

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

利用無線充電技術建置一個強韌的無線感測網路

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 101-2221-E-216-026-
執行期間：101年08月01日至102年07月31日
執行單位：中華大學資訊工程學系

計畫主持人：俞征武

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：張懷澤
碩士班研究生-兼任助理人員：黃彥璋
碩士班研究生-兼任助理人員：陳逸寧
碩士班研究生-兼任助理人員：黃信文
碩士班研究生-兼任助理人員：吳俊毅
碩士班研究生-兼任助理人員：陳暘
碩士班研究生-兼任助理人員：林克叡

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 102 年 10 月 31 日

中文摘要：無線感測器一般部署在室外或危險的環境中，由於執行任務所需的能源有限，這些感測點可能會遇到電力短缺，一旦感測點電力用完將會導致網路通訊中斷不能把資料訊息回傳給基地台(Sink Node)，進而導致整個無線感測網路的斷線。由於重新佈署或是更換感測點都是困難的事情，對此希望能夠以充電方式來達到提升整個感測網路的生存時間，為了積極地延長網路的生命週期，發展新的技術如透過行動充電機對無線感測器節點充電是一個十分重要的趨勢。利用無線充電的技巧，可以在一些危險的環境進行充電，達到在一定距離內就能幫助感測點完成充電。以前有關無線充電研究並沒有探討在提升網路生命週期採用最佳分配的問題，當有多個充電機巡邏維護時，如何去做好分配，達到最有利的分割分配，據我們所知在之前沒有探討最佳分割方法被提出。我們在此計畫中設計並分析，使用多種網路區域切割方法：矩形切割、正方形切割、同心圓切割、扇形切割及混合式切割，透過模擬實驗的結果，比較生存時間的差異和接收訊息封包的數量多寡。最後實驗結果發現，混合式可依能量消耗率計算期望的能量消耗量，再利用期望能源消耗量分配充電機，使每台充電機負擔能源消耗較公平，比起其他幾種分割方式，更均勻分配每台充電機的負荷能力，在生存時間和接收訊息封包上，都能使網路的生存時間更長久，接收訊息封包量較多，各區塊耗電量也更均勻有效使用。

中文關鍵詞：無線充電，無線能源傳送，無線感測網路

英文摘要：

英文關鍵詞：

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

利用無線充電技術建置一個強韌的無線感測網路

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 101-2221-E-216-026

執行期間：2012 年 8 月 1 日至 2013 年 7 月 31 日

計畫主持人：俞征武

共同主持人：

計畫參與人員：黃彥瑋、陳逸寧、林克叡、黃信文、張懷澤、吳俊毅、陳暘

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：中華大學資訊工程學系

中 華 民 國 2013 年 10 月 31 日

摘要

無線感測器一般部署在室外或危險的環境中，由於執行任務所需的能源有限，這些感測點可能會遇到電力短缺，一旦感測點電力用完將會導致網路通訊中斷不能把資料訊息回傳給基地台(Sink Node)，進而導致整個無線感測網路的斷線。由於重新佈署或是更換感測點都是困難的事情，對此希望能夠以充電方式來達到提升整個感測網路的生存時間，為了積極地延長網路的生命週期，發展新的技術如透過行動充電機對無線感測器節點充電是一個十分重要的趨勢。

利用無線充電的技巧，可以在一些危險的環境進行充電，達到在一定距離內就能幫助感測點完成充電。以前有關無線充電研究並沒有探討在提升網路生命週期採用最佳分配的問題，當有多個充電機巡邏維護時，如何去做好分配，達到最有利的分割分配，據我們所知在之前沒有探討最佳分割方法被提出。

我們在此計畫中設計並分析，使用多種網路區域切割方法：矩形切割、正方形切割、同心圓切割、扇形切割及混合式切割，透過模擬實驗的結果，比較生存時間的差異和接收訊息封包的數量多寡。最後實驗結果發現，混合式可依能量消耗率計算期望的能量消耗量，再利用期望能源消耗量分配充電機，使每台充電機負擔能源消耗較公平，比起其他幾種分割方式，更均勻分配每台充電機的負荷能力，在生存時間和接收訊息封包上，都能使網路的生存時間更長久，接收訊息封包量較多，各區塊耗電量也更均勻有效使用。

關鍵字：無線充電，無線能源傳送，無線感測網路

1. 前言

無線感測網路(wireless sensor networks) [5, 6]是以眾多低成本且體積小的感測器，利用任何可行的方式密集的散佈在需要偵測的範圍之內。每一個感測器在所在感測半徑(sensing range)之內偵測到不同的訊號(例如:溫度、壓力、溼度、光度、聲音等)，並在其傳送半徑(communication range)之內之感測器可以互相直接傳遞訊息。這些感測器同時具有計算處理能力。利用多個感測器便可架構成一個無線感測網路。

部署感測網路在人類所無法到達的區域，可以自動搜集所需的資料。例如，早期在戰爭時，人們為了搜集戰場上的資訊，必須派遣偵察兵搜集。然而偵察兵卻很容易在搜集資訊同時被敵軍發現，進而遭受損傷。又例如，在人們無法到達的災區(例如：地震、火災等)，我們無法搜集到這些區域的資料，達到即時救援的目的。使用感測網路，使我們得以克服地理上的障礙，在這些特殊的環境下作即時的監控並收集資訊，並作出適當的應變。感測網路尚有倉儲管理、品質監控，健康醫療協助及監控、自然災害的預警、家居應用，車輛追蹤及偵測等應用[5, 6]。

近年來，感測網路上的研究議題受到廣泛的重視。這些問題包含媒介存取控制

(medium access control)[5, 6]、節省電源(power saving)[7]、目標追蹤(target tracking)[11, 17]、網路的資料傳送路徑(routing)之方式[8]、網路的覆蓋問題(coverage)[9]、網路的連結強度[14]、行動感測網路[11, 13, 14, 16-26, 27]等。感測網路可以透過一個收集器(sink)(可視為一個 gateway)來當作此感測網路和外界的橋樑。所有感測器收集到的資訊都會先匯集到收集器，再由收集器將資訊以衛星、Internet 或是其它方式傳送給遠方的使用者或伺服器。

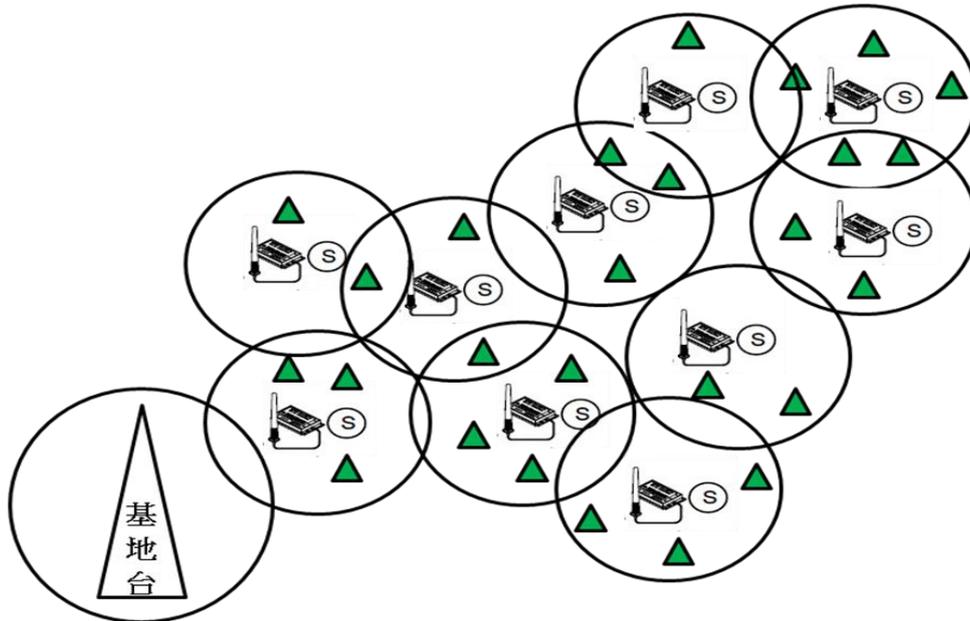


圖 1. 一個感測網路

無線感測網路常常是十分脆弱，容易導致網路的不連通。其中的原因是因為感測器的體積小，它所能搭載的電池也就相對的小。而且此電池是無線感測器主要的電源，想任意地更換電池以延長感測器的壽命，有時是一個較難實現的方式。因此，如果不能妥善運用有限的電池電力，將導致無線感測網路意外地斷裂，以致於不能正常傳送資訊。

前人的研究大多嘗試延長感測網路的生命週期(Lifetime Cycle)，其方法包括：平衡電源消耗負載[20, 22]，建造省電的資料收集樹[6, 11, 12, 13]，利用行動式的感測器[11, 14-16, 17, 19-27]，利用行動式的收集器(sink)[10]，甚至使用多個收集器(sink)[23]。以上的方式都只能暫時減緩能量消耗的速度，整體感測網路的總電源還是不斷地耗損中。從某種角度來說，並未能實質地延長無線感測網路的生命週期。因此，若是想要讓一個無線感測網路長期存活或永遠存活，目前都僅是一個難以實現的理想。

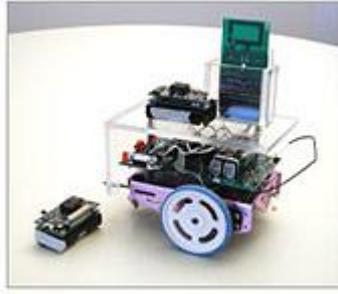


圖 2. 有行動能力的感測器

利用移動載具(Mobile Machine)機器搭配無線充電設備，來對無線感測網路進行充電，就成為一個可以彌補上述缺憾的新研究方向。利用移動載具進行無線充電的技巧，可以使得無線感測網路重啟資料收集及監控的工作，也可以主動地(自動地)延長感測器(甚至整個無線感測網)的生命週期。有關利用移動載具進行無線充電的論文並不多，尤其是利用移動載具進行巡邏充電的文章更是少。在[4]中，Wen Yao et al.提出三個方法來進行巡邏充電，分別為 Region Patrol Charge Scheme (RPC)、Region Inquire Charge Scheme (RIC)和 Distance and Energy Aware Charge Scheme (DEC)。

Region Patrol Charge Scheme (RPC)依照一個事先規劃好的巡邏路徑，來拜訪每個感測器，並詢問該點是否需要充電。一旦感測器須要被充電，當移動式機器到達時，直接以無線充電的方式近距離進行充電。RPC 的缺點是當離移動式充電載具較遠的節點，急需要充電時，它沒辦法立即前往協助並進行充電，恐導致感測器於移動式充電載具到達前因能源耗盡而死亡，進而導致整個網路中斷連線。

Region Inquire Charge Scheme (RIC)改良 RPC 的方法，事先詢問經過節點的周遭節點是否需要充電，若需要，可暫時繞過去進行近距離進行充電後，再沿著原來的路徑繼續未完成的巡邏路徑。因此，RIC 在整體網路生存時間上優於 RPC。但是 RIC 的缺點是，對離移動式充電載具較遠的節點，急需要充電時，還是沒辦法立即前往協助並進行充電，因為 RIC 收集的資訊只限於區域性的資訊。由於無法得知遠方感測器的資訊，恐導致感測器於下次移動式充電載具到達前，因能源耗盡而死亡，進而導致整個網路中斷連線。

Distance and Energy Aware Charge Scheme (DEC)一旦發生須要充電的需求時，感測器會發出訊息，尋找到距離最近的移動式充電載具求救。收到需要充電訊息的移動式充電載具，會根據感測器的優先權進行營救。因為有多台移動式充電載具，所以就算有多個感測器需要救援，仍有機會得到即時的充電協助。DEC 的缺點是使用多台移動式充電載具，可能導致成本過高。另外需要頻繁的通訊來通知移動中的充電機器人，可能導致整個感測網路過度地耗電。另外，因為移動式充電載具的分佈不平均，DEC 並無法區分那些待救援的感測器(對整個網路來說)是關鍵的，因此當這些關鍵感測器未即時得到充電協助而死亡，將導致整個網路通訊中斷等嚴重後果。

以上三個方法雖然若干程度地(利用無線充電技術)，延長無線感測網路的生命時間，但是並非最佳化方法或並未切中問題的核心，也就是並未提供一個強韌不易斷裂

的無線感測網路。一個理想中的強韌無線感測網路，會盡量利用其配置的移動式充電載具，來維持一個無線感測網路正常運作，以達到最基本需達成的功能：完全覆蓋(Coverage)及網路連結(Connectivity)。但是一旦移動式充電載具不足以維持完全覆蓋及網路連結時；退而求其次的方法，為保持大多數的感測器得以將所感測到的訊息傳送到接收器。

此外，前人利用移動載具(Mobile Machine)機器搭配無線充電設備，對網路維護也可以轉換成工作排程問題，在[29]中，Ouyang et al.提出 Job Scheduling Algorithm (JSA)，進而改善提出 Closest Weak Node First Algorithm (CWNF)，重點在維護特定節點，使網路中特定節點能長久維繫整體網路的運作，延長網路生命，也就是提供一個強韌不易斷裂的無線感測網路。維持一個無線感測網路正常運作，為保持大多數的感測器得以將所感測到的訊息傳送到接收器。這方法雖然(利用無線充電技術)延長無線感測網路的生命時間，提供一個強韌不易斷裂的無線感測網路，但是也未達成提供一個永不缺電之無線感測網路。

2. 研究目的

前人改善感測網路的效能以提升感測網路的生命週期，可以提供源源不絕的能量，以下我們列出一些未被前人討論的基本研究問題：

1. 當有多個相同功能移動式充電載具在被分配的區域中，獨自進行巡邏充電時，前人的方法並未考慮如何將區域進行最佳切割，使得每個區域的充電工作負荷均等以延長整體網路的生命週期。
2. 當將區域進行切割時，前人的方法並未考慮如何將區域切割得使得移動式充電載具巡邏充電或救援時所需要的最長移動等待時間儘量縮短。因為過長的切割區域，將造成救援等待時間的增長。
3. 前人的方法並未考慮移動式充電載具移動的速度及其充電所需要的時間。
4. 前人的方法未考慮設計一個長時間存活(甚至是永遠不缺電)的無線感測網路。
5. 但是，前人將整個區域切割成等同大小的矩形(如圖十四所示)[4]，將造成每個切割區域所需的電源消耗負載不平均的狀況。因為無線感測網路的感測資訊，需要透過鄰近的感測器進行資料轉傳至收集器(sink)。因此，一般而言，較靠近收集器的區域，會因為常轉傳其他區域感測器的封包，而消耗較多的電源。
6. 因此，前人的區域切割方式，將造成若干移動式充電載具，無法提供即時有效的充電救援服務，或者需要配置過量的移動式充電載具，因而增加大量的建置成本。

♀ sink			

圖 3. 整個區域被切割成等同大小的矩形

本計畫是希望利用多個同質(homogenous)的移動載具機器搭配無線充電設備，來對無線感測網路進行充電，以提供額外的電源，進而建置一個強韌不易斷裂的無線感測網路。此計畫的重點在於「利用多個無線移動式充電載具分區巡邏救援，使得無線感測網路的生命週期得以延長」。

1. 利用多台無線移動式充電載具，以分區巡邏救援的方式，來設計一個長生命週期之無線感測網路。
2. 找出最佳的分區切割方式，使得每個區域的電源消耗負載相同。因此，可利用一個無線移動式充電載具來提供單一區域所需的所有電源。
3. 計算最少移動式充電載具的個數，以評估建置此強韌無線感測網路的最低成本。

3. 文獻探討

在此，我們介紹有關無線充電之相關前人研究，並進行必要的討論。

3.1 常用無線充電技術

在本章節中，我們討論常用的無線充電技術，有可能可以對感測器進行無線充電。根據美國康乃迪克州帕里瑟技術研究中心負責人帕里瑟表示，未來的電動車將像現在的電話一樣，用天線接收以特殊激光束或微波形式發出的電能作為動力或進行“遠距充電”。當電動車駛經發射器發射範圍時，安裝在高空建築物上的發射器就會被啟動，然後追蹤瞄準電動車並為其充電 [35]。如果全世界都安裝了這種系統，電動車就可以馳騁各地，而不必停下來充電。以上的未來應用，顯然是需要很好的無線充電技術支援，以下介紹幾個常見的無線充電的技術。

3.1.1 線圈感應充電

無線充電之原理是由電磁波與線圈產生感應電流。透過電磁感應方法，當一個封閉線圈中的磁力線數有變化時，導線上就會產生電流，經由法拉第電磁感應定理計算，此產生感應電流因而產生一感應磁場。由於電場和磁場的交互變化，就會產生電磁波發射出去，就是產生無線充電的方法[31]。圖 4 為一個線圈感應圖。

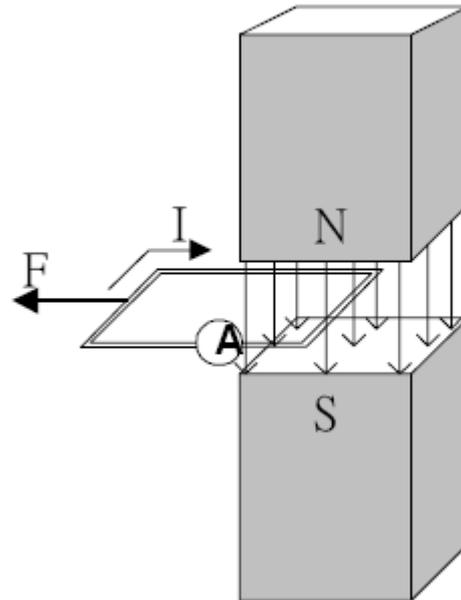


圖 4. 電磁感應圖[31]

3.1.2 微波充電

微波 (Microwave)，是電磁波的一種，以電磁波型式存在的能量，其能量值介於紅外線與無線電波之間，其波長在 0.01m 至 0.3m 之間[32]。馬克斯威方程式 (Maxwell's Equations) 描述電磁波如何在真空或介質中行進，以及電場、磁場如何分佈等情形。而微波既是電磁波的一種，其行徑自然亦在 Maxwell's Equations 的敘述範圍之內。微波技術的應用已有很長的歷史，早期是以通訊領域的應用為主，而隨著微波技術的發展，在食品加工方面亦逐漸有廣泛的應用。1986 年，加拿大的 Gedye 等人，首次成功地在 Dies-Alder 反應系統中，引進微波加熱技術，而將微波技術帶進有機合成化學的領域。

一般來說，物質吸收微波的途徑主要可分為兩種，一種是偶極轉動 (Dipole rotation)：當一極性分子在無微波場作用時，其分子的排列會趨於最大亂度，但當相同極性分子處於微波磁場中時，則分子的偶極矩會立刻依照磁場極性的方向而呈規則性的排列，所以極性分子的偶極矩會隨著微波磁場，以每秒數十億次的高速振動而快速轉動，使分子產生摩擦而釋放出大量的熱能，導致溶液達到快速加熱分子的目的。另一種物質吸收微波的途徑，是藉由離子導電 (Ionic conductance)：溶液中含有

離子性物質，因微波場作用使得離子性物質隨著磁場振盪而遷移，進而產生電流傳導。

微波技術是結合了高速率、高產率、高選擇性及綠色能源的新領域。雖面臨諸多難題，但有實現的可能。從[34]這篇文章可看出，微波也是需要使用天線的，它的天線有很多不同形狀，如圖 5 中，八木天線用在一個方向的工作；圖 6 中的全向輻射天線用於流動的無線電設備，另外圖 7 中的鐵酸鹽棒形用於電視機或是收音機；最後，圖 8 中的旋轉調諧駐波天線可用於各頻率。

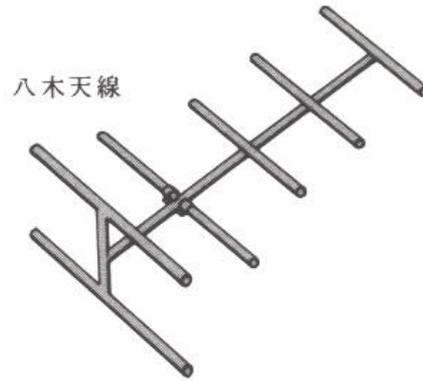


圖 5. 微波使用的八木天線[34]

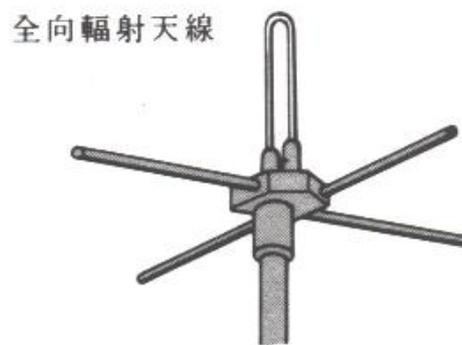
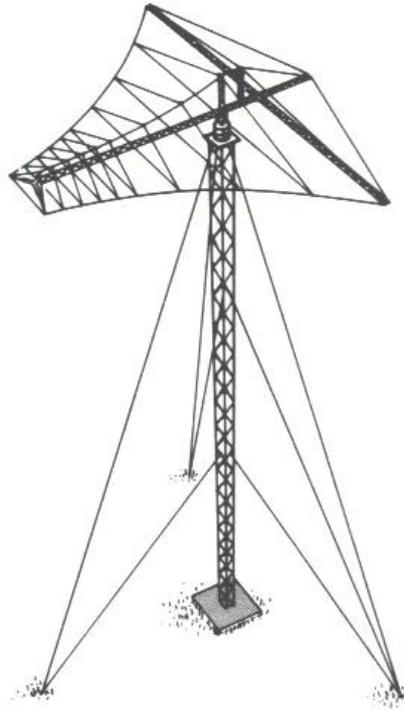


圖 6. 微波使用的全向輻射天線[34]



圖 7. 微波使用的鐵酸鹽棒形天線[34]



旋轉調諧駐波天線

圖 8. 微波使用的旋轉調諧駐波天線[34]

3.1.3 能量反射充電

Muhammd Imran Afzal et al. [1]主要考量雖然有些感測器可以直接被充電，但是有很多情況下，是無法直接進行充電的。例如，假設有障礙物的情況下，障礙物就可能會截斷某個關鍵點(Cut Point)使這個關鍵點無法直接進行充電，這樣會造成此感測器電力不足而無法長期使用，造成訊息傳遞的中斷。因此這篇論文主要是解決如何避開障礙物進行充電。此論文採用的充電方式，是利用紅外線來進行間接充電。他們使用一些鏡子放置在適當的位置，再利用這些鏡子來反射紅外線能量，以達到傳達能量的效果，進而為這些被遮掩的感測器進行充電。

3.1.4 感測器傳遞能量

Mohamed K. Watfa et al. [2]利用能量的傳遞來幫助其它需要充電的感測器進行充電。但是這篇論文是假設硬體上需要若干特殊裝置，因此這篇論文呈現的只有模擬的結果，並沒有真正實作。他們的方法是在基地台鄰居的感測器，會一直透過基地台來做充電。假如感測器需要充電時，會發送一個訊息給基地台，此時基地台便會回傳接受到此訊息，就可開始準備充電。

3.2 利用移動機器人進行充電

Wen Yao et al. [4]使用移動機器人對其它感測器進行充電。它主要充電方式為 Inductive Charging，這是一種利用電磁波共振的原理產生電源。移動機器人移動到需要充電的感測器附近時，將電能傳遞與該感測器。此篇論文提出三種方法：Region Patrol Charge Scheme、Region Inquire Charge Scheme、Distance and Energy Aware Charge Scheme，分別詳述如下。

3.2.1 Region Patrol Charge Scheme (RPC)

RPC 先把感測網路切成許多矩形小區塊，每個區塊都有一個移動式充電載具負責提供充電。RPC 會規劃一個路徑，將區塊內的每一個感測器都巡邏過一次。一旦移動機器人巡邏經過，剛好收到需要充電的要求，就會立刻停下來幫此感測器進行充電。在充電過程中，不會做任何動作，直到把此感測器充完電源為止，如圖 9 所示。

RPC 雖然可以檢查每一個感測器是否需要充電，不會遺漏任一個感測器；但是當一些急需充電的感測器發生時，RPC 無法即時的幫助它充電，必須等待巡邏到來才可以幫它進行充電。圖 10 顯示因為來不及充電而導致感測器的死亡，會造成感測網路中斷，一旦發生中斷(Disconnect)就會發生訊息的遺失。

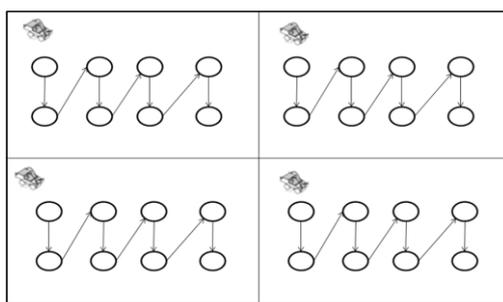


圖 9. RPC 分割區域並進行巡邏充電

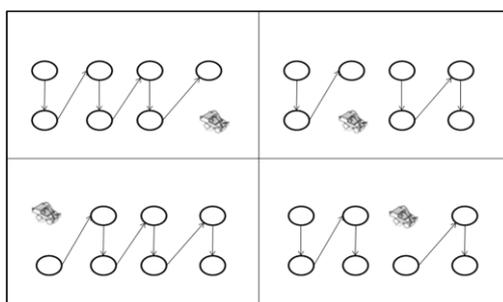


圖 10. RPC 到需要充電的感測器時，該感測器已死

3.2.2 Region Inquire Charge Scheme (RIC)

RIC 方法跟 RPC 其實很像。兩者都是要先把感測網路劃分成好幾個區塊，一樣每個區塊皆有一台移動式充電載具。RIC 也是規劃一個巡邏路徑可以使移動式充電載具巡邏到每個感測器，不同於 RPC 的地方，是在每當它巡邏到某個感測器，它會問此感測器周圍是否需要充電。假如需要充電，此移動式載具會先移動到需要充電的感測器旁，對它進行充電。

RIC 雖然可以比 RPC 有更好的網路延長時間，可以先詢問一些周圍的感測器是否需要先充電，但是畢竟有些需要充電的感測器，可能是位於整個巡邏路徑的後段。因此，RIC 雖然改進 RPC，但是一樣有來不及充電而導致感測器死亡，進而造成感測網路中斷的可能。

3.2.3 Distance and Energy Aware Charge Scheme (DEC)

DEC 方法不同於上述兩種方法，它不將感測網路劃分成好幾個區塊；而是直接在感測網路上，分配數台移動式充電載具來進行充電，每台移動式充電載具並無專屬的巡邏區域。

首先，當一個感測器低於它的能量標準值(Threshold)(此標準值依照使用者需求所設定)，它會發送一個需要充電的封包到網路上。當其中一個移動式充電載具接受此訊息時，會告訴此需要充電的感測器，那一個移動式充電載具會過去幫它充電。這個移動式充電載具只幫這個感測器充電，直到充電完成後，才會取消任務，如果充電當中，有其它感測器向它發送充電需求，它不會理會。

當一個移動式充電載具在一個時間內收到多個感測器需要充電的需求時，它會依照 $f=(e-v(tn-t))\log(d)$ 這個公式來決定其優先次序。意思為利用目前時間 tn 跟發送需求時間 t 差，乘上能量消耗比率 v 。利用全部能量 e 減去這個能量消耗得到目前的電量 $e-v(tn-t)$ ，再把消耗能量乘上距離取 \log 值，藉此估計哪個感測器的急迫性比較大。根據此公式可以知道，DEC 會以(1)最需要充電的感測器，及(2)移動式充電載具附近的感測器優先進行充電，如圖 11 所示。DEC 的缺點在於需要大量的廣播封包來與移動式充電載具溝通，將浪費更多電源。而且在分散式的環境下，不易估算等待救援的時間，將可能導致若干感測器提早死亡。

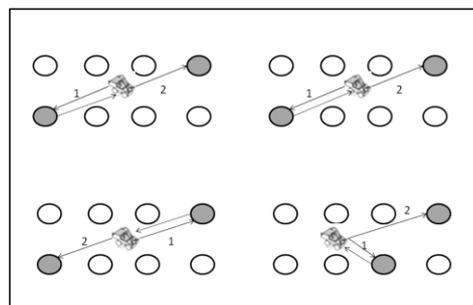


圖 11. DEC 中移動式行動充電載具會找尋最需要充電感測器進行充電

4. 研究方法及成果

4.1 無線感測佈建範圍

首先，無線感測網路佈建的區域範圍，最主要最廣泛被採用的是圓形和矩形兩種型態，兩種型態都有完善的論點，有完善模擬證明無線感測網路實驗佈建，在此，我們採用圓形逼近於矩形的模擬方式，簡單來說，實驗佈建環境，主體是以矩形正方形，採用外層是圓形逼近這矩形大小的環境，設定所有隨機佈建的感測點，隨機零散分佈在矩形區塊，達成隨機分佈的設定。

4.2 影響自動充電最佳分割之因素

在為了讓感測網路存活時間越久，因此這裡希望提出一個方法，透過移動式充電機器能源供給，分配能源消耗供給均等平衡的區塊，達成不會發生能源耗損到零，網路發生斷路死亡的情況，進而達成無線感測網路存活時間長久。影響網路分割好壞的情況，有以下幾種：

1. 感測器數量 *node*，移動式充電機器的數量 N 。
2. 以充電載具定義分割區塊數量。
3. 所有感測器的分佈情況，密集亦或均勻，這裡採用隨機分佈。
4. 分配區塊的形狀：矩形、扇形、同心圓。
5. 基地台(sink)所在的位置。

為了建造一個區域的電源消耗負載大致相同的感測網路，因此我們需要知道影響網路分割的因素(及相對應的符號)有那些，羅列如下：

1. 感測器的數目為 n 而移動式充電載具為 m 。
2. 以充電載具定義分割區塊數量 k 。
3. 所有感測器的分佈情況，密集亦或均勻，即感測器隨機分佈函數 F 。
4. 切割區域的範圍內任兩點最長距離 D_s 。
5. 基地台所在的位置在本計畫中設定為部署區域的中心點。
6. 充電機的充電效能 C_e 。
7. 充電機的移動速率 C_v 。
8. 感測器的充電標準 S_t 。

4.3 設計自動充電區塊分割演算法

要一個無線感測網路或感測器能長久運作，其前提需提供足夠的能源。擁有充足能量的移動式充電機器，須能適時提供足夠的能源給需要充電的感測器，才能延長一個無線感測網路的生命週期。因此如何分配給每個移動式充電機器巡邏的區塊，使得每個感測器得以長久運作，便成為本計畫中目前最重要的議題。

為此我們設計以下的分割方法來達成此目標。這些方法將分為均等面積分割和能量均等分割兩種方法來評估。

4.3.1 區域面積均等的切割方法

首先，為了方便分析，我們將無線感測網路的佈建，以面積來評估，分成矩形和圓形面積來做切割，矩形以正方形來做考量，當有 N 台移動充電機器，可以平均分配給 N 個區塊，每個區塊的面積是均等。

4.3.1.1 矩形切割

Wen Yao et al. [4]將感測網路劃分成好幾個區塊，論文中沒提切割方式，設定採用矩形，矩形分割目的在於使得每個巡邏面積均等。當有 N 台移動充電機，劃分為 N 區塊，有兩種分割方式，單一行分割跟正方形分散分割。

- (1) 單一行切割，當有 N 台移動充電機，整體的面積就直接劃分為 N 區塊，所劃分的整體區塊就會形成 $1 \times N$ 排列顯現出來，這種排列可以不斷延伸到多數，都可以平均分配出均等的面積。

這種切割方式的好處，可以簡單均勻分割每一個區塊，當充電機數量的增加，不需要特殊的改變，分割區塊面積一樣。缺點每一區塊感測器分佈密度情況不同，每個區塊能源消耗不同，透過實驗的結果，可以發現有些區塊感測器死亡，有些區塊能源損耗只有少許的現象。

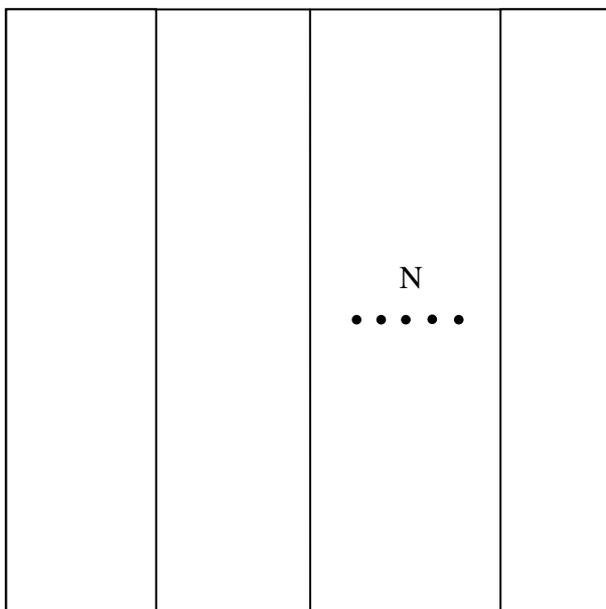


圖 12. $1 \times N$ 排列

- (2) 正方形切割，在單一行分割過程中，有些排列的平方數可以分解，呈現均勻分割，當 N 移動充電機到平方值，整體畫面可以呈現出 $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ 的均勻分

配，整體排列顯示均勻分配分割，當充電機數量不等於平方值，會選擇小於此數值，最靠近此數值的平方根值來做切割，圖 13 就是選擇使用當充電機有 5 到 8 台，不足 3 的平方 9，選擇最靠近平方就是 4，切割就變成 2x2 的區塊，多的充電機不考慮。

這種切割方式的好處，每一個切割區塊面積都相等，充電機在每個區塊移動距離均等。缺點只適用在平方數台充電機，每個區塊能源消耗不同，透過實驗的結果，可以發現有些區塊感測器死亡，有些區塊能源損耗只有少許的現象。

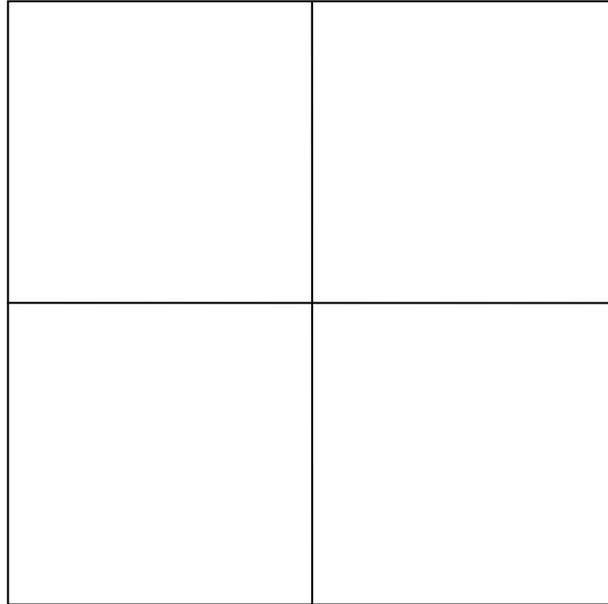


圖 13. $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ 排列組合

4.3.1.2 扇形切割

圓形分割目的在於使得每個巡邏面積電源消耗均等。當 N 台移動充電機器人時，劃分為 N 區塊，有兩種分割方式，扇形跟同心圓分割。

扇形切割，在分割的方法上是以基地台圓心為基點。當有 N 台移動充電機器人時，以圓 360 度除以 N 台移動充電機，求取 N 個扇形區塊，來對圓呈現均勻分割。因為基地台所在的位置在部署區域的中心點，所以每個巡邏面積(扇形)電源消耗期望上為均等。

這種切割方式每個區塊面積均等，每一區塊的電源消耗期望值為均等，缺點隨充電機數量越多，切割區塊角度的變動，感測器的數量分布密度不同，切割區塊的電源消耗差異會有所不同。

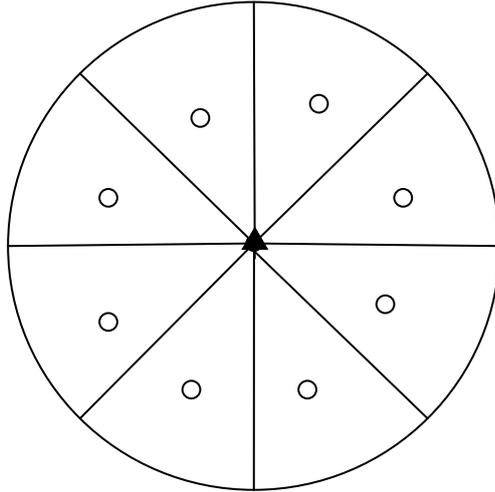


圖 14. 扇形切割

4.3.1.3 同心圓切割

同心圓分割，可以看成將 N 個移動充電機，平均分佈在一個以 R 為半徑的圓形環境中，其收集器位於圓心。圓的面積可以大致分割成多個圓環(由等距的同心圓所分割而成)。其中要注意的是，同心圓之間的距離 r ，是整個網路上相鄰感測器的期望距離。我們將透過計算求得每個層的電量消耗值，計算出每一層所需要的期望耗費電源後，此舉有助於設計出能量均等的切割方式。

這種切割方式對甜甜圈效應表現出有好的結果，缺點切割區塊的電源消耗差異有所不同。

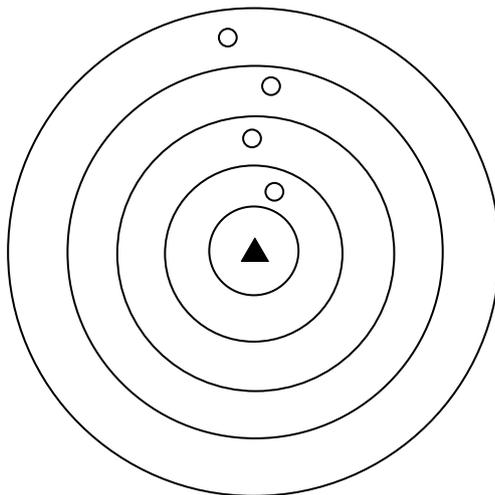


圖 15.同心圓分配

4.4 混合式切割

我們將扇形切割和同心圓切割混和成一個新個方式稱為混和式切割。直覺上我們將整個部署的區域進行披薩式及同心圓式地多等份切割，如圖 16 所示。

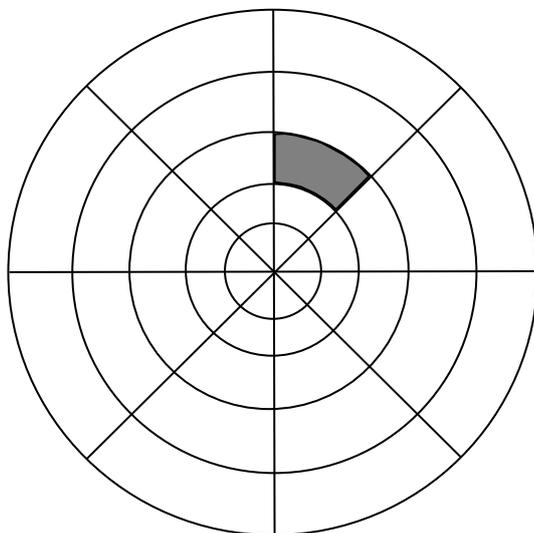


圖 16. 整個部署的區域再進行混和式切割

4.4.1 切割區域所需電源消耗的估計

為了方便分析，我們將無線感測網路的佈建，可以看成將 N 個感測器平均隨機分佈在一個以 R 為半徑的圓形環境中，其收集器位於圓心。每個感測器都設定固定通訊範圍 R_c 。傳送資料，圓的面積可以大致分割成多個圓環(由等距的同心圓所分割而成)。其中要注意的是，同心圓之間的距離 r ，是相鄰感測器的期望距離。如此的假設，可較合理地讓無線感測網路中資料的傳遞，是發生在圓環之間進行(圖 17)；另外的一個好處是，因為圓環的面積容易計算，導致每個圓環中的感測器期望個數較容易被估算出。此處借用黃志明等人的分析技巧[35]來達成估計每個同心圓的期望耗電狀況。

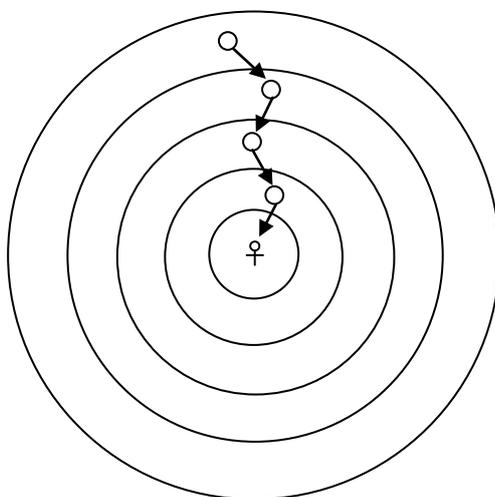


圖 17. 整個區域被切割成多個圓環，讓資料的傳遞是發生在圓環之間

假設感測部署的區域被劃分為 h 層環狀區域。基地台所在的為第 1 層，逐漸向外伸展環狀的分割，最外層為第 h 層，此處最多層數 $h=R/r$ 。在此用 $Tier(t)$ 來代表第 t 層內中感測器個數。則我們可以有以下公式：

$$N = \sum_{t=1}^h Tier(t)$$

因為我們假設感測器是均勻分佈整個區域中， $Tier(t)$ 和所有感測器數 N 比與 t -層圓環和整體網路面積比是相同的，即：

$$Tier(t) = N \times \frac{\pi \times (t \times r)^2 - \pi \times [(t-1) \times r]^2}{\pi \times (h \times r)^2} = N \times \frac{2 \times t - 1}{h^2}$$

無線感測網路中，感測器在資料傳遞的過程中，有三種能量消耗的狀況：(1)感測模式(2)計算模式(3)通訊模式。其中通訊模式包含傳送和接收。大部份的論文都同意，其中以通訊模式中的傳送最耗損電源。若通訊半徑可變動，則其耗損電源的程度又與感測器間的距離有關。

以下的假設，將對分析及估計每個切割區域所需的電源消耗負載有很大的幫助：

1. 每個感測器傳送與接收一個位元資料所消耗的能源分別為 ξ_T 和 ξ_R 。
2. 自第 x 層傳送到收集器的的所有封包，將完全由第 $x-1$ 層的感測器接收，其中 $1 < x < h$ 。
3. 當資訊轉傳的過程中因資訊的重覆，導致轉傳的資料存在被壓縮的可能，在此假設壓縮率為 μ 。
4. 假設總共有 V 個事件隨機被感測器偵測到，則每個感測器因偵測到此事件而發出的封包數的期望值 $\rho = V/N$ 。則第 x 層感測器感測到的資訊，並將之傳送到第 $x-1$ 層的期望數量是 $Tier(x) \times \rho$ 。因此，第 $x-1$ 層的每一個感測器，將傳送自第 x 層感測器發出的資訊封包數為 $B(x, x-1) = (Tier(x) \times \rho) / Tier(x-1)$ 。依此方法，我們可以計算 $B(x, x-2) = B(x, x-1) \times \mu$, $B(x, x-3) = B(x, x-2) \times \mu$, ..., $B(x, 1)$ 。我們將可計算出第 x 層感測器對內圈的每一層所造成的期望轉傳封包數。

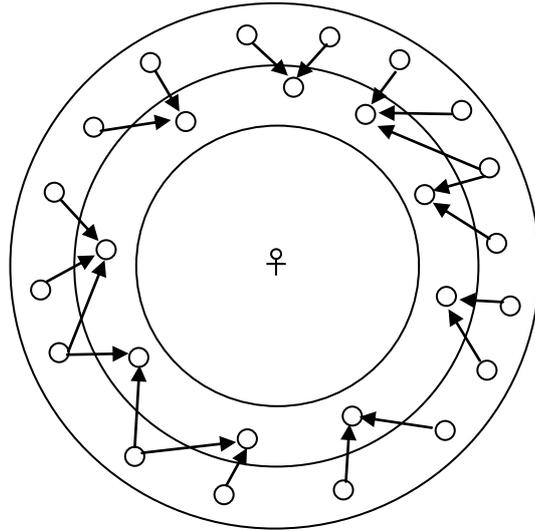


圖 18. 第 x 層傳送到收集器的所有封包，將完全由第 $x-1$ 層的感測器接收

利用此計算，我們將有機會計算出每一層感測器所需要期望耗費電源 E_x (包含感測、傳送、和接收所需的電源)，以利找出最好的切割方式(其中 $1 < x < h$)。

透過計算求得每個層的電量消耗值，可以把每個層轉換成需要多少能源可以使這層的能源消耗達到損益平衡來思考，當達成消耗的能源等於供給的能源，網路能源可以穩定永續供給不間斷，而要穩定不間斷的能源供輸，這時的影響取決於充電車的充電速率。

4.4.2 找出最佳的電源消耗負載相同之分區切割方式

每個層的電量消耗值，達到損益平衡，網路能源可以穩定永續，透過計算出每層能源的消耗值，均勻分配給移動充電機維護，可以將層的能源消耗和充電車的充電速率來計算，可以計算出這區塊耗損電量需要幾台移動充電機可以達到平衡。

例如，當 1000 個感測點，在一個半徑 $R=320$ 的圓中，感測器通訊半徑 $r=40$ 的環境中，這樣將可以分割為 $320/40$ 共 8 層。根據[28] Heinzelman 可知道，感測器通訊範圍在 40 以下，傳送一個位元的資料，需要消耗 210nJ，接收一個位元的資料，需要消耗 50nJ 的能源。假設 $\rho=0.2$ ， $\mu=1$ 以 *Normal* 分佈，所呈現期望耗能資料會如下：

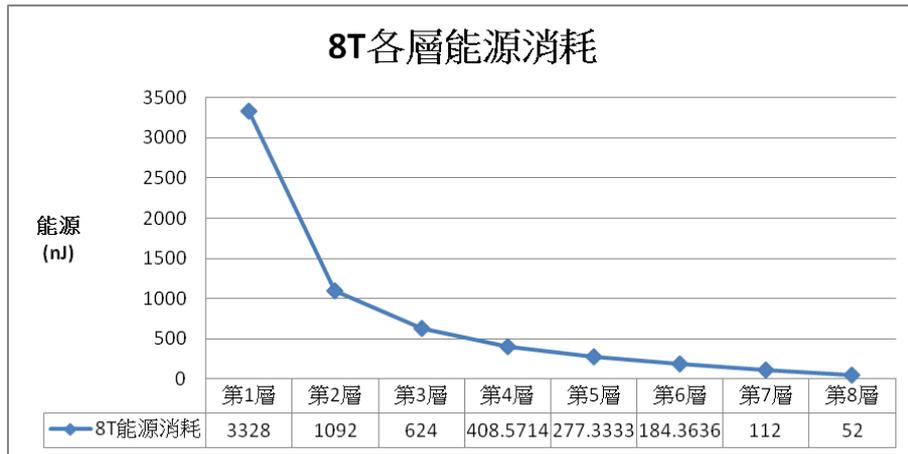


圖 19. 8T 計算出能源消耗

計算感測器數 1000 個，計算每一層感測器的數量，一方面使用半徑 320 的圓面積，計算隨機佈點 100 次，實驗取得分佈在 8 層內感測器的平均，這時得到各層期望感測器數如下：

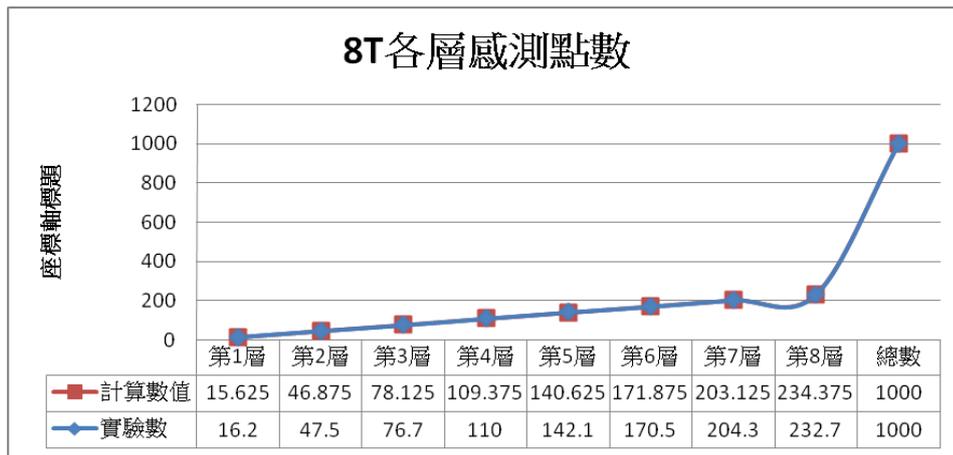


圖 20. 計算出 8T 各層感測點數

透過圖 19 中每層的耗電量，和圖 20 所計算的平均感測點個數，計算各層感測器的平均耗電量就如下：

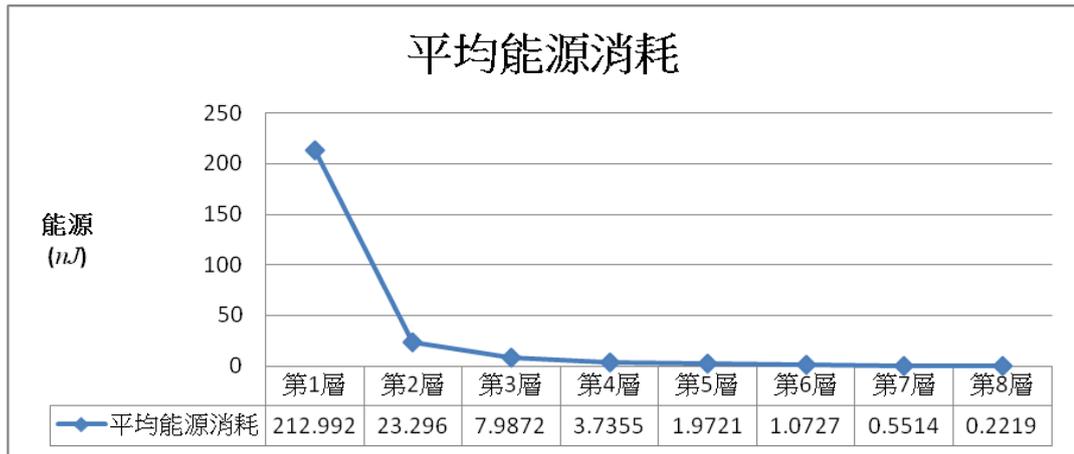


圖 21.計算出 8T 各層感測點平均消耗能量

圖 21 可以看到第一層每個感測器的平均耗電量約為 $213nJ$ ，表示要使這一個感測網路中每個感測器能達到損耗平衡，首先，充電器充電效能，基本上最少就需要達到 $213nJ$ ，當充電器對感測器進行充電動作時，這樣感測器在運作上，才能達到損耗平衡。當 $\lceil 6078.27/213 \rceil = 28$ 就可以得到圖 22。

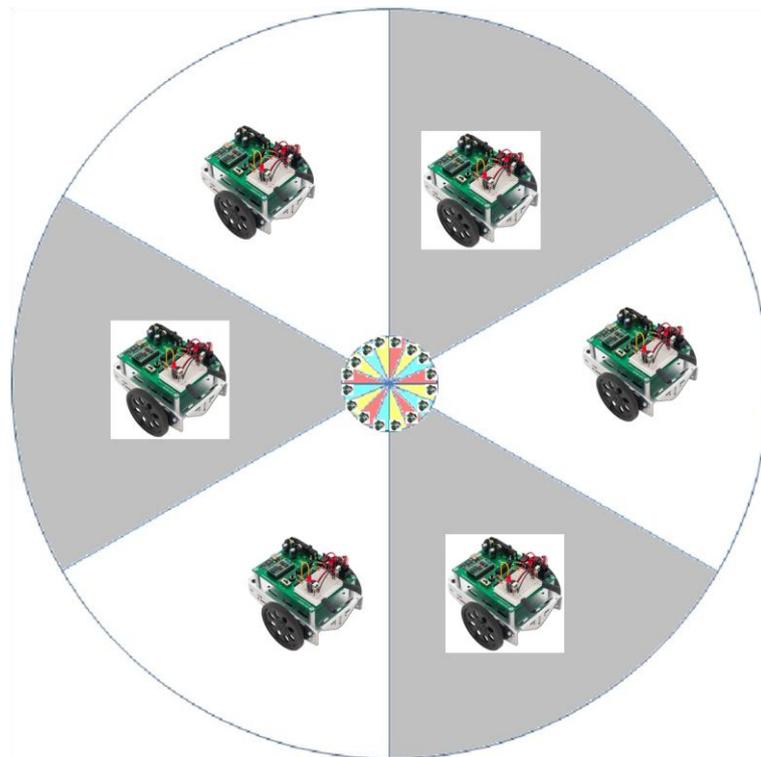


圖 22.充電機分配圖 I

不過在實驗的過程，發現感測器分佈數量，是需要考慮的因素，實驗計算時，第一層感測點的數量樣本範圍從 13 到 18 個，表示當第一層感測器數量為最少值，感測點的耗能會加重，當感測器數量為 13 個，第一層的平均耗能就變成 $256nJ$ ，充電器

充電效能最少就需要達到 $256nJ$ ，才能達到損耗平衡的目的，當實驗數大量，第一層感測器有程度上的機會只分佈一台感測器，更甚者，有機會第一層沒有感測器，那是機率問題，在此就不考慮。

當情況發生在第一層只有一台感測器，這時感測器的負擔能源損耗是第一層的總耗損 $3328nJ$ ，充電車的充電效率要達到 $3328nJ$ ，才能讓感測器達到損耗平衡。這時分配情況就如同圖 23。

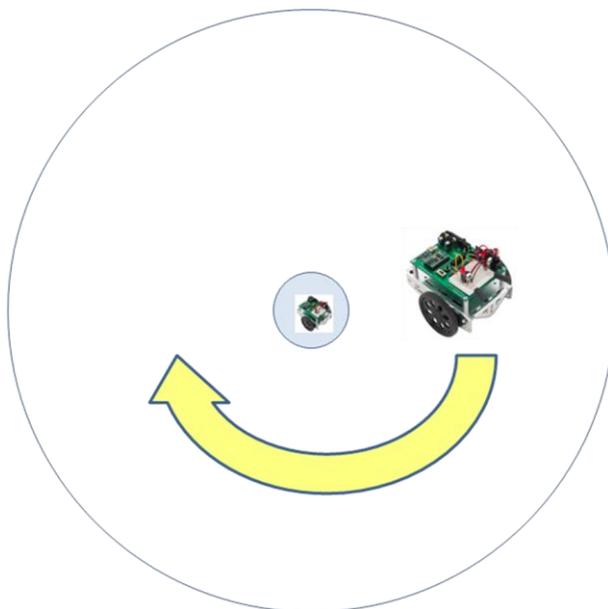


圖 23.充電機分配圖

分析感測器的充電標準 S_i 設定，當感測器到達充電標準，感測器會發出充電訊號去請求充電機充電，受到網路廣播傳送的時間，當充電機在巡邏中收到請求訊號，有個時間差，當充電機正在幫其他感測器充電，會產生充電的時間差(充電機幫感測器充電到滿電量的時間)，時間差等於滿電量減剩餘電量的值再除以充電效率，假設滿電量 15000，剩餘電量 7500，充電效率 3328，時間差計算得到 $\lceil 7500/3328 \rceil = 3$ 秒，當充電機充電完成，充電機出發到發出請求訊號感測器。

速率和距離的關係，這裡設定一秒走一 HOP，表示一秒就跳一層等於 40 公尺，實驗範圍為 320 公尺，表示最遠需要走的路徑為八層就等於 15 秒，第八層的耗電量等於 52，總時間差為 $15+3=18$ 秒，這時感測器的耗電量計算得 $52 \times 18 = 936$ ，感測器剩餘電量為 $7500 - 936 = 6564nJ$ ，需要充電 $15000 - 6564 = 8436nJ$ ，時間差 $\lceil 8436/3328 \rceil = 3$ 秒，當然現實中要達到沒有損耗是不可能的，充電機的電量也是應該會耗損，這裡考量在理想狀態下，沒有功率的耗損，充電機也是行動電廠沒有耗損不會缺電，不需要充電。當滿足以上設定網路要達到長久不缺電網路可以實現。

4.5 無線充電工作排程演算法

在此計畫中，我們也有效地安排移動式充電載具前往特定感測點加以充電，使得

每一個感測點不至於因電力枯竭而死亡。延長目前感測網路存活時間最佳化的問題，可以轉換成有期限的工作排程問題，但是一旦移動式充電載具不足以同時維持完全覆蓋及網路連結時，至少一個感測器無法運作(若有備用的感測器應於此之前行開啟，以延長網路存活時間)；退而求其次的方法，為保持大多數的感測器得以將所感測到的訊息傳送到接收器。針對這方式提出了 Job Scheduling Algorithm (JSA)，進而改善提出 Closest Weak Node First Algorithm (CWNF)，重點在維護特定節點，使網路中特定節點能長久維繫整體網路的運作，延長網路生命。

4.5.1 Job Scheduling Algorithm (JSA)

在此計畫中，我們為了判斷移動式充電載具是否足夠以同時維持完全覆蓋及網路連結(在此指每一個感測器皆存活)，延長目前感測網路存活時間最佳化的問題，可以轉化成有期限的工作排程問題(Job Scheduling with Deadlines)。每一個發出要求充電的感測點代表一個需要被完成的工作。利用計算收集器收到要求充電的時間+感測點的期望存活時間-(基地台到每個感測點之間的最短距離/移動式充電載具的移動速度)得知此工作需被完成分派的期限。收集感測點需要動作多久的時間，決定可以多久完成一個任務。透過公式的計算，安排移動無線充電機器人對需要充電的感測點去實行充電工作。

4.5.2 Closest Weak Node First Algorithm (CWNF)

在此計畫中的另一個主要重點在於當救援不及導致有感測器死亡時，有一巡邏充電排程機制，使得在感測器死亡後，連通到收集器的剩餘感測器為最多。也就是，這些因救援不及而死亡的感測器，比較不會破壞無線感測網路的連接性質。

針對網路中重要的感測點設定擁有較高的優先權向量值，當有感測節點需要充電時，附近的移動充電機器人會先計算優先權來充電，以重要的感測點優先考量充電，當同時有相等優先權的感測點需要充電時，這時移動充電機器人會以移動充電機器人到感測點的距離長短來考量，選擇較短距離的感測點充電。

我們利用圖論的技巧，來研究節點對整體網路連接性質的影響。首先定義一些和連接有關的名詞。一個圖(graph) G 是連接的 (connected) 如果有一條路徑連接任一對的點。否則， G 是不連接的(disconnected)。一個 $G=(V, E)$ 的點切割 (vertex cut) 是 V 的子集合 V' ，使得 $G-V'$ 是不連接的。一個 k -點切割 (k -vertex cut) 是一個點切割擁有 k 個元素。一個圖(graph) G 的連接數(connectivity number)，表示成 $k(G)$ ，為最小的 k 值使得 G 擁有一個 k 點切割。一個圖 G 為 k -連接 (k -connected) 如果此圖的連接數至少為 k 。注意所有的連接圖 (connected graphs) 至少是 1-連接[30]。

從以上的觀察，可以得到下列的網路連接的特性：

Observation 1：針對任一個圖 G 的 k -點切割中的 k 個元素都失去功能時，此網路將不連接。

Observation 2：定義函數 $w(v)=\text{Minimum}\{k|v\in V'\}$ ，這裡 V' 是一個圖 G 的最小

(minimal) k -點切割}。如果 $w(v_1) < w(v_2)$ ，可判斷 v_1 比 v_2 更脆弱。倘若點 v 不屬於任何最小(minimal) k -點切割，則設定 $w(v) = \infty$ ，代表此點的移除對剩餘整體網路的連接無影響。另一個考量的因素，是感測器到收集器 (sink) 的距離。直覺上，當網路斷裂的點越靠近收集器，則殘餘 (可連接到 sink) 的網路節點將越少，即對網路監控資訊收集的功能造成較大破壞。從以上的觀察，得到下列的網路連接的特性。

Observation 3：定義函數 $d(v)$ 為點 v 到收集器間的最短距離。當兩個點 v_1 及 v_2 其函數 $w(v_1) = w(v_2)$ 且 $d(v_1) < d(v_2)$ 時，將判定點 v_1 比點 v_2 更需要保護，因為兩點的移除，對整體網路的不連接，有類似狀況。但是，以對網路監控資訊收集的功能而言，點 v_1 造成較大破壞。

利用函數 $w(v)$ 及函數 $d(v)$ 來當作決定網路上脆弱點的因素之一，並在排程中給與提早充電的優先權。當然，決定充電排程的因素尚有許多，包含移動式充電載具的位置、感測器的期望存活時間、充電需求的狀況等。

在本章中，我們將探討如何切割感測網路區塊，使得每個區域利用單一行動機器人來救援充電時，將使得整體的無線感測網路的生命週期得以延長最久。

5. 模擬實驗

實驗考量矩形切割有水平和 $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ 兩種方法，以考量圓形切割有扇形和同心圓分配，以混合計算來考量分配。對於可以讓長久不缺電的評比，主要以程式運作超過 1 小時，實驗過程中感測網路上的感測器沒有因為電源耗損到停止做評斷。

5.1 感測器耗能模型假設

我們假設的耗能模型是根據[28]Heinzelman，每個感測器透過 Heinzelman 提供的公式計算出通訊範圍內，傳送與接收一個位元的資料分別需要的耗能，其中，傳送和接收 k 位元資料，距離長度為 d 得到如下：

表 1. Radio characteristics.

Operation	Energy Dissipated
Transmitter Electronics ($E_{Tx - elec}$) Receiver Electronics ($E_{Rx - elec}$) ($E_{Tx - elec} = E_{Rx - elec} = E_{elec}$)	50 nJ/bit
Transmit Amplifier (ϵ_{amp})	100 pJ/bit/m ²
E_{Tx} ：無線電傳送端消耗能源 E_{Rx} ：接收端消耗能源 E_{elec} ：耗損能量 $elec$ ：1bit 能量 ϵ_{amp} ：功率放大值	

簡單傳送能源消耗公式，其中 k 表示 k 位元， d 表示距離，計算關係如下：

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^2$$

接收能源耗能公式如下：

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \times k$$

假設感測器通訊範圍在 40 以下，傳送一個位元的資料，需要消耗 210nJ，接收一個位元的資料，需要消耗 50nJ 的能源。

基地台位居於模擬環境中心點，資料從節點傳送到基地台。我們使用 Kruskal 演算法所形成的展開樹(Spanning Tree)，建立資料轉傳路徑。所有的感測器將利用此展開樹將所感測的資料轉傳到樹根上的收集器，如圖 24 所示。

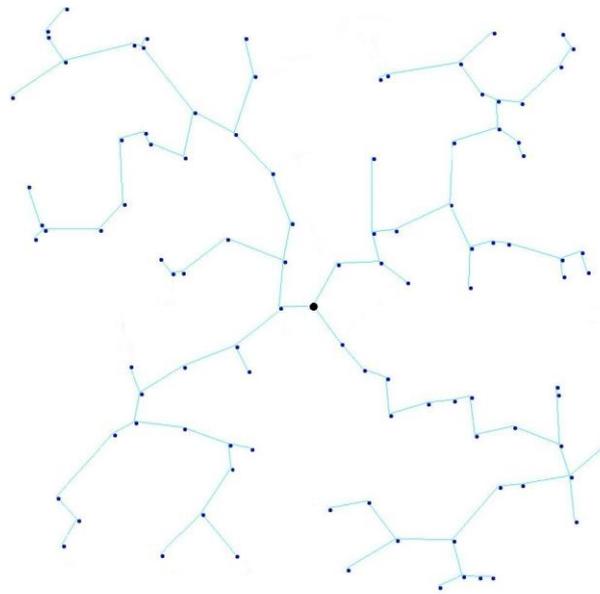


圖 24.傳送資料 Spanning Tree

5.2 充電機巡邏路徑假設

我們每台充電機假設能力都是相等，每個充電機都有固定巡邏路徑，平行切割和平方根切割，巡邏路徑選擇以圖形每個切割區塊最上方感測點往下巡邏到最下方感測點，扇形是選擇以靠近圓心開始出發，選擇分割區塊中最近的感測點開始巡邏，到區塊中最遠之感測點，再依原路徑逐步返回，同心圓以水平線為出發點，以逆時針行進，這幾種方法，巡邏途中都依 Wen Yao et al. [4]所提對需要充電感測點作出充電。

5.3 切割和沒切割生命週期的比較

在這裡從表 2 中可以看出模擬參數是多少，區域大小主要以前人實驗環境設定考量，矩形切割是前人的做法，跟提出的切割做比較，圖 25、圖 26 和圖 27 顯示模擬出來的生存時間，還有圖 28、圖 29 和圖 30 接收訊息數量是多少。

表 2. 改變充電機器數量模擬數據

參數	值
區域大小(m ²)	1000×1000
感測點(Sensor Node)數量	1000
感測點能量全滿(nJ)	15000
能量標準值(Threshold)	7500
移動載具速度(hop/sec)	1
充電速度比率(nJ/sec)	100

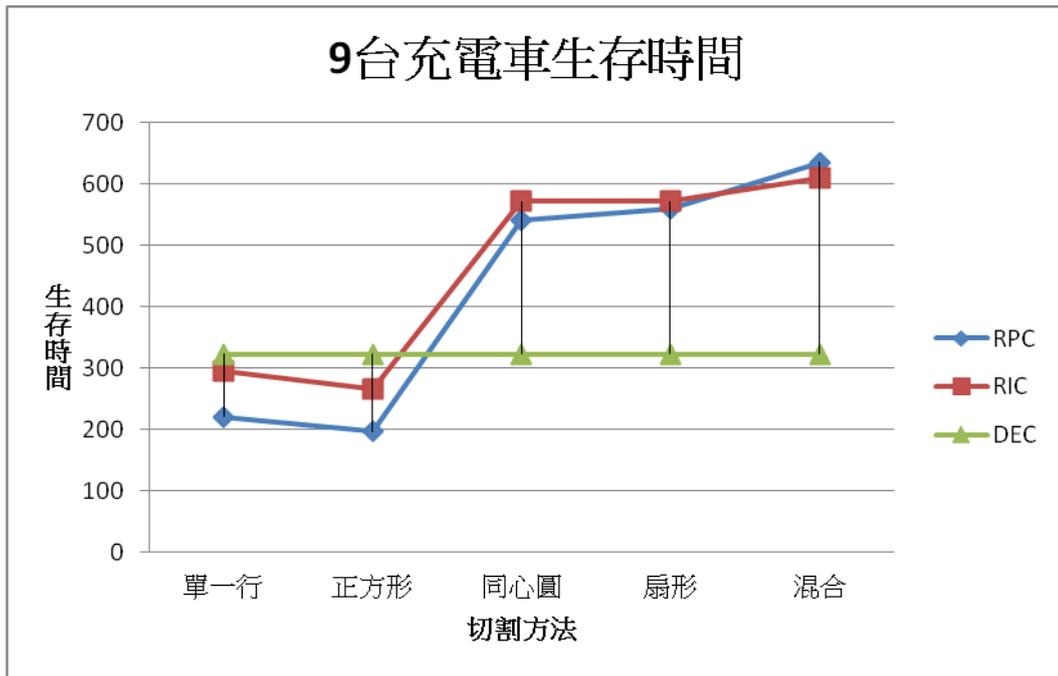


圖 25. 9 台充電車的生存時間圖

由於實驗基地台設定，甜甜圈效應的影響，採用同心圓、扇形和混合型比矩形分割有較長的生存的時間。

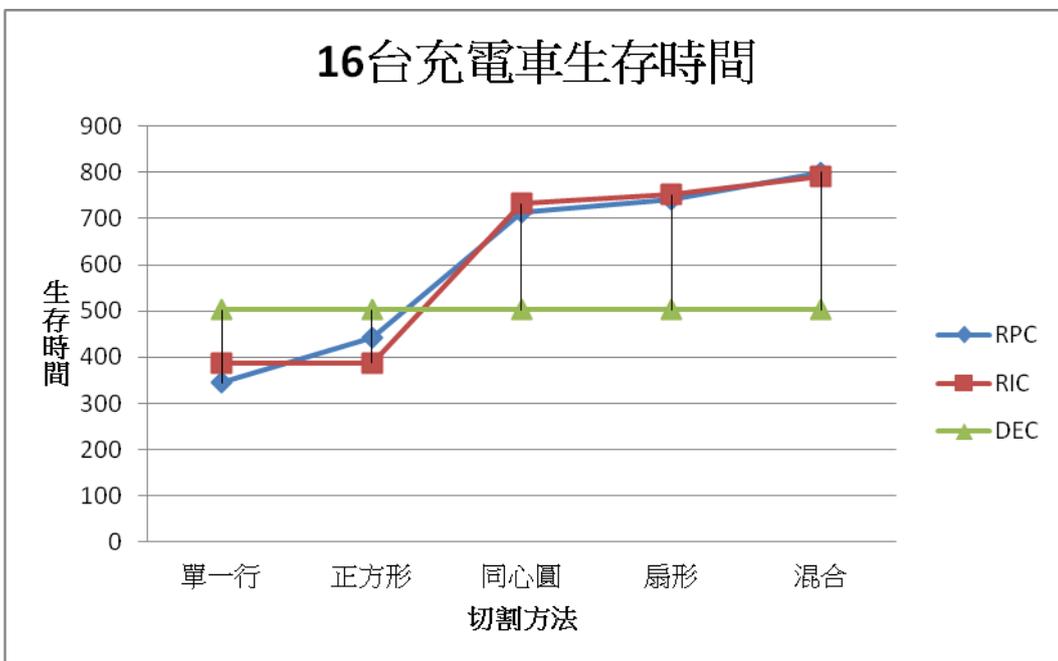


圖 26. 16 台充電車的生存時間圖

同樣採用同心圓、扇形和混合型比矩形分割有較長的生存的時間，充電車數量增

加，生存時間有小幅增加。

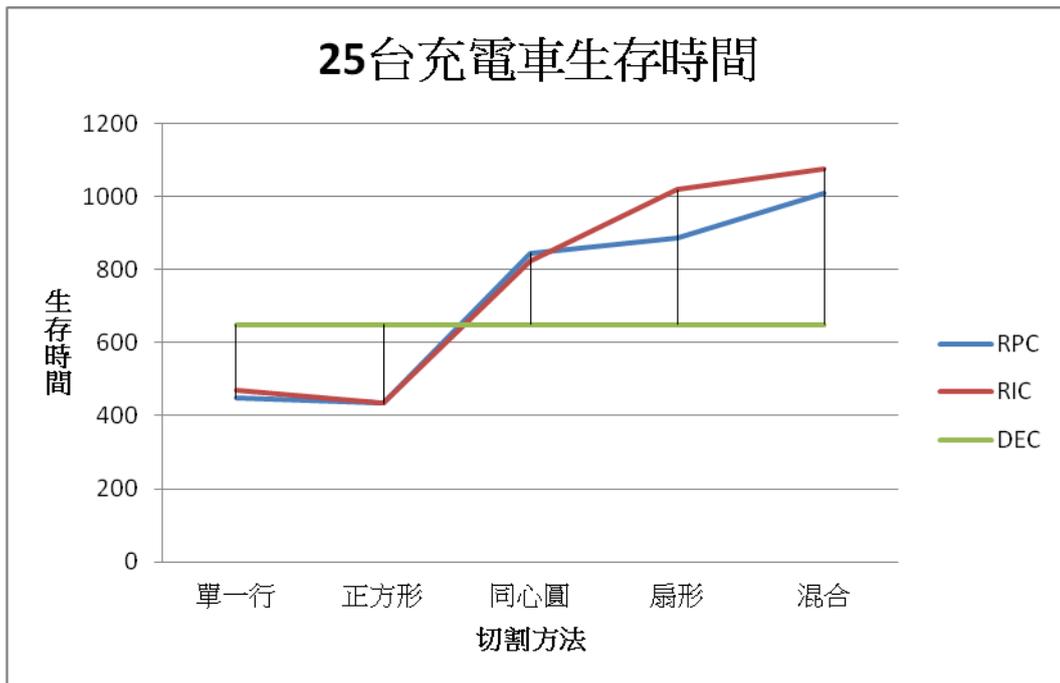


圖 27. 25 台充電車的生存時間圖

當充電機數量較多生存時間會有相對提升，採用同心圓、扇形和混合型可以擁有較長的生存的時間，採用不分割的 DEC 生存時間比矩形切割長，相對比同心圓扇形和混合型生存時間短。

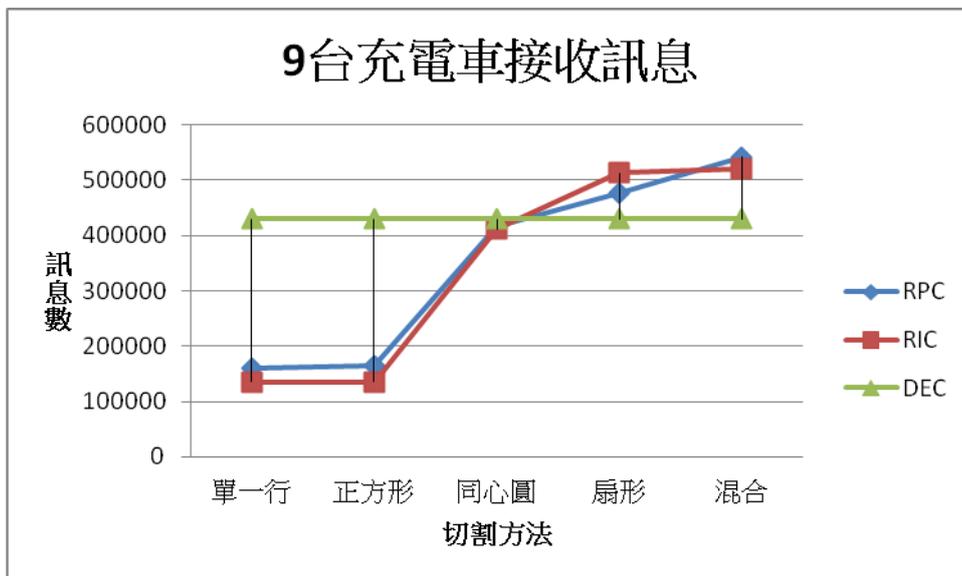


圖 28. 9 台充電車接收訊息圖

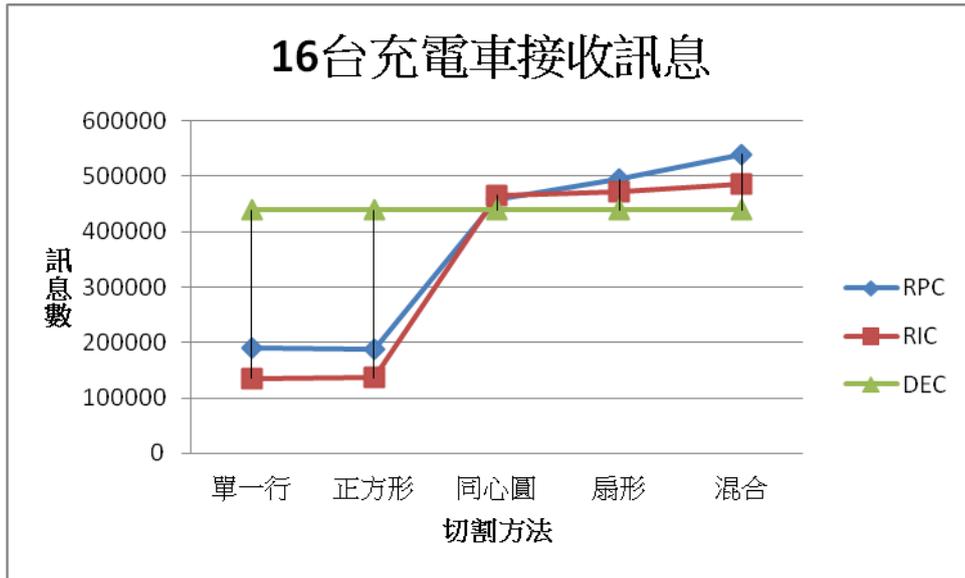


圖 29. 16 台充電車接收訊息圖

生存時間較長，感測器收到的封包數相對就擁有較多數量。

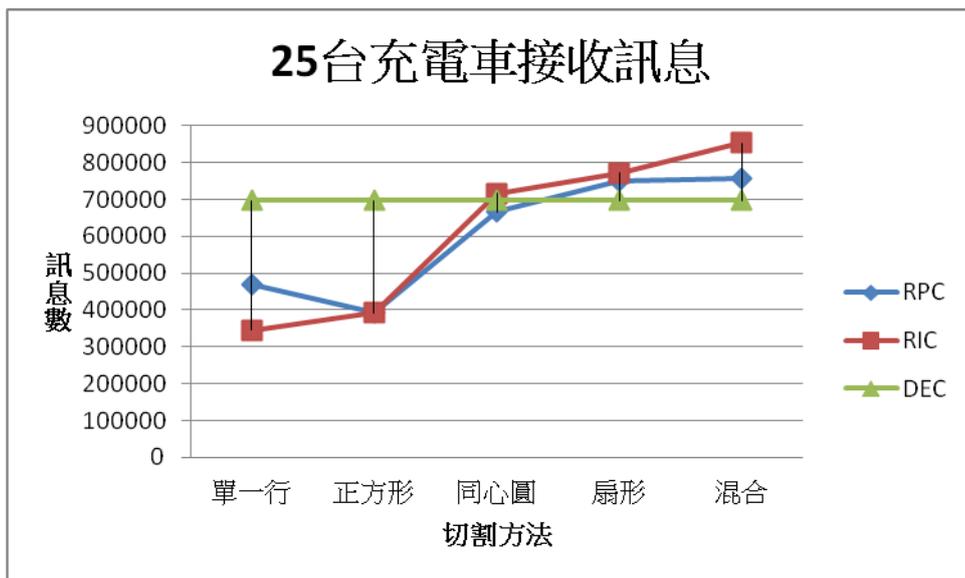


圖 30. 25 台充電車接收訊息圖

由於網路生存時間較長，感測器收到的封包數相對就擁有較多數量。

5.4 感測點數目對有切割分區生命週期的影響

在這裡從表 3 中可以看出模擬參數是多少，並且有圖 31 和圖 32 顯示模擬出來的生存時間還有接收訊息數量是多少。

表 3. 改變感測點數量模擬參數

參數	值
區域大小(m ²)	1000×1000
感測點(Sensor Node)數量	500、1000
感測點能量全滿(nJ)	15000
能量標準值(Threshold)	7500
移動載具速度(hop/sec)	1
充電速度比率(nJ/min)	100
移動式載具數量	25

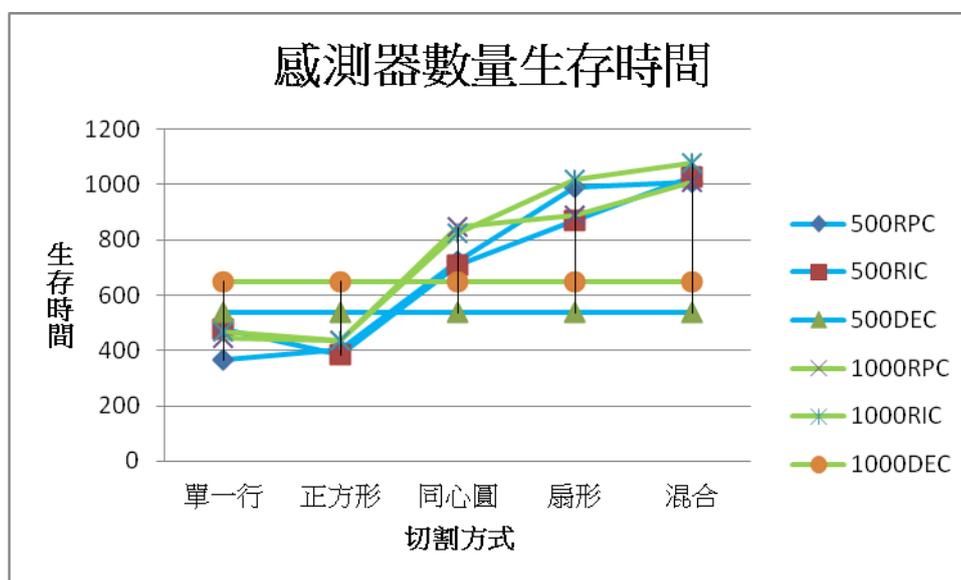


圖 31. 改變感測點數量生存時間的改變

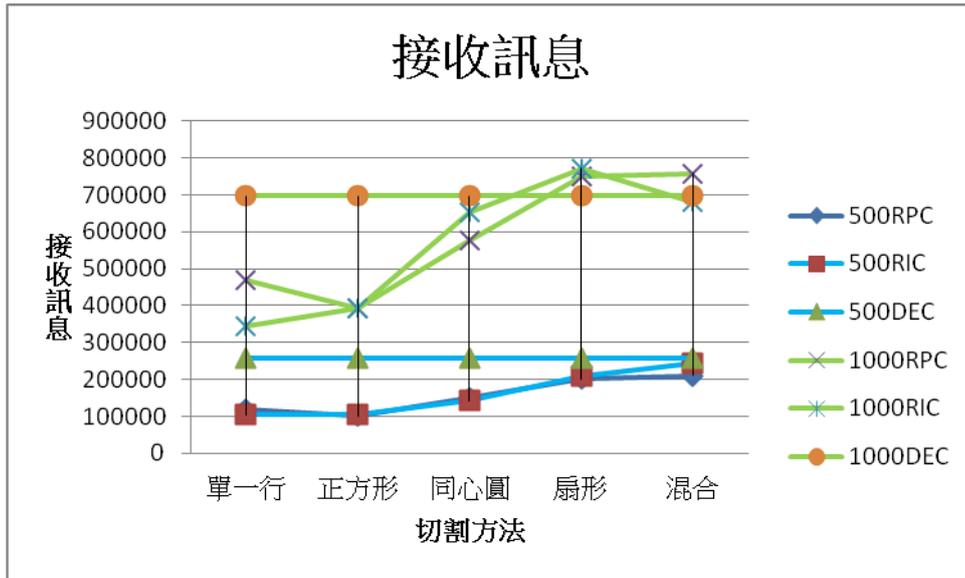


圖 32. 改變感測點數量接收訊息數量的改變

從圖 31 和圖 32 中，感測器數量多少和生存時間沒有明顯差別，會產生這樣的結果，主要是感測器數量增多，需要請求充電時，發出充電訊號較多，接收到的訊號就比較多。

5.5 充電效能對生命週期的影響

在這裡從表 4 中可以看出模擬參數是多少，區域大小 640x640 以計算模型來做基準，長 320 分成 8 層，依能源耗損計算後，充電機合理數為 28 台，為了正方形切割考量，充電機設定為 36 台，實驗得到圖 33 結果。

表 4. 改變充電效能模擬參數

參數	值
區域大小(m ²)	640x640
感測點(Sensor Node)數量	1000
感測點能量全滿(nJ)	15000
能量標準值(Threshold)	7500
移動載具速度(hop/sec)	1
充電速度比率(nJ/min)	100、3328
移動式載具數量	36

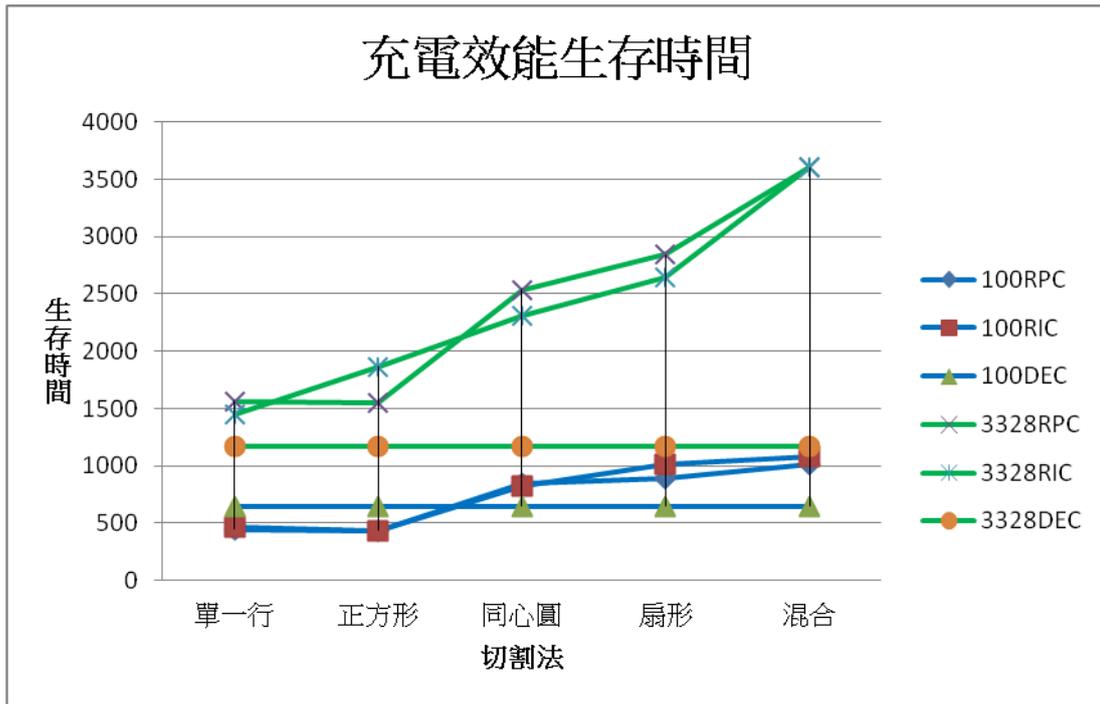


圖 33. 改變充電效能生存時間

圖 33 中，當充電效能越高可以使充電時間減短，進而節省時間，迅速維護區塊中的感測器，當區塊中的感測器能源損耗平衡時，生存時間可以達到長久。

參考文獻

- [1] Muhammd Imran Afzal, Waqar Mahmood, Ali Hammad Akbar, "A Battery Recharge Model for WSNs using FreeSpace Optics (FSO)", IEEE International Multitopic Conference, 2008, pp. 272-277.
- [2] Mohamed K.Watfa, Haitham Al-Hassanieh, Samir Salmen, "The Road to Immortal Sensor Nodes", IEEE Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2008, pp. 523–528 .
- [3] Matthew D'Souza, Konstanty Bialkowski, Montserrat Ros, "A Wireless Sensor Node Architecture Using Remote Power Charging, for Interaction Applications", IEEE Digital System Design Architectures, Methods and Tools, 2007, pp. 485-494 .
- [4] Wen Yao, Minglu Li, Min-You Wu , "Inductive Charging with Multiple Charger Nodes in Wireless Sensor Networks", LNCS 3842(2006), pp. 262-270.
- [5] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp. 102 – 114, 2002,
- [6] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," Computer Networks, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [7] Curt Schurgers and Mani B. Srivastava "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," IEEE Military Communications Conference, 2001, pp. 357–361.
- [8] Mohamed Younis, Moustafa Youssef, and Khaled Arisha "Energy Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks," 10th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, 2002, pp. 129–136.
- [9] C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, "The Coverage Problem in a Wireless Sensor Network," ACM Mobile Networks and Applications (MONET), special issue on Wireless Sensor Networks (to appear).
- [10] S.Adlakha and M. Srivastava," Critical density thresholds for coverage in wireless sensor networks" IEEE WCNC, 2003, pp. 1615–1620.
- [11] Zack Butler and Daniela Rus "Controlling Mobile Sensors for Monitoring Events with Coverage Constraints," IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, vol. 2, pp. 1568–1573.
- [12] P. Berman, G. Calinescu, C. Shah, and A. Zelikovsky, "Power Efficient Monitoring Management in Sensor Networks," IEEE WCNC, 2004, vol. 4, pp. 2329–2334.
- [13] Guiling Wang, Guohong Cao, and T.La Porta, "Movement-assisted sensor deployment" IEEE INFOCOM, 2004, vol. 4, pp. 2469–2479.
- [14] Shu Zhou, Min-You Wu, and Wei Shu "Finding Optimal Placements for Mobile Sensors: Wireless Sensor Network Topology Adjustment," IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on Emerging Technologies: Mobile and Wireless Communication, 2004, vol. 2, pp. 529–532.

- [15] Jindong Tan and Ning Xi, "Integration of sensing, computation, communication and cooperation for distributed mobile sensor networks" IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, 2003, vol. 1, pp. 54–59.
- [16] Guiling Wang, Guohong Cao, and T. LaPorta, "A bidding protocol for deploying mobile sensors" IEEE International Conference on Network Protocols, 2003, pp. 315–324.
- [17] Z. Butler and D. Rus, "Event-based motion control for mobile-sensor networks" IEEE Pervasive Computing, 2003, pp. 34–42.
- [18] P. Ogren, E. Fiorelli, and N.E. Leonard "Cooperative control of mobile sensor networks: Adaptive gradient climbing in a distributed environment" IEEE Transactions on Automatic Control, 2004, vol. 49, pp. 1292–1302.
- [19] Kian Hsiang Low, Wee Kheng Leow, and Jr. M.H Ang., "Reactive, distributed layered architecture for resource-bounded multi-robot cooperation: application to mobile sensor network coverage" IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, vol. 4, pp. 3747–3752.
- [20] Nojeong Heo and P.K. Varshney, "An intelligent deployment and clustering algorithm for a distributed mobile sensor network" IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2003, vol. 5, pp. 4576–4581.
- [21] Yihan Li, S.S.Panwar, and S. Burugupalli, "A Mobile Sensor Network Using Autonomously Controlled Animals" First International Conference on Broadband Networks, 2004, pp. 742–744.
- [22] V. Zadorozhny, P.K. Chrysanthis, and A. Labrinidis, "Algebraic optimization of data delivery patterns in mobile sensor networks" 15th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2004, pp. 668–672.
- [23] Joengmin Hwang, D.H.C. Du, and E. Kusmierek, "Energy efficient organization of mobile sensor networks," ICPP, 2004, pp. 84–91.
- [24] S. Poduri and G.S. Sukhatme, "Constrained coverage for mobile sensor networks," IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, vol. 1, pp. 165–171.
- [25] M. Rahimi, H. Shah, G.S.Sukhatme, J. Heideman, and D.Estrin, "Studying the feasibility of energy harvesting in a mobile sensor network" IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, vol. 1, pp. 19–24.
- [26] Jin Zhu, S.Papavassiliou, and Sheng Xu, "Modeling and analyzing the dynamics of mobile wireless sensor networking infrastructures," Vehicular Technology Conference, 2002, vol. 3, pp. 1550–1554.
- [27] Guiling Wang, Guohong Cao, and Tom La Porta, "Proxy-based sensor deployment for mobile sensor networks," IEEE MASS, 2004, pp. 493-502.
- [28] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference in System Sciences, 2000.
- [29] Wen Ouyang, Chang Wu Yu, Ching-cheng Tien, Chih Wei Hao, and Tung Hsien Peng' "Wireless Charging Scheduling Algorithms in Wireless Sensor Networks," submitted to Journal of Internet Technology.

- [30] J. A. Bondy and U. S. R. Murty, Graph Theory with Applications, Macmillan Press, 1976.
- [31] http://aca4.saihs.edu.tw/equip/relative_web/35th/work/03.htm
- [32] http://www.w-shield.com.tw/new_page_69.htm
- [33] <http://www.phy.ncu.edu.tw/notes/down/microwave/>
- [34] <http://other.ce.fcu.edu.tw/CEhistory/microwave.htm>
- [35] <http://www.tangben.com/Newtech/ecar.htm>
- [36] 鄭瑞恒, 黃志明, 周耕宇 “在無線感測網路中之能量消耗模式評估” International Conference on Advanced Information Technologies (AIT2010).

行政院國家科學委員會補助國內專家學者出席國際學術會議報告

102 年 7 月 14 日

附件三

報告人姓名	俞征武	服務機構及職稱	中華大學資工系 教授
時間 會議 地點	7/2~7/5 Da Nang, 越南	本會核定 補助文號	<u>NSC100-2221-E-216-018-</u>
會議 名稱	(中文)第五屆無所不在及未來網路國際演討會(2013)-workshop PEWiN 2013 (英文) The fifth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (2013)-workshop PEWiN 2013		
發表 論文 題目	(中文) 無線感測網路之動態覆蓋技巧 (英文) Dynamic Coverage Techniques in Mobile Wireless Sensor Networks		
<p>報告內容應包括下列各項：</p> <p>一、參加會議經過</p> <p>7/1我與同校教授(游坤明教授、王俊鑫教授，歐陽雯教授、田慶誠教授)，明新科大資工系蘇東興教授，弘光科大資管系王堯天教授及參加開會的研究生會面後，旋自桃園飛往越南河內,出關後立即轉機飛往中越開會地點:峴港(Da Nang)。並於晚上進住International Conference on Ubiquitous and Future Networks會場Grand Mercure Hotel。7/2早晨值本會大會program chair Prof. Yeong Min Jang (Kookmin Univ., Korea)及workshop chair Ki-Hyung Kim(Ajou Univ., Korea)，我順便謝謝Prof. Ki-Hyung Kim對PEWiN 2013的協助。Prof. Yeong Min Jang並邀請我們參加他主辦的另一個在韓國舉辦的學術會議。我們所屬的session隨後開始，由我擔任session chair並且依序介紹speaker。session期間，與會學者及同學發問熱烈，大家並交換意見相談甚歡。約於中午順利完成，若干參與研究同仁仍然互相討論不止。整的會議含workshop，惟一的缺憾是因為開會的地點在中越，導致若干論文作者並未到場親自報告其研究成果，如此不免有小小遺憾。整體而言，此次會議還算成功。</p> <p>二、與會心得</p> <p>Workshop on Performance Evaluation of Wireless Networks 由游坤明教授與我創立至今已舉辦五屆。與會的教授慢慢增加，惟發表的論文品質並未大幅改善.希望未來多搭配Journal的 special issue 以吸引更多優秀學者的投入。</p> <p>三、考察參觀活動(無是項活動者省略)</p> <p>考察中國廣西省及越南名勝。</p> <p>四、建議</p> <p>建議國內學者多參加重要會議以了解學術新方向及多與外界接觸交流。</p> <p>五、攜回資料名稱及內容</p> <p>六、其他</p>			

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2013/11/01

國科會補助計畫	計畫名稱: 利用無線充電技術建置一個強韌的無線感測網路
	計畫主持人: 俞征武
	計畫編號: 101-2221-E-216-026- 學門領域: 計算機網路與網際網路
無研發成果推廣資料	

101 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：俞征武		計畫編號：101-2221-E-216-026-					
計畫名稱：利用無線充電技術建置一個強韌的無線感測網路							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	1	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	讓參與的成員對無線充電的技術有進一步的了解。
--	------------------------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

我們在此計畫中設計並分析，使用多種網路區域切割方法：矩形切割、正方形切割、同心圓切割、扇形切割及混合式切割，透過模擬實驗的結果，比較生存時間的差異和接收訊息封包的數量多寡。最後實驗結果發現，混合式可依能量消耗率計算期望的能量消耗量，再利用期望能源消耗量分配充電機，使每台充電機負擔能源消耗較公平，比起其他幾種分割方式，更均勻分配每台充電機的負荷能力，在生存時間和接收訊息封包上，都能使網路的生存時間更長久，接收訊息封包量較多，各區塊耗電量也更均勻有效使用。