

# 綠色校園電能使用管制感測及管理系統之設計與實作

蘇暉凱\*, 黃國城, 張鈞皓  
國立虎尾科技大學 電機工程系  
Email: hksu@nfu.edu.tw\*

## 摘要

近年來由於石化能源使用殆盡，國際原油價格持續飆漲，使得發電成本增加；同時在人們生活水準上升情況下，用電量逐年大幅度的成長。在能源有限的前提之下，節約能源的技術仍有很大的改善及檢討空間，如何有效地使用電力與節約能源成為一項很重要的議題。由於校園環境單純、使用族群特定，教室密集度高，大部分教室都配置大量的燈光設備與多台冷氣及教學資訊設備，一旦這些使用者沒有妥善的使用設備，像是使用完畢之後卻沒有隨手關閉電源、冷氣溫度設定過低等情形，這些將造成電能大量浪費。因此，本論文提出以教室環境為基礎，設計綠色校園節能感測監控及管理系統，進行有效率地能源監控與管理。本系統分為感測控制器、感測開道器、監控中心三個部份，第一個部分為無作業系統的微控制器，整合乙太網路(Ethernet)、感測器、繼電器、RFID；第二個部分為嵌入式系統，收集大量感測控制器的數據並且彙整；第三個部分為監控中心包含資料庫和 Web 介面；並且利用現有的校園網路來進行資料傳遞。使用者識別證件權限判斷教室能源使用權力，並且結合課表的上下課時間、溫度及亮度變化的合理性給予主動式關閉教室能源來避免不必要浪費，達到節能減碳目的。

**關鍵詞：**無線射頻辨識系統，電能，嵌入式系統，感測器，控制器。

## 1. 前言

隨著科技快速發展，能源使用量與需求量越來越大，地球暖化以及溫室效應逐年增加，海平面也逐年上升，使得地球生態瀕臨危機和能源耗竭。因此做好節能減碳並且減少碳的排放量是非常重要的，有效地控管能源的使用，將有助於避免能源的浪費。近年來，每到夏月時節各機關學校用電量隨即激增，一般機關學校的尖峰需量超約情形越來越嚴重。「節能減碳」已經成為一個熱門詞彙，在各個大專院校的推動下，「綠色校園」已經成為每個學校的口號，呼籲校內成員要少開冷氣、隨手關電源、勤關電腦、上二下三走樓梯，共同省電愛地球。但是，以大學校園環境來說，占地面積大，學生人數多以及上課時間範圍不一的情況下，教室能源使用有下列幾個問題：能源不當使用、能源浪

費、能源使用控管不佳…等等。因此，教室管控能源的使用[1-3]，隨時監視教室能源狀況，可以有效地避免能源的浪費。因此，本論文提出綠色校園節能感測監控及管理系統，採用低成本微控制器作為感測控制器執行監測資料收集，使用嵌入式開發板作為感測開道器接收監測數據封包，並以網路作為傳輸監測數據的媒介，減低了佈線工程所需要增加的額外成本。管理者可透過監控中心觀察溫度感測器與亮度感測器的監測，在監控中心可以瞭解亮度變化與溫度變化，對於不正常電力使用的教室，主動中斷電力提供。系統判斷使用者識別證件的權限給予教室能源使用權力，並且結合課表的上下課時間給予主動式關閉教室能源，使得校園管理員更輕易地有效控管教室能源的使用，以達到節能減碳的目標。

## 2. 相關技術

### 2.1 RFID 技術

RFID全名為Radio Frequency Identification，它是一種利用記憶體高儲存資料容量的技術及無線電射頻傳輸技術的結合以提供人類快速地得到以往在傳統條碼受限及僅非常少量的瓶頸突破。它將是全面性取代目前市面上以傳統條碼來記錄及標示物品或設備以辨識價格、種類等重要資訊的最佳取代方案。RFID 系統硬體主體架構主要是由讀寫器(Reader)、電子標籤(Tag)、天線(Antenna)等組成。

RFID 無線射頻辨識系統科技依照頻率區分規格[4]及主要應用分類如下：

1. 低頻：頻段範圍為 10KHz~1MHz，主要規格有 125KHz、135KHz，一般這個頻段的電子標籤幾乎是被動式的，應用於門禁系統、動物晶片、汽車防盜器等。

2. 高頻：頻段範圍為1MHz~400MHz，主要規格有13.56MHz，這個頻段的標籤主要還是以被動式為主，就是我們所熟知的捷運卡。和低頻相較，其傳輸速度較快且可進行多個標籤辨識，一般應用於圖書館進出管理、產品管理、ID Card等。

3. 超高頻：頻段範圍為 400MHz~1GHz，主要規格有 433 MHz、868~950MHz主動式和被動式的應用在這個頻段都很常見，被動式標籤讀取距離約3~4公尺左右，傳輸速率較快。由於讀取距離較遠、資訊傳輸速率較快，目前為市場的主流，而且

可以同時進行大數量標籤的讀取與辨識，未來將廣泛應用於航空旅客與行李管理、出貨、物流等。

4. 微波：頻段範圍為 1GHz 以上，主要規格有 2.45GHz、5.8GHz，微波頻段的特性與應用和超高頻段相似，讀取距離約為2公尺，但是對於環境的敏感性較高，一般應用於高速公路收費、物品管理、物流管理等。

RFID標籤分為被動、半被動（也稱作半主動）、主動三類。

ISO 國際標準組織也為 RFID 制定了一系列標準，分別為 ISO14443A、ISO14443B、ISO15693、ISO18000、ISO 11784。

在本論文當中使用的是 ISO14443B 的規格，系統中確認使用者身分卡片為學生證或是教職員，來確認使用者身分以及權限。

## 2.2 微控制技術

微控制器[5](Micro-Controller Unit)又可簡稱 MCU，也有人稱為單晶片微控制器(Single Chip Microcontroller)，將ROM、RAM、CPU、I/O集合在同一個晶片中，在不同的應用場合做不同應用與控制。微控制器在經過這幾年不斷地研究、發展，從4位元、8位元，到現在的16位元及32位元，甚至64位元。

由於製程的進步，8位元已經漸漸成為市場主流；針對4位元MCU，大部份供應商接單生產，目前4位元MCU大部份應用在車用防盜裝置、無線電話、CD 撥放器、充電器、胎壓計、溫濕度計、遙控器等；8位元MCU大部份應用在電錶、馬達控制器、變頻式冷氣機、傳真機、鍵盤及USB等；16位元MCU大部份應用在行動電話、數位相機及攝錄放影機等；32位元MCU大部份應用在Modem、GPS、PDA、雷射印表機等；64位元MCU大部份應用在高階工作站、多媒體互動系統等。

微控制器的指令集結構較單純、容易發展及修改、I/O及中斷處理能力強，主要發展工作集中在軟體設計上，透過除錯器及開發板即可進行模擬，進行設計及修改的工作。由於微控制器具備單價低、系統硬體架構簡單、應用程式的發展及修改容易、晶片穩定度佳、可靠度高，應用領域極廣，幾乎是無所不在。在不同的場合選擇不同的配備。充份瞭解微控制器的內部資源將有助於產品開發且降低成本，相信在未來會陸續增加新的周邊資源於微控制器內，應用的範圍也愈來愈廣，也因目前已經取代傳統電路設計觀念，進而成為新的設計主流。

## 2.3 嵌入式系統技術

嵌入式系統根據英國電器工程師協會的定義，嵌入式系統為控制、監視或輔助設備、機器或用於工廠運作的裝置[6]。與個人電腦這樣的通用

電腦系統不同，嵌入式系統通常執行的是帶有特定要求的預先定義的任務。嵌入式系統通常針對對一項特殊的任務，設計人員能夠對它進行最佳化，滿足特定需求並且縮小尺寸降低成本。由於嵌入式系統通常進行大量生產。所以單一產品節約成本，在大量的產品上面就可以見到可觀的利潤空間。在大量的產品上面就可以見到可觀的利潤空間。

嵌入式系統[7]在廣義上說就是電腦系統，與通用電腦系統可以滿足多種任務不同，嵌入式系統只能完成某些特定目的的任務。但有些也有即時效能的制約因素必須得到滿足的原因，如安全性和可用性，所以嵌入式系統並非總是獨立的裝置。許多嵌入式系統是以一個部件存在於一個較大的裝置，它為裝置提供更多的功能，使裝置能完成更廣泛的任務。嵌入式系統已有多年的歷史，大致可以分為3個階段：早期的嵌入式系統通常是單晶片為核心的系統，大部分應用於一些工業控制系統中。第二階段是以嵌入式 CPU 為基礎，並以嵌入式作業系統為核心的嵌入式系統。第三階段則是以基於網路應用為目標的嵌入式系統，透過有線與無線網路的連結來迅速發展。

## 3. 系統架構

此章節將會敘述本論文的系統架構，針對校園教室環境以及校園網路提出三階層的概念，並且概述各階層的功能需求。

目前的監控系統大部份是採用嵌入式系統作為底層的控制端，功能強大、運算處理快速，且有作業系統方便操作，但是在校園環境來考量成本的話，教室數量多，每間教室都使用嵌入式系統開發平台的話成本很高。而且大多數的監控系統在感測端到監控中心採用 RS-485 傳輸介面，利用串接方式，若其中一段有問題時，很可能會造成資料傳輸中斷，而且長距離佈線與施工成本高。因此，本系統為了降低成本改採用無作業系統的微控制器作為教室的感測控制器，整體的功能也能符合本系統規劃的需求；在資料傳輸方面使用校園網路來傳送資料，減少了因為佈線工程額外增加的成本。

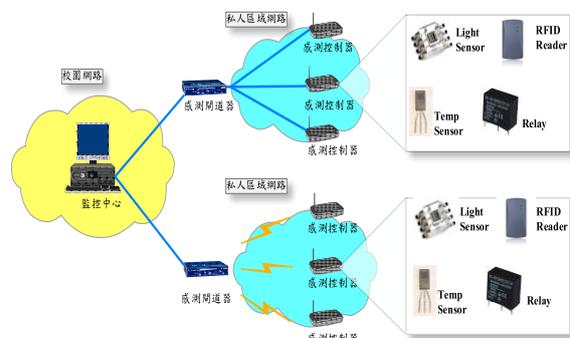


圖 1. 系統環境架構

論文的系統架構，如圖 1，針對校園教室環境以及校園網路提出三階層的概念，並且概述各階層的功能需求。本論文提出綠色校園節能感測監控及管理系統，系統環境可以區分為三個階層：監控中心、感測閘道器、感測控制器三個部份。本系統以感測閘道器作為分界點，監控中心使用校園網路與感測閘道器溝通，使用的是校園實體 IP 位址；由感測閘道器提供區域網路作為感測閘道器與感測控制器之間資料的溝通，這樣整個系統建置下來可以節省整個校園的網路資源以及實體 IP 位址的用量。

綠色校園節能感測監控及管理系統的階層定義如下：

- 感測控制器：
  - 負責收集教室內的資訊，利用溫度感測器、照度感測器、繼電器、RFID Reader 分別感測溫度、亮度；身份辨別、控制電器開關狀態。
    - 溫度感應裝置
      - ◆ 提供環境溫度感測數據
    - 亮度感應裝置
      - ◆ 提供環境亮度感測數據
    - 繼電器
      - ◆ 提供電源開關控制
  - 感測閘道器：
    - 為監控中心與感測控制器的溝通橋樑，負責匯集各個感測控制器所收集的資訊以及傳送監控中心所下達的命令至感測控制器。
      - 網路模組
        - ◆ 有線網路存取介面
        - ◆ 無線網路存取介面
        - ◆ DHCP Server
    - 監控中心：
      - 提供管理者 Web 介面，可以線上即時監控各個教室的溫度以及亮度的監控資料以及使用者登記資料等。使用資料庫系統儲存感測資料，再把所有資料集中整合管理，遠端控制能源的開關與管理權限。
        - 資料庫
          - ◆ 存放各個感測控制器所收集的資料
          - ◆ 使用者登入資料
        - 網頁監控介面
          - ◆ 即時監控各教室的情況

本系統採用低成本的微控制器作為感測控制器，並結合現有的校園網路作為資料傳輸方式，節省設備佈線的成本與時間，尤其是感測控制器配合使用無線網路(WiFi)來傳輸感測資料，以因應各種教室的網路存取環境。

本系統的無線網路環境(WiFi)，對於老舊或是在建造時沒有設置有網路接口的教室，減低了配置網路線的成本，相對來說對於感測控制器的擴充更具便利性以及機動性。

## 4. 軟體元件設計

### 4.1 感測控制器

感測控制器在系統功能為監控教室溫度與亮度，並且透過學生證的認證成功與否來啟動或關閉教室的總電源，經過感測控制器固定時間所擷取的溫度與亮度感測值以及認證的學生證卡號透過網路傳送至感測閘道器。

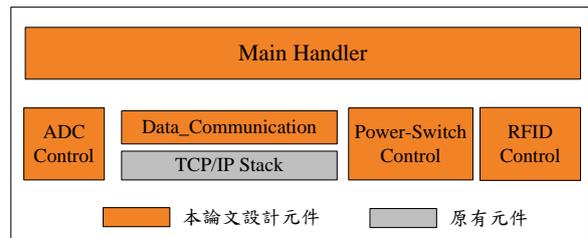


圖 2. 感測控制器-軟體堆疊圖

感測控制器軟體堆疊如圖 2，在設計上的功能需求可分為以下幾點：

- Main Handler
  - 提供硬體初始化(LCD 螢幕、UART、ADC)
  - 調整振盪器並設定 Timer 頻率
- ADC Control
  - 擷取並轉換感測元件上的電壓值
  - 以電壓值計算得到目前的教室溫度
- RFID Control
  - 初始化 RFID Reader 並啟動 Reader 天線
  - 處理 Tag\_ID
- Data Communication
  - 傳送 Tag\_ID 與感測數據
  - 接收回覆訊息、命令
- Power-Switch Control
  - 開啟或關閉電源

圖 3 為感測控制器執行時的 State-Machine，下列為感測控制器狀態機功能說明：

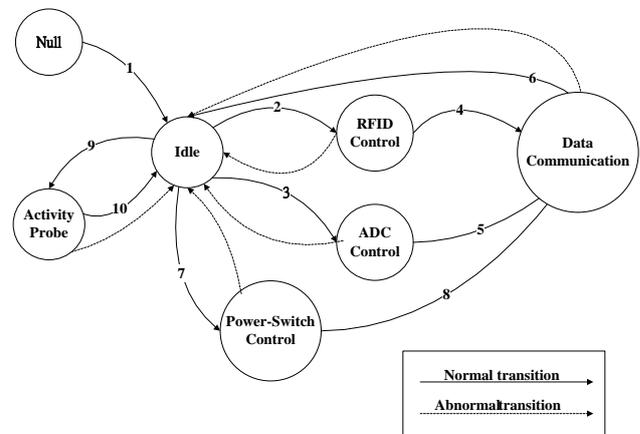


圖 3. 感測控制器-State Machine

- Idle：等待訊息並且判斷訊息格式觸發下一個狀態機
- RFID Control：處理 RFID 訊息
- ADC Control：處理感測值訊息
- Power-Switch Control：處理繼電器開關訊息
- Activity Probe：處理連線保持訊息
- Data Communication：傳送並接收訊息

## 4.2 感測閘道器

感測閘道器的軟體堆疊圖如圖 4，感測閘道器使用的是嵌入式系統，以 Embedded Linux 為核心系統，kernel 版本為 2.16.17-ucl-adi4。在 kernel 的部分把 NAT Server(提供不同網段)、madwifi(提供無線網路模組)、DHCP Server(提供並管理 IP 位址)的功能打開，使用的 Library 包括 uClib、libmysql 等函式庫。感測閘道器主要功能為 Command Translator，基於 Linux Socket 以及 MySQL Communication 結合而成，主要功能為處理感測控制器所傳送的訊息，依照不同服務需求的訊息格式使用不同的 MySQL Communication。基本功能還是以 Linux Socket 為主，透過訊息的交換達到感測控制器與監控中心的互動。

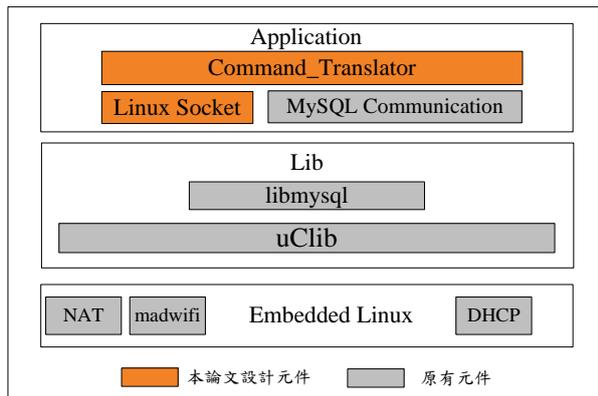


圖 4. 感測閘道器-軟體堆疊圖

MySQL Communications 在 client 端通常用到的幾個功能如下所示：

- Insert：在資料庫中新增一筆新的記錄資料。
- Select：查詢資料庫的內容。
- Delete：刪除資料庫中的記錄資料。
- Update：更新資料庫中的記錄資料。

如圖 5 為感測控制器執行時的 State-Machine，下列為感測控制器狀態機功能說明：

- Idle：等待訊息並且判斷訊息格式觸發下一個狀態機
- Remote Control：處理遠端控制訊息
- Command Translator：處理並轉換感測值及認證資訊
- Activity Probe：處理連線保持訊息
- Data Communication：傳送並接收訊息

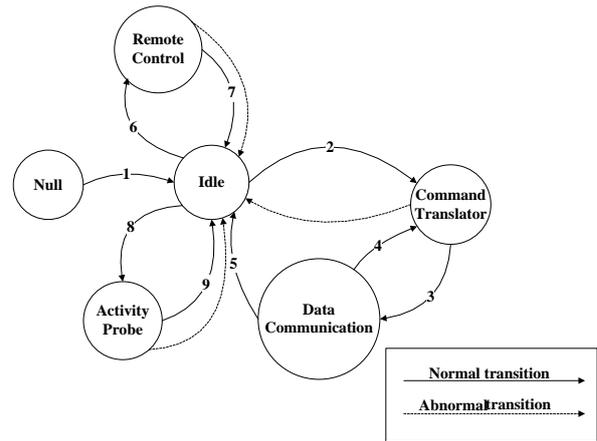


圖 5. 感測閘道器-State Machine

## 4.3 監控中心

監控中心軟體架構，如圖 6，以 Linux OS 為作業系統，kernel 版本為 2.6.32-31-generic。使用的 Library 包括 gClib、libmysql 等函式庫。監控頁面建立於 Apache Httpd、MySQL Server、PHP 之上，透過網頁的方式監控感測控制器所回傳的教室狀態，學生使用記錄等。

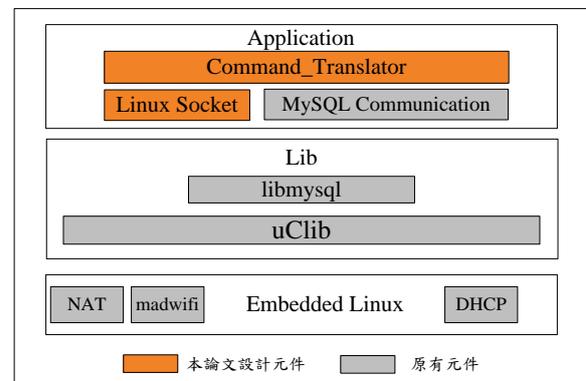


圖 6. 監控中心-軟體堆疊圖

管理者透過網頁方式顯示出各個教室的即時的溫度、亮度感測值、繼電器的狀態。管理者如果發現有教室發生不當電源的使用，例如上課期間教室溫度感測值不合乎標準值或是非正常上課時間亮度感測值不符合標準值，也可以使用 Remote Control 透過 Linux Socket 通知感測控制器關閉繼電器。另外系統也以使用者識別證件權限判斷教室能源使用權力，並且結合課表的上下課時間、給予主動式關閉教室能源來避免不必要浪費。整個環境都在監控中心的監控之下，為了要確保感測控制器以及感測閘道器的網路連線狀態，監控中心會間隔一段時間會傳送測試訊息去要求感測閘道器、感測

控制器回應是否存在於網路環境中。

監控中心執行時的 State-Machine 如圖 7，監控中心各個狀態機功能說明如下：

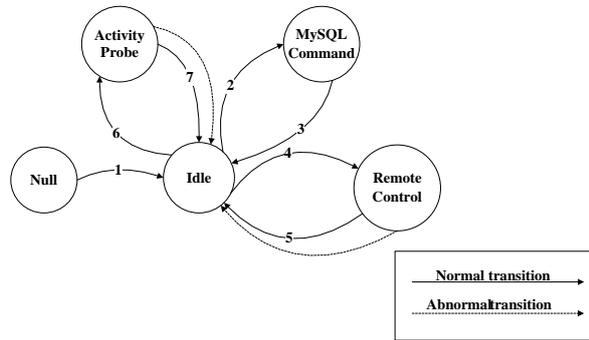


圖 7. 監控中心 -State Machine

- Idle：執行命令或是等待訊息並且判斷訊息格式觸發下一個狀態機
- MySQL：處理並轉換感測值及認證資訊
- Activity Probe：處理連線保持訊息
- Remote Control：處理遠端控制訊息

## 5. 系統測試與效能量測

本章節將進行系統功能性驗證包括認證身份與感測值的記錄與效能量測，最後再將實際測量結果呈現出來。將所有環境建置好，包括感測控制器接上溫度與亮度感測電路、RFID Reader、蜂鳴器，繼電器裝置外接上 LED 作為待測電器設備。感測閘道器的網路環境設定，並啟動程式。並且登入資料庫以及監控中心查看資料是否正確寫入以及監控中心的網頁是否更新資料。

### 5.1 學生證認證

- 認證流程：感測控制器→感測閘道器→監控中心(資料庫)→感測閘道器→感測控制器
  - 感測控制器擷取到學生證 tag\_ID



圖 8. 獲取 tag\_ID

感測控制器擷取到學生證上的 Tag\_ID 之後會顯示 LCD 的下排，如圖 8，格式為 ID：XXXXXXXX，然後將 Tag\_ID 以及感測控制器 ID 傳送到感測閘道器。

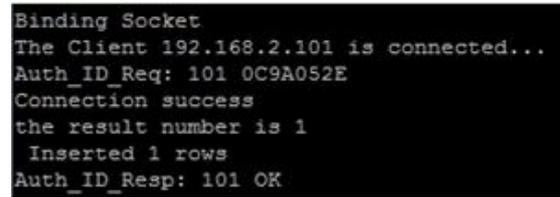


圖 9. 感測閘道器接收並傳送資訊

感測閘道器收到感測控制器傳的訊息，如圖 9 訊息格式秀在 console 端，連結資料庫成功秀出 Connection success，連結成功之後程式會去資料庫查詢是否有這筆的資料。如果有，result number 回傳為 1，否則為 0，回傳值為 1 就會把感測控制器的這筆資料寫入資料庫。寫入成功後訊息顯示 Inserted 1 rows 並且回傳認證成功的訊息回到感測控制器，監控中心的網路管理介面如圖 10。

| 您好，歡迎使用本系統。 |          |       |      |         |                     |
|-------------|----------|-------|------|---------|---------------------|
| 請選擇您想使用的服務。 |          |       |      |         |                     |
| 學生證認證資訊     | 教室資訊     | 登出本系統 |      |         |                     |
| 學生證認證資訊     |          |       |      |         |                     |
| 姓名          | 學號       | 課程    | 教室編號 | 教室名稱    | 登錄時間                |
| 黃國城         | 19865122 | 嵌入式系統 | 307  | 單晶片實驗室  | 2011-07-06 13:14:38 |
| 黃國城         | 19865122 | 嵌入式系統 | 307  | 單晶片實驗室  | 2011-07-06 13:12:24 |
| 胡騰雄         | 19865130 | 嵌入式系統 | 307  | 單晶片實驗室  | 2011-07-06 11:55:26 |
| 胡騰雄         | 19865130 | 資料庫系統 | 310  | 微處理機實驗室 | 2011-07-05 22:50:43 |
| 黃國城         | 19865122 | 資料庫系統 | 310  | 微處理機實驗室 | 2011-06-30 15:00:22 |

圖 10. 學生證認證資料

### 5.2 溫度與亮度感測值

- 記錄感測值流程：感測控制器→感測閘道器→監控中心(資料庫)

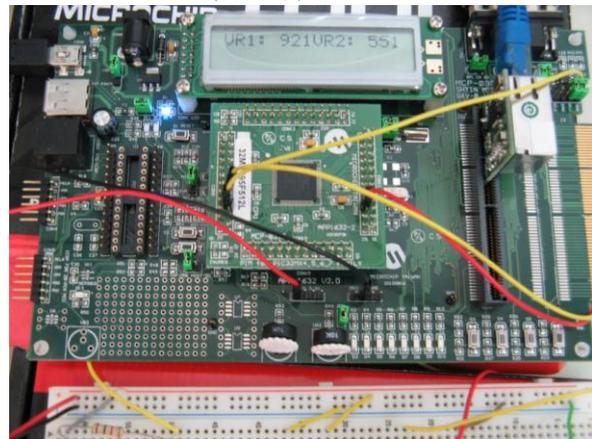


圖 11. 溫度、亮度感測值

感測控制器擷取到溫度感測值以及亮度感測值分別會顯示 LCD 上排，如圖 11 格式為 VR1:XXX、VR2XXX，VR1 代表溫度感測值；VR2 為亮度感測值，然後將感測值還有感測控制器 ID 等資訊傳送到感測閘道器。

```
Binding Socket
The Client 192.168.2.101 is connected...
ADC_Values: 101 921 551
101
921
551
Connection success
Inserted 1 rows
ADC_Values_Resp: 101 OK
```

圖 12. 感測閘道器接收並傳送資訊

感測閘道器收到感測控制器傳的訊息，Console 端，如圖 12，連結資料庫成功秀出 Connection success，連結成功之後將 Temp、Light、s\_ID、update\_time 等值寫入 Sensor\_Log，寫入成功後訊息顯示 Inserted 1 rows 並且回傳認證成功的訊息回到感測控制器，並且在監控中心的網路管理介面如圖 13。

| 您好，歡迎使用本系統。 |         |      |     |       |                     |  |
|-------------|---------|------|-----|-------|---------------------|--|
| 請選擇您想使用的服務。 |         |      |     |       |                     |  |
| 學生證認證資訊     |         | 教室資訊 |     | 登出本系統 |                     |  |
| 教室資訊        |         |      |     |       |                     |  |
| 教室編號        | 教室名稱    | 溫度   | 亮度  | 感測器   | 紀錄時間                |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 922  | 737 | 101   | 2011-07-19 11:15:57 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 920  | 737 | 101   | 2011-07-19 11:15:52 |  |
| 307         | 單晶片實驗室  | 923  | 793 | 102   | 2011-07-19 11:15:49 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 920  | 737 | 101   | 2011-07-19 11:15:46 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 920  | 737 | 101   | 2011-07-19 11:15:40 |  |
| 307         | 單晶片實驗室  | 923  | 793 | 102   | 2011-07-19 11:15:35 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 920  | 736 | 101   | 2011-07-19 11:15:34 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 921  | 736 | 101   | 2011-07-19 11:15:28 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 921  | 736 | 101   | 2011-07-19 11:15:22 |  |
| 307         | 單晶片實驗室  | 923  | 793 | 102   | 2011-07-19 11:15:20 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 921  | 736 | 101   | 2011-07-19 11:15:16 |  |
| 310         | 微處理機實驗室 | 921  | 736 | 101   | 2011-07-19 11:15:10 |  |

圖 13. 教室資訊

### 5.3 效能分析

認證學生證流程，從感測控制器獲取到學生證卡號到監控中心查詢並且記錄，回到感測控制器並啟動繼電器開關如圖 14，T1 為感測控制器擷取 Tag\_ID(a)至繼電器開啟電源(b)的時間，T1 平均為 160 毫秒。T2 為感測閘道器接收並且回覆感測控制器訊息的時間。T2 平均為 56 毫秒，標準差為 39 毫秒，測量結果說明本系統的認證時間符合一般 RFID 認證系統的需求時間。

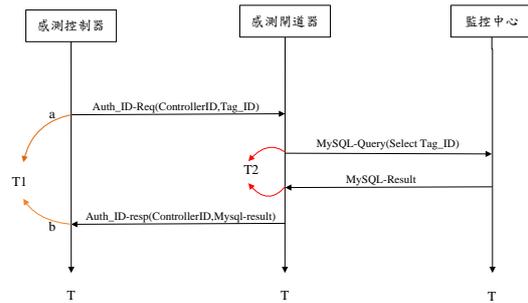


圖 14. 認證時間示意圖

## 6. 結論

傳統監控設備需要大規模的佈線工程以及價格昂貴的設備，本系統採用有線配合無線系統搭配校園網路進行開發，少了傳統監控系統需額外佈線的工程。在監控設備上，感測控制器以及感測閘道器加裝無線網路模組，無線方式可減少更多的線路佈置，更可以隨時靈活設置感測控制器，對於不好佈線的教室或是空間更可以達到控管能源的效果。

在系統效能分析部分，從學生證感應認證到教室電源開啟的平均時間為 160 毫秒，測量結果說明本系統的認證時間符合一般 RFID 認證系統的需求時間。

管理者可透過監控中心觀察溫度感測器與亮度感測器的監測，在監控中心可以瞭解亮度變化與溫度變化，並且判斷冷氣溫度與電燈使用的合理性。瞭解每間教室使用狀況，監控中心可以對於不正常電力使用的教室，主動中斷電力提供。使用學生證的認證確保教室資源有效率的使用；系統配合課表的上下課時間固定時間的斷電措施；監控中心可以對於不正常電力使用的教室，主動中斷電力提供。利用這幾種方式，確實而有效控管教室能源的使用，避免各種能源浪費，以有效的管理教室能源達到節能減碳的目標。

## 參考文獻

- [1] 潘佳鵬，“以嵌入式系統及軟體代理人技術支援是內設備之電源管理-以多媒體教室電源管理為例，”逢甲大學資訊工程學系碩士班，2008。
- [2] 張博森，“網際網攜紅外線遙控系統及其應用於電力節能監控，”國立聯合大學電機工程學系碩士班，2008。
- [3] 王士彥，李秉鐸，黃耀震，蘇暉凱，吳建民，“綠色校園感測網路能源監控系統之設計與實作，”2009 年民生電子研討會 (WCE 2009)，Nov 6, 2009。
- [4] 丹尼爾科技有限公司，RFID-EVAL-LABK 實驗器手冊，2008。
- [5] 陳進成，微控制器(MCU)介紹，2006。
- [6] 蘇暉凱，“ARM Linux 核心嵌入式系統開發指南，”全華圖書，2009。