
耗材式無線測距儀之研發與應用
Development and Application of
Disposable Type
Wireless Range Finder

成果報告書

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

研究人員：陳偉強、許惠綺、王傳衡、黃仲達、蔡嘉峻、鄭仔伶

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國106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)

摘要

本計畫通過文獻回顧選用超音波作為測距儀之感測器，經過電路設計、溫度補償、時間模組、記錄模組與傳輸模組之系統程式化整合，已研製兼具空間距離測定和資訊傳輸功能的超音波測距儀。同時，完成測距儀的室內測試工作，並獲得以下幾項重要成果，包括：

- 一、已研製完成之超音波測距儀原型。
- 二、經室內測試結果，超音波測距儀在精確度及解析度上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。

不過，受限於超音波特性，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。

關鍵詞：超音波、聲波、無線通訊

Abstract

Through the literature review, this project chooses the ultrasonic as the sensor of the range finder. Through the systematic programming of circuit design, temperature compensation, time module, record module and transmission module, Information transmission function of the ultrasonic range finder. At the same time, to complete the indoor testing of the range finder and obtain the following key achievements, including:

- 1.This project has developed a prototype ultrasonic range finder.
- 2.The indoor test results, ultrasonic range finder in accuracy and resolution can meet the application requirements. Among them, the accuracy is below 1.0%, while the resolution can reach 1.0mm.
- 3.The initial test The program developed ultrasonic range finder can be applied to the slope soil erosion depth and water level measurement.
- 4.The ultrasonic range finder has been developed to achieve cost control of 10,000 yuan or less, in line with the basic requirements of supplies measuring equipment.

However, limited by the ultrasonic characteristics, its high sensitivity to ambient temperature, susceptible to changes in temperature leaving the reference point drift, resulting in a certain error, we must always pay attention to its calibration work, which is ultrasonic testing Instrument from the biggest problem. In addition, due to the initial development stage of the project and the funding constraints, the range finder failed to meet the standards of current application at waterproof (IP level). Therefore, it is recommended that in addition to improving the internal configuration of equipment components, Waterproof and anti-interference measures should be strengthened to improve their durability and reduce malfunctions.

Key words: Ultrasound, Sonic wave, Wireless communication

目次

摘要	I
Abstract	II
目次	III
表次	V
圖次	VI
照片次	VIII
第一章 緒論	1-1
第一節 計畫緣起及目的	1-1
第二節 預期成果	1-1
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟	2-1
第三章 期中執行成果	3-1
第一節 工作進度	3-1
第二節 文獻回顧	3-1
第三節 超音波感測原理	3-10
第四節 測距儀硬體設計與製作	3-16
第五節 室內測試	3-24
第六節 現地測試	3-31
第七節 電力續航力測試	3-47
第八節 可行性評估	3-39
第四章 結論與建議	4-1
第一節 結論	4-1
第二節 建議	4-1
參考文獻	參-1
附錄一 接收端程式碼	附一-1
附錄二 偵測端程式碼	附二-1

附錄三 電路圖	附三-1
附錄四 觀測數據.....	附四-1

表目錄

表 3-1 預定工作進度表	3-2
表 3-2 各類型自記式水位計比較一覽表	3-8
表 3-3 邊坡滑動監測儀器設施適用一覽表	3-9
表 3-4 音波於空氣中傳播速度	3-15
表 3-5 LoRa 應用優勢一覽表	3-20
表 3-6 室內測試條件一覽表	3-25
表 3-7 水泥地面測試數據彙整	3-27
表 3-8 自由水面測試數據彙整	3-28
表 3-9 泥砂表面測試數據彙整	3-29
表 3-10 泥砂表面測試數據彙整	3-30
表 3-11 觀測成果沖淤變化數據	3-33
表 3-12 試驗期間訊號強度統計	3-34
表 3-13 觀測期間電力支撐天數	3-34
表 3-14 使用電流耗能量測	3-38
表 3-15 電力持續時間與記憶體容量評估一覽表	3-39
表 3-16 各項單價設備評估表	3-39
表 3-17 各種傳輸方式比較表	3-40
表 3-18 各類型自記式水位計比較一覽表	3-41

圖目錄

圖 2-1 計畫工作執行步驟	2-2
圖 3-1 侵蝕針設置示意圖	3-3
圖 3-2 壓力式水位計示意圖	3-6
圖 3-3 地表伸縮計示意圖	3-10
圖 3-4 聲頻分布	3-11
圖 3-5 壓電效應的正逆效應	3-12
圖 3-6 超音波感測器系統之配置	3-13
圖 3-7 超音波感測器構造	3-13
圖 3-8 超音波感測器配置類型	3-14
圖 3-9 超音波測距儀之硬體架構	3-17
圖 3-10 ATmega328P-AU 微電腦單晶片	3-17
圖 3-11 US-100 超音波模組	3-19
圖 3-12 915MHz 之 LORA 通訊模組	3-19
圖 3-13 鋰陶瓷電池	3-21
圖 3-14 非接觸液體偵測器	3-21
圖 3-15 測距儀外觀	3-22
圖 3-16 基板電路(控制箱)內部構造圖	3-22
圖 3-17 超音波感測器室內測試裝置	3-24
圖 3-18 現地土壤沖蝕測試布置示意圖(A)牙桿式 (B)圓柱式體	3-31
圖 3-19 戶外觀測期間降雨特性(時雨量)	3-32
圖 3-20(A) 短天線 LoRa 無線電傳輸測試(平地無通視環境)	3-35
圖 3-20(B) 短天線 LoRa 無線電傳輸測試(山區無通視環境)	3-35
圖 3-21(A) 長天線 LoRa 無線電傳輸測試(平地無通視環境)	3-36
圖 3-21(B) 長天線 LoRa 無線電傳輸測試(山區無通視環境)	3-36
圖 3-22 節能設計概念圖	3-37

照片次

照片 3-1 浮筒式水位計	3-5
照片 3-2 電極觸針式水位計	3-5
照片 3-3 雷達波水位計現地安裝外觀示意圖	3-7
照片 3-4 確認水平及量測真值.....	3-25
照片 3-5 #4 礫石受測面	3-25
照片 3-6 受側面分別為水泥為、礫石以及水面之量測狀況	3-25
照片 3-7 現地測試布置(A)牙桿式 (B)圓柱式體式.....	3-32
照片 3-8 三區試驗場地設備安裝試驗狀況.....	3-33

第一章、緒論

第一節 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(如大規模崩塌、土石流、堰塞湖、...等)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，亦已成為防減災之重點工作。但是，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。

為此，本計畫擬運用省電且價廉的超音波(ultrasonic)量測元件，通過電路設計、溫度補償、時間記錄模組與傳輸模組之系統程式化整合，研發兼具空間距離測定和資訊傳輸功能的現地監測儀器，不僅具有價廉、省電的基本性能，因設備體積小，且可以長時間應用於坡面表層土壤侵蝕深度、水位、地表裂縫及位移、土石流鋼索感測等多種情境的量測功能，將有助於坡地環境監測技術與儀器開發和應用水平的提升。

第二節 預期成果

本計畫係屬監測儀器設備之開發與應用，除了具備價廉、省電、耐用及無線傳輸等基本功能外，同時可以長時間應用於水土保持之多元情境，包括坡面表層土壤侵蝕深度、溪流水位、坡面地表裂縫及位移等，而本計畫初步選以表層土壤侵蝕深度和溪流水位兩種情境為對象進行相關的室內及現地測試，並提出超音波測距儀應用之可行性評估。因此，本計畫完成無線超音波測距儀之開發和測試後，預期可以達成以下效益，包括：

- 一、實時監測坡面表層土壤侵蝕深度之動態變化，並通過無線傳輸方式立即將監測數據予以回傳，可據以提供降雨與侵蝕深度關係之研究。

二、實時監測溪流水位，除了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

三、提出超音波測距儀應用之可行性評估。

第二章、工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

本計畫係屬儀器研發，除了必要的文獻回顧外，對於超音波的性能和特性，以及超音波測距儀線路設計，都是儀器研發過程的必要工作；此外，當儀器研發之後，必須就其精確度和解析度進行一系列的測試，包括室內測試及現地測試，其中室內測試著重於量測的精確度及解析度測試，而現地測試不僅儀器量測精確度及解析度的測試，且對於外在環境的干擾、耗電狀況及無線傳輸性能等均為測試的重點。因此，本計畫工作執行方法必須掌握儀器設計、室內測試、現地測試、儀器調整及應用等。

第二節 工作執行步驟

根據前述工作執行方法，本計畫研擬相關工作之執行步驟，如圖 2-1 所示。圖中，本計畫先著手蒐集回顧有關土壤沖蝕深度及水位量測的一些文獻，並比較超音波、雷射及紅外線等感測裝置之適用性；經一定的評估之後，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。完成超音波測距儀製作後，即著手規劃室內及現地之相關測試工作；其中，在期中報告前，預定完成室內測試，而期末報告前，除了完成現地測試外，亦將測試無線傳輸模組及電力續航能力，同時提出超音波測距儀之可行性評估。

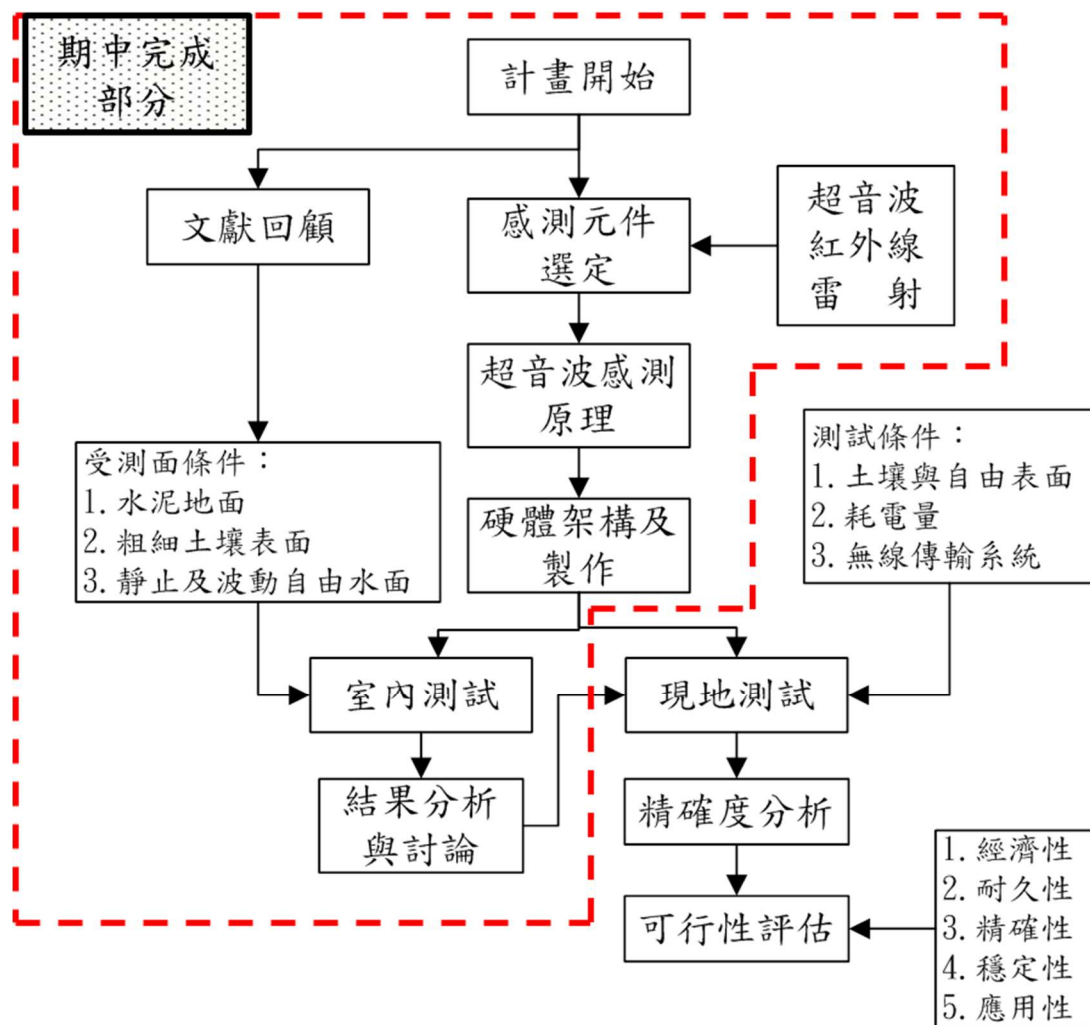


圖 2-1 計畫工作執行步驟

第三章、期中執行成果

第一節 工作進度

根據工作執行步驟本計畫已完成室內及現地測試前的準備工作，包括文獻回顧、超音波感測器相關性能、超音波測距儀的設計與製作；同時，也初步提出儀器後續應用的可行性評估原則。依期中執行進度，本計畫應完成超音波測距儀之室內測試工作，而室內測試則須針對不同受測面(如水泥地面土壤表面自由水面等)進行多次且不同高度的測試，如表 3-1 為本計畫預定工作進度。經比對進度表，本計畫業已完成室內各種受測面的測距測試工作。

第二節 文獻回顧

目前已有多種儀器設備應用於坡面表層土壤侵蝕深度、水位、地表裂縫及位移等物理量之量測。茲綜述如下。

一、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，在計量上採用單位時間及單位面積內遭受侵蝕的土壤數量，其單位一般可表為 $t/ha/yr$ ，或採用集水區單位面積上的年(月、場)平均土壤侵蝕深度來反映土壤侵蝕量之大小，可表為 mm/yr 。由於坡面土壤侵蝕現象是一種極為複雜的物理過程，它夾雜了自然與人為兩種不同面向的影響因素，而各項因素之間又有不同程度的互制和依存關係，其量體不易採用數學模型直接推估，故在實務上常採用現地量測、同位素追蹤技術、空載攝影測量技術等方法進行推估，其中現地量測法中之直接丈量法是木前比較普遍且常用的傳統方法。

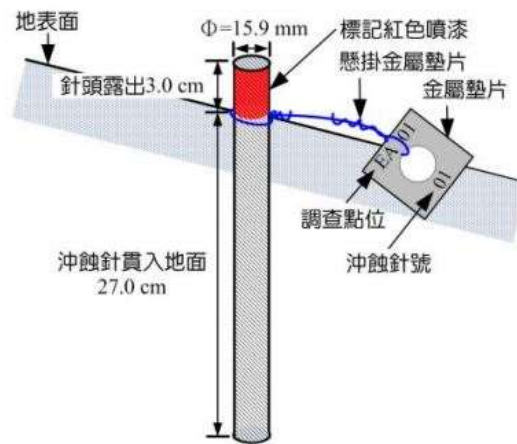
表 3-1 預定工作進度表

重要工作項目	工作比重 (%)	預定進度	106				備註
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
文獻蒐集	5	工作量或內容	傳統儀器文獻蒐集	電路設計資料蒐集			
		累計(%)	60	40			
測距儀研發	30	工作量或內容	量測元件測試與設計	雛形製作與測試	室內與現地測試	保護裝置處理	
		累計(%)	20	60	80	100	
室內性能測試	15	工作量或內容		不同受測面測試	不同受測面測試		
		累計(%)		30	100		
現地性能測試	25	工作量或內容			現地測試	現地測試	
		累計(%)			60	100	
誤差檢定	15	工作量或內容		水位誤差檢定與調整、測試	沖蝕誤差檢定與調整、測試	誤差檢定及特性曲線	
		累計(%)		40	80	100	
可行性評估	10	工作量或內容				可行性評估	
		累計(%)				100	
累計總進度	百分比(%)		9	49	75	100	

直接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，特別在人類容易涉足的地方，是一種廣泛適用的方法。在測量溝頭延伸速度、面蝕速度等研究中，有其他方法不可比擬的優越性。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。

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，如圖3-1所示，較適合應用於小範圍之研究，不但可區分出不同侵蝕作用，例

如紋溝侵蝕及紋溝間侵蝕，同時也可偵測出研究區內土壤侵蝕與沉積的細部變化情形，也常用於難以進行定量觀測的陡坡或沖淤交替的地段（如溝床）。不過，此方法不適合應用於定期耕犁的農地。



資料來源：許振崑等，2014

圖 3-1 侵蝕針設置示意圖

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。利用測針測量時，還可附帶一個如墊圈的金屬片，金屬片中心有一個小孔，其孔徑略大於測針直徑，與測針串在一起，可以上下移動。有了金屬片，測量精度更加可靠準確。

侵蝕針的布設多採用方格網狀排列，當在坡面中布設時，沿縱橫斷面成排排列，間距視地表變化和量測要求而定，一般不超過5~10m；Mtakwa et al.（1987）建議在 20 m^2 的小區域內，至少需要使用20根侵蝕針。測針布設後，依次編號並記錄布設出露的長度，經過一次侵蝕後，重新量測出露長度，就可得到該次侵蝕量。

在實際應用上，Crouch（1987）即利用長1.5m的侵蝕針，研究蝕溝邊坡演變並推估侵蝕量；而林俊全（1995）也應用侵蝕針分別探討利吉與月

世界泥岩地區的侵蝕量和蝕溝的演變；許振崑等(2009)利用侵蝕針量測不同邊坡條件下雨量與土壤侵蝕深度，以及不同植生狀況(整治邊坡、自然邊坡及裸露邊坡)受雨水淋洗後的土流失情況。何幸娟(2012)以侵蝕針量測愛玉子溪及出水溪集水區之自然和裸露邊坡的侵蝕量，經於98年12月至99年3月期間四次量測結果顯示，兩子集水區之自然邊坡抗侵蝕能力均較裸露邊坡為佳，其中裸露邊坡平均侵蝕深度為4.63mm，約高於自然邊坡(平均侵蝕深度為3.0mm)1.54倍。同時，邊坡表土侵蝕深度與累積降雨量關聯性，可分別表為

愛玉子溪集水區：

$$\log(Y) = 0.012976X + 1.8304 \quad (3.1)$$

出水溪集水區：

$$\log(Y) = 0.010995X + 2.2271 \quad (3.2)$$

式中，Y=新增土壤侵蝕量(mm)；X=累積雨量(mm)， $X \leq 300$ 。林韋成(2014)以侵蝕針量測數據為分析資料基礎，建立特定雨場或連續降雨引致土壤侵蝕深度經驗推估式。

除了傳統侵蝕針外，新近改良發展的光電子侵蝕針(photo-electronic erosion pins)則被應用於監測河岸侵蝕之研究(Lawler and Leeks, 1992)。此儀器的最大突破在於可連續自動觀測，屬於一種動態連續觀測法，可偵測侵蝕作用在時間下的變異情形，有別於一般傳統的靜態量測法，只能估算兩次量測期間的平均侵蝕情形。

二、河溪水流水位

河溪水流水位(water stage)係指河川某定點自由水面與已知基準面比較之相對高度。其中，基準面有兩類：一為絕對基準面，一般皆以海平面作為絕對基準面；另一種為暫定基準面，指為計算水位或高程而暫時設定的基準面，常以河床或位於河床以下一定距離處作為暫定基準面，如以固定河床(rigid riverbed)作為暫定基準面，則相對於水面高程可得水體深度(depth)。

水位測定可採用人為間斷測讀的水尺(water gauge)或由自記水位計施測。水尺是傳統的直接觀測儀器，其水位值為水尺上的讀數加水尺零點高程。自記水位計能夠記錄水位的連續變化，具有連續、精確、節省人力等優

點，同時應用無線傳輸方式(如3G、衛星、無線電等)可以將水位變化即時回傳。依水位量測原理，自記水位計可以概分為浮筒式、電極觸針式、壓力式、超音波式、雷達波式..等類型，它們皆能即時反應水面漲落變化的量測儀器。其中，浮筒式或壓力式設置之靜水塔，易受底部淤積泥砂而影響水位施測；超音波式較易受溫度與水面狀況等環境因素影響，且資料穩定性較其他方式量測差。近年來，水位觀測較常採用雷達波式水位計。茲分述如下：

(一)浮筒式水位計(float-type water stage gauge)

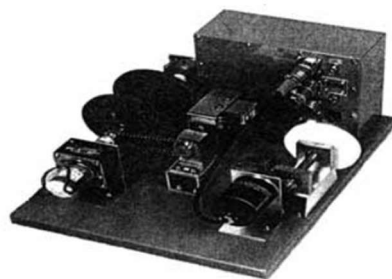
浮筒式水位計發展至今已有百年歷史，主要是利用機械原理，因水面升降會使浮筒產生變動，再透過引線與配重砝碼，帶動轉輪進行水位紀錄，如照片 3-1 所示。惟因浮筒與井壁摩擦所形成之遲滯現象影響，使量測數據會出現誤差。

(二)電極觸針式水位計(electrode stylus water stage gauge)

由 Grant(1978)研製而成的水位計，其觀測原理為當電極觸針接觸到水面時，會使設備呈現導電的狀態，因此測定出水面的位置，如照片 3-2 所示。本型水位計多用於水井水位之判讀，因電極觸針針頭之特性，可用於較小管徑之水位測量。本型水位計主要以馬達牽引自動記錄水位變化，但因馬達具有延遲之問題。因此，在短時間內，水位若變動過大之區域，則不建議採用此水位計(陳家榮，2012)。



資料來源：蔡宗旻，2004



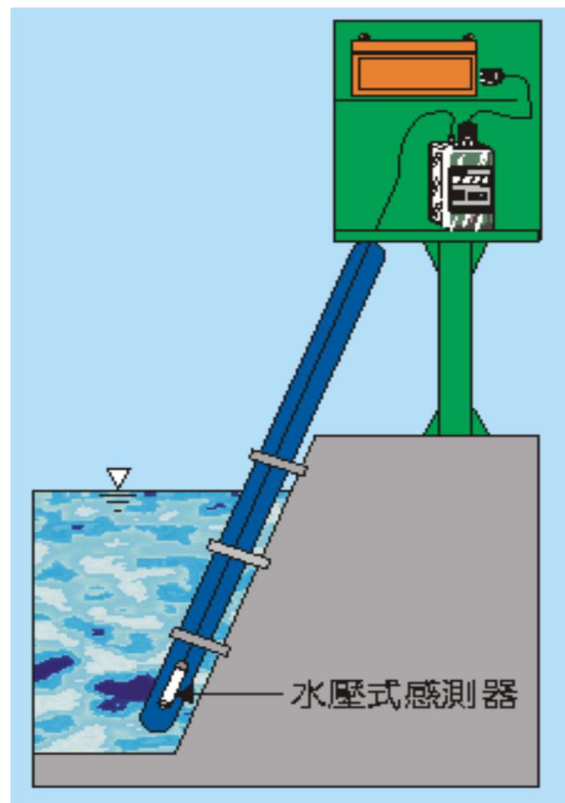
Source:Grant, 1978

照片 3-1 浮筒式水位計

照片 3-2 電極觸針式水位計

(三)壓力式水位計(pressure-type water stage gauge)

壓力式水位計屬於間接量測儀器，主要是利用感應器感應水位升降產生的壓力變化，將訊號轉換成水位高度，並且透過纜線回傳資料，如圖 3-2 所示。早期壓力式水位計因壓力感測元件及電子訊號轉換技術不佳等因素，儀器誤差量甚大。近年來則隨著電子科技的進步，已可將壓力轉換成電子信號，再透過有線或無線的傳輸方式將觀測資料回傳，並記錄儲存於後端平台。由於感測元件之改進、電子訊號轉換效能提升、設備與電腦系統聯結等優勢之下，壓力式水位計量測精度大幅提升而被廣泛使用。但是，感測元件易受水溫以及密度影響量測精度，因此必須建立量測參數進行定期檢校修正(陳家榮，2012)。



資料來源：蔡宗旻，2004

圖 3-2 壓力式水位計示意圖

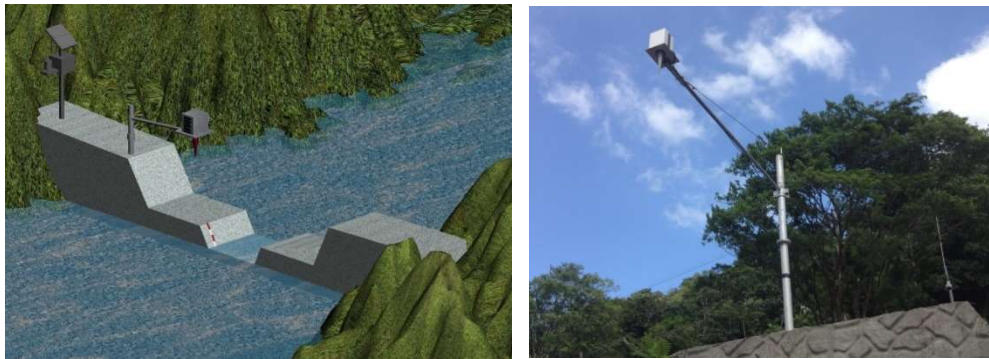
(四)超音波式水位計(ultrasonic water stage gauge)

在水上某一固定位置裝設超音波發射探頭，向下發射超音波，由於水和空氣的密度、波速差異甚大，使超音波遇到水面後立即反射，再透過聲波接收探頭接收來自水面的反射波，可得超音波探頭至水面間的

距離為 $y = vt/2$ (t =超音波自探頭髮射至接收到反射波的時間； v =超音波於空氣中的速度)。這樣，當已知超音波探頭高程為 y_0 ，則水面水位為 $(y_0 - y)$ 。蔡宗旻(2004)認為超音波式水位計對溫度過於敏感，導致量測結果誤差甚大，因而發展出改良式超音波水位計量測法，但在自動化監測上，對於資料異常處理仍須人為判讀修正。

(五)雷達波式水位計(radar water stage gauge)

雷達波水位計向水面發射高頻雷達波，其頻率位於 9.55GHz 和 10.55GHz 之間，並透過天線接收水面的反射波，藉此量測水面的距離，其量測原理超音波水位計類似。雷達波式水位計有不易受外在環境濕度、溫度、粉塵等，影響準確性之優點，但儀器價格昂貴且構造精密，若雷達波發射器發生故障，其修復不易(陳家榮，2012)，如照片 3-3 為雷達波水位站外觀。



照片 3-3 雷達波水位計現地安裝外觀示意圖

(六)各類型自記式水位計比較分析

總結上述各類型自記水位計之優缺點及其適用性，如表 3-1 所示。

表中，雷達波水位計除了價格昂貴外，其相關性能及適用性皆明顯優於其他類型。

三、邊坡表面位移量測應用

山坡地監測儀器種類繁多，包括量測氣候、水文、邊坡位移及構造物應力或變形等各類儀器，如表3-2所示。表中，包括地表伸縮計、裂縫計、水位觀測井、雨量計、液位計等，皆藉由空間距離的變化而取得邊坡變形之依據。

表 3-2 各類型自記式水位計比較一覽表

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

資料來源：1.楊富堤，2009；2. 蔡宗旻，2004。

(一)地表位移型：

地表型位移監測儀器，以地表伸縮計(Surface Extensometer)最為常見(又稱為地滑計)。地表伸縮計係用來量測邊坡的地表二點間之相對位移(有可能為伸張或壓縮)，其係以鋼索一端固定於不動之地表上，另一端設置在滑動塊體內，當兩端產生相對位移時，將伸張拉動鋼索，量測其伸張量可求得兩端之相對變位量，如圖 3-3 所示。

地表伸縮計常因鋼索二端點均座落於滑動塊體內，故無法監測其絕對水平位移量。因此，地表伸縮計應選擇安裝於研判邊坡可能滑動塊體之上坡鄰近崩崖位置，以得到最具地表性之滑動塊體位移量。

表 3-3 邊坡滑動監測儀器設施適用一覽表

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

(二)垂直位移監測儀器：

當邊坡發生不穩定之滑動時，除了滑動塊體之水平位移外，於崩塌頂部區域亦伴隨出現陷落情形，而產生垂直方向之位移變化。而在填方邊坡發生之垂直位移，常導因於高填方之沉陷現象，而非邊坡不穩定所造成。量測邊坡垂直位移之儀器，其中於地表面打設沉陷釘(沉陷觀測點)，以水準測量方式量測沉陷釘之垂直位移變化最為簡便及常用。

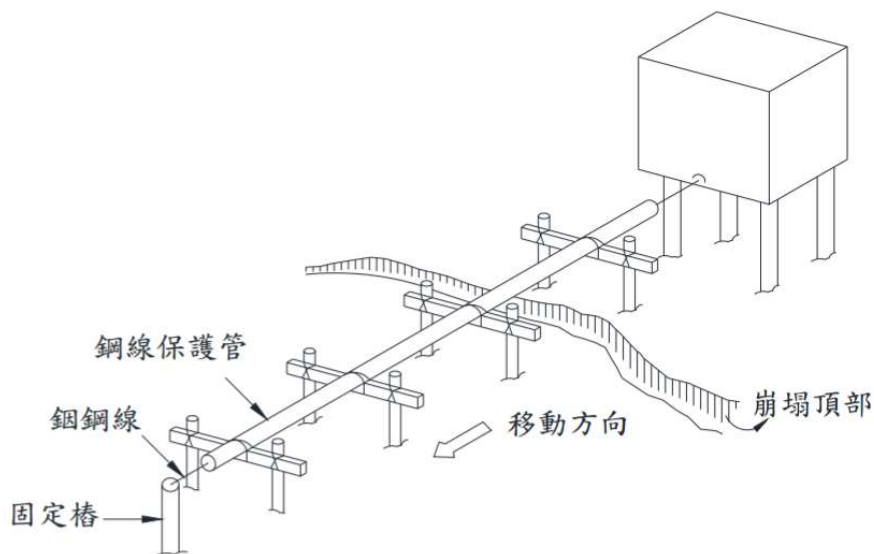


圖 3-3 地表伸縮計示意圖

(三)既有構造物監測：

邊坡若發生不穩定時，將使得構築於邊坡上之構造物應力狀況改變、變形或傾斜，可加以監測，研判邊坡之穩定性。如邊坡發生不穩定時，將使得構築於邊坡上之構造物應力改變、變形或傾斜，因此可加以監測，研判邊坡之穩定性。其中，裂縫計(Crackmeter)係安裝於構造物之裂縫二端，以監測裂縫寬度變化。

第三節 超音波感測原理

超音波測距是一種非接觸性的檢測方式，相較於紅外線、雷射光及無線電測距方法，在近距離範圍內，超音波測距有其不受光線影響、結構簡單、成本低廉等特點，但超音波測距受到信號回波起伏、溫度對音速的影響等，在測距精度的提高上受到很大限制。不過，基於超音波測距系統的應用愈來愈多，因而其測距精度也被賦予更高要求。國內外學者專家對此做了大量研究，逐步完善超音波測距信號處理方法，改善回波前沿的定位精度和渡越時間的測量精度，進而提高超音波測距、探測定位系統之精度。因此，本計畫採用省電且價廉的超音波(ultrasonic wave)量測元件，通過電路設計、溫度補償、時間記錄模組與傳輸模組之系統程式化整合，研發兼具短距離測定和資訊傳輸功能之測距儀(Range Finder)。

一、超音波感測概述

音波(sonic wave)係指透過具有彈性與慣性的介質(如空氣)，當介質本身一旦產生膨脹或壓縮時，則透過其分子運動而有波動的傳播產生。因此，音波無法在真空中進行傳播。人類聽覺能察覺的波動，稱之為聲音(sound)。此時的音波，即稱之為可聽波(audible wave)。雖然對超音波所下的定義是"非人類以耳聞為目的之聲音"，但是一般把它視作"頻率較耳朵聽得見的成音為高之音波"。

通常，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。疏密波本身，不論在空氣中乃至液體中和固體中都可以發生和傳播。圖3-4是依照超音波的頻率不同所列出的用途區別。

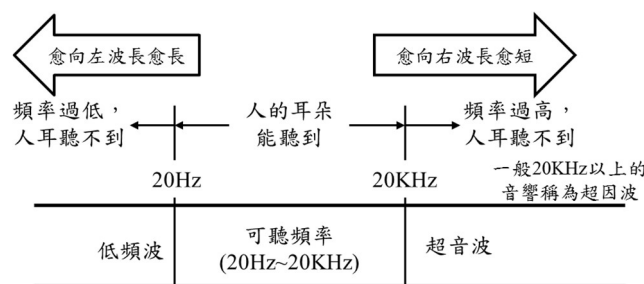


圖 3-4 聲頻分布

二、超音波感測器

(一)超音波感測原理

超音波的接收和發射器皆為壓電效應的轉換。對於超音波的發射而言，為壓電逆效應，亦即將電氣訊號轉換為壓力訊號去壓縮週遭的空氣，產生壓電正效應，而接收器即將這些受壓縮的空氣，藉由壓電材料產生壓電效應，將壓力轉換為電氣訊號，如圖3-5所示。

	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

圖 3-5 壓電效應的正逆效應

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。

(二)超音波感測器構造

在超音波系統裡，感測器必須具有發射及接收兩種功能。常用的超音波感測器有兩大類：壓電式及磁伸式。其中，壓電式體型較小且效率高，而磁伸式則較為堅固並可用在較高的功率方面。超音波感測器可能是一個發射器或是一個接收器，也有可能是兩者兼具，如圖3-6所示。

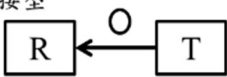
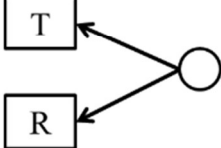
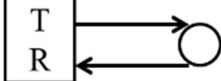
配置方式	用途	特點
直接型 	共同物體檢知	1. 檢知感度能自由設定，設計容易。 2. 設置需要兩個地方。
反射方式(獨立型) 	物體檢知，距離測定	1. 需要由T到R的繞入對策 2. 使用T與R的專用感測器時，效率良好。 3. 近距離(10cm以下)的情況混多
反射方式(兼用型) 	物體檢知，距離測定	1. 需要送受切換電路。 2. 無法近距離測定。

圖 3-6 超音波感測器系統之配置

圖3-7為一般常用的超音波感測器之構造，稱為雙壓電振動子。此雙壓電振動子是將兩片壓電陶瓷貼合，分別以極性相反之電壓施加其上，一方伸展，一方則會收縮。而且，極性反過來，伸展與收縮兩方也會同樣反轉過來。而僅有一片壓電元件者稱之為單壓電振動子。

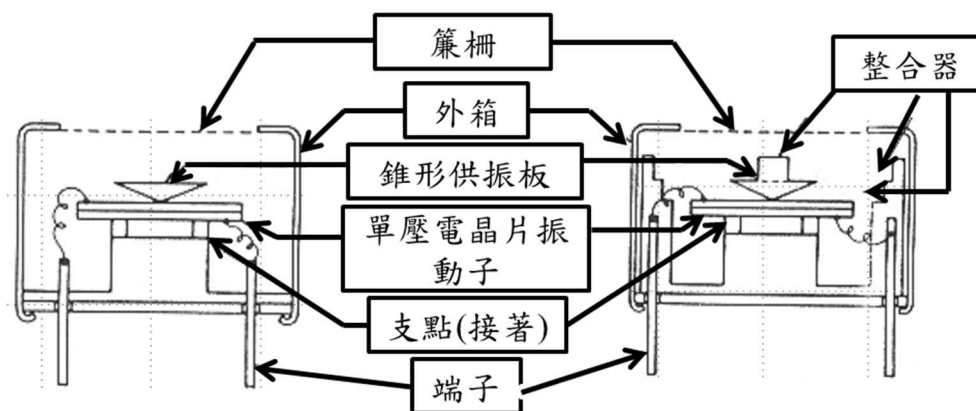


圖 3-7 超音波感測器構造

三、超音波感測器之配置

超音波感測器配置方式，依其發射與接收電路之差異可概分為四種類型，如圖3-8所示。

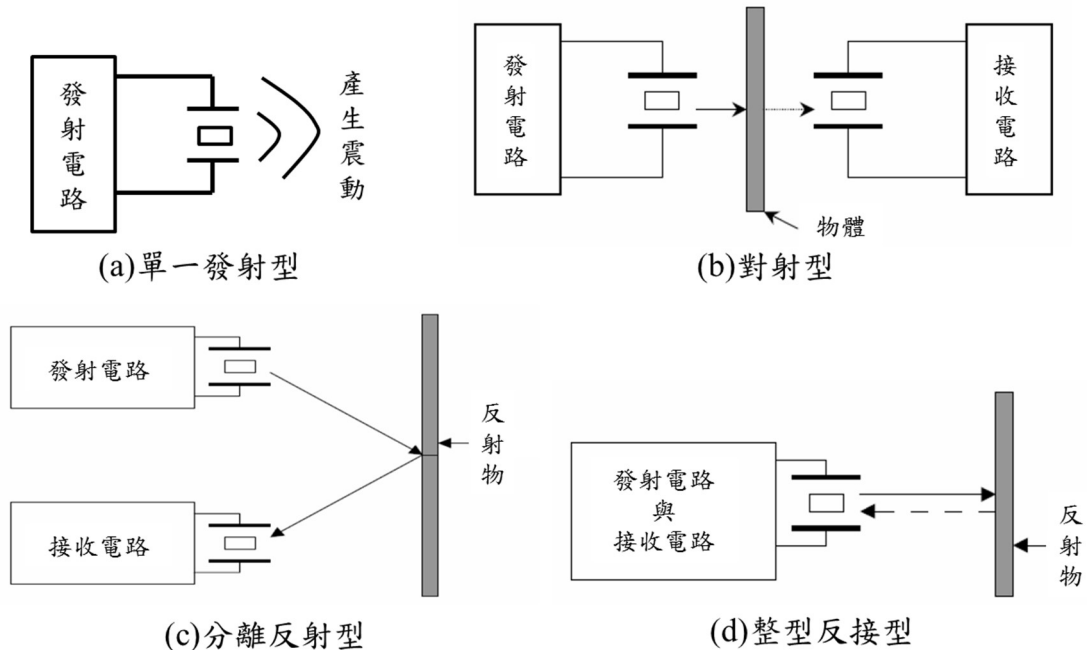


圖 3-8 超音波感測器配置類型

(一) 單一發射型

只使用超音波感測器產生 20KHz 以上之某一定音效，可應用於融接機、洗碗機等，大功率超音波震動設備，或超音波美容震動儀、超音波驅蚊、驅鼠，如圖3-8(a)所示。

(二) 對射型

如圖3-8(b)超音波發射器和接收器分別置於不同地方，若有物體置於兩者之間時，超音波將被擋住，則接收器將無法收到超音波信號，便能知道有物體進入或侵入，所以對射型大多用於偵測物體有無或安全防護，此配置方式亦可作為距離量測。

(三) 分離反射型

如圖3-8(c)超音波發射與接收器被擺在同一邊，發射出去的超音波若遇到物體反射回來，則接收器便能收到超音波的信號，用以表示有物體接近，或是由超音波發射到被接收受到的時間，計算距離的遠近，所

以分離反射型大多用於測物體之有無、距離測量等，本專題亦是用此配置方式來檢測距離。

(四)整型反接型

接收和發射乃同一包裝的超音波感測元件，和分離反射型的功能是一樣的，並以脈波方式驅動，然後接收回波信號之有無以判斷是否有反射物或計算其距離，如圖3-8(d)所示。

四、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。

(一)超音波之速度與特性

波的傳播速度是頻率與波長之乘積，電磁波的速度是 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，但空氣中的音波傳播速度非常緩慢，約為 340 m/s 。另，考量固有音響阻抗(物質密度和音速之積)時其實際傳播速度，如表3-4所示。

表 3-4 音波於空氣中傳播速度

物質	密度(ρ) (g/cm^3)	音速(C) (m/s)	音 響 阻 抗 (ρC) ($\text{g/cm}^2/\text{s}$)
空氣(0°C)	0.00129	331	42.7
空氣(20°C)	0.00120	334	41.4
氮	0.00125	336	42.0
氧	0.00143	317	45.5
水蒸氣	0.00058	405	23.5

(二)超音波測距之計算方法

超音波在空氣中傳播速度為 $V_s = 331 + 0.6t^0$ (t^0 =測定時溫度)，因所使用的超音波配置方法是以分離反射型，因此超音波行走 1.0 cm 反射回

來所需時間 T 可表為(設 $t^0 = 23^\circ\text{C}$)：

$$T = \frac{2}{(331 + 0.6 \times 23) \times 100} = 58 \mu\text{s} \quad (3.3)$$

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

超音波的優點為能使用在惡劣之環境中，如光線不足或強烈光線之場所及充滿灰塵的環境，但缺點是超音波測距受到信號回波起伏、溫度對音速的影響等，在測距精度的提高上受到一些限制。此外，超音波感測器使用感測的方式是聲波而不是光波，所以特別適合檢測表面不平整、液體、透明物和在不同顏色下的環境來檢測物件。

第四節 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等整合而成，其中發射電路是採振盪電路構成，接收電路是使用電晶體將接收到的訊號放大，經微電腦單晶片運算與判斷，再由無線通訊模組將資料傳出，並輸入資料紀錄器內，如圖 3-9 為超音波測距儀之硬體架構。圖中，當電源電路由雨水感測器啟動後，NE555 即產生 40KHz 的震盪推動超音波發射器，此時 89C51 內的計時器開始計時，接收端由 LM393 做一個零準位的比較，來判斷是否接收到訊號，若接收到訊號時則會暫停計時器，利用式(3.3)推算出距離，再將所獲取之距離數據於資料紀錄器儲存，並以無線通訊傳輸模組回傳至後端伺服器。

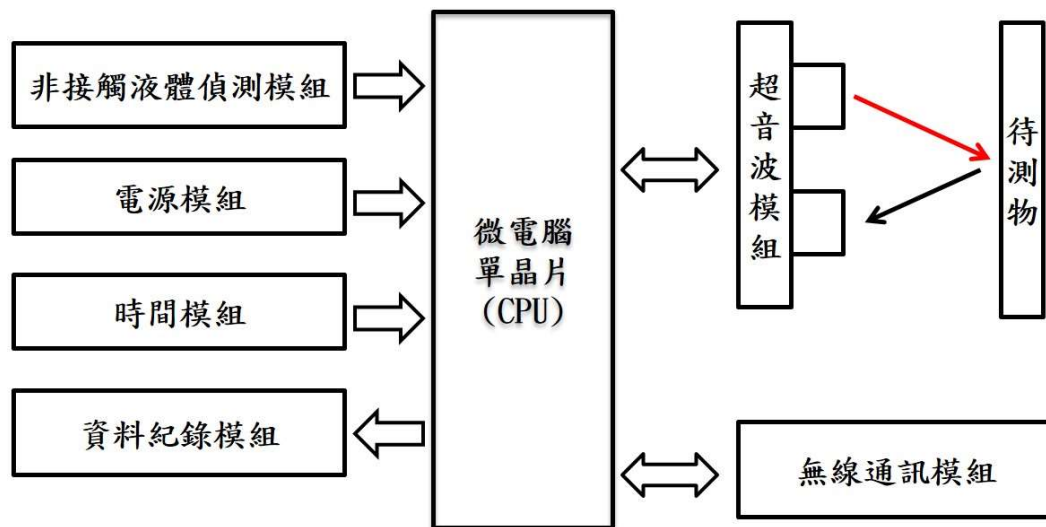


圖 3-9 超音波測距儀之硬體架構

一、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。ATmega328P-AU 的運作由所撰寫後的燒錄之程式 (.HEX) 決定，ATmega328P-AU 微電腦單晶片內部方塊如圖3-10所示。

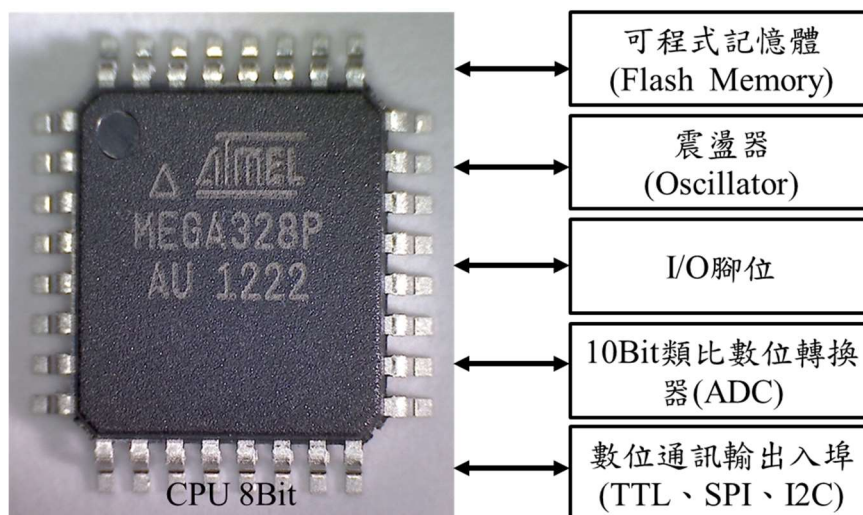


圖 3-10 ATmega328P-AU 微電腦單晶片

(一)微電腦單晶片(CPU)

微電腦單晶片(CPU)為核心運算單元由多個電晶體組成，此單晶片為8Bit單元運算處理器，透過程式的撰寫進行類比訊號、數位訊號、數

位通訊、腳位置能與時間控制等動作，達到自動運作程序。

(二)可程式記憶體(Flash Memory)

可程式記憶體主要作為儲存撰寫後的HEX程式碼，使用靜態記憶體(SRAM)組成使程式碼在斷電後依然存在，以確保晶片在電力恢復後依然正常運作。

(三)震盪器(Oscillator)

震盪器之頻率直接影響著CPU的運算處理速度，因此本系統震盪器頻率選用8MHz，使系統穩定有效率的運作。

(四)I/O 腳位

I/O腳位 又稱乾接點，可作為感知高態電位或低態電位，也可輸出高態電位或低態電位以便啟動或關閉被控制設備。

(五)10Bit 類比數位轉換器(ADC)

類比數位轉換器在於處理非低態與非高態之類比訊號。在數位系統中僅存在於低態與高態兩種訊號，若要感知低態與高態間的訊號則必須透過類比數位轉換器將電壓分成1024個準位(10Bit)進行比對，並回報最高準位以判別類比電壓值。

(六)數位通訊輸出入埠(TTL、SPI、I2C)

單晶片數位通訊方式有TTL、SPI與I2C等3種，本計畫係採用TTL通訊。TTL由接收腳(RX)與發射腳(TX)組成進行收發的通訊，通訊時以國際協定ASCII進行資料傳輸達到解碼一致性。

二、超音波感測器

本計畫選用內建溫度補償功能之超音波模組US-100，如圖3-11所示。它是採用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。US-100超音波模組具有以下特性：

1.工作電壓：DC 2.4~5.5V。

- 2.靜態電流：2mA。
- 3.工作溫度：-20+70 度。
- 4.輸出方式：電平或 UART（跳線帽選擇）。
- 5.感應角度：小於 15 度。
- 6.探測距離：2cm-400cm。
- 7.探測精度：0.3cm+1%。
- 8.UART 模式下串口配置：串列傳輸速率 9600，起始位 1 位，停止位 1 位，數據位 8 位，無奇偶校驗，無流控制。

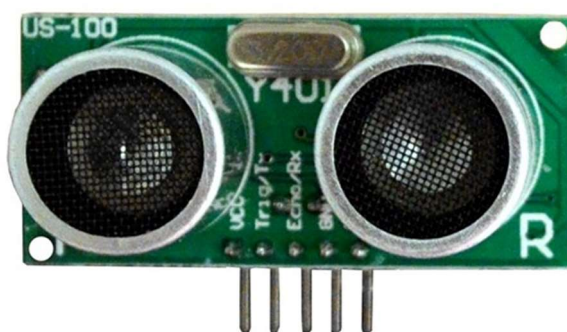


圖 3-11 US-100 超音波模組

三、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公里通訊之優越傳輸性能，如圖3-12所示。

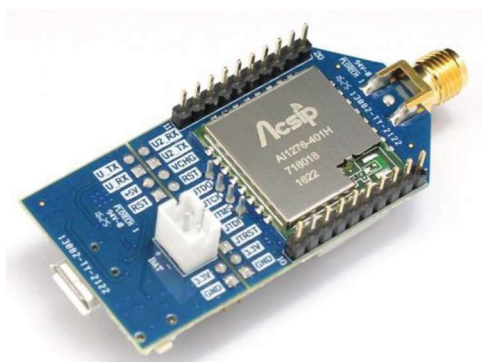


圖 3-12 915MHz 之 LORA 通訊模組

LoRa (LongRange)是最新的物聯網(IoT)無線通訊技術，特色是通訊距離長(可超過 15km)，低功耗(非常省電)，使用電池就可能長達數年不需更換電池，非常適合戶外物聯網的各種應用的數據收集，如表 3-5 為 LoRa 之應用優勢。但是，LoRa 傳輸速度慢，頻寬窄，故僅適合於一般物理量的傳輸。

表 3-5 LoRa 應用優勢一覽表

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

原文網址：<https://read01.com/mdnP54.html>

四、鋰陶瓷電池說明：

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，如圖3-13所示。

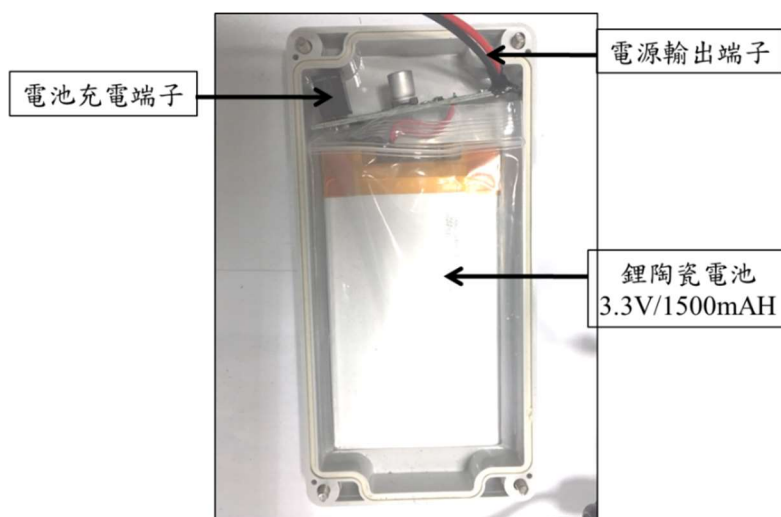


圖 3-13 鋰陶瓷電池

五、非接觸液體感測器

超音波測距儀使用頻率影響著電池的續航力，在晴天與雨天需有不同的使用頻率。因此，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，如圖3-14所示。該設備規格如下，可穿透13mm的薄殼，

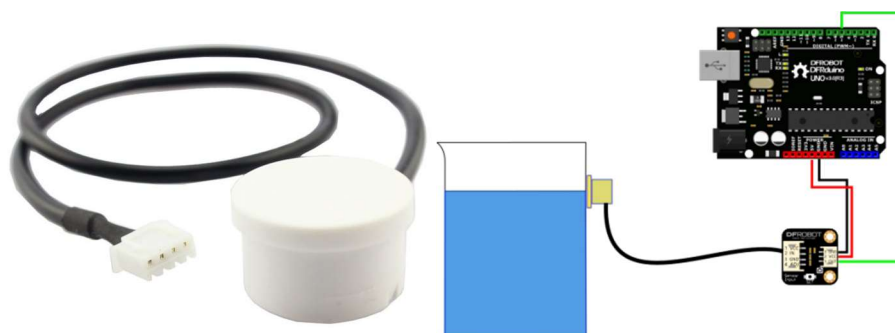


圖 3-14 非接觸液體偵測器

- Operating Voltage (InVCC) : DC 5 ~ 24 v
- Current consumption: 5 mA
- Output voltage (high level) : InVCC
- Output voltage (low level) : 0V
- Output current: 1 ~ 50 mA
- Response time: 500 ms
- Operating Temperature : 0 ~ 105 °C
- Range for thickness of induction (sensitivity): 0 ~ 13 mm
- Humidity: 5% ~ 100%
- Material: ABS.
- Waterproof performance: IP67
- Dimension : 28 * 28 mm / 1.1 * 1.1 inches

六、測距儀外觀

經過上述各項設計結果，如圖 3-15 為本計畫開發之測距儀主體構件外觀。圖中，超音波測距儀主體構件包含電源模組、基本電路(控制箱)及三組超音波測距儀等。其中，基板電路(控制箱)係由通訊天線、水偵測器、時間模組 SD 卡資料儲存模組、LoRa 通訊模組、電源輸入端子及三組超音波測距儀等，如圖 3-16 所示。

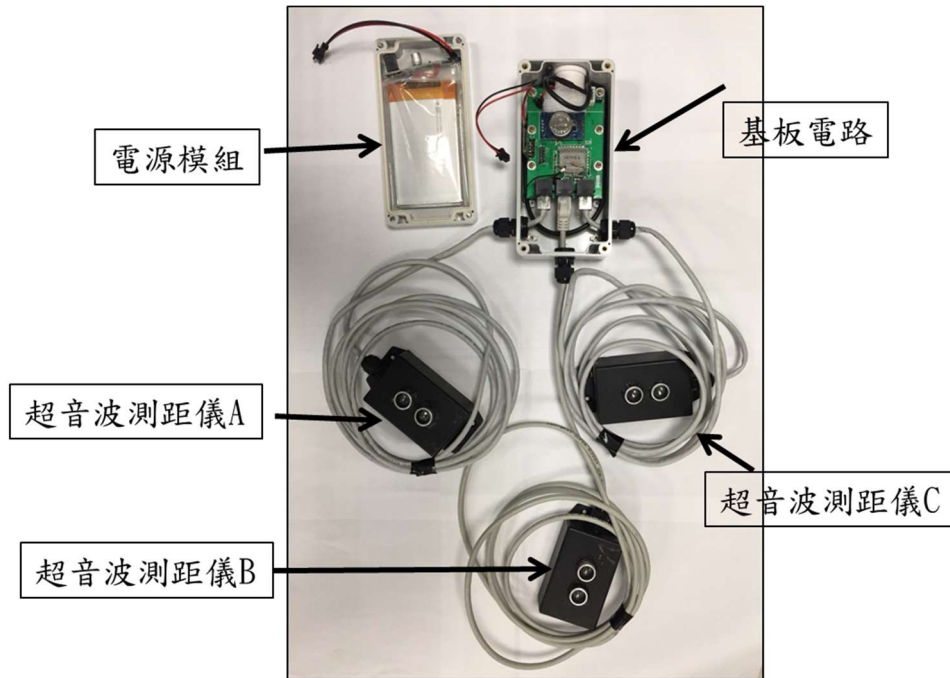


圖 3-15 測距儀外觀

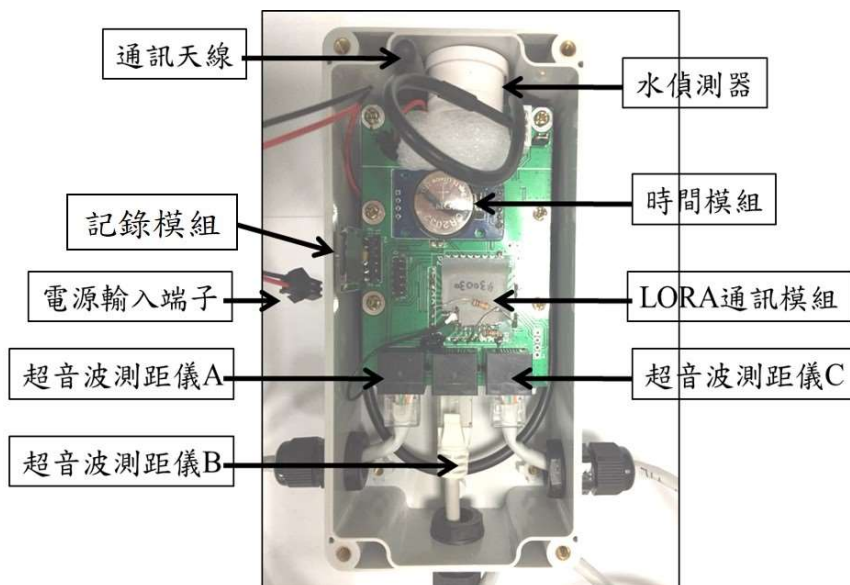


圖 3-16 基板電路(控制箱)內部構造圖

因此，本計畫所開發超音波測距儀具有以下功能，包括：

- (一)體積小，易於攜帶搬運及現地安裝。
- (二)降雨起動電源裝置(水偵測器)，具有節電功能。
- (三)全自動觀測，現地儲存功能，且能實時無線傳輸擷取之數據。
- (四)單一主機，配置 3 組超音波感測器，可以同時觀測 3 處之距離變化。
- (五)有效測深達 4.0m，誤差 $\pm 0.1\%$ ，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。

第五節 室內測試

依據本計畫研發之目的，對於超音波測距儀原型必須進行：(1)感測器與泥砂表面間距離測定實驗；(2)感測器與自由水面間距離測定實驗；(3)無線傳輸距離測試；及(4)耗電量測試等四項基本測試，其中前兩項需分別進行室內及現地測試，而後兩項則以現地測試為主。

一、室內測試規劃

測距儀係利用超音波感測器在空氣傳遞的過程中，碰到不同物質的介面(受測面)時會產生反射，利用發射波和接收波之間的時間差，經由程式來計算感測器與待測物之間的距離。但是，由於不同受測面對於超音波回波強弱會有不同程度的影響，故必須通過一系列的實驗來確定及調整計算參數，以獲取距離測定的最大精確度。

鑑此，本計畫室內測試係於逢甲大學水土環境實驗室內進行。室內測試計畫係將超音波感測器固定於某一已知可變動的高度 h ，並向著受測面發出的超音波，利用音波回傳的時間差計算感測器與量測面間的間距，如圖 3-17 所示。考量本計畫研發測距儀之後續應用場合，受測面類型以：(1)水泥表面、(2)泥砂表面(均勻平坦#50 細砂；均勻平坦#4 礫石；均勻起伏#50 細砂)、及(3)靜止及波動自由水面等為主，合計六種受測面類型，分別模擬量測坡面土壤沖蝕深度及河川水位，各受測面條件之測試實況，分別如照片 3-4 至照片 3-6 所示。

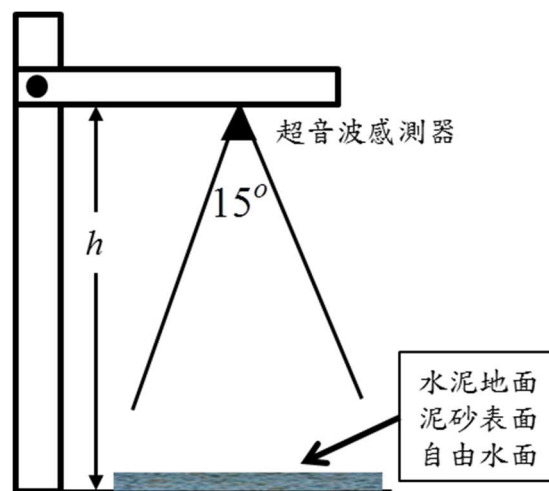
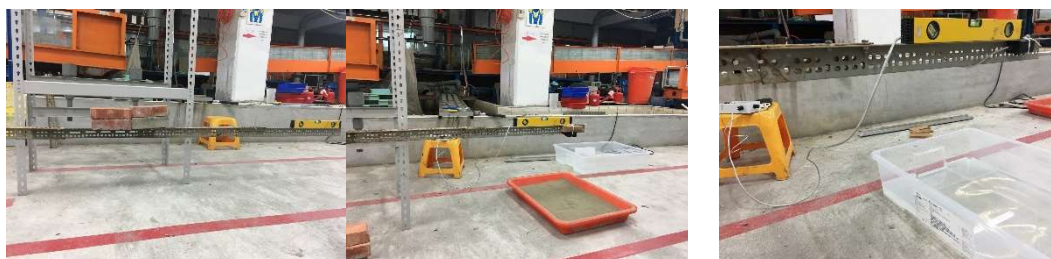


圖 3-17 超音波感測器室內測試裝置



照片3-4 確認水平及量測真值

照片3-5 #4礫石受測面



照片3-6 受側面分別為水泥為、礫石以及水面之量測狀況

二、室內測試結果與分析

依據室內測試規劃，受測面條件包括水泥地面、細顆粒泥砂表面、粗顆粒泥砂表面、起伏狀細顆粒泥砂表面、靜止狀及波動狀自由水面、靜水井式自由水面等七種狀況，而超音波感測器與受測面分別有 $h=300\text{mm}$ 、 500mm 、 10000mm 等三種不同間距，各測試條件如表3-6所示。

表 3-6 室內測試條件一覽表

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	●	●	●

依據表3-6各項條件進行室測試，結果分別如表3-7及表3-10所示。根據兩次測試數據結果，可以綜合歸納出以下重要結論，包括：

- (一)水泥地面：測定精確度極高，誤差均小於 0.28%，顯示本計畫研發測距儀量測度精確度高，且解析度已達 1.0mm，已具備實務應用之基本水準。
- (二)自由水面：自由水面量測誤差與水泥地面相當，除了波動狀自由水面具有較高的誤差外，靜止條件的自由水面量測誤差均在 0.26%以下，惟波動狀自由水面量測誤差高達 3.02%。由於實際河川或區域排水水位均呈現較室內更為激烈的波動狀態，這將不利於超音波射距儀的運用。
- (三)泥砂表面：從測試結果顯示，泥砂表面不論是細顆粒泥砂或粗顆粒泥砂或是起伏狀的細顆粒泥砂表面，其測定誤差皆小於 0.38%，甚至更低，顯示超音波測距儀頗適用於各種泥砂表面。
- (四)總結測試結果顯示，超音波測距儀可以適用各種受測面條件，其解析度及精確度亦能達到預期之效果，但是因超音波測距儀容易受到環境溫度之干擾而改變基準值，故必須定時調校其基準值，才能獲得較佳的量測結果。

表 3-7 水泥地面測試數據彙整

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
		平均			0.06	平均			0.28	平均			0.09

表 3-8 自由水面測試數據彙整

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
		平均		0.17		平均		0.26		平均		0.12	
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
		平均		3.02		平均		0.33		平均		0.16	

表 3-9 泥砂表面測試數據彙整

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
		平均		0.07		平均		0.32		平均		0.07	
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
		平均		0.00		平均		0.38		平均		0.17	

表 3-10 泥砂表面測試數據彙整

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
		平均			0.03	平均			0.36	平均			0.07

第六節 現地測試

基於室內測距精度已達一定水準的條件下，經由現地測試體現測距資訊之無線傳輸能力，使具有「即時偵測、即時回傳」之基本功能，達成超音波測距儀在實務應用上之價值。

現地測試包括機構的架設，低功率無線電 LoRa 傳輸距離及坡面土壤侵蝕深度量測項目，茲分述如下：

一、機構的架設

係於臺中市大雅區與西屯區交界 12 期重劃區港尾溪旁的坡地上進行，其基本布置如圖 3-18 所示。圖中，(A)機構是採用最小土體擾動之方法，透過牙桿進行固定，並將偵測器向外延伸 20 公分，並藉由試驗成果，將偵測坡面與偵測器保持 30-50 公分。(B)圓柱式體，以行架的方式，以圓柱體為中心向外延伸，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 $h=25\text{mm}$ ，這種布置高度在無線傳輸上是比較艱難的，如照片 3-7 所示。

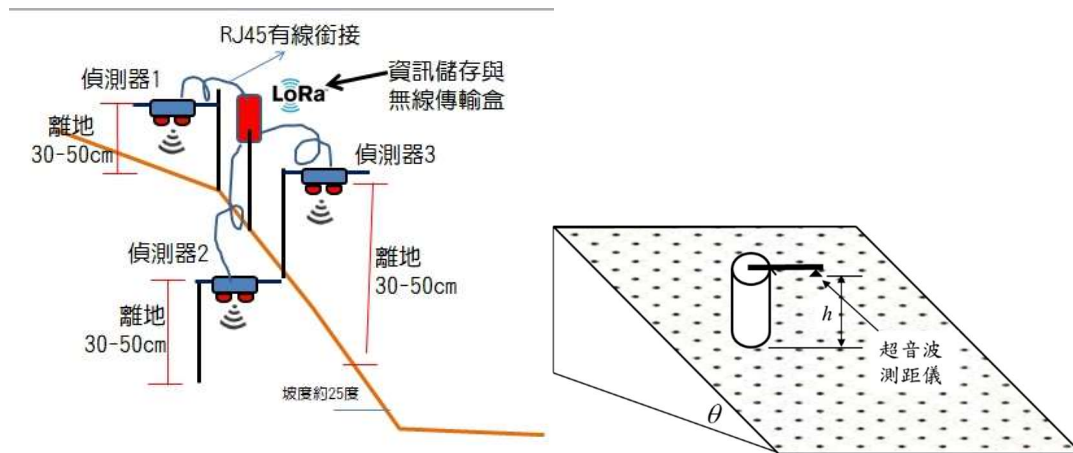


圖 3-18 現地土壤沖蝕測試布置示意圖(A)牙桿式 (B)圓柱式體



照片 3-7 現地測試布置(A)鉸桿式 (B)圓柱式體式

依據現地量測成果，於 2017/8-2017/11 合計三個月的測試，包含三處坡面，每處坡面皆有三組觀測點，每組設施經現地無線傳輸後，回傳到紀錄器進行資料儲存，其測試可以獲得以下結果，包括：

1. 戶外長時間沖淤量測成果：

如照片 3-8 所示，將 ABC 三處，各三組偵測裝置，進行坡面充實的量測，歷經約 10 場降雨事件的影響，參考台中市政府於港尾仔溪設置之雨量觀測資料作為參考，如圖 3-19 所示，其觀測成果如附錄四。從觀測資料來看，各區沖刷狀況，主要以八月底以及十一月初的降雨事件影響較大，歷經四個月的觀測，各觀測點最大沖刷深度如表 3-11 所示。

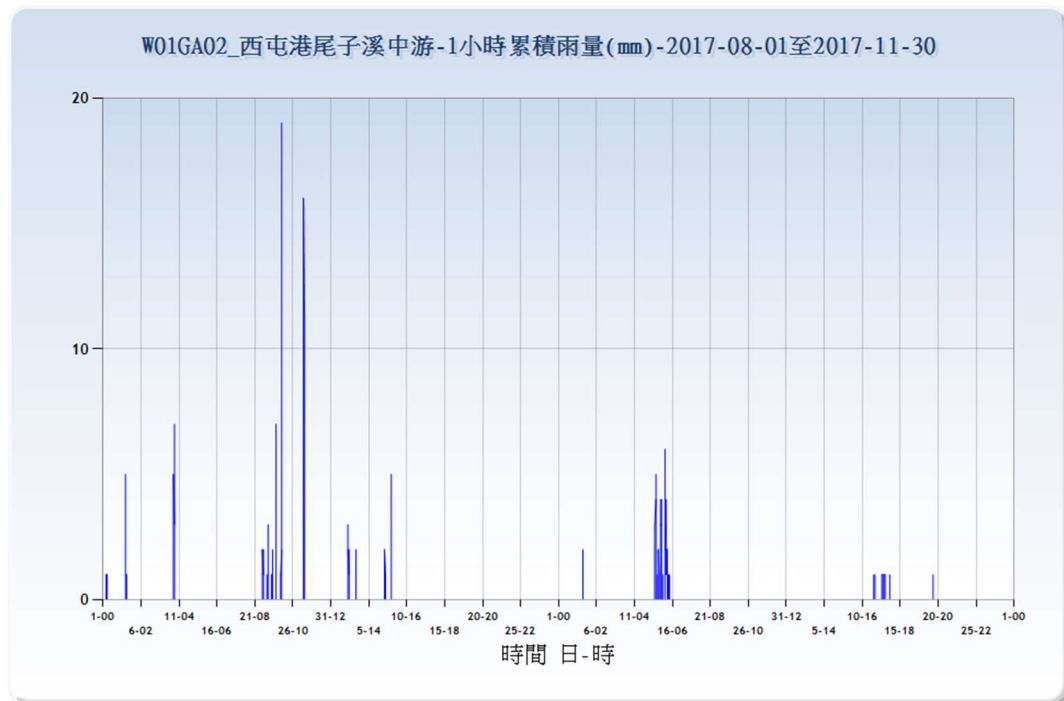


圖 3-19 戶外觀測期間降雨特性(時雨量)



照片 3-8 三區試驗場地設備安裝試驗狀況

表 3-11 觀測成果沖淤變化數據

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
觀測原始數值(cm)	43.2	50.8	49.8	52.4	53.7	55.4	43.1	46.2	49.3
沖淤深度(cm)	-1.9	-1.8	-2.2	-1.3	-1.8	-2.2	-2.4	-2.2	-3.0

2. 戶外長時間訊號傳輸成果:

根據 106/8-106/11 期間西屯區玉降雨事件之紀錄，合計約有十場降雨事件，觀察平時與降雨條件下之訊號傳輸狀況，表 3-12 為觀測期間訊號強度的最大狀況數據。A 區平時在-65db，降雨時降到約-85db，B 區平時約-94db，降雨最大時約-110db，而 C 區則距離較之故且周邊樓房甚高，平時約-130db，最大降雨時降到-144db，但設備仍在傳輸，並無掉資訊。

表 3-12 試驗期間訊號強度統計

事件	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
12/1 平時	-64.0	-66.0	-62.0	-93.0	-96.0	-97.0	-126.0	-132.0	-129.0
11/20	-66.0	-67.0	-64.0	-94.0	-97.3	-99.0	-124.5	-133.0	-126.0
11/12-14	-73.5	-74.5	-76.5	-101.0	-103.0	-102.0	-130.0	-130.5	-131.5
10/13-15	-69.5	-70.5	-66.5	-99.0	-98.5	-101.5	-131.5	-134.5	-132.5
9/7-8	-72.5	-77.4	-71.5	-102.5	-101.5	-104.5	-132.5	-137.5	-132.5
9/2-3	-70.5	-72.5	-73.5	-104.5	-102.5	-100.5	-127.0	-131.5	-133.5
8/27	-66.0	-67.0	-64.0	-94.0	-97.3	-99.0	-124.5	-133.0	-126.0
8/22-24	-83.5	-86.5	-90.5	-104.5	-111.0	-107.5	-137.5	-139.5	-144.0
8/10	-66.5	-67.5	-66.5	-95.5	-101.5	-105.5	-137.5	-133.5	-133.5
8/3-4	-69.5	-70.5	-67.0	-97.5	-103.5	-101.5	-132.5	-130.5	-132.5
8/1	-67.5	-71.5	-72.5	-101.5	-96.5	-99.5	-121.5	-127.5	-128.5

3. 戶外長時間電池測試成果:

本次設備所採用的電池，主要利用 3.75V1.7ah 的鋰陶電池，A 區與 B 區兩者傳輸所耗的電量較少，因此共計更換六次，最長一次支撐 26 天，但降雨頻繁之八月，怎該次僅支撐 16 天。C 區因為距離較遠，耗費功率較高，因此更換七次，每次約支撐 14-19 天之多，這與計算之 24 天使用量接近。

表 3-13 觀測期間電力支撐天數

事件	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
第一次更換	20 天	20 天	20 天	20 天	20 天	20 天	17 天	17 天	17 天
第二次更換	16 天	16 天	16 天	16 天	16 天	16 天	14 天	14 天	14 天
第三次更換	23 天	23 天	23 天	23 天	23 天	23 天	19 天	19 天	19 天
第四次更換	26 天	26 天	26 天	26 天	26 天	26 天	16 天	16 天	16 天
第五次更換	21 天	21 天	21 天	21 天	21 天	21 天	18 天	18 天	18 天
第六次更換	16 天	16 天	16 天	16 天	16 天	16 天	18 天	18 天	18 天
第七次更換	-	-	-	-	-	-	20 天	20 天	20 天

二、LoRa 傳輸距離測試

(一)短天線部分：採用 1db 短天線採用 915MHz 之 LoRa 進行可通視及無通視之平地與山區環境訊號傳輸測試。結果顯示，在平地，當無阻礙物時，在距離 2360m 時，無線電訊號強度約達 126db，在有房舍阻礙時，距離在 1630m 時，無線電訊號強度約達 133db。在山區，當測試距離在當測試距離由近至遠時，無線電訊號強度也由強逐漸減弱，直到測試距離達 1,100m 時，無線電訊號強度約達 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，如圖 3-20 所示。

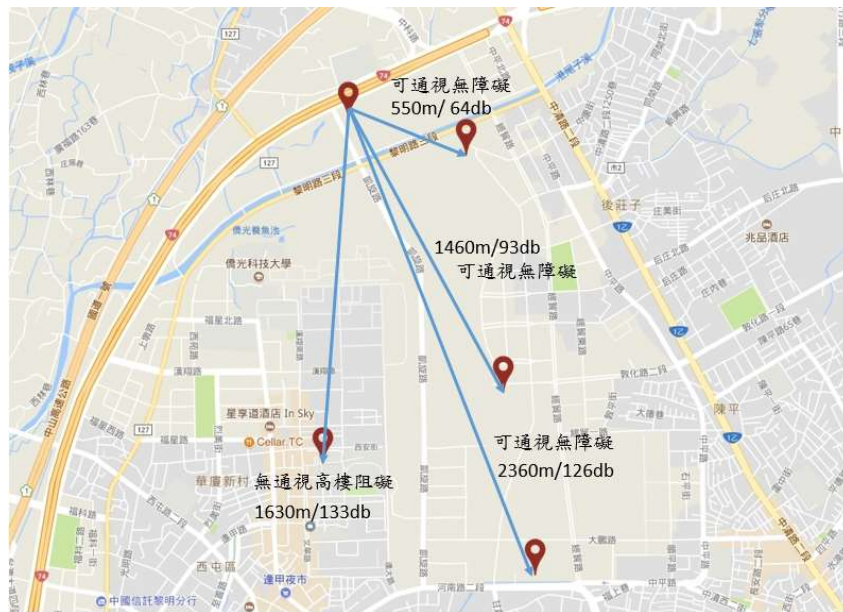


圖 3-20(A) 短天線 LoRa 無線電傳輸測試(平地無通視環境)



圖 3-20(B) 短天線 LoRa 無線電傳輸測試(山區無通視環境)

(二)長天線部分：3db 長天線同樣針對 915MHz 之 LoRa 進行無通視環境訊號傳輸測試方式，與前述短天線測試完全相同，如圖 3-20 所示。圖中，在平地狀況，當測試距離達 4,360m 時，因五權路高樓甚多，加上路程遙遠，阻隔甚多，無線電訊號強度約達 134db，幾乎無法傳輸，會漏封包。但在距離 3,360m 時，無線電訊號強度約達 123db，通訊仍要視周邊屏障而定。在山區時，距離達 2,400m 時，無線電訊號強度約達 130db，顯示長天線條件下，LoRa 無線傳輸距離可達 2,400m。



圖 3-21(A) 長天線 LoRa 無線電傳輸測試(平地無通視環境)

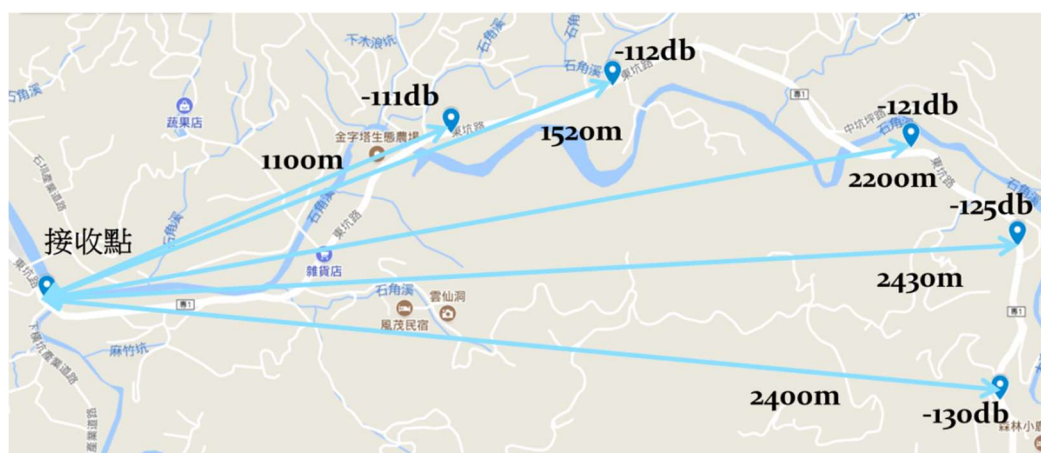


圖 3-21(B) 長天線 LoRa 無線電傳輸測試(山區無通視環境)

三、坡面土壤侵蝕深度量測

依據照片 3-7 現地測試布置，採以人工灑水形成逕流造成土壤侵蝕，藉以模擬降雨侵蝕過程。經測試結果，實際土壤侵蝕深度約 3.0mm，而實測結果為 2.0mm，其誤差約 3.5%，這與室內測試結果大致相符，惟因測試時間相當短暫，倘延長測試時間，或可能因溫度變化而影響量測精確度。

第七節 電力續航力測試

為符合長時間觀測需求，本計畫配合雨水感測器達到節能之效果，其設計概念如圖 3-22 所示。

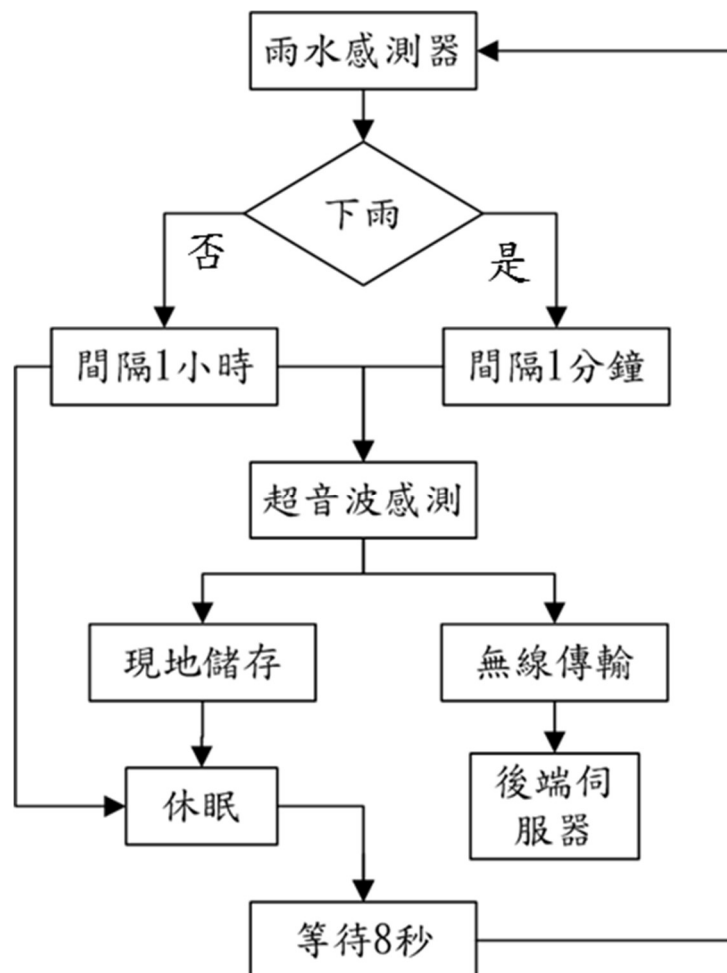


圖 3-22 節能設計概念圖

在水偵測器的節電設計下，本計畫即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，使用電流如表3-14所示。

表 3-14 使用電流耗能量測

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

現地測試前，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

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

式中， W = 熱量(焦耳)； P = 熱功率(瓦特)； V = 電壓； I = 電流(安培)； t = 時間(秒)。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 $W = 21600J * 80\% = 17280J$

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

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

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17280J，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18741分鐘，約13天。其餘傳輸頻率下之耗電測試結果，如表3-15所示。此外，因超音波測距儀SD卡容量達2G，足以儲存超過24天的連續偵測值。

表 3-15 電力持續時間與記憶體容量評估一覽表

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

第八節 可行性評估

通過室內及現地測試，可以取得超音波測距儀在各方面的使用成效，但還是不能表示其已具備實用之價值，此時必須就測距儀之經濟性、耐久性、穩定性、精確性及應用性等多個面相進行綜合性的評估，始能為測距儀後續發展之可行性做出結論。

一、經濟性：

係指測距儀製作成本。根據目前製作成本來看，包含感測器、電力及傳輸等設備，其成本約9230元，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。不過，此為成本價格，在實際應用時，尚應考量維護、測試及一定的利潤等因素。其細部單價之說明如表3-16所示，表中可以看到，超音波模組以及主機板是產品中最貴的單體，其次為傳輸跟電力。

表3-16 各項單價設備評估表

品名	單價
機殼	500元
波音波模組	2200元
電池模組	960元
LORA傳輸模組	1120元
夜位偵測器模組	600元
主機板	2800元
五金耗材	800元
組裝費	250元
合計	9,230元

二、耐久性：

係指在現地惡劣的自然環境下(如風吹、日晒、雨淋)，測距儀不受破壞的時間；換言之，即測距儀對環境的耐受度。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1-2年的使用壽命，進行測距儀外殼保護裝置之配置。

三、穩定性：

係指無線傳輸的穩定性。依據本計畫採用915MHz之LORA通訊模組(區域無線)，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，如表3-17為各種傳輸方式之比較表。

表 3-17 各種傳輸方式比較表

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 100m 以內	數十 km	距離 800m 以內	20km、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

四、精確性：

係指測距儀量測值的精確性或穩定性。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：

係指測距儀可應用之範圍。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。

表3-18為與現行自記式水位計比較結果。表中，各型水位計皆屬較大距離之量測，而本計畫開發之超音波測距儀則適用於短距離的量測，且應用演算程式的修正調整，使得其量測精度可以大幅提升。總結評估結果本，計畫超音波測距儀以運用於坡面土壤侵蝕量測為佳，故可稱之為「自記式土壤侵蝕量測儀」。

表 3-18 各類型自記式水位計比較一覽表

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 4. 單價低	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 3. 單價中等	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	1. 可抗酸性腐蝕 2. 靈敏度高 3. 穩定性好 4. 可佈置多測點 5. 單價低	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	1. 觀測結果易受環境的干擾 2. 需固定支架或延伸桿件	1. 量測範圍 15m 2. 需要較大的電力
耗材式超音波	非接觸式	1. 可隨河床水流變化，移動探頭位置 2. 單價低	1. 觀測結果易受環境的干擾 2. 需要固定支架、橋梁或延伸桿建	1. 量測範圍約 4.0m 2. 省電 3. 經濟
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	1. 成本高，不易維護 2. 耗電量高	量測範圍 80m

第四章、結論與建議

第一節 結論

經過室內及現地測試結果顯示本計畫開發之超音波測距儀不僅在量測精確度上已達到預期的水準，且在經濟性、耐久性及穩定性等方面均有不錯的表現，具有實務應用之可行性。茲將本計畫研究成果彙整以下幾點結論，包括：

- 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。

第二節 建議

不過，受限於超音波特性，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。

參考文獻

1. 林俊全，泥岩邊坡發育模式之研究，國立台灣大學理學院地理學報，第 18 期：45-58 頁，1995。
2. 何幸娟、林伯勳、冀樹勇、尹孝元、施美琴、羅文俊，神木集水區土壤沖蝕特性，中華水土保持學報，第 43 期（3）：275-283 頁，2012。
3. 林韋成，碩士論文，石門水庫集水區土壤沖蝕與水文地文影響因子研究，淡江大學土木工程學系，2014。
4. 連惠邦，土砂災害與防治，2017。
5. 許振崑、林伯勳、鄭錦桐、冀樹勇、黃文洲、尹孝元，石門水庫集水區土壤沖蝕量評估及現地試驗監測，第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會，2009。
6. 蔡宗旻，碩士論文，超音波水位計量測方式改良及水位數據之品管檢核，成功大學海洋所，2004。
7. 陳家榮，碩士論文，LED 光源影像應用於水位量測之研究，交通大學土木工程學系，2012。
8. 陳振文，碩士論文，超音波測距系統設計，中華大學，2005。
9. 楊富堤，水利署水文觀測系統儀器傳輸整合之執行成果，98 年度農田水利自動測報暨地理資訊系統技術應用研討會，2009。
10. Crouch, R. J., *The relationship of gully sidewall shape to sediment production*, Australian Journal of Soil Research, 25:531-539, 1987.
11. Grant, D.M., *Open channel flow measurement handbook*, Instrumentation Specialties Company, Lincoln, 1978.
12. Lawler, D. M. & Leeks, G. J. L., *River bank erosion events on the upper Severn detected by the Photo-Electronic Erosion Pin (PEEP) system*. In: Bogen, J., Walling, D. E. and Day, T. (eds) *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmers in River Basins*, International Association of Hydrological Sciences Publication, 210: 95-105, 1992.
13. Mtakwa et al, P. W., Lai, R. and Sharma, R. B., *An evaluation of the Universal Soil Loss Equation and field techniques for assessing soil erosion in a tropical alfisol in western Nigeria*, Hydrological Processes, 1:199-209, 1987.

106 年創新研究計畫案期中審查意見

開會時間:106 年 8 月 2 日(星期三)下午 13:30

開會地點:本局第一會議室

主持人:柯總工程司燦堂

審查意見	處理情形
1.超音波用於水位或邊坡表面位移量的量測也許可行，但對於土壤侵蝕深度的量測則仍有待確認。建議瞭解超音波感測器與受測物之間的最小距離為何，以確保量測結果的正確性。	關於超音波最小量測距離，參閱第三章第四節，設備最小量測距離為 2 公分，但是經過測試，誤差最小落在 30-70 公分之間。基於經度的量測，0.3 公分+1%之設備誤差，大約在 3.03mm，對河道沖蝕觀測，可達 mm 等級。
2.本案研發測距的設備，在相關工作中確可發揮功能，也確實便宜可行，唯應注意其可靠度或解析能力。	關於設備的可靠度試驗，本團隊於期中過後將設備放置在外做長期觀測以及噪訊的測試以了解該設備之穩定性。
3.由 P.3-33 在泥沙表面測試 100cm 誤差達 13mm 則要利用來做為土地的表面沖蝕，不具可行性，P.3-25 所述最小誤差並無法達到。	以此誤差，大約在 1.3%，本團隊會將設備的軟體噪訊再做調整，並將每秒打出的超音波次數的平均值微調，於期中過後再予以測試，以適合現地的應用。
4. P.3-28 所述自由水面 5.0%是否太差。	此部分之軟體偵測的微調會配合設備精度一併調整，盡可能控制在 1%誤差。
5.簡報偵測超音波達 40 公尺是否口誤，應為 4 公尺。	偵測距離為 400 公分，亦為 4 公尺。
6.本研究甚具創意，可補充研發成果在不同氣候條件下之誤差。	感謝指教，本項工作於期中過後設備會在室外進行長期觀測，希望能在晴天、陰天以及與天都有測試成果。
7.後續可強化利用 LORA 進行資料傳輸之分析結果。	於期末報告時補充在傳輸測試的章節
8.本案僅就耗材式無線測距儀本身進行研發與應用之可行性探討，並未與其他一般儀器進行測試比較，難以評估其應用確實較為經濟、省能、有效等優勢，以供後續本局選用之參考。	本項測試主要以電子測距的量測成果以及鋼捲尺量測成果做比對，而捲尺的精度為 1 公分，因此對應的量測成果做為比對誤差之用。
9.另本案耗材式定義是不錯的概念，且其成本似乎可控制在 10,000 元以下(文中另有提到 5,000 元以下)，卻無與其他測量儀器之耗費成本進行比較，建議可收集相關資料進行比較，方顯現出相較於高成本之儀器，其以低	相關比對會將各類型測量儀器之優缺點與適用特性做比對說明逾期末報告進行補充。

審查意見	處理情形
成本即能獲得基本水準之量測成果，以供本局後續選用之參考。	
10.本案僅就自身作探討，內容似乎有些薄弱，建議多與其他一般式儀器進行比較，以顯示其優勢	相關比對會將各類型測量儀器之優缺點與適用特性做比對說明逾期末報告進行補充。

106 年創新研究計畫案期末審查意見

開會時間:106 年 11 月 29 日(星期三)下午 13:30

開會地點:本局第一會議室

主持人:柯總工程司燦堂

審查意見	處理情形
1.有關野溪進行水位量測之困難點為流心常改變及平時無水位問題，建議研發時可考量此方面問題。	非接觸型設備需建置架構在橋梁或支撐延伸桿上，因考量台灣河川豐枯水位及流向明顯變化擺盪，常在橋上多設置兩套水位偵測設施或設置滑軌作為移動偵測之使用，難有自動追蹤之設備。但以過去非接觸型設備單價成本，一台雷達波水位計動則 20-30 萬元，本套設備在橋梁上可設置更多，這也算是設計考量所要解決之問題。
2.建議增加戶外試驗，確認儀器在戶外量測時之精度。	本次研究試驗，於 106 年 8 月 1 日至 106 年 11 月 30 日室外三區的測試，因時間來不及補上，請參閱第三章第六節。
3.儀器單價約一萬元，建議再列出細項單價。	單價分析請參閱表 3-16
4.是否有現地連結性的監測資料？建議將監測結果製成圖表呈現。	監測成果請參閱附錄四以及第三章第六節之說明
5.本研究屬應用型研究，主要在於超音波測距儀的研製，是否可以如預期成果所述，用於溪流沖淤演算使用，仍有商榷空間。	本項設備在測試後誤差都在 1%之誤差，且監測最大範圍為 4 公尺，因此，作為小區域排水或路側溝的使用已及時溝的量測，可作為應用參考。
6.新監測儀器之開發，有助於新技術發展，值得持續運作。	感謝指教
7.新技術發展，有助於自動化，物聯網等技術發展與產出具體教案等。	感謝指教
8.新技術讓相關策略訂定可更完整，對社經發展有益。	感謝指教
9.新技術之開發，惟尚未達實用。	本項設備為開發品，可用於耗材之使用，日後成為商品，需針對整體機構做設計以及相關產品之通訊、電力以及校準之測試認證後才可商品化。
10.屬基礎科學發展之研究計畫。	感謝指教
11.實用性尚有待改進，惟可作教案之題材。	本項設備主要作為分布之使用，並非用來作為精準之儀器，而在日防災的用途亦可廣為推展。

審查意見	處理情形
12.尚未涉及制度、法規與行政計畫。	本項不屬於此範圍
13.前瞻策略可作為參考項目之一。	感謝指教，可作為廣布應用

附錄一、接收端程式碼

接收端程式碼

```
//寫超過 25.1k 會異常
//----timer_write-----要全部宣告才會過
#include <Wire.h>
#include <SPI.h> // not used here, but needed to prevent a RTCLib compile error
#include <RTCLib.h>

RTC_DS3231 RTC;

//---SET-----
char myProject[5][4] = {"MM1","MM2","MM3"}; //本機計畫編號，可更改可更改可更改可更改，打在""裡面
byte myPr;

char LoraJoinNode_id[5][7]={ "430030","2d0031","660035"};
//char LoraJoinNode_id[5][7]={ "2d0031","2d0031","2d0031","2d0031"};
char LoraJoinNode_buffer[20] = {"LoraJoinNode 5c0029"};

unsigned int Minute_wait = 0;
byte Minute = 0, Minute2 = 0;
byte sec=0, sec2=1, master_sec=0;

byte startGO = 1;
//byte slave_send_GO = 0;
byte sa=0 ,sb=0;

unsigned int out_signal[15]; //myProject-Year-Month-Date-Hour-Minute-Second-rating-data1(Temperature)-
data2(Ultrasound)-data3(Laser)-data4
char out_buffer[60]={"@00000000000000000000000000000_0000_0000_0000_0000_0_0_0_0_0_0%"};
//@M052016100516173500000_0000_0000_0000_0000_0_0_0_0_0_0%

//-----SD Card--SPI sd 開啟後程式容量會寫滿，建議移至另顆晶片以免異常-----
#include <SD.h> //使用 sd 要開啟
/////////#include "SPI.h" //使用 sd 要開啟，上面有

#define SD_cs 10 //SD_Select_cs pin10 SPIpin

char datafil[]="/dataaa/0000.txt"; //使用 sd 要開啟
File myFile; //使用 sd 要開啟
byte sdhere = 0;

//-----Clock--I2C-----
#include <DS3231.h>
/////////#include <Wire.h> //I2C，上面有
DS3231 Clock;
//TimeRTC
bool Century=false;
bool h12;
bool PM;

//-----LORA-----
#define lora_baud 38400
//-----addr 詢問-----
//char LoraMyAddr[20]="LoraMyAddr=5c0029";
char MyAddr[8] ="dataaa";
//-----slave-----
unsigned int slave_read_data[6];

unsigned int slave_send_data[6];
char slave_send_string[35]="LoraNodeData 12342234323442345234";
```

```
//-----master-----
//////////unsigned int master_read_data[6][25] =
{"12342234323442345234","12342234323442345234","12342234323442345234"};

//----- UART-----
char InChar, InString[70]; //master 的字高達 60 個字元，故要特別放大//注意不可過大之前放大到 130 則寫入 sd 時
會當機

//-----SoftwareSerial-----
#include <SoftwareSerial.h>
#define TX 8
#define RX 7
SoftwareSerial mySerial(RX, TX); // simulationRXpin, simulationTXpin

byte test=0,c=0;

//-----
void timer_write(void)
{
    Wire.begin();
    RTC.begin();
    //-----
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    if (! RTC.isrunning()) {

        // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
        RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    }
    DateTime now = RTC.now();
    RTC.setAlarmSimple(21, 58);
    RTC.turnOnAlarm(1);
}

void TimeRTC(void)
{
    out_signal[1] = Clock.getYear(), DEC;
    out_signal[2] = Clock.getMonth(Century), DEC;
    out_signal[3] = Clock.getDate(), DEC;
    out_signal[4] = Clock.getHour(h12,PM), DEC;
    out_signal[5] = Clock.getMinute(), DEC;
    out_signal[6] = Clock.getSecond(), DEC;
    out_signal[7] = Clock.getTemperature(), 2;
}

void search_SD(void)
{
    SD.begin(SD_cs); //重製 SD.exists 功能

    File myFile = SD.open("/0000.txt", FILE_WRITE);
    myFile.close(); //关闭 dataFile
    if (SD.exists("/0000.txt")) //收尋到/0000.txt
    {
        sdhere =1; //與 sd 連接為 1
        //SD.mkdir("data");
        SD.mkdir(MyAddr);
    }
    else
    {
        sdhere =0;
    }
}
```

```

void SD_Card(void)
{
    search_SD();

    datafil[8]=((out_signal[2]/10)%10)+0x30;
    datafil[9]=(out_signal[2]%10)+0x30;
    datafil[10]=((out_signal[3]/10)%10)+0x30;
    datafil[11]=(out_signal[3]%10)+0x30;

    if(sdhere == 1) //有 SD 卡才進入
    {
        myFile = SD.open(datafil, FILE_WRITE); //會自創 txt
        if (myFile)
        {
            for(byte sdk=0 ; sdk<=57 ; sdk++)
            {
                if(sdk >= 57)
                {
                    myFile.println(out_buffer[sdk]);
                }
                else
                {
                    myFile.print(out_buffer[sdk]);
                }
            }
        }
        myFile.close(); //一定要打，沒打不會存檔
    }
}

void outbuffer(void)
{
    /*
    for(sdj=0;sdj<=Words_max;sdj++)
    {
        sdbuff[sdj]=0;//all write 0
    }
    */

    /*
    mySerial.println(out_signal[1]);
    mySerial.println(out_signal[2]);
    mySerial.println(out_signal[3]);
    mySerial.println(out_signal[4]);
    mySerial.println(out_signal[5]);
    mySerial.println(out_signal[6]);
    */

    //@M052016100516173500000.0_0000_0000_0000_0_0_0_0_0_0%
    //myProject-Year-Month-Date-Hour-Minute-Second-rating-data1(Temperature)-data2(Ultrasound_1)-
    data3(Ultrasound_2)-data4(Ultrasound_3)
    //myProject 000
    out_buffer[1]=myProject[myPr][0];
    out_buffer[2]=myProject[myPr][1];
    out_buffer[3]=myProject[myPr][2];
    //Year 00
    out_buffer[4]='2';
    out_buffer[5]='0';
    out_buffer[6]=((out_signal[1]/10)%10) +0x30;
    out_buffer[7]=out_signal[1]%10 +0x30;
    //Month 00
    out_buffer[8]=((out_signal[2]/10)%10) +0x30;
    out_buffer[9]=(out_signal[2]%10) +0x30;
    //Date 00

```

```

out_buffer[10]=((out_signal[3]/10)%10)+0x30;
out_buffer[11]=(out_signal[3]%10)+0x30;
//Hour 00
out_buffer[12]=((out_signal[4]/10)%10)+0x30;
out_buffer[13]=(out_signal[4]%10)+0x30;
//Minute 00
out_buffer[14]=((out_signal[5]/10)%10)+0x30;
out_buffer[15]=(out_signal[5]%10)+0x30;
//Second 00
out_buffer[16]=((out_signal[6]/10)%10)+0x30;
out_buffer[17]=(out_signal[6]%10)+0x30;
//rating 00000.0
//out_buffer[18]=((out_signal[8]/100000)%10)+0x30;
//out_buffer[19]=((out_signal[8]/10000)%10)+0x30;
//out_buffer[20]=((out_signal[8]/1000)%10)+0x30;
//out_buffer[21]=((out_signal[8]/100)%10)+0x30;
//out_buffer[22]=((out_signal[8]/10)%10)+0x30;
//out_buffer[24]=(out_signal[8]%10)+0x30;
//data1(Temperature) 0000
out_buffer[26]=((out_signal[7]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[27]=((out_signal[7]/100)%10)+0x30;
out_buffer[28]=((out_signal[7]/10)%10)+0x30;
out_buffer[29]=(out_signal[7]%10)+0x30;

/*
//data2(Ultrasound_1) 0000
out_buffer[31]=((out_signal[9]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[32]=((out_signal[9]/100)%10)+0x30;
out_buffer[33]=((out_signal[9]/10)%10)+0x30;
out_buffer[34]=(out_signal[9]%10)+0x30;
//data3(Ultrasound_2) 0000
out_buffer[36]=((out_signal[10]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[37]=((out_signal[10]/100)%10)+0x30;
out_buffer[38]=((out_signal[10]/10)%10)+0x30;
out_buffer[39]=(out_signal[10]%10)+0x30;
//data4(Ultrasound_3) 0000
out_buffer[41]=((out_signal[11]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[42]=((out_signal[11]/100)%10)+0x30;
out_buffer[43]=((out_signal[11]/10)%10)+0x30;
out_buffer[44]=(out_signal[11]%10)+0x30;
*/

}

void Detection(void)
{
/*
byte Minute = 0, Minute2 = 0;
unsigned int Minute_wait = 0;
byte sec, sec2;

byte start=0;

unsigned int rain_loop_Minute_have_jump = 1; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分鐘
unsigned int rain_loop_Minute_no_jump = 10; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分鐘
unsigned int sunny_loop_Minute = 1440; //抓取的執行間
*/
////////////////////////////////////

TimeRTC();
Minute = out_signal[5];

if(Minute2 != Minute)

```

```

{
    Minute2 = Minute;
    //Minute_wait++;
    startGO = 1;    //強制 1 分鐘 1 次
}
}

void GetDateStuffin(void)
{
    boolean Reading = 1;

    byte j=0,j2=0,jst=0,jst2=0,k=0;  //迴傳要讀取的數量，要全讀完才可結束，不然會當機

    while (Reading)
    {
        jst = (millis()/1000)%2;

        if (Serial.available()) //讀取，此時 Serial.available()會大於 5 但值無固定，讀完後會為 0
        {
            InChar = Serial.read();

            if((InChar >=32) & (InChar <=126))
            {
                InString[j] = InChar;
                j++;
            }
            jst2 = jst;
        }

        if(jst != jst2)
        {
            k++;
        }

        if((k >= 2) | (j >= 60)) //已進入資料鏈並讀取完畢
        {
            Reading = 0;

            Serial.end(); //因接收碼數量大於 xhere 要全收完才可中斷不然會當機，所以使用關閉傳輸，讓 xhere 後多
            //餘的都不讀取
            delay(100);
            Serial.begin(lora_baud);// 因要具續用所以在開啟

        }
    }

    mySerial.println(InString);

    GetMyAddr_read();
    master_read();

    //mySerial.println(InString);

    memset(InString, '0', 70);    //清空陣列
}

//-----lora-----
//-----set_LoraMode-----
void set_LoraMode(void)
{
    //Serial.println("LoraMode MASTER");

```

```
Serial.println("LoraMode SLAVE");
}

//-----GetMyAddr-----
void GetMyAddr_send(void)
{
    Serial.println("LoraGetMyAddr");
    //delay(10000);    //若連續詢問需隔 10sec
}

void GetMyAddr_read(void)
{
    byte i;
    //LoraGetMyAddrLoraMyAddr=240032-----
    if((InString[13]=='L') && (InString[17]=='M') && (InString[19]=='A') && (InString[23]=='='))
    {
        for(i=0;i<=5;i++)
        {
            MyAddr[i] = InString[i+24];
            datafil[i+1] = InString[i+24];
        }
        search_SD();
    }
}

void LoraJoinNode_send(void)
{
    byte a,b;
    //LoraJoinNode_id[5][7]
    //char LoraJoinNode_buffer[20] = {"LoraJoinNode 5c0029"}
    for(a=0;a<=2;a++)
    {
        for(b=0;b<=5;b++)
        {
            LoraJoinNode_buffer[13+b] = LoraJoinNode_id[a][b];
        }

        for(b=0;b<=2;b++)
        {
            Serial.println(LoraJoinNode_buffer);
            //mySerial.println(LoraJoinNode_buffer);
        }
        delay(2000);    //若連續詢問需隔 10sec
    }
}

void master_send(void)
{
    //mySerial.println(master_sec);
    switch(master_sec)
    {
        case 10:
        case 20:
            Serial.println("LoraNodeData 430030 00022234323442345234");
            break;

        case 30:
        case 40:
            Serial.println("LoraNodeData 2d0031 00022234323442345234");
            break;

        case 50:
        //case 60:
```

```

    Serial.println("LoraNodeData 660035 00022234323442345234");

    break;

    //case 60:
    //case 40:
    //Serial.println("LoraNodeData 5c0029 00002234323442345234");
    //break;

    case 60:
        Serial.println("LoraNodeData 660035 00022234323442345234");
        master_sec=0;
        //startGO = 0;//超過會等到下個分鐘的 50 秒才開始用作，故先移除
        break;

    //default:
    }
}

void master_read(void)
{
    byte i;
    if((InString[0]=='N') & (InString[4]=='=') & (InString[28]=='D'))
    {////Node=430030  DataLength=20  Data=03880166469300000000
        //mySerial.println(InString);

        for(i=0;i<=5;i++)
        {
            MyAddr[i] = InString[i+5];
            datafil[i+1] = InString[i+5];
        }

        outbuffer();

        //data2(Ultrasound_1) 0000
        out_buffer[31]=InString[33];
        out_buffer[32]=InString[34];
        out_buffer[33]=InString[35];
        out_buffer[34]=InString[36];
        //data3(Ultrasound_2) 0000
        out_buffer[36]=InString[37];
        out_buffer[37]=InString[38];
        out_buffer[38]=InString[39];
        out_buffer[39]=InString[40];
        //data4(Ultrasound_3) 0000
        out_buffer[41]=InString[41];
        out_buffer[42]=InString[42];
        out_buffer[43]=InString[43];
        out_buffer[44]=InString[44];

        SD_Card();
    }
}

void setup()
{
    //-----SoftwareSerial-----
    pinMode(RX,INPUT);
    pinMode(TX,OUTPUT);

    mySerial.begin(9600);

    //-----UART-----
    //Serial.begin(9600);// Start the serial interface

```

```
Serial.begin(38400); // Start the serial interface

//-----SD Card--SPI-----
SPI.begin(); // wake up the SPI bus
//SD.begin(SD_cs); //wake up the SPI SD //使用 sd 要開啟
pinMode(SD_cs, OUTPUT); //spi_SD_cs pin10

//-----Clock--I2C-----
Wire.begin();

delay(1000); //一定要

LoraJoinNode_send();

////////////////////////timer_write(); //校正時間模組////////////////////////
//-----
}

void loop()
{
  sec=(millis()/1000)%2;
  if(sec2 != sec)
  {
    sec2=sec;
//mySerial.println(LoraJoinNode_buffer);

    if(sb >= 5)
    {
      sb=0;
      Detection();

      if(sa <= 2)
      {
        sa++;

        GetMyAddr_send();
        //////////////////set_LoraMode(); //設定"MASTER"、"SLAVE"////////////////////////

        if(sa >= 2)
        {
          startGO = 1;
        }
      }
    }
    sb++;

    if(startGO == 1)
    {
      master_send();
    }
    master_sec++;
  }

  if(Serial.available())
  {
    GetDateStuffin();
  }
}
//-----
//增加看們狗重置程式 wdt_reset();
//-----/
```


附錄二、偵測端程式碼

偵測端程式碼

```

//寫超過 25.1k 會異常
//----timer_write-----要全部宣告才會過
#include <Wire.h>
#include <SPI.h> // not used here, but needed to prevent a RTCLib compile error
#include <RTCLib.h>

RTC_DS3231 RTC;

//---SET-----
char myProject[5] = "M02"; //本機計畫編號，可更改可更改可更改可更改，打在""裡面
unsigned int rain_loop_Minute_have_jump = 1; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分鐘
unsigned int rain_loop_Minute_no_jump = 10; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分鐘
unsigned int sunny_loop_Minute = 1440; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分，1hr = 60Minute ,
12hr = 720Minute , 24hr = 1440Minute
//-----
#define enable LOW
#define disable HIGH

#define v33_EN 3

unsigned int Minute_wait = 0;
byte Minute = 0, Minute2 = 0;
byte sec=0, sec2=1;

byte startGO = 0;
byte slave_send_GO = 0;
byte sa=0 ,sb=0;

unsigned int out_signal[15]; //myProject-Year-Month-Date-Hour-Minute-Second-rating-data1(Temperature)-
data2(Ultrasound)-data3(Laser)-data4
char out_buffer[60]={"@0000000000000000000000.0_0000_0000_0000_0000_0_0_0_0_0_0%"};
//@M052016100516173500000.0_0000_0000_0000_0000_0_0_0_0_0_0%

//-----JUMP-----
#define rain_change_Pin A7
unsigned int rain_change_ADC = 0;

//-----SD Card--SPI sd 開啟後程式容量會寫滿，建議移至另顆晶片以免異常-----
#include <SD.h> //使用 sd 要開啟
//////////include "SPI.h" //使用 sd 要開啟，上面有

#define SD_cs 10 //SD_Select_cs pin10 SPIpin

char datafil[] = "dataaa/0000.txt"; //使用 sd 要開啟
File myFile; //使用 sd 要開啟
byte sdhere = 0;

//-----Clock--I2C-----
#include <DS3231.h>
//////////include <Wire.h> //I2C，上面有
DS3231 Clock;
//TimeRTC
bool Century=false;
bool h12;
bool PM;

//-----Ultrasound-----
#include <NewPing.h>
#define MAX_DISTANCE 400 //cm

#define UI_1_EN A3

```

```
#define UI_1_Trig      A1
#define UI_1_Echo      A2
#define UI_2_EN        4
#define UI_2_Trig      5
#define UI_2_Echo      6

#define UI_3_EN        9
#define UI_3_Trig      7
#define UI_3_Echo      8

float mmsec=0;
unsigned int add=0;

//-----LORA-----
#define lora_baud  38400
//-----addr 詢問-----
//char LoraMyAddr[20]="LoraMyAddr=5c0029";
char MyAddr[8] ="dataaa";

//-----slave-----
unsigned int slave_read_data[6];

unsigned int slave_send_data[6];
char slave_send_string[35]="LoraNodeData 12342234323442345234";

//----- UART-----
char InChar, InString[70];

//-----xkc-y25-v-----
#define xkc_EN        2
#define xkc_out        A0
byte xkc_flag=0;

/*
//-----SoftwareSerial-----
#include <SoftwareSerial.h>
#define TX  8
#define RX  7
SoftwareSerial mySerial(RX, TX); // simulationRXpin, simulationTXpin

byte test=0;
*/
//-----
void timer_write(void)
{
    Wire.begin();
    RTC.begin();
    //-----
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    if (! RTC.isrunning()) {

        // following line sets the RTC to the date & time this sketch was compiled
        RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    }
    DateTime now = RTC.now();
    RTC.setAlarm1Simple(21, 58);
    RTC.turnOnAlarm(1);
}

void TimeRTC(void)
{
    out_signal[1] = Clock.getYear(), DEC;
    out_signal[2] = Clock.getMonth(Century), DEC;
```

```

    out_signal[3] = Clock.getDate(), DEC;
    out_signal[4] = Clock.getHour(h12,PM), DEC;
    out_signal[5] = Clock.getMinute(), DEC;
    out_signal[6] = Clock.getSecond(), DEC;
    out_signal[7] = Clock.getTemperature(), 2;
}

void Ultrasound_1(void)
{
    digitalWrite(UI_1_EN, enable);
    delay(200);

    add=0;
    digitalWrite(UI_1_Trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(UI_1_Trig, LOW);
    mmsec = pulseIn (UI_1_Echo, HIGH);
    add = (mmsec/2)/0.291;

    out_signal[9] = add / 10;

    //delay(500);
    digitalWrite(UI_1_EN, disable);
}

void Ultrasound_2(void)
{
    digitalWrite(UI_2_EN, enable);
    delay(200);

    add=0;
    digitalWrite(UI_2_Trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(UI_2_Trig, LOW);
    mmsec = pulseIn (UI_2_Echo, HIGH);
    add = (mmsec/2)/0.291;

    out_signal[10] = add / 10;

    //delay(500);
    digitalWrite(UI_2_EN, disable);
}

void Ultrasound_3(void)
{
    digitalWrite(UI_3_EN, enable);
    delay(200);

    add=0;
    digitalWrite(UI_3_Trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(UI_3_Trig, LOW);
    mmsec = pulseIn (UI_3_Echo, HIGH);
    add = (mmsec/2)/0.291;

    out_signal[11] = add / 10;

    //delay(500);
    digitalWrite(UI_3_EN, disable);
}

void search_SD(void)
{
    SD.begin(SD_cs); //重製 SD.exists 功能

```

```
File myFile = SD.open("/0000.txt", FILE_WRITE);
myFile.close(); //关闭 dataFile
if (SD.exists("/0000.txt")) //收尋到/0000.txt
{
    sdhere =1; //與 sd 連接為 1
    //SD.mkdir("data");
    SD.mkdir(MyAddr);
}
else
{
    sdhere =0;
}
}

void SD_Card(void)
{
    search_SD();

    datafil[8]=((out_signal[2]/10)%10)+0x30;
    datafil[9]=(out_signal[2]%10)+0x30;
    datafil[10]=((out_signal[3]/10)%10)+0x30;
    datafil[11]=(out_signal[3]%10)+0x30;

    if(sdhere == 1) //有 SD 卡才進入
    {
        myFile = SD.open(datafil, FILE_WRITE); //會自創 txt
        if (myFile)
        {
            for(byte sdk=0 ; sdk<=57 ; sdk++)
            {
                if(sdk == 57)
                {
                    myFile.println(out_buffer[sdk]);
                }
                else
                {
                    myFile.print(out_buffer[sdk]);
                }
            }
        }
        myFile.close(); //一定要打，沒打不會存檔
    }
}

void outbuffer(void)
{
    /*for(sdj=0;sdj<=Words_max;sdj++)
    {
        sdbuff[sdj]=0;//all write 0
    }
    */

    /*
    mySerial.println(out_signal[1]);
    mySerial.println(out_signal[2]);
    mySerial.println(out_signal[3]);
    mySerial.println(out_signal[4]);
    mySerial.println(out_signal[5]);
    mySerial.println(out_signal[6]);
    */
}
```

```

//@M052016100516173500000.0_0000_0000_0000_0000_0_0_0_0_0_0%
//myProject-Year-Month-Date-Hour-Minute-Second-rating-data1(Temperature)-data2(Ultrasound_1)-
data3(Ultrasound_2)-data4(Ultrasound_3)
//myProject 000
out_buffer[1]=myProject[0];
out_buffer[2]=myProject[1];
out_buffer[3]=myProject[2];
//Year 00
out_buffer[4]='2';
out_buffer[5]='0';
out_buffer[6]=((out_signal[1]/10)%10)+0x30;
out_buffer[7]=out_signal[1]%10+0x30;
//Month 00
out_buffer[8]=((out_signal[2]/10)%10)+0x30;
out_buffer[9]=(out_signal[2]%10)+0x30;
//Date 00
out_buffer[10]=((out_signal[3]/10)%10)+0x30;
out_buffer[11]=(out_signal[3]%10)+0x30;
//Hour 00
out_buffer[12]=((out_signal[4]/10)%10)+0x30;
out_buffer[13]=(out_signal[4]%10)+0x30;
//Minute 00
out_buffer[14]=((out_signal[5]/10)%10)+0x30;
out_buffer[15]=(out_signal[5]%10)+0x30;
//Second 00
out_buffer[16]=((out_signal[6]/10)%10)+0x30;
out_buffer[17]=(out_signal[6]%10)+0x30;
//rating 00000.0
//out_buffer[18]=((out_signal[8]/100000)%10)+0x30;
//out_buffer[19]=((out_signal[8]/10000)%10)+0x30;
//out_buffer[20]=((out_signal[8]/1000)%10)+0x30;
//out_buffer[21]=((out_signal[8]/100)%10)+0x30;
//out_buffer[22]=((out_signal[8]/10)%10)+0x30;
//out_buffer[24]=(out_signal[8]%10)+0x30;
//data1(Temperature) 0000
out_buffer[26]=((out_signal[7]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[27]=((out_signal[7]/100)%10)+0x30;
out_buffer[28]=((out_signal[7]/10)%10)+0x30;
out_buffer[29]=(out_signal[7]%10)+0x30;
//data2(Ultrasound_1) 0000
out_buffer[31]=((out_signal[9]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[32]=((out_signal[9]/100)%10)+0x30;
out_buffer[33]=((out_signal[9]/10)%10)+0x30;
out_buffer[34]=(out_signal[9]%10)+0x30;
//data3(Ultrasound_2) 0000
out_buffer[36]=((out_signal[10]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[37]=((out_signal[10]/100)%10)+0x30;
out_buffer[38]=((out_signal[10]/10)%10)+0x30;
out_buffer[39]=(out_signal[10]%10)+0x30;
//data4(Ultrasound_3) 0000
out_buffer[41]=((out_signal[11]/1000)%10)+0x30;
out_buffer[42]=((out_signal[11]/100)%10)+0x30;
out_buffer[43]=((out_signal[11]/10)%10)+0x30;
out_buffer[44]=(out_signal[11]%10)+0x30;

}

void Detection(void)
{
/*byte Minute = 0, Minute2 = 0;
unsigned int Minute_wait = 0;
byte sec, sec2;
```

```
byte start=0;

unsigned int rain_loop_Minute_have_jump = 1; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分鐘
unsigned int rain_loop_Minute_no_jump = 10; //抓取的執行間隔時間，分鐘為單位可填入 1~3000 分鐘
unsigned int sunny_loop_Minute = 1440; //抓取的執行間隔時間
*/
////////////////////////////////////

////////digitalWrite(xkc_EN, enable);
//delay(500);

xkc_flag = digitalRead(xkc_out);
rain_change_ADC = analogRead(rain_change_Pin);

TimeRTC();
Minute = out_signal[5];

if(Minute2 != Minute)
{
    Minute2 = Minute;
    Minute_wait++;
}

//delay(500);
//digitalWrite(xkc_EN, disable);

if(xkc_flag == HIGH)
{
    //rain
    if(rain_change_ADC >= 512) //have jump is 1 Minute
    {
        if(Minute_wait >= rain_loop_Minute_have_jump)
        {
            startGO = 1;
        }
    }
    else //NO jump is 10 Minute
    {
        if(Minute_wait >= rain_loop_Minute_no_jump)
        {
            startGO = 1;
        }
    }
}
else
{
    if(Minute_wait >= sunny_loop_Minute)
    {
        startGO = 1;
    }
}

/*
mySerial.println("xkc_flag");
mySerial.println(xkc_flag);

mySerial.println("rain_change_ADC");
mySerial.println(rain_change_ADC);

mySerial.println("Minute_wait");
mySerial.println(Minute_wait);

mySerial.println("test");
```

```

mySerial.println(test);

mySerial.println("startGO");
mySerial.println(startGO);
mySerial.println("-----");
*/
}

void GetDateStuffin(void)
{
    boolean Reading = 1;

    byte j=0,jst=0,jst2=0,k=0; //迴傳要讀取的數量，要全讀完才可結束，不然會當機

    while (Reading)
    {
        jst = (millis()/1000)%2;
        if (Serial.available()) //讀取，此時 Serial.available()會大於 5 但值無固定，讀完後會為 0
        {
            InChar = Serial.read();
            if((InChar >=32) & (InChar <=126))
            {
                InString[j] = InChar;
                j++;
            }

            jst2 = jst;
        }

        if(jst != jst2)
        {
            k++;
        }

        if(k >= 2) //已進入資料鏈並讀取完畢
        {
            Reading = 0;

            Serial.end(); //因接收碼數量大於 xhere 要全收完才可中斷不然會當機，所以使用關閉傳輸，讓 xhere 後多
            餘的都不讀取
            delay(100);
            Serial.begin(lora_baud);// 因要具續用所以在開啟
        }
    }

    GetMyAddr_read();
    slave_read();

    //mySerial.println(InString);

    memset(InString,'\0',70); //清空陣列
}

//-----lora-----
//-----set_LoraMode-----
void set_LoraMode(void)
{
    //Serial.println("LoraMode MASTER");
    Serial.println("LoraMode SLAVE");
}

//-----GetMyAddr-----
void GetMyAddr_send(void)

```

```

{
    Serial.println("LoraGetMyAddr");
    //delay(10000);    //若連續詢問需隔 10sec
}

void GetMyAddr_read(void)
{
    byte i;

    //LoraGetMyAddrLoraMyAddr=430030OK-----
    //0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13 14 15 16
    //L o r a M y A d d r = 5 c 0 0 2 9
    if((InString[13]=='L') && (InString[17]=='M') && (InString[19]=='A') && (InString[23]=='='))
    {
        for(i=0;i<=5;i++)
        {
            MyAddr[i] = InString[i+24];
            datafil[i+1] = InString[i+24];
        }
    }
}

//-----slave-----
void slave_send(void)
{
    //slave_send_string[35]="LoraNodeData 12342234323442345234";
    //0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
    //L o r a N o d e D a t a _ 1 2 3 4 2 2 3 4 3 2 3 4 4 2 3 4 5 2 3
4
    byte i;

    slave_send_data[0] = out_signal[9];
    slave_send_data[1] = out_signal[10];
    slave_send_data[2] = out_signal[11];
    //slave_send_data[3] = out_signal[9];
    //slave_send_data[4] = out_signal[9];

    for(i=0;i<=4;i++)
    {
        slave_send_string[(i*4)+13] = ((slave_send_data[i]/1000)%10)+0x30;
        slave_send_string[(i*4)+14] = ((slave_send_data[i]/100)%10)+0x30;
        slave_send_string[(i*4)+15] = ((slave_send_data[i]/10)%10)+0x30;
        slave_send_string[(i*4)+16] = (slave_send_data[i]%10)+0x30;
    }
    Serial.println(slave_send_string);
}

void slave_read(void)
{
    byte i,k;

    //LoraGateWayAddr=44002b  DataLength=20  Data=12342234323442345234-----
    //0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35
36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63
    //L o r a G a t e W a y A d d r = 4 4 0 0 2 b _ _ D a t a L e n g
t h = 2 0 _ _ D a t a = 1 2 3 4 2 2 3 4 3 2 3 4 _ 2 3 4 5 2 3 4
    if((InString[24]=='D') && (InString[28]=='L') && (InString[34]=='=') && (InString[39]=='D') && (InString[43]=='=') )
    {
        for(i=0;i<=4;i++)
        {
            slave_read_data[i] = (InString[(i*4)+44]-0x30)*1000;
            slave_read_data[i] += (InString[(i*4)+45]-0x30)*100;
            slave_read_data[i] += (InString[(i*4)+46]-0x30)*10;
        }
    }
}

```

```

    slave_read_data[i] += InString[(i*4)+47]-0x30;
}

if(slave_read_data[0] == 1)
{
    slave_send_GO = 1;
    if(Minute_wait >= 1)
    {
        startGO = 1;
    }
}

if(slave_read_data[0] == 2)
{
    slave_send_GO = 1;
}

}
/*
mySerial.println(slave_read_data[0]);
mySerial.println(slave_read_data[1]);
mySerial.println(slave_read_data[2]);
mySerial.println(slave_read_data[3]);
mySerial.println(slave_read_data[4]);
*/
}

void setup()
{
    /*
    //delay(2000);
    //-----SoftwareSerial-----
    pinMode(RX,INPUT);
    pinMode(TX,OUTPUT);

    mySerial.begin(9600);
    */

    //-----UART-----
    //Serial.begin(9600); // Start the serial interface
    Serial.begin(38400); // Start the serial interface

    //-----SD Card--SPI-----
    SPI.begin(); // wake up the SPI bus
    //SD.begin(SD_cs); //wake up the SPI SD //使用 sd 要開啟
    pinMode(SD_cs, OUTPUT); //spi_SD_cs pin10

    //-----Clock--I2C-----
    Wire.begin();

    //-----Ultrasound-----
    pinMode(UI_1_EN, OUTPUT);
    digitalWrite(UI_1_EN, disable);

    pinMode(UI_2_EN, OUTPUT);
    digitalWrite(UI_2_EN, disable);

    pinMode(UI_3_EN, OUTPUT);
    //digitalWrite(UI_3_EN, disable);
    digitalWrite(UI_3_EN, enable);

    //-----LORA SET-----
    pinMode(v33_EN, OUTPUT);

```

```
//digitalWrite(v33_EN, disable);
digitalWrite(v33_EN, enable);

//-----xkc-y25-v-----
pinMode(xkc_EN, OUTPUT);
//digitalWrite(xkc_EN, disable);
digitalWrite(xkc_EN, enable);    //時間模組重上電必須重開，因此休眠再關

pinMode(xkc_out, INPUT);
//pinMode(xkc_out, OUTPUT);
//digitalWrite(xkc_out, 1);

delay(1000);    //一定要

////////////////////timer_write();  //校正時間模組////////////////////
//-----
}

void loop()
{

    sec=(millis()/1000)%2;
    if(sec2 != sec)
    {
        sec2=sec;

        if(sb >= 5)
        {
            sb=0;
            Detection();

            //////////////////set_LoraMode();  //設定"MASTER"、"SLAVE"////////////////

            if(sa <= 2)
            {
                sa++;

                GetMyAddr_send();

                if(sa >= 2)
                {
                    startGO = 1;
                    slave_send_GO = 1;
                }
            }
        }
        sb++;
    }

    if(startGO == 1)
    {
        Minute_wait=0;
        startGO = 0;

        Ultrasound_1();
        Ultrasound_2();
        Ultrasound_3();

        outbuffer();
        SD_Card();
    }
}
```

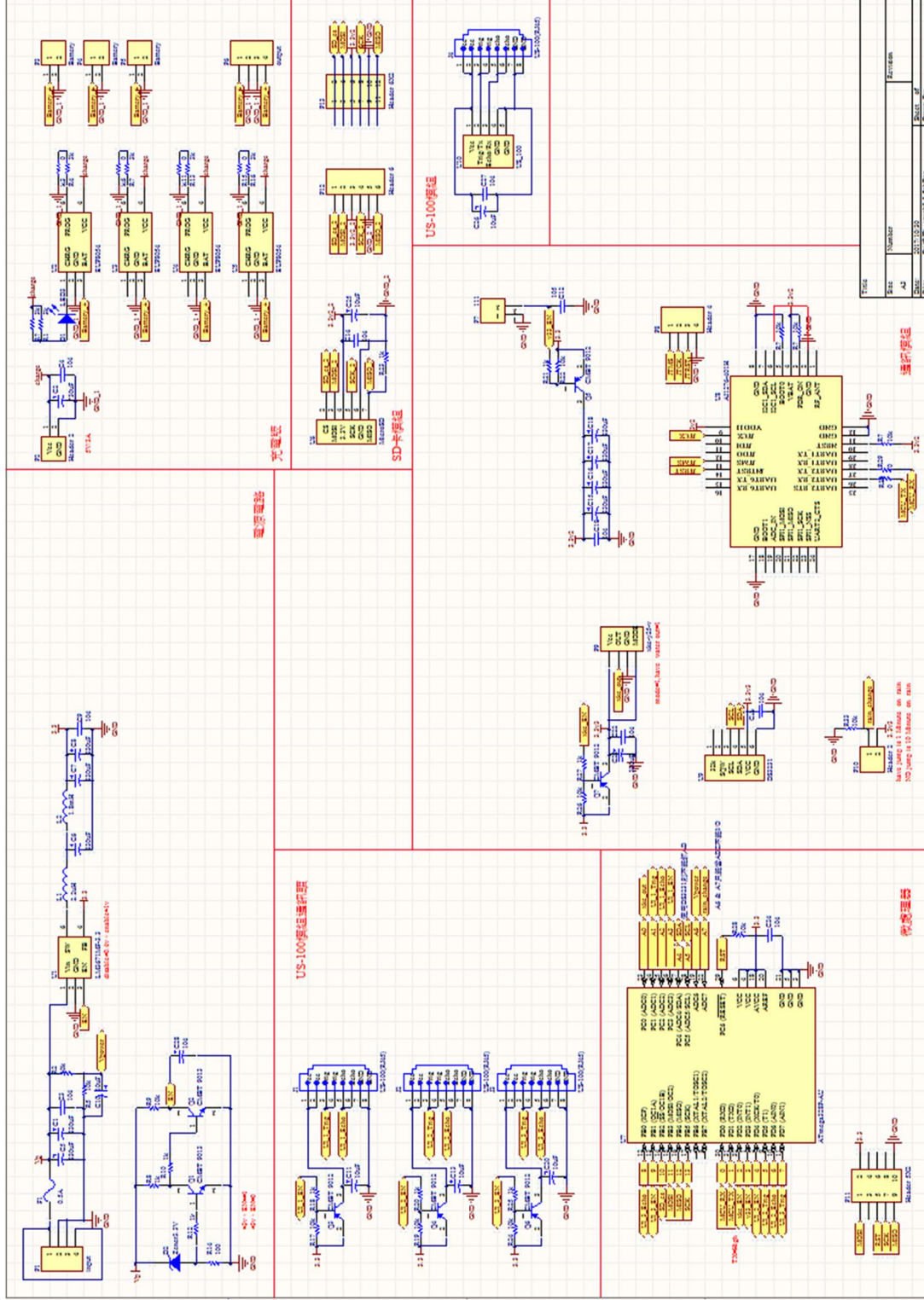
```
if(slave_send_GO == 1)
{
    slave_send_GO = 0;
    slave_send();
}

if(Serial.available())
{
    GetDateStuffin();
}
}

//-----
//增加看們狗重置程式 wdt_reset();
//-----
```


附錄三、電路圖

圖
電
路



附錄四、量測數據

[illegible]

[illegible]

[illegible]

附錄四、量測數據

[illegible]

[illegible]

2017/8/25 05:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/25 04:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/25 03:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/25 02:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/25 01:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/25 00:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/25 23:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/24 22:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/24 21:00	0	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/24 20:00	8	43.9	51.5	50.7	52.9	54.4	56.3	44.0	47.1	50.5	-0.7	-0.7	-0.9	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-1.2
2017/8/24 19:00	13	43.8	51.4	50.5	52.8	54.3	56.1	43.9	46.9	50.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8	-0.7	-1.0
2017/8/24 18:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 17:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 16:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 15:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 14:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 13:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 12:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 11:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 10:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 09:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 08:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 07:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 06:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 05:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 04:00	0	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 03:00	1	43.7	51.2	50.4	52.7	54.1	56.0	43.7	46.8	50.1	-0.5	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
2017/8/24 02:00	6	43.7	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.7	46.7	50.0	-0.5	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.7
2017/8/24 01:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/24 00:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 23:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 22:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 21:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 20:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 19:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 18:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 17:00	0	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 16:00	2	43.6	51.2	50.3	52.7	54.1	55.9	43.6	46.7	49.9	-0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6
2017/8/23 15:00	1	43.6	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.6	46.6	49.9	-0.4	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6
2017/8/23 14:00	0	43.6	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.6	46.6	49.9	-0.4	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6
2017/8/23 13:00	1	43.6	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.6	46.6	49.9	-0.4	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6
2017/8/23 12:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 11:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 10:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 09:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 08:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 07:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 06:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 05:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 04:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6
2017/8/23 03:00	0	43.5	51.1	50.2	52.6	54.0	55.8	43.5	46.6	49.9	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6

[illegible]

