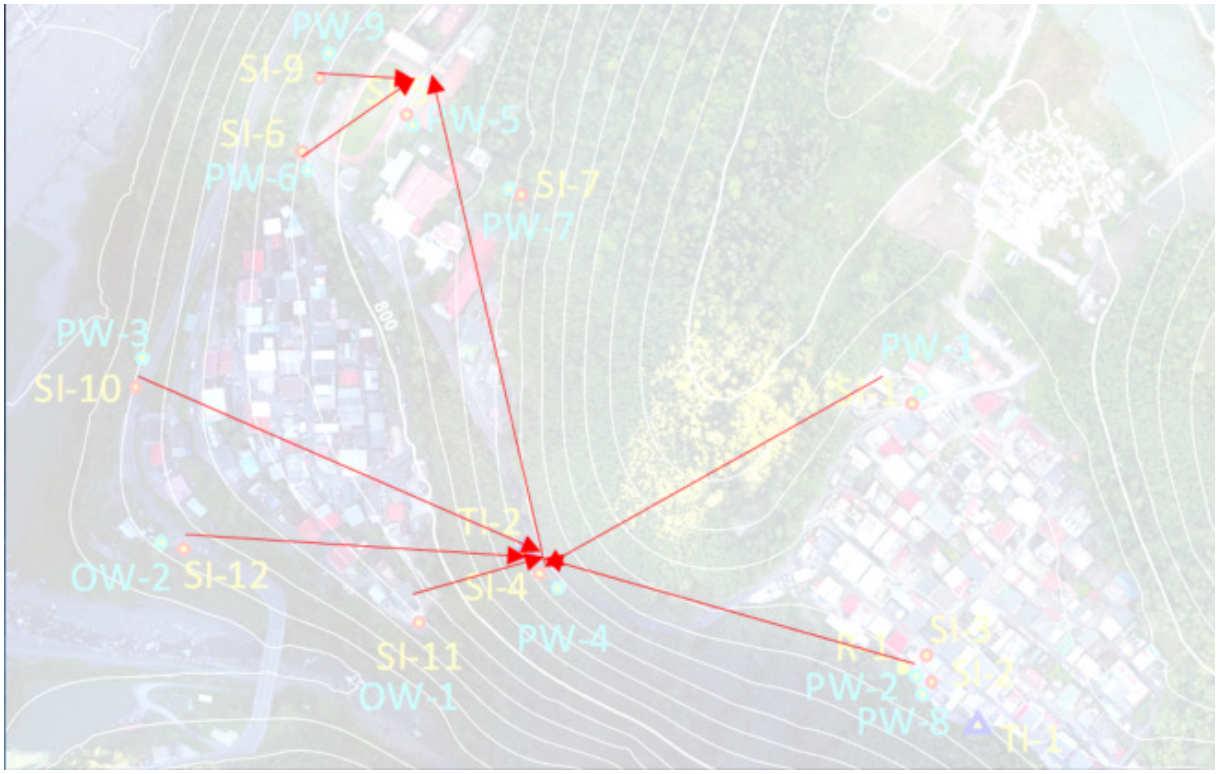
實務上，經過多次實驗後，發現受限於地形與可能遭受基地台之干擾，某幾個位置之監測點雖然能正常通訊，但是漏失率相當高，如表 2.2-6 中所示。推測原因已於本計畫書圖 1.1-2 說明。本年度將朝向增加橋接點，以樹枝狀網路替代星狀網路，並調整天線、搭配 NB-IoT 之方式，預期取得最佳化之配置方式，配置如圖 2.2-12 所示。另外本年度規畫於串接既有之監測項目與引進視覺化監測系統，以進行最佳化之通訊節點配置研究與建議。

表 2.2-6 107 年度研究於四季聚落 LoRa 傳輸實驗訊號品質距離關係

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%



(a)原本一對多之星狀網路傳遞方式，可能受地形與干擾影響



(b)預計增加橋接點以樹枝狀網路傳遞方式，繞過地形與干擾影響

圖 2.2-12 預期取得最佳化之配置方式

三、　LPWAN 建置計畫可行性研究

本研究最主要目的之一，為建置全台首創之以 LoRa 與 NB-IoT 串聯坡地與土石流感測器之 LPWAN。團隊將藉著 107 年度於南投縣信義鄉神木村土石流觀測站與宜蘭縣大同鄉四季聚落之執行經驗，**於相關現地儲存、中繼站開發完成後，預定於八月中旬至現場評估此兩場址之防災物聯網LPWAN之可行性研究。**

以神木村土石流觀測站為例，由現有之感測器主要以有線方式連結至土石流觀測站，然若能以該觀測站為橋接點，進一步將資料接收伺服器建站位置擴展至位於上游之嘉義縣阿里山鄉祝山區域，除可作為備援站，未來更可進一步整合愛玉子溪(和社溪)上游之崩塌監測(圖 2.3-10)，**進行完整之土石流上、中、下游預警監測**。

本研究重要性在於，及時監測上游阿里山發生之事件，作為下游神木觀測站之反應參考依據。過去曾發生過案例如下：

【大紀元 98 年 10 月 5 日報導】(中央社記者林恆立南投縣 5 日電)嘉義阿里山山區下大雨，南投信義鄉神木村受波及。神木村地區今天並無明顯雨量，不過，神木村愛玉子溪橋溪底便道下午再遭沖毀，村長鍾桂南說，溪水來自阿里山山區。神木村愛玉子溪橋溪底便道是在下午 3 時左右遭暴漲溪水沖毀。鍾桂南表示，神木村上午沒有下雨，午後才下起細雨，愛玉子溪溪水暴漲，是因上游阿里山山區昨晚起下大雨的關係，「阿里山下雨，神木村就遭殃」。信義鄉神木國小位在霍薩溪、愛玉子溪、神木溪交匯處，愛玉子溪橋在莫拉克颱風來襲毀損後，溪底便道成了出入神木國小的臨時道路，但便道往往遇雨即被沖毀，因此，村民在便道附近架設流籠，做為學生上下學的替代交通工具。

實際上，水保局已於神木村設置大量之監測儀器(鋼索檢知器、雨量計、水位計等)、林務局亦於祝山設置監測儀器(傾斜管)，倘能透過本計畫串聯，將可獲得更即時反應，進一步達到預警之成效。

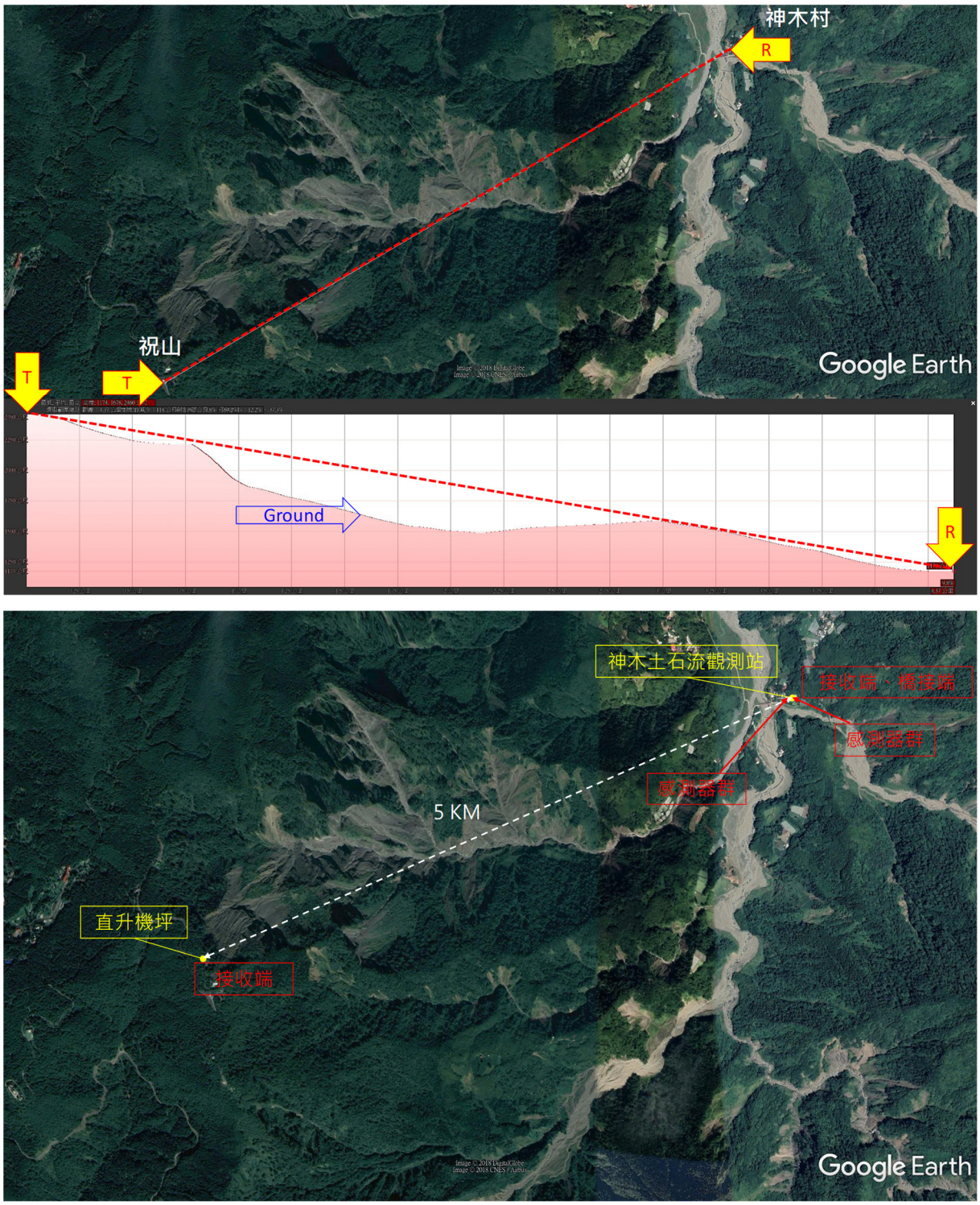


圖 2.3-1　於神木村土石流觀測站建置 LPWAN 配置概念圖

第三章　試驗成果

第一節　NB-IoT 於室內測試

本次測試使用之 NB-IoT Gateway 為以 RS-485 匯接數位訊號傳至基地台，規格如下，照片如圖 3.1-1 所示：

- Product Type: Outdoor
- Air Stream Protocol: NB-IoT (LTE Cat NB1)
- NB-IoT Protocol: TCP / UDP/ MQTT / (3GPP Release 13)
- Operating LTE Bands: Band 1 / Band 3 / Band 5 /Band 8 / Band 20 / Band 28
- Sensitivity: Maximum -116dBm
- Transmit RF Power: Maximum 23 dBm (Class 3)
- Cellular Data Rate: NB1 (26.15 kbit/s DL, 62.5 kbit/s UL)
- Interface: RS-485 x 1 / Analog or Digital Input x 1 / Digital Output x 1
- RS-485 Protocol: Modbus RTU
- Serial Interface Baud Rate: 4800bps / 9600bps / 19200bps / 38400bps / 57600bps / 115200bps / 230400bps
- Analog Input: Analog Input Support 0~10 V / 4~20 mA / ADC (0~10 V)
- Digital Input:Digital Input Support High / Low Signal Judge
- Digital Output: Digital Output Support PWM / Latch Mode
- Operating Temperature: -40°C ~ 85°C
- Main Unit Dimensions: 10 x 10 x 4.8 cm (Not include antenna and external connect)
- Weight: 195 g
- Waterproof: IP 68
- Input Power Supply: 12V ~ 36V DC
- Output Power Supply: 5V DC / 200mA (Max.)
- Power Consumption: 12V 11mA @receive / 12V 200mA @transmit /

12V ≦ 1mA @standby

- Special Specification: Flame Retardant



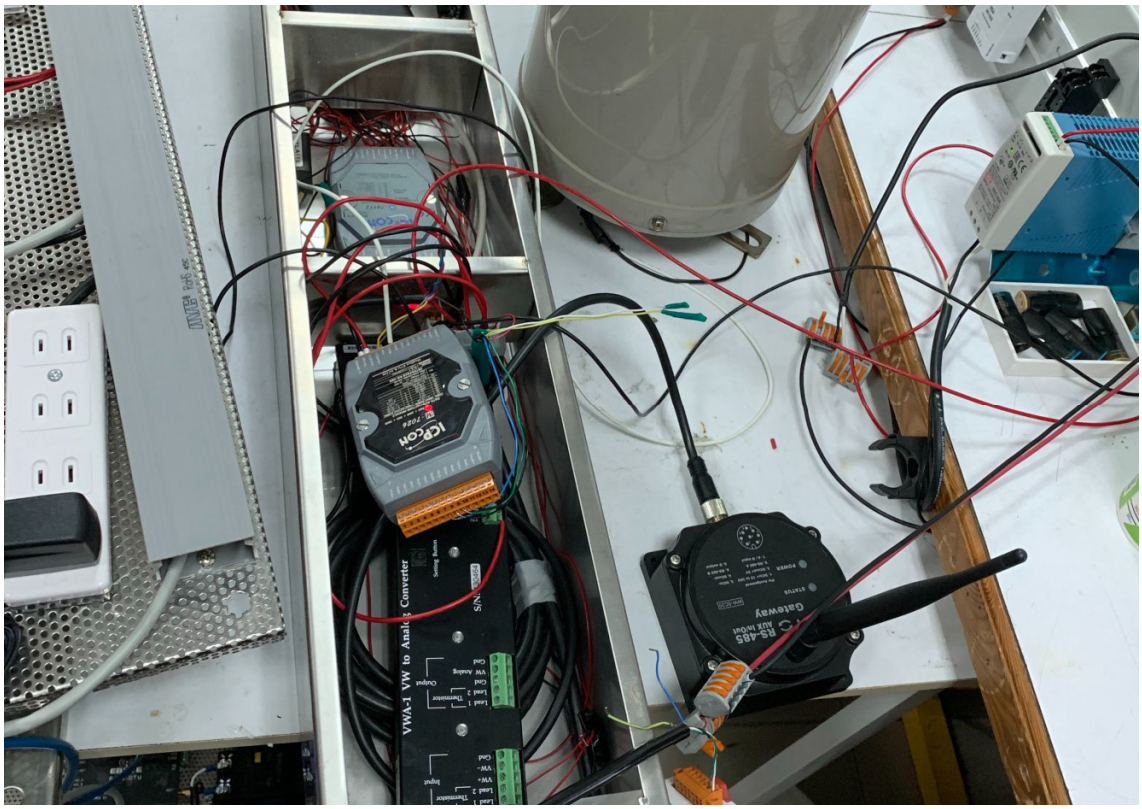


圖 3.1-1 本研究採用之 NB-IoT 模組接線配置圖與實際照片

本次採用之電信系統為遠傳，欲測試之幾種常用感測器以資料擷取器匯整後，透過 RS-485 與 NB-IoT 連接，經基地台上傳雲端後直接以 P2P 方式送至位於明新科大的伺服器中，操作畫面如圖 3.1-2 所示。在室內測試階段分別以傳送頻率 10 秒、1 分鐘、10 分鐘進行成果率(漏失率測試)。本研究定義成功率為「誤點傳送」不超過 10%，例如若設定傳送頻率為 10 秒，則接收到之兩筆資料時差 9~11 秒為成功，否則視為漏失；以此類推，若設定傳送頻率為 60 秒，則接收到之兩筆資料時差 54~66 秒為成功，否則視為漏失；若設定傳送頻率為 10 分鐘(=600 秒)，則接收到之兩筆資料時差至 540~660 秒為成功，否則視為誤點或漏失。發送地點於台中市、接收地點為新竹縣，無法查得登錄之基地台資訊。

圖 3.1-3~5 分別為傳送頻率 10 秒、1 分鐘、10 分鐘之成果，可以看出在傳送頻率 10 秒、1 分鐘時漏失率相當高；傳送頻率 10 分鐘較為正常，但皆低於 80%(漏失率高於 20%)。初步推估原因可能為基地台無法迅速處理高頻率發送之 NB-IoT 資料，但尚須透過電信商配合驗證。

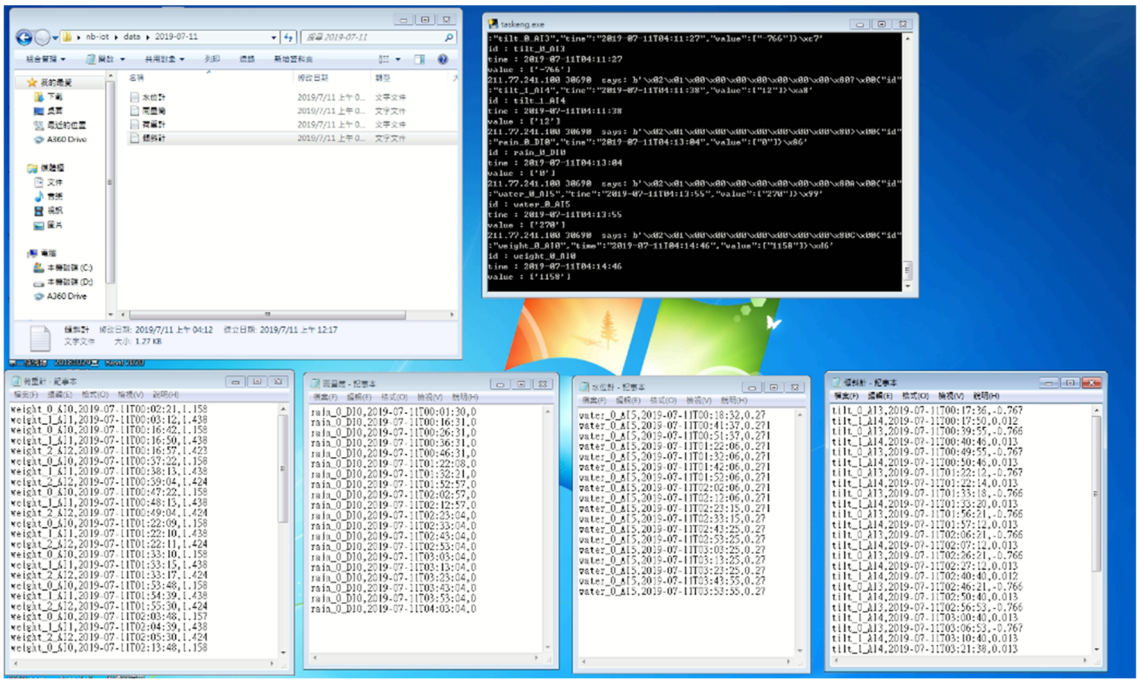


圖 3.1-2 NB-IoT 傳輸之控制與接收畫面

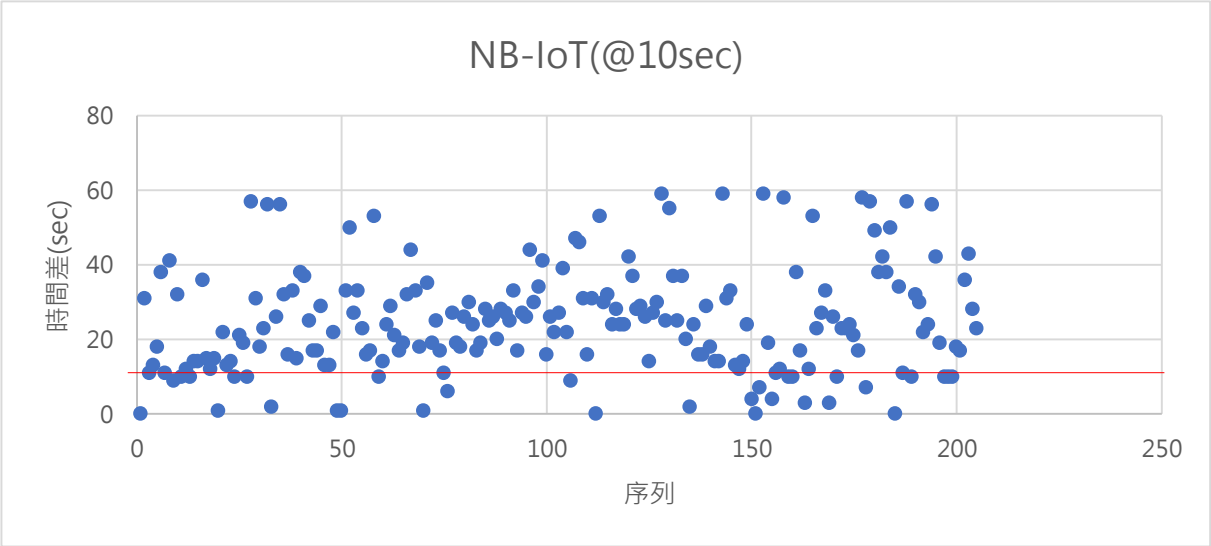


圖 3.1-3 傳輸頻率為 10 秒之 NB-IoT 於室內發送資料紀錄

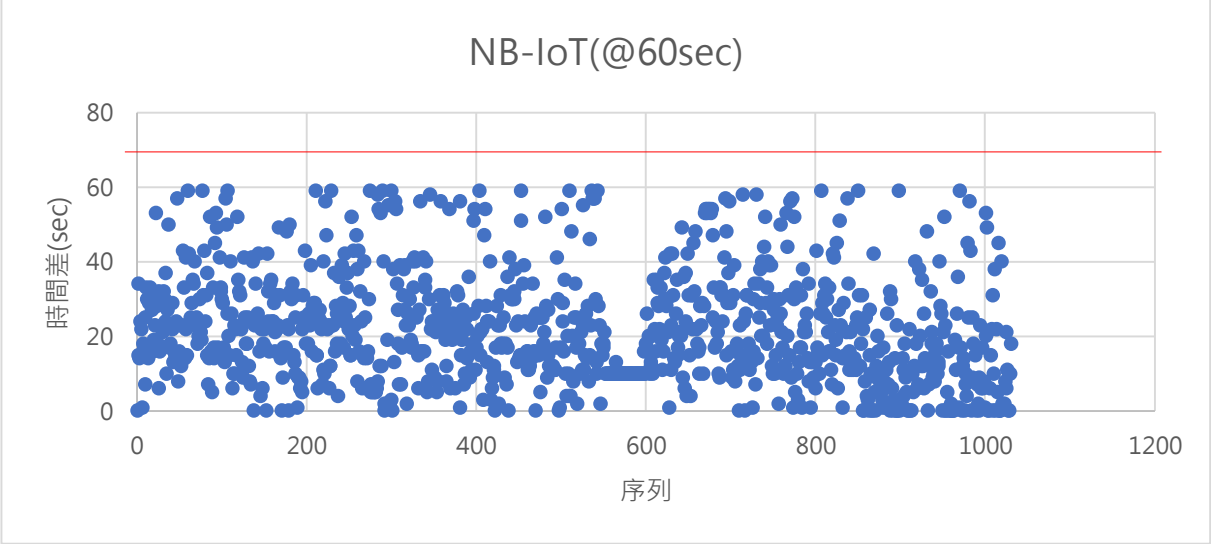


圖 3.1-4 傳輸頻率為 1 分鐘(10 秒)之 NB-IoT 於室內發送資料紀錄

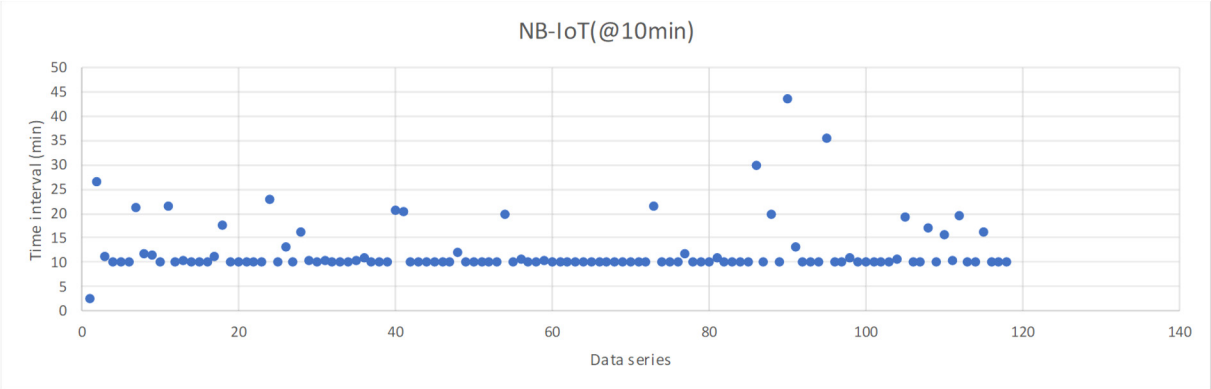


圖 3.1-5 傳輸頻率為 10 分鐘之 NB-IoT 於室內發送資料紀錄

第二節　NB-IoT 於戶外測試

透過上述之室內測試成果，擬定於現場採用 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°56'38.43"北，121°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 3.2-1 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 3.2-2 所示、測試點 B 之記錄如圖 3.2-3 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，將於下階段進行更進一步評析。

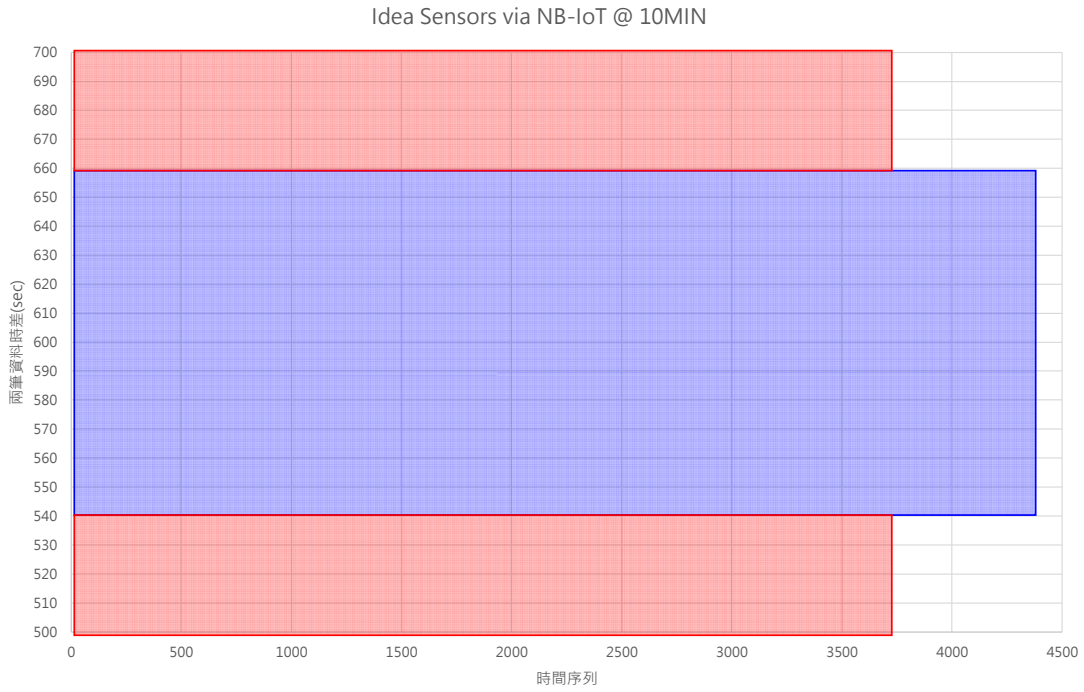


圖 3.2-1 理想狀況下為期 30 天以 10 分鐘傳送 1 次之資料分布(藍色)與漏失區(紅色)

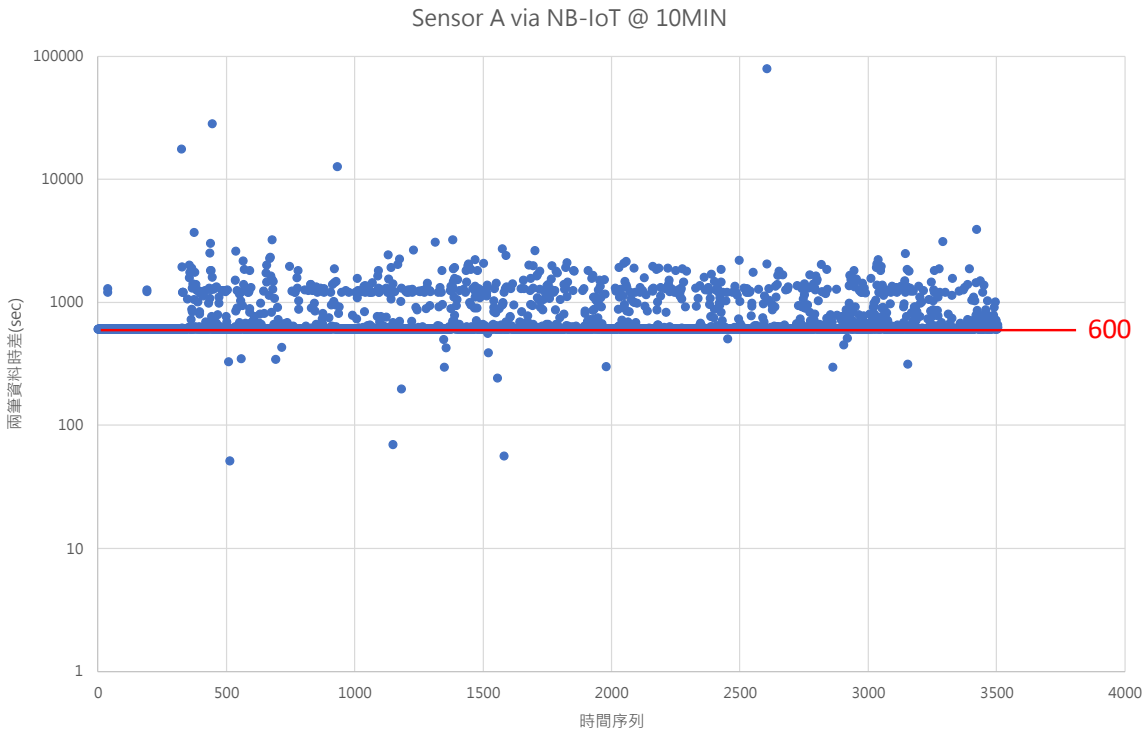


圖 3.2-2 NB-IoT 現地測試點 A 之記錄

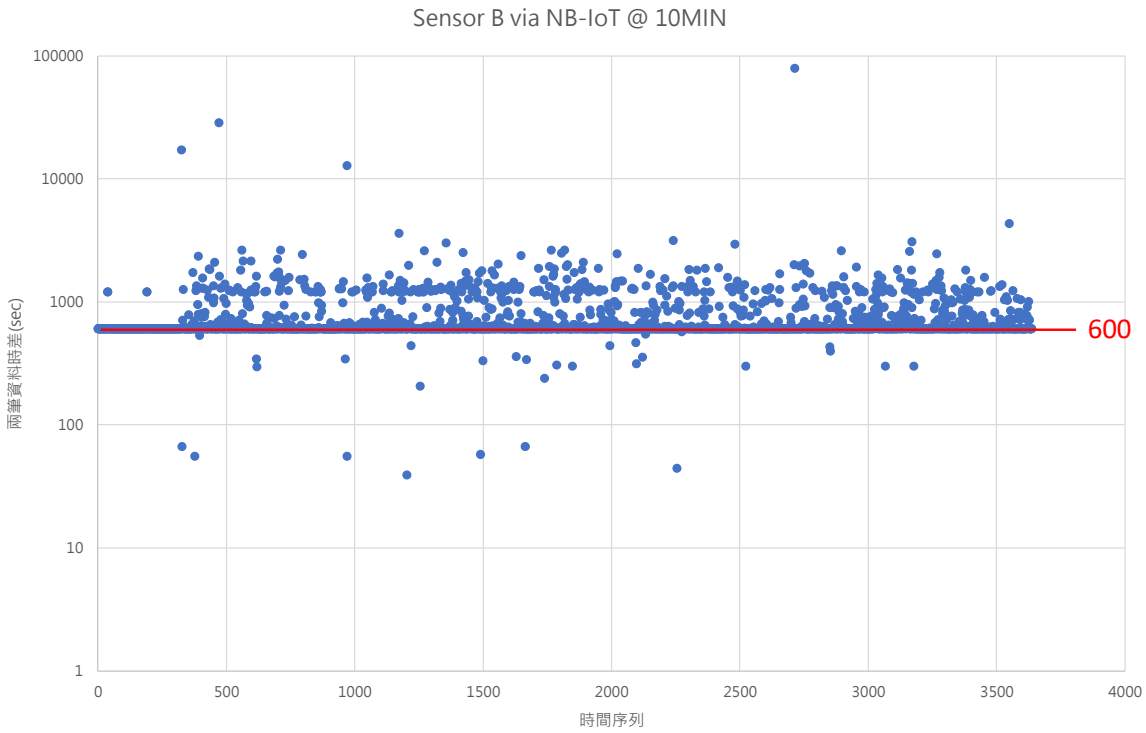


圖 3.2-3 NB-IoT 現地測試點 B 之記錄

第三節　LoRaWAN 於現地測試

為進一步測試 LoRaWAN 使用不同增益比天線之影響，另選擇場域較單純之屏東縣霧台鄉某聚落進行，空照圖與地形分佈如圖 2.2-7 所示。本階段初步以離基地台(電信業者:遠傳)最近之 BH-1 為 LoRa 接收站(Gateway)，另於 BH-3、BH-5、BH-6 分別進行測試。上述五處之相對位置如圖 3.3-1，BH-1 與 BH-3、BH-5、BH-6 相對距離與剖面如圖 3.3-2~4 所示，部分施作照片與不同增益比之天線照片如圖 3.3-5~8 所示。

本實驗分別以 3dBi、5dBi、9dBi 之天線各進行為期 30 分鐘傳輸頻率為 5 秒 1 筆之 LoRaWAN 通訊方式(延續 107 年度方式)試驗。結果分別如圖 3.3-9~14 與整理成表 3.3-1 所示。結果發現，以 3dBi、5dBi 天線進行通訊之成果差異不大，漏失率介於 12.87~26.34%間，值得一提之處為，以 9dBi 天線進行通訊之成果為完全無法接通。

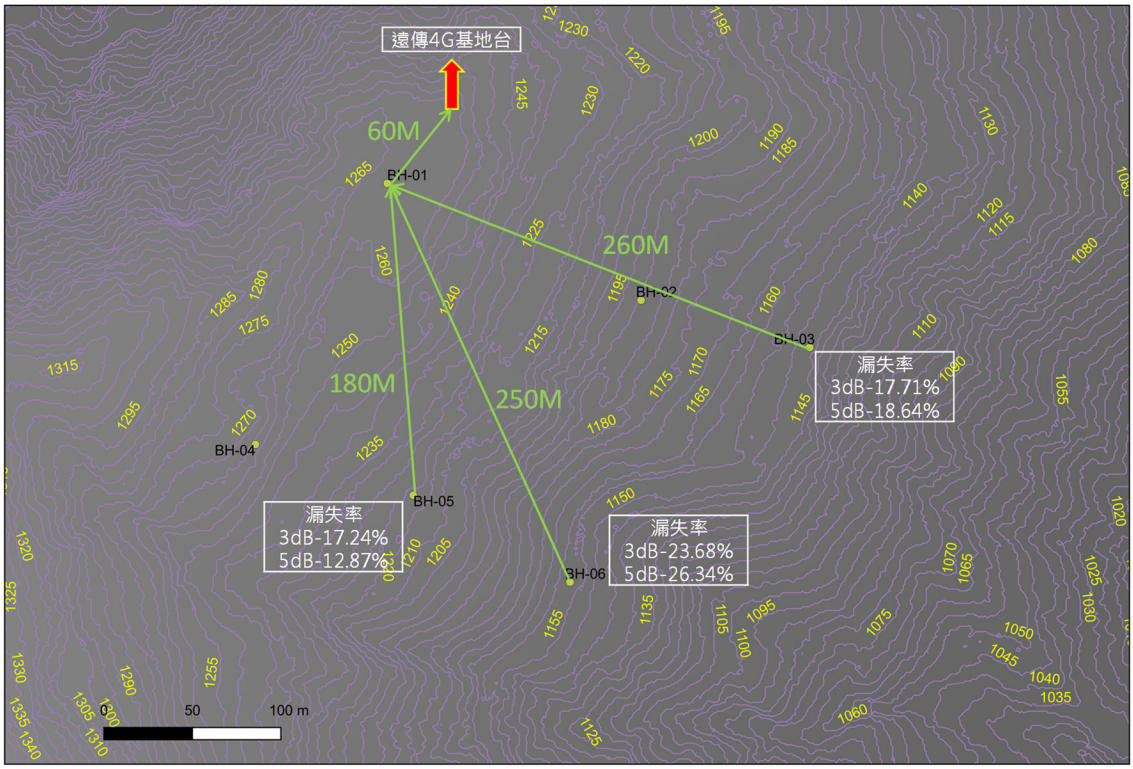


圖 3.3-1 霧台鄉某聚落進行測試點位相對位置與採用不同天線成果

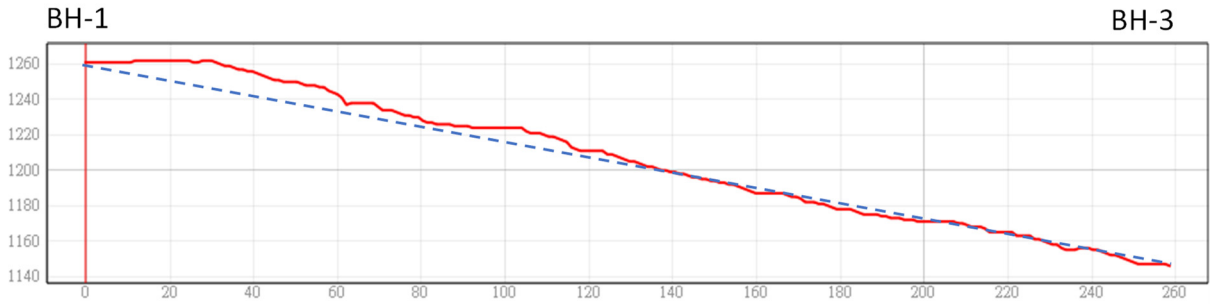


圖 3.3-2 霧台鄉某聚落進行測試點位 BH-1 與 BH-3 剖面圖

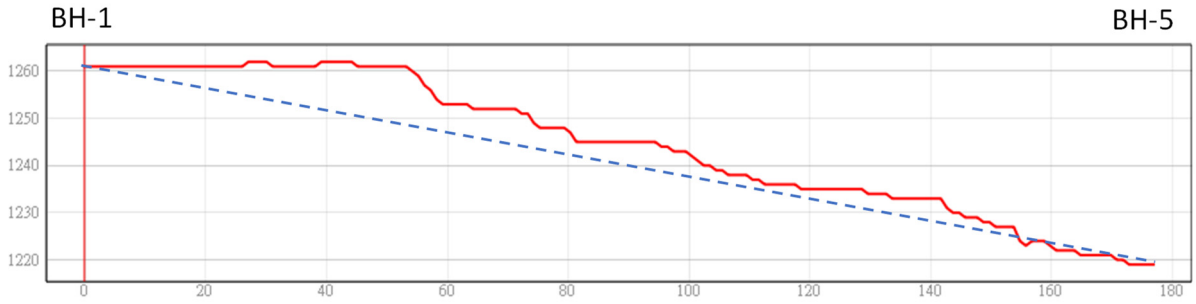


圖 3.3-3 霧台鄉某聚落進行測試點位 BH-1 與 BH-5 剖面圖

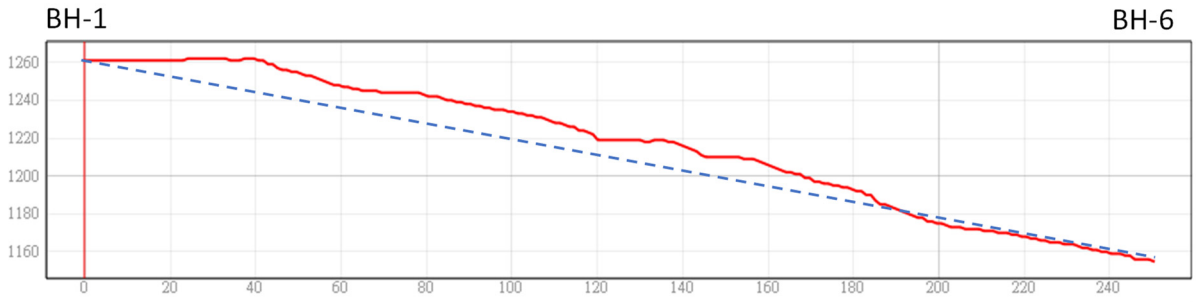


圖 3.3-4 霧台鄉某聚落進行測試點位 BH-1 與 BH-6 剖面圖



圖 3.3-5 霧台鄉某聚落測試點位 BH-1 處 LoRa Gateway 與 4G 基地台照片



圖 3.3-6 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線照片



圖 3.3-7 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線照片



圖 3.3-8 霧台鄉某聚落測試點位 BH-5 處 LoRa 發送端搭配 9dBi 天線照片

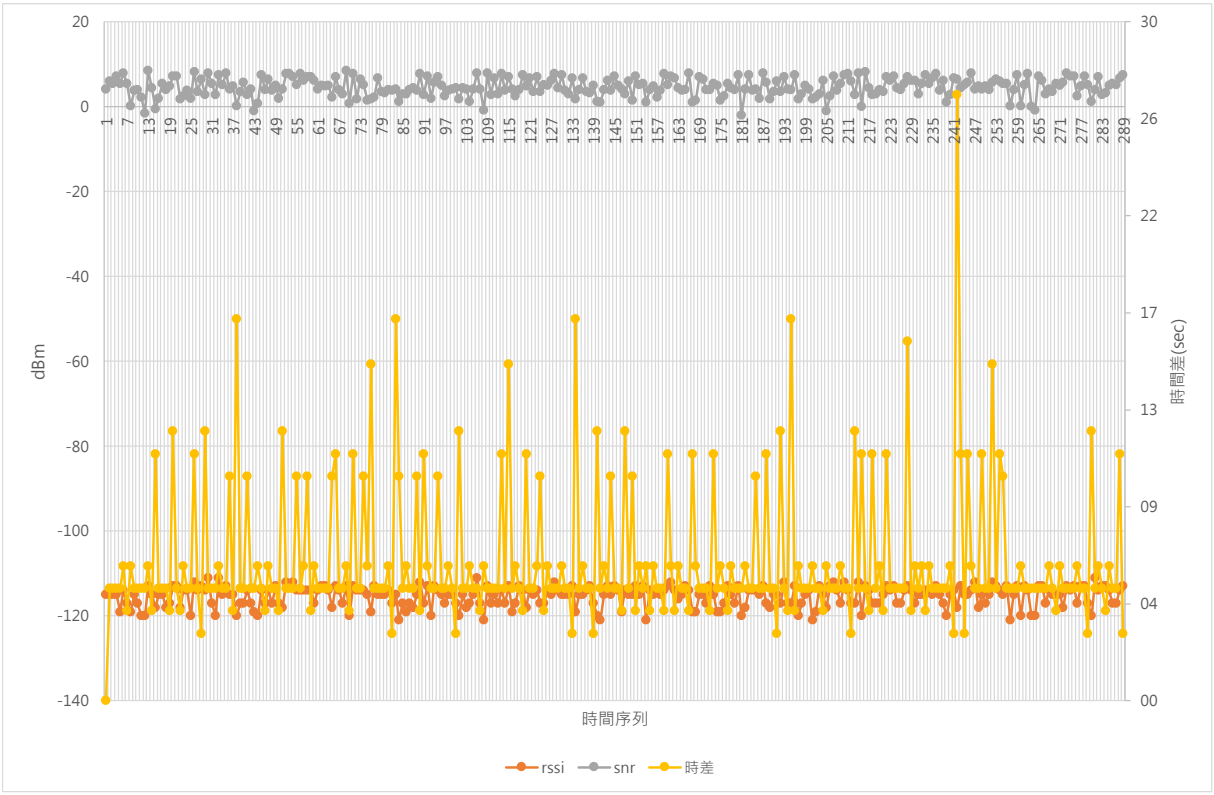


圖 3.3-9 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線紀錄

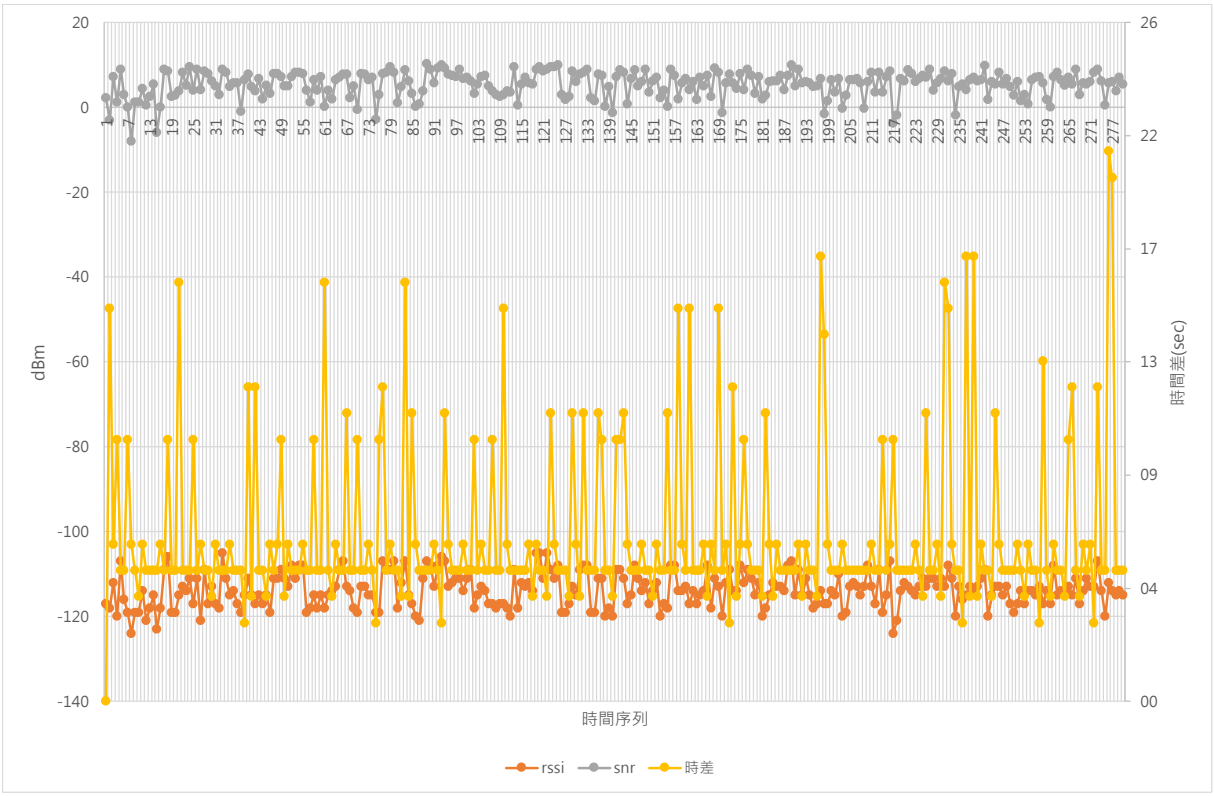


圖 3.3-10 霧台鄉某聚落測試點位 BH-3 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線紀錄

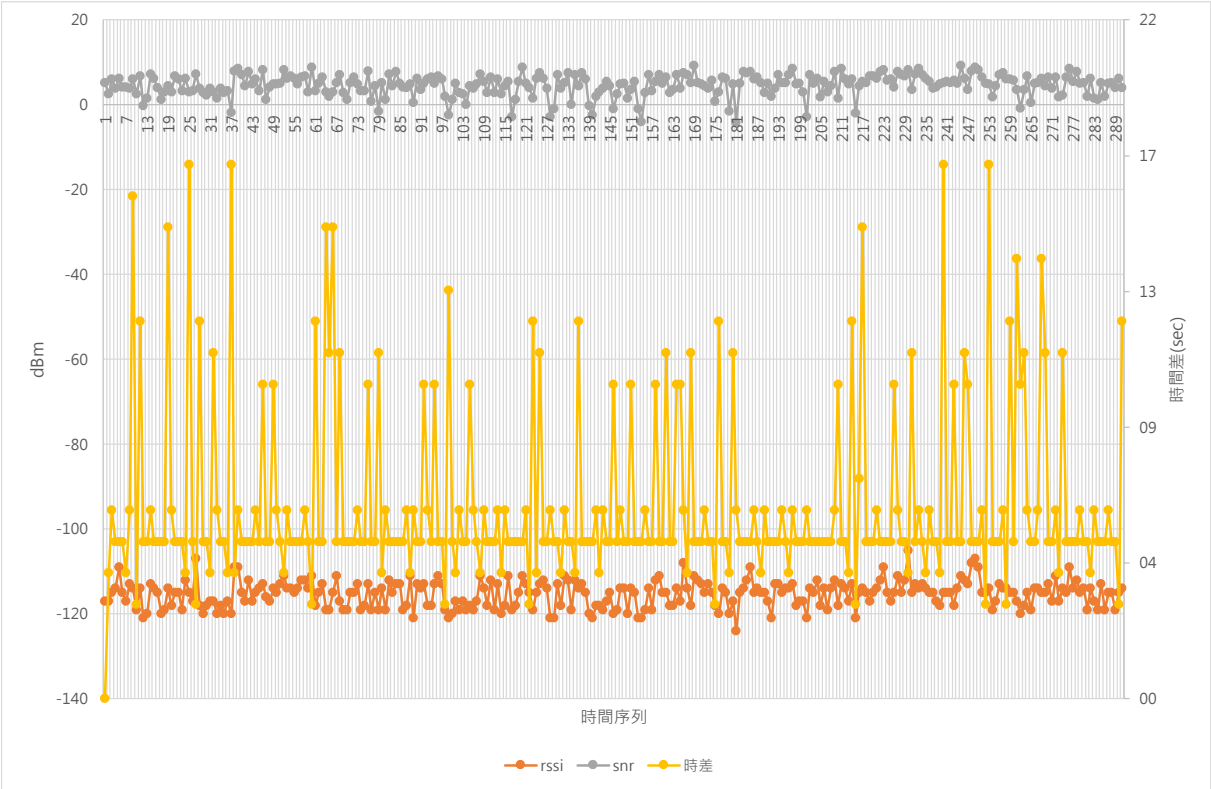


圖 3.3-11 霧台鄉某聚落測試點位 BH-5 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線紀錄

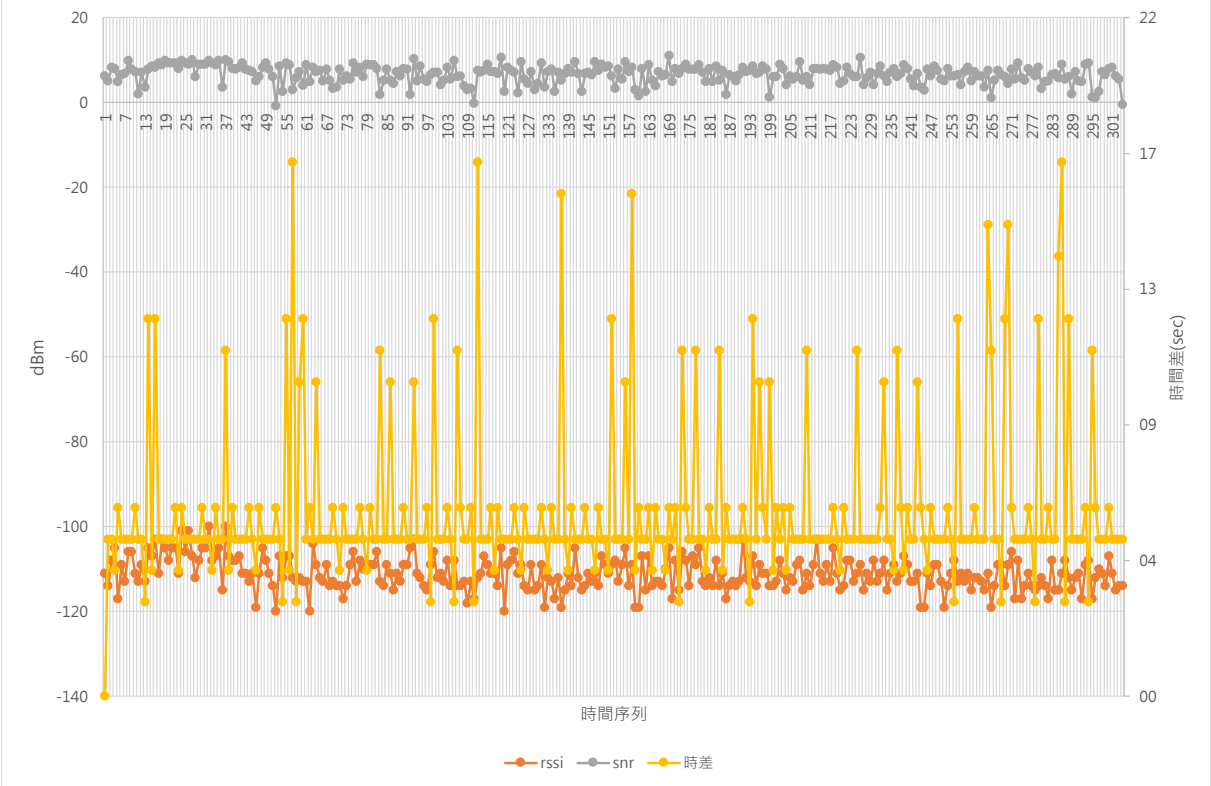


圖 3.3-12 霧台鄉某聚落測試點位 BH-5 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線紀錄

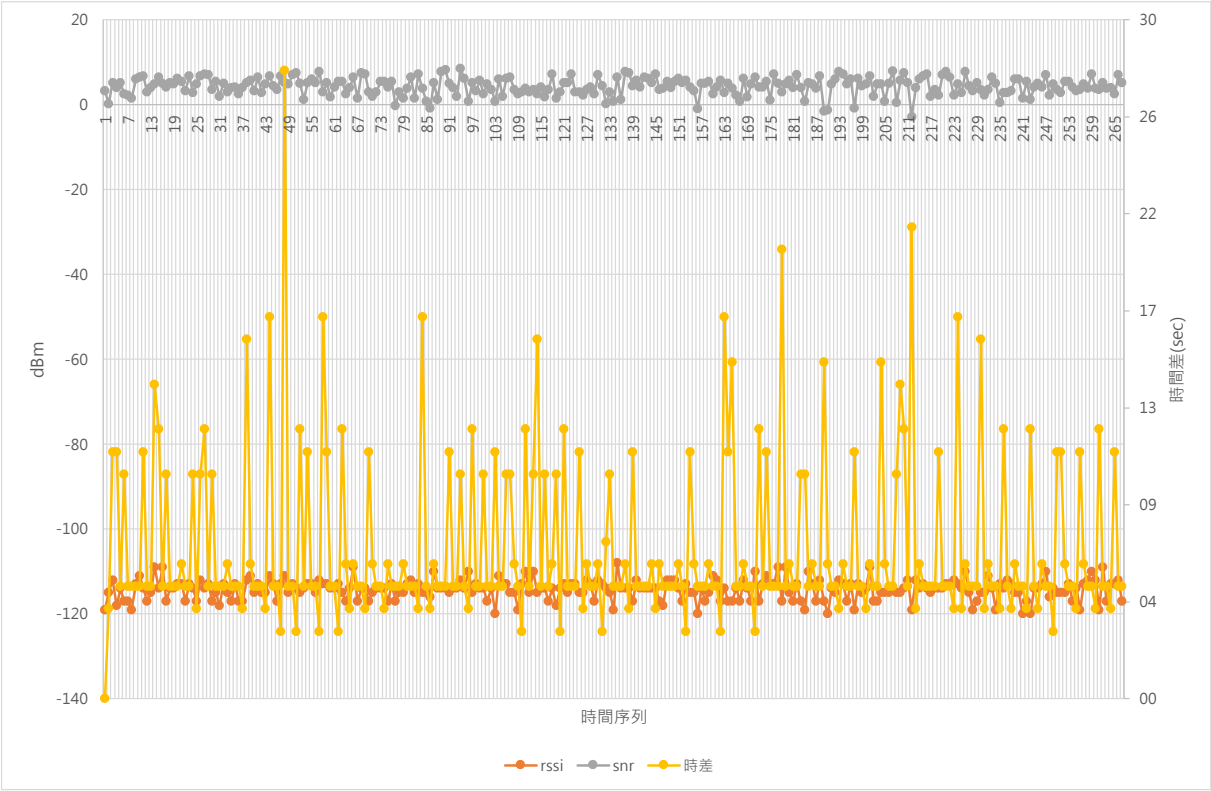


圖 3.3-13 霧台鄉某聚落測試點位 BH-6 處 LoRa 發送端搭配 3dBi 天線紀錄

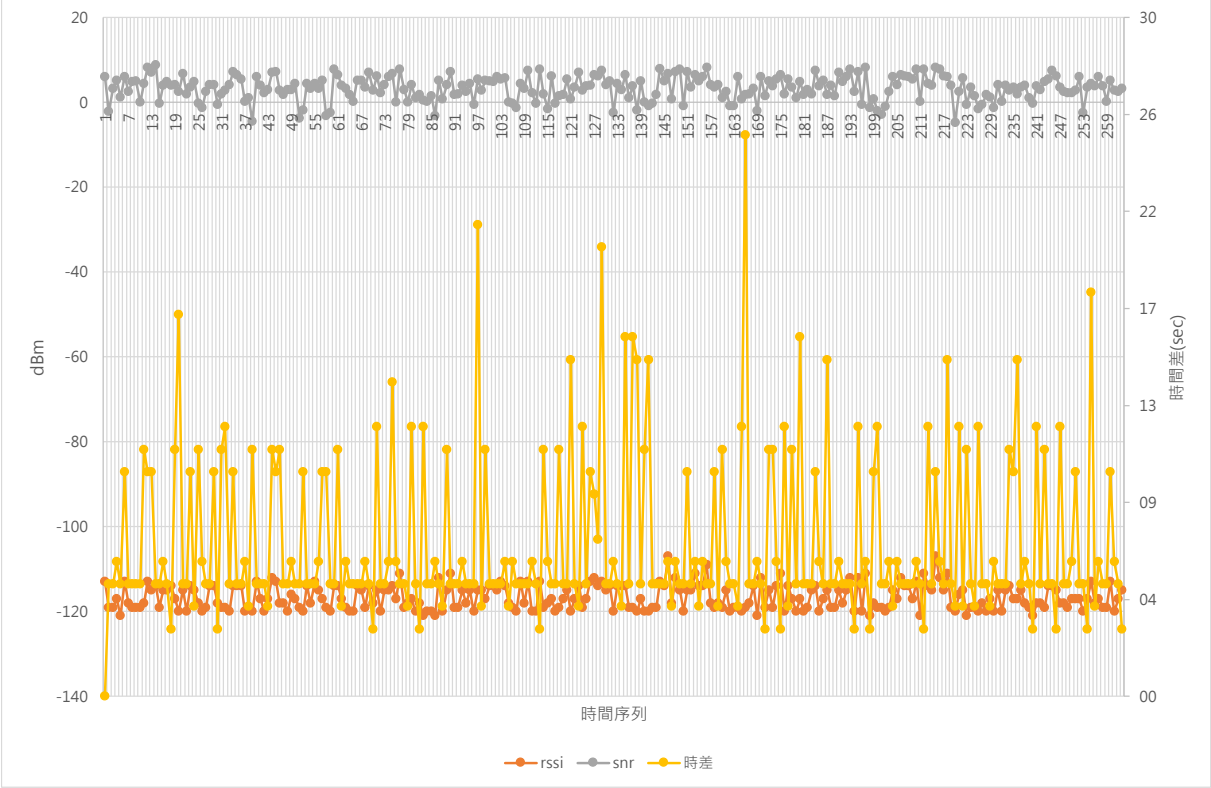


圖 3.3-14 霧台鄉某聚落測試點位 BH-6 處 LoRa 發送端搭配 5dBi 天線紀錄

表 3.3-1 霧台鄉某聚落 LoRaWAN 測試成果比較

	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%

第四節　LoRa P2P 於現地測試

過去 107 年度於四季聚落進行以 LoRa WAN 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。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，因此本年度研發之橋接方式(中繼站)初步以 SI-4 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 3.4-1 所示。部分施作照片如圖 3.3-2~5 所示，成果紀錄分析如圖 3.3-6~11 所示，並將資料整理於表 3.3-1。

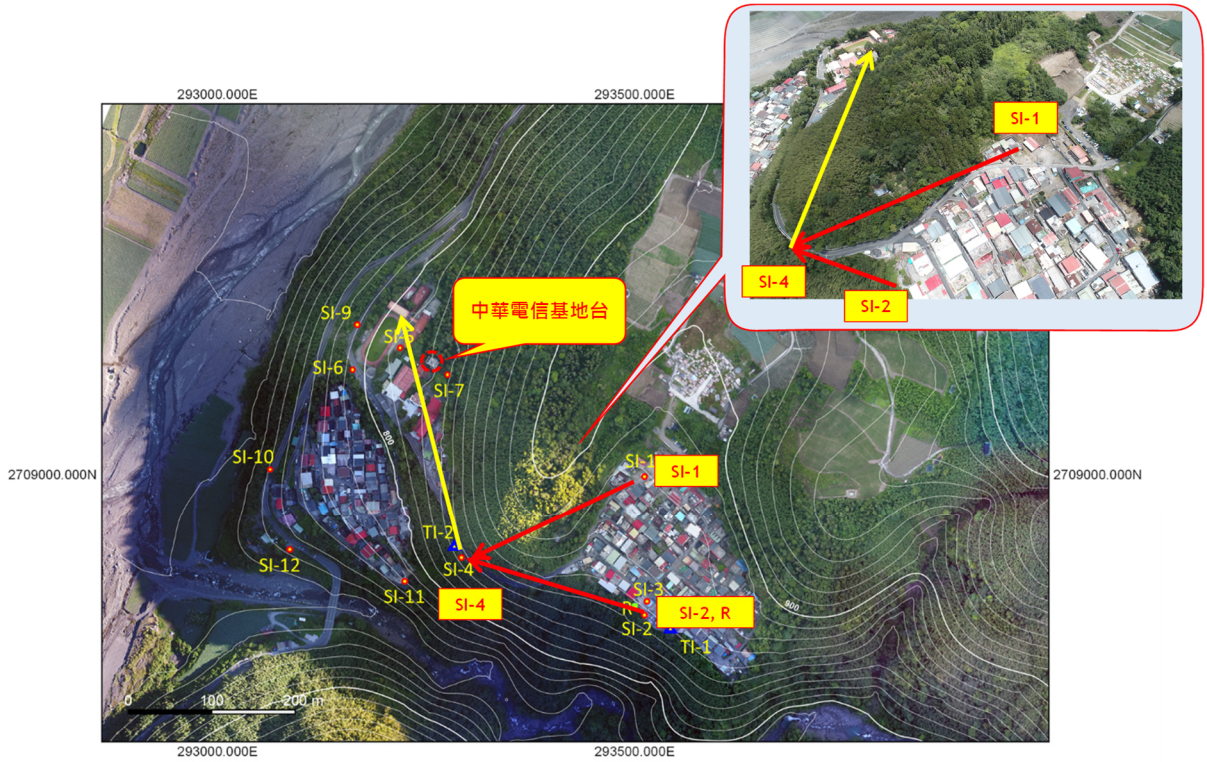


圖 3.4-1　宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa P2P 橋接實驗點位置圖



圖 3.4-2 四季國小達雅樓之接收站(GateWay)



圖 3.4-3 SI-1 處之發射端



圖 3.4-4 SI-2 之發射端



圖 3.4-5 SI-4 之中繼站

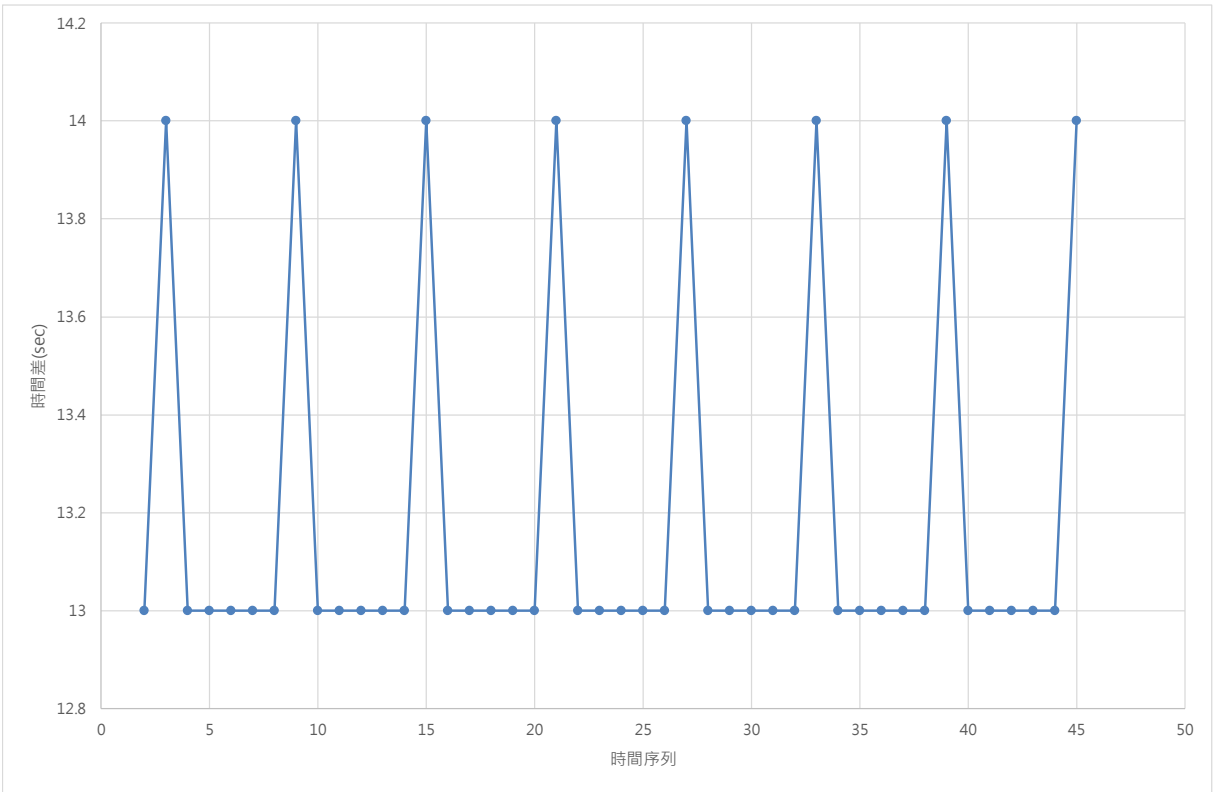


圖 3.4-6 SI-4 搭配 3dBi 天線 SI-1 處之傳輸結果

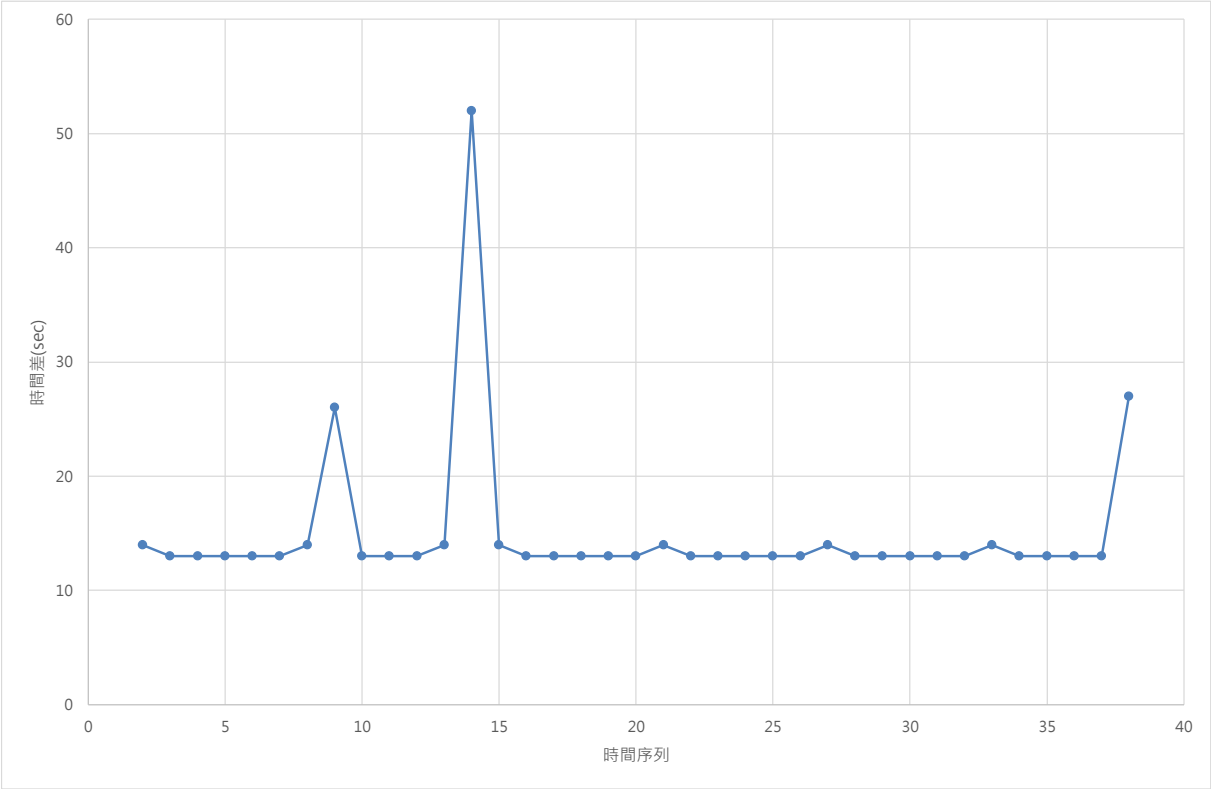


圖 3.4-7 SI-4 搭配 5dBi 天線 SI-1 處之傳輸結果

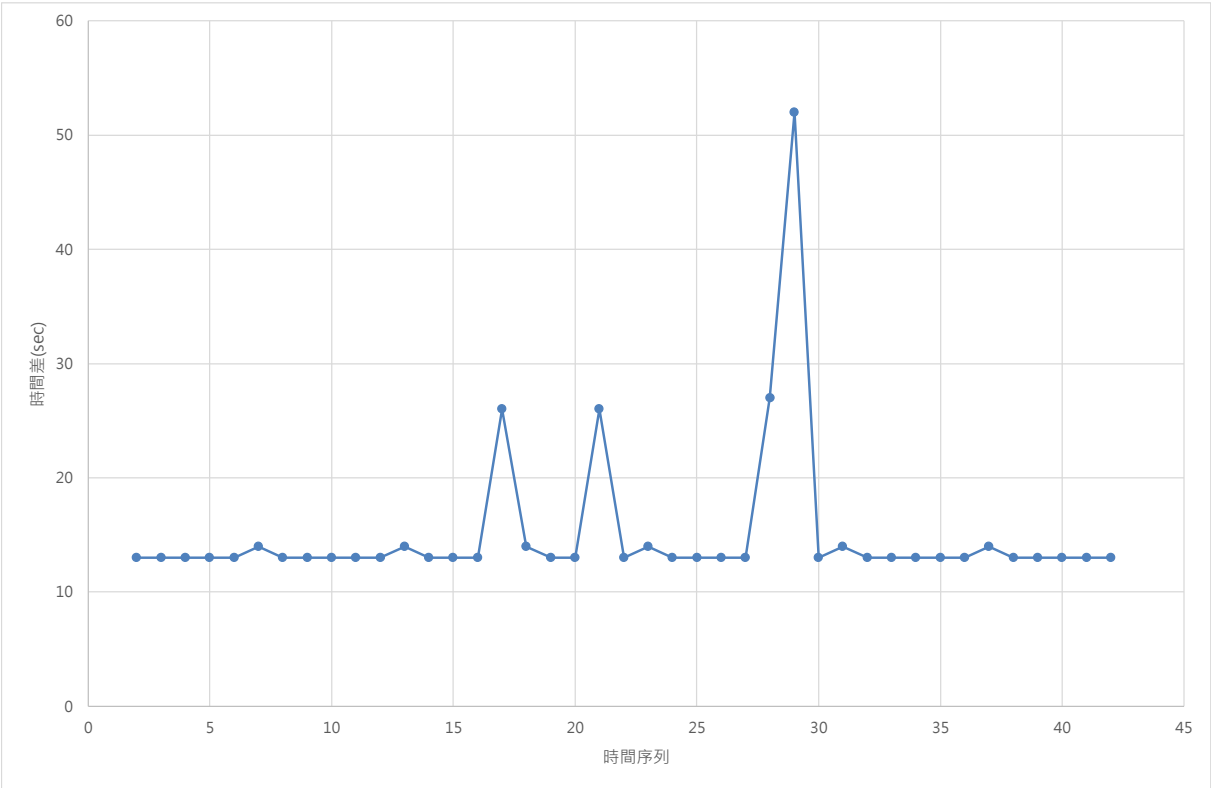


圖 3.4-8 SI-4 搭配 9dBi 天線 SI-1 處之傳輸結果

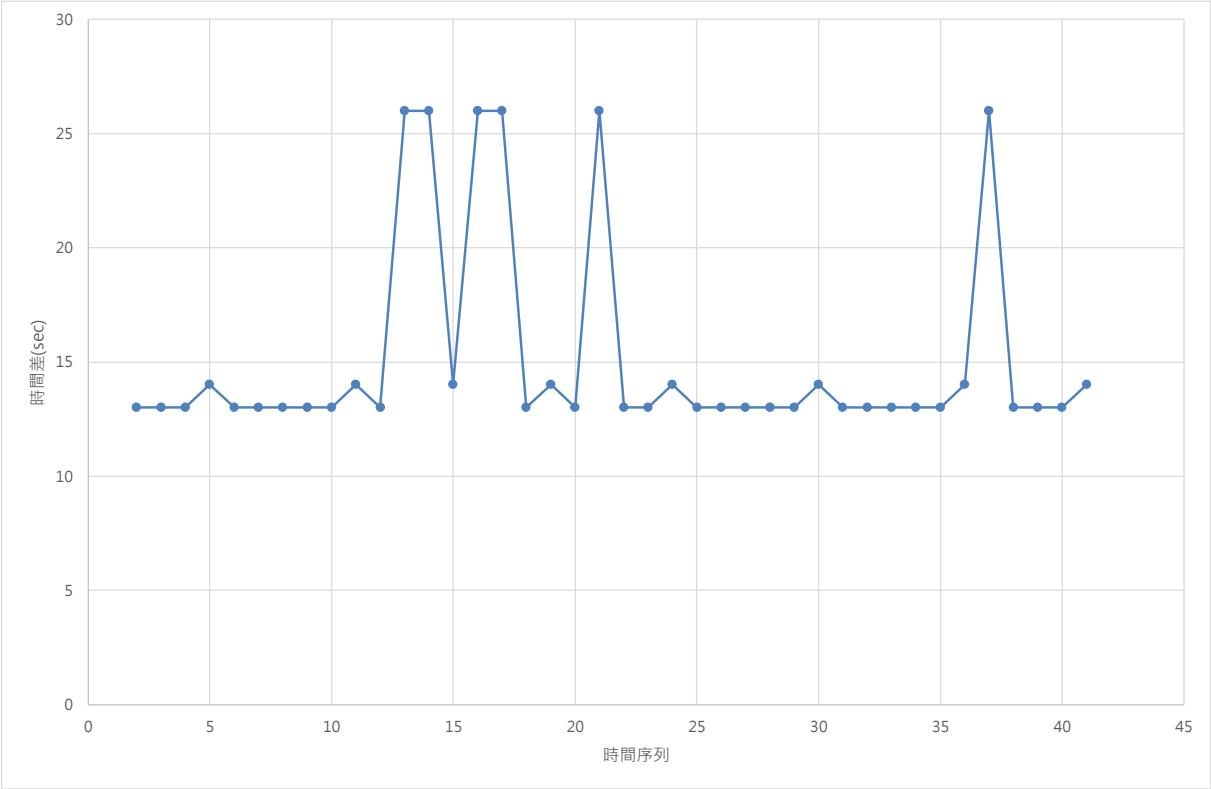


圖 3.4-9 SI-4 搭配 3dBi 天線 SI-2 處之傳輸結果

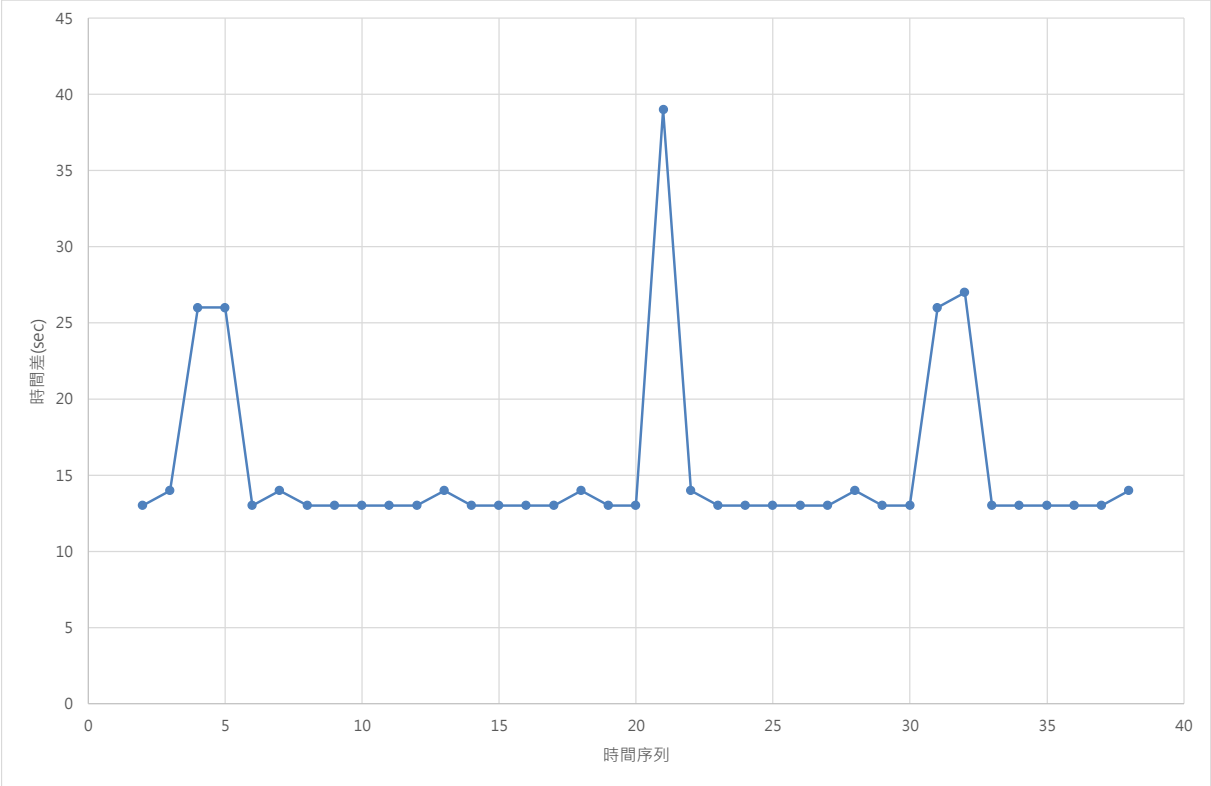


圖 3.4-10 SI-4 搭配 5dBi 天線 SI-2 處之傳輸結果

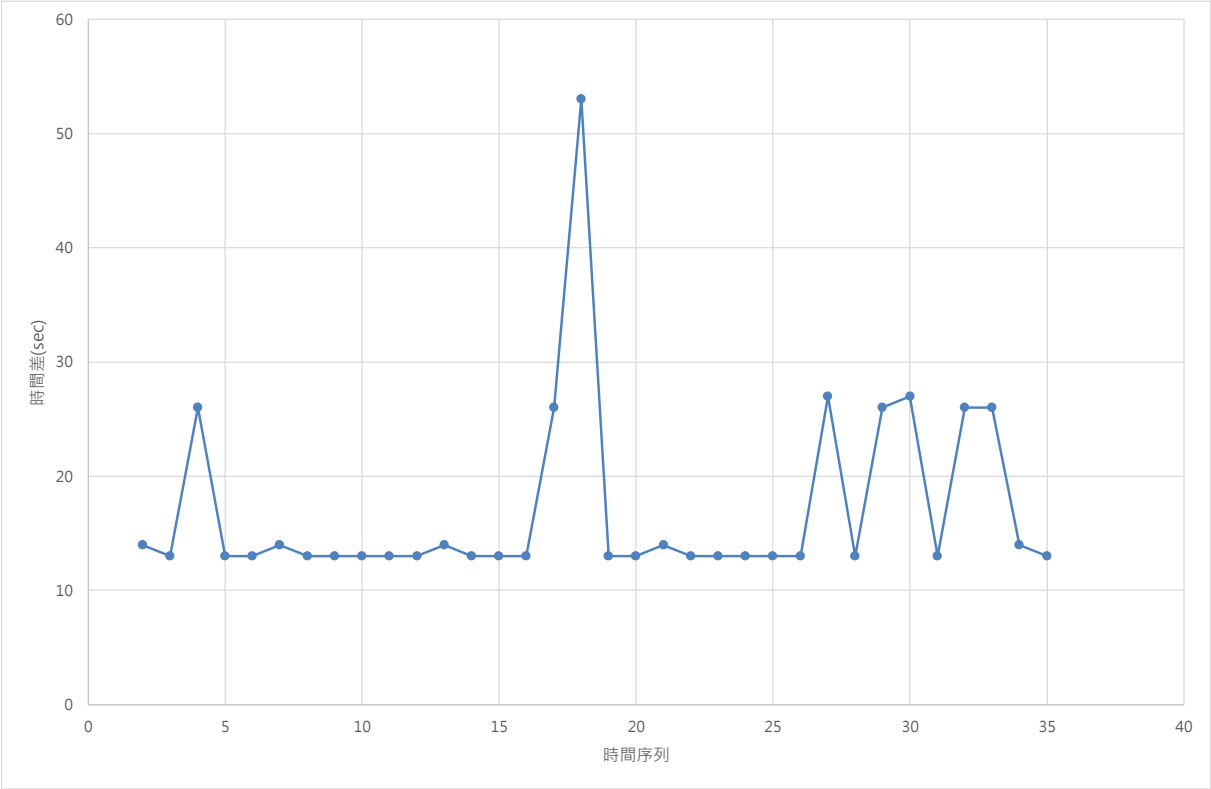


圖 3.4-11 SI-4 搭配 9dBi 天線 SI-2 處之傳輸結果

表 3.4-1 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。後續本團隊於宜蘭縣大同鄉英士村進行測試，並將所得之傳輸特性在配置於南投縣信義區神木村，測試過程及結果如下：

- **宜蘭縣大同鄉英士村**

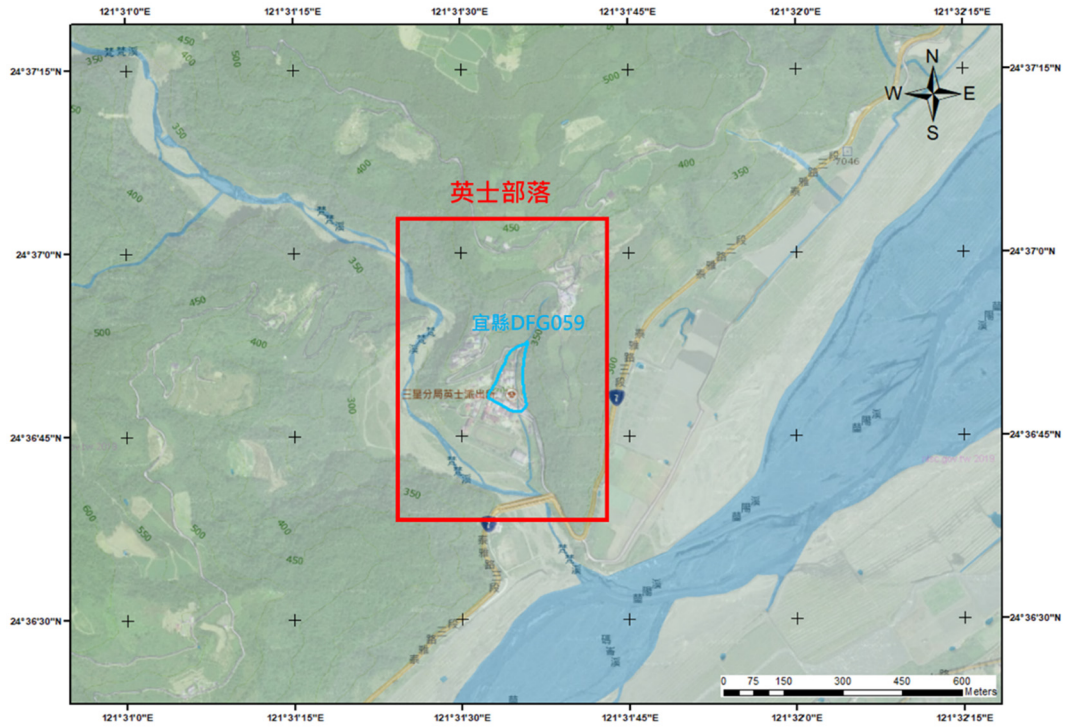
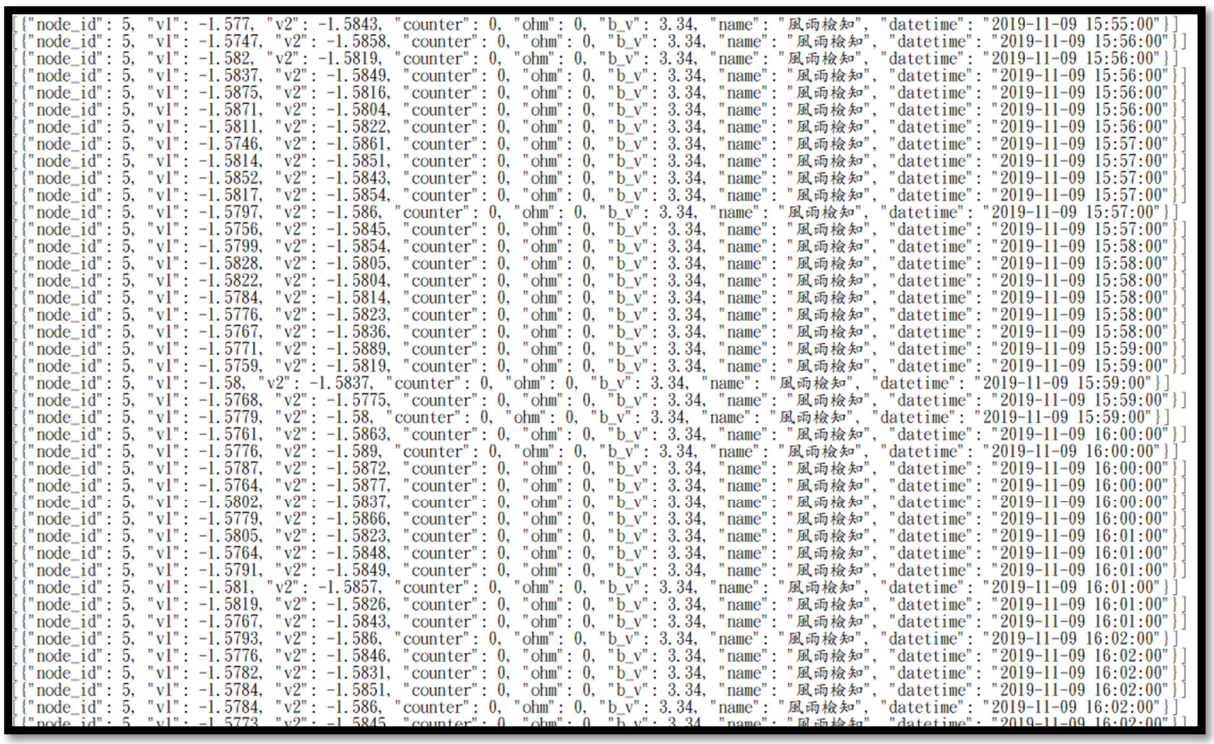


圖 3.4-12 宜蘭縣大同鄉英士部落區域位置圖

宜蘭縣大同鄉英士部落，為台 7 縣 88K 進入梵梵巷即可抵達，屬於泰雅族部落，共 8 鄰 149 戶，人口數 419 人。部落內東疊溪於 2002 年公告為土石流潛勢溪流，因此本研究計畫於此地進行 LoRa 傳輸試驗，模擬於英士部落地區裝設監測儀器時，藉由 LoRa 傳輸方式彙整部落內各項監測設備資料後，以 P2P 方式傳輸於國小，再使用 4G 網路上傳雲端，區域位置圖如上

圖 3.4-12。

本團隊於英士部落設置四種 LoRa 傳輸擺放位置，觀察於部落內不同位置、高程差與直線距離之傳輸狀況，將結果計算其成功率與漏失率，規劃出較適合於英士部落之 LoRa 傳輸站配置方式。資料傳輸格式如下圖 3.4-13 所示，其中 node_id 為發射站之站號，V1、V2 為監測儀器之數值，Counter 為計數器類型監測設備使用(如雨量計)，本測試目前僅以測試資料傳輸情形，故後三者之數值為隨機產生，最後則分別為電池電壓、資料名稱以及詳細時間。



{"node_id": 5, "v1": -1.577, "v2": -1.5843, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:55:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5747, "v2": -1.5858, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:56:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.582, "v2": -1.5819, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:56:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5837, "v2": -1.5849, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:56:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5875, "v2": -1.5816, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:56:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5871, "v2": -1.5804, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:56:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5811, "v2": -1.5822, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:56:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5746, "v2": -1.5861, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:57:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5814, "v2": -1.5851, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:57:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5852, "v2": -1.5843, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:57:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5817, "v2": -1.5854, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:57:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5797, "v2": -1.586, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:57:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5756, "v2": -1.5845, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:57:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5799, "v2": -1.5854, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:58:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5828, "v2": -1.5805, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:58:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5822, "v2": -1.5804, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:58:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5784, "v2": -1.5814, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:58:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5776, "v2": -1.5823, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:58:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5767, "v2": -1.5836, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:58:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5771, "v2": -1.5889, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:59:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5759, "v2": -1.5819, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:59:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.58, "v2": -1.5837, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:59:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5768, "v2": -1.5775, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:59:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5779, "v2": -1.58, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 15:59:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5761, "v2": -1.5863, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:00:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5776, "v2": -1.589, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:00:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5787, "v2": -1.5872, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:00:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5764, "v2": -1.5877, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:00:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5802, "v2": -1.5837, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:00:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5779, "v2": -1.5866, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:00:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5805, "v2": -1.5823, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:01:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5764, "v2": -1.5848, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:01:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5791, "v2": -1.5849, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:01:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.581, "v2": -1.5857, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:01:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5819, "v2": -1.5826, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:01:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5767, "v2": -1.5843, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:01:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5793, "v2": -1.586, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:02:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5776, "v2": -1.5846, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:02:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5782, "v2": -1.5831, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:02:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5784, "v2": -1.5851, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:02:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5784, "v2": -1.586, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:02:00"}
{"node_id": 5, "v1": -1.5773, "v2": -1.5845, "counter": 0, "ohm": 0, "b_v": 3.34, "name": "風雨檢知", "datetime": "2019-11-09 16:02:00"}

圖 3.4-13　LoRa 傳輸資料示意圖

- 第一組

時間：108.11.01

地點：宜蘭縣大同鄉英士村

天氣：霧，小雨

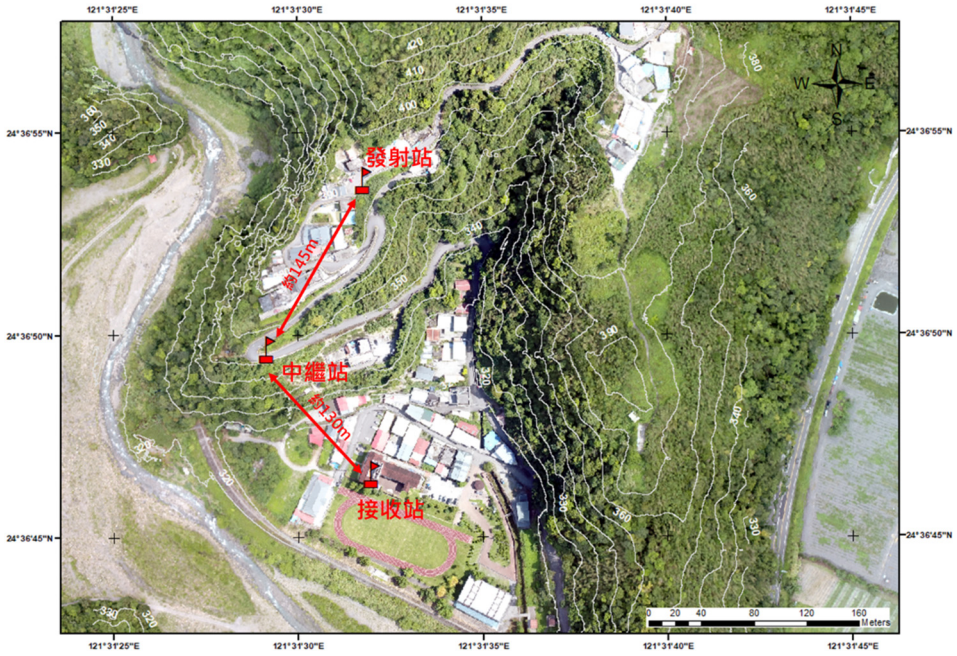


圖 3.4-14 宜蘭縣英士村第一組 LoRa 傳輸測試配置圖



圖 3.4-15 第一組現場裝設之中繼站(下)、接收站(上及右)

本組實驗中，接收站同前文所說設置於四季國小英士分校內，資料經由4G 網路上傳至雲端，中繼站設於部落上方坡中之擋土牆，發射站則位於較高處之部落北方地錨擋土牆，詳細配置位置以及各站之間距如上圖 3.4-14，現場裝設情形如圖 3.4-15。

此三站之間設計為幾乎可直接通視之位置，主要為觀察部落內傳輸品質是否穩定。下表 3.4-2 為資料之筆數以及漏失率統計。從結果中可以發現，在可通視、距離 150m 內情況下，三站之間傳輸成功率都達到 96%以上，顯示在部落內之傳輸狀況優良。

表 3.4-2 第一組 LoRa 傳輸測試統計表

發射站 to 中繼站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	漏失率(%)
543	**564**	**96.27**	**3.72**
中繼站 to 接收站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	累積漏失率(%)
388	**402**	**96.51**	**3.48**

- 第二組

時間：108.11.01

地點：宜蘭縣大同鄉英士村

天氣：霧，小雨

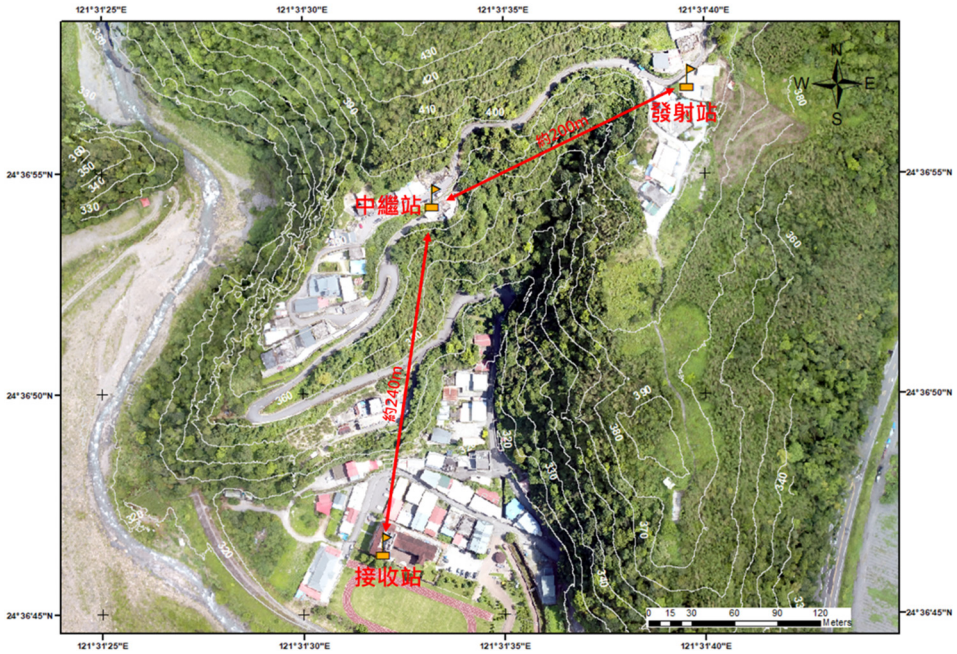


圖 3.4-16 宜蘭縣英士村第二組 LoRa 測試配置圖



圖 3.4-17 第二組現場裝設之中繼站(左)、發射站(右)

本組實驗為延續上組，增加傳輸距離與高程差，接收站位置不變，中繼站移至原發射站之地錨擋土牆位置，而發射站置於土石流潛勢溪流 DFG059 上方處民宅屋頂，配置圖如上圖 3.4-16，其中中繼站與發射站為可直接通視，而發射站置中繼站則因位於民宅平台內側，使向下視野受道路及樹林阻擋，現場裝設情形如圖 3.4-17 所示。為了解增加距離以及受部分構造及樹林阻擋下之傳輸情形，下表 3.4-3 為整理本組實驗之資料傳輸統計。

表 3.4-3 第二組 LoRa 傳輸測試統計表

發射站 to 中繼站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	漏失率(%)
305	**348**	**87.64**	**12.35**
中繼站 to 接收站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	累積漏失率(%)
272	**348**	**78.16**	**21.83**

從統計表中可以發現，發射站傳輸至中繼站有 12.35%的漏失率，而在中繼站回傳接收站時漏失率減少為 9.48%(接收端之累積漏失率 21.83%扣除發射站至中繼站之 12.35%)，顯示位於上方之發射站，可能因部分構造物及樹林阻擋，導致漏失率增加。從兩組結果中可以研判如有構造物阻擋其傳輸過程，影響程度較距離增加明顯。

- 第三組

時間：108.11.10

地點：宜蘭縣大同鄉英士村

天氣：晴

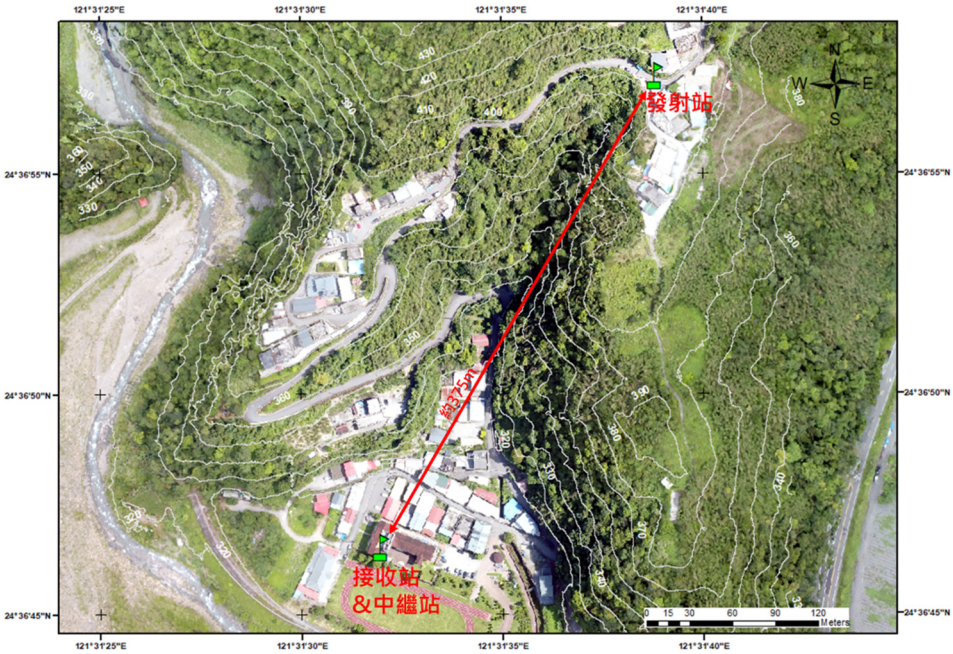


圖 3.4-18 宜蘭縣英士村第三組 LoRa 測試配置圖



圖 3.4-19 第三組現場裝設之中繼站(左)、發射站(右)

本組實驗將發射站獨立放置於土石流潛勢溪流 DFG059 上方，於前組實驗放置處周圍之擋土牆上方，目的為增加直線傳輸距離至近 400m 處，遮蔽環境與前組情況相似，中繼站與接收站則皆擺放於國小，目的為觀察在有部分遮蔽情況下，發射站是否能直接傳輸至國小之中繼站及接收站，觀察其傳輸影響下之極限距離。上圖 3.4-9 為現場裝設情形，其傳輸情形整理於下表 3.4-4。

表 3.4-4 第三組 LoRa 傳輸測試統計表

發射站 to 中繼站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	漏失率(%)
141	**294**	**47.95**	**52.04**
中繼站 to 接收站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	累積漏失率(%)
130	**276**	**47.10**	**52.89**

從本次結果可以發現，中繼站之漏失率與接收站累積漏失率接近，為預期中之結果，而與前幾組之數據相比，其漏失率增加至約 52%，同上組實驗結果證實遮蔽物之影響傳輸甚鉅，在未來裝設配置過程中，需考慮現地遮蔽環境，是否有架高天線的需求。

第四組

時間：108.11.10

地點：宜蘭縣大同鄉英士村

天氣：晴

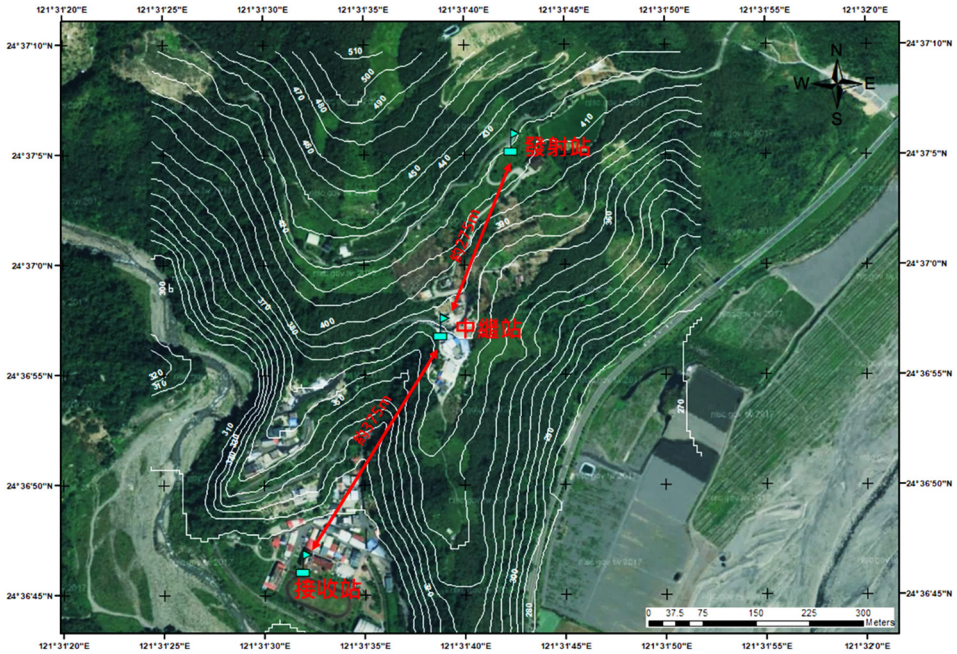


圖 3.4-20 宜蘭縣英士村第四組 LoRa 測試配置圖



圖 3.4-21 第四組現場裝設之發射站(左)、中繼站(右)

最後於英士部落的傳輸實驗，將發射站設置於部落最北側之道路旁，可能遮蔽物為樹林及電線杆；中繼站則設置於上組實驗(第三組)發射站所在位置，但為解決結構物遮蔽問題將天線架高，因此自中繼站至接收站即幾乎為可通視。本組實驗目的為觀察裝設於部落最北端，總直線傳輸距離逾 600m 情況下之整體接收成果，各站設置位置如圖 3.4-21 所示，現場設置情形如上圖 8。

表 3.4-5 第二組 LoRa 傳輸測試統計表

發射站 to 中繼站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	漏失率(%)
418	**612**	**68.30**	**31.69**
中繼站 to 接收站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	累積漏失率(%)
327	**486**	**67.28**	**32.71**

上述統計結果(表 3.4-5)可觀察出因天線架高緣故，中繼站幾乎可將發射站之資料傳輸至接收站，而發射站則有樹林影響漏失率有偏高的情形，因此如發射站之天線如架高應可增加傳輸效率。

初步成果：綜合本團隊於英士部落之試驗成果，可得到下列幾項影響因素：

由高處向低處之接收站發送時，傳輸距離增加至 600m 之水平距離對資料漏失率影響較低。

人工構造物如房屋、道路、擋土牆對訊號遮蔽影響較高；樹林遮蔽影響則較低。

因遮蔽影響緣故，天線盡可能放置於高處。

從兩種不同天氣型態來看，小雨時對資料傳輸影響甚微。

- **南投縣信義鄉神木村**

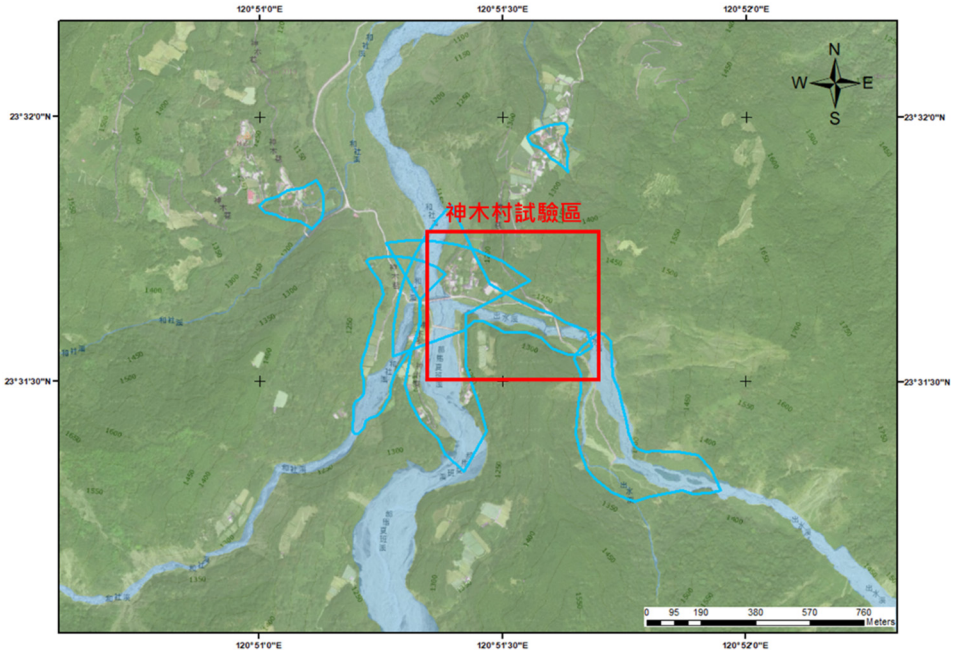


圖 3.4-22 南投縣信義鄉神木村區域位置圖

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，而後續也經常傳出土石流災情，區域位置圖如上圖 3.4-22，可以發現周圍之土石流潛勢溪流之涵蓋範圍非常廣。

神木村

時間：108.11.09

地點：南投縣信義鄉神木村

天氣：晴

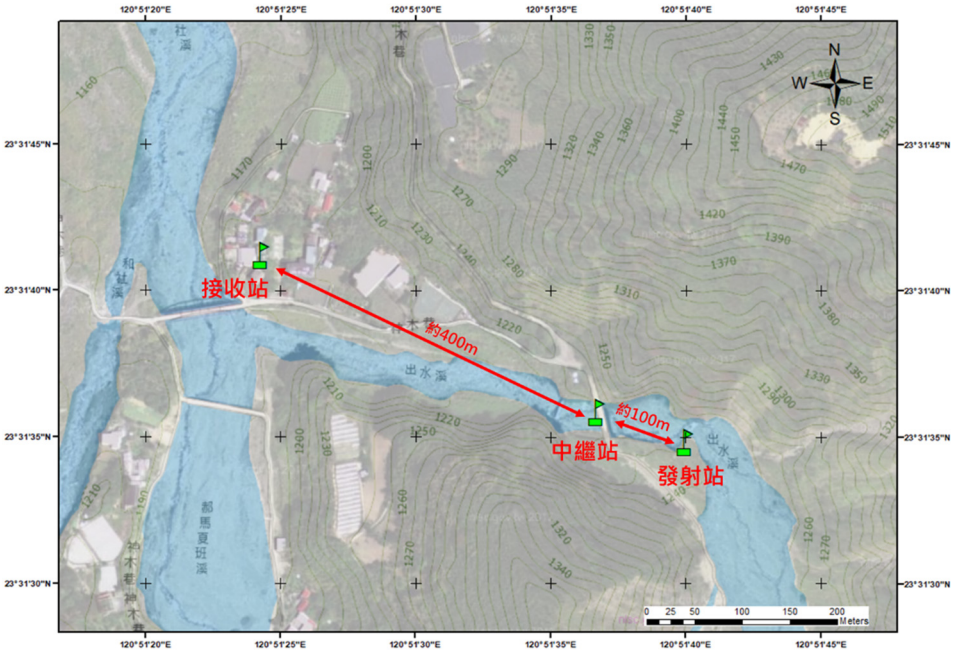


圖 3.4-23　LoRa 於神木村之配置圖

經由前節英士部落測試結果，將 LoRa 傳輸之影響以及特性，應用於神木村進行測試，配置圖如上圖 3.4-23 所示。其中接收站設置於有電信訊號之神木國小中；中繼站於那瑪嘎班溪橋上，以避開國小內建築的遮蔽，故將天線架高；發射站則位於攔沙壩之壩頂，現場裝設情形如下圖 13 所示。



圖 3.4-24 神木村 LoRa 現場裝設情形

下表 3.4-6 整理神木村之傳輸成果，顯示自中繼站傳輸至接收站傳輸成功率 100%，但發射站至中繼站傳輸狀況則有 2.41%的漏失率，整體而言傳輸效率極佳，達到 97.58%成功率，顯示於神木村應用此配置有顯著的效果。

表 3.4-6 神木村 LoRa 傳輸測試統計表

發射站 to 中繼站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	漏失率(%)
363	**372**	**97.58**	**2.41**
中繼站 to 接收站			
實收筆數	應收筆數	成功率(%)	累積漏失率(%)
363	**372**	**97.58**	**2.41**

第五節　LoRa 搭配不同天線測試成果討論

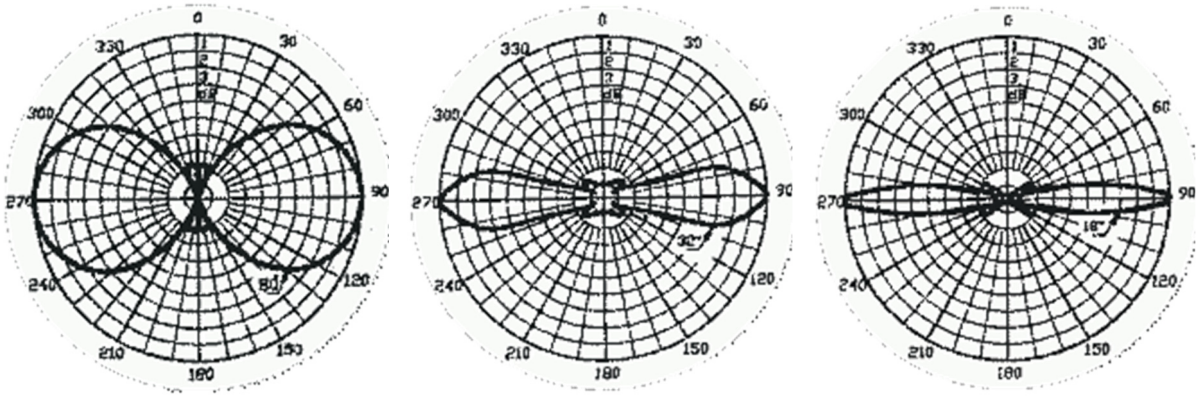
於 107 年度研究末期與本研究初期，總認為在符合低功率傳輸之規範下，不得增加傳輸器功率時，可利用更大增益比之天線進行訊號增強與降低漏失率，然而根據第三節與第四節之結果發現，似乎與預期不符。初步推估成因可能為增益功率越大、訊號範圍越窄所致，蒐集相關資料如下：

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 3.5-1~3 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 (c9dBi

圖 3.5-1 本研究採用三種不同天線之方向圖

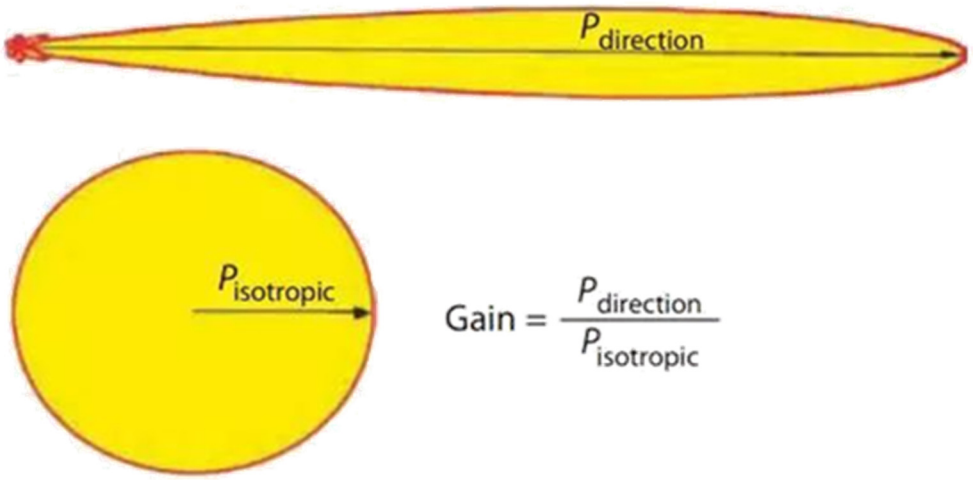


圖 3.5-2 天線增益比計算示意圖



圖 3.5-3 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。**

(以上文字改寫自天线增益，

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

第四章　結論與建議

第一節　結論

1. NB-IoT 為利用 LTE-4G 之窄頻段進行低功耗訊號傳輸，因此欲使用 NB-IoT 首要條件為具備已經針對 NB-IoT 開台之 4G 基地台，且 NB-IoT 所能採用之 NB-IoT SIM 卡須與欲連結之基地台相同，否則無法登錄。
2. NB-IoT 之用戶目前以智能生活監測，例如用電量、用水量、室內溫溼度照度等，因此大多為都會區內之公寓大廈或社區、廠房等。相對於水保防災監測所在之地區，4G 基地台大多未針對 NB-IoT 開台。以現階段要於山區實現利用 NB-IoT 進行防災物連網尚有難度。
3. NB-IoT 設定之傳送頻率於 10 秒與 1 分鐘之測試結果分別顯示資料幾乎全部漏失(幾乎無準點)。
4. NB-IoT 之總漏失率於本階段實驗發現為 20%左右。
5. 原以 LoraWan 之傳遞方式漏失率 20%處之測試點，改以 LoRa P2P 之橋接傳遞方式可進行訊號橋接後最降低至 0%。
6. 採用增益比越高之天線可能無法降低漏失率，甚至可能完全無法傳遞訊號，須經由現場訊號傳輸環境以及相對位置評估。
7. 由高處向低處之接收站發送時，傳輸距離增加至 600m 之水平距離對資料漏失率影響較低。
8. 人工構造物如房屋、道路、擋土牆對訊號遮蔽影響較高；樹林遮蔽影響則較低。因此於現地裝設天線時，盡可能垂直地面並放置於高處。
9. LoRaWAN 之傳遞方式可以評估 RSSI、SNR 等資訊，但無法進行訊號橋接；反之，LoRa P2P 之傳遞方式可進行訊號橋接，但無法取得評估 RSSI、SNR 等資訊。

第二節　建議

1. NB-IoT 為利用 LTE-4G 進行低功耗傳輸，但此做法需電信業者於監測地周圍之基地台開通 NB-IoT 所使用之傳輸頻段，因此未來可結合其他通訊方式，以搭配最適於現地的傳輸方法。
2. 在 LoRa 以橋接的方式進行傳輸時，目前中繼站與接收站採用的工業電腦使兩站的能耗增加，如未來需長期安裝於現地，可能需以能耗更低的微電腦取代，減少現地電池的負擔。

參考文獻

1. Aloÿs Augustin, Jiazi Yi, Thomas Clausen, and William Mark Townsley, “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things,” Sensors (Basel). 2016 Sep; 16(9): 1466.
2. Hoult, N.A., Bennnet, P.J., Stoianov, I., Maksimović, C., Middleton, C.R., Graham, N.J.G. and Soga, K., “Wireless Sensor Networks: creating ‘Smart Infrastructure’,” Proceedings of ICE, Civil Engineering, Vol. 162, August 2009, pp. 136–143
3. Hughes, J., Yan, J., Soga,. K, “Development of wireless sensor network using bluetooth low energy (BLE) for construction noise monitoring,” International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 2015, Vol.8, No. 2, pp.1379-1405
4. Sigfox。https://www.sigfox.com/en

附錄

一、期初會議記錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	答覆辦理情形
1.	LoRa 之可能功能與限制宜詳加一一檢測，以作為規範值，利於檢驗、運用之。	謝謝委員意見，將於期末整理後列出。
2.	場址實驗之天狀況宜選擇各種惡劣天氣狀況實施之。	謝謝委員建議，將持續選擇各種惡劣天氣狀況實施
3.	P5 發送與接收強度要測多久才能算穩定，請補充說明。	由於發送與接收強度變化大，故計畫後期加入漏失率之評估方式。
4.	LoRa 功耗較低但最後仍有可能要傳上雲端而功耗可能考量較多；另橋接是否也會或由兩個接收端上。	傳上雲端的 Gateway 端功耗確實較多；橋接機制為一收一發，功耗較低。
5.	P30 野外無法通視相距不同是否有影響或直接穿透式；另橋接之標準作業方式可寫成準則。	野外無法通視與相距不同確有影響；另橋接之標準作業方式將於多次試驗後歸納成果並寫成準則。
6.	本年度預計以直接架設通訊設備於現場，用來因應在豪雨期間之傳輸能力，其進展為何?	已完成現地儲存模組之開發，預計於近期內至現場架設。
7.	本年度針對低耗電迴路之設計其進展為何?	正在進行中。
8.	影響資料 1oss 及 loss 形式(整段或分散 loss)之主因為何?如何有效改善資料 loss 之問題?	初步推估與通訊器材內部之震盪器作動有關，目前尚無定論，將持續研究。

9.	NB-IoT 跟著 4G 基地台走且資料 LOSS 較低，似乎是未來較佳的選擇，請本研究提出具體比較與建議。	NB-IoT 雖然跟著 4G 基地台走且資料 LOSS 似乎較低，然而受限於並非所有基地台都可供 NB-IoT，且 NB-IoT 之耗電量較高，仍需進一步評估。
10.	建議選同一示範區，同時使用不同系統，NB-IoT、LORA...等，進行各種效能之測試與分析比較，並提出具體建議。	謝謝委員建議，將於同一示範區進行不同系統之測試。
11.	報告書 28 頁中，圖表呈現方式建議加上 X.Y 軸座標名稱，並可加上如簡報中之註解，以利讀者明瞭此三種資料漏失分布趨勢。	謝謝委員建議，已修正。
12.	報告書 30 頁中，提及出水溪的訊號發射處與接收處無法通視，卻可獲得良好且穩定之訊號傳輸，與一般理解之理想狀態較不相符，建議可詳細說明此處良好、穩定傳輸之原因。	將於現地再次試驗後，於期末階段提出。

二、期中會議記錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	答覆辦理情形
1.	報告封面時間有誤。	感謝委員，已修正。
2.	p11 寫法上請統一”LoRaWAN”” LoRaWAN”。	感謝委員，已修正，統一以LoRaWAN 表示。
3.	p13 寫法上請統一”IoT””IoT”	感謝委員，已修正，統一以IoT 表示。
4.	p27 與 30 中 SNR 數值如何對比。	感謝委員，SNR 僅能定性描述，無法定量(制定門檻)分級。
5.	p34 倒數第二段最後一行敘述有誤；應在補充說明開發與替帶方式的效率及技術層次差異，作為未來研發的參考。	感謝委員，該文字為誤植，已修正為「文獻」。並已補充開發與替帶方式的效率及技術層次差異。
6.	p47 阿里山的雨量已有其他監（觀）測，應該說明是中游或更廣域的資料整合。	感謝委員，本年度已進行中繼站測試，將於未來安排中游或更廣域的資料整合研發。
7.	本技術還是有相當的漏失率應可繼續討論。	感謝委員，會持續研發降低漏失率方法。
8.	有關本案相關資通訊研發成果，在實際運用於本局相關坡地土砂觀測設備的通訊傳輸上，在場域環境、基地台通訊品質及設備電力供應上等如何做通盤的規劃，請說明。	感謝委員，在實際運用於本局相關坡地土砂觀測設備的通訊傳輸上，在場域環境、基地台通訊品質及設備電力供應上等做通盤的規劃方式，預計於下年度計畫完成。

三、期末會議記錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	答覆辦理情形
1.	中繼站之位置挑選方式，如何降低影響漏失率。	中繼站之位置挑選方式為找出對發射站、接收站間相互傳輸品質最佳處設置。
2.	增益天線會否因設置之方向性，造成接受不到訊號之原因，再請團隊研究。	由於目前研究所採用之增益天線皆為全向性，設置之方向性所造成之影響將於未來持續探討。
3.	NB-IOT 目前使家 4G、sim 卡是否有分析目前各家電信業者的傳輸是否有差異。	NB-IOT 採用之 SIM 卡需針對已開台之電信業者，因此尚無法比較，將於未來持續探討。
4.	廬山分析潛勢為「低」與一般社會大眾有落差，不知是否與取樣的數量有關呢？	廬山分析潛勢非本研究之探討範圍。
5.	資料傳輸中斷是常見情形，研究降低漏傳、漏接的確是迫切的狀況，值得進一步探討。	謝謝委員指教與支持。
6.	建置坡地防災監測系統有效訊號傳遞，一直是防災技術重要關鍵，爰此克服訊號干擾，加設中繼站接收器外，是否就可解決資料漏失程度。	以今年度之成果顯示加設中繼站接收器可降低資料漏失程度，預期增加中繼站密度應可解決資料漏失程度問題，將於未來持續探討。
7.	資料漏失有那些原因是可以克服？那些是需要研究瞭解？。	依兩年研究成果推估氣候與植被影響最大，將於未來持續探討。
8.	部分現場點位資料漏失率	謝謝委員建議與支持。

	較高，建議完整分析找出可能的原因，並提出未來現場架設時之規範。	