

應用於感測網路的資訊散播技術

Energy-efficient Data Dissemination in Wireless Sensor Networks

江季翰¹ 高國華² 劉恆碩¹

¹ 國立虎尾科技大學資訊工程系

² 國立中正大學通訊所

jhjiang@nfu.edu.tw

論文摘要

在這篇論文，我們將提供一種以無線感測網路為基礎的資料傳播技術。所提出的方法採用完整的 location-based 結構並稱之為 transfer posts，轉送站作為 sink 節點和可移動來源節點(Source node)之間的資訊轉送站，負責記錄來源節點的位置資訊。而 sink 節點可以容易的經由 transfer posts 提出資料請求或進行資料匯集。

所提方法中 transfer posts 扮演著請求轉交站以及資料傳遞站，可有效節省無線感測網路節點之能源消耗。分析結果顯示，所提出之方法感測網路節點比 TTDD [3] 與 Railroad [6] 消耗更少的電量，我們有效的解決了在 sink 節點以及多個來源節點之間的查詢轉送和資料傳遞的問題。

關鍵詞：無線感測網路、資訊散播、轉送站、行動計算

Abstract

In this paper, a novel data dissemination scheme in wireless sensor network is proposed. A global location-based structure called the transfer posts are adopted to act as the data forwarding stations among sink nodes and source nodes with mobility. The sink nodes can easily request or collect data through the transfer posts in which store the location information of source nodes. The transfer posts are shared by multiple source nodes.

Proposed method achieves energy efficiency during query forwarding stage and data delivering stage. Evaluation results show that our method consumes less energy compared to recently results such as two-tier data dissemination (TTDD) [3] and Railroad [6]. We have resolved the problem of query forwarding and data delivering among mobile sinks and multiple sources with the remarkable performance.

Keywords: Wireless Sensor Network, Data Dissemination, Transfer Post, Mobile Computing

1. 前言

無線感測網路是由大量隨機部署的 sensor 組成的 multi-hop ad hoc 無線網路，每個 sensor 為固定位置且配備有感測裝置，具備內建的電源以及有限的感測範圍，被用來偵測網路中的現象，收集想要的資料並轉交傳遞給需要這些資料的 sink 節點，一些演算法已經被提供在通訊協定且應用在無

線偵測網路以達到節省能源 [2, 4, 7, 8]。

可移動性(mobility)為無線感測網路帶來了更多的難題 [1, 3, 4, 6]。Luo 等人[3] 提供的 TTDD 方法是根據每一個來源節點(source node)的位置建立一方格式的資料散播架構，可處理多個可移動 sink 節點的請求。但是這種方法在為每一個來源節點建立方格架構，以及處理 sink 節點請求時所造成的區域氾濫查詢(local query flooding)，會消耗太多能量。近來提出的另一種方法 railroad [6]，則利用一種鐵路(rail)的虛擬架構，將其放置在感測網路的中間區域，扮演 sink 節點和來源節點之間通訊的橋樑。但是在有些情況下，這個方法並不能有效的節省能源，因直到取得符合的資料之前，資料查詢請求可能已被傳遞到整個 rail。

本論文將提出一個以無線感測網路為基礎的資料傳播技術。所提出的方法採用完整的 location-based 結構並稱之為轉送站 (transfer post)，轉送站作為 sink 節點和可移動來源節點 (Source node)之間的資訊轉送站，負責記錄來源節點的位置資訊。而 sink 節點可以容易的經由 transfer posts 提出資料請求或進行資料匯集。

我們的方法可以被採用在野生動物園，戰爭區域等。舉例來說，觀光客或是動物學家(sink 節點)帶著行動裝置(如 PDA)在野生動物園中，藉由無線感測網路觀察獅子(來源節點)的行為，如圖 1 所示。所提方法中 transfer posts 扮演著請求轉交站以及資料傳遞站，可有效節省無線感測網路節點之能源消耗。

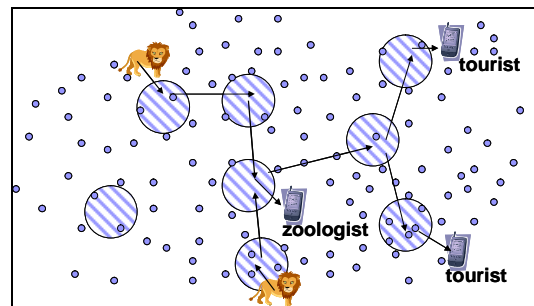


圖 1 無線感測網路應用實例

2. 相關研究

網路中進行頻繁的整體 flooding 以及行動 sink 位置的更新都被視為能源消耗。近來有大量的著作關於有效能源的資料傳遞協定被提出 [1, 3, 4, 6]。

一種能源有效非同步傳遞協定(SEAD) [4]，提供遞迴演算法去搜尋最小能源傳遞樹以及對行動 sink 的能量保存做管理。此 sink 不需要回報目前的位置給傳遞樹，當 sink 節點離開了傳遞樹的範圍也不需要重新調整傳遞樹的實體路徑。SEAD 在傳遞資料給 sink 節點時將建立以及將傳遞樹所耗的能量最小化。

Visvanathan 等人。為多階層的感測網路提供一種階層式的資料傳遞結構(HDDS) [1]。HDDS 使用階層中亂數選擇的傳遞節點進而安排資料傳送給 sink 的路徑。因為傳遞節點資源受限，所以當傳遞節點超載時，將會插入其他層的傳遞節點以減少負載。HDDS 減少了感測網路中動態的調整和請求 sensor 資料時所花費的能量。

在[3]，TTDD 方格結構建置方式是依照來源節點的位置，並防止整體的 flooding 以及頻繁的位置更新。方格架構支援移動的 sink 節點。請求和資料會沿著方格被傳送，而 flooding 也只被限制在本地端的方格。總而言之，方格依照每個來源節點所建置，而本地端的請求 flooding 也會消耗大量的能源。

一個 TTDD 的缺點並比不上支援行動來源的能力。Railroad 方法被提供在[6]，定義了在多階層無線感測網路中資料傳遞的架構，且採用 rail 的虛擬架構，將其放入網路的中間區域並且在 sink 節點和來源節點之間通訊。網路中只有一個 rail 而且扮演著指定事件的區域和請求。Rail 通訊在 sink 和來源節點之間，而且 Railroad 也支援來源節點的移動。

我們可以注意到 TTDD 在方格結構以及本地端請求 flooding 消耗的能源是將會被考慮到的，所以在我們提出的資料散播結構中，我們使用整體的方格結構減少了能源消耗(i.e. transfer posts 的架構)以及使用 transfer posts 避免了本地請求 flooding。同樣的，我們觀察到 Railroad 系統中在請求轉交時，請求會被傳遞到全部的 rail 直到取回符合的資料，這種方法並不是有效的，所以我們採用 immediate transfer post 來解決了這個問題，此 immediate transfer post 是與 sink 或來源節點位於相同方格中的 transfer post。

3. 資訊散播技術

在這節將說明我們所提出的資料散播結構。我們的方法主要目標是在減少能源消耗以及支援可移動 sink 和來源節點之無線感測環境。資料散播結構的環境假設如下：

- (1) 感測節點平均的分散在無線感測網路中。
- (2) 區域內的感測節點為同質且有一樣的能源限制，感測節點在部署之後是固定的。
- (3) 感測節點以跳躍式(hop-by-hop)的貪婪(greedy)演算法傳遞封包至目的地。
- (4) 每一個感測節點都已知自己的位置(如使用

GPS 定位)。

- (5) 有多個 sink 和來源節點在感測區域內移動。
- (6) 為了方便分析，transfer posts 使用方格式架構。

一旦感測節點被部署，方格架構程序會立刻被執行，每一個節點都會知道自己所擁有的方格區域和 transfer posts。transfer post 在我們的方法執行一個重要的規則，其藉由避免當 sink 節點查詢時的查詢 flooding 以減少能量消耗，transfer posts 也簡化了來源和 sink 節點之間的通訊。一旦來源節點產生資料，就會開始通知所有感測區域開始準備資料的傳遞。當 sink 節點需要資料就會選擇鄰近的行動代理人(mobile agent)，行動代理人會送出資料查詢封包給 transfer post，然後經過擴增查詢由其他的 transfer post 傳送給來源節點。被請求的資料將會經過相反路徑且經過來源節點到 sink 節點。舉例呈現於圖 2。

在剩餘的章節將會一步一步的敘述如何完成我們的方法，第一步是轉送方格之建構，第二步是來源通知，第三步是查詢轉交，第四步是資料傳遞機制，最後是移動性的支援。

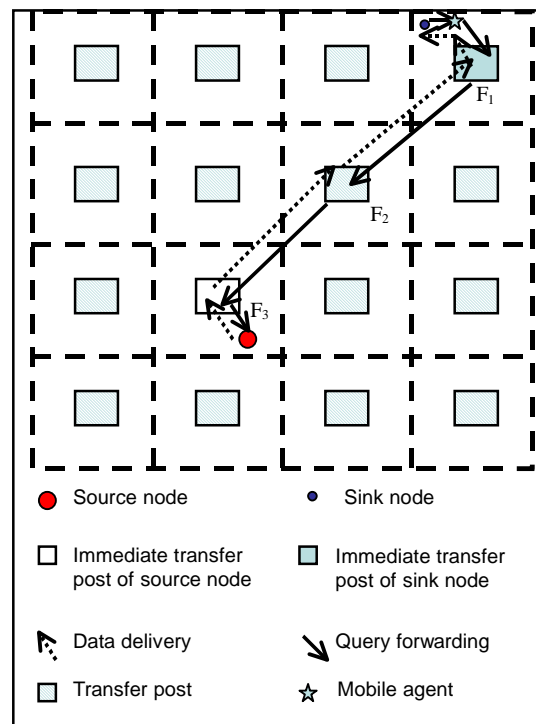


圖 2 資訊散播技術實例

3.1 轉送格之建構(Grid Construction)

方格架構只有當感測器被部署之後才會執行，我們假設感測區域延伸在二維空間，接著把感測區域分割到方格區域中。每個方格都是 $\alpha \times \alpha$ 的正方形，對於一個感測節點 s 位置於 (X, Y) ，其已知位於方格位置 G_{ij} , $i = X/\alpha, j = Y/\alpha$ ，隨即可以得到 s 的 transfer post 藉由矩形區域座標的左下角 $(\alpha/2 + \alpha*i - \epsilon, \alpha/2 + \alpha*j - \epsilon)$ 和右上角 $(\alpha/2 + \alpha*i + \epsilon, \alpha/2 + \alpha*j + \epsilon)$ ， ϵ 是一個實數的集合。

圖 3 可看到轉送區之格子架構。

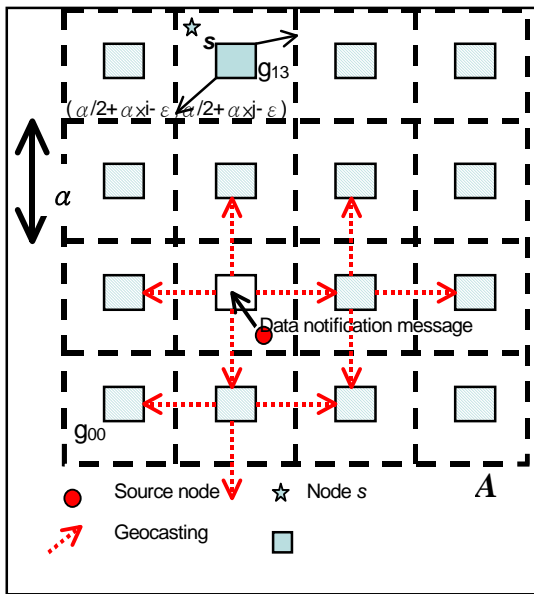


圖 3 轉送區之建構

Transfer post 的大小直接的影響到網路性能, transfer post 內的節點數量減少, 就如同 transfer post 變小, 因為當只有很少的節點在 transfer post 內, 必須去處理更多的運作, 像是查詢轉交和資料傳遞, 將會比 transfer post 外部其他節點消耗更多的能量並且先能源耗盡。使得導致跳躍點問題和網路連結的遺失, 相反來說, 若 transfer post 內節點數量太多, 則來源通知程序效耗更多的能量直到地理傳播完所有此區域來源節點的資訊, 這種地理傳播訊息消耗了相當大的能量也代表網路生存時間減少。

3.2 來源通知(Source Notification)

當來源產生資料, 將會引起資料公告訊息傳送給 transfer post, 其中包含了資料型態, 位置和其他資訊, transfer post 至鄰近的四個方格並以地理傳播方式轉送資料公告訊息到這些區域, 然後這些鄰近方塊就如同之前的方法般以類似傳導方式連續的擴張 transfer post 資料公告訊息, Transfer post 內的節點儲存了資料公告訊息的資訊, 在我們的資料型態結構中, 多個來源節點會共用同一個完整的方格結構, 圖 3 表示出來源公告。

3.3 查詢轉交(Query Forwarding)

一旦 sink 開始收集資料, 將會選擇鄰近感測節點當作優先的行動代理人, 然後 sink 傳送資料查詢訊息給行動代理人, 行動代理人快速的轉交訊息給 transfer post, 之後所有的 transfer post 會感測來源節點在哪, 直到感測節點在 transfer post 取回資料查詢訊息, 則可輕鬆的將資料查詢訊息轉交給來源節點。

當 transfer post 轉交資料查詢訊息給來源節

點, 將會利用虛擬的直線連結來源節點和 transfer post 自己本身。之後將會由鄰近的 transfer post 選下一個比之前虛擬連線距離更短的 transfer post, 每個 transfer post 都會以同樣的方式轉交這些訊息給來源節點直到來源節點的 transfer post 收到訊息。

當查詢轉交時, 一旦 transfer post 由逆向的 transfer post 取回訊息, 將會儲存逆向 transfer post 的位置。舉例如圖 2, transfer post F2 儲存了 F1 的位置而且 transfer post F3 儲存了 F1 的位置。

3.4 資料傳遞機制(Data Delivery)

因為 transfer post 已經儲存了其逆向 transfer post 的位置, 來源節點可以容易的依照其逆向 transfer post 位置傳送資料訊息, 並在取回資料查詢訊息資料轉交給 sink 節點。舉例如圖 2, 來源節點透過 F3-F2-F1 轉交給 sink 節點。

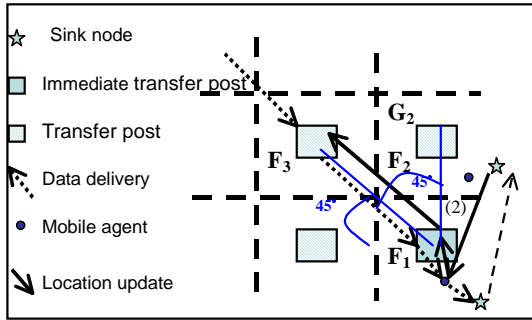
3.5 移動性的支援(Mobility Support)

3.5.1 Sink Mobility

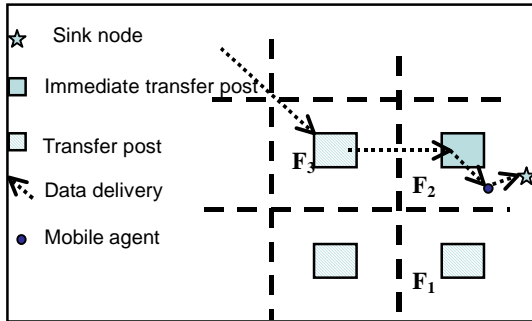
如同之前所說的, sink 節點選擇鄰近點當作自己的行動代理人, 行動 sink 節點只會將自己的位置週期性的回報給行動代理人。行動 sink 節點的 transfer post 會傳送資料訊息給行動代理人, 其方式為依次接替的傳送資料訊息給 sink, 當 sink 節點移動, 沒有新的行動代理人會被選擇, 直到 sink 節點離開原本所屬的方格範圍, 然後將會選擇目前新的鄰近點當作行動代理人並且告知原本的行動代理人目前自己位置以及進入哪一個方格, 而原本的行動代理人將會傳送位置更新訊息給 transfer post, 其內容為 sink 節點目前進入哪個方格以及 sink 節點新的行動代理人。

目前的 transfer post 利用連結的逆向 transfer post 連線和目前本身的 transfer post 的中線分割出兩個虛擬的直角三角形區, 然後檢查 transfer post 位於哪一個虛擬三角形的範圍內。如果目前有一個新的 transfer post 存在於範圍內, 原本的 transfer post 將會通知 sink 節點移動到另外一個方格。

之後逆向的 transfer post 會將資料訊息轉送給目前的 transfer post, 如此般 sink 節點可以保詞取回資料訊息, 如圖 4(a)和 4(b)表示出支援第一種案例的移動性動支援運作方式, 除此之外, 最初原本的 transfer post 將會直接轉交資料訊息給新的 transfer post, 圖 5(a)和 5(b)表示第二種案例的移動性支援運作。

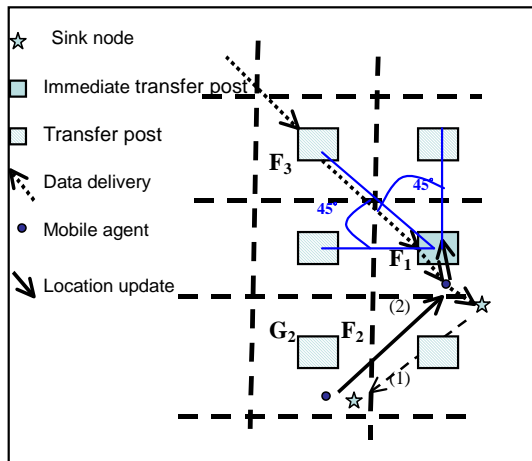


(a)

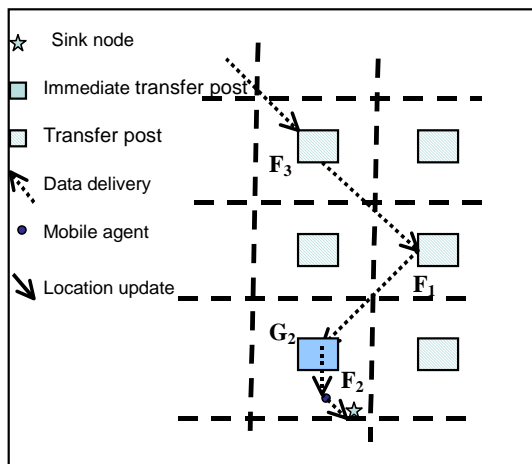


(b)

圖 4 第一種案例的移動性動支援運作方式



(a)



(b)

圖 5 第二種案例的移動性支援運作

3.5.2 Source Mobility

在我們的結構，所有來源節點共用相同的方格結構而且當開始產生資料時通知所有的方格，但如果當我們重複的向所有方格通知來源節點的位置直到來源節點移動會非常沒效率，當來源節點移動，將會傳送位置更新訊息給自己的 transfer post，而不通知所有方格自己的新位置，也可以說 transfer post 就代表了行動來源節點。一旦 transfer post 取回資料查詢訊息，其將會轉交資料查詢訊息給行動來源節點，單來源節點移動，當來源節點移動，來源節點在超過與自己的 transfer post 之間的方格數量門檻值之前不會有公告程序被執行，此門檻值允許被交換(變動)在能量花費於重新通知所有方格和花費於更新位置之間。

4. 效能分析

在這章節我們將分析我們結構型態的通訊成本，這邊通訊成本代表整個網路中所有被產生的傳輸量。全部的通訊成本會直接的影響到網路生存時間。我們會和 TTDD 與 Railroad 做比較。

4.1 符號表示

我們假設有個區域 A 中的正方形區域有 N 個感測節點平均的分佈。有 N 個節點在區域的每個邊，根據 Railroad 的分析模組，我們假設有四種訊息型態: event notification (p_e), query (p_q), data (p_d), and control message (p_c)。有 m 個 sink 和 n 個來源節點在感測區域，所有事件和查詢的數量可被寫成和， e 是事件平均數量， q 是查詢平均數量。

4.2 通訊成本

我們首先用最差情況來分析我們和 TTDD 與 Railroad 的通訊成本，在我們的結構型態，所有感測網路中的方格由地理廣播方式傳送事件通知訊息，訊息將會經過 $\sqrt{2}/2 \cdot \sqrt{N_L}$ 個節點直到 transfer post 開始地理廣播， N_L 是方格中感測節點數量， N_F 是 transfer post 中感測節點數量，如此所有來源公告的通訊成本可以寫成 $4n(N/N_L)(\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{N_L} + N_F)p_e$ 。

查詢到達來源節點的成本為 $(c \cdot \sqrt{N})p_q$ ， $c \cdot \sqrt{N}$ 為沿著來源到 sink 節點的直線路徑上的平均感測節點數量 ($0 < c \leq \sqrt{2}$)，查詢轉交的通訊成本可以寫成 $m\bar{q}(c \cdot \sqrt{N})p_q$ 。

資料到達 sink 的成本可以寫成 $(c \cdot \sqrt{N})p_d$ ， $c \cdot \sqrt{N}$ 為沿著來源到 sink 節點的直線路徑上的平均感測節點數量 ($0 < c \leq \sqrt{2}$)，資料傳送的通訊成本可以寫成 $m\bar{q}(c \cdot \sqrt{N})p_d$ 。來源公告，查詢轉交，資料傳送的完整通訊成本為：

$$4n(N/N_L)(\frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{N_L} + N_F)p_e + m\bar{q}(c \cdot \sqrt{N})p_q + n\bar{e}(c \cdot \sqrt{N})p_d$$

TTDD 的通訊成本可由相同的方法計算出

$$n \frac{4N}{\sqrt{N_s}} p_c + m\bar{q} [N_s + c \cdot \sqrt{2N}] p_q + n\bar{e} \left[c(\sqrt{2N} + \frac{1}{2}\sqrt{N_s}) \right] p_d$$

Railroad 的通訊成本可由相同的方法計算出 $2m\bar{q}\sqrt{2N}p_q + \frac{1}{4}[n\bar{e}(p_c + p_q + 4p_d) + m\bar{q}p_q]c \cdot \sqrt{N}$ 。

本文設計兩種分析場景來進行效能評估，第一種有 5 個 sink 節點，10 個來源節點和 100 個事件，另一種是 5 個來源節點，10 個 sink 節點，100 個查詢，共有 10000 個感測節點平均的分佈在無線感測網路中。

圖 6 顯示了我們的結構型態與 TTDD，Railroad 以第一種模擬方式比較通訊成本，我們可以觀察出 Railroad 再第一種模擬花費了較少了能源。在查詢數量較小時，Railroad 在來源公告花費少量的能源，在查詢數量增加到 35 之前比我們的方法花費了較少的能量。當查詢數量增加時 Railroad 所花費的能量會比我們的方法多，這是因為 Railroad 使用較無效率的查詢轉交方法。

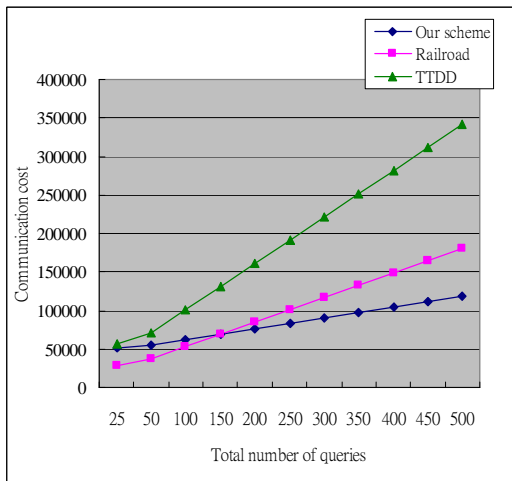


圖 6 以第一種模擬方式比較 Transfer-post、TTDD 與 Railroad 之通訊成本

圖 7 顯示出我們的結構型態在轉交查詢和資料傳送時比其他的方法消耗了更少的能源。觀察 TTDD 在兩種方式都消耗了更多的能量是因為方格架構和區域性的氾濫策略問題。

圖 8 顯示出第二種模擬的通訊成本，因為比第一種模擬方式少了更多的來源節點，我們的方法對於來源公告消耗了相當少的能量。觀察到當來源節點較少時我們比 Railroad 花費了較少的能量，圖 9 和圖 10 顯示出了 sink 節點和來源節點數量的影響。

圖 9 可以觀察到當 sink 節點增加時只會增加少量的通訊成本，因為我們的方法在查詢轉交和資料傳送時對於能源的節省是非常有效率的，圖 10 顯示出當來源節點增加時通訊成本會大量的增加，這是因為我們的方法利用地理廣播來達到來源公告。

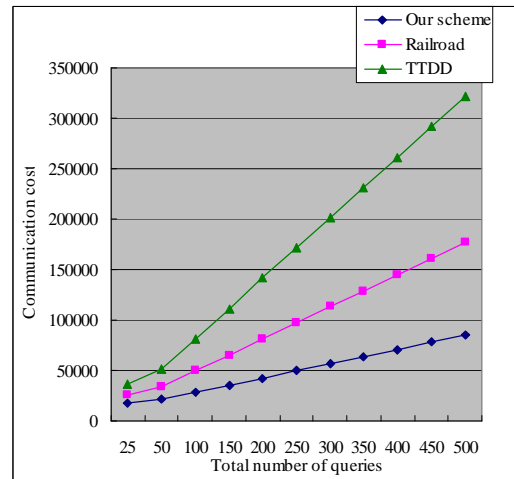


圖 7 查詢轉交 (Query Forwarding) 與資料傳遞機制 (Data Delivery) 之通訊成本比較

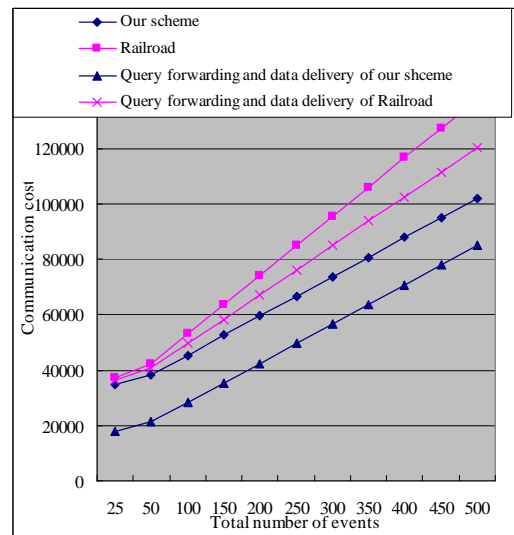


圖 8 第二種模擬的通訊成本比較

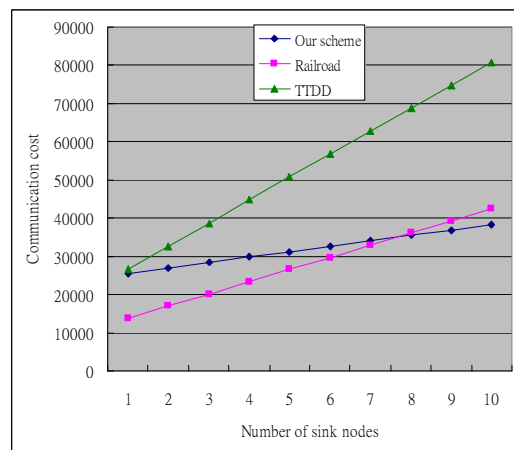


圖 9 Sink 節點數量對通訊成本的影響

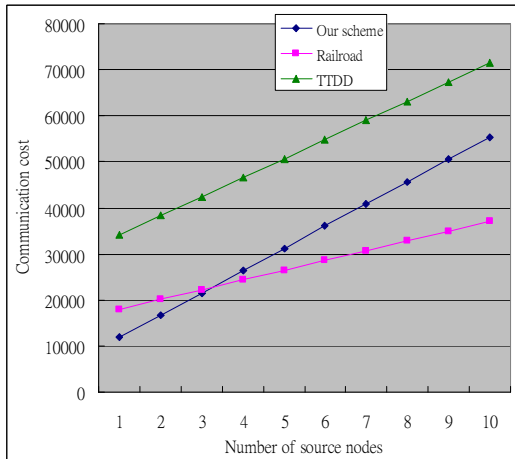


圖 10 來源節點數量對通訊成本的影響

我們的結構型態用完整的方格架構達到支援多行動 sink 節點和多個行動來源節點，儘管在來源公告方面我們比 Railroad 消耗了更多的能源，但在查詢轉交和資料傳遞時我們利用 transfer post 的方法卻是更有效率的，由以上的評估，可以總結出我們的方法比 TTDD 和 Railroad 消耗更少的能量且增加了網路生存時間。

5. 結論與討論

在本篇論文，提供一種無線感測網路中有效的資料傳遞方式。所提出的方法採用完整的 location-based 結構來支應行動的 sink 節點和來源節點。我們提供了更有效的查詢轉送和資料傳遞方法，評估結果比 TTDD 和 Railroad 在查詢轉交和資料傳遞消耗更少的能量。

未來的研究方向，將會把焦點放在一般隨機的感測網路拓撲和隨機的節點部署方式。因為無線網路的任何狀況都是不可預測的，因此我們也將會考慮適應性的 transfer post 來滿足實際的需求。

參考文獻

- [1] A. Visvanathan, J. H. Youn, and J. Deogun, "Hierarchical Data Dissemination Scheme for Large-scale Sensor Networks." In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Seoul, Korea, May 16-20, 2005, Vol. 5, pp. 3030-3036.
- [2] C. Intanagonwivat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks." In Proceedings of the Sixth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2000), 2000.
- [3] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang. "A two-tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks." In Proceedings of Mobile Computing and Networks (Mobicom 2002), Atlanta, Georgia, USA, 2002, pp. 148 - 159.
- [4] H. S. Kim, T. F. Abdelzaher, and W. H. Kwon, "Minimum Energy Asynchronous Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks." In Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003), Los Angeles, CA, Nov. 5-7, 2003, pp. 193-204.
- [5] J. Chen, Y. Guan and U. Pooch. "An Efficient Data Dissemination Method in Wireless Sensor Networks." In Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'04), Dallas, Texas, Nov. 29-Dec. 3, 2004, Vol.5 pp. 3200-3204.
- [6] J. H. Shin, J. Kim, K. Park and D. Park. "Railroad: Virtual Infrastructure for Data Dissemination in Wireless Sensor Networks." In the Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN'05), Montreal, Quebec, Canada, Oct. 2005, pp. 168 - 174.
- [7] T. Shu, M. Krunz and S. Vrudhula. "Power Balanced Coverage-time Optimization for Clustered Wireless Sensor Networks." In the Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc'05), Urbana-Champaign, IL, USA, May 2005, pp. 111-120.
- [8] W. Heinzelman and A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks." In the Proceedings of the Hawaii Conf. on System Sciences, Jan. 4-7, 2000.