

應用於環境監測之無線感測網路暨嵌入式系統整合

毛偉龍(Wei-Lung Mao)^{#1}、周伯衡(Po-Heng Chou)^{#2}、李玠德(Chieh-Te Li)^{*3}
林柄宏(Ping-Hung Lin)^{#4}、謝明峰(Ming-Feng Hsieh)^{#5}、王俊傑(Chun-Chieh Wang)^{#6}
王昭娟(Chao-Chuan Wang)^{*7}、沈自(Jyh Sheen)^{#8}、劉偉行(Weihsing Liu)^{#9}

[#]國立虎尾科技大學 電子工程系

^{*}國立虎尾科技大學 光電與材料科技研究所

632 雲林縣虎尾鎮文化路 64 號

¹wlmao@nfu.edu.tw

²jamesbond0724@hotmail.com

摘要

在本論文中，採用 FT-6200 之 Zigbee 無線模組，與 DMA-2440XP 嵌入式系統(Embedded system)整合一無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)系統。藉由 Jennic 應用佇列 API 規劃 JN5121 之微控制器，主要以星狀(Star)網路拓樸架構設計，定時傳送各終端設備(End Device)之溫度、溼度、及光 sensor 電壓等感測資料至網域協調器(Coordinator)。運用休眠模式(Sleep Mode)，使每個 End Device 在非工作時段進入休眠，達到省電之效果。以儲存網路資訊於 MAC 硬體暫存器之機制，預防 Coordinator 重新啟動或供電失效情形發生時，不必重整網路。經視窗使用者介面監控無線感測網路，並以嵌入式系統為監控平台，取代個人電腦，降低資源及成本消耗，達到「節能」、「安全」目的之環境監測應用。

關鍵詞：Zigbee、無線感測網路、嵌入式系統、視窗使用者介面

Abstract

In this paper, the FT-6200 ZigBee modules and the DMA-2440XP embedded system are integrated to construct a wireless sensor network for environment monitoring. This wireless module uses RF transceiver and MCU of Jennic Soc JN5121. The networking program is developed by using the Jennic Application Queue API to handle interrupts in the JN5121 wireless microcontroller. The star network topology is established to periodically collect the sensing data from all the end devices to the coordinator. The end devices can enter the sleep mode for power saving during the data transmission. The coordinator is to save the network information to the flash memory, so

the whole network doesn't need to be disassociated after the reboot or power failure of the coordinator. The GUI is developed on embedded system to monitor and control the WSN in an on-line fashion to achieve the purpose of power saving and safety.

Keywords: Zigbee、Wireless Sensor Network (WSN)、Embedded System, Graphical User Interface (GUI).

1. 前言

隨著多元化無線通訊技術、嵌入式設備及微機電系統技術的愈趨成熟，引導設備走向輕薄短小，而在人類工作及生活環境中，佈置大量、微小、便宜、低耗電的計算及通訊裝置，就技術上已逐漸可行，也因此帶動了多樣化無線感測網路，之新興應用與服務的機會。

無線感測網路是由感測器、監視器、控制器等單元所構成，而 ZigBee 無線通訊技術即是一種短距離無線通訊標準，具有低成本、低功耗、低複雜度、雙向傳輸、高可靠性、高擴充度，以及「監控」角色高於「通訊」功能等優點及特性，利用此優勢，將各種感測器網網相連，實現各種過去所做不到的生活應用，如環境監測、保全、自動化、定位等。根據世界衛生組織 WHO 提出的四大生活指標——「安全、保健、便利、舒適」，安全更是列為首位，因此利用 WSN 技術將感知化為無形，讓使用者在不知不覺中融入環境感測世界中，將成為智慧化居住空間發展成功的關鍵因素。

本論文即提出運用 ZigBee 無線通訊技術與數位溫溼度及光電壓 Sensor，透過視窗監控介面及週邊硬體設備搭配控制，成為一無線感測網路，並與嵌入式系統平台進行整合設計，以取代傳統個人電腦，大大節省成本，藉由此無線感測網路監控系統來達到環境監測應用。

2. 研究背景與動機

2.1 研究背景

根據經濟部技術處「智慧化居住空間科技整合應用計畫」委託資策會資訊市場情報中心(MIC)調查報告指出，一般家庭對於智慧化設施與應用面的需求分別包含「節能」、「安全」、與「健康」等等。其中安全包含人身的安全以及財物的安全，民眾目前普遍以住宅的社區管理、保全系統或監視系統來防範竊盜、火災等危害之防護措施的佈建與管理。對於智慧化生活應用來說，「節能」、「安全」、與「健康」為目前較具市場性也較易讓使用者接受之應用領域，從使用者分析其對無所不在應用服務的需求，擁有「節能」、「安全」、與「健康」的智慧化生活應用似乎是全球民眾共通的服務需求。

面對全球高油價時代的來臨，接踵而來的就是相關水、電、瓦斯等民生必需物資的價格也會連帶水漲船高。依調查報告指出節能是目前企業最迫切的需求，主因在於水電費等支出相當龐大，因此較重視節能。在全球資源有限且現階段並沒有其他替代能源方案的條件下，既然無法開源，如何節流就成為目前各行各業最關心的議題之一。

2.2 研究動機

為達成上述的應用趨勢，運用無線感測網路技術帶動服務無所不在的網路化社會，已成為一個技術研發趨勢，此舉將改變未來多個服務領域的運作方式，顛覆現代傳統創造新興應用與服務的機會，同時 WSN 挾著其低建置成本的優勢，亦被評估成為最有潛力改變未來世界的十大技術之一，預估到 2010 年全球產值將達到 150 億美元，其應用及服務將深入日常生活中，成為推動無所不在應用服務的主軸科技。

WSN 技術以其低成本、低耗電、使用彈性大的優勢，在此波重視省電節能的應用潮流中將取得先機，進而融入我們的日常生活中各式應用。在目前研發 WSN 技術方面來說，使用 ZigBee 作為資料傳輸方式者佔大多數，主因在於前一章所提到之低功率消耗、高可靠度、高擴充度等優勢特性，足以應付大部分的應用需求。而本研究即是針對「節能」、「安全」方面，所設計環境感知監測系統之無線通訊實驗。

3. ZigBee 簡介

3.1 協定層架構

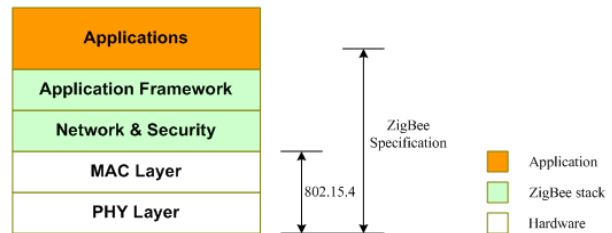


圖 1. Zigbee 協定層架構

ZigBee 是根據 IEEE 802.15.4 與 ZigBee Alliance 兩個組織所定訂之標準規範，如圖 1 所示為 ZigBee 協定層架構。IEEE 802.15.4 屬於低傳輸率無線個人區域網路 (Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN)，其定義底層硬體部分的實體層 (Physical layer, PHY) 與媒介存取控制層 (Medium Access Control layer, MAC)，而 Zigbee Alliance 針對 IEEE802.15.4 系統制定較上層部分的相關軟體，包括網路層 (Network layer, NWK)、安全服務提供層 (Security layer)、應用層 (Application layer, APL) 及應用介面規範並負責完成互通測試。

ZigBee 之低複雜度亦為其優點之一，以減少開發的成本。以下將簡述各層功能：

PHY: 實體 RF 模組之控制。

MAC: 頻道相關資訊之管理與設定。

NWK: 網路狀態相關資訊與紀錄管理與設定。

APL: 物件裝置 (Endpoint) 與連結表 (Binding Table) 之管理與設定。

3.2 網路裝置與拓樸

在 Zigbee 規範中，定義了三種裝置型態：

1. 網域協調器 (PAN Coordinator): 負責去建立與控制整個 Zigbee 網路。

2. 路由器 (Router): 提供資料路由的服務，可以與 Router、Coordinator 或 End device 傳送資料。

3. 終端設備 (End device): 可以用來擷取資料或是控制其它設備，但它只可以與某個 Router 或是 Coordinator 傳送資料。

ZigBee 規範同時也提供了三種網路拓樸，分別是建構簡單、維護容易的星狀 (Star) 拓樸，還有可以藉由 Router 延伸網路涵蓋範圍叢集樹狀 (Cluster Tree) 拓樸，以及可靠度、成本及複雜度都為最高的網狀 (Mesh) 拓樸，如圖 2 所示。而本論文則以支援 Star 網路拓樸為研究重點。

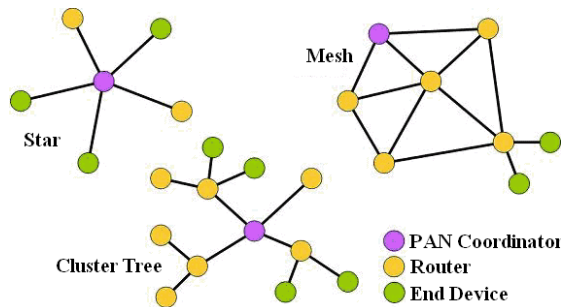


圖 2. ZigBee 的三種網路拓模

ZigBee 支援主從式或點對點方式運作，其尋址方式為 64bits 的 IEEE MAC 位址以及 16bits 的短位址，每個 PAN Coordinator 同時最多可有 255 個連接裝置的節點，使其整個網路可以容納 65536 個節點數，ZigBee 的高擴充性，已經使其成為產業共通的短距離無線通訊技術之一。

3.3 調變頻帶與方法

在 ZigBee 實體層的規範中，具備三種頻段 868MHz、915MHz、2.4GHz 可供選擇。本論文使用中心頻率在 2.45 GHz 規格的 ISM 頻帶，最高的傳輸速率為 250kbps，IEEE 802.15.4 在 2006 年的標準裡面新增了欄位(如表 1.所示)，使另外兩個頻帶的傳輸速率得以從原來的 20kbps、40kbps 提高到最多 250kbps，以滿足使用者的需求。使用者可藉由設定通道頁面與通道數目選定要用的頻道頻率以及使用的頻道數目，2.4GHz 實體層在 2.4G-2.4835G 中總共有 16 個頻道可以使用，每個頻道頻寬 2MHz。

表 1. 實體層頻帶規格

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

3.4 CSMA/CA

在 IEEE 802.15.4 網路模式中，分為無信標網路，以及有信標網路兩種。而兩者在頻道存取機制定義上，無信標網路模式採用非時槽型 (unslotted)CSMA-CA 方式；有信標網路模式採用時槽型(slotted) CSMA-CA 方式。

無信標網路模式為所有的資料傳輸都需經 CSMA/CA 競爭機制取得傳輸媒體的使用權，而有信標網路模式，則是在超訊框(Superframe)

的前半段，也就是 CAP (Contention Access Period)的時槽內需經由 CSMA-CA 競爭通道使用，而中段之 CFP (Contention Free Period) 為無競爭週期，每個時槽是屬於協調器事先所分配好的裝置來使用，這些裝置可以不需透過 CSMA-CA 機制，可以保證資料的延遲性，最後一段之無動作時段(Inactive)是在休眠狀態，可將耗電量降至最低。

本研究是採取無信標網路模式，故僅列出非時槽型 CSMA-CA 之流程，如圖3.所示。其中的 NB 及 BE 參數說明如下：

NB：倒退的次數 (number of backoff)，起始值為0，當裝置有資料要去傳送時，經過一段 backoff delay time 後，若偵測到通道為忙碌時，則會再一次進去產生 backoff time 的步驟，此時 NB 值則會加1，而 NB 值最大定義為4，當通道在經過四次的 backoff delay time 的延遲後仍為忙碌，則放棄此次的傳送。

BE：倒退指數 (backoff exponent)，當 BE 設為0時，則是將 CSMA-CA 演算法的功能關掉。且 BE 最大值只定義到5，主要的考量應是避免過長的 backoff delay time 而影響整體的效能。

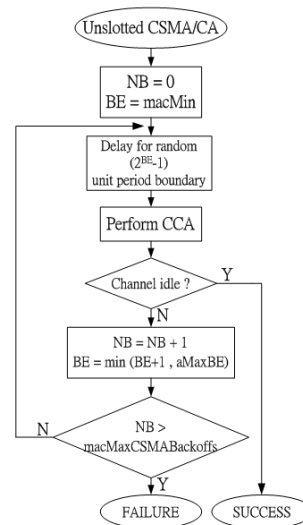


圖 3. unslotted CSMA-CA 流程

在無信標網路模式下，End Device 利用非時槽型 CSMA/CA 方式傳送 MAC command request 控制訊息給 Coordinator，若 Coordinator 有資料要傳送，則利用非時槽型 CSMA/CA 方式將資料送至 End Device。

4. 實作架構與硬體平台

4.1 實作系統架構

如圖 4.所示，為本研究整體系統架構，以符合 IEEE802.15.4 規格之 RF 模組及媒介存取

硬體，規劃組成星狀(Star)之基本型態網路拓樸為 ZigBee 無線通訊技術之研究重點，將各個 End Device 之感測資料，定時回傳至 Coordinator，再經由 RS-232 串列通訊埠介面，與嵌入式系統整合，使用者即可透過嵌入式平台，建立於 Windows CE 5.0 Platform Builder 上，以 Visual Basic 2005 開發之視窗監控畫面來進行操作，並搭配相關週邊硬體(如 LED、Button 等)控制無線感測網路，進行環境監測之工作。

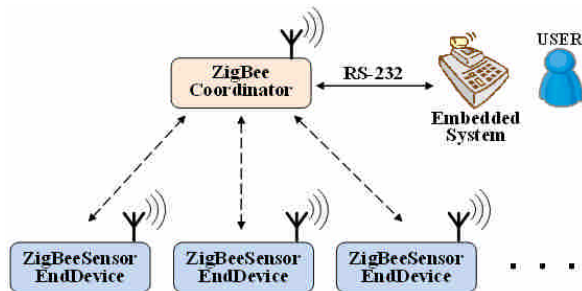


圖 4. 系統整合架構

本研究在開發硬體使用分成兩個部分，分別使用盛暘科技(SUREWIN)所開發的 FT-6200 無線感測模組，以及長高科技(DMATEK)所開發 DMA-2440XP 嵌入式系統平台，本章將各別對其系統規格作相關說明。

4.2 無線感測模組

在無線感測硬體方面，採用盛暘科技 FT-6200 ZigBee 無線通訊模組。FT-6200 之系統單晶片 JN5121 含概了 PHY 層與 MAC 層，RF 模組遵循 IEEE 802.15.4 標準之設計，由 32bit 之 MCU 來進行控制其無線封包的傳送，且能經由 MCU 的控制來架構網路拓樸。在輸出入擴充槽上，可設為十組雙向 GPIO 以及 UART/ADC/DAC/Comparator 組合。如圖 5. 所示，型號分別為 FT-6250 (左)及 FT-6251 (右)，兩者之差別在於 FT-6251 模組上內建數位式溫溼度感測器。

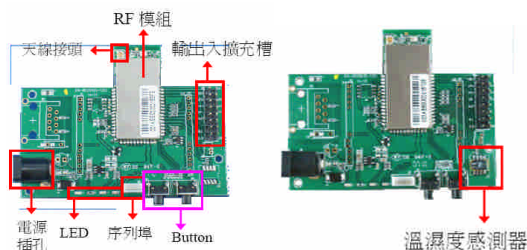


圖 5. FT-6200 無線感測模組

此 FT-6200 模組在 ZigBee 網路系統規格方面，其使用之頻帶為 2.405GHz~2.480GHz，操作頻道為第 11 至第 26，其典型之接收敏感度(Receive Sensitivity)為 -88dBm，傳輸功率(Transmit Power)為 -16dBm ~ 14dBm。室內傳輸距離為一般功率 0dBm 之 ZigBee 模組的三至五倍，戶外無障礙傳輸距離可高達七百公尺。

4.3 嵌入式系統平台

在整合平台上，採用長高科技所開發之 DMA-2440XP 之嵌入式系統，如圖 6. 所示，其含有一 SAMSUNG 所開發型號 S3C2440-40，ARM9 核心，主頻 400MHz 之中央處理器。DMA-2440XP 包含有底層軟體和嵌入式作業系統的支援及其應用介面。而在本研究中，主要運用平台上之 LCD 彩色 TFT 觸控式螢幕介面、RS-232 串列通訊埠介面、鍵盤介盤、特定應用積體電路元件(Application-Specific Integrated Circuit, ASIC)，及 64M Bytes NAND FLASH 外部記憶體等，並以 WinCE5.0 之作業系統下各外圍介面驅動。



圖 6. DMA-2440XP 嵌入式系統

嵌入式系統是一種完全嵌入受控器件內部為特定應用設計的專用電腦系統。與通用電腦系統不同，嵌入式系統幾乎都是為了專業特定功能或是為客戶量身訂做而設計的，所以搭配使用於系統上的作業系統，也都必須專為該系統專門訂做，才能符合系統要求。

基本上嵌入式作業系統大致分為「即時型」和「通用型」兩種：

1. 即時型作業系統(Real-Time Operating System, RTOS)在限定的時間內，對程式呼叫產生正確的回應，因此對於時間排程和穩定度上有非常嚴格的要求，不容許發生太大的誤差。

2. 通用型作業系統對於系統執行的反應速度並沒有非常嚴苛，對於系統的反應時間有著一定的寬容性，大多應用於消費型電子產品、資訊家電等等。市場上通用型作業系統產品如：「Windows CE」、「Sysbian OS」、「Plam OS」以及各式各樣的 Embedded Linux。

5. 無線感測網路之建立與運行

5.1 ZigBee 網路的初始化與建立

WSN 系統軟體設計流程的第一步即是建立 ZigBee 網路中的 Coordinator，當硬體裝置啟動之後，程式會先將 IEEE802.15.4 Stack 中的 PHY 層及 MAC 層初始化，接著便設定 PAN ID 及短位址 (Short address) 以建立一 Coordinator，而 Coordinator 必須在個人網路範圍內選定好所要使用的射頻頻率通道，在裝置結束掃描後並且獲得加入網域的許可成為網域下的 End Device 之後，再進行網路的連線，以便進行設備之間資料的收發，如圖 7.所示。

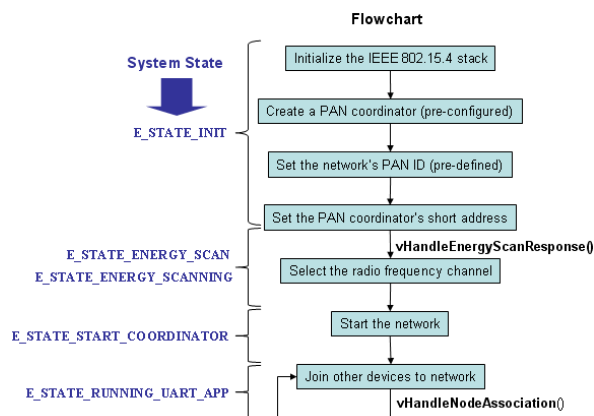


圖 7. ZigBee 網路建立流程

5.2 Coordinator 與 End Device 傳輸機制

當網路中出現了 Coordinator 和至少一個端節點設備後，網路就可以進行資料傳輸了，資料傳輸的過程如下所述。

1.Coordinator 向 End Device 傳輸資料，有兩種方法：

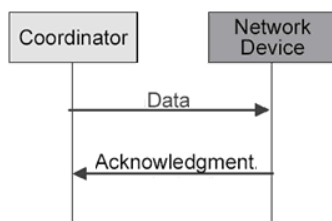


圖 8. Coordinator 向 End Device 直接傳輸資料

(1)直接傳輸:Coordinator 可以將資料直接發送給 End Device。End Device 接收到資料後可以發送確認消息(Acknowledgment, Ack)給 Coordinator，如圖 8.所示。此一消息確認的動作，亦為 ZigBee 高可靠度之優點。這種資料傳

輸方式就要求 End Device 隨時都處於資料接收的狀態，也就是要求其隨時都要處於喚醒的狀態。後面我們將詳細的解釋這種工作方式。

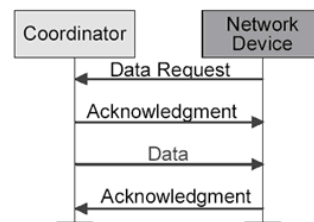


圖 9. Coordinator 向 End Device 間接傳輸

(2)間接傳輸: Coordinator 可以將資料保存起來等待 End Device 請求讀取資料。採用這種方式，End Device 為了獲得資料必須先要發送資料請求。發送資料請求後，Coordinator 就會判斷是否有需要發送給這個設備的資料，如果有就發送相應的資料給 End Device。接到資料的設備將發送確認資訊，如圖 9.所示。這一方式適用於 End Device 設備需要較低功耗的情況，其大部分的工作狀態都處於休眠狀態以節省能量。本論文即以此間接傳輸機制於 Coordinator 控制資料之傳送。

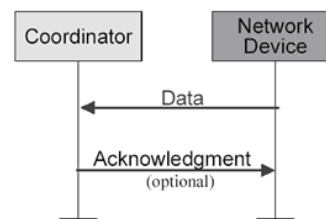


圖 10. End Device 向 Coordinator 間接傳輸

2.End Device 向 Coordinator 傳輸資料

End Device 通常向 Coordinator 直接發送資料，Coordinator 接到資料後可以發送確認消息，如圖 10.所示。本論文即以此直接傳輸機制於 End Device 感測資料之傳送。

5.3 休眠模式與中斷網路恢復

因 JN5121 為高功率 RF 模組，允許的傳輸功率範圍為-16dBm ~ 14dBm，其優點雖然可以提昇不少傳輸距離，但也抹殺 ZigBee 低功率消耗之優點，因此本研究提出以「休眠模式」達到省電效果的方式。

由於 Coordinator 必須無時無刻地聆聽頻道，因此休眠模式僅可應用於 End Device。藉由呼叫休眠模式副程式，運用 JN5121 之 Power Down API 降低功率 API 將使得裝置關閉其電源，接著併用 MAC 層設定資訊儲存 API 與記

記憶體維持 API 以保存所需之網路資訊，並維持記憶體之狀態，因此在記憶體中之所有的網路資訊皆可被保存。在休眠模式副程式設定一喚醒時鐘(wake-up timer)，當超時週期完成時即產生中斷事件。喚醒時鐘若設為 32 kHz 時脈中運行，即表示為休息 1 second，若設為 64kHz 則休息兩秒，依此類推。

當 End Device 由記憶體維持之休眠模式中，被喚醒時，將會進入不需再進行硬體初始化的「溫開機模式」，並且執行 MAC 層設定資訊再以回存(Restore)API 取得 MAC 資訊，來接續先前之網路設定。因此，End Device 多處於睡眠模式，只有當週期地喚醒並傳送感測資訊。

另外，為了在當 Coordinator 重新啟動或發生供電失效的情形下，不需作重新啟動所有連網設備等工作，即可恢復網路之運作。以休眠模式相同的原理，將 Coordinator 網路資訊儲存在快閃記憶體中。Coordinator 經故障修復之後，立即從快閃記憶體中讀出資料以恢復連網資料(sCoordData)，同時呼叫啟動 Coordinator 之 API 以回存網路資訊於 MAC 硬體暫存器中，即可使整個 ZigBee 網路恢復運作。

6. 系統開發與整合實驗

6.1 ZigBee 感測網路拓樸之開發與實現

在無線微處理器 JN5121 韌體程式設計方面，主要以 Jennic 提供特別版本之 Code::Blocks 為開發環境，如圖 11.所示，在 IDE (Integrated Development Environment) 環境中發展應用程式。其中 Code::Blocks 是全功能、開放程式碼架構之 IDE，且完全免費。



圖 11. JN5121 開發環境 Jennic Code::Blocks

運用 Code::Blocks 開發 JN5121 韌體程式之流程步驟如下：

1. 建立專案：針對使用者的應用，選擇程式型態、開發板型號、無線微處理器型號等。
2. 編輯程式碼：以 C++ 程式語言及 API 編寫。
3. 編譯應用程式：當程式碼撰寫完畢後，編譯成 JN5121 可執行的編譯程式 bin 檔。

4. 寫入 binary code：由 PC 連接 RS-232 串列埠至 FT625x，將 bin 寫入 Flash memory。

5. 使用內建之除錯器：將 FT625x 重啟運作，並設定中斷點(Break Point)，進行 Debug。

對照 ZigBee 協定層來看，如圖 12.所示，在 RF 模組與 MCU 與應用程式的運作架構。透過應用佇列(Application Queue) API，簡化 IEEE 802.15.4 Stack API、集成週邊設備(Integrated Peripherals) API，以及 Board API 原本必須處理的工作，集中處理網路管理佇列(MLME)、網路資料佇列(MCPS)的請求和確認，消息的標識和回應，溝通整合於晶片上的週邊設備(如：AD，DA，DIO，Timers 等)、模板週邊設備(如：感測器)，以及處理硬體層產生各種中斷、通過中斷控制碼將其轉發給各個軟體模組。

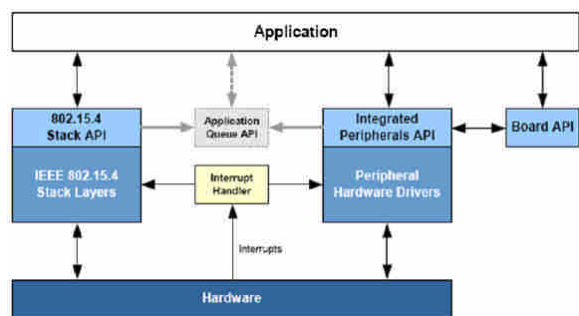


圖 12. JN5121 韌體程式架構

在 ZigBee 星狀網路架構，我們運用了 Coordinator 和 End Device 兩種角色，以下將介紹此兩種角色之程式架構。如圖 13.所示，即為 Coordinator 程式架構，其中 AppColdStart 即為主程式。

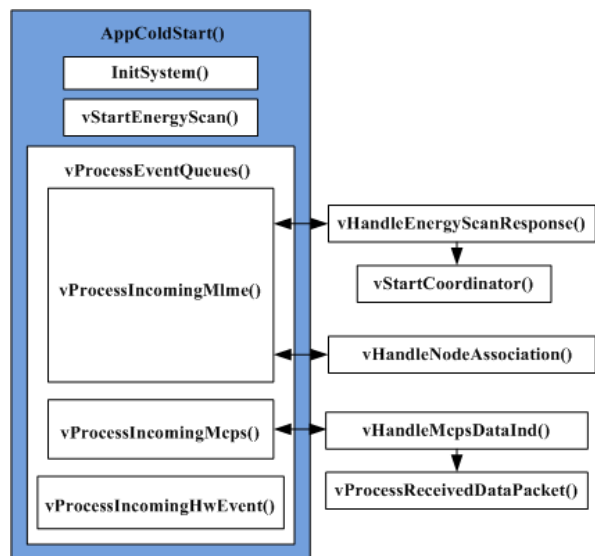


圖 13. Coordinator 程式架構

AppColdStart 將依序呼叫下列副程式：

1. vInitSystem：進行硬體初始化。
2. vStartEnergyScan：在通道進行能量掃描以獲得各個通道的能量級別，掃描將通過初始化一個 MLME 請求並將其發送給 IEEE 802.15.4 的 MAC 層來實現。
3. vProcessEventQueues：處理能量檢測掃描之 MLME 回應，於 vHandleEnergyScanResponse 檢查所有通道的能量級別，並挑選一個最安靜無干擾的通道作為建立 ZigBee 網路的通道。接著在 vStartCoordinator 設置必要的參數，並且遞交 MLME 請求來啟動網路，啟動網路的請求不需要處理任何的回復資訊。

網路建立完成之後，主程式將迴圈呼叫 vProcessEventQueues 檢查 MLME、MCPS、Hardware 三種不同類型的事件佇列，並將接到的事件交給不同的事件處理函數處理。以下將簡述三種佇列：

- (1) vProcessIncomingMlme：接收 MLME 佇列事件，等待 End Device 加入網路的請求，入網請求以 MLME 請求的方式送至 Coordinator，並於 vHandleNodeAssociation 處理送達之請求，接著 Coordinator 將建立並發送入網請求回復。
- (2) vProcessIncomingMcps：接收 MCPS 佇列事件，並於 vHandleMcpsDataInd 處理接收到的資料，並於 ReceivedDataPacket 定義使用者所需的資料處理過程。
- (3) vProcessIncomingHwEven：接收硬體佇列事件，定義使用者所需的事件處理過程。

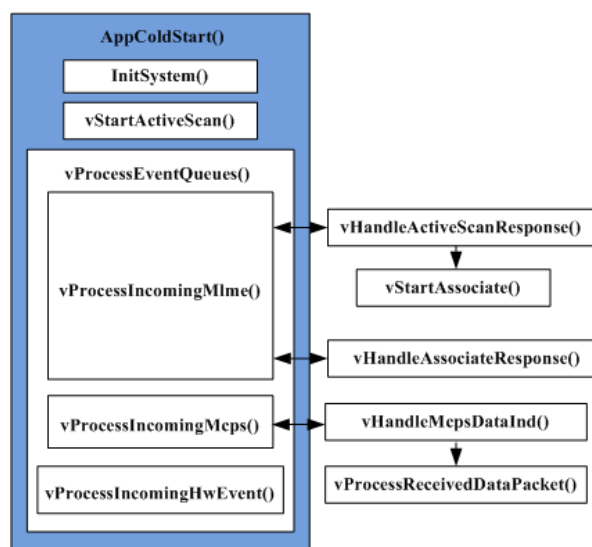


圖 14. End Device 程式架構

如圖 14.所示，即為 End Device 程式架構，

與 Coordinator 程式架構大同小異，以下僅述相異之連網流程。其中 AppColdStart 仍為主程式。vInitSystem 將硬體初始化完畢之後，進入 vStartActiveScan 開始掃描正於活動的通道，向掃描的通道發送入網請求，並接收 Coordinator 的請求回應。經由 vProcessIncomingMlme 接收 MLME 回應，並於 vHandleActiveScanResponse 處理返回的活動通道掃描結果，大致可能出現下列兩種情形。

- (1) 沒有找到 Coordinator：於 vStartActiveScan 重新啟動掃描。
- (2) 找到 Coordinator：函式將保存相應的 Coordinator 資訊，(如：PANID、短位址、邏輯通道)，並以 vStartAssociate 向 Coordinator 以 MLME 方式來發送入網請求。

假設目前於(2)的理想情形，AppColdStart 將迴圈的呼叫 vProcessEventQueues 等待來自 Coordinator 的入網回復，則於 vProcessIncomingMlme 以 MLME 方式接收，接著呼叫 vHandleAssociateResponse 處理回復，接著函數將檢查回復的狀態，大致可能出現下列兩種情形：

- (1) Coordinator 接受入網請求：End Device 則設置於連網狀態。
- (2) Coordinator 拒絕入網的請求：將重新呼叫 vStartActiveScan 搜索其它的 Coordinator。

End Device 之 MCPS 佇列與硬體事件佇列則與 Coordinator 流程完全相同，故不再贅述。

6.2 嵌入式作業系統建立與視窗介面設計

本研究之嵌入式平台中之環境即是通用型作業系統 Windows CE，微軟為了在嵌入式系統上不同於一般電腦架構，發展一套針對 32bits 環境下「硬式即時作業系統」的架構，使各種不同的嵌入式裝置都能執行 Windows CE，其架構如圖 15.所示。



圖 15. Windows CE 架構

建置 Windows CE 的流程步驟如下：

1. 建立環境：將 SMDK2440 的 BSP 相關檔案放到指定資料夾。
2. 載入 BSP：載入 SMDK2440.cec 檔案。
3. 建立 Platform：建立新 Platform。
4. 加入 Platform Feature：增加所需要的 Features，確認平台內容。
5. 設定 Build option：設定所需的建立環境。
6. 建置映象檔：實際執行建置映像檔動作。
7. 鏈結：連接發展平台與目標平台。
8. 下載：啟動 Platform Builder 下載功能。
9. 執行：重新啟動主機板，執行程式。

藉由 Visual Basic 2005 編輯視窗介面程式，如圖 16 所示，並且將其編譯成 WinCE 環境底下之可執行檔案後，再將可執行檔含括至 DMA-2440 映象檔中，最後寫入至嵌入式平台實現開機即時作業動作。



圖 16. Visual Basic 2005 開發之視窗介面

6.3 整合實驗測試與成果畫面

在 Coordinator 之模組中，JN5121MCU 負責控制收發機、模板週邊硬體(如：LED、Button 等)及擴充槽外接其它電路。嵌入式系統則以 S3C2440MCU 為控制中心，透過匯流排介面控制平台之上之硬體(如：LCD 觸控螢幕、鍵盤等)及 ASIC，並以外記憶體暫存資料。為達成 ZigBee 無線感測網路與嵌入式系統之整合，則將上述兩者，藉由非同步串列 UART (RS-232) 溝通，如圖 17.所示。

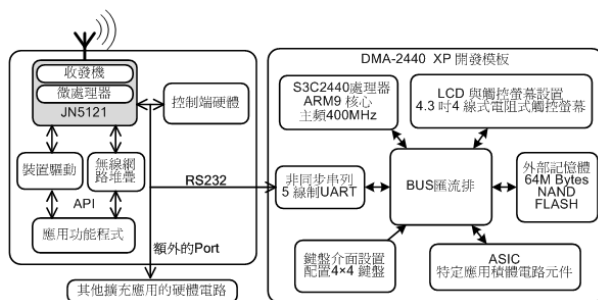


圖 17. ZigBee RF 模組與嵌入式平台方塊圖

實際測試地點在國立虎尾科技大學四旗五樓積體電路設計實驗室及室外約十公尺距

離區域，測試方式則是首先架設並啟動嵌入式系統，以 RS-232 串列通訊埠與網路中心 Coordinator 與相連，並分別於冷氣機旁、路由器旁、實驗室門口、走廊、電梯口、廁所門口等六個地區佈置 End Device 節點，如圖 18.所示。

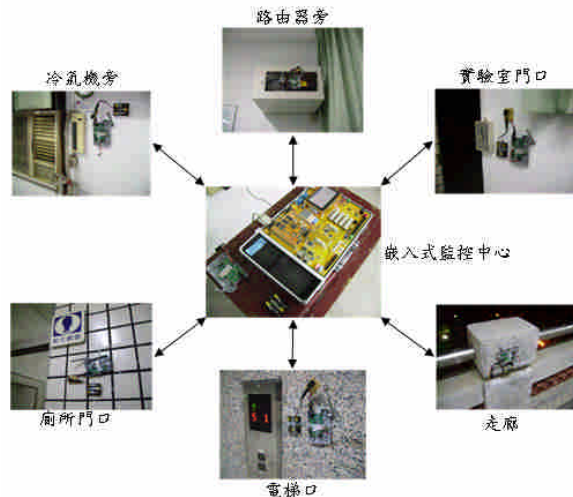


圖 18. 實際佈建無線感測系統

啟動 Coordinator 及所有 End Device，等待 ZigBee 星狀網路建立完成之後，開啟已經嵌入式系統中的 Visual Basic 2005 視窗監控介面，點擊畫面之「啟動通訊埠」，所有 End Device 分別設定在每經過五秒，回傳所感測到的資料至 Coordinator，再透過 RS-232 串列通訊埠將資料傳送至嵌入式系統，將各 End Device 之短位址及感測資料顯示於視窗監控介面之接收端畫面，如圖 19.所示，由左至右分別為日期、時間、End Device 之短位址、溫度、溼度、光 sensor 電壓。



圖 19. 嵌入式平台運行畫面

7. 結論

根據本論文所提出之終端裝置與協調器

傳送機制，達成的 ZigBee 星狀拓樸無線感測網路，確實在 IEEE 802.15.4 的規範下與嵌入式平台進行系統整合，完成溫度、溼度、光 Sensor 電壓等感測資料傳輸，達到取代 PC，降低資源及成本消耗之目的，並設計出一視窗監控介面，方便使用者應用於管理環境監測。End Device 除了犧牲傳輸距離來降低功率消耗之外，運用休眠模式(Sleep Mode)的省電機制，使 JN5121 在非工作時段進入睡眠模式，達到省電之效果，延長節點的生命週期(life time)。Coordinator 雖然不適合使用休眠模式，但亦可以儲存網路資訊的方式，避免意外狀況導致整個網路癱瘓的現象。

本研究之 ZigBee 網路拓樸僅使用星狀(Star)架構，往後可再以樹狀(Tree)、網狀(Mesh)作為網路拓樸架構之設計方向進行研究。未來系統業者更可透過整合其它相關感測技術，與 ZigBee 結合發展出更多新的應用領域，如災難監測、能源監控、自動化控管等，WSN 的應用若能夠成熟，將有助於提昇人類安全與智慧生活指標，且商機亦十分可觀。

參考文獻

- [1] "IEEE Standard 802.15.4-2003", *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Inc. 1, October 2003.
- [2] "IEEE Standard 802.15.4-2006", *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Inc., June 2006.
- [3] S. Gronemeyer, A. McBride, "MSK and Offset QPSK Modulation," *IEEE Transactions on communications*, Vol. 24, Issue 8, pp. 809-820, August 1976.
- [4] T. Masamura, S. Samejima, Y. Morihira, H. Fuketa, "Differential Detection of MSK with Nonredundant Error Correction," *IEEE Transactions on communications*, Vol. 27, Issue 6, pp. 912-918, June 1979.
- [5] Shan, Q., Liu, Y., Prosser, G., Brown, D., "Wireless intelligent sensor networks for refrigerated vehicle," *Proceedings of the IEEE 6th Circuits and Systems Symposium*, Vol.2, pp.525-528, 31 May-2 June 2004.
- [6] R. E. Ziemer, W. H. Tranter, *Principles of Communications : Systems, Modulation, and Noise*, 5th ed., John Wiley & Sons, 2002.
- [7] 邱紹沅, "架構於 IEEE802.15.4 低速率無線個人區域網路之全雙工語音系統設計與應用", *國立臺灣大學電機電信電子產業研發碩士專班論文*, June 2007。
- [8] 劉東昱, "IEEE802.15.4 低速率無線近身網路中 2.45GHz 模式之基頻訊號處理與電路設計", *國立中山大學通訊工程研究所碩士論文*, July 2005。
- [9] 謝文川、李盈節、謝文雄, "植基於第三代行動通訊環境嵌入式無線感測網路系統應用—以水產養殖監控為例", *WASN2008 第四屆無線、隨意及感測網路研討會論文集*, pp. 628-637, September 2008。
- [10] ZigBee Alliance - <http://www.zigbee.org/>
- [11] Jennic - <http://www.jennic.com/>
- [12] 盛暘科技 - <http://www.surewin.com.tw/>
- [13] 曾煜棋、潘孟鉉、林致宇, *無線區域及個人網路-隨意及感測器網路之技術與應用*, 知城圖書, December 2006。
- [14] 陳立元、范逸之、廖錦棋, *Visual Basic 2005 與自動化系統監控 - RS232 串列通訊篇*, 文魁資訊, September 2006。
- [15] 長高科技, *ARM9 S3C2440 嵌入式系統實作: WINCE 及上層應用實驗*, 長高科技股份有限公司, September 2007。
- [16] 王金龍、蘇瑞元、江叔盈、遲文麗, *嵌入式作業系統開發與應用程式設計 Windows CE*, 基峰資訊, August 2007。