

無線感測網路介紹與溫度感測網路製作

劉宏煥、林世儀

私立中原大學電子工程系

hhliu@cycu.edu.tw

摘要

目前無線網路技術有 WiFi、藍芽、ZigBee 等，其中 ZigBee 的通訊協定為 IEEE802.15.4，低速率無線個人區域網路(LR-WPAN)，其低成本、低傳輸速率、短距傳輸之特性與無線感測網路(Wireless Sensor Networks, WSNs)相當相似，因此非常適用於感測網路上。本論文，針對無線感測網路以及 ZigBee 相關背景、發展趨勢做介紹，並利用 ZigBee 的無線感測模組實際測試，詳述感測模組的運行原理，進一步能發展更多的應用。

關鍵詞：Zigbee、IEEE802.15.4、無線感測網路

Abstract

Wireless network technology has been developed by WiFi, Bluetooth, Zigbee etc, and the communication protocol of Zigbee is IEEE802.15.4, which is a kind of low rate Wireless Personal Area Network, (LR-WPAN). It has some characteristic such as low cost, low data rate, short transmitting range, which are very suitable to use on the Wireless Sensor Networks (WSNs). In this paper, we make a survey of WSN and some related work about Zigbee. A test on Zigbee Sensor Network module is performed and the principle of how they work is explained in this paper. Then, we can use this to develop more useful applications.

Keywords: Zigbee、IEEE802.15.4、Wireless Sensor Networks (WSNs)

I. 前言

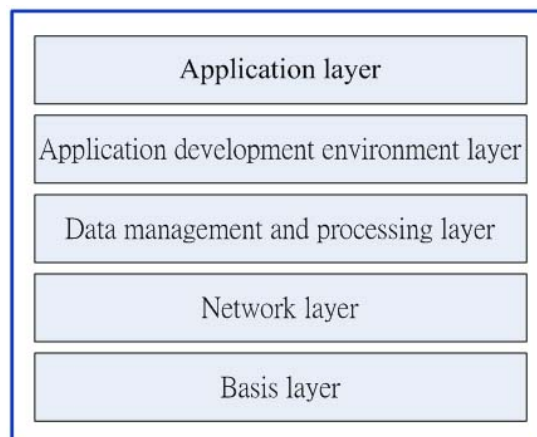
現在無線通訊在每個家庭的生活中扮演著越來越重要的角色，低功耗、微型化是使用者對目前無線通訊產品以及便攜產品的強烈追求，因此短距離無線通信正逐漸引起越來越廣泛的注意。短距離無線通訊的標準結構包括兩部分：第一部分為實體層 (Physical Layer) 和資料鏈結層 (Data Link Layer) 協定，由 IEEE802.15 標準系列定義；第二部分包含網路層及安全層等上層協議由各自聯盟開發。大致上來說，短距離無線通訊技術分為高速短距離無線通訊和低速短距離無線通訊兩類[1]。高速短距離無線通訊最高傳輸速率大 100Mbit/s，通訊距離低於 10m，典型技術有高速 UWB、WirelessUSB；低速短距離無線通訊的最低傳輸速率小於 1Mbit/s，通信距離低於 100m，典型技術有

本研究由國科會經費贊助，計畫編號
NSC 95-2627-E-008 -002

Zigbee、低速 UWB、Bluetooth。在現有的無線網路中，IEEE 802.15.4 低速率無線個人區域網路其架構與理念最近似於無線感測網路，因此是目前最適合運用在感測網路實體層與資料鏈結層的規格。在第二節將介紹感測網路的架構，第三節呈現無線感測模組與實驗，第四節為結論與未來展望。

II. 感測網路架構與介紹

在無線感測網路的功能架構上，我們將以概念上的級別來對無線感測網路的功能架構做說明。圖一為無線感測網路的協定架構分為五層[2]。



圖一、無線感測網路的協定架構

在第一層基礎層之中，主要是以感測器集合為核心，包括每個感測器的軟體、硬體資源，如感測元件、嵌入式處理器與儲存器、通訊元件、嵌入式作業系統、嵌入式數據庫系統等。而基礎層的功能包括監測感測對象、收集感測對象的訊息、傳輸發佈感測到的訊息以及初步的訊息處理等。網路層則是以通訊網路為主要核心，實現感測器與感測器、感測器與基地台之間的通訊，支援整體的感測器協作完成大型感測任務。網路層包括通訊網路、支援網路通信的各種協定和軟、硬體資源。數據管理及處理層主要以感測器數據管理與處理軟體為核心，包括支援各種感測數據的收集、儲存、查詢、分析等各種數據的管理和分析處理的軟體系統，而有效的支援這些感測收集的數據，為控制者的決策提供有效的幫助。應用開發環境層主要是由感測網路中各種應用軟體系統所組合而成的，目的是為使用者能夠在基礎層、網路層、數據管理及處理層的開發上，提供各種軟件的開發環境及工具。

根據感測器及基地台的移動性,感測網路架構也可分為靜態(Static)及動態(Dynamic)兩大種類。在靜態感測網路中,感測器及基地台皆不移動,而靜態環境中最佳化所消耗的能量通常遠小於網路最佳化後所降低的能量損耗,因此是非常適合進行最佳化網路的結構,此外靜態感測網路的最佳化演算法通常並不複雜,因此所需額外消耗的能量也較少[3]。另一方面,在動態感測網路的最佳化演算法則是相當複雜,並且其所消耗的額外能量也較多,同時當網路架構改變後,網路常需再次進行最佳化,此時不但網路的偵測功能暫停且必須消耗額外能量,因此在動態感測網路進行最佳化時則必須與總消耗的額外能量加以比較考量。而不論是靜態或動態的感測網路架構,資料融合(Data aggregation)都是節省能量所必須要的機制,資料融合主要將多個相同或類似的資料合併成單一資料,藉以刪除重覆或冗餘的資料,用以降低資料的大小,進而達到省電的目的。而為能進行資料融合,一定數量的鄰近感測器會形成一個小組進行資料融合。更進一步,多個群組可能再組成更大的群組來進行資料的融合,而感測網路的拓撲架構如階層式架構、叢集式架構、鏈狀式架構、樹狀式架構等便因應而生。

2.1 IEEE 802.15.4

在 IEEE 802.15 的規格內共有四個工作群組。而它們之間主要以能量損耗、資料傳輸速率以及服務品質(Quality of Service, QoS)等特性來做區別。每個工作群組主要為:

- TG1: 藍芽無線個人區域網路(WPAN/Bluetooth Task Group),它是一個中等級傳輸速率的 WPAN,目前的應用非常多,手機與 PDA 以及電腦設備之間的通訊上都可發現。
- TG2: 共存式個人無線區域網路(Coexistence Task Group),主要是為了提供 IEEE 802.15.1 與 IEEE 802.11 相容機制的通訊協定。
- TG3: 高傳輸速率無線個人區域網路(WPAN High Rate Task Group),主要應用在各項多媒體方面,並且需要較高的傳輸速率與服務品質。
- TG4: 低傳輸速率無線個人區域網路(WPAN Low Rate Task Group),具有低傳輸速率以及低能量消耗和便宜的特性,而這些特性便是它符合感測器網路的重要因素。

目前的 IEEE 802.15.4[4]低速率無線個人區域網路與無線感測網路架構與理念近似,因此是目前最適合運用在感測網路上的規格,其特性及介紹如下:

- 操作頻帶共有三種選擇:
 - (1) 在 2.4 GHz ISM 頻帶中有 16 頻道,傳輸速率為 250Kbps。

- (2) 在 915 MHz ISM 頻帶中有 10 頻道,傳輸速率為 40Kbps。

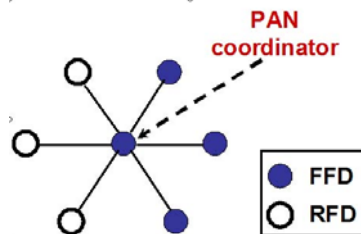
- (3) 在 868 MHz ISM 頻帶中有 1 頻道,傳輸速率為 20Kbps。

- 利用 IEEE 802.11 CSMA/CA 方式競爭溝通。
- 支援低延遲設備。
- 支援六十四位元延伸位址與十六位元短位址。
- 資料鏈結層中的回應封包(ACK)的使用是有可選擇性的。
- 拓撲架構中,可選擇使用點對點(Peer to Peer)、星狀(Star)或者是叢集樹狀(Cluster Tree)。
- 使用低能量消耗。

IEEE 802.15.4 的網路中,定義了兩種裝置,第一種為全功能型裝置(Full Function Device, FFD)另一種為精簡功能型(Reduced Function Device, RFD),全功能型裝置在網路中除了可與全功能型裝置通訊,亦可與精簡功能型裝置做通訊,擁有協調的功用;但精簡型裝置只允許與全功能型做通訊。

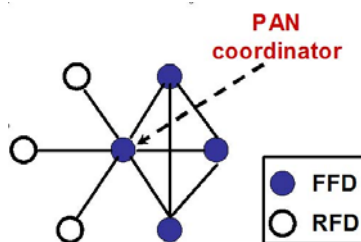
根據不同的應用需求,節點可以操作於兩種拓撲:星狀拓撲(star topology)圖二,點對點拓撲(end-to-end topology)圖三。

星狀拓撲由一個協調者與其他裝置所組成,此協調者又稱做(PAN Coordinator),節點的通訊須經由協調者處理,由於處理控制問題需要較多能源,因此可使用連接式電源,而一般裝置僅需使用電池。例如:個人電腦的周邊設備,家庭自動化等。



圖二、星狀拓撲

另一種拓撲為點對點拓撲,由一個協調者與其他裝置組成(包含全功能型裝置,以及精簡功能型),若為非協調者的全功能型裝置,亦可與其他裝置溝通,此種網路可以相互連結擴展成為網狀網路拓撲或叢聚式網路拓撲,並且節點藉由多重跳躍的方式傳送資訊。



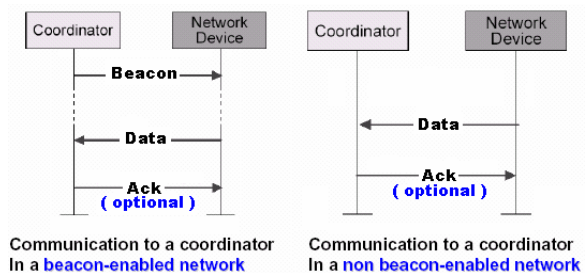
圖三、點對點拓撲

在通訊方面 802.15.4 是使用類似 CSMA/CA 的競爭溝通，而其中可以分類為無信標網路 (Non Beacon-enabled Network) 與有信標網路 (Beacon-enabled Network)；在無信標網路的通訊上，協調者恆處在聆聽的狀態，當裝置要回傳資訊時則會先彼此競爭，等通知協調者後，再傳送資料給協調者。而有信標網路中，則含有超級訊框 (Superframe) 的架構，其固定將包含信標及超級訊框分為十六個時槽，超級訊框持續時間 (Superframe Duration) 與信標間距 (Beacon Interval) 依照協調者使用信標級數 (Beacon Order, BO) 及超級訊框級數 (Superframe Order, SO) 來控制，而彼此關係是 $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ ，如此可限制超級訊框持續時間會小於等於信標間距；協調者發送信標，除了用作同步化外，也包含網路相關資訊等；超級訊框以有無使用保證時槽 (Guaranteed TimeSlots) 來區別，有保證時槽的超級訊框可分成兩部分，一是競爭存取週期 (Contention Access Period, CAP)，另一是無競爭週期 (Contention Free Period, CFP)，而無保證時槽的超級訊框則全都是 CAP。

在資料傳輸模式中，分成三種類型：

(1) 裝置→協調者

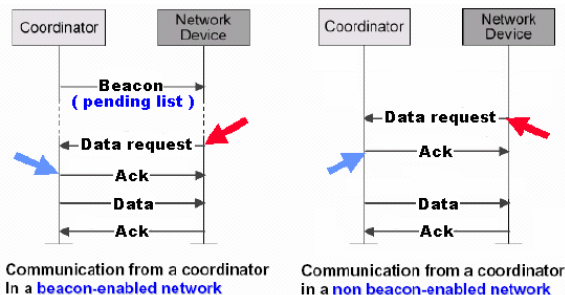
- 在有信標網路中，裝置必須先去取得信標來與協調者同步，之後則使用 slotted CSMA/CA 方式來傳送資料，如圖四。
- 在無信標網路中，裝置則簡單的利用 unslotted CSMA/CA 來傳送資料 (同 IEEE 802.11)。



圖四、資料傳送模式 (裝置→協調者)

(2) 協調者→裝置

- 在有信標網路中，協調者會利用信標中的欄位來告知有資料要傳送。而裝置則是週期性的監聽信標，如果自己是協調者傳送對象，則該裝置利用 slotted CSMA/CA 將 MAC command request 控制訊息傳會給協調者，如圖五。
- 在無信標網路中，裝置利用 unslotted CSMA/CA 方式傳送 MAC command request 控制訊息給協調者，若協調者有資料要傳送，則利用 unslotted CSMA/CA 方式將資料給送出。



圖五、資料傳送模式 (協調者→裝置)

(3) 裝置 (協調者) → 裝置 (協調者)

第三種傳輸型態，則是(1)、(2)類運作方式的結合

2.2 感測網路相關應用

感測網路的應用相當廣泛，新型態的應用仍然在被研究開發，在此介紹幾類測網路之應用：

- 環境應用：將幾百萬個感測器佈署於森林中，以對任何火災地點的判定提供最快的訊息。能提供遭受化學污染的位置及檢定出何種化學污染，不需要人親自冒險進入受污染區。
- 軍事應用：在友軍的人員、裝備及軍火上加裝感測器以供識別。監控戰場上的狀態。將感測器投擲於敵軍陣營中。在被敵軍破壞前，希望能完成偵察任務。
- 健康應用：將感測網路佈署於房子內部及人的身上，而達到遠距監測人體各項健康數據及人的各項行為的目的。感測器可放在病人或藥師身上，如此錯誤的藥物處方或是病人拿錯藥的機會可以降低。
- 家庭應用：將含有起動器 (actuator) 的感測網路佈署於家中，可以讓人們在遠方或在家裡經由網際網路作許多家事。

III. 無線感測模組與實驗

3.1 感測器硬體架構

感測網路的節點是由四種元件組成：感測元件、傳輸元件、邏輯元件、以及電力元件。在此利用 CROSSBOW[5] 的感測模組實際探討，模組內部包含了感測模組、傳輸模組、及閘道器。其中感測節點為感測模組以及傳輸模組所組成，散佈於所需監測的環境中，而基地台則為閘道器以及傳輸模組組成，負責接收整個網路的感測數據。

感測模組：圖六型號為 MDA300；運作模式：偵測環境，蒐集溼度，溫度等資訊；偵測項目：溼度，溫度。



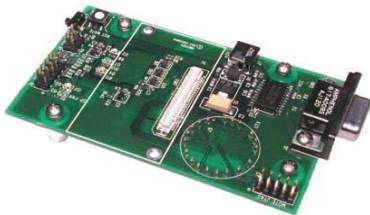
圖六、感測模組

傳輸模組：圖七型號為 MPR2400；運作模式：訊號傳輸，感測模組將感測到資料，傳送到傳輸模組，可將類比跟數位做轉換，在用天線把訊號傳送出去；頻率範圍：2.405~2.480GHz。



圖七、傳輸模組

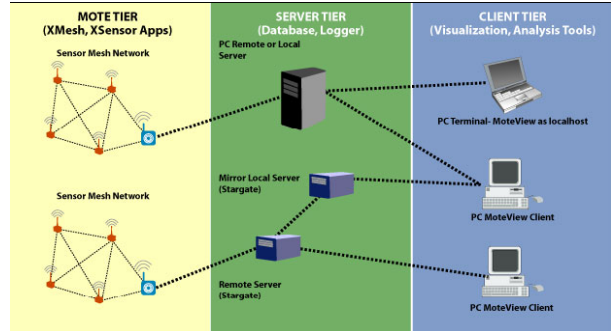
開道器：圖八型號 MIB510；為無線感測器的基礎，使用 RS-232 來與電腦連接、傳輸以及編輯，節點的程式編譯是在此燒錄的，必須在電腦上安裝 TinyOS。



圖八、開道器

3.2 軟體介紹

MoteView 為使用者和無線感測器網路之間的界面，提供使用者簡化部署和監控的工具，亦使得使用者容易連接到資料庫做分析並且能將感測器所讀到的資訊圖像化。圖九描繪一個有效的使用感測網路系統的三部份架構。第一個部份是使用韌體編譯程式編譯來作特定任務的感測器網狀網路或是無線節點，當有感測到訊息，即傳回伺服器端。第二部分為伺服器，提供資料登錄和資料庫服務，感測器讀到的資訊會傳到連接電腦的伺服器，並且儲存在伺服器上。最後，第三個部分是客戶端，可利用遠端登入伺服器，觀測區域資訊、或下達指令。此軟體具有藉由感測資料來提供形象化，監控和分析展示的功能。



圖九、感測網路系統的三部份的架構

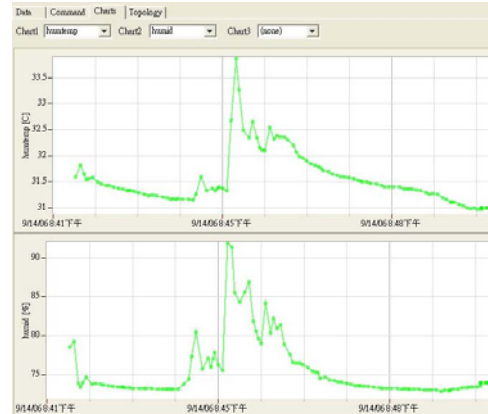
3.3 感測網路實作與測試

實做的網路環境為兩個感測節點所形成的網路，節點在室內感測時，測得溫度大約為 31°C，濕度大約為 73 %。實驗將感測器放置於熱水上，觀察感測節點的溫度及溼度的變化，如圖十。



圖十、硬體測試

經過五分鐘後，經由 MoteView 觀察到溫度上升至 34°C，濕度上升為 93 %，下圖為感測節點數據變化的情形圖十一。



圖十一、MoteView 所呈現的結果

IV. 結論與未來展望

藉由本論文可以了解感測網路的整體架構及特性，以及感測網路在 IEEE802.15.4 協定下，實體層以及資料連結層如何運作。

在無線感測網路中能源問題一直是一個相當重要的議題，且問題的核心集中在路由層以及資料連結層，未來希望能夠利用感測模組，在基於 Zigbee 協定下，修改路由及 MAC 的方法，使其達

到更好的能源使用效率。

參考文獻

- [1] <http://www.ntpo.org.tw/www2/chi/news/0502/01.pdf>
- [2] H. Karl and A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, Wiley 2005
- [3] S. Tilak, N. Abu-Ghazaleh and W. Heinerman, "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," *ACM SIGMOBILE Mobile Comp. Communications. Rev.*, vol. 6, no. 2, Apr. 2002, pp.28-36.
- [4] IEEE standards, "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 (WPANs)," 8 Sept. 2006
- [5] Crossbow Inc., "Micaz ZigBee Series,"