

# 分散式儲存架構下的遠距環境監測系統之建構：以故宮博物院外展環境監測為例

鄭智銘 張琳 馬鴻祥 徐業良 吳昌暉

## 摘要

室內環境的溫溼度是非常基本的環境品質評估項目，尤其在圖書與歷史文物的保存上，常藉由長期持續性的溫溼度監控，以延長文物的保存壽命。本研究提出了分散式儲存的遠距監測架構概念，適合應用於圖書館、博物館、高科技產業等環境，進行長期、持續性與大範圍的環境監測，具有低成本、可攜式、彈性擴充、可靠度高等特點；並針對故宮博物院文物借外展覽時環境監測的需求，設計開發分散式資料伺服器(Distributed Data Server, DDS)，並實際建構「故宮博物院外展環境遠距監測系統」，實際於嘉義縣表演藝術中心「天下第一家：清代帝王文物展」及臺中國立臺灣美術館「女人香：東西女性形象交流展」兩場故宮借外展覽中測試使用，系統能相容於不同展場的網路環境，並且可以視展覽規模彈性擴充、快速設置。藉由本系統，臺北故宮的管理者可以即時掌握臺灣各地，甚至國外各借展點的館藏環境狀況。

關鍵詞：遠距監測、環境監測、分散式伺服器、文物保存

## 緒論

### 一、研究背景與目的

臺北故宮博物院肩負保存千年中華文物的重要使命，維持平穩的溫溼度對脆弱歷史文物的保存，是最基本的環境需求，故長期以來在文物保存環境的溫溼度監控的研究上不遺餘力。有鑑於傳

統以人工巡視方式記錄大範圍各點的環境監測資料，對於管理與人力上是一大負擔，因此故宮博物院結合元智大學在遠端環境監測上的研究技術，合作開發「分散式儲存架構下的遠距環境監測系統」，以自行開發分散式伺服器結合市售溫溼度感測器，建構即時監測、儲存、維護的遠距環境監測網，期能達到故宮

文物保存環境監測之目的，並得以在異常狀況時即時處理。

## 二、市售相關應用模組之功能分析

市面上各種溫溼度監測產品種類眾多，並廣泛應用於博物館、圖書館、醫院、無塵室、食品工廠等，Arenstein即列舉了13種博物館常用的溫溼度紀錄器之特性，提供應用者發展環境監測系統之參考(Arenstein, 2002)。

除了溫溼度監測外，許多研究試圖以資料傳輸技術，建立方便管理者即時掌握與監控環境條件的各種遠距環境監控系統架構。Lim與Ryoo建立一套應用於食物冷藏的遠距環境溫度監測系統，感測器以RS-485介面連線至中控電腦，管理者可藉由中控電腦上特定軟體介面監測各冷藏庫的溫度狀態，確保在個別冷藏庫發生問題時能即時處理(Lim & Ryoo, 2004)。市售產品中，Rotronic公司生產了一系列適合博物館、醫院、無塵室的溫溼度手持紀錄器與傳送器，可以藉由有線的RS-232介面傳送至電腦，儲存記錄數個監測點的環境條件(<http://www.rotronic.com/>)。Fourier Systems公司所生產的無線環境監測系統“Microlog Plus”，則是以無線電技術取代感測器到中控電腦段的有線資料傳輸，在室外300公尺、室內75公尺的接收範圍內，中控電腦可以監測多達200個監測點的環境狀態(<http://www.fourier-sys.com/>)。

上述各系統均是以一中控電腦為中心的架構，在一定的範圍內以有線或無線技術將各監測點資料傳送至中控電腦，此架構系統受限於有線或無線傳輸技術，最廣的監測半徑在數百公尺內，對於跨樓層或是不同建築物的大範圍監測情況，便無法使用。新發展的無線感測器網路技術(Wireless Sensor Network, WSN)，如以Zigbee技術建構的網狀網路

(Mesh Network)架構，雖然以無線電傳輸仍有距離的限制，但各感測節點以P2P(Peer to Peer)溝通方式將感測資料接力傳遞至中控電腦，因此監測範圍可以擴大，不受限於無線電傳輸半徑。如Abdelzaher與Stan提出WSN分散式監測系統在溫度監測上的應用，監測點可以廣泛佈置在人員不方便進入的區域(Abdelzaher & Stan, 2003)。市售產品中，Point Six Wireless公司也以Zigbee技術為資訊傳輸平臺，建構了一系列無線環境監測系統的產品(<http://www.point-six.com/>)。

## 三、前人研究

隨著網際網路的普及與相關技術的成熟，結合網際網路通訊技術的遠距監測系統可以提供管理者即時掌握的管理介面。遠距環境監測系統最常見的是以星狀(Star)以及星狀/路由(Star/Router Network)的感測網路架構，搭配集中式網路伺服器所建構，例如Oh與Chung所建立的遠距室內環境監測系統中，基於無線電技術的星狀感測網路架構，以電腦作為集中式網路伺服器，使用者可以藉由PC或PDA登入網路介面查詢各監測點溫溼度狀態(Oh & Chung, 2004)；Townsend等人所建立的“WWSN(Wireless Web Sensing Node) system”為星狀/路由網路架構的例子，以具有網路功能的接受器作為橋接器，接受無線感測點資料後，將監測資料橋接至集中式伺服器，因此監測點的佈置半徑可以擴大近一倍(Townsend, et al., 2002)。

更有學者以網際網路開放性的資料傳輸平臺，建構大範圍甚至跨國界的即時監測網，佈置範圍更不受距離限制。Grasic等人以開放共通性的TCP/IP通訊協定建立遠距環境監測系統，監測點的佈置範圍不受限於有線或無線傳輸的限制(Grasic, et al., 2000)，而Wang等人更

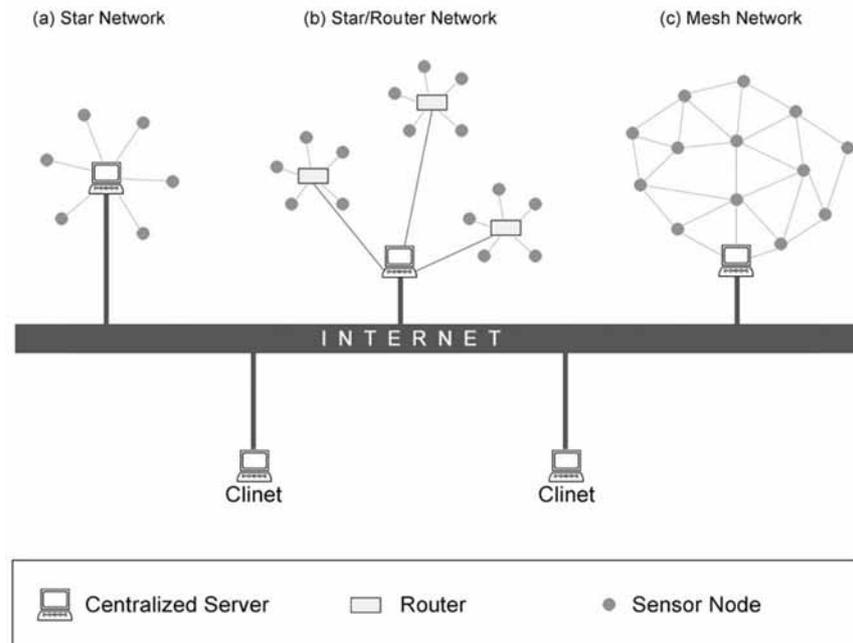


圖1. 常見的遠距監測系統網路架構圖

提出了全球性即時監測網的概念(Wang, et al., 2005)。市售產品中，Hanwell公司利用相同的概念建構分散式監測(Distributed Monitoring)系統，以具有無線接收功能與網路通訊功能的基臺(Base Station)為核心，收集感測器資料後以TCP/IP通訊協定傳送至中控電腦(<http://www.hanwell.com/>)；基於網際網路不受距離限制的特性，分散式監測網可以建構大範圍的即時監測網，適合文化資產保存以至工業界的應用。

#### 四、開發動機與目的

隨著臺北故宮博物院南部分院的設置以及多場文化交流的借展活動，館藏環境的管理與監測便是非常龐大的人力負擔，而跨縣市甚至跨國際的展出活動，使得各展點的館藏環境更是難以有效掌控。特別是博物館借外展覽環境的設置需要高度機動性與相容性，市售集中式電腦伺服器架構的環境監測系統規

模較大、建置與維護成本較高，且感測器到中央伺服器之間的路徑很長，在較難掌握的外展環境中資料傳輸的可靠性較差，感測資料完整性也不易維持。

本研究遂以分散式儲存架構，以網際網路為傳輸平臺，針對故宮博物院文物借外展覽時環境監測的需求，自行開發了一套「故宮博物院外展館藏環境遠距監測系統」，適合應用於圖書館、博物館、高科技產業等環境，進行長期持續性與大範圍的環境監測。

## 遠距監測系統之建置與應用實例

### 一、遠距監測系統設計與製作

常見的遠距監測系統架構如圖1所示，包括星狀(Star)網路、星狀/路由器(Star/Router)網路以及網狀(Mesh)感測網路架構。無論前端感測器的佈置類型為

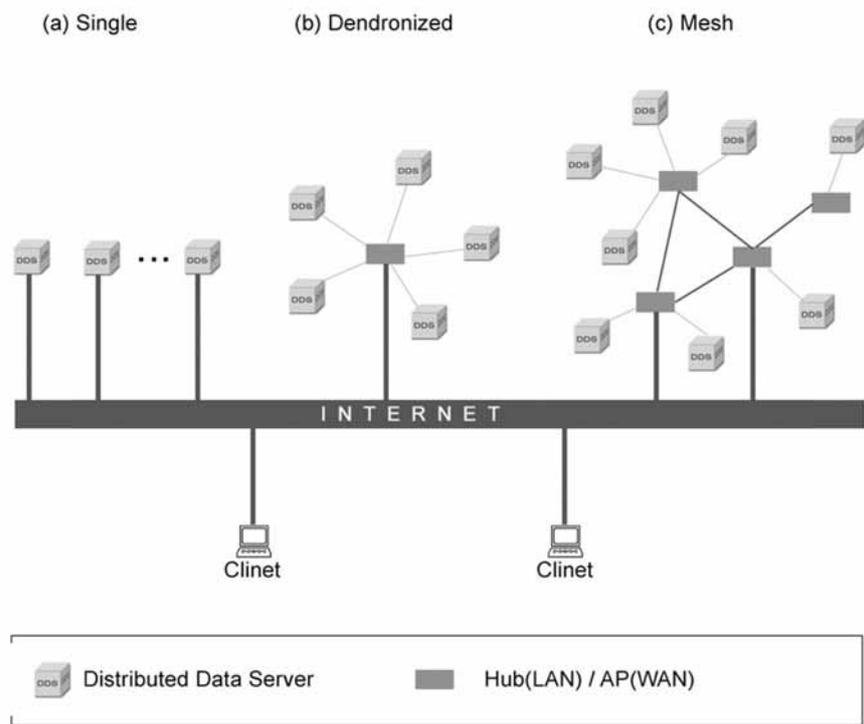


圖2. 本研究所建構的分散式儲存網路架構

何，最重要的技術關鍵是在於如何將感測器資料傳送至集中式的伺服器進行儲存，並提供後端用戶的瀏覽，若遇到網路中斷、集中式伺服器故障等問題，均會造成整個系統停擺，資料亦將因而流失付闕。

本研究所建構的分散式儲存網路架構（圖2），係以DDS為監測單元，不需要中控伺服器，單獨一臺DDS便可以形成單一(Single)伺服器的架構，對於大範圍的監測區域也可以採用樹狀(Dendronized)以及網狀(Mesh)的感測網路形式，不同種類的感測網路架構可以相容並存。系統中感測器監測資料儲存於個別DDS中，不需要集中式伺服器做集中式的管理，後端使用者視需要利用網際網路向特定DDS索取欲瀏覽的資料，因此網路中斷、個別監測點故障等問題，

不影響整體系統的運作，也不需額外人力維護集中式的伺服器。

本系統的基礎監測單元為自行開發的分散式資料伺服器DDS（圖3），實驗室原型電路板尺寸為85mm × 136mm，是一個兼具感測、運算、儲存與多元通訊功能的平臺，有體積小、成本低、不易中毒、資料安全性高、可長期運作不需維護等優點。如圖4所示，DDS以PIC單晶片微處理器為核心，具有各種類比數位之輸出輸入功能，可視不同監測需求接上不同的感測器模組，亦可對所接收之監測訊號做運算及判讀，並可將監測資訊儲存於多媒體卡(Multi-Media Card, MMC)。

所選用溫溼度感測器為AD592CNZ (Analog Devices, Inc., USA)，及 808H5V5（錫麟企業有限公司，臺灣），經由感測



圖3. 分散式資料伺服器(Distributed Data Server, DDS)

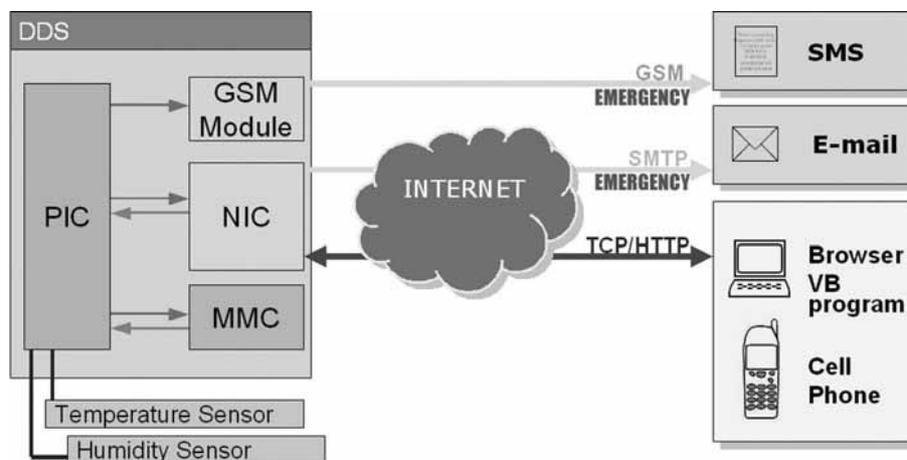


圖4. DDS監測單元的功能架構圖

器校正與量測系統準位補償後溫度準確度為 $\pm 0.1$ 、溼度為 $\pm 2.5\%$ 。DDS前端接收溫度與溼度感測器的監測資料，每10分鐘進行處理運算並儲存於MMC卡中，視MMC卡容量大小可以存放數年的長期監測資料（128MB約可以儲存三年資料）。

DDS整合了網路晶片(Network IC, NIC)，本身即可作為HTTP伺服器，遠

端管理者可以藉由電腦、PDA、手機的瀏覽器查詢各監測點的即時環境監測狀況，當溫溼度數值超過容許範圍時，DDS會主動發送E-mail或啟動GSM模組發送手機簡訊，提醒相關的負責人員進行處理。本系統對於進階管理者設計了專屬的VB介面進行進階資料的瀏覽、查詢與各項系統維護，提供使用者進行多點即時監測、特定日期的監測歷程、趨

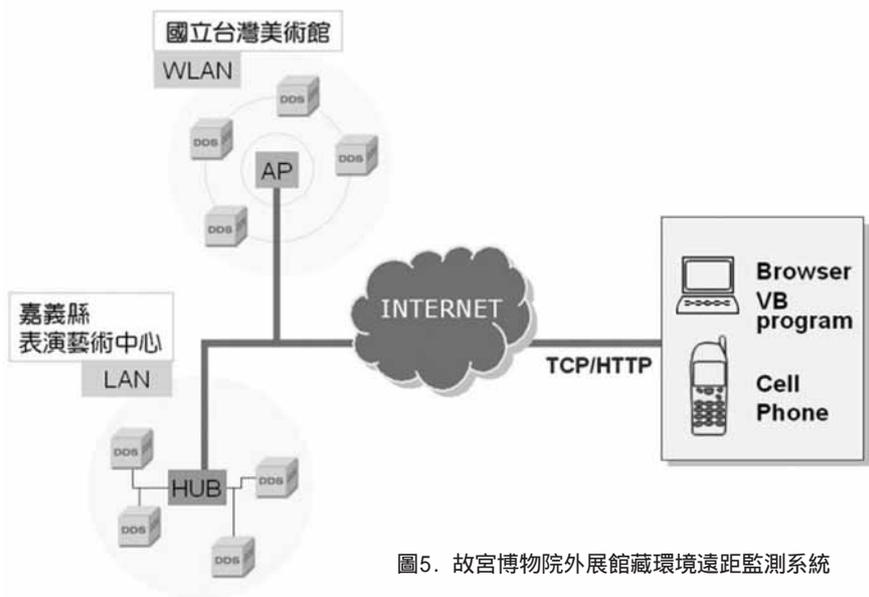


圖5. 故宮博物院外展館藏環境遠距監測系統

勢分析以及系統的各项維護。

## 二、實際設置與測試

本研究同時針對故宮文物借展至嘉義縣表演藝術中心以及臺中國立臺灣美術館，兩館展場溫溼度進行遠距監測，所建立的監測系統之架構圖如圖5所示。嘉義縣表演藝術中心的借展環境使用固定制ADSL，本系統的建置以多部DDS以實體網路線接至HUB集線器形成小型的區域網路，再連接至網際網路。而臺中國立臺灣美術館的借展環境中已建置了無線網路，故本系統以多部DDS直接以無線網路卡模組使用館中無線基地臺，並連接至網際網路。各外展點的個別區域網路內可以同時設置兩百臺以上的監測單元。

相關管理者（如文物管理單位、文物保存單位之相關人員）均可藉由電腦、PDA、手機的瀏覽器或VB程式介面，在臺北故宮或是任何有網路的地點，直接連線至各監測點進行監測資料的瀏覽與系統維護。本系統可以高度相容於不同的網路系統，無特別網路環境

需求，也不需要額外的電腦伺服器，僅需要將各臺DDS加上電源與網路即可，在嘉義與臺中測試的經驗中，在數小時內便可建置完成，非常適合短期與機動性較高的各種外展環境的監測需求。

以VB程式設計之進階管理介面（圖6），在右上方功能列中包含(1)選擇監測點、(2)歷史資料、(3)趨勢資料、(4)系統維護等四項功能。開啟介面後，使用者首先在「選擇監測點」畫面中選擇所欲監測之監測點後（目前最多可同時監測4點），左方四個空格便會自動填上4個DDS監測點IP以及目前即時各點的溫溼度、日期時間等各項資訊。接著在「歷史資料」畫面中，點選特定日期與特定監測點後，便會出現如圖6主畫面所示，所選定日期當日的溫溼度歷程資料，並可以選擇進行更進階的「趨勢分析」畫面，分析當日每6個小時的溫溼度平均歷程與一週溫溼度歷程。在「系統維護」畫面中，管理者可以進行各DDS監測點的時間校正、溫溼度的警戒上下限設定、感測器校正參數設定、A/D轉換校正參數設定、E-mail功能設

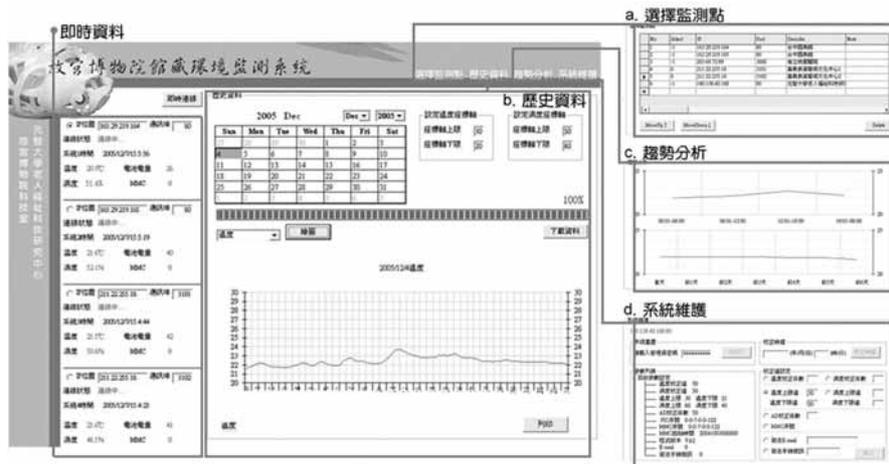


圖6. 使用者程式介面

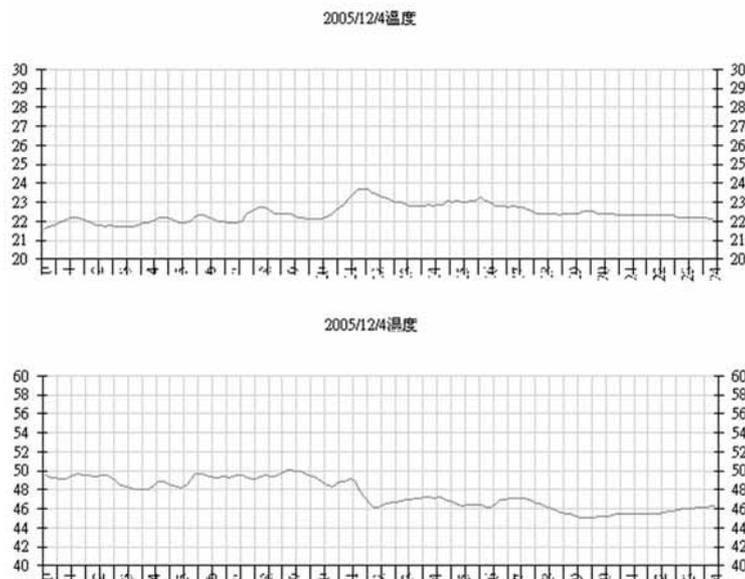


圖7. 臺中國美館展場環境溫溼度監測紀錄(2005/12/04)

定、手機簡訊發送設定等系統各項功能的維護。藉由此介面，位於臺北故宮的管理者可以即時掌握各監測點的即時環境狀態，並可以藉由當日歷程圖以及趨勢歷程圖瞭解各監測點的館藏環境是否受到良好的控制，以期在館藏環境異常時做出適當的處理。

### 三、監測實例分析

(一)臺中國立臺灣美術館「女人香」特展(2005年11月12日~2006年2月12日)

設置在臺中國立臺灣美術館「女人香」特展展場的DDS於2005年12月4日測得的24小時溫溼度變化，顯現展場的環境溫溼度或因受參觀人數或與外界空氣的相通影響而呈現波動現象(圖7)；同時段書畫展櫃中的溫溼度監測紀

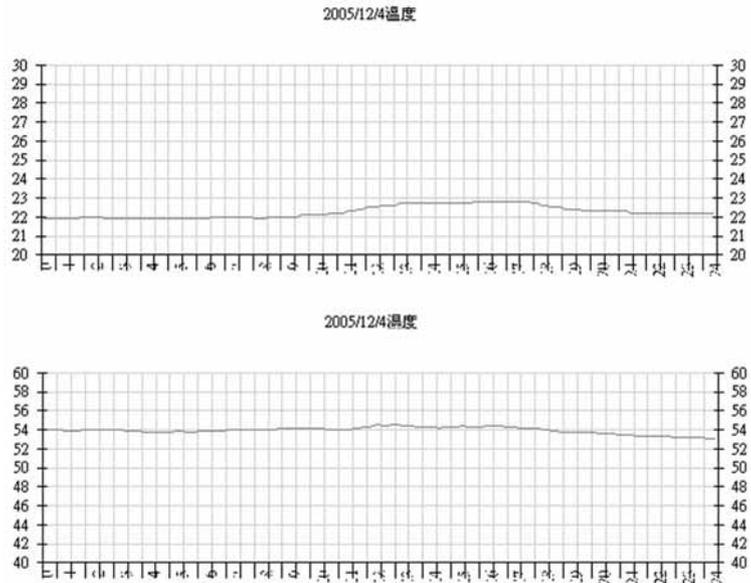


圖8. 臺中國美館書畫展櫃內環境溫溼度監測紀錄(2005/12/04)

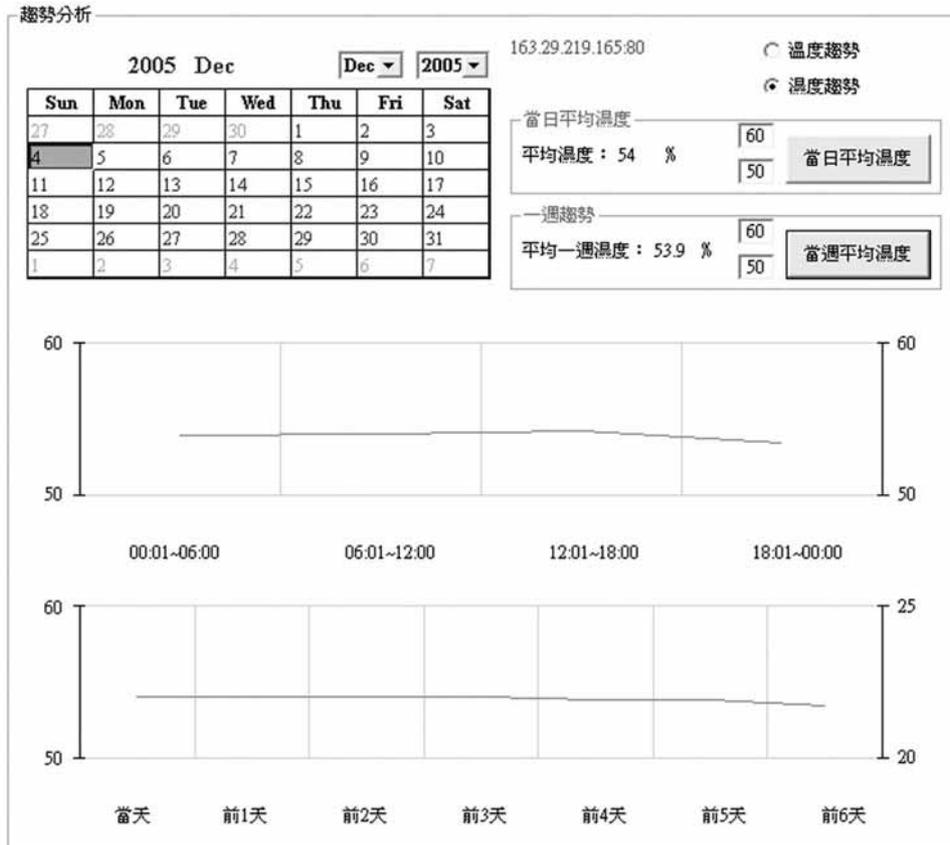


圖9. 臺中國美館書畫展櫃內環境溫溼度趨勢分析

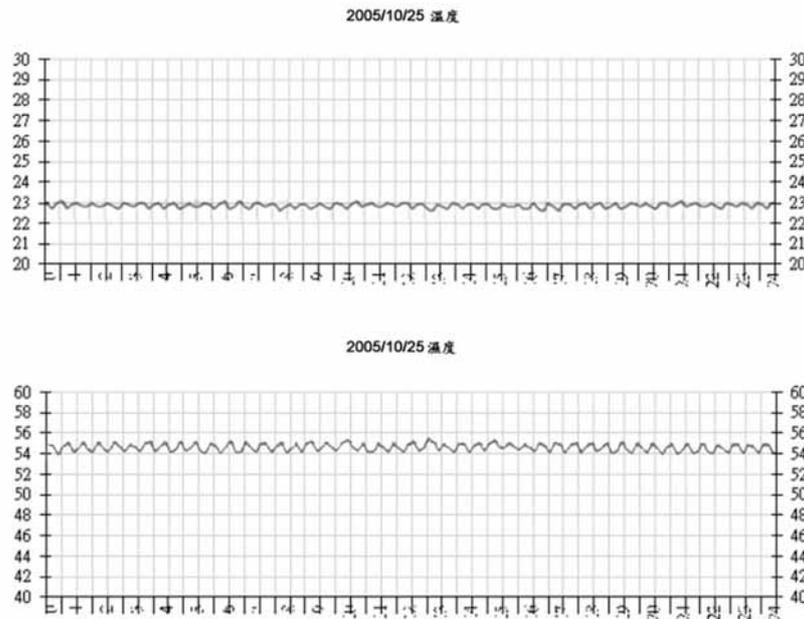


圖10. 嘉義縣表演藝術中心展場環境溫溼度監測紀錄(2005/10/25)

錄，由於櫃內裝置有調節溼度之設備，故溫溼度呈現平穩狀態（圖8）；臺中展場書畫展櫃內12月4日分為四個間隔的相對溼度紀錄以及前一週的相對溼度趨勢分析圖（圖9），顯示展櫃內的相對溼度受到良好的控制。

由於每一DDS監測單元均有感測、運算、儲存、多元通訊等功能，各展場監測資料不儲存於集中式的電腦伺服器，而是分散式存放於各監測點的DDS中，視管理者需要分別向各點索取所需瀏覽的資料，故單一點的網路發生問題時，系統中其他監測點均能正常運作不受影響；且網路故障點之溫溼度亦仍持續蒐集、儲存，俟網路恢復後即可讀取，資料完整性不受影響。例如本系統裝置初期臺中國美館的館內無線網路偶有斷線，無法連接DDS，但DDS內仍然蒐集、儲存了完整監測資料。

（二）嘉義縣表演藝術中心「天下第一：清代帝王文物展」（2005年10月

22日~2005年12月10日）

在嘉義縣表演藝術中心的展場同時設置有DDS與報表式溫溼度紀錄器(SEKONIC ST100-VE, SEKONIC Co., Japan)以茲對照。圖10為2005年10月25日展場溫溼度24小時監測的結果，圖11為同一時段以SEKONIC ST100-VE監測的結果。兩者所呈現的溫溼度曲線相符，均有規律的極微幅震盪，但就整體而言，該展場溫溼度呈現有利於文物保存之平穩狀況。同樣的監測結果，相形之下，前者較後者更多了即時遠距讀取，俾利當即應變之優點。

## 結論

大部分環境品質監測系統採用集中式伺服器架構，所有感測器監測資料均必須以有線或無線方式傳輸至中央伺服器處理、儲存。此種架構規模大、建置與維護成本較高，且感測器到中央伺服

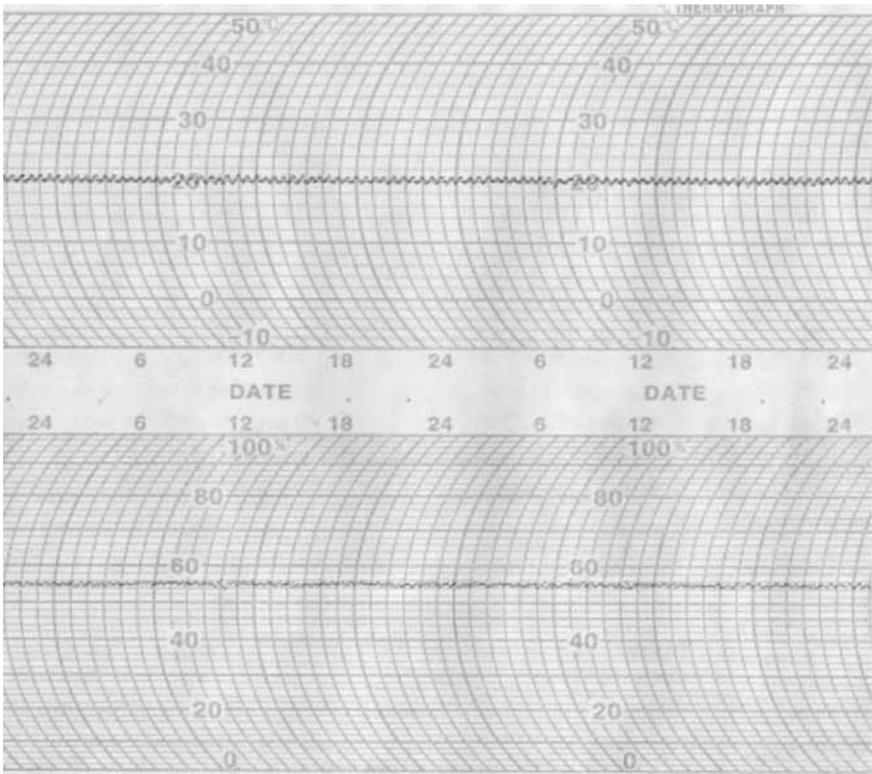


圖11. 嘉義縣表演藝術中心展場環境溫溼度監測紀錄報表(2005/10/25)

器之間的路徑很長，資料傳輸的可靠性較差，感測資料完整性也不易維持。

本研究提出全新的分散式儲存架構，以具有感測訊號接收、A/D（類比數位轉換）數據處理、網路通訊、資料儲存等功能的分散式資料伺服器(DDS)為基礎監測單元，監測資料存放於各DDS點，網路品質不良或者單一DDS故障均不會影響感測資料的記錄與保存，具有高度的穩定性與可靠性。且此架構規模小、成本低，僅需要網路與電源便可以立刻安設使用，不需要特殊施工或維護，特別適合應用於需要高度機動性的博物館借外展覽環境，相較於目前市售的產品，相同監測規模的系統建構成本約為市售產品的1/2~1/4。

本研究並針對故宮文物借外展覽時環境監測的需求，實際完成了「故宮博

物院外展館藏環境遠距監測系統」，在兩場故宮外展中實際測試。在實際測試過程中，系統能彈性擴充、快速設置，並能相容於不同外展的網路環境，臺北故宮的管理者可以即時掌握臺灣各地外展點的館藏狀況，展現了本系統架構的優越性。本系統實際應用於臺中與嘉義兩場外展環境中進行測試，測試結果與目前故宮現行使用的報表式溫溼度紀錄裝置結果吻合，未來可以逐步取代現有的報表式紀錄設備。

本系統未來將繼續針對故宮應用需求持續開發，如結合照度、保全以及空氣品質等影響館藏文物壽命的因子，進行相關監測功能的開發，希望能更廣泛應用於文物展存環境的監測，甚至應用於國外展點的環境監測。同時本研究也將繼續對各類型環境監測需求作進一步

研究，期能更加拓展本系統之應用範圍。

## 參考文獻

- Abdelzaher, Tarek & Stan, Mircea R. 2003. Temperature Adaptive Sensor Networks (TASN) for Harsh Environments. *Circuits and Systems*, 1: 501~504.
- Arenstein, Rachael Perkins. 2002. Comparison of Temperature and Relative Humidity Dataloggers for Museum Monitoring. A Technical Publication Series of the Society for the Preservation of Natural History Collections (SPNHC), 4: 1~4.
- Lim, Dae-Young & Ryoo, Yiung-Jae. 2004. Development of Remote Monitoring System for Cold-Storage. The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 2-6, 2004, Busan, Korea.
- Grasic, Bostjan, Mlakar, Primož, Božnar, Marija Zlata & Lesjak, Martin. 2003. Use of Open Source Operating System and TCP/IP Connectivity in Urban Environmental Monitoring. *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2: 1257~1261.
- Oh, Sung-Ju & Chung, Wan-Young. 2004. Room Environment Monitoring System from PDA Terminal. *Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, pp.497~501.
- Townsend, Christopher P., Hamel, Michael J., Sonntag, Peter A., Trutor, Barry, Galbreath, Jacob H. & Arms, Steven W. 2002. Scaleable, Wireless Web Enabled Sensor Networks. *Sensors for Industry Conference*, 2002, Nov.19-21, pp.172~178.
- Wang, Yanfeng, Nishikawa, Makoto, Maeda, Ryuichi, Fukunaga, Masaichi & Watanabe, Kenzo. 2005. A Smart Thermal Environment Monitor Based on IEEE 1451.2 Standard for Global Networking. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 54(4): 1321~1326.

收稿日期：95年1月27日；接受日期：95年3月15日

## 作者簡介

本文作者鄭智銘為元智大學機械工程研究所博士生，張琳現任國立故宮博物院科技室編纂兼科長，馬鴻祥為元智大學機械工程研究所碩士生，徐業良現任元智大學機械工程研究所教授，吳昌暉現任元智大學機械工程研究所副教授。

## Remote Monitoring System Based on Distributed Data Storage Structure for Indoor Environmental Assessment

Chih-Ming Cheng\* Lin Chang\*\* Hung-Hsiang Ma\*\*\* Yeh-Liang Hsu\*\*\*\*  
Chang-Huei Wu\*\*\*\*\*

### Abstract

Relative humidity and temperature are basic assessments of indoor environmental quality. Both have to be maintained at certain levels to preserve exhibited objects. This paper presents a remote monitoring system based on distributed data storage structure for long term, continuous sensing and recording of relative humidity and temperature. This system was designed for the National Palace Museum for indoor environmental assessment of exhibitions outside the museum. In most environmental monitoring systems, sensing data are sent to a remote centralized database. This system utilizes distributed data server (DDS) as the fundamental unit for sensing, data transmission, storage, and analysis. Sensing data are stored in DDS in different locations, through which users can access real time and historical sensing data via the Internet. This system is low-cost, portable, flexible, and can be easily customized to and installed in various exhibition environments.

This system was tested in two exhibitions: “Scent of a Woman: the Collection of Female Subjects in Taiwan” (held at the National Taiwan Museum of Fine Arts, Taichung) and “The First Family under the Heavens: Imperial Art and Artifacts of the Ch’ing Dynasty” (held at the Chiayi County Performing Arts Center). It was found that this system can be easily and quickly adapted to fit different environments. It is valuable for cultural property conservation managers in that they can access DDS in different locations using customized VB program or Internet browser for real time monitoring and analyses of historical sensing data.

Keywords: remote monitoring, environmental monitoring, distributed data server, cultural property conservation.

\* Doctoral candidate, Mechanical Engineering, Yuan-Ze University

\*\* Executive Officer and Section Chief, Conservation Division, National Palace Museum

\*\*\* Master’s Degree candidate, Mechanical Engineering, Yuan-Ze University

\*\*\*\* Professor, Mechanical Engineering, Yuan-Ze University

\*\*\*\*\* Associate Professor, Mechanical Engineering, Yuan-Ze University