



物聯網於山坡地監測之應用

黃亦敏／逢甲大學土木工程學系 助理教授

方耀民／逢甲大學地理資訊系統研究中心 統合處處長

防災監測一直是國內關注的議題之一，加上近年來極端氣候發生的頻率增加，更突顯對天然災害監測預警的迫切性及重要性。傳統上的防災監測工作，常常需要投注大量人力及物力在硬體建置及軟體規劃上；但隨著科技進步，製造能力的提昇，以及通訊技術的發展，開始出現低功耗感測器及易建置的通訊平台工具，監測系統建置成本降低，創造了無線感測網路等應用在防災監測的機會與環境，促使監測系統開始走向物聯網、跨異質性資料整合的方向。本文以近幾年筆者曾參與的山坡地邊坡監測案例經驗，介紹監測自動化、系統化的具體執行成果，並藉由案例的說明，簡介物聯網的應用方式，希望藉由本文的介紹，拋磚引玉，讓國內各界對物聯網在防災監測的應用更加成熟及普遍，朝向智慧防災的目標前進。

前言

近年來由於全球氣候變遷及極端氣候影響，對台灣先天脆弱的自然環境帶來很大影響，由其近幾年環境災害發生日趨頻繁，而且更有災難級天災出現，並常以複合式災害面貌出現，包括颱風、豪雨、山崩、土石流和淹水等天然災害，常常造成生命財產損失，及嚴重影響人民安全，增加災害預警及應變的困難性，也讓防災監測成為現代社會的首要課題。

在以往傳統的防災監測技術及系統上，需要投入大量的軟硬體建置與人力成本，其中大量成本耗費在硬體配置，也就是現地感測器（sensor）的架設，常是為了解決災害期間的電力與通訊中斷和異質資訊整合的問題。隨著科技進步，監測方式也由人工量測，演變為全自動記錄及量測；監測系統也由早期提供數據，供人為判斷，逐漸進步成類似專家系統的自動判斷及預警。這些改變都增進了災害監測的能力，但仍需克服各類感測器間異質資訊傳輸及溝通的問題，而物聯網的崛起，正好為此類問題提供解方。自 2010 年開始，物聯網（Internet of Things，以下簡稱 IoT）各環節技術漸趨

成熟，在物聯網時代，因應設施多樣、廠商不一、採用資料傳輸協定多元多樣並存、開放架構存在專屬協定等因素，系統與資料能夠整合在同一個平台（例如雲端空間）進行無縫介接，完備資料同步化與存取功能，進一步達到協同運作與同步處理，對照台灣複合式災害的特性，正是防災監測及應變的一個新契機。

智慧防災與物聯網監測技術簡介

國內產學研各界皆將防災視為重要的工作，自過去 20 年來，臺灣地區經歷過 921 地震（1999 年）、桃芝颱風（2001 年）、八八風災（2009 年）、高雄美濃地震（2016 年）、花蓮地震（2018 年）等重大天然災害事件，這些颱風豪雨及地震除帶給我們生命財產損失及難以忘卻的創傷外，也讓國內由每次災害事件中累積經驗，知道如何改進及提昇防災能力及能量，國人也逐漸體認到防災預警的重要性。我國在過去幾年中，同時吸收國外災害防救的案例（例如 311 東日本大地震，2010 年），防救災的發展逐步由傳統人工作業，進展到自動化、系統化；由零散資訊到雲端整合平台等的改變（圖 1），並朝向「智慧防災」目標前進。



圖 1 我國防災資訊科技歷程^[1]

「智慧防災」並沒有一個正式的定義，但通常指稱包含自動監測、遠距傳輸、具備遠端監控等功能的防災監測應變系統，可協助決策者或權責單位提昇災害預防、應變及搶救復建之機能的一套系統或平台。基本上「智慧防災」的「智慧」要能體現判斷及預警自動化，並進一步能預測災害的發生。但這通常並不容易實現，經常受限於硬體建置成本及軟體功能開發等諸多因素。但隨著新技術、新科技的發展，例如無人載具（UAV）普及，政府資料開放平台（Open Data，例如 LiDAR、衛星影像等），更好用的軟體工具（GIS，協作平台等），智慧防災的實現已經指日可待。

根據蘇文瑞等人^[1]，我國展智慧防災的方向可歸納為三重點：(1) 結合物聯網技術，強化防災監測網路；(2) 建立政府與民間的共享與協作機制；(3) 災害巨量資料分析與應用。其中第一項就提到物聯網（IoT）技術，這也是智慧防災的基礎，要藉由 IoT 來建構更強大、更廣泛的防災監測網路。由於物聯網在歷經數十年來發展，目前已成為現今 ICT 產業的主流趨勢，資料蒐集設備（TC）更成為未來建構相關系統服務時，所需具備的關鍵功能之一（DIGITIMES^[2]）。同時，藉助科技的發展，更耐用及具自我傳輸特性的感測器開始出現在市場上，例如新的藍牙通訊技術最大的優點是設備體積小、短距離、低功耗，一般智慧型手機都有此功能，目前所稱 Beacon 設備即是使用藍牙 4.0（BLE，

Bluetooth Low Energy）或稱為低功耗藍牙。目前由科技大廠蘋果公司主導且大力推廣的 iBeacons 產品，即是基於藍牙 4.0 的特性發展而來，較一般藍牙系統更具穩定性，當裝置接收到使用者靠近的訊號時，當下可立即推播相關資料，提升防災監測訊息發布的工作。

另一個有助於物聯網應用在防災監測上的優勢是低功耗感測器。低功耗感測器可做為環境監測的前端佈設使用，可依據監測的特殊性需求開發相關感測器類別設備及功能，因此可以透過廣佈低功耗感測器方式取得初步結果，在不耗費龐大經費的情況下可先確認其變化情形及是否需要進一步詳細確認，再決定是否投入後續監測作業。除硬體技術上的改進外，異質資訊的交換也已有國際標準可循（例如 Open Geospatial Consortium 的 SWE 標準），這些都加速了物聯網在防災監測領域的實現。

現今隨著感測器製造成本降低，愈來愈多的無線感測網路（Wireless Sensor Network，WSN）、自動化監測系統等應用，都可視為物聯網的一種型式。而在實際應用上，防災監測在現場通常要能確保「連接」及「接收」這二件事，亦即感測器之間，以及與後端控制者間的連接；感測器間的溝通以及資料傳遞。這過程就牽涉到電力、通訊方法、交換及傳輸、資料整合等要項。本篇文章將以實際山坡地監測案例，說明如何導入物聯網概念於防災監測應用上。

應用案例

台 9 線蘇花公路 115k 邊坡崩塌監測

本案例監測對象為台 9 線蘇花公路 115k 的邊坡崩塌範圍，監測系統建置時間為 2010 年，建置緣由為 2010 年梅姬颱風登陸台灣期間，突發性強降雨短時間在宜蘭、花蓮等地降下驚人雨勢造成災害。以台 9 線蘇花公路最為嚴重，在 115k 處造成大塌方 5 萬立方公尺且路基流失 500 公尺、116k 路基流失 30 公尺，在當地造成嚴重災情^[3]。本案例為緊急應變狀況所需而建置，監測期程於 2012 年結束。

本案例邊坡崩塌範圍如圖 2 所示，共計有 4 處災害潛勢區，分述如下：(1) 坡頂沉陷裂縫區 -115.9k 上側坡頂、(2) 坡面崩塌區 -115.9k 土石流溪流、(3) 大坑橋與溪谷下切區 -115.9k 道路下方、4. 116.1 k 道路邊坡區 -116.1k 鄰近邊坡^[3]。

台 9 線蘇花公路 115k 崩塌監測主要採用 GPS 衛星定位接收器、雨量計及地震儀做為邊坡安全的監測儀器，現場並架設攝影機用以觀察現地情況，整體監測架構如圖 3 所示。本崩塌監測系統之主要任務為蒐集即時資訊，並透過 QPESUMS 雷達降雨預報的修正，修正現地雨量計資料，提供最即時及最正確的雨量預報。而崩塌預警的監測管理值則是參考 GPS 位移量、降雨量及地震資訊綜整評估設立，以現地即時觀測量為參考來源。

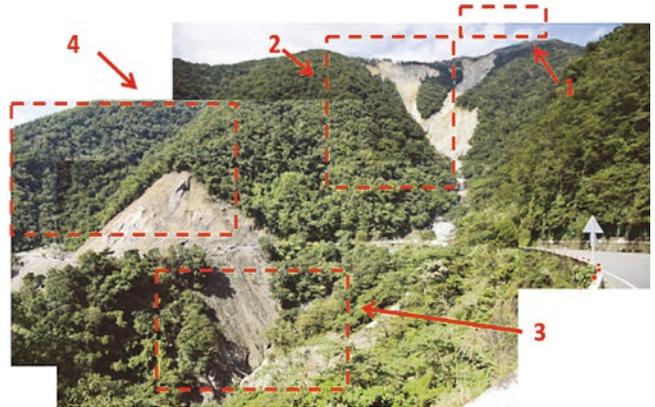


圖 2 災害潛勢區分圖 (NCDR 於 2010 年 11 月 10 日初步勘查)^[3]

為便於展示現地監測資料，本案例開發 115k 崩塌監測整合展示系統，畫面如圖 4，使用者可透過瀏覽器直接觀看現地狀況，以及各項監測數據。另配合「公路防救災決策支援系統」，特別設置單機版(圖 5)及網頁版(圖 6)的蘇花公路 115k 預警系統，這與 115k 崩塌監測整合展示系統是連動的，可於後端透過單一介面掌握現地情況。

在本案例監測期間，於 2011 年共偵測到 2 次較重大的異常事件，分別是 2011 年 09 月 13 日軍機撞山，及同年 10 月 02 日豪雨事件。軍機撞山事件發生時，現場的地震儀有捕捉到異常訊號(圖 7)，同時比對攝影機影像資料，發現夜間影像有明顯亮光，且時間與軍機失事時間點接近，因此確定此次震動是由軍機撞擊所造成。

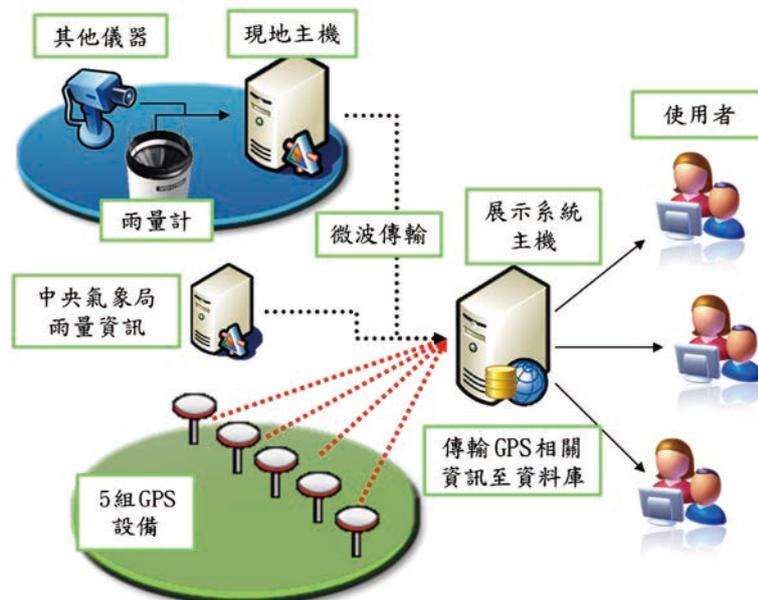


圖 3 監測系統整合架構^[3]

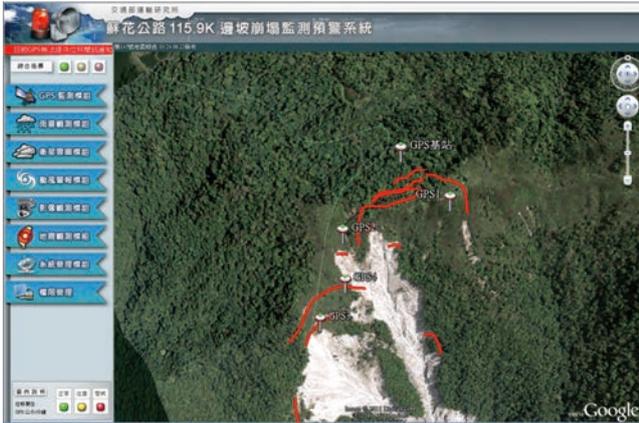


圖 4 邊坡崩塌預警系統畫面 [3]

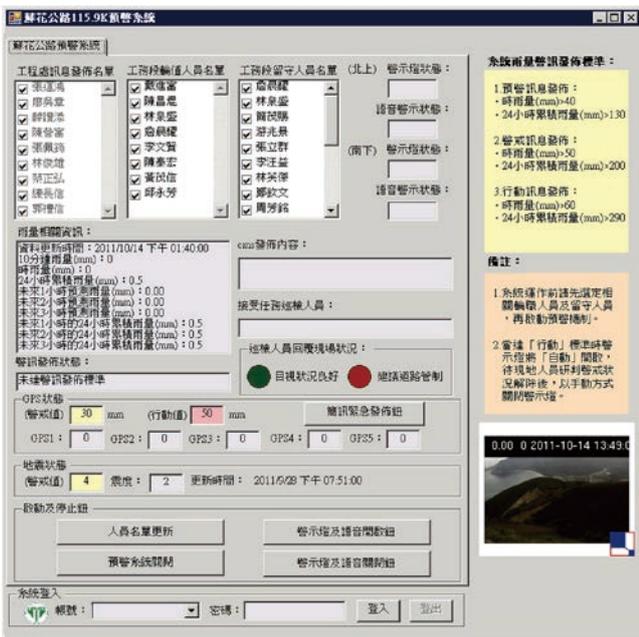


圖 5 蘇花公路 115.9k 預警系統 - 單機版 [3]



圖 6 蘇花公路 115.9k 預警系統 - 網頁版 [3]

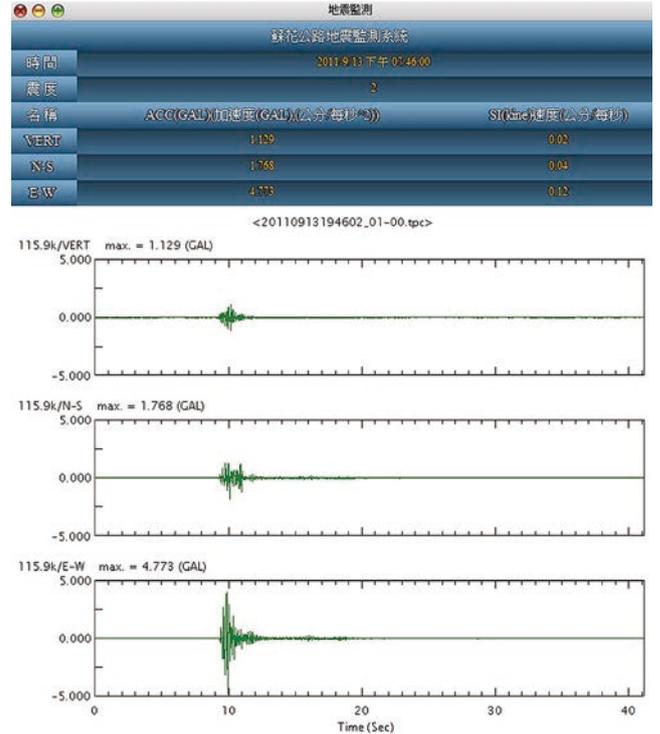


圖 7 2011/09/13 19:46 地震儀器偵測到異常事件 [3]

10月2日豪雨事件中，現地雨量計測得10月3日單日累積雨量達到450mm，最大時雨量為99mm。比對降雨前後影像，發現此次豪雨造成該崩場地範圍逐漸擴大，GPS量測最大位移為140cm，崩塌發生與降雨比對結果如圖8。

在本案例中，主要監測網路為GPS接收器所形成之監測網，觀注對象為邊坡上的裂縫位置及其位移量，而雨量計及攝影機則是「單點狀」的佈設，提供現地額外資訊供做崩塌潛勢判斷。全部的現地資料都經由無線通訊回傳至固定主機，並以系統平台方式呈現，已具有物聯網的雛型架構，達到監測自動化，能夠依管理值提供自動化預警的目標。

台 9 甲線烏來忠治段邊坡監測

本案例同為邊坡崩塌監測，地點位在省道台9甲線10.2公里處附近的邊坡崩塌，該處崩塌發生於2015年蘇迪勒颱風期間，6小時累積雨量442mm，造成烏來等地區受創，該處崩塌造成道路中斷及人員傷亡等情事。該崩塌局域政府已於災害發生當下進行搶救工程，並隨後辦理治理工程以穩定崩塌趨勢，但為能長期監控該區的邊坡安全性，主管機關遂於2018年調查現地崩塌潛勢範圍，並規劃建置邊坡監測系統以及預

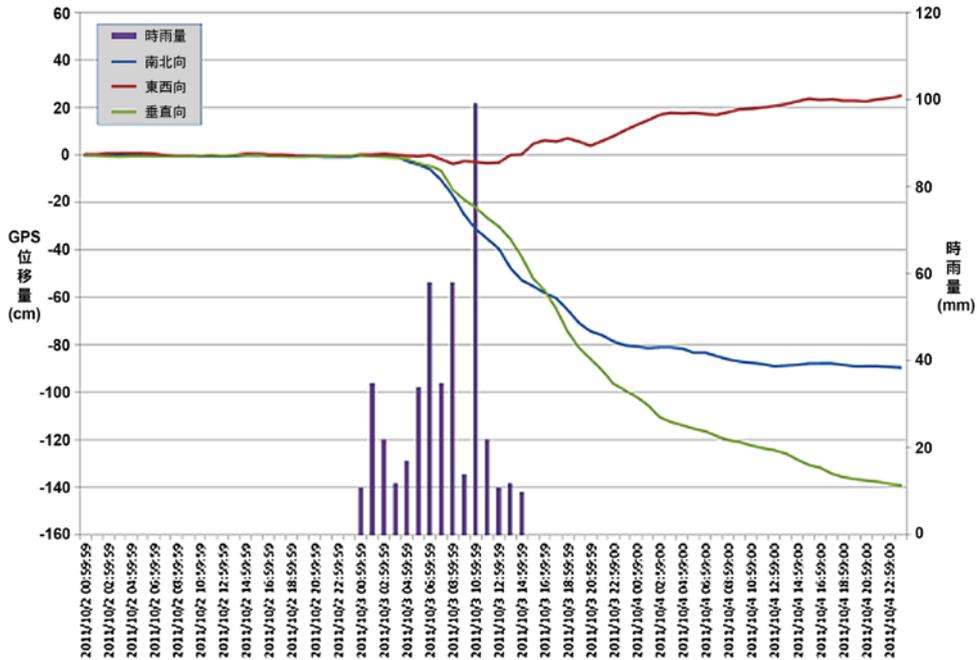


圖 8 GPS 位移量與時雨量比對分析^[3]

警模式，以進一步保障人民安全。圖 9 為崩塌潛勢調查範圍地質圖。

現場監測儀器則安裝傾斜觀測管（兼水位觀測井），亦設置戶外固定式攝影機、水壓計及雨量計等自動化監測設備進行邊坡觀測（圖 10）。現地監測系統的通訊方式，考量監測範圍位於山區且範圍廣大，電力取得不易及傳統網路通訊不良等現場環境，故於本案例中嘗試運用低功耗之物聯網通訊技術（LPWAN）蒐集監測資料，而部份水壓計無法申請市電之位置，則採用太陽能板之方式維持供電。圖 11 為水壓計分別以市電及太陽能供電的架構方式，實際架設結果如圖 12 所示。

LPWAN 與傳統通訊技術比較如表 1，對於山區環境需較長通訊距離及基站服務範圍廣的需求，LPWAN 能夠提供較佳的通訊架構，加上其建置成本相對較低，更顯出 LPWAN 的優勢。本案例參考國內 LPWAN 技術的提供者，有已提供服務 Sigfox、技術成熟的 LoRa 及 NB-IoT 等三家，三者不同的通訊指標（例如傳輸速度及頻寬等）比較如表 2 所示。而針對本案例的邊坡監測範圍，考量條件包含通訊頻寬、通訊速率、建置成本、維護作業等，以單一 LPWAN 平台為優先選擇，Sigfox、LoRa 及 NB-IoT 的適用性評估如表 3 所示。其中 Sigfox 因頻寬及傳輸速率不符需求而不考

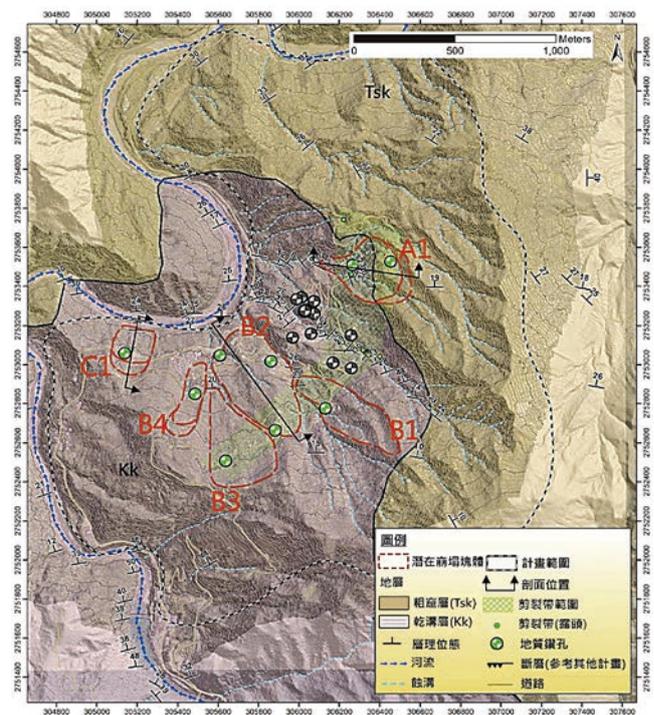


圖 9 崩塌地計畫範圍地質圖^[4]

慮，NB-IoT 為國內電信業者提供之服務，在現地實測時有發現通訊死角；因此本案例最後採用 LoRa 技術，於現地建立基站，做為水壓計的通訊架構。除 LoRa 技術外，邊坡監測系統還納入 4G LTE 及有線傳輸，以搭配雨量計、攝影機等儀器的不同需求，最後形成一個邊坡監測物聯網，提供現地即時資料。

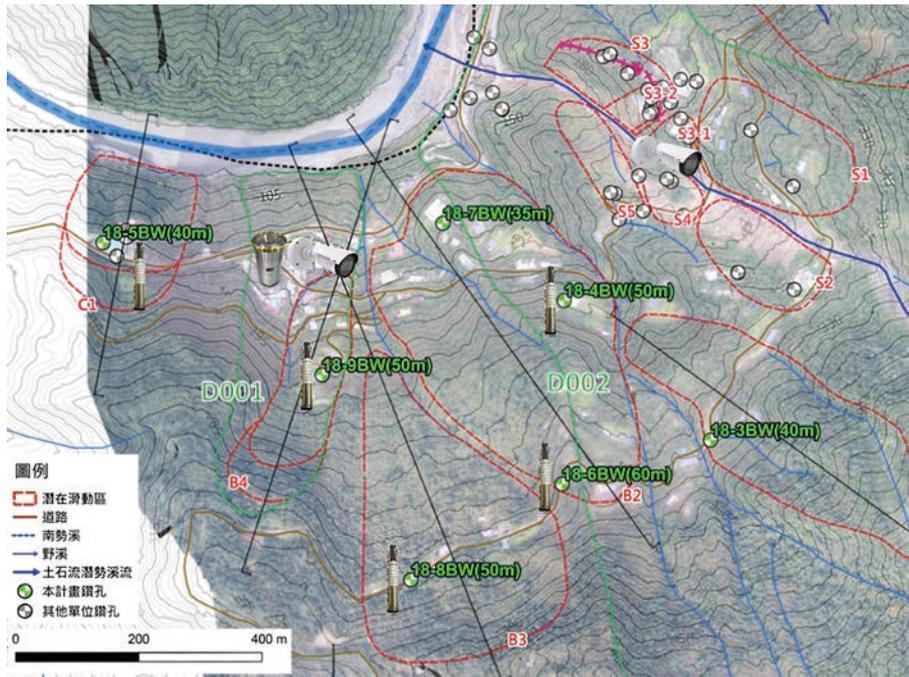
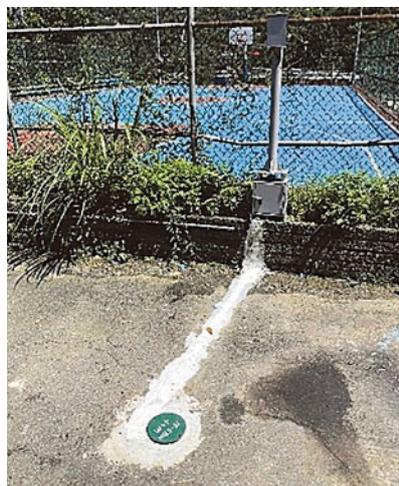


圖 10 邊坡監測儀器配置圖^[4]



圖 11 前端水壓計及 LPWAN 通訊設備^[4]



(a) 5BW-C1 籃球場



(b) 8BW-B3 上邊坡

圖 12 水壓計安裝成果^[4]

表 1 LPWAN 與傳統通訊差異比較表^[4]

通訊方式	ADSL 等有線傳輸	短距離 Wi-Fi	長距離 Wi-Fi	3G/4G	LPWAN
通訊距離	遠	短	遠	遠	遠
傳輸頻寬	高	高	高	中	低
建置成本	高	中	高	中	低
單一基站服務範圍	單 1 點	最高 256 個	單 1 點	單 1 點	數千點

表 2 LoRa、Sigfox 與 NB-IoT 通訊架構比較^[4]

技術	NB-IOT	LoRa Alliance Wide Area Networks for IoT	sigfox
使用頻譜	LTE/2G	非授權頻段	非授權頻段
覆蓋範圍	15km	10-22km	10-50km
發射功率	23dBm	14dBm	14dBm
傳輸速率	20-50Kbps	0.3-50Kbps	100bps
使用頻寬	200KHz	125、250、500 KHz	100KHz
支援漫遊	YES	YES	YES
模組價格	< NT\$ 200-400	< NT\$ 300	< NT\$ 200
主要業者	中華、台灣大哥大	正文、遠傳、亞太	優納比(UnaBiz)

表 3 針對本案例範圍物聯網通訊技術比較^[4]

項目	NB-IoT	LoRa	Sigfox
Gateway	4G 基地台	需自建基站	Sigfox 基站
傳輸速率	高	中	較低
覆蓋範圍	基地台範圍內良好，但現場部份地區 4G 訊號不良	不依賴蜂窩數據或 WiFi，基站覆蓋範圍保持相對穩定	基站覆蓋範圍內相對穩定
建置成本	低	高(基站)	低
維護成本	高(通訊費)	低	高(通訊費)
耗電量	較高	低	低
其他限制	訊號需仰賴基地台	需在自建基站範圍內	140 筆資料/天(不適用本計畫)

本案例之邊坡監測通訊架構說明如圖 13，各項儀器的通訊傳輸方式說明如下：

1. 雨量計採用訊號線回傳至資料紀錄器。
2. 攝影機透過 4G LTE 回傳，並使用記憶卡儲存高畫質影像。
3. 水壓計使用 LoRa 通訊方式回傳至資料紀錄器。
4. 資料紀錄器透過 4G LTE 回傳至局內後端系統。

除現地邊坡監測物聯網建置外，本案例也建立一後端整合展示平台，蒐集現地監測儀器資料，並介接其他機關的監測資料服務，並設立決策面板及警示燈號，以系統化、自動化方式推播簡訊示警相關人員，供主管做決策之依據。圖 14 為平台網頁版及行動版 App 之執行畫面。

在本案例中，採用了 LPWAN 技術，並在現地建立單一通訊平台，實現物聯網的概念。其中主要監測儀器為傾斜觀測管及水位計，而水位計以 LoRa 技術形成物聯網，搭配雨量計及攝影機，提供現地資訊供做崩塌潛勢判斷。全部的現地資料都回傳至後端整合展示平台主機，並且有自動警示功能，實現監測自動化、預警自動化的目標。

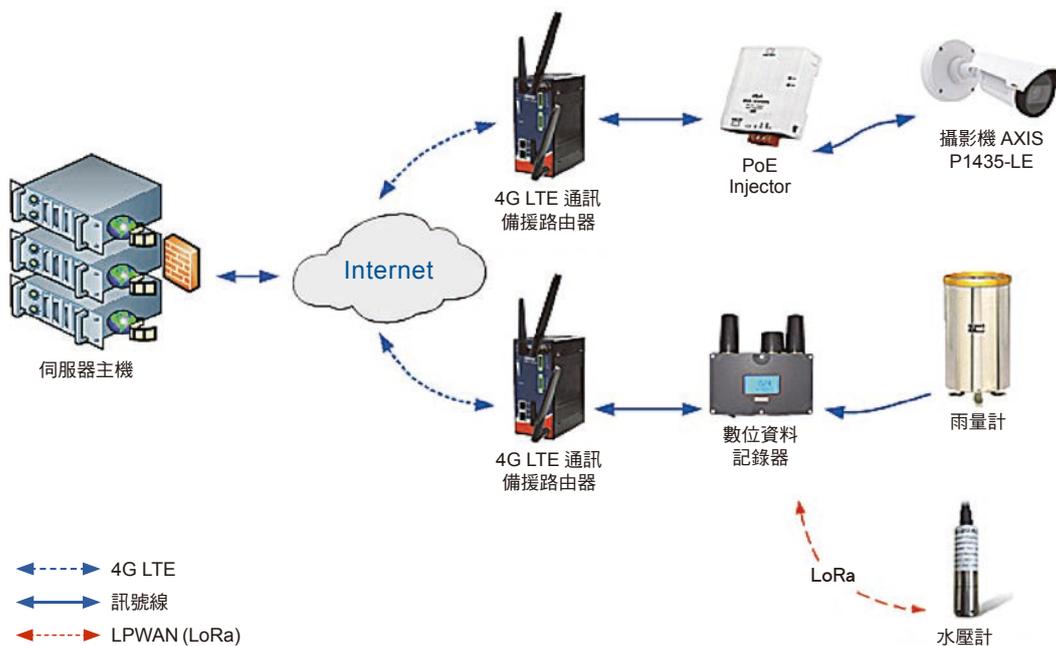


圖 13 台 9 甲線 10.2k 智慧監測物聯網通訊架構^[4]

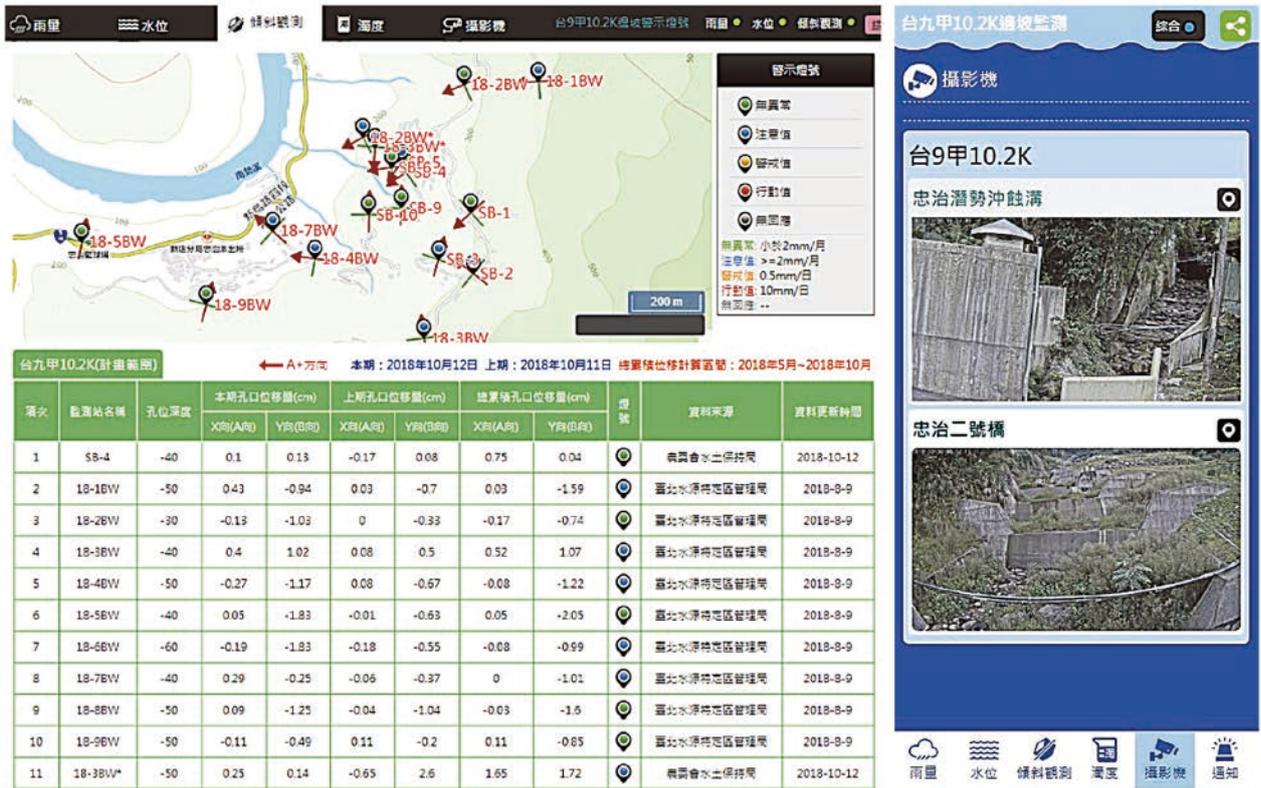


圖 14 台 9 甲線 10.2k 監測系平台及行動版 APP [4]

結論

防災監測一直是國內關注的重點工作，理想狀態下我們都期望能對所有具有潛在危險的狀況進行觀測及監測，但往往都有實際執行上的困難，需要耗費大量人力及物力，因而需要減小規模或加以取捨。相較於以往的監測方式，近年來因科技發展及新技術的出現，開始提供低成本感測器、大範圍通訊技術架構，及更快速的整合平台工具，使得物聯網有利於防災監測發展，朝向智慧防災邁進。本文以邊坡監測舉例說明物聯網於防災監測解決方案，除此之外，國內尚有其他案例可供我們參考，例如台中市的台中水情 App，以及水土保持局的土石流防災監測預警系統^[2]，都是現今符合物聯網的先進監測系統，充份發揮其在防災應變上的功效。整體而言，智慧防災是未來的目標，由前端預判到後端決策，不但需要物聯網提供感測器簡單且基本的反應，也要系統化蒐集資訊，整合後反饋，做為決策參考，最後若能運用人工智慧，達到主動感知，有效防災的理想目標，必能將防災成果達到最高效益，守護珍貴的環境與生命資產。

參考文獻

1. 方耀民、洪本善、鄭明淵、游保杉、黃茂信、黃彥豪 (2012), 「蘇花公路邊坡崩塌監測預警模式之建立研究」, 港灣報導季刊 92 : 33-40。
2. 陳振宇 (2008), 「國內土石流警戒發布機制沿革」, 臺灣水土保持季刊 63 : 1-7。
3. 張子瑩、蘇文瑞、陳宏宇 (2019), 「智慧防災：資料應用及公私協作之實現」, 國土及公共治理季刊第 7 卷第 2 期 (6 月): 90-95。
4. 黃亦敏、方耀民、陳美心 (2018), 「台 9 甲線烏來忠治段邊坡監測系統建置與預警模式之建立」, 成果報告, 臺北水源特定區管理處, 台北。
5. 蘇文瑞、張子瑩、陳宏宇 (2015), 「從資料整合與資訊加值的工作到智慧防災之實現與展望」, 國土及公共治理季刊第 3 卷第 2 期 (6 月): 44-52。
6. DIGITIMES (2014), 「攸關智慧城市發展的智慧防災」, https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=130&id=0000404866_6ff73and7qduw75y38844