

地工小百科

IoT 物聯網傳輸技術於大地工程監測之應用

謝志龍¹

一、前言

物聯網(Internet of Things, 簡稱IoT)、大數據(Big data)、人工智慧(Artificial Intelligence, 簡稱AI), 是現在各行各業耳熟能詳的名詞, 其運用在消費行為的網路世界中, 已是發揮得淋漓盡致。而在土木工程及大地工程技術中, 「AI人工智慧監測」一直為業界許多專家研究發展的目標, 要實現AI人工智慧監測, 首先需要大量有用的數據, 而如何取得有用的大數據, 透過現今的IoT物聯網技術可以經濟有效收集並快速累積。

二、IoT物聯網

IoT物聯網的組成一般可分為三層架構, 包含前端感測儀器層、中端無線通訊層及後端資料記錄層, 下文以大地工程監測領域分別說明:

前端感測儀器: 大地工程監測感測儀器起源於1927年卡爾森型(Carlson)及1938年應變規(strain gauge), 問世至今已近百年歷史, 拜科技進步之賜, 感測儀器生產製造技術突飛猛進, 感應元件已大量運用微機電系統技術(MEMS)將原件體積縮小且大幅降低費用。由於現今監測儀器的選擇多樣且費用不像之前昂貴, 因此在設計自動化監測系統時, 監測儀器佈建數量可以依需求做更有效的規劃, 這是地工監測要實現IoT物聯網的重要一環。表一為目前常用的感測儀器型式。

中端無線通訊: 通訊傳輸技術的發展則更是快速, 行動通訊從2G、3G、4G以至最新的5G, 而無線通訊早期以Wi-Fi、Bluetooth及ZigBee為主, 近年則以低功耗廣域網路LPWAN (Low Power Wide Area Network)的LoRa、NB-IoT及Sigfox最受矚目, 表二為目前常用的無線通訊技術功能比較。

表一 常用的感測儀器型式

感測儀器型式		常用的監測儀器
振弦式	Vibrating Wire Type	水壓計、應變計、鋼筋計、荷重計
電阻式	Full Wheatstone Bridge Type	水壓計、應變計、鋼筋計、荷重計
電位式	Potentiometer Type	位移計、角度計
電壓式	Voltage Type	傾斜計、水位計、加速度計
電流式	Current Loop Type	傾斜計、水位計
脈衝式	Pulse Counter Type	雨量計
數位式	Digital Type	電子式傾度儀

表二 常用的無線通訊技術功能比較

無線通訊種類	功耗	傳輸速率	傳輸距離
4G	高	100M-1G bps	≥5km
Wi-Fi	高	300M bps	100-300m
Bluetooth	中	24M bps	10-100m
ZigBee	低	250K bps	50-300m
LoRa	低	300-50K bps	≥10km
NB-IoT	低	50K bps	≥10km
Sigfox	低	100 bps	10-30km

後端資料記錄: 所有現地量測的監測數據, 最終皆需要透過後端軟體進行資料儲存、換算物理量、曲線繪製、報表匯出及管理值告警通知等工作, 依目前的電腦運算能力, 這些工作皆能在幾秒鐘內完成, 即時呈現監測結果, 提供監測管理人員做為判斷的依據, 目前主流的監測軟體開發多數採用WEB版網頁化雲端監控方式, 透過各種智慧型裝置或電腦, 即可登入並即時觀看監測數據。

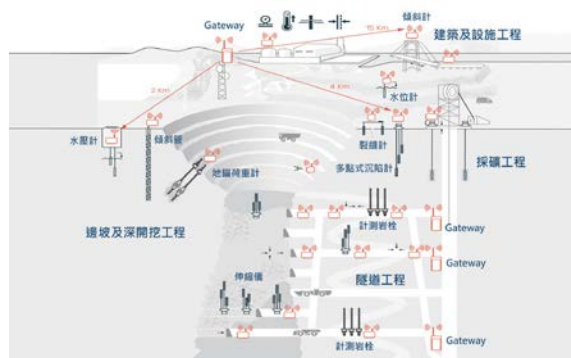
三、LPWAN低功耗廣域網路

LPWAN低功耗及長距離傳輸的技術特色, 解決了早期自動化監測系統在建置上對於電源取得困難及儀器訊號線路維護不易的問題, 其中以LoRa及NB-IoT傳輸模式為近年台灣大地工程監測系統設計與規劃的主流。

LoRa(Long Range)是使用LPWAN協定及展頻技術所開發的物聯網通訊技術, 其架構類似區域網路服務的概念, 其系統設備包括含有LoRa晶片的記錄器(Node)及終端收集主機(Gateway), Node與Gateway間通訊在台灣是

¹三聯科技股份有限公司

使用不需申請許可的920MHz~925MHz低功率廣域物聯網射頻器材頻段。Gateway具有大容量接收節點的優勢，通常1台Gateway可接收Node數量超過2000台，而且Node與Gateway間通訊可以單向溝通，亦可雙向溝通，傳輸距離在通視空曠的地方可達10公里以上，在都市環境亦超過2公里。所有Node量測資料，係透過Gateway對外的網路(4G或ADSL)上傳到雲端資料庫。另外在低功耗的表現，以Loadsensing VW Node為例，使用1顆3.6V鋰電池，量測頻率為每小時1次，通常可提供3年工作電力。圖一為LoRa通訊傳輸示意圖。



圖一 LoRa 通訊傳輸示意圖(Worldsensing 網站)

NB-IoT(Narrow Band Internet of Things)是由3GPP訂定的LPWAN無線電標準技術，在台灣主要以Band8(900MHz)及Band28(700MHz)兩個頻段為主，其與LoRa最大的差異為NB-IoT使用電信公司營運中的基地台進行資料上傳，少了Gateway的建置成本與維護費用，且對客戶而言，透過電信公司的基地台傳輸，通訊品質與資料安全方面能擁有更高的保障，平均每月通訊費用低於25元，即可達到4G傳輸的便利性，而其低功耗表現為NB-IoT另一特色，以Sanlien VWdot NB-IoT記錄器為例，使用1顆18650可充電式鋰電池，量測頻率為每小時1次，即可提供1年工作電力。圖二為NB-IoT通訊傳輸示意圖。



圖二 NB-IoT 通訊傳輸示意圖(Sanlien 網站)

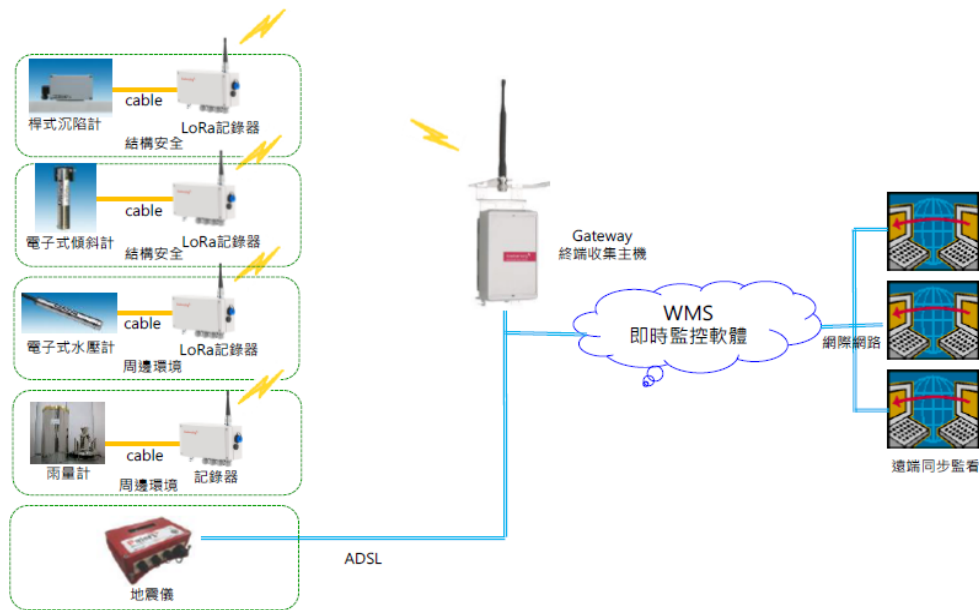
命週期的概念，針對建築物結構安全與周邊環境變化及地震振動等進行長期監測，本系統規劃採用LoRa物聯網監測技術，比傳統自動化監測模式具備的優勢包含：1.大量減少訊號線路佈設，避免破壞大樓景觀。2.簡化現場安裝工作，節省人力與工時。3.簡化系統架構，易於長期維護。4.使用低功耗設備，較為省電環保。表三為本案前端感測儀器設備項目及數量，包含桿式沉陷計、電子式傾斜計、電子式水壓計、雨量計及地震儀。圖三為本案系統架構圖，中端無線通訊除地震儀資料直接採4G網路上傳雲端外，其餘監測儀器資料係以LoRa低功耗廣域網路(LPWAN)傳送至Gateway後，再

四、LoRa物聯網監測技術案例分享

案例一為一大型社區，基地分為3大區，共37棟建築物，為了實現結構物健康監測(structural health monitoring)以評估結構生

表三 LoRa 物聯網監測技術案例安裝之儀器設備項目及數量

監測目的	前端感測儀器	中端無線通訊		後端資料記錄
地下室結構差異沉陷觀測	桿式沉陷計： 1區6處13組 2區12處24組 3區16處42組	電壓式LoRa Node： 1區6台 2區12台 3區16台	Gateway: 1區1台 2區2台 3區2台	SANLIEN WMS 雲端即時監控系統 整合結構安全、周邊環境變化 及地震振動等資料
建築物傾斜觀測	電子式傾斜計： 1區2組 2區4組 3區4組	電壓式LoRa Node： 1區2台 2區4台 3區4台		
周邊環境變化監測	1.水位觀測：4處 2.雨量計：1處 3.地震儀：2處	1.振弦式LoRa Node：4台 2.脈衝式LoRa Node：1台 3.地震儀採4G傳輸	Gateway: 周邊環境1台	



圖三 LoRa物聯網監測技術案例系統架構圖

以4G上傳至雲端伺服器主機。後端資料記錄為自行開發的WEB版網頁介面(WMS即時監測軟體)，進行各項資料計算、展示及告警等功能。圖四為現場儀器設備安裝照片，本案執行至今已超過3年，量測頻率為每2小時1次，監測儀器及LoRa設備皆正常運作中，本系統除自動告警功能外，管理單位及社區住戶可隨時登入WMS即時監測軟體進行查詢及檢視各項即時監測資料，圖五為利用本系統查詢在地震發生前後，檢視結構傾斜監測是否有異常狀況，圖六為利用本系統查詢長期地下水位監測與降雨的關係。本案透過長期監測累積各項監測資料，除即時提供居住安全資訊外，後期亦可利用這些大數據資料進行結構生命週期分析及評估。

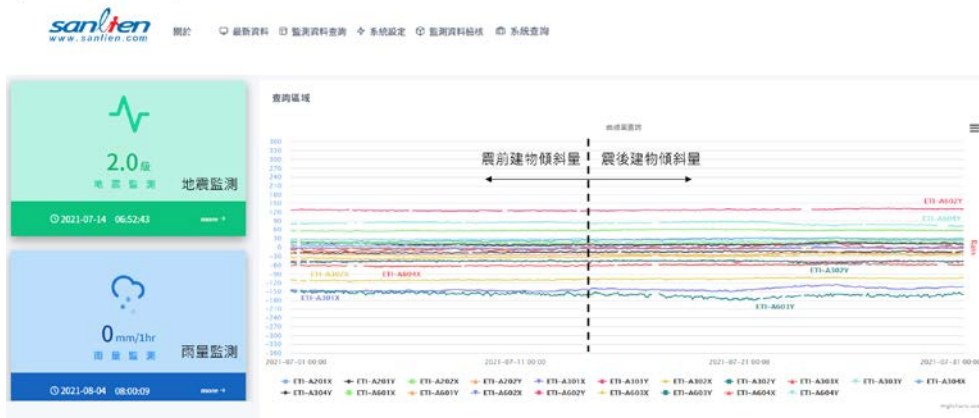


圖四 LoRa物聯網監測案例儀器設備安裝照片

五、NB-IoT物聯網監測技術案例分享

案例二為中部建築新建工程，為了即時掌握基地開挖與構築期間地下水位變化，針對7處抽水井進行自動化水位監測，以利工地進行抽降水管理作業。本系統規劃採用NB-IoT物聯網監測技術，比傳統自動化監測模式具備的優勢包含：1.無需佈設訊號線，避免一般工地常遭破壞而需經常維修的問題。

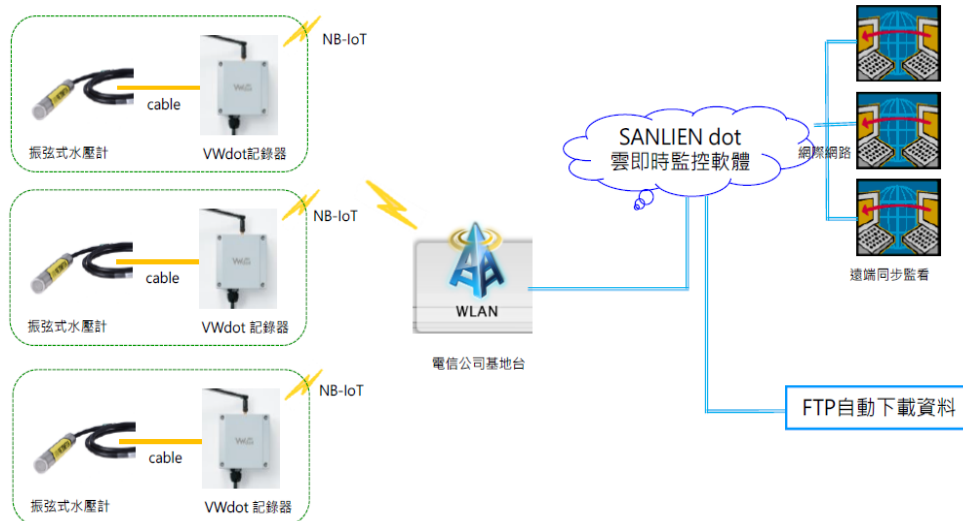
2.簡化現場安裝工作，1天即可快速完成安裝及網頁軟體設定，節省人力費用。3.採用鋰電池供電方式，避免因工地電源不穩或斷電而中斷監測。4.本案共安裝7處NB-IoT記錄器，每月通訊費用僅約175元，比4G傳輸費用節省約70%。5.原廠提供網頁版雲端即時監測軟體，設定簡單，其功能包含網頁地圖顯示即時安全燈號及抽水井水位高程資料、歷史曲線及報表查詢與匯出、警戒值及行動值設定並透過EMAIL或SMS告警通知等。表四為本案安裝之儀器設備項目及數量，圖七為本案系統架構圖，圖八為現場儀器設備安裝照片。圖九為抽水井水位高程變化及電池



圖五 地震發生前後，結構傾斜監測變化曲線圖



圖六 長期地下水位監測與降雨關係圖



圖七 NB-IoT物聯網監測技術案例系統架構圖

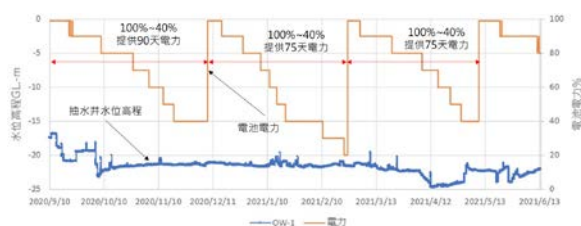
表四 NB-IoT 物聯網監測技術案例安裝之儀器設備項目及數量

監測目的	前端感測儀器	中端無線通訊	後端資料記錄
抽水井水位變化	振弦式水壓計 共7組	VWdot NB-IoT 記錄器 共7台	SANLIEN dot 雲端網頁監測系統 網頁地圖即時安全燈號、水位高程資料、歷史曲線及報表查詢與匯出、警戒值及行動值 設定並透過EMAIL或SMS告警通知



水位觀測井與 VWdot記錄器 VWdot NB-IoT記錄器

圖八 NB-IoT物聯網監測案例儀器設備安裝照片



圖九 抽水井水位高程變化及電池電力記錄

電力記錄，監測約1年期間，提供工地即時抽水井水位高程資料，作為嚴謹抽降水控制的依據，圖中亦顯示VWdot NB-IoT記錄器使用1顆18650充電式鋰電池，量測頻率為每15分鐘1次，使用約60%的電池電量，即可提供記錄器約75~90天工作電力，表現出NB-IoT記錄器低功耗的特性。

案例三位於彰濱工業區，依圖十顯示基地鄰近海域，為了解基地長期地下水位變化是否受潮汐影響，故於地質調查鑽探工作完成後設立5孔水位觀測井，圖十一為其中2孔水位觀測井安裝電子式水壓計(L=10M)並採NB-IoT物聯網技術進行水位自動監測安裝照片，圖十二為利用VWdot網頁版雲端即時監測軟體查詢水壓力數據，資料顯示基地地下水位每6小時受潮汐影響約有15~20cm的升降變化，另於2021年8月1日因當地連續2天強降雨(日雨量達195mm)，基地地下水位約升高80cm。本案透過水位連續監測記錄，可提供設計單位後續於建案開發設計的重要參考數據。

六、結語

世界各國大地工程監測運用IoT物聯網傳輸技術，進行即時監測已成為產業趨勢，台灣大地工程技術一直是國際上的領先者，近

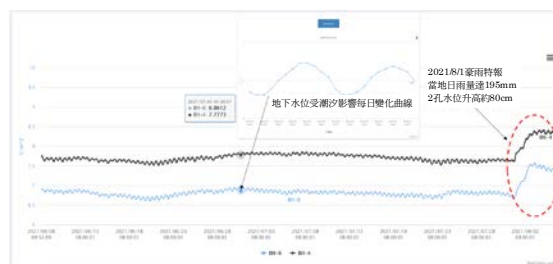


圖十 雲端監測軟體MAP顯示即時水壓力資訊



BH-4 VWdot NB-IoT記錄器 BH-6 VWdot NB-IoT記錄器

圖十一 NB-IoT水位自動監測儀器安裝照片



圖十二 水壓力連續監測曲線圖

年台灣監測廠商也投入大量人力與資金，開發各類型LPWAN低功耗廣域網路的監測設備，並在建築施工、水庫大壩及邊坡穩定等大地安全監測工作累積了相當多成功的實務案例，這些MIT產品在國際上，無論軟、硬體都受到各國廠商矚目且成績斐然，後續仍有賴國內產、官、學三方面的先進們共同合作，讓台灣大地工程監測技術繼續引領國際，持續發光發熱。