

發展植基於 ZigBee 與 RFID 無線技術之行動式監控架構

鄭瑞裕 洪敏雄* 簡伍隆 林世崧

國防大學理工學院電機電子工程學系

摘 要

本研究提出一個整合 ZigBee 與 RFID 無線技術之行動式監控架構，除了提供一般監控功能外，亦具備室內目標定位、身分無線識別、環境感知、無線影像傳輸、警示訊息主動推播及支援行動裝置操作等進階能力。本架構之室內定位準確度可達平均誤差 1.624 公尺，可滿足一般監控系統對室內移動目標定位的需求。此外，遠端控制與主動推播的運作時間分別只要 235 毫秒與 336 毫秒，顯示系統操作的快速性。本研究之成果可作為建構新一代行動式監控系統之有用參考。

關鍵詞：ZigBee、RFID、網路服務

Development of a Mobile Monitoring-Control Architecture Based on ZigBee and RFID Wireless Technologies

Jui-Yu Cheng, Min-Hsiung Hung*, Wu-Long Jian, and Shih-Sung Lin

*Department Of Electrical and Electronic Engineering
Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

ABSTRACT

This research proposes a mobile remote monitoring and control (MC) scheme that integrates new wireless technologies, such as ZigBee and RFID. ZigBee is utilized in object positioning, environment sensing, and equipment monitoring and control, while RFIF is applied to identify users and enhance system security. Also, we use neural network to construct the positioning model and apply the Web Services technology to establish the system communication infrastructure. Thus, a mobile MC system based on the proposed scheme can not only provide general MC functions, but also possess various advanced capabilities, such as indoor object positioning, wireless user identification, environment sensing, wireless image transmission, active push of warning messages, and supporting operations using diverse mobile devices. The testing results show that the indoor positioning function achieves a degree of accuracy with an average error of 1.624 m, which can satisfy the indoor positioning demand of a MC system. In addition, the operational times in remote control and active push are 235 ms and 336 ms, respectively, which demonstrates the quickness of the system operations. The research results can be a useful reference for constructing new-generation mobile MC systems.

Keywords: ZigBee, RFID, Web-Services.

一、前言

由於資訊與電子科技的進步，以及網際網路的全面普及，使得人們的生活與工業上的應用逐漸朝自動化、數位化與網路化方向發展。其中，數位化監控系統因為可以讓管理者透過網際網路對分散在遠端的設備及環境做即時的監視與控制，確保工廠安全，維持工作環境的舒適與作業的順暢，因此各企業常列為第一優先建置的解決方案。

傳統的監控系統通常採用固定式網路進行部署，採用介面通常是 RS485 或 Ethernet，監測點與主控電腦所形成的網絡主要為星形或樹形拓撲，目前仍有許多的監控系統使用這類架構。相關的應用如 Hung 等人[1]發展一個遠端監控閘道器（WSMCG），配合系統中看門狗（Watchdog）的安全機制，可以主動偵測受控裝置的狀況，以確保監控裝置的安全；鍾文仁[2]針對半導體工廠中的集束型設備，利用三層式架構實作品元輸送平台的遠端監控/診斷系統，以降低機台生產及輸送時的不良率；Al-Ali 等人[3]使用嵌入式系統 E-board 來連接伺服器和受控裝置，開發出一套植基於 Java 技術之家庭自動化系統，使用者只要透過瀏覽器便可遠端監控設備。

然而，上述的監控系統因為無法輕易地移動，以及依使用需求新增監測點，所以一種基於無線通訊技術的遠端監控系統便孕育而生。無線通訊技術沒有線路羈絆，而且具有部署成本低、可縮短網路建構時間、容易維護與可快速變更網路架構等優勢，加上它可以讓使用者在任何時間、任何地點使用行動裝置執行遠端監控，因此已成為工廠自動化上非常重要的研究議題。這些無線技術，例如 WiFi（Wireless Fidelity）、Bluetooth、RFID 與 ZigBee 等，各有其優缺點[4]。

WiFi 是一種傳輸速率可達 54 Mbps 及電波覆蓋率為 100 公尺的無線通訊技術，目前許多行動設備採用此技術連結上網，如 Bahl 等人[5]利用此一技術建立 RADAR 人員室內定位系統，定位精度約 3 公尺，缺點是無線基地台（AP, Access Point）缺乏繞送機制，若需大範圍佈建時常需要許多的 AP 才能避免通訊死角，且系統功耗大、成本高。Bluetooth 傳輸速率約在 1 至 2 MB 左右，傳輸範圍最遠 10

公尺，許多的行動電話無線藍牙耳機即採用此技術，Bartolomeu 等人[6]應用此技術與 ARMONIO 來建構一個分散式的海域水質監控系統，它的缺點是傳輸距離較短，且容易受訊號干擾，僅適合個人數位裝置使用。RFID 主要用於人員與物品的識別，根據電子標籤的形式以及讀取器的功率大小來決定偵測距離，電子標籤內可放置產品資訊。Lionel 等人[7]利用該技術發展 LANDMARC 定位系統，它利用參考標籤的概念來改善定位準確度，但必須修改 RFID 硬體設計以符合其特殊規格的要求。ZigBee 強調低成本、低功耗、信賴度高、複雜度低與連線速度快等特性，雖然傳輸速度為 20~250 kbps，比藍芽和 UWB 慢，但非常適合於工廠自動化中的文字及命令傳輸。這些無線通訊技術在功能上互有重疊，但都明確地定位出自己的應用範疇，未來它們惟有降低單價成本（node cost）與提升應用層面，才有機會擴展無線通訊市場的規模。

歸結上述研究，目前現有的監控系統存在幾個缺點，包括：（1）缺乏機動部署能力。各監控點與控制系統間的資訊傳輸，不管是有線或無線，都需要傳輸線與電源線才可讓系統妥善運作，因而喪失了機動部署能力；即使採用 WiFi 無線技術，也無法有效解決各 AP 電源的限制，與跨網域需修改 IP 的問題。（2）監控點維護與能源消耗的問題。大部分監控裝置結合感測器與傳輸介面，故需要較多的電源功率，相對地系統維護與電力控管較困難；（3）監控點擴充性較差。現有通訊技術大多存在擴充節點數與通訊距離的限制，無法滿足監控點逐漸擴充的需求，以及造成後續節點管理的困難；（4）未整合室內定位系統。現有的監控系統並未提供人員或者機械設備的定位功能，最多僅於出入口設置乙部攝影機，無法全程目標的動向；（5）缺乏有效整合多樣通訊技術之架構。隨著無所不在網路（Ubiquitous Network）及無線感測網路（Wireless Sensor Network）[8]觀念的提出，我們認為需要一個可以有效整合多樣通訊技術的架構，充分運用各無線通訊技術的優點，提供人們於工作或生活上的各種需求。

為符合並解決上述缺點，本研究提出一個整合新式無線通訊技術之行動式監控架構。具體地，在監控點部署上，本研究使用低功率、低成本與短距離之 ZigBee 無線通訊技術，可

以解決配線的困擾。由於 ZigBee 具有設定休眠的功能，故可有效地降低電量需求，使用單一普通的電池即可長時間獨立運作。ZigBee 的主節點可透過路由器擴充達 65,535 個子節點，容易延伸系統的監控範圍，突破距離的限制。此外，ZigBee 通訊額外提供訊號強度指標（RSSI, Radio Signal Strength Indication），因此，本研究將採用該資訊並利用訊號紋路定位法（Location Fingerprint Approach）來設計室內定位功能。本研究使用 RFID 強化使用者認證與門禁管理的安全，達到人員資訊可視化的能力。最後，為有效整合系統中所使用 ZigBee 和 RFID 通訊技術，本研究利用服務導向方式開發一個中介軟體，負責與無線通訊匯集點（Sink Node）溝通。其它功能上有環境感知、影像無線傳輸、警示訊息主動推播及支援行動裝置的操作。

經過實際案例的發展與測試，結果顯示本研究的行動監控系統可以有效地整合這些通訊技術，功能操作正常。在系統效能方面，目標定位誤差 2 公尺以內累積誤差機率可達 73%，平均誤差為 1.624 公尺；遠端控制與異常訊息推播效能上分別只需要 235 毫秒與 336 毫秒的運作時間，系統的操作具有即時性。

二、行動式監控架構之設計

根據前節所提出之問題歸納與研究目標，本系統的架構將整合數種無線技術來解決現有各種遠端監控系統的缺失。因此本研究訂定了以下七項功能需求，作為設計行動式監控架構的依據：

- 需具備室內定位之能力：利用移動目標（MT）配屬的無線裝置，及其所接收的訊號強度指標（RSSI），並透過定位演算法求出所在位置，這個功能不需要額外裝置。
- 需具備無線識別身份之能力：利用無線識別技術，以無線方式提供門禁管理與系統認證功能。
- 需具備遠端與行動監控之能力：利用具有可長期且獨立運作的無線裝置，及優異的節點擴充性能，配合系統介面與手持式裝置介面之開發，使其達到遠端控制、環境感知與行動監控之能力。
- 需具備傳送即時影像之能力：利用網路攝影機將監控區域之即時影像，透過網路傳回並

顯示於系統操作介面上，使用者可以確實掌握該區域的狀況。

- 需具備傳達警示訊息之能力：發生異常狀態時，系統可第一時間主動通知管理者，並提供即時影像，以增加處理的時效性，降低損失程度。
- 需具備系統及裝置運作安全之能力：使用安全認證、網頁存取安全與網路資訊安全機制，以確保系統不會遭到有心人士侵入或資訊遭致竊取。而且，在同一時間同一設備僅允許一位使用者操作，保障裝置運作正常。
- 需具備系統元件可重複使用之能力：使用新一代的分散式系統整合技術來建構開放式資訊交換之監控系統，只要透過參考方法，便可將其功能重現於其他系統，減少開發成本。

綜此，本研究提出一個基於 ZigBee 與 RFID 無線技術之行動式監控架構，如圖 1 所示。整個架構分為客戶端（Client Side）、伺服器端（Server Side）及設備端（Equipment Side）三部分，客戶端與伺服器端的通訊以網際網路為主，設備端與伺服器端的通訊則架構於無線射頻（IEEE 802.15.4, 802.11g）通信標準之上。伺服器端是本架構的處理核心，專司客戶端的服務請求，由防火牆（Firewall）、整合式行動監控伺服器（IMMS, Integrated Mobile Monitoring Server）、資料庫（Database）、中介軟體伺服器（Middleware Server）、ZigBee 協調器（Coordinator）、RFID 讀取器（Reader）及無線基地台（AP）所組成。在設備端部分，包含網路攝影機（WebCam）、各式的受控裝置（Device）與感測器（Sensor），電子標籤（Tag）。在客戶端部分，使用者可利用 PC、筆記型電腦及各式手持行動裝置（SmartPhone 或 PDA 等）連結至 IMMS 進行遠端操作。

在 IMMS 內部，我們設計許多相關的監控管理元件以提供客戶端使用，例如，圖形化使用者介面（GUI, Graphical User Interface）是一個友善且容易操作的網頁介面，讓使用者透過瀏覽器操作整個系統；一旦管制人員或設備進入監控區域，使用者即可利用 ZigBee 定位服務（ZigBee Based Locating）進行室內追蹤；使用者透過 ZigBee 環境感知服務（ZigBee Environmental Sensing and Control）來監控並記錄週遭環境的感測資訊，如溫度與濕度；RFID 識別（RFID Identification）具有非接觸

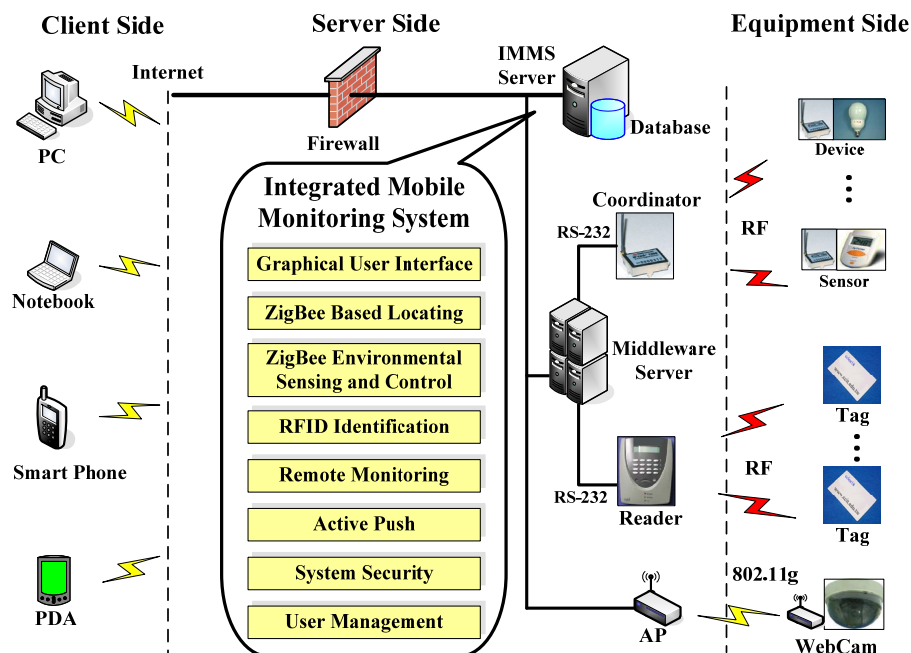


圖 1. 本研究發展之行動式監控架構。

與資訊透明化的特性，可以強化門禁管理與人員認證；遠端監控（Remote Monitoring）透過網路攝影機提供監控區域即時影像的服務；一旦系統異常，主動推播（Active Push）可隨時與註冊服務客戶連線，提供相關警示訊息與即時畫面；而系統安全（System Security）具備網頁存取、網路資訊與裝置運作等安全機制；管理服務（User Management）提供使用者新增、修改及刪除功能。上述功能除 GUI 外，所有的功能均以網路服務型態來建構[9]，例如網路方法。因此，客戶端使用者藉由呼叫 IMMS 上相關的網路方法，即能夠透過 Intranet 與 Internet 輕易地進入，或者整合這些功能。

前述之 IMMS 內的監控管理元件是以網路服務型式所建立，以解決資訊整合的問題，後續也可以依據作業需求增加相關的功能元件。網路服務是網際網路上的應用程式元件，我們可以使用網路服務描述語言（WSDL, Web Service Description Language）[10]來說明其所提供服務的內容及溝通方式，並發佈在網際網路上。對開發者來說，這些既存的監控管理網路服務功能元件，只要經由加入網路參考（Web reference）的方式，將網址（URL, Universal Resource Locator）加入其程式中，便能在該系統中產生一個對應的代理程式（Proxy）。藉著使用代理程式上所提供的各式

監控的方法，即可輕易完成監控程式的開發。如此，在遠端的電腦與行動裝置，以及 IMMS 的內部元件，便能使用簡單物件存取（SOAP）協定來呼叫這些功能元件上的電力監控方法（Method）。

IMMS 和設備端之間的溝通橋樑由中介軟體伺服器與無線基地台擔任。中介軟體負責處理 ZigBee 網路協調器和 RFID 讀取器傳回的資料，所以必須存有這兩個無線技術的通訊設定與解譯方法。無線基地台（AP）在本監控架構中負責支援各式行動裝置之無線通訊，它可以讓使用者利用膝上型電腦、手持式電腦或智慧型手機等行動裝置以無線的方式操作本監控系統，執行遠端監視與控制，以及擷取資料等功能。而且，一旦監控系統偵測到設備發生異常時，系統可以透過無線基地台主動推播警示訊息到管理者所持有之行動裝置。無線基地台通常設置於可提供電源且收訊良好與無阻礙空間處。此外，我們可以在需要監控目標影像的場所架設網路攝影機，架設的位置以可以觀測到該場所全域為原則，網路攝影機可連結無線基地台，以無線方式傳遞即時目標影像到監控系統，供管理者參考及運用。為了加強系統的資訊安全，本架構在 IMMS 的入口前架設了防火牆，以防止駭客的惡意破壞。

ZigBee 定義兩種型態的元件[11]：完整功

能裝置 (FFD, Full Function Device) 與精簡功能裝置 (RFD, Reduced Function Device)。ZigBee FFD 扮演了網路協調者 (Coordinator) 或路由器 (Router) 的角色，網路協調者將形成網路的根，且每個網路只可存在一個協調者，其責任在建立網路及啟動程序，包括選擇射頻通道、唯一的網路識別碼與操作參數。網路協調者也會儲存網路參數，包括鍵結表與安全碼等。路由器主要負責資料封包的轉送，彼此透過多重跳點 (Multi Hop) 的方式傳遞資訊，具有找尋、建立以及修復路由路徑 (Routing Path) 的功能。不像 ZigBee FFD，RFD 是一個終端元件 (End Device)，負責收集底層各式感測器、開關的資訊，它具備簡單的功能以節省建置的體積與成本，僅可和網路協調者或路由器通訊，但不能從其他終端元件轉送封包。

在本研究所提架構中，採用的 ZigBee 元件是以功能為導向。具體來說，ZigBee FFD 透過 RS232 與 IMMS 連接，由於 IMMS 是整個監控系統的控制端，該 FFD 角色被選為網路協調者。相對地，在每個監控設備上的 ZigBee 模組，其功能僅足夠接收或傳送簡單訊息給 IMMS，功能較單純，因此，選用具 ZigBee RFD 特性的終端元件。為了增加傳輸距離，我們可以在網路協調者與終端元件之間增加路由器，它也可以賦予監控的功能。理論上每個 ZigBee 網路可達 65,535 監控節點，每個節點間的距離至少可長達 50 公尺，因此這將產生一個非常大的網路規模，整個監控系統可以無線方式彈性地被延伸出去。

三、系統功能元件設計

完成監控架構的設計後，接下來本研究將發展整合式行動監控伺服器 (IMMS) 與中介軟體 (Middleware) 的功能元件。由於物件導向技術具有程式碼重複性、系統擴充性、模擬真實性，且易於維護，可降低系統開發成本與風險等優點。因此，本節將使用統一模型語言 (UML, Unified Modeling Language) [12] 為工具，以物件導向技術的方法來開發 IMMS 系統元件。中介軟體以背景程式存在於中介軟體伺服器內，為了縮短文章篇幅，是以僅介紹內部功能與運作機制。

3.1 IMMS 功能元件

依據功能需求分析，本研究將 IMMS 功能元件依使用者觀點分類為伺服器元件及推播服務元件兩大類，囿於篇幅限制，以下僅說明伺服器元件的物件導向分析與設計，其他元件的詳細描述請參看文獻[13]。

3.1.1 物件導向分析

在物件導向分析 (OOA, Object-Oriented Analysis) 階段，IMMS 的使用案例圖 (Use Case Diagram)、循序圖 (Sequence Diagram)，以及類別圖 (Class Diagram) 依序說明如下：

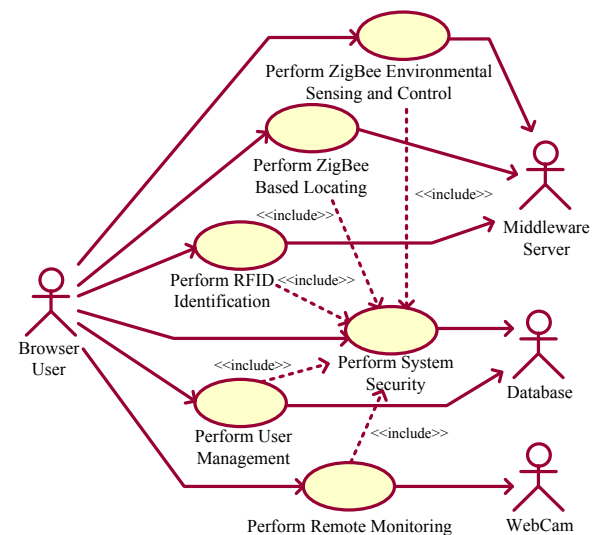


圖 2. 伺服器元件之使用案例圖。

3.1.1.1 使用案例圖

IMMS 的使用案例如圖 2 所示。其參與者 (Actors) 與使用案例 (Use Cases) 說明如下：

■ 參與者：

- 使用者 (Browser User)：瀏覽使用者透過網頁介面對系統進行操作，可區分為系統管理者或一般使用者。
- 中介軟體伺服器 (Middleware Server)：IMMS 透過中介軟體對設備端的各裝置進行操作或接收資料，是 IMMS 和設備端的溝通介面。
- 資料庫 (Database)：負責儲存使用者資料，為各功能運作時的系統資料庫。
- 網路攝影機 (WebCam)：提供即時影像

給系統。

■使用案例：

- a. 執行系統安全 (Perform System Security)：這個使用案例包含了執行裝置運作安全、網頁存取安全、網路資訊傳輸安全與系統強化認證機制。使用者在進入系統前，必須通過本使用案例的認證與授權，完成後始可登入系統進行相關的操作。
- b. 執行 ZigBee 定位 (Perform ZigBee Based Locating)：使用者透過此使用案例從中介軟體處收集移動目標 (MT) 與所有基地台之間的訊號強度指標 (RSSI)，再利用定位演算法求出 MT 所在位置，進而驅動網路攝影機的鏡頭轉向至 MT 座標，提供並顯示即時影像於使用者介面上。使用者必須先通過系統的安全認證才能執行此一使用案例，因此這個使用案例包含 (include)「執行系統安全」。
- c. 執行環境感知與控制 (Perform ZigBee Environmental Sensing and Control)：使用者透過這個使用案例從中介軟體處收集 (控制) 監控區域中 ZigBee 感測裝置的環境資訊，並將結果回傳。同理，本使用案例包含「執行系統安全」。
- d. 執行 RFID 識別 (Perform RFID Identification)：使用者透過此使用案例從中介軟體處將 RFID 讀取器讀回的資料加以分析，再以該識別碼為參數向系統資料庫進行查詢，取得並將辨識結果顯示於使用者介面。同理，本使用案例包含「執行系統安全」。
- e. 執行遠端監視 (Perform Remote Monitoring)：使用者透過此使用案例達到控制網路攝影機的鏡頭，並將即時影像回傳給使用者介面。同理，本使用案例包含「執行系統安全」。
- f. 執行使用者管理 (Perform User Management)：管理者透過此一使用案例對系統資料庫中的使用者資料進行新增、刪除、修改等動作，但為維護系統運作安全，必須以管理者權限才能使用。同理，本使用案例包含「執行系統安全」。

3.1.1.2 循序圖與類別圖

完成 IMMS 的使用案例圖後，我們進一步描述每一個使用案例，以產生對應的腳本 (scenarios)。根據這些腳本，我們可以建立該分析階段的循序圖。然後，綜合所有的循序圖，便可以得到分析階段的類別圖，詳細描述請參考文獻[13]。

3.1.2 物件導向設計

根據在物件導向分析階段所得到的循序圖及類別圖，便可以進一步執行 IMMS 的物件導向設計 (OOD, Object-Oriented Design)，以產生該階段的循序圖及類別圖，說明如後。

3.1.2.1 循序圖

在分析階段的循序圖中，物件之間溝通的訊息可以轉換為相關類別的方法，於是設計階段的循序圖便可被設計出來。因篇幅限制，在此僅說明執行 RFID 識別的物件導向設計階段循序圖，其餘物件的循序圖，請參看文獻[13]。

圖 3 是 RFID 識別的腳本之一，IMMS_GUI 是 GUI 元件的類別；IMMSComponent 是 RFID Identification 元件的類別；Middleware 是 Middleware 元件的類別；Database 是 User Management 元件的類別；以下依序說明每一個步驟：

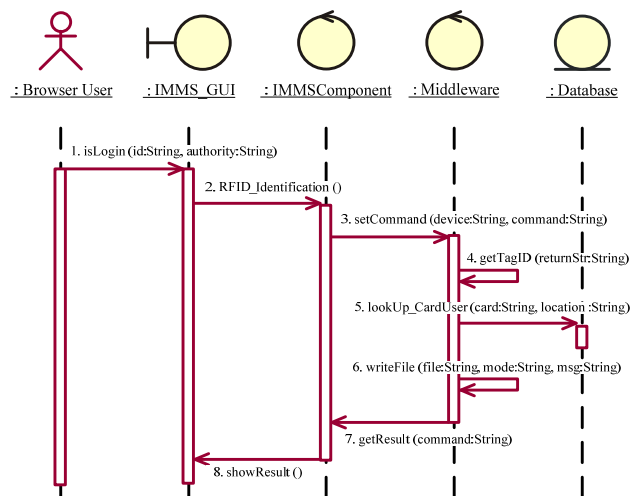


圖 3. 執行 RFID 識別之循序圖。

- (1) Browser User 完成 :IMMS_GUI 物件的 *isLogin()* 方法，進行安全驗證。
- (2) :IMMS_GUI 物件呼叫 :IMMSComponent

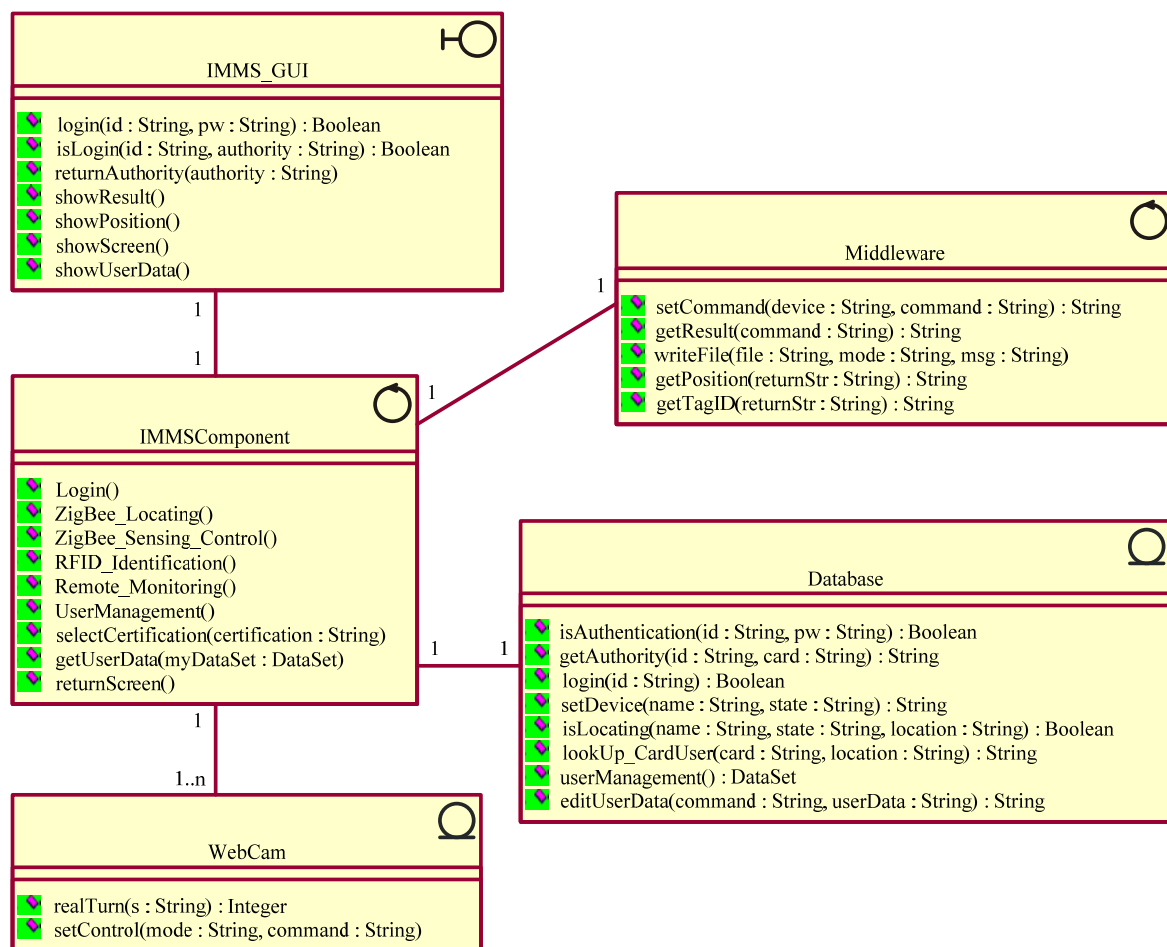


圖 4. IMMS 伺服端功能元件之類別圖。

物件的 *RFID_Identification()* 方法，開始進行無線身分識別功能。

- (3) :IMMSComponent 物件呼叫:Middleware 物件中的 *setCommand()* 方法，要求讀取使用者卡片的識別碼。
- (4) :Middleware 物件呼叫本身的 *getTagID()* 方法，取得使用者的識別碼。
- (5) :Middleware 物件以上述的識別碼當成參數呼叫 :Database 物件中的 *lookUp_CardUser()* 方法，進而獲得卡片使用者的身分資訊，然後再呼叫本身的 *writeFile()* 方法將結果暫存。
- (6) :IMMSComponent 物件呼叫:Middleware 物件中的 *getResult()* 方法，將識別資訊傳回。
- (7) :IMMSComponent 物件呼叫:IMMS_GUI 物件中的 *showResult()* 方法，將結果顯示於使用者介面。

3.1.2.2 類別圖

根據前一節的循序圖，可以將各使用案例中的物件以類別圖的方式呈現其靜態關係，伺服端元件的類別圖如圖 4 所示，共有 IMMS_GUI、IMMSComponent、Middleware、Database 及 WebCam 五大類別。在 IMMS_GUI 中有 *login()* 等七個方法，在 IMMSComponent 中有 *ZigBee_Locating()* 等九個方法，在 Middleware 中有 *setCommand()* 等五個方法，在 Database 中有 *isAuthentication()* 等八個方法，而 WebCam 中則有 *realTurn()* 和 *setControl()* 二個方法，各方法的參數與回傳型態亦顯示於該圖上。

在類別圖關係連線的兩端，我們可以給出多重性（multiplicity），本文的類別多為一個有相關之物件數目，符合前面所述的在同一時

間僅允許一位使用者操作系統。不同的，IMMSComponent 則可以使用多個網路攝影機針對幾個區域進行監視。

3.2 中介軟體

如同前面所述，中介軟體扮演 IMMS 與設備端兩者之間的通訊介面，為了能與各式無線通訊銜接，中介軟體的設計必須考量幾項重點。首先，中介軟體與無線模組之間的通訊介面必須界定清楚，如此資料的發送與接收才會同步。其次，中介軟體與無線通訊技術之間的通訊必須定義資料的框架格式，如此解譯的資料才會正確。第三，中介軟體必須可以接收監控伺服端的指令，並轉換成無線通訊指令發送出去；第四，中介軟體具有將資料轉換成資訊的功能，降低 IMMS 的負荷；第五，中介軟體具有儲存資料的功能；此外，為了系統開發的便利性與故障排除需要，中介軟體必須提供手動操作介面。

綜此，我們設計的中介軟體由應用介面（Application Interface）、資料處理模組（Data Processing Module）與元件介面（Device Interface）三個部分所組成，它們各自與 IMMS、資料庫、網路協調者與讀取器交互作用，功能方塊如圖 5 所示。在應用介面部分，IMMS 可透過設定指令（Set Command）與結果擷取（Get Result）兩個元件，分別對遠端設備進行控制與回應結果作業；並且經由警告推播（Warning Push）功能，於發生異常狀態時主動且立即地通知已註冊的管理人員前來處置。在資料處理模組部分，含括三個功能：（1）資料過濾（Data Filtering）：該功能會將設備的回傳資料依命令種類加以分類，再執行字元篩檢及切割等流程，轉換成有用的資訊；（2）Matlab 引擎（Engine）：透過 Matlab 運算核心[14]將複雜計算式或演算法加以解析，再將結果回饋給需求者；（3）資料庫存取（Database Access）：利用網路服務對資料庫進行資料儲存與存取，例如使用者的電話、電子信箱或識別碼等。在裝置介面部分，針對網路協調者與讀取器的通訊參數進行元件設定（Device Setting）、指令傳送（Send Command）與遠端裝置回授訊息的資料接收（Receive Data）。

四、ZigBee 室內定位

傳統的監控系統並未整合定位功能，因此本文特別針對此功能進行研究並予以納入，以下是此研究的概述與設計。定位系統的發展通常以三角定位為基礎，亦即透過三個參考基地台與移動目標（MT）相對距離所形成的三個圓將交會於一點，此即為 MT 的座標位置。相對距離則利用傳送者與接收者之間的訊號傳播時間，或者訊號衰減幅度來估計。其中，一種以訊號強度指標（RSSI, Radio Signal Strength Indication）的訊號紋路定位法（Location Fingerprint Approach）[15][16][17]因為可以有效地抑制環境因素，並估測出基地台與 MT 之間的距離，因此成為室內定位演算法中的研究主流之一。以下我們將分別說明三角定位概念與訊號紋路定位法的步驟。

4.1 三角定位概念

假設三個基地台 BS_1 、 BS_2 及 BS_3 的參考座標分別為 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 與 (x_3, y_3) ，MT 的座標為 (x, y) ，如圖 6 所示。已知 MT 距離三個基地台分別是 r_1 、 r_2 與 r_3 ，則各基地台的圓形方程式可表示為

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2 \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

三個圓形方程式兩兩相減，可推得

$$2x(x_2 - x_1) + 2y(y_2 - y_1) = r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2 \quad (2)$$

$$2x(x_3 - x_1) + 2y(y_3 - y_1) = r_1^2 - r_3^2 - x_1^2 + x_3^2 - y_1^2 + y_3^2 \quad (3)$$

$$2x(x_3 - x_2) + 2y(y_3 - y_2) = r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2 \quad (4)$$

式(2)、(3)及(4)以矩陣方式來表示，可寫成

$$\begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \\ 2(x_3 - x_2) & 2(y_3 - y_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2 \\ r_1^2 - r_3^2 - x_1^2 + x_3^2 - y_1^2 + y_3^2 \\ r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{若令 } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_3 - x_1) & 2(y_3 - y_1) \\ 2(x_3 - x_2) & 2(y_3 - y_2) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2 \\ r_1^2 - r_3^2 - x_1^2 + x_3^2 - y_1^2 + y_3^2 \\ r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2 \end{bmatrix}, \text{ 則式(5)可簡化為}$$

$\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{B}$ 。利用 Pseudo-inverse 技巧，MT 位置

方程式可表示成 $\mathbf{P} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{B}$ 。

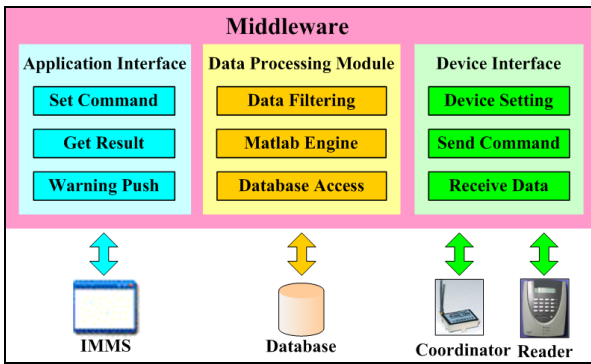


圖 5. 中介軟體功能方塊圖。

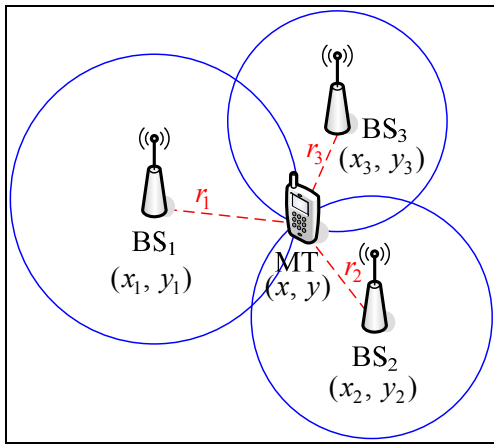


圖 6. 三角定位之示意圖。

4.2 訊號紋路定位法

基於訊號紋路的 ZigBee 室內定位演算法包括三個流程，第一個流程為訊號紋路表之建立，第二個流程為使用類神經網路技術訓練定位模型，與第三個流程為即時地估測 MT 之座標。以下是三個流程的說明。

4.2.1 訊號紋路表之建立

首先，將監視區域配置成 m 個方格點以建立各自的訊號紋路或特徵，方格點的選取可以針對地形採用正方形等分切割或者自行設定，並未嚴格限定。每個方格點座標為 $\mathbf{P}_i = (x_i, y_i)$ ，其中 $i = 1, 2, \dots, m$ 。接下來，於監視區域內再取 n 個參考點設置基地台 (BS, Base Station)，基地台均配屬 ZigBee 元件，以 BS_j 代表第 j 個基地台，其中 $j = 1, 2, \dots, n$ ，參考點並不一定要設立於方格點之上，可依實際需求設置。

其次，將 MT 移到座標為 $\mathbf{P}_i = (x_i, y_i)$ 的第 i 處方格點，然後要求 MT 開始接收每個基地台傳出的訊號，我們以 $rss_{BS_j}^i$ 來表示 MT 在一個接收週期內於第 i 處方格點接收第 j 個基地台的平均訊號強度指標值。MT 於第 i 處方格點完成 n 個基地台的平均訊號強度指標值之後，將其建構成第 i 處方格點接收訊號強度向量 $\mathbf{S}_i = (rss_{BS_1}^i, rss_{BS_2}^i, \dots, rss_{BS_j}^i, \dots, rss_{BS_n}^i)$ ，配合既有的座標 $\mathbf{P}_i = (x_i, y_i)$ 形成 $\mathbf{LFT}_i = (\mathbf{P}_i, \mathbf{S}_i)$ ， $\mathbf{LFT}_i$ 即為第 i 處方格點的訊號紋路。接下來，MT 會先將 $\mathbf{LFT}_i$ 透過射頻傳送至中介軟體伺服器處暫存。

最後，完成所有 m 個方格點訊號紋路的建立後，中介軟體伺服器即會建立該監測區域的定位訊號紋路矩陣，亦即訊號紋路表 $\mathbf{LFT}$ ，矩陣大小為 $m \times n$ 。

4.2.2 類神經網路定位模型之訓練

本研究設計的類神經網路定位模型如圖 7 所示，輸入層的節點數為 n 個，該數目等於基地台數量；輸出層節點數為 2 個，分別表示 MT 的 x 、 y 座標；隱藏層的節點數為 f 個，這個數目係根據不同的統計指標數值與訓練時間比重所測得。各層所代表的意義分別描述如下：

輸入層：輸入層有 n 個節點，它們的輸入分別是接收訊號強度值 rss_{BS_1} 到 rss_{BS_n} 。

隱藏層：隱藏層中節點的活化函數為對數雙彎曲函數 (Log-Sigmoid Function)：

$f(x) = 1/(1+e^{-x})$ 。因此，隱藏層第 j 個節點的輸出 H_j 計算如下：

$$H_j = \frac{1}{1+e^{-net_j}} = \frac{1}{1+e^{-\left(\sum_{i=1}^n w_{j,i} \times rSS_{BS_i} + \theta_j\right)}} \quad j=1,2,\dots,f \quad (6)$$

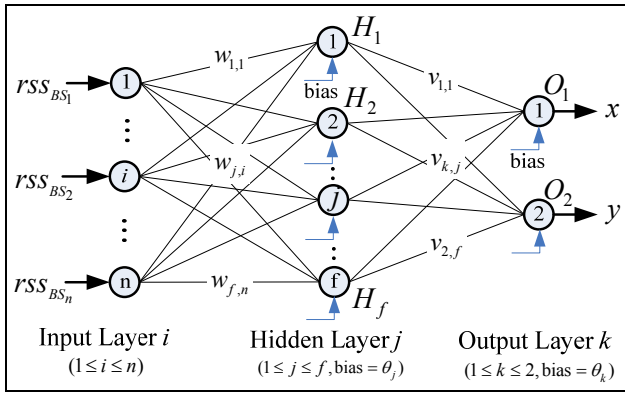


圖 7. 倒傳遞類神經網路。

其中 $w_{j,i}$ 為第 i 個輸入與隱藏層第 j 個節點之間的權值； θ_j 為隱藏層第 j 個節點的偏值。

輸出層：輸出層有 2 個節點，它們的輸出是 MT 的座標值。輸出層中節點的活化函數為線性函數（Linear Function）： $f(x) = x$ 。然而，輸出層第 k 節點輸出 O_k 描述如下：

$$O_k = \sum_{j=1}^f v_{k,j} H_j + \theta_k \quad k=1,2 \quad (7)$$

其中 $v_{k,j}$ 為隱藏層第 j 個節點與輸出層第 k 個節點之間的權值； θ_k 為輸出層第 k 個節點的偏值。

為了訓練上述的類神經網路定位模型，我們將訊號紋路表中各方格點（ $LFT_i = (P_i, S_i)$ ）中的 S_i 向量當作輸入層、 P_i 向量則放置於輸出層，依序地完成所有的學習與訓練。訓練期間， $w_{j,i}$ 與 $v_{k,j}$ 兩個權值會藉由梯度下降方法持續地修正。

4.2.3 即時估測移動目標之坐標

訓練程序結束後，即可獲得該監測區域的定位模型。因此，在即時估測階段，只要 MT 進入監測區域，各基地台與 MT 之間的平均訊號強度指標便會輸入到這個已訓練的定位模型，立即地獲得 MT 的估測座標（輸出值）。

由於室內樓層與牆壁等環境的因素，使得訊號的傳播時強時弱（Channel Fading），或者產生繞射（Shadow Fading）與多重路徑衰減（Multi-Path Fading）等現象。而且，使用在 2.4GHz 相同頻率帶的 802.11b、微波爐、室內無線電話與藍芽配備，會對傳輸訊號產生干擾 [18]。上面兩種因素都將造成訊號變動，連帶 MT 與基地台之間的距離值估計錯誤，MT 座標也產生誤差。因此，基於訊號衰減模式的定位系統在室外會有較準確的結果，但室內則效果不佳。反觀，訊號紋路定位法採用平均訊號強度指標，部分極端的特徵資訊可有效地被抑制，進而降低定位誤差，而類神經網路定位模型經學習後，預測能力亦有降低環境變數的影響。

五、系統實作與整合測試

我們參照圖 1 的架構，建構一個整合各式無線技術之行動式監控系統應用實例，並驗證本系統架構之效能。實作細節、場地規劃、整合測試與系統效能分析說明如下：

5.1 行動式監控系統實作

在軟體需求方面，本系統的伺服器是以 Windows 2000 為開發平台，Microsoft Visual Studio .NET[19]為開發工具，使用 C#.Net、ASP.NET、ADO.NET 程式語言發展各種的行動監控功能元件，並採用 Microsoft .NET Common Language Runtime[20]為程式的執行環境，Microsoft SQL Server 2000 為系統資料庫。本文利用 Microsoft Web Services Enhancement 對網路中傳遞的簡易物件存取協定（SOAP, Simple Object Access Protocol）訊息作簽章及加解密的動作，另外，我們也設計一個 Matlab Engine 做為發展類神經網路定位模型與即時估測的工具建立定位模型，並利用這個軟體平台發展定位演算法。在 ZigBee 應

用程式開發上，則使用 Z-Profile Builder [21] 和 Atmel AVR Studio [22] 兩個應用程式進行撰寫與除錯。

在硬體方面，本架構使用 3 部個人電腦，1 部用以建構 IMMS、1 部作為操作本系統的客戶端裝置、1 部則是連結網路協調者 (Coordinator) 和 RFID 讀取器的中介軟體伺服器。具有無線上網功能之 PDA 作為瀏覽與操作本系統的無線客戶端裝置；Chipcon [23] 的 ZigBee 模組用於實現目標定位、環境感知與控制的功能；使用 DS-3200 RFID 讀取器 [24] 兩套，分別作為 IMMS 登入與無線門禁識別所需之功能。為實現遠端監視的功能，本系統亦使用高速球型攝影機，同步顯示監控區域的即時影像。

5.2 實驗測試場地規劃

我們以國防大學理工學院的數位控制實驗室為一範例，發展並建置本研究提出的整合新式無線技術之行動監控系統，該實驗室測試平面如圖 8 所示。為了作業方便，本研究將 ZigBee 網路協調者 (Coordinator) 設置於平面圖上方的桌面處，由於網路協調者透過 RS232 與中介軟體伺服器 (Middleware Server) 通訊，因此中介軟體伺服器必須設置於網路協調者附近，IMMS 提供各種網路服務，因此並不需要特別地限定位置。RFID 讀取器 (Reader) 放置於門口處，當作人員進出時的管制，它透過 RS232 與中介軟體伺服器通訊。網路攝影機 (WebCam) 則建置於左上角處，可全方位實施監視。各個基地台為了避免通訊死角，全部署於實驗室天花板上。

量測方格點的建置方法如下：將左下角座標 (0,0) 設為原點，從原點往右的水平方向為正 x 軸，而原點往上的垂直方向為正 y 軸。x (y) 軸以間隔 30 公分為一個刻度，因此我們可以求得這兩個軸向的範圍，分別為 $0 \leq x \leq 28$ 與 $0 \leq y \leq 24$ ，而且兩軸直交的方格點共計有 672 點。根據前述的座標設定，本研究將網路協調者與各個基地台 (BS₁-BS₆) 分別配置於 (13,21)、(12,12)、(5,19)、(21,19)、(5,4)、(13,4) 與 (21,4) 座標上。當 MT 依序移到座標為 P_i 的第 i 個方格點處，然後量測並且記錄與各基地台之間的訊號強

度 $rss_{BS_j}^i$ ，其中 j 是基地台編號，全部量測完畢後即可獲得 672 x 8 矩陣的訊號紋路表 $LFT = [P_{672 \times 2} \ S_{672 \times 6}]$ 。

5.3 行動式監控系統整合測試

我們應用物件導向分析技術，陸續完成了與行動監控有關的各項軟體開發與硬體測試。系統的網路操作畫面主要有安全認證 (System Security) 考量的登入介面、進入系統後顯示圖形化使用者介面 (GUI, Graphical User Interface)，如圖 9 所示。GUI 有 5 個功能鍵，分別是圖形按鈕的 (1) RFID 識別，網頁操作介面如圖 10(a)；(2) 定位 (ZigBee Based Locating)；(3) 環境感知與控制 (ZigBee Environmental Sensing and Control)，網頁操作介面如圖 10(b)；與 (4) 遠端監控 (Remote Monitoring)，網頁操作介面如圖 10(c)；(5) 使用者管理 (User Management) 採用文字按鈕，網頁操作介面如圖 10(d)。(6) 主動推播 (Active Push)，網頁操作介面如圖 10(e)，及位於中介軟體伺服器上的 (7) 中介軟體 (Middleware) 是背景程式，必須事件觸發或者手動點選才可顯示。

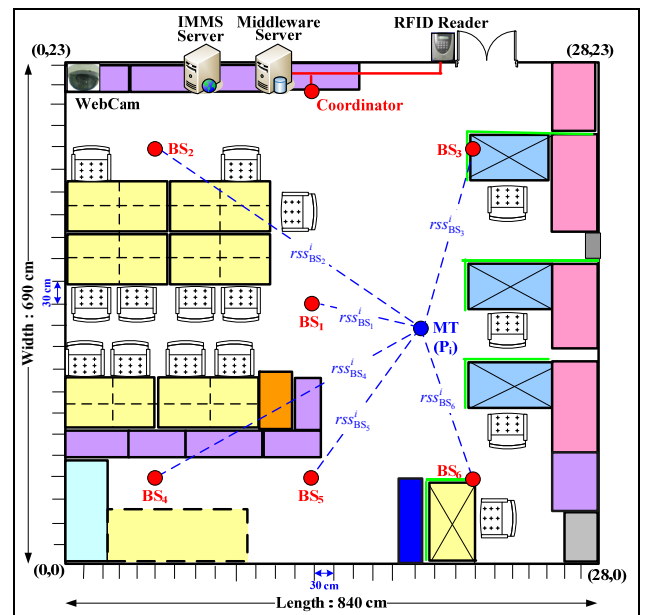


圖 8. 實驗測試場地平面圖。

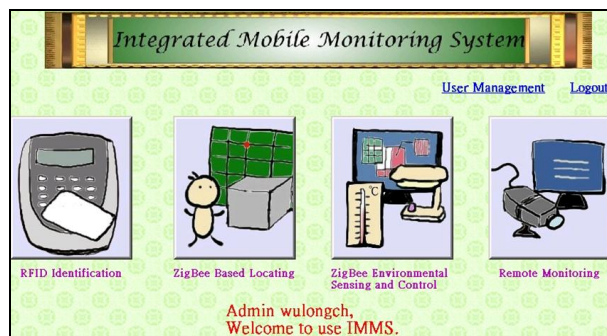
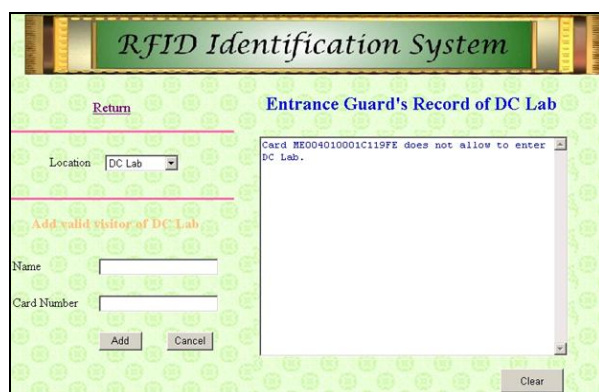


圖 9. 圖形化使用者介面。



(d)



(a)



(e)

圖 10. IMMS 各功能網頁操作介面：(a) RFID 識別；(b) 環境感知與控制；(c) 遠端監控；(d) 使用者管理；(e) 主動推播。



(b)



(c)

此外，受限於手持式行動裝置的硬體限制（處理速度較慢與記憶體較小），無法顯示上述圖形化的網頁，因此本研究特別設計了行動上網文字操作介面以提供客戶端使用者操作，除畫面較為簡略外其餘功能均不變。行動裝置操作人員第一次使用該系統前，必須先到 IMMS 下載並安裝行動客戶端程式。以下僅說明 ZigBee 定位與中介軟體網頁功能。

5.3.1 ZigBee 定位

ZigBee 定位的操作介面如圖 11 所示。管理者利用「Location」下拉式選單選擇監視的區域，而「Target」可選擇特定人員或者物品進行監視。當啟動 ZigBee 定位 (Locating Start 轉變成 Locating Stop)，網路攝影機會根據系統解算的座標立即將鏡頭轉到受監視目標的位置上，並將即時影像顯示於「Monitoring Screen」上，同時在右邊的監控平面圖上相對位置亦會出現閃爍紅點，而左下角顯示目標的座標。

當監視對象為人員時，本系統可有效追蹤人員的動向；若為重要設備物資時，本系統具備物品防竊的功能，亦即當該對象偏離標定位置某個限定距離時，系統將立即於操作介面上顯示異常警戒訊息，並且以主動推播方式通知管理人員處置。

5.3.2 中介軟體

中介軟體的操作介面如圖 12 所示，主要有六個部分，首先「COM Options」被用來設定裝置與中介軟體伺服器之間的通訊參數，包括連接埠選擇、鮑率選擇、同位元檢查設定及停止位元設定等四項。其次，「Locating」負責訊號紋路表的建置，管理者選擇監視區域（Locating）並按下「Data Collection Start」後，系統將顯示另一個訊號建置操作介面（圖 12 右下角）。管理者必須在這個介面中輸入基地台座標、測量方格點的座標，以及確認 MT 與各基地台之間的平均訊號強度值。其三，「Sensing」可啟動設定區域內的溫度感測器，並週期地回報環境資訊。其四，「Entrance Guard」可啟動門禁管制功能。其五，「Active Push」可以讓管理者以手動方式將其緊急訊息傳送給註冊推播服務的使用者。最後，「Result」顯示本介面的各種操作訊息。

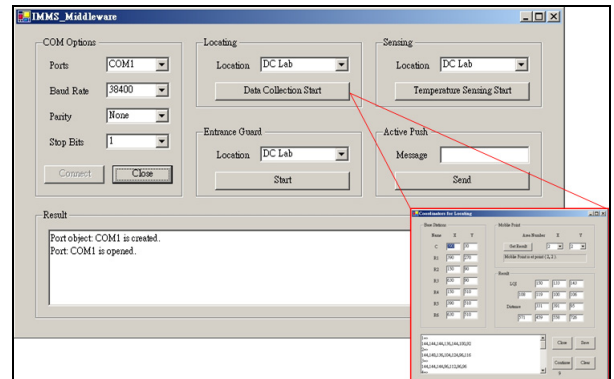


圖 12. 中介軟體功能操作畫面。

六、系統效能分析

完成行動式監控系統整合測試後，本節將針對系統中的遠端控制能力、異常處置能力與系統解析能力三個部份進行評估。相關定量分析說明如下：

6.1 行動式監控系統的遠端控制能力

當執行遠端控制功能時，IMMS 會透過協調器（Coordinator）以無線方式對遠端的受控設備下達開啟或關閉等控制指令，然後配屬 ZigBee 終端元件（End Device）的受控設備完成指令接收與執行後，再透過 ZigBee 終端元件以無線的方式回傳受控設備的運作狀態給 IMMS。在本研究中，從 IMMS 發出控制命令到 IMMS 接收完受控設備的運作狀態的全程時間稱為運作時間。本研究將以運作時間（Operational Time）做為系統遠端控制效能的評估指標，運作時間越短表示系統遠端控制效能越好。在效能評估實驗中，控制指令與狀態字元各設為 1 byte，其餘標頭檔、來源與目的位址、驗證碼與結尾字元等合計約 11-byte。此外，ZigBee 實測的傳輸速率為 54.42 kbps。我們以照明系統啟動為範例進行整合測試，其中 IMMS 所連接的 Coordinator 與受控設備相距 10 公尺，總計完成了 100 次的重複性實驗，測試結果如圖 13 所示，系統平均運作時間為 235 毫秒、標準差為 23 毫秒。這樣的反應數據優於一般負載保護器或者斷路器的跳脫時間（約 500~10,000 毫秒），可以滿足家庭自動化與工業上設備監控的應用。

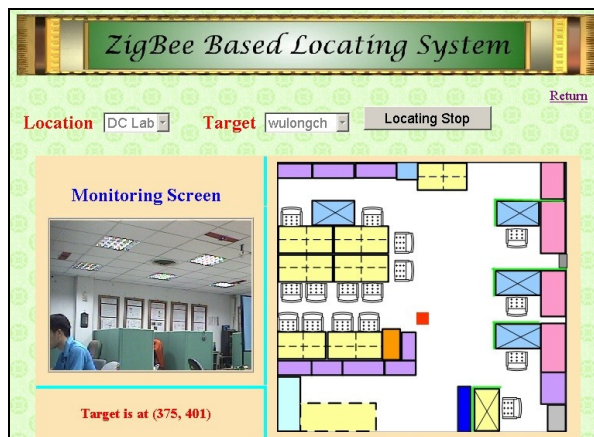


圖 11. ZigBee 定位功能之操作畫面。

6.2 行動式監控系統的異常處置能力

本研究中，從監控系統偵測到異常到管理人員接收到推播訊息的時間稱為主動推播時間，將被做為系統異常處置能力的評估指標。首先，我們在一台 PDA 行動裝置上安裝推播服務客戶端程式，並向主動推播服務註冊 IP 位址。接下來，在評估監控系統的異常處置能力實驗中，我們特別地製造一個人員入侵的模擬狀況，此時 IMMS 偵測到此異常，並利用主動推播服務會將“非法入侵（含推播日期與時間、發送端 IP）”的警示訊息透過無線基地台傳送至該 PDA。我們重複上述實驗 100 次，統計結果如圖 14 所示，主動推播時間的平均值約為 336 毫秒、標準差為 152 毫秒，管理人員可以在小於 1 秒的時間內獲得異常訊息與即時影像，因此本監控架構在異常處置能力上非常具有時效性。

6.3 行動式監控系統的解析能力

本研究以定位誤差做為系統解析能力的評估標準。根據第四節室內定位陳述的理論，結合訊號紋路與類神經法則所得到的結果，定位誤差平均值為 1.64 公尺、標準差為 1.06 公尺，2 公尺以內的累積誤差機率（CEP, Cumulative Error Probability）為 73%，如圖 15 所示。相較於以 WiFi 技術發展的 RADAR 定位系統[5]（定位誤差 3 公尺以內的 CEP 為 50%），或者 Feldmann 等人[25]以藍芽技術發展的室內定位系統（定位平均誤差 2.06 公尺），相信本研究採用 ZigBee 技術發展之行動式監控系統定位功能的解析能力，可以滿足監控系統對室內目標定位的需求。

七、結論

有鑑於各式無線通訊技術蓬勃發展，每種技術擁有各自的優勢與市場，但也隱藏開發技術門檻，無法予以有效地整合納用。因此，本研究的貢獻在於發展一個植基於 ZigBee 與 RFID 無線通訊技術之行動式監控系統架構。首先，這個架構利用 ZigBee 解決了監控系統缺乏機動部署的問題，可彈性擴充監控範圍，也提供室內定位與環境感知的監控能力。第二，這個架構採用 RFID 的便攜性，提供人員

識別與門禁管制的功能。第三，這個架構應用網路服務技術來建構系統的通訊基礎，使其具有擴充性與分散性。第四，根據本架構所發展的行動式監控系統採用訊號紋路定位演算法-類神經網路技術來提昇移動目標在室內的定位精度，以及設計了警示訊息推播功能，強化本架構的主動性。最後，本系統架構也支援各種行動裝置的遠端操作。從應用實例測試結果

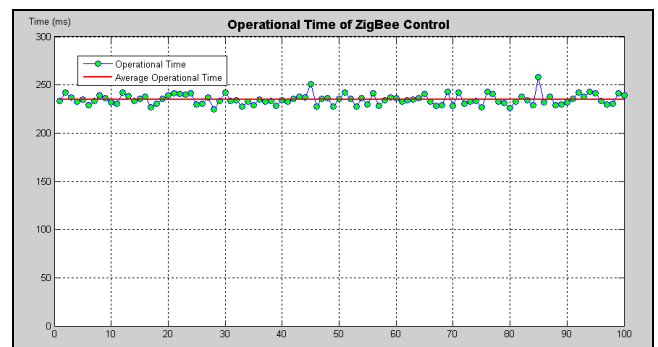


圖 13. 行動式監控系統的遠端控制能力-運作時間測試結果。

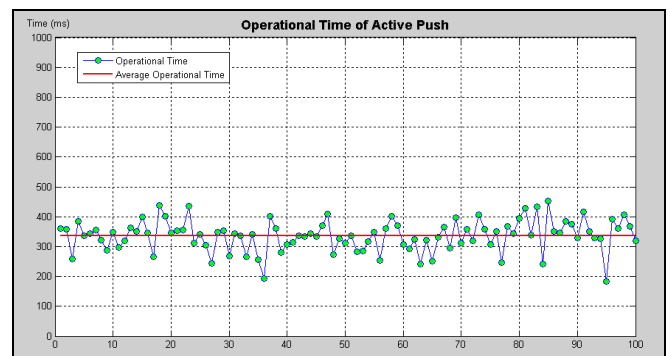


圖 14. 行動式監控系統的異常處置能力-主動推播時間測試結果。

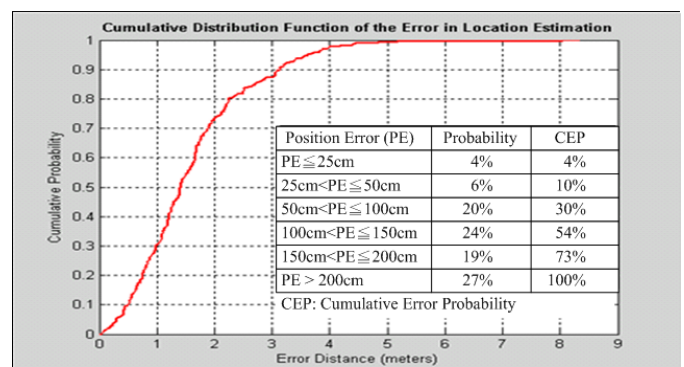


圖 15. ZigBee 定位誤差之累積機率分布圖。

顯示，本研究發展的行動式監控系統在遠端監控、異常處置與系統解析能力上都具實用性，相信這個新型態的架構與發展方法可提供未來監控系統在整合各種無線通訊技術時的一個有用參考。

本研究發展的行動式監控系統具有以下幾個潛在用途，包括：應用室內定位技術於軍事營區內人員的管控、醫療大樓內醫護人員與病人的追蹤；應用環境感知技術收集工廠各種的感測資訊與自主移動性機器人（autonomous robots）的運作狀態；應用 RFID 識別技術於槍械庫管理與庫儲管理；應用遠端控制功能來管理工廠的照明系統，關閉未使用區域的照明設備，降低生產成本。我們相信，未來的監控系統將越來越多元化、在定位誤差上要求更精準、系統反應時間要更快、監測範圍變廣，訊息正確與品質更不容錯誤。因此，本研究後續也將朝下面幾個方向繼續研究：（1）利用資料前處理方法，減低訊號干擾問題，再提昇定位精度；（2）發展訊號同步機制，降低訊息碰撞機率，提升系統穩定度；（3）改善射頻訊號接收率，提升 RFID 可靠度。

致謝

作者感謝行政院國家科學委員會補助研究經費（計畫編號：NSC 95-2221-E-606-011-MY3 及 NSC 98-2221-E-606-019），以及國防大學理工學院補助教師專題研究經費，讓本研究得以順利進行。

參考文獻

- [1] Hung, M.-H., Chen, K.-Y., and Lin, S.-S., "A Web-Services-based Remote Monitoring and Control Architecture with the Capability of Actively Protecting Appliance Safety," *Journal of C.C.I.T.*, Vol. 34, No. 1, pp. 385-402, November, 2005.
- [2] 鍾文仁, "集束型設備之遠端監控/診斷的晶圓輸送實驗平台實作", 碩士論文, 中原大學, 桃園, 2003。
- [3] Al-Ali, A. R., and AL-Rousan, M., "Java-Based Home Automation System," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 50, No. 2, pp. 498-504, May, 2004.
- [4] 王文宏, 淺談近距離無線通訊技術, *網路通訊雜誌*, 168 卷, 第 92-97 頁, 94 年 7 月。
- [5] Bahl, P., and Padmanabhan, V. N., "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, Tel-Aviv, Israel, pp. 775-784, 2000.
- [6] Bartolomeu, P., Fonseca, J., and Pacheco, O., "Distributed Monitoring Subsystems based on a Bluetooth Implementation," *Proceedings of IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Vol. 2, pp. 121-124, September, 2003.
- [7] Lionel, M. N., Liu, Y., Lau, Y. C., and Patil, A. P., "LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID," *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03)*, Fort Worth, Texas, USA, pp. 407-415, 2003.
- [8] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E., "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [9] Hung, M.-H., Cheng, F.-T., and Yeh, S.-C., "Development of a Web-Services-Based e-Diagnostics Framework for Semiconductor Manufacturing Industry," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 17, No. 5, pp. 122-135, February 2005.
- [10] WSDL Specification. <http://www.w3c.org/tr/wSDL>.
- [11] ZigBee Specification. ZigBee Alliance, June 27, 2005. [Online] Available: <http://www.zigbee.org/en/index.asp>.
- [12] Booch, G., Rumbaugh, J., and Jacobson, I., *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison Wesley, Boston, Massachusetts, USA, 1999.
- [13] Wu-Long Jian, "A Mobile Monitoring and Control System Based on New Wireless Technologies." Master Thesis, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Tao-Yuan, Taiwan, R.O.C., June 2006.
- [14] MathWorks Web Site. [Online] Available: <http://www.mathworks.com/index.shtml>.

- [15] Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P., “Modeling of Indoor Positioning System Based on Location Fingerprinting,” Proceedings of the 23th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol. 2, pp. 1012-1022, Mar. 2004.
- [16] Li, B., Salter, J., Dempster, A.-G., and Rigos, C., “Indoor Positioning Techniques Based on Wireless Lan,” Proceedings of the first IEEE Int. Conference on Wireless Broadband & Ultra Wideband Communications, Sydney, Australia, pp. 113, Mar. 2006.
- [17] Small, J., Smailagic, A., and Siewiorek, D. P., “Determining user Location for Context Aware Computing through the Use of a Wireless LAN Infrastructure,” [Online] Available:
<http://www2.cs.cmu.edu/~aura/docdir/smal100.pdf>
- [18] Sayed, A. H., Tarighat, A., and Khajehnouri, N., “Networked-Based Wireless Location: Challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information,” *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, pp. 24-40, Jul. 2005.
- [19] Microsoft.NET.
<http://www.microsoft.com/net>.
- [20] [http://msdn2.microsoft.com/zh-tw/library/hk5f40ct\(VS.80\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/zh-tw/library/hk5f40ct(VS.80).aspx).
- [21] Figure 8 Wireless Homepage. Available:
<http://www.Figure8wireless.com>.
- [22] Atmel Corporation Homepage. Available:
<http://www.atmel.com/>.
- [23] Chipcon Homepage. Available:
<http://www.chipcon.com>.
- [24] Texas Instruments Inc. Available:
<http://www.ti.com/chipcon>.
- [25] Feldmann, S., Kyamakya, K., Zapater, A., and Lue, Z., “An Indoor Bluetooth-based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation,” Proceedings of the International Conference on Wireless Networks, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 109-113, 2003.