

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫四：無線感測網路微系統程式與發展系統之研製(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-032-010-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：淡江大學電機工程學系

計畫主持人：李維聰

計畫參與人員：尤崇帆、張志豪、謝其均、李伯毅

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告

期中進度報告

(計畫名稱)

自主性分散式無線感測網路嵌入式系統研製(II)-子計畫四：  
無線感測網路為系統程式與發展系統之研製(II)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2213-E-032-010

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

計畫主持人：李維聰

共同主持人：

計畫參與人員：尤崇帆，張志豪，李柏毅，謝其均

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學 電機系

中華民國 95 年 10 月 31 日

## 自主性分散式無線感測網路嵌入式系統研製(II)-子計畫四： 無線感測網路為系統程式與發展系統之研製(II)

### 摘要

現在無線個人區域網路發展已漸趨成熟，開發應用的環境也有從室內走向室外的趨勢，所以許多通信的規格也朝省電，輕薄，短小去發展，尤其是省電部份，因為延長無線網路裝置工作生命，這對於長時間處在電源吃緊的戶外無線網路裝置而言，將無疑有如雪中送炭般可貴。因此，本計畫主要是提出一些網路工作的機制，像裝置及協調者在信標模式中可以不用在每個信標皆起來工作，取消非競爭模式(Contention Free Period, CFP)及協調者適時的換手等方法，使感測網路能更省電及穩定，最後再透過 MATLAB 模擬證明了：

- 1.論文方法之省電效果確實比履行 IEEE 802.15.4 規範之裝置來的好、
2.  $P$ =信標間距/超級訊框持續時間(SD/BI)越小之協調者在單位時間裡越省電及
- 3.工作在信標模式之裝置比工作在非信標模式之裝置來的省電，

然後本論文最後也開發出一個上述省電方法之模擬平台去證明本文所提之方法是可被實行的。

**關鍵詞：**無線感測網路、IEEE 802.15.4、Beacon、Coordinator、信標

## 1. 計畫緣由

線感測網路的研發旨在作為建立便利及智慧環境 (Ambient Intelligence)的工具，舉凡野外環境、設施內環境、辦公室環境、工廠環境等都有極大的以人性為考量的發展空間。在追求便利生活及強調生活科技運用的現階段台灣，發展與擴大應用無線感測網路正是時機。本計畫討論如何建立一個具有省電模式的感測網路架構，進而討論開發平台之需求。

## 2 IEEE 802.15.4 的通訊協定架構簡介

IEEE 802.15.4 的通訊協定架構是依照 OSI 模型來建立，其 PHY 包含 RF 傳送接收部分，用來控制低階傳輸，而 MAC (Medium Access Control)控制所有類別之傳送，網路層 (Network Layer)提供網路結構、操控及封包路徑等功能，而應用層 (Application Layer)是依照裝置所需功能而制定，對於網路層和應用層這些屬於上層 (Upper Layers)通訊協定的部分有另一組織 ZigBee 正在制定中，在 IEEE 802.2 Type1 LLC Sublayer，可透過服務標示收斂子層 (Service Specific Convergence Sublayer, SSCS)存取 MAC 的資訊。LR-WPAN 除了可在內嵌式系統實行外，也可在外接式裝置(如 PC, Notebook, PDA)上實行。

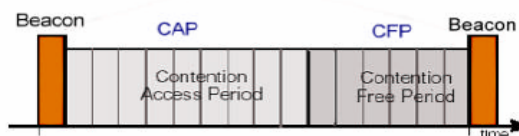


圖 1 Superframe structure

IEEE 802.15.4 是應用類似CSMA/CA 的方式競爭溝通，其中可以分為有信標網路 (Beacon-enabled Network) 與無信標網路 (Non Beacon-enabled Network)；無信標網路的協調者恆處在聽的狀態，在裝置要回傳資訊時會先彼此競爭，等通知協調者後，再傳送資料給協調者。而有信標網路中，含有超級訊框 (Superframe) 的架構 (圖1)，其固定將包含信標及超級訊框分為 16 個 slots，超級訊框持續時間 (Superframe Duration, SD) 與信標間距 (Beacon Interval, BI) 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，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 Time Slots) 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，而無保證時槽的超級訊框則全都是 CAP。

本論文是在有信標網路的架構上，修改 MAC 層，針對信標訊框 (Beacon Frame) 的內含及行為去著墨，提出一個更省電的信標網路架構的方法，而方法建構的使用環境有下列幾項：

- 網域中全部的無線感測裝置皆為 FFD (Full Function Device)。
- 網域中 SuperFrame 的 CAP 及 CFP 兩個工作週期，僅使用 CAP，而 CFP 我們捨棄不用。
- 運用了以下一些 IEEE 802.15.4 的 command frame 中之 reserved 的欄位，作為論文方法判斷及執行的依據，這些有如圖 2 Beacon Frame 架構之 Frame control field 欄位 Bit 7 – Bit 9，如圖 3 Association request command frame 中 Capability information field 欄位的 Bit 4 及 Bit 5，及 PANid、BO 等自定變數。

Bits:0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame type	Security enable	Frame pending	Ack request	Intra-PAN	Reserved	Dest addressing mode	Reserved	Source addressing mode

圖 2 Frame control field 之格式圖

Bits:0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
----------	---	---	---	---	-----	-------	-------	-------

Frame type	Security enable	Frame pending	Ack request	Intra-PAN	Reserved	Dest addressing mode	Reserved	Source addressing mode
------------	-----------------	---------------	-------------	-----------	----------	----------------------	----------	------------------------

圖 3 Capability information field 之格式圖

### 3 IEEE 802.15.4 感測元件電源節省方法

本計畫提出了以下的方法來促使無線感測元件能有較長之感測生命時間及使無線感測網路有較穩定的網路傳輸：

#### 3.1、 競選 CD(協調者)的方法

利用廣播剩餘電量的方法決定剩餘量最多者為無線感測網路中的協調者(Coordinator, CD)。

方法說明：

在 Device 處於 Power on 或接受換手命令之後，會檢測是否有協調者，若無則 Device 會再檢查自己本身的 PANid 是否為 0xFFFF 或 macShortAddress 是否為 0xFFFF，如果是，表裝置未參與網路連結，然後讀取自己剩餘電量 Bt，接著把 Bt 廣播出去，再接收其他 Device 廣播之剩餘電量 Br，把 Bt 與 Br 做比較，如果 Bt < Br，是的話，則停止廣播自己剩餘電量 Bt，否的話，則繼續讀出自己最新的剩餘電量廣播出去，直到 m 次以前(m 為自訂之次數，此處因省電之需求，設為 3 到 5 之間)若已無聽到其他 Device 廣播剩餘電量值 Br，則自己剩餘電量 Bt 為全部網域 Device 中，電量最高者，則把 PAN\_coordinator 設起來，正式成為 CD，但倘若到了 m 次以後含 m 次，還是有聽到 Device 廣播自己剩餘電力 Br(這時的 Br 絕對等於 Bt)，且 Bt = Br，則 Device 與自己，從自己內部取一 timer 亂數值當作 Bt 在報出去，若聽到的 Br < Bt 則把 PAN\_coordinator 設起來正式成為 CD，若 Br > Bt 則停止廣播出 Bt 值，但很不幸的這時 Br = Bt 則大家繼續讀取 timer 亂數值當成 Bt 報出，直到決定出 Bt > Br 或 Br > Bt 為止，CD 產生為止。

#### 3.2、 Device 實現多信標模式的設定

每個無線感測元件依本身自我之屬性及需求，可決定要多少 Beacon 起來工作。

方法說明：

每個無線感測元件，在 Device Power On 時，就已知到自己需要多少信標週期起來工作(由程式設計者去定義，更改 Chipset 韌體就可以辦到)，然後在等到要加入(association)無線感測網域時。於 association request command frame 之 Capability information field 中之 Bit5, Bit4。依自己屬性定義，進行設定 Bit5 及 Bit4，如表 1，共可決定 1、16 及 32 個信標週期。而取 1、16 及 32 信標週期的原因，是使 CD 能有較多之機會對全部 Device 皆起來之信標週期時間，發出信標訊框，告知全部 Device，CD 需要執行換手等事宜。

Beacon 數\位元位置	Bit 5	Bit 4
1 Beacon	0	0
16 Beacons	0	1
32 Beacons	1	0
1 Beacon	1	1

表 1 Capability information field Bit 4、5 之意義

#### 3.3、 CD(協調者)決定多少信標起來工作之方法

在 CD 決定出來後，CD 會利用發出允許 association 網路的信標訊框，來收集全部 Device 要多少 Beacon 起來的屬性，以做為自己需隔多久時間，起來發出 Beacon 的判斷依據。

方法說明：

Device 為 CD，則把 BO 設成 7、Agree\_association 設成 1，同意 Device 對 CD 發出

association request 命令要求加入網域(CD 工作之信標週期可能為非 1，所以 CD 會考量「需有信標週期可使全部 Device 皆起來參與工作」之因數，而適時允許新的 Device 加入網域，以利往後換手機制實行，例、若網域信標週期為 16，則 CD 不會在第七信標週期同意 Device 申請加入網域)及除能 CFP Mode，然後發出信標訊框，緊接者判斷 Association request 命令是否被接收，若收到，則判斷並且統計全部 Device 之 Association request 命令中之 Capability information field 之 Bit5、Bit4(依據表 1 的規則)取最大公因數，以此數作為 CD 自己本身需要隔多少信標週期起來之依據。

### 3.4、 CFP 模式的取消

為了使無線感測網路中之 CD 能更加省電，在 Superframe 中之 CFP 模式，是取消不使用的，讓 CD 在處理完 CAP 模式後就立刻進入睡眠模式。在經由方法 3.3 之過程，CD 已知道要多少信標週期時間，起來發出 Beacon，給欲執行工作之 Device 使用，然後在 Beacon 訊息 CFP 模式決定位元，明確告知 Device CFP Mode 是關閉的，若欲要執行任何工作，請 Device 在 CAP Mode 的時間週期內完成。在此時的方法，CD 也要去完成計算，要在多少信標週期時決定讓其他新的 Device 加入，而適時插入 agree association，告訴新的 Device 在此次信標週期是允許加入網域的，請 Device 在本信標週期的 CAP 時間內，提出加入需求。

### 3.5、 CD(協調者)的換手

當 CD 快沒電時，CD 會在網域全部 Device 皆可聽到換手命令的最接近之信標週期，發出換手之需求，讓全部網路中的 Device，在收到換手命令之後解除與 CD 之連繫狀態，然後再去執行方法 3.1，利用廣播剩餘電量的方法程序，以決定無線感測網路新的 CD，樣可使無線感測網路不會因 CD 電力不足導致網路傳輸傳訊功能中斷，可使網路更穩定。  
方法說明：

當 CD 所剩電量到達換手之電量百分比 x 時，CD 會把 Beacon Frame 中之 Control frame 的 Bit7-9 設成 010(自訂換手命令)及設定要求 Device 回送「換手機制」認知之 Ack，發出 Beacon，接者等待全部 Device 對換手命令的 Ack Frame(認知)，隨即卸除協調者與 Device 之連結關係，然後全部 Device 再重複方法 3.1，以廣播自己剩餘電量選取電量最大之 Device 作為 CD。

## 4 CD(協調者)執行換手數學方法分析

第一個 Device 當 CD 作到電量剩下 x 時進行換手，則裝置剩餘電量及換手百分比之關係如數學表示式(1)。在網域中第二個 Device 當 CD 的換手情形，其數學式如(2)式表示。依此類推我們可以導出第 n 個 Device 當 CD 換手數學表示式(3)。

$$Ball - Bc * Ct1 * P = x * Ball \dots\dots\dots(1)$$

$$Ball - Bnc * Ct1 * P - Bc * Ct2 * P = x * Ball \dots\dots\dots(2)$$

:

$$Ball - Bnc * Ct1 * P - Bnc * Ct2 * P - \dots - Bc * Ctm * P = X * Ball \dots\dots(3)$$

然後再把(1)、(2)及(3)的數學式歸類簡化而提出數學式(4)。用此式來分析 CD 多少的電力進行換手，會有最佳情形。

$$Ball - n * K - Bc * Ctm * P - P * \sum_{i=1}^{n-1} (Bnc * Cti) = x * Ball \dots\dots\dots(4)$$

在(4)式中各參數所代表的涵義如表 2。

參數	數值	意義
Ball	1000mA	每個協調者或裝置擁有之總電量
n	50	感測網域全部裝置之數目(包含協調者)
K	0.05mA	為 Device 每次參與競爭遴選協調者行為所需耗電

Bc	0.07mA	每個協調者執行一個信標週期時間所耗損之電力
Ctn	待求	為第 n 個協調者，共當多少次信標週期時間的協調者
Bnc	0.01mA	每個裝置執行一個信標週期時間所耗損之電力
Cti	待求	為第 n 個協調者，共當多少次信標週期時間的裝置
X	50%	協調者換手電力百分比=(現存電力/Ball)*100%
P	1	$P=SD/BI=2^{(SO-BO)}$ ，為協調者動作時間與一個信標總時間之比值，此處 $BO=7$ ，所以一個信標總時間為 2 sec。P 值在 $0 < P < 1$ 區間，若 $P=1$ ，因未展現休眠時間的省電，每一時間都持續耗電，所以(4)式表現出的情形為近似非信標模式，若 $0 < P < 1$ 則(4)式表現出的是信標模式，因有展現休眠時間的省電，有部份的時間未耗損電力。在此處 P 假設為 1，以方便模擬運算。

表 2 數學式(4)各參數之意涵及模擬時所帶入數值

下面數學式(5)表示第一個 Device 當 CD 經過 Ct1 的時間換手，然後當了 Ct2 的非 CD(Device)的時間，直到跟隨到第 n 個 CD，做了 Ctn 個非 CD(Device)的時間，最後所剩餘的電量 Node1。而相同的道理(6)及(7)則分別表示第 2 個當 CD 及第 n 個當 CD 的 Device 經過 n 次的換手，最後自己所剩餘的電量 Node2 及 Noden。

$$Ball - Bc * Ct1 * P - Bnc * Ct2 * P \dots - Bnc * Ctn * P = Node1 \dots (5)$$

$$Ball - Bnc * Ct1 * P - Bc * Ct2 * P \dots - Bnc * Ctn * P = Node2 \dots (6)$$

:

$$Ball - Bnc * Ct1 * P - Bnc * Ct2 * P \dots - Bc * Ctn * P = Noden \dots (7)$$

假設數學表示式(5)、(6)及(7)中之剩餘電量 Node1, Node2, ..., Noden 的關係為， $Node1 = < Node2 \dots = < Noden$ (後面會用 Matlab 模擬跑出的圖形證明)，因為從(5)式可以看出  $Ct1 \geq Ct2 \geq Ct3 \geq \dots \geq Ctn$ (圖 4 會證明)，所以我們只要分析(5)式就可以得到本文想要的最佳臨界關係。

為了方便計算及使模擬數值較簡單，在此我們先令  $P=1$ (不考慮 P 變數)，然後把表 2 參數數值帶入(4)式，分別可以一一算出  $Ct1 \dots Ctn$ ，如圖 4，發現確實  $Ct1 \geq Ct2 \geq Ct3 \geq \dots \geq Ctn$ 。

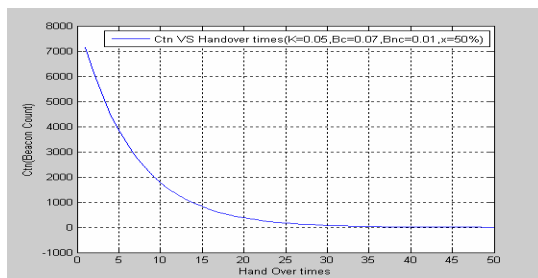


圖 4 Ct(n)與換手次數之關係圖

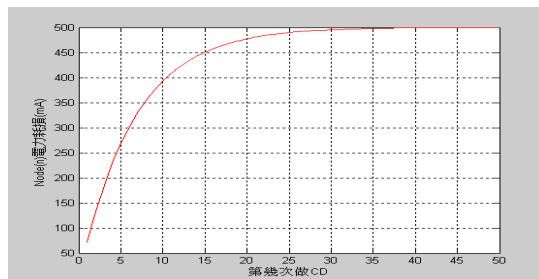


圖 5 Node(n)與第幾次做 CD 之關係圖

然後再把  $Ct1, Ct2, \dots, Ctn$  及表 2 之數值帶入(5)、(6)及(7)式。利用 Matlab 執行，繪出圖形如圖 5。從圖 5，我們可以發現到第一個當 CD 的 Device 在他跟隨 n 個 Device 進行換

手後，它所消耗的電量是最大的。所以我們只要單獨考量 Node1，把 Node1 的值控制在  $\geq 0$  (接近 0) 的值，再找出相對應的換手率  $x$ ，則我們可以得到 Device 工作時間最長且全部 Device 皆存活的最佳換手  $x$ 。如圖 6 為剩餘電量 Node1 及換手率  $x$  的關係圖，我們可以看到圓圈框出來的地方，Node1 為負值，則表該區域已有 Device 因電力不夠，而不在參與網域工作，所以  $x=46$  左右換手率，可以得到 Device 工作時間最長且全部 Device 皆存活的最佳換手情形(因為  $\text{Node1} > \text{Node2} > \text{Node3}$ )。

最後我們在利用上述方法，分別一一求出「不同 Device 參與個數」與「Node 1 之最佳換手率」之關係，如圖 7 為 Node1 最佳換手率與參與裝置數目之關係圖，我們可以看到當參與裝置數在 1 到 20 區間，Node 1 最佳換手率為一陡峭的弧線，而參與裝置數在 20 到 100 區間，Node1 最佳換手率之值收斂在 46%。

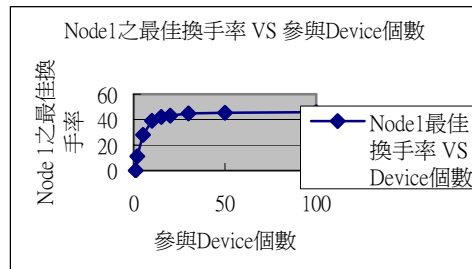
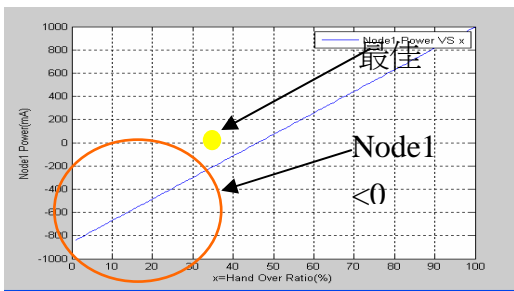


圖 6:  $x$ (換手率)與 Node1 之關係圖

圖 7: Node1 最佳換手率與參與裝置數目之關係圖

## 5 實驗及討論

在前文所提省電之方法，本計畫開發出兩個模擬方法之應用平台及用 MATLAB 模擬協調者在不同信標數之耗電情形。

### 5.1、 CD 產生之行為模擬

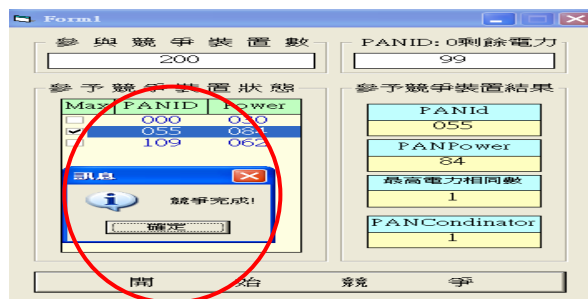


圖 8 裝置電量重覆廣播 Timer 亂數值強制 CD 產生之模擬

圖 8，表示網路參與競爭 Device 有 200 個，本機裝置(PANID:0)剩餘電量為 99，開始競爭後，但有三個 Device 之電量最高且相同，CD 還無法產生。則三個廣播最高電量的 Device 會從自己內部隨機取得一 Timer 亂數值，然後廣播出去，迫使 CD 強制產生之情形(取得 CD 者立即把 PANCoordinator 設成 1 及 PANid 設立起來)。

### 5.2、 首位 CD 決定多少信標工作週期及總行為時間電力耗損模擬

在圖 9，我們輸入參與裝置數為 200，行為時間為 1000hr，致能 Association Agree，發出 Beacon，然後從 Capability information field 中 Bit 4 及 Bit 5，經判斷(取最大公因數)得到 CD 甦醒時間為 1 個信標週期，首位 CD 之剩餘電量為 278.2mA(此模擬為類似依循 IEEE 802.15.4 規範之情形)。



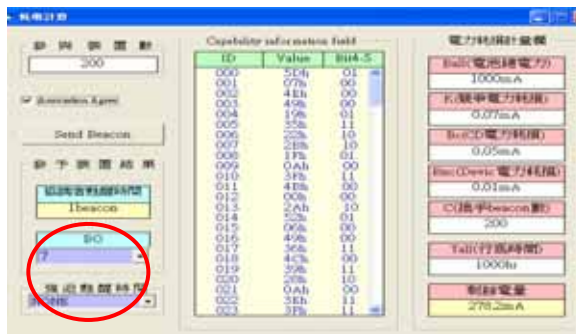


圖 9 首位 CD 決定多少信標工作週期及總行為時間電力耗損模擬

### 5.3、 用 MATLAB 模擬協調者在不同信標週期起來工作之耗電情形

簡單考慮協調者的耗電(不考慮換手及只競爭一次之情形)如數學式(8)，此為協調者耗電之數學表示式。

$$CDPower(H)=Ball-K-\{(Bc*P)*(H/BECONCNT)\},... (8)$$

在(8)式中

**CDPower(H)**：表協調者經過 H 的時間，所剩之電量(mA)。

**H**：表協調者工作歷經的總時間(hour)。

**BECONCNT**：表協調者多少個信標週期起來一次，這裡為 1、16 及 32。

其餘參數皆與表 2 相符，只有“P”在這裡為不省略，此處 P 為 0.01、0.5 及 1。

圖 10 為把 P=0.5、BECONCNT=1 及表 2 之數值帶入式(8)，用 MATLAB 所繪出協調者之剩餘電量與時間關係圖(此值模擬因其行為比較類似遵循 IEEE 802.15.4 信標模式規範之協調者行為，所以此處模擬結果代表依循 IEEE 802.15.4 協調者之耗電情形)。然後用上述的方法把 16 及 32 也分別帶入公式(8)，也可求出類似與圖 10 之耗電與時間之關係圖，然後我們可以觀察出如圖 10 紅圈處之值，8 小時處剩餘電力值將接近 0(這代表協調者的生命時間)，依此類推也求出信標數 16 與 32，分別在 140 及 260 小時處之剩餘電力值將接近 0。再把不同信標數與上述電力剩餘 0 之時間數繪圖，則得如圖 11，協調者的生命時間與不同信標數之關係。然後我們把 P=0.5 變成 P=0.01，分別再模擬 BECONCNT=1、16 及 32 之情形，如圖 12、接著我們一樣去觀察圖 12、分別在 400、6300 及 12300 小時處之剩餘電力值分別都將接近 0。

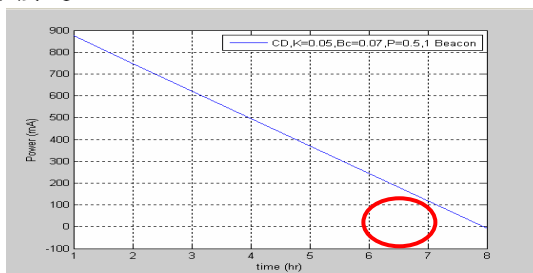


圖 10 MATLAB 模擬協調者每個信標週期起來工作之耗電情形(P=0.5)

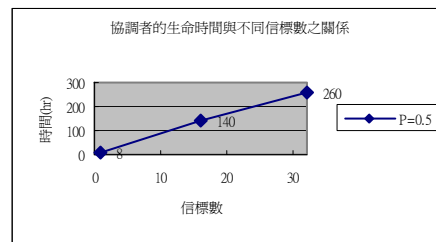


圖 11 協調者的生命時間與不同信標數之關係 (P=0.5)

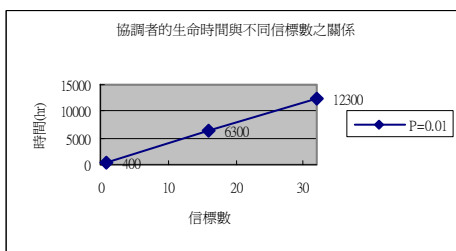


圖 12 協調者的生命時間與不同信標數之關係(P=0.01)

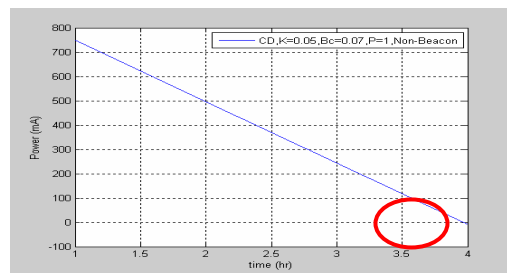


圖 13 MATLAB 模擬協調者非信標週期工作之耗電情形

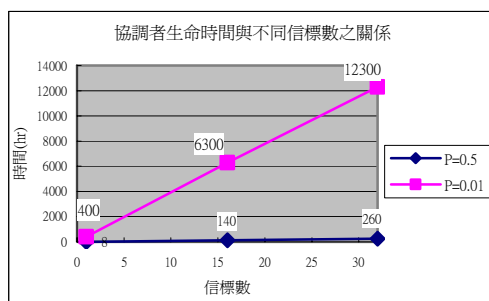


圖 14 協調者在不同 P 值之生命時間與不同信標數之關係比較

從上面的敘述我們又繪製了  $P=0.5$  及  $P=0.01$  之協調者的生命時間與不同信標數之關係比較，如圖 14，從圖中我們可以得知三個結果，如下：

- 當信標週期數越大，則協調者工作之時間越長，所以本文描述之協調者，當有機會工作在多信標週期數時(依所有參與連結裝置，所需工作信標週期數之最大公因數來作決定)，在單位時間我們的協調者所需的耗電會比依循 IEEE 802.15.4 協調者來的小。相同的，當 Device 在多個信週期起來工作時，其耗電也會比依循 IEEE 802.15.4 裝置來的小。
- 當 P 值越小時，則其耗電的情形也要比 P 值越大之裝置，在單位時間裡，來的省電。
- 如果上述的 P 值象徵的是網路裝置處理器的效能，那 P 值越小代表處理器效能越好，越快做完事情，越早進入 Sleep Mode，自然也代表越省電(在一個信標週期單位時間裡)。

最後我們再觀察圖 13，發現它在 4 小時處，剩餘電力值就將接近 0，比上述信標模式中最耗電的圖 10 (BECONCNT=1)還耗電，所以得知非信標模式比信標模式耗電。

## 6 結論與未來研究方向

在無線感測網路的應用上，因使用的特性及環境需求，對於電力的節省，延長工作生命及網路的通訊穩定是很重要的考量，而文中提出的方法就是改善針對運用 IEEE 802.15.4 無線感測網路，減少電源消耗及使網路傳輸能更穩定。

在文中之實驗模擬，我們提出一個感測網路裝置耗電之數學表示式，去判斷分析出最佳換手機制  $x$ (可使協調者與 Device 皆存活且工作時間最長)。最後我開發了一個平台，可模擬上述省電方法之是可行的，也用 MATLAB 模擬概略算出消耗電量。證明使用本文所提方法的裝置及協調者，確實有比使用正規 IEEE 802.15.4 信標模式的裝置及協調者來的省電。

在文中有模擬出不同之 P 值對協調者電力耗損之影響，發現其關係盛鉅，在此提出兩個與 P 值有關未來可研究的方向: 1. 在信標模式下，在每個信標週期內，依處理器之速度及網路流量去動態的調整 P 值，觀察其省電之情形。2. 用上述的方法與「網路流量去動態的調整 BO 值」之方法[5]，做省電效能之比較。

## 7 參考文獻

- [1]. 92年度交通部山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發
- [2]. 行政院農業委員會水土保持局土石流觀測示範建立與系統維護工程
- [3]. 常若愚，李維聰，IEEE802.15.4低速率無線個人區域網路CSMA/CA碰撞效能分析與研究
- [4]. D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin, "Highly resilient, energy efficient multipath routing in wireless sensor networks," *ACM Mobile Computing and Communication Review*, Vol. 5, No. 4, pp. 11-25, 2001.
- [5]. IEEE 802.15.4 Standard Information technology
- [6]. IEEE 802.16 Standard for Local and metropolitan
- [7]. K. Akkaya, and M. Youngish, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Network*, Jan.2004
- [8]. Mario Neugebauer, Jom Plonnigs, Klaus Kabitzsch. A New Beacon Order Adaptation Algorithm for IEEE 802.15.4 Networks. 0-7803-8801-1/05 (c)2005 IEEE