

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

建築物智慧型空調能源管理網路

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-022-CC3

執行期間：91年06月01日至92年05月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：顏家鈺

計畫參與人員：黃孝怡、王俊仁

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 92 年 8 月 25 日

行政院國家科學委員會

九十一年度提升產業技術及人才培育研究計畫成果摘要報告

建築物智慧型空調能源管理網路

計畫編號：NSC91-2622-E-002-022-C33

執行期限：91 年 6 月 1 日 至 92 年 5 月 31 日

主持人：顏家鈺教授 台灣大學 機械工程學研究所教授

計劃參與人員：黃孝怡 台灣大學 機械工程學研究所博士班研究生

計劃參與人員：王俊仁 台灣大學 機械工程學研究所碩士班研究生

一. 中文內容摘要

本計畫的目的是在發展一套以網路為平台的能源管理系統。由於能源管理牽涉到設備與元件各有不同的通訊協定與控制工具，因此各自形成不同的區域性控制網路，為了將各控制網路中的資訊整合並進行分析，本計畫發展了一個以代理者(Agent)為基礎的能源管理網路。主要的方法是利用資料庫技術與行動代理人程式(Mobile Agent)作為資訊網路和控制網路間資料整合的工具，以串聯整套的智慧型能源管理網路。研究的內容包括以代理者為基礎的資料庫通訊架構、具有資料倉儲和決策支援系統的決策核心，以及包括監督管理層、區域控制層和設備層階層式的遠端監督控制架構。此架構的目的是透過網路針對大樓空調電力設備採取適當節能策略並進行智慧型分散式控制。智慧型分散式控制網路具有以下的特點：分散式的智慧型處理、具有資料處理分析能力、階層式系統、具有整合與擴充能力。

由研究結果顯示，藉由行動代理

者的資料傳輸，可以成功地將系統的運轉資料儲存到遠端的資料庫系統中，經過線上分析處理後，最後以網頁介面 JSP 輸出；也可以藉由行動代理人將監督管理層的資訊，經由區域控制層傳至設備層中，以決定設備的運轉情形。

ABSTRACT

The main purpose of this work is to develop the network platform energy management system. The difference in the plant's communication protocol and controller in the energy management system often cause the distinction between each local area network. Therefore , we devise the agent-based for energy management network in order to integrate and analyze the information of each network. By using the database technology and mobile agent programming to accomplish the integration of information network and control network, we can complete the intelligent energy management system structure.

This thesis includes the agent-based database communication architecture, the data warehouse and decision support system, and the hierarchical remote monitoring system (supervisory management level, local control level, plant level).

According to our experimental results, the system's operation data can be stored in the remote database system successfully, and the result could be demonstrated by JSP homepage after on-line analysis; the plant's operation condition can be controlled by mobile agent which could send supervisory management level's message to plant level.

二. 計劃緣由與目的

由於天然能源的來源有限，人類在不久的將來勢必會面臨天然能源枯竭的問題。在能源工程的領域上，從以往的節能設備開發、新燃料的發明等硬體的研究，延伸到能源管理（Energy Management）的研究與實現。能源管理最常見的例子表現在電力尖峰負載管理上。因為隨著經濟的持續發展、高科技電子廠的興建和都市高層建築物的增加，台灣的電量需求不斷上升，而空調系統所佔的耗電比例更是居高不下，尤其是當夏季來時，空調負荷增大，容易產生尖峰用電量不足的情形。因此在開發新電源方案極為困難的情形下，只有將現行的設備作更有效率的應用，才能避免供電不足的問題。目前台灣現行的政策上，台電公司是唯一的電力供應

者，因此當在尖峰用電時，台電採用強制降載來約束使用者的用電量。但若從需求面來看，使用者若能夠針對自己的系統作有效的能源管理，亦可達到節能的目的。

為了能針對以上的問題，提出一套完整的能源管理解決方案，本研究特別提出了一個分散式智慧型能源網路管理系統架構，主要的目的在設計一個可以整合不同協定與設備子系統的分散式智慧型控制管理架構。其關鍵是利用行動代理人(Mobile Agent)程式與 Web Server 建立一個子系統間資料整合與通訊的架構，並建立一個自動化的管理與操作決策中心，透過以下的功能來達成能源管理的目標：

- Mobile Agent 資料通訊傳輸架構。
 - 利用 Web 和網路資料庫技術進行資料的整合。
 - 利用資料庫技術來進行即時的監控與管理決策，以達到決策自動化和遠端監控管理的目的。
 - 建立分散式的控制架構並發展控制與管理的法則。
- 並在三個方向上証實其可行性：
- 建立三層式的監督管理架構。
 - 發展系統間有效的通訊架構與資料處理流程和資料分析功能。
 - 建立一個階梯式分散控制架構。

三. *Agent-Based* 能源管理網路

基本架構

(1) 網路實體架構

智慧型能源管理網路是以控制網路、Internet、Ethernet 結合而成的能源網路管理架構，建築物內部的空調、

照明、電梯等牽涉能源管理的系統的控制單元和元件本身都可由 BACnet 網路或是由 Fieldbus 或其他方式連結起來形成控制網路，由區域控制站負責監控。當達到一定數目的建築物後，再透過 Ethernet 的相互連結而形成區域性的網路，並且由監督管理中心負責管理與監控，因此管理者就可由網路得知現今電能的需求、機台使用的訊息、或是直接進行遠端的監控和管理，而各部分組成和功能說明如下（如圖 1 所示）：

監督管理中心：監督管理中心的內部核心除了上述的操作系統、資料庫、使用者界面外，還多了決策支援系統（Decision Support System），以便提供更多管理分析功能，另外還多了行動代理者的執行環境，以便進行資料連結的動作。而監督管理中心的功能包括模組組態管理、效能管理、安全管理、管理伺服器、管理資料庫和決策支援系統應用程式等。

區域控制站：建築物控制管理站是負責建築物層次的管理與控制單位。建築物控制管理站負責建築物內各系統的監控與管理，其組成包括伺服器和資料庫。建築物控制管理站存取來自各系統的能源資料，並定期的上傳至監督管理中心，以更新監督管理中心中資料庫的資料。區域控制管理站並且必須確保建築物內部各系統運作的正常，如果發現系統內部有不正常的情況，能夠立刻通知監督管理中心。透過和設備的連結，搜集各元件的資料，並將資料儲存在資料庫中。

機台設備：在此我們研究的對象為空調系統為主，故設備的通訊是由適用於 BACnet 網路協定所組成，但

如果是早期沒有網路連線的設備，則可以使用數位控制器連上上網代用 PC 來進行通訊功能。

（2）分散式智能管理架構

Agent-Based 能源管理網路的分散式智能如表 1 所述：

— 監督級運作管理(Operation Supervision)

：包括全系統整體適用的智能管理功能，如負載預測、編排每日的操作計畫、故障診斷等。

— 監督規則(Rule-Based Supervision)

：包括各子系統依據不同溫度或負載狀態的設定點與判斷法則。

— 基本控制律(Control Law)：如 PID 控制參數等。

（3）網路平台系統

前述的資料庫、服務應用程式與通訊程式，必須選擇有效的工具與技術平台。其中網路資料庫的部分一般多使用 Microsoft 所開發的 SQL 資料庫，主要原因在能與多數系統配合。而由於網路技術的發展，服務應用程式與通訊程式採取的工具必須具有跨平台、穩定、保密性高的特性，而 Java 語言正是兼備這些特點；而網頁的部分採用 JSP 加上 Tomcat 伺服器，行動代理者的部分是採用由 IBM 發展的 Aglet 規格。

四. 行動代理者技術與資料通訊

（1）簡介

行動代理者為一種特殊的軟體程式，它可在一異質網路系統（Heterogeneous Network System）內，從一主機遷移至另一主機做溝通、交互作用（Interact），以協助使用者達成某種

目標。事實上行動代理者並非最近才出現的名詞，早在 80 年代就有遷移式處理(Process Migration)的觀念生，到了 90 年代 MIT 更發展了遠端計算(Remote Evaluation)的系統。而最近這幾年因為網路頻寬不足與穩定度的因素，使得行動代理者這領域快速的發展。因此如 IBM 、 General Magic 等公司都各自發展了一套完整的行動代理者系統(Mobile Agent System)，可見其受重視的程度。

行動代理者傳輸模式是由送出端(Sender)先建立執行緒，再暫時停止執行的動作(Suspend Execution)，接著將行動代理者程式碼進行編序，此目的是為了將物件(Object)編成位元組資料流的式，最後再將此位元組碼封包傳送至現行網路架構中。

至於在接收端方面，當接收端(Receiver)收到位元組碼封包時，其程序會跟當初發送端過程反向。先將此位元組封包解碼且反編序(Deserialize)化成物件的型態，最後啟動行動代理者本身的執行緒，並在接收端電腦進行所賦予的任務。如此就可達到使用者透過網路進行遠端監控的動作。

本研究中的行動代理者是採用 Java 程式撰寫，並參考 IBM 公司的 Aglet 開發環境架構和 Aglet 生命週期的程序來設計。使用 Java 語言是因為其簡單易學、跨平台、純物件導向的優勢，加上 IBM 的 Aglet 也是用 Java 來開發如此更容易上手。至於不直接使用 IBM 所開發的 Aglet 是因為它為了讓使用者方便，設計了一套圖形化介面(Graphics User Interface)，但因為程式碼層層的呼叫與繼承使得修改其功能極為困難，加上本研究中行動代

理者所賦予的責任是資料的傳輸和下達控制命令，所以並不需要其圖形介面。

(2) 能源管理網路行動代理者程式

本研究中的行動代理者都是為了聯絡上層監控端與下層控制端資訊所設計，所以若是依其功能可以劃分為以下兩者：

1. 資料傳輸行動代理者

(Data_Acquest_Aglet)：主要任務為依據系統所規劃的排程，按時地抓取控制層的原始數據並上傳至監控層裡。而為了避免不同作業平台可讀檔案不同而造成介面間的隔閡，本設計原則全以最常見的文字文件檔(副檔名為 txt)做為傳入與輸出格式。

2. 控制命令行動代理者

(Control_Aglet)：主要任務為將使用者所輸入的控制參數由監控層下達至控制層端。其本體架構跟資料傳輸行動代理者相當類似，但缺少排程規劃的問題。且因為所夾帶的資料量只剩下一個數值(欲設定之參數值)，故在 Control_Aglet 本體直接新增一成員(control_value)紀錄，以節省 Aglet 所佔大小。

除了 Data_Acquest_Aglet 核心的部份，除此之外還要處理有關編序(Serialize)、輸出輸入(I/O)、通訊協定(Protocol)等，其全部所須要建構程式和功能如表 2 所示。

五. 能源管理與監督控制架構

(1) 局部控制層

1. 監督式控制簡介

能源系統的監督式控制主要的目的是在考量環境的變化與系統的需求

下，對不同的子系統提出共通性的、協調性的控制命令。監督式控制器會依據天氣變化、操作計劃能源使用狀況，提出一個監督式控制的指令來操作系統。

在本研究中，將系統分為三個控制層級，每一層級有不同的控制功能，三個層級的控制功能能依序整合才能完成一個完整的控制動作，因此也稱為階層式的監督控制。在監督管理層中，決策核心提供各子系統協調控制的參考命令，參考命令會經由行動代理人傳輸至區域控制層中，區域控制層中的監控軟體根據參考命令與本身的判斷法則，決定系統的開啟狀態，然後最底層的控制器和設備元件會依照局部控制層提出的指令，結合本身內建的控制律完成系統的動作。

2. 區域控制層與設備層架構

區域控制層的核心是一個區域控制伺服器，包括監控軟體和資料庫。監控軟體有內建的控制判斷法則，此法則會依據監督管理層所提供的參考指令作判斷。而本研究中參考指令是外部環境的溫度預測值。當監督層的參考值由行動代理人週期性的送入監督層資料庫時，監控軟體會以週期性的方式讀取資料庫中的控制值，再經由判斷法則決定系統的狀態。

(2) 監督管理層與決策核心

監督管理層的主體是決策核心。包括兩大部分：

1. 資料庫數據分析系統：以資料倉儲為核心的資料庫數據分析系統。(資料表關聯圖如圖 2 所示)
2. 建築物能源決策支援系統：

整體的線上分析架構如圖 3 所

示，包括以下的模組：

- 一 資料處理模組：功能為設備運轉資料處理、歷史資料分析等。(如圖 4 及圖 5 所示)
- 一 溫度預測模組：功能為空調負載預測。
- 一 主機負載最佳化決策模組：功能包括電力負載管理策略規劃、用戶端空調使用舒適度 電力節能之最佳化控制。(如圖 6 所示)
- 一 設備監控與診斷模組：功能為空調設備即時監控與診斷，包括：
 - a. 空調箱故障診斷(如圖 7)。
 - b. 冷卻程序故障診斷(如圖 8)。

當使用者進入伺服端 JSP 網頁時(利用 Tomcat 軟體所建立的伺服器)，便會啟動 JDBC 驅動程式對於 SQL Server 2000 與 Access 資料庫進行資料的擷取與運用，而網頁所呈現的種種功能則是透過 Java 來撰寫。

六. 遠端分散式監控程序

本系統的主架構階層與控制方式，其分層的功能如表 1 所述：其控制架構見圖 9，遠端的監督管理中心透過網路以控制型行動代理人(Control Aglet)傳輸預測資訊給區域控制站，而區域控制站以內建的判斷法則決定系統的操作狀況，然後透過底部的控制器維持系統運作。其判斷法則為 if-else 敘述：

if(predictive value > setpoint value)

Open_System ;

這樣的控制法主要的目的是在因應系統由不同的子系統構成，且不同的子系統的操作條件各不相同時，控

制中心可以藉著資訊的傳遞來使得各子系統控制站因應本身的需求做不同的動作。

在本研究的架構中，控制電路板採用的是腳位控制電路。當行動代理人攜帶資訊至下層控制站的資料庫後，LabVIEW 程式經過讀取資料庫資料後，判斷輸出符合 TTL 位準的數位訊號給控制電路，以控制元件的性能(風扇轉速)。

系統的性質(溫度值)將會由感測器擷取後，存入區域控制層的資料庫中，並由資料傳輸行動代理人(Data_Acquest Aglet)帶回至監督管理中心的資料庫中，如此遠端使用者便可以直接由 Web 上看到相關的資料。

本研究以一具有熱負載的冷房作為設備層，主要的控制功能是風扇的開啟與轉速，擷取系統 10 分鐘內溫度的情形。另外當監督管理層接收到行動代理人傳回的訊息，利用 DTS 將溫度值與延遲時間轉入資料庫後，再透過 JSP 將結果呈現在網頁上(見圖 10)。

七.結果與討論

本研究的內容主要是針對各廠商的空調設備，在盡量不改變現有裝置的情形下，提供一個網路的線上監控管理架構。目前除了老式的空調主機外，現今的空調設備都留有連上網路的裝置，但因為種種的考量下都只有在局部區域網路(Local Area Network)連線的範圍。而本研究就是規劃一套能源管理網路平台，除了將操作提昇至網際網路(Internet Network)的階段外，並在線上提供各種服務模組，並

且藉由資料倉儲分析機台運轉的效能，使得對於節能更有貢獻。本研究所達成的目標如下：

(1) 在系統通訊架構上：

- 應用行動代理人(Mobile Agent)：本研究開發行動代理者的環境與本體，並利用行動代理人來進行上層(監督管理中心)與下層(區域控制站)間的資料、控制命令的傳遞，。
- 整合不同階層的網路架構：利用間接性的文字檔案間的傳遞，將網際網路的資訊(Information)能與下層的區域網路端分享。

(2) 在決策核心上：

- ◎建立資料庫管理的架構：規劃各種資料的性質與關聯。包括預先存入的建築物基本資料、各設備的設定性資料等，或是需線上更新的機台運轉資料、線上交易處理系統(OLAP)所需的操作資料等。
- ◎更多管理監控工具的開發：參考多種不同演算法，並依其邏輯實際撰寫程式碼，使用者只需根據自己系統輸入特定參數，即可對設備進行診斷或是作為決策制定的參考，。
- ◎採用線上交易處理與資料倉儲技術於能源管理系統：利用資料倉儲中 Cube 的建立，讓使用者有更多維度選擇的查詢，並可直接在線上出分析圖表於網頁上，方便管理者的解讀。

(3) 在遠端控制上：

- ◎本研究利用一個分散式智能架構完成監督式的遠端控制，未來在大系統的遠端控制上，階層式的監督控制是一項趨勢，本研究則是驗證了可行性。

八.參考文獻

- [1] 陳文龍,黃佳文 “需求面管理與整體資源規劃研究”臺電工程月刊,第 609 期,1999
- [2] 王宏傑,「資料庫技術應用於智慧型能源管理網路之研究」,國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文,2002。
- [3] 謝振傑,「應用於汽車自然空調的太陽能光電智慧型能量管理系統之研究」,國立台灣大學機械工程學系研究所博士論文,2003。
- [4] Myagi P.E.,Villani E.,Maruyama N. “Modeling of Hybrid Supervisory Systems using UML and Petri Nets”, *Proceedings of 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Volume: 2 , 2001 ,pp149-157
- [5] I-Hai Lin, P.; Broberg, H.L,“Internet-Based Monitoring and Controls for HVAC Applications”, *IEEE Industry Applications Magazine* , Volume: 8 Issue: 1
- [6] Leitao P.,Restivo F.,Putnik C.”A Multi-Agent Based Cell Controller” *Proceedings of 2001 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* ,Volume: 2 ,2001,pp463-469
- [7] Contreras O.C.,De La Rosa, MelendezJ.”Interacting software-agents to support a kind of expert supervision systems”, *Proceedings ETFA '99 1999 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* , Volume: 2 ,1999 ,pp 907-915
- [8] Shi Dongyuan, Lee Yinhong,Duan Xianzhong, Wu Q.H,“Power System Data Warehouse”, *IEEE Computer Application in Power Magazine* , July 2001 pp49-55
- [9] Chau K.W. Cao Ying ,Anson M ,Zhang Jianping “Application of data warehouse and Decision Support System in construction management”, *Automation in Construction*,Vol.12,2002 ,pp.213-224
- [10] John M. House, Cheol Parl., George E. Kelly, “Fault diagnosis of an Air-handling Unit Using Artificial Neural Network”, *ASHRAE Transactions*, v 102, n 1, 1996, p 540-549
- [11] John M. House, Cheol Parl., George E. Kelly, “Fault diagnosis of an Air-handling Unit Using Residual and Recursive Parameter”, *ASHRAE Transactions*, v 102, n 1, 1996, p 528-539
- [12] Chia Y.Han , Yunfeng Xiao, Carl J. Rutherford ‘Fault Detection and Diagnosis of HVAC Systems ”, *ASHRAE Transactions*, v 105, n pt 1, 1999, p 568-578

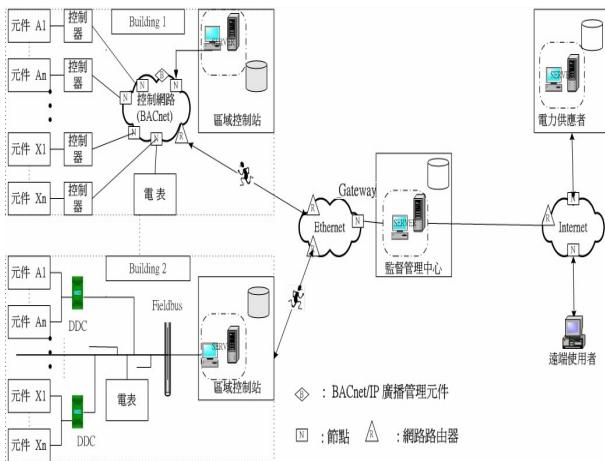


圖 1 Agent-based 網路控制管理架構

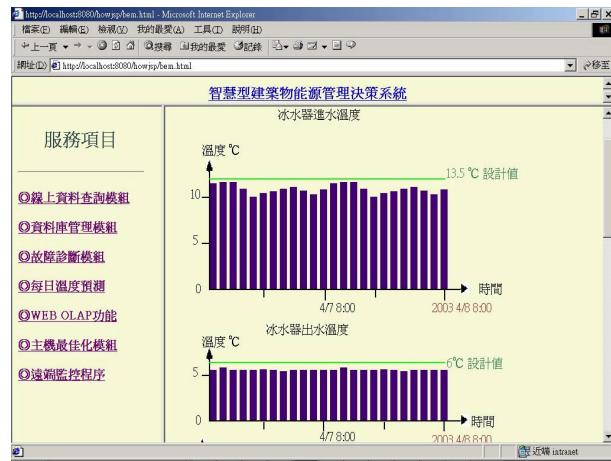


圖 4 冰水主機運轉參數資料圖

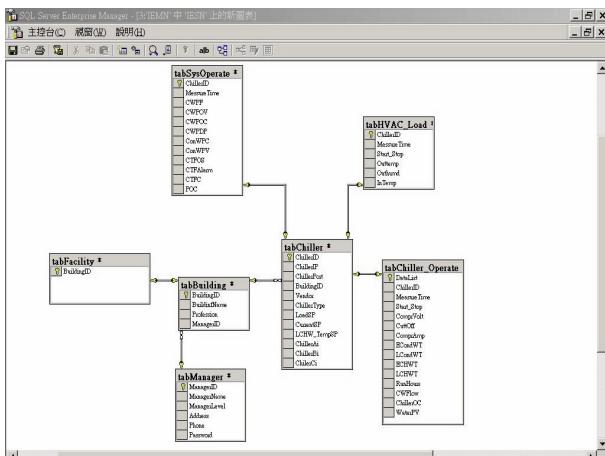


圖 2 資料表關聯圖



圖 5 各主機運轉時數比例圖

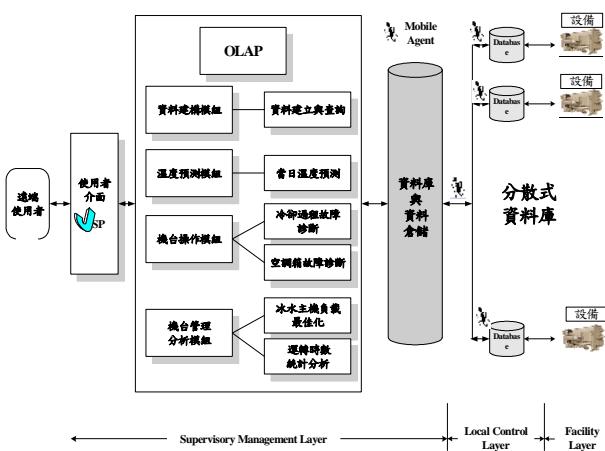


圖 3 線上分析架構圖

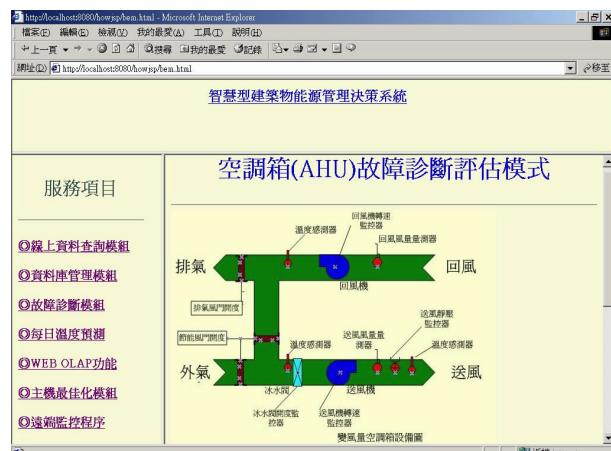


圖 6 空調箱故障診斷圖

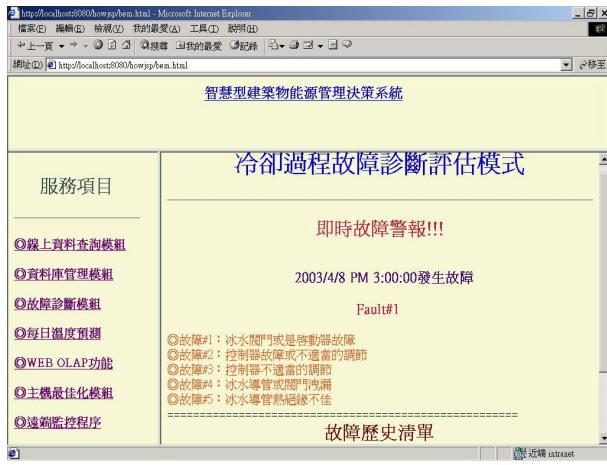


圖 7 冷卻過程故障診斷圖

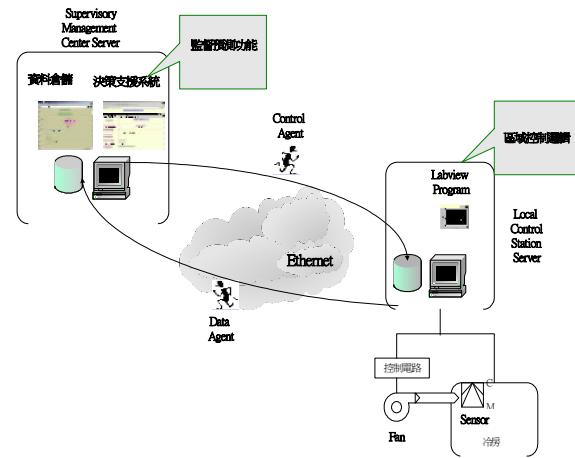


圖 9 遠端控制架構圖

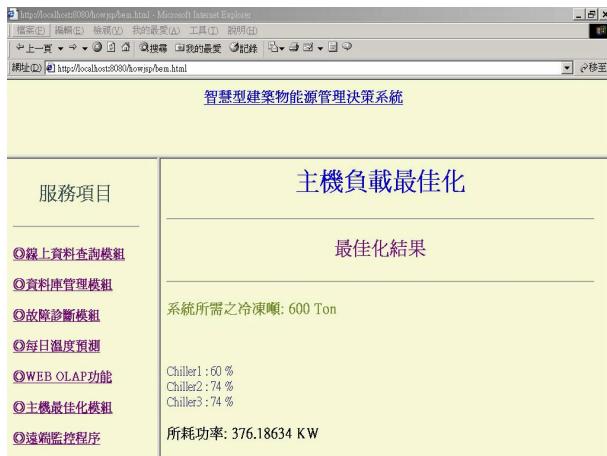


圖 8 主機負載最佳化功能頁面圖

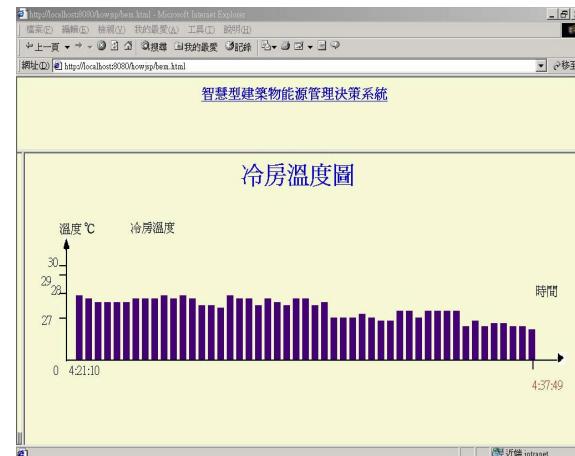


圖 10 監督管理層之冷房溫度圖

表 1 分散式智能管理架構

層級	實體	控制方式	內容
監督管理層	監督管理中心	參考指示	網頁、程式邏輯
區域控制層	區域控制中心	判斷法則	LabVIEW、PC
設備層	設備、控制器	控制律	電路板

表 2 Data_Acquest_Aglet 程式模型

類別程式	說明
Data_Acquest_Aglet.java	Aglet 本體：定義 Aglet 如何建立(Create)、傳遞(Dispatch)、丟棄(Dispose)等，安排時程與到達目的地所需進行的任務(task)。
Context0.java	設定好 Aglet 所需要的環境與參數。
AgletInputStream.java AgletOutputStream.java	把物件(Object)與位元組資料流(ByteCode)做互相轉換
AgletCodeLoader.java AgletLoader.java	將位元組碼解譯以建立類別程式
ATPURLConnection.java ATPURLStreamHandler.java URLStreamHandler.java ResponseHandler.java	借用 IBM Aglet 的溝通模式，簡化代理程式傳輸協定 ATP，並且設定 Server Port 以聆聽 Client 的回覆(Reply)。
AgletClient.java AgletServer.java	Data_Acquest_Aglet 的監控端與控制端的執行程式