

無線感測網路多頻道技術之實作

鄭佳忻^{*a}、何忠憬^a、林業偉^a、黃耀宏^a
國立虎尾科技大學電機工程系^a

摘要 —在無線感測網路中，感測節點容易受到環境干擾，其中隱藏節點會因為兩個或三個以上的節點同時傳送資料給終端機，而節點之間並不知道彼此要傳送封包，使得封包碰撞造成資料遺失。因此本文研究旨在加強居家無線感測網路的強健性，利用分頻多工存取以及傳送時間週期來比較其性能，並以實際設備於環境中測量。經由實際模擬結果顯示使用多頻道技術可以增加系統的強健性，與其他方法相比多頻道技術可以使整體節點的資料接收率達到 94%至 99%以上，提升網路效能。¹

一、簡介

在無線感測網路[1-2]中，感測節點偵測到環境參數後會透過無線通訊的方式將感測資料傳送至中繼站或終端機，但是在較小的區域中，由於各個節點的距感測節點距離終端機較近，使該節點的接收信號強離較近，容易使得多個感測節點資料大量傳送至終端機而造成封包碰撞，使某些節點的資料遺失；另外某些度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)優於其他節點，使終端機優先接收該節點資料。

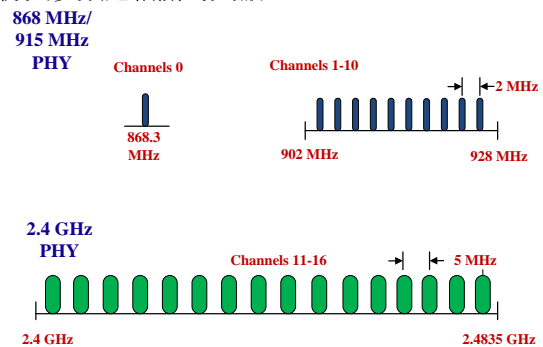
無線網路雖然能夠取代傳統實體線路來節省多餘的佈線費、人力資源等，但還是會有其他的不穩定因素，例如：干擾(Interference)、噪音(Noise)或節點隱匿(Hidden Terminal)問題。在干擾與噪音方面，大多只會影響節點之間的傳輸距離，在許多的文獻指出可以利用加強節點輸出功率或者於天線上做不同的改變。而在節點隱匿問題，會因為兩個或三個以上的節點同時傳送資料給終端機，而節點之間並不知道彼此要傳送封包，使得封包碰撞造成資料遺失。

針對上述問題，本文研究旨在加強居家無線感測網路的強健性，利用分頻多工存取(Frequency Division Multiple Access, FDMA)以及資料傳送的週期差異來比較其性能，並以實際設備於環境中測量。

二、多頻道技術

多重存取(Multiple Access)技術，依方式分有 FDMA、TDMA、CDMA 三種，而多重存取的主要功能是作為控制頻寬資源之用。FDMA 是在頻域上直接切割，將全部頻寬切成每個等寬的通道，每個通道可提供一個使用者使用；TDMA 則是將時域上切割成時間等長的時槽(Slot)，多個時槽則在結合成訊框(Frame)；CDMA 不做間隔，但使用者會使用不同的展頻碼(Spreading Code)來調變，接收器可依照不同的展頻碼過

濾其他用戶的訊號而取出所需的資訊。在 ZigBee 我們可以使用實體層定義的 27 個頻道(如圖 1 所示)，將節點放在不同的頻道以降低在重疊時間與相同頻道之間的資料碰撞，因此對於多頻道(Multi-Channel)技術我們參考了部份與多頻道相關的文獻。



圖一：ZigBee 實體層頻道

MMSN(Multi-Frequency Media Access Control for Wireless Sensor Networks)[3]是最早提出以多通道 MAC 協定用於 WSNs 中。而 MMSN 主要是由一個 ad hoc 網路組成的無線感測網路，而 MMSN 協定分成兩個部份第一是頻率分配，第二是媒體訪問。在頻率分配方面，利用四種不同的頻率分配，進行到媒體訪問時，節點會使用自己分配到的頻率與時槽進行資料傳輸，但是如果新的節點加入該拓撲，就必須分配新的頻率給此節點來避免節點之間的衝突。

MCMAC(Multi-Channel MAC)[4]是基於 LEACH 架構所提出的多通道協定。MCMAC 在啟動的每一個周期都包括活動期與休眠期，而活動期分成四個階段：同步信標、發送請求、頻道調度、資料傳送，為了減少能量消耗節點的休眠佔總時間的 98%以上，各個叢集頭(Cluster Head)在控制通道內並利用休眠期協商傳送時間來避免干擾。MCMAC 在資料交換前，須明確的預留通道並在控制通道內協商，因此控制通道的高使用率會造成一些不必要的消耗。

MC-LMAC(Multi-Channel Light-weight MAC)[5]是使用 LMAC 提出的多通道協定。每個節點會有五種不同的狀態分別是：初始化、同步、發現、時槽的通道選擇、媒體訪問。MC-LMAC 整合了 TDMA 的時槽選擇與 FDMA 的自由競爭並行傳輸於不同的頻道，每個時槽劃分成兩個部份：控制期間與資料傳輸。在控制期間節點切換到控制通道等待通知，如果節點收到發送端邀請，則會切換到發送端所在的通道。MC-LMAC 的缺點在於在傳送每個資料之前必須先發送控制訊息，這將會增加能量消耗。

¹ 本研究由國科會部分贊助，計畫編號 NSC 101-2221-E-150-059。

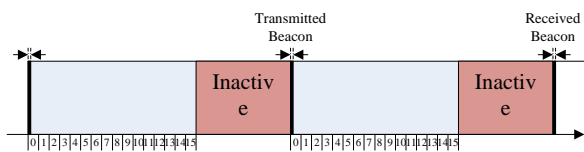
MCCT(Multi-Channel Cluster Tree)[6]是利用 ZigBee 的 27 個通道與信標模式下的競爭週期(Contention Access Period, CAP)與自由競爭週期(Contention Free Period, CFP)來分配節點的傳輸時槽，並限制子節點數量降低爭搶頻道，並且由 Coordinator 調配頻道，子節點也跟隨父節點選擇相同的頻道。在結果方面有效的限制子節點數量以及分配使用通道避免同頻干擾(Co-channel Interference)，因此可提高接收率、降低延遲、提升節點平均接收率。

三、資料傳輸模型

在 IEEE 802.15.4 中，定義了三種不同的資料傳輸模型：資料由裝置傳送至協調者、資料由協調者傳送至裝置及資料於裝置間傳送。在星/叢樹狀拓樸中傳送的方式只有前兩者；網狀拓樸則三種模式都會發生。在星/叢樹狀拓樸中若協調者有傳送 Beacon，則收送資料使用 Slotted CSMA/CA，反之則使用 Unslotted CSMA/CA 通訊協定，對等網路則使用 Unslotted CSMA/CA 通訊協定。以下對三種資料傳輸模型做個介紹。

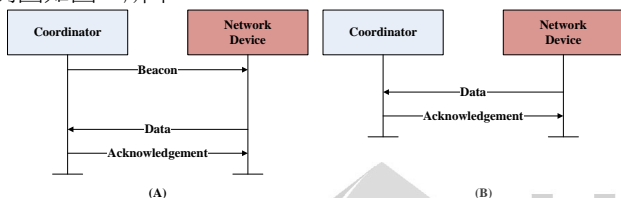
1. 資料由裝置傳送至協調者

在信標(Beacon)網路中，透過協調者定義 Superframe 格式。Superframe 長短則透過發出的 Beacon 間隔(Beacon Interval, BI)，一個 Superframe 可以細分為活動區間(Active portion)與閒置區間(Inactive portion)，而活動區間又可在細分為 16 個相同大小的時槽，並且在分成競爭區與免競爭區。協調者只在活動區間與網路中的裝置收送資料，在閒置區間則進入休眠模式省電，Beacon 模式示意圖如圖 2 所示



圖二：信標網路模式

因此，在信標網路中，當裝置要送一筆資料給協調者時，必須先等待下一個 Beacon 的到來。在接收到一個 Beacon 後，裝置會先將自己與這一個 Beacon 間隔同步，接下來裝置就可以用 Slotted CSMA/CA 機制競爭媒介使用權，即可傳輸資料給協調者。而在 Non-Beacon 網路中只需使用 Unslotted CSMA/CA 來競爭使用權，其說明圖如圖 3 所示。

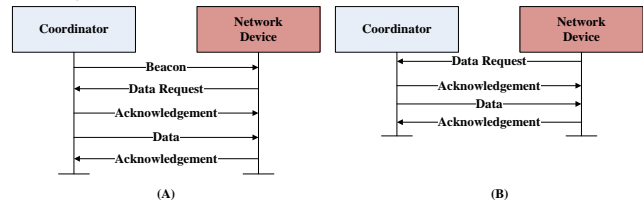


圖三：資料傳送至協調者 (A) Beacon 網路 (B) Non-Beacon 網路

2. 資料由協調者傳送至裝置

在 Beacon 網路中，當協調者要傳送資料時，協調者會在發送出去的 Beacon 夾帶訊息告知裝置，當裝置收到 Beacon 後會先解析看協調者有無資料要送給他，如果有，裝置以 Slotted CSMA/CA 競爭使用權後發送資料

給協調者，協調者成接收後則會回覆訊框給傳送的裝置。而在 Non-Beacon 網路必須定期詢問協調者有無資料給他，則裝置先以 Unslotted CSMA/CA 競爭使用權，接著發送資料請求來詢問使用者有無資料，其說明圖如圖 4 所示。



圖四：資料由協調者傳至裝置(A) Beacon 網路 (B) Non-Beacon 網路

3. 資料於裝置間傳送

在裝置之間，每個裝置可能直接和傳輸範圍內的其他裝置直接通訊。為了要能更有效率的通訊傳輸資料，想要傳輸資料的裝置將無法進入睡眠模式。因此裝置將使用 Unslotted CSMA/CA 機制傳送資料。

四、多頻道系統架構

本文所使用的架構是基於 N. Abdeddaim 等人所提出 MCCT 叢集樹架構上 [6] 來實現，但是其細部概念則和此篇有些不同。因為我們是用硬體設備實現的方式，多頻道技術，而非模擬的方式來實現，但是由於受限於硬體廠商的架構，我們作了一些改良。首先，我們是使用在 Non-Beacon 模式下的 ZigBee 無線感測網路，因此 Coordinator 將不會分配時槽給節點，則會採用 Unslotted CSMA/CA 架構。

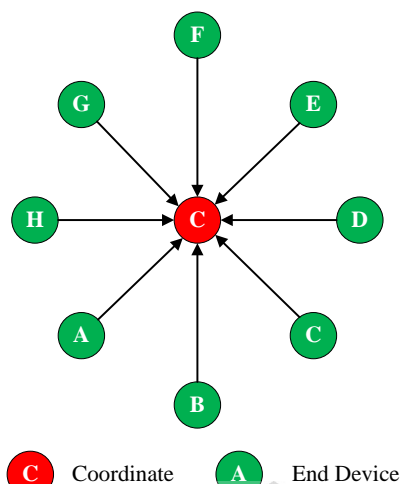
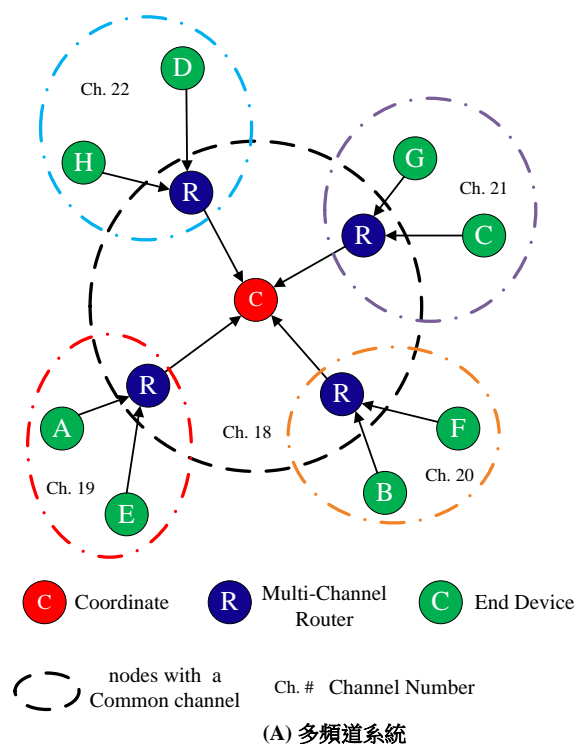
本篇論文所設計的用於測試硬體架構的 ZigBee 無線感測網路使用的是全功能設備(Full Function Device, FFD)。ZigBee FFD 可以扮演 Coordinator、Router 以及 End Device。硬體上採用的為 ZigBee 通訊模組(ZigBee Communication Module, ZCM)為長高科技的 ZB2530 的板子，表 I 為 ZB2530 的規格特性。

表 I
ZB2530 規格特性

主晶片	CC2530F256, 256K Flash
輸入電壓	DC 5-12V
無線頻率	2.4GHz
無線協定	ZigBee2007/PRO
傳輸距離	可視距離 10 米
接收靈敏度	-96 DBm

我們的多頻道系統架構圖，如圖 5 (A)所示。在圖 5 中，我們將節點以 PHY 層制定的頻道做區隔分成 5 個頻道(Ch.18-Ch.22)，使用 Ch.18 的節點分別是各個多頻道 Router 以及 Coordinator；剩下的節點則跟所屬頻道的

Router 為一組。[6]中提到，限制子節點的數量能夠有效提升整體網路的接收率，而我們的環境是設置在小型環境，因此節點數量不會太多，所以我們將整體子節點數量設置在 8 顆；各頻道使用 2 顆節點。此外，我們會與原本的同頻道系統做比較。我們在同一頻道系統中則是採用星狀拓樸的架構來測試其架構圖，如圖 5(B)所示。我們會分析原本同頻道架構的缺點，並加以改良成多頻道系統，如圖 5(A)所示。



圖五：系統拓樸

五、效能分析

在此章節我們將圖 5(B)星狀拓樸中，End Device 回傳給 Coordinator 的傳輸間隔時間作區分，用以測試在我們建構的環境下，每個 Coordinator 或 Router 可處理的

裝置元件。分成時間週期 1 秒處理、時間週期 1-2 秒處理、時間週期 1-8 秒處理以及多頻道時間週期的設定參數以及實際模擬結果來作說明。由於本文是以實際設備做測量模擬，因此會有以下設定：

1. 節點之間的距離皆在 1-hop 的範圍之內，使距離之間的干擾影響降到最低。
 2. 測試時除了 Coordinator 與 Router 不考慮電量問題外，其餘的 End Device 皆使用電池供應電源。
 3. 每一回合結束後將全設備重置。
- 其參數設定如表 II 所示。

表 II 參數設定

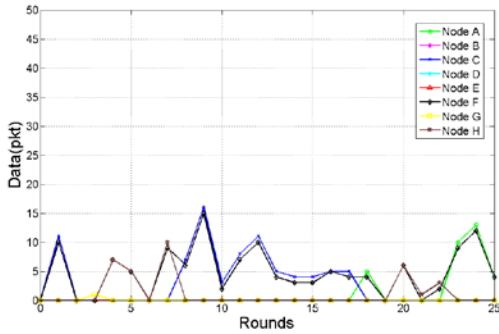
同頻道內節點數量	星狀:8
	多頻道:2,4
封包長度	固定封包長度
傳送間隔	時間週期(1 秒):1 pkt/sec
	時間週期(1-2 秒): 1 pkt/1,2sec
	時間週期(1-8 秒): 1 pkt/1~8sec
	多頻道時間週期: 1 pkt/1~8sec
回合數	25
每回合單一節點發送封包數	50

在圖 6(A)中，各節點經由 Coordinator 廣播後開始傳送封包，但是各節點的傳送時間相同所以必須要競爭通道，因此造成不少回合無任何封包接收，其中 Node F 之所以能夠傳送比較多筆封包，經由測試的結果，主要的原因是該節點的效能優於其他節點，使得通道競爭成功率增加，因此 Node F 才能夠傳送到較多封包。

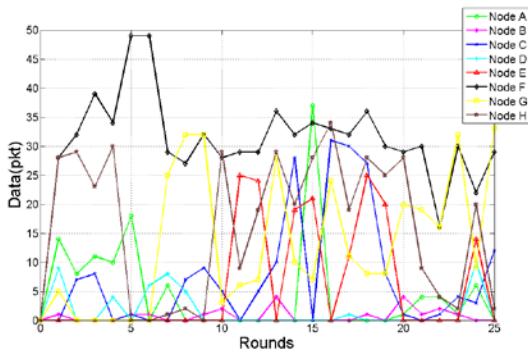
在圖 6(B)中，將節點做時間週期(1-2 秒)處理能夠有效的提升整體封包的傳送率。但是，Node B、Node D 及 Node E 的封包傳送率相較於其他節點還是太低，雖然 Node A,B,C,D 傳送結束後能夠釋放流量給剩餘節點，但是在釋放流量前節點還是有很大的碰撞機會，因此才會造成部分節點的傳送率下降，而在 Node F 的傳送成功率確實高於其他節點，因此我們可以知道 Node F 效能優於其他節點。

圖 6(C)將時間週期分成 1 至 8 秒，其結果與圖 6(B)做比較，我們發現各節點的傳送成功率已經提高，但是在 Node D 及 Node E 的傳送成功率相較於其他節點明顯有很大的差異。我們認為 Coordinator 在廣播後由 1 秒的 Node A 開始傳送封包，接著由 2 秒的 Node B 傳送封包，以此類推，但在整體網路已傳送 10~20 筆封包後，整體網路流量的使用率會達到最大值。這時候位在中段的節點則容易受到前段節點與後段節點碰撞，因此才會使得 Node D 及 Node E 的傳送成功率下降。因此，我們認為在有效的降低子節點數量，並且使用多頻道技術，圖 5(A) 的架構來區隔開使用頻道降低同頻干擾與隱藏節點碰撞能夠使整體的接收率上升，其結果如圖 6(D)所示。

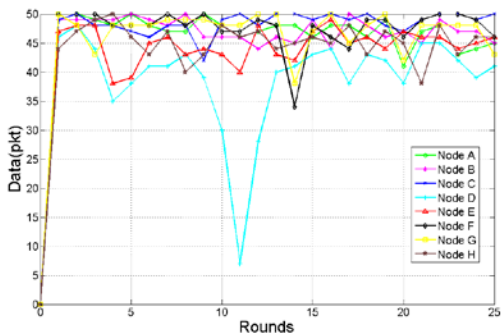
由圖 6(D)顯示，我們使用多頻道時間週期處理能夠解決時間週期(1-8 秒)處理中段節點碰撞問題，並且讓每個節點的接收率達到 90%~100%。在 3、4 及第 5 回合 Node G 之所以傳送率下降是因為，該幾次回合中 Node G 的電池電量處於較低的階段造成節點死亡問題。由圖 7 說明，各節點於不同方法的傳送成功率，結果顯示使用多頻道分時處理可以使全體節點的平均傳送達到 94%~99%。



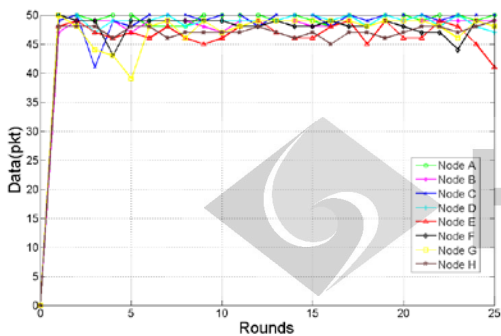
(A) 時間週期(1 秒)



(B) 時間週期(1-2 秒)



(C) 時間週期(1-8 秒)



(D) 多頻道時間週期

圖 6 各節點於不同方法的資料接收率

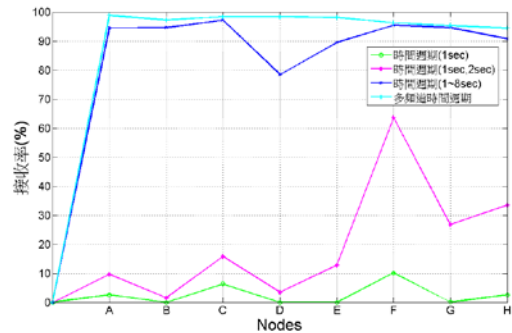


圖 7 節點整體資料傳送成功率

參考文獻

- [1] D. Culler, D. Estrin and M. Srivastava, "Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor Networks," *Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 41-49, 2004.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, 2002.
- [3] G. Zhou, C. D. Huang, T. Y. He, J. A. Stankovic and T. F. Abdelzaher, "MMSN: Multi-Frequency Media Access Control for Wireless Sensor Networks," in *Proc. 25th IEEE International Conference on Computer Communications Proceedings (INFOCOM 2006)*, pp. 1-13, Apr. 2006.
- [4] X. Chen, P. Han, Q. S. He, S. L. Tu and Z. L. Chen, "A Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. The 6th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT 2006)*, pp. 224-224, Sept. 2006.
- [5] O. D. Incel, L. van Hoesel, P. Jansen and P. Havinga, "MC-LMAC: A multi-channel MAC protocol for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 9, no. 1, pp. 73-94, Jan. 2011.
- [6] N. Abdeddaim, F. Theoleyre, F. Rousseau and A. Duda, "Multi-Channel Cluster Tree for 802.15.4 Wireless Sensor Networks," in *Proc. IEEE 23rd International Symposium Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2012)*, pp. 590-595, Sept. 2012.

