

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫一：MANET 系統之設計、模擬與效能分析(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-009-039-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系(所)

計畫主持人：方凱田

計畫參與人員：盧澤恩、溫中義、程偉祥、周冠宏

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 28 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## ITS 通訊/資訊聚合式車機系統平台之研發與測試 子計畫一：MANET 系統之設計、模擬與效能分析(I)

計畫編號：NSC 93-2218-E-009-039-

執行期限：93 年 8 月 1 日 至 94 年 7 月 31 日

主持人：方凱田 教授 國立交通大學電信工程學系

### 中文摘要

MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) 系統由許多無線行動節點所構成，其彼此之通訊不需經由有線無線設備。近幾年針對 MANET 系統的應用，多在於車輛之間的通訊(IVC)、軍用通訊系統、以及個人無線通信系統(PCS)方面。在本子計畫中，我們將設計及評估不同的 MANET 系統擇路協定，用以符合車輛間的資料傳輸與通訊需求。此外配合智慧型天線 (Smart Antenna) 的設計以及衛星定位系統 (Global Positioning System, GPS) 的定位技術，將可用以提高行動裝置的傳輸距離與 MANET 系統擇路協定之效率。在第一年的計畫中，主要研發成果包含 (1) 設計具位置資訊基礎的 MANET 擇路協定 (2) 以軟體模擬平台來比較評估該擇路協定的有效性及可行性。於 ARM 為基礎的嵌入式實驗平台上驗證與實現本計劃所設計之 MANET 系統環境，將是第二年研究計畫之主要工作項目。

### Abstract

A MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) is composed of wireless mobile nodes without the presence of a wired support infrastructure. In recent years, the interesting designs of MANET system include the applications for the Inter-Vehicle Communication (IVC), Military Communication Systems, and Personal Communication Systems (PCS). In this sub-project, various ad hoc routing protocols will be developed in order to fulfill the transmission requirements for the Inter-Vehicle Communication. By incorporating the technologies of smart antenna and the Global Positioning Systems (GPS), the efficiency of the routing protocol can be further increased with the extended transmission range of the mobile devices. In the first year of the sub-project, the major achievements include (1) Location-aware routing protocol design, and (2) The efficiency and feasibility of proposed routing protocols which are evaluated via software simulator. To perform the proposed MANET environment via the ARM-based embedded experimental platform is the major objective of this sub-project in the second year.

**Keywords:** MANET, Mobility Model, Routing Protocols, Velocity Aided Routing, Predictive Mobility and Location-Aware Routing

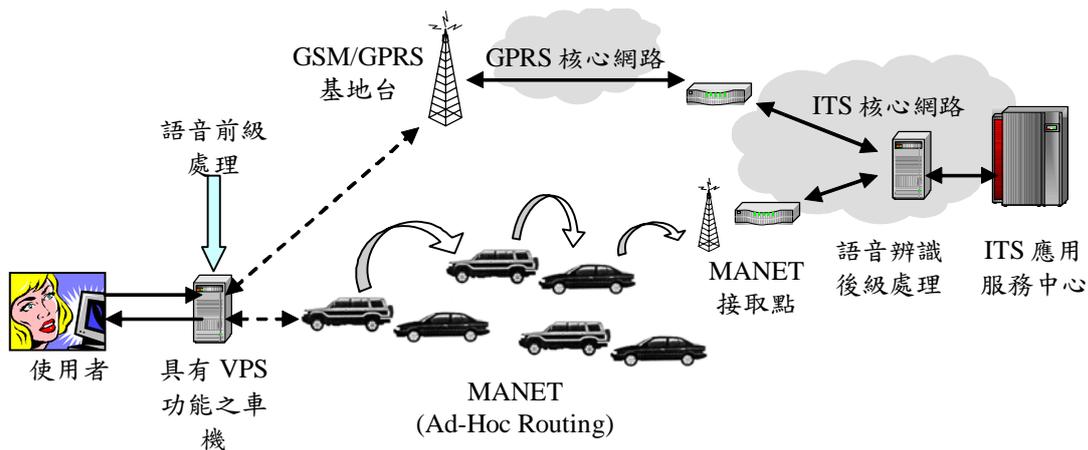
### 一、前言

隨著無線通訊技術的發展以及無線區域網路和行動通訊網路的普遍架設，小型無線行動通訊設備，如筆記型電腦、個人數位助理 (PDA)、手機等設備成為我們日常生活中不可缺少的物品。許多研究計畫於個人無線通訊網路架構中採用這些小型通訊設備為假想硬體平台提出高效能協定，以符合不同應用之需求。本總計劃以發展智慧型運輸系統所需之通訊/資訊聚合式車機系統平台為目標。如圖一所示，本總計劃所規劃之 ITS 通訊平台將整合 GSM/GPRS、MANET、DSRC 等廣域與窄域行動通訊系統，使車上用路人得以隨時隨地獲得所需之各種資訊。因此所規劃之主要發展技術包含 (1) 具備動態自組無線網路之 MANET 核心擇路機制，並進行 MANET 與 Beam-Switching 智慧型天線之整合；(2) 前瞻分散式

語音辨識技術與人機介面；(3) 進行結合 GPS 定位技術以及 GSM/GPRS、DSRC 通訊模組之電子收費與 VPS 行車定位系統之應用研究，並包含影像辨識等電子收費執法技術之開發。本總計劃的完成將可支援智慧型運輸系統的多項應用，包括電子收費系統、即時圖像傳輸系統、先進旅行者資訊系統、車間資料傳輸及通訊、車與道路資料傳輸與通訊、及異質性無線行動網路等。

### 二、研究目的

MANET 系統的主要功能，是為了提供行動使用者即時架設相互溝通的無線通信網路。就結構上而言，此網路是由一系列行動節點所組成，屬於一種自行組織且不依賴任何現存基礎設施的網路。該網路概念始於滿足戰場機動且強韌的軍事通信需求，現在則



圖一：本計劃規劃之 ITS 通訊平台架構

表一：MANET 系統應用於 ITS 服務之國際發展現況

系統名稱	國別	使用之核心技術	ITS 應用服務	發展階段
Fleetnet 計畫	德國	利用 UTRA-TDD 技術提供非對稱資訊流的柔軟度，也允許長距離及高移動速度傳輸之強健特性	Fleetnet 計畫是針對將無線 Ad-Hoc 網路應用於車間通訊上，散佈位置相關的資訊及服務，以滿足駕駛者及乘客需要之能力	實驗系統之建置與測試
以端點通訊為基礎的交通服務系統	瑞典	利用兩種網路組織方式：1.叢集式組織；2.個體中心式組織。進行 MANET 點對點的通訊	使用車間通訊以及與路測單元的資料交換，以及與 GPS 之整合，進行交通安全相關應用服務	實驗系統之建置與測試
以 ODMA 技術為基礎之應用	南非	利用傳遞(relaying)方法提高資料傳輸率與訊息涵蓋範圍	應用於警方車機系統車間通訊或軍方等，有效提高基地台涵蓋範圍與頻寬	實驗系統之建置與測試
RUSH 計畫	美國	使用藍牙通訊技術以及衛星定位(GPS)為基礎之 ad hoc 路由機制	利用校園作為實驗平台，進行校車間的車間通訊以及相關應用服務	實驗系統之建置與測試
Geocast-based 之車間通訊	德國	使用以地理資訊為基礎的 ad hoc 訊息傳播，提高資訊傳播的有效性	提供車間點對點通訊以及結合電子地圖等訊息呈現功能	實驗系統之建置與測試
以 SDMA 為基礎之車間通訊系統	美國	採用空間分割多重擷取(SDMA)的技術，提高頻寬使用效率	車輛自動駕駛系統、自動高速公路等	技術研發
以 WLAN 為基礎之 MANET	加拿大	結合智慧型天線與 IEEE 802.11 無線區域網路之 MANET	可提高 MANET 應用於 ITS 系統時之通訊效能	技術研發
多重代理人之動態路由系統	日本	以行動代理人技術進行 MANET 動態路由	進行行動車機間的車間通訊與動態路由	技術研發
以 GPS 為基礎之車間廣播通訊	日本	結合 GPS 資訊之訊息廣播方法以增進系統效能	提供車機間的車況資料交換，作為行車輔助的基礎	技術研發

被廣泛應用於警察與醫療部門的災難搶救、車輛間的通信網路與訊息傳遞、感測器網路、以及課堂教育等眾多領域。據我們所知，目前 MANET 系統應用於智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation System, ITS) 服務之國際發展現況如表一所列。本子計畫考量國內發展及運用 MANET 系統之現狀，掌握國際 MANET

系統發展趨勢及潮流，針對 ITS 方面進行「MANET 系統之設計、模擬與效能分析」之研究。MANET 中的行動節點因其移動性及所在地理位置之不同而產生不同型態的網路拓樸。由於每個行動節點具有快速移動之特性，如何在不同行動節點間找尋、組織及維持一條有效率且可靠的路徑將成為一個非常重要的

議題。因此第一年子計畫的主要研究成果在於設計具位置資訊的 MANET 擇路協定，並以軟體模擬平台來比較評估該擇路協定的有效性及可行性。此外，適合於車輛移動特性的移動模型亦於第一年子計畫中詳加探討及分析。以 ARM 為基礎的嵌入式實驗平台上驗證與實現本子計畫所設計之 MANET 系統環境，將是第二年研究計畫之主要工作項目。

### 三、文獻探討

許多不同型態的隨意網路擇路協定被提出應用於 MANET 中。以拓樸為基礎的擇路協定可分為 Proactive (如 DSDV[1]和 WRP[2]等) 與 Reactive (如 AODV[3]、DSR[4]、TORA[5]、ABR[6]和 SSA[7]等) 兩類。Proactive 擇路協定中的每個節點將週期性的維護擇路表以儲存最新且一致的擇路訊息；相反地 Reactive 擇路協定只有在傳送來源節點需要時才會起始路徑找尋及封包傳送程序。兩者相較之下，Reactive 擇路演算法產生較少的擇路花費 (Overhead)，然而較弱的通訊連結及路徑找尋時所產生的延遲 (Delay) 等特性使其不適合運用於快速改變的網路拓樸之中。DSR[4] (Dynamic Source Routing) 為 Reactive 擇路協定的代表演算法。在該演算法中，傳送節點  $S$  於欲傳送資料封包給目的節點  $D$  時，將先檢查擇路快取 (Cache) 以確認是否具有到達目的節點的路徑資訊。若快取中不存在此路徑資訊，則  $S$  將藉由廣播  $RREQ$  (Route Request) 封包開始執行路徑找尋程序。 $RREQ$  的封包檔頭中包含  $S$  與  $D$  的位址資訊。網路中的節點在收到  $RREQ$  封包後若自己本身非目的節點，則將自己的位址增加到  $RREQ$  封包中，並將該封包廣播出去。目的節點在接收到數個  $RREQ$  封包後將根據路徑評估準則 (如 Hop 數、剩餘電量、Channel 狀態等) 挑選合適的路徑回傳  $RREP$  (Route Reply) 封包給來源節點  $S$ 。來源節點  $S$  則以此路徑傳送資料給目的節點  $D$ 。

近幾年來，許多行動裝置具備行動定位系統 (如 GPS[8])，使許多研究學者將目標轉移至以位置為基礎 (Position-based) 的隨意網路擇路協定之設計 (如 DREAM[9]、LAR[10]、GRA[11]、GPSR[12] 與 GLS[13][14]等)。在此類型之擇路協定中，位置服務 (Location Service) 和封包轉傳 (Packet Forward) 是兩個主要的設計機制。根據位置服務機制所提供的目的節點位置資訊，資料來源節點可決定其封包轉傳方式，以減少尋路封包的轉送範圍及降低擇路的負擔。LAR (Location-Aided Routing) [10] 是一個典型以位置為基礎的 Reactive 擇路協定。由於擁有行動節點的位置資訊，該演算法成功地限制路徑找尋程序時封包的轉傳範圍，使其不同於 DSR 協定中整個網路空間的封包泛流。較常使用的 LAR 演算法稱為 LAR-Box。在該演算法中，資料來源節點利用目的節點的位置資訊及移動速度建構 *Expected Zone* 與 *Request Zone* 兩個區間。*Expected Zone* 是一個以目的

節點於時間  $t_0$  所獲得之位置資訊  $(x_0, y_0)$  為圓心所形成的圓形區域，其在時間  $t_1$  之半徑為  $R_{ez} = \bar{V}(t_1 - t_0)$ ，其中  $\bar{V}$  為時間區間  $(t_1 - t_0)$  的平均速度。*Request Zone* 則是用以限制尋路封包轉傳範圍的矩形區域，在此限制區域中，LAR 採取類似 DSR 的方式選擇合適的中繼節點來轉送封包。

大部分以位置為基礎的擇路協定中，雖然行動節點的速度及移動角度可以從位置系統獲得，但這些資訊卻未被採用成為設計考量因素。因此，本子計畫第一年以探討適合於車輛移動特性的移動模型、及設計評估具位置資訊的 MANET 擇路協定作為主要研究工作。

### 四、研究方法

本年度研究子計畫以設計具位置資訊的 MANET 擇路協定為主要研究項目。首先針對兩種行動節點移動模型：高斯馬可夫移動 (Gauss-Markov Mobility, GMM) 模型及定速移動 (Constant Speed Mobility, CSM) 模型，進行分析。接著將探討概述我們所提出的三種以位置資訊為基礎的 MANET 擇路演算法：速度輔助擇路 (VAR) 演算法、以預測行動與位置資訊為基礎擇路 (PMLAR) 演算法以及 PMLAR 與 VAR 合併 (PMLAR-V) 演算法。

#### A、高斯馬可夫移動 (GMM) 模型

高斯馬可夫移動模型 [15] 用來表示每個行動節點的移動方式。每個節點在時間  $t_k$  的移動方向  $\alpha_k$  與平均速度  $V_k$  為

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

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

其中  $\bar{\alpha}$  與  $\bar{V}$  為  $t_k \rightarrow \infty$  時，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； $\gamma_1$  與  $\gamma_2$  為可調整的參數，用以呈現不同程度的亂度  $0 \leq \gamma_i \leq 1$ ，其中  $i = 1, 2$  [16]。兩種極端的情況分別是線性移動 ( $\gamma_i = 1$ ) 和布朗運動 ( $\gamma_i = 0$ )。GMM 模型以上一個時間點的移動亂度與記憶性來產生將來的亂度變數  $\gamma_i$ ，與 Random Walk 移動模型相較之下，其具有較實際的移動軌跡。由式子(1)與(2)，每個行動節點在時間  $t_k$  的位置  $P(x_k, y_k)$  為

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

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

其中  $\delta_t$  為目前時間  $t_k$  與前一個時間  $t_{k-1}$  的時間差。假

設一個行動節點在時間  $t_i$  的位置資訊包含位置  $P(x_i, y_i)$ 、速度  $V_i$  與移動方向角度  $\alpha_i$ ；在時間  $t_j$  ( $t_j \geq t_i$ ) 的預測位置為  $P(x_j, y_j)$ ，則該行動節點在時間區間  $\Delta t_{i,j} = (t_j - t_i)$  內的移動距離  $(\Delta x_{i,j}, \Delta y_{i,j})$  可經由加總式子(3)X 方向距離分量與式子(4)Y 方向距離分量獲得

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

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

## B、定速移動 (CSM) 模型

在上述的高斯馬可夫移動 (GMM) 模型中，行動節點以上一個時間點的移動狀態來預測未來的移動速度  $V_j$  與方向  $\alpha_j$ 。但是在某些情況下，行動節點在時間區間  $\Delta t_{i,j} = (t_j - t_i)$  中將維持不變的速度 ( $V_0$ ) 往同一個方向 ( $\alpha_0$ ) 移動，例如： $V(t) = V_0$ ， $\alpha(t) = \alpha_0$ ， $t \in [t_i, t_j]$ 。因此行動節點在時間區間  $\Delta t_{i,j} = (t_j - t_i)$  中沿著 X 方向與 Y 方向的移動距離可由式子(5)與(6)獲得為

$$\Delta x_{i,j} = V_0 \Delta t_{i,j} \cos \alpha_0 \quad (7)$$

$$\Delta y_{i,j} = V_0 \Delta t_{i,j} \sin \alpha_0 \quad (8)$$

當行動節點以固定速度往相同方向移動時，固定速度移動 (CSM) 模型可被用來模擬節點的移動行為。這種情況可能發生在具有相似交通流量、方向受限的拓撲環境中，例如城市中的街道或者高速公路的道路。固定速度移動 (CSM) 模型可被視為一個簡單的移動預測模型，其和高斯馬可夫移動 (GMM) 模型相較而言，具有較少的計算花費。

## C、速度輔助擇路 (VAR) 演算法

在本年度的子計劃中，我們所提出的第一個以位置資訊為基礎的 MANET 擇路演算法為速度輔助擇路 (Velocity Aided Routing, VAR) 演算法。該演算法以轉遞節點 (Forwarding Node)  $N_i$  與目的節點  $D$  間的相對速度為基礎，決定負責封包轉遞的行動節點。VAR 演算法分別採用 GMM 模型和 CSM 模型來預測目的節點  $D$  的移動軌跡，其概述如下：

1) VAR 採用 GMM 模型 (VAR-GMM)：和 LAR-Box 相比，VAR 演算法在位置服務方面須在 LREP (Location Service Reply) 封包中增加目的節點  $D$  於最後更新位置資訊時 ( $t_l^{(n)}$ ) 的移動方向

$\alpha_D(t_l^{(n)})$  與亂度參數  $\gamma_{iD}(t_l^{(n)})$ ，其中  $i=1,2$ 。

在位置服務程序執行後，資料來源節點  $S$  開始執行路徑找尋程序，以建構出經由某些中繼節點 (Intermediate Node)  $N_i$  而通往目的節點  $D$  的路徑。資料來源節點  $S$  以廣播的方式發送 RREQ 封包，該封包中含有目的節點  $D$  於時間  $t_l^{(n)}$  的位置資訊 (包含位置  $P_D(t_l^{(n)})$ 、速度  $V_D(t_l^{(n)})$ 、方向  $\alpha_D(t_l^{(n)})$  和亂度  $\gamma_{iD}(t_l^{(n)})$ )。由於採用 GMM 模型，中繼節點  $N_i$  可使用式子(1)到(4)計算預測目的節點  $D$  於現在時間  $t_c^{(n)}$  的位置資訊 (包含位置  $P_D(t_c^{(n)})$ 、速度  $V_D(t_c^{(n)})$  和方向  $\alpha_D(t_c^{(n)})$ )，並將其與自己的位置資訊 (包含位置  $P_{N_i}(t_c^{(n)})$ 、速度  $V_{N_i}(t_c^{(n)})$  和方向  $\alpha_{N_i}(t_c^{(n)})$ ) 以下列準則來評估本身是否適合擔任轉遞節點角色：

$$\Delta V_i > [V_{N_i}(t_c^{(n)}) + V_D(t_c^{(n)})] \delta_{1,i} + \delta_{2,i} \quad (9)$$

$$|\Delta V_j| < [V_{N_i}(t_c^{(n)}) + V_D(t_c^{(n)})] \delta_{1,j} + \delta_{2,j} \quad (10)$$

其中

$$\Delta V_i = V_{N_i}(t_c^{(n)}) \cos(\theta(t_c^{(n)}) - \alpha_{N_i}(t_c^{(n)})) \quad (11)$$

$$- V_D(t_c^{(n)}) \cos(\theta(t_c^{(n)}) - \alpha_D(t_l^{(n)}))$$

$$\Delta V_j = V_{N_i}(t_c^{(n)}) \sin(\theta(t_c^{(n)}) - \alpha_{N_i}(t_c^{(n)})) \quad (12)$$

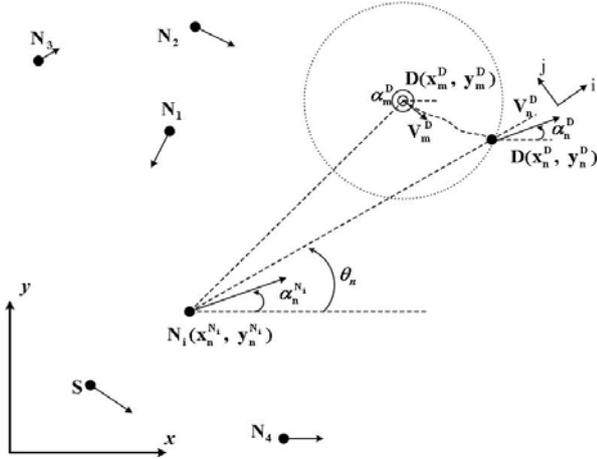
$$- V_D(t_c^{(n)}) \sin(\theta(t_c^{(n)}) - \alpha_D(t_l^{(n)}))$$

式子(9)和(10)中的  $\delta_{1,i}$ ， $\delta_{2,i}$ ， $\delta_{1,j}$ ， $\delta_{2,j} \geq 0$  為速度相依可調係數。如圖二所示， $\theta(t_c^{(n)})$  表示在時間  $t_c^{(n)}$  時，中繼節點  $N_i$  與目的節點  $D$  之間的角度，其可利用式子(5)和(6)計算獲得：

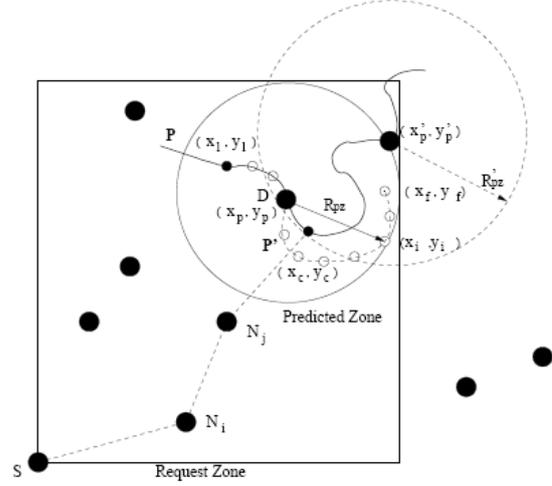
$$\theta(t_c^{(n)}) = \tan^{-1} \frac{(y_D(t_l^{(n)}) - y_{N_i}(t_c^{(n)})) + (\Delta y_{l,c})_D}{(x_D(t_l^{(n)}) - x_{N_i}(t_c^{(n)})) + (\Delta x_{l,c})_D} \quad (13)$$

本計劃中所提出的 VAR 演算法採用兩個準則來挑選擔任封包傳遞工作的中繼節點，第一個準則 (式子(9)) 指出傳遞節點  $N_i$  應具有朝目的節點  $D$  移動的特性，如圖五中的第  $i$  個方向；第二個準則 (式子(10)) 用來限制傳遞節點  $N_i$  與目的節點  $D$  連線垂直方向的相對速度，如圖五中的第  $j$  方向。採用此兩個準則將大量減少參與封包傳遞工作的轉遞節點數目。

2) VAR 採用 CSM 模型 (VAR-CSM)：上一小節中所提出的 VAR 轉遞節點挑選準則仍可被應用於 CSM 模型，唯一的不同點在於中繼節點與目的節點間角度的計算方式。其較精簡的角度計算方法如式子(14)所示，其中  $\Delta t_{l,c} = (t_c - t_l)$ 。



圖二、VAR 採用 GMM 模型概要圖示



圖三、PMLAR 概要圖示

$$\theta_s(t_c^{(n)}) = \tan^{-1} \frac{(y_D(t_l^{(n)}) - y_{N_i}(t_c^{(n)})) + V_D(t_l^{(n)}) \Delta t_{l,c} \sin \alpha_D(t_l^{(n)})}{(x_D(t_l^{(n)}) - x_{N_i}(t_c^{(n)})) + V_D(t_l^{(n)}) \Delta t_{l,c} \cos \alpha_D(t_l^{(n)})} \quad (14)$$

無論是採用 VAR-GMM 或者 VAR-CSM 演算法，*RREQ* 封包都是採用泛流 (Flooding) 的方式在整個網路中流竄以找尋符合準則 (式子(9)、(10)) 的中繼節點，進而建構出通往目的節點的路徑。路徑建構完成後，目的節點 *D* 將回傳一個包含其最新位置資訊 (移動方向  $\alpha_D(t_r^{(n)})$  與亂度參數  $\gamma_{iD}(t_r^{(n)})$ ) 的 *RREP* 封包至資料來源節點。隨後資料封包將沿著此路徑被傳遞至目的節點 *D*。VAR 演算法與 LAR 協定相同的是每隔一段時間資料來源節點 *S* 將會重新執行一次路徑找尋程序。

#### D、以預測行動與位置資訊為基礎擇路 (PMLAR) 演算法

以預測行動與位置資訊為基礎擇路 (Predictive Mobility and Location-Aware Routing, PMLAR) 演算法為我們所提出的第二個以位置資訊為基礎的 MANET 擇路演算法。PMLAR 演算法將幫助資料來源節點預測目的節點現在與未來的所在位置，以達到更有效率的資料傳輸。整個演算法以 LAR 演算法作為基礎，分成 (1) 位置服務、(2) 路徑找尋與封包轉遞以及 (3) 路徑修復三個步驟來討論。

1) 位置服務 (Location Service): 當資料來源節點 *S* 想要將資料傳給目的節點 *D*，且在初始階段沒有 *D* 的位置資訊時，*S* 將採用泛流的方式送出 *LREQ* (Location Service Request) 封包以尋求獲得目的節點 *D* 的位置資訊。經由中繼節點  $N_i$  相繼廣播後，*D* 將收到由 *S* 所發出的位置要求封包。關於 *D* 最新的

資訊，包括時間戳記  $t_l^{(n)}$ 、位置  $P_D(t_l^{(n)})$ 、速度  $V_D(t_l^{(n)})$ 、移動方向  $\alpha_D(t_l^{(n)})$  以及亂度參數  $\gamma_{iD}(t_l^{(n)})$ ，將被記錄在位置服務回覆 (Location Service Reply, *LREP*) 封包中並回傳到至資料來源節點 *S*。

2) 路徑找尋與封包轉遞 (Route Discovery and Packet Forwarding): 資料來源節點 *S* 在執行位置服

務程序後，開始執行路徑找尋與封包轉遞程序。運用在 PMLAR 演算法中的預測機制將幫助資料來源節點 *S* 預估目的節點 *D* 的移動軌跡。如圖三所示，移動軌跡  $P'$  表示目的節點 *D* 從時間  $t_l^{(n)}$  後開始的預測路徑。目的節點 *D* 目前以及未來位置可由不同的估測時間  $\Delta T_i^{(n)} = \kappa \Delta t_l^{(n)} = \kappa(t_{r,s}^{(n)} - t_l^{(n)})$  獲得。當  $\kappa = 1$  即表示取得目的節點 *D* 的現在位置，而  $\kappa > 1$  則表示所取得的是目的節點 *D* 的未來預測位置。預測機制以目的節點 *D* 未來的移動軌跡定義 *Predicted Zone*，其是一個以目的節點位置  $P_D(t_l^{(n)})$  為圓心的圓形區域，半徑  $R_p^{(n)}$  定義如下：

$$R_p^{(n)} = \max_{0 < i \leq \zeta} \left\{ [(\Delta x_{l,i})_D]^2 + [(\Delta y_{l,i})_D]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

其中  $(\Delta x_{l,i})_D$  和  $(\Delta y_{l,i})_D$  可由式子(5)和(6)獲得； $\zeta = \Delta T_l^{(n)} / \delta_t$  表示總共的預測步數。目的節點 *D* 現在位置  $P_D(t_l^{(n)})$  與第 *i* 步預測位置  $P_D(t_i^{(n)})$  的距離將

分別被算出，其中最大距離值將被挑選作為 *Predicted Zone* 的半徑。如圖三所示，預測機制起始於現在的時間  $t_i^{(n)}$ ，採用 GMM 模型的預測軌跡以虛線表示。在這個例子中， $\lambda = 7$ ，預測半徑  $R_p^{(n)}$  在第 5 步預測時即可獲得。*Predicted Zone* 和 LAR-Box 演算法所提出的 *Expected Zone* 都是用來預測目的節點 *D* 可能的移動軌跡，但 *Predicted Zone* 區域的決定是以預測目的節點 *D* 的移動行為為基礎，而 LAR-Box 演算法則是假設目的節點以固定的速度移動。

當資料來源節點 *S* 計算出 *Predicted Zone* 的範圍後，將採取與 LAR 相同的路徑找尋方式—以廣播的方式將 *RREQ* 封包泛流於 *Request Zone* 內的中繼節點間，以找尋通往目的節點的路徑。在完成路徑找尋過程後，資料來源節點 *S* 將沿著該路徑開始傳送資料封包給目的節點 *D*。

3) 路徑修復 (*Route Repairing*): 由於網路拓撲的動態改變，在資料傳送的過程中應考量路徑維護與修補的功能。PMLAR 演算法對於斷裂的路徑提供一個修復機制，其類似 DSR 協定[4]的路徑錯誤修復功能。如果原先定義的路徑發生斷裂，資料來源節點 *S* 會由中繼節點接收到路徑錯誤 (*Route Error, RERR*) 封包，並再次開始執行路徑找尋程序。

## E、PMLAR 與 VAR 合併 (PMLAR-V) 演算法

PMLAR 演算法中的預測機制估測目的節點 *D* 未來可能移動的位置，並運用這些預測資訊定義 *Predicted Zone*。所有位在 *Request Zone* 範圍內的中繼節點都有可能成為負責轉傳資料封包的轉遞節點，如圖三中的節點  $N_i$ 、 $N_j$  或  $N_k$ 。既然行動節點的速度資訊可由大部分的定位系統獲得，因此將行動節點的速度資訊加入挑選轉遞節點的準則將是合理的作法。

資料來源節點 *S* 採用廣播的方式將包含目的節點位置資訊的 *RREQ* 封包泛流於 *Request Zone* 區域。該區域內支中繼節點在接收到 *RREQ* 封包後將執行 VAR 演算法 (依據式子(9)和(10)之準則) 決定自己是否要轉傳封包。如果符合 VAR 演算法中的挑選準則，中繼節點  $N_i$  會將自己的位址加入 *RREQ* 封包中，並將其以廣播方式轉送出去。當目的節點 *D* 接收到 *RREQ* 封包後，將會送出 *RREP* 封包，該封包將沿著 *RREQ* 封包中所記錄的路徑回傳至資料來源節點 *S*。在完成路徑找尋程序後，資料來源節點將可利用找尋到的預設路徑傳送資料封包至目的節點。

在原始的 VAR 演算法中，*RREQ* 封包泛流與整個網路之中找尋符合式子(9)和(10)準則的轉遞節點以建立通往目的節點的路徑。採用 PMLAR 的預測機制所建構的 *Request Zone* 將可進一步減少流竄於網路中的 *RREQ* 封包數，此外最佳轉遞節點的挑選亦被局限於此預測區域之中。

## 五、結果與討論

在本年度此子計畫中所提出之以位置資訊為基礎的 MANET 擇路演算法，將採用軟體模擬的方式來評估、分析與比較其效能。

### A、模擬參數

在本子計畫中，我們採用網路模擬器 (Network Simulator 2, NS-2) [17] 模擬實現所提出的 VAR、PMLAR 及 PMLAR-V 演算法，並將其與現有的 LAR-Box 和 DSR 擇路協定分析比較。模擬環境所採用的參數如表二所示，所有預測模型都將採用 GMM 模型，移動模型則採用 Random Waypoint Mobility (RWM) 模型。

表二、模擬參數

Mobility Model Parameters	
Average Speed	5, 10, 15, 20 m/s
Average Heading Angle	Variable
Average Pure Time	5 sec
$X_{\alpha_{k-1}}$ and $X_{\nu_{k-1}}$	Zero mean, Variance=2
Randomness ( $\gamma_1, \gamma_2$ )	[0.2, 0.8]
Velocity Threshold ( $\delta_{1,i}, \delta_{2,i}, \delta_{1,j}, \delta_{2,j}$ )	[0.125, 0.5, 0.25, 0.5]
NS2 Parameters	
Simulation Area	500 x 500 m <sup>2</sup>
Number of Mobile Nodes	70
Traffic Types	Constant Bit Rate (CBR)
Transmission Range	100 m
Number of Traffic Sources	10
Data Packets Size	64 bytes
Simulation Times	500 sec

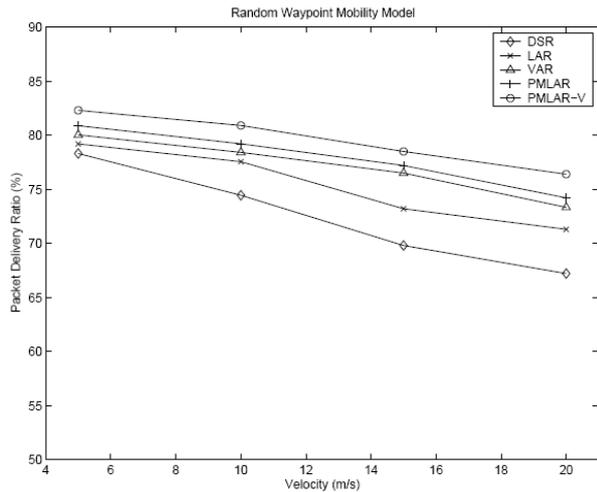
### B、模擬結果

在模擬結果分析方面，我們採取下列三個參數作為比較評估的準則：

- 1) The Data Packet Delivery Ratio
- 2) The End-to-End Delay
- 3) The Control Packet Overhead

圖四顯示比較 DSR、LAR、VAR、PMLAR 與 PMLAR-V 演算法在不同平均速度下 Data Packet Delivery Ratio 的表現結果。在任何平均速度下，PMLAR 與 VAR 演算法的 Delivery Ratio 差異不大，但 PMLAR 演算法略高於 VAR 演算法。PMLAR-V 演算法的 Delivery Ratio 則是在五種相較演算法中最高，其大約比 LAR-Box 協定高出 3%，而在高速移動下則增加至 5%。

五種擇路演算法在不同平均速度下 End-to-End Delay 的表現如圖五所示。隨著平均速度的上升，各種演算法的 End-to-End Delay 亦增大，特別是 DSR 協定。其中 PMLAR-V 演算法的延遲小於其他的協定



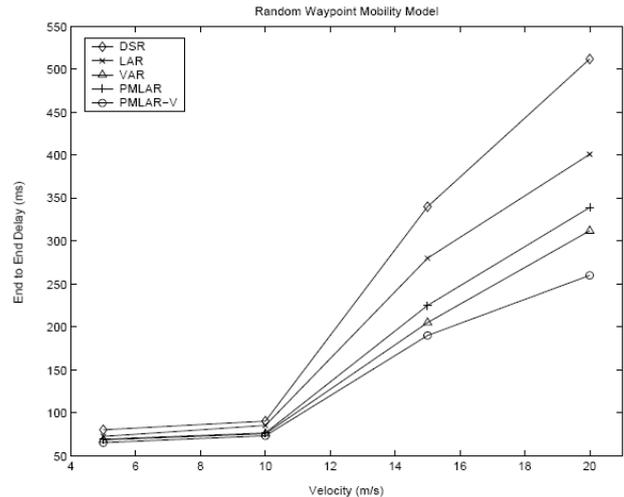
圖四、Packet Delivery Ratio vs. Average Velocity

所造成的延遲。最後由圖六的觀察所得，PMLAR-V 與 PMLAR 演算法兩者所產生的 Control Packet Overhead 差異不大，但 PMLAR-V 演算法略低於 PMLAR。這是因為 PMLAR-V 在挑選轉遞節點的準則上採用了 VAR 演算法的相對移動方向準則，以減少轉遞節點的個數。此外由於 PMLAR 與 LAR 演算法皆定義 Request Zone 來限定封包泛流的範圍，因此這兩種演算法的 Control Packet Overhead 皆比 VAR 小。

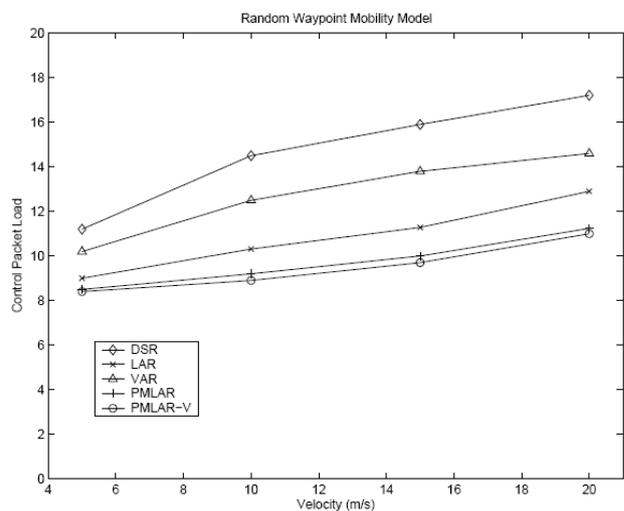
藉由模擬結果的分析，可以觀察出使用 PMLAR 預測機制所帶來的好處。因為預測機制的存在，封包的轉傳區域可根據不同的網路拓撲調整。更值得注意的是，LAR-Box 在穩定的網路拓撲下產生一個相當大的 Expected Zone，而 PMLAR 演算法藉由週期性地更新資料來源節點所儲存的目標節點之 Predicted Zone 資訊來解決這樣的問題。這樣的機制減小了額外位置服務或是網路泛流存在的必要性，卻仍可提供有效的擇路效能。此外加入 VAR 演算法中轉遞節點挑選準則的 PMLAR-V 演算法，無論在 Data Packet Delivery Ratio、End-to-End Delay 或者 Control Packet Overhead 各方面，皆有更加效能的表現。

## 六、結論

在本年度的子計畫中，我們探討 GMM 與 CSM 兩種行動節點移動模型，並提出三種以位置資訊為基礎的 MANET 擇路演算法：速度輔助擇路 (VAR) 演算法、以預測行動與位置資訊為基礎擇路 (PMLAR) 演算法以及 PMLAR 與 VAR 合併 (PMLAR-V) 演算法，並將其實現於軟體模擬平台 NS2 中。藉由整合移動特性於演算法的設計中，整個擇路效能獲得改善並可適應於各種不同的環境中。VAR 演算法中的轉遞節點挑選準則減少轉送封包的中繼點個數。PMLAR 演算法中的預測機制，移除對於位置服務機



圖五、End-to-End Delay vs. Average Velocity



圖六、Control Packet Overhead vs. Average Velocity

制的需求。模擬結果顯示，在不同的網路拓撲下，結合 VAR 與 PMLAR 演算法的 PMLAR-V 演算法擁有較佳的表現。

## 七、參考文獻

- [1] C. E. Perkin, and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination Sequence Distance Vector (DSDV) Routing for Mobile Computers," *Proc. of the ACM SIGCOMM '94 Conference*, Aug. 1994, pp.234-244.
- [2] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," *ACM Mobile Networks Appl. J., Special Issue on Routing in Mobile Communication Networks*, Oct. 1996, pp. 183-197.
- [3] C. Perkins, and E. Royer, "Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing," *Proc. of the 2<sup>nd</sup> IEEE*

*Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Feb. 1999, pp.90-100.

- [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*, edited by C. E. Perkins, Addison-Wesley, 2001.
- [5] V. D. Park and M. S. Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," *Proc. of IEEE Infocom '97*, Apr. 1997, pp.1405-1413.
- [6] C.-K. Toh, "A novel Distributed Routing Protocol to Support Ad-hoc Mobile Computing," *Proc. of 15<sup>th</sup> IEEE Annual International Phoenix Conference on Computers and Communications*, Mar. 1996, pp.480-486.
- [7] R. Dube, C. D. Rais, K.-Y. Wang, and S. K. Tripathi, "Signal Stability Based Adaptive Routing (SSA) for Ad-hoc Mobile Networks," *IEEE Personal Communications*, Feb. 1997, pp.36-45.
- [8] B. Parkinson and S. Gilbert, "NAVSTAR: Global Positioning System – Ten Years Later," *Proc. of IEEE*, Oct. 1983, pp.1177-1186.
- [9] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)," *Proc. of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Oct. 1998, pp.76-84.
- [10] 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.
- [11] R. Jain, A. Puri, and R. Sengupta, "Geographical Routing using Partial Information for Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Personal Communications*, vol.8, no.1, 2001, pp.48-57.
- [12] B. Karp, and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," *Proc. of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Aug. 2000, pp.243-254.
- [13] J. Li, J. Jannotti, D. S. J. De Couto, D. R. Karger, and R. Morris, "A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing," *Proc. of the ACM/IEEE MobiCom*, Aug. 2000, pp.120-130.
- [14] R. Morris, J. Jannotti, F. Kaashoek, J. Li, and D. S. J. De Couto, "Carnet: A Scalable Ad Hoc Wireless Network System," *Proc. of the 9th ACM SIGOPS European Workshop: Beyond the PC: New Challenges for the Operating System*, Sep. 2000.
- [15] A. Gelb, *Applied Optimal Estimation*, The M.I.T. Press, 1974.
- [16] B. Liang, and Z. Haas, "Predictive Distance-Based Mobility Management for PCS Networks," *Proc. of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Mar. 1999.
- [17] 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," *Proc. of the SCS Multiconference on Distributed Simulation*, Jan. 2001, pp.3-11.