

# 無線感測網路支援群組移動的資料散佈

Hua-Wen Tsai (蔡華文)

龍華科技大學資網系

hwtsai@mail.lhu.edu.tw

Hung-Yi Shen (沈宏毅)

龍華科技大學資網系

scp\_076\_02@yahoo.com.tw

## 摘要

在能源有限的感測節點組成的無線感測網路 (wireless sensor networks) 中，如何有效的運用能源進行資訊收集與傳輸，及延長存活時間已被認為是無線感測網路中重要的探討議題。以往的研究中，多點傳送協議 (multicasting protocols) 可支援移動的 sinks 群組的資料傳遞，但會因為移動 sinks 各自獨立進行位置更新而引起網路的高度擁塞，雖然 Geocasting 的協議可以解決個別 sink 位置更新所引起的問題，卻會因為 flooding 而過度消耗感測器節點的能量，且 Geocasting 協定只能專注於傳輸資料給一個固定區域的 sink 群組。基於以上原因，本論文主要設計一種在無線感測網路中支援移動 sink 群組的資料傳輸方式。我們主要提出一種傳輸架構來支援感測節點在 sink 群組移動時能夠順利接收感測資料，並解決 Geocasting 的 flooding 的能量高度消耗的方式，及延伸 Geocasting 的應用層面，使其支援移動性的 sink 群組，讓 sink 群組移動時仍可進行資料傳輸，且大幅減少能源消耗，使得無線感測網路能增加效能及延長感測網路的生命週期。

**關鍵詞：**資料傳輸、群組移動、無線感測網路。

## Abstract

Wireless sensor networks are composed by a set of sensing nodes that have the limit energy. An important issue in wireless sensor networks is how to save energy for data collection and transmission, and prolong the network lifetime. In previous studies, multicast protocol can support data dissemination for mobile sink groups. But the location update of individual mobile sinks causes the network congestion. The geocasting protocol can solve the location update problem caused by individual sink, but the flooding of geocasting protocol consumes too much energy of sensor nodes. In addition, geocasting protocol can only disseminate data to a group that move in a fixed area. For these reasons, this paper proposes a data dissemination

protocol to support mobile sink groups in wireless sensor networks. We mainly propose a framework to support sensor nodes to disseminate data to mobile sink groups. This scheme can solve the flooding problem of geocasting protocol and support the mobile sink groups to receive data when the group is moving. This approach can significantly reduce energy consumption, make wireless sensor networks to increase network performance and extend the lifetime of the sensor network.

**Keywords:** *Data Dissemination, Mobile Group, Wireless Sensor Network.*

## 一、介紹

無線感測網路是由一群數百至數千個無線感測器所組成，感測器可偵測環境資訊，並具有無線通訊能力。這種隨意組成的感測網路可用來偵測地雷的部署、地震的發生、戰場監控[7]、火山活動偵測[8]、建築物監控[9]以及地表環境調查等，應用範圍非常廣泛。當部署區域感測到資料時，藉由網路的連接，可將所有感測資料集中到 Sink，使用者則可透過 Sink 的存取進而獲得目標區域資訊。

在無線感測網路的研究中，已有許多研究[4][5]針對 Sink 的個體移動的資料散佈問題提出改善的方法，但對於 sink 群組移動時的資料散佈來說，Sink 個體的移動方法改善並無法提升 Mobile Sinks 群組移動的資料散佈運作效率。換句話說，在 Mobile Sinks 群組移動時進行個體 sink 移動的資料散佈維護，可能會使該群組的資料傳輸效率更差，並且能源消耗更快。這是因為當移動 Sink 個別進行位置更新維護時，可能會導致兩個以上的感測節點在傳輸時產生碰撞，造成能源快速地耗損。

Geocasting 協定[3]被提出解決 Sink Group 的資料傳輸問題，雖然 Geocasting 可針對 Group 進行可靠的資料傳送，但因為不能直接反映出 Mobile Sinks Group 的動態位置，所以它的服務範圍僅供固定區域，更因為無法掌握 Group 內 Mobile Sinks 的位置，所以 Geocasting 協議會使用 flooding 的方式來尋找與散佈資料到該限制範圍內的所有節點，但這是種相當耗

費能源的技術，且一旦 Mobile Sink 移動出該區域範圍，就無法繼續接收資料。

上述所提之探討暨分析，其中之缺憾即是本論文將探討與研究的方向。研究方針分別描述如下：

1. 探討如何改進 Geocasting 僅能進行區域性的傳輸，並且使其能支援群組移動的傳輸。
2. 對於 Geocasting 以 flooding 的方式散佈資料到特定範圍內所有節點會消耗大量的能源之缺點，採取虛擬通道儲存資料的方法使得感測網路更節能。

## 二、文獻回顧與探討

鑒於 Geocasting 的區域限制，Lee 等學者在文獻[1]中提出了 Region Based Data Dissemination (RBDD)協議。Geocasting 與 RBDD 之間共同點是，兩者同樣地使用 flooding 的方式廣播 source 的資料給一個群組內的所有 mobile sinks，確保在 Group 內 Mobile Sinks 成員都能接收到數據資料。兩者顯著的差異在於 RBDD 不但能將資料傳送給移動中的 group，更能傳送資料給跑出 Group 區域外的 Sinks。

RBDD 採取如圖 1 所示之方式將資料傳送給 Mobile Group。在圖 1 中 Group 移動前，會由 LS 傳送 Group 的移動資訊給 Source 端，Source 以此為根據，在傳送資料時將朝著新 Group 的 LS 位置送出 Group 所需資料，因此當 Group 移動時也能能夠成功的接收到 Source 傳送的資料，然而在此方法中仍然以 flooding 作為 Geocasting 的資料散佈的方法，因此會消耗較多的能源。

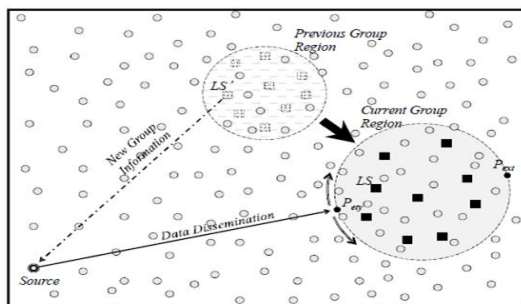


圖 1：RBDD 傳送資料至 mobile group

RBDD 也有考量如何傳送資料給移出 Group 範圍外的成員，圖 2 說明在 Group 範圍外的 Sink 成員如何接收到 Source 傳送過來的資料。RBDD 以  $P_c$  為中心在圓形範圍  $R$  的邊緣設置邊界節點(Boundary node)，從 Source 傳送過來的資料封包除了在 Group 範圍內廣播外，也會沿著邊界節點傳送，以確保資料能

夠透過代理人傳輸給離開 Group 區域的 Mobile Sinks，使得移出 Group 區域的 Mobile Sinks 也能成功收到 Source 所送出的資訊。

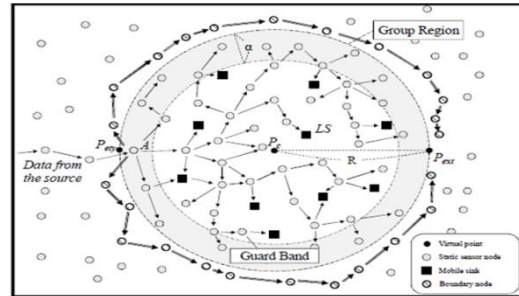


圖 2：RBDD 設置邊界節點偵測 sink 成員是否跑出 group 區域外

RBDD 將群組移動性分為兩類：Macro 與 Micro。Macro 是將 Sink Group 視為整體移動，Sinks 並不超出 Group 範圍，因此資料傳輸方式就如圖 1 所示，即可成功散佈資料。而 Micro 即是代表 Sinks 可超出 Group 之情況，邊界節點也將需設置。然而，一旦超出了區域，Sink 將會單獨地更新它的位置，但這會造成擁塞現象，因此 RBDD 使用 local flooding，以掌控 Group 內的 Sink 數量。而當 Sink 離開預設的 Group 區域時，會選擇一個邊界節點作為代理人，並且報告自己的位置給該代理人。如果 Mobile Sink 和其代理人之間的距離超過傳送範圍時，會重新選擇一個較近的感測節點當作第二個代理人，第二個代理人會建立朝向第一個代理的 logical link。跑出區域的 Mobile Sink 只會選擇代理節點二次。原本的 local flooding 會透過代理人發送資料給離開區域的 Mobile Sink。此 Geocasting 方法針對群組移動提出解決方案，但在群組內採用 local flooding 的方式進行資料散佈，會增加能源的消耗。

當群組的移動速度增加時，使用 Geocasting 可能會使得要傳送的區域變大，而傳送的資料將造成廣播風暴以及資料流失等問題，更會因使用 Flooding 而耗損大量能源，文獻[2]即是針對以上問題進行探討。

文獻[2]提出在群組的範圍內建立一虛擬管道，在管道中的節點負責儲存從 Source 端傳來 Group Sinks 所感興趣的資料。不再使用 Flooding 的方式將資料傳送給 Mobile Sinks，而是當 Group 中有需要該資料的 Mobile Sink 可直接傳送一個 Query 到虛擬管道進行查詢與資料取得。這意味著從 Source 端傳送到 Group Sinks 的資料封包數量降低了，這也代表著能源的消耗隨之減少，虛擬管道之架構如圖 3 所示。Source 依據 Group 的中心位置以及範圍找出兩點，分別為 Entry Point 以及 Exit

Point, 在其之間建立虛擬通道, 從將 Source 端的資料從 Entry Point 傳送到 Exit Point, 沿途有收到該資料的節點均必須將此資料儲存起來, 若有 Sink 詢問時將可此資料傳送給該 Sink。

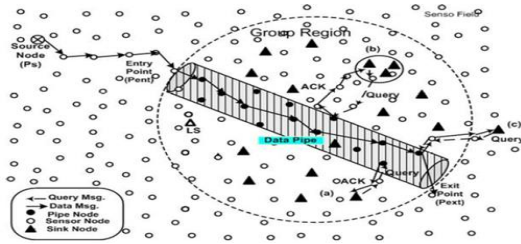


圖 3：虛擬管道的資料傳送方式

在文獻[2]若 Sink 離開了 Group 的範圍時將會通知 LS 其目前的位置, 並選擇一個代理人負責將資料轉送給 Sink, 然而為了維持較好的傳輸條件, 將限制選擇代理人的數量, 移動太遠則將不再選擇, 當整個群組重新移動時才將再次廣播搜尋 Sink 的位置。這在移動速度較快快的環境中將會減少資料接收率。

### 三、支援群組移動的資料散佈協定

本論文針對無線感測網路中的 Mobile Sink Groups 之移動資料散佈進行研究探討。首先, 我們針對於網路模型與區域測定進行定義, 接著探討與定義支援移動傳輸之方式。而為了使感測網路能延長存活時間, 我們建議在 Group 內建構出有效率且節能的十字型虛擬通道以取代區域廣播, 透過 Sink 向十字型虛擬通道取得資料的傳輸方式來大量減少區域廣播的節點, 以達成節省能源之目的。

#### (一) 定義網路模型

我們假設感測網路是由在廣闊的領域中隨機佈署大量的感測節點所組成, 所有的感測節點都是固定且不會移動的, 並可利用 GPS 或是三角定位等定位技術來使感測節點知道自己的位置, 並且會透過 Beacon Packet 將自己的位置告知鄰近節點, 因此每個感測節點都知道鄰居節點的位置。當資料或是訊息在網路轉發時, 採用 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing [6])的傳送協定。有一 Sinks 群組在無線感測網路內移動並收集需要的資料, 這些 Mobile Sinks 組成了一個 Group, 所有在 Group 之 Mobile Sinks 都是其成員。

Mobile sinks 組成的 Group 是由 LS(Leader sink)和成員 Sinks 組成。LS 是 Group 的代表, 在取得資料之前預先規定該 Group 是根據任務或者 Group 的策略進行移動。所有在 Group 內的 Sink 都有自己的 Group-ID 和 Sink-ID,

Sinks 之間只能通過無線感測網路互相溝通。Group 中的 Mobile sinks 是集體移動, 該組的成員 Sink 能在 Group 的範圍內隨機移動並隨著 Group 移動並在其 Group 所在的固定範圍內進行動態變化, Sink 有時也會移出 Group 的範圍外。LS 負責收集 Group 的位置與範圍, 並且將 Group 的資訊告知有偵測到 Mobile Sinks 感興趣資料的感測節點 Source Node, 使 Source 知道要將感測到的資料散佈到哪個區域。

#### (二) Group 地區的測定與宣傳(Advertisement)

在 Group 中, LS 是負責宣傳 Group 目前位置的訊息給感測到資料並要傳送資料給 Group 的感測節點 Source Node。LS 選擇相鄰的 Sensor Node 作為代理節點, 然後透過代理節點進行群組搜索訊息的區域廣播, 發送指定的 Group-ID 給所有成員, 讓所有成員了解自己所屬的 Group 為何。Sinks 成員收到搜索訊息後就會送出確認自己的所在位置的訊息給 LS。LS 彙整完 Group 的區域訊息後, 再將區域訊息傳送給 Source Node, 並同時廣播給 Group 內之所有 Sinks 成員, 讓成員們知道 Source 與群組的位置。

首先, 我們說明 LS 如何確定區域訊息的收集地點和群組的移動模式, 如圖 4 所示。我們假設 Sink Group 座落於一個圓形區域之中。Group 區域訊息  $Info\{Group\#ID\}$  包含  $\{P_c, R, P_{LS}, v, dir, t\}$ , 其中  $P_c$  是 Group 的中心位置  $(x_c, y_c)$ ;  $R$  是 Group 的半徑;  $P_{LS}$  是 LS 的位置  $(x_{LS}, y_{LS})$ ;  $v$  是 Group 的移動速度;  $dir$  是群組的移動方向;  $t$  是發佈訊息的時間戳記。

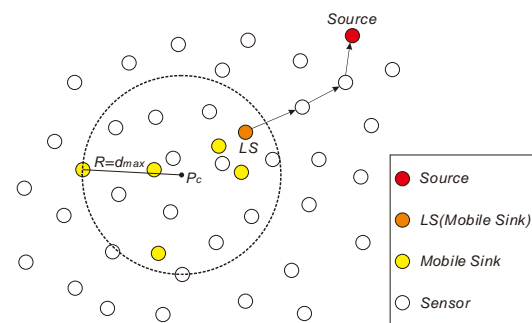


圖 4：Group 內各項資訊

$P_c$  是計算所有節點的座標位置後所得的中心位置 (方程式(1)), Group 的半徑  $R$  是  $d_{max}$  也就是  $P_c$  和 sinks 成員間的最大距離;  $d_i$  是  $P_c$  和任一 sink  $i$  之間的距離 (方程式(2))。這些公式計算如下所示：

$$P_c = (x_c, y_c) = \left( \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \right) \quad (1)$$

$$d_{max} = \max(1 \leq i \leq n) d_i; R = d_{max} \quad (2)$$

群組移動速度  $v$  和群組移動方向  $dir$  是 LS 在兩次群組資訊收集後依據兩次  $P_c$  的變化所計算得知的資訊。在確定 Info{Group#ID} 後，LS 可透過位置服務協定[3]獲得 Source 的位置，並直接發佈 Info{Group#ID} 與資料需求到 Source 端，以便於讓 Source 端知道 Group 的位置與需要何種資料。

## (二) 群組的資料散佈

為了有效率的將 Source 的資料傳輸到 Group 區域，Source 在獲得 Info{Group#ID} 資訊後，依據本身的位置與群組的中心位置  $P_c$  與範圍  $R$  找到四個座標位置，Source 將資料傳送並儲存在此四點間的十字虛擬儲存通道，也就是 Source node 可計算出一個 Entry Point ( $P_{ety}$ ) 和三個 Exit Points ( $P_{ext}$ )， $P_{ety}$  是 Source 端到 Group 區域範圍最近的座標位置，稱為入口點，其餘的節點稱為出口點  $P_{ext}$ 。圖 5 顯示其相對位置。Source 計算得知這四點後，先將資料朝  $P_{ety}$  傳送，最靠近  $P_{ety}$  且在群組範圍內的感測器將成為第一個儲存點，之後再將資料傳送至最靠近  $P_c$  的感測節點，最後再傳送至最靠近三個出口點的感測節點。在傳送的過程中若有 Mobile Sink 聽到該資料則會順便接收下來，之後就不再需要傳送詢問封包至虛擬通道獲取資料。

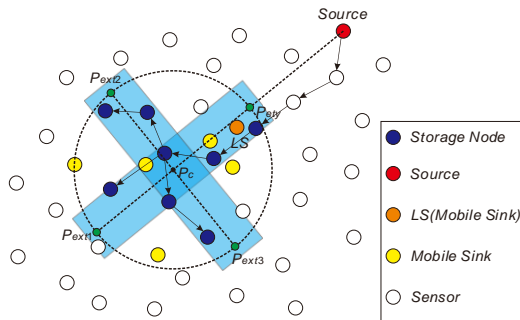


圖 5：建立十字型虛擬通道之範例

$R$  是 Group 的半徑； $P_c$  是 Group 的中心位置  $(x_c, y_c)$ ； $P_s$  是 Source 的  $(x_s, y_s)$  位置； $d$  是  $P_c$  與  $P_s$  的距離。Entry Point 和 Exit Point 的位置計算如下：

$$P_{ety} = (x_{ety}, y_{ety}) = \left( (x_s - x_c) \times \frac{R}{d} + x_c, (y_s - y_c) \times \frac{R}{d} + y_c \right) \quad (3)$$

$$P_{ext1} = (x_{ext1}, y_{ext1}) = \left( (x_c - x_s) \times \frac{R}{d} + x_c, (y_c - y_s) \times \frac{R}{d} + y_c \right) \quad (4)$$

$$P_{ext2} = (x_{ext2}, y_{ext2}) = \left( x_c - (y_c - y_{ety}), y_c + (x_c - x_{ety}) \right) \quad (5)$$

$$P_{ext3} = (x_{ext3}, y_{ext3}) = \left( x_c + (y_c - y_{ety}), y_c - (x_c - x_{ety}) \right) \quad (6)$$

Source Node 發送  $\{P_{ext}, LocInfo\{Group-ID\}, Seq\#\}$  的資料至  $P_{ety}$ ，當 Mobile Sink Group 停留在這 Group 區域時， $Seq\#$  定義為一個發出的消息的序列號(serial number)。我們可以使用  $Seq\#$  訊息來識別資料封包是否為所需之封包，以此防範接收到過舊之訊息或非所需之資料。

當 Source 的資料儲存在虛擬通道後，若 Mobile Sink 沒有收到相關封包且需要該資料時，則可以向離自己最近且在十字型通道內的感測節點送出詢問訊息，通道內儲存資料的感測節點收到此訊息後便會回傳給 Mobile Sink 所需要的資料，如圖 6 所示。Mobile Sinks A, B 和 C 位於資料傳遞的虛擬通道附近，在資料傳送時有聽到該資料封包，因此，不需要再提出請求。而 Mobile Sinks D 和 E 因沒有收到相關資料，因此發出詢問封包到鄰近的虛擬通道內詢問是否有相關資料。

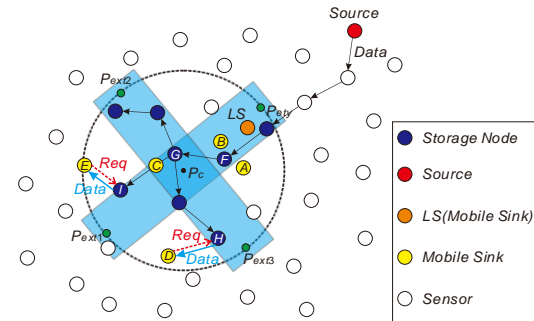


圖 6：Mobile sink 詢問與接收資料之範例

## (二) 支援行動群組的資料傳輸

LS 會定期偵測 Mobile Sink Group 的移動情況，並且計算下列的移動資訊：

- 目前的  $P_c$  和預計之  $P_c'$  的位移量
- 目前的  $R$  和預計之  $R'$  的位移量
- 移動速度

Group 的 LS 會定期給予 Source 端以上三種資料，以便讓 Source 能夠計算出要將資料傳送到的四個傳輸位置，使 Group 在抵達目的地或是中途路徑時可以隨時接收資料，以達到資料傳輸不間斷的目的。圖 7 顯示 LS 更新群組資訊後，Source 計算出  $P'_{ety}$ ,  $P'_{ext1}$ ,  $P'_{ext2}$  和  $P'_{ext3}$  四個新的傳輸位置，在傳送資料時，則會

建立出新的儲存虛擬通道。

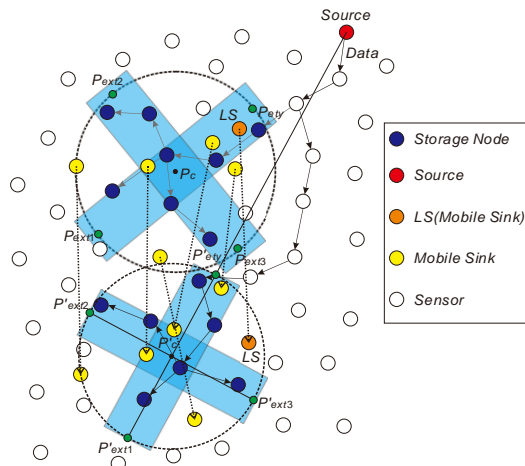


圖 7：Group 移動後更新傳遞資料之範例

本論文也考量 Mobile Sink 跑出 Group 範圍且需要 Group 內之資料的情況。由於 Group 的資訊是每個成員都知道的資訊，因此，Mobile Sink 可朝原十字虛擬通道的位置發送一個 Query 進行查詢，如圖 8 所示，Sink *D* 因移動離開了 Group 的範圍，LS 不需額外處理此狀態，Sink *D* 依舊可朝原十字虛擬通道的位置找到感測節點 *J* 詢問當前 Group 的資料，感測節點 *J* 可隨即將資料回傳給 Mobile Sink。

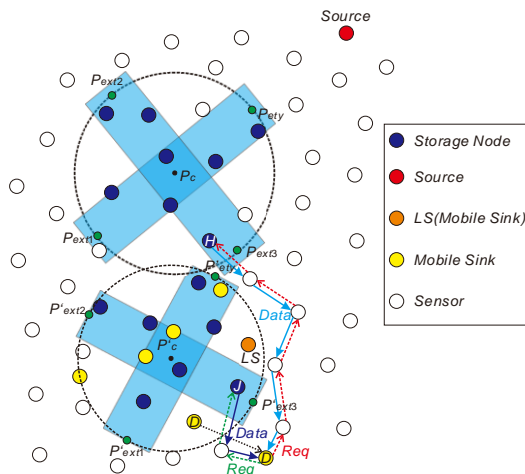


圖 8：Group 間之舊資料傳輸與離開 Group 之 sink 的資料傳送

資料封包中有一 Seq # 欄位可幫助離開 Group 區域的 Mobile Sink 檢查是否缺少先前 Group 的資料，若有缺失，Group 會向上一個 Group 所存放之十字通道索取資料，解決資料流失的問題。如圖 8 所示，Sink *D* 發覺封包序號有跳號的現象時，代表缺少先前的資料。若 Sink *D* 需要該資訊，但目前詢問的感測節點 *J* 並無此資料時，Sink *D* 將會往先前 Group 位置的十字通道進行詢問，找到感測節點 *H*

後，感測節點 *H* 後隨即將資料回傳給 Mobile Sink，如此將可解決資料遺失的問題。

#### 四、模擬結果

本論文以程式模擬的方式與文獻[1]進行比較，分析提出的方法之效能，以及探討有何優化方案與改善之處。我們使用 Network Simulator2 (NS2-2.27 版)模擬器進行實驗，MAC 協議為 IEEE802.11。Sensor 網絡大小設置為 1000 \* 1000 平方公尺，其中有 2000 Sensor Nodes 隨機分佈，感測器的傳輸範圍為 50 m。Source Nodes 為 10 個，產生並轉發 128k bytes 資料封包，5 packets/s 的傳輸速度。Sensor node 的發送，接收和閒置功耗率分別是 21mW，15 mW，0.03mW，設備參數大多選擇在參考 MICA 規範[10]。

由於考慮到協定的性質，只有與同樣支援 Mobile Sink Groups 移動性傳輸的 RBDD (Region Based Data Dissemination) 進行效能比較。

##### (一) 快速移動之 Mobile Sink Group 比較

首先對於各種移動速度中的 Mobile Sink Group 進行資料遞送成功率的高低探討，在無線感測網路中，節點的移動速度越快時傳遞資料可能會因為節點間連結的變化、傳輸流量不足、路徑相似而產生碰撞或堵塞造成資料遺失等問題，如圖 9 所示，兩種協議的傳輸都會因為節點移動造成資料遞送率下降。

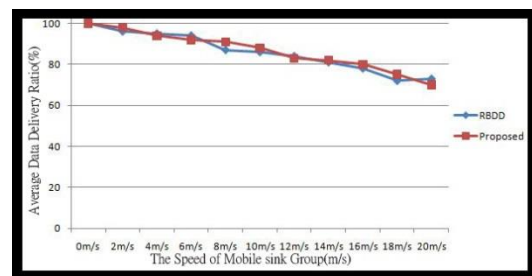


圖 9：不同 sink 移動速度下的平均資料傳輸率

在圖 10 中顯示在不同的 sink 移動速度下所產生的平均能量消耗。由於 RBDD 不需要頻繁的更新每個 sink 的位置，卻會使用區域廣播的方式，對所有的 sink 進行資料傳輸，而本文所提出的方法則是將資料存放於虛擬通道中的 Sensor Nodes，當 sink 有需要時再去詢問即可獲得。由此可以看明顯看出 RBDD 所用的 Flooding 的方式傳送與本論文所提出之十字型通道的能源消耗差異。

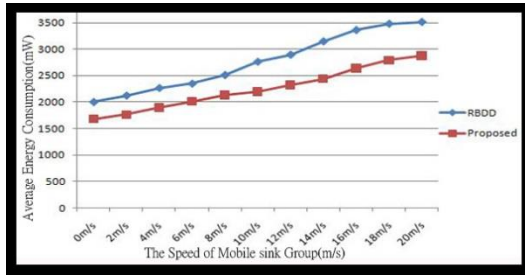


圖 10：在不同 Sink 移動速度的狀況下平均能量消耗變化

#### (一) Mobile Sink Group 的數量之影響

圖 11 顯示出了根據 Group 中 Mobile Sink 數目增加的平均資料傳輸率。RBDD 由於 Local Flooding 的特性會將資料傳送給所有的 Mobile Sinks，因此大部分的 Sinks 都能收到資料，本論文所提的方法雖然是將資料送到虛擬通道中，每個 Mobile Sink 要自行詢問，但並非所有的 Mobile sink 都需要發送詢問封包，因為資料在送到虛擬通道儲存時，部分 Mobile Sink 也都收到了該資訊，因此不會產生太多 Mobile Sinks 都往虛擬通道索取資料，避免了資料碰撞的情況。

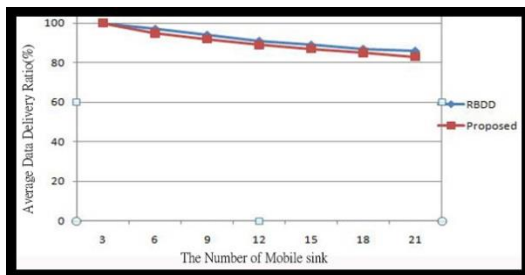


圖 11： Mobile Sink 數目增加的平均資料傳輸率

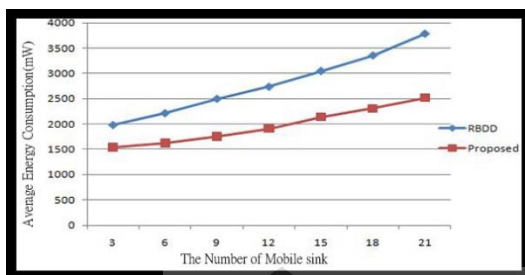


圖 12：測量各種 Mobile Sink 的數量之平均能量消耗

在圖 12 顯示各種 Mobile Sink 的數量所測量的平均能量消耗。在此可以看出 RBDD 的弱項，當 Mobile Sink 的數量增加，造成需要廣播的範圍也變大，因此能量消耗也會往上提升，而本論文所提的協議則是因為不需要以

區域廣播的方式進行資料散佈，因此可以保持較低的能源消耗。

## 五、結論

本論文提出了一個在無線感測網路中支援群組移動的資料散佈協定，其特色在於透過十字型的虛擬資料通道可大幅的減少 Geocasting 中需要區域廣播的能源消耗，且提供了移出 Group 範圍仍然可以獲取通道內的資料之方法。在模擬結果中能夠觀察到提出的方法確實能夠減少感測網路的能源損耗。

## 致謝

本論文為科技部編號 NSC 102-2815-C-262-007-E 之計畫，由於科技部的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 參考文獻

- [1] H. Lee, J. Lee, and S.-H. Kim, "Region Based Data Dissemination Scheme for Mobile Sink Groups in Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)*, pp. 1-5, Dec. 2010.
- [2] J. Lee, H. Park and S.-H. Kim, "Energy Efficient Data Dissemination Protocol for a Mobile Sink Group in WSNs," in *Proceedings of the IEEE 22<sup>nd</sup> International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 2269-2273, Sept. 2011.
- [3] I. Stojmenovic, "Geocasting with guaranteed delivery in sensor networks," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 6, pp. 29-37, Dec. 2004.
- [4] E. B. Hamida and G. Chelius, "Strategies for Data Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," in *IEEE Wireless Communications*, pp. 31-37, Dec. 2008.
- [5] 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 the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom'02)*, pp.148-159, Sep. 2002.
- [6] B. Karp and H.T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," *Mobicom*, pp.243-254, 2000.
- [7] J. Nemer, L. Garcia, D. Hampel, and S. DiPierro, "Application of Aensor Network Communications," in *Proceedings of Military Communication Conference*, pp. 336-341, 2001.
- [8] G. Werner-Allen, J. Johnson, M. Ruiz, J. Lees, and M. Welsh. "Monitoring Volcanic Eruptions with a Wireless Sensor Network," in *Proceedings*

*of the 2<sup>nd</sup> European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN 2005)*, pp. 108-120, Jan. 2005.

- [9] N. Kurata, B. F. Spencer, Jr., M. Ruiz-Sandoval, Y. Miyamoto and Y. Sako, "A Study on Building Risk Monitoring using Wireless Sensor Network MICA mote," in *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure*, Nov. 2003.
- [10] J. Hill and D. Culler, "Mica: a wireless platform for deeply embedded networks," in *IEEE Micro*, Nov./Dec. 2002.



