

應用嵌入式系統於空調控制以達節能減炭之研究

王子銘

淡江大學電機工程學系

Email:495440264@s95.tku.edu.tw

廖一如

淡江大學電機工程學系

Email:ericwahahaha@gmail.com

李維聰

淡江大學電機工程學系

Email:wtlee@mail.tku.edu.tw

摘要—空調系統在現今的生活中已經是不可或缺的溫度調節及散熱工具，而在廣大的空調系統運用中如何達到更加舒適與節能減炭的效果更是 21 世紀人們不斷追求的目標。本研究將以嵌入式系統架構整合模糊控制系統與多點感測系統達到節能減炭之功效，鑑於近年來，模糊理論已經廣泛的被應用於溫度控制，使用模糊理論控制空調系統將有助於達到更舒適的環境且可以更有效率的使用電力，透過網路提供使用者介面用以調節空調控制系統，多點感測系統會將環境中各感測點之溫度與溼度資料回傳並儲存在嵌入式系統中，經過模糊控制系統運算後，以最適合目前環境中的運轉量來控制空調系統，嵌入式系統整合模糊控制與多點感測系統將可以更有效的得到更舒適的環境以達到節能減炭的效果。

關鍵詞—嵌入式系統、空調控制系統、模糊理論、節能。

一、介紹

在論文中，目標是達成基於嵌入式系統具模糊規則的空調控制系統，所以在硬體規格的選用上，也必須選擇同時擁有低成本 支援小型 OS 及 SQL 資料庫 等特性，作為實驗用的測試環境。因此本論文選定了以 ARM7 為核心由國內華邦電子所生產的 W90N740 為核心的嵌入式系統作為實驗平台。此平台同時支援 802.3 uCLinux SQLite 等功能，因此在本論文中將 W90N740 作為主要的模糊運算及資料儲存平台。

模糊理論是一種將人類認知過程中的不確定性，以數學模式表示的理論，此理論把傳統的數學從只有『對』與『錯』的二值邏輯擴展到含有灰色地帶的連續多值邏輯。利用『隸屬函數』值來描述一個概念的特質，亦即使用 0 與 1 之間

的數值來表示一個元素屬於某一概念的程度，這個值稱為該元素對集合的隸屬度，當隸屬度為 1 或 0 時便如同傳統的數學中的『對』與『錯』，當介於兩者之間便屬於對與錯之間的灰色地帶。

本研究中將使用多點感測用以偵測時驗環境中各感測點的溫度與濕度資料，傳統的空調系統大多使用單一個感測器去偵測環境中的溫溼度，而感測器的位置是固定的，這麼一來感測器所回傳的係數將局限於感測器周圍，甚至有許多冷氣將感應器設置於冷氣機內部，這都將大幅的降低感應器所偵測的環境中的各項係數的準確度，而回傳不正確的係數不但會造成能源的浪費更會大幅的降低使用的舒適度，多點感測可以依照實驗環境的大小、形狀與用途的不同在數個不同的位置裝設感測器，如此便可以準確的偵測環境中的溫度與濕度參數，當各感應器回傳的參數相差太大時也可以藉由模糊規則去啟動風扇使環境中溫度與濕度更加均勻，由此可見多點感測可以降低不必要的電力的浪費和提昇環境的舒適度。

整合以上的理由可以很容易的發現利用嵌入式系統小型且省電的特性結合模糊理論與多點感測器，用以控制空調系統將是非常理想的，本論文透過多點感測將溫溼度係數回傳並存入資料庫，之後透過模糊控制將環境中各係數資料轉換成適當的指令去控制空調系統的運轉量與風扇的強度，如此便可以成功的提升使用者在使用上的舒適度，更可以達到節能減炭的效果。

在下一個章節裡我們將簡介本論文所使用的想關背景知識。而在第三部分我們將介紹我們的系統架構。最後為模擬及結論。

二、背景知識

(一) 嵌入式系統

嵌入式系統(Embedded system)，是一種「完全嵌入受控器件內部，為特定應用而設計的專用電腦系統」，根據英國電器工程師協會 (U.K. Institution of Electrical Engineer) 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。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。由於嵌入式系統只針對一項特殊的任務，設計人員能夠對它進行優化，減小尺寸降低成本。由於嵌入式系統通常進行大量生產。所以單個的成本節約，能夠隨著產量進行成百上千的放大。國內的論文中也不乏嵌入式系統的研究[3][4]。

(二) 模糊理論

模糊理論於 1965 年由美國加州柏克萊大學 L.A. Zadeh(札德)教授在『資訊與控制』(Information and Control)學術雜誌上，發表『Fuzzy 集合』的論文後而誕生，1984 年國際模糊系統學會 (International Fuzzy Systems Association)成立，並同時成立北美、日本、歐洲及中國大陸四大分會。

模糊理論之應用研究包羅萬象，在影像識別上應用於醫學病症的判別、手寫字體、印刷字體、語音、指紋識別等等，自動控制上應用在各種家電控制、溫度控制、工業電力控制、機器人控制、地下鐵電車啟動及進站、汽車駕駛弄至等等，而其他如管理資料、教學評量、心理分析、財經管理也都可以找到模糊理論的相關應用[7][11][12]。

(三) 無線感測器

溫度與濕度感測器是利用感測電阻感應溫度或感應濕度而改變其電阻值，當電流通過後便可以依環境中溫度或濕度的不同而輸出不同的電壓差，本研究中所使用的感應器為溫溼度整合感應器。感應器會將所感測到環境中的溫溼度類比訊號轉換為數位訊號，透過 Zigbee 將封包傳送到接受器，接收器在經由 RS232 將資訊封包傳送

至電腦中儲存和分析。

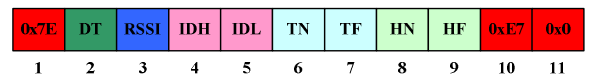


圖 1. 感應器傳送資料格式

Byte Order 1: 0x7E 為 RS232 的傳送起始位元組。
Byte Order 2: DT 為 Zigbee 封包的資料長度。
Byte Order 3: Zigbee 封包的相對訊號強度。
Byte Order 4: Zigbee 封包來源的 ID High Byte。
Byte Order 5: Zigbee 封包來源的 ID Low Byte。
Byte Order 6: 溫度資料整數部份。
Byte Order 7: 溫度資料小數部份。
Byte Order 8: 溼度資料整數部份。
Byte Order 9: 溼度資料小數部份。
Byte Order 10: 0xE7 為 RS232 封包結尾 1。
Byte Order 11: 0x00 為 RS232 封包結尾 2。

Zigbee 是一種無線網路的協定，主要由 ZigBee Alliance 制定，底層是採用 IEEE 802.15.4 標準規範的媒體存取層與實體層。主要特色有低速、低功耗、低成本、支援大量網路節點、支援多種網路拓撲、低複雜度、快速、可靠、安全。

三、系統架構

(一) 硬體架構

在本論文中首先建構出嵌入式系統的軟硬體整合平台，其中硬體架構如下圖，kernel 板提供了最主要的演算功能，右下角的 GP I/O 提供冷氣及電扇等控制，上方的 USB 接頭主要接收來自 Zigbee 模組的溫溼度訊息，MAC 0 也就是 802.3 提供聯外功能及遠端控制。

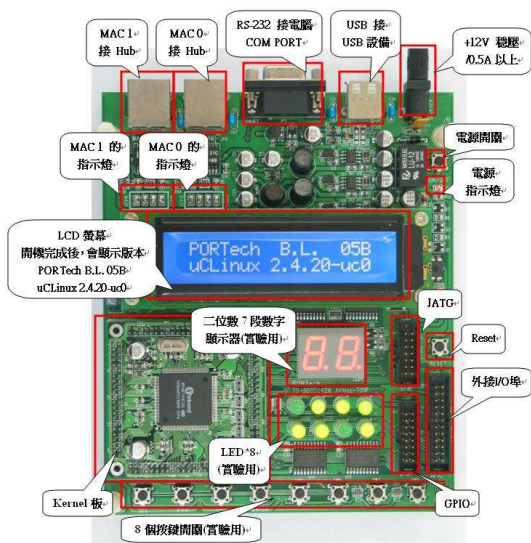


圖 2. 嵌入式系統軟體架構

而在軟體方面利用 SQLite，做為各無線感測節點數據的儲存資料庫，另外在系統上額外架構 HTTP SERVER 已達遠端監控及控制之功能，最後是我們所使用的控制演算法，將在下一段說明。

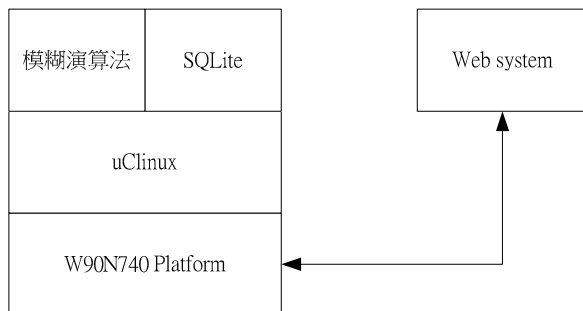


圖 3. 嵌入式系統軟體架構

在現實生活中中由於在任何環境中的溫度與濕度將不會是完全均勻的，而準確且快速的回傳實驗環境中的溫溼度資料對於提升使用者的舒適度是非常重要的，在本實驗中輸入的部份我們將使用攝氏溫度(°C)作為溫度的單位，濕度將會使用百分比(%)作為其單位，輸出則使用百分比(%)作為冷氣機與風扇運轉量的單位，輸出則實驗環境中將會架設三個整合溫度與溼度感測的感測器在三個不同的位置，溫溼度資料將借由無線感測器回傳至接收器，當接收器接收資料後會將資料透過個人電腦儲存到資料庫中，模糊控制系統將讀取資料庫中溫溼度的參數並參考使用者透過使用者操作介面所設定的溫溼度計算出隸屬度，再經過模糊規則轉換出冷氣與風扇的運轉量，最後將控制訊號傳送到紅外線發射器，

透過紅外線訊號將指令送達冷氣機與風扇(圖 4)。

模糊理論與多點感測控制空調系統透過各感測器回傳的參數可以很穩定的將溫度與濕度控制在使用者所設定的數值下。

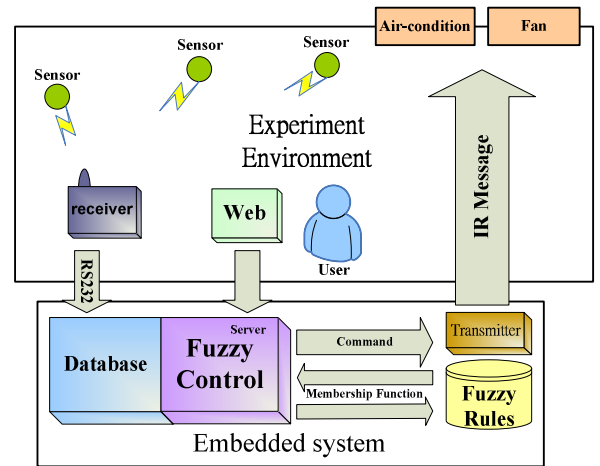


圖 4. 本系統實驗架構

(二) 軟體架構

模糊控制系統將輸入的溫度與濕度和輸出的冷氣與風扇的運轉量分別定義為三個語句變數，分別是高，中，低(表 1)。

感應器所回傳的溫度的範圍為[10...55]°C，濕度的範圍為[0...100]%，輸出的部份冷氣機的運轉量的範圍為[0...100]%，風扇的運轉量的範圍為[0...100]%。

表 1. 輸入與輸出轉化為模糊理論的語句變數

Parameters	Type	Linguistic expressions
Temperature	input	Low、Medium、High
Humidity	input	Low、Medium、High
Speed of air condition motor	output	Low、Medium、High
Speed of fan motor	output	Low、Medium、High

本系統將同時評估環境中的溫度與濕度資料，以最節能且舒適的運轉量去調節冷氣機和風扇的強弱，使其合諧的合作以達到更好的使用效果。

在許多應用模糊理論來進行控制的系統

中，隸屬函數的數學公式大多採用幾何三角形的模式，本系統也將採用幾何三角形的模式來定義溫度、濕度、冷氣機之運轉量和風扇的強弱在模糊理論中隸屬函數的公式，以下舉溫度的隸屬函數公式為例。

以下內容包含溫度的語句變數與模糊理論之隸屬函數。(溫度語句變數 = A, 溫度參數 = a)

$$\mu_{Low}(A) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq a < 22 \\ \frac{25-a}{3} & ; 22 \leq a < 25 \\ 0 & ; 25 \leq a < 28 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Medium}(A) = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq a < 22 \\ \frac{a-22}{3} & ; 22 \leq a < 25 \\ \frac{25-a}{3} & ; 25 \leq a < 28 \\ 0 & ; 28 \leq a \leq 32 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{High}(A) = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq a < 25 \\ \frac{a-25}{3} & ; 25 \leq a < 28 \\ 1 & ; 28 \leq a < 32 \end{cases} \quad (3)$$

溫度在模糊理論中的設定:

$$\mu_{Low}(A) = \left\{ \begin{array}{l} 1/19+1/20+1/21+1/22 \\ +0.67/23+0.33/24+0/25 \end{array} \right\}$$

$$\mu_{Medium}(A) = \left\{ \begin{array}{l} 0/22+0.33/23+0.67/24 \\ +1/25+0.67/26+0.33/27 \\ +0/28 \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$\mu_{High}(A) = \left\{ \begin{array}{l} 0/25+0.33/26+0.67/27 \\ +1/28+\dots+1/32 \end{array} \right\}$$

其餘模糊理論的各項輸入與輸出參數訂定如圖 5、圖 6。

各溫度隸屬度運算至冷氣機運轉量之公式:

$$\frac{0\% \times \mu_{Low} + 50\% \times \mu_{Medium} + 100\% \times \mu_{High}}{\mu_{Low} + \mu_{Medium} + \mu_{High}} = \text{Speed of air condition motor}(\%) \quad (5)$$

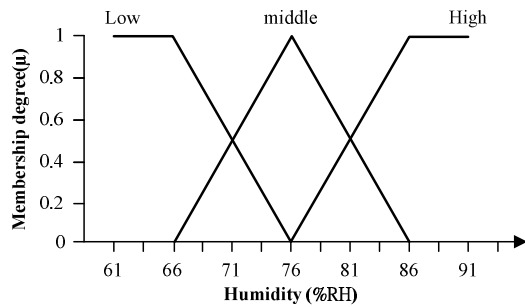
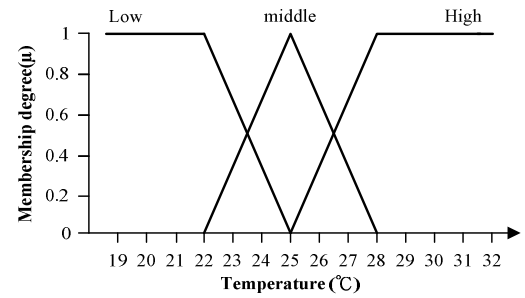


圖 5. 輸入參數的隸屬函數

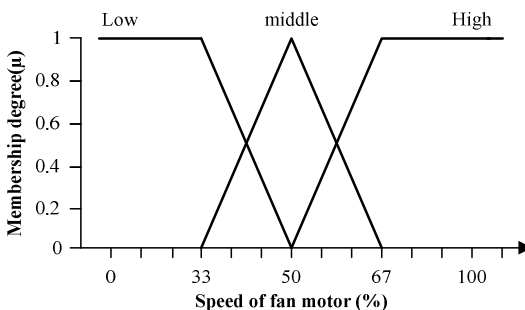
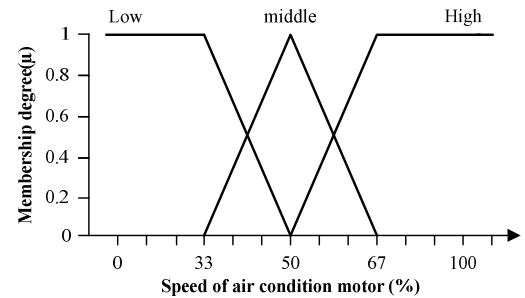


圖 6. 輸出參數的隸屬函數

四、模擬結果

雖然系統已經實作出來，但由於模糊演算法需要較長時間的調整，而整個調整的過程將畫在2009年11月底測試完成，所以為了使演算法及系統能順利達到節能的效果，我們事先利用BCB(Borland C++ Builder 6.0)軟體撰寫再PC端的模擬程式並連結SQL並將各感應器所收集的資料儲存於資料庫(MySQL 5.0)中，已事先測是在實際狀空中的系統強健度。

此程式設計為每10分鐘由資料庫中抓取一次溫溼度資料並分析，透過模糊化機制運算出隸屬度，再經由模糊規則庫將最適合目前環境的冷氣運轉量和風扇強度回傳，去模糊化後將實際的控制指令透過紅外線傳送至冷氣機與風扇。

本系統架設於測試環境中，透過多點感測的硬體設計與模糊控制的軟體設計我們將會得到更好的結果，實際運作後的輸入與輸出參數的部份數值如表3。

本系統與傳統控制系統之耗電量比較如圖7、圖8、表2。

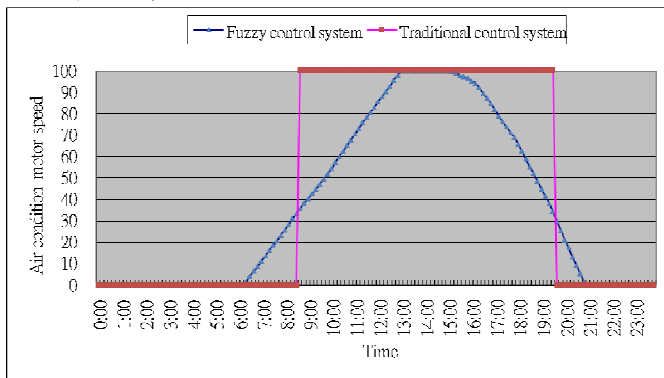


圖 7. 本控制系統與傳統控制系統控制冷氣機運轉量之比較

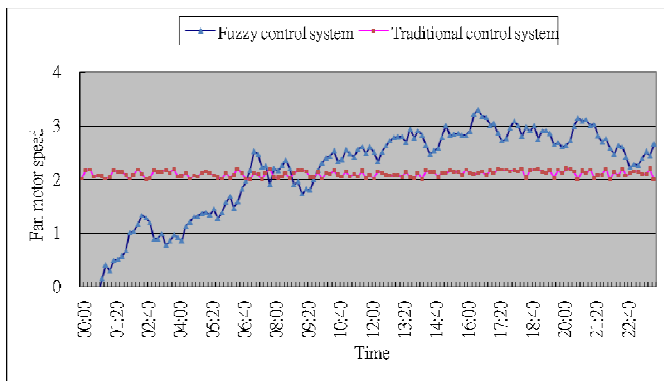


圖 8. 本控制系統與傳統控制系統控制風扇運轉量之比較

表 2. 本控制系統與傳統控制系統之節能比

本控制系統冷氣機總運轉量	傳統控制系統冷氣機總運轉量	節能比例(%)
5516	6600	16.425
本控制系統風扇總運轉量	傳統控制系統風扇總運轉量	節能比例(%)
225	288	21.931

由於本系統使用模糊控制與多點感測，所以不論是在感測環境的溫溼度或是在控制空調系統上都將優於傳統控制系統，在上面的模擬結果中可以發現當環境中的溫度不斷上升但還沒達到使用者所設定的溫度時，本系統將會比傳統控制系統還要早開始運轉，且隨著溫度不斷的上昇而漸漸提升運轉量，如此一來便可以有效的緩和環境的溫度，而多點感測相較於傳統的冷氣將溫度感應器裝設在機體內部更可以準確的測量環境內的溫度，使用者將可以很明顯的感覺到舒適度的提升。

當溫度超過使用者所設定的溫度時，本系統也將發揮冷氣最大的效能，相較於傳統控制的空調系統絲毫不遜色。

當溫度開始下降後本系統將會開始慢慢的降低運轉量，這樣不但會讓使用者不會感到室溫一下子太冷，更可以替使用者省下相當可觀的耗電量，可以發現雖然使用模糊控制的空調系統影響室內溫度的時間較長但所消耗的電量卻是較低的，所以本系統不但可以提昇使用時的舒適度，也可以替使用者節省約16%的耗電量。

多點感測配合風扇運轉可以有效的使環境中的溫度與濕度更加均勻，如此一來便可以避免因為環境中溫度或濕度不均勻而造成空調系統不必要的運轉，相較於傳統控制系統，本系統將會分析環境中各感測點所回傳的溫度與溼度資訊，判斷出最適合目前環境的風扇運轉速度，因此不但可以提升舒適度更可以節省約22%的耗電量。

五、結果和未來發展

本控制系統與傳統控制系統比較將有以下幾點改良：

1. 借由ARM核心的省電特性達到所需的節能計

算功能。

2. 使用嵌入系統的關係，將建置成本大大壓低。
3. 使用多點感測準確的量測環境中的溫度與濕度。
4. 可以依照不同的環境需要去改變模糊規則。
5. 短時間週期的感測環境中參數借此提升使用上的舒適度。
6. 用最適合環境需要的運轉量控制空調系統達到節能效果。

在本論文中，應用嵌入式系統於空調控制以達節能減碳之研究在使用時的舒適度上有顯著的提升，耗電量也會明顯的下降。

本控制系統不同於傳統控制系統，本系統將為使用者提供更準確且適合的控制指令去控制空調系統，因此使用本控制系統控制空調系統將會更成功。

在未來，本系統可以藉由增加環境中感測器的數量和使用更先進的感測器來提升蒐集環境中各項資料的準確度，配備更好更先進的空調系統已達到更好的舒適度，改進模糊控制系統，用更高的人工智慧達到更高的節能效果，如此一來便可以為人類與地球達到更佳的生活環境和消耗更少的資源。

六、參考文獻

- [1] 薛金麟，“嵌入式系統的設計與實作方法”，中華大學電機工程學系(所)。
- [2] 曾文偉，“嵌入式系統之儲存設計”，南台科技大學南台科技大學。
- [3] 陳彥彰，“以嵌入式系統與資料庫功能實現無線網際網路連線系統”，南台科技大學電子工程系。
- [4] 劉建宏，嵌入式適應模糊理論而達到 LED 節能照明控制的設計與實現，北台灣科學技術學院嵌入式系統產業研發碩士專班。
- [5] 周鴻志，“導入模糊理論於嵌入式系統之研究-以電扶梯為例”，南台科技大學資訊管理系。
- [6] 馮世廷，“冷房舒適度之自我適應控制”，大同工學院機械工程學系。
- [7] 陳煥卿，“模糊控制應用於冷卻系統節能之研究與設計”，大葉大學電機工程學系碩士班，2004。
- [8] 林建中，“熱系統之模糊控制之應用”，中華工學院電機工程研究所。
- [9] 林家輝，“基於模糊舒適度指標熱舒適性節能控制之研究”，國立勤益技術學院冷凍空調系。
- [10] 黃浩榮，“小型全水空調系統應用模糊控制達成舒適性與節能之研究”，國立彰化師範大學工業教育學系。
- [11] 陳慶星，“以模糊控制達成空調舒適性之研究”，國立彰化師範大學工業教育學系。
- [12] 謝明冀，“冷凍倉庫冷凍系統節能模糊控制器之設計”，逢甲大學自動控制工程研究所。
- [13] Ismail Saritas, Nazmi Etik, Novruz Allahverdi, and Ibrahim Unal Sert, “Fuzzy Expert System Design For Operating Room Air-Condition Control System”, International Conference on Computer Systems and Technologies, 2007.
- [14] Chih-Hu Wang, Chun-Hung Lin, Bore-Kuen Lee, Chien-Nan Jimmy Liu, and Chauchin Su, “Adaptive two-stage fuzzy temperature control for an electroheat system,” International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 1, March 2009.
- [15] X.-J. Liu and C. W. Chan, “Neuro-Fuzzy Generalized Predictive Control of Boiler Steam Temperature,” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 21, No. 4, December 2006.

表 2. 模糊規則庫

		Rules		1		2		3		Senso	
724	if	Mediu	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Temperature
723	if	Mediu	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Humidity
722	if	Mediu	Humidity	Mediu	and	Mediu	and	Low	and	Low	Temperature
721	if	Mediu	Humidity	Mediu	and	Mediu	and	Low	and	Low	Humidity
720	if	Mediu	Humidity	Mediu	and	Mediu	and	Low	and	Low	Humidity
...
9	if	Low	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Temperature
8	if	Low	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Humidity
7	if	Low	Humidity	Mediu	and	Mediu	and	Low	and	Low	Temperature
6	if	Low	Humidity	Mediu	and	Mediu	and	Low	and	Low	Humidity
5	if	Low	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Temperature
4	if	Low	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Humidity
3	if	Low	Humidity	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Temperature
2	if	Low	Humidity	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Humidity
1	if	Low	Temperature	Low	and	Low	and	Low	and	Low	Temperature

725	if	High	and	High	and	Mediu	and	High	and	Mediu	and	High	Then	High	and	High
726	if	Mediu	and	High	and	High	and	High	and	High	and	High	Then	High	and	High
727	if	High	and	High	and	Mediu	and	High	and	High	and	High	Then	High	and	High
728	if	High	and	High	and	High	and	High	and	Mediu	and	High	Then	High	and	High
729	if	High	and	High	and	High	and	High	and	High	and	High	Then	High	and	High

表 3. 輸入與輸出參數的部份數值

Seenor	1	2	3	Output				
Time	Temperature (°C)	Humidity (%)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Air conditioner (%)	Fan (Speed)
10:00	25.28	60.34	25.26	60.32	25.7	60.06	57	1
10:10	25.43	60.16	25.41	60.14	25.82	59.96	59	1
10:20	25.59	60.05	25.55	60	25.95	59.77	62	1
10:30	25.76	59.86	25.7	59.85	26.14	59.61	64	1
10:40	25.92	59.75	25.88	59.66	26.31	59.47	67	1
10:50	26.1	59.58	26.03	59.49	26.42	59.31	70	1
11:00	26.25	59.46	26.13	59.36	26.54	59.19	72	1
11:10	26.41	59.31	26.27	59.22	26.73	59.01	74	1
11:20	26.59	59.15	26.37	59.03	26.91	58.81	77	2
11:30	26.78	59.02	26.52	58.85	27.06	58.65	80	2
11:40	26.98	58.86	26.7	58.68	27.25	58.51	83	2
11:50	27.13	58.68	26.87	58.57	27.4	58.35	86	2
12:00	27.26	58.49	26.98	58.43	27.51	58.16	88	2
12:10	27.39	58.36	27.09	58.32	27.7	58.05	90	2
12:20	27.5	58.19	27.27	58.12	27.82	57.86	92	2
12:30	27.68	57.99	27.38	57.99	27.99	57.72	95	2
12:40	27.79	57.88	27.49	57.86	28.14	57.59	97	2
12:50	27.93	57.77	27.64	57.71	28.25	57.44	99	2
13:00	28.12	57.62	27.78	57.53	28.36	57.25	100	2
13:10	28.31	57.43	27.97	57.38	28.48	57.09	100	2
13:20	28.51	57.24	28.08	57.27	28.6	56.98	100	2
13:30	28.69	57.09	28.27	57.08	28.76	56.87	100	1
13:40	28.63	56.98	28.19	56.96	28.71	56.69	100	2
13:50	28.53	56.85	28.17	56.8	28.66	56.59	100	1

14:00	28.46	56.73	28.15	56.62	28.64	56.47	100	1
14:10	28.39	56.6	28.12	56.47	28.64	56.31	100	2
14:20	28.35	56.49	28.07	56.29	28.59	56.16	100	2
14:30	28.31	56.35	27.98	56.15	28.56	56	100	2
14:40	28.25	56.21	27.89	55.98	28.51	55.82	100	2
14:50	28.17	56.06	27.84	55.82	28.46	55.66	100	2
15:00	28.17	55.93	27.8	55.65	28.42	55.48	100	2
15:10	28.13	55.75	27.79	55.51	28.4	55.37	100	2
15:20	28.05	55.59	27.72	55.36	28.4	55.24	100	2
15:30	27.97	55.43	27.63	55.23	28.36	55.1	100	2
15:40	27.91	55.29	27.54	55.06	28.35	54.96	99	3
15:50	27.87	55.13	27.49	54.9	28.29	54.81	98	3
16:00	27.86	54.94	27.42	54.77	28.27	54.62	97	3