掌中握無線，天涯若比鄰
－無線感測器網路技術於蟲害監測應用

文・圖／江昭皚

「叮－」簡訊提示聲響起，一位研究生從工作中抬起頭來，檢查來自田間閘道器的訊息。位於員林的閘道器在該地田間無線感測器網路中之部分節點通訊中斷後，進行自我修復，於重新計算後，將節點間資訊傳送路徑訊息通知工作人員。

這時，實驗室的電話也來湊熱鬧，出差至高雄農業改良場的組員已經將蟲筒與閘道器架設完成，來電確認閘道器有無回傳資料及節點蒐集的環境資訊是否正確。

與此同時，我拿出PDA手機，連線到資料庫，查看系統測量的數據，並向前來參觀的聽眾解說監測系統。這是東方果實蠅生態監測與預警系統在架設、維修及日常運作中經常見到的景象。

研究團隊之組成

3年多前，本人與本校生物產業機電工程學系盧福明教授、昆蟲學系楊恩誠副教授與臺北科技大學電機工程學系曾傳蘆副教授合作，組成無線感測器網路技術應用研發團隊，研發遠距無線自動化監測系統，將無線感測器網路技術應用於蟲害監測，成為世界首次。

所謂無線感測器網路（Wireless Sensor Network, WSN）技術，指的是通過無線傳輸，將感測器彼此聯結在一起。使用者在主控平台端等待，即可獲得即時訊息，不必親自在監測現場。WSN最早應用於軍事用途，因具有靈活、偵測對象多樣等優點，故近年來迅速擴展到環境監測、生態監測、健康與醫療照護、防災救災、商業與家庭自動化、交通管理等各種領域之應用，可提供傳統監測方法所無法觀察的現象。感測器節點（Sensor Node）是組成WSN的最小單位，其上裝載有通訊模組與多種感測器，感測器之種類可由使用者依需求挑選。當大量節點高密度地部署在小範圍的空間內，透過節點內建程式，感測器節點可依時間、指令、或事件啟動自動化量測。

東方果實蠅之危害

之所以鎖定東方果實蠅（*Bactrocera dorsalis* (Hendel)）為監測目標，理由是原產於印度及馬來半島等地的東方果實蠅，具有強大的繁殖與飛行遷徙能力，是亞洲太平洋地區果樹栽培最主要之害蟲，其危害區域甚至已侵入夏威夷與美國本土。臺灣地處亞熱帶，盛產多種瓜果，成熟期不一，極適繁殖。最早出現東方果實蠅的紀錄在1911年，目前寄主果樹有150餘種，包括芒果、番石榴、蓮霧、柑桔類等重要經濟作物，造成農業巨大損失。東方果實蠅之雌蠅將卵產於果皮下，幼蟲孵化後鑽入果肉中蛀食。這些由產卵及蛀食所產生之傷口常常有微生物寄生，進而使得果實腐爛、掉落或是果肉中帶有幼蟲，失去經濟價值。一隻雌蠅一生可產下1,200到1,500顆卵，最高可達到3,000顆；一年有8至9世代，以8-11月間族群密度最高，防治相當棘手。

目前國內防治田間害蟲多採用誘引劑搭配誘蟲筒進行捕捉，並建立蟲口預警體系及建置蟲害防治模式等。其中，蟲口預警體系的建立，由政府定期派員進行密度調查，用以建立密度數值分析；以東方果實蠅為例，每一旬（10天）派員至各鄉鎮統計蟲筒捕獲之數量。但此種人工計數方式，耗費極大之人力成本，且僅能取得數量，並未就果實蠅棲群動態變化之環境參數進行量測，更無法進行有效即時監控。而WSN的高時空解析度與遠距大範圍自動

化量測的特性恰好可解決這些問題，於是，此一東方果實蠅生態監測與預警系統應運而生。

監測系統之建立

東方果實蠅生態監測與預警系統包括兩個部分：蟲害監測網及後端主控平台與資料庫。蟲害監測網係由無線自動誘捕節點及田間閘道器所組成。我們採用筆記型電腦或是微控制晶片（MSP430）為核心，研發出兩種田間閘道器（圖1與圖2）。前者適用於有供電之農場或溫室，而後者屬於低耗能，可在偏遠地區使用。此項監測與預警系統的無線自動誘捕節點如圖3所示，係利用清華大學許健平教授團隊所研發之通訊模組－Octopus II，結合東方果實蠅自動計數誘捕裝置與GSM通訊傳輸平台共同組成。無線自動誘捕節點可在東方果實蠅受到誘引劑吸引進入感測通道後，感測產生電子訊號而加以計數。根據過去資訊顯示，東方果實蠅之出沒密度會受氣候影響：夏天溫度較高，蟲數較多，故該系統定時使用Octopus II裝備之感測器偵測溫度、溼度等可能影響果實蠅生態之環境參數，作為後續統計分析參考。我們所研發之系統係採模組化設計，只要研發出合適之自動計數誘捕裝置，可進一步將監測對象擴展到其他對誘引劑、性費洛蒙具有單一性的害蟲，如斜紋夜盜蟲等。

整體生態監測網路如圖4般布建於農田後，田間閘道器彙整來自誘捕節點的資訊（蟲數、溫濕度及照度等），加上由閘道器自身掛載之氣象模組所量測的多種氣象參數（溫度、濕度、照度、雨量、風速與風向等）、GPS全球衛星定位模組之資訊，利用GSM手機模組將監測資料以簡訊傳送至位於臺大的主控平台。主控平台為一套利用LabVIEW程式發展軟體所撰寫的人機介面平台，同樣配備有GSM手機模組，可接收遠端網路所傳回的資料，並將資料存放至利用MySQL所架設之資料庫中。此項主控平台可執行即時資料顯示、儲存及整合，進行長期資料之分析、統計及管理，並且提供多種網路瀏覽與查詢功能。因此，研究人員或農園管理者可經由網際網路或是PDA手機讀取，獲得即時且全面性的田間環境與蟲害資訊，系統整體之架構示意如圖5。目前在全臺布建之監測網（圖6）包括：臺中神岡、嘉義農試分所、雲林縣員林與嘉義縣竹崎、高雄改良場等地。在某些蟲害活動頻繁之熱點或溫室等特殊地點，亦加設使用MSP430晶片的單機版機台，加強

圖1：東方果實蠅生態監測田間匣道器－以筆記型電腦為核心。

圖2：東方果實蠅生態監測田間匣道器－以微晶片MSP430為核心。

圖3：東方果實蠅生態監測節點。

圖4：東方果實蠅生態監測網路。

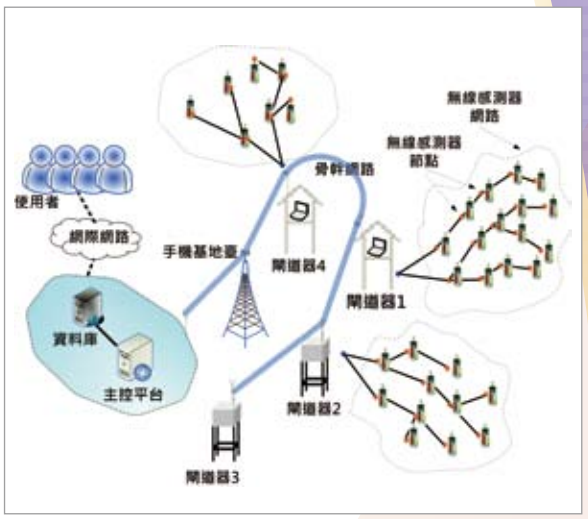

圖5：東方果實蠅生態監測系統的系統架構示意圖。

圖6：東方果實蠅生態監測系統於全臺各地之布建位置與各監測點之即時數據。

監測，如臺中農試所（霧峰）、臺大校園。而在石碇（茶葉改良場）、坪林與高雄改良場則另建立以斜紋夜盜蟲為監測對象的單機版機台。

通過颱風的考驗

對於野外監測系統而言，耐候性是最嚴峻的考驗，任何風吹雨打都有可能會對系統造成傷害，還有許多不可測的、生物性的因素也會影響。本系統在運作時即曾因颱風而造成誘捕節點受損、蜜蜂在誘捕節點上築巢或蜘蛛結網而造成系統的不穩定，都需要工作人員定期至現場維修。另外，能源供應也是頭痛的問題，因應之道只有節流與開源。節流方面，精準計算各種感測元件及節點通訊間所需消耗之電量，在未傳送資訊或沒有蟲蠅活動時段，讓感測器節點進入休眠模式。開源方面，配置太陽能板，在陽光充足時進行充電。但即使如此，在陰雨天時，仍有相當之機率會發生電池電量不足，導致資訊無法有效傳送；為此，另行建立生態監測與預警系統之自動修復功能。當閘道器長期無收到某顆或數顆節

點時，此監測系統的閘道器會自行重新進行傳輸路線規劃，並通知工作人員。有時，原先因電量不足而失聯的節點，若太陽能板對蓄電池充電達到足夠通訊之電能，該節點亦可自動恢復運作，重新將監測資訊回傳。

除了偵測害蟲族群生態外，本系統所量測到的氣象參數亦可以作為自然災害的偵測與記錄之用。例如，在去年八八風災時，在嘉義的機台仍持續回傳資料，並且得到與氣象局極為相似之累積雨量趨勢。故本監測系統除了監測東方果實蠅出沒外，也可由收集而來之氣象資訊，隨時掌握該地氣候狀況。如果能事先設定各項氣象指標之危險值，即可在到達設定值時進行緊急通報。

WSN跨領域之應用

東方果實蠅生態監測與預警系統的設立目標在於，一旦捕獲的果實蠅數量達到危害界限，即進行通報，農民可據此判斷是否施藥，以降低蟲害大爆發之可能。在進行防治的同時，亦達到警示之作用。WSN技術在農業與生態領域裡屬於相當新穎地技術，可支援多元的感測參數，提供大量數據，不僅降低人力消耗，也能確保資訊完整性。而且WSN所蒐集到的資訊，可與其他領域的專家學者共同分享，除了直接用於害蟲防治外，昆蟲學家可用於建立害蟲的生態模型，大氣學家可用於建立監測點的微氣候模型等，應用範圍極為廣泛。

延伸閱讀：

〔1〕江昭皚、曾傳蘆、李仁貴、張輕祥、盧福明、彭武康。「GSM簡訊技術應用於田間資料收集之研究」，「2003資訊科技在農業之應用研討會」論文集，臺北，頁次：204~209，2003年12月1-2日。

〔2〕江昭皚、盧福明、吳宗修、林詩翔、曾傳蘆、林冠璋、廖誌聖、李仁貴。「自動化害蟲誘捕裝置暨無線通報系統」，臺灣農業機械，第21卷第4期，臺北，頁次：6~8，2006年。

〔3〕Chwan-Lu Tseng, Joe-Air Jiang, Ren-Guey Lee, Fuming Lu, Cheng-Shiou Ouyang, Yih-Shaing Chen, and Chih-Hsiang Chang, "Feasibility Study on Application of GSM-SMS Technology to Field Data Acquisition," Computers and Electronics in Agricultures, August 2006, pp. 45-59.

〔4〕Joe-Air Jiang, Chwan-Lu Tseng, Fu-Ming Lu, En-Cheng Yang, Zong-Siou Wu, Chia-Pang Chen, Shih-Hsiang Lin, Kuang-Chang Lin, Jhih-Sheng Liao, "A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, Bactrocera dorsalis (Hendel)," Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 62, No. 2, July 2008, pp. 243-259.

〔5〕江昭皚、盧福明、楊恩誠、曾傳蘆、廖國基、嚴崇瑋。「東方果實蠅生態監測與預警系統」，自動化學會季刊2009年4月號，臺北，頁次：54~65，2009年。

〔6〕江昭皚、朱怡靜、盧福明、楊恩誠、曾傳蘆、謝志誠。「東方果實蠅的監測防治」，科學發展，第447期，臺北，頁次：6~14，2010年。

江昭皚小檔案

臺大電機博士，2001年起任職於臺灣大學生物產業機電工程學系，擔任助理教授，2004年升任副教授，2008年升任教授。鑽研無線感測器網路技術、電力輸電線保護技術、機電整合於農業自動化之應用、生物醫學工程、與各類演算法發展等相關研究，成果卓越，論文多次獲國際期刊刊出。2006年11月起，主持國科會「無線感測器網路技術前瞻研究」專案計畫，為全世界首度將無線感測技術實現於害蟲群棲監測。開授工程數學、自動控制、無線感測器網路與生物電磁學等相關課程。