



智慧型水位辨識 結合 物聯網 應用 於 土石流防災 監測

黃國豪 / 準線智慧科技股份有限公司 專案經理
黃效禹 / 行政院農業委員會水土保持局土石流防災中心 科長
林建良 / 行政院農業委員會水土保持局土石流防災中心 工程員

受到全球暖化及氣候變遷影響，颱風的強度及降雨規模有增強趨勢。臺灣地區位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊的交界處，地處太平洋地震帶上，活動斷層多且地質脆弱。臺灣地區全年 70% 雨量由 5 月到 10 月所發生的颱風及豪雨產生，季節性降雨不均。每逢暴雨時，集水區山坡地的表面土石往往受豐沛水量驅動沿陡急的河床順流而下，造成山坡地災害。因此土石流災害的發生往往嚴重威脅人民的生命及財產安全。

行政院農業委員會水土保持局（以下簡稱水土保持局）基於職司山坡地保育利用之責，自民國 91 年開始陸續建置完成 21 站土石流觀測站的建置（圖 1）。為了提升雨量觀測品質及增強土石流警戒發布之精準度，建置 64 站自動雨量站。並研發 3 站行動式土石流觀測站及 17 站簡易式土石流觀測站。因應颱風豪雨路徑，在應變開設時期機動式派遣行動式土石流觀測站及簡易式土石流觀測站，至土石流潛勢溪流或災害地區進行監測之用。



圖 1 固定式土石流觀測站硬體配置圖

根據調查自 921 地震後，土石流潛勢溪流由 485 條（85 年）增加至 1726 條（109 年）。為了進行全方位土砂物聯網監測及配合災害頻率的增加，需要大量新型監測需求以作為土砂治理與管理的依據，因此需要以強化發展全方位土砂物聯網以物聯網方式，建立低耗能、低頻寬需求、低費用的物聯網架構，以建立土砂監測資訊資料庫。

低功耗廣域網路簡介

近年來物聯網技術蓬勃發展及大數據資料分析的議題發酵。使用物聯網的低功耗廣域網路技術（Low Power Wide Area

Network, LPWAN), 建立長距離、低耗能、低頻寬需求、低費用的物聯網架構, 已是目前主流趨勢之一。圖 2 說明 LPWAN 技術定位, 現行市場滲透率較高的 LPWAN 技術包括「SIGFOX」、「LoRa」及「NB-IoT」均屬於 LPWAN 技術。

非授權頻段 LPWAN 技術

SIGFOX 與 LoRa 屬於非授權頻段的 LPWAN 技術。SIGFOX 是傳輸速率最低的技術 (速度僅 100 bits/s), 且一個裝置一天最多只能傳送 140 則訊息, 一則訊息最大的容量為 12 位元組。因此較不適用於監測頻率較高的儀器。

LoRa 為英文 Long Range 的縮寫, 其傳輸距離範圍, 長達 15 至 20 公里。LoRa 聯盟成立於 2015 年, 美國半導體製造商 Semtech 併購法國公司 Cycleo 所開發的無線通訊技術 LoRa, 在這個基礎上與 IBM 合作完成規範。LoRa 是目前當前最受產業支持的 LPWAN 技術。

LoRa 的運作原理如同 Wi-Fi, 任何人都能自行設置基地台 (Wi-Fi access point) 來建置網路環境的模式。在 LoRa 網路中, 每個節點間並不相連, 須先連至閘道器後, 才能連回中央主機。或是透過中央主機, 才能將資料傳到另一個節點。終端節點的訊息, 可以同時傳給多個閘道器, 訊息也可透過閘道器之間的橋接, 以延伸傳輸距離。

授權頻段 NB-IoT 技術

NB-IoT (Narrow Band, IoT) 授權頻段技術由國際電信標準制定組織 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 所主導, 其採用現有的 3G/4G 網路, 電信營運商及相關設備廠商為主要參與者。IoT 使用電信級網路, 其網路傳輸品質及數據安全都有更高的保障, 再加上建置成本較低, 並且不用更改現行的 4G LTE 電信網路架構, 因此受各國電信商所支持。自 2017 年下半年開始, 台灣地區三大電信業者遠傳、中華電信及台灣大哥大也已開始提供 NB-IoT 服務。

儘管電信商可提供完整 NB-IoT 服務, 有不需重新布建網路的特性。然而每一個 NB-IoT 的節點 (一台儀器視為一個節點) 都需要 1 張 SIM 卡, 以傳輸資料, 儘管其通訊費用較 4G 網路低廉, 通訊成本仍是需要進一步考量的項目之一。

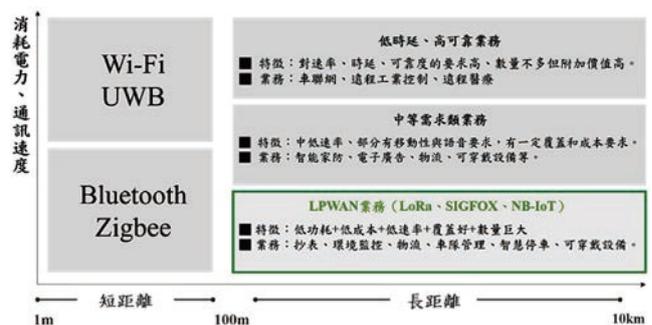


圖 2 LPWAN 技術定位 (修改自 <http://tiny.cc/m6r9lz>)

土石流防災智慧聯網通訊架構

為了強化發展全方位土砂物聯網, 朝向以集水區為單元的點、線、面全方位土砂監測, 水土保持局的各式觀測站目前已持續應用 LoRa 或 NB-IoT 技術, 蒐集雨量、土壤含水量資訊以及坡地位移狀況等低頻寬需求之資訊。除了可以大幅降低通訊、電力成本外, 並能採用大規模範圍佈署的方式, 在單一河道上、下游流況不同處蒐集土砂監測資料。

以往受限於網路通訊方式, 土石流監測儀器僅能採用「點」跟「線」方式配置, 以監測重要區域。利用低功耗廣域網路技術的長距離及低耗電的特性, 可布署雨量計、土壤含水量計、流速計及水位計等低傳輸量需求之儀器於河道上游及下游區域, 發展全方位土砂物聯網。

圖 3 說明目前土石流防災智慧聯網通訊架構。各式觀測儀器透過有線及無線通訊方式, 即時將現地觀測資料回傳至水土保持局後端資料庫系統。並融合其他資料集進行資料分析與預測, 可協助決策者了解現況並預防土石流災害發生。因此, 可加強災防應變情資的整合, 並於災難發生後之最短時間內, 讓決策者做出俾利災情

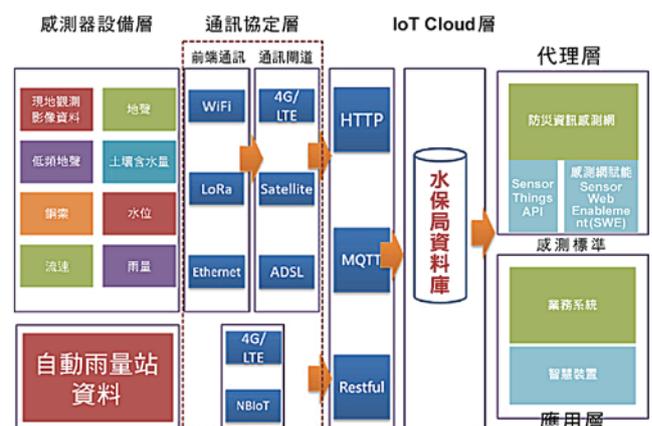


圖 3 土石流防災智慧聯網通訊架構

的研判及防救災指令的下達，以順利展開應變搶救與復原重建事宜，確保人民生命財產安全。

自動雨量站通訊架構改裝作業

水土保持局目前於台灣本島建置 64 站自動雨量站。自動雨量站使用國內其他單位常用的日本廠牌竹田的雨量計（型號 TK-1），採用太陽能供電並內建 4G 通訊模組，可即時將現地雨量資訊回傳至後端資料伺服器。為了進一步降低通訊耗電量及通訊費用，水土保持局目前已於南投縣水里鄉永興國小進行自動雨量站通訊架構使用 NB-IoT 的前期測試。永興國小雨量站並採用準線智慧科技股份有限公司自行研發的 F10 資料紀錄器（圖 4）。



圖 4 永興國小雨量站採用 NB-IoT 通訊架構

固定式觀測站通訊架構改裝作業

固定式觀測站的各式儀器多透過有線方式回傳觀測資訊至儀器屋的電腦主機，再傳回至水土保持局後端系統。為了擴大固定式觀測站的觀測範圍，水土保持局規劃觀測儀器搭配太陽能等電力系統，以獨立供電。並結合 LoRa 技術，將現地觀測資訊回傳至儀器屋，以延伸觀測範圍。目前已於豐丘觀測站鄰近的豐丘國小及坪頂觀測站鄰近的成功國小進行測試。



圖 5 豐丘國小雨量站採用 LoRa 通訊架構

行動式及簡易式觀測站通訊架構改裝作業

為了於機動派遣行動式及簡易式觀測站期間，以無線通訊方式拓展觀測儀器的監測範圍。水土保持局於行動式觀測站增設 1 組無線土壤含水量計，藉由 LoRa 技術回傳土壤含水量計量測值至行動式觀測站。因此無線土壤含水量計可布設於無行動數據網路服務的河道上游處，觀測資訊再利用行動式觀測站的衛星或是 4G 通訊回傳至水土保持局後端系統。

簡易式觀測站具備土壤含水量計及雨量計，雨量計設置要求為透空環境，土壤含水量計則需為土壤或砂土環境，受限於兩個感應器的訊號線路長度，設備安裝距離最遠無法離開簡易式觀測站 3 公尺，因此限制了簡易式觀測站出勤地點的選擇。

為能兼顧雨量計及土壤含水量計設置需求，水土保持局進行簡易式觀測站的無線土壤含水量計改裝作業，透過使用 LoRa 低功耗廣域網路通訊技術，延伸簡易式觀測站與土壤含水量計之間的設置距離，以降低簡易站的出勤限制。圖 6 為簡易式觀測站進行無線土壤含水量計改裝作業測試照片。

智慧水位辨識

近年來極端降雨型態頻率增加，造成山區短時間內無法排除多餘水量而容易發生土石流崩塌，水土保持局研發水位辨識技術以即時得知固定式觀測站水位狀況，有助於整體的決策。水位辨識模型種類可分為三類，傳統影像辨識、深度學習網絡架構與上述兩種混合的方式進行水位辨識（圖 7）。



圖 6 簡易式觀測站進行無線土壤含水量計改裝作業



圖 7 水位辨識模型類型分析架構圖

衛星影像其優點為可大範圍的水位面積判釋，應用於了解全球水資源的分布情形，然而衛星影像非即時且無法看到每一條河川水位狀況。因此近年來多以攝影機 (CCTV) 的影像進行水位高度判釋，有很多學者運用傳統影像處理辨識水位，例如運用傳統影像二值化，辨識水尺上面的字符與水線檢測。透過單一辨識區多區塊辨識技術演算法 (Single ROI with Multiple Blocks, SRMB) 辨識淹水的水位高度，此一方法適合用於固定式的 CCTV。並且在均勻面辨識牆面，輸入畫質清晰之影像辨識率通常可超過 80%。感興趣區域 (Region Of Interest, ROI) 此方法基於傳統的圖像處理算法，其假設水位變化且測量尺度沒發生變化，因此可以通過兩個連續視頻幀中的差異確定水位的差異。

由上述可知，傳統影像辨識方法有其缺點，僅適用於不動的場景，如果一旦攝影機因維修或其他原因造成影像監控範圍的偏移，以方法辨識水位高度會有較大的誤差。

近年，由於硬體技術提升，卷積神經網絡 (CNN) 透過模型架構的調整、激活函數的改變提高電腦視覺的精準度，透過深度學習神經網路架構，成功解決各領域上原本傳統影像辨識無法解決的問題，如自駕車與物體辨識等。

物體辨識廣泛應用於水體特徵辨識與水位辨識，例如使用 DeepWaterMap 模型萃取水體在衛星影像上的特徵，運用此模型辨識衛星影像萃取出水體的位置。以及使用混合型的水位辨識模型，透過傳統影像辨識 ROI 的方法，找出水尺的位置 (圖 8)，擷取出水尺位置後，以卷積神經網絡 (CNN) 像素為單位辨識是否為水尺位置或水體位置 (圖 9)，透過找出水尺的交界處，反推出水位高度，然此方法仍受限於固定式攝影機場景使用。

觀測站攝影機位在溪水上游，平常無水，僅在雨量較多，天候昏暗時，由於水量較多並夾帶泥土伴隨



圖 8 神木站出水溪上游攝影機觀測畫面

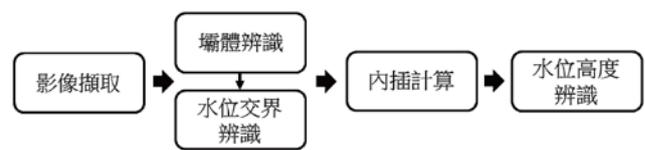


圖 9 水位辨識流程圖

而下，由於山區鏡頭無法永遠固定不動且水石流事件發生時天候昏暗，因此，無法單純只用影像處理技術估算現地水位。

本研究建構兩階段智慧水位辨識模型，圖 9 呈現水位辨識模型流程圖。

兩階段辨識包含壩體辨識與水位交界辨識。第一階段，為了解決傳統影像辨識在非固定場景下，水位辨識準確度較差的缺點，運用物件辨識卷積神經網絡 (CNN) YOLO 演算法的優勢，以水尺壩體為物體進行辨識，其可自動判釋影像中是否有壩體，並同步偵測出壩體為於影像中的位置。第二階段，以水尺與土石流水體的水位交界處當作物體，再次以採用 YOLO 演算法，偵測土石流與壩體的交界處於影像中的位置，圖 10 說明以內插法估計現地水位。

由於觀測站戶外場景環境照明度與水位高度不同，所以必須收集不同環境條件下的影像建立模型，

9 格間隔共 9×50cm=450 cm

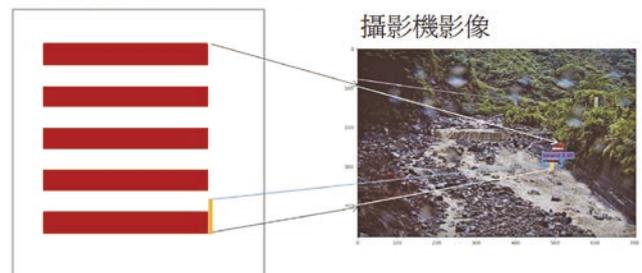


圖 10 水位換算方法示意圖



圖 11 物件辨識模型訓練流程圖

物件辨識模型訓練流程包含資料收集、資料標記及建立估算現地水位模型等三大步驟（圖 11）。

觀測影像有分白天與夜晚的影像，夜晚影像亮度較低，觀測影像顆粒度會比白天來的粗，解析度較低，相較白天比較複雜，因此本團隊以白天觀測影像為主要分析標的。神木觀測站共收集 658 張觀測影像進行壩體模型訓練，並以 77 張影像進行測試，壩體辨識模型克服戶外環境的影響，成功變數出 74 張的水尺壩體（圖 12），準確度為 96%，三張無法辨識成功影像的原因是由於陽光太強影像壩體在影像上的特徵（圖 13），壩體辨識模型辨識準確率高，但陽光過強的情形會影響判釋。

雖然目前無收集到現地高水位的影像，為了測試模型效能，本研究取神木下雨的觀測影像，先以模擬的方式進行模型效能的測試，圖 14 為經由水位交界辨識模型，能辨識出水位交界處，進而推估出水位高度，本研究發兩階段水位辨識模型，以壩體特徵與水位交界處特徵，運用物件辨識演算法，成功推估水位高度。

結語

長距離低功耗廣域網路通訊技術是目前物聯網領域中的重要技術，水土保持局依據監測儀器的位置採用不同形式的低功耗廣域網路通訊技術（NB-IoT 或

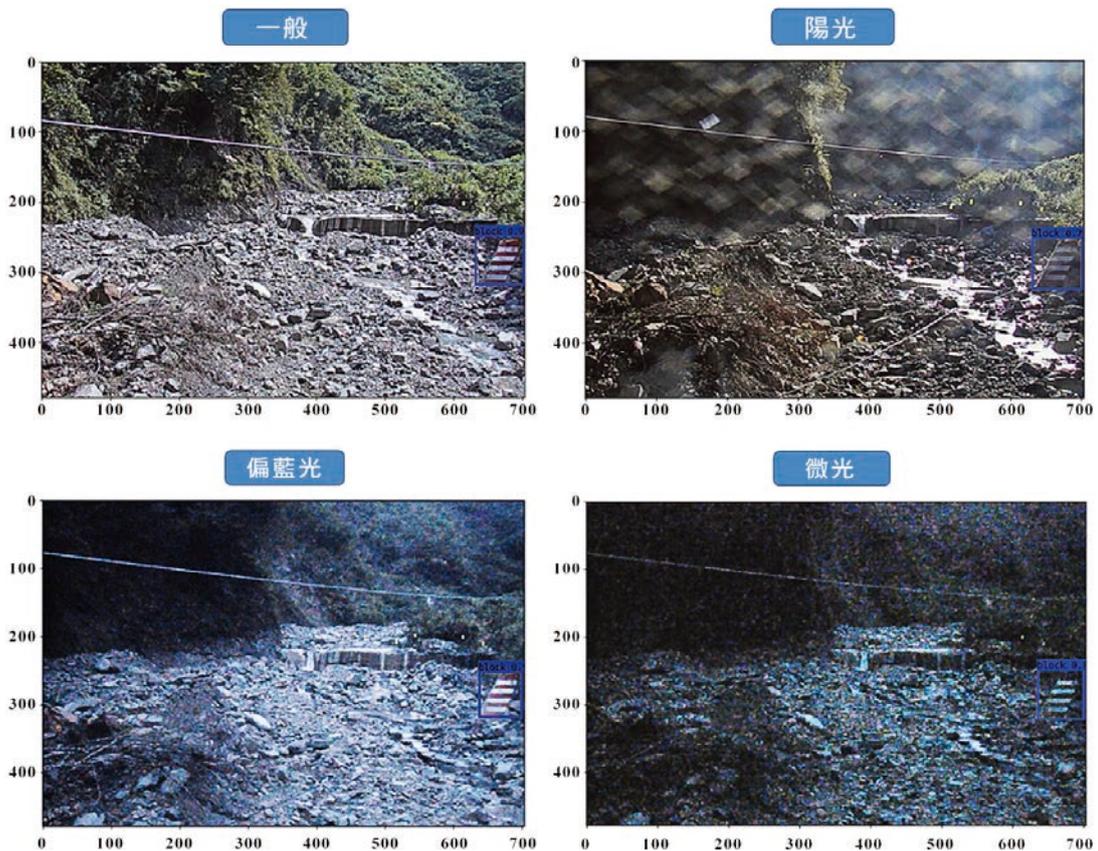


圖 12 神木水尺壩體模型辨識成功影像



圖 13 神木水尺壩體模型辨識失敗影像

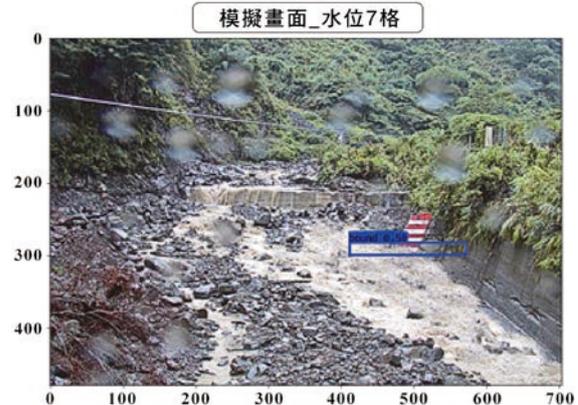


圖 14 水位交界辨識結果

LoRa 技術)。雨量為土石流發生的主要因子，因此目前土石流觀測主要以蒐集雨量資訊為主，以監測現地是否達雨量警戒。

水土保持局持續應用低功耗廣域網路通訊技術於各式觀測站之雨量計，並以自給自足方式提供電力及通訊，不受限於其他觀測設備電力及通訊條件。已應用 NB-IoT 技術於南投縣水里鄉永興國小雨量站及應用 LoRa 技術於南投縣信義鄉豐丘國小雨量站。

本研究以兩階段智慧水位辨識模型，可適用於變動環境的限制，辨識成效不受制於攝影機因維修或其他原因造成影像監控範圍的偏移的影響，以壩體特徵與水位交界處特徵，運用物件辨識演算法，成功推估水位高度，此智慧水位辨識模型，已應用於神木觀測站與集來觀測站，透過低功耗廣域網路通訊技術，將現地水位辨識模型結果傳回水土保持局，主動監測土石流狀況，保衛人民的生命及財產安全。

參考文獻

1. 方耀民，「土石流觀測網整體發展計畫」，行政院農業委員會水土保持局編印，2017。
2. 方耀民，「107 年土石流觀測網整體發展計畫」，行政院農業委員會水土保持局編印，2018。
3. 方耀民，「108 年土石流觀測網整體發展計畫」，行政院農業委員會水土保持局編印，2019。
4. 黃詠暉、杜維昌、陳世杰、陳泰賓、張進鑫，「106 監視影像辨識技術精進及應用」，水利署摘要報告，2019。
5. Jyh-Hornng, Wu., Chien-Hao, Tseng., Lun-Chi, Chen., Lo, Shi-Wei., and Fang-Pang, Lin. (2015), Automated Image Identification Method for Flood Disaster Monitoring In Riverine Environments: a Case Study in Taiwan. 10.2991/iea-15.2015.65.
6. F. Lin, W. Chang, L. Lee, H. Hsiao, W. Tsai and J. Lai, "Applications of Image Recognition for Real-Time Water Level and Surface Velocity," 2013 IEEE International Symposium on Multimedia, Anaheim, CA, 2013, pp. 259-262.
7. F. Isikdogan, A. C. Bovik and P. Passalacqua, "Surface Water Mapping

by Deep Learning," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 10, No. 11, pp. 4909-4918, Nov. 2017.

8. J. Pan, Y. Yin, J. Xiong, W. Luo, G. Gui and H. Sari, "Deep Learning-Based Unmanned Surveillance Systems for Observing Water Levels," in IEEE Access, Vol. 6, pp. 73561-73571, 2018.
9. J. Redmon and A. Farhadi, "YOLO9000: Better, Faster, Stronger," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, HI, 2017, pp. 6517-6525.

UG 聯合大地工程顧問股份有限公司 UNITED GEOTECH, INC.

台北市內湖區瑞光路583巷21號5樓
TEL : +886-2-27985198 · FAX : +886-2-26580958
E-Mail : services@mail.ugi.com.tw

- 大地工程之調查規劃設計與監造
Geotechnical Engineering
- 隧道設計、監造與檢測補強
Design、Construction Supervision & Rehabilitation of Tunnels

- 工程地質與工址調查、地球物理探測
Engineering Geology、Site Investigation & Geophysical Prospecting
- 水利水保工程之規劃設計與監造
Hydraulic Engineering、Soil & Water Conservation

- 土木運輸工程之規劃設計與監造
Transportation Engineering
- 專案管理
Project Management