

無線隨意感測網路 P2P 傳輸之定位與繞徑

劉彥昌

靜宜大學資工系
g9872006@pu.edu.tw

羅峻旗

靜宜大學資工系
cclo@pu.edu.tw

摘要

本論文為任意點對點傳輸提出一個分散式的自我組織的新方法，只需要極少量的資訊，就能讓每個節點為自己計算出一個邏輯座標。當節點期望將訊息傳送到任何一個目的地時，將以這個座標作為繞徑的依據，如此可以避免如泛洪或是 GPS 等耗費資源與成本的作法。而這個方法，也將為無線隨意感測網路 P2P 資源查詢與分享的平台提供一個訊息傳輸的基礎架構。實驗結果顯示我們所提出的繞徑作法可以得到接近最少的跳點數的路徑，而且在不同感測範圍與不同節點密度之下，都能找出非常理想的繞徑。在運作效能與擴充性上，都有非常優良的表現。

關鍵詞：無線隨意感測網路、點對點傳輸、邏輯座標、繞徑

Abstract

This paper proposes a distributed self-organizing method for finding a route between arbitrary two nodes in a wireless ad hoc sensor networks. In the method, only a small amount of information is needed for each sensor node to calculate its virtual logical coordination. The coordination can then be used for data routing from a node to any destination. No resource-intensive technique like flooding or GPS is required in the approach. This method provides also a message transmission infrastructure in platform of P2P resource sharing and discovery for wireless ad hoc sensor networks.

The experimental results show that the proposed routing approach can obtain routing paths with hop counts very close to the smallest possible value. The method can always find good routing paths under different sensing areas and different density of sensor nodes. It performs well in both scalability and efficiency.

keywords: wireless ad hoc sensor networks, P2P transmission, logical coordination, routing

1. 簡介

近幾年無線通訊開發技術不停的進步，無線通訊裝置體積越來越小，價格越來越低，無線網路技術更被大量運用在生活上，而無線隨意感測網路就是在這樣的潮流下一個新興且具有潛力的通訊架構。傳統的無線隨意感測網路繞徑問題大多是希望將節點所感測的資料藉由多跳點的方式送往 sink，目的是為了做資料收集。但隨著無線隨意感測網路的應用發展，其傳輸需求也漸漸朝向任意點對點之間的資料查詢與溝通，例如車載網路或 P2P 聯絡或資源分享應用等等。因此對無線隨意感測網路而言，為任意兩節點之間的溝通建立一個適當有效的傳輸路徑，是一個很值得去注意的問題。

目前已有許多關於無線隨意感測網路 (wireless ad hoc sensor network) 的繞徑協定被提出，Moro 等人的論文 [8] 為這些協定的做法做了大略的分類並為這些協定的優缺點做出比較。他們將這些繞徑法分為 table-driven routing、on-demand routing 以及 geographic routing 三類。Table-driven routing 協定 [7], [10], [12] 的運作方式為每個節點必須維護一個表格，記錄對於網路拓樸中其他節點的路徑資訊，並依此來傳送封包至目的地，一個最著名的例子如 DSDV [12]。為了維護每個節點所記錄的路徑資訊是有效的，每個節點會週期性的與它的鄰居交換表格資訊，以確保表格所記錄的路徑資訊有效性。這些協定的優點是當網路拓樸改變時能立即更新本身的表格資訊，使其記錄的路線資訊能隨時保持有效性，並縮短因尋找路徑所造成的時間延遲。但是由於每個節點必須隨時記錄大量的路徑資訊於表格裡，會佔用相當多的硬體資源與網路頻寬，對現今的無線網路資源而言，不適合用於較大規模的無線隨意感測網路。

On-demand routing [4], [11], [13] 協定的運作方式中，每個節點不需要維護任何路徑資訊表格，當一個來源端需要傳送封包到目的地

位置時，因為它不知如何到達，因此會發出路徑請求，通常詢問路徑的方式是使用類似氾洪法，當找到路徑後才將封包沿著路徑送到目的地。AODV 是這種繞徑方法的一個典型的代表。這類協定的優點是其消耗的硬體資源與網路頻寬相較於 table-driven 協定是比較小的，但是由於詢問的方式大多是使用氾洪法，所以會造成大量的重複封包。同時因為要先執行尋找路徑的工作，也造成資料傳送時間的遲延。

Geographic routing [5], [6] 協定的做法是讓每個節點先透過定位系統 (如 GPS) 或其他參考地標來計算自己的位置座標，並根據這個座標來當作傳送資料時繞徑的依據。封包傳送時繞徑選擇，也以縮短傳送路徑長度做為條件。這類協定運作時，在目的地的位置已知的條件下，每個節點只需要知道它目前附近鄰居的方向位置，就可以選擇適當的鄰居將其資料往目的地傳送。因繞徑的建立不需要依靠氾洪法，所以此做法可以達到比較好的可擴充性，對於無線隨意感測網路來說也是比較適用的方法。但問題是，此類協定必須依靠如全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 或固定的參考地標來為每個節點定位，GPS 接收器不但價格昂貴而且又耗電，而且容易受到氣候或是障礙物的干擾 (例如不能工作於室內)，其他定位的方法一般也都需要一些額外的設備要求 (例如要能知道無線訊號的強度、入射角度等) 和複雜的定位演算法，這些對於無線隨意感測網路都將造成成本過高與運算負擔過重等嚴重的負面影響。如果我們能避免使用這些高成本設備與過於複雜的運算，geographic routing 將會是一個最適合無線隨意感測網路任意兩節點之間傳輸的繞徑法則。

最近，針對 geographical routing，陸續有人提出虛擬座標的想法 [1], [2], [9], [14]，在概念上，他們大多是把感測節點組織成一個虛擬拓樸結構，同時依據每個節點在這個拓樸中的相對位置來賦予每個感測節點一個虛擬座標值，而點對點之間的傳輸繞徑，就可以藉由這個虛擬座標來達成。這樣的拓樸結構可以包括線形 [1]、樹狀結構 [8]、或超立方體 [3] 等等。資料的傳輸，一般會沿著這線形、樹狀結構或超立方體的路徑來完成。應用這樣的虛擬座標，節點就不用瞭解或計算他的實際位置。然而，這些方法的缺點是，要必須把所有節點組織成一個虛擬拓樸。建構這樣的拓樸，一般

就須要許多感測節點間訊息的交換，造成很巨大的額外花費。

基於上述這些理由，本文想要提出一個簡單且硬體與訊息成本都很低的四點定位與繞徑方法，不僅不需要依靠 GPS 或其他定位設備，且只需極少的額外訊息，便能計算出很有助益的邏輯座標，並藉由這個座標來作為傳輸繞徑的依據。

在本論文的第二節，我們將討論有關無線隨意感測網路的繞徑與詢問相關研究，第三節進而提出我們的繞徑策略以及詳細說明。至於第四節則會列出詳細的實驗結果，說明我們所提出的方法之效能。

2. 相關研究

在這一節，我們舉出幾個與 geographic routing 發展相關的繞徑方法，來說明這一類繞徑法的特性、優點以及須要解決的問題。

較早時期的 geographic routing 方法，是由 Karp [5] 等人所提出的 GPSR 繞徑法。這個方法直接藉由感測節點的地理位置資訊，來建立起始點到終點之間的傳輸路徑。其封包轉送的策略是使用貪婪的演算法，當資料來源端想要傳送封包到目的地位置時，它會從自己的直接鄰居節點中選擇一個距離目的地位置最近的節點作為封包轉送的下一個跳點，因此該機制是需要維護一個鄰居表格，隨時掌握目前鄰居的資訊。為了達到這個目的，每個感測節點會週期性的向鄰居廣播自己的地理位置資訊，確保鄰居表格所記錄的地理位置是最新的。這個方法的問題在於它假設每個節點的地理位置是已知的，而這對於無線感測網路而言是個很難達成的假設，除非我們讓每個感測節點配備昂貴的 GPS 設備。另外這個策略的一個缺點是，當某個節點無法找到一個比自己還要接近目的地位置的鄰居時會導致封包無法再傳送下去 (這就是所謂的 dead-end 的問題)。針對這樣的問題，GPSR 協定提出了邊緣轉送的策略來解決，因此完整的 GPSR 繞徑演算法是結合了貪婪和邊緣的轉送策略來傳送封包至目的地位置。

後來，Awad 等人提出一個名為 VCP [1] 的方法。它是一個藉由虛擬座標來達成繞徑的方法。這個方法將所有節點組織在一個範圍由 0 到 1 之間的實數數線上。每個節點的

虛擬位置，就是用一個 0 到 1 之間的實數來表示。數線上由起點到終點的座標值，是以遞增的方式分配。每個節點在加入網路時，其座標就以其兩個相鄰節點的座標中間值來給定。在資料傳輸時，這個遞增的數字，就可以用來當作繞徑的依據。其在 P2P 資料管理部分利用一個相似於分散式雜湊表 (DHT) 的協定，提供插入、查詢和刪除的方法。此繞徑協定的關鍵重要特性除了簡單、高效率的繞徑以外，還有就是節點の後繼者和前任者都在它的附近，所以當節點加入和離開網路時，可以降低資料搬移的通訊負載，而且此協定不需要利用昂貴的 GPS 來取得精確的實際位置。VCP 的其他優點還包括簡單、具備可擴充性且可避免 dead-end 問題。缺點則是其虛擬座標和真實位置沒有關連性，我們比較難從節點的座標值瞭解這個節點所在的方位。

Moro 等人所提出的 W-Grid [8] 則將所有節點根據它們與鄰居的關係組織成一個交錯的二元樹，節點也會根據它們在交錯樹中的多重位置分配到數個多維虛擬二元索引座標。在繞徑時，W-Grid 也是根據這些虛擬座標，來尋找資料發送點和接收點之間的傳輸路徑。由於每個節點可具備多個座標，所以其傳送路徑也可以有多種選擇。這個方法一樣不需要依賴氾洪法或是 GPS 的輔助，也可以避免 dead-end 的問題。而缺點則是建構和維護一棵虛擬二元樹的結構必須花費許多額外的訊息成本，而且每個節點必須維護很多個虛擬座標，在處理的複雜度上相對也比較高。這個方法也不容易從節點的座標值瞭解這個節點所在的方位。

另外，Dekar 等人提出的方法，是將部分的感測器組織成一個超立方體 (hypercube) 的骨幹 [3]。其想法藉著將實體拓撲結構與超立方體作對應，然後將建構成的超立方體連接形成一個骨幹網路，然後使用分散式雜湊表 (Distributed Hash Table, DHT) [15] 來對這些超立方體進行資源註冊和查詢的工作。為了避免骨幹節點的超載，作者們也提出了一個彈性變更超立方體維度的方法來適應相應的負載。這個方法的缺點在於，建構一個超立方體骨幹架構所需的訊息成本非常高，而且扮演骨幹以及閘道的節點負擔相較會重許多。另外要讓分佈於二維空間的節點形成三維或更多維度空間的虛擬超立方體拓撲其實是不容易的。和前兩個

方法一樣，這個方法不容易從節點的座標值瞭解這個節點所在的方位。

分析以上各個方法，除非依靠 GPS 的輔助，否則都無法對每個感測節點所在的方位提出明確甚至粗略的推估，至於在其他文獻中所提的方法，如果想要知道感測節點的方位，若非使用 GPS，至少都須要一些參考地標，加上還須要知道無線訊號的強弱、入射角度等，在經過複雜的計算，才能得到逼近的方位。偵測這些參數的設備費用以及這些複雜的計算成本，一般都不是感測器所能負荷的。

本論文的主要貢獻，就是提出一個非常低成本的定位方法，這個方法為節點用很簡單的方法找出一個可以逼近其方位的邏輯座標，讓我們知道每個感測器所處的區域。這對於繞徑以及 P2P 應用時所必須的資源註冊、查詢等動作的對象位置分佈的分散性都很有幫助。在下節，將詳細說明我們的方法。

3. 邏輯方位定位與繞徑

本文所提出的繞徑方法是不需要依靠 GPS 或其他的定位系統，目標為每個節點找出範圍分佈在 (0,0) 和 (1,1) 這個方形區間的邏輯座標，而這個座標值，也反映了一個節點在整個感測區域的邏輯方位。為了得到每個節點的邏輯座標，我們在感測區的四個角落邊界處放置四個參考節點，其座標分別訂為 (0,0)、(1,0)、(0,1) 與 (1,1)（請參考圖 1），這四個參考節點會週期性的廣播它們的座標給相鄰節點。每個一般節點也會週期性的與鄰居交換訊息，透過如 DSDV 般的方法來瞭解它們與四個參考節點的最少跳點數 (hop count)，而我們的方法是以與這四個參考節點的最少跳點數來得到邏輯座標。

3.1 單位方形座標計算方式

假如圖 1 的區間範圍所表示的是整個網路的感測區域，我們將整個感測區的邏輯座標定義成一個單位正方形區域。縱軸範圍是從 0 到 1 之間的實數，橫軸亦然，而邊界的四個角落分別為四個參考節點的位置。假設某一個感測節點距離四個參考點的最少跳點數分別為 a 、 b 、 c 和 d ，要求算 P 點的座標 (x,y) 時，我們首先利用以下公式 (1) 和公式 (2) 來逼近

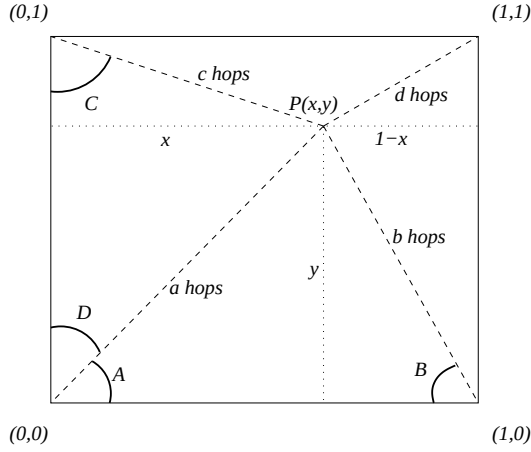


圖 1. 感測節點之單位方形邏輯座標示意圖

$\tan A$ 和 $\tan B$ 的值。

$$\tan A = \frac{\sin A}{\cos A} = \frac{\sin A}{\sin(\frac{\pi}{2} - A)} \approx \frac{b}{c} \quad (1)$$

$$\tan B = \frac{\sin B}{\cos B} = \frac{\sin B}{\sin(\frac{\pi}{2} - B)} \approx \frac{a}{d} \quad (2)$$

接著根據公式 (1) 和公式 (2) 的比值可導出以下公式：

$$\frac{\tan A}{\tan B} = \frac{y/x}{y/(1-x)} \approx \frac{b/c}{a/d} \quad (3)$$

將公式 (3) 簡化就可得到以下公式：

$$\frac{1-x}{x} \approx \frac{bd}{ac} \quad (4)$$

經過整理，我們就可以得到：

$$x = \frac{ac}{ac + bd} \quad (5)$$

這就是我們距離四個參考節點的最少跳點數所算出 P 點的 x 座標。透過一樣的逼近法，我們可以得到 P 點的 y 座標。

$$y = \frac{ab}{ab + cd} \quad (6)$$

以一個例子來說，如果圖 1 中 P 點距離四個參考點的跳點數分別為 9, 7, 5, 3，則其推算出來的座標值就接近是 (0.7, 0.8)，雖然不是絕對精確，但與實際的位置可以有一定程度的接近。

這個方法的重要特點除了繞徑方法是不需要依靠 GPS 或其他的定位系統和非常低成本的定位方法以外，還有就是我們所找出的逼近其方位的邏輯座標是可以容易的從節點座標值瞭解這個節點的所在方位。

3.2 八向繞徑法

有了以上的逼近方法，我們就可以為一個感測網路節點推算邏輯座標。資料傳送時的路徑選擇也可以依據這個邏輯座標來進行。因為本論文所推算的邏輯座標與實際位置有密切的對應，所以我們也可以直接使用如 GPSR 的演算法來尋找資料傳輸路徑。因為 GPSR 演算法會遭遇 dead-end 的問題，必須另外處理，而且演算法必須隨時維護所有相鄰節點的正确位置資訊，這對於動態的網路或會移動的感測器都會造成資料更新上的負擔。所以本論文提出一個替代的八向繞徑法。

由於無線隨意感測網路的拓模特性是非經過精確規劃而佈建，每個節點初始的時候也不知道自己的附近有哪些相鄰節點以及它們位於那個方位，若是要精確的掌握所有相鄰節點的資訊，就須要隨時彼此互交換換這些訊息，這將造成節點的負擔。本論文所提出的方法，是節點不主動去詢問鄰居的資料，而只讓每個節點每隔一段時間向外廣播其邏輯座標訊息。而其鄰居在收到此訊息時，會比較這個座標與自己座標的關係，透過 $\arctan 2$ 函數，算出這個鄰居所在的方向。

我們把鄰居的方向歸類為八個 45° 角的範圍，如圖 2 所示。所以每個節點會保持八個方向的記錄。當有一個鄰居送出廣播，我們便將他的資料記錄在其中一個方向記錄上。當我們有資料要傳送到某個目的地，我們也就根據目的地的方向，選擇最近在這個方向出現過的鄰居記錄，以之來當作傳送的目標。舉例來說，如圖 2 所示，若有一個鄰居(節點 15)送出廣播，而感測節點在收到此訊息時，會比較這個座標與自己座標的關係，算出這個鄰居所在的方位，假設此鄰居的方位是在東北方，我們便將他的 ID 記錄在東北方的記錄上。當我們有資料要傳送且資料的目的地的方向在東北方，此節點就會選擇最近在這個方向出現過的鄰居記錄(以此例子來說是節點 15)來當作傳送的目標。

4. 實驗結果與分析

在這節中，我們將透過 ns-2 模擬環境評估我們所提出的方法的效能。在這個模擬環境中，封包處理時間與封包碰撞等問題都有被充分考慮到，因此實驗數據都符合實際運作狀

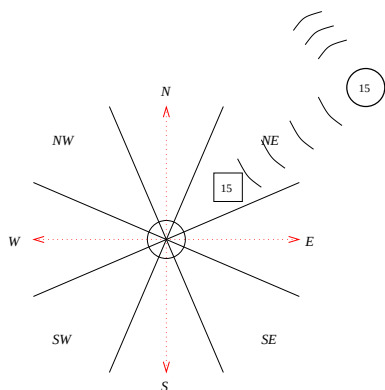


圖 2. 相鄰節點八個方向分類範圍

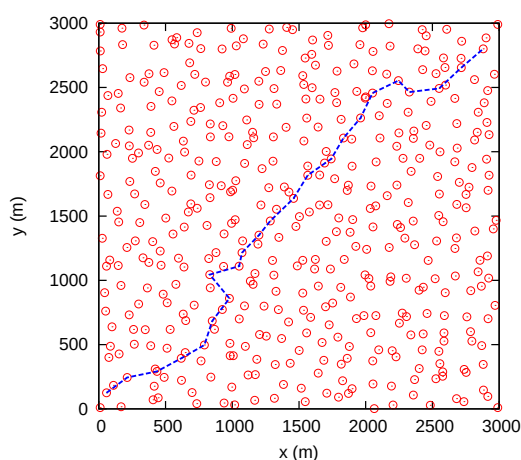


圖 3. 單位方形座標下之八方繞徑結果範例

況。圖 3 是我們實驗結果的一個範例。這個範例顯示，我們的方法在繞徑時，會穩定的朝著目標傳送資料，且不浪費太多跳點數。接著，我們將用以下各項實驗來顯示我們的方法在各個方面的表現與影響。在這些實驗中，我們的每項實驗都做分別做十次模擬。

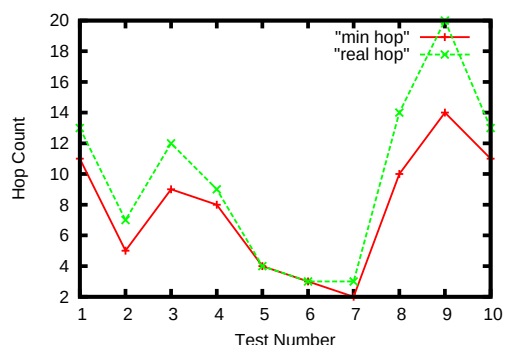


圖 4. 繞徑實際跳點數與最少跳點數比較

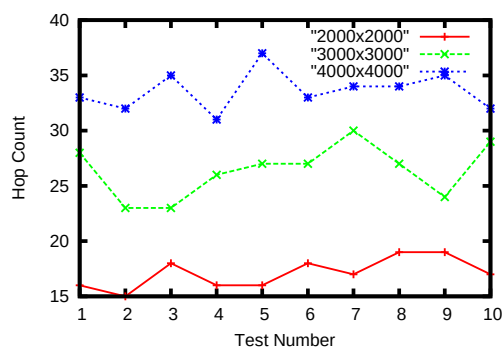


圖 5. 感測區域大小與跳點數關係

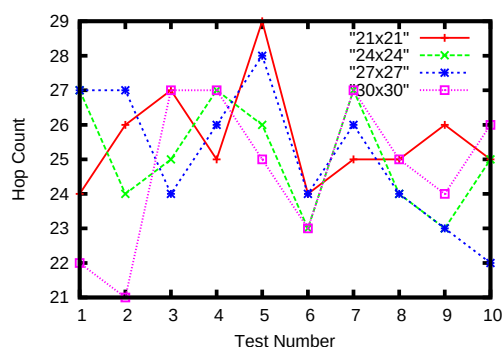


圖 6. 感測器節點密度對跳點數的影響

4.1 繞徑實際跳點數與最少跳點數比較

本組實驗我們設定感測區的大小為 3000×3000 平方公尺，在這個範圍內我們佈建了 $30 \times 30 = 900$ 個感測節點，在這樣的條件下隨機挑選兩個節點來當作資料的傳送點和接收點。在圖 4 中，我們顯示每次實驗實際傳送的跳點數與最少跳點數值。很明顯的可以發現到本論文的方法是可以找到近似於最少跳點數或甚至是最少跳點數的路徑。

4.2 感測區域大小與跳點數關係

在本組實驗我們將評估在節點密度相同而感測範圍變化下實際跳點數的差異。我們的感測範圍設定分別為 2000×2000 、 3000×3000 和 4000×4000 平方公尺，各以隨機分佈的方式放入 14×14 、 21×21 和 28×28 個節點。圖 5 表示感測區對角線兩個節點之間每次傳輸的實際跳點數。結果顯示，感測的範圍越大，跳點數也會相對變大。這個實驗也顯示，本論文的作法具有很好的可擴充性。

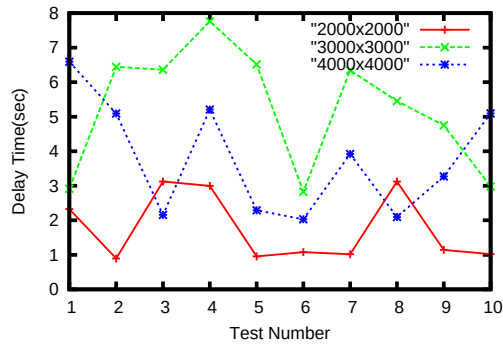


圖 7. 感測區域大小對傳輸延遲的影響

表 1. 本論文方法與相關文獻方法特性比較表

方法	須 GPS 協助	座標能對應實際位置	維護繞徑資料成本	尋找路徑效率
GPSR	是	是	低	中
VCP	否	否	低	低
W-Grid	否	否	高	低
Hypercube	否	否	高	低
本論文	否	是	低	高

4.3 感測器節點密度對跳點數的影響

這組實驗我們在 3000×3000 平方公尺範圍分別佈建 21×21 、 24×24 、 27×27 以及 30×30 個感測節點，並分析對角兩個節點傳輸資料的跳點數。由圖 6 中我們可看出，在相同大小的感測區域下，感測節點密度的高低對實際跳點數的影響是不明顯的。不管在高或低密度的情況下，整個感測網路皆可正常運作，而且也能達到接近最少路徑的效果。顯示出本文的方法可適應各種佈建密度，具有很好的運作彈性。

4.4 感測區域大小對傳輸延遲的影響

這組實驗我們將評估在相同節點密度下，感測區域大小不同對資料傳輸延遲時間的影響。實驗中我們的感測區域大小分別設定為 2000×2000 、 3000×3000 以及 4000×4000 平方公尺，並分別以隨機分佈的方式放入 14×14 、 21×21 和 28×28 個節點。在實驗中，我們由感測區域內左上角的節點發出封包給右下角節點，在收到封包後我們統計其傳輸延遲時間。由圖 7 可看出，在幾千公尺的距離下，本方法都可以在數秒鐘之內完成傳輸，具有良好的效率。

4.5 本論文方法與相關方法特性比較

綜合以上各節的討論與實驗分析結果，我們將本論文所提出的方法與相關文獻中所提出的方法特性，在表 1 中做一比較。由表中我們可看出，本論文所提出的方法不需要 GPS 設備的輔助就可以得到座標定位，且其座標值與實際位置有實際對應，在維護繞徑資料所需付出的成本與尋找路徑的效率各方面都能兼顧，得到最佳表現。

5. 結論與未來方向

對無線隨意感測網路而言，為任意兩節點之間的溝通建立一個適當有效的傳輸路徑，是一個很重要的問題。本文提出一個簡單且硬體與訊息成本都很低的四點定位與繞徑方法，不僅不需要依靠 GPS 或其他定位設備，且只需極少的額外訊息，便能計算出節點的邏輯座標，並藉由這個座標來作為傳輸繞徑的依據。經由 ns-2 環境的實驗顯示，經由這個方法所得到的繞徑可以得到接近最少的跳點數，而且其效能不受感測範圍與節點密度差異的影響，在運作效能與擴充性上，都有非常優良的表現。

在未來，我們也將以此為基礎，開發一個無線隨意感測網路 P2P 資源查詢與分享的平台。在這個平台上，感測節點可以快速的查詢到其他節點或資源的所在位置，並能馬上經由最佳化的路徑與其他節點溝通或取得所需資源。

參考文獻

- [1] A. Awad, C. Sommer, R. German, and F. Dressler, "Virtual cord protocol (vcp): A flexible dht-like routing service for sensor networks," in *5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, 2008. MASS 2008., sep. 2008, pp. 133–142.
- [2] R. Bischoff and R. Wattenhofer, "Analyzing connectivity-based multi-hop ad-hoc positioning," in *PERCOM '04: Proceedings of the Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004, p. 165.
- [3] L. Dekar and H. Kheddouci, "A resource discovery scheme for large scale ad hoc networks using a hypercube-based backbone," in *International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2009, pp. 293–300.

- [4] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "Dsr: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks," *Ad Hoc Networking*, pp. 139–172, 2001.
- [5] B. Karp and H. T. Kung, "Gpsr: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2000, pp. 243–254.
- [6] F. Kuhn, R. Wattenhofer, Y. Zhang, and A. Zollinger, "Geometric ad-hoc routing: of theory and practice," in *PODC '03: Proceedings of the twenty-second annual symposium on Principles of distributed computing*. New York, NY, USA: ACM, 2003, pp. 63–72.
- [7] W. Liu, C. Chiang, H. Wu, and C. Gerla, "Routing in clustered multihop mobile wireless networks with fading channel," in *Proc. IEEE SICON'97*, April 1997, pp. 197–211.
- [8] G. Moro and G. Monti, "W-grid: a cross-layer infrastructure for multi-dimensional indexing, querying and routing in wireless ad-hoc and sensor networks," in *Sixth IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, 2006. P2P 2006.*, sep. 2006, pp. 210 –220.
- [9] T. Moscibroda, R. O'Dell, M. Wattenhofer, and R. Wattenhofer, "Virtual coordinates for ad hoc and sensor networks," in *DIALMPOMC '04: Proceedings of the 2004 Joint Workshop on Foundations of Mobile Computing*. ACM Press, 2004, pp. 8–16.
- [10] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 1, no. 2, pp. 183–197, June 1996.
- [11] V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," in *Proceedings IEEE INFOCOM '97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, vol. 3, 1997, pp. 1405–1413.
- [12] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," in *SIGCOMM '94: Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications*. New York, NY, USA: ACM, 1994, pp. 234–244.
- [13] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999*. IEEE Computer Society, Feb. 1999, pp. 90–100.
- [14] A. Rao, S. Ratnasamy, C. Papadimitriou, S. Shenker, and I. Stoica, "Geographic routing without location information," in *MobiCom '03: Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2003, pp. 96–108.
- [15] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan, "Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications," in *SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. New York, NY, USA: ACM, 2001, pp. 149–160.