

國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩士論文

包含 TDR 感測功能之自動化監測系統

Development of an automatic monitoring system with TDR
sensing capacity

研究生：謝岳勳

指導教授：林志平 博士

中華民國九十八年二月

包含 TDR 感測功能之自動化監測系統

Development of an automatic monitoring system with TDR sensing
capacity

研究生：謝岳勳

Student: Yueh-Hsun Hsieh

指導教授：林志平 博士

Advisor: Dr. Chih-Ping Lin

國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩士論文



February 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年二月

包含 TDR 感測功能之自動化監測系統

學生：謝岳勳

指導教授：林志平博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

中文摘要

近年來自動化監測系統已逐漸受到工程界的重視，本研究目的旨在以時域反射法(Time Domain Reflectometry, TDR)為中心主軸發展自動化監測系統。TDR 具備有一機多頻道、多功能的優點，適用於遠端自動化，但現有 TDR 資料擷取器運算能力不足，必須將擷取後的 TDR 波形訊號經由遠端傳輸回伺服器上進行運算分析，無法於現地即時換算為物理量。因此本研究採用新式的資料擷取器以改善 TDR 自動化監測系統的硬體運算能力，並考量使用者於軟體操作便利性，設計包含 TDR 多功能量測的圖形化介面軟體。基於監測硬體系統改良與人性化操控軟體介面建置，提供完善之自動化監測系統。

監測系統改良首要考量硬體的運算能力，其次考慮環境條件對硬體系統的影響和足夠的連接介面，因此本研究採用嵌入式系統以整合 TDR 監測與傳統感測技術。軟體方面則配合 TDR 多功能與多頻道的特色，開發人機互動操作程式與自動化監測程式。人機互動操作程式可提供現地人員即時操作與查詢之用，而自動化監測程式因功能需求而區分伺服器端介面與遠端介面。伺服器端介面可擷取遠端監測結果並控制遠端系統，遠端介面則提供定時資料擷取與分析之設定與執行。成果顯示配合硬體改善與人性化操控軟體介面建置，可提升 TDR 監測即時分析效率與系統操作便利性。但本系統於現地測試常有穩定性不足的情況，建議須進一步評估系統穩定性，以俾實際工程應用。

關鍵字：時域反射法 (TDR)、嵌入式系統

Development of an automatic monitoring system with TDR sensing
capacity

Student: Yueh-Hsun Hsieh

Advisor: Dr. Chih-Ping Lin

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Recently automatic monitoring systems are gradually concerned in construction business. The purpose of this study is to develop an automatic monitoring system including Time Domain Reflectometry (TDR) sensing technique. The monitoring system with TDR technique has advantages of multi-channel, multi-functional and automation. However, the computing capability of the existing TDR data logger is not sufficient for TDR waveform processing, meaning that physical parameters cannot be acquired immediately from TDR data logger. The raw data must be transmitted to server for further computing and analysis. Therefore, this study provides a new hardware by replacing existing TDR data logger to improve computation capability firstly, and designs relative software with user-friendly interface for operating efficiency.

The prior consideration of hardware selectivity is sufficient computation ability, and integration for both TDR and conventional monitoring devices minor. Consequently, this study uses embedded system to meet the aforementioned requirements. Then TDR software is developed based on TDR characteristics of multi-channel and multi-functional, and this software includes both human-computer interaction program and automatic monitoring program. The interaction program provides TDR acquisition setting and intermediate data quarry. Furthermore, the automatic monitoring program is divided into the server-side interface and the remote-side interface by demand. The

function of the server-side interface is to control the remote systems and acquire the monitoring data from remote system. The remote-side interface provides functions of data acquisition and processing periodically. Finally, the results show that the combination of hardware improvement and user-friendly software increases ability of automation system and operation efficiency. However, the new TDR monitoring system needs further in-situ verification of stability.

KEYWORDS : Time Domain Reflectometry (TDR), embedded system



致謝

本論文得以順利完成，首先要感謝指導教授林志平博士於研究所求學期間悉心指導，給予學生在論文研究以及專業知識上的諸多指導，使學生得以突破研究瓶頸並獲得學識上的精進，此外，於求學態度與待人處世方面亦給予學生許多啟發，在此致上最誠摯的謝意。

口試期間良受潘以文教授、廖志中教授、謝筱齡教授給予本論文許多寶貴的建議與指正，使論文得以更加完善，在此表示由衷的感謝。

研究期間，幸蒙學長宗盛、士弘、沛霖、志忠、瑛鈞、俊宏、育嘉與文欽等的協助，尤其是志忠學長與育嘉學長的諸多照顧，及博清學長於專業領域上的建議與經驗分享。同儕俊昇與瑋晉諸多幫忙與鼓勵，以及其他研究所期間同甘共苦的同学與室友們，你們為我的研究生生活增添許多樂趣。還要感謝學弟智棟、永政、哲毅、儒錚、子奕與學妹玉紋在試驗上的幫助，使每個試驗得以如期順利完成。還有曾經幫忙過我的人，謹以此謝文獻上致意。

當然最要感謝的是陪伴我和支持我的母親和兄長，這二十幾年來如果沒有你們的教誨與支持，就沒有今天的我，謝謝你們，謹以此文獻給我最親愛的家人。

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
致謝.....	iv
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章、緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究流程.....	3
第二章、文獻回顧.....	5
2-1 一般電子傳感器監測技術.....	6
2.2 TDR原理及TDR感測器.....	9
2.3 TDR感測器與一般感測器比較.....	19
2.3.1 一般感測器的優缺點.....	19
2.3.2 TDR感測器的優缺點.....	19
2.4 現有TDR自動化監測系統架構.....	21
2.4.1 現場監測系統配置與資料擷取.....	23
2.4.2 監測資料的處理與儲存.....	29
2.4.3 資訊網路服務.....	30
2.5 既有TDR自動化監測系統問題.....	34
第三章、研究方法.....	35
3.1 TDR自動化監測流程改善.....	35
3.2 硬體架構與設計.....	37

3.2.1 嵌入式系統選擇與考量	38
3.2.2 周邊擷取系統整合	40
3.3 人性化操作介面之規劃	41
3.3.1 TDR人機互動介面操作程式規畫	43
3.3.2 TDR自動化監測程式規劃	43
第四章、軟硬體設計成果	51
4.1 硬體系統整合與呈現	51
4.2 TDR人機互動操作程式	59
4.3 TDR自動化監測程式	69
4.3.1 Server介面	69
4.3.2 Remote介面	71
4.3.3 Acquisition Setting介面	73
第五章、結論與建議	85
5.1 結論	85
5.2 建議	86
參考文獻	87
附錄一	91
附錄二	92

表目錄

表 2-1 儀器架設方法比較.....	20
表 3-1 自動化資料擷取儀器種類.....	39
表 3-2 工業電腦與嵌入式系統比較表.....	39
表 4-1 嵌入式系統規格.....	53



圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	4
圖 2-1 TDR監測系統與人體神經系統之類比	6
圖 2-2 電子感應器範例—電阻式應變計 (Wheatstonbridge)	8
圖 2-4 電子感應器範例—光學背散射濁度計(D&A Instrument)	9
圖 2-5 電子感應器範例—超音波含砂濃度計(Mobrey).....	9
圖 2-6 TDR量測系統	10
圖 2-7 不同之阻抗不連續所產生之反射波形(Addrews 1994).....	12
圖 2-8 TDR水位感測原理(楊培熙，2003)	14
圖 2-9 (a)平行纜線(b)水位計(c)以TDR水位計為基礎之雨量計(楊培熙，2003)	14
(b)	15
圖 2-11 TDR位移感測原理及其反射波形隨位移之變化	16
(Lin and Tang 2005)	16
圖 2-13 利用TDR反射波形之走時量測材料介電度及反射訊號穩態值量測導電度之方法(Lin2003a; Lin 2003b).....	18
圖 2-14 TDR含砂濃度感測器、波形隨含砂濃度之變化及波形走時(林志平與鍾志忠 2007; 2008).....	18
圖 2-15 電子式水壓計(Wilson and Mikkelsen 1978)	20
圖 2-16 伸縮儀(Wilson and Mikkelsen 1978)	21
圖 2-17 孔內傾斜儀構造和配置圖(Green and Mikkelsen, 1988).....	21
圖 2-18 TDR自動化監測系統 (CAMPBELL SCIENTIFIC)	22
圖 2-19 野外TDR自動化監測系統	22
圖 2-20 TDR資訊自動化監測流程(葉致翔，2003)	23
圖 2-21 TDR資料擷取設備流程概況(葉致翔，2003)	27

圖 2- 22 資料擷取設備的實體圖(葉致翔，2003)	28
圖 2- 23 PC200W介面設定	28
圖 2- 24 資料處理流程圖(葉致翔，2003)	29
圖 2- 25 Java與資料庫連結示意圖(葉致翔，2003)	31
圖 2- 26 TDR伺服器與遠端電腦連接示意圖(葉致翔，2003)	33
圖 3- 1 TDR 資訊自動化監測流程	37
圖 3- 2 TDR資料擷取設備流程概況	38
圖 3- 3 硬體元件與連接介面	41
圖 3- 4 TDR資料擷取系統之嵌入式軟體架構	42
圖 3- 5 TDR人機互動操作程式規劃	45
圖 3- 6 TDR自動化監測程式規劃	46
圖 3- 7 Parameters的設定	48
圖 3- 8 Threshold的設定	49
圖 3- 9 Schedule的設定	49
圖 3- 10 Backup的設定	50
圖 4- 1 TDR感測器	54
圖 4- 2 溫度感測器	54
圖 4- 3 TDR多工器	55
圖 4- 4 時域反射儀	55
圖 4- 5 資料擷取模組	55
圖 4- 6 嵌入式單板	56
圖 4- 7 MOXA無線通訊模組	56
圖 4- 8 Micro Chinese無線通訊模組	57
圖 4- 9 (a) 12V 7.2Ah Battery (b) 50W Solar Panel(c) AC Converter (d) 12V轉 5V電路板 (e) Relay	57

圖 4- 10 一般顯示器	58
圖 4- 11 LED字幕機.....	58
圖 4- 12 TDR硬體系統整合的實體圖	59
圖 4- 13 虛擬儀控介面	61
圖 4- 14 原始程式碼	61
圖 4- 15 (a)VI圖像(b)Connector (c)VI的輸出入	62
圖 4- 16 TDR人機互動介面的量測波形功能.....	67
圖 4- 17 TDR人機互動介面的量測含砂濃度功能	67
圖 4- 18 TDR人機互動介面的量測導電度功能.....	68
圖 4- 19 TDR人機互動介面的量測水位功能.....	68
圖 4- 20 TDR自動化量測的Server介面.....	70
圖 4- 21 Server子介面的Station Setting.....	71
圖 4- 22 Server子介面的Download Setting.....	71
圖 4- 23 TDR自動化量測的Remote介面.....	73
圖 4- 24 TDR Server的Acquisition Setting介面.....	77
圖 4- 25 TDR Remote的Acquisition Setting介面.....	77
圖 4- 26 Acquisition Setting子介面的Get Waveform_Parameters.....	78
圖 4- 27 Acquisition Setting子介面的Get Waveform_Schedule.....	78
圖 4- 28 Acquisition Setting子介面的SSC_Parameters	79
圖 4- 29 Acquisition Setting子介面的SSC_Threshold & Schedule.....	80
圖 4- 30 Acquisition Setting子介面的EC_Parameters	80
圖 4- 31 Acquisition Setting子介面的EC_Threshold & Schedule.....	81
圖 4- 32 Acquisition Setting子介面的WaterLevel_Parameters.....	81
圖 4- 33 Acquisition Setting子介面的WaterLevel_Threshold & Schedule	82

圖 4- 34 Acquisition Setting子介面的DAQ_Parameters.....82
圖 4- 35 Acquisition Setting子介面的DAQ_Threshold & Schedule83
圖 4- 36 資料儲存格式84



第一章、緒論

監測系統的設立在於防止工程災害的發生或是減少因災變所造成的損失。監測技術則隨著感測器的改良而持續進步，結合自動化模式與資訊系統更是在發展監測技術過程中必然的趨勢。

由於台灣氣候變化劇烈，加上台灣地形陡峭，建立監測系統的重要性早已不可小覷，而一般監測系統所使用的電子感測器易受到防水處理不妥與雷擊的影響，欠缺長期的可靠性。TDR 技術使用的被動式感測器經濟且易於維護的優點提供了新的選擇，加上 TDR 儀器以數位電子訊號的方式傳遞資料，此特性適用於遠端自動化，因此本研究利用 TDR 技術的優點和特性發展自動化監測系統。

近年來由於嵌入式技術應用廣泛，硬體裝置具有體積小、耗電量低及運算能力強等優點，因此適用於野外監測系統。本研究結合 TDR (Time Domain Reflectometry) 技術與嵌入式系統，發展『包含 TDR 感測功能之自動化監測系統』。本文研究動機及目的分述如下。

1.1 研究動機

現有儀器需將主要感測元件埋在地層或水裡，電子感應器容易受溫度、濕氣、雷擊等因素影響而產生故障，或在水裡受到土石或異物撞擊而受損，因此耐久性不佳且維護困難，監測系統常需龐大的資本方能維持長期的監測功能，因此實務上常見自動化監測系統安裝後不久即功能受損，而終究導致荒廢。

為克服上述困難，時域反射法為新興的傳輸線式監測技術，TDR 監測主機置於地面或水面上，埋置於地下或水下的感測器為機械式的傳輸線或導波器，具有耐久性、多功能、可多工化，地面上或水面上

之監測主機若有故障容易維修。

TDR 監測資料與一般電子式傳感器不同，所監測物理量反應在波形上，而非瞬間之電壓或電流，因此必需透過特別的運算或波形識別方能將反射波形轉換為監測物理量。現有的野外資料擷取系統用電量少、穩定性高，但運算能力不佳，無法即時處理 TDR 反射訊號，而必須將整個波形訊號回傳監控電腦，造成資料量過於龐大。

一般監測系統常常搭配套裝商用軟體提供使用者開發程式，使用者在操作監測軟體時還必須懂得套裝軟體內的程式語言，以設定使用者要的監測程序與監測功能，使得操作人員對監測軟體不易上手。本研究之主要目的在於研發適用於處理 TDR 監測資料的野外資料擷取系統，並考慮在操作上的便利性，開發人機互動的圖形化介面，以落實 TDR 監測系統的諸多優點。

1.2 研究目的

TDR 的監測技術是本研究發展自動化監測資訊系統的主體，由於現有 TDR 資料擷取系統運算能力不佳，無法即時處理 TDR 反射訊號。本研究利用嵌入式系統取代舊有資料擷取系統，並藉由新式嵌入式系統結合軟體介面能夠完成現場即時查詢與遠端資料查詢的目標。本研究目的如下：

(1) 各式感測器的整合(包含 TDR 監測儀器)：

依據監測目的的不同，可在系統中選擇所需要的感測器功能。本研究希望整合 TDR 量測多頻道感測器及一般感測器，例如溫度計，以能夠同時運作，並提供監測需求。

(2) 提供穩定性高，具有分析能力的資料擷取系統：

評估不同資料擷取系統的功能及特性，並決定適合監測現場

的資料擷取系統，以期能降低環境因素的影響並達到長期觀測使用的目的。

(3) 建立遠端監測介面與即時查詢介面：

由現場監測資訊系統傳回的資訊配合網路科技，建構自動化監測介面及即時查詢介面。只要使用電腦連接上網，就能即時查詢現場分析的結果與儲存監測資訊以供長期分析。

1.3 研究流程

本研究流程如圖 1-1，主要架構概述如下：

- (1). 回顧 TDR 應用於監測技術的原理與目前已研發的 TDR 感測器，以及既有資訊自動化系統。
- (2). 探討現有資訊自動化系統無法即時分析與即時查詢的原因，並決定可現地分析資料且可連接周邊儀器的新式資料擷取系統。
- (3). 配合嵌入式系統，考量使用者操作便利，設計軟體操作介面以提供現場即時查詢與遠端查詢的能力。
- (4). 以新式資料擷取系統配合軟體介面應用在 TDR 自動化含砂濃度量測上，並改善自動化量測程序。
- (5). 綜合本研究成果與所建議 TDR 自動化監測資訊系統，使之更符合實務應用需求。

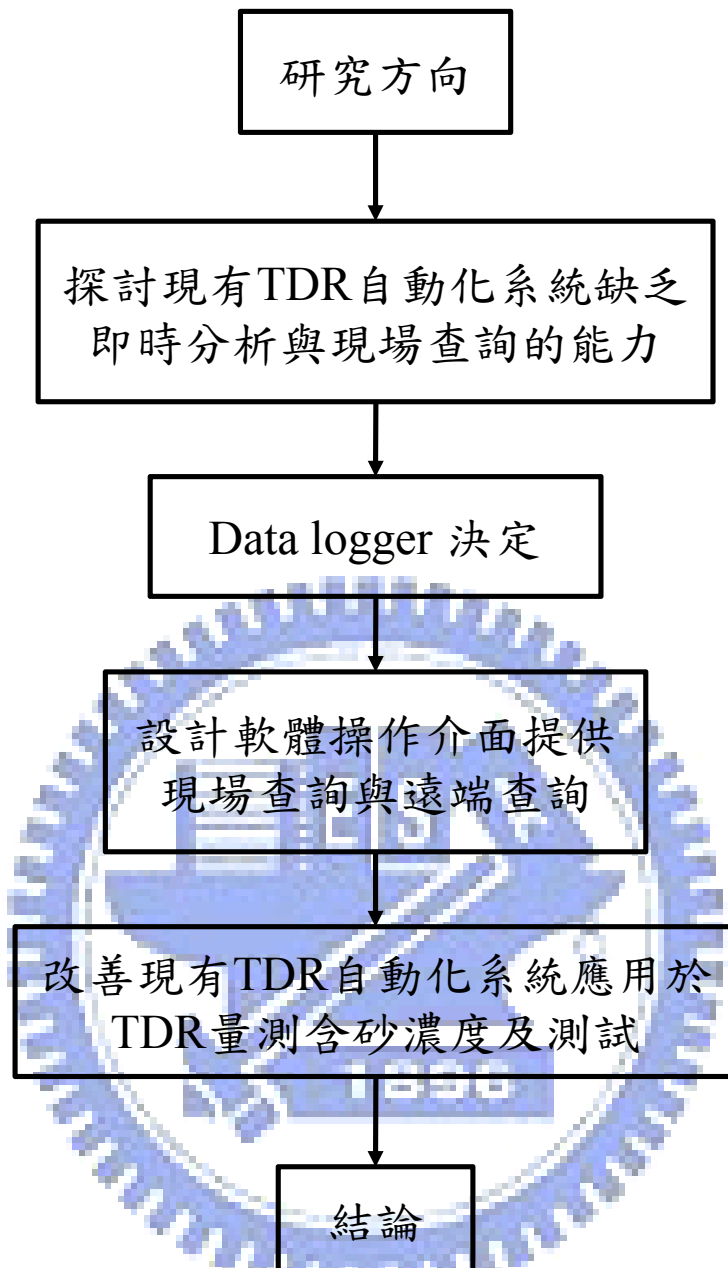


圖 1-1 研究流程圖

第二章、文獻回顧

TDR 可以監測許多不同物理量，其應用範圍從地層的位移、錯動變形、土壤之含水量與電阻率、到水中的含砂濃度與導電度、地下水位、孔隙水壓及雨量等。TDR 最主要的特色在於傳輸線式的監測，宛如人體的神經系統圖 2-1，其中傳輸線與導波器扮演類似神經的功能，TDR 與資料擷取系統則扮演類似腦部的功能，接收回傳訊號並進行辨識。TDR 感測器即為傳輸纜線，沒有其他電子元件，不易損壞、成本低、維護容易，且由反射波形可檢測感測纜線之狀態，提供自我診斷之功能。TDR 可透過多工器進行一機多點多功監測，可遠端自動化，達到兼顧空間與時間解析度。TDR 監測主機置於地面或水面上監測主機若有故障容易維修。

本章節將先於 2.1 節介紹一般電子傳感器監測技術，於 2.2 節說明 TDR 應用於監測技術的原理與目前已研發的 TDR 感測器，接下來在 2.3 節比較一般感測器與 TDR 感測器之優缺點，最後 2.4 節針對現有 TDR 的自動化監測系統做概述與 2.5 節討論其可改善加強之處。

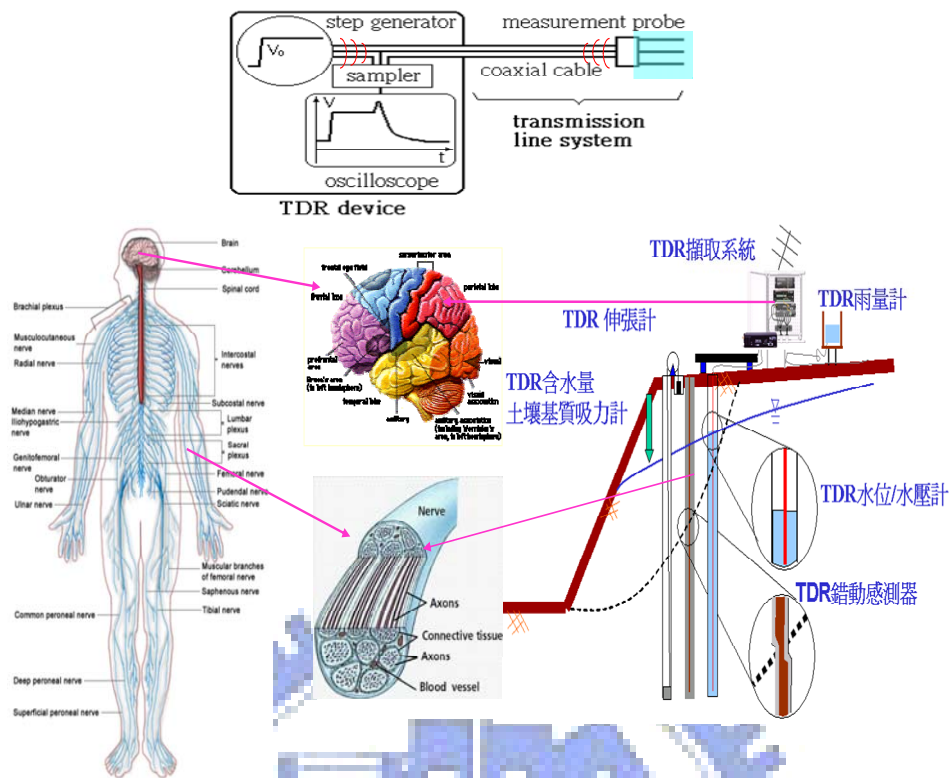


圖 2-1 TDR 監測系統與人體神經系統之類比

2-1 一般電子傳感器監測技術

地工或水文監測在工程基本資料蒐集與安全預警中扮演非常重要的角色，雖然電子傳感器、通訊系統及資訊系統等相關技術已相當進步，但現階段地工或水文現地監測系統之可靠度仍備受質疑，主要因素之一是電子傳感器容易受溫度、濕氣、雷擊等因素影響而產生故障，使得監測預警系統之長期穩定性未臻理想。

電子傳感器將物理量轉換為電壓或電流之電子訊號，常見電子傳感器所採用之感應器包括：電阻式應變計、電位式、電容式、壓電式、差異轉換式及振弦式等(Dunnicliff 1993)。圖2-2為電阻式應變計之感應原理，利用惠氏頓電橋(Wheatston bridge)感應應變造成之電阻變化量，以應變計為基礎，將量測物理量透過所設計之機制轉換為應變變化，可設計製造不同的傳感器，例如荷重計、扭力計、水壓計、位

移計、加速度計等產品。圖2-3為近年來地工監測廣為採用的振弦式感應器，利用振弦振動頻率受到振弦長度之影響，以電子感應線圈感應振弦振動頻率，進而感應振弦長度之變化。由於振弦長度受外界環境變化影響，利用振弦感應器亦可設計製造不同的傳感器，例如荷重計、水壓計、位移計等等。

水文參數觀測則常結合電子元件與光學元件或超音波元件，感測流速、水位、含砂濃度等水文參數，例如用光學反射法量測濁度的光學背散射濁度計及超音波含砂濃度計。光學背散射濁度計原理採用紅外線或是可見光直接投射於水中進行量測，而部分光線會因懸浮顆粒而反射。光學背散射濁度計透過數組光電二極管(photodiode)量測反射之光線。接收之反射光線能量則用於計算泥砂含量多寡(如圖2-4所示)。光學背散射濁度計需於量測前對於已知濃度之泥砂進行標定程序。光學背散射濁度計提供一高時域與空間域之解析度，且光學背散射濁度計模組已經大量商業化。透過遠端操控及資料傳輸，光學背散射濁度計可輸出即時資料以提供相關參考使用。光學反射法量測結果受到泥砂顆粒尺寸影響。在相同泥砂濃度但不同泥砂顆粒尺寸之狀況下，其兩者泥砂濃度量測結果相差約十倍。而光學反射法於小泥砂顆粒粒徑之量測具有較高之靈敏度；通常20 μm 至50 μm 之泥砂顆粒尺寸變化下，其量測值(V/(g/L))變化達70%，而200 μm 至400 μm 之變化時，其量測值變化為30%。一般光學反射法適用於均勻之泥砂顆粒粒徑或是其粒徑維持在200-400 μm 範圍內(張育嘉，2006)。

超音波含砂濃度計主要原理採用一對音波探頭，以一探頭髮射超音波(Ultrasonic)另一探頭接收其能量的方式進行量測，如圖2-5所示。藉由超音波之衰減量，估計泥水混和物之比重。但超音波含砂濃度量測值易受泥砂顆粒粒徑影響，一般河川因來源泥砂粒徑變異性較

大，應用上需額外率定。

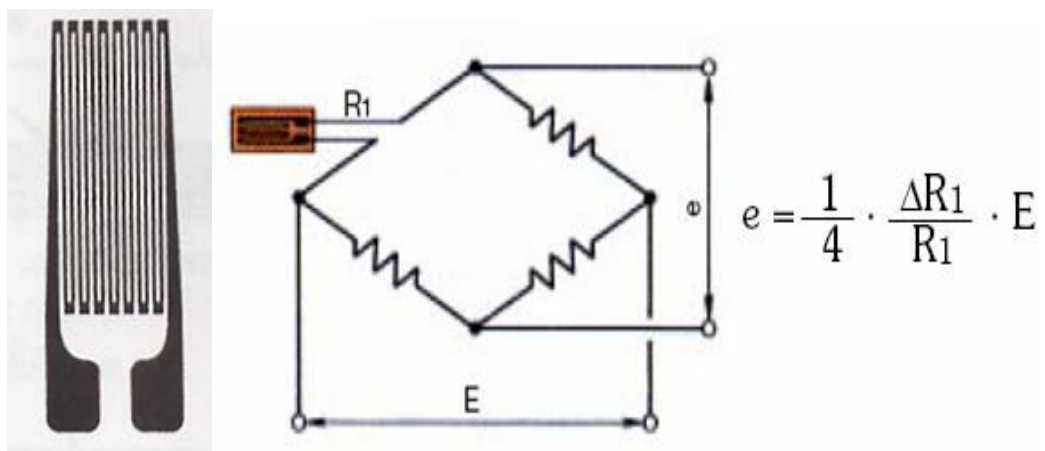


圖 2-2 電子感應器範例—電阻式應變計 (Wheatstonbridge)

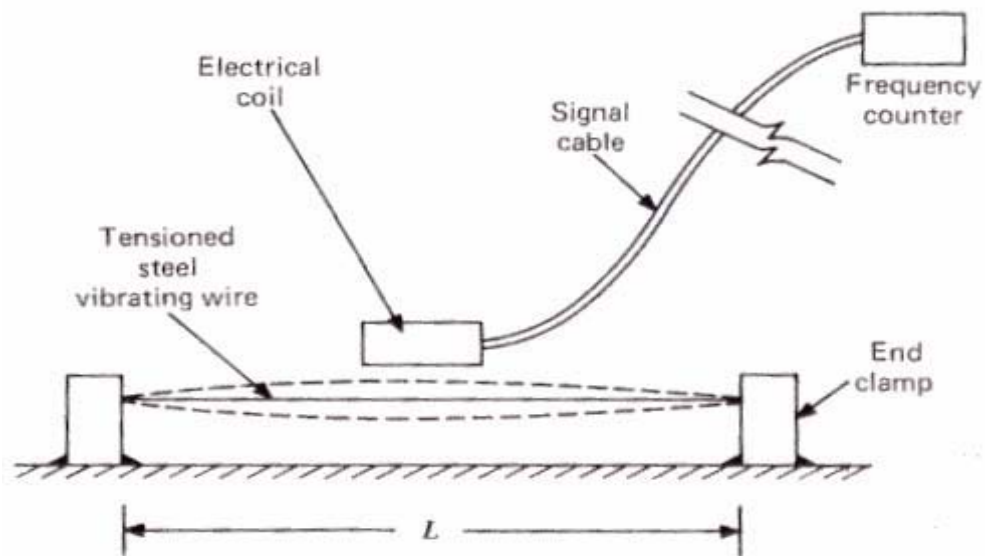


圖 2-3 電子感應器範例—振弦式應變計(Dunnicliff 1993)

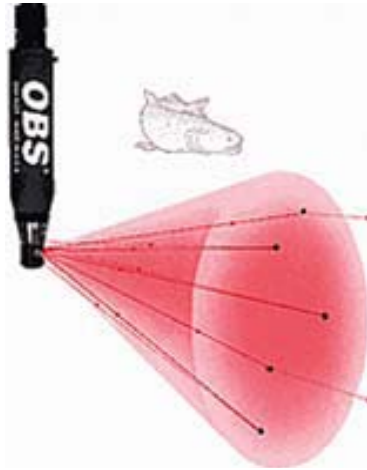


圖 2-4 電子感應器範例—光學背散射濁度計(D&A Instrument)

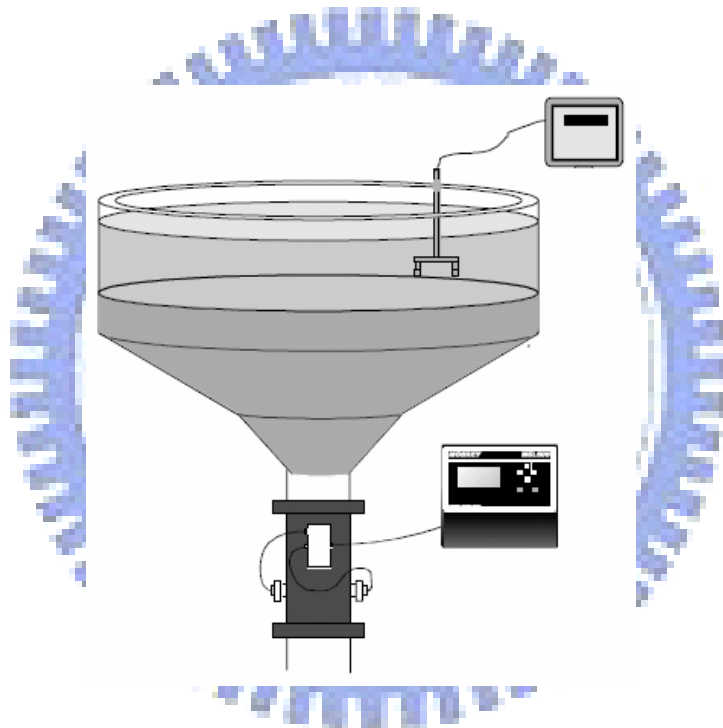


圖 2-5 電子感應器範例—超音波含砂濃度計(Mobrey)

2.2 TDR 原理及 TDR 感測器

為發展先進且有效、經濟的監測系統，本研究將利用時域反射法的監測技術，而且利用可同時量測水位、降雨量、沖刷、位移、錯動變形及含砂濃度之整合型遠端自動監測資訊系統，讓多項監測技術可同時在單一平台的監測資訊系統上運作。本節即介紹 TDR 基本原理

及目前已研發之各式 TDR 監測感測器。

時域反射法是以電磁波為基礎之探測法，其基本原理與雷達相同，雷達量測為三維的波傳問題，但 TDR 電磁波之傳遞僅侷限於傳輸纜線 (Transmission Line) 中，為一維的波傳問題。圖 2-6 為 TDR 儀器之簡圖，它包含階躍脈衝電壓產生器 (Step Generator)、訊號採樣器 (Sampler) 與示波器 (Oscilloscope)。脈衝產生器產生電壓脈衝傳至同軸纜線，訊號採樣器擷取並透過示波器顯示由同軸纜線傳回之反射訊號。同軸纜線由一組內、外導線所組成，外導線以封閉的方式包圍內導線；感測器 (Sensor) 為同軸纜線之延伸，使得電磁波能傳入所要量測之材料或環境中。

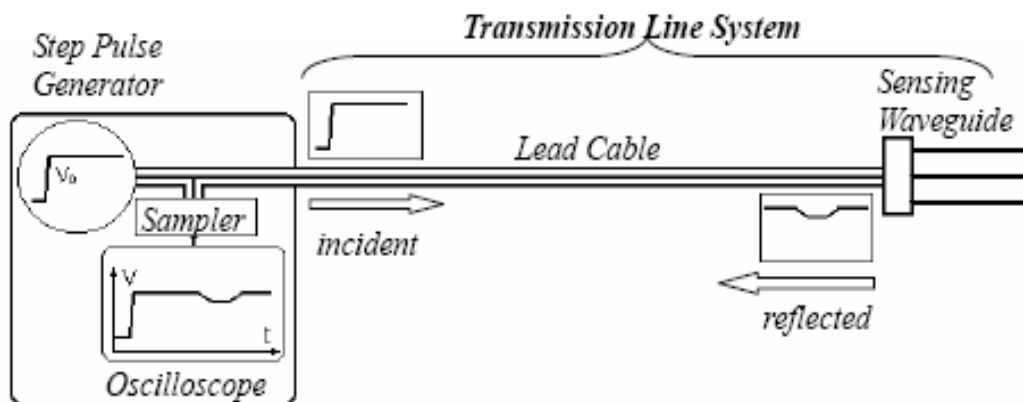


圖 2-6 TDR 量測系統

TDR 傳輸線系統包括同軸纜線與感測器，電磁波在傳輸纜線中傳遞由 Maxwell 方程式控制，因為傳輸電纜特殊電磁場結構，電磁波在傳輸纜線中傳遞可以用導線電流與正、負導線電壓描述，因此 Maxwell 方程式可以簡化成電壓與電流波動方程式。波動方程式解答為傳輸線系統兩個重要的控制參數，分別為特徵阻抗 (Characteristic

Impedance, Z_c) 與傳遞常數 (Propagation constant, γ)。特徵阻抗定義為纜線電壓與電流比值，且為纜線幾何形狀與纜線介質電磁性質函數，當纜線中因特徵阻抗相異而產生阻抗不連續面，電磁波會在阻抗不連續面產生反射波與折射波。傳遞常數為纜線介質電磁性質函數，控制電磁波在纜線中傳遞速度與衰減。

材料之基本電學性質包括介電度 (Dielectric Permittivity, ϵ_r) 與導電度 (Conductivity, σ_{dc})。介電度為頻率之函數，可以表示為複數，實部 (ϵ_r') 表示材料儲存外部電場能量的能力，虛部 (ϵ_r'') 表示材料阻尼效應能量消散特性。導電度代表材料衰減能量的能力。

基於上述材料基本電學性質，特徵阻抗可由傳輸線斷面幾何與介電度決定，以同軸纜線為例，可表示為：

$$Z_c = \frac{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r^*}} = \frac{Z_p}{\sqrt{\epsilon_r^*}} \quad (2-1)$$

其中 a 為內導線外徑， b 為外導線內徑， ϵ_r^* 為等值介電度 (complex dielectric permittivity)， ϵ_0 相當於真空時的介電常數， μ_0 為真空之磁導率 (Magnetic permeability)， Z_p 為介質於真空時 ($\epsilon_r = 1$) 之參考特徵阻抗 (Halliday and Resnick 1962)。

TDR 典型反射訊號如圖 2-7，當入射波 V_i 於電纜中遇到阻抗不連續面 (Z_0 與 Z_t 交界) 將產生反射與透射，反射波 V_r 與入射波 V_i 的關係可表示為

$$V_r = \rho V_i \quad (2-2)$$

其中 ρ 為反射係數，定義如下，用以描述反射行為

$$\rho = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_t - Z_0}{Z_t + Z_0} \quad (2-3)$$

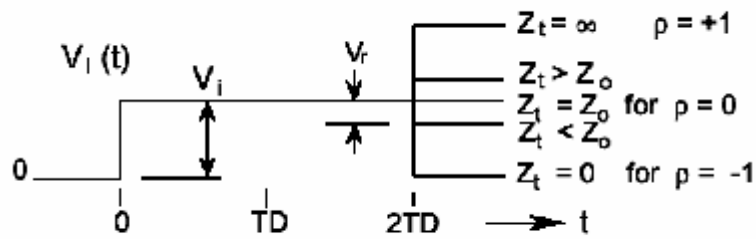


圖 2-7 不同之阻抗不連續所產生之反射波形(Andrews 1994)

圖 2-7 顯示電磁波經過阻抗 Z_0 遇到不同阻抗 Z_t 時產生不同之反射，若 $Z_t = Z_0$ (即 $\rho = 0$ ，沒有阻抗不連續面)，則不會產生反射訊號，當 $Z_t > Z_0$ 時， $\rho > 0$ ，可觀察到正反射方波，當 $Z_t < Z_0$ 時， $\rho < 0$ ，可觀察到負反射方波，TD 即為反射訊號所需來回走時(Andrews 1994 ; Dworak et al. 1977)。

傳輸纜線傳遞常數(propagation constant, γ)經由推導可表示為

$$\gamma = \frac{j2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon_r^*} = \alpha + j\beta \dots\dots\dots (2-4)$$

其中 c 為光速， ϵ_r^* 為等值介電度(complex dielectric permittivity)， j 為 $\sqrt{-1}$ ， f 為頻率，而 α 與 β 分別為傳遞常數實部與虛部，其中實部 α 反應電磁波能量衰減，而虛部 β 為空間頻率，時間頻率 ($2\pi f$) 除以空間頻率 (β) 可得波傳相位速度。

透過不同感測器之設計與分析方法，TDR 技術可應用在不同的監測項目，依其分析原理可分為下列三項：

(1) 界面型：

係利用 TDR 之反射訊號量測不同介質之界面位置，例如水位之監測(空氣與水界面) (Dowding, et al. 1996)、土壤沖蝕監測(河流與河床土壤之界面) (Yankielun and Zabilansky 1999) 及位移

之監測 (Lin and Tang 2005)。圖 2- 8 顯示水位監測之原理與範例及圖 2- 9 利用水位感測計所製作之雨量計，圖 2- 9(a) 平行纜線作為水位計，圖 2- 9(b) 中空同軸纜線作為水位計或立管式水壓計，圖 2- 9(c) 以 TDR 水位計為基礎之雨量計。圖 2- 10(a) 顯示簡易的沖刷感測器及圖 2- 10(b) 顯示反射訊號隨沖刷深度之變化，圖 2- 11 則顯示 TDR 位移感測之原理與原型。

(2) 變形型：

以絕緣介質固定的同軸纜線為傳感器，當外在環境變形，如土體錯動，造成預埋其內的同軸纜線斷面幾何改變而產生反射訊號，分析該反射訊號可以定性甚至定量描述電纜如何變形 (Su 1987)。在固定量測環境條件下，反射訊號大小與外在環境變形存在良好關係，因此若將纜線埋設於邊坡或結構體中，則可以監測地層剪力位移或結構界面錯動 (Dowding 1988; Dowding and Pierce 1994; Lin et al. 2008)，圖 2- 12 顯示以同軸纜線監測邊坡之錯動變形。

(3) 介電分析型：

係將所欲研究之材料作為感測器內部介質，利用反射訊號特徵分析材料電學性質，如圖 2- 13 所示。例如計算材料電磁波速及相對應之視介電度(apparent dielectric constant)，進一步推估土壤之含水量 (Topp et al. 1980)；利用反射訊號之穩態值計算材料之導電度 (Lin et al. 2007)。若進一步採用反射訊號頻譜分析技術，則可量測不同頻率之電學性質，可藉以探討土壤與孔隙水之交互作用 (Lin 2003a; Lin 2003b)。除了在土壤之相關監測，透過導波器與訊號分析方法適當的調整，可以應用在含砂濃度的量測 (林志平與鍾志忠 2007; 2008)，如圖 2- 14 所示。

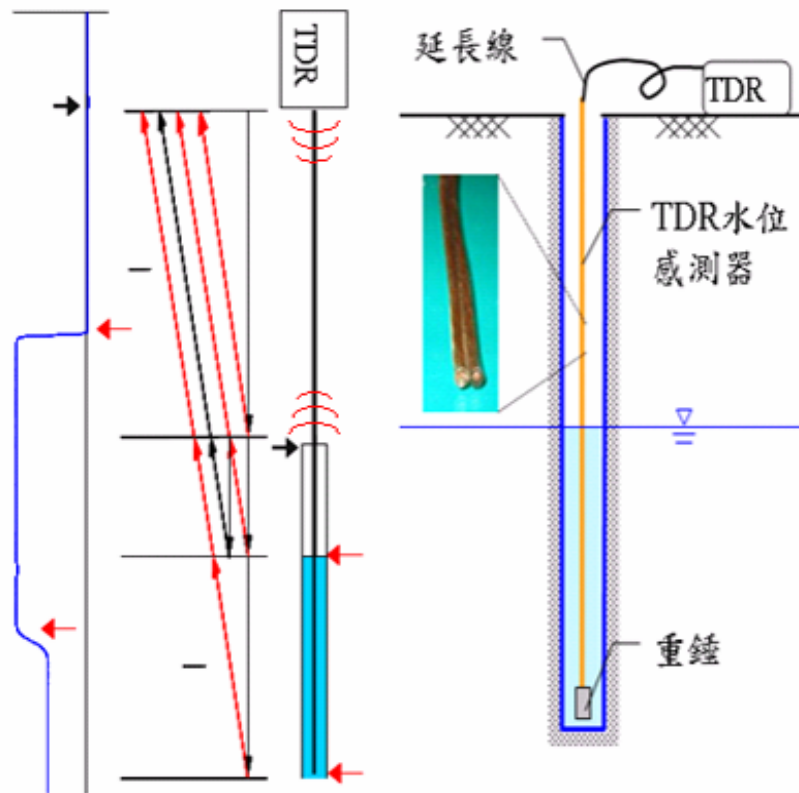
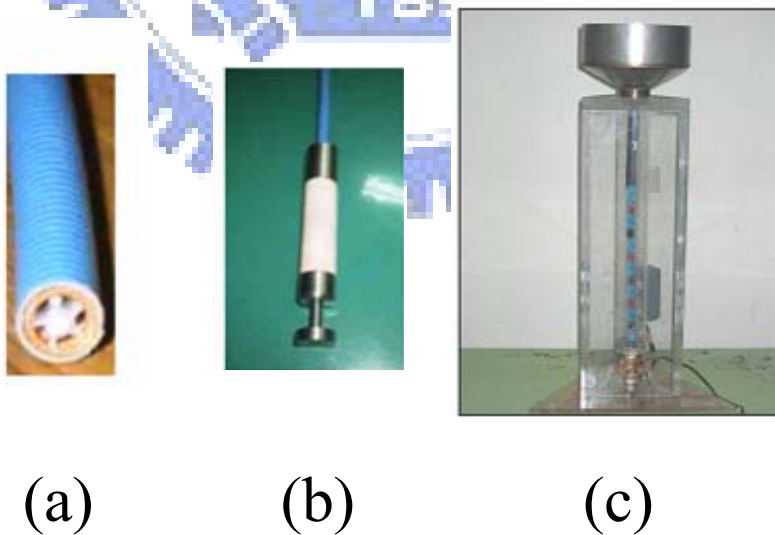


圖 2-8 TDR 水位感測原理(楊培熙，2003)

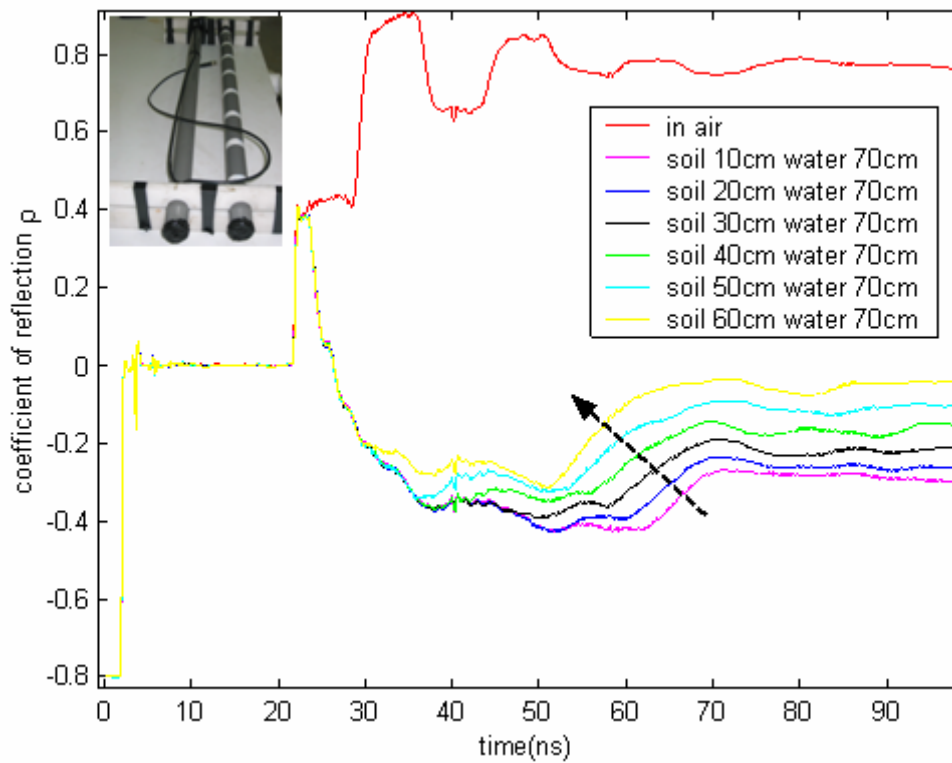
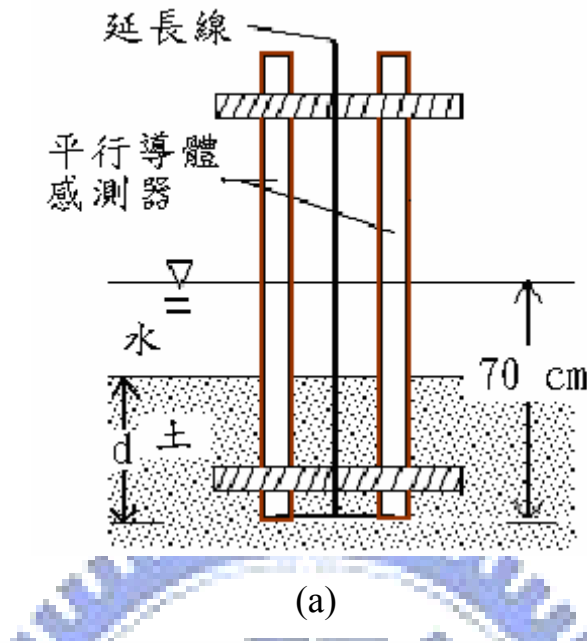


(a)

(b)

(c)

圖 2-9 (a)平行纜線(b)水位計(c)以 TDR 水位計為基礎之雨量計
(楊培熙，2003)



(b)

圖 2- 10 (a)冲刷感測器及其(b)反射訊號隨冲刷深度之變化(楊培熙，2003)

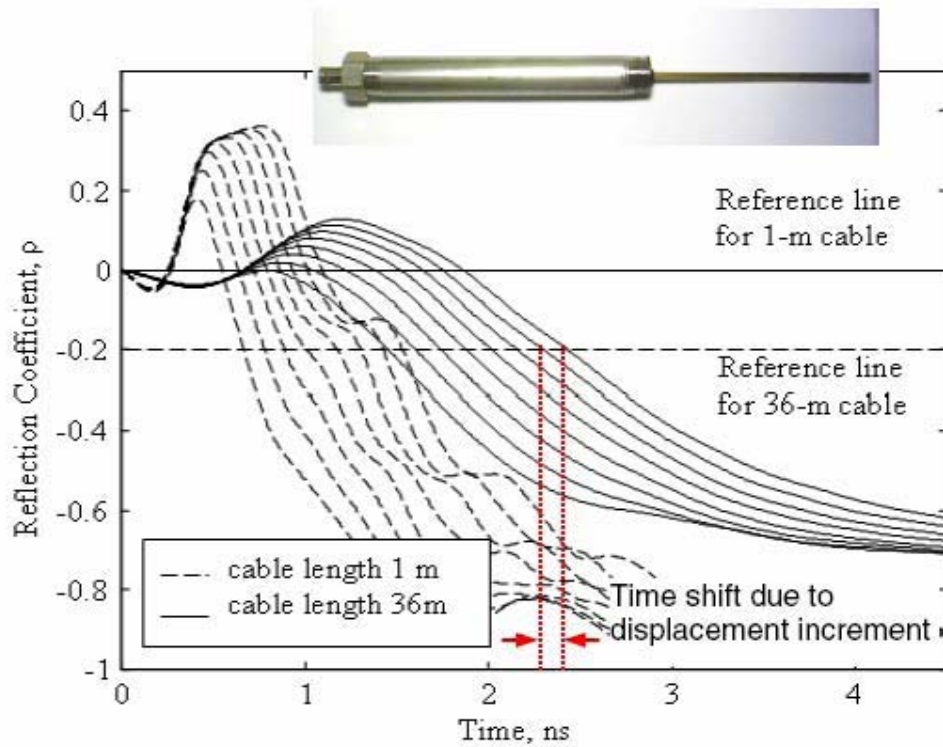
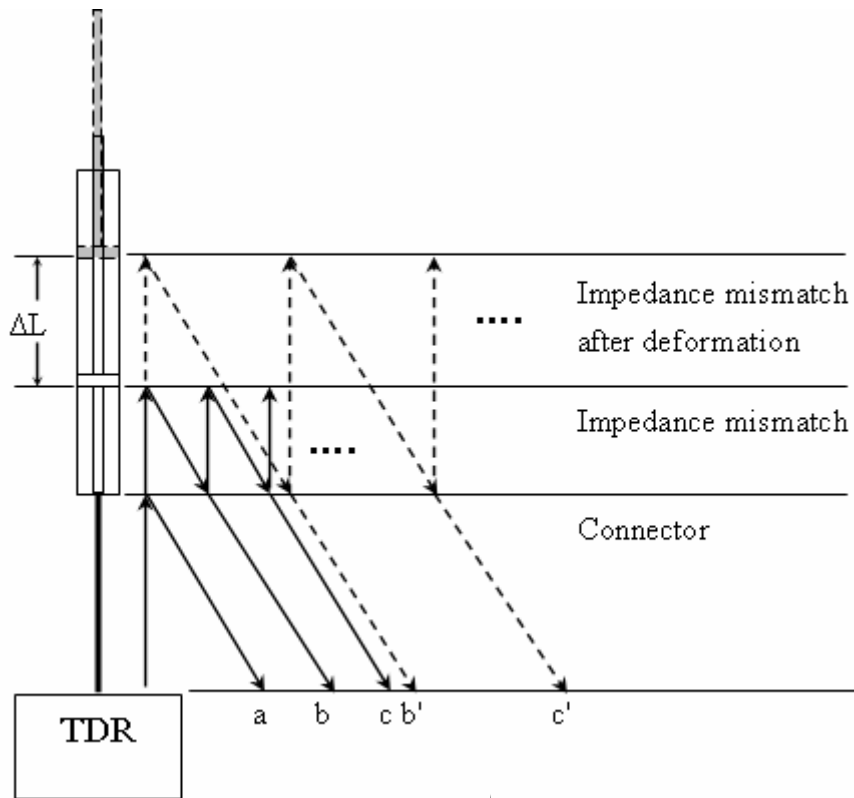


圖 2-11 TDR 位移感測原理及其反射波形隨位移之變化
(Lin and Tang 2005)

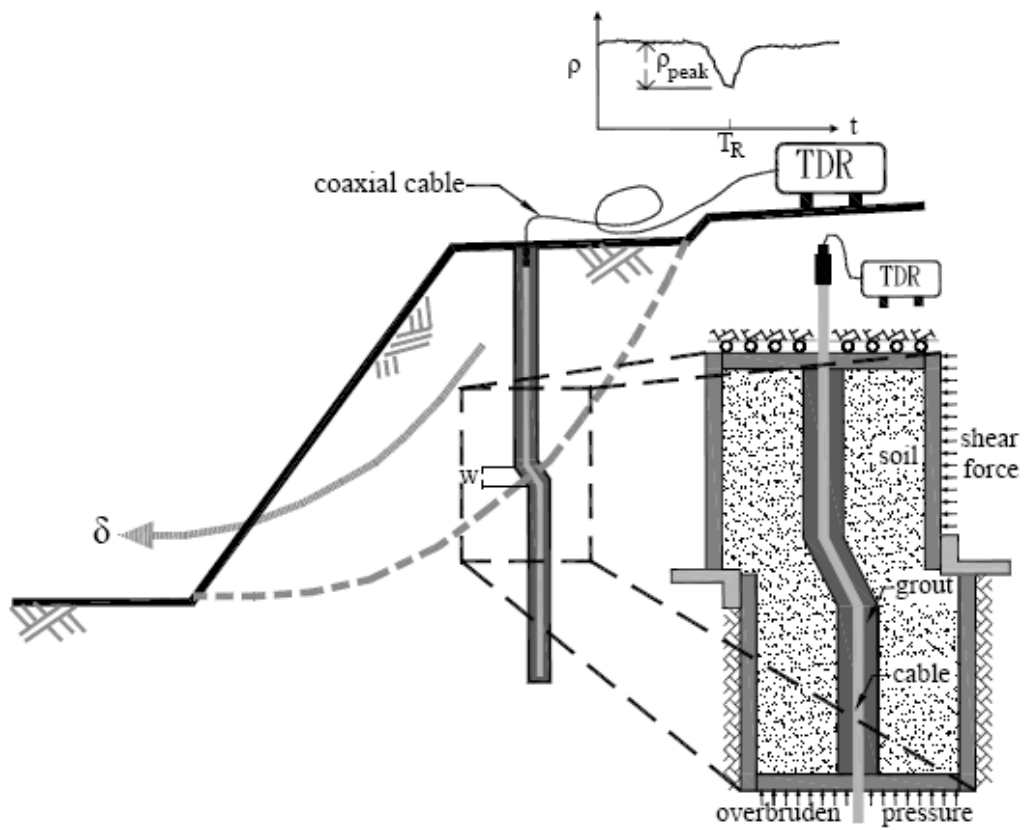


圖 2- 12 TDR 錯動變形監測示意圖(林文欽，2007)



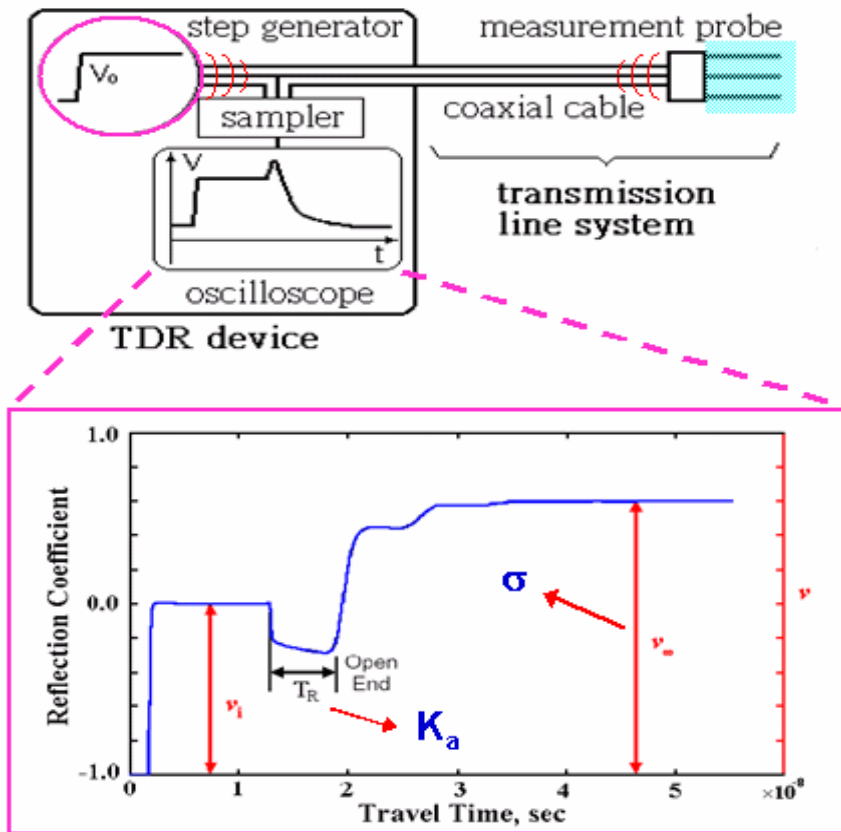


圖 2-13 利用 TDR 反射波形之走時量測材料介電度及反射訊號穩態值量測導電度之方法(Lin2003a; Lin 2003b)

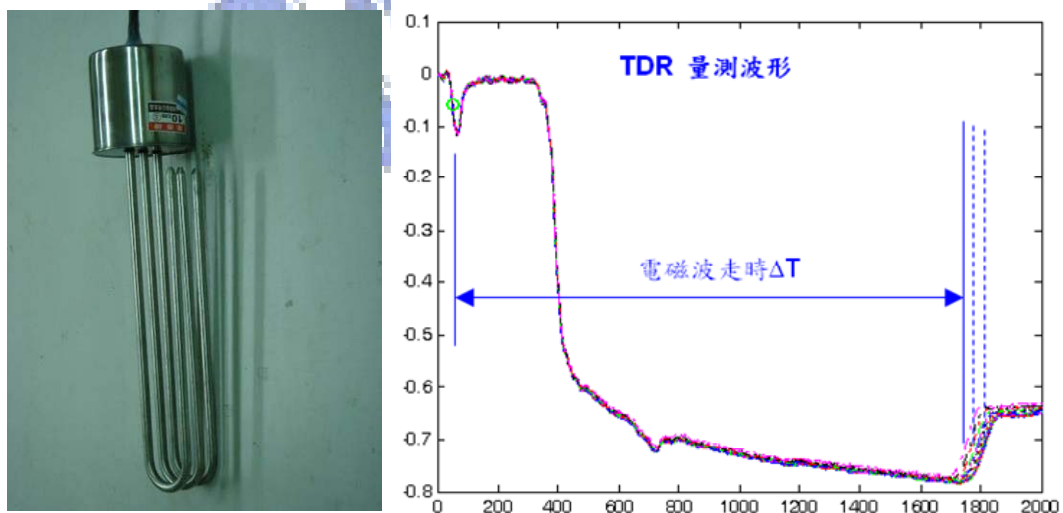


圖 2-14 TDR 含砂濃度感測器、波形隨含砂濃度之變化及波形走時
(林志平與鍾志忠 2007; 2008)

2.3 TDR 感測器與一般感測器比較

近年來在一般監測儀器的使用方面，其可靠性及精確性已有相當程度的改進，但除了較大型的土工監測工程外，監測儀器於其他較小型工程的應用並不十分普遍，其原因不外乎成本與穩定性等因素考量，以下將 TDR 感測器與一般感測器的比較及優劣做分類敘述，表 2-1 包含上孔式與下孔式儀器的比較。

2.3.1 一般感測器的優缺點

一般感測器本身即為電子傳感器，需將主要感測元件埋在地層或水裡，故稱為下孔式(Down-hole)的監測設備。在地層的電子感測器容易受溫度、濕氣、雷擊等因素影響而產生故障，或在水裡受到土石或異物撞擊而受損，因此耐久性不佳且維護困難，另外下孔式監測設備裝設時費時費力，且故障產生後維修不易。監測系統常需龐大的資本方能維持長期的監測功能，因此實務上常見自動化監測系統安裝後不久即功能受損，而終究導致荒廢。其優點為一般電子式感測器有良好的精確性，且在工程監測使用上歷史悠久。

2.3.2 TDR 感測器的優缺點

TDR 感測器即為傳輸纜線的一部分，因感測器內部沒有電子零件，唯一的電子設備設置於地表上，所以 TDR 感測器為上孔式(Up-hole)監測設備，上孔式的監測設備是指所有的埋於地表下的設備或感測器沒有任何電子裝置，因此 TDR 感測器故障率低，穩定性及耐久性相對較好，且裝設相對容易，維修方便。其缺點為 TDR 反射訊號會因傳輸纜線的型式及距離長短的因素而有衰減的現象。

表 2-1 儀器架設方法比較

名稱	架設方法	優缺點	感測器
下孔式	將主要電子設備埋在地層或水裡	<p>優：一般電子式感測器有良好的精確性</p> <p>缺：在地層或水裡的電子感測器容易受溫度、濕氣、雷擊等因素影響而產生故障</p>	<p>電子式水壓計圖2- 15</p> <p>地表伸縮儀圖2- 16、</p> <p>孔內傾斜儀圖2-17</p>
上孔式	將主要電子設備設置於地表上	<p>優：電子儀器皆於地表上，所以故障率低，穩定性及耐久性相對較好</p> <p>缺：TDR反射訊號會因傳輸纜線的形式及距離長短的因素而有衰減</p>	TDR感測器

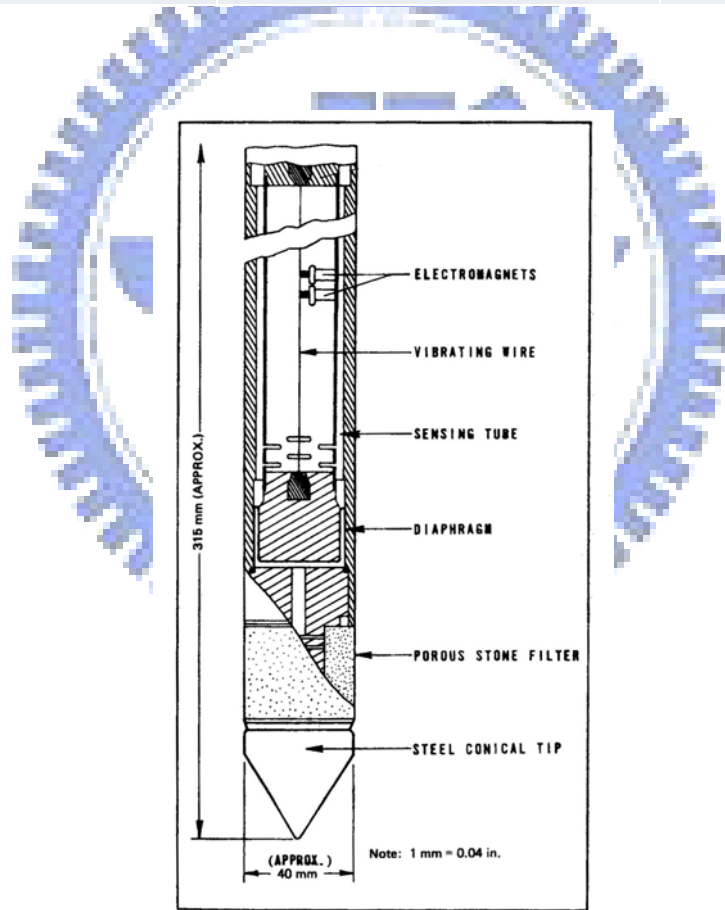


圖 2-15 電子式水壓計(Wilson and Mikkelsen 1978)

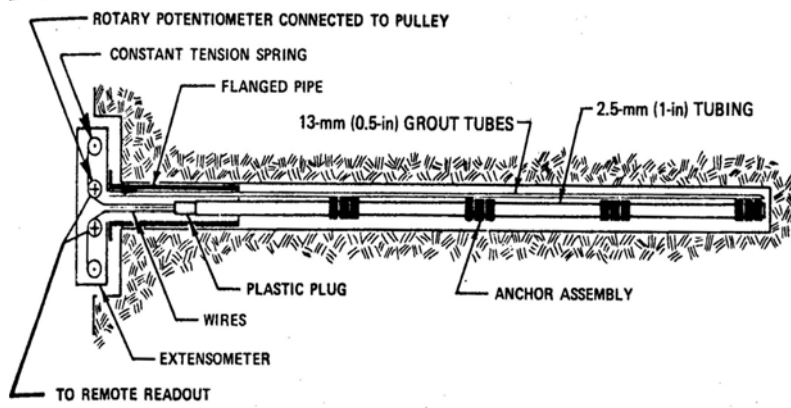


圖 2- 16 伸縮儀(Wilson and Mikkelsen 1978)

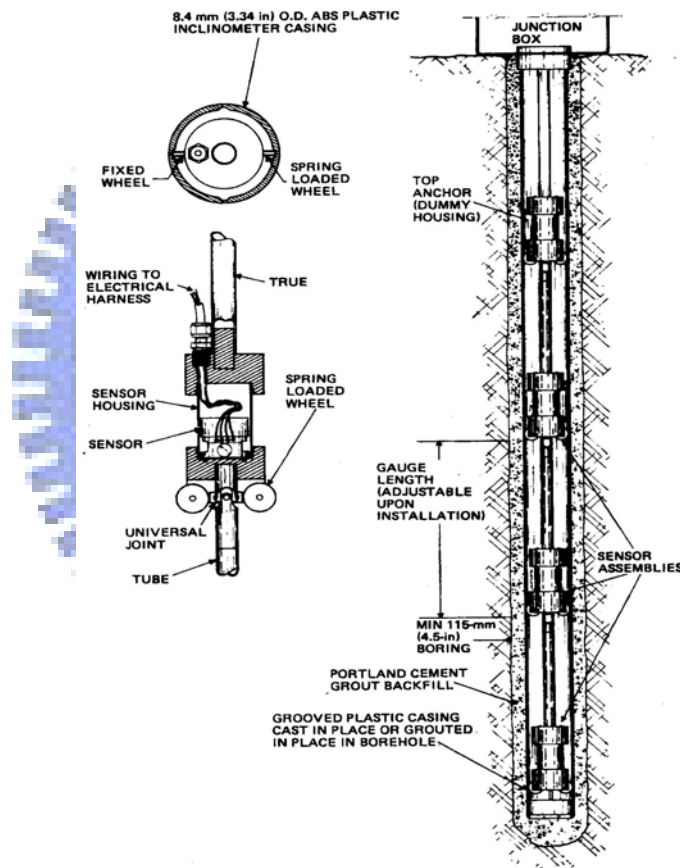


圖 2- 17 孔內傾斜儀構造和配置圖(Green and Mikkelsen, 1988)

2.4 現有 TDR 自動化監測系統架構

在業界普遍是使用資料擷取器做為前端監測資料收集的儀器，但皆以支援一般的監測儀器為主。研發 TDR 資訊自動化監測系統在考

慮多工、多孔、遠端傳輸的特點下，亦選用可接收 TDR 訊號的資料擷取器做為系統前端的資料收集器。本研究使用美國 CAMPBELL SCIENTIFIC(以下簡稱 CS) 公司生產的儀器作為主要資料擷取的設備，如 TDR100、SDMX50 及電源供應器為 TDR 主機設備等，如圖 2-18。結合 TDR100、SDMX50、電源供應器及 TDR probe 整合為 TDR 自動化監測系統，圖 2-19 為戶外安裝的 TDR 系統。



圖 2-18 TDR 自動化監測系統 (CAMPBELL SCIENTIFIC)



圖 2-19 野外 TDR 自動化監測系統

葉致翔(2003)利用 CS 公司的 TDR 擷取系統建立 TDR 邊坡資訊自動化監測系統，該系統主要是利用 TDR 輸出訊號數位化的特性，

透過無線傳輸及網際網路的通道，可自動化完成監測過程的完整系統。圖 2-20 為此系統完整的監測流程圖。

葉致翔(2003)將 TDR 自動化監測系統主要分為下列三大部分，(1)現場監測系統的配置與資料擷取，(2)監測資料的處理與儲存，(3)資訊網路服務。以下小節分別敘述各部分。

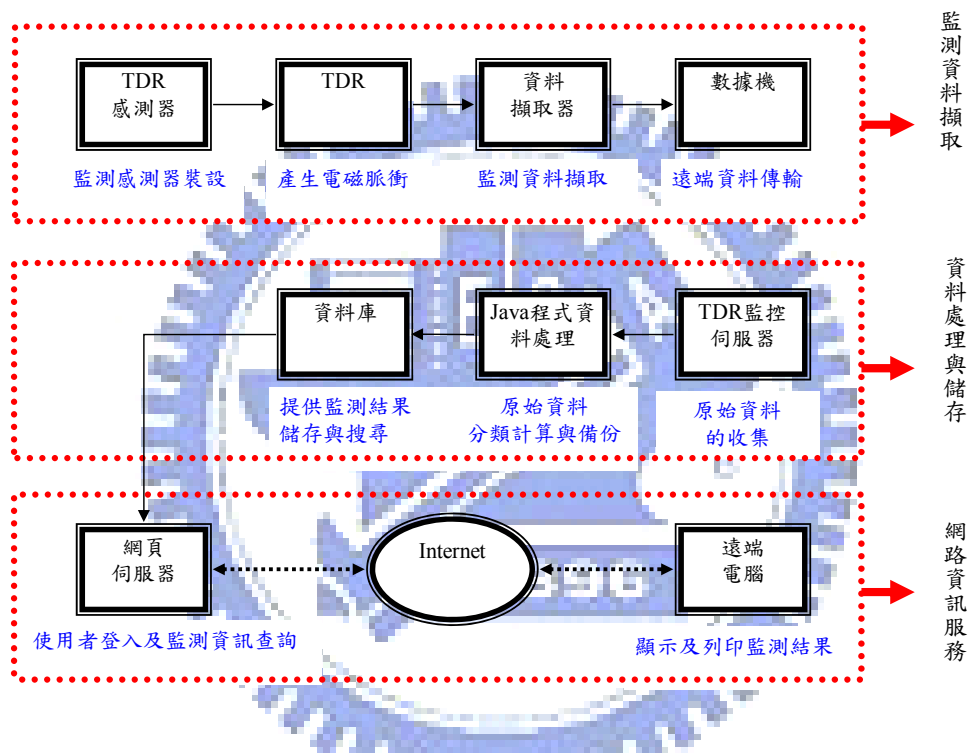


圖 2- 20 TDR 資訊自動化監測流程(葉致翔，2003)

2.4.1 現場監測系統配置與資料擷取

TDR 監測感測器目前已研發或研發中的感測器有 TDR 水位(水壓)計、TDR 雨量計、TDR 水平變位計、TDR 變形感測計等(楊培熙，2003；林文欽，2007；Lin and Tang，2003)，無論在邊坡地下水位監測、雨量監測、地表位移監測或地層滑動面的監測等，各 TDR 監測感測器可相互配合並獨立構成一完整的監測系統。在現場裝置方面，

需依據地質條件及幾何特性裝設，其重點步驟如下：

(1). 現場初步的工址調查：

工址調查的目的在於決定設置監測儀器的可行性，同時考慮現場交通及儀器設備的運輸等。另外調查現地的地形、地質及土質概要，必要時可做部分的現場試驗或取樣做室內試驗，做為裝設感測器施工的依據。

(2). 評估裝設 TDR 感測器的型式及數量：

依不同的監測需求設置不同功能的感測器，在設計鑽孔位置及數量同時，亦須考量成本及施工難易度。另外考慮的因素包括地層滑動面及地下水位面的推估、地質構造概況、以及邊坡破壞模式等。

(3). 現場延長纜線和資料擷取儀器的配置：

所有的 TDR 感測器都需要透過延長纜線(Lead Cable)與 TDR 連接，而延長纜線的長短會影響 TDR 反射訊號的衰減程度；原則上需較高訊號解析度的感測器，其延長纜線越短越好，建議所有 TDR 感測器的延長纜線不超過 1 公里。資料擷取器的設置除考慮延長纜線的長短外，另外也考慮電源供應、防水裝置、避雷設施等。

以 CS 公司的 TDR 擷取系統為例，現場所有資料擷取儀器都要由專屬軟體設定儀器參數後，再載入資料擷取器後始可運作。現地資料擷取設備流程概況如圖 2-21 所示。自傳輸纜線(Lead Cable)連接多工器(Multiplexer)開始，至監測資料由無線方式傳回到監測站為止，都屬於前端資料擷取的部分，圖 2-22 為資料擷取設備的實體圖片，各儀器元件的功能詳述如下：

(1). 多工器(Multiplexer)：

在 TDR 感測器裝設完畢後，傳輸纜線即可連接多工器，而多工器主要的功能在於擴充同時監測的感測器數量。多工器型號為 CS SDMX50，其一片多工器可同時連接 8 條傳輸纜線，亦可多片串接，至多可連接 512 條傳輸纜線。在多工器硬體的設定方面，其內部有兩組跨接介面(Jumper)，分別為 MSD 及 LSD，依據多工器的位置及數量而有不同的設定，詳細對應設定見附錄一。

(2). 時域反射儀(Time Domain Reflectometer)：

TDR 為一脈衝電壓產生器，產生之脈衝電壓傳至同軸電纜線，由訊號採樣器擷取反射訊號可顯示 TDR 波形，借由波形的判斷可得知監測的變化值。目前常採用 TDR 型號為 CS TDR100，其主要規格如後：輸出脈衝電壓為 250mV、50Ω，採樣點數為 20 至 2048 點，採樣範圍為-2 至 2100 公尺(波傳速度比值 $V_p=1$)，解析度 6.1 picoseconds，耐溫範圍為-20°C 至 50°C。在 TDR 裝設方面，需與多工器和資料擷取器同時外接 12V 電壓，也需同時串接傳輸線，以提供訊號資料傳輸的管道；另有 RS232 接孔，可外接電腦透過控制軟體 PCTDR 直接操作 TDR100。

在資料擷取器運作之前，需設定 TDR 波形的參數。其參數有 V_p (波傳速度比值)、Points(單位視窗取樣點數)、Cable Length(X_1 ，傳輸纜線長度)和 Window Length(ΔX ，採樣視窗長度)。而 X_1 、 ΔX 此二參數要由 CS TDR100 的專用控制軟體 PCTDR 來求得。各參數進階說明如下所述：

(a) V_p ：此數值為電磁波在已知介質與在空氣的傳遞速度之比值。

波傳速度與介質的介電常數有關，較大介電常數的介質其波傳速度較慢，則 V_p 也較小，反之 V_p 較大。

(b) Points：單位視窗取樣的點數。取樣點數越多，解析度就高。

TDR100 所支援的最高點數為 2048 點。

(c) Cable Length(X_1)：通常是指在預設 V_p 為 1 時，連接 TDR 與 TDR 感測器之間的纜線長度。因為此段的 TDR 反射訊號並非重要的監測資訊，故經常忽略不予記錄。

(d) Window Length(ΔX)：採樣視窗長度。以 V_p 為 1 時做基準，視窗的起點通常為接頭(延長纜線與感測器的交界點)，終點為 TDR 訊號產生終點反射處。而採樣視窗長度越短，解析度也就越高，但其總長必須包含感測器所有的影響範圍。

(3). 資料擷取器(Data logger)：

資料擷取器為一小型的電腦，可透過內附的程式軟體進行操控，依據擷取資料形態的不同，套用不同的參數執行程式，其目的在於以自動化的方式，透過時間排程的設定，將監測的原始資料收集儲存。目前常使用的資料擷取器為 CS CR1000。CS CR1000 需要使用 PC200W 軟體來操控所有資料擷取的流程。無論是監測資料擷取的時間排程，或是監測值輸出格式的制定，都須經由 PC200W 內的程式介面來設定，PC200W 的程式介面如圖 2-23 所示。

(4). 電源供應器(Power Supply)：

現場資料擷取設備均使用 12V 直流電源。使用 12V 蓄電池，而蓄電池可接 110V 交流電蓄電，在野外無電源時可外接太陽能電板獨立供電。為維持資料擷取器及其它現場資料擷取設備之正常運作，可接受 9.6V~16V 電源電壓。

(5). 資料儲存器(Storage)：

資料儲存器即為資料擷取器之內建暫存記憶體，使常駐程式可定期將所擷取的監測資料儲存於硬碟中。資料儲存器 CS 1000

有 2MB 空間容量，可額外擴充 4MB 記憶體或 2GB 的 CF 卡

(6). 傳輸系統：

除了採取網路線 TCP/IP 的傳輸外，自動化資料擷取系統傳輸方式，採取 GPRS 無線傳輸與 GSM 簡訊模組。其功能主要利用手機 SIM 卡之傳輸功能，配合 GPRS 模組和 GSM 模組連接現有資料擷取器之 RS232 界面，GPRS 透過無線傳輸將資料擷取器或資料儲存器內資料傳送至伺服器端。GSM 則可以傳送預警訊息或是監測數值到個人手機上。

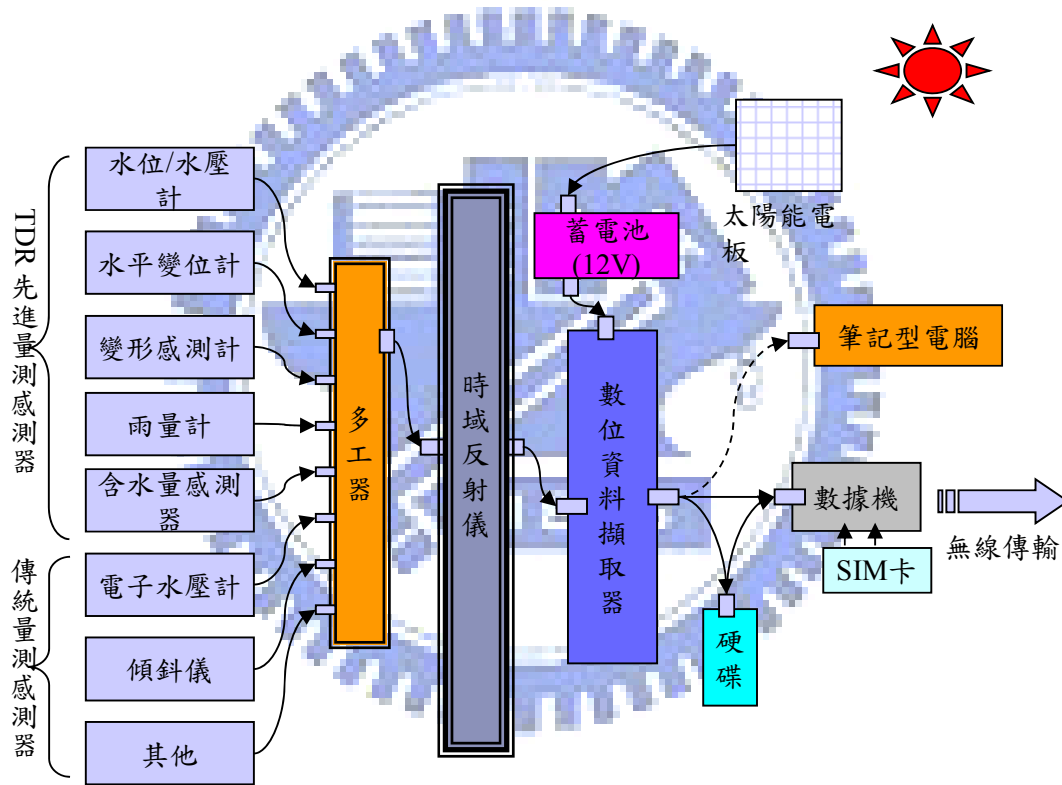


圖 2- 21 TDR 資料擷取設備流程概況(葉致翔，2003)

2.4.2 監測資料的處理與儲存

設在遠端辦公室的監測站接收自現場傳回的 TDR 原始監測資料後，隨即在 TDR 伺服器進行資料的分類及計算，當資料分類的排程開始運作後，立即分二部分進行資料處理，一是資料的分類與備份，另一是資料的計算。資料處理過程可使用各式程式撰寫完成，配合伺服器時間排程(Clock)設定自動化的進行資料處理。原始的監測資料在分類計算程式處理後，留下部分的檔頭及計算的結果，再經由資料庫程式將這些資訊置入資料庫對應的位置以供搜尋。

葉致翔(2003)利用 JAVA 程式語言跨平台之特性，撰寫監測資料處理與對應資料庫傳輸介面，將有用的資訊置入資料庫內，配合後續網頁資訊功能，提供立即資料查詢功能，其資料處理流程如圖 2- 24 所示。

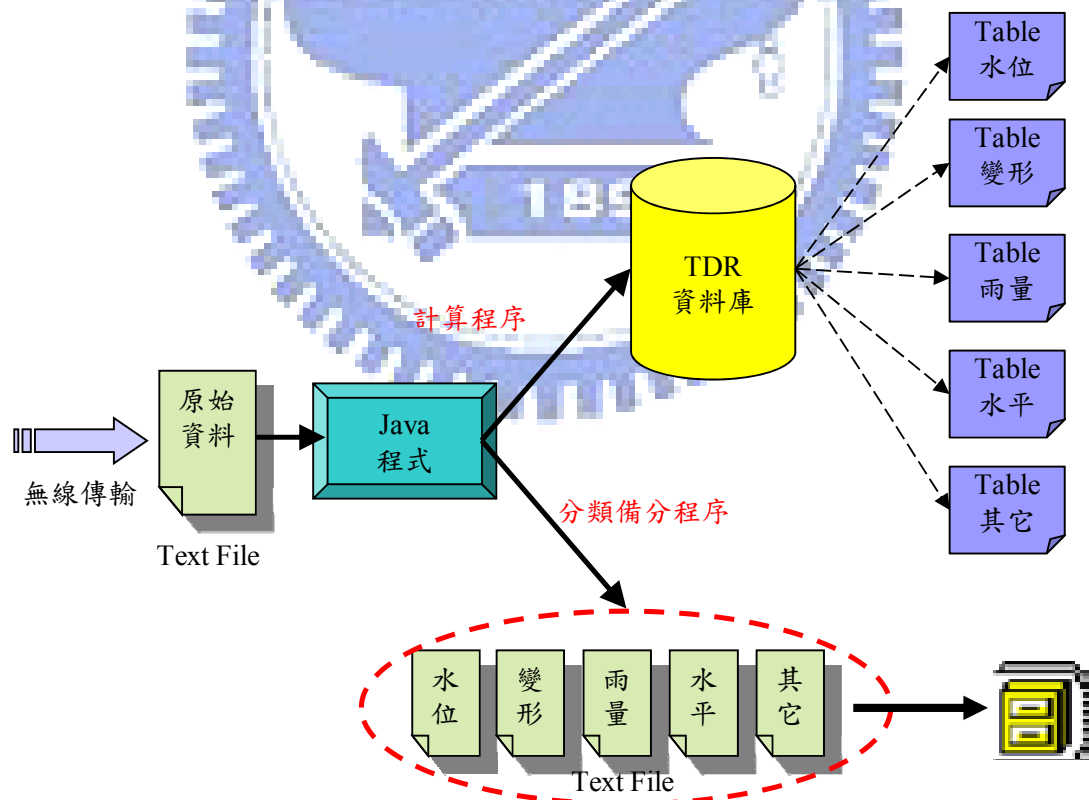


圖 2- 24 資料處理流程圖(葉致翔，2003)

2.4.3 資訊網路服務

主要是將整個自動化監測的架構延伸至網際網路的領域，利用網路的特性提升自動化監測技術的層次。資訊網路服務主要以架設電腦伺服器提供網頁登入服務、電子郵件發信服務、及資料庫搜尋服務等。以下將針對各種網路伺服器的架設、網頁與伺服器資料庫的連結、以及網際網路架構概況做介紹；另外對於如何透過網路發送預警訊息的方法，也有完整的說明。

(1). TDR 伺服器

TDR 伺服器(TDR Server)是整個監測系統的主控中樞，所有的資料處理、儲存、及查詢都在這裏進行。電腦伺服器內部裝設四種相關的伺服軟體，如下所述：

1. 網頁伺服器(Web Server)：提供遠端電腦登入使用，為遠端使用者與伺服器溝通的介面。葉致翔(2003)採用 MS Windows 2000 Server 內的網路伺服工具 IIS (Internet Information Server)架設網站；啟動『Web 站台』，設定對應 IP (Internet Protocol)位址，網頁伺服器即可運作。
2. 資料庫伺服器(Database Server)：提供所有監測資訊的查詢。常使用資料庫軟體如 MS Windows SQL2000 及 MySQL。
3. 應用程式伺服器(Application Server)：以葉致翔(2003)為例，要執行 Java 程式必須要在伺服器內裝設 Java 虛擬機器(JVM, Java Virtual Machine)，這是決定 Java 程式是否能跨平台主要的關鍵。而要開發 Java 程式須裝設 J2SE (Java2 Platform, Standard Edition)的開發元件。只要 JVM 及 J2SE 裝設完成，則應用程式伺服器即可編譯及執行 Java 程式。
4. 郵件伺服器(Mail Server)：提供發送預警郵件的服務。使用 MS

Windows 2000 內的網路伺服器工具 IIS; 啟動『SMTP(Simple Mail Transfer Protocol) 郵件服務』, 設定對應的 IP 位址及網域即可運作。所架設的郵件伺服器只可寄出電子郵件, 但無法接收。

(2). 網頁與資料庫的連結

若以 Java 撰寫的程式若要與資料庫溝通, 需透過一組 Java 內建的函式庫 JDBC (Java Database Connection) 再配合資料庫連線的驅動程式才能完成連結。目前 JDBC 根據資料庫連接的方式, 將驅動程式分成四種類型, Type1、Type2、Type3 及 Type4。葉致翔 (2003) 所建置之系統在資料處理的程式內是使用 Type1 與資料庫溝通, 而在遠端網頁監控程式是使用 Type3 的方式做連接, 這兩種型式的連結流程圖如圖 2-25 所示。

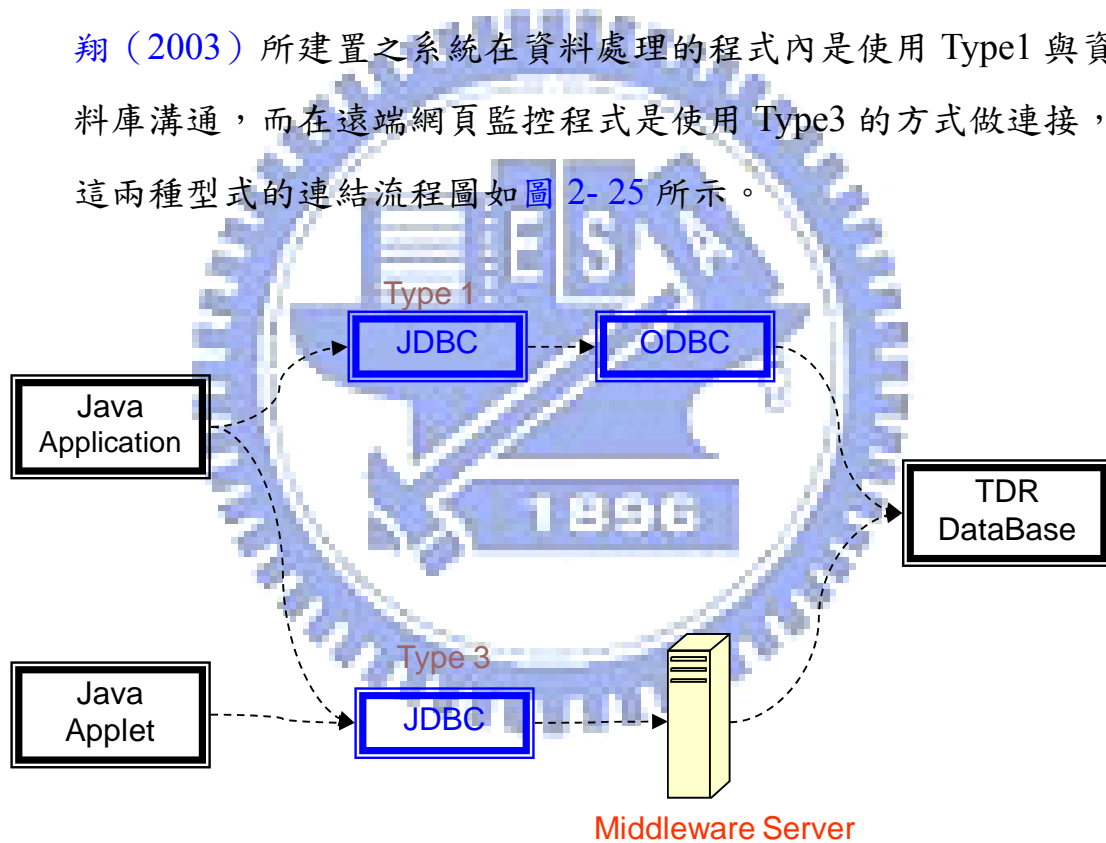


圖 2-25 Java 與資料庫連結示意圖(葉致翔, 2003)

Type1 的驅動程式是透過 ODBC(Open Database Connectivity) 的連接來與資料庫溝通(JDBC-ODBC Bridge), 就是 JDBC 會將 SQL 指令通知 ODBC, 由 ODBC 來負責與資料庫交流, 其優點是

此種驅動程式已內建於 JDBC 中，缺點是執行效能較差。Type3 驅動程式的使用時機，是 Java Applet 的程式在網頁上需要與資料庫連結時使用，而這是溝通 Java Applet 與資料庫最佳的方法。由於 Java Applet 擁有非常嚴謹的安全機制，所以只有透過中間伺服器(Middleware Server)的連接，才能繞過 Applet 的安全限制進入資料庫搜尋資料，其優點是網路安全性足夠，缺點是多數資料庫廠商不提供 Type3 的驅動程式，而是要向第三協力廠商購買。

(3). 系統安全認證與網際網路架構

為避免非管理者隨意登入(Login)監控程式的網頁，故設計在所有的使用者進入前必須通過身份的確證，檢查是否有足夠的使用權限，以提高系統的安全性。網頁的認證方法與 TDR 伺服器內 MS Windows 2000 Server 作業系統相整合，就是若要利用網路方式登入監控程式的網頁，必須先取得作業系統的權限才允許使用。辨別使用者身份的方法是用輸入使用者帳號、密碼，再經作業系統確認後即可登入。

在網路架構的部分，TDR 伺服器連接上網後即展開網路伺服器服務，而在獨立網域裡，與系統相關的伺服服務都可分散安裝在其它的電腦伺服器中，而此網域內各分散的伺服器藉由區域網路的方式彼此串聯，再由網域控制站(Domain Controller)統一控管。。圖 2-26 為葉致翔 (2003) 所建置之 TDR 伺服器與遠端個人電腦使用網際網路的連接示意圖。

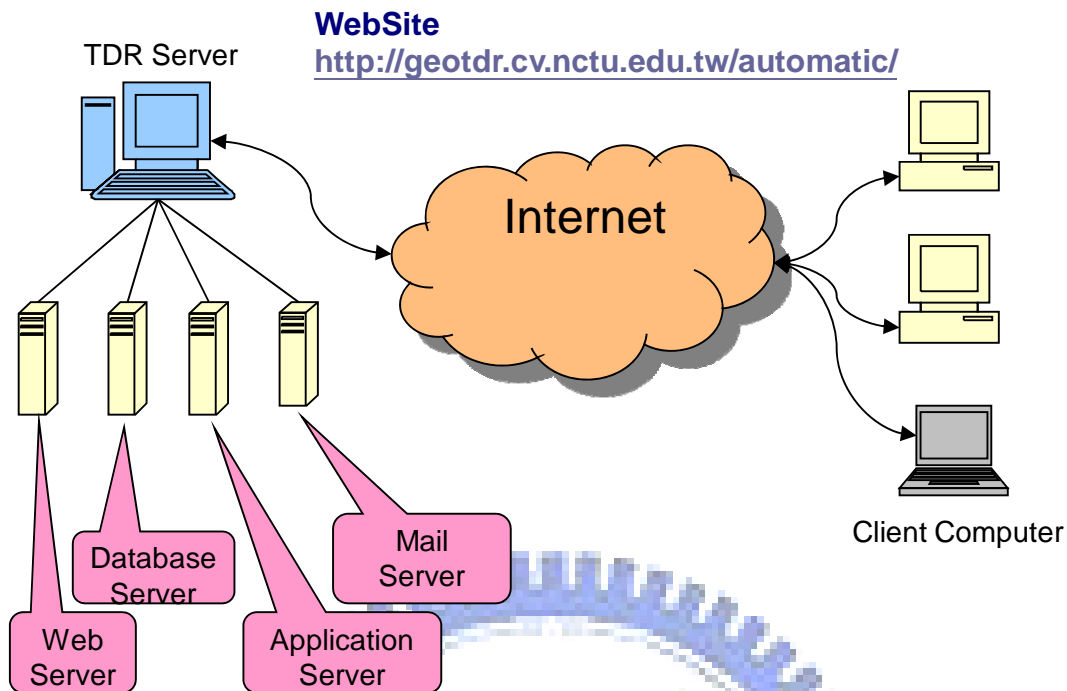


圖 2- 26 TDR 伺服器與遠端電腦連接示意圖(葉致翔，2003)

(4). 資訊預警方法

使用外部程式透過網路通道可即時預警任務，使用的方式有寄送電子郵件及發送手機簡訊兩種方法。利用電子郵件預警須透過郵件伺服器來寄發電子郵件，而執行此工作的程式寫在資料處理的預警程式裏，當現場的監測結果超出警戒值時，預警程式立即呼叫並執行，同時連接預設的郵件伺服器完成寄發電子郵件的動作。

當異常的監測值具急迫性且需要立即處理時，可使用手機簡訊的方式通知並警告管理者。發送手機簡訊的工作也是由資料處理的預警程式負責，同時要向民間電信業者申請手機簡訊發送的服務，取得簡訊伺服器 IP 位址、Port，以及帳號、密碼等完整資訊才可使用。當現場監測值結果超出警戒值時，預警程式會連接電信業者的簡訊伺服器，即可完成發送簡訊的工作。

2.5 既有 TDR 自動化監測系統問題

由上述文獻回顧可以知道現有的 TDR 自動化監測系統應用於現地時，必須透過資料擷取器以及專屬軟體來操控所有資料擷取的流程。資料擷取器專屬軟體雖然可以依據不同的參數自動化執行程式，但是受限於資料擷取器本身計算功能，只能做原始資料傳輸的動作，無法在現地進行複雜的資料處理及分析運算的工作，必須仰賴後端處理原始資料。TDR 原始監測資料量龐大，單一筆資料大約為 20KB，一次量測十筆資料為 200KB。倘若多個感測器同時量測或是量測頻率密集，勢必拖延傳輸時間與降低資訊傳輸的效率。

由於舊式的資料擷取系統必須仰賴遠端伺服器進行資料的分類及計算，進而轉成有用的資訊。本身並不具有分析 TDR 原始監測資料的運算能力，所以考慮在硬體部分採用新式資料擷取系統，企圖利用新式資料擷取系統的運算能力，使 TDR 原始監測資料可以在現場立即轉換成監測資訊，傳輸監測資訊取代大量原始資料以提升分析監測資料的速度。另外既有的 TDR 自動化處理除資料擷取器端的程式控制外，後端伺服器需建置資料分析計算程式，分別各自進行自動化擷取與運算分析的動作，容易造成使用者在設定與操作上的不便。由於新式資料擷取器涵蓋運算分析的能力，在此考量軟體部分可以整合自動化擷取與運算分析的設定，並以單一程式同時執行自動擷取、運算分析和遠端傳輸的工作，同時建立圖形化介面供使用者簡易的操作與設定，促使 TDR 監測系統在軟硬體改良之後，能夠提供監測功能與資訊便利的效果，以落實 TDR 監測系統的諸多優點。

第三章、研究方法

現有的資料擷取系統具有用電量少、穩定性高的優點，但是在硬體方面運算能力不佳，無法即時處理 TDR 反射訊號，將原始資料回傳伺服器端會降低分析監測資料的速率。軟體方面缺乏資訊整合系統，現地的擷取軟體只能回傳與備份資料，分析與運算工作則集中在後端的伺服器之運算程式，對於 TDR 的擷取參數與監測功能參數必須分開設定，增加使用者對 TDR 監測系統設定上的複雜度。

本研究之目的在於克服現地系統運算能力不足的地方，直接於現地分析處理原始 TDR 波形資料，除解決傳輸資料速率不足的缺點，並建立穩地性高和相容一般監測的資訊系統。就監測流程而言，3.1 節將說明改善硬體運算能力不但可以加速資訊分析的速度，還能同時提供監測結果給現地人員與伺服器端，分析後的結果若高於安全值，可進一步傳送預警訊息給相關單位，提早作應變措施。3.2 節考量到市面上有哪些合適的新式資料擷取系統可供選擇，除要具備足夠的硬體運算能力，還必須考慮到野外地質條件、與 TDR 擷取設備的相容性和增加一般監測儀器的彈性等影響因子。3.3 節利用了 TDR 多功能與多頻道的特性，根據現地自動化程式與伺服器端程式的需求，規畫兩個程式所需具的功能與一套完整的 TDR 參數設定流程，提升使用者在操作和設定上的便利。

3.1 TDR 自動化監測流程改善

為了即時傳達 TDR 自動化監測資訊，必須改善運算能力不足的因素。由於一般資料擷取器本身並不具有分析 TDR 原始監測資料的能力，必須仰賴遠端伺服器進行資料的分類及計算，進而轉成有用的

資訊，因此必須對現有 TDR 自動化監測流程做改善，使得 TDR 原始監測資料可以在現場立即被轉換成監測資訊，如圖 3-1，不僅可提升遠端傳輸資訊的速率，也建立人機互動操作介面可供現場人員立即得知監測結果，促使 TDR 自動化資訊監測系統更趨於完善。其重點步驟如下：

(1). 資料探測

資料探測的目的在於利用感測器取得現場量測的物理量，必須同時考慮現場設置感測器的必要性與可行性。TDR 監測感測器目前已研發或研發中的感測器有 TDR 含砂濃度感測計、TDR 水位計、TDR 雨量計、TDR 變形感測計等，可應用在水質含砂濃度、水位監測、雨量監測、地表位移監測、或地層滑動面的監測等。各 TDR 監測感測器可與一般感測器相互配合並構成一完整的監測系統。

(2). 資料擷取與分析

資料擷取與分析的部分必須仰賴監測儀器與感測器。依不同的監測需求設置不同功能的感測器，其監測儀器所執行的功能和分析模組也跟著改變。因此監測儀器必須相容 TDR 感測器與一般感測器，並且可依不同的監測需求執行不同功能。而監測系統的基本功能包括連接週邊儀器與感測器、資料擷取、資料備份、分析結果和遠端傳輸。

(3). 資訊傳輸結果

主要是提供遠端使用者現場分析後的資訊，提升 TDR 監測資料之資訊效率。並提供遠端功能設立預警機制，可在現地監測系統內設定好門檻值。當監測系統量測值超過門檻值時，便會啟動預警系統通知相關單位，達到即時預警的功效。

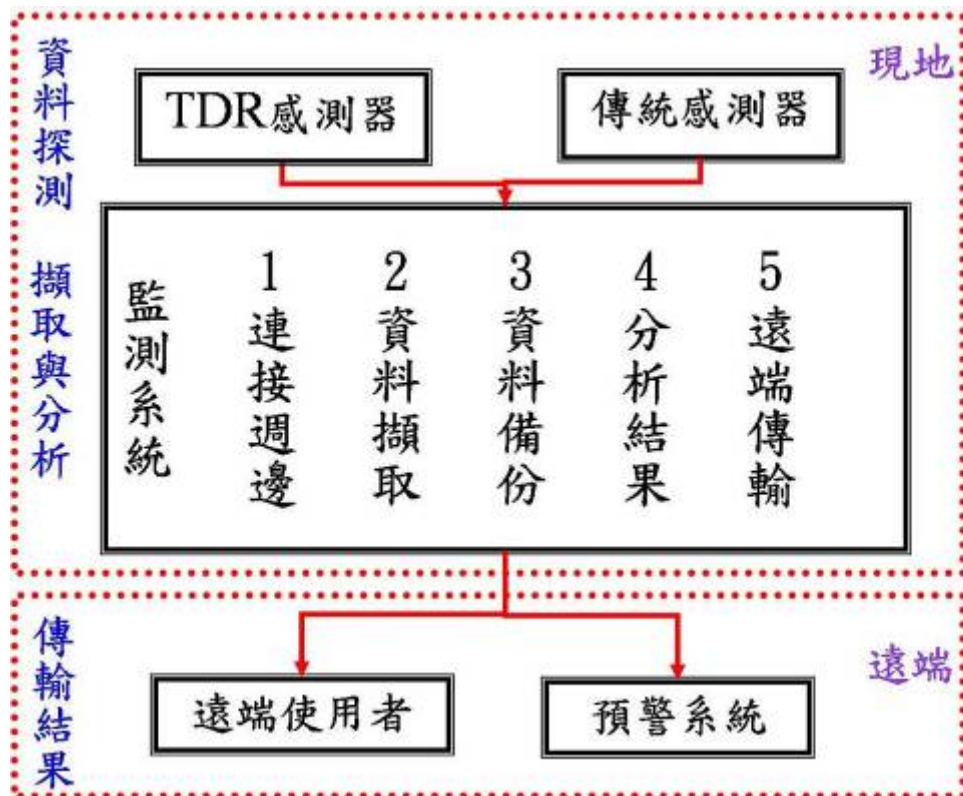


圖 3-1 TDR 資訊自動化監測流程

3.2 硬體架構與設計

由 TDR 的自動化監測流程改善可知 TDR 資料擷取儀器在 TDR 監測系統中扮演極為重要的角色，該系統必須能夠在現地進行資料蒐集、分析與傳輸，提昇 TDR 監測資料之資訊效率，且硬體上必須具備現地低耗電與堅固耐用之特性。另外資料擷取儀器置於現地除負責資料探測控制、監測資料擷取、分析、備份與傳輸，必須兼具一般傳感器的相容性，以維持監測系統之應用彈性。對應之軟體與軟體必須考慮使用便利性。包括遠端使用者界面與預警系統。

為使新式 TDR 資料擷取系統包含上述的功能，必須針對資料擷

取設備中進行替換。圖 3-2 為既有野外資料擷取設備流程圖，主要替換的部分在資料擷取儀器替換成具有分析能力的 TDR 資料擷取控制器。

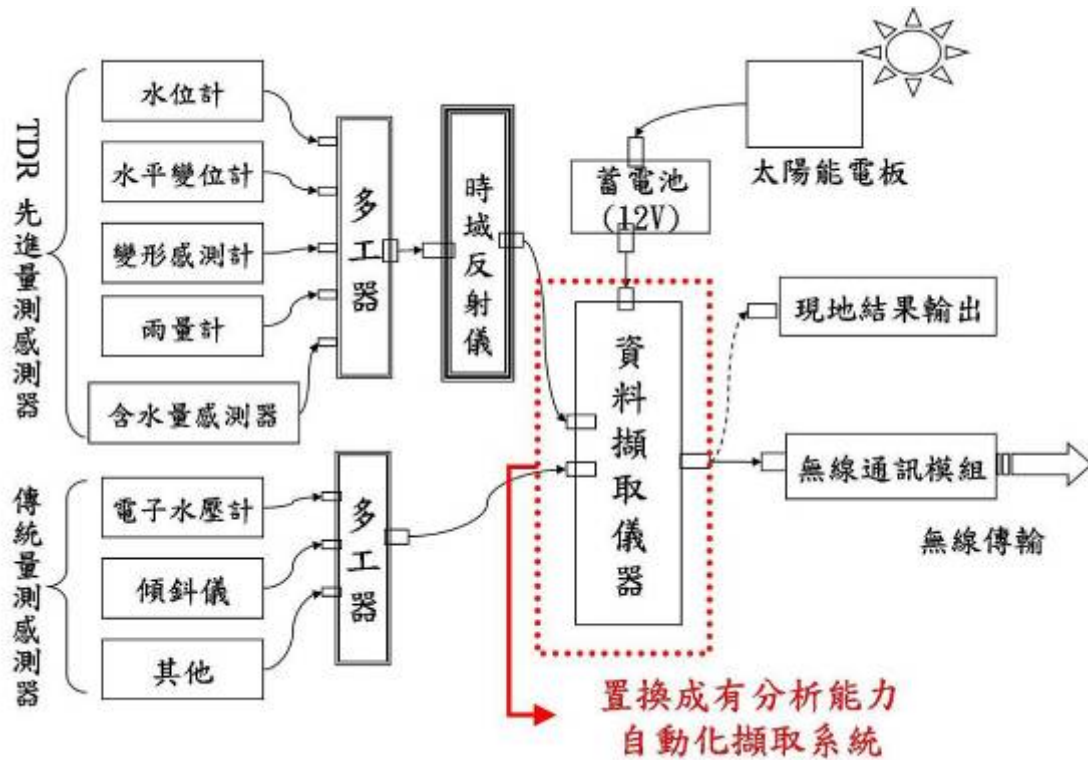


圖 3-2 TDR 資料擷取設備流程概況

3.2.1 嵌入式系統選擇與考量

TDR 資料擷取控制器主要目的在於控制 TDR 傳感器與一般電子式傳感器之探測，並能提供資料擷取與處理分析，以及結合傳輸模組之資料傳輸。控制器為資料擷取系統的中控中心，可作為 TDR 自動化資料擷取儀器的硬體種類如表 3-1，目前現地資料擷取系統主要採用 CS 公司的 CR1000，具有低耗電量與高穩定性，但即時運算能力不佳；FPGA (Field Programmable Gate Array) 則兼具低耗電量、高穩定性與運算能力強等優點，但價格昂貴。工業電腦和嵌入式系統有可程式化、運算能力強和穩定性高的優點，但工業電腦耗電量高，不

適合野外之資料擷取控制器，如表 3-2 所示。因此本研究將考慮嵌入式系統，具有體積小、低價位、低耗電量、足夠的穩定性與運算能力，相較於工業電腦，雖然嵌入式系統其周邊不易擴充，但控制器產品有眾多種類，可選擇最適合連接周邊儀器的介面，因此不至於造成問題。

表 3-1 自動化資料擷取儀器種類

	Datalogger	工業電腦	嵌入式系統	FPGA
優點	現地耗電量小 操作容易 穩定性高	可程式化 運算能力佳 操作容易	可程式化 價格便宜 現地耗電量小	可程式化 運算能力最好 現地耗電量小
缺點	即時運算能力 不足	耗電量大	周邊不易擴充	價格昂貴 技術層面高



表 3-2 工業電腦與嵌入式系統比較表



名稱	工業電腦	嵌入式系統
定義	工業電腦是專門為工業現場而設計的電腦。	嵌入式系統由處理器連結周邊，為特殊目的而結合軟硬體。
優點	<ol style="list-style-type: none"> 防磁、防塵、抗震能力較好 穩定性高，具有長時間工作能力 	<ol style="list-style-type: none"> 低功耗(50W以下) 體積小、節省空間 成本低
缺點	耗電量大(200W以上)> 現地不易提供電源	週邊不易擴充> 尋找可擴充IO的介面

3.2.2 周邊擷取系統整合

在設計硬體架構時，必須考慮監測流程中包含資料擷取、分析運算和遠端傳輸...等不同的功能去選擇相對應的產品元件，以確保硬體系統內的資料傳輸正確。整個硬體系統元件可概括分為七個部分，分別是 1. 感測器，2. 多工器，3. 時域反射儀，4. 資料擷取模組(Data Acquisition Module，之後簡稱為 DAQ)，5. 嵌入式系統(Embedded system)，6. 通訊系統和 7. 電源供應系統。

嵌入式系統硬體架構與設計元件如圖 3-3。除了要考慮擷取系統各個元件之外，還必須針對嵌入式系統與其他元件的連接介面，由於市面上的嵌入式系統種類眾多，嵌入式系統要有足夠且具擴充性的連接介面與其他元件溝通，從 TDR100 的 RS232 介面，或是一般鍵盤滑鼠常用的 USB(Universal Serial Bus)介。以下為對於嵌入式系統與其他元件連接介面的需求：

- (1). TDR 儀器連接介面，在此是以 RS232 與 TDR 儀器溝通，TDR 儀器未來有可能改為 USB 介面，因此保留一個 RS232 介面和一個 USB 介面，TDR 儀器與 TDR 多工器之間以訊號線連接，TDR 感測器則是用 BNC 接頭連接到 TDR 儀器或 TDR 多工器。
- (2). DAQ 連接介面，由於 DAQ 型式種類繁多，考量大部分的介面為 RS232,RS485 或 USB 介面，因此預留嵌入式系統的 RS232,RS485 和 USB 介面各一個。DAQ 接其他感測器的介面則視感測器的種類或型式來決定合適的 DAQ。
- (3). GPRS 連接介面，目前大多數的 GPRS 都是用 RS232 介面，因此保留 RS232 的介面一個。
- (4). 數位訊號輸出入頻道，考慮要透過繼電器控制其他儀器的電源開關，或是 TDR 多工器，因此要保留 5 個數位訊號輸出入的頻道。

規畫好硬體元件及必要的連接介面後，即可對硬體考量的需求整合硬體元件，選擇適合的 TDR 監測系統儀器及元件，並實現 TDR 自動化監測系統。

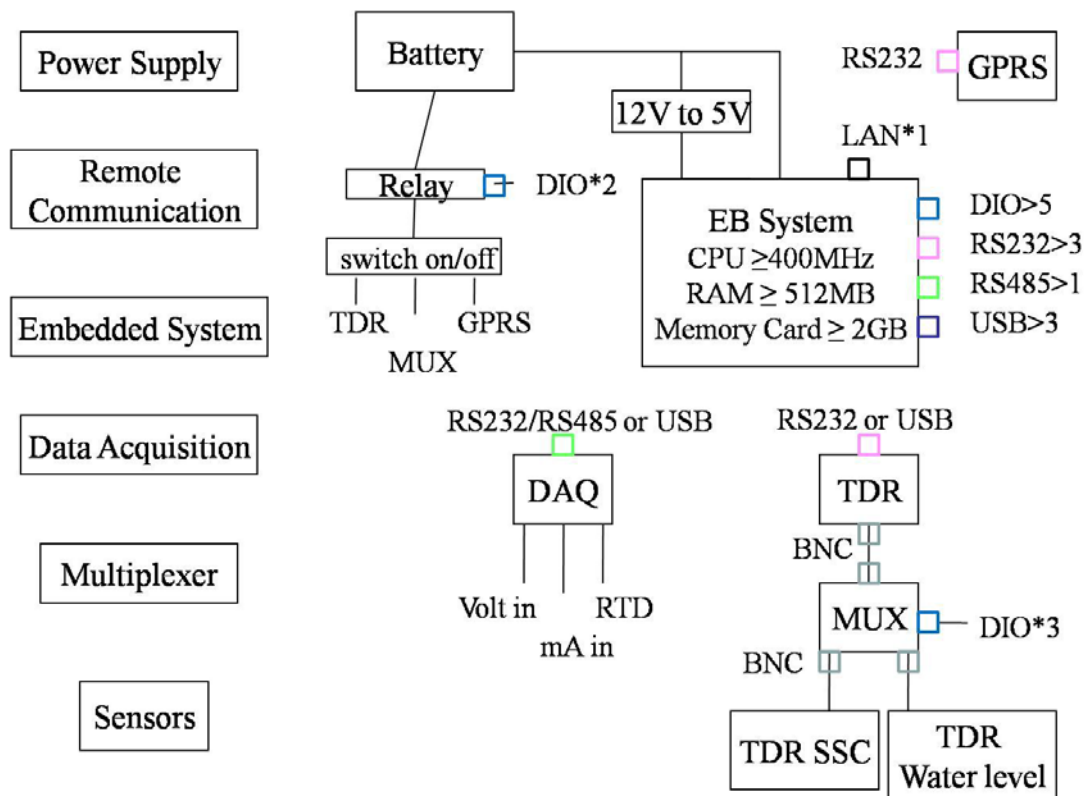


圖 3-3 硬體元件與連接介面

3.3 人性化操作介面之規劃

隨著機電整合及資訊應用等圖型化介面的需求日益增加，使得人機介面在軟體開發與規劃上的設計更顯得重要，為了使一般使用者能夠更直觀且易於使用 TDR 監測軟體，本章節主要以使用者角度來設計監測軟體的架構，增加使用軟體的親和力及便利性。

使用者與嵌入式硬體彼此之間無法直接溝通，必須利用軟體做為溝通橋樑以發揮嵌入式系統的功能， TDR 資料擷取系統之嵌入式軟

體架構構想如圖 3-4 所示，透過嵌入式系統的軟體控制硬體，同時提供使用者簡易的操作介面，目前市面上常見的嵌入式作業系統有 Windows XP Embedded、Windows Embedded CE、嵌入式 Linux、BSD Unix 等，而常用於開發圖形化介面應用程式的程式語言有 Visual Studio. Net 和 Lab VIEW，由於嵌入式作業系統和可開發的程式語言種類繁多，因此選擇對開發者和使用者有利的軟體可以加速軟體開發和提供操作上的便利性。

TDR 監測軟體的程式主要分為兩大部分，1.人機互動量測與標定參數，2. 自動化量測。人機互動量測與標定參數的需求為依照環境條件與量測功能標定參數，並利用標定後的參數執行量測。而自動化量測的需求為依照標定後的參數與設定讓監測系統自動量測。以下第一節描述 TDR 人機互動執行量測功能的程式規畫，第二節說明 TDR 自動執行監測功能的程式規畫。

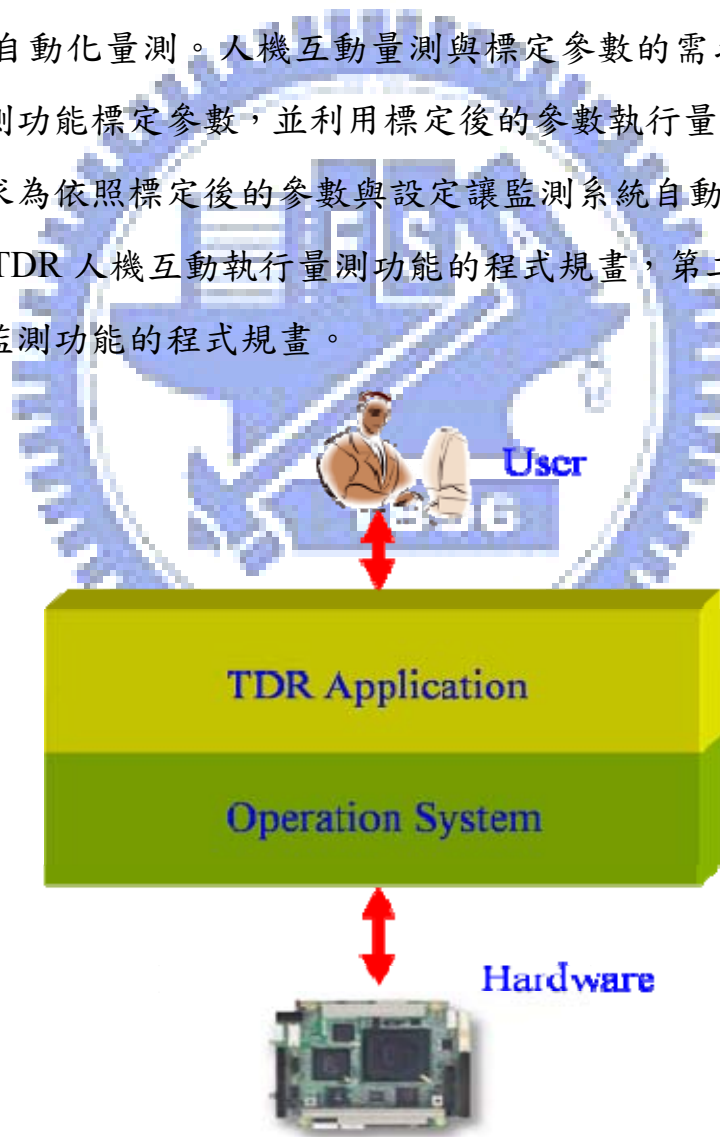


圖 3-4 TDR 資料擷取系統之嵌入式軟體架構

3.3.1 TDR 人機互動介面操作程式規畫

本節主要說明根據現場操作 TDR 儀器與執行監測功能的需求來建立軟體介面的架構，圖 3-5 規畫 TDR 人機互動操作程式對應之需求，整個軟體介面由一個主要的圖型化使用者介面 GUI(Graphical User Interface)執行軟體功能，使用者可在現場直接操作圖型化介面去控制 TDR 監測系統。包含有下列功能：

- (1). 控制 TDR 擷取波形
- (2). 控制多工器選取頻道
- (3). 由擷取到的波形標定參數
- (4). 依標定後的參數執行量測功能
- (5). 備份與讀取量測資料

3.3.2 TDR 自動化監測程式規劃

本研究主要根據 TDR 自動化監測系統的需求來規劃軟體介面，自動化程式與人機互動程式最大的不同在於自動化程式會持續地自動量測。在程式開始執行時，會先讀入設定檔，並依照設定檔的內容去執行自動量測程序。另一項需求是考慮到現地情況有變時，或是設定檔的參數內容有誤時，自動化系統保留可變更的彈性，允許使用者可以遠端去改變自動化系統，所以必須獨立出一個程式去控制遠端系統。

基於上述需求，自動化監測程式必須規畫兩個程式，一個是可以控制遠端系統的程式，稱為 Server，另一個是自動執行量測與分析的程式，稱為 Remote。圖 3-6 為 Server 與 Remote 程式對應之功能需求。

使用者可以透過 Server GUI 控制遠端系統，包含有下列功能：

- (1). 設定頻道與監測功能參數
- (2). 上傳參數控制遠端系統
- (3). 設定傳輸 COM Port 或 IP
- (4). 下載監測資料
- (5). 控制遠端重開機與對時

Remote GUI 的目的是依照設定檔的內容自動執行監測程序，包含有下列功能：

- (1). 設定頻道與監測功能參數
- (2). 自動執行監測與分析能力
- (3). 現場即時顯示監測結果
- (4). 回傳監測資料
- (5). 備份監測資料



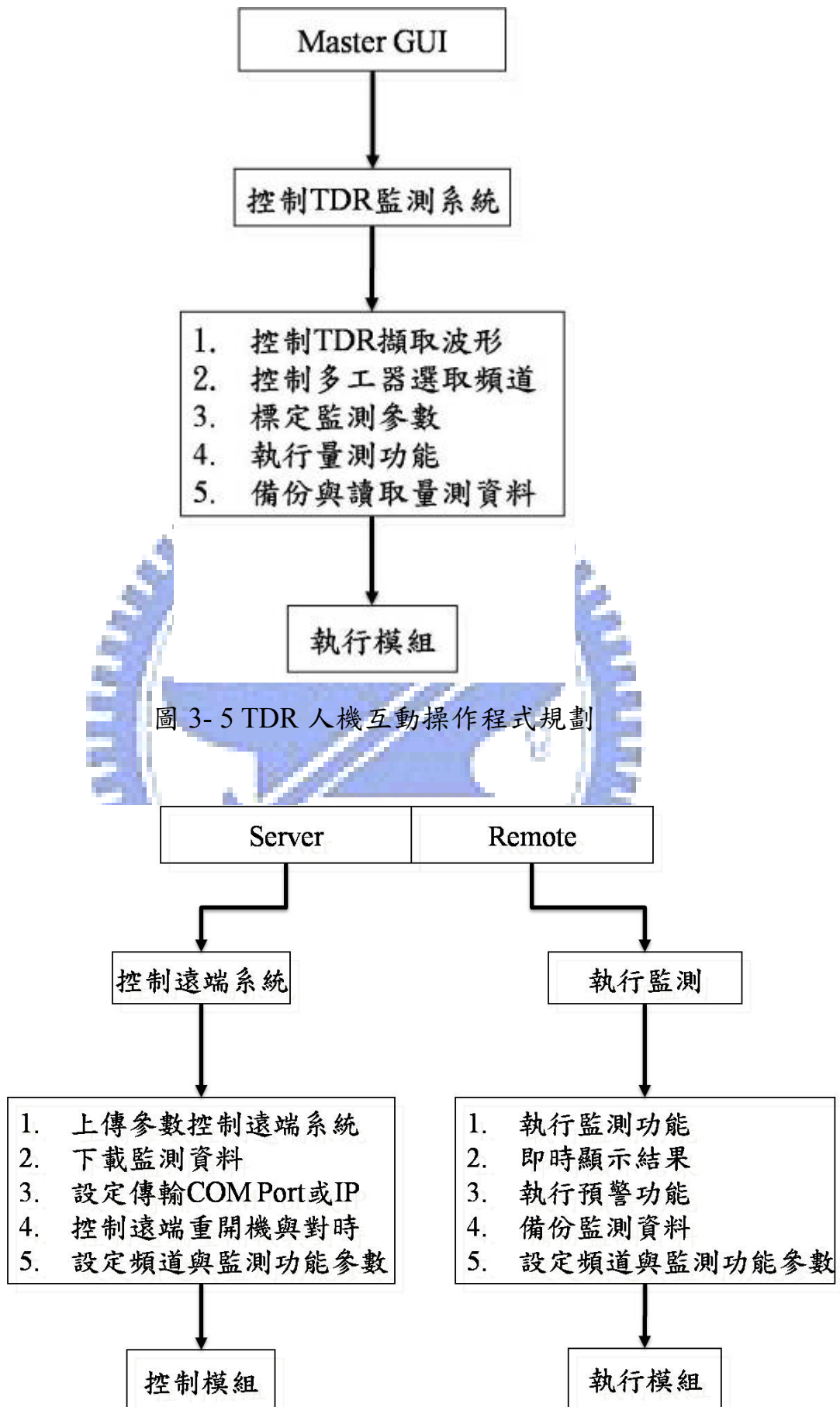


圖 3-6 TDR 自動化監測程式規劃

在圖 3-5 和圖 3-6 的規畫功能中可以看出 Server 程式和 Remote 程式都包括設定頻道與監測功能參數這一項。由於自動化監測功能的設定十分繁雜，因此把設定功能的操作放大為一個圖型化介面，並加入在 Server 程式和 Remote 程式中，設定介面包含序列式的設定和模組化的程序，方便使用者作簡單的設定即可設定自動化監測流程。設定功能的規劃如圖 3-7 到圖 3-10。以下分別說明 4 個主要序列式的設定與其對應的模組：

(1). Parameters 設定：

當嵌入式系統的連接介面連接到 TDR 儀器和資料擷取模組 DAQ，即可設定 TDR 儀器的頻道和資料擷取模組的頻道，如圖 3-7。之後對所選取的頻道設定監測功能，單一頻道可以同時選取不同監測功能，在執行量測時，會依照頻道與量測功能的順序先後量測。必須先設定好連接介面與頻道功能之後才能執行自動量測與分析模組。而 DAQ 的設定也與 TDR 的設定一致，要先確定連接介面之後，在選取所要的頻道與功能，DAQ 的功能為量測到電壓經由使用者自訂的公式轉換為結果。

(2). Threshold 設定：

圖 3-8 的設定量測物理量的門檻值，當超過門檻值時就啟動預警系統。譬如說當監測含砂濃度時，含砂濃度的分析結果超過門檻濃度時就傳遞簡訊給管理者，提醒管理者在某個地點的量測到的含砂濃度超過門檻值，讓管理者做即時應變處理。

(3). Schedule 設定：

圖 3-9 的設定執行每個頻道自動量測的程序流程。譬如說正

常狀態下每個小時量測一次含砂濃度，當含砂濃度超過門檻值就開始每十分鐘量測一次含砂濃度。

(4). Backup 設定：

圖 3-10 的設定備份文件的格式，備份資料可以提供日後資料的分析或是參考。備份文件的內容主要以文字檔儲存，方便使用者由文字檔得知監測資訊。



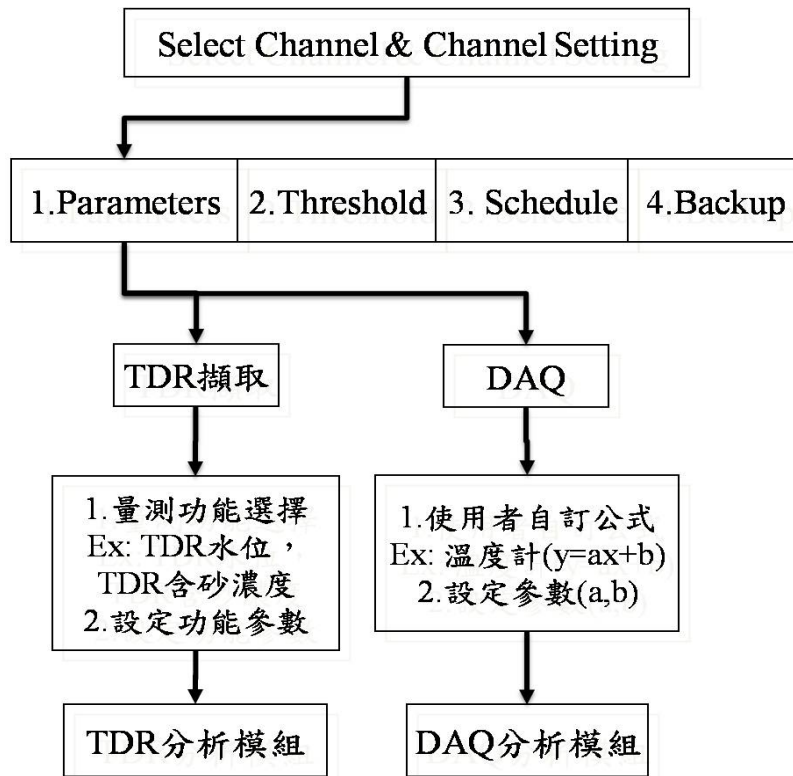


圖 3-7 Parameters 的設定

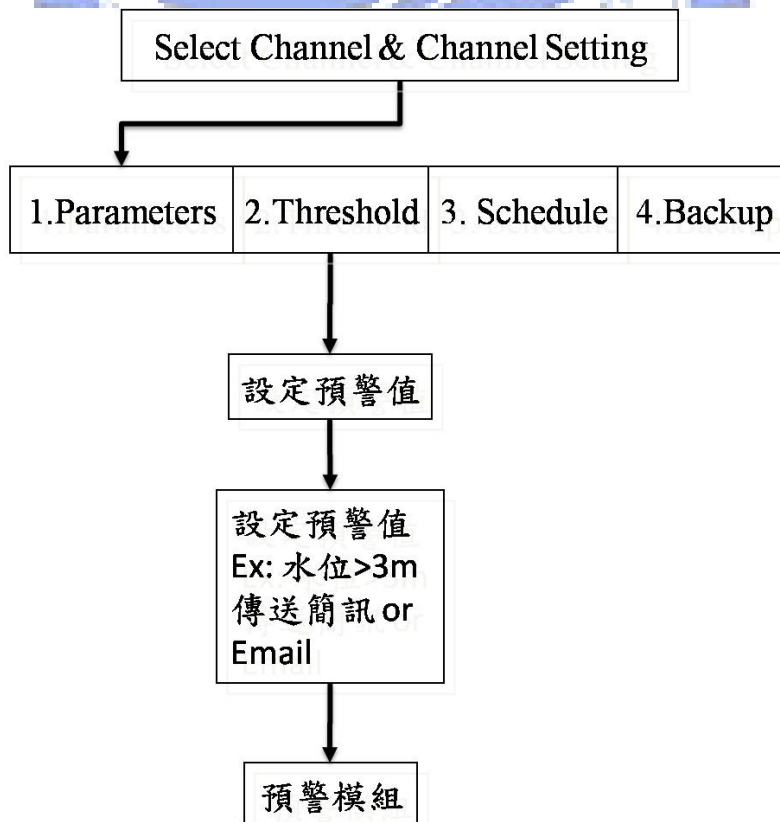


圖 3- 8 Threshold 的設定

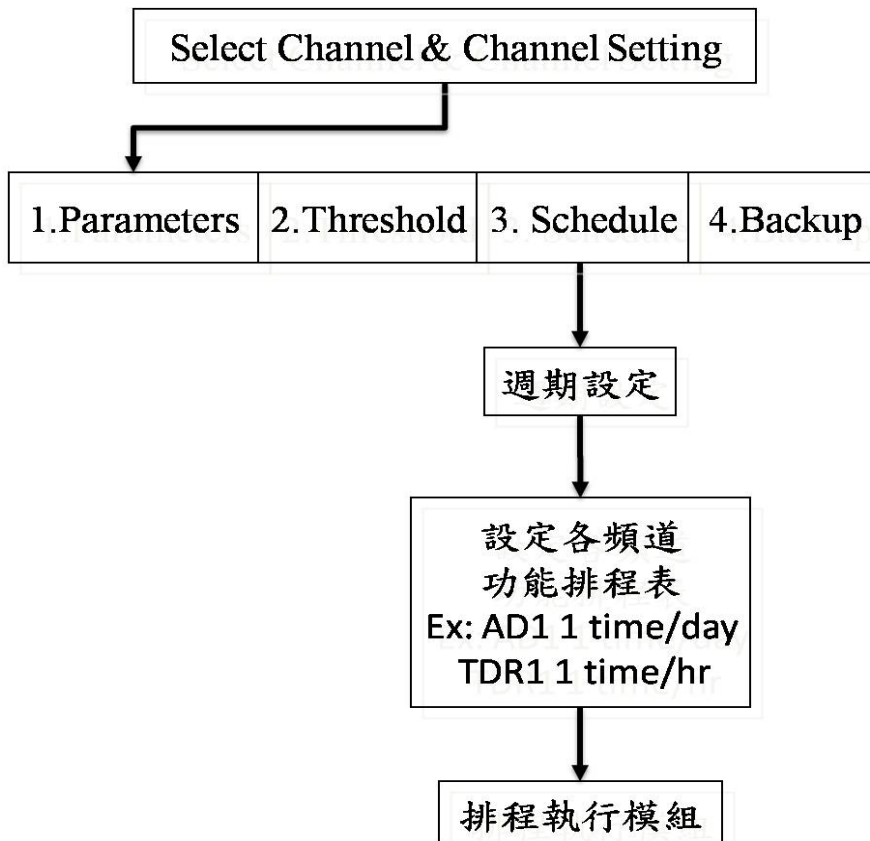


圖 3- 9 Schedule 的設定



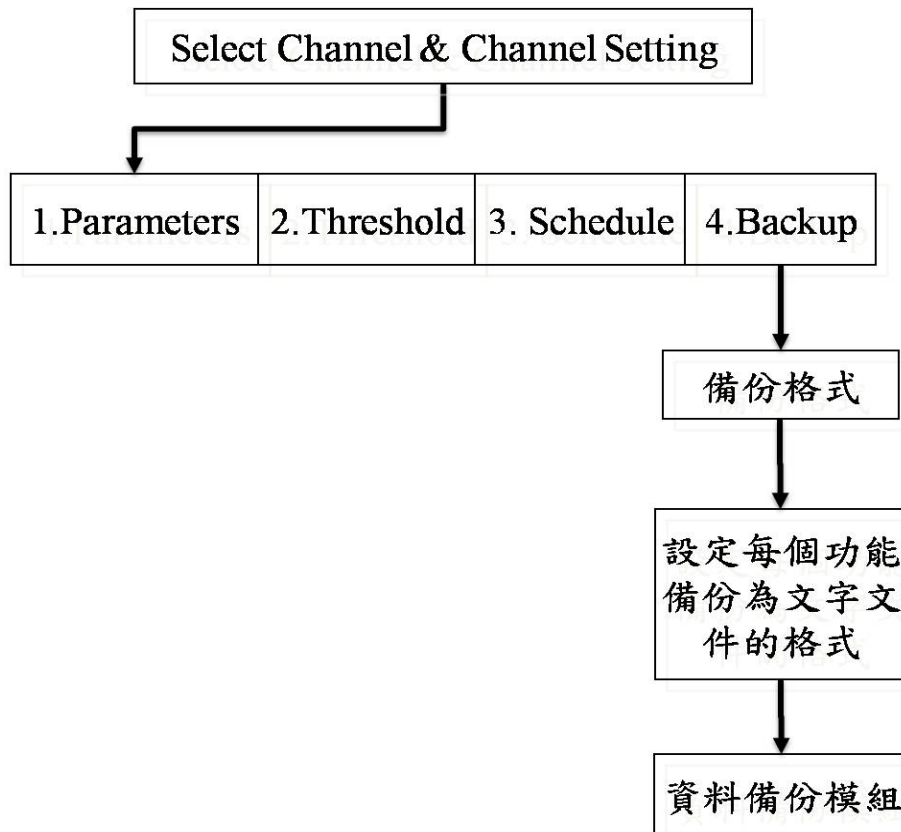


圖 3- 10 Backup 的設定



第四章、軟硬體設計成果

本章根據前一章軟硬體設計上的規劃來實現軟硬體整合後的成果，整合後的 TDR 擷取系統包含有分析與資訊整合能力，系統主要是由兩大部分組成，一是硬體，另一是軟體。硬體主要由 TDR 擷取設備及其他相關元件組成，包含有感測器、多工器、TDR 儀器與 DAQ、嵌入式系統、遠端傳輸模組與電源供應。軟體方面為根據監測的功能與需求，規劃出對應之圖形化的介面。軟體方面主要採用的作業系統為 Windows XP Embedded，開發程式則是利用 Lab VIEW 進行圖形化介面的建立及 TDR 軟體的程式開發。第一節呈現 TDR 監測系統的硬體，說明每一部份的產品以及適用性。第二節與第三節主要說明 TDR 軟體的圖形化介面，包含 TDR 人機互動操作程式與 TDR 自動化監測程式。

4.1 硬體系統整合與呈現

圖 4-1~圖 4-11 為根據 TDR 含砂濃度觀測自動化系統之需求所選取的產品，組合成現地資料擷取系統的實體圖，如圖 4-12。硬體系統的實體元件與產品可分別從圖中八大部分分別詳述如下：

(1). 感測器(Sensor)：

感測器採用 TDR 含砂濃度感測器(TDR Probes)和溫度感測器(Thermometers)，如圖 4-1 和圖 4-2。溫度感測器採用立紳公司的 P-100 25m & TRH-301V，在溫度 25°C 時的精確度為 $\pm 0.1\%$ ，連接訊號線至資料擷取模組回傳電壓值 DC 0~2V，並由電壓換算成溫度 -20~80°C。

(2). 多工器(Multiplexer)：

TDR 多工器採用 Campbell 公司的產品，型號 SDMX50 如圖 4-3。使用者可從 RS232 下達指令給時域反射儀，再由時域反射儀透過訊號線控制切換不同頻道，一台 Multiplexer 可連接 8 條 Cables 或其他 Multiplexer，至多可連接 512 條 Cables。

(3). 時域反射儀 (TDR)：

時域反射儀採用 Campbell 公司的產品，型號 TDR100，如圖 4-4，透過 RS232 與個人電腦或相容系統傳輸資料與指令。

(4). 資料擷取模組(Data Acquisition Module)：

資料擷取模組(DAQ)則採用研華公司的 USB4718，如圖 4-5，負責接收溫度感測器的電壓類比輸入，同時包括數位輸出和數位輸入，可透過 USB 與嵌入式裝置溝通。

(5). 嵌入式系統(Embedded system)：

嵌入式系統採用研華公司的嵌入式單板 PCM 3353，如圖 4-6，除了有足夠的連接介面外，還具有體積小，低耗電的特性。儀器規格如表 4-1。

嵌入式單板必須配合適當的作業系統或是適當的韌體才能發揮硬體功能，本研究採用的作業系統為 Microsoft 公司的軟體產品 Windows XP Embedded，Windows XP Embedded 是一個元件化和模組化版的 Windows XP Professional，Windows XP Professional 是個人電腦專用的作業系統。因此 Windows XP Embedded 在操作上與畫面與個人電腦上的 Windows XP 相同。不同的是 Windows XP Embedded 為嵌入式系統設計的作業系統，所以是為了搭配硬體而客製的作業系統，確定保有作業系統相依性以及完整的功能。

表 4-1 嵌入式系統規格

名稱	規格
CPU	AMD500MHZ
Memory	1GB
Storage	4GB Compact Flash Card
Operation System	XP Embedded
Operating temperature	0~60°C
Power consumption	DC12V&5V, Max 8.75W
IO介面	4*USB、3*RS232、1*RS485/422、1*LAN
擴充槽	1*PC/104 expansion connector

(6). 通訊系統(Remote communication)：

通訊產品採用 MOXA 公司的 Industrial quad-band GSM/GPRS modem 和 Micro Chinese 公司的 MMS-100 Smart Messenger，如圖 4-7 和圖 4-8。利用手機 SIM 卡之 GPRS 功能和發送簡訊功能，配合 GPRS 模組和 Messenger 模組，透過天線傳輸資料封包傳送至伺服器端，必須由 RS232 介面與嵌入式裝置連接。或是網路線連線至區域網路到伺服器。

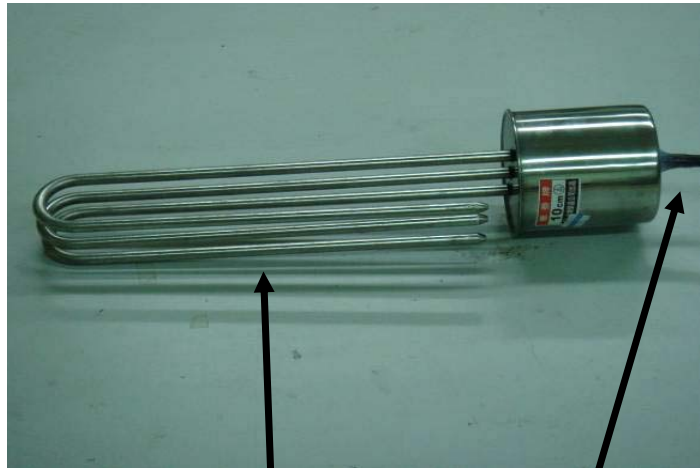
(7). 電源供應(Power Supply)：

現場資料擷取設備均使用 12V 或 5V 直流電源。本研究使用一 12V 蓄電池，而蓄電池可接 110V 交流電蓄電，在野外無電源時可外接太陽能電板獨立供電。另有 relay 裝置控制其他儀器電源的開關，如圖 4-9。

(8). 顯示系統(Display)：

顯示系統可由嵌入式系統內提供的 VGA 介面接上一般電腦顯示器，如圖 4-10。或是外接字幕機以跑馬燈以文字顯示目前監

測結果，如圖 4-11。



Sensing Waveguide Coaxial Cable

圖 4-1 TDR 感測器

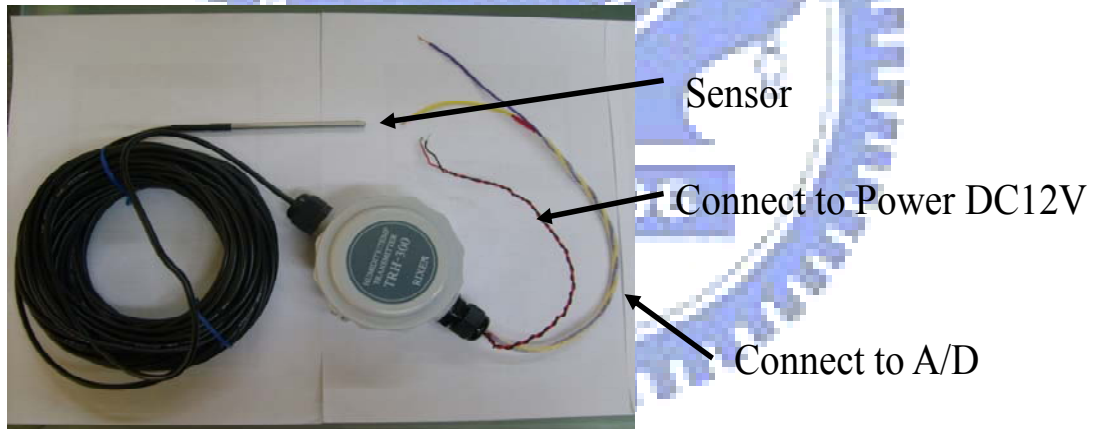


圖 4-2 溫度感測器

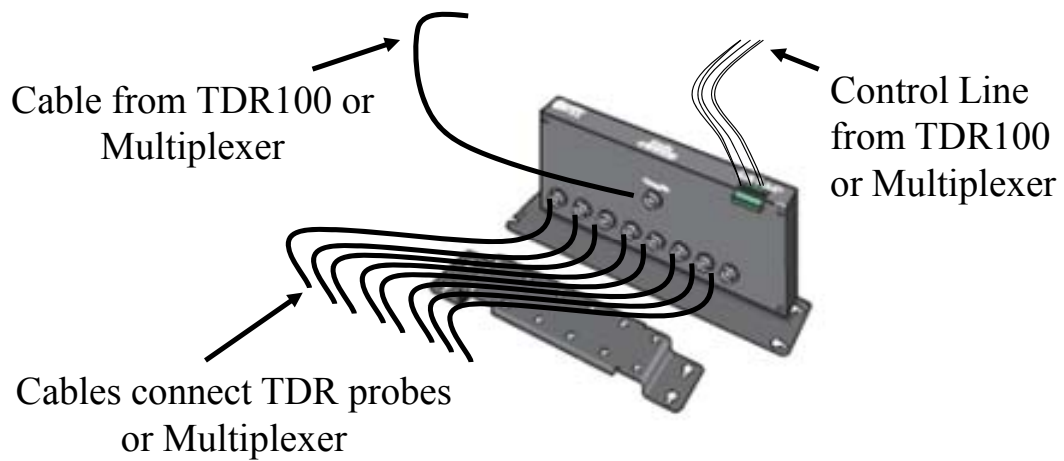


圖 4-3 TDR 多工器



圖 4-4 時域反射儀



圖 4-5 資料擷取模組

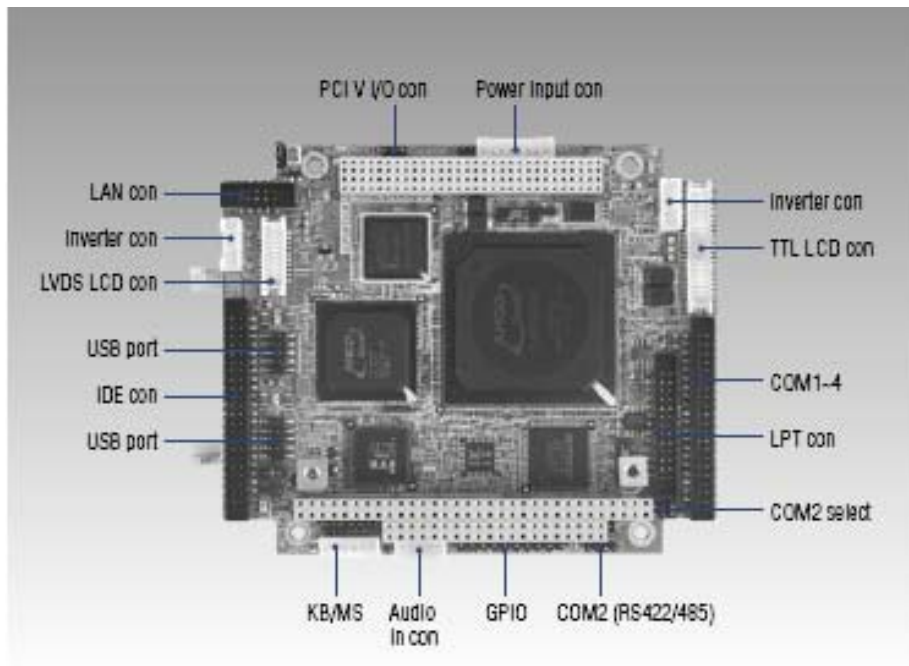


圖 4-6 嵌入式單板



圖 4-7 MOXA 無線通訊模組



圖 4- 8 Micro Chinese 無線通訊模組

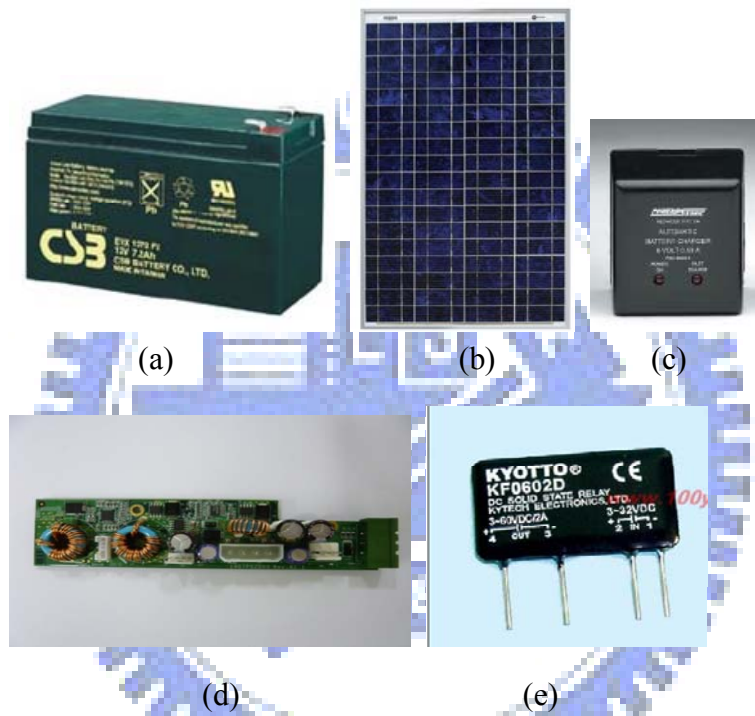


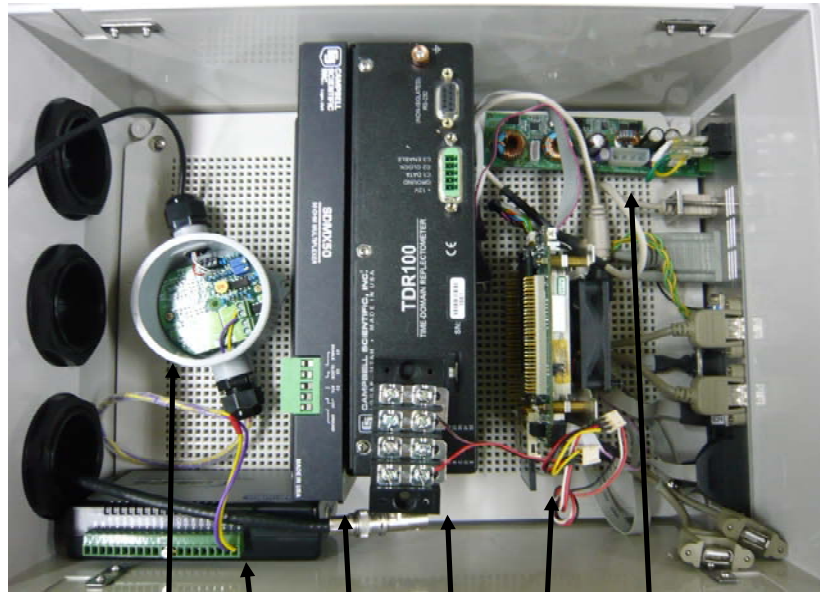
圖 4- 9 (a) 12V 7.2Ah Battery (b) 50W Solar Panel (c) AC Converter
(d) 12V 轉 5V 電路板 (e) Relay



圖 4-10 一般顯示器



圖 4-11 LED 字幕機



溫度計 DAQ TDR 12V轉5V電路板
 多工器 嵌入式系統

圖 4- 12 TDR 硬體系統整合的實體圖

4.2 TDR 人機互動操作程式

本章說明以標定參數與量測的需求建立圖型化的使用者介面。標定參數與量測程式是依照環境條件標定參數與現場量測。使用者介面主要的目的是提供使用者一個虛擬的操作面板，藉由此面板作為使用者與應用程式互動的溝通管道，以簡單的操作步驟即可完成 TDR 擷取和運算分析的參數設定。

TDR 人機互動操作程式以 LabVIEW 程式語言來設計介面及開發程式。LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 程式語言是由 National Instrument 公司所推出以圖形物件來進程式邏輯規畫與建立程式執行的環境。LabVIEW 程式被稱為虛擬儀表 (Virtual Instrument, 簡稱 VI) 的應用程式，VI 中包含三個重要的部分，以下分別說明。

- (1). 前置面板(Front Panel)視窗是使用者與 VI 間的介面(interface)，也就是呈現在使用者所使用的電腦面板視窗。在這前置面板視窗中，可以執行資料或是命令的輸入，以及顯示相關資料運算、監控或是擷取的結果。介面上可包含的物件有旋鈕(knobs)、按鈕(push button)、圖(graphs)或其他的控制元(controls)，代表使用者輸入；及顯示元(indicators)，屬於程式輸出，圖 4-13 代表在前置面板視窗建立好的一個虛擬儀控介面。
- (2). 程式方塊(Block Diagram)視窗是 VI 背後的原始程式碼建立的環境，是以圖形物件程式語言開發。程式方塊視窗的成分包含一般程式常用的資料結構，如常數、變數、陣列、內建函數和使用者自訂的函數。程序如 For loop、While loop 與 Case 結構等。程式設計裡物件之間具有對應的接點(terminal)，採用接線(wire)的方式將合適的物件接點連結在一起，來指出物件之間資料的流動，圖 4-14 代表在圖 4-13 背後的原始程式碼。
- (3). 圖像與連接器(Icon/Connector)可在程式方塊視窗撰寫程式時，把另一個 VI 當成副函數來使用。在一個 VI 中使用另一個 VI，此 VI 被稱為子 VI，圖像為子 VI 圖像化的表示方法，如一個物件般在另一個 VI 的方塊圖中被使用。連接器則定義了一個 VI 的輸出與輸入，猶如一個副函數的輸出入參數。圖 4-15(a)為編輯 VI 的圖像，圖 4-15(b)為編輯好的 Connector，用來設定 VI 輸出入的資料型態，圖 4-15(c)為 VI 輸出入的參數名稱。

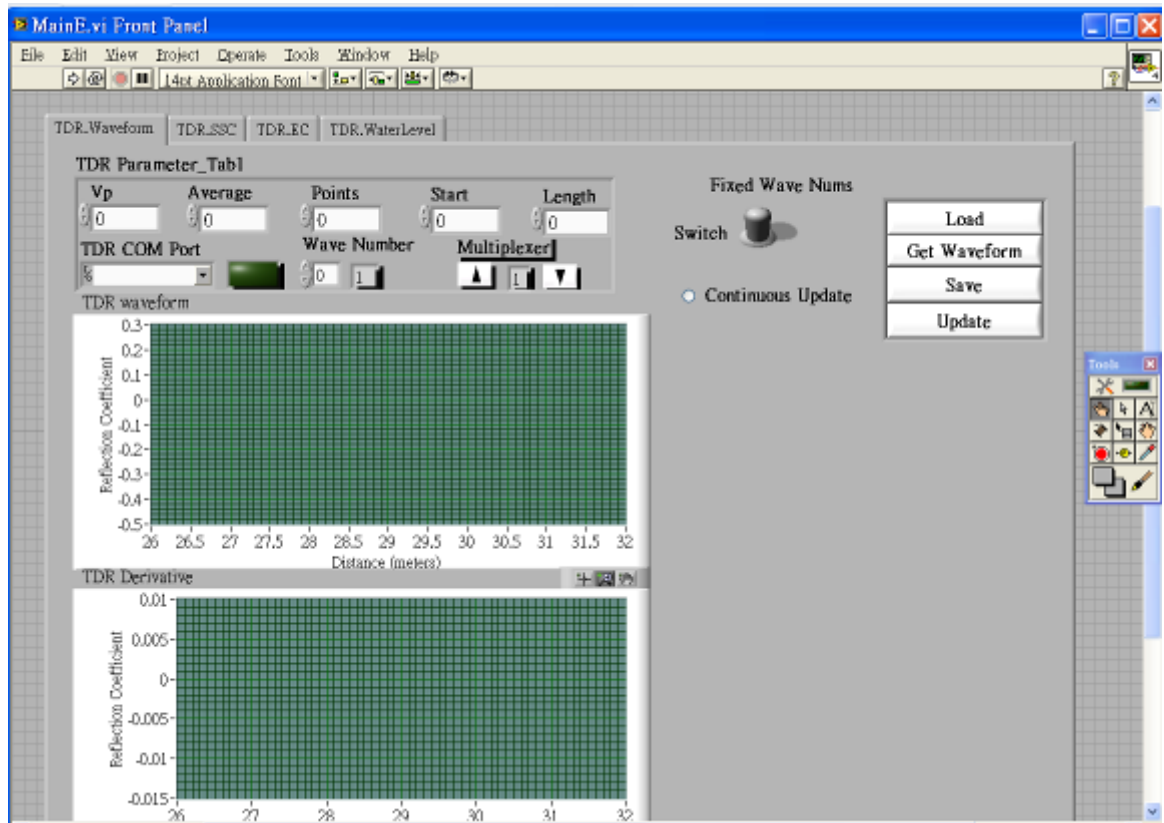


圖 4-13 虛擬儀控介面

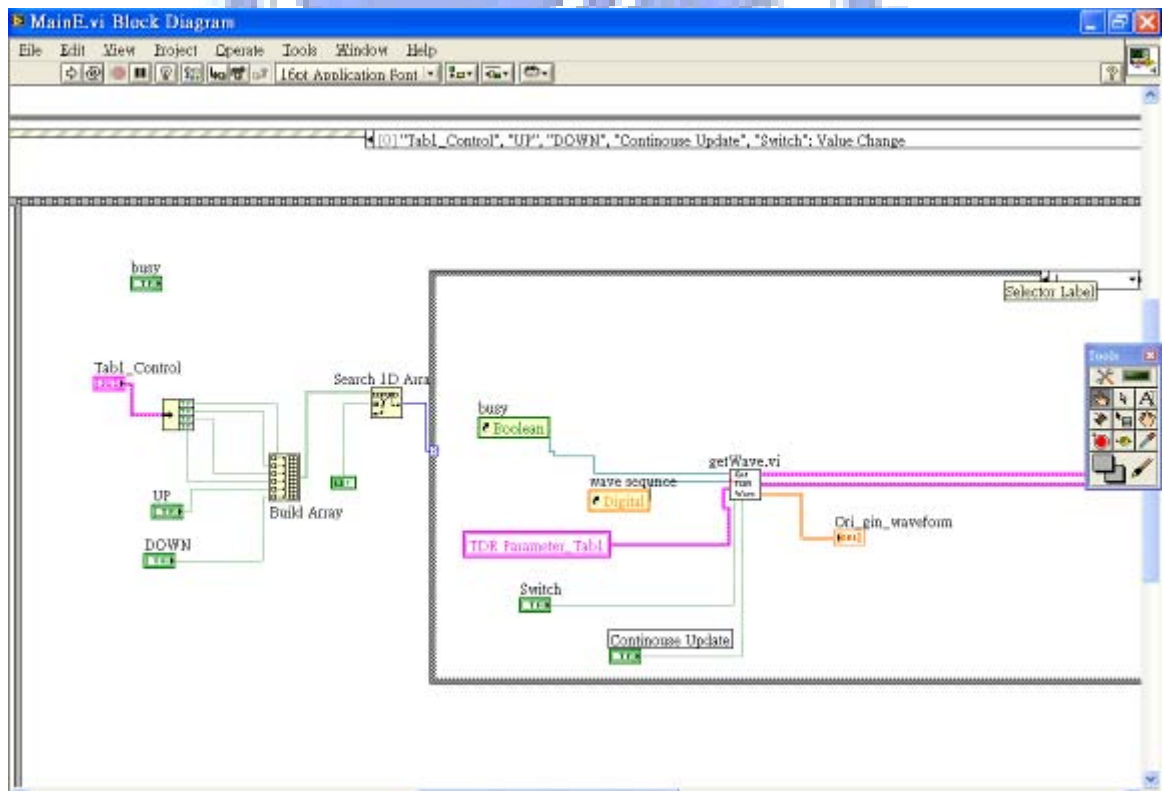


圖 4-14 原始程式碼

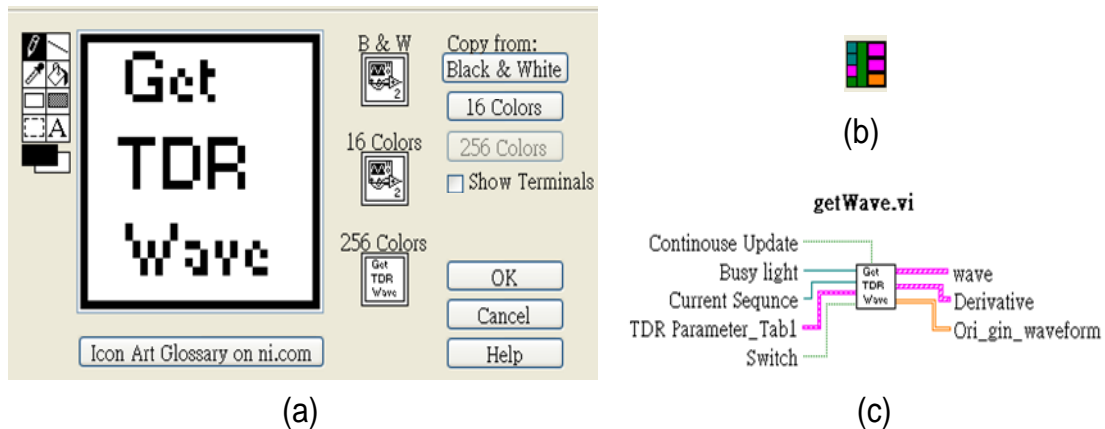


圖 4- 15 (a)VI 圖像(b)Connector (c)VI 的輸出入

人機互動標定程式的介面是以標籤面版(Tabbed Panel)為主體，依監測功能的型式再分成其他的標籤頁面，藉由標籤頁面來延伸 TDR 的相關功能介面。使用了許多圖形物件，如按鈕(Button)、標籤(Label)、以及文字區域(Text Area)等。圖 4- 16 為 TDR 量測基本波形的功能，圖 4- 17 為 TDR 量測含砂濃度的功能。

左半邊主要是放置不同量測功能的共同介面，在每個標籤頁面裡都有 TDR parameter_Tab 的面板，占據在標籤頁面的左上部分，TDR parameter_Tab 的主要功用是擷取 TDR 波形前必須先設定好的波形參數，如圖 4- 16 和圖 4- 17 所示。參數設定是依照 TDR 儀器的限制，因此有一定的範圍，各參數進階說明如下所述：

- (1). V_p 代表的是此數值為電磁波在已知介質與在空氣的傳遞速度之比值。波傳速度與介質的介電常數有關，較大介電常數的介質其波傳速度較慢，則 V_p 也較小，反之 V_p 較大。輸入範圍是在 0.1 到 1。
- (2). Average 代表的是取樣後平均的點數，輸入範圍是在 1 到 128。
- (3). Points 代表的是單位視窗取樣的點數。取樣點數越多，解析度就

高。TDR100 所支援的最高點數為 2048 點。輸入範圍是在 20 到 2048 點。

- (4). Start 代表的是波形的起點，輸入範圍是在-2 到 2100 公尺。
- (5). Length 代表的是採樣視窗長度。以 V_p 為 1 時做基準，視窗的起點通常為接頭(延長纜線與感測器的交界點)，終點為 TDR 訊號產生終點反射處。而採樣視窗長度越短，解析度也就越高，但其總長必須包含感測器所有的影響範圍。輸入範圍是在 0.1 到 2100 公尺。
- (6). TDR COM Port 是 TDR 儀器選擇 Com port (Communication port) 的編號。
- (7). Wave Number 是決定擷取多少次波形。
- (8). Multiplexer 是調整 TDR 多工器的頻道，不同的頻道可以量測到不同感測器的波形。

標籤頁面的左下部分，在每個量測功能頁面裡都有 TDR Waveform 或 TDR Derivative 的波形顯示面板。TDR Waveform 是由 TDR 儀器量測到的連續點數的反射值，並把所有的反射值繪製成波形圖。TDR Derivative 則是把所有的反射值取微分後，並把微分值繪製成波形圖。

右半邊主要是放置不同量測功能的特殊功能介面，圖 4-16 的右半邊為 TDR 量測基本波形的特殊功能介面。Switch 功能主要是在量取波形時可選擇 Fixed Wave Num 或 Continuous Update，Fixed Wave Num 是指依照 Wave Number 的值去擷取幾次波形，Continuous Update 則是指連續的擷取波形。Switch 右邊的四個按鈕 Load、Get Waveform、Save 和 Update 則是分別代表讀取波形、開始擷取波形、儲存波形和更新量測基本波形功能的設定參數。

圖 4-17 是第二個標籤頁面，代表的 TDR 量測含砂濃度的功能。左半邊和第一個標籤頁面一致，右半邊主要有分成三個區塊，第一個區塊是 Temperature setting，第二個區塊是 L Calibration，第三個區塊是 SSC Measure，以下分別詳細說明。

- (1). Temperature setting 包含有自動量測溫度與手動輸入溫度，自動量測溫度時可先測試溫度感測計量測到的溫度值，按下 Get Temperature 之後即會顯示在 Temperature 欄位，量測 TDR 波形期間，自動量測溫度會取這段期間的溫度平均值來計算含砂濃度，自動量取多筆時，會在正負號之後出現溫度的標準差。而 Temp manual 功能是手動輸入溫度的按鈕，按下 Temp manual 之後必須在 Temperature 欄位中輸入溫度，量測時即會以這個溫度計算含砂濃度。要特別注意的是執行 L Calibration 區塊和 SSC Measure 區塊之前必須先決定 Temperature setting 的部分。
- (2). L Calibration 則是依照 TDR 波形標定出 TDR Sensing Waveguide 的長度，必須先輸入 T1&T2 Range 的數值後，T1Range 為電磁波從空氣到水面的波形變化距離，因為界面不同所產生的反射訊號。T2Range 為電磁波在 TDR Sensing Waveguide 末端所產生的波形變化距離。按下 L Calibration 按鈕之後會先量取 TDR 波形，再由計算而得的長度，顯示在 Probe Length(m)的欄位，在擷取多筆 TDR 波形時，會在正負號之後出現長度的標準差。Save 和 Load 分別代表儲存和讀取 L Calibration 的檔案，Rerun 按鈕則是重新執行 L Calibration 的功能，與 L Calibration 的不同是不用再重新擷取波形，而是依照目前的 TDR 波形資料來重新計算。要特別注意的是執行 SSC Measure 區塊之前必須先決定 L Calibration 的部分。

(3). SSC Measure 則是依照 TDR 波形計算出含砂濃度，必須先輸入 ϵ_s 和 G_s ， ϵ_s 為砂土的介電度， G_s 為砂土的比重，藉由兩者的砂土參數計算出水中含砂濃度(鐘志忠 2008)。按下 SSC Measure 按鈕之後會先量取 TDR 波形，再由計算而得的含砂濃度，顯示在濃度(mg/L)的欄位， ΔT (ns)顯示的是 T1 和 T2 之間的走時差。在擷取多筆 TDR 波形時，會在正負號之後出現含砂濃度的標準差。Save 和 Load 分別代表儲存和讀取 SSC Measure 的檔案，Rerun 按鈕則是重新執行 SSC Measure 的功能，與 SSC Measure 的不同是不用再重新擷取波形，而是依照目前的 TDR 波形資料來重新計算。

圖 4-18 是第三個標籤頁面，代表的 TDR 量測導電度的功能。左半邊和第一個標籤頁面一致，但是少了 TDR Derivative 波形圖，因為導電度的計算不用到波形的微分值。右半邊主要有分成兩個區塊，第一個區塊是 EC Calibration，第二個區塊是 EC Measure，以下分別詳細說明。

- (1). EC Calibration 則是標定 EC 參數的過程，首先依 TDR Sensing Waveguide 在空氣中和短路時的波形標定出 ρ_{air} 和 R_{cable} 參數， ρ_{air} 代表在空氣中穩定狀態的反射係數， R_{cable} 代表的是 TDR 傳輸線的電阻值。先輸入要擷取幾次波形後，按下 EC Calibration 按鈕之後會先量取 TDR 波形，量測 TDR 波形期間，每一筆要由使用者輸入導電度，最後出現導電度的參數 Probe constant β (鐘志忠 2008)。
- (2). EC Measure 則是依照所輸入的 EC 參數 ρ_{air} 、 R_{cable} 和 Probe constant β ，按下 EC Measure 按鈕之後會先量取 TDR 波形，然後輸出該

筆波形的導電度。Save 和 Load 分別代表儲存和讀取 EC Measure 的檔案。

圖 4-19 是第四個標籤頁面，代表的 TDR 量測水位的功能。左半邊和第一個標籤頁面一致，右半邊主要有分成兩個區塊，第一個區塊是 WaterLevel Calibration，第二個區塊是 WaterLevel Measure，以下分別詳細說明。

- (1). WaterLevel Calibration 則是標定感測器基本參數的過程，首先依 TDR Sensing Waveguide 的在空氣中的波形設定感測器接頭波形範圍（T1 Section Start 和 T2 Section End），按下 Calibration 按鈕之後會出現 Air start 和 Air end 參數，Air start 和 Air end 參數代表的是感測器的波形起點與終點。Save 和 Load 分別代表儲存和讀取 WaterLevel Calibration 的檔案。
- (2). WaterLevel Measure 則是依照使用者所輸入的 WaterLevel 參數 Lv、Va 和 EL of probe end，Lv 代表的是微分後的最低值位置，用來找尋水位的介面，Va 相等於 Vp，EL of probe end 表示水位計底端的絕對高程。按下 WaterLevel Measure 按鈕之後會先量取 TDR 波形，然後輸出該筆波形的 Water level 和 Water EL，Water level 代表是從水位計底部到水面的高度，Water EL 代表是 Water level 的高度加上絕對高程的高度。Save 代表儲存 WaterLevel Measure 的檔案。

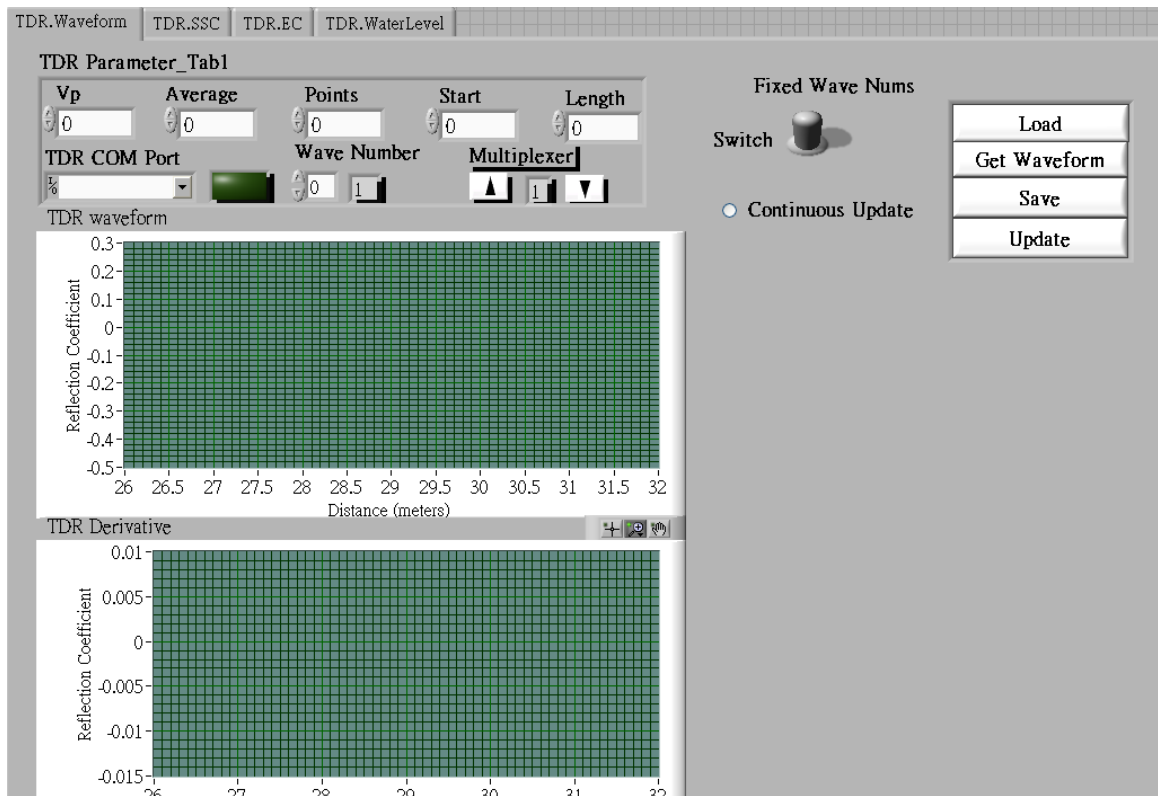


圖 4- 16 TDR 人機互動介面的量測波形功能

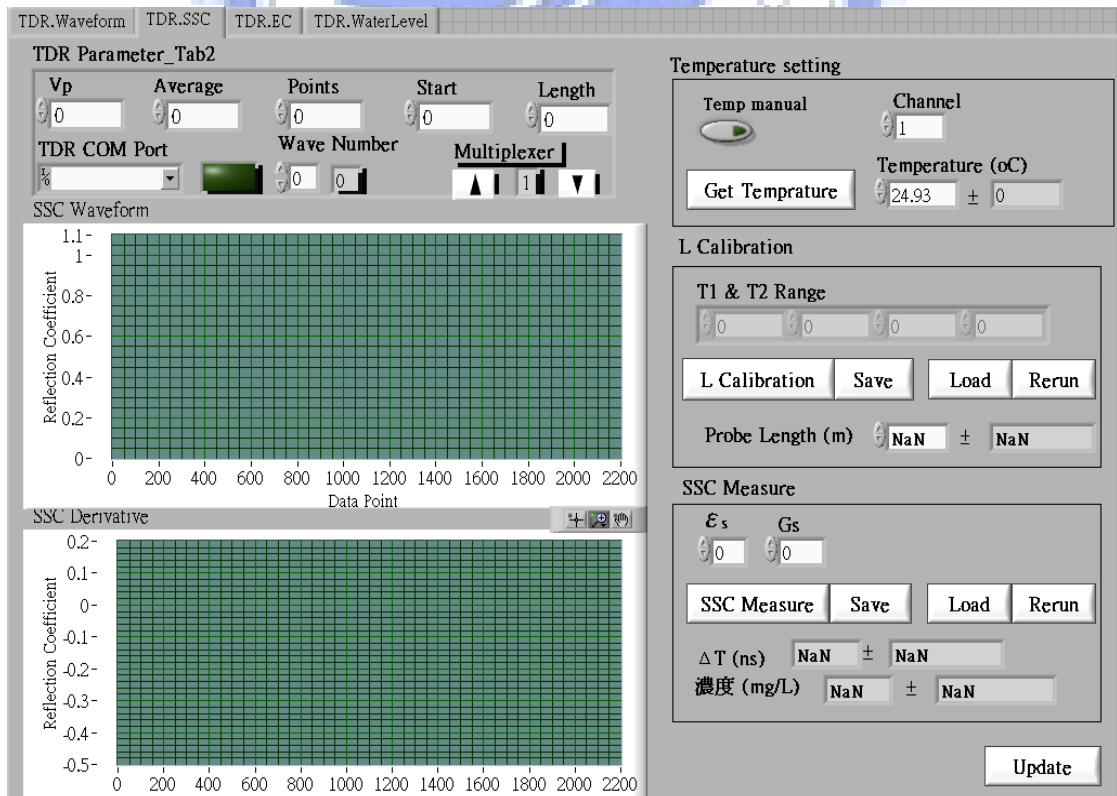


圖 4- 17 TDR 人機互動介面的量測含砂濃度功能

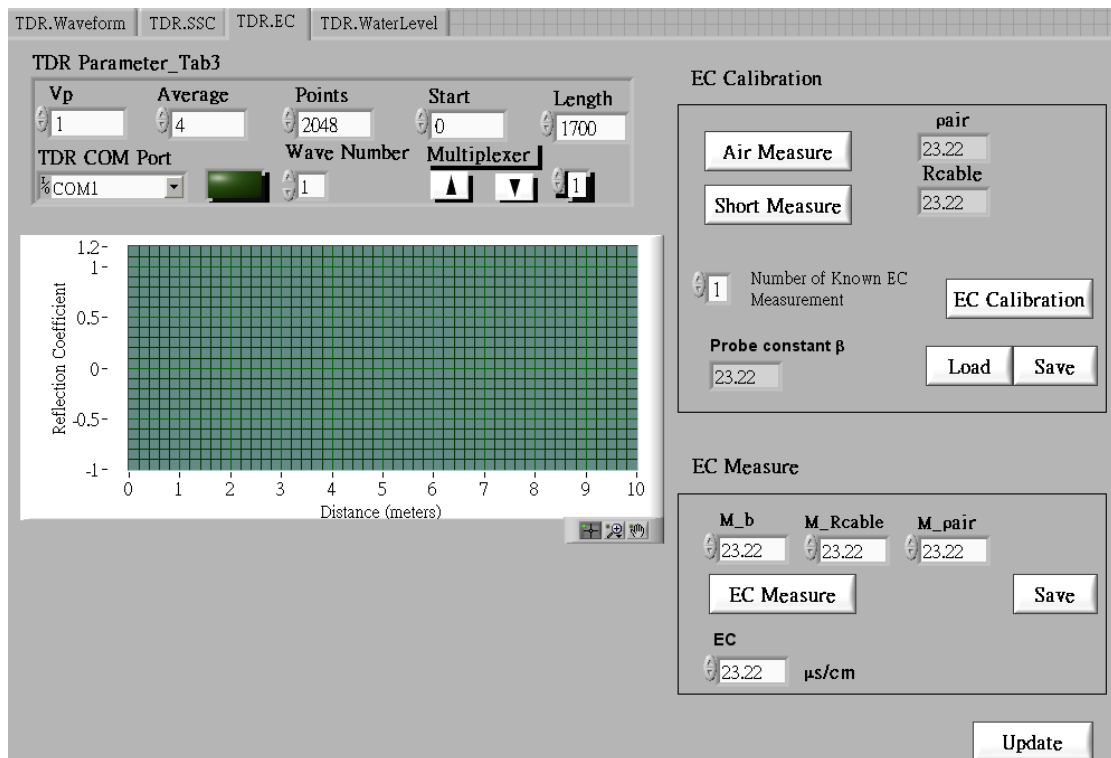


圖 4- 18 TDR 人機互動介面的量測導電度功能

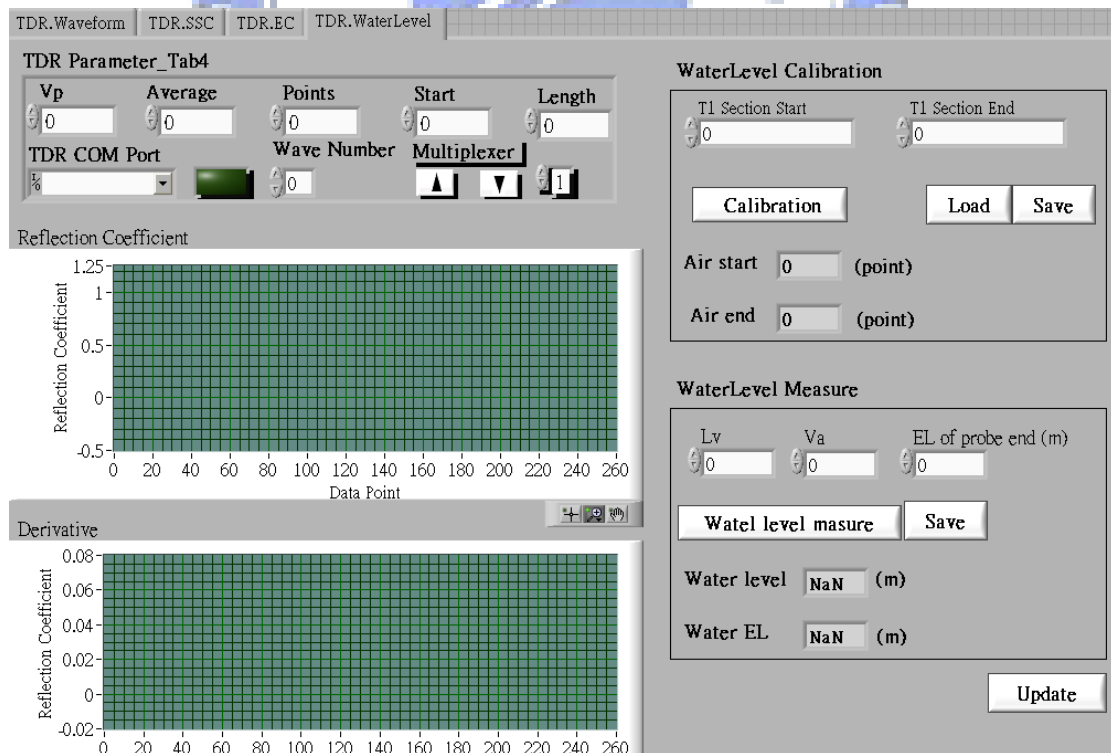


圖 4- 19 TDR 人機互動介面的量測水位功能

4.3 TDR 自動化監測程式

本章說明以自動化量測的需求建立圖型化的使用者介面。自動化介面主要是依照標定參數與設定的內容去執行自動化的程序。為了讓使用者不必透過複雜的指令即可完成自動化的設定，所以在此將標定參數與設定的內容建立成一個設定檔，使用者可以透過圖形介面去選擇設定的內容，最後產生一個使用者決定的自動化程序提供給自動化程式。

為了提供遠端控制的彈性，允許使用者可以遠端去改變自動化系統，因此 Server 端的程式也有產生設定檔的介面。程式版面配置的方式將在以下三個小節做說明。第一小節說明 Server 的配置，第二小節說明 Remote 的版面配置，第三小節說明 Setting 的版面配置，Setting 的介面被涵蓋在 Server 和 Remote 的版面配置裡。

4.3.1 Server 介面

Server 端的介面也是以標籤面版(Tabbed Panel)為主體，依 Server 功能和 Acquisition Setting 功能分成兩個標籤頁面，如圖 4-20。Server 介面主要是與其他 Remote 端作連接，並在表單中出現站點的名稱，當按下按鈕 Add Station 的時候，可以新增新的站點。按下按鈕 Delete Station 的時候，可以移除舊的站點。Station Setting 的功能是設定站點的詳細內容如圖 4-21。左上的 Station name 是編輯站點的名稱，左中的 Select Connect COM 是選擇虛擬通訊 COM Port，每個虛擬通訊 COM Port 可連接不同站點的遠端系統。左下的 Remote Time 是顯示遠端系統的時間，Link state 和 Transfer data 的燈號分別顯示是否有連接到遠端系統以及是否進行資料傳輸。

右邊的按鈕群組主要功用是連接與獲得遠端系統的資訊，Connect Check 按鈕用以開始連接所選擇的遠端系統。Synchronize Time 按鈕則是把遠端系統的時間與控制端的时间同步。Reboot Remote System 按鈕則是把遠端系統重新開機。Upload Acquisition Setting 按鈕把所設定好設定檔上傳至所選定的遠端系統。Download Setting 按鈕按下時會出現子視窗，子視窗的介面如圖 4-22，Download Setting 的介面首先要先設定好下載的檔案路徑 Download Data Destination，Frequency Download 和 Manual Download 是表示自動下載資料和手動下載資料，右下的選項是設定多久下載一次資料。Period 是指多少個時間單位，時間單位可以選擇 day、hour 和 minute。左邊的 Collect all data 和 Collect lost data 是把收集遠端系統的所有資料和未依照固定時間傳回來的資料。Collect last data 則是收集遠端系統的最新數筆資料，Number of Data 是由使用者決定收集的筆數。

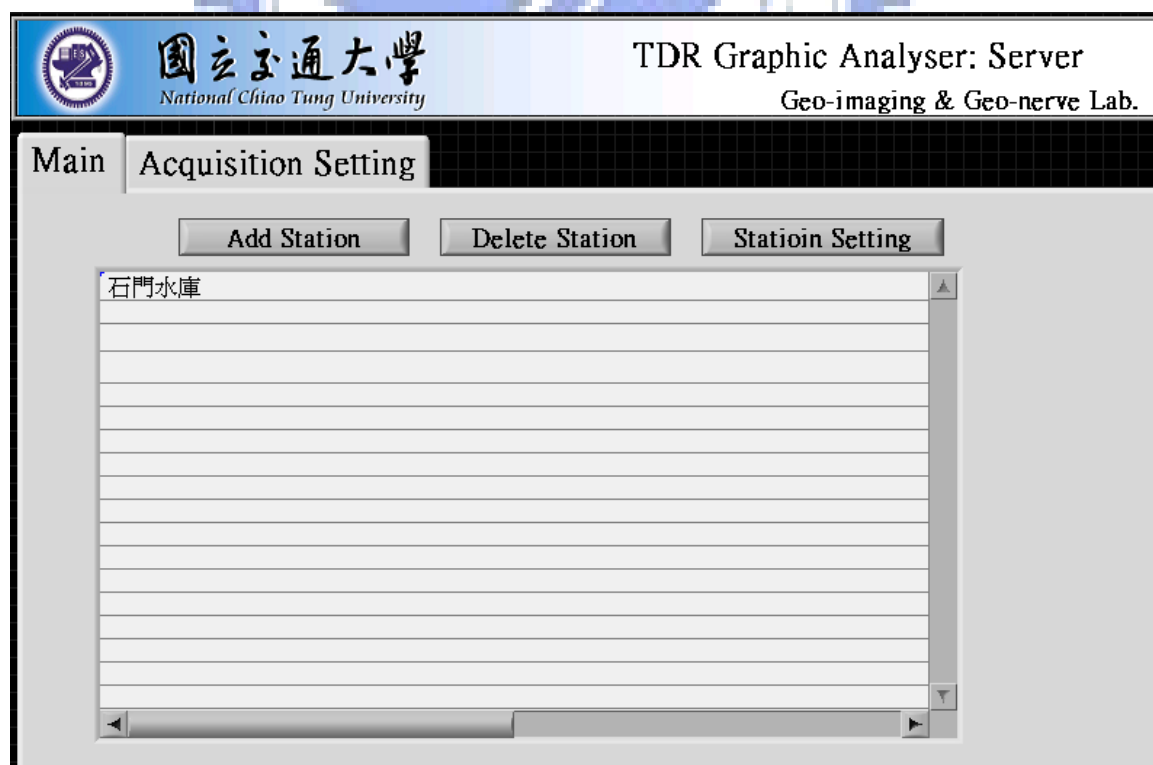


圖 4-20 TDR 自動化量測的 Server 介面

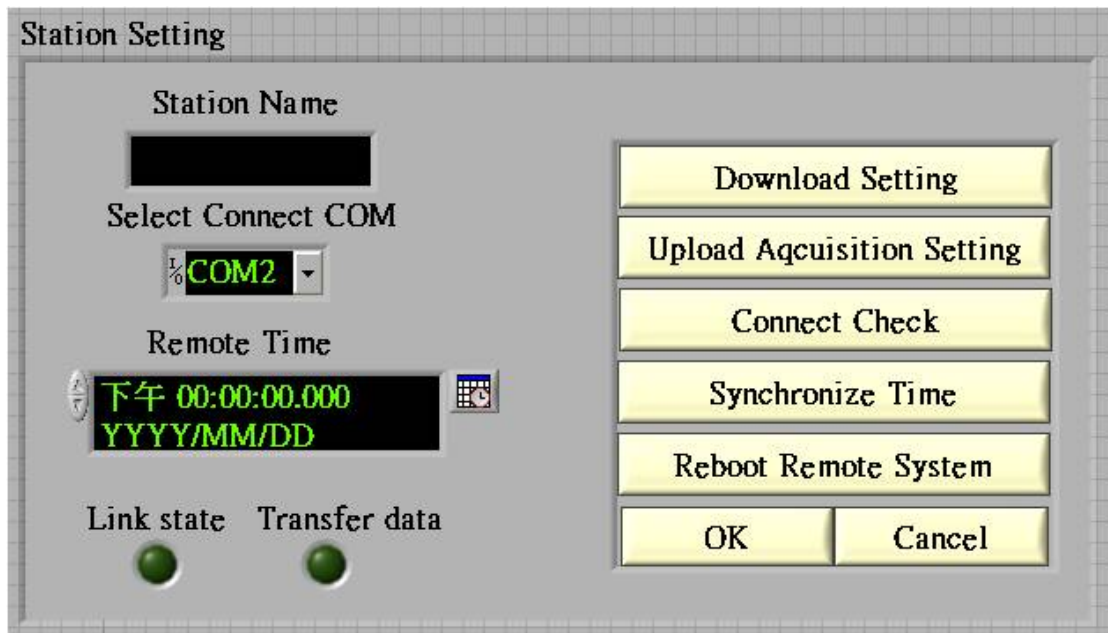
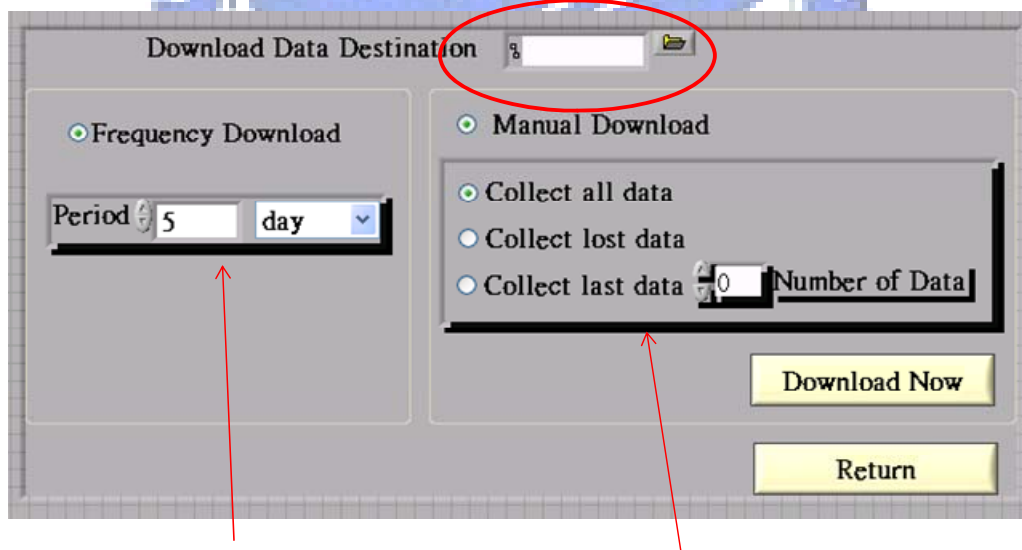


圖 4- 21 Server 子介面的 Station Setting

設定檔案路徑



自動讀取

手動讀取

圖 4- 22 Server 子介面的 Download Setting

4.3.2 Remote 介面

Remote 介面的功能主要是依設定檔的內容再背景自動執行監測

的功能，然後在主畫面顯示監測資料的結果。圖 4- 23 為程式開啟的主畫面，依 Remote 功能和 Acquisition Setting 功能分成兩個標籤頁面。左邊的顯示面板表示目前最新量測到的 TDR 波形與 TDR 微分波形。Linking status 和 Web status 的燈號分別顯示主機是否有連接到 TDR 儀器以及是否有在連接到網路。Program status 和 Server Upload 的燈號分別顯示監測程序是否在執行以及是否正在上傳資料到 Server 端。

Main 面板表示目前最新量測到的 TDR 與 DAQ 監測結果。右上的面板是顯示每個 TDR channel 量測到的結果，可依照面板左上的調整按鈕選擇頻道。Time 是顯示最近量測一筆的時間，Function Name 可以選擇每個頻道功能，下面則是該頻道功能的文字顯示結果，左邊上下兩個面板則是分別顯示 TDR 原始波形與微分波形結果。右下的面板是每個 DAQ channel 量測到的結果，可依照面板左上的調整按鈕選擇頻道。Time 是顯示最近量測一筆的時間，下面則是以文字顯示結果。



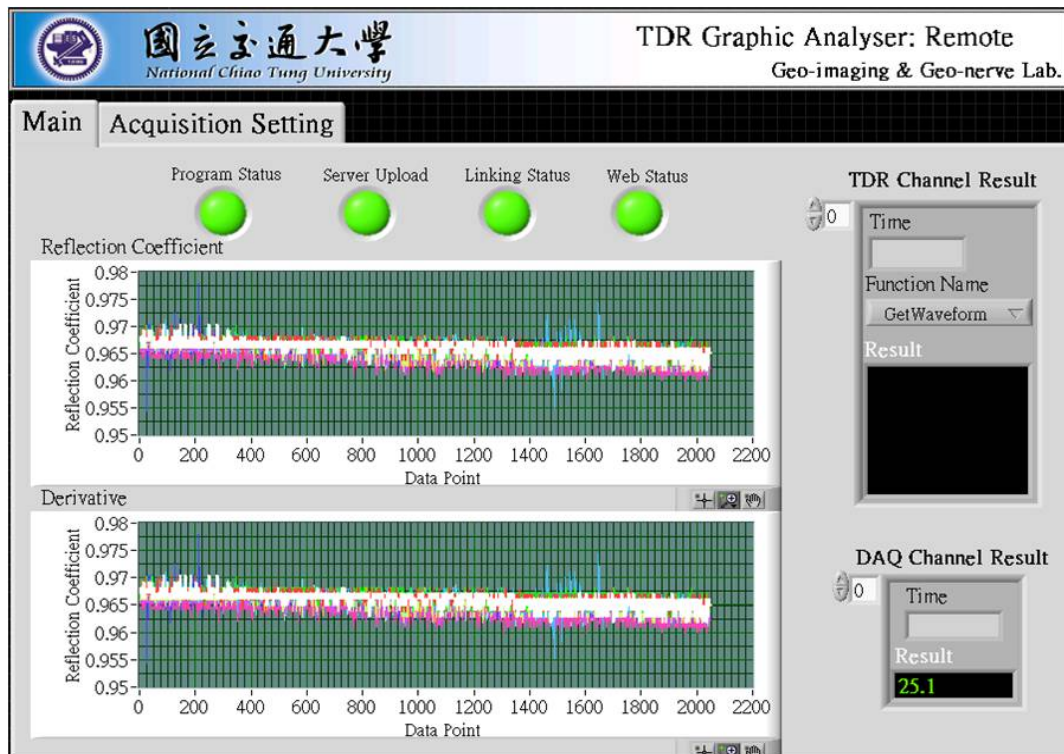


圖 4-23 TDR 自動化量測的 Remote 介面

4.3.3 Acquisition Setting 介面

為了提供監測人員可以從現地或是 Server 端去改變自動監測程序的設定，所以在 Server 介面以及 Remote 介面都加上可以更改監測內容的功能，並把此功能獨立出另一個介面 Acquisition Setting。Acquisition Setting 介面的功能主要是依使用者去設定自動監測的內容，包含有頻道、監測功能、預警值與量測頻率，並將設定好的內容包裝成一個檔案，提供給自動化程式去執行。圖 4-24 為 Server 端的 Acquisition Setting 介面畫面，圖 4-25 為 Remote 端的 Acquisition Setting 介面畫面。

兩個 Acquisition Setting 介面的主畫面都包含有 Setup TDR Channels & Parameters 和 Setup DAQ Channels & Parameters 兩個子面板，可從左上角的編號去選取頻道。子面板中含有 TDR 功能按鈕

的選項以及 DAQ 功能按鈕的選項，最上方的選項是 TDR Device 用來設定 TDR 儀器的通訊設定 TDR Device COM 和 DAQ 儀器的通訊設定 DAQ Device COM，旁邊的開關按鈕是啟動功能和關閉功能。當功能按鈕按下後，會跳出該功能的子介面。而 Acquisition Setting 介面的右下角有 Load Setting file、Save Setting file 和 Reset Setting 的按鈕，分別代表讀取、儲存和重置設定檔，而 Remote 端的 Acquisition Setting 介面多一個 Update 的按鈕，其作用是以目前 Acquisition Setting 介面的設定取代目前正在使用的設定檔。而對於不同的 TDR 功能有不同子介面供使用者選擇，以下分別說明 TDR 功能和 DAQ 功能的子介面。

- (1). Get Waveform 功能是用來顯示在現地量測到的 TDR 波形。TDR 的監測結果是由原始波形分析而得，可由回傳原始波形的結果判斷遠端系統是否分析有誤。圖 4-26 為 Get Waveform 的標籤面板 Get Waveform_Parameters，主要有三個部分，第一個部分 TDR Device 裡的 Edit Title 用來設定使用者輸入的名稱儲存於檔案中，以方便使用者辨別和定義檔案內的資料。第二個部分 Acquisition Setting 則是設定擷取參數，參數包含 Start、Length 和 Num of Wave Acquisition，其代表的意義可以參考 4.2 節。圖 4-27 為 Get Waveform 的標籤面板 Get Waveform_Schedule，主要用來設定自動量測的頻率。選項是設定多久下載一次資料。Period 是指多少個時間單位，時間單位可以選擇 day、hour 和 minute。
- (2). TDR SSC 功能是用來顯示在現地量測到的含砂濃度。含砂濃度的監測結果是由分析原始波形和現地溫度修正而得，可由回傳含砂濃度和溫度的結果得知現場水質的含砂量與溫度。圖 4-28 為 TDR SSC 的標籤面板 SSC_Parameters，主要有三個部分，第一個部分

TDR Device 的部分與 Get Waveform_Parameters 的內容一致，Temperature Device 的部分是設定量測溫度 DAQ 的通訊設定 Temp COM、多工器 Temp Mux、溫度感測器頻道 Temp Channel 和輸出電壓 AO volt。第二個部分 Acquisition Setting 的設定與 Get Waveform_Parameters 的一致，第三個部分 SSC Parameters 輸入標定好的參數 Probe length、 ϵ_s 、 G_s 和 T1&T2 Range，其代表的意義可以參考 4.2 節。圖 4-29 為 TDR SSC 的標籤面板 Threshold & Schedule，的設定與 Get Waveform_Schedule 的內容一致。

- (3). TDR EC 功能是用來顯示在現地量測到的導電度。導電度的監測結果是由分析原始波形和標定參數而得，可由回傳得知現場水質的導電度。圖 4-30 為 TDR EC 的標籤面板 EC_Parameters，主要有三個部分，第一個部分 TDR Device 的部分與 Get Waveform_Parameters 的內容一致，第二個部分 Acquisition Setting 的設定只剩下 Num of Wave Acquisition，因為對量測導電度而言 Start 和 Length 參數都已經固定，第三個部分 EC Parameters 輸入標定好的 EC 參數 ρ_{air} 、R_cable 和 Probe constant β ，其代表的意義可以參考 4.2 節。圖 4-31 為 TDR EC 的標籤面板 Threshold & Schedule，的設定與 Get Waveform_Schedule 的內容一致。

- (4). TDR WaterLevel 功能是用來顯示在現地量測到的水位。水位的監測結果是由分析原始波形和標定參數而得。圖 4-32 為 TDR WaterLevel 的標籤面板 WaterLevel_Parameters，主要有三個部分，第一個部分 TDR Device 的部分與 Get Waveform_Parameters 的內容一致，第二個部分 Acquisition Setting 的設定與 Get Waveform_Parameters 的一致，第三個部分 WaterLevel Parameters 輸入標定好的 WaterLevel 參數 Lv、Va 和 EL of probe end，其代

表的意義可以參考 4.2 節。圖 4-33 為 TDR WaterLevel 的標籤面板 Threshold & Schedule，的設定與 Get Waveform_Schedule 的內容一致。

- (5). DAQ 的功能只有一個 DAQ Formula 功能按鈕，按下後即會彈出子介面，DAQ 介面是用量測到的電壓轉換為監測物理量，由於一般電子式的監測感測器大部分可由 DAQ 的電壓獲得，因此這裡提供使用者自行輸入轉換的公式。圖 4-34 為 DAQ Formula 的標籤面板 DAQ_Parameters，主要用來設定 DAQ 的擷取參數 Edit Title 讓使用者為監測項目自行命名，x 代表 DAQ 收到的電壓值，formula 讓使用者為自訂轉換物理量的公式。圖 4-35 為 DAQ Formula 的標籤面板 DAQ_Threshold & Schedule，主要用來設定自動量測的頻率，與 Get Waveform_Schedule 的內容一致。

把 TDR 功能以及 DAQ 功能的設定完畢之後，圖 4-24 和圖 4-25 的 Save Setting file 按鈕會把剛剛的設定存成一個設定檔，可供自動監測程式依設定內容執行監測程序。而自動監測完的資料除了傳回 Server 端之外，還會留作備份之用，其資料備份格式會是以文字檔的格式儲存如圖 4-36，每一欄位都是以逗點隔開，並以欄位上的意義存成數值或文字。儲存內容包含監測時間、監測功能、擷取參數和監測結果。

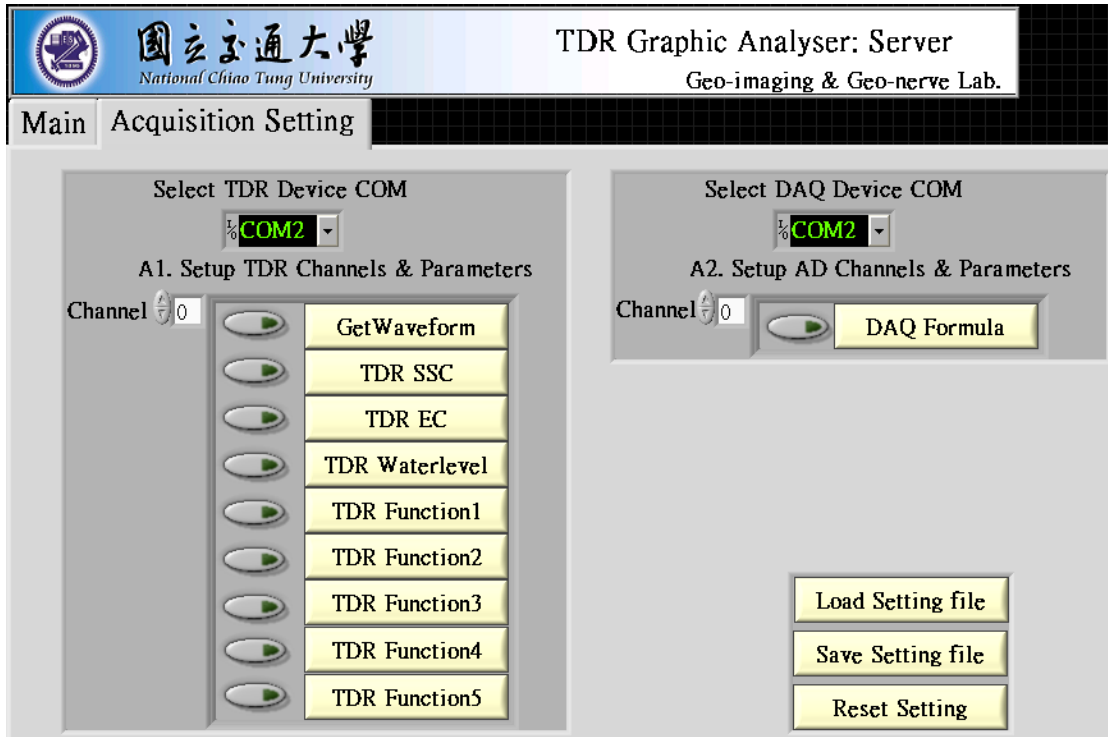


圖 4- 24 TDR Server 的 Acquisition Setting 介面

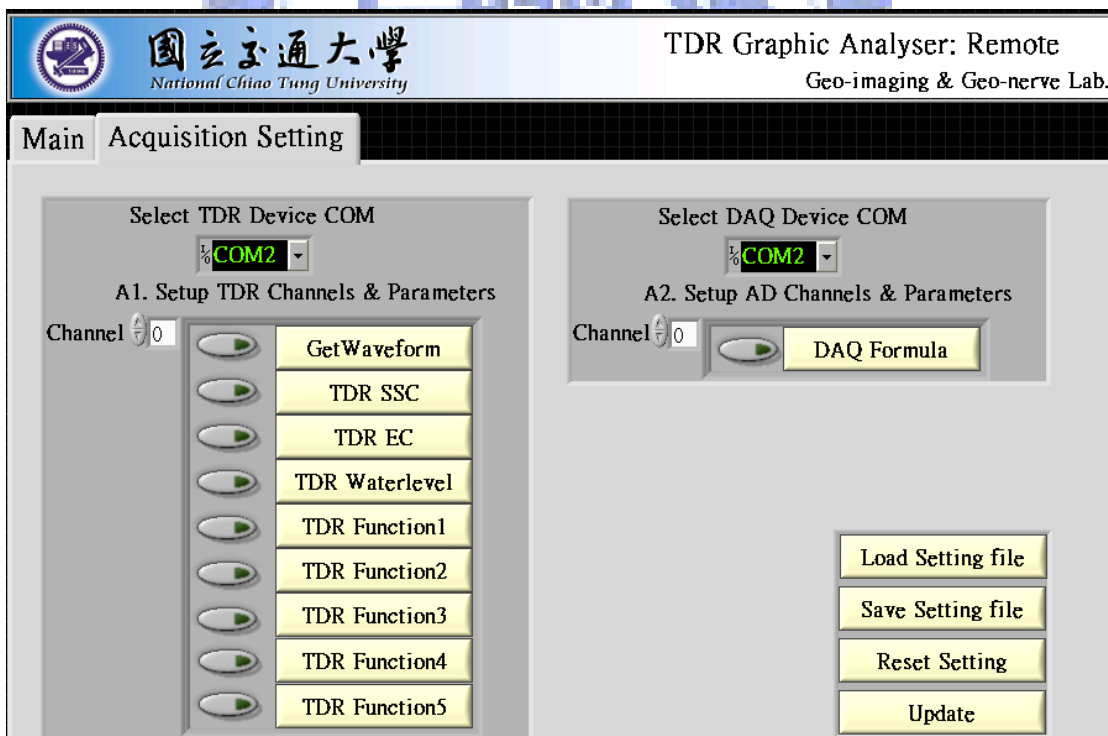


圖 4- 25 TDR Remote 的 Acquisition Setting 介面

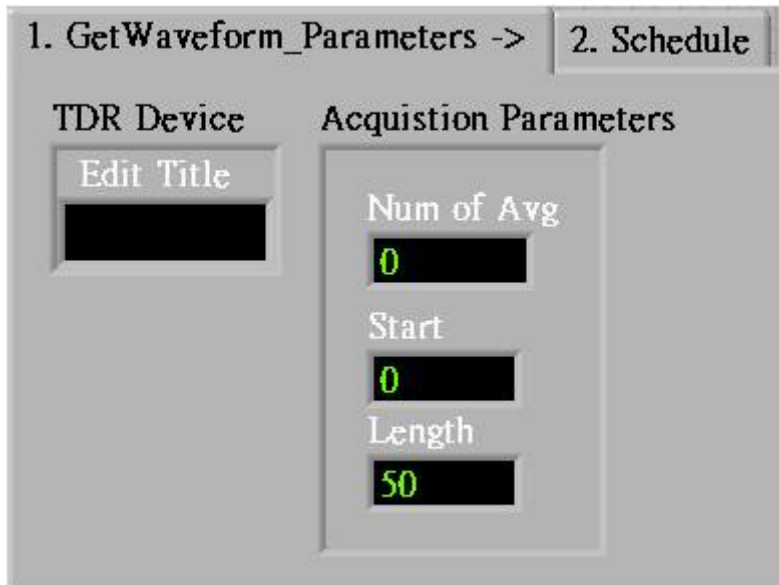


圖 4- 26 Acquisition Setting 子介面的 Get Waveform_Parameters

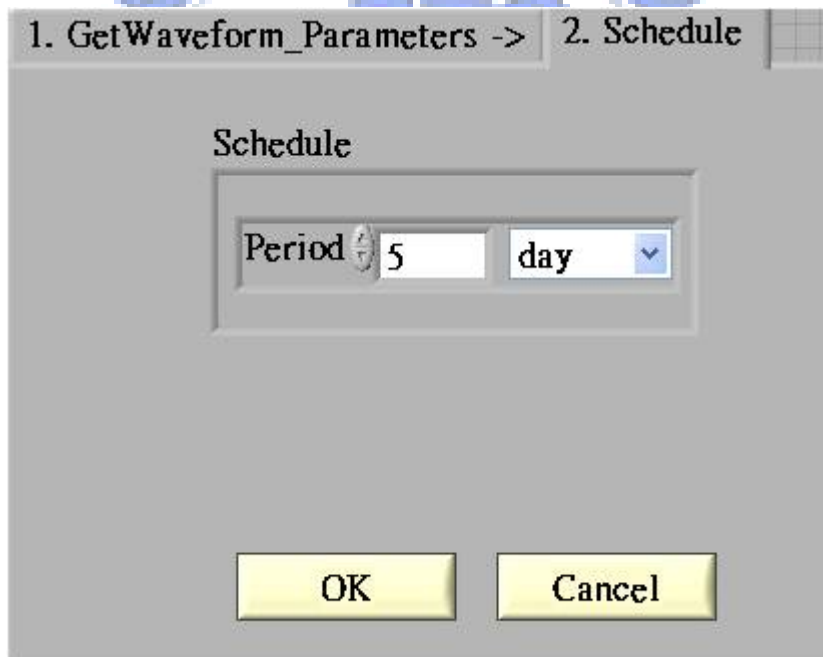


圖 4- 27 Acquisition Setting 子介面的 Get Waveform_Schedule

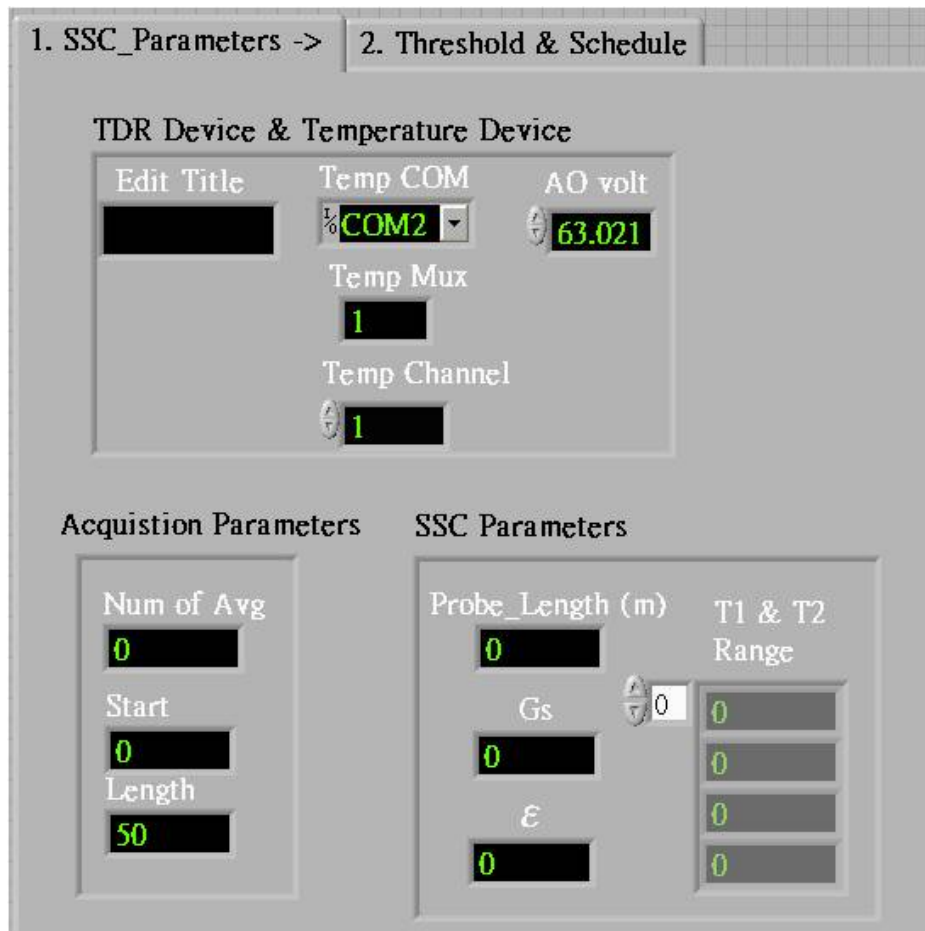


圖 4-28 Acquisition Setting 子介面的 SSC_Parameters



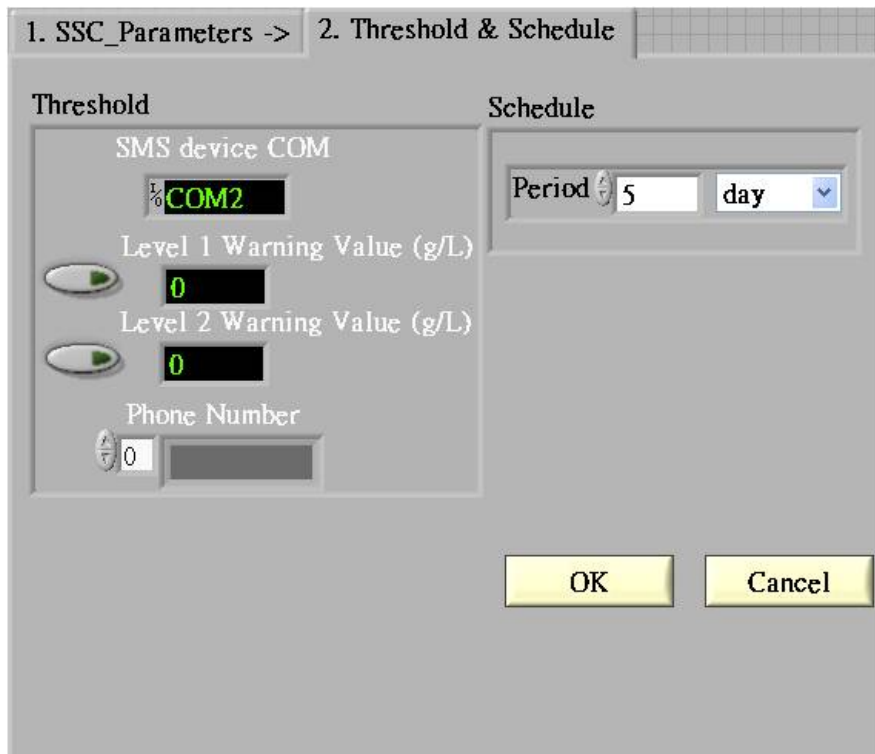


圖 4- 29 Acquisition Setting 子介面的 SSC_Threshold & Schedule

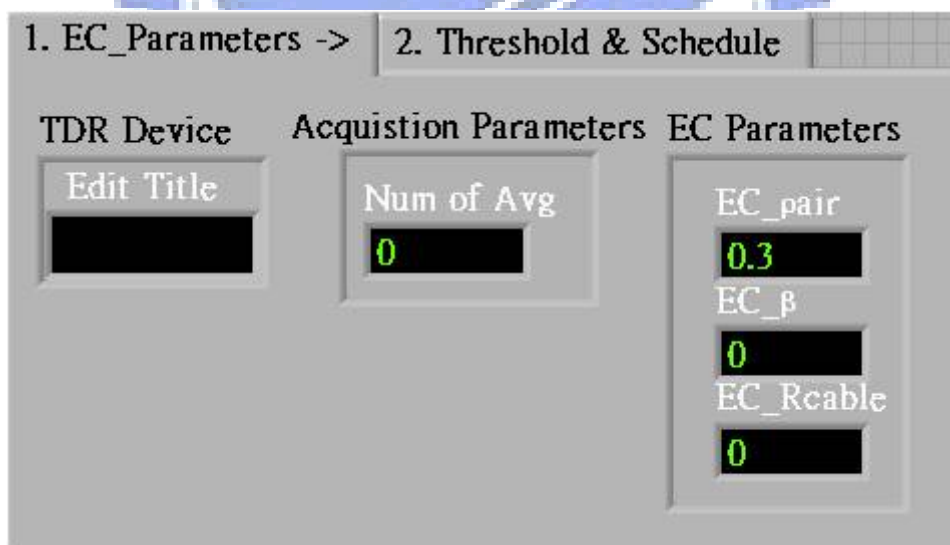


圖 4- 30 Acquisition Setting 子介面的 EC_Parameters

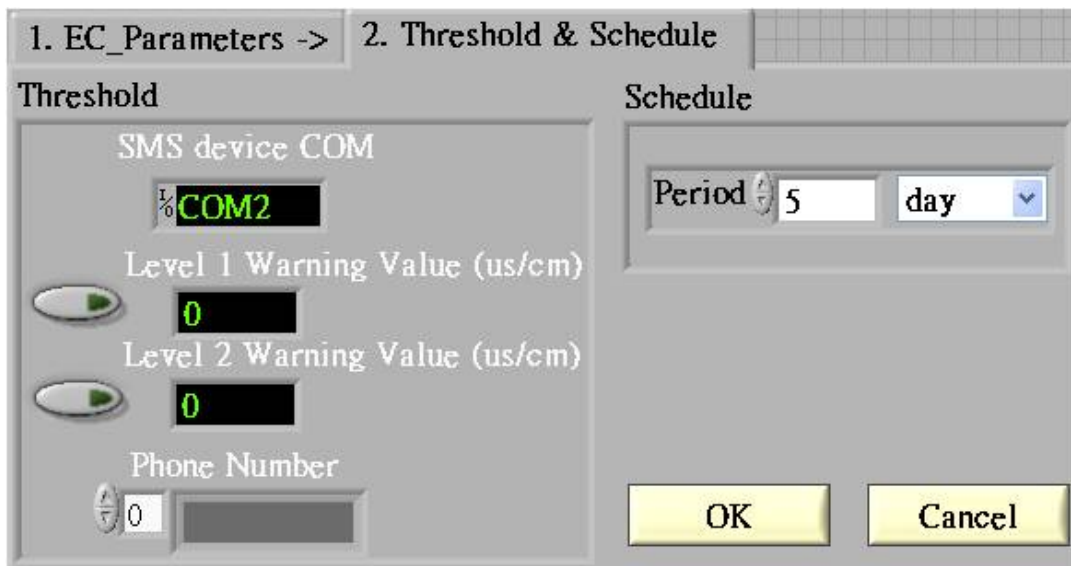


圖 4- 31 Acquisition Setting 子介面的 EC_Threshold & Schedule

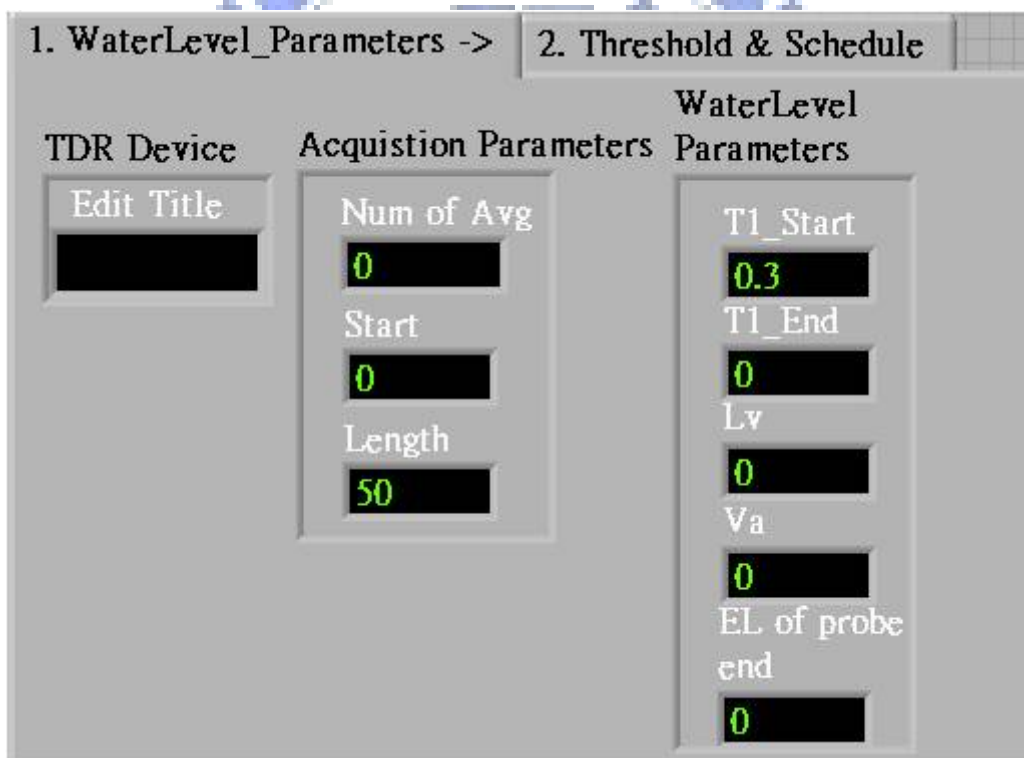


圖 4- 32 Acquisition Setting 子介面的 WaterLevel_Parameters

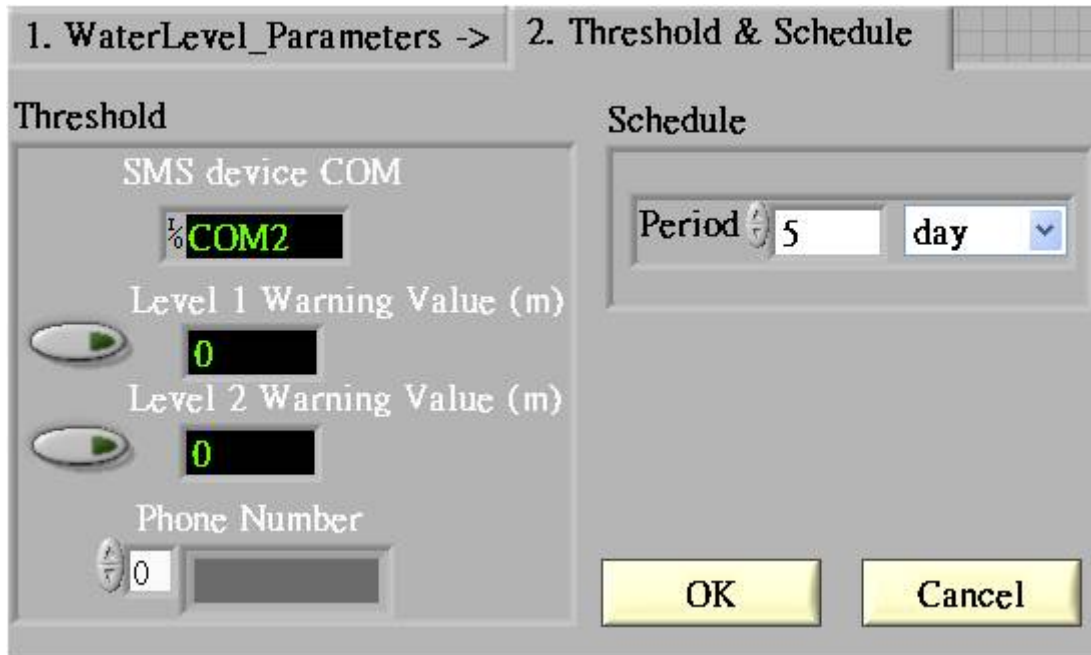


圖 4- 33 Acquisition Setting 子介面的 WaterLevel_Threshold & Schedule

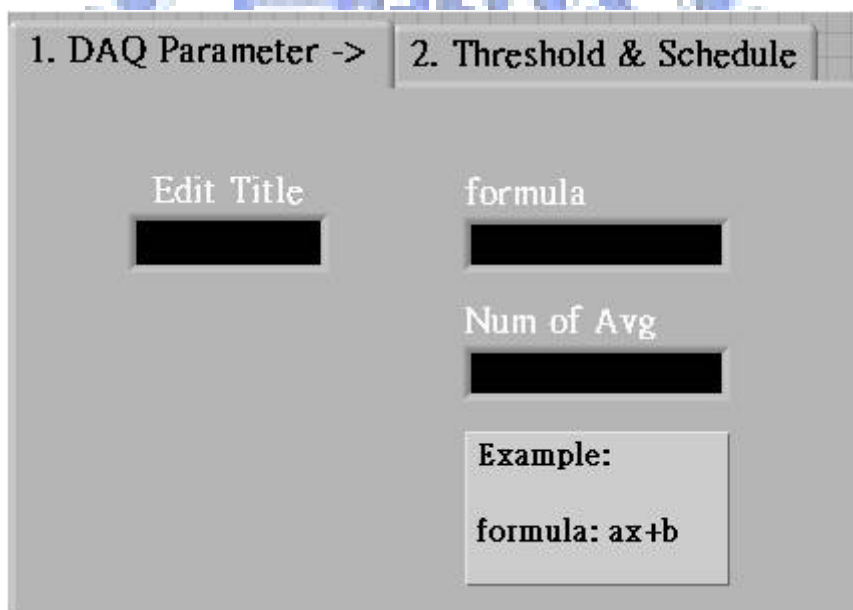


圖 4- 34 Acquisition Setting 子介面的 DAQ_Parameters

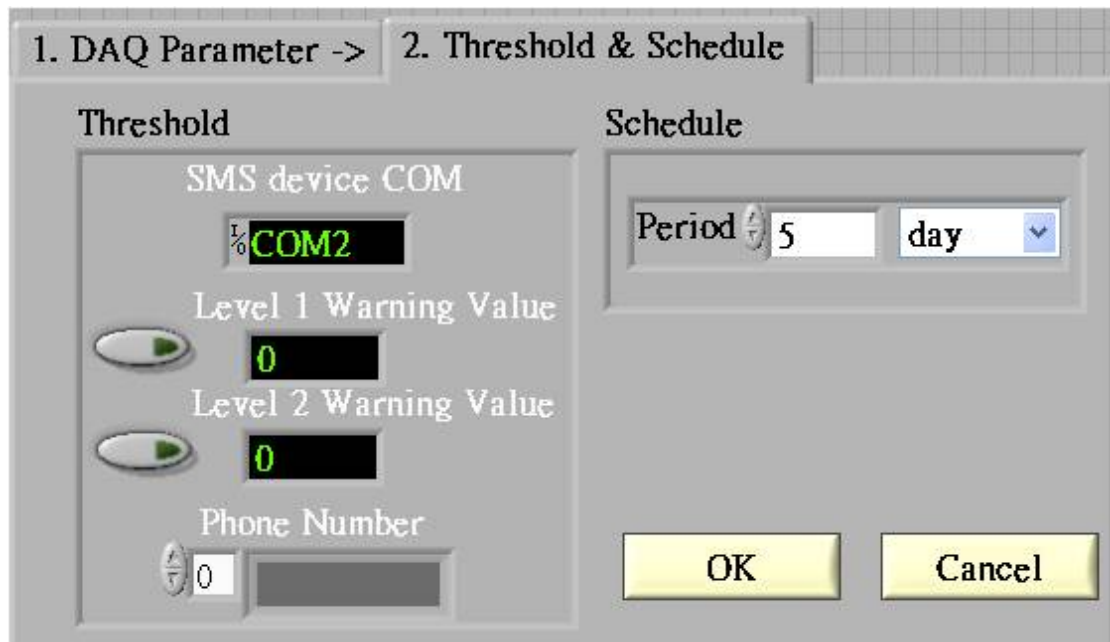


圖 4- 35 Acquisition Setting 子介面的 DAQ Threshold & Schedule



- Get Waveform

1	2	3	4	5	6	7
Time	Channel number	Wave form	User define Title	Start	Length	Wave number
8						
Wave data						

- SSC

1	2	3	4	5	6	7
Time	Channel number	SSC	User define Title	Start	Length	Wave number
8	9	10	11	12		
Temperature	Temperature Std	ΔT	濃度	濃度 std		

- EC

1	2	3	4	5	6
Time	Channel number	EC	User define Title	Wave number	Sigma

- WaterLevel

1	2	3	4	5	6	7
Time	Channel number	WaterLevel	User define Title	Start	Length	Wave number
8	9					
WaterLevel Value	Elevation					

- DAQ

1	2	3	4	5	6
Time	Channel number	DAQ	User define Title	Volts	result

圖 4-36 資料儲存格式

第五章、結論與建議

5.1 結論

為了即時傳達 TDR 自動化監測資訊，本研究於 TDR 自動監測系統之硬體方面，選擇以嵌入式系統改良系統的運算能力，並兼顧 TDR 與傳統感測技術整合。而本研究為增加使用者操作上的便利，設計人性化圖形介面軟體以配合 TDR 多功能的特色，提供資訊整合與便利性。其研究成果結論如下：

(1). TDR 自動化監測流程改善：

利用嵌入式系統取代舊有資料擷取系統，克服硬體運算能力不足的問題，並藉由嵌入式系統結合軟體介面完成人機互動查詢與遠端資料查詢的目標。

(2). 嵌入式系統的選擇與整合：

考量硬體運算能力、耗電量、連接介面和其他特性，選擇以嵌入式系統取代舊有資料擷取系統，並將所有電子設備整合至一保護箱內，以減低外在環境因素的影響。對於無法以市電供電的地方，則須配置電池、太陽能板和太陽能板充電器，以支持自動化監測系統的運作。

(3). 軟體介面的需求與規劃：

主要針對 TDR 與傳統監測的功能與需求去設計軟體介面與實作程式，在設計介面時，以人性化的介面和簡易的步驟方便監測人員操作軟體。

(4). 軟硬體整合與應用：

當選定好嵌入式系統時，必須根據硬體設備開發適用於 TDR 監測系統的軟體，並以軟體開發程式測試硬體設備。而本研究採用 LabVIEW 程式語言，方便開發儀器控制和資料擷取。因此本研究最後整合上述硬體改良與軟體撰寫，完成 TDR 自動化監測系統的圖形介面與應用功能，改良系統的運算能力，並兼顧 TDR 與傳統感測技術整合，而人性化軟體提升操作便利性，大幅減少設定之複雜度。

5.2 建議

- (1). 結果顯示改善硬體與資訊系統確實能增加使用者在操作上的便利性以及提供資訊整合的優勢。但是在野外測試監測系統時，常常會發現有穩定性不足的情況，有可能是硬體設備故障或是軟體與儀器之間的溝通協定不完善，因此未來有必要在室內長期測試整體系統，並評估其穩定性。
- (2). 由於 TDR 有多功能應用的特性，本研究僅針對局部 TDR 功能進行軟體撰寫，但基於研究成果，本軟體架構保留 TDR 功能擴充空間，未來後續開發 TDR 功能時，可以依不同功能單獨撰寫分析模組，再以輸入參數和輸出結果來設計圖形介面，達成 TDR 量測系統多工需求。
- (3). 本研究僅提供伺服器端資料收集與輸出，建議可配合資料庫與網路服務程式，將資料進一步備份，並透過網頁與報表方式，將資料做有效地處理與呈現，以提供相關工程應用參考。

參考文獻

1. 林志平，鐘志忠，張育嘉，楊錦釗，葉克家，洪銘堅，曾君敏 (2006)，“高泥沙濃度觀測：時域反射技術”，第十五屆水利工程研討會，第 A-194~201 頁。
2. 林志平，湯士弘，鐘志忠，林文欽 (2006)，“時域反射技術於大地工程監測之創新發展” 台灣公共工程學刊，第二卷，第一期，第 49~55 頁。
3. 林文欽 (2007)，“TDR 錯動變形物理模型與資料分析改良”，國立交通大學土木工程學系，碩士論文。
4. 張育嘉 (2006)，“高含砂濃度觀測技術之研發：時域反射法”，國立交通大學土木工程學系，碩士論文。
5. 許永和 (2006)，“介面設計與實習-使用 LabVIEW”，電腦程式語言圖書。
6. 楊培熙 (2003)，“TDR 水位量測技術在大地與水利工程之應用”，國立交通大學土木工程學系，碩士論文。
7. 惠汝生 (2006)，“LabVIEW 8.X 圖控程式應用”，電腦圖程式語言書。
8. 葉致翔 (2003)，“TDR 邊坡資訊自動化監測系統”，國立交通大學土木工程學系，碩士論文。
9. 盧吉勇 (2003)，“TDR 錯動變形量測之研究”，國立交通大學土木工程學系，碩士論文。
10. 蕭子健，王智昱，儲昭偉 (2007)，“虛擬儀控程式設計”，電腦程式語言圖書。
11. 鐘志忠 (2008)，“時域反射量測技術改良及於水土混合物之應

用”，國立交通大學土木工程學系，博士論文。

12. Advantech, Inc. (2006) “PCM-3353_user manual”.
13. Andrews, J.R., (1994), “Time Domain Reflectometry, Proceedings of the Symposium on Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining Applications,” Evanston, Illinois, Sept 7-9, U.S. Bureau of Mines, Special Publication SP 19-94, NTIS PB95-105789, pp.4-13.
14. Campbell Scientific, Inc. (2000) “CR1000 Measurement and Control System Operator’s Manual”.
15. Dowding, C. H., Su, M. B., and O'Connor, K. M. (1988). "Principles of Time Domain Reflectometry Applied to Measurement of Rock Mass Deformation. " *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci.*, 25, 287-297.
16. Dowding, C. H., Huang, F-H., and McComb, P. S. (1996). "Water Pressure Measurement with Time Domain Reflectometry," *Geotechnical Testing Journal*, 19, 58-64.
17. Dworak, R.A., Jordan, A.G., and Thorne, J.S., (1977),“Time Domain Reflectometer Microcomputer, ” (contract H0346138), BuMines OFR 106-77 ,pp.113.
18. Dunnycliff, J. (1993), "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance." John Wiley.
19. D&A Instrument Company, <http://www.d-a-instruments.com/>.
20. Green, G.E., and P.E. Mikkelsen., 1988, Deformation Measurements with Inclometers. In Transportation Research Record 1169, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1-15.
21. Halliday, D. and Resnick, R., (1962), *Physics, Part II*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
22. Lin, C.-P. (2003a) “Analysis of a Non-uniform and Dispersive TDR Measurement System with Application to Dielectric Spectroscopy of

- Soils," *Water Resources Research*, 39, 1450-1451.
23. Lin, C.-P. (2003b). "Frequency Domain versus Traveltime analyses of TDR Waveforms for Soil Moisture Measurements," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 720-729.
 24. Lin, C.-P., and Tang, S.-H. (2005). "Development and Calibration of a TDR Extensometer for Geotechnical Monitoring," *Geotechnical Testing Journal*, 28(5), 464-471.
 25. Lin, C-P, Tang, S.-H., and Chung, C.-C. (2006a), "Development of TDR Penetrometer through Theoretical and Laboratory Investigations: 1. Measurement of Soil Dielectric Constant" *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 29, No. 4, Paper ID GTJ 14093.
 26. Lin, C.-P. and Tang, S.-H. (2007), "Comprehensive Wave Propagation Model to Improve TDR Interpretations for Geotechnical Applications," *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 30, No. 2, Paper ID GTJ 100012.
 27. Lin, C.-P., Chung, C.-C., and Tang, S.-H. (2007). "Accurate TDR Measurement of Electrical Conductivity Accounting for Cable Resistance and Recording Time," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 71, 1278-1287.
 28. Lin, C.-P., Tang, S.-H., Lin, W.-C., and Chung, C.-C. (2008), "Quantification of Cable Deformation with TDR: Implications to Localized shear deformation Monitoring," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
 29. Su, M.B. (1987), "Quantification of Cable Deformation with Time Domain Reflectometry," Ph.D. Dissertation, Northwestern Univ., Evanston, IL, 112pp.
 30. Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P. (1980), *Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial*

transmission lines. *Water Resour. Res.* 16, 574–582.

31. Wilson, S.D., and Mikkelsen, P.E., 1978. Field Instrumentation. In *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (R.L. Schuster and R.J.Krizek, eds.), Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., Chap. 5 ,pp.122-138.
32. Yankielun, N. E. and Zabilansky, L. (1999).”Laboratory investigation of time-domain reflectometry system for monitoring bridge scour,” *Journal of Hydraulic Engineering*, 125, 1279-1283.



附錄一

多工器(SDMX50)硬體及 Jumper 設定圖表

Table 5-1. SDM Addressing

Base 10 Number	Instruction 119 Address (Base4)	TDR100 Thumbwheel Switch	Level 1 SDM50 Mux (TDR100+1)		Level 2 SDM50 Muxs (TDR100+2)		Level 3 SDM50 Muxs (TDR100+3)	
			MSD	LSD	MSD	LSD	MSD	LSD
0	00	0	0	1	0	2	0	3
1	01	1	0	2	0	3	1	0
2	02	2	0	3	1	0	1	1
3	03	3	1	0	1	1	1	2
4	10	4	1	1	1	2	1	3
5	11	5	1	2	1	3	2	0
6	12	6	1	3	2	0	2	1
7	13	7	2	0	2	1	2	2
8	20	8	2	1	2	2	2	3
9	21	9	2	2	2	3	3	0
10	22	A	2	3	3	0	3	1
11	23	B	3	0	3	1	3	2
12	30	C	3	1	3	2	3	3
13	31	D	3	2	3	3	not available	
14	32	E	3	3	not available		not available	
15	33	F	not available		not available		not available	

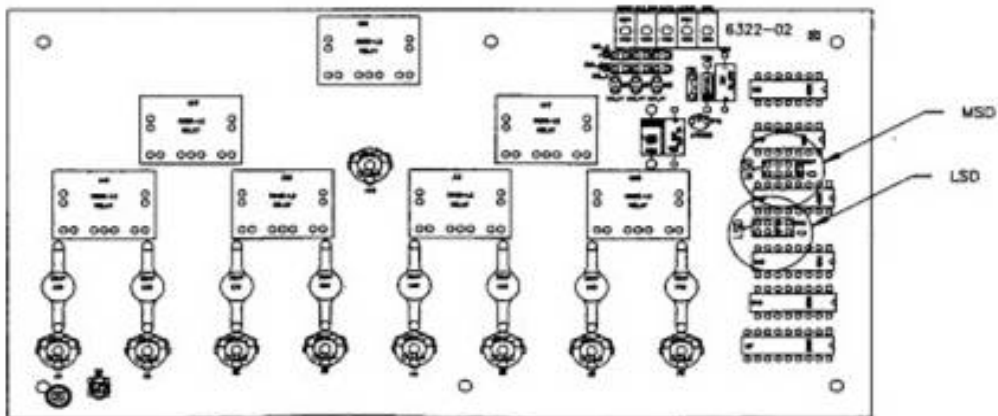


FIGURE 5-4. Location of Address Jumpers on SDM50

附錄二

多工器(Multiplexer)參數：如下圖所示，多工器可相互串接擴充監測的頻道數目，至多可串接三層(Level)多工器。SDMX50 的參數有四個，分別是 A、B、C、n，各代表的是 Level 1、2、3 各層所監測的頻道位置、而參數 n 為監測感測器數目，如下所示：

- A - Level 1
- B - Level 2
- C - Level 3
- n - number of consecutive probes

例：

- 5 第一層多工器的第五個頻道
- 5 第二層多工器的第五個頻道
- 2 第三層多工器的第二個頻道
- 3 從第三層多工器的第二個頻道起算三個頻道，即第二、三、四個頻道。圖中紅色圓圈註記為『5523』的監測頻道。

