

可擴充主從式 IOT 溫控延長線

謝哲人¹ 李俊德^{1*} 朱奐玫² 梁瑋傑³

¹正修科技大學電競科技管理系

²正修科技大學機械系

³正修科技大學企業管理系

摘 要

目前全世界的用電量迅速增長，對於能源需求量如此之大，在過去的幾十年中，已經採取了各種措施來改善設備和系統設計，以提高生產與傳輸效率並降低功耗。為了解決電源短缺問題，本研究提出一種新型的溫控延長線，設有降溫與升溫二種工作模式，透過溫度感測元件精確地適時開啟或關閉電源，藉此免除不必要的耗電，達到「節能」之目的。本研究可透過物聯網（IoT）的微控制器（microcontrollers）和 Internet 來直接對插座開啟或關閉電源，更可藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸將即時溫度資訊、開關狀態及主從模式等控制及蒐集資料上傳至雲端，並由終端設備進行參數設定，可統一設定大型場域內每一個插座的溫度設定，不再浪費人力分別一一去現場設定。以一般工業電扇為例，若將其改為本溫控延長線來驅動，且假設每小時有 900 秒工業電扇處於啟動狀態時，經過本研究之計算，其省電率也還有 74.75%。

關鍵詞：節能、延長線、溫控、物聯網、智慧家庭

An Expandable Modular Internet of Things (IoT)-Based Temperature Control Power Extender

Che Jen Hsieh¹, Chun-Te Lee^{1*}, Huan-Mei Chu², and Wei-Chieh Liang³

¹ Department of E-Sport Management, Cheng-Shiu University

² Department of Mechanical Engineering, Cheng-Shiu University

³ Department of Business Administration, Cheng-Shiu University

ABSTRACT

Today, the world's electricity consumption is growing rapidly, and therefore energy demand is also increasing. In the past few decades, various measures have been taken to improve equipment and system design to increase production and transmission efficiency and reduce power consumption. This article proposes a novel Internet of Things (IoT)-based temperature control power extender with two working modes of cooling and heating to solve power shortage. The power is turned on or off accurately and timely through the temperature sensing element, thereby avoiding unnecessary power consumption to achieve the purpose of energy-saving. This work can directly power on or off the power extender through the Internet. It can also use a 2.4G Wi-Fi wireless transmission to transmit real-time temperature information, switch status and master-slave mode, etc. Related data can be controlled, collected, and uploaded to the cloud. Each proposed power extender's temperature setting in a large-scale field can be set uniformly, and no staffing is wasted to set the temperature separately.

Taking a general industrial electric fan as an example, if it is changed to this temperature control extension cable to drive, and assuming that the industrial electric fan is activated for 900 seconds per hour, its power-saving rate is 74.75%.

Keywords: Energy Saving; Power Extender; Temperature Control; Internet of Things (IoT); Smart Home.

一、前言

全球暖化日益嚴重，世界各地氣候異常接連發生，抑制全球溫室效應之氣體排放的京都議定書正式生效後，能源技術創新與節約能源將成為二氧化碳減量的有效策略。由於全球暖化的影響範圍逐漸擴大、生態環境過於快速的變遷，讓全球各地開始產生許多異於往常的生態危機，因此節能減碳這件事情，是所有政府組織以及非政府組織十分重視的[1]。

目前全世界的住宅用電迅速增長，對於能源需求量如此之大，人們對更高效的裝置越來越感興趣，尤其是在油價格翻倍導致電費率上升後[2]。人口的增長帶來了自然資源缺乏的問題，諸如電力之類的人造資源無法應付人口快速增長的需求，在過去的幾十年中，已經採取了各種措施來改善設備和系統設計，以提高生產與傳輸效率並降低功耗[3]。

許多智能機器和設備都致力於降低功耗，可是機器和設備只要是掛上「智能」，其價格通常是昂貴的，且現有的機器和設備都沒有智能節電的功能，於是智能型的 Internet of Things(IoT)插座便因此產生，舊的機器和設備可以透過該插座監控其耗能狀況，也可以透過手機從遠程控制其開關，所以只要舊的機器和設備接上智能插座，便可立即變為智能型的機器和設備。

二、相關研究

許多與智能插座相關的研究陸續被討論，Musleh 等[4]建立主從架構智能插座，該插座使用電壓和電流感應電路進行智能插座的功率測量，主機通過 WiFi 連接到 Internet，並通過網狀配置中的 ZigBee 協議與從機進行通信。但是對於有多個插孔的插座而言，整個電路將不得不重複多次，這將增加大量成本。Thongkhao 等[5]提出了一單插座解決方案，它是利用 WiFi 來作通信。該文章著重於插座的詳細硬體設計，這超出了本研究的範圍。

Patil 等[6]開發了 Android 應用程序控制

的電源插座，該插座藉由 GPRS(General Packet Radio Service)與電源插座通信。除了連接設備的繼電器外，ARM 7 控制器還連接到各種傳感器，如溫度、氣體、LDR 和 PIR。由於他們的模型使用 GPRS，因此實際上每月會有額外的通信費用產生，且其成本會依據安裝插座的數量而增加。在[7]中，低功耗藍牙 (Bluetooth Low Energy, BLE) 智能插頭是一種單插座解決方案 (每個插座一個無線模組)，其中低功耗藍牙用於插座通信，該插座由智能手機控制。

Lin 等文獻[8]提出了一種智能插座，稱為 MorSocket，用於智能校園部署，該系統允許用戶使用一個控制頁面控制多個單獨的插座，該插座可以使用智能手機透過 Wi-Fi 或藍牙來控制。這些插槽共享相同的無線通信模組，因此 MorSocket 的硬體成本低於單一插座解決方案。

Ramavarapu 等文獻[9]為智能電源插座的實現提供了有價值的範例，他們的產品 'Belkin WeMo smart Plus' 是透過具有 Wi-Fi 的 Intel Edison 開發板來進行控制的，實時定價信息(Realtime pricing information)用來啟用或停用插座的電源，在價格較低的時段內電源插座將被打開 (通常用於高負載)，透過此方法來達成節省成本之目的。研究[10]中為能源管理提供了類似的分析。

新興的物聯網 (IoT) 技術通常採用無線網路來傳播命令並接收響應[11]，但是，如果大量節點同時通過無線網路進行響應，則可能會發生嚴重的衝突-這種現象眾所周知為 "ACK/feedback - implosion" 問題[12]。此外，如果節點在接收到命令後立即做出響應，則響應也將干擾命令的分發，另一方面，如果節點響應緩慢 (例如，等待一段時間以使命令分發完成)，則響應將被延遲，從而增加了系統的總體延遲。

為了改善可靠性和/或等待時間，有許多現有的研究試圖減輕低功率無線網路中的擁塞。但是，它們中的大多數只集中在問題的一側：有的只試圖改善向下的命令傳播階段

[13-18]，有的則專注於改善向上的響應收集階段[19-24]。由於命令階段數據包和響應階段數據包不僅會自己發生衝突，而且還會相互衝突，因此僅集中在一側不足以提供足夠的性能；對於實際的物聯網應用，必須將它們“聯合”考慮[11]。

在此本研究提出一種新型的溫控延長線--可擴充主從式 IOT 溫控延長線，設有降溫與升溫二種工作模式，透過溫度感測元件精確地適時開啟或關閉電源，藉此免除不必要的耗電，另外，可藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸將即時溫度資訊、開關狀態及主從模式等控制及蒐集資料上傳至雲端，並由終端設備進行手動、半自動及全自動參數設定，可達到節能及多元應用。因此研究規劃各功能為模組化設計，經由連接板串聯起各功能模組，進而達到低成本、高自由度及小型化等多種優勢。

本研究最主要的目的便是「節能」，在許多地區夏季氣候炎熱難耐，人們通常會使用冷氣機來降低室內溫度，但冷氣機耗電成本高，故有許多人只將冷氣機開啟 2-3 小時，之後便將冷氣機關閉(利用定時功能)，但此時室內溫度會慢慢升高，可能不到 30 分鐘人就會被熱醒，必須起身開啟電風扇散熱，如此睡眠會被中斷，長時間下來會導致睡眠品質不良。此時若利用本新型的溫控延長線來輔助，便可大大改善此情況，在降溫模式中，當溫度升高到超過所設定的溫度時，溫控延長線便會開始供應電源給連接到插座的降溫設備（如電風扇），此時開始進行降溫，當溫度太低時，溫控延長線便會停止供應電源，以免浪費電力。

如此一來，人們便可將冷氣機與耗電量低的電風扇搭配使用，不用整晚都用耗電量大的冷氣機來降溫，只要一開始將冷氣機開啟 2-3 小時，之後用溫控延長線來開啟電風扇散熱，如圖 1，便可輕易達到室內降溫與節約能源之目的。當然也可在冷氣機開啟時，便同時用溫控延長線來開啟電風扇，一同降低室內溫度，這是因為有專家研究發現，設定之溫度每下降一度，大約須多耗費 2~3% 電力，故建議於使用冷氣機的同時，另外加開耗電力低的電風扇，當室內溫度已到達足夠冷度時，溫控延長線便會自動關閉電風扇，不會造成電力的不當浪費。

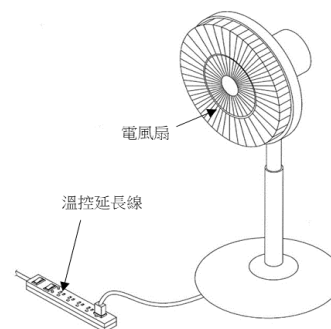


圖 1. 電風扇連接溫控延長線示意圖

本研究也可用在牲畜的養殖方面，例如，一般的豬隻養殖場對溫度控制之要求非常高，在環境溫度超過 33°C 且持續時間較長的情況下，容易發生熱應激 (Heat Stress) 反應；如不採取通風降溫措施，改善環境溫度和濕度，豬的健康就會受到侵害，從而影響養殖效益。因此，一到炎熱的夏季，豬隻養殖場即面臨高溫高濕不利氣候的挑戰，但基於電費的考量，養殖場不可能安裝冷氣空調來控制溫度，一般僅會用大型工業風扇來降溫，但用大型工業風扇降溫其電費也是非常可觀，再者，工業風扇僅能降溫，若深夜溫度大幅降低時，反而又會太冷造成部分豬隻之不適。此時若將工業風扇接在溫控延長線上，則當養殖場溫度太高時，工業風扇便會自動啟動，當溫度太低時，工業風扇便會自動關閉。

本研究除了可應用於居住環境與牲畜的養殖降溫外，也可用於戶外機器設備之降溫，Benoit-Cattin et. al [25] 評估長期高溫對 CPU-Based Edge Device 效能的影響，該實驗證明散熱對 CPU-Based Edge Device 效能之提升有很大之幫助。故若將溫控延長線應用於戶外機器設備之降溫，是一個不錯的節能選擇，因為通常白天太陽時，降溫的需求是非常高的，而夜晚溫度較低，比較不需要額外的降溫。

相反地，本新型的溫控延長線也可提供升溫模式，當溫度降低到低於所設定的溫度時，溫控延長線便會開始供應電源給連接到插座的升溫設備（如電暖器），此時開始進行升溫，當溫度太高時，溫控延長線便會停止供應電源。老人或小孩在寒冷的冬天時，便需要溫控延長線的升溫模式，而在養殖小雞或小豬時，也是非常需要此功能。

三、可擴充主從式 IOT 溫控延長線

本新型的溫控延長線可透過溫度感測元件精確地適時開啟或關閉電源，也可通過物聯網（IoT）的微控制器（microcontrollers）和 Internet 來直接對插座開啟或關閉電源，更可透過 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸模組，統一設定大型場域內每一個插座的溫度設定。

3.1 系統流程與架構

本新型的溫控延長線之系統流程圖如圖 2 所示：

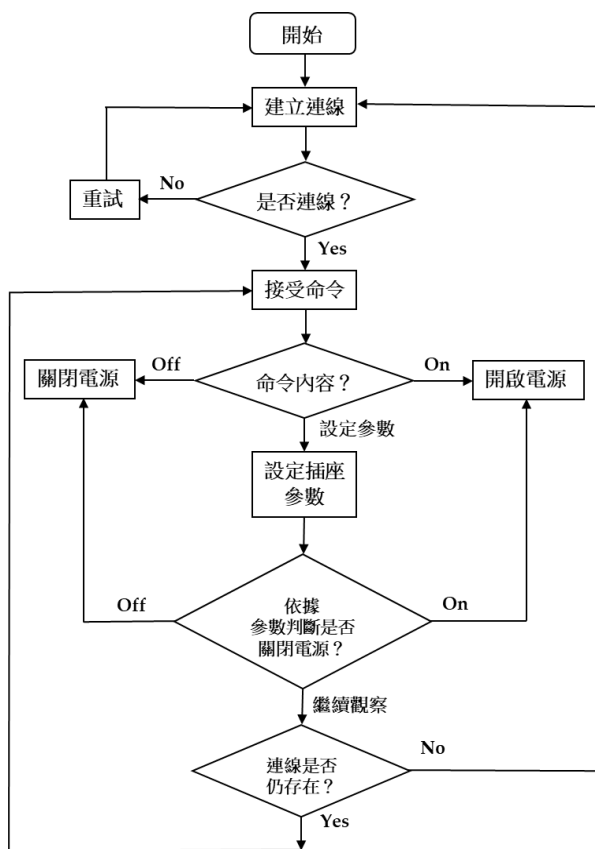


圖 2. 系統流程圖

系統首先與雲伺服器(Cloud Server)建立連接，在沒有連接的情況下，系統會反覆嘗試建立連線，建立連線後，系統將等待來自應用程式的命令，依據命令的內容將插座的電源開啟或關閉，或是設定插座的升溫/降溫模式、高溫值(High Temperature Value)、低溫值(Low Temperature Value)，然後，系統檢查連線是否持續，並重複整個過程。系統架構圖如圖 3：

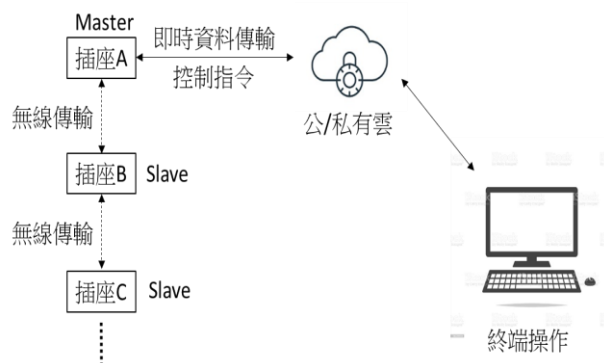


圖 3. 系統架構圖

溫控延長線可藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸將即時溫度資訊、開關狀態及主從模式等控制及蒐集資料上傳至雲端，並由終端設備進行手動、半自動及全自動參數設定，終端設備可以是手機、平板或是電腦都可以，當 Master 插座 A 接收到雲端上面的命令資訊後，會立即藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸將命令轉傳至其他 slave 插座。

3.2 作品介紹

單一插座之方塊圖如圖 4 所示：

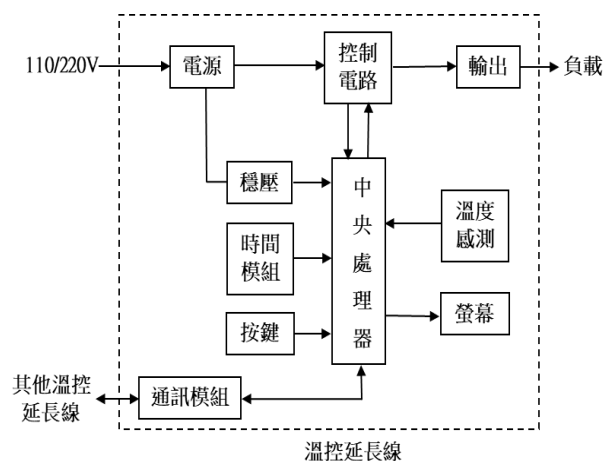


圖 4. 單一插座之方塊圖

電源供應模組為 110/220V 通用電壓，中央處理器（Microcontroller Unit,MCU）依據所設定的溫度資訊以及目前溫度，下指令給控制電路，決定插座是否要供電至輸出端，其判斷是否供電之原則如表 1。而通訊模組是 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸模組，可負責與雲端的資料傳輸與插座間彼此的傳輸。

表 1. LED 參數的預設值與調整範圍

插座狀態 工作模式	通電狀態	斷電狀態
降溫模式	目前溫度高於 Max 高溫值時，需啟動降溫設備（如電風扇）	目前溫度低於 Min 低溫值時，此時不需再降溫了
升溫模式	目前溫度低於 Min 低溫值時，需啟動升溫設備（如電暖器）	目前溫度高於 Max 高溫值時，此時不需再升溫了

在本新型的溫控延長線中高溫值標為 Max，低溫值標為 Min，在降溫模式中，當溫度升高到超過所設定的高溫值時，溫控延長線便會供應電源給連接到插座的降溫設備，此時便會對目標物開始進行降溫，當溫度低於所設定的低溫值時，溫控延長線便會停止供應電源。相反地，在升溫模式中，當溫度降低到低於所設定的低溫值時，溫控延長線便會供應電源給連接到插座的升溫設備，此時便會對目標物開始進行升溫，當溫度高於所設定的高溫值時，溫控延長線便會停止供應電源。完成模型如圖 5 所示：



圖 5. 可擴充主從式 IOT 溫控延長線完成圖

上圖中，設定面板可設定插座的升溫/降溫模式、高溫值、低溫值等資訊，其中 為溫度設定鈕， 與 則是增加或減少溫度。以圖 6 為例，其目前設為「降溫模式」，高溫值 26°C ，低溫值 24°C ，目前溫度 20.6°C ，若溫度升高至 26°C 時，延長線的插座便會供電給負載（如電風扇），當溫度降至 24°C 時，延長線的插座便會停止供電（斷電）。



圖 6. 延長線設為「降溫模式」之狀態

而圖 7 所顯示的是「升溫模式」，高溫值 24°C ，低溫值 21°C ，目前溫度 20.7°C ，若溫度低於 21°C 時（目前便是低於 21°C ），延長線的插座便會供電給負載（如電暖器），當溫度升高至 24°C 時，延長線的插座便會停止供電（斷電）。

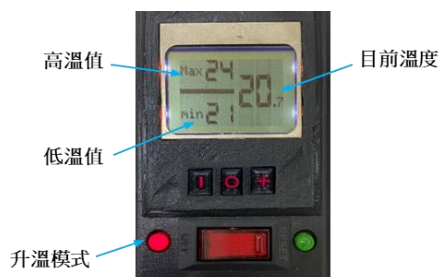


圖 7. 延長線設為「升溫模式」之狀態

除了透過溫控延長線的設定面板來設定外，也可透過手機 APP 來設定插座的各項參數，如圖 8 所示：

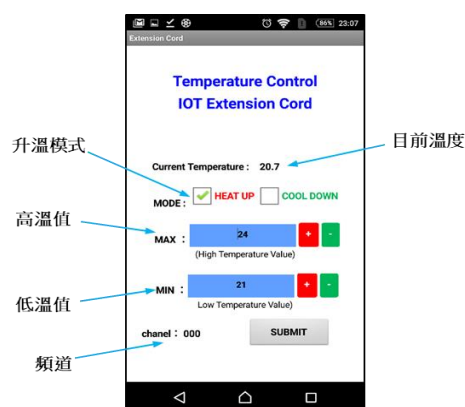


圖 8. APP 設定畫面

上圖中，除了可設定插座的升溫/降溫模式、高溫值、低溫值外，還看到延長線的頻道 (Channel) 值，這是為了大型養殖場而設計的功能，因為在大型養殖場中，需設定的延長線可能多達數百個，要設定這麼多數量的延長線是

一個巨大的工程，故可將頻道值相同之延長線，一起同時設定為相同的參數值，如此可省去非常多的工作。例如，圖 9 的 Master 延長線之頻道設為'000'(Dip Switch 設為'000')，則可藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸，將設定之參數轉傳至其他頻道也設為'000'之 slave 插座，至於其他頻道的 slave 插座，則無法接收此設定。

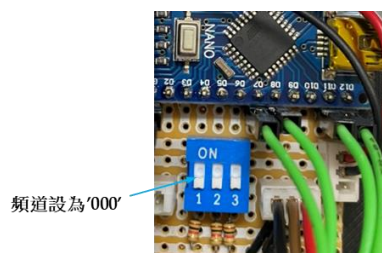


圖 9 頻道設為'000'之延長線

本新型的溫控延長線主要之硬體元件如表 2：

表 2. 主要之硬體元件

NO	名稱	說明
1	Arduino nano 微控制器(MCU)	附有 ATMEL Chip 的控制器
2	開關盒	85~265V 電源插座
3	繼電器	5V 10A 雙通道中繼模組
4	溫度檢測模組	溫度感測器
5	通訊模組	2.4G Wi-Fi 模組
6	雜項	微動開關、撥碼開關(Dip Switch)、液晶顯示器、電線等

繼電器模組是 5V 10A 兩通道繼電器板，每個通道大約需要 15-20 mA 的驅動器電流，並且可以安全地連接高達 250V 和 10A 的交流電壓以及 30V 和 10A 的直流電壓的負載，該繼電器在大多數控制應用中非常有用，因為它可直接由 PIC、DSP、AVR、Arduino、MCU 等微控制器的 3.3V 或 5V 信號來控制繼電器。

本研究使用的通訊模組為 Wi-Fi 模組，其傳輸資料的方式一般可分為 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)與 HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)二種，而我們採用的是 MQTT 架構，這是因為相較於 HTTP 架構，MQTT 架構在傳輸時可減少功耗，且系統每隔一段時間會與主伺服器進行對時作業，可避免資料傳輸上的缺失或遺漏。故本研究的通訊方面有下列特色：

1. 本研究採取有限元素機架構撰寫程式，幫 false data injection 時設備會自動忽略避免發

生錯誤。

2. 本研究有採用時間戳記做為資料認可的判別，故同一時間戳記只會認可一筆資料並且因延遲導致錯誤之資料會被忽略。
3. 因為前兩個問題的解決方式，可避免系統資源被大量占用導致耗盡

四、節能計算與討論

4.1 消耗電能之計算

在不同環境溫度與所使用的電器功率不同時，計算出的溫控延長線之節能效果是不一樣的，甚至在相同的環境與電器下，溫控延長線所設定的 Max 高溫值、Min 低溫值不同時，所得到的節能效果也不盡相同，例如，在某牲畜的養殖場中，其某一天的溫度落於 28°C-23°C 之間，若將溫控延長線「Max 高溫值設為 27°C、Min 低溫值設為 26°C」，與另一組「Max 高溫值設為 28°C、Min 低溫值設為 27°C」所得到的節能效果絕對是不同的。

在計算有接溫控延長線之電器的消耗電能比較複雜，不像一般電器的消耗電能單純，影響消耗電能因素有：溫度的設定、環境溫度、電器種類……等，但為了方便導出公式，以牲畜養殖場的工業電扇為例，並參考文獻[1]的消耗電能計算方式，來計算使用溫控延長線之工業電扇每小時所消耗之電能，並與未使用溫控延長線之工業電扇來計算其節能率(ESR, Energy-Saving Rate)。

圖 10 為有使用溫控延長線之工業電扇每小時消耗功率曲線，利用此圖來說明如何計算有使用溫控延長線之工業電扇「每小時所消耗之電能」：

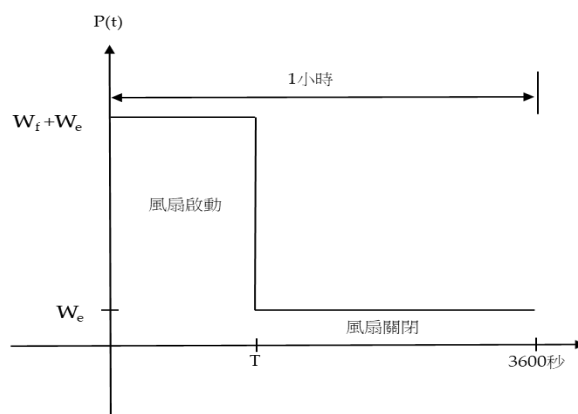


圖 10. 每小時消耗功率曲線

$P(t)$ 用來描繪有使用溫控延長線之工業電扇每小時消耗功率變化，其他參數之意義如下：

T ：平均每小時工業電扇累積啟動之秒數

W_f ：工業電扇啟動時功率，一般工業電扇之功率大都介於 150W~400W

W_e ：本溫控延長線之功率，本產品實際測得之功率為 0.7W

由圖 10 可知，使用新型 LED 感應燈在 1 小時中有 L 秒是維持啟動之狀態(累積總共 L 秒是弱光模式狀態，並不是 0~ L 秒是弱光模式)，而有 $3600-L$ 秒是維持強光模式狀態，故我們用計算面積之方式，便可計算出新型 LED 感應燈每小時所消耗之電能 E_{ph} ：

$$\begin{aligned} E_{ph} &= \left(\int_0^T P(t) dt + \int_T^{3600} P(t) dt \right) J \\ &= \left(\int_0^T (W_f + W_e) dt + \int_T^{3600} W_e dt \right) J \\ &= (T \times (W_f + W_e) + (3600 - T) \times W_e) J \\ &= (T \times W_f + 3600 \times W_e) / 3.6 \times 10^6 \text{ kw} \cdot \text{h} \text{----- (1)} \end{aligned}$$

另外，假設牲畜養殖場中，工業電扇每天開啟 24 小時，一年總共開啟 $24 \times 365 = 8,760$ 小時，故每隻工業電扇每年所消耗之電能 E_{py} 為：

$$E_{py} = \sum E_{ph} = E_{ph} \times 8,760 \text{ kw} \cdot \text{h} \text{----- (2)}$$

相對於未使用溫控延長線之工業電扇，因為工業電扇永遠都是維持在啟動狀態，故其每隻電扇每年所消耗之電能為 $F_{py} = (W_f/1000) \times 8,760 = 8.76 \times W_f \text{ kw} \cdot \text{h}$ ，若將牲畜養殖場中的一般「工業電扇」改為「使用溫控延長線之工業電扇」，則其節能率 (ESR, Energy-Saving Rate)、每隻電扇一年所節省的用電度數 D_{py} 、一年所節省的費用 M_{py} (假設每度電費 4 NT\$)、一年所減少的碳排放量 C_{py} 分別計算如下(每一度電(Kw·h)可產生 0.623 kgCO_{2e} 的碳排放量)：

$$ESR = ((W_f/1000) - E_{ph}) / (W_f/1000) \times 100\% = (W_f - 1000 \times E_{ph}) / W_f \text{----- (3)}$$

$$D_{py} = F_{py} - E_{py} = 8.76 \times (W_f - 1000 \times E_{ph}) \text{ kw} \cdot \text{h} \text{----- (4)}$$

$$M_{py} = (F_{py} - E_{py}) \text{ kw} \cdot \text{h} \times 4 \text{ dollar} / \text{kw} \cdot \text{h} \text{----- (5)}$$

$$C_{py} = (F_{py} - E_{py}) \text{ kw} \cdot \text{h} \times 0.623 \text{ kgCO}_2\text{e} / \text{kw} \cdot \text{h} \text{--- (6)}$$

4.2 節能率探討

由於使用溫控延長線之工業電扇的節能率 (ESR, Energy-Saving Rate) 跟平均每小時工業電扇累積啟動之秒數 T 密切相關，本節便是要探討「節能率 ESR」與「平均每小時工業電扇累積啟動之秒數 T 」二者之關係，並計算節能率的最大值與最小值。

首先，由方程式(3)可得知，「節能率」與使用溫控延長線的「工業電扇每小時所消耗之電能 E_{ph} 」成反比，而從方程式(1)可得知， E_{ph} 是與 T 成正比，故由此可知，ESR 與 T 成反比關係，啟動時間越長則節能率越差。

接下來，為了實際算出節能率， W_e 與 W_f 必須帶入實際的功率值， W_e 實際測得之功率為 0.7W，而一般工業電扇之功率大都介於 150W~400W 之間，故取其中間值大約為 280W 來計算方程式(1)。底下，將不同的 T 值帶入 E_{ph} 公式中，以計算出不同 T 值每隻工業電扇 (有使用溫控延長線) 的 E_{py} 、ESR、 D_{py} 、 M_{py} 、 C_{py} 值為何(與未使用溫控延長線之工業電扇來比較)，下表因篇幅之故僅列出重要部分(T 值間隔 180 秒列出)：

表 3. 電扇的 E_{ph} 、 E_{py} 、ESR、 D_{py} 、 M_{py} 、 C_{py} 值

T (Sec)	E_{ph} (kw·h)	E_{py} (kw·h)	ESR (%)	D_{py} (kw·h)	M_{py} (NT\$)	C_{py} (kgCO _{2e})
0	0.0007	6.132	99.75%	2446.668	9786.672	1524.274
180	0.0147	128.772	94.75%	2324.028	9296.112	1447.869
360	0.0287	251.412	89.75%	2201.388	8805.552	1371.465
540	0.0427	374.052	84.75%	2078.748	8314.992	1295.060
720	0.0567	496.692	79.75%	1956.108	7824.432	1218.655
900	0.0707	619.332	74.75%	1833.468	7333.872	1142.251
1080	0.0847	741.972	69.75%	1710.828	6843.312	1065.846
1260	0.0987	864.612	64.75%	1588.188	6352.752	989.441
1440	0.1127	987.252	59.75%	1465.548	5862.192	913.036
1620	0.1267	1109.892	54.75%	1342.908	5371.632	836.632
1800	0.1407	1232.532	49.75%	1220.268	4881.072	760.227
1980	0.1547	1355.172	44.75%	1097.628	4390.512	683.822
2160	0.1687	1477.812	39.75%	974.988	3899.952	607.418
2340	0.1827	1600.452	34.75%	852.348	3409.392	531.013
2520	0.1967	1723.092	29.75%	729.708	2918.832	454.608
2700	0.2107	1845.732	24.75%	607.068	2428.272	378.203
2880	0.2247	1968.372	19.75%	484.428	1937.712	301.799
3060	0.2387	2091.012	14.75%	361.788	1447.152	225.394
3240	0.2527	2213.652	9.75%	239.148	956.592	148.989
3420	0.2667	2336.292	4.75%	116.508	466.032	72.584
3600	0.2807	2458.932	-0.25%	-6.132	-24.528	-3.820

由上表可知，節能率 (ESR) 的最大值

99.75%發生在 $T=0$ 時(表示1小時內工業電扇都沒有啟動),其他的 D_{py} 、 M_{py} 、 C_{py} 值也是如此,節能率隨著 T 值增加呈線性下降,在 $T=3600$ 秒時(表示1小時內工業電扇都是啟動狀態),節能率下降為-0.25%,不過這是不太可能發生的,因為只要適當地調整溫控延長線的Max 高溫值、Min 低溫值,這種情形便不會發生。下圖是將節能率(ESR)與 T 值的關係圖畫出:

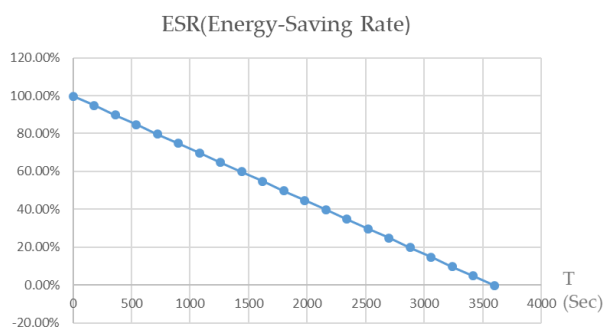


圖 11. ESR(Energy-Saving Rate)與 T 的關係圖

五、結論與檢討

本研究所提出的可擴充主從式 IOT 溫控延長線,設有降溫與升溫二種工作模式,透過溫度感測元件精確地適時開啟或關閉電源,藉此免除不必要的耗電,另外,可藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸將即時溫度資訊、開關狀態及主從模式等控制及蒐集資料上傳至雲端,並由終端設備進行參數設定。

實際運用於大型養殖場時可發現,由於養殖場中各種大小豬隻之溫度要求不一,夜晚與白天所需設定的 Max 高溫值、Min 低溫值更是不同,在實務上必須時常調整各區域之溫度設定,所幸本溫控延長線可以先設定 Master 插座的參數後,立即藉由 Wi-Fi 2.4G 無線傳輸將命令轉傳至其他 slave 插座,如此不再浪費人力分別一一去現場設定每一個插座。

許多智能機器和設備都致力於降低功耗,可是機器和設備只要是掛上「智能」,其價格通常是昂貴的,且現有舊型的機器和設備都沒有智能節電的功能,於是智能型的 IOT 插座便因此產生,舊的機器和設備可以透過本溫控延長線便具有智能的功能,也可以透過手機從遠程控制其開關,所以只要舊的機器和設備接上本溫控延長線,便可立即變為智能型的

機器和設備。

本研究與其他系統之差異與優點如下:

- 1.本研究提出一種新型的溫控延長線,設有降溫與升溫二種工作模式,可有效節能,免除不必要的耗電。
- 2.舊的機器和設備接上智能插座,便可立即變為智能型的機器和設備,舊的機器和設備可以透過該插座監控其耗能狀況,也可以透過手機從遠程控制其開關。
- 3.延長線可設定不同的頻道(Channel)值,透過物聯網(IoT)對頻道值相同之延長線,同時設定為相同的參數值,如此可省去非常多的工作,此為創新的作法。

最後,在未來工作重點中,先前的「節能計算與討論」章節,節能損耗皆是透過假設與公式的計算,容易令人詬病,如果能夠實際佈置一個小型場域,採用實驗組與對照組的方式,經透過實際的檢測而得到節能的實驗數據,如此作法會更具說服力。

參考文獻

- [1] Lee, C.-T.; Ho, P.-T. Energy-Saving Research on New Type of LED Sensor Lamp with Low-Light Mode. Electronics 2020, 9, 1649.
- [2] Lee, C.-T.; Ho, P.-T.; Lee, Y.-Y.; Chen, L.-B. A Research on the 4th Generation Intelligent Energy-Saving Solar Water Heating Tank. Electronics 2020, 9, 1941.
- [3] S. Karanchery and N. Rakesh, "Smart Power Socket using Internet of Things," 2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), Coimbatore, India, 2020, pp. 1060-1064, doi: 10.1109/ICICT48043.2020.9112377.
- [4] A. S. Musleh, M. Debouza and M. Farook, "Design and implementation of smart plug: An Internet of Things (IoT) approach," 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), Ras Al Khaimah, 2017, pp. 1-4.
- [5] Y. Thongkhao and W. Pora, "A low-cost Wi-Fi smart plug with on-off and energy metering functions," in Proc. 13th Int. Conf. Elect. Eng./Electron., Comput., Telecommun. Inf. Technol. (ECTI-CON), Jun. 2016, pp. 15.

- [6] K. Patil, J. Metan, T. S. Kumaran and M. Mathapatil, "IoT based power management and controlled socket," 2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECCOT), Mysuru, 2017, pp. 243-247.
- [7] I. Horvat, N. Lukac, R. Pavlovic, and D. Starcevic, "Smart plug solution based on Bluetooth low energy," in Proc. IEEE 5th Int. Conf. Consum. Electron.-Berlin (ICCE-Berlin), Sep. 2015, pp. 435-437.
- [8] Y. Lin, C. Huang, L. Chen, G. Sung and C. Yang, "MorSocket: An Expandable IoT-Based Smart Socket System," in IEEE Access, vol. 6, pp. 53123-53132, 2018.
- [9] V. P. Ramavarapu, R. Sowers and R. S. Sreenivas, "A smart power outlet for electric devices that can benefit from Real-Time Pricing," 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCREC), Yogyakarta, 2017, pp. 11-17.
- [10] S. Zhai, Z. Wang, X. Yan, and G. He, "Appliance exhibitory analysis considering user's behavior in home energy management system using smart plugs," IEEE Trans. Ind. Electron., to be published.
- [11] Park, M.; Paek, J. On-Demand Scheduling of Command and Responses for Low-Power Multihop Wireless Networks. *Sensors* **2021**, *21*, 738. <https://doi.org/10.3390/s21030738>
- [12] DeLucia, D.; Obraczka, K. Multicast feedback suppression using representatives. In Proceedings of the INFOCOM '97, Kobe, Japan, 7-11 April 1997; pp. 463-470.
- [13] Ferrari, F.; Zimmerling, M.; Thiele, L.; Saukh, O. Efficient network flooding and time synchronization with glossy. In Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, Chicago, IL, USA, 12-14 April 2011.
- [14] Bedewy, A.M.; Sun, Y.; Shroff, N.B. Age-optimal information updates in multihop networks. In Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), Aachen, Germany, 25-30 June 2017; pp. 576-580.
- [15] Lu, J.; Whitehouse, K. Flash Flooding: Exploiting the Capture Effect for Rapid Flooding in Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the IEEE INFOCOM 2009, Rio de Janeiro, Brazil, 19-25 April 2009.
- [16] Ye, F.; Luo, H.; Cheng, J.; Lu, S.; Zhang, L. Hexagonal Two Tier Data Dissemination model for large scale wireless sensor networks. In Proceedings of the 2012 Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers, Alexandria, Egypt, 6-9 March 2012.
- [17] Shu, T.; Liu, W.; Wang, T.; Deng, Q.; Zhao, M.; Xiong, N.N.; Li, X.; Liu, A. Broadcast Based Code Dissemination Scheme for Duty Cycle Based Wireless Sensor Networks. *IEEE Access* **2019**, *7*, 105258-105286. [CrossRef]
- [18] Jeong, G.; Park, M.; Paek, J. A2-Trickle: Adaptive & Aligned Trickle for Rapid and Reliable Dissemination in Low-Power Wireless Networks. *IEEE Access* **2020**, *8*, 214374-214382. [CrossRef]
- [19] Gnawali, O.; Fonseca, R.; Jamieson, K.; Moss, D.; Levis, P. Collection Tree Protocol. In Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Berkeley, CA, USA, 4-6 November 2009; pp. 1-14.
- [20] Winter, T.; Thubert, P.; Brandt, A.; Hui, J.; Kelsey, R.; Levis, P.; Pister, K.; Struik, R.; Vasseur, J.; Alexander, R. RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks. Available online: <https://tools.ietf.org/id/draft-ietf-roll-rpl-13.html> (accessed on 21 January 2021).
- [21] Kim, H.S.; Paek, J.; Bahk, S. QU-RPL: Queue Utilization based RPL for Load Balancing in Large Scale Industrial Applications. In Proceedings of the 2015 12th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON), Seattle, WA, USA, 22-25 June 2015.
- [22] Jeong, S.; Paek, J.; Kim, H.S.; Bahk, S. TESLA: Traffic-aware Elastic Slotframe Adjustment in TSCH Networks. *IEEE Access* **2019**, *7*, 130468-130483. [CrossRef]
- [23] Kim, H.S.; Paek, J.; Culler, D.E.; Bahk, S. PC-RPL: Joint Control of Routing Topology and Transmission Power in Real Low-Power Lossy Network. *ACM Trans. Sens. Netw.* **2020**, *16*. [CrossRef]

- [24] Jeong, S.; Park, E.; Woo, D.; Kim, H.S.; Paek, J.; Bahk, S. MAPLE: Mobility Support using Asymmetric Transmit Power in Low-power and Lossy Networks. *J. Commun. Netw.* 2018, 20, 414–424. [CrossRef]
- [25] Benoit-Cattin, T.; Velasco-Montero, D.; Fernández- Berni, J. Impact of Thermal Throttling on Long-Term Visual Inference in a CPU-Based Edge Device. *Electronics* 2020, 9, 2106.