

智慧路燈電網系統
Smart Streetlight System
in the context of Power Grid

國立中山大學資訊工程學系
111 學年度大學部專題製作競賽

組員：B083040037 黃琮閔
B083040036 蔡明霖
B083040048 張郁祥

指導教師：賴威光 教授

摘要

現代社會中有許多路燈使用太陽能作為電力來源，但由於再生能源的不穩定性，部分路燈可能因為天氣、環境、分布位置等因素使發電效率不理想，而另一部份可能發電量過剩，或是兩者交替著發生。此實驗希望建立一套系統降低再生能源的不穩定性，使智慧路燈能很大程度上降低對市電的依賴，即使市電停止供應，路燈系統仍可持續運作並提供照明，且藉由電力分配延長主要路燈的照明時間。而在正常運作時，能夠自給自足、獨立於市電系統。

此實驗利用 NodeMCU 連接紅外線、環境光與電壓監測等感測器蒐集數據，用以調整光亮與電池放電，並設置其中的一個裝置作為協調者，當某一路燈發出缺電訊號時，協調者便選擇周圍的一路燈作為放電源，如此便可達成電力交換與燈光調節。群組中若協調者偵測到電力低於門檻，則會依據電量與優先級選出下一個協調者。以此延長整個系統的運作時間。

相較於其他文獻中的智慧路燈系統，此實驗的系統有兩大差異：一、邊緣運算：在多數系統中幾乎所有決策都須由 server 端進行，但此實驗以其中一盞路燈作為協調者進行大部分的決策，能夠降低延遲與對 WAN 的依賴；二、智慧電網：此實驗將路燈彼此相連以互通電力，此舉可降低使用太陽能等再生能源的不穩定性並增加能源的使用效率，多數系統則沒有相互分享電力的設計。

目錄

摘要	16
目錄	17
圖表目錄	19
(一) 研究動機與研究問題	20
(二) 文獻回顧與探討	21
(三) 系統實作成果	23
一、實驗器材	23
1. NodeMCU	23
2. 18650 鋰電池	23
3. 繼電器(Relay)	24
4. 升降壓模組(Buck-boost converter)	24
5. 電壓監測模組(Voltage sensor)	24
6. 紅外線感測模組(IR sensor)	24
7. 環境光感測模組(Photoresistor)	24
8. 二極體(Diode)	25
9. Main server	25
二、系統架構	25
1. 智慧路燈	26
2. 作為協調者時的智慧路燈	27
3. Main server	27
三、實行細節	27
1. NodeMCU 初始化	28
2. 群組內電力分配與協調者轉換	29

<u>3.</u>	<u>路燈觸發機制</u>	29
<u>4.</u>	<u>溝通機制</u>	16
<u>5.</u>	<u>Main server – 網頁伺服器</u>	17
<u>6.</u>	<u>Main server – 資料庫</u>	18
<u>7.</u>	<u>智慧路燈之硬體</u>	19
<u>8.</u>	<u>實際運作</u>	20
<u>四、未來展望</u>		23
<u>1.</u>	<u>協調者存取 Main server 之時間間隔</u>	23
<u>2.</u>	<u>更合適之通訊協定</u>	23
<u>3.</u>	<u>應用於實際路燈</u>	37
<u>(四) 參考文獻</u>		23

圖表目錄

<u>圖一、此實驗之整體架構</u>	12
<u>圖二、單一路燈之電路架構簡圖</u>	13
<u>圖三、NodeMCU 初始化之流程圖</u>	14
<u>圖四、協調者調整電力分配之流程圖</u>	15
<u>圖五、路燈觸發機制之流程圖</u>	16
<u>圖六、網頁架構之示意圖</u>	17
<u>圖七、使用者網頁之頁面(主頁)</u>	18
<u>圖八、使用者網頁之頁面(路燈頁面)</u>	18
<u>圖九、採用本實驗架構之一組智慧路燈</u>	19
<u>圖十、亮度調節機制下之運作時間與電量趨勢圖</u>	35
<u>圖十一、電力共享機制下運作時間與電量之趨勢圖</u>	36
<u>表一、不同功能下的運作時間統計表</u>	36

(一) 研究動機與研究問題

路燈，因為其隨處可見的特性，使我們往往不會放太多關注在這般理所當然存在的公共建設上。但實際上路燈是任何鄉鎮市區中的重要成員，路燈的功用不僅僅是提供夜晚的照明而已，明亮的街道會使罪犯有所顧忌，並可提供行人在夜間外出時明確的安全感；對於駕駛更是可大大避免因視野不佳而可能導致的致命車禍，其存在直接或間接地影響著整座都市的治安。而路燈發展至今，也早已脫離單單提供照明的範疇，現今的路燈還有提供報警、地理資訊、資訊查詢、基地台或是充電站等額外的功能；並有些路燈的設計上結合了 IOT 技術，具有許多感應器及鏡頭，將收集到的資訊上傳以提供附近的天氣、空氣品質、路況等資料以供民眾查詢及政府監控與調度。而具上述功能的路燈通常被稱為「智慧路燈」。由先前所述可知智慧路燈必是未來路燈轉型的明確方向。

而圍繞路燈的一大爭議便是**能源的消耗問題**，雖近年來許多路燈都將燈泡更換為較為省電的 LED 燈泡，並搭配智慧路燈或是調控中心所策劃的照明方案，力求減少能源的消耗。然而在現今世界能源危機之下，僅僅是減少路燈的耗電遠遠不夠，也因此不少路燈將如太陽能發電板等發電設備及蓄電池結合至路燈之中，希望依靠再生能源便可應付路燈的電力消耗，盡可能降低對於市電(發電廠提供的一般性交流電)的依賴程度。

然而在現實生活之中，可能因路燈的分布位置、天氣、環境的遮蔽等因素，使得有些路燈上的再生能源發電裝置無法正常穩定地運作，幾乎都要依靠市電的電力供應才可正常地作用；相反地，有些路燈因架設位置得天獨厚，其發電的情況非常理想，使得其幾乎不需依靠市電便可自主運作。現實中上述兩種情況可能在不同的時間於不同路燈間不同程度地穿插發生著，且若套用到智慧路燈這般需24小時全天運作的裝置上，影響便更為顯著。明顯地這種情況絕不是當初再生能源結合至路燈的發想所樂見的。

若要針對上述再生能源發電的不穩定進行改善，我們覺得可以將智慧電網

(利用供應端及使用端的電力狀況資訊，對電力生產與配送進行適當的調整，以達到節約能約及提升電力穩定的目的)的概念應用至智慧路燈與再生能源的結合上。將某個區域內的智慧路燈規劃進智慧電網內，監控每盞智慧路燈內建蓄電池的蓄電情況，並依此資料進行處理，將每盞智慧路燈內部蓄電池的電力做適當的調配，使得每盞智慧路燈在可維持自身正常運作的前提下，若有餘力便可支援電網內其他蓄電量較低的智慧路燈，達成電網內所有智慧路燈的電力的最佳化。目標是希望此電網內的所有智慧路燈對於市電的需求都可以降至最低，並在多數再生能源供電裝置正常運作時，整個智慧路燈電網可成為一個可獨立於市電，自給自足的系統。

多數類似的系統，皆須將每盞智慧路燈的資料上傳至伺服器，再由伺服器進行運算，再將所得出的決策結果傳回給智慧路燈近進行調適。我們的系統則希望可以將邊緣運算的概念應用至其中，每盞智慧路燈的資料會提交給附近的協調者做運算並得出決策。希望藉此可降低決策的延遲，並增加智慧路燈設置上的彈性(對於 WAN 的相關需求較低)。

此外大部分智慧路燈相關的文獻，多未提及智慧電網與其結合的應用。在智慧路燈多已逐漸轉型使用再生能源的潮流下，鑑於再生能源較不穩定的特性，我們希望試著將智慧路燈與智慧電網相結合，改善智慧路燈在電力層面上的穩定性。

(二)文獻回顧與探討

在論文[5]中，分為四種不同相並聯的負載:工業用、民生用、商業用、都市用，藉由在每個負載上串聯電流感測器，了解各負載的用電量，並透過繼電器控制各種負載與供電端的通電與否。其中，工業用電配有最高的優先序，供電不足時，會斷開其他負載來維持其供電。在論文[7][8]中，介紹電池管理系統(BMS)。首先，論文[7]藉由 Master, Slave 兩端微控器溝通，判斷是否需要做電

池電力平衡。Master 端由收到的 Slave 端資訊(電壓、電流、溫度)，判斷需要平衡時，會發送訊號到 Slave 端，Slave 端收到需做電力平衡的指令後，則會以被動平衡的方式平衡電池。而論文[8]則介紹電池電力平衡在電動車的應用，利用偵測 SOC(State Of Charge)，來做太陽能發電車電池組的電力平衡。論文[5]中探討的電力分配相關控制，有助於啟發我們在實作系統時該如何針對不同路燈的優先級，得出最佳的電力分配決策。此外我們系統中每盞智慧路燈皆具有蓄電池，因此需思考該如何針對蓄電池的狀態以達成整個電網的電力平衡，這點論文[5]雖未提及，但論文[7][8]提供的資訊則必然將有不少幫助。至於論文[5][7][8]皆未應用到太陽能智慧路燈系統的缺憾，則可藉由論文[6][9]提供的資訊來補足。論文[6]中，提到了太陽能系統普遍的接線方式：用一個充電控制器，連接太陽能板和負載及電池，以協調充放電。論文[6]探討的太陽能系統，對於我們系統中的再生能源該如何配置是頗具價值的參考。論文[9]提出多個 mppt 太陽能系統並聯，及其相關架構圖和流程圖。論文[9]對於我們這般多個以再生能源驅動的智慧路燈組成的系統提供了不少思路。

上述為電力控制、調度相關的論文，而在智慧路燈架構方面，在論文[1][2]中皆為使用紅外線感測，論文[1]中若是紅外線感測到物體則會開啟對應的 LED，而論文[2]中則是計算物體的速度採取不同的亮度，兩篇論文都採取相對簡易的架構達成省電的目的，而論文[3]中則運用了影像辨識，在部分路燈中設有攝影機，當偵測到行人、汽機車等物體經過時，則傳遞訊息至 master，再由 master 傳遞調整發光量的訊息至各 slave。論文[4]中則是以手機中的 GPS 作為偵測的依據，若有行人的 GPS 訊號與路燈的多邊形(多邊形用以劃分出行人附近真正所需的路燈)範圍重疊，則開啟範圍內選定的路燈。我們認為依照物體而有不同發光量並不是最好的做法，雖說對減少電力消耗有一定的幫助，但以現實層面而言行人與汽車應有相同的適量或最大照明，原因在於單一路燈的光照範圍並不大，若是只有汽機車能使用最大光量，則行人的有限光照範圍將會不足以支援安全的行走，因此本研究在偵測到物體時皆會調整至最大光量，以確

保行人的行進安全。而用以偵測物體的紅外線、影像辨識及 GPS 等方式，我們認為影像辨識所需的運算時間與能源消耗皆較高；而 GPS 則要求行人與汽機車都具備 GPS 裝置。因此紅外線雖較不精準，但具有反應速度快、普遍性高與價格低廉等優勢。在以上的論文中，論文[3]與我們所設計的系統較為相近，同樣會有 master(協調者)負責統整與調整各路燈的資訊與狀態，但除此之外我們還設有電力交換的機制(電網)，目前智慧路燈的數量逐漸增加，我們藉由智慧路燈的調控，使每盞路燈皆能有更加穩定的電力來源，此舉能將智慧路燈的穩定性進一步提高，且能夠降低對市電的依賴，即使在市電停電的狀態下仍能正常運作，也能降低設置地點的限制，這也是其他智慧路燈系統還無法做到的部分。

(三) 系統實作成果

一、實驗器材

1. NodeMCU

NodeMCU 是一個開源的物聯網平台，NodeMCU 的開發版與 Arduino 等市面上廣為流通的開發版不同之處，在於其基於 ESP32 這個具通訊模組的晶片因而具有 Wi-Fi 及藍芽的無線通訊能力，無須如 Arduino 般額外連接相關的連接相關的模組，也因此其較小巧的體積也使其成為許多 IOT 開發版的選擇。至於開發環境，NodeMCU 可以相容使用 Arduino IDE 進行開發。此實驗將各個零件連線至此 NodeMCU，將其整體視為此實驗的一架智慧路燈。

2. 18650 鋰電池

最為普遍使用的鋰電池，被大量使用於各種電子設備，如手電筒、電動機車、IOT 設備。此次實驗利用此鋰電池作為智慧路燈內部

存放再生能源的蓄電池。

3. 繼電器(Relay)

具有自動開關功能的電子元件，此次實驗選擇了**電磁式的繼電器**，將其作為轉換電路的功能使用，以達成電網中電力共享的機能。此實驗因要轉換自身蓄電池與外部供電，因此採用**雙軸單切(Double Pole Single Throw, DPST)**的繼電器。

4. 升降壓模組(Buck-boost converter)

為一種直流-直流轉換器，並可對輸出電壓作調整。鑒於開發板本身的硬體限制，此次實驗須使用5V 的腳位作為電力輸入，3.3V 腳位作為 LED、電壓監測模組等零件的電力來源。但有些零件如繼電器需要5V 的電壓才可正常運作，而同時供應多個路燈時也須提高電壓，因此須倚靠升降壓模組將電壓調節至所需範圍。

5. 電壓監測模組(Voltage sensor)

監測電池電壓，用以判斷電池剩餘電量。其獲取的資訊可傳送回伺服器，用於智慧電網電力調度的必要依據。

6. 紅外線感測模組(IR sensor)

智慧路燈的基礎設備之一，接收人體所發出的紅外線，偵測是否有人員，用以感測是否有人員經過，並依此數據調節智慧路燈的亮度。此實驗還會此資料上傳至 main server 以計算優先級。

7. 環境光感測模組(Photoresistor)

感測環境光資訊，用以調節路燈的亮度。

8. 二極體(Diode)

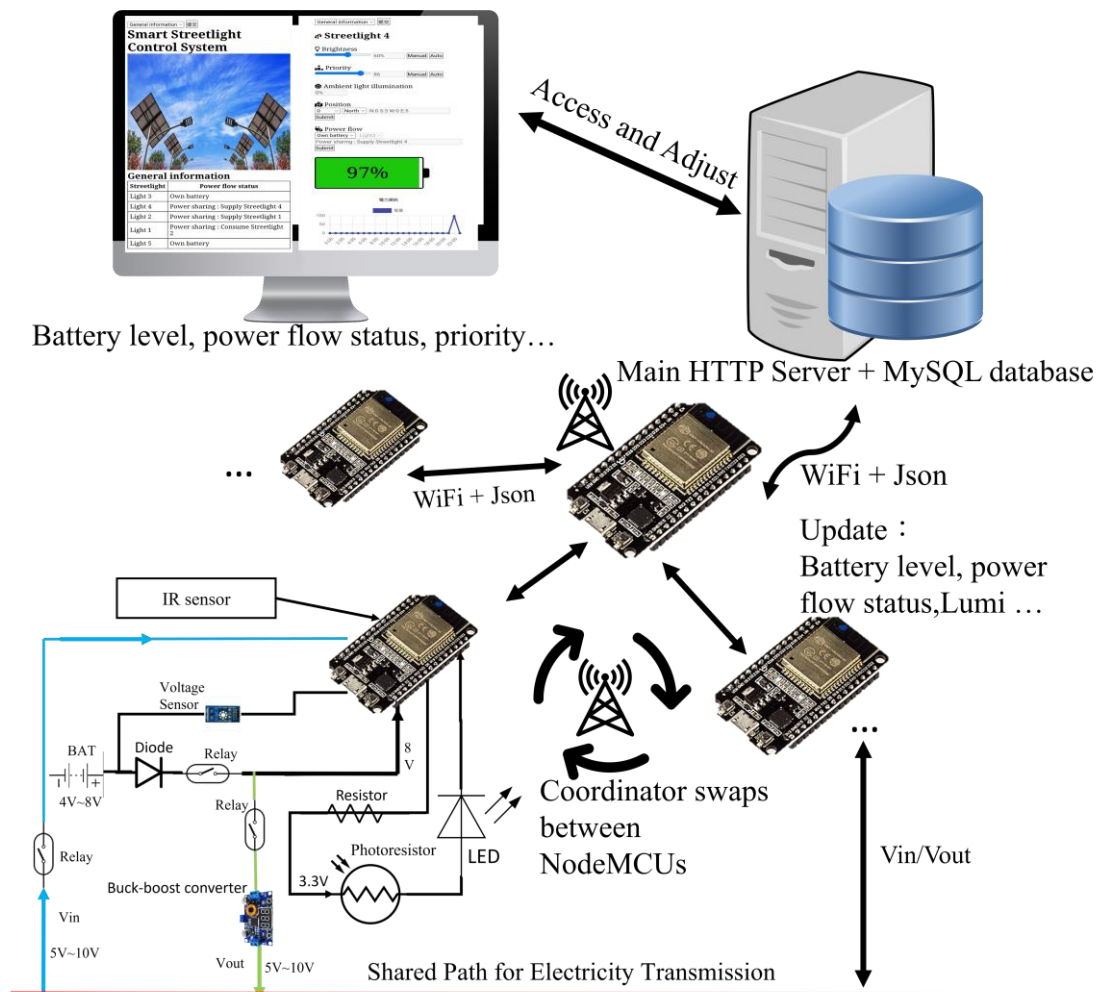
具有一端高電阻，一端低電阻之特性的電子元件。此特性使其在一定電流範圍內可讓電流單方向導通，並有**整流的功效**。此實驗利用**二極體單向導通的特性以正確測出電池電壓**(即不會測量到共享電力時其他路燈蓄電池的值)。此次實驗為了減少流通二極體時造成的壓降損失，以及硬體架設上的方便，採用 **1N4001 矽二極體**。

9. Main server

架設伺服器以供使用者及 NodeMCU 存取網頁及資料庫，並負責計算優先級及記錄電量等歷史資訊。

二、系統架構

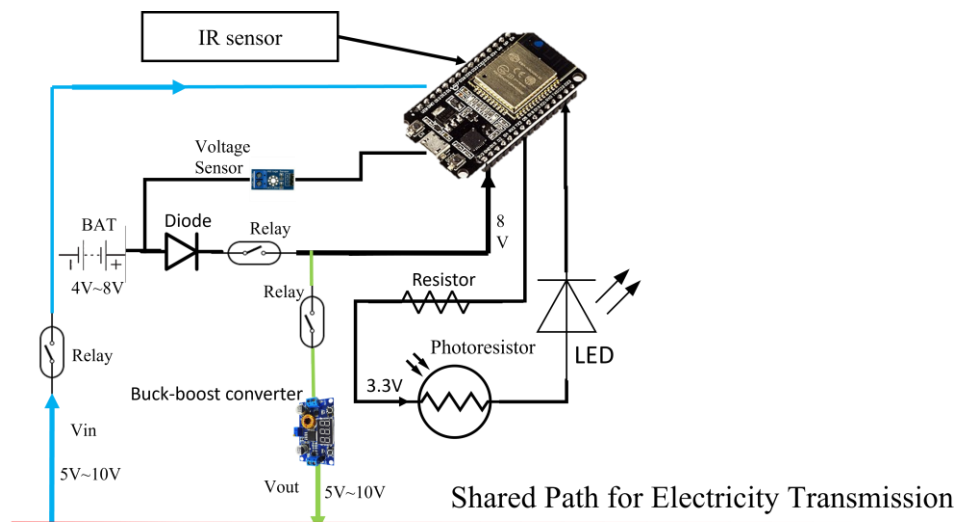
在每個區塊裡的數個以 NodeMCU 控制的智慧路燈中，**會有一個作為協調者以控制其他智慧路燈**，如路人觸發路燈與電力供給的協調，同時也負責將各路燈包含自己的資料上傳至 Main server，Main server 則負責處理跨區塊的溝通、使用者的操作及優先級的計算，並在網頁上顯示各路燈的狀態，如電量、環境光、位置、亮度等，以及便於使用者操作的各種選項。作為**協調者的路燈在電量不足時會在該區塊中選擇電量充足者作為下一個協調者**，以此達到系統的永續性。



圖壹、此實驗之整體架構

1. 智慧路燈

在單一個路燈中，此實驗使用一個 NodeMCU 連接 LED、環境光感測模組、紅外線感測模組、電壓監測模組等，並使用 18650 鋰電池供電，以電壓之值監控電池電量，在電池電量不足時則切換為外部電源供電。



圖貳、單一路燈之電路架構簡圖

2. 作為協調者時的智慧路燈

在各路燈加裝 NodeMCU Wi-Fi 模組，並從各區路燈中選出一個路燈作為協調者，負責收集區域中各路燈資料並依此做出電力調度決策。電路方面，此實驗以一排為單位，並將每排並聯，旨在簡化電路與控制上的困難。

3. Main server

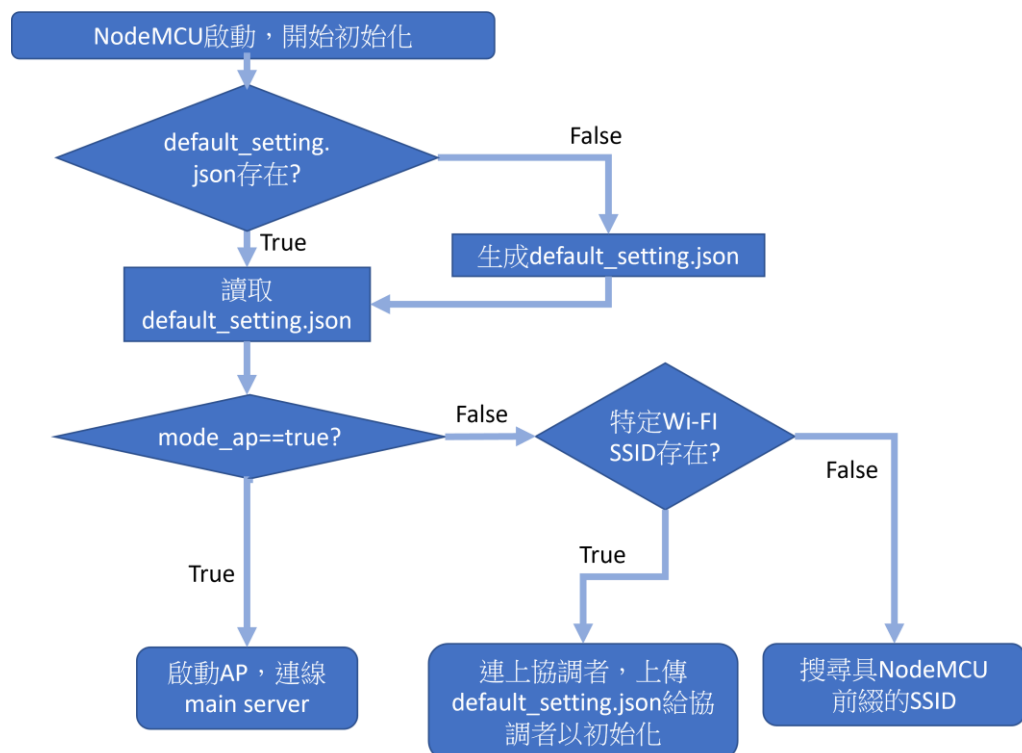
使用 MySQL 架設資料庫，儲存所有路燈的相關資訊(優先級、群組、相對位置、電量等)，並使用 Apache2 架設伺服器，讓智慧路燈可上傳當前資訊及下載所需資料以供協調者進行調整；此外使用者可以網頁的方式瀏覽路燈當前及歷史資訊，並可讓使用者在網頁調整如供電、優先級等參數。Main server 也負責計算優先級與不同群組路燈之間的溝通，使所需資訊(如路人經過)傳遞過程不會受限於路燈之群組。

三、實行細節

1. NodeMCU 初始化

以此實驗的性質而言採用 publisher/subscriber 的通訊協定較為適當，但是受限於 NodeMCU 的效能限制(協調者要與 broker 溝通也要同時作為 AP 運作)，因此此次實驗皆以 HTTP 協定作為傳輸方式。

NodeMCU 啟動時會先檢查是否有用於初始化的 json 檔案 (default_setting.json)，若檔案不存在則根據 NodeMCU 的當前資訊(如 NodeMCU 的編號、網路狀態等)生成。之後讀取 json 檔案以執行相關的網路設定，若變數 mode_ap 為 true，則 NodeMCU 作為協調者啟動 AP(Access Point)功能，並連上 Main server；若 mode_ap 為 false，則 NodeMCU 搜尋指定名稱(群組編號為後綴的特定名稱 SSID)的 Wi-Fi SSID。若成功搜尋則 NodeMCU 連上指定的協調者，並上傳 json 以進行初始化；若搜尋失敗，則 NodeMCU 會搜尋具特定前綴的 Wi-Fi SSID 以嘗試連上其他協調者。

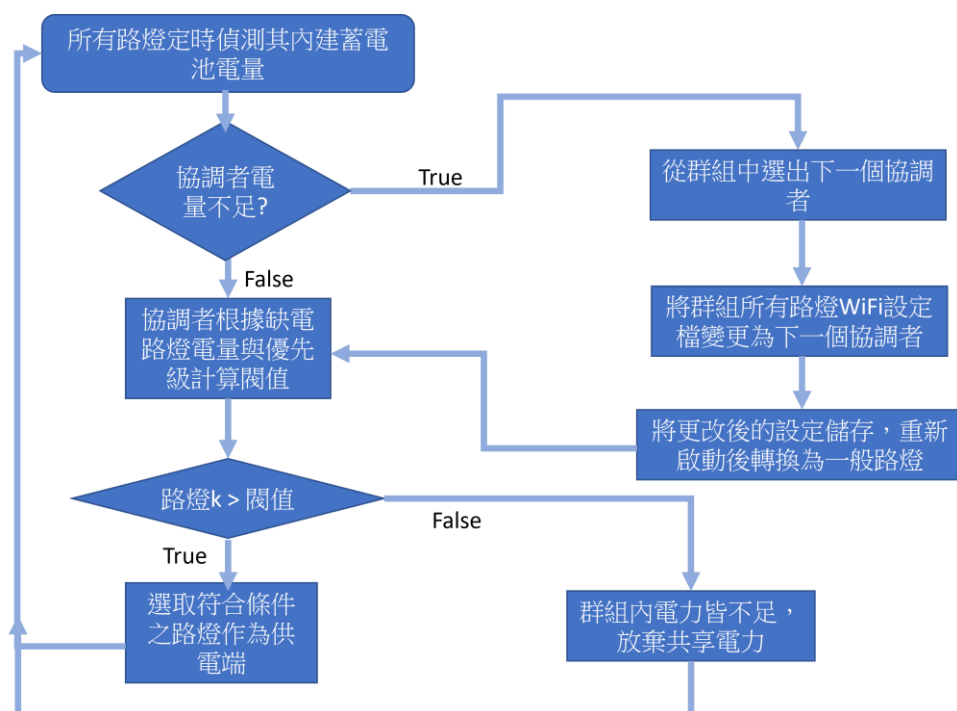


圖參、NodeMCU 初始化之流程圖

2. 群組內電力分配與協調者轉換

所有智慧路燈都會定時偵測其內建蓄電池的電量，並判斷是否低於預設的門檻值。若低於門檻值且路燈為協調者，則協調者會**根據電量，從群組中選出下一個協調者**。爾後更新群組中所有智慧路燈的 Wi-Fi 設定檔，並將更改後的設定儲存在 NodeMCU 中，協調者在重新啟動後便會轉換為一般路燈。

電量不足(目前設定為40%)的路燈會發送電量不足的訊號給協調者。協調者若接收到電量不足的訊號，則會先**根據缺電路燈的電量與優先級(範圍:0~100；0為最優先)**計算出閾值，再計算群組內其他路燈之數值(剩餘電量*優先級)是否高於閾值，將符合條件的路燈設定為供電端，並利用繼電器調整電路以達到共享電力之目的。

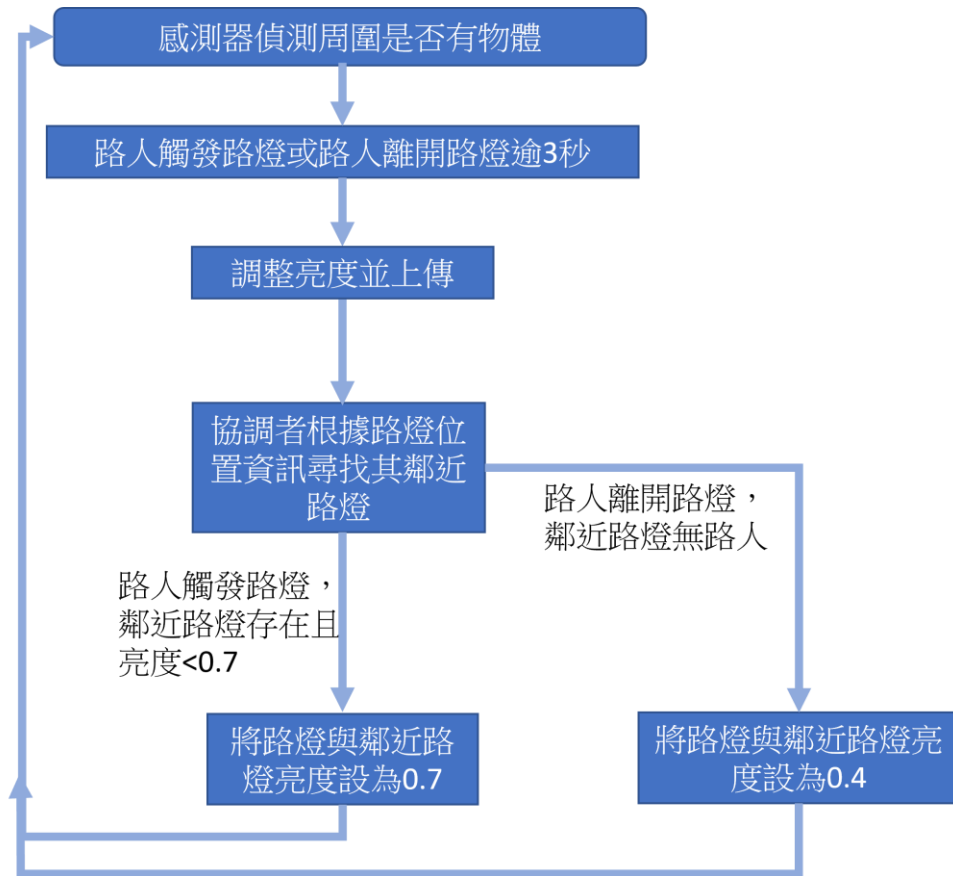


圖肆、協調者調整電力分配之流程圖

3. 路燈觸發機制

路人經過抑或是離開路燈附近逾三秒後，路燈會調整自身的亮度並將路人的資訊上傳至協調者，協調者在根據路燈的位置資訊找出鄰

近路燈。若路人觸發路燈且鄰近路燈存在且亮度(範圍:0~1)較低，則將鄰近亮度調至指定值；若路人離開路燈且鄰近路燈也未偵測到路人，則將鄰近路燈亮度調低。



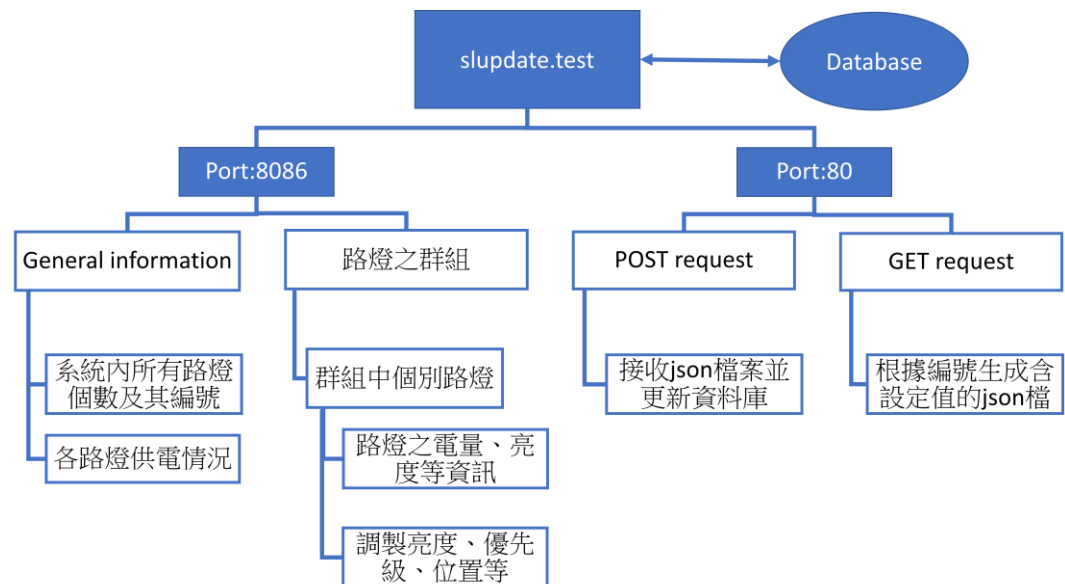
圖伍、路燈觸發機制之流程圖

4. 溝通機制

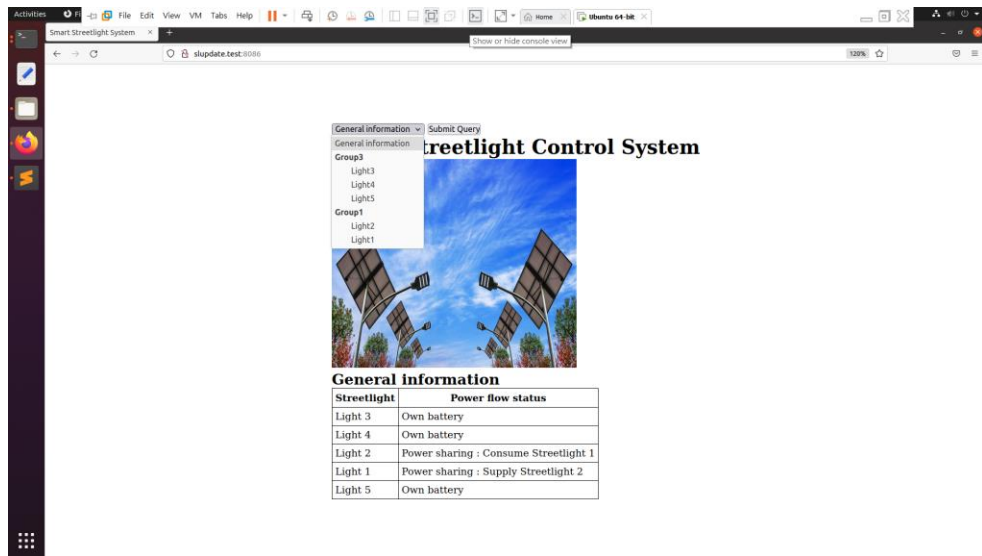
協調者會將群組內所有路燈之資訊蒐集後生成 json 檔案上傳(使用 HTTP POST)至 Main server，用以產生可供使用者檢視與調整的網頁。Main server 則會根據使用者在頁面上的更改與否，若使用者未更改，則 Main server 會根據群組中一段時間內每個路燈偵測到的路人數量，給予不同的優先級。當協調者從更新頁面請求資訊時(使用 HTTP GET，並附上 NodeMCU 編號以辨認)，Main server 會生成內含異動的設定值(亮度、優先級、位置等)之 json 檔給協調者。

5. Main server – 網頁伺服器

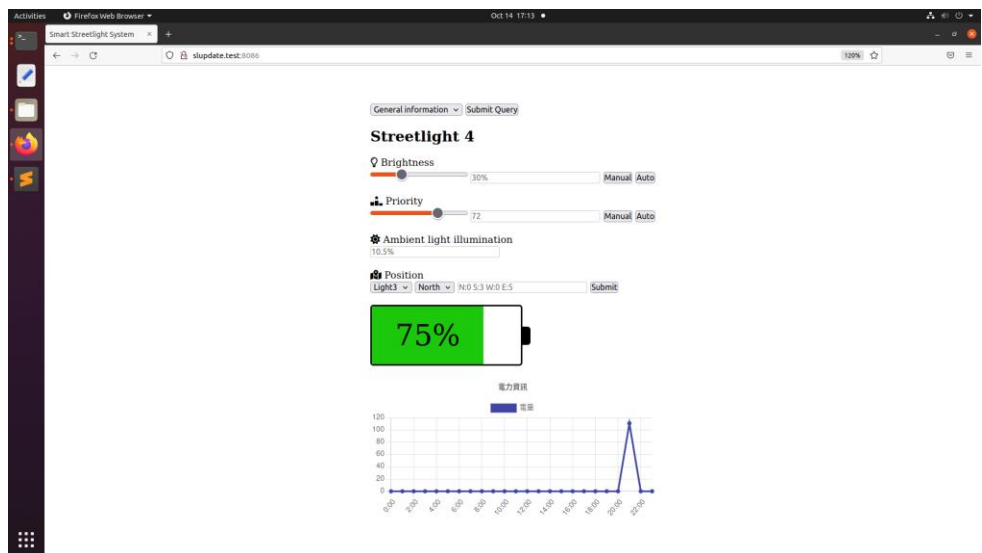
Main server 的部分包含了網頁的伺服器及資料庫，環境為 VMware Workstation 虛擬機搭載 Ubuntu 20.04。網頁的部分包含了使用者頁面及 NodeMCU 的上傳與更新頁面，並使用 Apache2 架設 HTTP 網頁伺服器。此次實驗的 Main server 僅在單一主機上運行，因此針對使用者頁面與更新頁面的不同網域，此實驗使用 **port-based virtual host** 解決，以同一 IP 不同 port number 來區分不同的服務。使用者頁面對應到 port 8086，NodeMCU 頁面則對應 port 80。



圖陸、網頁架構之示意圖



圖柒、使用者網頁之頁面(主頁)



圖捌、使用者網頁之頁面(路燈頁面)

6. Main server – 資料庫

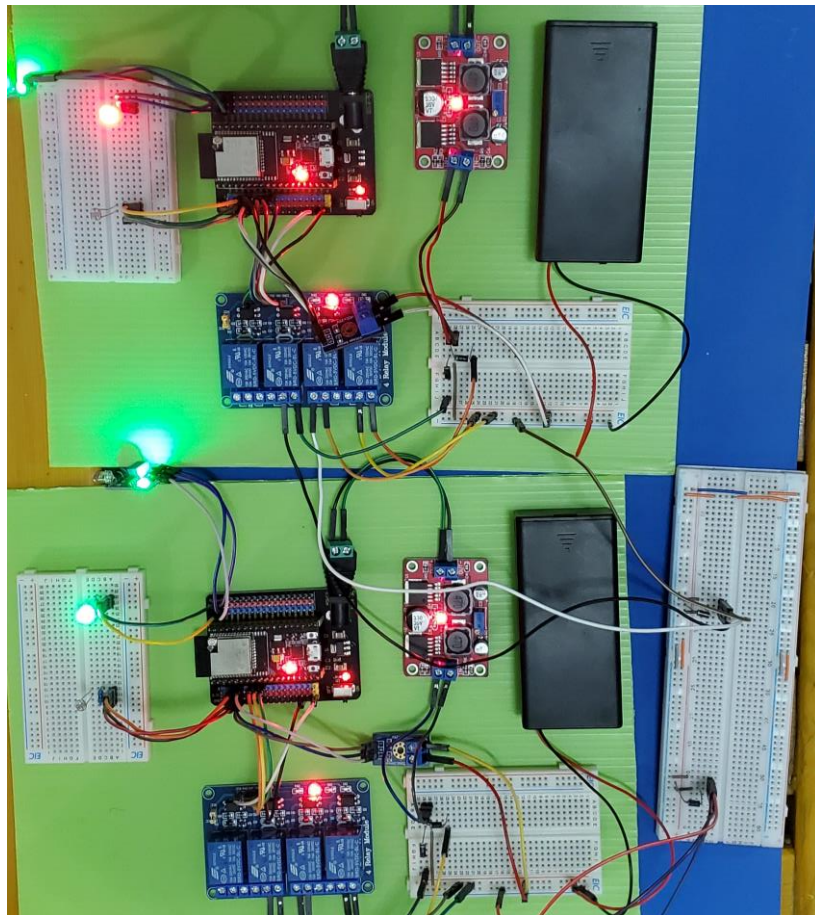
資料庫採用 Oracle 旗下的 MySQL。此實驗建立了4個 table，包含了 streetlights, battery_status, ped_status 與 chg_status。streetlights 主要用於更新與記錄使用者網頁上的資訊；battery_status 負責記錄所有路燈的電量變化，用於顯示使用者網頁上的電量趨勢圖；ped_status 會記錄所有路燈所偵測到的路人資訊，並用於計算路燈的優先級，若使用者未於網頁上給予自訂的優先級，則此優先級會用於更新資料庫內

容；chg_status 記錄 NodeMCU 上傳的所有資料，之後用於偵錯與檢視電力分配之變化趨勢。

7. 智慧路燈之硬體

路燈之硬體基本上遵照圖二的架構，一組(3個)使用此實驗架構之智慧路燈在測試時所有機能皆正常，啟動電力共享後雖仍可正常運作，但長時間的測試則會出現因多組路燈所需電流較大，導致杜邦線與升降壓模組溫度過高，協調者因而無法上傳的情形。

為了使整體硬體更加穩定運行，此實驗目前將協調者剔除於供給電力的候選行列(經觀察發現大量的電流其一原因是因啟動 AP 功能所導致)，並更換 LED 模組(原先展示而選取3W 之 LED 模組，導致其抽取近1A 之電流)。



圖玖、採用本實驗架構之一組智慧路燈硬體

8. 實際運作

8-1. 測試環境

我們實驗使用一個協調者，與兩個受其管轄之路燈作為實驗組與對照組，以測試不同策略下的運作時間之表現。其中因協調者須負責更新與計算，因此將其資料剔除於我們的測試數據中。可正常運作的基準為開發板可以啟動無線模組(啟動無線模組需較大且穩定的電力)以上傳資料至協調者，若僅是可根據感測器與舊有資料做出局部的決策則視為無法正常運作。

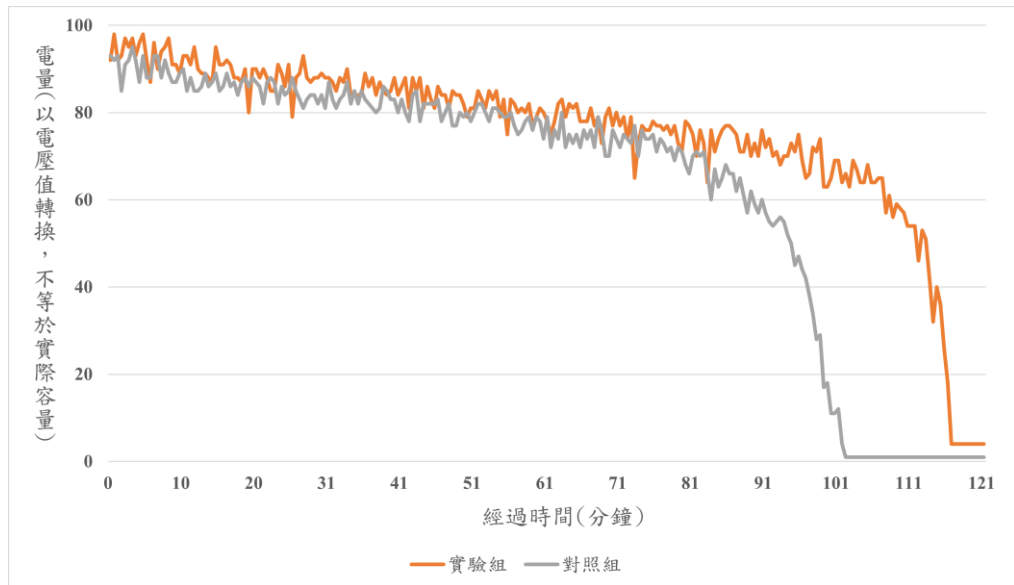
8-2. 協調者切換

協調者切換的電力門檻此實驗目前設定為最高電壓的40%。為了避免電壓感測器的數值浮動而導致的頻繁協調者切換，此實驗將電壓測量值與前五筆的電壓資料做平均後才加以判斷。而為了電流上的穩定性，協調者切換後新的協調者會被剔除於供電的候補中。

8-3. 亮度調節測試

在亮度調節測試方面，實驗組與對照組的蓄電池皆採用1200mAh的18650鋰電池兩個；感測器所偵測的路人數值則使用隨機路人的方式產生，即每次上傳時利用設定的優先級數值作為機率生成路人，優先級為0時為100%，反之100時為1%(因感測器仍可能偵測到如動物等，因此不將其設定為0%)；優先級採用使用者設定的方式(即優先級不會跟隨資料庫中的路人資料進行調整)，實驗組與對照組皆設為50。

實驗組無論感測是否偵測到路人，亮度皆恆設定為1(即最高亮度)，對照組則採用路人觸發機制以調整亮度。測試顯示可額外運作約兩成的時間。

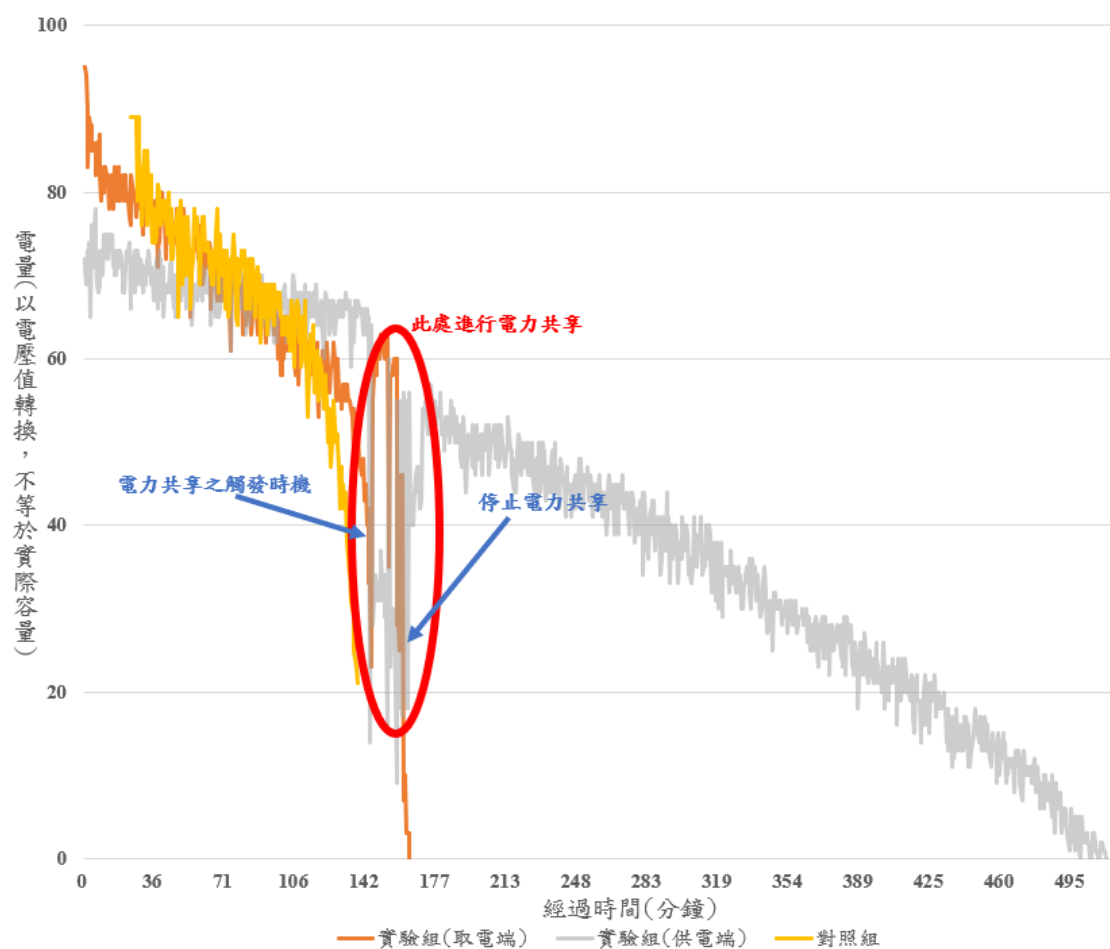


圖壹拾、亮度調節機制下之運作時間與電量趨勢圖

8-4. 電力共享測試

電力共享方面對照組採用的蓄電池皆採用1200mAh 的18650鋰電池兩個；實驗組則使用兩個受同一協調者管轄、不同電池容量(為了模擬電量不同的環境)之路燈進行，供電端使用3400mAh 的18650電池兩個，取電端使用1200mAh 的電池兩個，以此模擬蓄電池電量不均的情境。實驗組與對照組皆使用隨機路人(根據優先級生成機率，一開始由使用者設定成皆最低優先級)，並採用亮度調節策略下，取電端可在電壓低於標準(40%)後啟動電力共享。從圖表可見4號路燈在電壓監測到30%以下觸發5號路燈的電力共享，並持續運作一段時間。

現今的硬體架構仍會在負載升高時偵測到較低的電壓，因此在電力共享時5號路燈偵測到電壓低於20%時，便中斷電力共享。並在回歸正常負載後偵測到50%的電力，但系統紀錄其為上一個供電端，因此被剔除於供電者的候選。



圖拾壹、電力共享機制下運作時間與電量之趨勢圖

8-5. 運作時間統計

以下使用表格呈現不同功能下的運作時間之差異。協調者的功能會使運作時間大為縮短；亮度調節機制雖在目前的环境下差異不大，未來可以靠優先級再行改善；此實驗的靜態電力分配方案可使取電端正確通知協調者並額外運作五成之時間。

表一

不同功能下的運作時間統計表

變項	對照組	實驗組	
		取電端	供電端
協調者功能	95	63	—
亮度調節機制	101	117	—
電力共享機制	98	157	511

註:單位為分鐘。

四、未來展望

1. 協調者存取 Main server 之時間間隔

協調者存取 Main server 以更新資料的間隔目前設定為30秒(30秒上傳，5秒下載)，但仍需要進行更多測試以得到電力消耗與網頁資料即時性的平衡點。

2. 更合適之通訊協定

以路燈性質而言，無須時常做更新與同步，因此採用 publisher/subscriber 類型的訊息協定應較為適合，如 MQTT 等協定。

3. 應用於實際路燈

此次的實驗仍是僅以開發版為基礎的模擬。倘若應用到現實路燈中需考慮如控制訊號的轉換、更高電壓下的電力控制等。應可參考 5G 智慧杆場域驗證專案中的智慧杆管理平台、邊緣運算資安的標準重新設計。

(四) 參考文獻

- [1] Kokilavani, M., & Malathi, A. (2017). Smart street lighting system using IoT. *Int. J. Adv. Res. Appl. Sci. Technol*, 3(11), 08-11.
- [2] Abdullah, A., Yusoff, S. H., Zaini, S. A., Midi, N. S., & Mohamad, S. Y. (2019). Energy efficient smart street light for smart city using sensors and controller. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 8(2), 558-568.
- [3] Gagliardi, G., Lupia, M., Cario, G., Tedesco, F., Cicchello Gaccio, F., Lo Scudo, F., & Casavola, A. (2020). Advanced adaptive street lighting systems for smart cities. *Smart Cities*, 3(4), 1495-1512.
- [4] Müllner, R., & Riener, A. (2011). An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*.

- [5] Durrani, S., Arif, H., Ali, E., Ali, A., Khan, S., & Ali, H. (2018, April). A smart framework for power distribution and load balancing using Arduino. In *2018 1st International Conference on Power, Energy and Smart Grid (ICPESG)* (pp. 1-6). IEEE. [_](#)
- [6] El-Faouri, F. S., Sharaiha, M., Bargouth, D., & Faza, A. (2016, October). A smart street lighting system using solar energy. In *2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)* (pp. 1-6). IEEE. [_](#)
- [7] Kivrak, S., Özer, T., Oğuz, Y., & Erken, E. B. (2020). Battery management system implementation with the passive control method using MOSFET as a load. *Measurement and Control*, 53(1-2), 205-213. [_](#)
- [8] Duan, C., Wang, C., Li, Z., Chen, J., Wang, S., Snyder, A., & Jiang, C. (2018). A solar power-assisted battery balancing system for electric vehicles. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 4(2), 432-443. [_](#)
- [9] Gules, R., Pacheco, J. D. P., Hey, H. L., & Imhoff, J. (2008). A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications. *IEEE transactions on industrial electronics*, 55(7), 2674-2683.