

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

針對行動 ad-hoc 網路所設計以行動節點的位置訊息、動態
特性、及電量控制為基礎的擇路協定

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2218-E-009-018-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系

計畫主持人：方凱田

計畫參與人員：盧澤恩

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 2 日

以預測行動與位置資訊為基礎的無線

隨意網路擇路協定

Predictive Mobility-Based and Location-Aware Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks

計劃編號：NSC 92-2218-E-009-018

計劃期限：92/08/01~93/07/31

計劃主持人：方凱田 國立交通大學電信工程系

摘要：近年來，已經有許多以位置資訊為基礎的無線隨意網路擇路協定被提出來，根據位置的資訊，轉送封包的範圍可以縮小，以減少擇路的負擔及增加網路效能。然而，決定轉送封包的範圍並沒有考慮到節點的移動特性。在大部分相關的工作中，皆假設存在額外的位置服務機制，用來取得移動節點的位置資訊。在這篇報告中，我們提出以預測行動與位置資訊為基礎的無線隨意網路擇路協定(Predictive Mobility-Based and Location-Aware Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks, PMLAR)，將結合移動節點的移動行為於協定的設計中。轉送封包的範圍是藉由預測目的點可能經歷的移動軌跡，由適應性的預測機制，PMLAR 將提昇協定的效能，且無須額外的位置服務機制。模擬結果顯示，在不同的網路拓撲提出的 PMLAR 協定優於其他擇路協定。

關鍵詞：MANET，以位置為基礎的隨意網路擇路協定，預測機制。

Abstract : Recent years, many location-aware routing protocols have been proposed for the mobile ad hoc networks. The routing performance is improved by exploiting the position information of the mobile nodes. However, the mobility characteristics of the mobile nodes have not been taken into consideration. An external location service for updating the position information of the mobile nodes is assumed as a requirement in most of the related work. In this paper, the proposed Predictive Mobility and Location-Aware Routing (PMLAR) algorithm incorporates the mobility behaviors of the mobile nodes in the protocol design. The region for packet forwarding is determined by predicting the future trajectory of the destination node. By adapting the prediction mechanism, proposed protocol provides efficient routing performance without the assistance of external location services. Simulation results show that the proposed PMLAR algorithm out performs other routing protocols under different network topologies.

Keywords : MANET, Location-Based Ad Hoc Routing Protocol, Mobility Model, Prediction Mechanism

I. 簡介

一個隨意網路包含了一群無線移動節點，它們彼此間相互通訊無須存在固定的基礎架構。依據不同地理上的拓撲，移動節點被動態地放置及不斷地改變位置。因為快速移動的特性，使得如何在不同移動節點間去找到一條路徑變得很困難。因此如何設計一個有效率且可靠的協定來尋找、組織、及維持路徑是很重要的。在隨意網路上一些有趣的應用包括：車內行動通訊(Inter-Vehicle Communication)、個人通訊服務(Personal Communication Services)、與感測網路(Sensor Networks)。

不同型態的隨意網路擇路協定已經被發展出來且用於 MANET。以拓撲為基礎的擇路協定可以分為 Proactive (例如：DSDV[1])與 Reactive (例如：AODV[2]、DSR[3])。在 Proactive 的擇路協定中，每個節點週期性的維持擇路表，儲存一致與最新的擇路訊息；相反的 Reactive 擇路協定，只有在傳送點需要時才會起始路徑找尋及封包轉送程序。已經有一些研究致力於比較不同隨意網路間的效能。

設計以位置為基礎的隨意網路擇路協定已經引起注意。因為許多行動裝置配備了定位系統(例如：GPS[9])，因此利用位置資訊進行協定的設計是可行的(例如：LAR[7]、DREAM[8]、與 GPRS[10])。可以藉由使用移動節的位置資訊減少封包的轉送範圍來減少擇路的負擔。大部分的這類的協定需要依賴位置服務的機制來取得其他節點的位置資訊[11]。如果沒有這些位置服務的機制擇路的效率將大打折扣。

大部分以位置資訊為基礎的擇路協定中皆沒有考慮移動節點的移動行為。在不同的移動情況下，移動節點會有不同的移動行為，因此可以將它們融入協定的

設計中。提出的 PMLAR (Predictive Mobility and Location-Aware Routing) 演算法決定它的封包轉送機制藉由預測未來目的點可能的位置。預測機制則根據之前目的點的移動行為，調整可調的參數來決定轉送區域的大小。高斯馬可夫(Gauss-Markov)模型被用於 PMLAR 協定設計中。使用這個移動模型的好處是，它可以被用來適性的表示不同程度的線性移動，亦可以用它來模擬具有不同程度的線性與布朗運動。另一方面，在 LAR 協定中，在穩定的網路的情況下轉送範圍會逐漸的成長，PMLAR 協定利用預測移動節點未來的軌跡，並週期性的更新資訊來限制擇路的尋找範圍，而解決了這個問題，在這篇報告中顯示出，PMLAR 協定適合於不同的網路拓撲。透過模擬來評估 PMLAR 協定的效率並與其他現存的協定做比較。

此報告組織如下，第二節簡明地瀏覽現存的 DSR 與 LAR 協定。所提出的 PMLAR 協定將於第三節做介紹，效能評估與模擬參數將在第四節做說明，第五節將是結論。

II. 協定介紹

兩個 Reactive 的擇路協定將被分析且與 PMLAR 協定在模擬中相比較，而它們的封包傳送策略，將被簡要的介紹。

A. Dynamic Source Routing (DSR) Protocol

DSR 是一個依需求而起始的擇路演算法[3]。傳送端 S 若想傳送資料封包給目的端 D。S 將檢查擇路快取 (Cache)，確認是否有存在的路徑到 D。如果在快取中沒有這樣的路徑，S 將會開始路徑尋找程序藉由廣播 RREQ(Route Request)封包，S 與 D 的位址將會被儲存在 RREQ 的封包標頭檔中。當中繼點 N_i 收到 RREQ 封包後，如果自己本身非目的端，那麼封包將繼續被廣播出去， N_i 亦會將自己的位址紀錄在 RREQ 中。直到 D 被找到了，具有完整資訊的 RREP(Route Reply) 將會回傳給 S。

B. Location-Aided Routing (LAR) Protocol

Location-Aided Routing (LAR) 也是一個 Reactive 的擇路協定[7]。由於有移動節點位置的資訊，演算法限制了封包在路徑尋找程序時氾濫的範圍，而不像 DSR 氾濫整個網路空間。其中一個較常使用的 LAR 演算法稱為 LAR-Box，會由傳送端與目的端建立一個 Request Zone。而其中的圓則稱為 Expected Zone，它是以目的點在時間 t_0 所獲得的位置 (x_0, y_0) 為中心。而 Expected Zone 的半徑在時間 t_1 則可以定義成 $R_{ez} = \bar{V}(t_1 - t_0)$ ，其中 \bar{V} 是在時間區間 $(t_1 - t_0)$ 的平均速度。在這個限制的區間中(即 Request Zone)，

LAR 使用類似 DSR 的方式選擇適合的中繼點來轉送封包。

III. 以預測行動與位置資訊為基礎的無線隨意網路擇路協定

在這一節中，所提出的以預測行動與位置資訊為基礎的無線隨意網路擇路協定(PMLAR)將會被詳細說明。高斯馬可夫模型將會在 A 小節介紹，預測機制與 PMLAR 演算法將會在剩餘的兩個小節解釋。

A. 移動模型—高斯馬可夫移動模型 (Gauss-Markov Mobility Model, GMMM)

高斯馬可夫移動模型[12]，將會被納入 PMLAR 協定的設計，且用來代表每個移動節點的行動方式。每個節點在時間 t_k 的移動方向 α_k 與平均速度 V_k 可以用以下的公式表示[4]：

$$\alpha_k = \gamma_1 \alpha_{k-1} + (1 - \gamma_1) \bar{\alpha} + \sqrt{(1 - \gamma_1^2)} X_{\alpha_{k-1}} \quad (1)$$

$$V_k = \gamma_2 V_{k-1} + (1 - \gamma_2) \bar{V} + \sqrt{(1 - \gamma_2^2)} X_{V_{k-1}} \quad (2)$$

其中 $\bar{\alpha}$ 與 \bar{V} 代表當時間 $t_k \rightarrow \infty$ ，移動方向與速度的平均值； $X_{\alpha_{k-1}}$ 與 $X_{V_{k-1}}$ 為平均值為零的高斯隨機變數； γ_1 與 γ_2 是一可調整的參數可呈現不同程度的亂度 $0 \leq \gamma_i \leq 1$ ，其中 $i=1,2$ 。兩個極端的情況分別是線性移動(當 $\gamma_i = 1$)與布朗運動(當 $\gamma_i = 0$)。使用 GMMM 的好處是它保留了某些程度的(i)移動亂度(ii)與記憶性。與 Random Walk 移動模型[13]比較，GMMM 具有較實際的移動軌跡，而非瞬間轉彎與突然停止。由(1)與(2)每個移動節點的位置 (x_k, y_k) 變成：

$$x_k = x_{k-1} + V_{k-1} \delta_t \cos \alpha_{k-1} \quad (3)$$

$$y_k = y_{k-1} + V_{k-1} \delta_t \sin \alpha_{k-1} \quad (4)$$

其中 δ_t 為 t_k 與 t_{k-1} 的時間差。目的點 D 的位置資訊包含，位置 (x_m^D, y_m^D) 、速度 V_m^D 、與移動方向角度 α_m^D ，且在時間點 t_m 被 D 紀錄著。目的點可能移動到 (x_i^D, y_i^D) 在未來的時間點 $t_i (t_i > t_m)$ ，且在時間區間 $\Delta t = (t_i - t_m)$ 中，D 的移動距離 $(\Delta x_{m,i}^D, \Delta y_{m,i}^D)$ 可以藉由加總 x 與 y 的距離分量獲得：

$$\Delta x_{m,i}^D = \sum_{k=m+1}^i V_k^D \delta_t \cos \alpha_k^D \quad (5)$$

$$\Delta y_{m,i}^D = \sum_{k=m+1}^i V_k^D \delta_t \sin \alpha_k^D \quad (6)$$

其中 $\delta_t = \Delta t / (i - m)$ 。而 α_k^D 與 V_k^D 代表 D 在時間點 t_k 的方向與速度，且可以由(1)與(2)獲得。

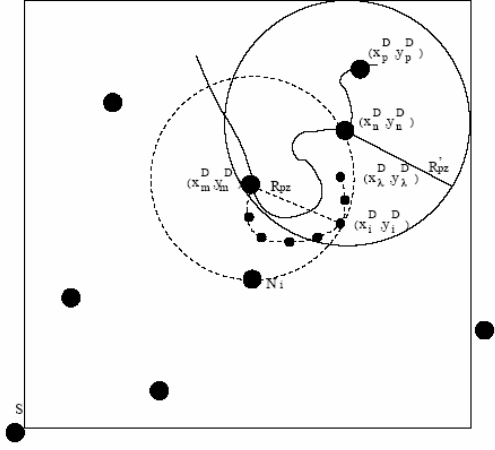


Fig. 1. Schematic Diagram of PMLAR prediction mechanism with the Gauss-Markov Mobility Model

B. 預測機制

預測機制基於未來目的點 D 的軌跡定義 Predicted Zone 的範圍。Predicted Zone 被定義成中心點位於 $D(x_m^D, y_m^D)$ 的一個圓。且半徑 R_{pz} 為：

$$R_{pz} = \max_{m < i \leq \lambda} \sqrt{(\Delta x_{m,i}^D)^2 + (\Delta y_{m,i}^D)^2} \quad (7)$$

其中 $\Delta x_{m,i}^D$ 與 $\Delta y_{m,i}^D$ 可以從(5)與(6)式中獲得； λ 代表總共的預測步數。由 D 現在的位置 (x_m^D, y_m^D) 到第 i 步的位置 (x_i^D, y_i^D) 將被計算出來且挑一個最大的當作 Predicted Zone 的半徑。如圖 1 所示，預測機制起始於現在的時間 t_m ，需線所表示的是使用 GMMM 的預測軌跡，其中 $\lambda = 7$ 。在這一例子中， R_{pz} 表示預測半徑，在第 5 步的時候可以獲得。

為了獲得 Predicted Zone 的半徑 R_{pz} ，在 GMMM 的參數 γ_1 與 γ_2 (如(1)與(2))必須被計算出來。 γ_1 與 γ_2 代表 D 之移動角度與速度的亂度。(1)與(2)可以寫成以下公式，以利求出參數：

$$y_k - \gamma_1 y_{k-1} = (1 - \gamma_1) u_{k-1} + e_{k-1} \quad (8)$$

其中 y_k 是節點在時間 t_k 的移動方向或速度。而在這個例子中， u_{k-1} 為系統輸入信號代表平均移動角度 $\bar{\alpha}$ 或平均速度 \bar{V} ，而 e_{k-1} 為系統雜訊用來代表隨機變數， $\sqrt{(1-\gamma_1^2)}X_{\alpha_{k-1}}$ 或 $\sqrt{(1-\gamma_2^2)}X_{V_{k-1}}$ 。

藉由蒐集現在時間點 t_m 以前的 l 個位置取樣值， γ_1 與 γ_2 可以利用 Least Square Estimation 與 QR 分解求解(8)來獲得。所提出的預測機制猜測 D 在 λ 步後的位置基於之前的 l 個訊息。

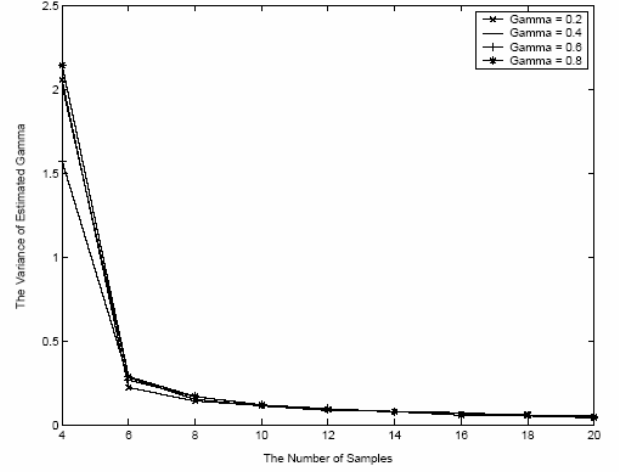


Fig. 2. The Variance of Estimated γ_i vs. The Number of Samples

然而，因為預測機制是隨時調適的， l 的數量便需小心挑選以避免計算的成本增加，在圖 2 中顯示，對於 γ_i 的精確度與計算成本的抉擇，明顯的當 l 增加時 γ_i 的變異數會減少，由圖 2 的結果，在 PMLAR 效能估時 l 將被設定為 12 (γ_i 的變異數大約為 0.08)。

C. PMLAR 演算法

在 PMLAR 演算法設計中，預測機制將被融入其中，來完成資料傳輸。演算法的敘述如下，傳送端 S 想要傳送資料給目的點 D。假設 S 在初始階段沒有 D 的 Predicted Zone 資訊，類似 DSR 所用 RREQ 程序將被使用，如 II—A 所敘述。在中繼點 N_i 相繼廣播後，D 將收到由 S 所發出的新封包。D 便開始執行預測機制，計算 Predicted Zone 的半徑 R_{pz} ，如公式(7)所示。關於 D 最新的資訊，包括時間戳記、位置資訊、和 Predicted Zone 的半徑 R_{pz} ，將被紀錄在 RREP 的封包標頭檔中並且送回到傳送點 S。D 的 Predicted Zone (對比於在 II—B 中所介紹 LAR 的 Expected Zone) 被用來限制封包的氾濫範圍。在完成路徑找尋程序後，S 將開始傳送資料封包送到 D。因為網路拓撲的動態改變，以下的情況可能在資料封包由 S 傳送到 D 時發生。PMLAR 隨時監控目的點 D，來確保它的位置在 Predicted Zone 裡面。演算法由定位系統週期性的檢查 D 最新的位置，並以 Predicted Zone 為邊界。如果 D 離開了以 R_{pz} 為半徑的圓，預測機制會重新預測一個新的 Predicted Zone。這個資訊會由 D 到 S 的路徑傳回到傳送點 S。如圖一所示，由 (x_m^D, y_m^D) 到 $(x_\lambda^D, y_\lambda^D)$ 虛線的軌跡代表利用 GMMM 預測 D 的軌跡，以 R_{pz} 為半徑的虛線圓辨識預測機制所定義的 Predicted Zone，而 D 真正的軌跡可能從 (x_m^D, y_m^D) 到 (x_n^D, y_n^D) 的實線軌跡。當演算法發現在時間點 t_n ，

D 離開了原本的 Predicted Zone，將會重新起始一個預測機制，並且產生一個新的 R_{pz} 作為新 Predicted Zone 的半徑(圖一中的實線圓)。

演算法對於路徑的斷裂提供一個修復機制，類似 DSR 協定[3]的路徑錯誤修復能力，如果原先定義的路徑發生斷裂，傳送端 S 會由中繼點接收路徑錯誤封包(RERR)。如圖一所示，假設傳輸路徑在時間點 t_p 斷裂，傳送端 S 必須仰賴時間點 t_n 所儲存的資訊，決定一個範圍用來路徑找尋。為了進一步增加 PMLAR 的效率，以下兩個情況將會被用來選擇更新的 Predicted Zone：

- I) Case I—傳送端 S 將使用在時間點 t_n 所預測的 Predicted Zone 半徑 R_{pz} ，新的路徑找尋程序將會起始，並且限制範圍仰賴於具有半徑為 R_{pz} 的 Predicted zone。
- II) Case II—為了提供對於 Predicted Zone 選擇的彈性，在 LAR 協定中所定義的 Expected Zone(在 II-B 中所敘述)，將會被應用於某些情況。LAR 協定的 Expected Zone 可以藉由計算半徑 $R_{ez} = V(t_p - t_n)$ 來獲得(使用圖一的符號)，當傳輸路境斷裂，傳送端 S 會比較 R_{pz} 與 R_{ez} ，S 將會選擇 R_{ez} 當作新的 Predicted Zone 半徑，如果 R_{ez} 小於 R_{pz} ，反之亦然。在 LAR 中的 R_{ez} 可能從小範圍增長到大範圍(決定於 t_p 與 t_n 的時間差)；然而在時間點 t_n 定義的 R_{pz} 卻是固定的半徑。

所提出的演算法中，包含這兩個情況。在下一節中，這兩個情況都會被模擬且加以比較。

IV. 效能評估

A. 模擬參數

本報告所提出的 PMLAR 演算法，將藉由以下的模擬來評估其效能，我們使用 network simulator (ns-2, [14])，來實現 PMLAR 演算法的 Case I 與 Case II，並與現有的擇路協定 LAR 與 DSR 做比較。移動節點的移動模型是藉由如表一所示之參數之 GMMM 來實現。在 GMMM 中每個移動節點的平均速度 \bar{v} 設定為 5、10、15、20 m/s。而平均移動角度 $\bar{\alpha}$ 在一開始的時候被隨意設定。為了限制移動節點的移動範圍不超過模擬的區域，當移動節點接近模擬區域邊緣， $\bar{\alpha}$ 被調整成指向模擬區域的中心。以上兩個參數(\bar{v} , $\bar{\alpha}$) 用來當做式子(1)與(2)的系統輸入信號，使移動節點能有適當的移動行為，接下來兩個亂度參數 γ_1 與 γ_2 ，由 0.2 到 0.8 之間隨意選取，用來代表不同形式

的網路拓撲。PMLAR 演算法使用如表一所示的相同參數，除了 γ_1 與 γ_2 是由 III-B 中所介紹的 LS 來計算。

PMLAR 演算法中的預測步數 λ 設定為 4，為了提供適當的預測步數，若預測步數 λ 選擇的愈大，則 D 就愈不容易超出預測區域的界限。如此一來，變更預測區域大小的次數就可以減少。然而，在路徑找尋階段會對應到較大的 Predicted Zone 範圍，因此可能會產生過多的控制封包。

TABLE 1
SIMULATION PARAMETERS

| Mobility Model Parameters | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Average speed | 5,10,15,20 m/s |
| Average heading angle | variable |
| $X_{\alpha_{k-1}}$ and $X_{V_{k-1}}$ | zero mean, variance = 2 |
| Randomness (γ_1, γ_2) | [0.2, 0.8] |
| NS2 Parameters | |
| Simulation area | 500x500 m |
| Number of mobile nodes | 50 |
| Traffic types | Constant Bit Rate (CBR) |
| Transmission range | 100 m |
| Number of traffic sources | 12 |
| Data packets size | 64 bytes |
| Simulation time | 1000 s |

B. 模擬結果

四個不同型態的擇路協定被實現，且用來作為效能評估，PMLAR Case-I、PMLAR Case-II、LAR-Box、與 DSR。下列三個參數用來對所提出的 PMLAR 演算法進行評估：Data Packet Delivery Ratio、End-to-End Delay、Control Packet Overhead。如圖三所示，比較了 PMLAR、LAR-Box、與 DSR 協定在不同的平均速度下 Data Packet Delivery Ratio 的表現。在平均速度等於 5m/s 下，PMLAR 協定的 Delivery Ratio 大約比 LAR-Box 協定高五個百分點；當平均速度變為 20 m/s 時，則大約高出三個百分點。如圖四所示，為 End-to-End Delay 的表現，其中，PMLAR 協定的延遲小於其他的協定所造成的延遲。最後由圖五所觀察得到，藉由 PMLAR 的協定，Control Packet Overhead 可以減少許多。

經由以上的三個圖示，可以發現，在各種不同的平均移動速度下，PMLAR Case-II 協定的表現大約比 PMLAR Case-I 協定高出兩個百分點。如 III-C 所敘述的，PMLAR Case-II 協定選擇了較小的 Predicted

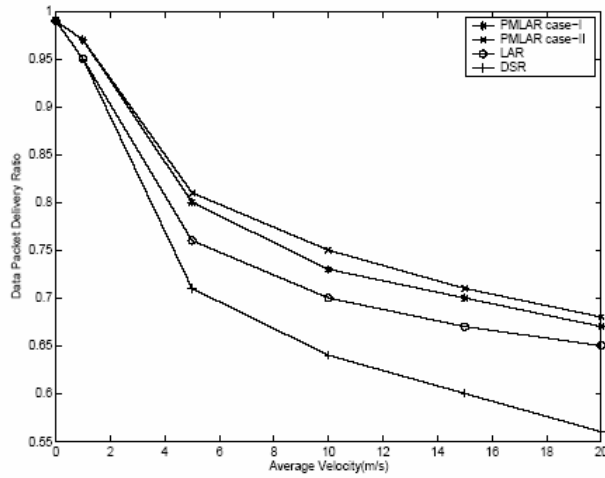


Fig. 3. Packet Delivery Ratio vs. Average Velocity

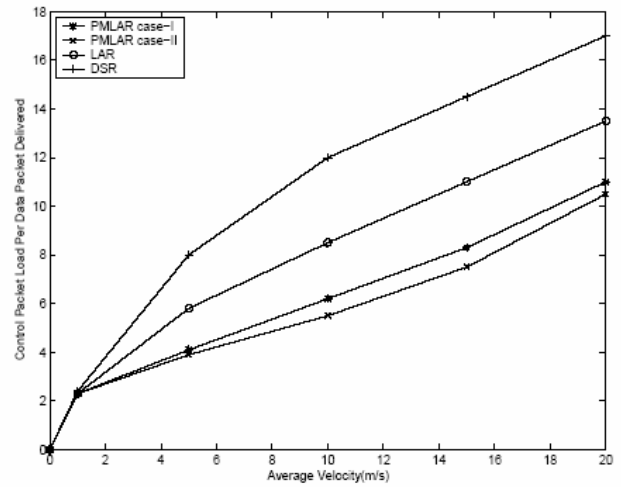


Fig. 5. Control Packet Overhead vs. Average Velocity

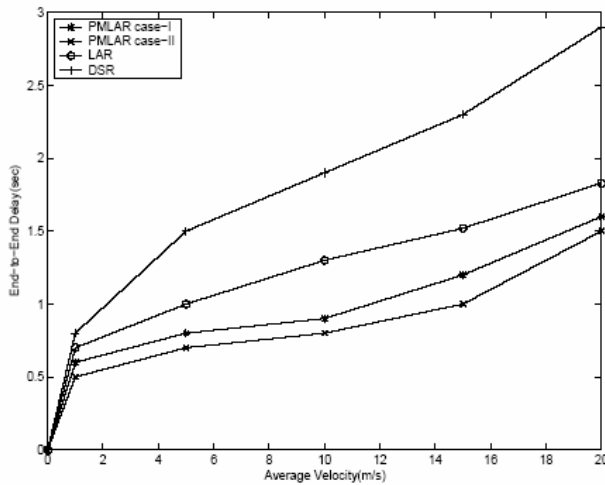


Fig. 4. End-to-End Delay vs. Average Velocity

Zone，使其在路徑找尋過程中有效地減少 flooding 區域。

藉由模擬的結果，可以觀察出使用 PMLAR 預測機制所帶來的好處。因為預測機制的存在，封包的轉送區域可以根據不同的網路拓撲調整。值得注意的是，LAR-Box 在穩定的網路拓撲下產生一個相當大的 Expected Zone。而 PMLAR 協定解決這樣的問題，藉由週期性的更新傳送點所儲存目的點的 Predicted Zone 資訊。這個機制減小了額外位置服務或是網路氾濫存在的必要，卻仍然可以提供有效的擇路效能。

V. 結論

本報告中，實現了 PMLAR 擇路協定。藉由整合移動特性於協定的設計中，整個擇路的表現獲得改善並可以適應各種不同的環境。PMLAR 演算法中的預測機制，移除對於位置服務機制的需求。模擬結果表示，在不同的網路拓撲下 PMLAR 演算法擁有較佳的表現。

REFERENCES

- [1] C. E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination Sequence Distance Vector (DSDV) Routing for Mobile Computers," *Proceedings of the ACM SIGCOMM '94 Conference*, August 1994, pp.234-244.
- [2] C. Perkins, and E. Royer, "Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing," *Proc. of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, February 1999, pp.90-100.
- [3] 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*, edited by C. E. Perkins, Addison-Wesley, 2001.
- [4] B. Liang, and Z. Haas, "Predictive Distance-Based Mobility Management for PCS Networks," *Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, March 1999.
- [5] J. Borch, D. Maltz, D. Johnson, Y. Hu, and J. Jetcheva, "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, October 1998, pp.25-30.
- [6] P. Johansson, T. Larsson, N. Hedman, B. Mielczarek, and M. Degermark, "Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks - A Comparative Performance Analysis,"

Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, August 1999, pp.195-206.

- [7] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," *ACM Wireless Networks Journal*, vol.6, no.4, 2000, pp.307-321.
- [8] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)," *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, October 1998, pp.76-84.
- [9] B. Parkinson and S. Gilbert, "NAVSTAR: Global Positioning System - Ten Years Later," *Proceedings of IEEE*, October 1983, pp.1177-1186.
- [10] B. Karp, and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, August 2000, pp.243- 254
- [11] M. Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein, "A Survey on Position-Based Routing in Mobile Ad-Hoc Networks," *IEEE Network Magazine*, vol.15, no.6, November 2001, pp.30-39.
- [12] A. Gelb, *Applied Optimal Estimation*, The M.I.T. Press, 1974.
- [13] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C. Chiang, "A Group Mobility Model for Ad Hoc Wireless Networks," *Proceedings of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, August 1999.
- [14] J. Heidemann, N. Bulusu, J. Elson, C. Intanagonwiwak, K. Lan, Y. Xu, W. Ye, D. Estrin, and R. Govindan, "Effects of Detail in Wireless Network Simulation," *Proceedings of the SCS Multiconference on Distributed Simulation*, January 2001, pp.3-11.
- [15] S. L. Jr. Marple, *Digital Spectral Analysis with Applications*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1987.