

# ZigBee 無線通訊技術之設計與應用

毛偉龍<sup>1</sup>、周伯衡<sup>2</sup>、沈自<sup>3</sup>、劉偉行<sup>4</sup>、李玠德<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> 國立虎尾科技大學電子工程系

<sup>1</sup>E-mail: [wlmao@nfu.edu.tw](mailto:wlmao@nfu.edu.tw)

## 摘要

在本研究中，我們將採用達盛電子(UBEC)所開發 UZ2400之 Zigbee 無線通訊模組，並以型號 C8051F124的 MCU 為控制中心，規劃 Zigbee 堆疊中之硬體層(實體層、媒體存取控制層)與應用層間之網路層，進行資料傳輸軟硬體系統開發，藉由星狀(Star)與成對配接(peer-to-peer)之網路架構設計，利用 Zigbee 軟體系統程式之開發與應用，其原理為應用展頻通訊之技巧，以建立一個無線近身網路系統(wireless personal area network, WPAN)之行控中心，完成近身網路資料傳遞之應用，最後進行封包資料傳送系統測試，及與行車紀錄器作現場實測，以驗證所發送之封包是否符合設計以及 IEEE 802.15.4之規範。

**關鍵詞：**Zigbee、IEEE 802.15.4、UBEC、無線近身網路、MCU 單晶片。

## Abstract

In this research, we will adopt the Zigbee UZ2400 that is design by UBEC company. This wireless communication module uses MCU of model number C8051 F124 as control center. We program the network layer between the hardware ( PHY, MAC) and the application layer in the Zigbee stack. The software and hardware systems are developed to accomplish the data transfer. The designed network structure becomes the star, the tree, or the mesh network. We build up a wireless personal area network (WPAN) system for a controlling center using the principle of spread spectrum communications. Then we can accomplish the application of data transmission. The last section is identified the packet to be delivered whether match the design of IEEE 802.15.4 of standard by the field system test of the packet the data transmission with the digital vehicle recorder.

**Keywords :** Zigbee、IEEE 802.15.4、UBEC、wireless personal area network、MCU

## 1. 前言

ZigBee(802.15.4)因為低耗電、低成本的特性，使其在工業及家庭自動控制領域的應用較其他無線技術更具優勢；舉凡保全、定位、環境監測與健康照護等皆是相當適合 ZigBee 的應用。目前全球 ZigBee 市場正方興未艾，此時正是台灣業者切入之最佳時機。Zigbee 作為一種低功耗無線聯網技術，被賦予了很多期待，根據 ZigBee Alliance 所公布的 ZigBee 應用範疇，與目前實際推廣所得到業界的回應，大致可歸納出下列五大領域的應用範圍，包括：定位應用領域、自動控制領域、保全監控領域、環境監測領域、健康照護領域。

本論文中的重點在於應用達盛電子 Zigbee UZ2400模組，進行資料傳輸軟硬體系統開發，針對 Zigbee 網路架構之設計，建立一套無線網路系統，並將現有之行車記錄器整合裝置與 Zigbee 模組中之終端裝置進行封包傳送，中心協調器即可自動收集彙整當日之行車資訊，以達到設計出一套符合 IEEE 802.15.4規範之車隊行控中心應用。

## 2. Zigbee 通訊協定概論

### 2.1. 堆疊架構

ZigBee 和 IEEE802.15.4 正在快速發展，成為低資料傳輸率無線應用的標準。ZigBee 是根據 IEEE802.15.4 與 ZigBee Alliance 兩個組織所定訂之標準規範，前者屬於低傳輸率無線個人區域網路(Low-Rate Wireless Personal Area Network；LR-WPAN)，定義了硬體媒體存取控制層(Media Access Control, MAC)/實體層(Physical, PHY)兩層標準的制訂、後者針對 IEEE802.15.4型系統訂定相關的軟體，包括制定網路層、安全服務提供層、應用層及應用介面規範並負責完成互通測試。(如圖 1)ZigBee 堆疊架構所示。此 ZigBee 和 IEEE802.15.4 兩種規格的关系，我們可以想像成是 TCP/IP 和 IEEE 802.11 的關聯性。

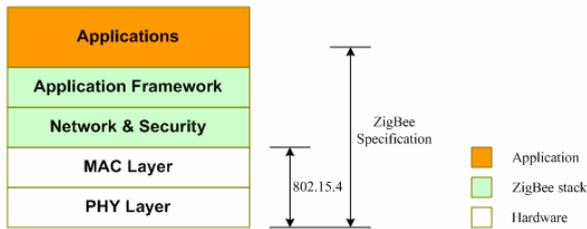


圖 1. ZigBee 堆疊架構圖

## 2.2. 網路裝置和拓撲

ZigBee 和 IEEE 802.15.4 正在快速發展，成為低資料傳輸率無線應用的標準。IEEE 802.15.4 定義了一個堅固的無線電接收 (PHY) 和媒體存取控制 (MAC) 層。ZigBee 則針對 IEEE 802.15.4 型系統，定義網路、安全性和應用框架。ZigBee 網路支援星形、網形和樹形叢集的拓撲結構。

IEEE 802.15.4 網路是由很多裝置所構成的，這樣的網路中至少包含一個網路協調者 (PAN coordinator) 和一個網路裝置 (Network device)。規範中定義了兩種類型的裝置，全功能裝置 (Full Function Device, FFD) 和精簡功能裝置 (Reduced Function Device, RFD)，全功能裝置包含所有 MAC 層指令而且可以用來操作為網路協調者和網路裝置，而精簡功能裝置沒有包含全部 MAC 層指令，只能用做網路裝置。

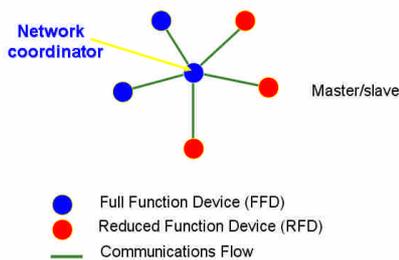


圖 2. 星狀拓撲 (Star)

IEEE 802.15.4 網路主要可以分成兩種拓撲，一種是星狀 (Star) 拓撲 (圖 2)，很多網路裝置圍繞著一全功能裝置，此全功能裝置為網路協調者，它就像個集線器 (Hub) 收集多個全功能或是精簡功能裝置當作一個資料終端機。

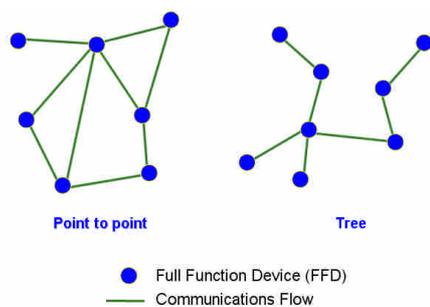


圖 3. 成對配接拓撲及叢集樹狀拓撲

另外一種主要拓撲為成對配接 (peer-to-peer) (圖 3)，網路裝置不用一定要和網路協調者連接 (當然一個網路之中一定會有一個網路協調者)，成對配接網路中的全功能裝置都可以進行多向的通訊鏈結，不過精簡功能裝置只能與全功能裝置進行通訊鏈結，因為有多向的通訊鏈結，必然很多型式的網路結構可以被允許使用，所以成對配接可以升級成更複雜的拓撲運作方式。這些較為多變複雜的網路拓撲有叢串網 (Cluster) 雜網狀 (Mesh) 和叢串樹狀 (Cluster Tree) 等形式。

## 2.3. 調變頻帶與調變方式

在實體層的規範中，本論文是使用 ISM 頻帶，中心頻率在 2.45 GHz 的規格，最高的傳輸速率為 250 kbps，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 20 kbps、40 kbps 提高到最多 250 kbps，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，2.4 GHz 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 2 MHz。

表 1. 實體層頻帶

RF Band	Frequency Range (MHz)	Data Rate (kbps)	Channel Number(s)	Geographical Area
868 MHz	868.3	20	0 (1 channel)	Europe
915 MHz	902-928	40	1-10 (10 channels)	America, Australia
2400 MHz	2405-2480	250	11-26 (16 channels)	Worldwide

## 3. 實作架構

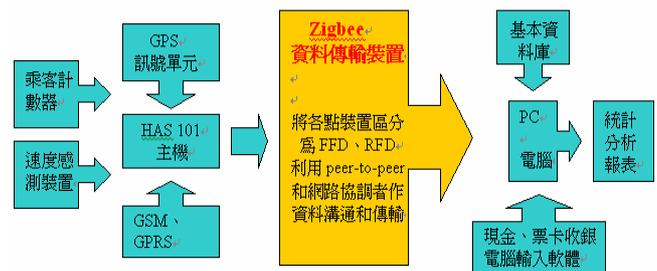


圖 4. 系統架構方塊圖

使用的 IEEE 802.15.4 的收發機 (UZ2400) 做為資料無線傳輸的射頻端，由 Silicon Lab 生產的微處理器 (C8051F124) 負責處理行車紀錄器資料之收發資料，於行車紀錄器加入無線通訊 ZigBee 之功能架構。擴增此功能後之「行車紀錄器」之系統架構 (如圖 4 所示)，其中 HAS 101 主機 (MCU 模組) 可提供大量資料處理，其周邊裝置包含 GPS 單元，GSM/GPRS 單元，乘客計數器單元與速度感測單元。本研究中加入 ZigBee 資料處理單元，以無線網路架構，將行車資訊彙整，傳遞至場站電腦伺服器。

器，以供統計分析使用。使用環境為無信標模式，但是加上了媒體存取控制層的部分功能，在符合 IEEE 802.15.4 的規範下實現資料的傳輸，並且利用協調器控制整個個人網域及擴展傳輸的範圍。

#### 4. 硬體規劃

在硬體規劃方面，本論文使用的 Zigbee 模組是由達盛電子(UBEC)所開發的 U-NET01DK，其中包含了含有 UZ2400 的 DotForce RF 模組以及含有 Silicon Lab 微處理器 C8051F124 的 Dot-MB (如圖5所示)。



圖 5. U-NET01 開發模組

##### 4.1. UZ2400 DotForce RF 模組

其中 DotForce RF Module 模組上的包含了先前所介紹的 UZ2400，可以透過板子上共14個腳位的 MCU 介面，與微處理器進行連接與資料傳輸 (如圖6所示)。

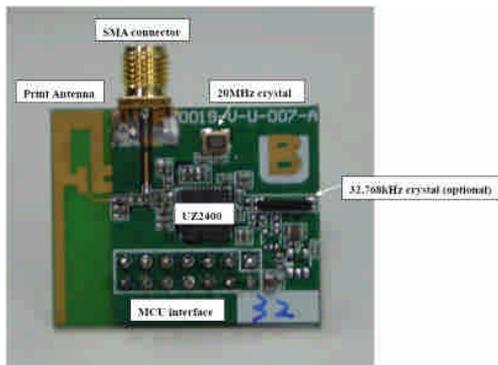
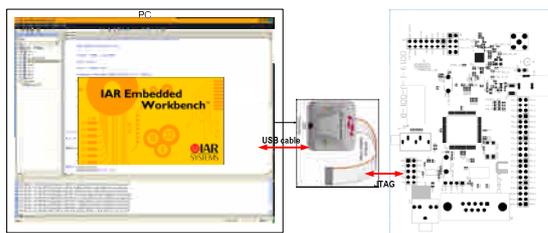


圖 6. DotForce RF模組

##### 4.2. C8051F124 微處理器



#### 圖 7. 發展環境設定

此模組中的 Dot-MB 主要含了可以利用 C 語言控制的微處理器 C8051F124、電腦程式與硬體間的 JTAG 和 RS232 介面 (如圖7所示)、外加擴充資料的 SRAM。

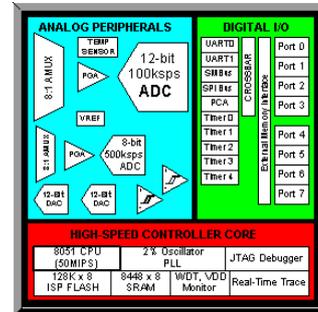


圖 8. C8051F124微處理器規格

微處理器 C8051F124 之是經由 C 語言編譯後燒錄至微處理器後進行資料的處理，在此系統中是使用 Silicon Lab 的 C8051F124 型號微處理器，處理速度為 50MIPS、12-位元的數位類比轉換與類比數位轉換，5 個 Timer 以及可以自由分配的中斷共 20 個，8448 Byte 的內部資料 RAM，128K 的快閃記憶體 (如圖8所示)。

#### 5. 軟體規劃

在軟體規劃方面，本系統所使用的軟體有兩套，一套為程式碼瀏覽器 Source Insight，其特點是可以快速的顯示出各個函式的關連性並以樹狀圖顯示出來以及用各種顏色區分不同的程式屬性類別，可以有效的提升程式碼撰寫的速度；另一套使用軟體為當程式碼撰寫完畢後，將程式碼編譯成微處理器可以執行的程式語言的編譯程式，是由 Keil Software 公司所研發出來的軟體 Keil uVision3，此程式可以透過 USB Debug 連接器與硬體連接，接程式碼燒入至 C8051F124 微處理器，也可利用此程式執行程式碼的除錯模式，設定停止點 (Break Point) 來有效的找出程式的錯誤所在，藉由編寫控制 microprocessor 之程式透過 SPI 來和 UZ2400 作溝通。

##### 5.1. PAN 的初始化與建立連線

此節為系統軟體設計流程的第一步，當硬體裝置打開後，程式會先將 UZ2400 以及微處理器 C8051F124 初始化，協調器必須在個人網路範圍內選定好所要使用的頻道，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成員後，再進行網路的連線。(如圖9所示)

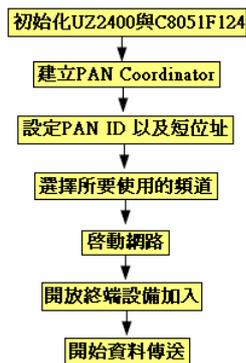


圖 9. 程式建立網路流程圖

## 5.2. 協調器與裝置的傳送與接收機制

- Coordinator 向 End Device 傳輸資料

1. 直接傳輸: PAN 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給 Coordinator。

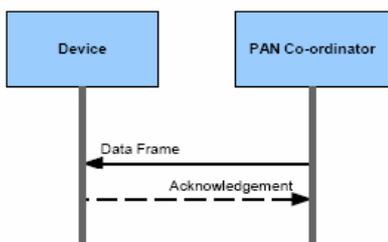


圖 10. Coordinator 向 End Device 直接傳輸資料

2. 間接傳輸: Coordinator 可以將資料保存起來等 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。

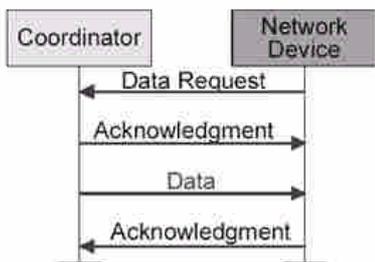


圖 11. Coordinator 向 End Device 間接傳輸資料

- End Device 向 Coordinator 傳輸資料

End Device 通常向 PAN Coordinator 直接發送資料, Coordinator 接到資料後可以發送確認消息。

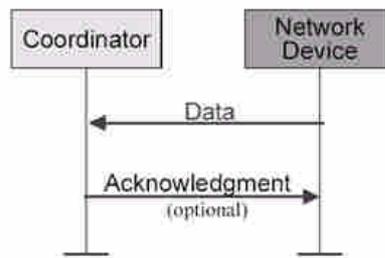


圖 12. End Device 向 Coordinator 傳輸資料

## 6. 實驗測試與數據

### 6.1. 使用 Seeker 軟體驗證無線通訊傳輸

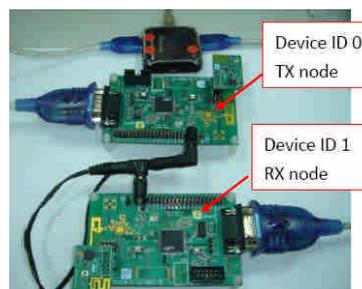


圖 13. 硬體設定

本實驗希望透過使用硬體 U-NET01D K(如圖 13所示)以及軟體「Seeker」(如圖 14所示)來模擬點對點的無線傳輸。

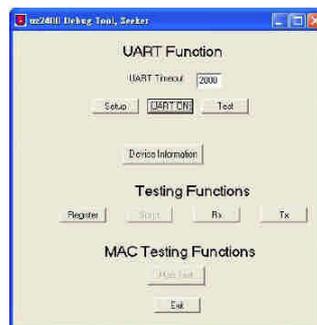


圖 14. Seeker 軟體設定

經由 Seeker 軟體來對硬體作設定, 首先測試檢查硬體連接 UART 是否正確, 接著設定 Zigbee 裝置資訊, 包括 PAN ID、短位址, 以及所要使用的頻道等, 再來是傳送端的設定(如圖 15所示), 在此可以分別對協調器 (Coordinator) 以及終端設備 (enddevice), 再選擇以「信標模式」或「非信標模式」來進行相關之設定, 最後是接收端之設定, 可在其得到成功接受到的封包各種資訊(如圖 16所示)。

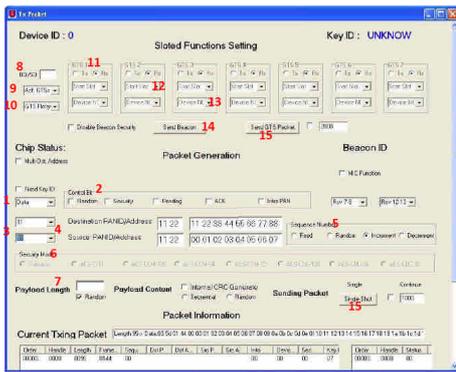


圖 15. Seeker 軟體 TX 設定

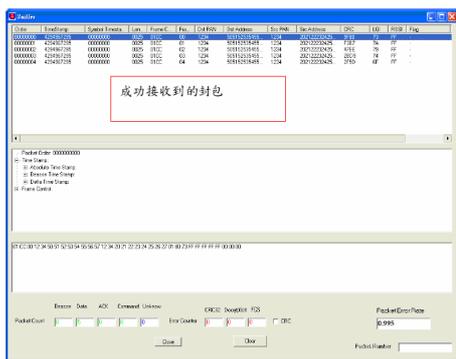


圖 16. Seeker 軟體 RX 設定

## 6.2. 系統測試與分析

系統測試是使用 MicroChip 所出的 sniffer 硬體 (如圖17所示) 與軟體 ZENA (如圖18所示), 此軟體可以監視 IEEE 802.15.4 規範下的無線網路中, 各種封包傳送狀態, 我們可以利用此程式來驗證所發送的封包是否符合設計以及規範。



圖 17. MicroChip sniffer 硬體

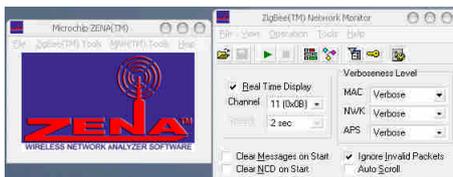


圖 18. ZENA 軟體

## 6.3. 實際應用系統架構及現場實測結果

圖19所示為本研究提案所規劃之現場架構, 黃色方塊表示為 Full function device(FFD), 綠色方塊

表示為 reduced function device(RFD), 當行車紀錄器與 Zigbee 模組整合於一公車載具之後, 透過 Zigbee Peer-to-peer 的架構, 將每一台公車資訊傳遞回場站後台電腦裝置, 進行大量資料彙整與事後之統計分析處理, 如此可有效節省人力與時間, 提高客運業者營運自動化的功能與架構。

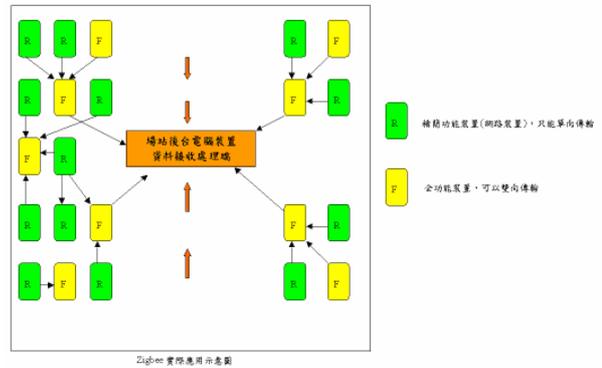


圖 19. Zigbee 實際應用系統架構圖

實際測試地點選在亞通客運, 測試方式則是於車上安裝 PA 裝置的 Zigbee 模組, 當作發射端, 另連接電腦觀看傳送資料的過程是否有無漏封包。另外於場站內安置相同裝置, 當做接收端, 同時也利用電腦來觀看接收的封包是否有無漏封包(如圖20所示), 更可以計算出傳送我們所需資料量的時間是多少。



圖 20. Zigbee 模組實際運行圖

在車上放置 PA Power 的 Zigbee Module(如圖16), 第一次傳送5000筆的資料, 每一筆資料約為125byte, 所以共625kbyte。

於場站內架設接收端, 開始接收第一次的傳送, 大約花50sec。第二次傳送資料為15000筆, 大約為1.8MByte 的資料量, 距離大約為25~30公尺, 實測時間為3分鐘內, 做出的資料封包傳送實驗結果(如圖21)。

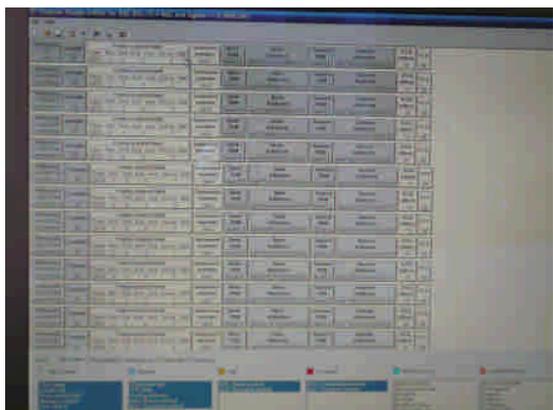


圖 21. Zigbee 資料封包傳送過程圖

## 7. 結論

根據本研究所提出的裝置與協調器傳送機制，使用 UBEC 提供的 U-NET01開發模組套件，利用 C 程式語言撰寫各個函式與中斷分配後，從實際測試得證，確實可以在 IEEE 802.15.4 的規範下實現數位行車資料傳輸，車子只須開與站內的範圍傳送範圍之內，即可自動建立網路傳輸資料，可以有助於往後使用者應用時的基本依據，快速且自動傳送各車種之行車動態資訊，達到即時(real time)之訊號處理功能，經由兩個方面的討論，一為傳送封包之期間過長，會因為隨著時間累積而使網路更為擁塞，而導致協調器遺漏掉剩餘裝置所發送的封包，進而會使得系統當機，故須儘量增加各封包之傳輸量，以使其能在短時間之內傳輸完畢，另一方面車子與接收站之距離須在100公尺以內，若需加長傳輸距離，可加設外接式天線裝置，或者使增加功率增加，即可達到將近700公尺，但增加功率將會抹殺掉 Zigbee 省電、低功率之優點，故用途僅用於行車站內資料收集，使用 Zigbee 這種低功率消耗的短距離無線通訊協定，即可達到最低成本之用途。

## 8. 參考文獻

- [1] "IEEE Std 802.15.4-2003," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1 October 2003.
- [2] Shan, Q., Liu, Y., Prosser, G, Brown, D., "Wireless intelligent sensor networks and Systems Symposium, Vol.2, pp.525-528, 31 May-2 June, 2004.
- [3] S. A. Gronemeyer and A. L. McBride, "MSK and offset QPSK modulation", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-24, no. 8, August. 1976.
- [4] C. G. Lee, "Design and Implementation of IEEE 802.15.4/Zigbee Media Access Control", National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, 2005.
- [5] T. H. Tsai, "Role Switching Scheme in IEEE 802.15.4 Mobile Ad Hoc Network", National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, 2005.

- [6] Simon Haykin, "Communication Systems", 3<sup>rd</sup> Edition.
- [7] C8051F 系列單片機開發與 C 語言編程, 童長飛, 2004年4月, 北京航空航天大學出版社
- [8] Keil Cx51 V7.0單片機高級語言編程與  $\mu$ Vision2 應用實踐, 徐艾鈞、彭秀華, 2004年5月, 電子工業出版社
- [9] 無線區域及個人網路-隨意及感測器網路之技術與應用, 曾煜棋、潘孟鈺、林致宇, 2006年12月, 知城圖書出版

## 9. 致謝

本計劃是由國科會大專學生參與專題研究計劃 NSC96-2815-C-150-019-E 所支持。