

結合雲端服務平台之溫室無線通訊感測系統開發¹

吳有恒²

摘 要

本研究開發無線通訊感測系統暨雲端服務平台，可同步監測溫室溫度、相對濕度、CO₂濃度、光合作用光子通量密度、作物葉片溫度、土壤溫度、含水率及電導度等 8 項作物栽培參數；感測資料透過無線網路上傳雲端服務平台，溫室管理者可於遠端利用電腦或行動裝置連線進入平台，查詢即時感測資料、歷史資料及經運算分析後的數據與圖表，以有效進行作物栽培管理。此系統可依溫室作業需求更換不同精度、價位與品牌的感測器，可應用於花卉溫室、育苗中心、組織培養室及禽畜舍等環境監測。

關鍵詞：感測系統、無線通訊、雲端服務平台、溫室

前 言

台灣溫室面積約 2,600 ha (Tsay, 2015)，並且逐年增加。在溫室內栽培作物除可減少天然災害的影響外，更重要的是可藉由量測與分析溫室環境微氣候、作物生長訊息及土壤狀態等資料，進行灌溉、施肥、控溫、控濕與遮蔭等溫室管理作業，以提供作物最適合的生長環境，從而提升作物產量、穩定作物品質與調整作物產期。

在農業生產上，作物的生長與品質受到環境溫度、溼度、日照、土壤溫度、含水率及電導度等許多因子的影響。感測器結合無線通訊的應用，可將感測資料即時傳送遠端，由遠端管理人員進行資料的分析與判讀，並提出預警措施；或透過控制系統進行相關的控制作業，以提供作物更好的生長環境。再者，感測系統更可連續記錄各項感測資料，透過分析各項參數的歷史資料與作物對應產量，管理者可更容易的掌握關鍵栽培技術。

¹ 行政院農業委員會桃園區農業改良場研究報告第 498 號。

² 桃園區農業改良場副研究員(通訊作者，yhwu@tydais.gov.tw)。

由於機電、資通及感測技術的快速發展，無線通訊感測技術在工業環境、商業領域、醫療照護、防災救災、國防工業及家庭自動化上已有相當的應用（方，2006），農業上主要應用於溫室環境及作物生理監測、禽畜場監測、蟲害監測、土石流監測、果園灌溉管理及農業生態資料收集等（江等，2008；何，2008；巫與曾，2010；吳與游，2011；翁，2013；張廖，2009；詹等，2012；蔡，2011）。

農業生產環境通常高溫高濕，且需要進行日常的栽培管理作業，如灌溉、施肥及噴藥等，農業用感測系統在設計及應用上必須充分考慮環境的影響；同時在感測數據的處理上，需轉化成與溫室管理及作物栽培有關的資訊，以利溫室管理人員進行決策依據。

感測資料除可作為作物栽培依據外，另一重要目的是可從累積資料中，分析出影響作物生長的關鍵因子；而結合雲端服務平台的無線通訊感測方式更可即時、量化且精確地記錄感測資料，透過雲端服務平台取得經運算與分析後的數據，溫室管理者可有效地進行栽培預警作業及累積與回溯生產資料，以進行智慧化、高效率的農業生產。

本研究目的在開發溫室無線通訊感測系統暨雲端服務平台，系統可同步感測溫室 8 項作物栽培參數，並透過無線通訊將感測資料上傳雲端服務平台，進行相關運算與分析；管理者於任何地方均可透過網路進入雲端服務平台取得即時感測資料及詳細的分析數據，有助於提高溫室作物的栽培管理效率。

材料與方法

一、無線通訊感測系統

無線通訊感測系統架構如圖 1。溫室內微氣候、作物及土壤等訊息由感測器感知，並透過有線方式傳輸到主機，訊號經主機簡單處理後，透過無線網路，上傳雲端伺服器，由雲端伺服器進行相關運算處理；管理人員可透過網路連線進入伺服器，查詢即時感測資料、歷史資料、運算處理後資料，或是將資料下載，進行其它的分析運算，以作為作物栽培管理的依據。

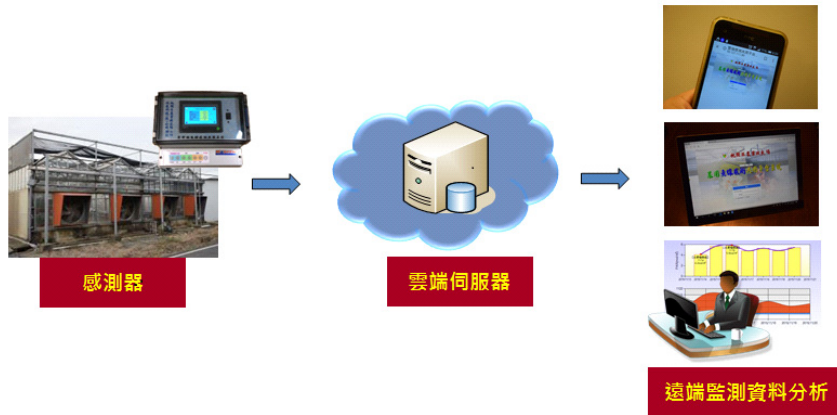


圖 1. 無線通訊感測系統架構

Fig. 1. Frame diagram of the wireless communication sensing system.

二、感測主機與無線傳輸

感測主機架構包含觸控螢幕、訊號擷取單元、處理單元、計時單元、記憶單元及通訊單元（圖 2）。由感測端擷取之訊號，經處理單元運算後，可即時顯示於觸控螢幕，管理人員於溫室現場可即時查知各項感測數據；即時資料亦同步透過通訊單元上傳雲端伺服器。

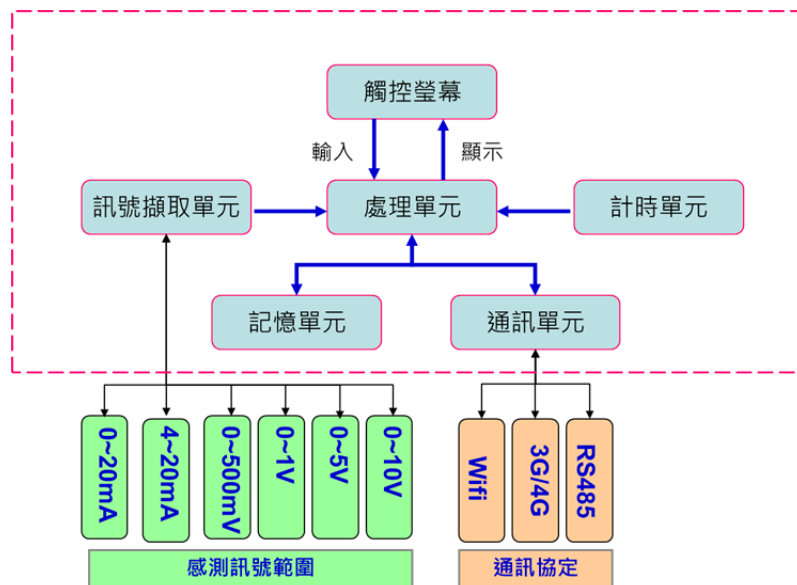


圖 2. 感測主機架構

Fig. 2. Frame diagram of the sensing host.

感測主機如圖 3，主機內置線性類比訊號擷取模組、數位訊號擷取模組、無線通訊模組及觸控螢幕（圖 4）。感測器訊號類比轉數位採用研華 ADAM-4117 訊號擷取模組，其類比數位轉換器（Analog-to-Digital Converter; ADC）解析度 16-bit，可接 8 組類比訊號源；數位訊號則透過可程式化 iPCB-2000 擷取模組（Micro Chinese Tech. Ltd.）讀取，此模組同時支援 RS232 及 RS485 通訊介面。系統配置 4G LTE 通訊模組以進行無線訊號的傳輸作業。觸控螢幕（HM-730S；Conch Electronic Co. Ltd.），CPU 為 32 bit 400 MHz 的 RISC 處理器，具有 NAND Flash Memory 45MB，可用於儲存感測資料。



圖 3. 感測主機

Fig. 3. Sensing host.

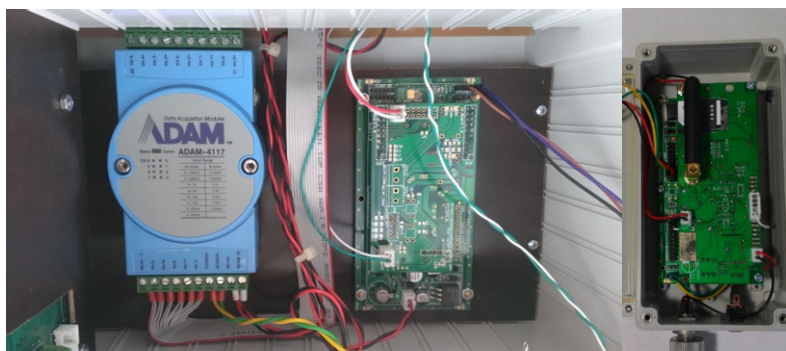


圖 4. 線性類比訊號擷取模組（左）、數位訊號擷取模組（中）及無線通訊模組（右）

Fig. 4. The linear analog signal acquisition module (left), digital signal acquisition module (middle), and wireless communication module (right).

三、感測器規格

表 1 為連接於主機的各感測器型號與規格，可量測的參數包含溫度、相對濕度、光合作用光子通量密度（Photosynthetically Photon Flux Density; PPFD）、CO₂ 濃度、作物葉片溫度、土壤溫度、含水率及電導度（Electricity Conductivity; EC）等 8 項。環境溫濕度感測元件為半導體溫溼度晶片，適用之溫溼度範圍 0-50°C 及 0%-100%，其準確度在 25°C 時分別為 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 及 $\pm 3\%$ ，感測訊號透過 ADAM-4117 資料擷取模組 ADC，其溫溼度解析度分別可達 0.00076°C 及 0.0015% ，足夠溫室環境使用。量測 PPFD 的光合有效輻射（Photosynthetically Active Radiation; PAR）計採用 Apogee SQ-215 的 PAR 感測器，可量測光譜範圍 410-655 nm，適用於溫濕度範圍 -40-70°C 及 0%-100% 的場域環境；其每 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的輸出電壓 2 mV，可量測之最大 PPFD 值為 $2,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，可滿足入射於溫室內光合作用光量的量測需求。CO₂ 感測器的感測元件為固態電解質（Solid-state Electrolyte）型，適合於溫室高濕度的作業環境使用，可量測範圍 400-4,000 ppm，其每 ppm CO₂ 濃度的輸出電壓 1 mV，適用於溫度 -10-50°C 及濕度 5-95% 的環境，主機開機後感測器會自行預熱 2 h 以穩定此電解質感測元件，去除濕度的影響。作物葉片溫度感測器為紅外線非接觸型，可藉由量測目標物所發射的紅外線輻射強度計算出目標物的表面溫度；此紅外線感測器可於 0-60°C 及 10%-95% 的溫溼度範圍下使用，其鏡頭量測距離比（量測距離：測點直徑）為 20:1，反射率 0.95，測溫範圍 0-500°C，準確度 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 。土壤感測器為三合一型，常用於土壤感測之感測器，可同步感測土壤溫度、含水率及 EC 值，具備 RS485 通訊介面，其可感測之溫度範圍 -10-55°C，準確度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；可感測土壤含水率範圍從完全乾燥到完全飽和，準確度為 $\pm 3\%$ 的體積含水率（Volumetric Water Content; VWC），可感測 EC 值範圍 0.01-1.5 S m^{-1} ，準確度 $\pm 0.005 \text{ S m}^{-1}$ 。

表 1. 感測器規格

Table 1 .Specifications of the sensors.

感測位置 Sensed location	感測項目 Sensing item	單位 Unit	訊號輸出 Signal output	準確度 Accuracy	感測器型號 Sensor type	廠商 Company
環境 Environment	溫度 Temperature	°C	4-20mA	±0.4°C	SE3000	Gigarise Tech. Co., Ltd.
	相對溼度 Humidity	%	4-20mA	±3%		
	光合作用有效 光通量密度 PPFD	μmol m ⁻² s ⁻¹	0-5V	-	SQ-215	Apogee Instruments, Inc.
	二氧化碳 Carbon dioxide	ppm	0-5V	±20%	CDM4161A	Figaro Engineering Inc.
	溫度 Temperature	°C	0-5V	±1.5°C	S10-1	Rixen Tech. Co., Ltd.
作物(葉片) Crop (Leaf)	溫度 Temperature	°C	Digital (RS485)	±0.1°C	Hydra Probe II Soil Sensor (No:93640-025)	Stevens Water Monitoring Systems, Inc.
	含水率 Water content	%		±3%		
	電導度 Electricity conductivity	S m ⁻¹		±0.005 S m ⁻¹		
土壤 Soil						

四、感測主機設定與顯示

感測主機觸控螢幕參數設定頁面如圖 5，可進行基本資料、感測器參數、類比模組訊號、量測資料記錄及取樣時間的輸入與設定。線性類比訊號源設定方式如圖 6(a) 之環境溫度設定範例，感測器輸出訊號源依廠商提供之技術資料為 4-20 mA，對應之溫度範圍 0-50℃，經資料擷取模組類比轉數位後，其電流及溫度的解析度分別為 0.244 $\mu\text{A step}^{-1}$ 及 0.00076 $^{\circ}\text{C step}^{-1}$ ，而由溫度感測器於溫室現場感測電流經運算為 34,030 step，此值與溫度解析度 0.00076 $^{\circ}\text{C step}^{-1}$ 相乘即可顯示溫室現場溫度為 25.9℃，如圖 6(a)。由於主機內線性類比訊號擷取模組 ADAM-4117 之訊號源輸入端各通道彼此獨立，每個通道可依需求串接不同電壓或電流規格（如圖 2）的感測器。本系統其餘的類比訊號源，包含環境濕度、PPFD、CO₂ 濃度及紅外線溫度等感測器連接方式可參照圖 6(a) 的環境溫度設定範例，依感測器技術資料，選定感測器訊號源規格及輸入量測值區間，完成設定後，即可顯示如圖 6(b)。土壤溫度、含水率及電導度三合一感測器為 RS485 通訊介面，直接連接至可程式化 iPCB-2000 數位擴充模組。8 項感測參數即可分頁顯示如圖 6(c) 及 (d)。

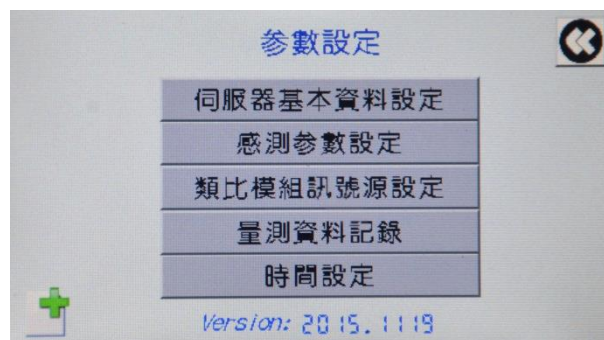


圖 5. 感測主機參數設定頁面

Fig. 5. Parameter setting screen of the sensing host.



(a) 溫度感測器設定

(a) Settings for the temperature sensor.



(b) 所有類比感測器設定

(b) Settings for all the analog signal sensors.



(c) 即時感測資料顯示

(c) Display of the real-time sensed data.



(d) 即時感測資料顯示

(d) Display of the real-time sensed data.

圖 6. 感測器設定與顯示

Fig. 6. Settings and display of the sensors.

由於溫室環境具備高溫高濕特性，因此無線通訊感測系統在設計上必須考慮環境的影響，以避免溫室高溫、高濕或澆灌作業等影響感測信號的擷取與傳輸的穩定性，甚或系統的故障（吳與游，2011）；再者，由於感測器在溫室中容易老化損壞，因此設計上亦必須同步考量校正、維修與更換的便利性，以保持系統量測的正確性。本系統採用之感測器可於溫度 50°C 及高溼度環境使用，且主機箱體採用 IP65 防護等級，每一感測器均獨立且以防水接頭連接到主機，以避免溫室濕度的影響。為考慮感測器維修及更換的便利性，各感測器均可被單獨拆下檢修，由於拆裝、更換及設定作業簡單，因此管理者可依溫室作物栽培的需求，選用不同品牌、精度與價位的感測器，以增加系統的適用性。

感測器取樣的時間可依需求設定，不同感測主機可設定不同擷取頻率，本系統設定的取樣頻率為 5 min，每次可擷取 8 項感測數值，如表 1，感測主機記憶體可儲存 5,000 筆資料，有效儲存時間可達 17.3 天。如遇無線訊號傳輸失敗或故障，主機仍能儲存相當感測資料，避免資料流失。

五、感測器佈建

在感測系統的使用上，除三合一土壤感測器需埋入介質外，主機、溫溼度、CO₂ 濃度、PAR 及作物葉片溫度感測器均架設於儀器架上，方便系統移動及架設。溫溼度感測器裝設位置須避開太陽照射，並位於空氣流通處。PAR 感測器需水平裝設，並置於與作物上層葉片等高的位置；同時留意太陽移動的方向，避免裝置在溫室結構件下方有大面積陰影的區域，以維持量測的正確性。紅外線葉片溫度感測器裝置時需留意量測距離比，以及鏡頭感測點需完全在葉面上，如作物栽培不密集，則須適當縮短量測距離，避免感測到葉片以外的區域。三合一土壤感測器需完整埋入介質內，並略為壓實，同時留意滴灌點的位置，避免直接滴在感測頭上，影響土壤含水率量測的正確性。

六、雲端資料收集分析管理系統

雲端資料收集分析管理系統架構如圖 7，包含環境監測、監測資料查詢、成長分析與系統設定。於環境監測項下可顯示所有感測器的即時感測數據及感測器是否正常運作；並可設定警報上下限值，作為溫室內微氣候異常的警示提醒。於監測資料查詢項下，可輸入特定日期範圍，以查詢或下載此日期範圍內的各項感測資料，供管理者作更進一步的研究分析使用。在綜合成長分析項中，可顯示各感測資料的歷史曲線圖，使用者可設定不同的日期範圍，觀察此段時間內各感測參數的變化趨勢；亦可針對管理分析需要，同步顯示多個感測參數的歷史曲線，以評估各感測參數間的交互影響狀況。在累積值分析部分，可顯示某一日期範圍各感測參數的累積量，以及相關的統計數據，包含感測值的最高、最低、平均、有效總累積、有效百分比、日累積百分比及夜累積百分比等資料，透過這些資料，溫室管理者可以更有效的評估作物所處的環境狀態，從而進行溫室環境的調控或管理策略的訂定。於系統設定項下，可進行包含溫室所在位置、主機位置、感測器及使用者資訊等各項設定，未來隨著感測系統布點的增加，將可同步掌握不同溫室的栽培狀況，進行有效的管理作業。

雲端資料收集分析軟體以 C#程式語言進行開發，安裝於租借自中華電信股份有限公司的雲端伺服器，作業系統及資料庫分別使用 Microsoft Window Server 及 MS-SQL。

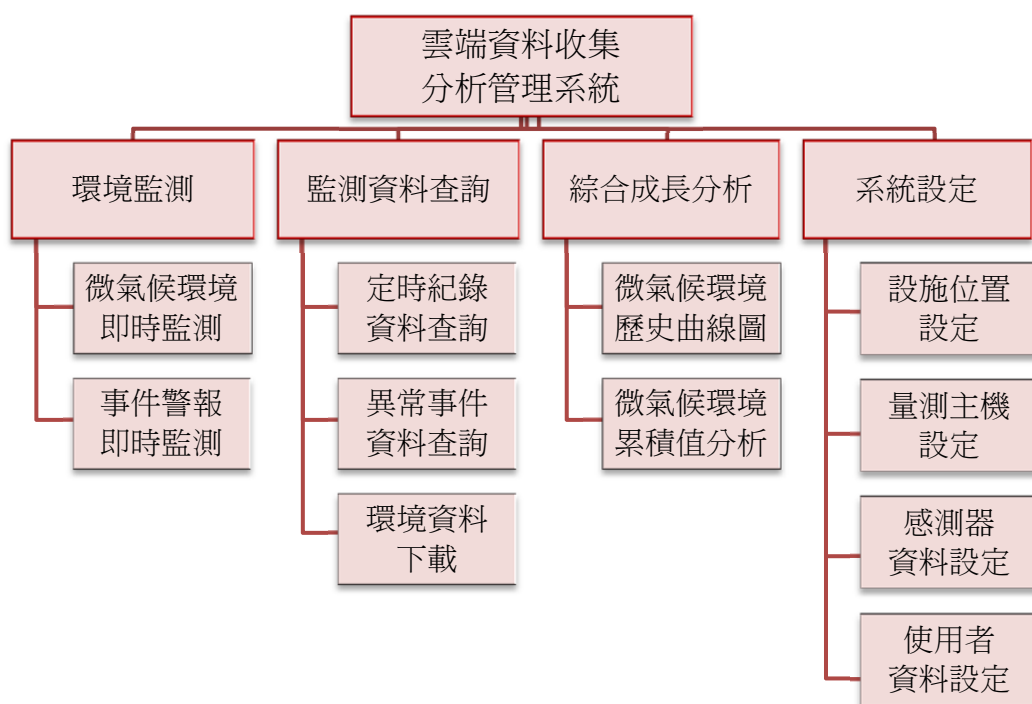


圖 7. 雲端資料收集分析管理系統架構

Fig. 7. Frame diagram of data collection and analysis for cloud service platform.

結果與討論

一、無線通訊感測系統作業與顯示

無線通訊感測系統裝置如圖 8，感測系統佈建完成後，使用者即可由遠端輸入雲端服務平台網址至平台入口頁面（圖 9），以帳號密碼進入服務平台後，首先顯示的為即時感測資料。圖 10 為架設於桃園市八德區小番茄溫室內感測主機回傳的即時感測資料，其介質含水率為 40.2%，顯示介質含水率過高，管理人員需留意滴灌系統是否正常，滴管滴流口位置是否合宜，並適度調整灌溉頻度與灌溉時間，維持合理的介質含水率，穩定作物生長。

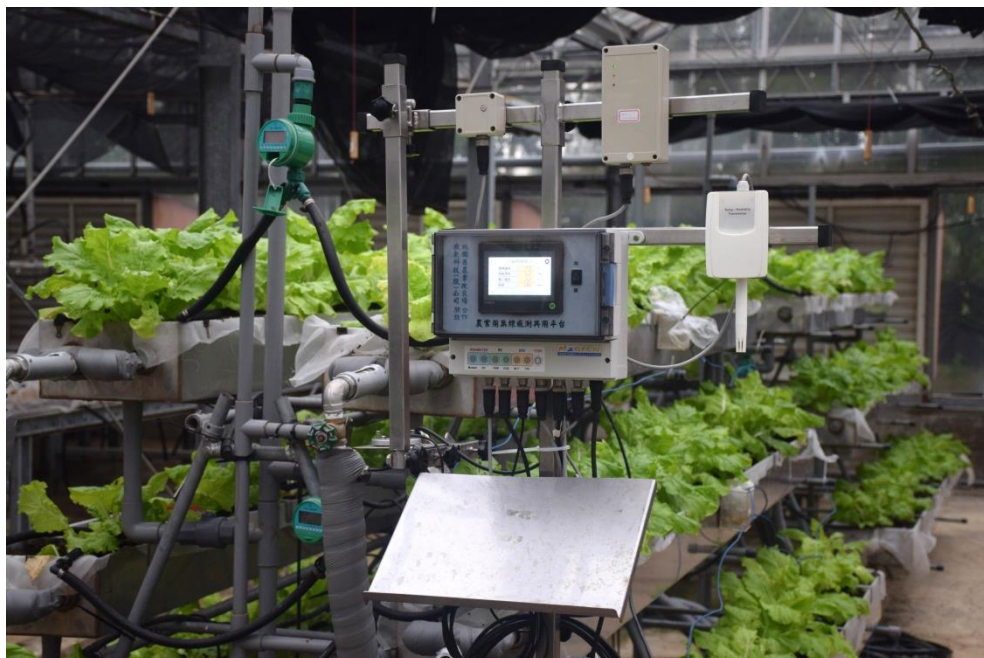


圖 8. 無線通訊感測系統

Fig. 8. Wireless communication sensing system.



圖 9. 雲端服務平台入口頁面

Fig. 9. Entrance page of the cloud service platform.

量測主機	感測器序號	感測器名稱	類別	量測值	單位	最後量測時間	狀態
 八德溫網室主機	A000002-01	溫度	溫度	24.5	℃	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-02	濕度	濕度	97.7	%RH	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-03	葉片溫度	溫度	24.8	℃	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-04	PAR	照度	6.0	$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-05	二氧化碳	二氧化碳	445.1	PPM	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-06	土壤溫度	溫度	26.7	℃	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-07	土壤水份	土壤水份	40.2	%VWC	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼
 八德溫網室主機	A000002-08	土壤電導度	電導度	580.0	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2016/6/14 下午 06:19:01	正常 ▼

圖 10. 感測主機回傳之即時感測資料

Fig. 10. Instantaneous sensed data from the sensing host.

圖 11 為歷史感測資料經運算處理後所顯示的曲線圖。在歷史曲線圖模式下，使用者可依需求選擇欲顯示曲線的日期範圍及曲線顏色，透過分析各參數長期的變化趨勢或不同參數間的交互影響，管理者可適時調整栽培方法，提供適合作物的生長環境，以穩定作物的產量與品質。圖 11 顯示溫室內各感測參數的變化趨勢。在此 1 週的時期內，下午 7 h 至上午 7 h 間有較高的相對濕度，最高相對溼度可達 98.2%。介質含水率介於 39.6%-48.7%，此值與感測器裝設的位置有重要相關性，如介質水分感測器裝設位置靠近滴流處，其所感測介質含水率會偏高，因此溫室管理者可由長期的介質含水率感測數值與作物的成長狀態，合理規劃作物所需的灌溉模式；由介質含水率的歷史曲線圖也可看出，該溫室灌溉系統每日進行 4 次灌溉作業，灌溉間隔 2 h，每次灌溉水量不大，為滴灌模式的灌溉作業方式。

在歷史曲線圖中，管理者可以依需求，選擇多個感測參數，進行相關溫室環境或植物生理現象的判讀，以提出適合自己溫室栽培的管理策略。圖 11 (e) 及 (f) 曲線顯示介質溫度及環境溫度的變化趨勢，介質溫度的升或降均較環境溫度慢，其原因可能是介質含有水分，其熱容量 (Heat Capacity) 較空氣大得多，可儲存更多熱量，因此及中午陽光大，空氣溫度上升較土溫快；而當無陽光進入溫室，空氣溫度下降也較土溫快，土溫因此維持較空氣溫度高的狀態。當此問題產生，可藉由通風方式降低土壤溫度，或採用根溫控制模組，以冷水管通入土層中，直接降低土壤溫度。

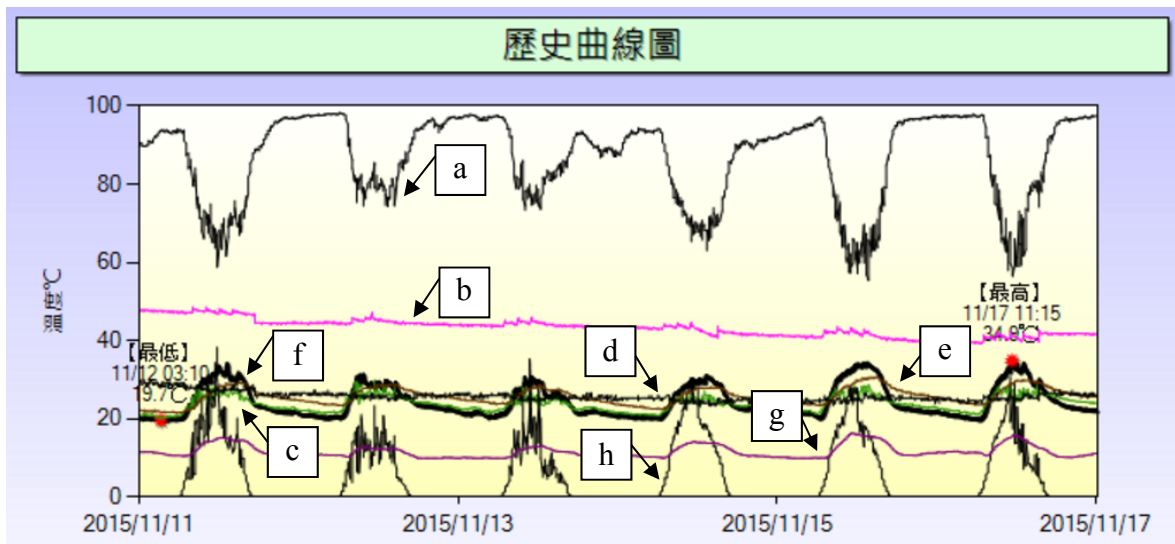


圖 11. 感測資料歷史曲線圖。(a) 相對濕度；(b) 土壤含水率；(c) 葉片溫度；(d) 土壤 EC；(e) 土壤溫度；(f) 環境溫度；(g) CO₂ 濃度；(h) PPFD

Fig. 11. Historical graphs of the sensed data. (a)relative humidity; (b)soil water content; (c)leaf temperature; (d)soil EC; (e)soil temperature; (f)environment temperature; (g)CO₂ concentration; (h)PPFD.

圖 12 為苗栗市大湖草莓溫室主機回傳之歷史曲線圖，在顯示的時間範圍內，此溫室最高溫可達 34.0°C，最低溫 19.7°C，溫差可達 14.3°C。此溫室在中午時段前後陽光大時，其 PPFD 遽增，相對溼度低，導致葉片溫度明顯高於環境溫度，且持續時間長。因此，為維持草莓較佳的生長條件，於溫度升高的前期，即需以外遮蔭減少陽光進入溫室；或可能溫室通風不佳，可使用通風設備來降低葉片溫度；再者，由於溫度上升，環境相對濕度減少，植物蒸散速率增加，因此也須適時提供水分，以避免危害作物生長。

光是影響植物生長發育的重要因子，植物生長需要一定的日累積光量 (Daily Light Integral; DLI)，其值代表每平方公尺面積 24 h 內接受 400-700 nm 波長的光量子數，此值影響植物的乾重、型態、芽根比、葉面積、花期、花苞數及花朵的發育速度 (王，2004; Faust *et al.*, 2005; Warrington and Norton, 1991)。如果知道植物所需的日累積光量，可於溫室栽培作業中，以遮蔭網及人工光源進行遮蔽與補光，提供作物每日所需的累積光量 (陳，2017)，穩定作物的生長。在雲端服務平台的微氣候環境累積值分析項中，可將溫室內每日接收的 PPFD 數值，進行累積運算與分析，如圖 13，使用者

可輸入所需累積 PPFD 的最低值及最高值，並選擇累積期間，以進行此期間 PPFD 的累積運算。

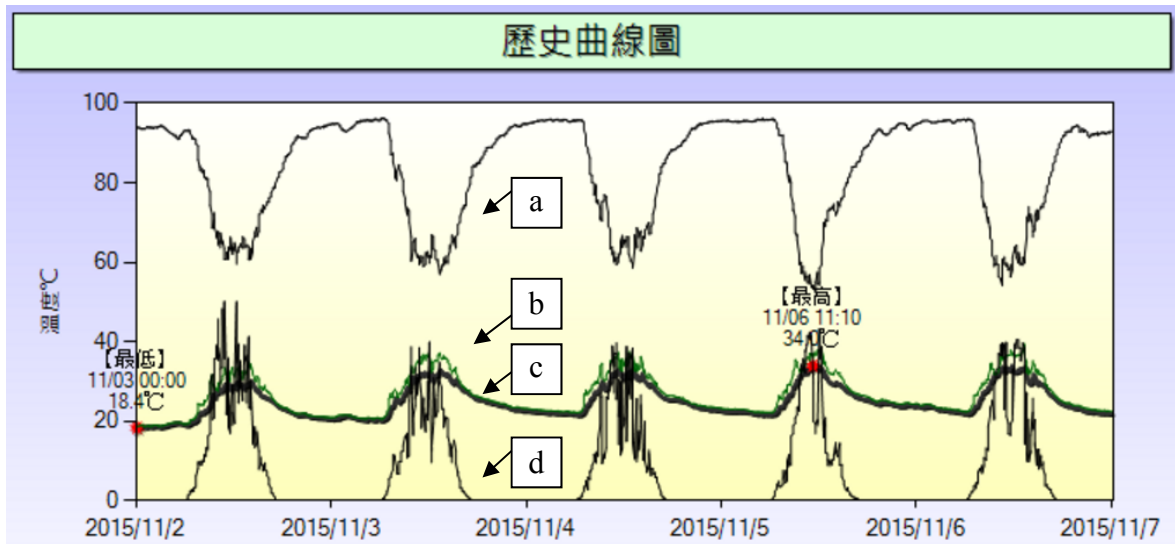


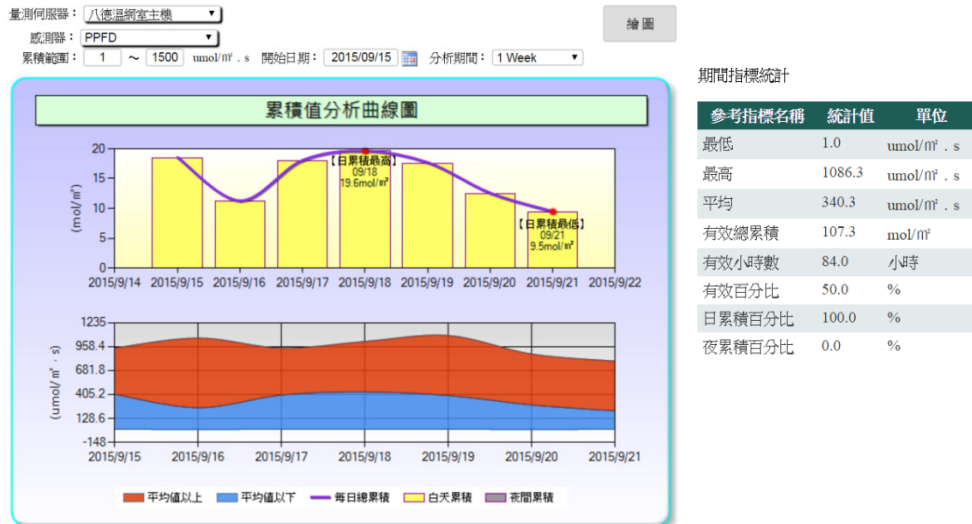
圖 12. 草莓溫室之感測資料歷史曲線圖。(a) 相對濕度；(b) 葉片溫度；(c) 環境溫度；(d) PPFD

Fig. 12. Historical graphs of the sensed data in a greenhouse cultured strawberry. (a)relative humidity; (b)leaf temperature; (c)environment temperature; (d)PPFD.

圖 13 (a) 為桃園八德網室 1 週之 PPFD 累積結果。使用者可輸入欲累積的 PPFD 值範圍為 $1\text{--}1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，經運算處理後顯示，此週內最高的 PPFD 為 $1,086.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，最高日累積光量 19.6 mol m^{-2} ，最低 9.5 mol m^{-2} ，而總累積光量 107.3 mol m^{-2} ，總光照時間 84 h；顯示此週平均每日光照 12 h，每日可提供 15.3 mol m^{-2} 的累積光量，平均 PPFD 值為 $340.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，適台中低光需求的蔬菜種植，如萵苣或菠菜等作物（李，2017）。由於系統設計使用者可任意選取起始日期及累積期間（1 週、2 週、1 個月、……），透過分析，使用者可快速了解溫室不同時期內，溫室累積光量的變化狀況，溫室管理者可更明確的評估適合的栽培作物種類及提供合理的光環境，以供作物穩定生長。

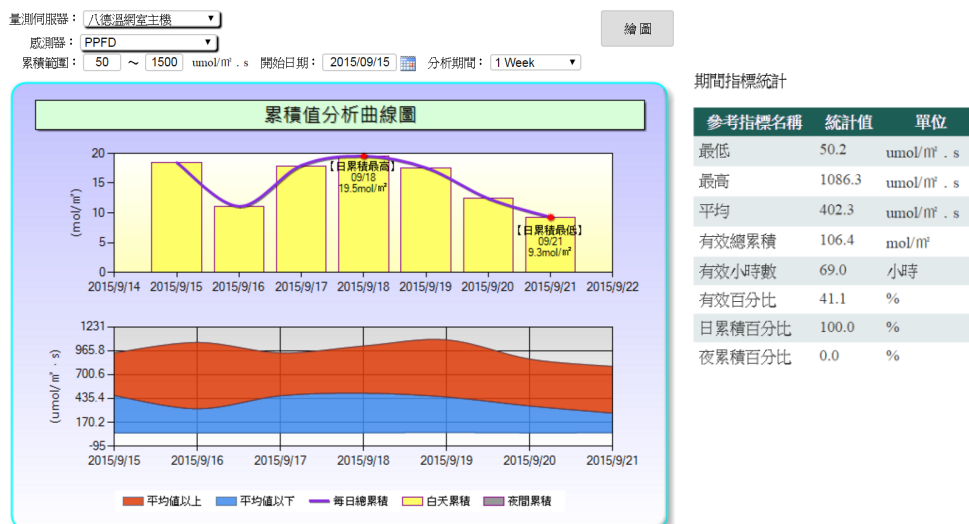
在作物栽培生產中，需有足夠的光，並使其在植物的光補償點以上，光合作用才能超過呼吸作用，植物才能累積有機物質。圖 13 (b) 是假設溫室作物的光補償點為 $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，其累積光量的狀況，顯示日累積光量最高 19.5 mol m^{-2} ，最低 9.3 mol m^{-2} ，而總累積光量 106.4 mol m^{-2} ，總光照時間 69 h；顯示此週每日有 9.9 h，光照在

$50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光補償點以上, 可提供 15.2 mol m^{-2} 的日累積光量, 平均 PPFD 值為 $402.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 此相關參數可作為作物補光需求的參考依據。如溫室日累積光量不足, 可以人工光源補充不足的日累積光量。



(a) $1-1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 範圍之日累積光量分析

(a) Analysis of the DLI in the range of $1-1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.



(b) $50-1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 範圍之日累積光量分析

(b) Analysis of the DLI in the range of $50-1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

圖 13. 1 週之 PPFD 累積分析

Fig. 13. Analysis of the PPFD accumulation in a week.

圖 14 為桃園八德網室的溫度累積及其分析結果，其溫度累積範圍設定 10-42℃，分析期間 2 個月。此期間內，溫室最高溫可達 41.9℃，最低 10.3℃，平均 24℃，日累積溫度（一天內每小時平均溫度的累積和）最高 717.8℃（日均溫 29.9℃），最低 362.3℃（日均溫 15.1℃），總累積溫度 34,573.4℃（日均溫 24℃）。如以 10℃為作物生長最低溫度，則其累積溫度為 840.6 度日（Degree Day），有 55.5%的溫度累積來自於白天的溫度，而 44.5%來自於夜晚。由於溫度是影響植物發育速度的主要因素，作物於不同生育階段均需一定的累積溫度，因此可利用此累積溫度來推算作物開花或成熟的日期。累積溫度為作物生長期間的日均溫扣除作物生長最低溫的累積和，其說明在非極端溫度狀態下，溫度對作物的影響並非瞬間反應，而是經由一段時間累積的綜合結果（陳與許，2003）。

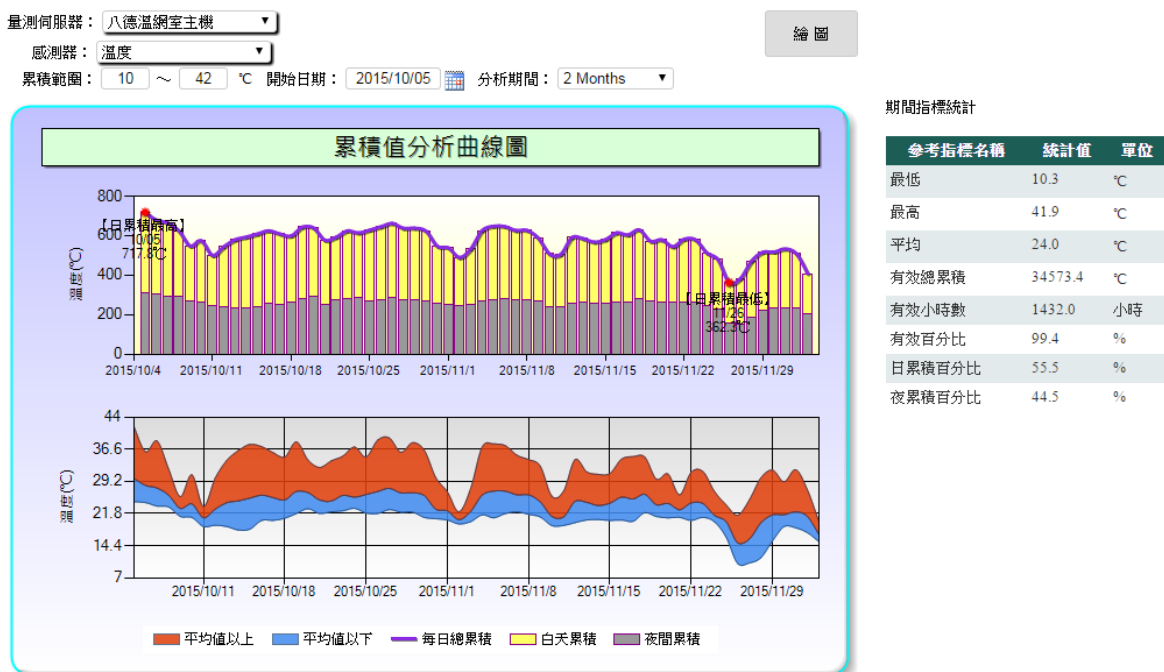


圖 14. 2 個月的累積溫度分析

Fig. 14. Analysis of the temperature accumulation in two months.

二、系統效益

本系統具有相當優勢，包含 1.插電即可使用，使用者不需調整，按下主機啟動鍵即可進行感測、訊號無線傳輸及資料上傳雲端作業；2.適用多種電壓及電流規格，以及 RS232 及 RS485 通訊介面的感測器，如圖 2，使用者可依作物種類、溫室型式及管理作業需求而增減感測器；或採用不同品牌、精度及價位的感測器，因此系統在應用上相當多元，也具彈性；3.系統利用無線網路傳送資料，使用上無距離限制；4.感測資料可即時上傳雲端服務平台，使用者可透過行動裝置隨時讀取與分析，隨時掌控溫室狀況；5.感測資料經過分析並以圖表化顯示，便於管理者進行作物成長狀態的判讀及溫室管理作業；6.管理者可經由本系統取得量化的栽培管理數據，有助於發展智慧型農場的管理模式；7.本系統可應用於農業生產代工模式，產業端只需將此系統置於代工溫室即可隨時掌握生產進度，適合農業生產全球佈局；8.經由本系統取得的大量數據，可應用於溫室控制決策系統的訂定。

誌 謝

本研究承農委會科技計畫（103 農科-14.4.1-桃-Y1 及 104 農科-16.4.1-桃-Y1）補助，特此致謝。試驗期間，感謝微眾科技股份有限公司協助系統製作與架設，本場詹德財先生、謝富英先生及林根淡先生協助測試與系統維護。

參考文獻

- 方煒。2006。田間伺服器與無線感測網路的國內外發展。作物、環境與生物資訊 3(1): 78-95。
- 王堯、宋衛堂、喬曉軍、蔣俊鵬。2004。日光溫室黃瓜乾物質累積模型研究。華中農業大學學報 Z2:78-80。
- 江昭皚、盧福明、楊恩誠、曾傳蘆。2008。無線感測器網路技術在農業害蟲監測之應用。農政與農情 194:73-76。
- 何榮祥。2008。無線通訊感測技術與農業之應用。臺中區農業改良場研究彙報 98:69-80。

- 巫芳璟、曾煜棋。2010。無線感知技術的應用。科學發展 447:28-37。
- 李香誼。2017。淺談太陽光電溫室栽培研究現況-以萵苣為例。技術服務 109:19-22。
- 吳俊德、游適彰。2011。無線感測網路在農業之應用。藥毒所專題報導 1-7。
- 翁竣鴻。2013。無線傾度感測網路(WSN)用於邊坡環境變異的適用性研究。中原大學土木工程研究所碩士論文。135pp。
- 陳加忠、許玉妹。2003。累積溫度對文心蘭開花品質之影響。農林學報 52(1):33-48。
- 張廖年峯。2009。無線感測系統於果園灌溉控制之應用研究。屏東科技大學生物機電工程所碩士論文。80pp。
- 詹岳魁、陳琦玲、吳泓書、林晉卿、侯平君、姚銘輝、許禎坤、陳建文、林朝欽。2012。農業生態系長期研究場址無線感測器網路建置。臺灣農業研究 61(4):269-284。
- 蔡依真。2011。無線感知網路(WSN)技術在農業領域上的應用成果。農政與農情 232:51-55。
- Faust, J.E., V. Holcombe, N.C. Rajapakse, and D.R. Layne. 2005. The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering. HortScience 40(3):645-649.
- Tsay J. 2015. Current status, research and development of agricultural facilities in Taiwan. Workshop on the multi-country observation of current status, research and development of agricultural facilities. TARI, Taichung. p.199-232.
- Warrington, I.J. and R.A. Norton. 1991. An evaluation of plant growth and development under various daily quantum integrals. Journal of the American Society for Horticultural Science 116(3):544-551.

Development of a Wireless Communication Sensing System Combining with Cloud Service Platform for Greenhouses ¹

Yu-Heng Wu ²

Abstract

The study developed a wireless communication sensing system combining with cloud service platform for greenhouses, which could synchronously sense 8 cultivation parameters of greenhouse crops, including the environmental temperature, humidity, CO₂ concentration, photosynthetically photon flux density, leaf temperature, soil temperature, soil water content, and soil electrical conductivity. The sensed data can be directly uploaded to the cloud service platform through a wireless network. Greenhouse managers may enter the platform using computers or mobile devices to query the real-time sensed data, the historical data, the analyzed charts and tables, and then carry out an effective cultivation and management to crops. The system can be replaced using different precision, price and brand of sensors according to the greenhouse operation requirements, which could be used in environmental monitoring for flower greenhouses, seedling centers, tissue culture rooms, and poultry buildings.

Key words: sensing system, wireless communication, cloud service platform, greenhouse

¹. Contribution No.498 from Taoyuan DARES, COA.

². Associate researcher (Corresponding author, yhwu@tydais.gov.tw), Taoyuan DARES, COA.