

東海大學電機工程學系  
碩士論文

居家環境之智慧節能控制系統設計

Design of Intelligent Energy Control  
System in Resident Environment

研究生：曾羣倫

指導教授：蔡坤霖 博士

民國 101 年 1 月

# 東海大學電機工程學系碩士學位

## 考試委員審定書

電機工程學系研究所 曾羣倫 君所提之論文

居家環境之智慧節能控制系統設計

經本考試委員會審查，符合碩士資格標準。

學位考試委員會 召集人：賴市崑 (簽章)

委員：葛坤霖

張延任

陳澤斌

鍾玉芳

中華民國 100 年 12 月 31 日

## 致謝

踏進這學校時，從沒想過東海大學美麗的教堂與古色古香的教室陪伴我碩士生涯三年，雖然比大學一起畢業的同學多待了一年，但在這段日子帶給我更多獨立學習與解決問題的機會，不僅在課業上，生活上亦是如此，最後論文終於完成了，也表示在東海大學三年的日子即將結束，即將踏出社會。論文能順利完成絕非一人之力，在此非常感謝蔡坤霖博士教導；不僅對於課業上悉心的教導與督促，更讓我在做事上學習到應有的效率與態度；另外非常感謝系辦助理大姐頭(周淑貞)、熊哥(熊一鳴)，提供系辦公室許許多多的資源，讓學生對於碩士研究更加得心應手。

在實驗室的日子，首先非常感謝我的夥伴達緯，一起不分晝夜趕工做東西、一起共進退的決心、一起互相支持，雖然最後沒有一起口試畢業，但還是在畢業後時常回學校給予協助。另外還有學長豪豪、小左與昭遠，同學誌諺，學弟孫鉉、柏豪、展龍你們在我緊要關頭時大力幫忙讓我可以如期完成論文。最後大學部學弟禮銘及諦贖在研究室的陪伴與事務上的幫忙。

最後心理由衷感謝我的父母，無私的支持與奉獻，讓我在異鄉的生活更能有前進的動力，另外感謝周遭關心我的人，真的很幸運能認識你們。

## 摘要

在能源日益匱乏的今日，家庭能源消耗的控制越來越受到重視。本論文提出一個可以應用於家庭的智慧電能控制系統。此系統的控制對象為家庭內的電器，依控制模式不同可分為一般自動控制及尖峰用電控制。一般自動控制係針對一般用電進行控管，而尖峰用電控制則依據電力公司提供之用電高峰時期進行電監控。本論文所提出之智慧電能控制系統包含三大模組，分別為中央節能控制模組、智慧插座模組及儲能裝置模組。中央節能控制模組接收智慧插座及儲能裝置的資訊，根據插座用電資訊掌握特定電器之耗電量，並依據使用者所設定之用電限額進行節能管理。此外，亦可調配尖離峰時間各個插座的用電比例。儲能裝置包含電池及充放電控制器，在尖峰時段及停電時，藉由控制儲能裝置之充放電，提供短暫的電源供應。智慧插座模組內含一微型電表，可量測並記錄該插座的用電資訊，並可與中央節能控制模組配合，控制供應電源之開關。

## Abstract

As energy saving has become an important issue for green earth, the energy control of resident environment also becomes more and more important. In this thesis, we propose an intelligent Energy Control System which can be applied to residence. The object of the proposed control system is electrical appliances, and it contains automatic control and peak power control. The automatic control start in non-rush hour for normal appliance, while the peak power control runs in rush hour. An intelligent control system includes three modules, central energy-saving module, smart socket module, and battery module. The smart socket module and battery module transmit the energy information to the central energy-saving module. The smart socket module estimates the power consumption data of certain home appliance, and controls the power supply according to the user's setting or central energy-saving module's command. Battery module, which contains battery and charger, provides temporary power supply at power failure or rush hour. Smart socket module contains a micro-meter which measures and records the power information of this socket.

# 目錄

致謝.....	I
摘要.....	II
Abstract.....	III
目錄.....	IV
圖目次.....	V
表目次.....	VI
第一章 導論.....	1
1.1 研究目的.....	1
1.2 節能系統功能及應用環境.....	4
1.3 智慧節能系統特色與優點.....	6
1.4 章節安排.....	8
第二章 家庭節能控制相關研究.....	9
2.1 已開發之家庭節能自動控制系統.....	9
2.2 家庭節能控制之研究.....	11
2.3 家庭節能自動控制系統比較.....	15
第三章 系統控制機制.....	18
3.1 居家環境節能情境圖.....	18
3.2 居家節能系統組成模組.....	21
3.3 I/O 介面與控制法則.....	22
第四章 系統架構.....	24
4.1 系統架構圖.....	24
4.1.1 系統控制方塊圖及 I/O 功能說明.....	25
4.2 整體系統節能控制模式與功能.....	27
4.2.1 系統控制對象.....	28
4.2.2 控制模式流程.....	29
第五章 模擬結果與實作結果.....	33
5.1 模擬與實作環境.....	33
5.1.1 模擬實作平台.....	33
5.1.2 I/O 介面.....	35
5.2 實作結果.....	37
第六章 總結.....	41
參考文獻.....	42

## 圖目次

圖 1-1	2008 年世界能源資源蘊藏情形 .....	1
圖 1-2	民國 97 年能源使用量百分比圖 .....	2
圖 1-3	智慧型節能控制系統架構概念圖 .....	5
圖 2-1	家庭自動化系統的控制類型[37].....	16
圖 3-1	節能控制系統情境圖 .....	18
圖 3-2	系統組成示意圖 .....	20
圖 3-3	節能控制系統功能 .....	20
圖 3-4	中央節能控制模組示意圖 .....	21
圖 3-5	中央節能控制法則 .....	22
圖 4-1	中央節能控制架構圖 .....	24
圖 4-2	電能控制系統控制流程圖 .....	30
圖 4-3	儲能裝置控制流程圖 .....	31
圖 4-4	電量統計示意圖 .....	31
圖 4-5	學習裝置控制流程 .....	32
圖 5-1	ARM9 嵌入式開發平台 .....	34
圖 5-2	模擬實作平台之系統晶片方塊圖 .....	34
圖 5-3	ARM920T 方塊圖 .....	35
圖 5-4	中央節能控制晶片 GUI 介面 .....	35
圖 5-5	智慧插座 SAANET 封包傳輸格式 .....	36
圖 5-6	儲能裝置傳輸封包格式 .....	37
圖 5-7	儲能裝置模擬結果 .....	38
圖 5-8	尖峰監控模式模擬結果 .....	38
圖 5-9	離峰監控模式模擬結果 .....	38
圖 5-10	使用者介面模擬結果 .....	39
圖 5-11	使用與未使用節能控制系統(假日).....	40
圖 5-11	使用與未使用節能控制系統(平日).....	40

## 表目次

表 1-1 節能減碳總計畫大綱[2].....	2
表 1-2 臺灣各類用電器具之待機電力 .....	3
表 1-3 民國 96 年至 99 年全台家庭用電量統計 .....	3
表 1-4 學習資料來源之比較 .....	8
表 2-1 家庭自動化控制類型比較表 .....	17
表 2-2 家庭電力監控節能系統技術 SWOT 分析 .....	17
表 5-1 假日與平日功率消耗比較 .....	39



# 第一章 導論

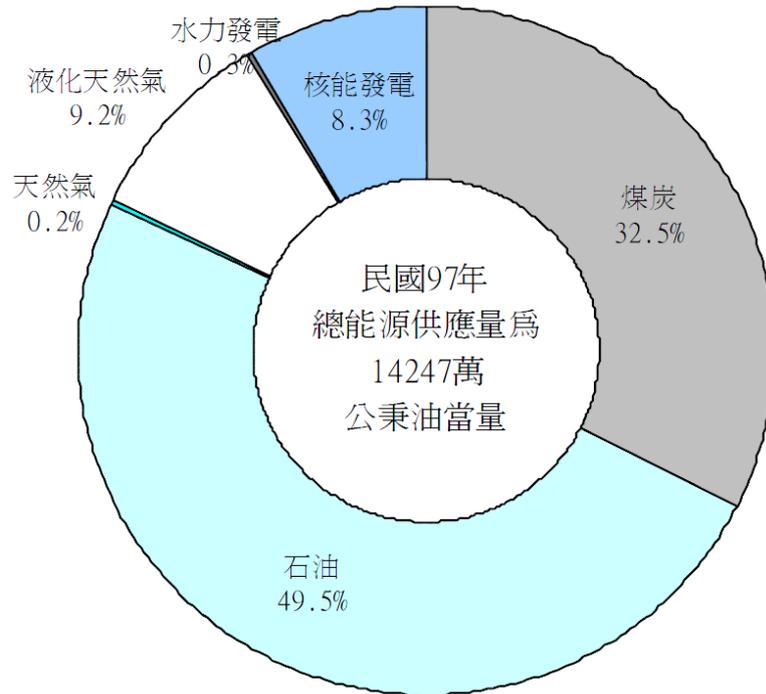
## 1.1 研究目的

現今天然資源缺乏，全球非再生能源(意旨在短期內無法恢復的能源)包含煤、石油、天然氣與核能等，其含量正逐年消耗殆盡，圖 1-1 為 2008 年世界能源資源蘊藏情形。圖 1-2 為民國 97 年能源使用量百分比圖，從圖中可以清楚看到台灣能源使用量中以石油的佔有率最高，但在圖 1-1 中全球石油的含量卻可能最快被使用完，以及在長期能源供需、國際趨勢及能源使用社會成本等考量下，近年來全球已經進入了一個能源供給的枯竭期[1]，如何掌握節能減碳趨勢以求供電的穩定與可靠，是未來基本的課題。此外加上全球氣候的劇烈變化，吸引各國更重視環境保護議題。我國行政院於民國 100 年訂定國家節能減碳總計畫，計畫大綱如表 1-1，其中「節能減碳總計畫」十大標竿方案[2]，計畫透過政府力量，鼓勵全民參與實施節能減碳，並確定減量目標為西元 2020 年時將排碳量回歸至西元 2005 年時的排放標準。依此目標，根據環保署推估，台灣未來 10 年減碳數量需高達 2.1 億噸，減量幅度約 45%，對政府及台灣經濟競爭力挑戰相當大。



資料來源：BP 2009、World Nuclear Association (2009)

圖 1-1 2008 年世界能源資源蘊藏情形



資料來源：能源統計年報(2008)

圖 1-2 民國 97 年能源使用量百分比圖

表 1-1 節能減碳總計畫大綱[2]

項目	內容
節能目標	未來 8 年年提高能源效率 2%
減碳目標	2016~2020 回到 2005 排放量
減碳數量	未來 10 年減量約 2.1 億噸
措施	10 大標竿方案，包含提出溫減四法含能源稅條例、再生能源倍增、推智慧電網、打造低碳城市、推能源密集產業政策環評等

根據國際能源總署調查，先進國家的家庭因為沒有拔插頭所浪費的待機電力，約佔總耗電量的 3%-11%，成為近年家庭用電成長快速項目之一。由表 1-2 統計資料得知具有待機電力之電器，如關機時還亮著小紅燈的電視、有顯示時間的微波爐、錄放影機、收錄音機或音響、電腦螢幕、會顯示溫度的冷氣機等，或是可使用遙控器開關電力的家電產品，都屬於「待機電力家電」。以床頭音響為例，待機電力為 4.6W，待機時數為 22 小時，每年耗電量為 36.9 度。

表 1-2 臺灣各類用電器具之待機電力

品名	待機電力 (W)	每日待機時數 (小時)	待機耗電 (度/年)	電費 (元/年)
收錄音機	4.71	21	36.1	93.5
床頭音響組	4.60	22	36.9	95.6
噴墨印表機	4.48	23.5	38.4	99.5
DVD 錄放影機	4.20	22	33.7	87.3
洗衣機	4.19	23.2	35.5	91.9
微波爐	3.84	23.7	33.2	86.0
電視機	3.74	19.3	26.3	68.1
桌上型電腦	3.48	20.3	25.8	66.81
冷氣機	1.81	20.7	13.7	35.5
LCD 電腦螢幕	1.11	20.3	8.2	21.2

\*資料來源：99 年台灣地區電器用品待機用電表(摘錄自經濟部能源局)

雖然說這些個體用戶待機電力單就整體總耗電量來說可能不多，但乘上為數眾多的家庭用戶，耗電量就是很可觀的數字。由表 1-3 得知台灣 99 年的家庭用戶數約有 1250 萬，這些家庭總耗電量就占用所有電量的 11.64%，其中待機電力約佔家庭總耗電量 10%。至此可知為了能有效達到減能減碳的目的，必須盡可能節省電器的待機電源，但又不能造成使用者使用上的不方便，因此在系統節能性與使用者便利性中做取捨是個很重要的議題。

表 1-3 民國 96 年至 99 年全台家庭用電量統計

年別	歷年家庭用戶數(萬)	歷年家庭用電量(度)	佔全台用電量百分比
96 年	1200	3828	22.00
97 年	1220	3696	21.73
98 年	1240	3672	22.90
99 年	1250	3648	21.40

\*資料來源：台電公司全台家庭用電統計分析

本研究所製作之智慧型節能控制系統是以監控家庭電器耗電量、待機電源與儲能裝置來達到節能的目的是。系統的功能包含：自動化幫助使用者管理家庭

電器的耗電量；搭配尖峰與離峰兩種時段的控制來避開用電高峰期；利用類神經網路學習機制預測使用者習慣來管理家庭電器的待機電源；搭配手動與自動兩種控制模式達到節能與便利最佳化的效果。由於每個家庭的生活作息不同，每戶家庭的組成也有很大的差異性，造成家庭的用電結構複雜不易掌握，因此有效地預測與學習使用者的習慣進而節省不必要的能源消耗是本文研究的重點。下列幾項為本研究所著重的幾個要素：

1. 充分掌握家庭所有電器使用狀況及耗能分析、比較。
2. 針對使用者用電型態學習，以節省不必要的待機電源消耗。
3. 適度分配使用者設定之用電額度避免電費超支。
4. 配合電力公司的用電尖峰時刻，調整用電行為。
5. 儲能裝置的整合導入。

## 1.2 節能系統功能及應用環境

本節能控制系統主要針對智能家居內部所有智慧型插座進行節能控制，目的在於關閉使用者非使用中電器之待機電源與監控家中所有電器的總用電量並搭配儲能裝置來達到節能的功能。在整體控制耗電量部分，系統會將使用者所設定之額定用電量透過歷史用電資訊做適度分配，再將分配過的用電額度依據尖峰與離峰不同時段做有效的控制。例如下午五時到七時為家庭的尖峰用電時段，此時系統每 10 分鐘比較所有電器該時段之用電量，當超過使用者所設定之用電量時，則通知使用者並送出用電控制訊號給智慧插座；在尖峰時段之外的時間則為離峰用電時段，在離峰時段系統每小時比較家中所有電器該時段的耗電量，若超過使用者所設定之用電量時，則會通知使用者並送出用電控制訊號給智慧插座。此外搭配智慧型學習機制學習使用者的用電習慣達到便利的效果。舉例來說，若一名上班族習慣於早上 8 點出門，本系統經由學習機制察覺這項習慣性動作時，便會在 8 點半關閉家中沒有在使用的電器待機電源，例如：電燈、電視、冷氣等；當此一使用者固定下午 6 點下班回家並開啟電視及冷氣，學習機制便會在 6 點前恢復電視及冷氣的供電，提供使用者到家後立即使用這

些電器。儲能裝置則包含電池及充放電控制器，在尖峰時段及停電時，藉由控制儲能裝置之放電，提供短暫的電源供應。藉以降低市電之用電度數。

圖 1-3 顯示了本智慧型節能控制系統架構概念圖。在圖 1-3 中，節能控制系統主控端(master)，其餘智慧型插座為受控制端(slave)。在觸發時間到時，由節能控制系統進行節能運算並送出控制指令給相對應的智慧插座，而使用者控制介面則提供使用者做進一步的節能控制。其間的傳輸協定採用 Zigbee 無線傳輸模組，經由 Zigbee 通訊模組讀取智慧型插座上的用電資訊並且將插座待機電源開關控制命令傳送至插座。此外本系統搭配了一互動介面給予使用者輸入簡單的手動參數。在此種架構下，可以確保各項家電裝置受到有效的節能控制，卻又不影響使用者的生活習慣。

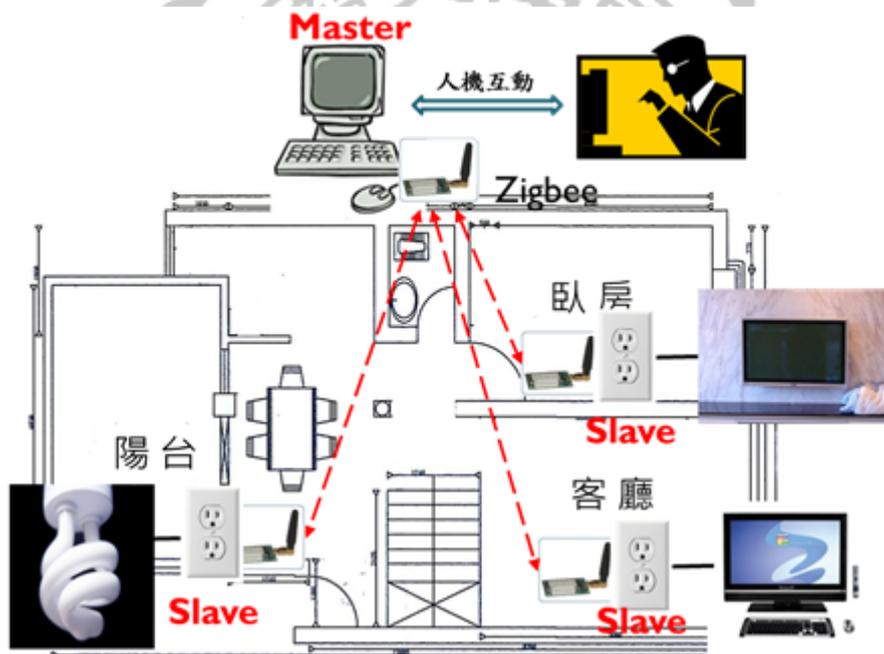


圖 1-3 智慧型節能控制系統架構概念圖

本系統可以應用在各種的智能家居環境裡面，並且不受限於家庭內部位置。因為只要裝置上智慧型插座，即可經由 Zigbee 無線通訊模組跟節能控制系統做連接完成整體架構，不需要額外裝設感測器，其好處是成本耗費較小，並可以適用於各種電器上，任何家庭電器只要插上插座即可被系統所控制，不會有新舊電器之分。因為目前已有許多家電加入節能控制功能作為銷售賣點之一，如

電冰箱或冷氣機等，但基本上都是需要在電器內部額外設置一套節能電路，而且只能應用於較新製且昂貴的電器。本研究設計的節能控制系統只需要電器插上智慧型插座即可與之作溝通並控制，針對較舊或是成本不高的電器應用性較大，使用者無須花費大量成本購入智慧型家電。

### 1.3 智慧節能系統特色與優點

現今智慧住宅之必備條件，應是具備一套具有高度智慧化與機動化的家庭自動化系統，該系統為智慧家庭的核心架構，利用集中管理與自動控制家中設備及系統，創造一個便利舒適的居家生活[3]。對使用者來說，自動化設備只是增加住宅的附加價值而非主體價值，因此在自動化設備要求上，使用者的第一要求是便利，與其功能多樣操作複雜，使用者寧願選擇單一功能但操作簡單的系統。要解決此一問題，仰賴系統進行整合，此外簡化使用者介面亦需考量，讓使用者以最簡潔的操作控制家中系統，系統優勢才能突顯。

市面上的控制系統多是以電腦為主控制端，服務自動化控制，即利用自動化的設備與電腦軟體技術及程式應用，結合各式各樣的設備或感測器，監測、紀錄、轉接、通知、執行運作等，以供顧客或使用者能快速處理相關作業或快速處理所遭遇的問題。具有智能控制系統的建築可以為住戶帶來更加便捷舒適的服務，[4]提出了一套資訊整合的智能家居控制系統。其架構包括網路連接、訊息收集、藍牙無線連接等，採用模糊邏輯和模糊神經網路作為控制端，並集結了多個家電控制訊息來源進而創建智能家居環境。[5]採用 PLC 設計一套家庭能源管理系統，利用智能電錶和電力線通訊提供能源消耗的詳細資料並自動化控制家裡的設備，該系統由三個模組組成：功率控制模組，設備控制模組，以及電源管理模組。

智能家居在國外常用 Smart Home 來表示。其控制系統是通過採用先進的電腦、通信和控制技術，建立一個由安全防護、網路服務和自動化家庭系統組成的服務與管理，從而實現全面便利的通訊網路以及舒適的居住環境的住宅。

智能家居控制系統是一個多功能的技術系統，它包括可視對講機、家庭內部的安全防範、家居綜合佈線系統、照明控制、家電控制、遠程的視訊監控、聲音監聽、家庭的影音系統等。智能家居控制系統一般是以住宅為基礎平台，綜合建築裝潢、網路通信、家電訊息、自動化設備等技術，將系統、結構、服務、管理集成為一體的居住環境。智能家居控制現今已應用於許多情況下，用戶可以藉此監視和控制家中的電器裝置，[6]的智能家居控制系統由三個子系統組成：嵌入式控制器，信號轉換器和終端機，為了使用戶隨時隨地在不同的終端機管理家電設備，建立了一套 B/S 結構。B/S 結構即瀏覽器、應用伺服器 and 資料伺服器結構。在這種結構下，用戶端工作界面是通過 WWW 瀏覽器來表現，極少部分商業邏輯在前端 (Browser) 運算，主要商業邏輯在應用伺服器端或資料伺服器運算，形成所謂三層結構。這樣就大大簡化了客戶端電腦附載，減輕了系統維護與升級的成本和工作量，降低了用戶的總體成本。

目前控制系統的輸入資訊皆是在家庭中裝設許多的感測器，例如：人體感測器、溫度感測器、燈光感測器、距離感測器或濕度感測器等，利用感測器感應使用者的位置、動作與生活習慣，此方法雖然可以確認使用者的動作與位置，但是裝設足夠數量的感應器其所耗費成本與消耗功率卻是一大問題，因此在本研究設計的節能控制系統當中，捨棄裝設感測器的方法而採用讀取智慧型插座所傳送回來使用者用電資訊進行分析與學習，進而得到使用者目前使用狀況與使用習慣，跟現今控制系統不同的地方在於不需要裝設大量的感應器，不僅節省了成本也真正達到節能的目標。

綜合以上資料將目前智慧型節能系統的學習資料來源做個統整及比較，其比較結果如表 1-4：

表 1-4 學習資料來源之比較

資料來源	優點	缺點
感測器	可偵測使用者位置、動作 可偵測環境變數 可直接監看居家	需大量感測器 只能單方面接收，無法控制家居電器
智慧型電表	電量量測較為精確。 可以即時了解用電資訊	用電資訊太過模糊
智慧型插座	電量量測較為精確。 可即時了解單一插座用電資訊 可瞭解使用者動作、習慣 可進一步控制家庭電器	單一插座成本高 每一插座皆須設立微型電表 尚無規格標準

總結本系統特色為以下幾點：

1. 兼顧節能與便利性，因為系統搭配了尖峰離峰用電監控機制、儲能機制、學習機制以及控制模式的切換作為兩者之間平衡的依據。
2. 無須裝設大量感測器做為學習依據，這樣的好處是可以節省成本、用電資訊更加準確。另外系統設定以每 10 分鐘做為跟智慧型插座溝通並進一步控制的自動觸發時間點，此外還使用了前四周智慧型插座用電資訊作為預測使用者隔日用電情況的參考。

#### 1.4 章節安排

本論文其餘章節安排如下，第二章將介紹目前節能家庭的背景與節能控制系統相關文獻並列舉目前業界以及學術界的節能控制系統；第三章介紹整體家居的系統控制機制；第四章則介紹本論文的節能控制系統架構圖與研究方法。第五章為本論文控制系統之模擬方法與結果。第六章則對於節能控制系統進行總結。

## 第二章 家庭節能控制相關研究

### 2.1 已開發之家庭節能自動控制系統

近年來，全球氣候的劇烈變化，使得節能議題受到重視。許多國家實施各種節能減碳計畫，透過政府力量，鼓勵企業及人民參與節能減碳之實施。依照統計數據，國內能源消耗量在一般住宅部分約佔全部能源 11.64%[7]。在電力消耗部分，不同季節之用電情況亦有所差異，以家庭用電比例而言，夏季時段空調約占 41%，照明約占 18%，其他主要家電約占 41%；非夏季時段空調約占 6%，照明約占 35%，而其他主要家電則約占 59%[8]，此處之主要家電包含冰箱、電視、洗衣機等。由於許多電器裝置在待機時，仍不斷消耗能源，因此在綠色節能趨勢下，有效管理家庭用電的「家庭能源管理 (Home Energy Management HEM)」成為智慧電網公共建設外，另一項具備高度發展潛力的市場領域[9]。

目前國內外皆有精密節能電表的開發，如玖鼎電力資訊股份有限公司開發之智慧型測量產品、意法半導體所開發的綠色電子產品等，並且搭配資通訊技術，將用電資訊以有線或無線的方式傳送到家庭內的個人電腦，經過統計整理之後供使用者做節能用電的調整。在國內，中華電信與縱橫網路資訊公司研發推出的 IE-net 智慧環境服務網 (Intelligent Environment service Network) [10]，可自動對空調環境進行「空調動態能源管理」，讓空調設備使用更具效率，這套節能解決方案平均節省 30 至 50% 電力。若將全台的商用大樓納入此服務系統，估算一年可省下 48 億度電力。在美國卡內基美濃大學建築系建築物性能測試中心 (Center for Building Performance and Diagnostics Department of Architecture Carnegie Mellon University) 對於智能建築提出了一套空調與照明系統的控制策略[11][12]，經過一系列的節能控制，可使建築物節能達到 75%。

在綠色能源及節能減碳的日益普及趨勢下，綠建築是目前世界的潮流，智慧型綠建築能在生活中各領域進行節能管控。產業可以結合台灣在資通訊的優

勢與資源，掌握「綠能」及「環保」的全球大趨勢，除有效管理家中用電成為智慧電網公共建設外，亦是具備高度發展潛力的市場領域。面對民眾對節能管理的需求，現階段陸續已有許多國際大廠投入相關應用與服務的研發；如 Cisco 推出以平板電腦為平台的家庭用電管理裝置[13]，管理裝置以「物聯網 (Internet of Things, IoT)」概念為基礎，透過無線網路連結家中各項電器設備，傳遞並監控家電設備的用電資訊，同時提供使用者進行遠端遙控。Cisco 所推出的 HEM 包含「家庭能源控制器 (Home Energy Controller, HEC)」與「能源管理服務平台」的「家庭能源管理解決方案 (Home Energy Management Solution, HEMS)」。

Intel 推出名為「家庭儀表板 (Home Dashboard)」的整合性解決方案[14]，此方案的核心為一個具備運算能力且低耗能的平板電腦。Intel 規劃此產品成為家庭網路的核心，使用者可與智慧家電、智慧插座、智慧電錶與家中各項感測裝置進行連結與監控，並提供家電設備的安全設定、溫控設定、電源開關等功能。

另外 Google 也推出 PowerMeter 用電監測網路平台，PowerMeter 可以讀取一個家庭的電表資料並給予消費者詳細的使用數據，它的概念是，透過每日對個別電器的用量數據監測，可讓民眾更了解自己的電力使用情形，可協助他們想出減少用電的方法。相較於 Google PowerMeter 與 Cisco HEMS，Intel 與 Cisco 所推出產品是以「物聯網 (Internet of Things, IoT)」概念為基礎，透過無線網路模式連結家中各項電器設備，進行用電資訊的傳遞與監控，同時進行遠端遙控動作。物聯網顧名思義就是「實現物物相連的互聯網路」。物聯網核心技術是通過射頻識別裝置 (RFID)、感測器、紅外感應器、全球定位系統、等訊息感測設備，按約定的協議，把任何物品與互聯網相連接，進行訊息交換和通信，以實現智慧化識別、定位、跟蹤、監控和管理的一種網路。具體地說，就是把感應器嵌入和裝備到電網、鐵路、橋梁、隧道、公路、建築、大壩、油氣管道等各種物體中，然後將物聯網與現有的網路整合起來，實現人類社會與物理系統的整合，以更加精細和動態的方式管理生產和生活，達到「智慧」狀態，提高資源利用率和生產力水平，改善人與自然間的關係。

G. N. Khan 等人提出了一個智能家居嵌入式系統 Smart-Home Embedded Computer (SHEC)，該系統開發和實作上是基於 SoPC (可編程系統)，可以容納各種嵌入式計算模組，並通過無線或有線網路等設備做通訊。該家庭模擬系統已經開發出一種家庭資源管理應用程序，被管理的主要資源是電力，天然氣及水，該系統甚至也可應用於老人或病人在家庭中的治療[15]。

在國內工研院與環研所針對智能家居共同合作，提出一個整合網路通訊、人工智慧及能源管理之智慧型家庭能源管理系統[16]，主要讓使用者了解家庭實際耗能的地方、時間及成本，並結合使用者之喜好及行為模式作為節約能源的手法，透過數位電力能源量測、電力線通訊等數位通訊、能源使用模式及行動模式的識別技術以整合成智慧型家庭能源行為節能技術。該系統包含家庭節能管理、通訊模組、感知模組、家庭電器用電管理插座，可以分析使用者耗能行為模式建立智慧化家庭用電管理邏輯，以達家庭用電之最有效利用。

## 2.2 家庭節能控制之研究

現今的智能家庭主要是利用一些感測器、驅動器及無線網路環境來協助使用者擁有更方便的家居生活，但卻鮮少將智慧節能控制考慮進去。對於家庭而言，智慧節能將會是未來重要的考量點之一。綜合國內外在節約電能方面的作法，可以得到如下的結論：

1. 即使小至 mA 的待機用電量，因為是長時間的負載(幾乎沒有停用時間)也是國際間節能計畫的主要對象。
2. 搭配資訊及通訊技術從事電源管理。
3. 使用電子化感測元件擷取資訊。
4. 針對不同產品開發專屬的節能積體電路，例如：家用電器、資訊產品、LED 照明、汽車電子等。
5. 持續開發低導通電阻的高壓半導體元件。
6. 節能對象不再侷限於大型企業，家庭用電也要納入規劃。如今無處不在的家庭網路已經獲得廣泛的關注，因為這種創新體系整合家庭中的各種家電、智能感測器、驅動器和無線通信。

目前家庭裝置控制的情境感知軟體大多是基於使用者的位置與動作去做學習進而控制家電，這類研究皆是利用散佈家中的感應器去偵測使用者的使用狀況，有些是利用 OSGi 作為平台學習並預測使用者的習慣，OSGi 技術為 Open Service Gateway Initiative 協會所制定，目的在於制定一個整合性的資訊服務平台，並將其整合至家用閘道器裡，並使遠端軟體服務供應商所提供之應用程式及增值服務，能視使用者所需求，透過網際網路動態地下載至用戶的家用閘道器上，且能夠地自動安裝執行。S. K. Das 等人提出一種感知中間並根據用戶在智能家居的習慣提供一個自動服務。該軟體包括家電控制器，感測器和一個可擴展的瀏覽器。該家庭網路設備使用 OSGi 為框架，而可擴展的瀏覽器可識別的所有設備的屬性，利用 6 個基本資料庫：脈搏，體溫，面部表情，房間溫度，時間，地點的學習和預測用戶的偏好[17]。S. Wei 等人提出一種智能家居的嵌入式系統，該系統使用 AADL，AADL 是非常有用的分析設計軟體，並可擴展到管理家庭設備[18]。AADL 是在國際汽車工程師學會(SAE)的指導下開發的，且已經被核准為 AS5506(2004 年)業界標準，AADL 對標準硬體類別和軟體元件提供了強健的語義，使得一般分析方法和定義良好的系統整合可透過該規格來完成。這種專為嵌入式系統設計語言，可以透過使用者定義的屬性和使用者定義的附件來擴展。此外，結合作業模式，AADL 也能支援系統動態建模。或是以 SOA(Service-Oriented Architecture)為主體設計一個解決各種家電智能家庭系統控制模組的家庭使用者管理系統，SOAP(Simple Object Access Protocol)是基於 XML 的簡易協議，可使應用程序在 HTTP 之上進行信息交換。或者更簡單地說：SOAP 是用於訪問網路服務的協議。該系統提供了一個完整且雙向即時控制和監測的智能家居系統，可以經由主機端或是使用者的手機端發送訊號控制家庭電器[19]。智能家居環境的特點是高度異質性與許多系統需要進行互操作，並隨著服務的要求增加，包括不同平台的智能家居性質分佈式體系和管理異構系統需要一定程度的相互操作性，這些系統的開發在不同的操作系統、不同的編程和不同層次的服務，有必要建立一個機制，可以有效地不管操作平台

使異構系統和對方相互操作。針對互操作性問題提出一個解決方案，利用 SOAP 技術解決了在智能家居環境的互操作性問題[20]。

部分研究針對家庭的插座部份去做研究與改良，把家庭的一般插座更換為智慧型插座，擁有接收與發送 Zigbee 訊號的功能，藉由一台主機進而控制整個家庭用電環境。L. Minsoo 等人設計與實作一個智能電源管理系統[21]，可以利用家庭網路檢測使用者的動作及其生活模式。該系統由智慧型插座和自適應中介軟體組成，以便它可廣泛的應用於以最小功率消耗。智慧型插座主要負責發送和接收感測器的數據，從感測器的數據用戶的生活模式，總功率消耗可減少高達 7.5%。P. Wan-Ki 等人所設計的智能電源管理設備[22]，可以廣泛的應用於減少功率消耗，由五個部分所組成：熱釋紅外控制器、光感測器電路、微處理器、與 LED 顯示器和 PLC 模組，實驗得到的結果表示，總功率消耗可減少高達 7.5%。

現今 IEEE802.15.4 和 ZigBee 以有效地應用於各種領域，包括電子裝置控制、能源管理、住宅及商業大樓的自動化以及工業廠房的管理。這種新一代智能家居系統結合各種家電，智能感測器和無線通信技術逐步形成一個複雜的系統。順應這一趨勢的發展，基於 IEEE802.15.4 和 ZigBee 提出一個新的智能家庭能源管理系統[23]。管理系統劃分和分配各項任務，它可以集成多種物理感測訊息和控制各種家庭設備，並且開發一個新的路由協定 DMPR (Disjoint Multi Path based Routing)以提高性能，為用戶提供智能服務。

另外有研究是裝設主動式的感應器去偵測家中是否有活動來控制家中電器的狀態，基於無線傳感器提出一個新的智能家居控制系統。它可以整合多元化的物理傳感訊息和控制各種消費家庭設備。也有利用 GSM、Bluetooth 以及 Internet，來遙控與監視家中所有電器，例如的無線電源插座控制模組(WPCOM)[24]具有可擴展的電源管理機制包含多種交流電源插座和一個簡單的低功耗微處理器。WPCOM 包括六個模組，即基本控制模組、藍牙模組、GSM 模組、網

路模組、SD 卡模組和功率測量模組，它們共同組成了一個室內無線遙控和一個室外監控網。大多數最新的遠端家電控制已使用家庭網路的概念，但這種方法需要一個固定 IP 位址和遠端使用者作連接並且需要高速網路傳遞去瀏覽 GUI 互動界面。為了緩解上述問題，開發 e2Home，使遠程用戶可以在網路服務比較差的地方管理智能家電環境，e2Home 使用電子郵件作為用戶和家庭網路通信的媒介[25]。

為了沒有限制的連接家庭網路系統及客戶端的系統管理並且經由 Web 瀏覽器監控 BPLC 家庭控制器，的家庭網路系統可以提供一個家庭安全、經濟和健康的生活，利用其研究設計的電力線寬帶通訊（BPLC）家庭控制器[26]，可以節省大量的網路基礎設施成本。該系統可以控制家庭各種家用電器，如數位門鎖、鍋爐、烤箱等，因為這些控制器有各種 I/O 規格，所以選擇了 Jini 技術結構作為家庭網路的中介軟體，Jini 是由昇陽（Sun Microsystems）針對 Java 平台所發展出來的新技術，是一個很小的 Java 程式碼（僅三萬五千條），具備 Java 支援跨平台、可在任何地方執行的特性，可提供最基本的網路連結、資訊分享及互動功能。Jini 強調隨插隨用、簡易、不受任何平台限制的連網功能，像是掌上型電腦、數位相機、硬碟，只要透過 Jini，就可以一起運作並且分享彼此功能。

此外在智能家庭系統的學術研究方面還有其他和節能控制相關的系統與應用。W. Zhenxing 等人所提出的控制系統透過網路、智慧型手持裝置與數個感測器控制家中所有電器及燈光的開關[27]，此一系統的特色是當家中有多個控制系統時，使用者只需在其中一個控制系統進行設定，便會同步到其他控制系統。S. Changsu 等人則使用主動式感應器感應使用者的活動，達到控制家中電器開關的目的[28]。W.-K. Park 等人使用 NPA(Network Protocol Agent)建立家中電器與電器，電器與控制器之間的網路[29]。L. Zhang 透過使用模糊理論推算電器之開啟或關閉時間，並利用電力線傳送控制訊號[30]。Z. Lan 等人提出了一套資訊整合的智能家居控制系統，其架構採用模糊邏輯和模糊神經網路作為控制

端，並集結多個家電控制訊息來源創建智能家居環境[31]。Y. S. Son 等人利用電力線通訊(power line communication)設計家庭能源管理系統，利用智慧電錶和電力線通訊提供能源消耗的詳細資料並自動化控制家裡的設備，該系統由功率控制模組，設備控制模組，以及電源管理模組組成[32]。搭配類神經網路與智能插座能有效的預測使用者的習慣，有別於目前大多數智能家居採用感測器收集使用者家庭電器的使用狀況[33][34]。在沒有額外裝設通信設備的電器上採用 ZigBee 協定和紅外線遙控器設計了一個控制電器的家庭網路[35]。其家庭自動化系統是由遠程控制器組成，包含紅外線與 ZigBee 轉換器及 ZigBee 電源調配器。建立一個新家電網路的家庭網路協議 (NHAS) [36]，該協議是專為電力線通訊控制的網路而使用，並具有低費用和低資源成本，協議的網路中包括一個主服務端和家電網路，如洗衣機，微波爐和空調。

### 2.3 家庭節能自動控制系統比較

全國能源會議宣布推動新「低碳施政」，邁向未來「低碳家園」的佈局，希望建造再生能源生活圈，裝設智慧型電表 (smart meter)，建構節能減碳生活環境。由於小型分散式電源之普及，或者為抑制尖峰負載，實施需求面管理 (Demand Side Management；DSM) 等，均導致用戶與電網間之雙向互動是必須更加密切，更需要智慧型電表及資通訊等新興技術之配合，此時先進電表系統 (Advanced Metering Infrastrucutre；AMI) 建設將扮演重要角色，其為繼饋線自動化(feeder automation)後，電業與用戶間實際連結達成用戶自動化之重大基礎建設。而用於住商大樓等之智慧能源管理系統，將可與 AMI 系統應用相輔相成，以強化節能減碳成效。

綜合上述，電力監控技術為自動控制技術於電力系統領域之應用技術，其係整合網路通訊、數位電力量測及最適化節能控制技術，以達到用電系統電力品質狀態的即時監控、數位保護電驛之跳脫監視、設備預知保養等安全性監視功能，並配合需量控制等節能控制策略以達到卸載管理、降低尖峰用電、以及

電力有效管理等電力節能效果。

依照家庭自動化系統的控制類型，如圖 2-1 所示[37]，可分為獨立控制式(傳統型)、中央控制式(半智慧型)、分散控制式(全智慧型)。獨立控制式(傳統型)包含有保全、火災、門禁、燈控等各自獨立控制程式設定之恆溫器、定時器、人員感應器等，此為現今最普遍之控制方式。中央控制式(半智慧型)，利用中央控制系統或電腦當伺服器來控制家電控制器及環境感應裝置間連續地傳送訊息與控制訊號，但集中控制有風險穩定度考量及配線問題。分散控制式(全智慧型)，智慧家居(Smart House)利用國際標準之通訊協定以傳遞控制命令/訊息，且元件皆為智慧化可 Peer to Peer 控制方式形成一個開放式控制網路平台及無遠弗屆的網際網路來整合家中每個元件系統或家庭內各家電設備，網路內之各設備不經由集權式之中央電腦監控，而是每個設備有智慧的個別獨立通訊且互相操控。

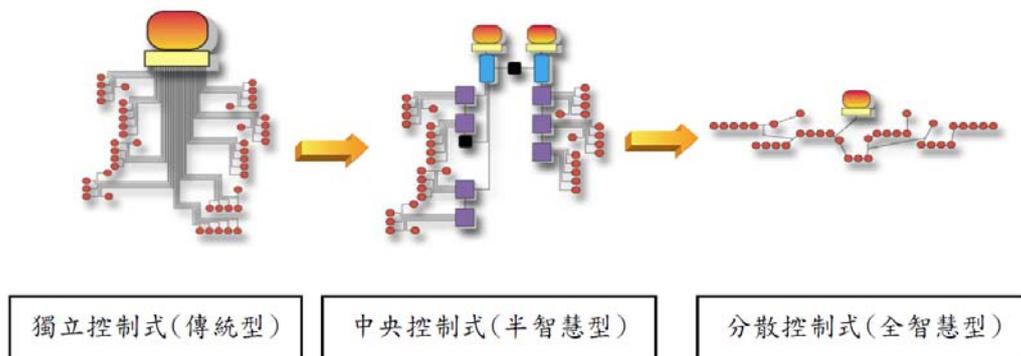


圖 2-1 家庭自動化系統的控制類型[37]

依照家庭自動化控制類型的分析說明，從表 2-1 針對在建築物內所能表現的相關能力來做更明確的比較，以作為設計上的參考[37]。

表 2-1 家庭自動化控制類型比較表

	分散控制式	中央控制式	獨立控制式
智慧化元件	是	否	否
系統整合能力	易	不易	無
功能更新能力	易	不易	無
系統擴充能力	易	不易	無
控制網路化	可	可	無
遠端監控能力	可	可	部份
WAP 簡訊傳遞	可	無	無
節能效益	高	低	無
系統架構方式	開放	封閉	封閉
工程佈線	易	複雜	易
通訊介質支援	多種	少數	單一
系統安裝	易	不易	不易
互操控聯動	可	部份	無
時程排序設定	可	可	無
新/舊建物	皆可	新	新

家庭電力監控節能系統應用之關鍵點，在於數位式電表的導入，以及家庭電器用品需具備網路通訊連結功能，才可依據環境狀況作家電之運轉控制。

表 2-2 為家庭電力監控節能系統技術 SWOT (Strength Weakness Opportunity Threat)分析。

表 2-2 家庭電力監控節能系統技術 SWOT 分析

優勢 (Strength)	弱勢 (Weakness)
1. 國內已開發出數位電力量測晶片，性能可達國際水準，並具價格優勢。 2. 國內資通訊產業成熟，關鍵零組件成本取得較便宜。 3. 整體系統之建置成本較低。	1. 國內此系統技術之研發起始時間較晚，市場佔有率較低。 2. 無統一的家電通訊控制標準。
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
1. 家庭節能議題已逐漸受到全球重視。 2. 涵蓋 6 個歐盟國家已開始進行 1,000 戶住宅電力節能的測試計畫。	1. 日本系統已於實際家庭作測試。 2. 日本系統已具商品化規模，並可外銷輸出。

資料來源：2010 年能源產業技術白皮書

## 第三章 系統控制機制

節約能源及減少碳量排放是一項重要的議題，本論文針對綠能家庭提出一個具有學習機制的居家環境之智慧節能控制系統。系統以節省待機功耗達到節能之目的，並自動化幫助住戶管理家庭電器的耗電量。本論文所提出之居家環境之智慧節能控制系統主要功能包括控制家中所有電器的總用電量上限、控制尖離峰時刻用電上限、控制儲能裝置充放電、自動控制智慧插座供電及蒐集家庭用電資訊等。

### 3.1 居家環境節能情境圖

圖 3-1 為節能控制系統情境圖，圖中智慧插座負責收集與控制家中電器資訊。中央節能控制模組負責收集智慧插座用電資訊與控制儲能裝置充放電，而使用者可以在此監控家中智慧插座的用電情況以及設定用電限額等。儲能裝置在緊急停電與尖峰時刻時供給家中電力，並於離峰時刻時進行充電。

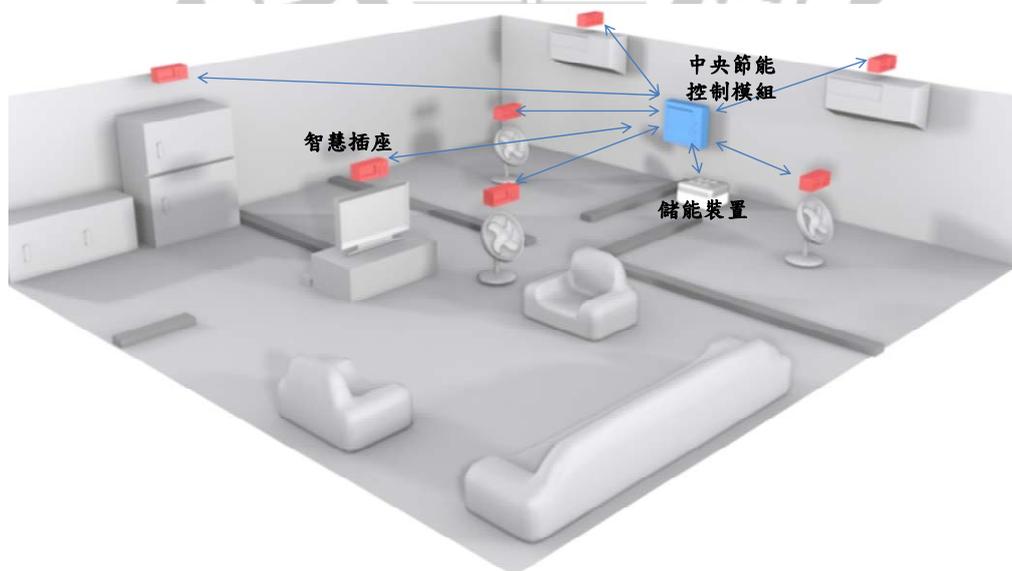


圖 3-1 節能控制系統情境圖

圖 3-2 為系統組成示意圖，系統主要包含中央節能控制模組、區域使用者

操控及顯示介面、智慧插座與儲能裝置。中央節能控制模組又涵蓋「用電資訊接收模組」負責接收由智慧插座所傳送之訊號；「學習模組」負責處理使用者習慣並加以學習；「使用者控制模組」給予使用者控制家中的智慧插座；「自動控制模組」透過學習模組之學習數據控制插座開關；「儲能裝置控制模組」對外部儲能裝置訊號進行接收與控制；「當日用電限額控制模組」依據智慧插座的用電資訊作控管，當智慧插座之用電超過設定上限值時發出限制用電通知；「尖峰用電限額控制模組」依照電力公司提供的尖峰用電時段，進入尖峰時段時通知儲能裝置供電以及針對智慧插座進行更密集的用電監控；「區域用電資訊顯示模組」負責顯示用電資訊。

智慧插座具有兩個重要的功能，一是統計每一時段(time slot)插座上的平均電壓、平均電流及累計功率等用電資訊，並自動傳送至中央節能控制模組。另一向重要功能則是接收中央節能控制模組的控制訊號，進行電源開關等各項控制動作。在我們所設計的系統中，我們將每一時段訂為 10 分鐘，一來可以減少中央節能控制系統資料的記錄量，再者可以降低控制複雜度。除了上述兩項重要功能之外，在插座發生異常狀況，如瞬時電流過高、電壓不穩定時，智慧插座將直接關閉供應電源，並傳送警示訊號至中央節能控制模組，再由控制模組進行應對措施。

儲能裝置模組包含大容量電池與充放電控制器，可搭配太陽能、風力等發電設備儲存電力。此一儲能裝置模組與市電並聯，在離峰時段可由市電提供充電電力來源，在停電或尖峰用電時提供電力給家庭中部份的智慧插座，以節省電費支出。充放電控制器具有無線通訊收發裝置，可將電池容量資訊傳遞給中央節能控制模組，並接收由控制模組傳送過來的控制訊號，進行充放電控制。

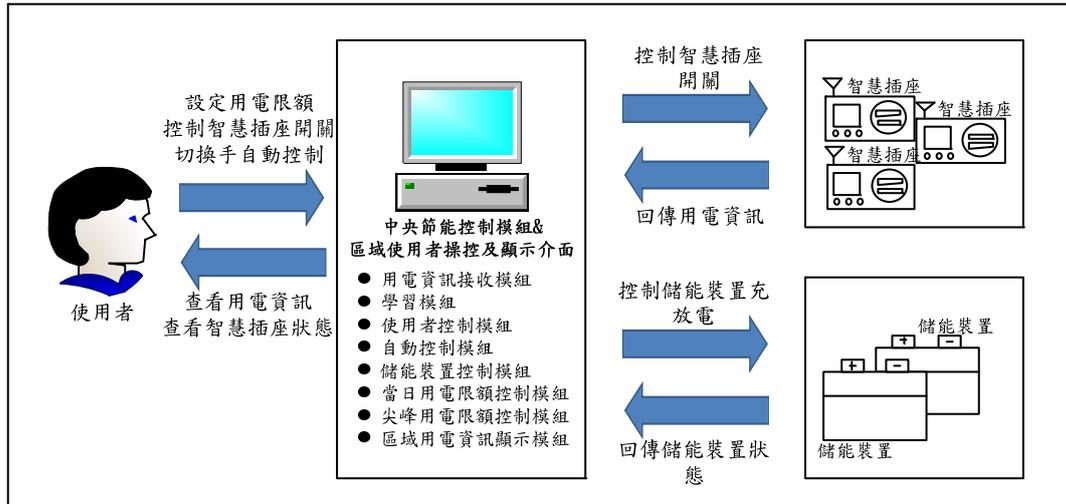


圖 3-2 系統組成示意圖

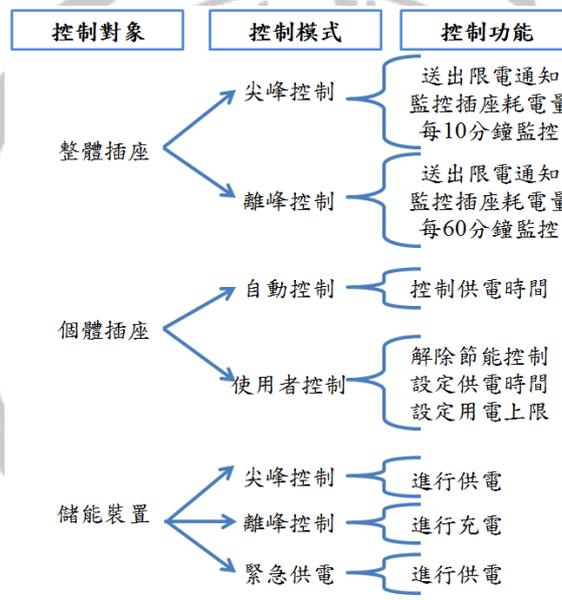


圖 3-3 節能控制系統功能

系統控制功能如圖 3-3。各項電器裝置只需要連接上智慧插座，即可被中央控制系統所控制，不需要額外對各個電器裝置本身設定一套特有的節能系統。此外，利用交錯運作的方式，可以讓單一家庭的瞬時用電調整至最佳狀態，使用者可以經由人機介面輸入該月份的用電限額，經由系統將用電限額與目前為止用電總額做比較，一旦用電總額超出用電限額便會發出警訊予使用者知道，可以準確掌握電費之支出。

### 3.2 居家節能系統組成模組

在本論文控制模組部分如圖 3-4 所示，控制模組包含了用電資訊控制模組、學習模組、手動/使用者控制模組、系統命令接收及處理模組、Memory、區域用電資訊顯示模組、用電限額模組與儲能裝置模組等。在用電資訊處理模組透過 Zigbee 與晶片外部的智慧插座做溝通，傳輸內容包含有控制智慧插座待機電源開關、讀取智慧插座的用電資訊。學習模組負責針對使用者的用電習慣做學習，並將學習結果儲存至 Memory 提供給自動控制模組使用。手動/自動模組則包含兩個部分，其中自動控制模組則會根據學習模組所學習出來的結果對智慧插座開啟與關閉待機電源；使用者控制模組則是當使用者想針對某些智慧插座做設定時，切換到使用者控制並將使用者控制的數據儲存至 Memory 供學習模組做學習使用之。Memory 會儲存系統中所有資料，包含有智慧插座的用電資訊、學習模組的學習結果和使用者設定的用電額度等。用電資訊顯示模組供使用者觀看系統狀態與用電資訊等。用電限額控制模組會判斷假日與平日模式，並針對電力公司提供的用電尖峰時段做用電控制。儲能裝置負責控制家庭中的儲能裝置，於離峰時段時充電、尖峰時段時供電並在緊急停電時提供短暫的電力。最後系統命令接收及處理模組負責處理用電資訊控制模組、學習模組、手動/自動控制模組、Memory、區域用電資訊顯示模組、用電限額模組與儲能裝置模組的各項資訊。

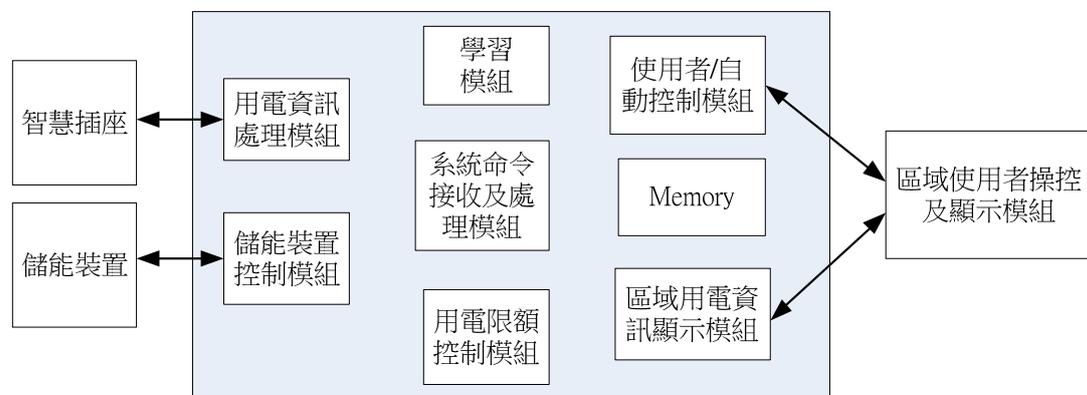


圖 3-4 中央節能控制模組示意圖

### 3.3 I/O 介面與控制法則

接下來進一步根據輸入的訊號做出中央節能控制法則如圖 3-5，透過控制法則並針對控制模式之間的轉換加以說明。

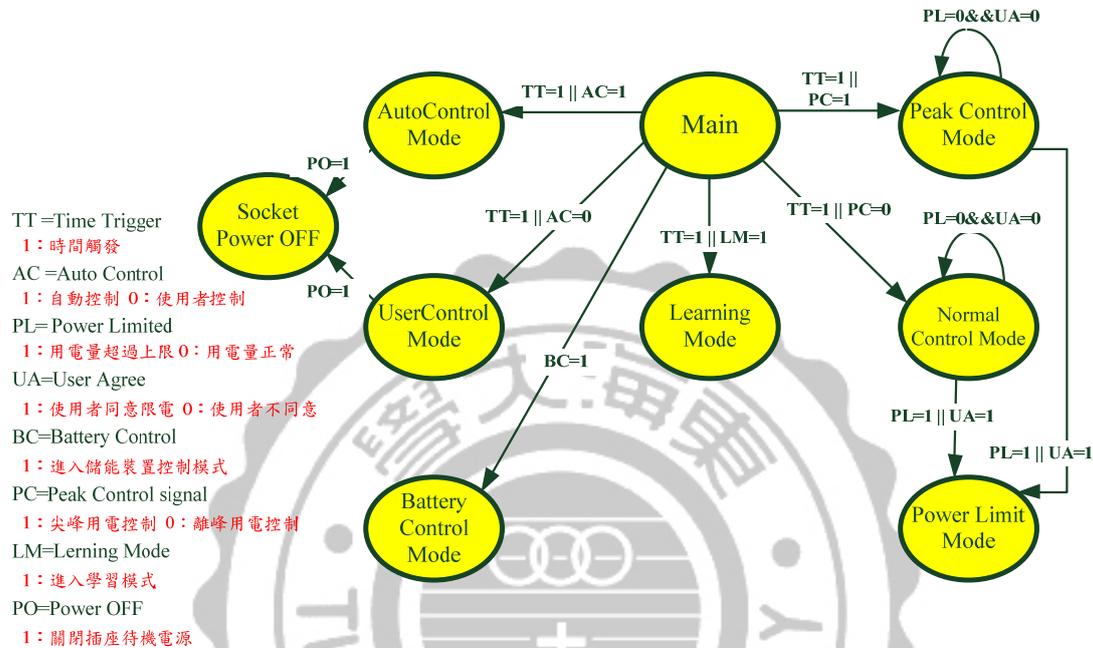


圖 3-5 中央節能控制法則

首先當使用者沒有輸入時 Auto Control(AC)=1 並於 Time Trigger(TT)=1 透過主程式 main 呼叫自動控制模式(Auto Control Mode)；TT=1 與 AC=0 時透過主程式 main 呼叫使用者控制模式(User Control Mode)，在 Power OFF(PO)=1 時自動控制模式透過學習模組學習結果判斷該插座是否該關閉；使用者控制模式在 Power OFF(PO)=1 時亦是由使用者輸入關閉該插座。當 Battery Control(BC)=1 時進入儲能裝置監控模式(Battery Control Mode)。在凌晨 23:50 時 TT=1 與 Learning Mode(LM)=1 進入學習模式(Learning Mode)。

本系統會配合電力公司所提供之尖峰與離峰用電時段做家中用電額度的監控，其監控的模式切換為當 TT=1 與 Peak Control signal(PC)=1 時進入到尖峰用電監控模式(Peak Control Mode)；在 TT=1 與 PC=0 時則為一般(離峰)監控模式

(Normal Control Mode)。當今天家庭中所有電器用電量超過使用者所設定之上限時，發一控制訊號(Power Limited)通知使用者是否要進入限電模式，當使用者同意時則 User Agree(UA)=1 並進入到限電模式(Power Limit Mode);當使用者不同意時 UA=0 或沒有限電訊號 PL=0 則等待下次觸發。



## 第四章 系統架構

### 4.1 系統架構圖

中央節能控制架構如圖 4-1 所示。中央節能控制模組訊號可分為三種形式，分別如圖中所顯示之紅色、藍色及黑色線條。紅色線代表從計時器(Timer)提供給各個模組需要的時間觸發，例如每十分鐘提供一次觸發訊號給用電資訊接收模組，使其能發送訊號給智慧插座，請求智慧插座提供該時段的用電資訊。藍色線代表將記憶體(Memory)內之用電資料提供給不同模組以進行運算、判斷或控制，或代表著將接收或運算完之資料存放於記憶體內部。黑色線則表示控制訊號及外部資料之輸入與輸出，例如「系統命令接收及處理模組」會接收外部使用者所給予之用電限額資料，處理過後將控制訊號提供給兩個不同的用電限額控制模組，再依照系統所設定的尖離峰時間，協調「儲能裝置控制模組」控制儲能裝置之充放電。

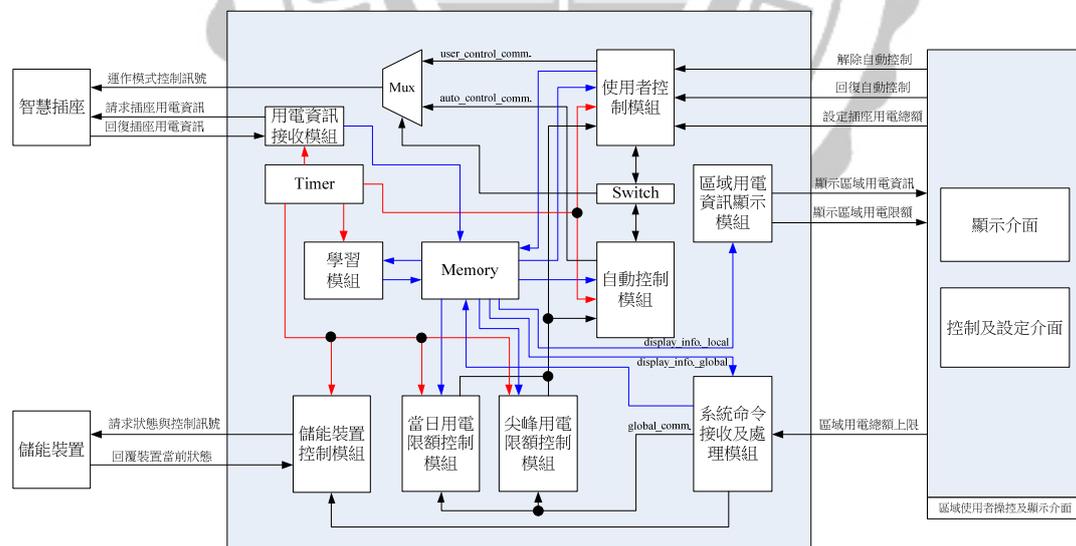


圖 4-1 中央節能控制架構圖

### 4.1.1 系統控制方塊圖及 I/O 功能說明

如圖 4-1 所示，此系統架構包含 11 個主要模組：學習模組，自動控制模組，使用者控制模組，區域用電資訊顯示模組，用電資訊接收模組，記憶體(Memory)，計時器(timer)，當日用電限額控制模組，尖峰用電限額控制模組，儲能裝置控制模組，系統命令接收及處理模組，以下我們將介紹架構圖中的各個模組。

- 學習模組：

學習模組之功能主要在於透過學習機制，預測使用者之用電習慣，以便進行節能控制。一般的節能控制系統，大多利用感測器偵測使用者行為，但缺點是需使用大量感測器才能蒐集足夠的資訊。本系統直接使用智慧插座上的用電資訊，透過中央節能控制模組中的學習次模組，便可有效得知使用者使用特定電器之習慣。系統採用類神經網路演算法做為學習強化功能，因為類神經網路模擬人類大腦的思考學習功能，在無法事先判定使用者生活習慣的方式下最為合適，利用其自動學習的功能適應使用者生活習慣的變化，有別於其它控制法則。系統內部使用記憶體記錄三十天的插座用電資訊，由於假日與平日使用習慣有所差異，因此將用電資訊分類為假日及平日的數據參考，並依日期遠近調整權重值，作為類神經學習模組之輸入。學習模組之輸出為預測結果，此一結果記錄於記憶體，並由記憶體提供給自動控制模組作為各個時段的控制基準。

- 自動控制模組：

自動控制主要根據使用者的使用習慣，在不需使用該項家電裝置時，將該家電所連接之智慧插座電源關閉，在使用者使用之前再將智慧插座回復供電。此模組在時間觸發時將學習模組所記錄的控制狀態傳送給智慧型插座進行控制。

- 使用者控制模組：

此模組可提供使用者自行手動控制單一智慧插座，並解除單一智慧插座的

節能控制，使其保持正常運作模式。控制過程中，使用者由控制及設定介面進行操作，接著使用者控制模組透過 switch 切換目前的控制模式。若使用者欲將智慧插座轉換為自動控制時，操作方式亦同。

- 區域用電資訊顯示模組：

提供使用者觀察目前智慧插座用電累積資訊，隨時掌握節能狀況。此外亦可從記憶體中讀取近 30 天的用電資訊與用電限額設定，供使用者觀看近 30 天的用電情形。

- 用電資訊接收模組：

與智慧型插座的溝通介面，採用 Zigbee 無線通訊進行用電資訊請求以及插座開關控制功能。系統中，我們設定每 10 分鐘發送一訊號對智慧插座請求用電資訊，在智慧插座收到要求訊號時會依序將用電資訊回傳至此模組，再將資料傳回記憶體儲存。為避免同時家中所有插座回傳資訊造成壅塞或資料不完整，系統採用輪詢(polling)的方式要求用電資訊，亦即每次指請求單一個插座之資料，待傳輸完畢或通訊逾時，才進行下一個插座資料之請求。

- 記憶體(Memory)：

本系統的記憶體用以儲存由智慧插座接收到的用電資訊、學習模組學習過的用電資訊、使用者控制模組控制電器資料及系統命令接收及處理模組的所有資料。

- 計時器(timer)：

Timer 為系統內部時鐘，並提供所需的觸發訊號給用電資訊接收模組、學習模組、使用者控制模組、自動控制模組、儲能裝置控制模組、當日用電限額控制模組與尖峰用電限額控制模組。

- 當日用電限額控制模組：

此模組為控制當日用電上限的模組，其功用為當使用者設定當月用電上限值後，此模組依據前月的用電資訊，計算當月每天各個智慧插座的可用電配額，最後再比較智慧插座的用電量，若超過配額，則送出一限電訊號給予自動控制模組進行用電控制。

- 尖峰用電限額控制模組：

依據電力公司所提供之尖峰與離峰的用電時段，並按照各個智慧插座的優先權，給予用電優先分配。此一模組之控制訊號將輸出給兩個控制模組，並要求兩個控制模組依照訊號控制智慧插座之開關。

- 儲能裝置控制模組：

儲能裝置控制模組，主要負責一般家庭中儲能裝置之監控，於尖峰時段或停電時，提供電源給優先權較高的智慧插座。在此模組控制過程中，模組會先發出訊號確認儲能裝置當前狀態，再依照儲能狀態及用電需求通知儲能裝置進行充電或供電。

- 系統命令接收及處理模組：

系統命令接收及處理模組負責接收使用者設定之區域用電總額上限，處理過後將控制訊號提供給兩個不同的用電限額控制模組，再依照系統所設定的尖峰離峰時間，協調「儲能裝置控制模組」控制儲能裝置之充放電。

## 4.2 整體系統節能控制模式與功能

在本論文整體所提出的節能控制系統，主要分為六種模式，分別為：用電監控模式、使用者控制模式、自動控制模式、學習模式與儲能裝置監控模式。

用電監控模式又分兩部分，尖峰用電監控與離峰用電監控，尖峰用電監控

10 分鐘做一次觸發，當用電超過使用者所設定之限電值時，在此模式下不會自動關閉插座，只會發限電通知並進入使用者控制模式通知使用者是否要進入節能模式，當使用者同意進入限電模式時此時會轉換至使用者控制模式並自動針對優先權低的智慧插座關閉；若使用者不同意，則回到尖峰用電監控模式繼續等待下次的觸發。離峰用電監控模式以每 60 分鐘做一次觸發。

在使用者控制模式部分，除了上一段落所提到的通知使用者限電外，使用者更可以進一步透過此模式針對家中單一插座進行開啟與關閉待機電源，使用者針對單一插座的開關動作亦存於記憶體以供學習模組做學習資料使用。而在自動控制模式下則是會針對學習模式所學習之使用者的用電習慣，在特定時間自動對插座做開啟及關閉。

學習模組針對使用者的用電習慣進行學習，例如使用者在每天早上 8 點到 8 點半會有使用烤箱的習慣，此時學習裝置會將其學習起來，在每天早上 7 點 50 分時先預先將烤箱上的智慧插座電源開啟，讓使用者在 8 點時能夠使用，當使用者使用完烤箱後在 8 點 40 分時在將接於烤箱上的智慧插座關閉以節省能源。

儲能裝置監控模式監控家中所有的儲能裝置，如電力公司公布每日的凌晨 2 點到早上 10 點為家庭離峰用電時段，此時系統會在離峰時段發出控制訊號通知儲能裝置進行充電，並在用電尖峰時段供電來避開尖峰高用電的情況，除了尖峰與離峰狀態外，還有針對緊急停電部分，當家中突然停電時，儲能裝置立即提供短暫的電力供給，以應付緊急用電需求。

#### 4.2.1 系統控制對象

系統主要的控制對象為家庭中所有的智慧插座與儲能裝置。在智慧插座部份具有兩個重要的功能，一是統計每一時段(time slot)插座上的平均電壓、平均電流及累計功率等用電資訊，並自動傳送至中央節能控制模組。另一向重要功

能則是接收中央節能控制模組的控制訊號，進行電源開關等各項控制動作。在我們所設計的系統中，我們將每一時段訂為 10 分鐘，一來可以減少中央節能控制系統資料的記錄量，再者可以降低控制複雜度。除了上述兩項重要功能之外，在插座發生異常狀況，如瞬時電流過高、電壓不穩定時，智慧插座將直接關閉供應電源，並傳送警示訊號至中央節能控制模組，再由控制模組進行應對措施。儲能裝置包含大容量電池與充放電控制器，可搭配太陽能、風力等發電設備儲存電力。此一儲能裝置模組與市電並聯，在離峰時段可由市電提供充電電力來源，在停電或尖峰用電時提供電力給家庭中部份的智慧插座，以節省電費支出。充放電控制器具有無線通訊收發裝置，可將電池容量資訊傳遞給中央節能控制模組，並接收由控制模組傳送過來的控制訊號，進行充放電控制。

#### 4.2.2 控制模式流程

節能系統之控制流程如圖 4-2 所示，在系統時間觸發時，判斷觸發時間為平日或假日且是否為午夜，若為平日且時間為 0 時 0 分，則依照平日用電方式進行當日各時段用電額度計算，若為假日且時間為 0 時 0 分，則採用假日模式計算該日各時段用電額度。若觸發時間非 0 時 0 分，則無須進行用電額度計算。得知各時段用電限額後，則判斷單日用電量是否已經超越使用者所設定之額度，若已超過額度，則進入平日或假日節能控制模式，若未超過用電限額，則持續監控用電情形，並等待下次時間觸發。

圖 4-3 為儲能裝置控制流程圖，在此流程中分為三大部分，分別為緊急供電、尖峰時段供電與離峰時段充電。緊急供電部分，在控制開始即先判斷是否有緊急斷電，如家中處於停電狀態則立即通知儲能裝置進行供電。若無停電情況，則判別儲能裝置之內儲電量是否足以供應家庭用電所需，在儲能裝置可供電的情形下，於尖峰時段進行供電，若無法供電，則於離峰時段進行充電，除此之外，則不進行任何動作。

圖 4-4 為系統內建之電量統計示意圖，此示意圖內建於系統命令接收及處

理模組中。每小時從記憶體內擷取智慧插座用電總和並放置於當日用電量實際值欄位。接著再依照前四周同一時段(如 8/1、8/8、8/15 和 8/29 的零晨 0 時 0 分)之用電數值及使用者設定之用電上限值，計算出該小時的用電預估值。若該時段實際值超過該時段預估值，則自動進入節能模式，此限電預估值會依照使用者設定之用電上限值與使用習慣進行最適當的分配，避免發生用電量分配不均之情況。圖中標示為「-」之欄位表示時間未到，尚無法取得資料。

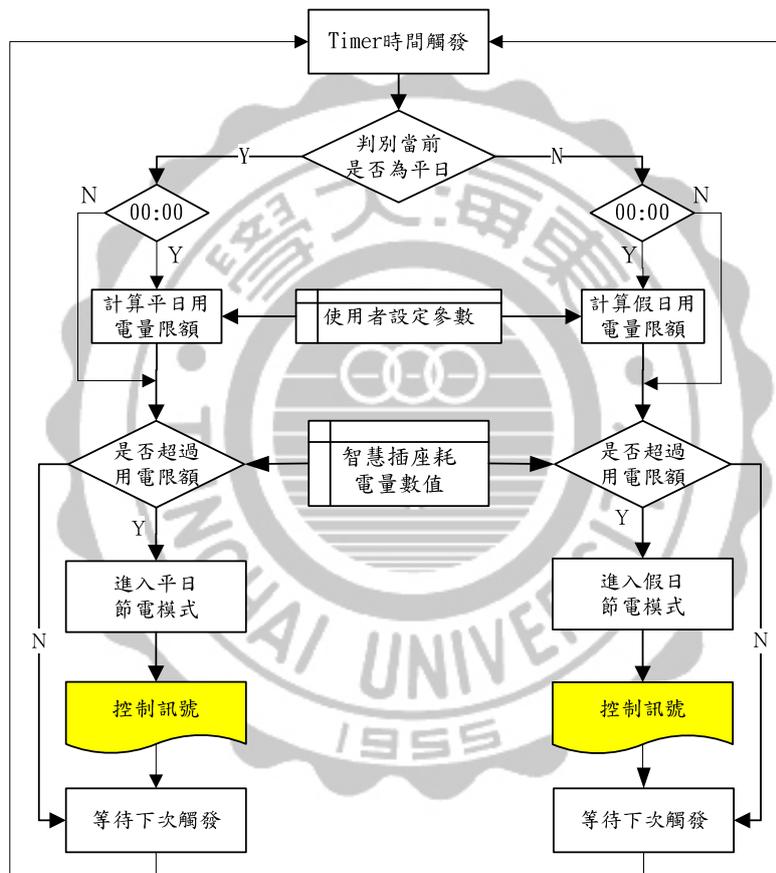


圖 4-2 電能控制系統控制流程圖

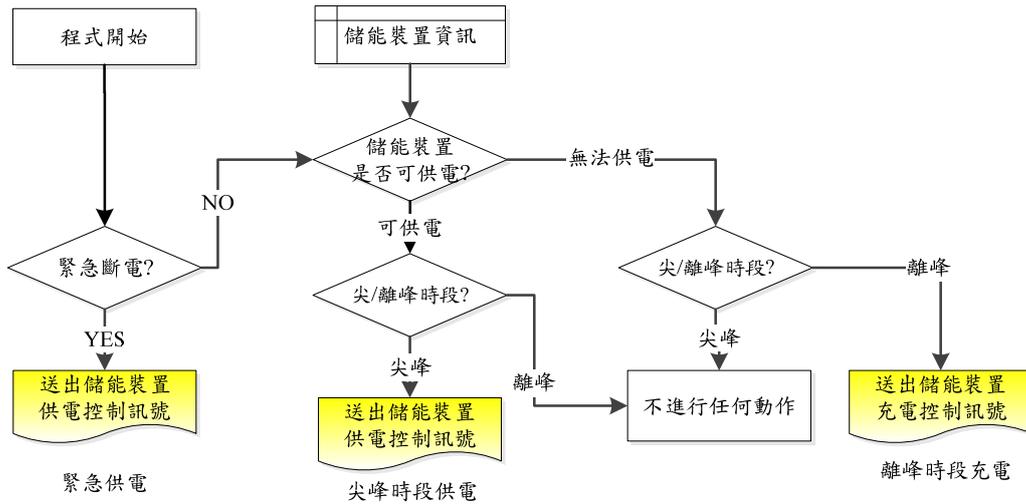


圖 4-3 儲能裝置控制流程圖

日期 \ 時段	00:00		01:00		02:00		...	23:00		當日 累積
	實際值	預估值	實際值	預估值	實際值	預估值		實際值	預估值	
8/1	0.5	0.4	0.3	0.4	0.2	0.2	...	0.6	0.7	10
⋮	⋮		⋮		⋮		...	⋮		⋮
8/8	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.1	...	0.5	0.5	12
⋮	⋮		⋮		⋮		...	⋮		⋮
8/15	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	...	0.5	0.6	
⋮	⋮		⋮		⋮		...	⋮		⋮
8/22	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	...	0.5	0.5	11
⋮	⋮		⋮		⋮		...	⋮		⋮
8/29	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	...	-	0.5	-
當日用電量	0.3		0.4		0.3		...	-		9
單月累計用電度數									200	
單月使用者設定用電額度									180	

當月用電加總

單位:千瓦/小時(度)

圖 4-4 電量統計示意圖

學習裝置控制流程如圖 4-5 所示，在 Timer 觸發時，向智慧插座請求電器使用資訊，於每日凌晨 23 時 50 分透過學習演算法進行學習並將結果存至 Memory，學習之結果為當日電器使用預測，依此作為自動控制的依據。控制模式會在進行控制前，先判定為手動或自動控制模式，在確認控制模式後，系統緊接著判斷用電量是否已超過用電限額，在使用者控制模式下，若超過用電限額，則發出節能警示通知使用者，若使用者同意進行節能控制，則進入自動控制模式並發送訊號至智慧插座，再等候下一次時間觸發。若未超過用電限額，則無須進行任何控制，僅單純監控智慧插座用電資訊即可。在自動控制模式下，若超過用電限額，則直接進行節能控制並發送訊號至智慧插座，等待下次時間觸發。若未超過用電限額，且智慧插座目前並未使用，則讀取學習演算法之運算結果，進行下一階段之控制，若智慧插座正在運行中，則只需監控智慧插座並等候下次觸發即可。

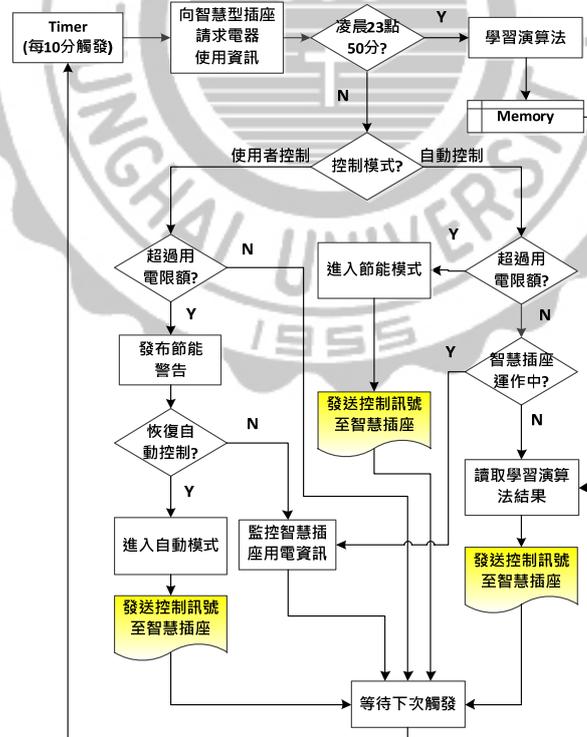


圖 4-5 學習裝置控制流程

## 第五章 模擬結果與實作結果

### 5.1 模擬與實作環境

本系統模擬實作採用 ARM9 處理晶片，ARM 晶片能高速運算指令及資訊處理的強大能力，無論在通訊業或是製造業均獲得廣泛的應用。軟體開發環境利用 ARM 公司開發的 ARM ADS (ARM Developer Suite) 進行整合環境的開發，配合 C++ 語言與組合語言來撰寫實驗中所需的程式，並將程式利用模擬實作平台上的周邊模組呈現出來。

軟體則利用 C++ 並搭配 QT 作 GUI 介面撰寫，並以 Embedded-Linux 做為開發平台的作業系統，C++ 的好處是能力強、開發速度快、容易維護以及方便重覆使用等。使用 QT 做 GUI 顯示介面的開發其好處為相同的程式碼可以在不同的平台上編譯與執行，而不需要修改原始碼，並會自動依平台的特性，表現該平台特有的圖形介面風格。使用 Linux 為作業系統平台之好處是它為一種自由和開放原始碼的作業系統。Linux 可安裝在各種各樣的計算機硬體設備，從手機、平板電腦、路由器和視訊遊戲控制台，到大型主機和超級計算機等。

在交叉編譯器的部分，編譯器的生成依賴於相應的函數庫，而這些函數庫得依靠編譯器來編譯。這裡主要用到的編譯器是 arm-linux-g++，它是 C++ 與 arm 的資料庫在 linux 環境底下互交叉編譯產生的，輸入是 C++ 語言；經過編譯輸出則是在開發平台 ARM9 底下的 Linux 執行。

#### 5.1.1 模擬實作平台

本系統實作的開發平台為 ARM9 處理晶片如圖 5-1 所示。此開發平台擁有 16K 的資料快取記憶體和 16K 的指令快取記憶體，MMU 快取記憶體，及固定的 32-bits 運算碼寬度，可降低編碼數量，減輕解碼和管線化的負擔，大多數的指令均為一個時脈週期執行。此平台之運作時脈為 400MHz。中央處理器 CPU

核心為 ARM920TDMI，主頻率為 400MHz，最高可達 533MHz，外部記憶體 SDRAM 為 64MB，配有一個 10/100M 網路孔，並可接 HOST USB1.1 及 Device USB1.1 介面。圖 5-2 為模擬實作平台之系統晶片方塊架構圖，圖 5-3 則為模擬實作平台上之 ARM9 核心晶片方塊圖。



圖 5-1 ARM9 嵌入式開發平台

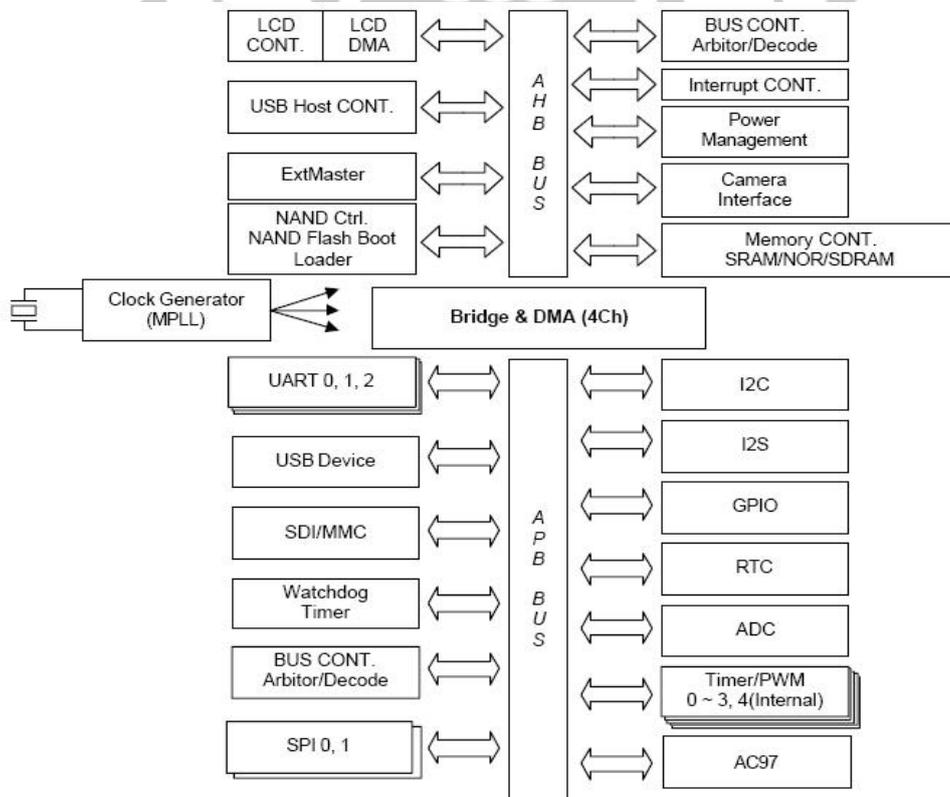


圖 5-2 模擬實作平台之系統晶片方塊圖

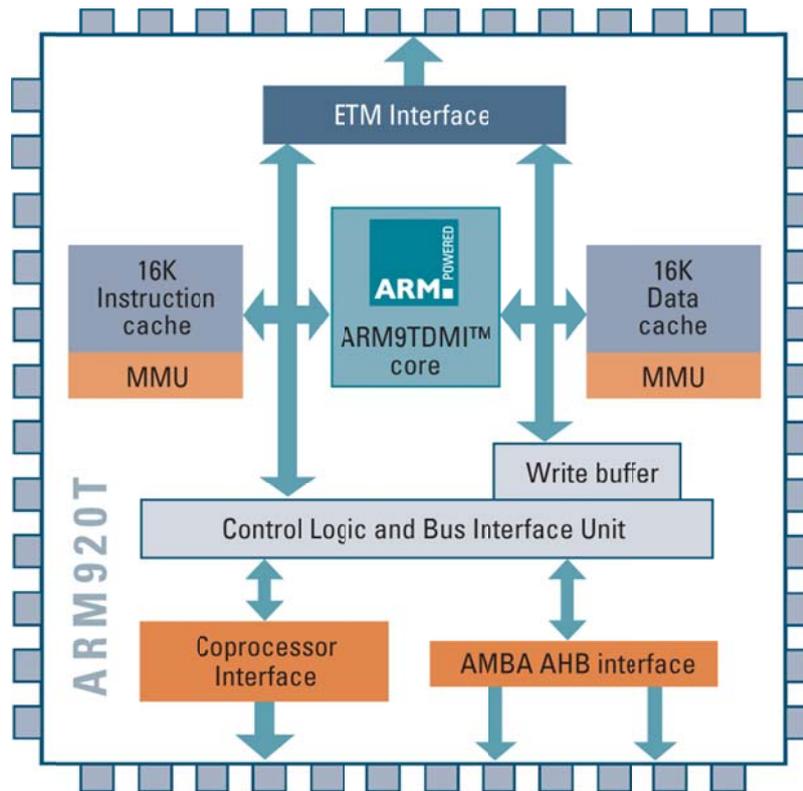


圖 5-3 ARM920T 方塊圖

### 5.1.2 I/O 介面

中央節能控制模組部分，輸出與輸入部分透過 QT 如圖 5-4 所示：

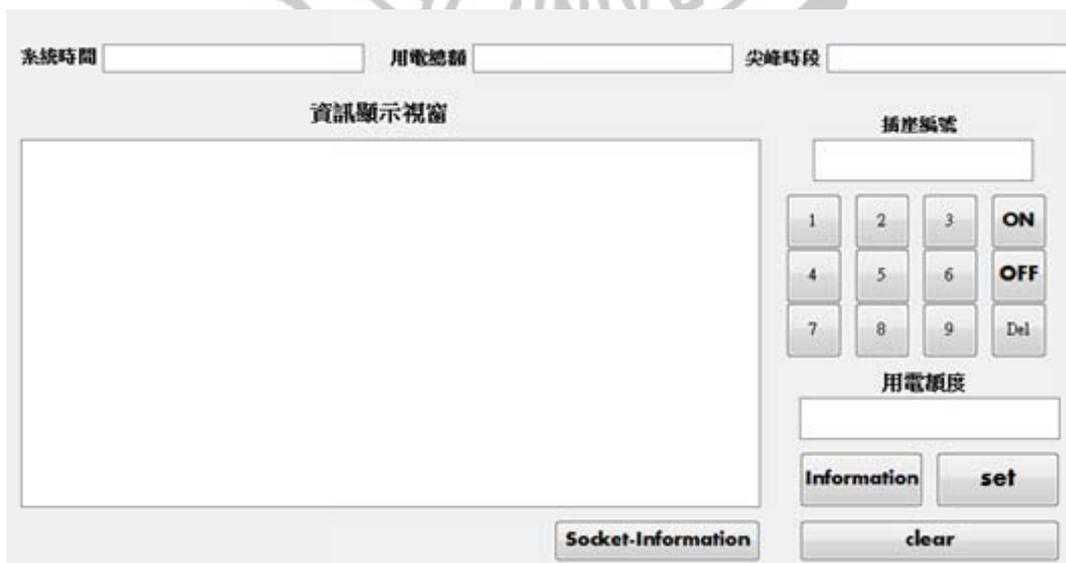


圖 5-4 中央節能控制晶片 GUI 介面

在系統顯示介面輸出部分，包含系統時間、用電總額、尖峰時段與插座狀態及資訊。當使用者按下 Socket-Information 鍵時，資訊視窗則會列出家中目前的電器使用狀況；按下 Information 鍵則是顯示用電資訊。在輸入部分則有針對特定插座開關與設定用電額度。使用者將該月的用電額度輸入至用電額度欄位並按下 set 鍵即可完成設定，要是欲控制家中特定智慧插座，只要在插座編號處輸入編號再按下 ON/OFF 鍵，而 clear 鍵用途為清除資訊顯示視窗的資訊。

在智慧插座 I/O 部分，輸入端是經由 Zigbee 模組所接收到智慧型插座傳送過的電器資訊，每當時間觸發時便接收插座的用電資訊，包含電壓、電流、功率以及相位角等，另外程式內部的學習模組部分則是分析插座的電流量，當電流量大於某待機電流時則判斷該插座是正在使用中；如果小於待機電流則判斷該插座正在待命中。

其中輸入端可分成接收插座用電資訊封包及使用者命令解碼；輸出端則為控制插座命令封包如圖 5-5：

		Bit							
		MSB 7	6	5	4	3	2	1	LSB 0
<b>P A C K E T</b>	Byte0	封包長度 (位元組)							
	Byte1	Type ID (家電類別)							
	Byte2	ActionID (R/W)	ServiceID (功能類別)						
	Byte3	正負號 0:正數 1:負數	小數位 0:整數 1:一位小數	Data (HighByte)					
	Byte4	Data(LowByte)							
	Byte5	...							
	...								
	ByteN-1								
	ByteN	Check Sum (XOR 方法處理)							
<b>Send Command</b>					<b>Receive Command</b>				
1) 要求智慧插座資訊 06 0A 24 FF FF 28					1) 插座用電資訊 42 E5 93 23 voltage 46 53 1D 14 accumulated 00 00 00 00 phase A current 00 00 00 00 phase A power angle				
2) 插座電源待命 06 0A C0 00 00 CC					2) 插座電源待命ACK 06 0A C0 00 00 CC				
3) 插座電源關閉 06 0A C0 00 01 CD					3) 插座電源關閉ACK 06 0A C0 00 01 CD				

圖 5-5 智慧插座 SAANET 封包傳輸格式

以讀取用電資訊為例 06 0A 24 FF FF 28 :

1. 最先的封包長度(06)代表了 SAANT 封包後面有 6 個 BYTE 的資料。
2. 之後的 Type ID(0A)代表了該插座的家電類別，我們目前統一用 0A 做分類。
3. 接下去的 Byte 代表該封包動作，(24)代表接收插座所有用電資訊。
4. 因為他後面不需要傳輸資料，故用 FF FF 代表 Data。
5. (1C)代表前面所有封包 XOR 起來作為檢查，方法是將 06 0A 24 FF FF 28 中的第一位數 0 0 2 F F 2 轉換為 2 進制並每個位元做 XOR，最後再將結果轉成 16 進制。

在儲能裝置輸入端與輸出端一樣經由 Zigbee 發送控制訊號與接收儲能裝置資訊，發送的控制訊號包含有要求狀態、充電、進行供電與停止供電。接收的資訊則為儲能裝置的狀態包含充電完成、可供電與無法供電。輸出端與輸入端的封包格式如圖 5-6 所示：

ID	State	XOR
4bytes	4bytes	4bytes

State:

- 0000—>要求狀態
- 0001—>充電
- 0010—>充電完成
- 1000—>可供電/充飽
- 1001—>無法供電/未充飽
- 0101—>進行供電
- 0110—>停止供電

圖 5-6 儲能裝置傳輸封包格式

## 5.2 實作結果

圖 5-7 為儲能裝置模擬結果，模擬儲能裝置為可供電狀態。圖 5-8 為尖峰監控模式模擬結果，當用電超過上限值時則發一限電訊號通知使用者並進入節能模式。圖 5-9 為離峰監控模式模擬結果圖，一般監控模式包含該小時的電壓

最大值與最小值以及目前的總功率消耗。圖 5-10 為使用者介面模擬結果，先模擬設定控制 5 個插座狀態，並隨機產生插座之用電資訊作介面顯示測試。

```

>儲能裝置監控模式<
>電池模式<
>發送0000要求儲能裝置狀態<
接收到電池訊號:1000
*****

```

圖 5-7 儲能裝置模擬結果

```

*****
尖峰用電監控模式
目前:3 W/h目前時段上限值:2 W/h
尖峰時段模式,用電超過上限,發出限電訊號
*****

```

圖 5-8 尖峰監控模式模擬結果

```

*****
離峰時刻用電監控模式
>一般節能模式<
電壓最大最小值
這小時電壓最大值:112
這小時電壓最小值:109
目前總W/h消耗:254.15 W/h
目前:20 W/h
節能模式上限值:15 W/h
進入節能模式
*****

```

圖 5-9 離峰監控模式模擬結果

系統時間 2011/12/14 19:43    用電總額 155 W/h    尖峰時段 17 - 20

資訊顯示視窗

socket 1 off  
 socket 2 on  
 socket 3 on  
 socket 4 on  
 socket 5 off  
 socket 1 V:109 I:8mA W:5W/h  
 socket 2 V:110 I:20mA W:15W/h  
 socket 3 V:108 I:18mA W:10W/h  
 socket 4 V:107 I:17mA W:9W/h  
 socket 5 V:111 I:15mA W:9W/h

插座編號  
16

1 2 3 ON  
 4 5 6 OFF  
 7 8 9 Del

用電額度  
800 W/h

Information set  
 clear

Socket-Information

圖 5-10 使用者介面模擬結果

圖 5-11 為使用與未使用節能控制系統(假日)，圖 5-12 為使用與未使用節能控制系統(平日)，主要對象為實驗室飲水機，日期分別為假日與平日，飲水機待機實際消耗功率為 60w/h，分別透過本系統與未透過本系統所測得知數據。因為飲水機在長時間關閉後啟動需要 40 分鐘的連續燒水，所以我們透過系統控制一天中飲水機所消耗的功率來與未透過系統控制的飲水機做比較。最後可以得到如表 5-1 未透過本系統控制假日一天消耗的功率為 1517.98 w/h，平日為 2079.04w/h，而透過本系統後假日的消耗功率為 888.16 w/h，平日為 1261.31w/h。

表 5-1 假日與平日功率消耗比較

	假日	平日
透過系統控制	888.16w/h	1261.31w/h
未透過系統控制	1517.98w/h	2079.04w/h
節省百分比	41.5%	39.3%

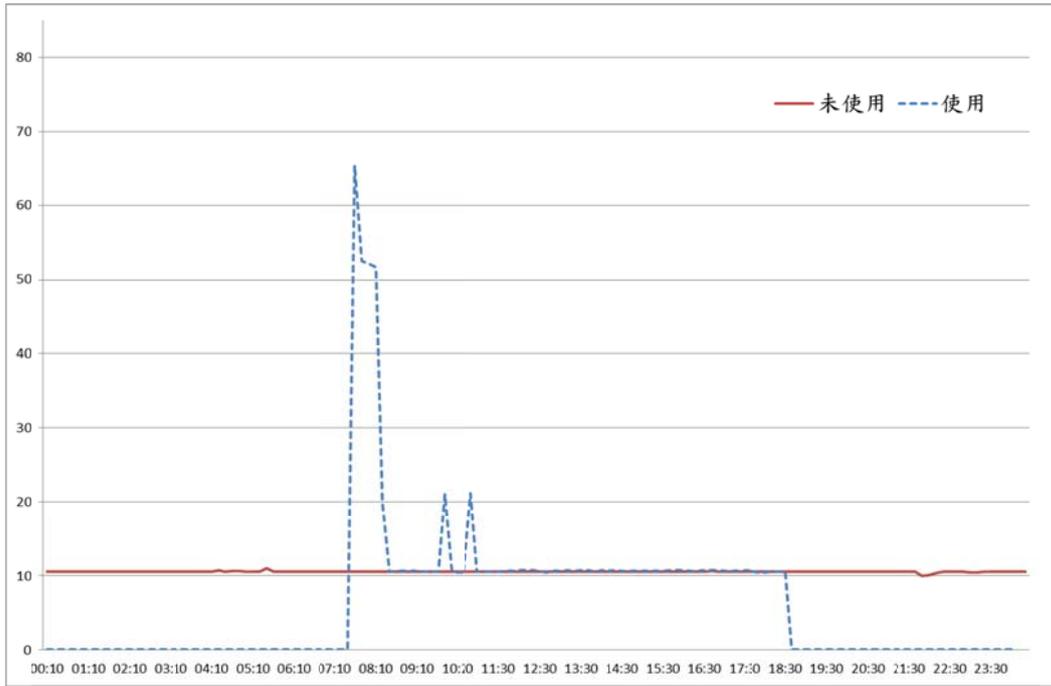


圖 5-11 使用與未使用節能控制系統(假日)

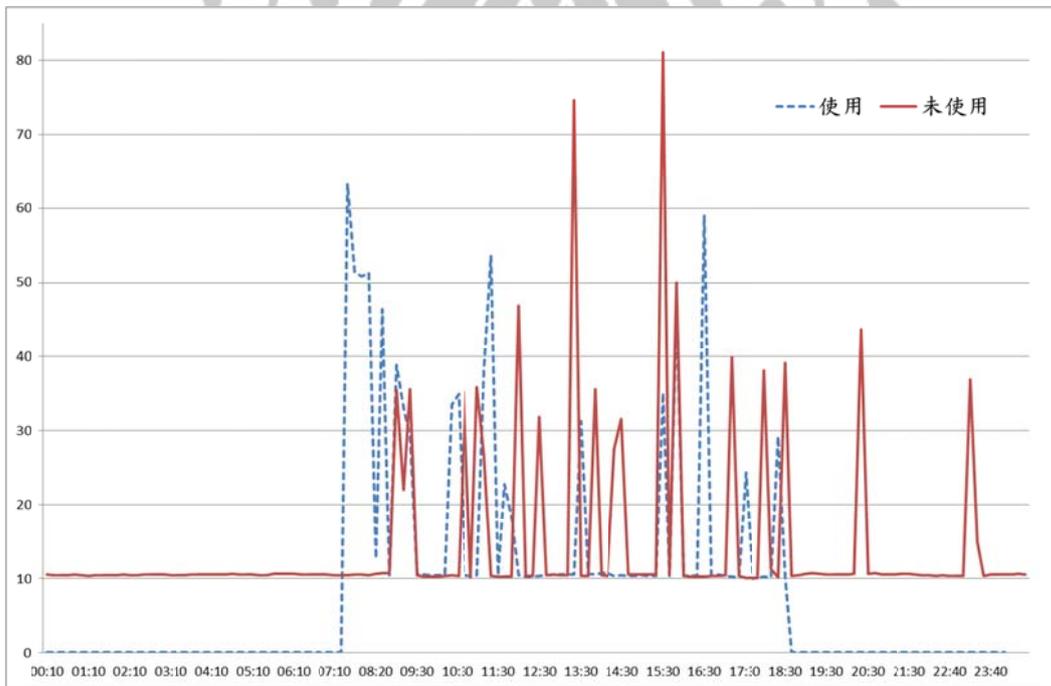


圖 5-11 使用與未使用節能控制系統(平日)

## 第六章 總結

綠能家庭的主要構想是透過自動化的裝置，協助居住者達到節能減碳的目的。目前已有許多家庭控制系統廣泛應用在一般家庭中，而在本論文所提出之居家環境之智慧節能控制系統中包含了學習機制，系統利用類神經網路演算法進行智慧學習，並將學習的結果運用於節能控制，提供準確預測使用者生活習慣，以精準控制智慧插座之電源關閉。所提出的系統可以統計各個智慧插座的用電資訊，當用電量超過設定上限時，則自動進入節電模式，此外，還可在用電尖峰時刻或臨時停電時，搭配儲能裝置進行供電。綜合以上之優點及加上實際的測試，證實約可節省 40%。最後透過本系統運行不但可以節省能源消耗，更可降低經費支出。

未來，本系統將會持續開發使用者的互動介面，使用者可以經由介面針對個人用電習慣進行分類與統整，配合家庭內部的每個成員有每個不同的智能控制學習。

## 參考文獻

- [1] 丁仁東，能源枯竭的告警，科學教育月刊，331期，2010年8月
- [2] 國家節能減碳總計畫，行政院節能減碳推動會。
- [3] K. Hyun Hee, H. Kyoung Nam, L. Suk, and L. Kyung Chang, "Resident Location-Recognition Algorithm Using a Bayesian Classifier in the PIR Sensor-Based Indoor Location-Aware System," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, vol. 39, pp. 240-245, 2009.
- [4] Z. Lan, L. Henry, and K. Chan, "Information fusion based smart home control system and its application," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, pp. 1157-1165, 2008.
- [5] S. Young-Sung, T. Pulkkinen, M. Kyeong-Deok, and K. Chaekyu, "Home energy management system based on power line communication," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 1380-1386, 2010.
- [6] W. Zhenxing, W. Shutao, S. Linxiang, and L. Zhongyuan, "The Analysis and Implementation of Smart Home Control System," in *International Conference on Information Management and Engineering*, 2009. ICIME '09., 2009, pp. 546-549.
- [7] —，能源局年報，經濟部能源局，2009年2月。
- [8] —，家庭節約能源手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會，2009年9月。
- [9] 李政良，綠能產業的基礎建設~簡易家庭能源管理系統，國立中央大學電機月刊，2010年10月。
- [10] —，iEN-ASP 智慧型節能管理，中華電信數據分公司。
- [11] The Jeff Lieberman Video, CMU-SPEED from the 2011 wats:ON? Festival,

<http://www.arc.cmu.edu/cbpd/index.html>

[12] —, 智能建築中暖通空調和照明系統控制策略, 建設工程教育網 (www.jianshe99.com), Sept. 2008。

[13] —, “White paper for Cisco Home Energy Controller”, Cisco Systems. Inc. 2010.

[14] —, Intel®家庭能源儀表板, Intel。

[15] G. N. Khan and J. B. Chan, “SoPC Based Smart Home Embedded Computer Capable of Caring for the Home Occupants,” in *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2007. CCECE 2007., 2007, pp. 206-209.

[16] 陳東弘、林政廷, 智慧型家庭能源管理系統之建構, 工業技術研究院能源與環境研究所。

[17] S. K. Das, D. J. Cook, A. Battacharya, E. O. Heierman, III, and L. Tze-Yun, “The role of prediction algorithms in the MavHome smart home architecture,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, pp. 77-84, 2002.

[18] S. Wei and D. Yun-wei, “On Designing and Verifying Smart Home Embedded Software Model Based on AADL,” in *International Conference on Future Generation Communication and Networkin*, FGCM'08. 2008, vol. 2, pp. 217-221.

[19] J. Choi, D. Shin, and D. Shin, “Research and Implementation of the Context-Aware Middleware for Controlling Home Appliances,” *International Conference on Consumer Electronics*, 2005. ICCE. 2005.

[20] T. Perumal, A. R. Ramli, L. Chui Yew, S. Mansor, and K. Samsudin, “Interoperability among Heterogeneous Systems in Smart Home Environment,” in *IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based*

*Systems. SITIS '08.*, 2008, pp. 177-186.

[21] L. Minsoo, U. Yoonsik, K. Yong, K. Gwanyeon, and P. Sehyun, "Intelligent power management device with middleware based living pattern learning for power reduction," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, pp. 2081-2089, 2009.

[22] W. K. Park, C. S. Choi, I. W. Lee and J. Jang, "Energy efficient multi-function home gateway in always-on home environment," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 106-111, 2010.

[23] D. M. Han and J. H. Lim, "Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 1417-1425, 2010.

[24] C. H. Lien, Y. W. Bai and M. B. Lin, "Remote-Controllable Power Outlet System for Home Power Management," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 53, pp. 1634-1641, 2007.

[25] C. M. Yeoh, H. Y. Tan, C. K. Kok, H. J. Lee and H. Lim, "e2Home: A Lightweight Smart Home Management System," in *International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, ICCIT '08. 2008, vol. 1, pp. 82-87.

[26] H. S. Kim, S. S. Han and C. G. Lee, "The Jini-Based Broadband Power Line Communication (BPLC) Home Control System," in *International Symposium on Information Technology Convergence*, ISITC 2007., 2007, pp. 86-90.

[27] Z. Wang, S. Wei, L. Shi and Z. Liu, "The Analysis and Implementation of Smart Home Control System," in *Proc. of International Conference on Information Management and Engineering (ICIME) 2009*, pp. 546—549, 2009.

- [28] C. Suh and Y. B. Ko, "Design and implementation of intelligent home control systems based on active sensor networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, issue 3, pp. 1177—1184, 2008.
- [29] W. K. Park, C. S. Choi, I. W. Lee and J. Jang, "Energy efficient multi- function home gateway in always-on home environment," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, issue 1, pp. 106—111, 2010.
- [30] G. N. Khan and J. B. Chan, "SoPC Based Smart Home Embedded Computer Capable of Caring for the Home Occupants," in *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE) 2007*, pp. 206—209, 2007.
- [31] Z. Lan, L. Henry and K. Chan, "Information fusion based smart home control system and its application," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, pp. 1157—1165, 2008.
- [32] Y. S. Son, P. T., K. D. Moon and C. Kim, "Home energy management system based on power line communication," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 56, pp. 1380—1386, 2010.
- [33] C. C. Hsu and L. Z. Wang, "A Smart Home Resource Management System for Multiple Inhabitants by Agent Conceding Negotiation," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 607—612, Oct. 2008.
- [34] P. Kordík, M. Hasaj, M. Tvrđý and M. Šnorek, "Building Automation Simulator and Control Strategy for Intelligent and Energy Efficient Home," *IEEE Computer Modeling and Simulation*, Nov. 2009.
- [35] I. K. Hwang, D. S. Lee and J. W. Baek, "Home network configuring scheme for all electric appliances using ZigBee-based integrated remote controller," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, pp. 1300-1307, 2009.

[36] K. J. Myoung, J. M. Lee, D. S. Kim and W. H. Kwon, "Home network control protocol for networked home appliances," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 52, pp. 802-810, 2006.

[37] 黃國書，PDA 應用於家庭自動化之研究，國立台灣科技大學電機工程系碩士論文，2004 年 6 月。

