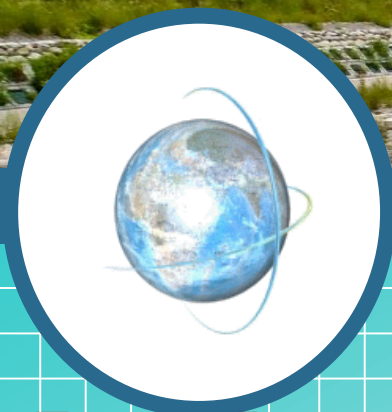




行政院農業委員會水土保持局

Soil & Water Conservation Bureau, COA



耗材式無線測距儀之研發與應用

Development and Application of Disposable Type Wireless Range Finder

執行單位：逢甲大學

執行期間：106年02月20日至106年12月31日

計畫主持人：林秉賢 研究助理教授

計畫編號：106保發-11.1-保-01-06-001(14)

SWCB-106-069

計畫緣起及目的



鑑於莫拉克風災超大豪雨事件所引發的複合型土砂災害，除了針對特定土砂災害類型進行區域性地形地質調查、地球物理探測、危害度與脆弱度之風險評估及相應的調適對策外，發展大規模崩塌地、土石流潛勢溪流、表層土壤沖蝕、溪流水情等環境細微變遷之監測技術，已成為防減災之重點工作。

山坡地部分環境條件並非良好，例如電力、傳輸、潮濕、蟲害、…等問題皆嚴重影響監測儀器的正常運作，尤其是將價格昂貴的儀器設備置於荒郊野外，不僅防盜不易，且因環境不穩定，容易遭到外力影響而破壞。於是，發展省電、價廉且多種應用功能之監測儀器，就成為山坡地水、砂環境監測的重點工作之一。

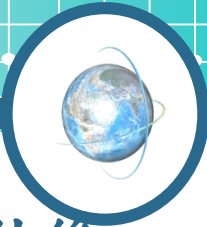
預期成果



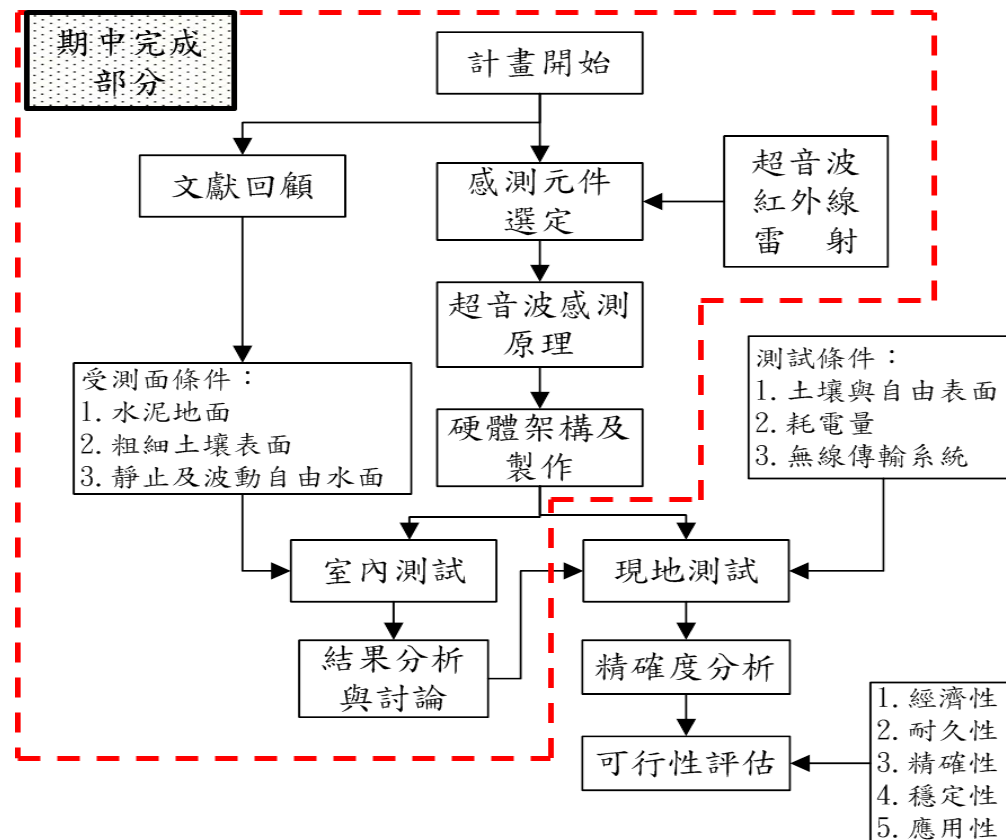
1. 通過**無線傳輸方式**立即將坡面表層土壤侵蝕深度之動態數據予以回傳。
2. 數據提供溪流沖淤演算用途外，亦能配合雨量觀測數據作為建立集水區水文模型之依據。
3. 提出超音波測距儀應用之可行性評估。



工作執行步驟



首先比較超音波、雷射及紅外線等感測裝置之適用性經評估後，本計畫係採用**超音波**作為測距的主要元件。接著蒐集超音波感測之相關原理，進而完成超音波測距儀之內部組成、電路設計和硬體製作。完成後，即著手規劃室內及現地之相關**測試**工作。



文獻回顧-土壤侵蝕



土壤侵蝕深度量測

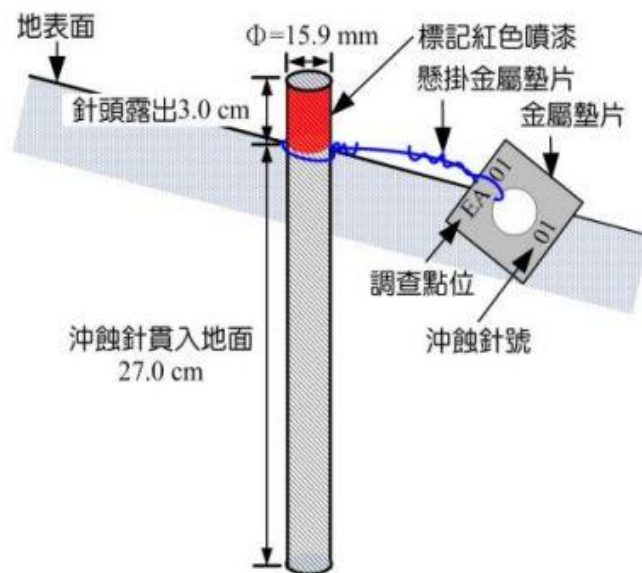
土壤侵蝕係指通過風力、重力、水力、…等各種外營力的作用，導致土壤產生分離剝蝕、搬運及沉積的綜合過程，丈量法是用鋼卷尺直接量測觀測點的侵蝕厚度。雖然是最原始的方法，但也是很有效的研究方法，且理論上成熟。例如傳統的**侵蝕針法**（erosion pins）、**鐵釘法**（或竹筷法），通過實踐證明都是有效的研究方法。而侵蝕針法是將細長光滑的金屬杆（測針或測釘）插入坡面或溝谷底部，觀察測針出露或埋淤的高（深）度，推算出坡面、溝床沖、淤侵蝕程度。



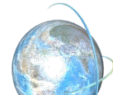
文獻回顧-土壤侵蝕



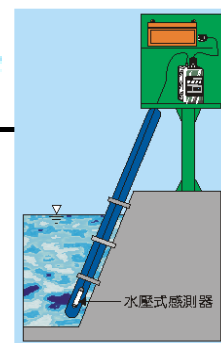
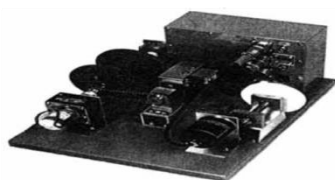
但無論大小尺寸及以何種材料製成的侵蝕針及其改良形，使用時須將其直接插入土壤表面，除了會破壞原有地面土壤的物理性質外，也會干擾表面逕流路徑等，對於土壤侵蝕量的估算均會有所影響。所以測針盡可能細小光滑，但要有一定強度，不被彎曲或折損，以減少阻力和避免掛淤污物。測針長度視剝蝕（淤積）情況決定，一般為十幾釐米到幾十釐米，有的1.0m以上。



文獻回顧-水位計比較



儀器名稱	量測型式	優點	缺點	適用性
浮筒式	接觸式	1. 精確度高 2. 可於水位塔鋼管設置水尺，做為現場水位校檢 3. 故障率較低	1. 易受淤砂與洪水破壞 2. 水位變動劇烈時，易使鋼索脫落而中斷觀測	1. 機械式 2. 量測範圍 3~20m 3. 需固定於不易移動的水位塔上
電極觸針式	接觸式	1. 結構簡單 2. 易維修	1. 水位若變動過大之區域量測較不準確	大多用於水井水位判讀，且電極觸針之特性，適用於較小管徑之測量。
壓力式	間接量測	2. 可抗酸性腐蝕 3. 靈敏度高 4. 穩定性好 5. 可佈置多測點	1. 用於水工模型可能會出現負壓 2. 受水面高度、溫度、鹽度、大氣壓及淤積泥砂的影響，需作水溫及氣壓校正	1. 量測範圍 200m 2. 可用於海水環境
超音波式	非接觸式	可隨河床水流變化，移動探頭位置	觀測結果易受環境的干擾	1. 量測範圍 11m 2. 需要較大的電力
雷達波式	非接觸式	1. 精確度高 2. 較不受溫度、風與水氣影響	成本高，不易維護	量測範圍 30m



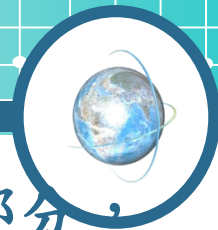
文獻回顧-邊坡位移計比較



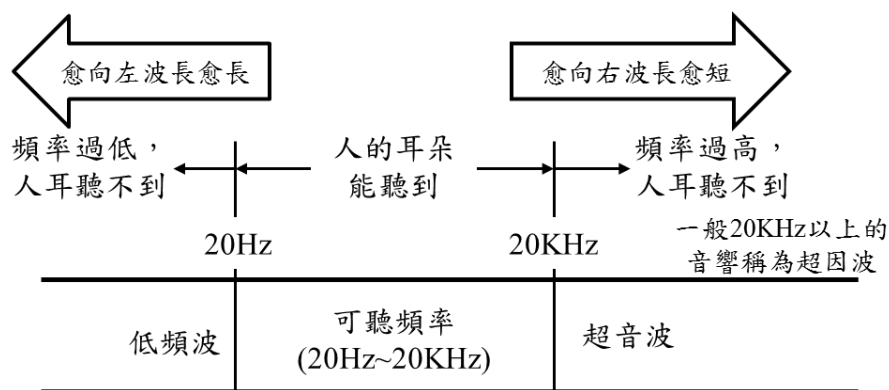
儀器名稱	物理量	適用性	常見監測方式
插入型傾斜儀 (Inclinometer)	邊坡水平位移量	○	M
定置型孔內傾斜儀 (In-Place Inclinometer)	邊坡水平位移量	□	A
地表伸縮計 (Surface Extensometer)	地表相對位移量	○	M、A
孔內伸縮計 (Borehole Extensometer)	邊坡相對位移量	□	A
地表傾斜計 (Surface Tiltmeter)	地表傾斜量	○	M、A
地錨荷重計 (Anchor Load Cell)	地錨預力	○	M、A
裂縫計 (Crackmeter)	裂縫寬度變化量	□	M、A
水位觀測井 (Water-level Observation Well)	地下水位	○	M、A
水壓計 (Piezometer)	地下水壓立	○	M、A
流量計 (Flowmeter)	地下水流量	□	A
雨量計 (Rain gauge)	降雨量	○	A
液位計 (Level meter)	河溪水位	×	A
鋼索感測器 (Steel Wire Sensor)	鋼索完整性	×	A
地聲感測器 (Geophone Sensor)	聲波	×	A

○：經常使用；□：偶而使用；×：甚少使用；A：自動監測；M：手動監測

文獻回顧-超音波感測原理



聲音為空氣的疏密波(即由空氣的分子密集而呈壓力高的部分，和相反地呈疏鬆而壓力低的部分交替出現所振動的音波)，因個人而有所差別，然人類的耳朵所能聽見的最大限度不出**20~20KHz** 左右之範圍，而**超音波感測器**所使用的頻率約介於**20Hz至45KHz**之間。頻率低的超音波所能達到的距離較遠，但容易受空氣中的雜質所干擾；反之，頻率升高，其能達到的距離縮短，但不易被空氣中的雜質所干擾，故以頻率20Hz 至45KHz為最佳頻率範圍。



	電壓正效應	電壓負效應
說明圖		
原理	1.壓電振盪元件的分極方向，由力與元件端子的出力極性來決定 2.壓-電效應	1.壓電振盪元件的分極方向和輸入壓電的極性有關，而振盪元件的伸縮方向由外加電壓力來決定 2.壓-電效應
用途	1.壓電振盪元件 2.超音波接收器	1.壓電振盪用 2.高頻用振盪元件 3.超音波發射器

文獻回顧-超音波測距原理



超音波測距所使用的原理均應用一種所謂的「山彥現象 (mountain yan phenomenon)」，即將**超音波脈衝射向受測物體**然後計測從受測物體反射回來的**反射波到達的時間**，以距定**感測器與受測物體間之距離**。此種方式的應用對象，除了在空氣中使用之外，亦可用於固體及液體之中，代表性的應用如水深測定、水位測定或金屬表面與損傷處之間距離測定。

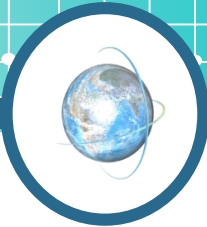
音波的傳播速度是頻率與波長之乘積，音波傳播速度非常緩慢，約為340m/s。

而超音波在空氣中傳播速度為 $=331+ 0.6t$ ，因此超音波行走 1.0cm 反射回來所需時間公式為

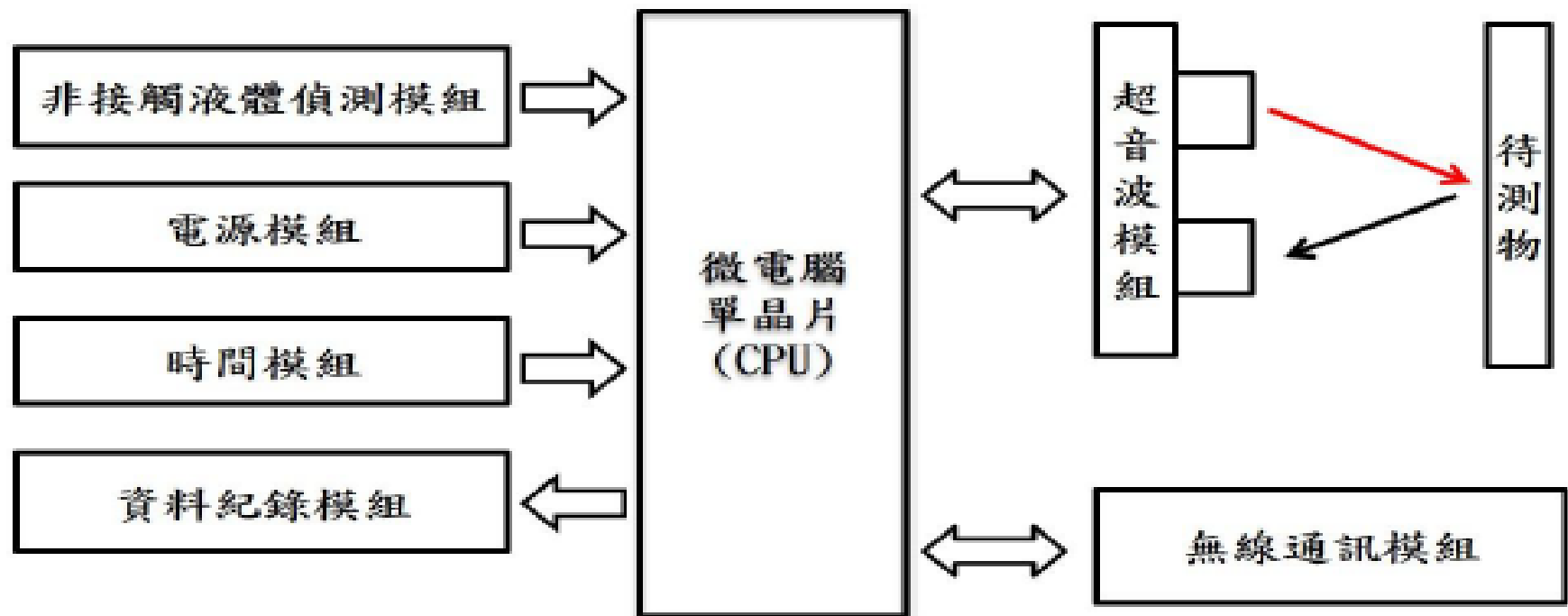
$$T = \frac{2}{(331 + 0.6 \times 23) \times 100} = 58 \mu s$$

因此只要計算超音波發射到接收到折返波之時間除以 $58 \mu s$ ，其商數就等於測量的距離。

測距儀硬體設計與製作



本計畫研發之超音波測距儀係由微電腦單晶片(CPU)、超音波感測器(含發射與接收電路)、無線通訊模組、資料紀錄器及非接觸液體偵測器、電源模組、時間模組等整合而成。

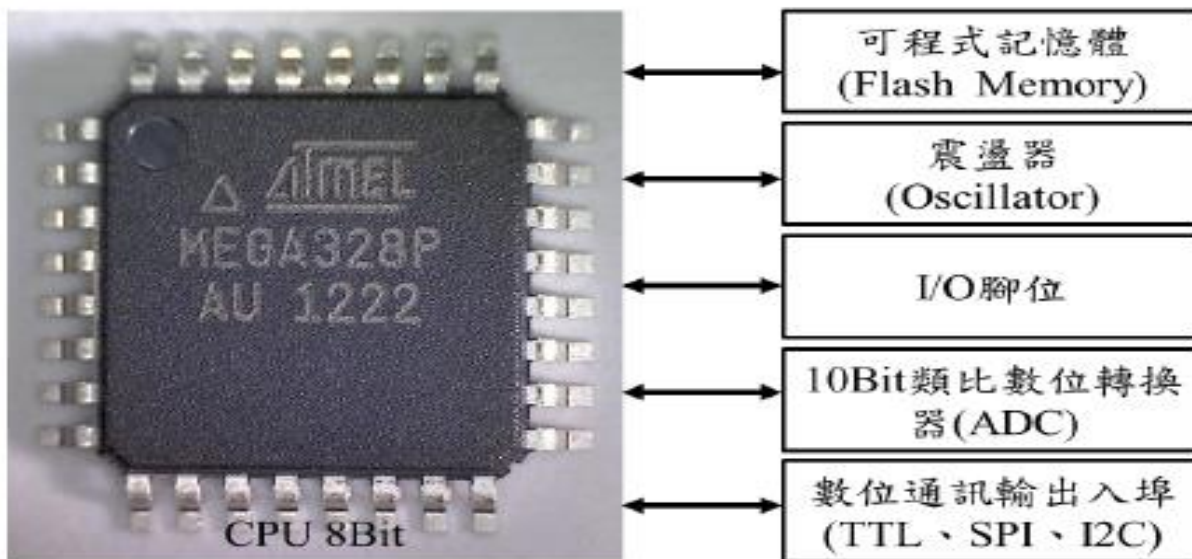


測距儀硬體設計與製作



微電腦單晶片(CPU)

本計畫超音波測距儀控制晶片係採用Atmel公司製造之ATmega328P-AU微電腦單晶片。單晶片是測距儀的核心元件，此控制器是由一個8位元的CPU組成，並具備I/O腳位、類比數位轉換器(ADC)與數位通訊輸出入埠。

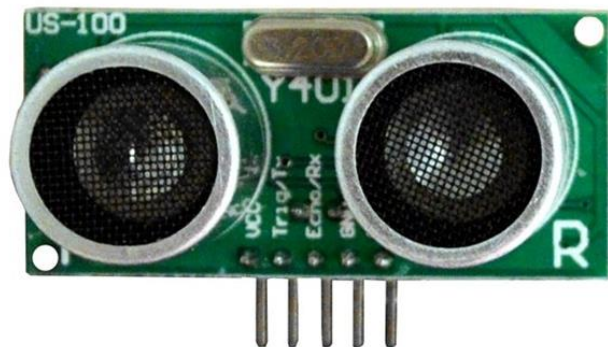


測距儀硬體設計與製作



超音波模組US-100

超音波模組是採用IO觸發測距，給至少10us的高電平信號；模組自動發送8個40khz的方波，自動檢測是否有信號返回；有信號返回，通過IO輸出一高電平，高電平持續的時間就是超音波從發射到返回的時間。**偵測範圍300mm-40,000mm**

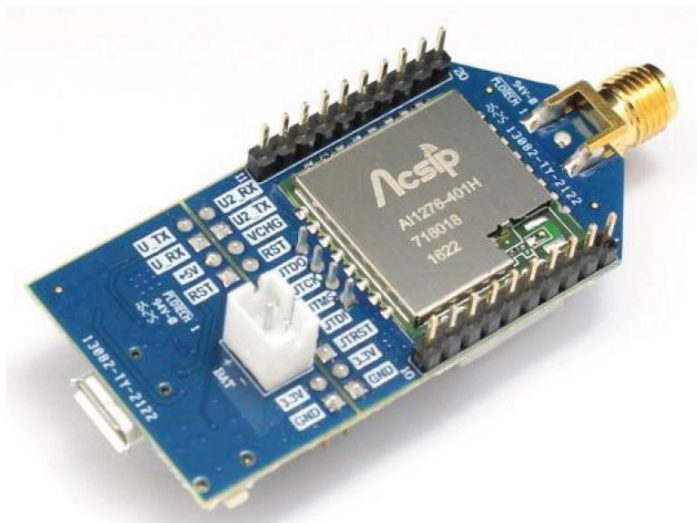


測距儀硬體設計與製作



無線通訊模組

在不利布線之環境下，為能收集資料與傳輸就必須考慮使用無線通訊。無線通訊頻段有433MHz、915MHz、2.4GHz等，而本計畫使用之無線通訊為**915MHz之LORA通訊模組**，具有節能、體積小與**3公里**無通視之優越傳輸性能。



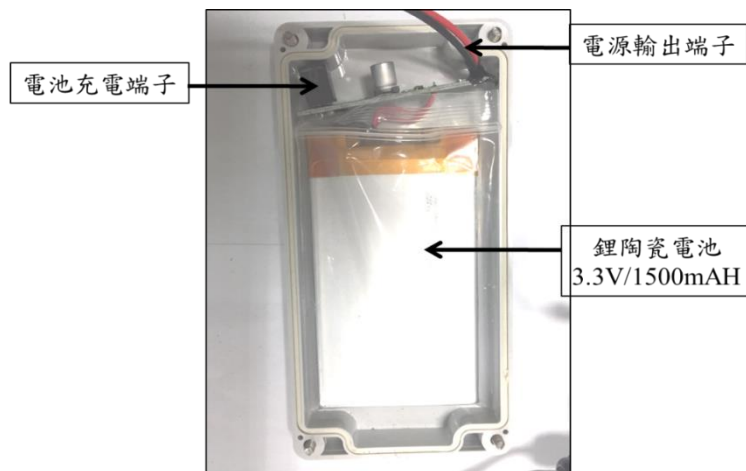
關鍵特徵	優勢
157db 鏈路預算	遠距離距離 > 15km
最小的基礎設施 成本	易於建設和布置，使用網關/集中器擴展 系統容量
電池壽命	>10 年，延長電池壽命接收電流 10mA，
	休眠電流 < 200nA
頻段	免牌照的頻段
基礎設施成本	低成本，低節點/終端成本低

測距儀硬體設計與製作



鋰陶瓷電池之電源模組

鋰電池大略分為”聚合物鋰電池”與新型”鋰陶瓷電池”，而目前市場較易取得聚合物鋰電池，規格多、瞬間放電卓越且售價較低，但液態物質的聚合物鋰電池在穿刺、壓褶、短路與浸水等狀況下均會產生高溫**膨脹或爆炸**，較不適合長時間戶外放置。因此，本計畫選擇”鋰陶瓷電池”屬於固態物質，雖然在瞬間放電與價格上較不優越，但在故障時皆不會產生過熱或爆炸狀況屬於較安全的電源。容量:2000mAH 尺寸:60x105x4.3mm



測距儀硬體設計與製作



非接觸液體感測器

本計畫採用xkc-y25-v非接觸液體感測器來判別環境是否下雨，以控制偵測間隔時間及使用頻率，達到節能之目的。



- 1.高穩定性，高靈敏度，剛干擾能力强，不受外界電磁干擾，針對工頻干擾及共模干擾有做特殊處理，以兼容市面上所有的5~24V電源適配器。
- 2.强大兼容性，穿透各種非金屬材質的容器，如塑料、玻璃、陶瓷等容器，感應距離可達12mm以上；液體、粉末、顆粒物均可檢測。
- 3.開集電極輸出方式，電壓範圍寬（5~24V），適合連接各種電路及產品應用。

測距儀硬體設計與製作



測距儀特點

- (一)體積小，易於攜帶搬運及現地安裝。
- (二)降雨起動電源裝置，極為省電。
- (三)全自動觀測，現地儲存功能，且能實時無線傳輸擷取數據。
- (四)單一主機，具有1-3組超音波感測器，可以同時觀測1-3處之距離變化。
- (五)有效測深達4.0m，誤差，最小誤差可達1.0mm。
- (六)量測元件價格低廉完整裝置，可控制在0.5萬元以下。
- (七)其他，包括溫度補償、時間記錄、防水潑裝置等功能。

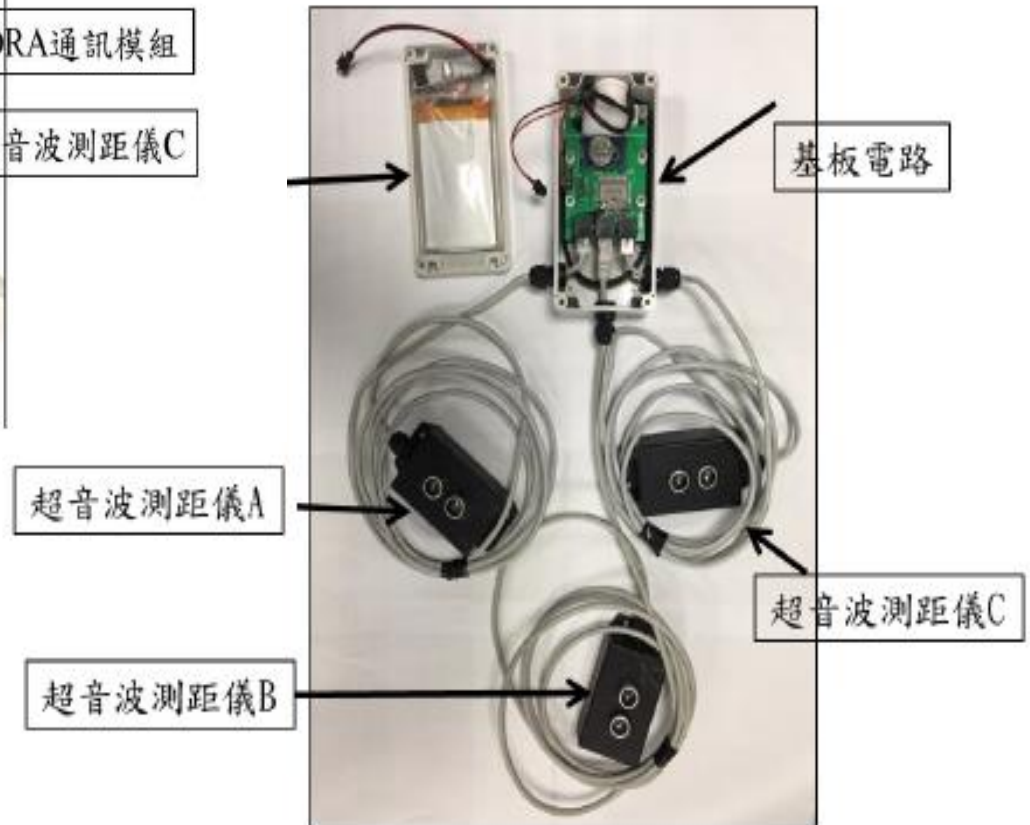
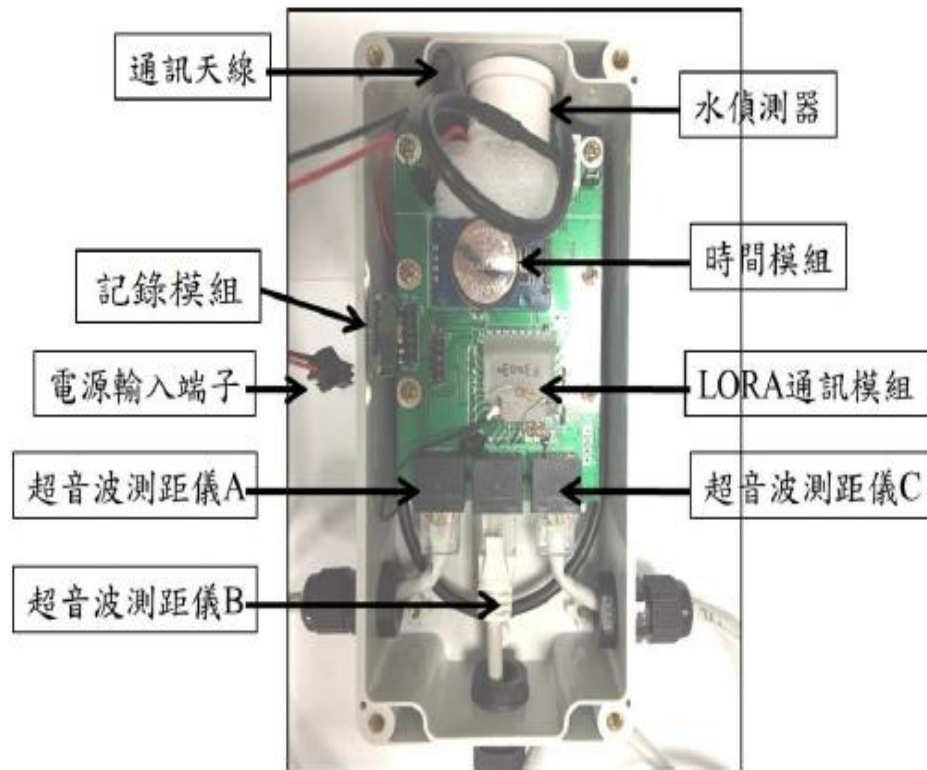
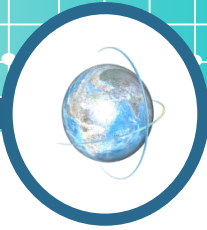


超音波感測器

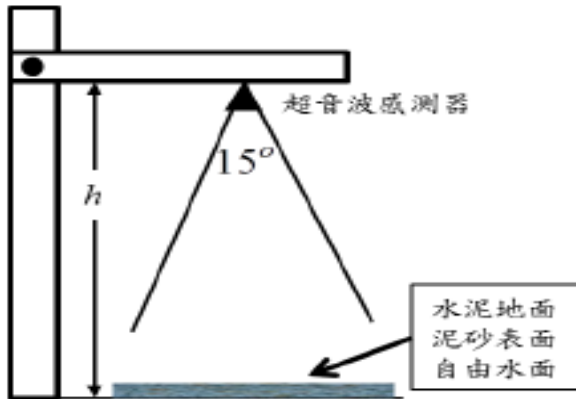


控制箱

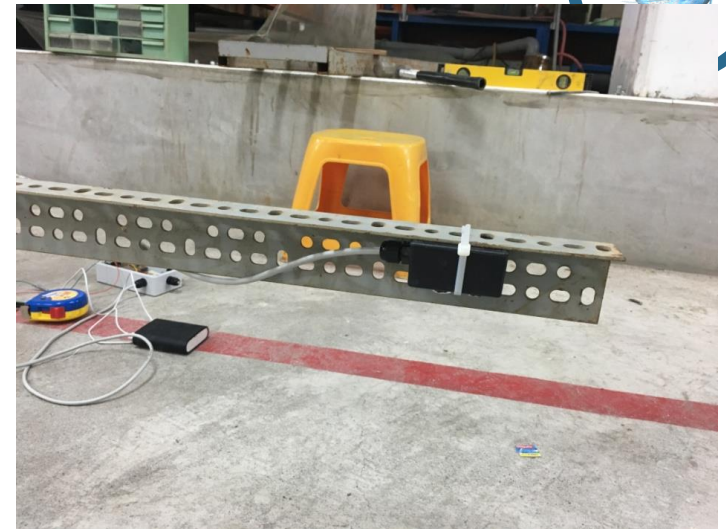
測距儀硬體設計與製作



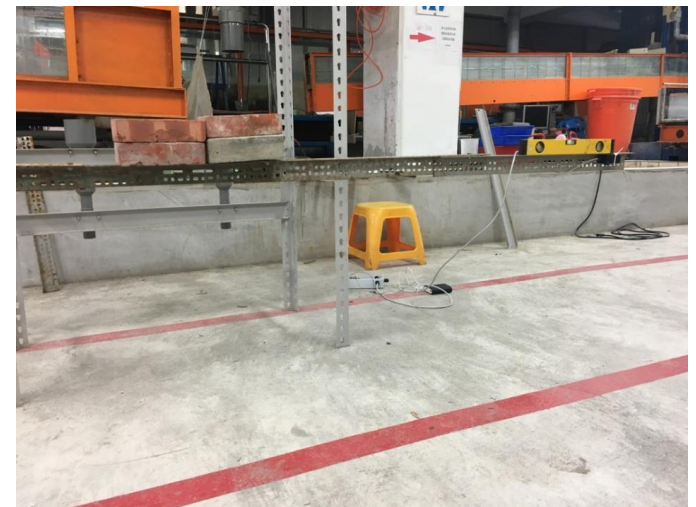
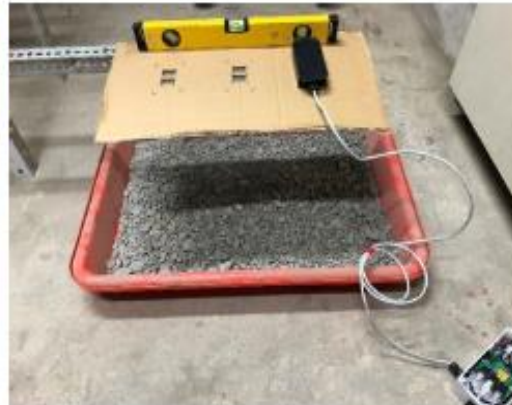
水泥地面測試數據



受測面條件	超音波感測器與受測面間距 (mm)		
	295-310	490-500	985-1020
水泥地面	●	●	●
細顆粒泥砂表面	●	●	●
粗顆粒泥砂表面	●	●	●
起伏狀細顆粒泥砂表面	●	●	●
靜止狀自由水面	●	●	●
波動狀自由水面	●	●	●

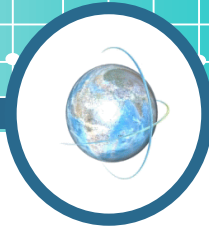


超音波感測模組



水泥地面量測

水泥地面測試數據



受測面	組數	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)
水泥地面	1	295	295	0	0	490	487	-3	0.60	980	981	+1	0.10
	2		295	0	0		487	-3	0.60		980	0	0
	3		294	-1	0.3		490	0	0		984	+4	0.40
	4		295	0	0		488	-2	0.40		981	+1	0.10
	5		295	0	0		489	-1	0.20		980	0	0
	6		295	0	0		490	0	0		980	0	0
	7		296	+1	0.3		488	-2	0.40		981	+1	0.10
	8		295	0	0		487	-3	0.60		980	0	0
	9		295	0	0		490	0	0		979	-1	0.10
	10		295	0	0		490	0	0		981	+1	0.10

自由水面測試數據



受測面	組數	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)
靜 止 狀 自 由 水 面	1	295	294	-1	0.34	490	490	0	0	1020	1020	0	0
	2		295	0	0		490	0	0		1020	0	0
	3		295	0	0		490	0	0		1021	+1	0.20
	4		295	0	0		490	0	0		1021	+1	0.20
	5		298	+3	1.00		493	+3	0.60		1020	0	0
	6		295	0	0		491	+1	0.20		1020	0	0
	7		295	0	0		493	+3	0.60		1022	+2	0.40
	8		296	+1	0.34		493	+3	0.60		1020	0	0
	9		295	0	0		493	+3	0.60		1022	+2	0.40
	10		295	0	0		490	0	0		1020	0	0

自由水面測試數據



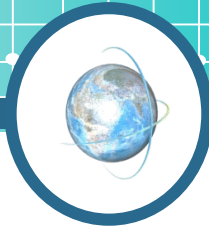
受測面	組數	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)
坡 動 狀 自 由 表 面	1	295	304	+9	3.05	490	490	0	0.00	1020	1020	0	0.00
	2		296	+1	0.34		495	+5	1.02		1020	0	0.00
	3		310	+15	5.08		488	-2	-0.41		1020	0	0.00
	4		294	-1	-0.34		494	+4	0.82		1023	+3	0.29
	5		301	+6	2.03		490	0	0.00		1020	0	0.00
	6		304	+9	3.05		487	-3	-0.61		1020	0	0.00
	7		300	+5	1.69		493	+3	0.61		1020	0	0.00
	8		304	+9	3.05		487	-3	-0.61		1022	+2	0.20
	9		295	0	0.00		495	+5	1.02		1024	+4	0.39
	10		291	-4	-1.36		490	0	0.00		1020	0	0.00

泥砂表面測試數據



受測面	組數	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)
細 砂 表 面 (#50)	1	300	300	0	0.00	495	495	0	0.00	985	985	0	0.00
	2		300	0	0.00		495	0	0.00		986	+1	0.10
	3		299	-1	0.33		498	+3	0.61		985	-0	0.00
	4		300	0	0.00		496	+1	0.20		986	+1	0.10
	5		300	0	0.00		497	+2	0.40		988	+3	0.30
	6		300	0	0.00		498	+3	0.61		986	+1	0.10
	7		300	0	0.00		496	+1	0.20		985	0	0.00
	8		300	0	0.00		495	0	0.00		986	+1	0.10
	9		299	-1	0.33		498	+3	0.61		985	0	0.00
	10		300	0	0.00		498	+3	0.61		985	0	0.00

泥砂表面測試數據



受測面	組數	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)
粗 砂 表 面 (#4)	1	310	310	0	0.00	500	500	0	0.00	995	995	0	0.00
	2		310	0	0.00		503	+3	0.60		996	+1	0.10
	3		310	0	0.00		502	+2	0.40		999	+4	0.40
	4		310	0	0.00		503	+3	0.60		995	0	0.00
	5		310	0	0.00		503	+3	0.60		995	0	0.00
	6		310	0	0.00		500	0	0.00		999	+4	0.40
	7		310	0	0.00		503	+3	0.60		999	+4	0.40
	8		310	0	0.00		503	+3	0.60		999	+4	0.40
	9		310	0	0.00		502	+2	0.40		995	0	0.00
	10		310	0	0.00		500	0	0.00		995	0	0.00

泥砂表面測試數據



受測面	組數	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)	實際值 (mm)	測定值 (mm)	誤差值 (mm)	誤差 (%)
起伏細砂表面 (#50)	1	300	299	-1	0.33	495	495	0	0.00	985	984	-1	-0.10
	2		300	0	0.00		498	+3	0.61		987	+2	0.20
	3		300	0	0.00		496	+1	0.20		984	-1	-0.10
	4		300	0	0.00		498	+3	0.61		984	-1	-0.10
	5		300	0	0.00		497	+2	0.40		984	-1	-0.10
	6		300	0	0.00		495	0	0.00		984	-1	-0.10
	7		300	0	0.00		498	+3	0.61		985	0	0.00
	8		300	0	0.00		498	+3	0.61		983	-2	-0.20
	9		300	0	0.00		498	+3	0.61		984	-1	-0.10
	10		300	0	0.00		495	0	0.00		984	-1	-0.10

泥砂表面測試數據



泥砂表面量測

電力續航力測試

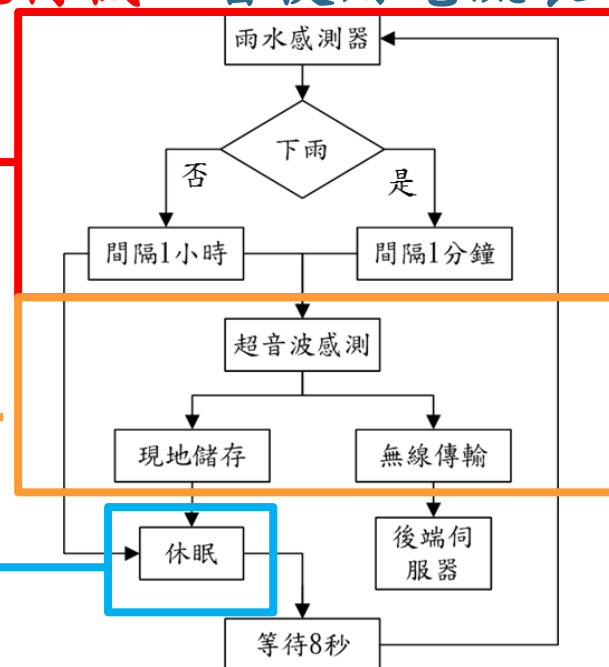


電力續航力測試

為測試電池連續供應設備運作時間，在”偵測運算程式區”、“環境偵測程式區”與”低耗能待機”皆使用電流表進行每分鐘運作的耗能量測。

程式運作區	電壓	消耗電流	耗時
環境偵測程式區	4v	15mA	1sec
偵測運算程式區	4v	17mA	6.5sec
低耗能待機	4v	2mA	52.5sec

60sec完成

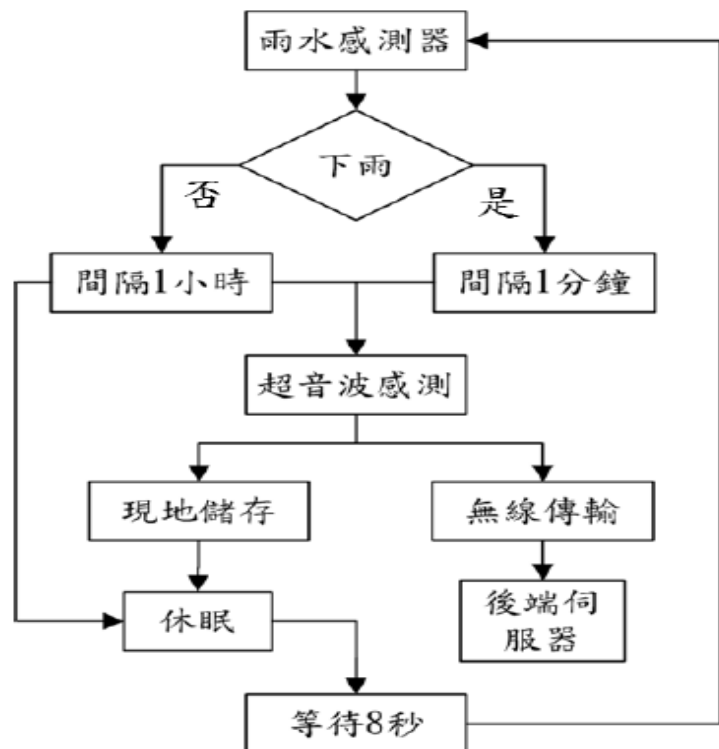


本計畫以理論方式進行初步估算電力續航能力。進由焦耳定律進行作功的計算，即

$$W = P t = V I t$$

W=熱量(焦耳)； P=熱功率(瓦特)； V=電壓； I=電流(安培)； t=時間(秒)

電力續航力測試



本計畫規劃使用1500mAh鋰電池，而1500mAh定義為1500mA放電1小時等於1500mA放電3600s，然而為防止過度放電與老化則取20%保留容量僅使用80%，電池的功為：

$$W = V I t = 4v \times 1500mA \times 3600sec = 21600J$$

因僅使用80%能量，則電鋰池 $W = 21600J * 80\% = 17280J$

項目	筆/1 min	筆/5 min	筆/10 min	筆/1.0 hr	筆/24 hr
電力持續時間(天)	13	21	22	24	24.9
記憶容量(2G)		362kB	181kB	34kB	1.494kB

電力續航力測試



(一)偵測運算程式區耗能估算

$$W_1 = V I t = 4v \times 17mA \times 6.5sec = 0.442J$$

(二)環境偵測程式區耗能估算

$$W_2 = V I t = 4v \times 15mA \times 1.0sec = 0.06J$$

(三)低耗能待機耗能估算

$$W_3 = V I t = 4v \times 2mA \times 52.5sec = 0.42J$$

程式運作區	電壓	消耗電流	耗時
偵測運算程式區	4v	17mA	6.5sec
環境偵測程式區	4v	15mA	1sec
低耗能待機	4v	2mA	52.5sec

(四)每分鐘總耗能為

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 = 0.442 + 0.06 + 0.42 = 0.922J$$

由上式得知，電池可使用能量為**21600J**，而每分鐘運作下耗能為**0.922J**，故1顆1500mAH電池可以供應超音波測距儀**18,741**分鐘，約**13天**。

現地測試



機構的架設

以圓柱式體將偵測器向外延伸20公分，兩組設備皆布置於裸露且坡度約28-35度的坡面上，而測距儀距地面高度 = 25mm，進行量測。

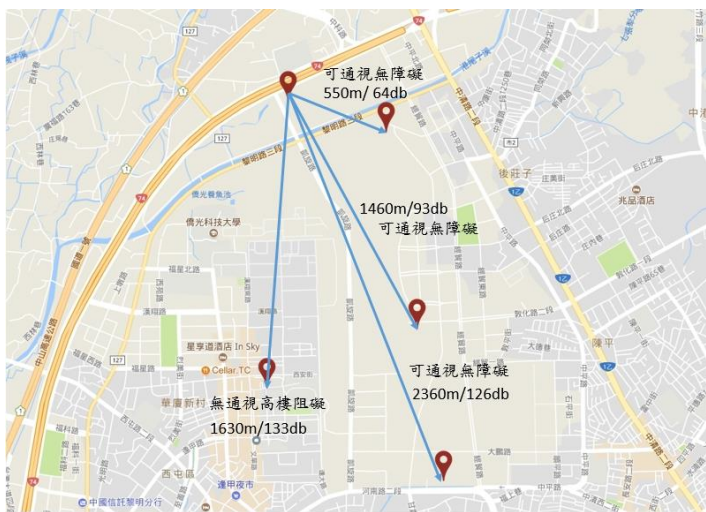


現地傳輸測試

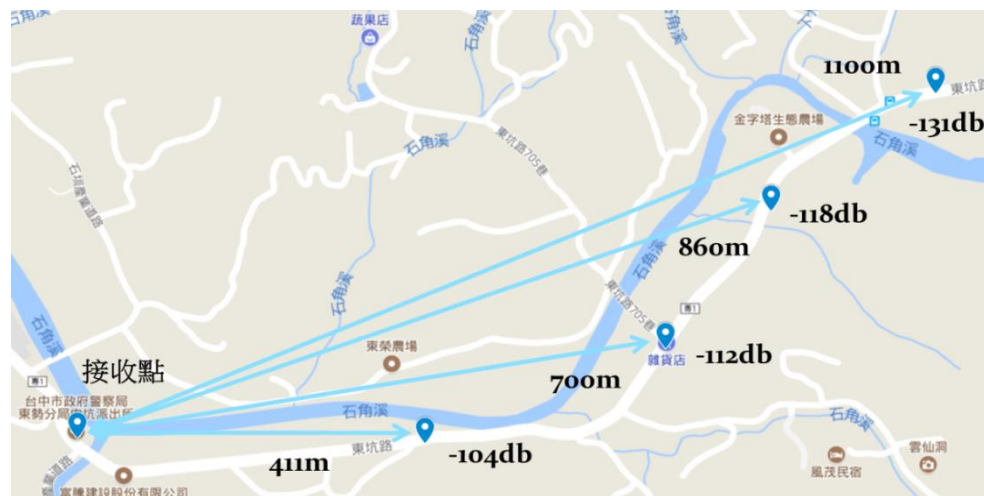


LoRa傳輸距離測試

短天線部分：採用1db短天線進行訊號傳輸測試。結果顯示，在平地通視時，距離2360m時，訊號強度約達126db，在有房舍阻礙時，距離在1630m時，訊號強度約達133db。在山區，測試距離達1,100m時，訊號強度約達131db，仍在理論值157db以內，惟考量雨衰因素，故保守地採用1,100m作為傳輸限界值。



平地通視測試



山區測試

現地傳輸測試

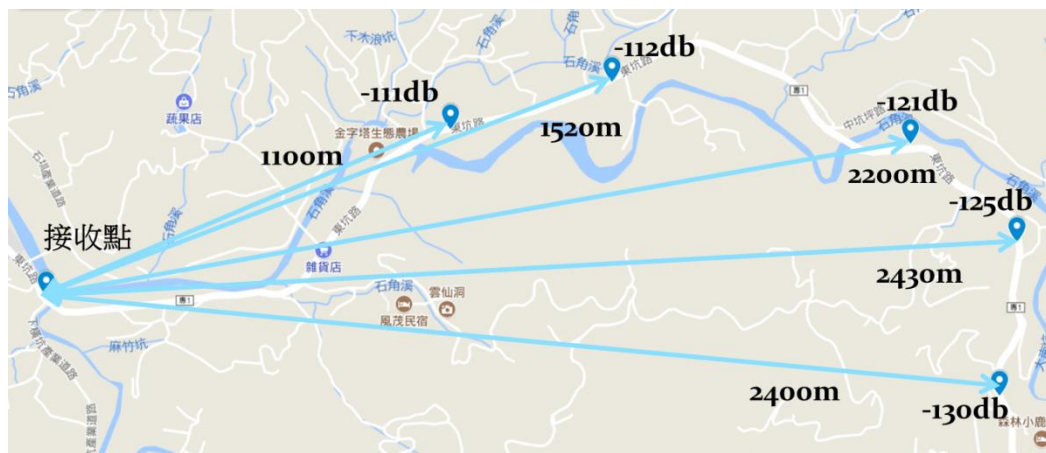


LoRa傳輸距離測試

長天線部分：在五權路市區測試距離達4,360m時，訊號強度約達134db，幾乎無法傳輸與遺漏通訊封包。但在距離3,360m時，訊號強度約達123db，通訊仍要視周邊屏障而定。在山區時，距離達2,400m時，無訊號強度約達130db，顯示長天線條件下，LoRa無線傳輸距離可達2,400m。



市區測試



山區測試

可行性評估



一、經濟性

本計畫研發之測距儀成本應不超過10,000元，此單價在非侵入性量測儀器上具有很高的競爭力。

二、耐久性：

一般，測距儀外殼保護裝置是耐久性的關鍵，惟它與成本相關；較佳的外殼保護裝置，耐久性愈佳，但其成本愈高。因本計畫旨在研發耗材式的無線測距儀，故擬以使用1-2年的製作分案，進行測距儀外殼保護裝置之配置。

可行性評估



三、穩定性：

依據本計畫採用915MHz之LORA通訊模組，屬於應用相當廣泛的一種無線通訊模組，其穩定性亦相當高。

特性	自設纜線	租用電信專線	區域無線	無線定頻	GPRS
特徵及優先考量	設施簡單、免通訊月費、持續傳訊	距離地形限制小線路維護外付	設施簡單、免通訊月費、間歇傳訊	距離可遠、不受外部系統影響、間歇傳訊	設施靈活易移動，易遠端改設模式
適用場合	監控站週邊	遠端特偵測定點	監控站週邊拉纜線不便者	流域內上下游間連線用	通用化測站
通信月費	--	月費NT\$900	--	--	月費NT\$300~900
適用距離	距離以內	數十km	距離以內	、可增中繼	偏遠山區除外
維護成本	不定	低	低	中	中
受災影響	高	高	低	低	中
不利事項	測點至測站間，部份纜線之埋架設不易，中間纜線故障須自理	須付通訊月費，外部纜線故障之事件難掌握，傳訊站須獨立電源	區域內傳訊站數量有限制(至多8或16點同時傳入)	須專案申請電信頻率，設備來源或維護廠商受限	持續耗電量較大，特殊事故時有通信網壅塞問題

可行性評估



四、精確性：

根據室內測試結果得知本計畫研發測距儀之量測精確度已達1.0mm，惟可能受到受測面性質及外在環境之干擾，它的量測值會呈現上下跳動趨勢，對受測面較小的波動變化，這種跳動幅度可能會產生比較大的誤差，應盡量克服減少外在干擾。

五、應用性：

根據以往應用經驗，本計畫研發之測距儀不僅可以應用於土壤沖蝕深度及水位量測，亦能應用於地表裂縫、位移及土石流鋼索感測等；此外，在倒車雷達、工業控制、建築測量、機械人定位等方面也得到廣泛的應用。

雖然測試仍在持續進行，但以目前研發的初步成果來看，本計畫研發之耗材式無線測距儀，其可行性甚高。不過，尚有若干關鍵包括無線傳輸性能、耗電量及其精確性等都需要逐一克服。

結論與建議



結論：

- 一、已研製完成之超音波測距儀原型機。
- 二、經室內測試結果，超音波測距儀在各種受測面條件之精確度及解析度均能符合應用面之需求。其中，精確度皆在1.0%以下，而解析度可以達到1.0mm。
- 三、初步測試本計畫研製之超音波測距儀可以應用於坡面土壤沖蝕深盜度及水位量測。
- 四、已研製完成之超音波測距儀成本控制在10,000元以下，符合耗材式量測設備的基本要求。

結論與建議



建議：

不過，受限於超音波特性和其對環境溫度具有較高的敏感度，容易受到溫度的改變而使基準點漂移，從而產生一定的誤差，必須隨時注意其調校工作，此為超音波測距儀之最大問題。此外，由於本計畫屬初步開發階段，加上經費限制，測距儀在防水(**IP級**)上未能符合現地應用之標準，故建議後續研發除了應改善設備元件的內部配置方式外，亦應**加強處理防水及防干擾措施**，以提高其耐用性及減少故障。