

# 應用於可充電式同構無線感測網路之移動充電裝置派遣演算法

劉庭巖<sup>1</sup> 林岳賢<sup>2</sup> 羅義勝<sup>3</sup> 劉炳宏<sup>4</sup>

國立高雄應用科技大學電子工程系

<sup>1</sup>E-mail: po2846@hotmail.com

<sup>2</sup>E-mail: skybill@hotmail.com.tw

<sup>3</sup>E-mail: a15641854@hotmail.com

<sup>4</sup>E-mail: bhliu@kuas.edu.tw

## 摘要

可充電式無線感測網路是由多個感測器以及可移動充電裝置所組合而成，無線感測網路可用於監控及回報特定區域所感測資訊，此外，可藉由移動裝置進行充電以延長無線感測網路壽命。近年來許多研究著重在如何為無線感測網路進行充電以延長網路壽命，但大多數研究無法保證可以無限延長感測網路壽命。由於已知移動充電裝置成本較高，在本論文中，我們研究如何使用較少的移動裝置，對同構無線感測網路進行循環充電以期可以無限延長網路壽命，我們在研究中提出啟發式移動充電裝置派遣演算法，使用此演算法可選擇適當數量移動充電裝置，並對移動裝置的充電路徑進行排程，以期能無限延長無線感測網路壽命，實驗結果顯示我們所提之方法有不錯之效能表現。

**關鍵詞：**可充電式無線感測網路、移動充電裝置、能量補充。

## Abstract

Rechargeable wireless sensor network is composed of multiple sensors and recharging mobile devices. Wireless sensor networks can be used to monitor and report sensed data in specific area. In addition, the sensors can be recharged by mobile devices such that the lifetime of the wireless sensor networks can be prolonged. Recently many researches focus on recharging the sensors to prolong the network lifetime, however, most of the researches cannot guarantee that the network lifetime can be prolonged unlimitedly. Because the cost of a mobile recharging device is expensive, in this paper, we study using minimum mobile recharging devices to recharge sensors in a homogeneous wireless sensor network such that the network lifetime can be prolonged unlimitedly. We propose a heuristic method for the dispatch of mobile recharging devices. In the proposed method, adaptive mobile recharging devices are selected and scheduled to recharge sensors such that the network lifetime can be prolonged unlimitedly. The simulation results show that our proposed method has good performance.

**Keyword:** Rechargeable wireless sensor network, Mobile recharging device, Energy replenishment.

## 1. 前言

由於微型技術的進步，使得感測器體積與成本越來越小，且功能也不斷增加，因此可以被大量地佈置在需要感測監控的場所，感測器除了可以在不同地方進行感測和監控之外，感測器之間還可以互相溝通，因此將其稱為無線感測網路[1][2][3][4]。現今感測器的應用眾多，例如可應用於感測物理狀況(溫度、聲音、壓力)、環境監控[5]、健康監控和交通監控等。感測器需要將感測資料回傳至特定節點，又稱為匯集點(Sink)，回傳資料需要透過多點跳躍(Multi-hop)方式經過多個節點才能回傳，因此感測器會進行多次資料傳輸動作，由此可知感測器的能量會因資料回傳而大量消耗，然而感測器的電量有限，因此如何在利用無線感測網路監測環境的同時，不讓感測器因能量消耗殆盡而造成無線感測網路的分崩離析是一個相當重要的議題，因此，在此論文中，我們研究在有移動充電裝置的存在下，如何讓無線感測網路能持續不間斷地運作。

可充電式無線感測網路(Rechargeable Wireless Sensor Network)是一個使用可充電感測器進行感測與監控，並可利用移動充電裝置讓感測器持續獲得能量的無線感測網路，由於感測器的能量有限，若是使用充電裝置為感測器充電，就能讓網路壽命盡可能延長，並持續工作，現已有許多在此網路架構上的應用，在[6]的研究中利用 WISP (Wireless Identification and Sensing Platform)能量接收特性，將之應用於可充電式網路上，另外，在[7]的研究中則是利用 RFID (Radio Frequency Identification)傳遞能量的特性，並將之應用於可充電式網路上對感測器進行充電。

能量補充(Energy Replenishment)是利用無線充電技術為設備進行充電，移動充電裝置是將無線充電技術設置在移動裝置上為設備進行充電，以期讓設備可以持續工作。在[8]的研究中使用了設置無線充電技術的機器人為網路充電，在[10]的研究中則是使用移動車輛來為感測器充電，在[11]的

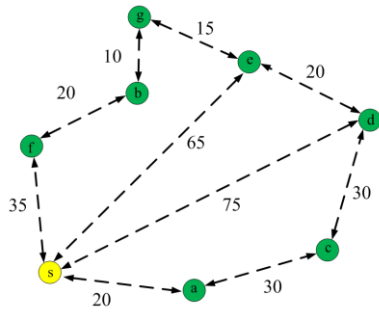


圖1. 可充電式無線感測網路，綠色節點表示為可充電式感測器，黃色節點表示為匯集點，黑色虛線上的數字則表示該虛線兩端節點間的距離。

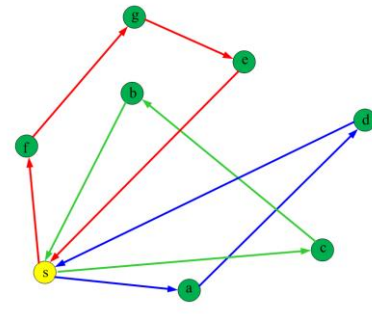


圖2. 移動充電裝置派遣範例，圖中藍色線、紅色線以及綠色線分別表示三台移動充電裝置的行走路線。

研究中，則是使用了多台移動車輛為網路充電，然而這些研究皆不能保證感測網路可以無限循環使用。

在最近研究中，[9]提出一個有效的方法來規劃移動裝置以收集網路資料並對感測器充電，在網路中每個感測器可透過多點跳躍方式將資料傳送至某一節點，再透過移動裝置至該節點蒐集資料，並順便為其範圍內感測器充電，然而其方法可能造成某些節點因能量消耗殆盡而造成功能失效，無法保證網路可以不斷循環使用

在實際應用中，每個感測器都需要適當地回報其感測資訊至匯集點，因此每個節點皆需有相當電量來維持功能運轉之能力。由於移動充電裝置雖富有充電能力，但其本身成本偏高，因此在使用上必須相當節制，因此在本論文中，我們提出了一個啟發式移動充電裝置派遣演算法，此演算法可以利用較少的移動充電裝置，並規劃相對應移動路徑為感測器補充能量，在接下來的章節中，第二節描述了本篇論文所使用的網路模組以及問題定義，第三節則描述我們所提出的啟發式演算法，第四節則描述實驗建置與模擬結果，最後在第五節做結論。

## 2. 網路模組與充電排程問題

在可充電式同構無線感測網路中，感測區域散佈著多個同性質的無線感測器，即擁有相同的感測範圍與傳輸範圍，以及相同的初始電量，其中有一個較特別的節點，稱為匯集點，匯集點為所有資料的集中點，同時也是移動充電裝置的集中地點，所有移動充電裝置皆從此匯集點出發，執行完充電任務後需回到此匯集點。由於每個可充電式無線感測器皆有其部屬位置，兩個感測器  $u$  和  $v$  之間的距離我們則以  $dist_{u,v}$  表示之。如圖1所

示，在圖1中，節點  $s$  為匯集點，節點  $a, b, c, d, e, f, g$  為可充電感測器，節點  $s$  和  $d$  的距離則為  $dist_{s,d} = 75$ 。

在可充電式無線感測網路中，移動充電裝置都有相同的移動速度  $q$ ，匯集點可以為移動充電裝置規劃其移動路徑，當移動充電裝置移動至可充電式感測器旁時，則可以為其充電，在此我們假設每個感測器所需最多充電時間為  $t_r$ ，因此我們可以知道從節點  $i$  出發至節點  $j$ ，並為節點  $j$  充電所需最大時間為  $dist_{i,j} / q + t_r$ 。由於每個感測器節點能力皆相同，為永續延長每個節點壽命，因此需在感測器電量消耗殆盡前做完充電動作，在此我們假設每個感測器所能容忍的最長充電時間間隔為  $t_c$ ，即對每個感測節點  $v$  而言，前後兩次充電間隔不能大於  $t_c$ ，否則感測節點會因能量消耗殆盡而失效。

為了讓感測器持續運作，我們的問題則是如何使用最少的移動充電裝置，為感測器進行充電，並滿足充電週期小於  $t_c$ 。在此論文中，這些移動充電裝置皆從匯集點出發，經由一定路徑之後，最後回到匯集點，如此週而復始不斷為感測器進行充電動作。如圖2所示，在圖2中規劃了三台移動充電裝置的充電路徑，以期可以滿足網路中各個感測器所需的充電週期。

## 3. 啟發式移動充電裝置派遣演算法

由於每個感測器的最大充電週期為  $t_c$ ，移動充電裝置速度為  $v$ ，因此我們可以根據感測器之間的距離，配合充電裝置速度，即可算出所需的移動時間，由於每到一個感測器充電共需要花費其移動時間以及充電時間，假設從節點  $i$  至節點  $j$  充電，即需要花費  $dist_{i,j} / v + t_r$  時間，因此假設一個移動裝置在整個移動規劃中的路徑為  $P = (v_0, v_1, v_2,$

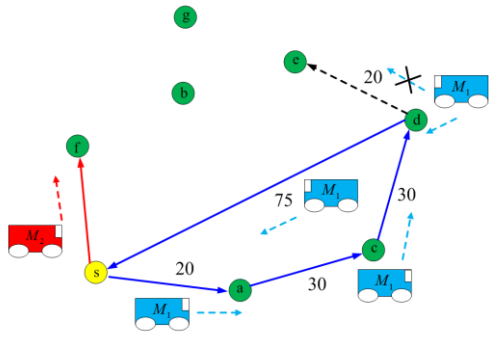


圖3. 啟發式移動充電裝置派遣演算法範例。

...,  $v_n$ ), 且  $v_0 = v_n = s$ , 由於匯集點並不需要花費充電時間, 因此總花費時間為  $\sum_{0 \leq i < n} (dist_{i,i+1}/q + t_r) - t_r = (n-1)t_r + |P|/q$ , 其中  $|P|$  表示為路徑  $P$  的總距離。由此可知, 移動充電裝置將整個路徑上的感測器(不包含匯集點)補充完電量需要的總時間為  $(n-1)t_r + |P|/q$ , 因此我們可以得知, 當一個感測器  $v$  被補充完電量之後, 至下一次移動充電裝置要為  $v$  補充電量的時間間隔為  $(n-1)t_r + |P|/q - t_r = (n-2)t_r + |P|/q$ 。由上可知, 若每個感測器所能容忍的最長充電時間間隔  $t_c$  內, 皆能有一移動充電裝置為其充電, 則此感測器可以無限循環使用, 由上可知, 即當移動充電裝置所行走路徑皆能讓每個感測器滿足  $t_c > (n-2)t_r + |P|/q$  時, 則此無線感測網路內所有節點的壽命可以被無限延長。以圖3為例, 其中  $s$  為匯集點, 每個節點所能容忍的最長充電時間間隔為  $t_c = 300$ , 每個感測器所需最多充電時間為  $t_r = 30$ 。假設在圖中移動充電裝置  $m_1$  的移動路徑為  $P = (s, a, c, d, s)$ , 由於  $dist_{s,a} = 20$ ,  $dist_{a,c} = 30$ ,  $dist_{c,d} = 30$ ,  $dist_{d,s} = 75$ , 假設移動充電裝置速度  $q = 1$ , 我們可以得到對所有在  $P$  路徑上的感測器而言, 皆滿足  $t_c = 300 > (n-2)t_r + |P|/q = (4-2) \times 30 + (20+30+30+75)/1 = 215$ 。

由於每個感測器所能容忍的最長充電時間間隔為  $t_c$ , 因此當移動充電裝置可以讓每個感測器都滿足充電週期性質, 即  $t_c > (n-2)t_r + |P|/q$ , 則可以讓整個無線感測網路可以無限延長壽命, 因此我們的方法即是適當選擇使用移動充電裝置讓每個感測器皆能滿足上述條件。在我們的方法中, 如果移動充電裝置的行動路徑尚未包括任何感測器, 則會以最接近匯集點的感測器為首要考量目標, 若移動充電裝置的行動路徑已包括感測器在內, 則以最新納入行動路徑的感測器為參考點, 最接近此參考點的感測器為首要考量目標, 當考量目標確定之後, 我們會將之納入移動充電裝置的行走路徑, 並測試是否能让路徑上的所有感測

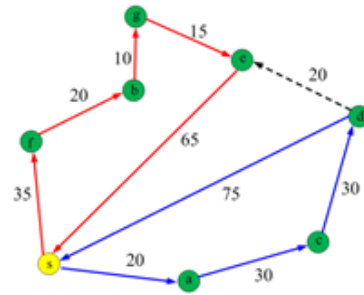


圖4. 啟發式移動充電裝置派遣演算法完整範例, 藍色線表示第一台充電裝置的充電路徑, 紅色線為第二台充電裝置的充電路徑。

器皆滿足充電週期性質, 一旦新考慮加入行走路徑的感測器不能讓路徑上的所有感測器皆滿足此充電週期性質時, 則此感測器將不納入此移動充電裝置行走路徑中, 而此移動充電裝置之路徑也就此確定。至於此感測器則將交由另一個移動充電裝置來負責充電。

以圖4為例, 其中  $s$  為匯集點, 每個感測器所能容忍的最長充電時間間隔為  $t_c = 300$ , 每個感測器所需最多充電時間為  $t_r = 30$ , 移動充電裝置速度  $q = 1$ 。在我們的啟發式移動充電裝置派遣演算法中, 一開始由一新的移動充電裝置  $m_1$  來為最近的感測器充電, 所以先選擇感測器  $a$ , 因此考慮感測器  $a$  之後的路徑  $P = \{s, a, s\}$ 。由於  $t_c = 300$ , 且  $dist_{s,a} = 20$ , 可得知  $t_c = 300 > (2-2)t_r + |P|/q = (2+20)/1 = 40$ , 可得知考慮感測器  $a$  之後, 能讓路徑上的所有感測器皆滿足充電週期性質, 因此感測器  $a$  由  $m_1$  負責維護充電。依此類推,  $m_1$  將離感測器  $a$  最近的感測器  $c$  納入考量, 之後再將離感測器  $c$  最近的感測器  $d$  納入考量, 之後雖然考量感測器  $e$ , 然而感測器  $e$  的加入會造成路徑上的所有感測器無法滿足充電週期性質, 因此感測器  $e$  不納入移動充電裝置  $m_1$  的行走路徑中, 感測器  $e$  將被考慮是否納入其他移動充電裝置的行走路徑中。因此行動充電裝置  $m_1$  的行走路徑為  $P_1 = (s, a, c, d, s)$ 。依照此方法, 我們可以得到另一行動裝置  $m_2$  的行走路徑為  $P_2 = (s, f, b, g, e, s)$ 。

#### 4. 模擬&效能分析

在模擬實驗中, 我們將100到1000個感測器隨機分佈在  $10 \times 10$  的區域內, 移動充電裝置的速度  $v = 1$ , 網路中每個感測器所能容忍的最長充電時間間隔為  $t_c = 300$ , 每個感測器所需最多充電時間為  $t_r = 30$ , 匯集點位置則固定於區域角落, 在我們

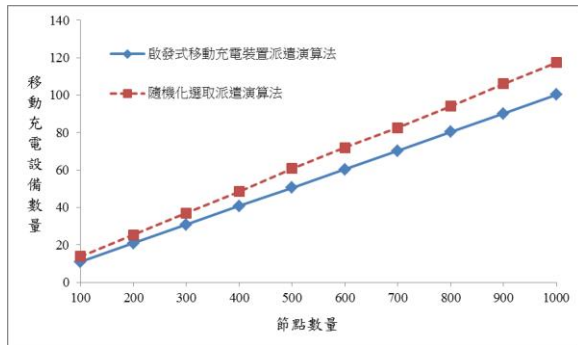


圖5. 啟發式移動充電裝置派遣演算法與隨機化選取派遣演算法比較結果。

的實驗中，我們將啟發式移動充電裝置派遣演算法與隨機化選取派遣演算法比較，在隨機化選取派遣演算法中，任選一感測器當作移動充電裝置路徑的考量，如果滿足充電週期性質時，則納入行走路徑中，若不能滿足時，則此移動充電裝置路徑則就此確定，另外此感測器則納入其他移動充電裝置考量，不斷地隨機選取感測器作相關考量，直至所有感測器皆納入移動充電裝置行走路徑中。實驗結果上的數據皆由100次實驗平均結果而得。

圖5的實驗結果顯示了啟發式移動充電裝置派遣演算法與隨機化選取派遣演算法在不同感測器數量下的比較結果，由此我們可知啟發式移動充電裝置派遣演算法較隨機化選取派遣演算法使用更少數量的移動充電裝置來滿足網路中各個感測器的需求，此外，當感測器數量增加時，兩個方法都需要使用較多移動充電裝置來滿足充電需求。

## 5. 結論

在本論文中我們研究如何利用較少的移動充電裝置，並規劃相對應移動路徑為感測器補充能量，以期可以無限延長其壽命。在此我們發現一充電週期性質，並利用此性質提出了一個啟發式移動充電裝置派遣演算法。由實驗結果得知，此啟發式移動充電裝置派遣演算法有相當不錯的效率。

## 6. 誌謝

本研究為「應用於無線可充電式感測網路資料匯集與能量補充的一個有效率移動演算法」之計畫(計畫編號：MOST 103-2221-E-151-002)之部分研究成果，在此謹向科技部致謝。

## 參考文獻

- [1] R. Mittal and M.P.S Bhatia, "Wireless Sensor Networks for Monitoring the Environmental Activities," *IEEE ICCIC*, 2010.
- [2] Y. Lei, Y. Zhang, and Y. Zhao, "The research of coverage problems in wireless sensor network," *IEEE WNIS*, 2009.
- [3] C. Cheng, K. Tse, and F.C.M. Lau, "A delay-aware data collection network structure for Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, 2011.
- [4] M. Zhao, M. Ma and Y. Yang, "Mobile Data Gathering with Multiuser MIMO Technique in Wireless Sensor Networks," *IEEE GLOBECOM*, 2007.
- [5] I. Khemapech, I. Duncan and A. Miller, "Energy Preservation in Environmental Monitoring WSN," *IEEE SUTC*, 2010.
- [6] S. He, J. Chen, "Energy Provisioning in Wireless Rechargeable Sensor Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2013.
- [7] L. Fu, P. Cheng, Y. Gu, J. Chen, T. He, "Minimizing Charging Delay in Wireless Rechargeable Sensor Networks," *IEEE INFOCOM*, 2013.
- [8] Y. Peng, Z. Li, W. Zhang, and D. Qiao, "Prolonging Sensor Network Lifetime Through Wireless Charging," *IEEE RTSS*, 2010.
- [9] S. Guo, C. Wang and Y. Yang, "Mobile Data Gathering with Wireless Energy Replenishment in Rechargeable Sensor Networks," *IEEE INFOCOM*, 2013.
- [10] J. Li, M. Zhao and Y. Yang, "OWER-MDG: A novel energy replenishment and data gathering mechanism in wireless rechargeable sensor network," *IEEE GLOBECOM*, 2012.
- [11] C. Wang, J.i Li, F. Ye and Y. Yang "Multi-Vehicle Coordination for Wireless Energy Replenishment in Sensor Networks," *IEEE IPDPS*, 2013.