

以物聯網為基礎之洋菇栽培室微型監控系統研發

呂全斌

美和科技大學 資訊科技系

chuan.pin.lu@gmail.com

林晨皓

美和科技大學 資訊科技系

xup6tp6cl4@gmail.com

摘要

如何讓菇類產量穩定、品質穩定，一直是菇農所追求的目標。環境溫度、濕度與二氧化碳，這三項元素關係到洋菇生長的結果，其中二氧化碳決定了洋菇體型大小，這也決定了洋菇本身的賣價；為此，本研究針對洋菇栽培環境條件控制來研發一以物聯網為基礎之洋菇栽培室微型監控系統，此系統功用在於量測與儲存環境的三項訊息，以及進行環境中二氧化碳的控制，現階段透過二氧化碳量的控制來穩定洋菇體型大小，目前市面上尚未有此類系統被研發出。此系統硬體架構包含一嵌入式系統、微處理器控制板、空間與土壤溫溼度感測器、二氧化碳感測器、Wi-Fi 與 RS485 通訊器；為了方便於多個栽培室進行實驗，本系統硬體設計為可移動式之型態。此微型監控系統可進行環境條件監控之外，也提供外部連線讀取環境狀況、以及警示訊息推播，透過 UDP 通訊將環境訊息傳送至整廠主資訊收集系統，實現物聯網與智慧生產目標。本文章於方法章節說明本系統軟硬體架構與功能，同時也展現本系統針對景湍洋菇農場所設計之監測系統與二氧化碳控制系統，於文章的成果展示部分則顯示本系統的實用性。

關鍵詞：智慧農業、農業 4.0、嵌入式系統、智慧生產、系統控制。

Abstract

Stability in mushroom production and quality has always been an objective for mushroom growers. Temperature, humidity, and the amount of carbon dioxide in the environment are three factors that affect the growth of the common mushroom. The amount of carbon dioxide determines the size of the mushroom, which in turn determines the valuation of the mushroom. For this reason, this study developed a micro-monitoring system based on the Internet of Things (IoT) to control mushroom cultivation environments and conditions in mushroom cul-

tivation rooms. This system measures and collects the aforementioned three types of environmental data and controls carbon dioxide levels within the environment. Mushroom size is stabilized through control of carbon dioxide levels. Currently, there are no similar systems available on the market. The system hardware includes an embedded system, a microprocessor control board, temperature and humidity sensors for air and soil, a carbon dioxide sensor, and Wi-Fi and RS485 communications to facilitate running the experiment in multiple cultivation rooms. The system hardware is designed to be portable. In addition to monitoring environmental conditions, the micro-monitoring system provides external connections to obtain environmental conditions and issue warning notifications. Using UDP communication, environmental data can be sent to a farm owner's data collection center to implement IoT and smart daily production goals. The methods section of this paper describes the structure and functions of the system software and hardware. It also collects the real time data collection of Ying-Tuan mushroom farm as well as the carbon dioxide control system. The experimental section of the paper establishes the practicality of the system.

Keywords: smart-agriculture, agriculture 4.0, embedded system, intelligent agriculture production, system control.

一、前言

農業一直是我國相當重要且無法被進口取代的產業，只要遇到全球糧食危機，在自由貿易實施與糧食自給率過低的情況下，將必須付出高代價來向國外購買所需的糧食。全球氣候暖化所形成的天然災害與作物蟲害，也嚴重影響許多農作物的採收，這些問題成為我國在提升農產技術後必須解決的當務之急[1]。農業人力短缺、農民高齡化、環境氣候劣化，這三項問題必須解決，才能讓我國農業邁向效能、安全與降低風險的新農業時代。農業必須提升至智慧生產與數位服務的型態，藉由感測技術、智能機器裝置、物聯網、大數據分析等前瞻技術，也就是所謂的農業 4.0[2]。

農業領航產業的其中一項重點為"精緻農業產業[3]: 菇類全環控智慧化生產", 如何讓菇類產量與品質穩定, 一直是農民所追求的目標。其中, 洋菇生長的环境溫度、濕度與二氧化碳, 這三項元素關係到洋菇的生長, 二氧化碳決定了洋菇的大小, 而洋菇的大小也決定了賣價與摘取成本。蕈傘未爆開的洋菇, 越大賣價越好, 反之越小賣價越差; 此外, 在摘取成本而言, 以同樣的菇床栽種面積來評估, 體型較小洋菇得花上許多次數來摘取; 反之, 大洋菇只需較少次數來摘取。雖說體型大的洋菇似乎生產價值較高, 但還是得視市場喜好來決定, 因此, 如何利用環境控制來決定洋菇大小才是最佳做法。洋菇生長因子與大多的農作物生長因子[4]相同, 但以洋菇成長環境之精密控制系統, 在市場上仍無此研發。另外, 現階段市場所研發的感測裝置, 提供數據對於農民是不夠的, 依農民長時間的忙於栽種農作物, 無法頻繁觀看其監測數據, 這類的裝置將無法發揮其最大功能, 若能透過行動裝置來呈現監控狀況, 且自動發出警示訊息來通知農民, 便能全心全意的專注於務農作業。

為此, 本研究針對洋菇栽培環境條件控制來研發以物聯網[5]為基礎之洋菇栽培室微型監控系統, 此系統功用在於量測與儲存環境的三項訊息, 以及進行環境中二氧化碳的控制, 現階段透過二氧化碳量的控制來穩定洋菇體型大小, 目前市面上尚未有此類系統被研發出。此系統硬體架構包含嵌入式系統、微處理器控制板、空間與土壤溫溼度感測器、二氧化碳感測器、Wi-Fi 與 RS485 通訊器; 為了方便於多個栽培室進行實驗, 本系統硬體設計為可移動式之型態, 此微型監控系統核心為嵌入式系統, 設置有 Raspbian Linux 作業系統[6]、Node.js[7] 服務器、PI(比例積分)控制器, Linux 作業系統是為系統平台, 並使用 Node.js 建置網站服務器提供跨平台人機介面、通訊整合與訊息推播機制; 而微處理器控制板則進行感測器資料收集與鼓風爐運轉控制, 微處理器依據收集到的二氧化碳量進行 PI 控制[8], 讓環境二氧化碳能維持在最佳的範圍內(800ppm±50)。此微型監控系統除了可進行環境條件監控以外, 也提供外部連線讀取環境狀況、以及警示訊息推播, 透過 UDP 通訊將環境訊息傳送至整廠主資訊收集系統, 實現物聯網與智慧生產目標。

本文章於方法章節說明本系統軟硬體架構與功能, 同時也展現本系統針對景湍洋菇農場所設計之監測系統與二氧化碳控制系統, 於文章的成果展示部分則顯示本系統的實用性。

二、方法

(一) 洋菇生長條件監測

孕育洋菇生長條件必須具備以下六項[9]: 營養、溫度、濕度、土壤酸鹼度、陽光和二氧化碳, 洋菇營養與一般食用菇菌類相同, 有水分、碳源、氮源、無機鹽類和生長素等成分, 涵蓋範圍甚廣; 其中, 溫度是培育洋菇中最重要的因素, 可生長之攝氏溫度範圍為 7 至 22 度間(一般應該低於 20 度較佳), 最適溫度為 12 至 16 度間, 屬於中低溫型菇。若在最適溫度間環境中生長, 其洋菇發育正常, 菌柄短狀且菌蓋厚實; 反之, 在小於 12 度的環境中, 生長趨於緩慢, 生產量便會減少; 而小於 5 度將會停止生長。若是溫度高於 18 度, 菌蓋會質薄, 導致品質不佳, 當溫度到達 20 度以上時, 也會使洋菇停止生長, 甚至死亡。而對於洋菇而言, 水分在生長過程當中也占了相當的比重, 水分來源主要來自於土壤以及空氣之中, 土壤濕度以 40 至 50% 為佳; 空氣相對溼度以 85 至 90% 為佳。而土壤部分, 弱酸性的土壤環境是最適合洋菇生長, 但在生長過程中洋菇會產生有機酸, 使得土壤酸鹼度控制不易, 需添加碳酸鈣和消石灰來中和緩衝土壤酸鹼度。然而, 洋菇沒有葉綠素, 無法行光合作用, 因此不需要陽光照射, 但若陽光直射菇床, 溫度上升, 進而導致濕度下降, 將會影響生長。在菇寮環境裡, 洋菇會排放大量二氧化碳於空氣中, 當菇寮中二氧化碳濃度大於 1% 時, 將導致品質降低風險上升, 若持續累積大於 5% 時, 則生長將會受阻; 所以, 栽培洋菇每一環節都要十分小心, 更需要監測系統來協助菇農來栽培洋菇。

(二) 監控系統與硬體配置

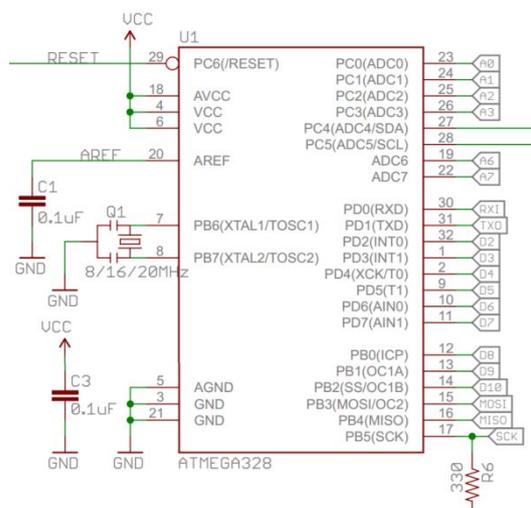
● 微型控制系統電路設計

微控制器: ATmega328P

近幾年來, ATmega328P 晶片[10]是一種微控制器(簡稱 MCU, Micro Controller Unit), 是 Atmel AVR 系列的晶片, 因為導入的 Arduino 架構[11]受到許多學習者的喜愛, 原因是 Arduino 架構有搭配的 IDE 工具, 學習者可以直接以 C 語言來撰寫韌體, 大幅度降低了開發的難度, 再加上許多感測器模組的搭配, 使得過去難懂的電子電路, 變成電子積木一般的容易接受, 也因此許多創新的想法就開始使用了 MCU 來實現。另外, 過去的 MCU 必須透過 AVR ISP(In-System Programmer)裝置來進行韌體燒錄, 在 Arduino 開發者設計了 Bootloader 之後, 韌體就可以直接透過 IDE 工具與 TTL 串列通訊寫錄至晶片。ATmega328P 是一 16 MHz 處理速度的 8-bit 微

處理器，設置有 1 KByte EEPROM，14 個數位 IO 與 6 個類比 IO 腳位(10 bits A2D 的訊號轉換)，6 個腳位可支援 PWM 訊號(Pulse Width Modulation)(Pins 3, 5, 6, 9, 10 與 11)，支援一個 SPI (Serial Peripheral Interface)通訊協定(Pins 10, 11, 12, 13)。

PWM 訊號[12]是一種透過數位方式來產生類比訊號的一種作法，這種方式相當適合使用在數位型態的 MCU，決定 PWM 訊號所產生的電壓是訊號的工作週期，該週期所描述的是訊號中邏輯高準位所占的時間，以及完成一個訊號週期的比例。舉例說明：ATmega328P 晶片可輸出 5V 的 PWM 訊號，若要輸出 2V 的訊號，則需定義一個工作週期 40% 的 5V 訊號；在指令上可以使用 analogWrite(N)來產生 PWM 訊號，其中 N=0~255 之間，要輸出 2V 的訊號 analogWrite(102)。此系統使用 ATmega328P 晶片的 PWM 訊號來控制 DC 排風機轉速，當洋菇栽培室的二氧化碳過多時，則隨時調整排風機轉速(如變頻一般作法)以符合環境空氣品質最佳化，使用此作法的優點是馬達控制的成本較低，同時在也較一般交流馬達來得更省電。目前景湍洋菇農場所裝設的排風機是為常見的交流三相馬達排風機，要控制交流三相馬達只能透過加裝變頻器，而控制器也得另外裝設；若改用伺服馬達，整體排風機的成本又會高出 6 倍以上，另外同樣也需要裝設 PLC 控制器來控制轉速，成本更高。在改裝 DC 排風機與本研究設計之控制器之後，比較之下，排風機電能消耗將大幅下降，控制器成本也相當低廉，排風機動能也並無任何耗損。現階段我們直接採用 Arduino Pro Mini 開發板來進行開發。圖一為 ATmega328P 腳位圖。



圖一、ATmega328P 腳位圖(以 Arduino Pro Mini 為例)[11]
嵌入式系統：ARM Cortex-A53

(Raspberry Pi 3、Raspbian 與 Node.js)

由於，本研究是以微型系統硬體為主要的架構，希望透過低成本，以及小型硬體來做到單一環境監測與控制的目標，因此在監控裝置的開發上排除 x86 硬體架構，而改用較低成本 SoC 晶片為裝置核心，由於此裝置需能提供跨平台的人機介面，以及提供訊息推播服務，硬體需要一定程度的性能才行，經過許多評估找到 Raspberry Pi 3 Compute Module Development Kit [13]來做為此應用的核心控制裝置，該模組所配備的 SoC 為 Broadcom BCM2837 晶片(內含 1.2 GHz 64-bit quad-core ARM Cortex-A53 CPU + Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor; Open GL ES 2.0; hardware-accelerated OpenVG; 1080p60 H.264 high-profile decode)、1GB LPDDR2 記憶體(和 GPU 共享)，HDMI 視訊輸出，同時設置有 microSD 儲存模組、藍芽通訊 Bluetooth 4.1、Wireless 802.11n、40 個 GPIO 腳位、4 個 USB2.0 的通訊介面、10/100 RJ45 Ethernet 通訊埠、低功耗約 0.5W~1W；此晶片可以裝載容量小且支援浮點運算與提供多媒體服務的 Embedded Linux 作業系統，Embedded Linux 是以 Desktop Linux 為基礎的小型作業系統[14]，目前被廣泛的使用在網路通訊設備、智慧型行動電話、移動式車機、媒體播放器與許多的消費性電子產品。

在過去，嵌入式系統應用程式通常都是使用專用的組合語言程式碼來進行開發，此外，開發者也必須撰寫所有的硬體驅動程式以及人機介面，這一點讓許多初學的工程師或學生不願投入開發；近幾年來，有賴於資訊技術的進步，現在多了許多程式語言的選擇，如 C++、Java、JavaScript 等，而這些進步使得更多的資訊工程師願意投入相關產品的開發，也讓嵌入式系統的應用更為廣泛了。Raspbian[15]是一個小型嵌入式 Open Source 的 Linux 作業系統，是由 Thompson and Green 所開發出，Raspbian 的基礎為 Debian 系統的延伸；Thompson and Green 針對 Raspberry Pi 的硬體對 Debian 系統進行了專門的優化和移植，這樣的作業系統可以為此裝置提供一個既完整且輕量的運算平台。這樣的平台也是針對 ARM 嵌入式系統晶片 Raspberry Pi 開發板所設定，Raspbian 主要是修正 Debian Linux 作業系統並進行了優化，讓 Embedded Linux 系統能夠為在 Raspberry Pi 硬體上來執行。Raspbian 不僅能進行系統人機介面的操作，它同時也提供了 35,000 軟體模組，在使用便利性上可以說是相當高，Raspbian 系統仍在積極提高系統的穩定性，以及盡增加可用的 Debian 軟體模組與支援度；Raspbian 所使用的桌面為 Mate，Mate 是一個

直觀和有吸引力的桌面，在開發上提供了許多的便利性；基於以上這些原因，我們選擇 Raspbian 來作為此裝置的作業系統。

Web 後端服務關聯著與 Web 系統通訊，以及提供資料的運算、資料庫存取、硬體 IO 讀寫，後端服務可以說是訊息處理的核心，現階段能實現後端服務的架構有以下幾種，如 Python、PHP、Ruby、Node.js、Erlang、Scala、Clojure、Mono...等，各種架構都有其優點；其中，Node.js 是一個開放原始碼的應用程式框架[7,16]，同時也是一事件驅動 IO 伺服器為基礎的 JavaScript 環境，同時使用 Google 所發展的高效能 V8 JavaScript 引擎，主要功能為提供撰寫可擴充 Web 網路服務程式；Node.js 主要的程式架構是為 JavaScript，而 JavaScript 亦為前端介面程式的其中一種(HTML、CSS、JavaScript)，因此使用 Node.js 進行後端程式開發可以不須使用另一種程式架構，降低開發技術門檻進而提升開發速度。除此之外，Node.js 架構可以讓傳統的 JavaScript 跳脫瀏覽器的環境，在任何地方執行，同時配合 V8 JavaScript 引擎，在現今伺服器的雲端應用上可以有相當優越的效能表現。更重要的是由於 JavaScript 語言的特性，其應用程式執行時不會因為硬體設備或其它因素的延遲與等待而影響到整個程式的執行，讓程式非常輕盈，因此，相當適合非高效能、低功耗的嵌入式系統硬體來使用，目前投入 Node.js 開發的企業除了 Google 之外，還有 LinkedIn、Microsoft、Yahoo、eBay...等企業；基於上述的原因，我們選擇 Node.js 來作為此裝置的 Web 後端系統。

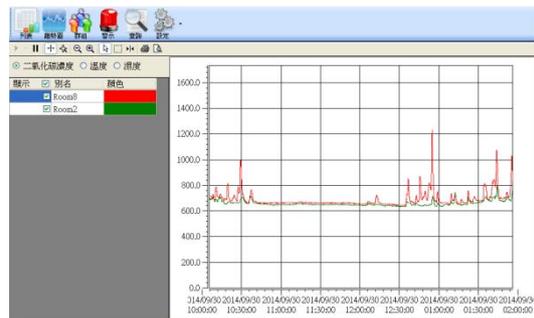


圖二、Raspberry PI 3 控制板

● 感測器

A. 工業級資料紀錄器：工業級資料紀錄器功能為二氧化碳、環境溫度、環境相對濕度以及露點溫度的資料提供，符合了我們洋菇生長需求的環境監測。工業級資料紀錄器是以 RS485 通信界面作為通訊，其中有三種通訊協定可供選擇，分別為 ModbusRTU、DCON 與 DCONChkSum 通訊協定。MODICON[17]公司

為自己所生產的 PLC(可程式邏輯控制器)所開發的 Modbus 通訊協定，後來廣泛為工業界所使用。其中 Modbus RTU 是以 Binary 的方式來傳輸；則 DCON 是一個以 ASCII 字串為基礎，相對簡單且容易使用的通訊協定；DCON 與 DCONChkSum 的不同在於 DCONChk-Sum 加入了 Checksum 機制，Checksum 機制廣泛運用於通訊或其他序列傳輸的系統中，來校驗其傳輸封包，提供一定的可靠性。最後，我們使用 ModbusRTU 來作為通訊協定，以 Binary 方式傳輸，在計算過程中較為容易。



圖三、綜合型感測器(二氧化碳濃度/溫度/濕度/露點溫度量測) [18]

B. 土壤介質感測器：水分對洋菇的生長過程中也占了相當比重，水分來源主要來自於土壤以及空氣之中，土壤濕度以 40 至 50% 為佳；此外，雖然文獻指出空間溫度會影響到洋菇生長，但實際上土壤溫度也是相當重要的因素，所以研究中使用土壤介質感測器來量測土壤溫度與濕度兩項條件。由於實驗環境溫度低且潮濕，感測器必須具備防水功能才能在此環境當中運行，此裝置具有工業等級防護的抗紫外線 UV 及防水/防塵 IP66 等級的規格，IP66 指電器能夠防止外物侵入，灰塵也能夠阻擋，甚至可以承受猛烈的海浪沖擊或強烈水柱，使得進水量應不致達到有害的影響，因此，此裝置可確保在洋菇栽種環境中能穩定的運作。



圖四、洋菇栽種土壤與土壤介質感測器

C. Wi-Fi 通訊器、資料處理器、通訊轉換器

由於本研究所開發之微型監控系統主要功能在現場環境的資料收集、二氧化碳控制、遠端監看與訊息推播，控制核心裝置的性能並不如工業電腦，因此，資料的儲存與進一步分析還是必須依賴資料採集與監控系統 (Supervisory Control and Data Acquisition, 簡稱 SCADA), SCADA 系統一般是有監控程式及資料收集能力的電腦控制系統，微型監控系統已經是一能獨立運作系統，但並非是以大量資料儲存為目的，因此在監控裝置的配置上配置了 Wi-Fi 通訊器與資料處理器。所謂的資料處理器在此為 RS-485 集線器 (泓格 LC-485) [18], 本裝置所使用的是具有 4 通道的 RS-485 接口，可以同時接收四個 RS-485 通訊的感測器送訊息，也由於 RS-485 輸出可以以並聯方式送出，所以可以併接多個訊號接收裝置；在此裝置除了接微型控制系統控制板之外，另一個就是接 Wi-Fi 通訊器。通訊轉換器 (泓格 tGW-715i) [18] 具有 Modbus/UDP 轉 Modbus/RTU 的閘道器功能，能使具有 Modbus/UDP 的主機，以及序列接口的 Modbus RTU 設備透過網路來進行通訊。而此模組可以建立配對連接。在配對連接設定完成後，便可在二台 Modbus RTU/ASCII 設備間透過 UDP/IP 通訊協定，在電腦主機、伺服器或其它無乙太網路功能的 Modbus RTU/ASCII 串列設備之間建立連結，傳輸資料或控制設備。本裝置所使用的 Wi-Fi 通訊器 (泓格 WF-2571) [18] 支援 AP 與 Ad-hoc 無線通訊模式來連結 WLAN。

(三) 控制器設計原理

● PID 控制器

一個控制系統除了被控程序外，最主要還要有一個適當的控制器、適用的感測器與訊號迴路等軟硬體，如何針對被控程序的特性來設計一控制器是個重要的工作，好的控制器設計，能讓系統性能達成我們所要的目標；反之，系統性能可能產生不穩定甚至出現發散 (Divergence) 的現象，在面對實際的系統上，如何做好完善的設計就有賴於模擬工程的應

用了，模擬做得完整將來放到實際的系統上也不會有太大的差距。PID 控制器 [8] 是一種常見於工業控制應用中的閉迴路控制器 (Close Loop)，此控制器原理為控制器利用收集到的數據與目標值進行比較，比較後所計算出差異值，此差異值則用於計算修正接下來新的輸入值，而該新的輸入值則可以讓系統的輸出朝目標值接近或持續維持在目標值。PID 控制器可以根據先前累積的數據與差異的出現率來進行輸入值調整，使系統更加準確而穩定。因此此研究即針對洋菇生長環境空氣中的二氧化碳來做進行一連串的控制測試，並分析在不同控制調協下的系統的性能響應，並找出最佳的控制性能。以期將二氧化碳的濃度控制在一定的數值之中，方便農民或菌類養殖專家能掌握有利洋菇生長的條件。

在這裡我們將討論 PID 控制器在閉迴路架構下的應用，傳統的閉迴路回饋控制架構如圖五所示，我們可由圖五中不難發現到，PID 控制器是由三個控制元件所組成的，其個別的特性分述如下：

P 比例控制 (Proportional Control)

比例控制動作是藉由增益的改變，來調整系統的相對穩定度與穩態誤差，增益變大可以降低穩態上的誤差，但會相對的增加系統的不穩定性。

I. 積分控制 (Integral Control)

當比例控制對系統來說有不足時，則必須有另外動態補償能力的控制動作才行，如積分控制 (微分控制)，積分控制主要是可以消除穩態誤差，有利於雜訊的抑制，經常和比例控制搭配應用。

D. 微分控制 (Derivative Control)

微分控制可改善系統的阻尼特性與暫態響應，主要的功能是預期誤差走向的功用，若是系統有明顯的干擾或雜訊時，微分控制反而會造成系統的不穩定，因此經常是和比例、積分控制一起使用。

$$G_c = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (1)$$

G_c : 控制器轉移函數

K_c : 比例增益

τ_i : 積分時間

τ_d : 微分時間

由圖六中我們可發現控制器與誤差之間關係

$$u(s) = G_c(s) \varepsilon(s) \quad (2)$$

將 PID 控制表示成離散型態 (Position Form) 方程式 (3)，用來模擬實際控制現象：

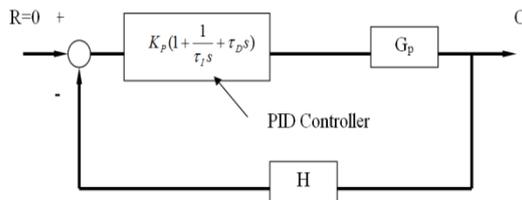
$$u(z) = K_c \left[\varepsilon(z) + \frac{\Delta t}{\tau_i} \left(\frac{1}{1-z^{-1}} \right) \varepsilon(z) + \frac{\tau_D}{\Delta t} (1-z^{-1}) \varepsilon(z) \right] \quad (3)$$

$u(z)$ ：控制器輸出

$\varepsilon(z)$ ：系統誤差值

Δt ：取樣時間

以上為 PID 控制器的表示式。



圖五、閉迴路下的 PID 控制器架構

其圖六中的控制系統程式執行流程：

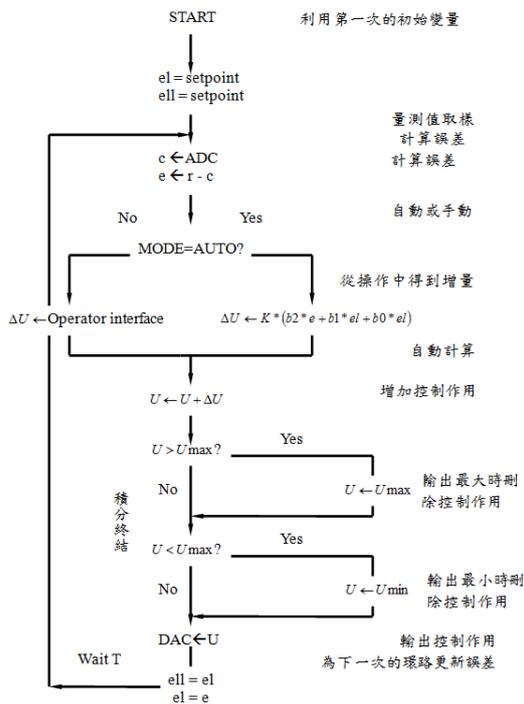
e = Error ; e(i) (i=1,2,3.....)

el = e(i-1) ; ell = e(i-2)

R : Setpoint ; C : System Output

ADC : 類比訊號轉數位處理

DAC : 數位訊號轉類比處理



圖六、控制系統程式執行流程

● Ziegler-Nichols Tuning 協調方法

此種應用在 PID 控制器調協參數的法則，經常應用在工業界中，在設計控制器上也是一種比較的標準，這種調協方法是由 Ziegler 與 Nichols 在 1942 所提出[8]，其中參數設計的原

則是以步階響應下，過衝量呈現四分之一衰減為目標，在此調協法中存在著兩種方法，其敘述如下：

■ 方法一：透過實驗，找出系統對步階輸入訊號的響應，使用此法有一限制，控制的系統必須不包括主導共軛複數極點，響應曲線必須呈現 S 型才行。

■ 方法二：在第二種型式下，我們先假設 $\tau_i = \infty$ 與 $\tau_D = 0$ ，在閉迴路控制架構下僅用比例控制，利用調整 K_c 的方法，將系統調至臨界振盪的型式，此時的 K_{cr} 是使系統首次呈現持續振盪的增益值，如果不論怎樣選取 K_c 的值，系統都無法呈現出振盪的型式，則不能使用此法。在找出臨界增益 K_{cr} 之後，即可找出相對應的週期 P_{cr} ，並將 K_{cr} 與 P_{cr} 帶入公式[]來確定 K_c 、 τ_i 、 τ_D 的值。

本研究所使用的控制器以 PI 控制器為主，輸入為二氧化碳濃度，控制器控制參數為排風機轉速(電壓值輸出)與二氧化碳鋼瓶排氣控制閥(開啟時間)，量測值為二氧化碳濃度，由於二氧化碳濃度控制反應需要一些時間，不適合使用微分控制來提升暫態響應。另外，PI 參數的調整上則直接使用 Ziegler-Nichols Tuning 方式來決定 K_c 與 τ_i 參數。

(四) 智慧型手機應用程式

為了能讓此系統能主動傳送訊息至管理者，我們也設計智慧型手機應用程式(簡稱 App)來遠端讀取裝置當下環境數據與接收推播訊息，現階段 App 的開發大部分都需要依據手機作業系統的類型，來選擇相對應的開發工具與程式語言，這一點對許多開發者感到相當困擾，為了一個特定 App 的開發，必須有三個熟悉不同行動裝置作業系統的工程師來完成，其成本相當高。為了能做到跨平台的目的，讓所有作業系統都能使用的 App，近幾年來，有一種新的混合式作法(Hybrid App)被提出來[19]，這樣的開發是將原生程式結合 HTML5[20]製作出一種 App，這種做法的優勢是可以降低 App 開發的難度，擴增 App 的延伸性，同時也可以快速的編譯出三種作業系統所需的 App，不須完整熟悉各作業系統的原生程式語言。這一類的 App 主要是透過 Apache Cordova[21]的 API 函式庫來建置，Apache Cordova 提供了能夠直接存取智慧型手機硬體元件的 API 函式，這對 App 開發者而言可說是一大福音。由於本裝置定位在物聯網架構下，App 不須進行大量運算，只需與洋菇栽培室微型監控系統進行遠端監看，再加上能讓不同平台上的 App 與該裝置進行通訊，所以我們選擇採用混合型態的 App 開發(原生程式加上

HTML5 架構)，使用工具為 Sublime Text[22] 與 Phonegap[19]編譯 IDE。

三、實作成果

(一) 微型控制系統電路設計

本研究所開發的洋菇栽培室微型控制系統，主要是以 ATmega328P 微控制器為主要控制核心，搭配 ARM Cortex-A53 微處理器來提供系統遠端 Web 化的人機介面與推播訊息處理，其量測洋菇栽種環境的二氧化碳、溫度、濕度與培養土的溫濕度數值則由多項感測器來進行讀取，而這些數值也同步透過 UDP 通訊協定，以 Socket 方式傳至遠端 SCADA 系統進行進一步的資料儲存；另外，排風機轉速與二氧化碳氣瓶控制閥開啟時間則由 ATmega328P 微控制器來進行控制；整體系統設備電路規劃如圖七所示。

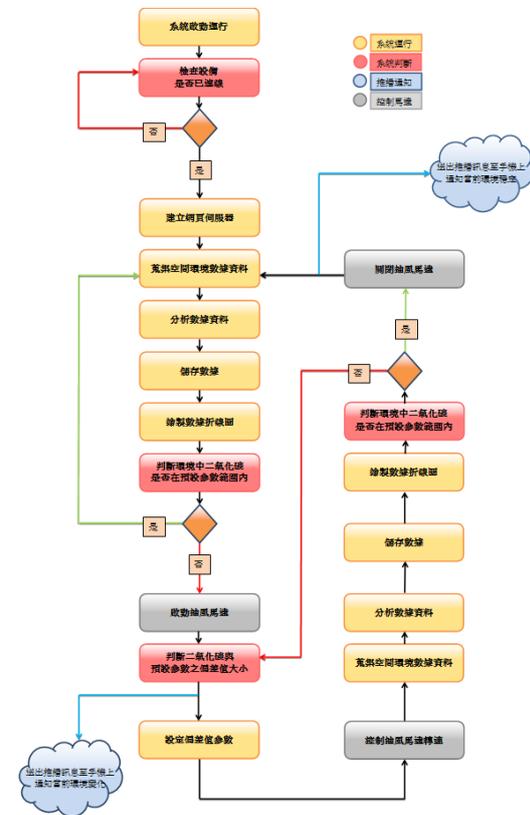
(二) 微型監控系統硬體配置

為了增加讓整個系統的使用彈性與實驗方便性，我們將裝置設計為可移動式方式，並以配電盤型態來擺設微型系統控制板、感測器、顯示器與讀取器，同時也設計一栽培室溫濕度讀取箱，延長系統硬體壽命。這樣做的原因是因為洋菇栽培室的濕度較高，較不利於電子元件；因此，能放置在培養土與栽培室內的感測器都必須有 IP66 以上等級的要求。微型監控系統硬體配置圖如圖八所示。

(三) 裝置作動流程

系統整體流程程序從電源啟動開始，系統 ATmega328P 微控制器等待 30 秒之後，開始逐一進行裝置連結檢測，逐一向每個感測器傳送 Modbus RTU 基本指令，並等待感測器單元訊息的回應，所獲得之回應則放入對應 Lookup 表中，檢查完後則將 Lookup 表內的資料傳送至嵌入式系統 Node.js 網站後端，Web 化的人機介面則會即時更新頁面資訊，以呈現出最即時的裝置內各單元狀態，當裝置單元有異常狀態(也就是無訊息回應時)，網站後端則會發出推播訊息至智慧手機 App 上，提醒使用者注意。當微控制器在進行感測器單元通訊檢查的同時，ARM Cortex-A53 微處理器亦會進行嵌入式 Linux 作業系統與網站服務的初始化程序，並完成網站系統的服務機制，等待 ATmega328P 控制核心開始傳送感測器資料。為了能讓使用者了解洋菇栽培室一段時間的參數變化，本研究所開發的後端網站系統會保留 8 小時的資料，以供使用者進行環境變化觀察。其中，當二氧化碳超出設定範圍時，控制核心即會啟動排風機，將室外空氣強制注入在

種室內，藉此來降低二氧化碳濃度；一旦達到設定二氧化碳濃度範圍內則停止排風機啟動，而排風機的控制則是由 PI 控制器來進行驅動；反之，二氧化碳濃度不足時，則開啟氣瓶控制閥，排放二氧化碳，讓洋菇栽培室的二氧化碳濃度總是維持在一定的比值內。流程示意圖如圖九所示。



圖九、系統作動流程圖

(四) 智慧型手機應用程式

在物聯網的架構下，裝置主動傳送重要訊息給使用者是一項重要的機制，另外，能讓使用者透過智慧手機隨時掌控物聯網設備的訊息也是一項指標性的功能，所以本研究也開發了 Web 型態 App 來連結與遠端設定此系統，為了考量智慧手機的螢幕尺寸，App 介面以可能做到簡單、易操作、圖形乾淨為設計目標。共設計四個功能頁面，分別是主選項頁面、設定頁面、裝置狀態異常訊息顯示頁面，以及二氧化碳與溫濕度訊號變化曲線觀察頁面，最後是推播訊息，頁面如圖十智慧手機應用程式介面所示。

(五) 遠端 SCADA 系統監測介面

遠端 SCADA 系統主要負責儲存大量歷史資料，以及提供資料庫資料儲存與檢索，因此在 SCADA 系統上必須安裝網路型資料庫，以及客製化 SCADA 系統軟體，本研究所開發

SCADA 系統軟體是使用 Code Gear C++ Builder IDE 所撰寫，配合使用 2014 SQL Server Express Database。所設計的 SCADA 系統介面如圖十一所示。

四、結論與未來工作

本研究研發一以物聯網為基礎之洋菇栽培室微型監控系統，並用於量測與儲存洋菇栽培室環境的三項訊息，以及進行環境中二氧化碳的控制，以期能掌控洋菇體型大小。此系統硬體使用嵌入式系統、微處理器控制板、以及整合了土壤溫溼度感測器、二氧化碳感測器、Wi-Fi 與 RS485 通訊器等裝置；為了方便於多個栽培室進行實驗，本系統硬體設計為可移動式之型態。此微型監控系統可進行環境條件監控之外，也提供外部連線讀取環境狀況、以及警示訊息推播，透過 UDP 通訊將環境訊息傳送至 SCADA 系統。目前已經完成系統軟硬體設計，同時也進行了初步實驗，獲得許多有用的參數，接下來將於景湍洋菇栽培生產廠進行實際試機與測試，並進行系統修正，逐步將本系統建置完善。

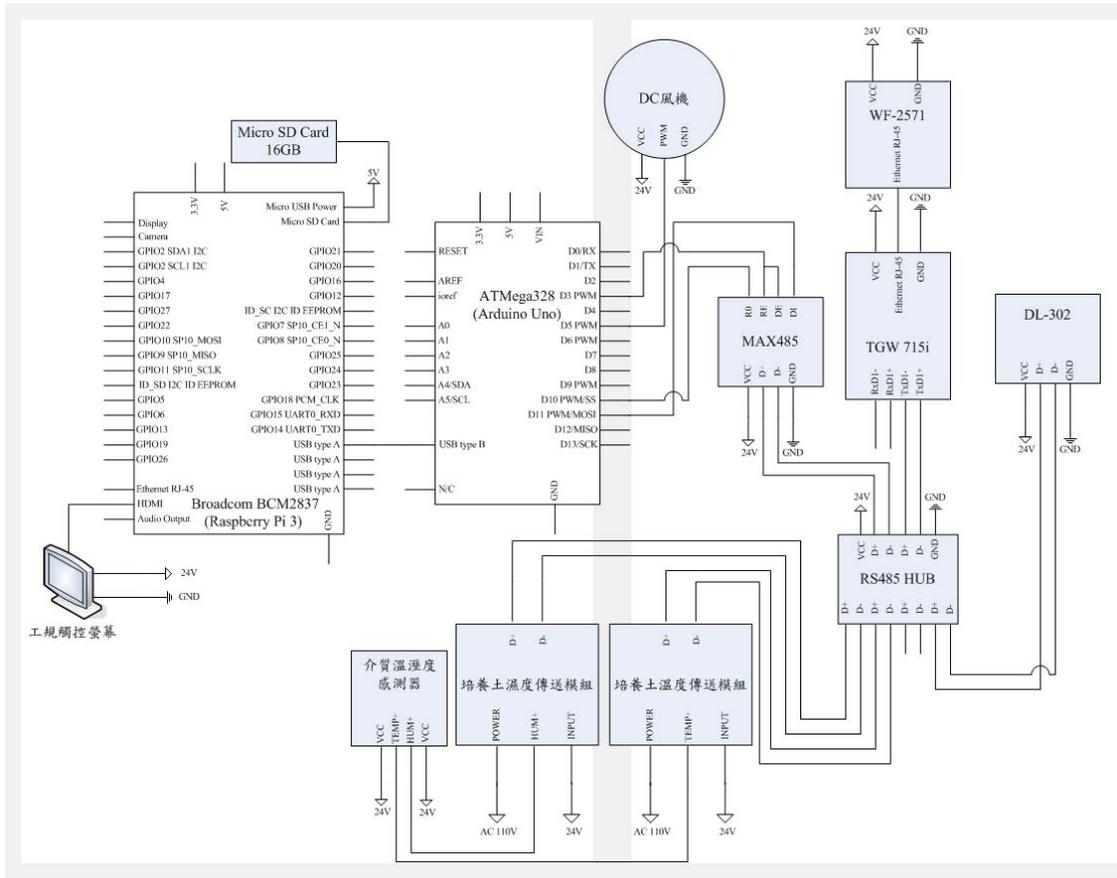
致謝

本研究是由科技部專題研究計畫經費支持，科技部計畫編號：MOST 105-2221-E-276-002

參考文獻

- [1] 商業週刊，“為何全球年輕人都在瘋農業？”，2015-05-06.
- [2] “2015 年行政院生產力 4.0 科技發展策略會議”，104.06.04, <http://www.bost.ey.gov.tw/cp.aspx?n=94090FED75EFA410>
- [3] “行政院生產力 4.0 發展方案”，104.09.14,

- <http://www.ey.gov.tw>
- [4] 陳昇明，羅榮豪，“添加營養劑對洋菇產量的影響”，國立中興大學生命科學院碩士在職專班碩士學位論文，一月，2013.
 - [5] Mohammad Abdur Razzaque, Marija Milojevic-Jevric, Andrei Palade, Siobhán Clarke, “Middleware for Internet of Things: A Survey”, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, pp. 70-95, 2016.
 - [6] Raspbian, Web Site: <https://www.raspbian.org>
 - [7] Node.js, Web Site : <https://nodejs.org>
 - [8] Jens Graf, “PID Control: Ziegler-Nichols Tuning”, *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2013.
 - [9] 陳錦桐，彭金騰，“台灣洋菇環控週年生產的進行式”，*農業試驗所技術服務*, 94 期, 6 月, 2013.
 - [10] Atmel, Inc., Web Site: <http://www.atmel.com>
 - [11] Arduino, Web Site: <https://www.arduino.cc>
 - [12] PWM, Web Site: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>
 - [13] Raspberry pi, Web Site: <https://www.raspberrypi.org>
 - [14] D. Molloy, *Exploring Raspberry Pi: Interfacing to the Real World with Embedded Linux*, Wiley, 2016.
 - [15] Raspbian, Web Site: <https://www.raspbian.org>
 - [16] S. Tilkov and S. Vinoski, “Node.js: using javascript to build high-performance network programs”, *IEEE Internet Computing*, vol. 14, no. 6, pp. 80-83, 2010.
 - [17] MODICON, Web Site: <http://www.modicon.com>
 - [18] ICP DAS, Inc., Web Site: <http://www.icpdas.com.tw>
 - [19] Phonegap, Web Site: <http://phonegap.com>
 - [20] HTML5, Web Site: <http://www.w3.org>
 - [21] Raymond Camden, *Apache Cordova in Action*, Manning Publications, 2015.
 - [22] Sublime Text, Web Site: <http://www.sublimetext.com/>



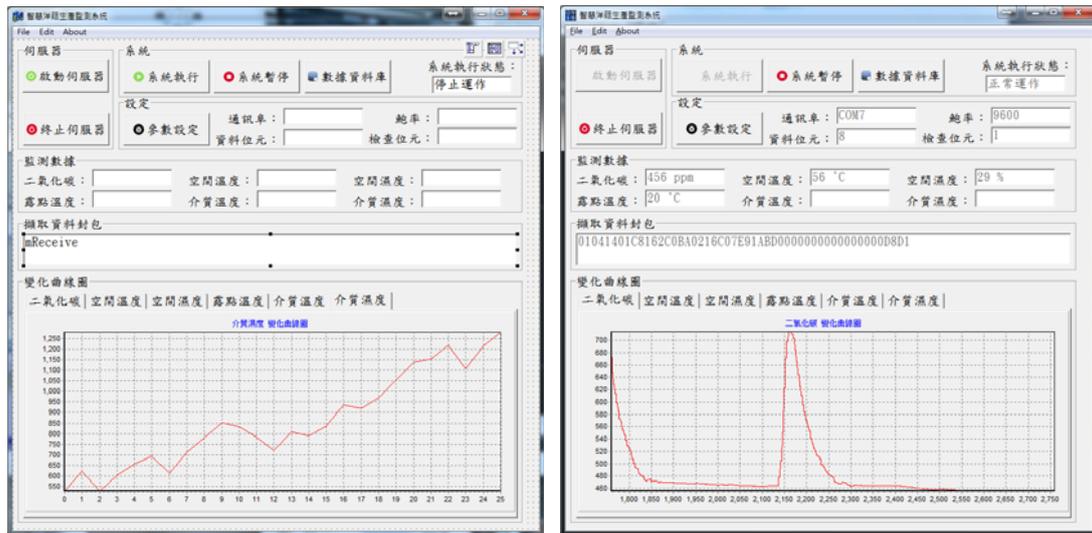
圖七、微型控制系統電路設計示意圖



圖八、微型監控系統硬體配置



圖十、智慧型手機應用程式介面



圖十一、SCADA 系統介面示意圖