

無線感測網路之通訊協定與應用前景

國立交通大學資訊工程系 / 蔡佳宏、曾煜棋 教授

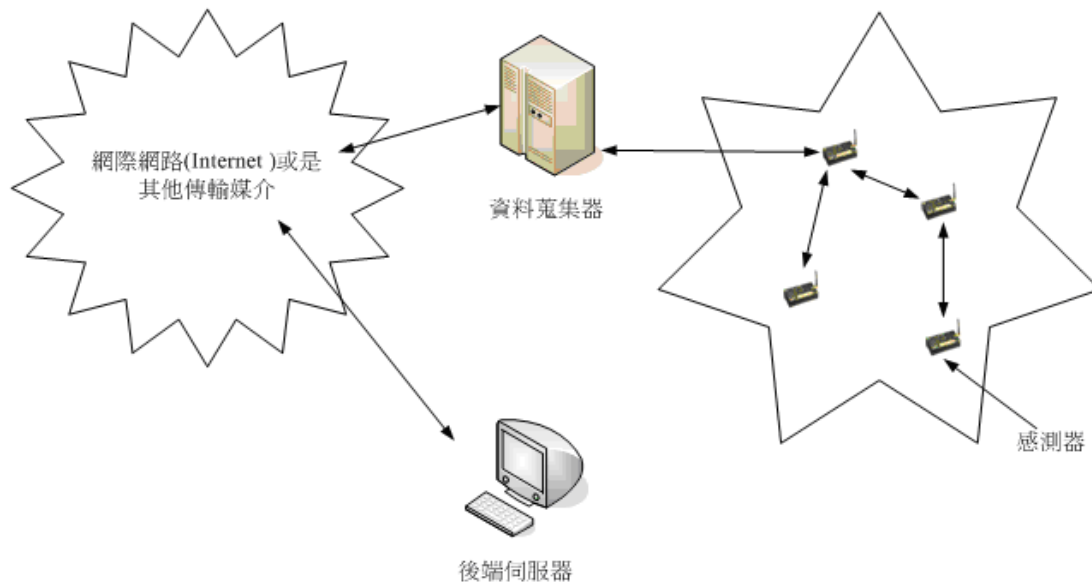
壹、無線感測器網路簡介

由於近來微型製造的技術、通訊技術及嵌入式處理技術的迅速提升，促使微小的電子裝置可以內嵌精密感測、計算及通訊等多樣化功能。此類感測器不但能偵測及感應環境的變化，更能分析所蒐集到的資訊，且透過無線通訊的功能將資料傳回至後端的 PC 終端機。

近年來眾多研究單位以及產業界人士相當看好這類微小裝置的未來前景以及其所能夠發展之應用，而其中當屬微型無線感測器(Wireless Sensor Network)最受大家注目。由於感測器的硬體設計以成本、體積與耗電為主要考量，因此在無線感測器網路中，裝置節點本身所配備之電源、記憶體以及運算能力均受到極大的限制，因此無線感測器網路是被歸類為一個以任務導向的應用網路型態。

一般無線感測器網路系統架構如圖一所示，首先將大量的感測器(Sensor Nodes)散佈在待感測區域來蒐集各種環境資料，再藉由無線網路將蒐集的資訊透過無線資料蒐集器傳回給管理者或使用者手中。由於感測器可能在任意散佈的環境下使用，每個感測器並不知道自己與其他感測器的相對位置，因此感測網路必須使用自我組態(self-organization)的協定，將感測器之間自動組織出一個通訊網路，使得所有感測區域中的感測資料皆能透過自我組態所建立的網路，將資料送到無線資料蒐集器。

在本文中，我們將會針對無線感測器網路所用的無線傳輸技術，以及現今已發展的無線感測器網路之應用做介紹。



圖一·無線感測網路系統基本架構

貳、IEEE 802.15.4

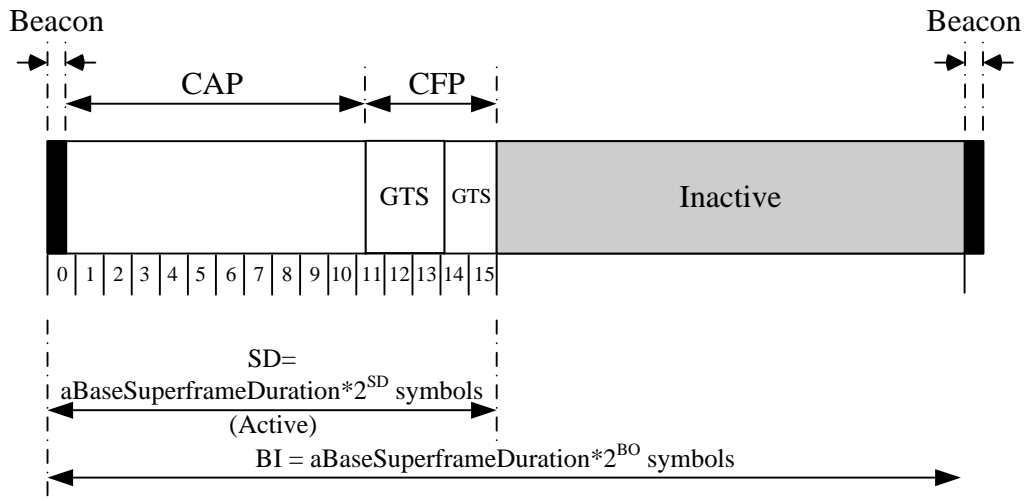
在本節中，我們將簡介 IEEE 協會新推出的一個支援短距離、低功率傳輸的一套協定 IEEE 802.15.4(又稱 LR-WPAN, low-rate wireless personal and network)，IEEE 802.15.4 被認為可以作為支援無線感測器間通訊的一套規範。

在 IEEE 802.15.4 網路中，一個裝置可以是一個簡化功能裝置 (Reduced-Functionality Device; RFD) 或是一個全功能裝置 (Full-Functional Device; FFD)。全功能裝置可使用於任何網路拓撲，它可能與任何其他裝置通訊，並可成為網路協調者 (PAN Coordinator)；簡化功能裝置不能成為網路協調者，且通常僅和一個全功能裝置通訊，但是簡化功能裝置在實作上很簡單且價格較便宜。通訊於同一實體層頻道中的一個個人操作空間 (Personal Operating Space; POS) 內的兩個或是兩個以上的裝置會構成一個無線個人區域網路 (Wireless Personal Area Network; WPAN)，但是一個網路中必須包含至少一個全功能裝置以作為個人區域網路之協調者。

LR-WPAN 制訂了三種不同的頻率操作頻帶，共 27 個無線頻率頻道。這三個頻帶分別為 868 MHz、915 MHz、以及 2.4 GHz，其中 915 MHz 和 2.4 GHz 頻率操作頻帶屬於免執照的工業、科學和醫學用頻帶。

而以下將對此規範中之資料鏈結層協定做一個簡單的介紹。

一、Superframe 架構



圖二、IEEE 802.15.4 的 Superframe 架構示意圖

在 LR-WPAN 的規範中，Superframe 的格式是由網路的協調者來定義的。Superframe 的時間長短就是為協調者所發出的 Beacon 時間間隔(Beacon interval)，一個 Superframe 可以再細分為活動區間(Active portion)跟閒置區間(Inactive portion)，而活動區間又可以再細分為 16 個小的相同大小的時槽，並且這 16 個時槽又可以分為競爭區間(Contention-Free Period; CFP)以及免競爭區間(Contention-Free Period; CFP)，協調者只在活動區間和個人區域網路中的裝置互相收送資料，而在閒置區間則可以進入省電模式以減少電源消耗。對於協調者以外的裝置來說，它們在沒有資料要傳送時可以進入省電模式。Superframe 示意圖如上圖二所示。

Beacon 訊框在第一個時槽傳送，如果網路協調者不希望使用 superframe 也可以不傳送 Beacon 訊框。Beacon 訊框的目的有裝置同步、宣告 PAN 的存在、通知網路中的其他節點告知有暫存的封包存於網路協調者以及告知 superframe 的結構。當任何裝置欲在競爭區間跟協調者溝通必須使用時槽型之 CSMA/CA 的機制來爭取傳送的機會。如果有些應用必須要保障較低的延遲時間或是要求固定的傳輸速率，網路協調者亦可以給予一個固定時槽(Guarantee Time Slot; GTS)供這些應用程式使用。免競爭區間是由數個 GTSs 組成，一個網路協調者最多可以分派七個固定時槽，而每個固定時槽的大小可以是數個時間槽。

Superframe 的結構由 Beacon 訊框中包含的資訊來決定，Beacon Order(BO)決定 Beacon 發送的間隔，而 Superframe Order(SO)則決定活動區間的長短，SO 及 BO 的值皆為 [0, 14] 間之整數，且 $SO \leq BO$ 。當 $SO=15$ 時，代表不使用 superframe 的架構。如果裝置有要求要使用固定時槽傳輸資料並且亦通過協調者的同意，在 Beacon 訊框裡亦會告知裝置他們可以使用的固定時槽。

二、資料傳輸模型 (Data transfer model)

在 LR-WPAN 中共定義了三種資料傳輸的模型:1) 資料由裝置送給網路協調者, 2) 資料由網路協調者送給裝置, 3) 資料於裝置間對等傳輸(Peer-to-Peer)。星狀拓撲網路的資料傳送方式只有可能是前兩者;對等拓撲網路的資料傳送方式則三種者有可能。在 LR-WPAN 中採用的媒體存取方法是 slotted/unslotted CSMA/CA 通訊協定, 在星狀拓撲網路中若協調者有傳送 Beacon 訊框(Beacon-enabled 的網路, 用以支援需要等待潛伏時間的裝置和應用)則收送資料時用 slotted CSMA/CA 通訊協定, 反之則用 unslotted CSMA/CA 通訊協定;對等拓撲網路則可以簡單的使用 unslotted CSMA/CA 通訊協定, 如欲使用 slotted CSMA/CA 通訊協定則必須在收送裝置兩端間先達到同步才可以辦到。以下就開始對三種資料傳輸模型做一介紹。

(1) 資料由裝置送給網路協調者

資料由裝置送給網路協調者的流程主要是用兩向交握(two-way handshaking)的方法, 送端用 slotted/unslotted CSMA/CA 通訊協定送資料給網路協調者, 接下來網路協調者回以回覆(ACK)訊框(非必須的, 使用時則為兩向交握的方法)。

(2) 資料由網路協調者送給裝置

不同於上述之方式, 資料由網路協調者送給裝置是以四向交握(four-way handshaking)的方式傳輸, 收端裝置要先發個命令訊框訊息向網路協調者要資料, 網路協調者再回以 ACK 訊框後會將暫存的資料傳送給收端裝置(如果沒暫存資料則回一個空的資料, 即 payload 長度為零的訊框給收端裝置), 收端裝置再回以回覆訊框。

在 Beacon-enabled 的網路中, 當網路協調者要送一筆資料給裝置時, 網路協調者會在發出去的 Beacon 裡頭夾帶訊息告知該裝置;而在非 Beacon-enabled 的網路中, 裝置必須要定期的問協調者有沒有資料要給他。

(3) 資料於裝置間對等傳輸

在對等的 WPAN 中, 每個裝置可能直接和傳輸範圍內的其他裝置進行通訊。為了要能更有效率的傳輸資料, 想要傳輸資料的裝置則要一直保持活動(active)模式不斷等待接收資料, 或是要彼此間能夠同步。在前者的例子中, 裝置可以簡單的使用非時槽型的 CSMA/CA 機制去傳送資料, 而在後者的例子中, 如何達到同步則超出 LR-WPAN 標準制訂的範圍。

三、CSMA/CA 機制

LR-WPAN 依據網路的設定使用兩種型態的頻道存取機制, 其一為非時槽型之 CSMA/CA, 另一種為時槽型之 CSMA/CA。

非時槽型之 CSMA/CA 類似於 IEEE 802.11 的 CSMA/CA。每當一個裝置有資料訊框或是命令訊框要傳送時，它必須等待一個隨機產生的亂數期間，當等待時間結束後，如果這時頻道沒有被使用，根據 random backoff 機制，該裝置可以開始傳送資料；如果這時頻道是忙碌的，根據 random backoff 機制，該裝置在嘗試去使用頻道前必須再次等待另一個隨機產生的亂數期間。

而使用於 Beacon-enabled 網路裡之時槽型 CSMA/CA 機制則較為不同，當裝置們收到網路協調者所發出的 Beacon 後，他們會將退後時槽(backoff slot)對準 Beacon 發出的時間。在競爭區間中每當一個裝置有資料訊框要傳送時，它必須先找出下一個退後時槽的起始邊界，然後等待隨機產生的若干個退後時槽時間，當等待的時間結束後，如果這時候頻道是忙碌的，根據 random backoff 機制，該裝置必須再次等待另一隨機產生的若干個退後時槽時間；如果這時頻道沒有被使用，則裝置可在下一個退後時槽的起始邊界開始傳送資料訊框。

參、無線感測網路的應用

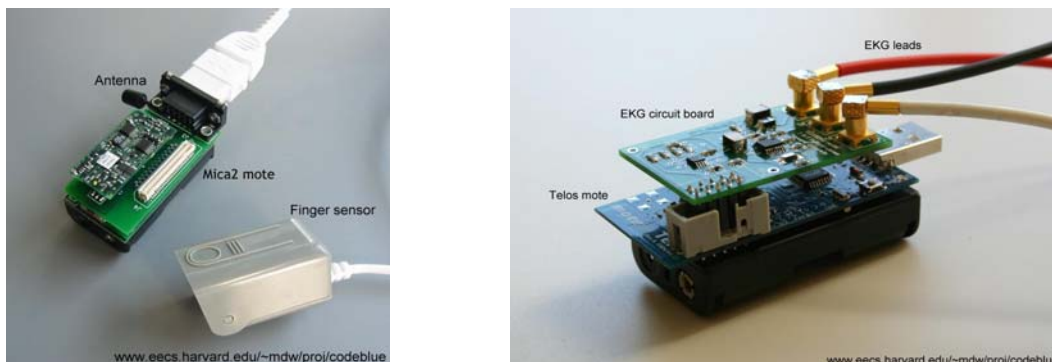
無線感測器網路的應用範圍十分廣泛，許多國內外的研究機構與廠商紛紛投入發展的行列。在本節中，我們將提出與生活或醫療上較有相關性的應用，它們是將無線感測網路帶入人類的生活中的最佳例子。

一、CodeBlue [3]

美國哈佛大等與其他研究單位共同合作開發出來的平台 CodeBlue，是一套利用無線感測器網路技術，達到遠距醫療看護的系統，無論病患在醫院內或在家中，都能達到醫療照顧的功效。

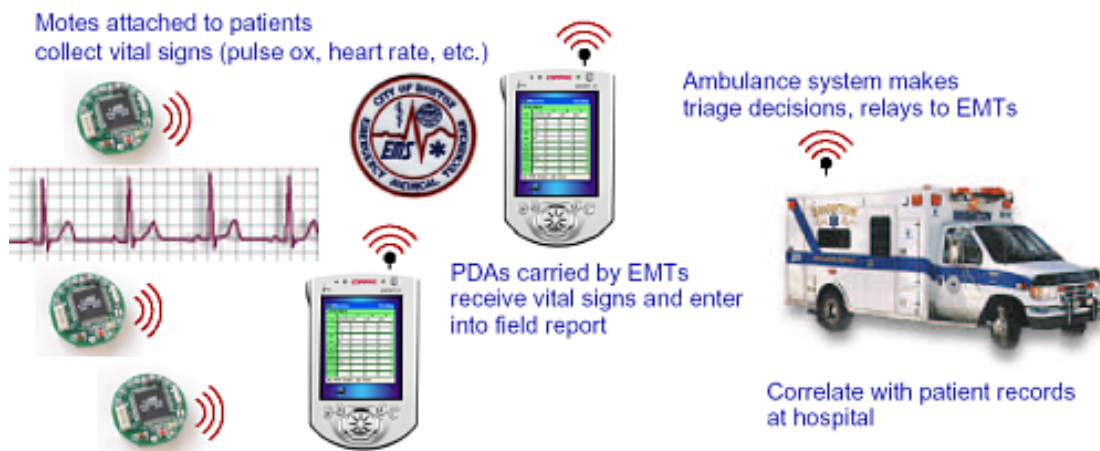
CodeBlue 利用無線感測器來感測資料，且整合 PDAs、PCs、以及其它可以用來監控病患的醫療設施，更透過無線感測器網路，進一步將蒐集的資訊傳回醫院的資料蒐集端，使病患有一完整的醫療記錄，達成長期醫療資料收集與觀察。

CodeBlue 研發團隊已開發出極小且可穿戴的無線感測器(Wireless pulse oximeter sensor and 2-lead EKG(electrocardiogram) based on the Mica2, Micaz, and Telos sensor node platforms)，如圖三所示。



圖三、左圖為 *Wireless pulse oximeter sensor*，而右圖為 *Wireless two-lead EKG*

這些感測器可以收集心跳速率(heart rate)及氧氣飽和率(oxygen saturation)等資訊，利用 CodeBlue 系統所提供的路徑(routing)及命名(naming)，透過無線感測器網路，將蒐集的資料傳回到 PDAs 等終端機。如此，這些資訊便能即時地顯示於終端機上，並即時地和病患醫療記錄做整合。當這些感測器量測到脈搏、呼吸、體溫、血壓等讀數不正常時，會自動引發警告事件，發出聲響，並將這些不正常的讀數變化通報臨近的醫療單位做出適當的因應措施。而下圖四為一個 CodeBlue 的應用例子。



圖四、CodeBlue 之應用

二、SmokeNet [5]

美國加州柏克萊大學正在進行一個 Fire Information and Rescue Equipment 的專案計畫。此專案為一套改善現今消防救災系統的平台，利用無線感測器網路回報所感測的資訊，搭配其自行開發之 FireEye 防火面罩，能動態地得知火場蔓延狀況，並自動地計算出正確且安全疏散路徑。此專案主要由三個子專案所組成：FireEye、SmokeNet、及 eICS。其中 SmokeNet 主要由無線感測網路所組成，以下我們對 SmokeNet 進一步介紹。

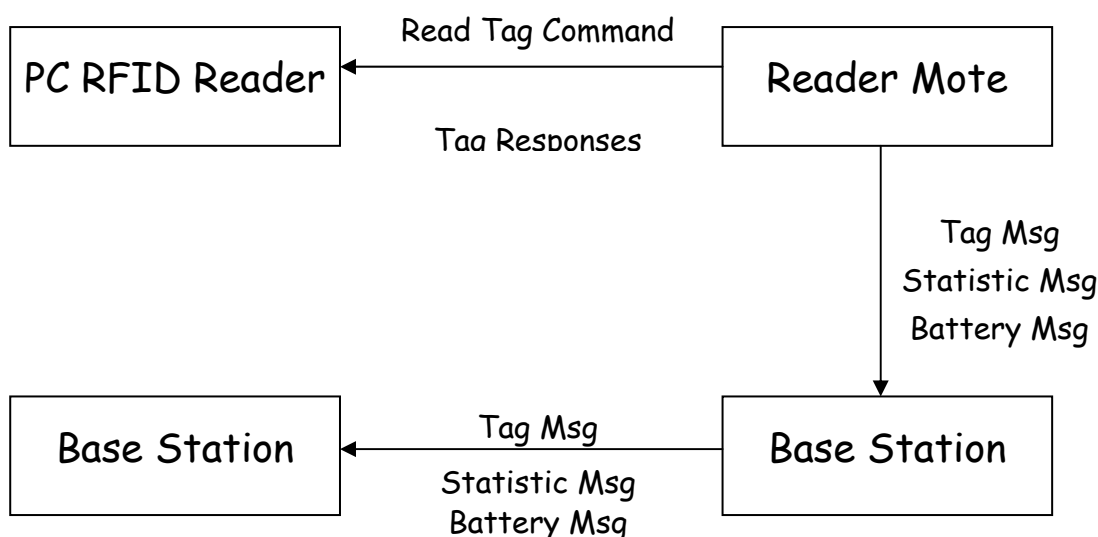
SmokeNet 為一個動態的無線感測網路，由四種不同的無線模組所組成：smoke detector、spotlight、消防員(firefighter)、和 eICS，其中因為 eICS 為硬體部分，不在此文章探討範圍內，在此便不加以撰寫。

每種不同的模組都有不同的功能：smoke detector 感測模組可以偵測室內的溫度變化及火場濃煙情形，由煙霧及溫度感測器所組成；spotlight 模組為三個 LED 燈所組成，主要裝設於房間的出入口或出口通道，當消防人員或居民欲進入時，能以視覺上的訊號來通告緊急訊息；消防隊員(firefighter)是具備有行動能力的，每位消防隊員上都攜帶有一個 Telos Mote、一個小型可穿戴的電腦、及一個

FireEye 消防員防火面罩。

當消防隊員進入一個裝設有 SmokeNet 的大樓時，SmokeNet 能提供識別及位置資訊給消防隊員，且能經由無線感測網路傳達其他消防隊員的位置資訊及火場位置資訊。而消防隊員身上所穿戴之無線感測器更能隨時監控消防隊員的心跳速率及救災現場的氧氣濃度，並且將此資訊傳達給其他的消防隊員。這些透過無線感測網路傳達至消防隊員的訊息，或者由消防隊員身上穿戴的感測器所感測到的訊息，都能被呈現在 FireEye 防火面罩上，藉此能讓消防人員更正確地掌控救災現場，除了加速救災確保居民安全外，同時也能維護救災人員的安危。

三、Elder Healthcare [4]



圖五、Elder Healthcare System Prototype

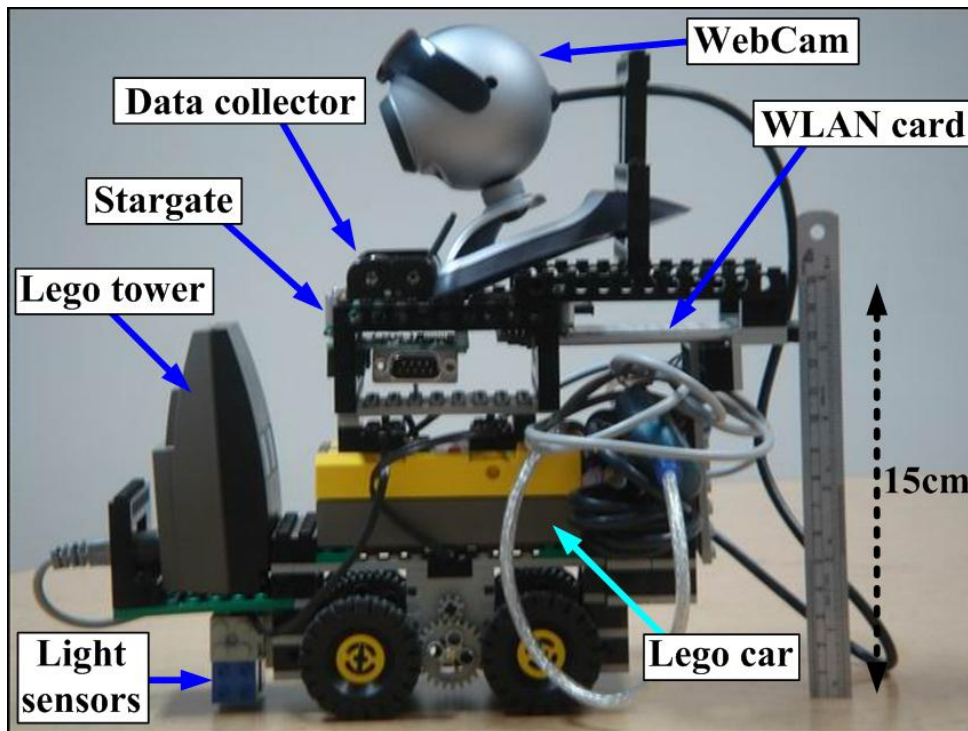
RFID 為目前業界發展極為迅速的技术產品，Loc Ho 等人便提出一套由 RFID 結合無線感測網路所形成的一套居家老人照顧系統。

此套系統利用 RFID 辨識物品的功能加上無線感測器網路的資料蒐集與分析，達到監控居家老人定期服用藥劑的功能。首先，先藉由 HF RFID reader 和 HF RFID tag 來辨識不同的藥品名稱，並且每一個藥袋上都裝有一個重量感測器，如此便能正確地控制居家老人的藥量，當居家老人不小心記錯該食用之藥量時，此系統能即時透過重量感測器所蒐集到的資料，並加以分析藥量正確與否，進而立即發出警告聲響。

而此系統除了居家老人的藥量控制外，每一個居家老人身上皆穿戴有一個 UHF RFID tags，如此便能透過 UHF RFID reader 監控居家老人的行蹤，而且服用藥劑的時間一到，若重量感測器所回報的資料不正確時，當 UHF RFID reader 一偵測到居家老人的標籤時，便會立即發出警告聲響來告知居家老人。而上圖五為此系統的系統模組概觀。

四、iMouse [7]

交通大學資訊工程系亦開發了一套行動無線感測網路系統，該系統除了具有無線感測網路之外，並配有無線感測車，車上搭配有感測器及數位攝影機。該系統將感測網路與行動巡邏概念結合在一起，可應用於家庭保全之中。下圖六為交通大學所開發之行動感測車。



圖六、行動感測車

肆、結論

在本文中，我們對無線感測器網路做了一個簡單的介紹，同時簡介了其無線傳輸資料鏈結層協定(IEEE 802.15.4 MAC layer)，以及學術界在無線感測器網路上一些簡單的應用。除了醫療生活的應用外，國內外的研究單位也有許多其他無線感測器網路的相關應用持續地發展中，其應用範疇涵蓋了商業、軍事、教育與工業等諸多方面。而隨著微機電整合及嵌入式處理技術的迅速提升，感測器的感測能力和運算能力不斷的進步，使得由小而精巧的無線感測器所建構之網路有無限的想像空間。

伍、參考資料

- [1] IEEE Standards Department, “IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific requirements-Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs),” October 1, 2003.
- [2] TinyOS Community Forum. An open-source OS for the networked sensor regime. Web site: <http://www.tinyos.net/>.
- [3] CodeBlue: Wireless Sensor Networks for Medical Care, Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue/>.
- [4] L. Ho, Z. Walker, and M. Moh, “A Prototype on RFID and Sensor Networks for Elder Healthcare,” *Proceedings of ACM Workshop on Experimental Approaches to Wireless Network Design and Analysis*, in conjunction with *ACM SIGCOMM 2005*, Philadelphia, PA, Aug 2005.
- [5] FIRE, “Fire Information and Rescue Equipment,” <http://bmi.berkeley.edu/fire/>.
- [6] Crossbow Inc., “Micaz ZigBee Series,” <http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?sid=62>
- [7] Y. -C. Tseng, Y. -C. Wang, and K. -Y. Cheng, “An Integrated Mobile Surveillance and Wireless Sensor (iMouse) System and Its Detection Delay Analysis”, *ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), 2005*, pp. 178 - 181.