

車用隨意網路中被動式叢集為主之路由協定

A Passive Clustering-based Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks

王勝石

明新科技大學

資訊管理系

e-mail: sswang@must.edu.tw

林逸勳

明新科技大學

資訊管理系

e-mail: love_nelson@msn.com

陳弘璋

經國管理暨健康學院

資訊科技系

e-mail: gileschen@gmail.com

摘要

本論文提出一個適用於車用隨意網路的路由協定，稱為 PCR 協定。PCR 協定是以被動方法建立叢集結構，並考慮車用隨意網路中車輛密度、連結品質與連結失效時間等交通參數設計一個優先權的概念，車輛可根據此優先權以競爭成為叢集結構中的 Cluster Head 或 Gateway 節點。由於 PCR 協定以被動式叢集方法為基礎，因此可有效減少網路中控制封包的數量。此外，在考量上述交通參數下，PCR 協定將會選擇高穩定性及低傳輸延遲的資料傳輸路徑。本研究採用 MOVE 及 NS-2 進行模擬，模擬結果顯示我們提出的 PCR 協定在封包到達率、網路傳輸量與封包延遲時間所呈現的效能均優於傳統的被動式叢集機制。

關鍵詞：車用隨意網路、路由協定、被動式叢集、優先權

1. Introduction

近年來，由於無線技術的發展突飛猛進，並且在目前車流量與日俱增而道路有限的情況下，如何整合電子、資訊及通訊等技

術達到改善交通問題、提升行車效率及提供用路人的服務便是值得探討的議題[5][13]，這些相關的服務與應用均以車用隨意網路 (Vehicular Ad Hoc Network, VANET) 為基礎，並結合車間通訊與車路通訊兩種通訊模式完成訊息與資料的傳送，其中車間通訊模式沒有其他固定基礎設施協助轉發封包，主要是由車輛構成資訊傳輸路徑[5][15]，而車路通訊則必須透過佈建在定點的路測設備協助完成訊息的傳送。

基本上，VANET 中建立車輛間資料傳輸路徑類似在傳統隨意行動網路 (Mobile Ad-hoc Network, MANET) 中建立路徑，也可視為是路由 (Routing) 的問題。一般來說，應用在 MANET 中的 Routing Protocol 可分為 Table-driven 與 On-demand 兩類，Table-driven 這類方法是先建構好 Routing Table，一旦收到封包後便根據 Table 內的資訊進行 Routing，以 DSDV[12] 為最具代表性，而 On-demand 這類方法則是當有傳遞封包的需求時才開始建構路徑，此方法需以 Flooding 的方式發送大量的 Route Request (RREQ) 封包來建立資料傳輸路徑。當目的端收到來自不同來源的 RREQ 封包時，會選擇一條最短路徑回傳 Route Reply (RREP) 封包，以 AODV[13]、DSR[1]、ABR[17] 最具代表性。

雖然 On-demand 的方法比 Table-driven 的方法有效率，但在 Route Discovery 階段中，網路中的大量 RREQ 控制封包將會降低網路效能。

為了改善上述 On-demand 和 Table-driven Routing Protocol 的缺點，一些以叢集(Cluster)為基礎的路由協定陸續被提出[6][7][9][10]，此類協定中的網路節點會扮演 Cluster Head、Gateway 或 Member 的角色，發送端所發出的 RREQ 封包不會在網路中 Flooding，而是只有 Cluster Head 和 Gateway 節點才會協助轉送封包。儘管 Cluster-based Routing Protocol 可舒緩 RREQ 封包在網路中 Flooding 的現象，但網路中的 Cluster Head 節點必須定期與其他節點交換封包以維護 Cluster 結構，因此會產生額外控制封包的 Overhead。基於 Cluster 的特性與上述缺點，Gerla 等人[4][8]提出了被動式叢集(Passive Clustering, PC)的概念，PC 的基本概念是以被動的方式建立資料傳輸路徑，也就是網路中的節點平時不需維護 Cluster 結構，當有建立路徑的需求時才開始尋徑，如此將可減少因維護 Cluster 結構產生額外的封包傳輸。

然而，不論傳統的 Clustering 機制或是 Passive Clustering 的方法，主要是針對 MANET 所設計的 Routing Protocol，並沒有考慮到車輛的位置、移動速度、移動方向、移動模型等 VANET 特有的資訊，因此若直接應用在 VANET 中，將可能導致不好的效能。此處我們從封包到達率與網路傳輸量(Throughput)兩個觀點探討：

(1) 封包到達率

如果在決定節點角色時選擇到不好的節點扮演 Cluster Head 或 Gateway，此時這些節點可能會因為流量過大導致部分資料被丟棄進而降低封包成功到達率。此外，由於 VANET 中車輛高速移動的特性可能會造成網路拓撲的頻繁變動，因此任一個節點的鄰

居節點數目將隨時改變，此時如果選擇到鄰居節點數比較少的代傳節點，此時很可能造成資料傳輸的中斷，降低了封包到達率。再者，一旦選擇到相對移動速度較快或是即將離開通訊範圍的節點為代傳點，此時兩節點可進行通訊的時間將無法長時間的維持，容易導致資料傳輸失敗。

(2) 網路傳輸量

基於無線網路的特性，資料傳輸通道與訊號狀況亦會直接影響連結(Link)的可靠度(Reliability)與穩定度(Stability)，若不考慮這項因素，則節點可能會選到 Link 較不可靠或不穩定的代傳節點，此時不但會將低封包到達率，若資料傳輸失敗必須重傳時，Throughput 也將明顯變差。另外，由於 VANET 中存在許多會移動的車輛，很可能短時間內網路密度很高，此時若無法減少資料傳輸時產生的 Control 封包的數量，很可能造成廣播風暴問題[18]，導致網路中大多時間都在發送控制封包，而降低真正資料封包在網路傳輸的效能。

本研究提出一個稱為 PCR (Passive Clustering-based Routing) Protocol，PCR Protocol 是以 PC 為基礎，主要包含 Route Discovery、Route Establishment 及 Data Transmission 三個階段，在 Route Discovery 階段，我們採用 PC 的概念建立 Cluster 結構，其中 Cluster Head 的決定是採用競爭(Contention)的方式，也就是當車輛收到 RREQ 封包後並不馬上轉送封包，而是根據通訊範圍內車輛數、自己的速度與位置、車輛間可維持通訊的時間及連結品質計算一段等待時間，目的是希望較佳的車輛有較高的機會成為 RREQ 封包的代傳者，為了達到這個目的，本研究將設計一個優先權的概念讓收到封包的車輛可計算延後等待的時間。在 Route Establishment 階段，目的車輛則是將 Route Discovery 階段找到的 Cluster Head 和

Gateway 視為路徑上的必經車輛，並回傳 RREP 封包到來源車輛以完成路徑的建立。Data Transmission 階段則是利用建立好的路徑傳送資料。

本論文其餘章節架構說明如下：第 2 章將概述 PC 的概念及運作方式，第 3 章將詳細說明我們提出的 PCR Protocol，第 4 章將呈現我們的模擬結果，第 5 章則為本研究的結論。

2. Passive Clustering

Passive Clustering (PC) 是一種以 On-demand 建立 Cluster 結構的機制，也就是當節點有資料要傳遞時才開始建立 Cluster，由於節點是藉由接收到的封包來變換自己在 Cluster 中的狀態，因此稱為被動式叢集。在 PC 中，網路節點主要會有下列幾個外部狀態：Initial (IN)、Ordinary (OD)、Cluster Head (CH) 及 Gateway (GW)，另外 PC 還使用 Cluster Head Ready (CH_R) 與 Gateway Ready (GW_R) 兩個內部狀態以避免節點狀態的轉換過於頻繁。當網路初始化後一開始所有，所有節點的狀態都是 IN，有資料傳送需求的節點將會發出尋徑的 Control 封包，封包中包含發送者的狀態、ID (Identification)、所屬 Cluster 的 CH 等資訊，當節點收到封包後便決定是否需改變自己的狀態。由於 Cluster 中只有 CH 和 GW 狀態的節點才能轉發封包，而狀態為 OD 的節點只能與自己的 CH 通訊，因此可降低網路上重複的封包發送並可抑止封包的氾流。

此外，為了維護鄰居的資訊，所有節點必須定期與鄰居通訊，並紀錄鄰居的最新資訊。

圖 1 為 PC 中狀態轉換的範例圖，假設節點 S 有資料傳輸需求，一開始所有節點均

為 IN 狀態(如圖 1 (a))，以下說明狀態轉換的處理步驟：

步驟一：節點 S 先檢查鄰居有沒有狀態為 CH 的節點，由於鄰居沒有 CH 的節點，因此將自己的狀態轉為 CH，並發送封包，如圖 1 (b)。

步驟二：節點 X、Y 接收到 S 發送的封包後先檢查自己的狀態，由於本身狀態為 IN，因此先轉換成 GW_R，如圖 1 (c)。

步驟三：節點 X、Y 在一段隨機等候時間內沒有收到來自相同 Cluster 的 CH 或 GW 傳送的封包，此時便轉換為 GW，如圖 1 (d)。

步驟四：為方便說明，此處假設節點 X 的等候時間比節點 Y 短，因此節點 X 會先轉換成 GW 並發出封包，一旦狀態為 GW_R 的節點 Y 收到節點 X 所發出的封包，此時便會轉換為 OD 狀態，如圖 1 (e)。

步驟五：當節點 D 聽到 X 廣播的封包後先檢查自己狀態，由於本身狀態為 IN，因此會先轉換成 CH_R 並等待一段時間，由於這段期間沒有收到其他 CH 所發出的相同封包，因此時間結束後則轉換為 CH，並發送封包，如圖 1 (e) 與圖 1 (f)。

由圖 1 可看出，資料的傳輸路徑將沿著 CH(來源端)-GW-CH-GW-...-CH/GW(目的端)進行，由於網路中部分節點不是 CH 或 GW，因此網路上的封包將會被適度的抑止。

PC 在建立路徑過程中，節點僅根據收到封包的發送者、自己及鄰居狀態決定是否轉換狀態，此種方式適合用在一般的 MANET 中。然而，由於 VANET 中車輛速度、移動方向、Link 品質、鄰近車輛數(即車輛密度)等資訊均可提供車輛進行較有效的狀態轉換之依據，因此我們認為在 VANET 中設計

Routing Protocol 時應該考量這些交通參數 (Traffic Parameters) 的影響以建立佳的資料傳輸路徑。

3. Passive Clustering-based Routing (PCR) Protocol

本章節中，我們將先說明 PCR 協定的基本概念，接著分別詳述 PCR 協定中考慮到的 Routing Metrics，最後將說明如何計算優先權並以一個例子說明 PCR 協定的運作。

3.1 Overview

在 VANET 以 PC 建立 Cluster 結構的過程中，最重要的工作是決定適當的轉傳車輛，也就是決定 Cluster 結構的 CH 及 GW 車輛，為了讓較適合的車輛成為 CH 或 GW，PCR 協定中每車輛將會有不同的優先權，本論文以 ρ_i 表示車輛 i 的優先權，而優先權則是根據多個 Routing Metrics 決定，我們將在 3.2 節詳細說明。一旦計算出優先權，車輛便依照原則一競爭發送封包的權利。

原則一：車輛根據優先權高低計算倒數時間(即等候發送封包的時間)，若倒數期間收到任何封包，則停止倒數且不發送封包，否則等到倒數時間結束時便為 CH 或 GW 狀態，並發送封包。

在 PCR Protocol 中，CH_R 或 GW_R 兩種狀態下的車輛根據優先權進入等待期間，並進行倒數以競爭成為 CH 或 GW 車輛，若車輛在等待期間收到任何封包，便根據封包來源車輛的狀態決定是否進行狀態轉換，PCR Protocol 中詳細的車輛狀態轉換情形如圖 2 所示。

3.2 Routing Metrics

以下將針對 PCR Protocol 所考量的車輛密度、車輛間 Link 品質、車輛速度與移動方向分別做說明。

3.2.1 車輛密度(Density)

在一個 Cluster 結構中，資料傳輸負擔最重的是 CH 節點和 GW 節點，如果建立的 Cluster 中具有較少的 CH 節點和 GW 節點，那麼資料傳輸過程中將可降低網路的封包產生量。我們以圖 3 為例說明 VANET 中 Density 對 Cluster 結構的影響，假設 S 為 CH 車輛，A、B、C、D 與 Y 均為 IN 車輛，且 A、D 與 Y 均位於 X 的通訊範圍內(即 A、D 與 Y 均為 X 的鄰居)。根據 PC 的運作，當 X 收到 S 的 RREQ 封包後便會轉變成 GW_R 狀態，接著將進一步變成 GW 狀態並發送 RREQ 封包。

收到 X 發出的 RREQ 封包之 A、D 與 Y 等均會轉變成 CH_R 狀態，並均可能成為 CH 車輛。

此時 A、D 與 Y 均會隨機等候一段時間，如果在等候的期間沒有收到其他 CH 車輛發送的封包便會轉變成 CH 狀態，並主動發送封包以告知鄰居。由於這三輛車採競爭方式成為 CH，因此有可能發生 Y 比 A 和 D 先成為 CH 車輛並發送封包。當 A 和 D 收到 Y 的封包後便會結束等候時間(即撤銷成為 CH 車輛)，並轉變成 OD 狀態，如圖 4 (a) 所示。另一種可能的情況為若 D 比 A 與 Y 先結束等候時間，此時 D 將成為 CH 車輛並發送封包，而 Y 收到 D 的封包後便會結束等候時間(即撤銷成為 CH 車輛)，並轉變成 OD 的狀態。此外，因為 A 收不到 D 發出的封包(因為 A 不是 D 的鄰居)，因此當結束等候時

間後便成為 CH 車輛，並發送封包，如圖 4 (b)所示。

從上述兩種結果可以發現，圖 4 (b)產生的 Cluster 比圖 4 (a)為多，因此 Cluster 結構中將出現較多的 CH 和 GW 節點，進而導致路徑建立時產生較多的 Control 封包。為了減少 Cluster 的個數，我們將讓有較多鄰居的 CH_R 或 GW_R 車輛具有較高的優先權。

令 N_i^{nbr} 表示 i 車通訊範圍內的車輛數， N_{max} 表示單一車輛通訊範圍內的最大車輛數，則此兩個參數對 i 車優先權的影響可以式(1)表示。

$$\rho_i \propto \frac{N_i^{nbr}}{N_{max}} \quad (1)$$

在 PCR Protocol 運作時，每輛車均會定期發送封包(稱為 HELLO 封包)告知通訊範圍內所有車輛相關的交通參數，因此，任一車輛 i 可得知通訊範圍內的車輛數(即 N_i^{nbr})。此外，假設車輛長度為 L ，通訊範圍為 r_c ，網路中有 n_l 個車道，則每輛車可藉由式(2)計算出 N_{max} 的值。

$$N_{max} = \frac{2 \times r_c}{L} \times n_l \quad (2)$$

舉例來說，若車長為 3 公尺(即 $L = 3m$)，通訊範圍為 250 公尺(即 $r_c = 250m$)，網路中有三個車道(即 $n_l = 3$)，則 $N_{max} = \frac{250 \times 2}{3} \times 3 = 500$ 輛車。

3.2.2 連結品質(Link Quality)

當車輛在資料傳遞過程中，封包可能會因為如車速變化及環境等因素而遺失，一旦封包遺失，很可能需要再重送，如此將降低網路的傳輸效能。為了避免這個問題，我們

將試圖選擇傳輸品質較佳的 Link 來建立資料傳輸路徑。

在 Draves 等人的研究中[3]提出一個稱為期望傳輸時間(Expected Transmission Time, ETT)的路徑評估因子，ETT 的意義為在某個 Link 上成功傳送資料的期望時間，我們可將其視為 Link 的品質，若 Link 品質愈好(即錯誤率愈小)，ETT 的值愈大。令 S 為封包的大小， B 為資料傳輸速率，則 ETT 可由式(3)求得。

$$ETT = ETX \cdot \frac{S}{B}, \quad (3)$$

其中 ETX 是期望傳輸次數(Expected Transmission Count)[2]，ETX 包含封包重送次數，計算公式如式(4)。

$$ETX = \frac{1}{(1-p_r)(1-p_f)}, \quad (4)$$

其中 P_r 和 P_f 分別表示接收與傳送的封包錯誤率。

基本上，ETT 主要是從 Link 品質的好壞當作決策的依據，如前所述，由於 VANET 中車輛間的連結可能會因為通道與環境狀況而變動，因此若選擇較小 ETT 的 Link 可確保資料傳輸時會有較小的錯誤率。然而，以圖 5 為例，其中 Link 上的數字表示 ETT，若僅根據 ETT 選擇代傳車輛，則 S 車將會選擇 ETT 較小的 X 車幫忙代傳資料，同理，而 X 車只能選擇 Y 車代傳，最後產生的路徑為 S-X-Y-D，但很明顯可以發現，這條路徑比另一條路徑(S-Z-D)經過的代傳點為多，此時將可能因為過多不必要的車輛參與資料轉送導致較大的資料傳輸延遲。

在 PCR Protocol 中，我們將以 ETX 表示 Link 品質，基本概念為若車輛與發送 RREQ 封包的車輛間 Link 之 ETX 愈大，則該車輛的優先權將愈小。由於 PCR Protocol 中所有

車輛會定期發送封包(HELLO 封包)告知通訊範圍內所有車輛自己相關交通參數，因此對於任一車輛可計算或得知與其他所有鄰居車輛的 P_f 與 P_r 。假設 i 車為收到由 j 車發出的 RREQ 封包，則 ETX 對 i 車優先權的影響可以式(5)表示。

$$\rho_i \propto \frac{1}{\mathcal{E}_{(i,j)}} \quad (5)$$

其中 $\mathcal{E}_{(i,j)}$ 表示 i 車與 j 車間 Link 的 ETX。

3.2.3 連結失效時間 (LET)

一般而言，路徑維持的時間愈長，資料傳輸將愈穩定，Su 等人認為路徑穩定與否取決於連結的維持時間[14]，因此提出一個稱為連結失效時間(Link Expiration Time, LET)應用在路徑建立。圖 6 中假設 i 與 j 為通訊範圍內的車輛、通訊距離半徑為 r 、行車速度分別為 v_i 和 v_j 、GPS 座標 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) ，車輛個別行駛方向的角度 θ_i 和 θ_j ，則根據上述可以透過式(6)求得 i、j 兩車輛間 Link 的 LET，記做 $LET_{(i,j)}$ 。

$$LET_{(i,j)} = \frac{-(ab+cd) + \sqrt{(a^2+c^2)r^2 - (ad-bc)^2}}{a^2+c^2}, \quad (6)$$

其中 $a = v_i \cos \theta_i - v_j \cos \theta_j$ 、 $b = x_i - x_j$ 、

$c = v_i \sin \theta_i - v_j \sin \theta_j$ 、 $d = y_i - y_j$ 。

我們以圖 7 為例說明如何計算 LET，其中 S 車與 D 車分別為資料傳輸的來源端與目的端，車輛的相關資訊均標示在圖中車輛上方，Link 上的數字表示 LET，令 LET_j^i 表示

i 車與 j 車間路徑的 LET。為了方便說明，所有車輛均假設 $r = 40$ ，而且所有車輛均在同一直線上行駛(即行駛方向角度均為 0，且 Y 座標值亦為 0)。當 S 車發送封包後，由於封包內包含座標、車速、角度等資訊，因此 X 車便可根據式(6)計算出 $LET_{(S,X)} = 3$ 。到目前為止，封包行經的路徑僅有 S 與 X 兩輛

車，因此 $LET_X^S = 3$ ，而 X 車將會把 LET_X^S 放在封包內再傳送出去。基本上，計算 LET 的目的是提供目的端選擇維持時間較長的資料傳輸路徑，因此，一旦節點收到封包時，必須更新較新的路徑 LET 資訊。根據這個觀念，當 Y 車收到封包後，便根據封包內的資訊計算出 $LET_{(X,Y)} = 1.67$ ，而且也知道

$LET_{(S,X)} = 3$ ，此時 Y 車會將之前封包行經的所有 Link 之 LET 做比較，並選擇最小的 LET 為目前路徑的 LET。因此，Y 車所發出的封包中的路徑 LET 為 $LET_Y^S = \min(LET_{(S,X)}, LET_{(X,Y)}) = 1.67$ 。同

理，D 車可計算出 $LET_{(Y,D)} = 2$ ，並可求得

$$LET_D^S = \min(LET_{(S,X)}, LET_{(X,Y)}, LET_{(Y,D)}) = 1.67$$

。當目的車輛有多條路徑可供選擇時，便會選擇路徑 LET 最大的那條為資料傳輸路徑，並回覆來源車輛。

基本上，以 LET 為主要考量的機制將會建立具有最長維持時間的資料傳輸路徑，例如圖 8 中的 D 車將會建立 S-Y-Z-D 的路徑。但我們可以明顯看出此路徑上資料轉送的車輛數比另一條路徑(S-X-D)多，這樣不但會造成過多不必要的車輛參與資料轉送而導致碰撞的問題，更會產生較大的資料傳輸延遲。

如前所述，路徑維持時間愈長，則資料傳輸將愈穩定，因此，在 PCR Protocol 中，我們將以 LET 表示路徑的維持時間，並讓 LET 較小的車輛有較大的優先權。令 s 車為資料來源的車輛，當 i 車收到 RREQ 封包後便可計算出 s 車與 i 車間路徑的 LET，即 LET_i^s ，則 LET 對 i 車優先權的影響可以式 (7) 表示。

$$\rho_i \propto LET_i^s \quad (7)$$

3.3 優先權的計算

本研究提出的 PCR Protocol 中將以車輛密度、連結品質及連結失效時間三個因子計算車輛的優先權，並讓 CH_R 或 GW_R 的車輛競爭成為 CH 或 GW。為了表現這三個因子的影響，我們分別使用三個權重值來表示。因此，對於任意一台狀態為 CH_R 或 GW_R 的 i 車來說，若 i 車收到 j 車發出的 RREQ 封包，則其優先權可以根據式 (8) 求得。

$$\rho_i = \alpha \times \frac{N_i^{nbr}}{N_{max}} + \beta \times \frac{1}{\varepsilon_{(i,j)}} + \gamma \times \frac{LET_i^s}{LET_{max}} \quad (8)$$

其中 LET_{max} 為路徑最大失效時間 ($LET_{max} \neq 0$)，而且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。

由於 i 車會採競爭方式成為 CH 或 GW 節點，因此本研究將設計一個以 IEEE 802.11 中 Backoff 概念為主的延遲發送機制，也就是當車輛收到封包後必須延後一段時間才會轉傳封包，此處的延後時間 (Backoff Time, BT) 長度將與該車輛的優先權有關。由於優先權愈高的 i 車將有愈高的機會成為 CH 或

GW 節點，因此 i 車得知自己的優先權 ρ_i 後便可根據式 (9) 計算延後時間 (BT_i)。

$$BT_i = t_{slot} \times \left\lceil \frac{1}{\rho_i} \right\rceil \quad (9)$$

其中 t_{slot} 為一個基本單位時間。

3.4 PCR Protocol 運作範例

我們以圖 9 為範例說明 PCR Protocol 的運作過程，假設 S 為封包來源車輛，D 為目的車輛， α 、 β 、 γ 分別為 0.4、0.3、0.3，圖中用來計算優先權的車輛密度、連結品質與連結失效時間分別以中括號內的三項數值表示。

網路初始化時所有車輛的狀態均為 IN，當 S 車要傳送封包給 D 車時，會轉換成 CH 的狀態並發送 RREQ 封包，S 車的鄰居 A、B、C 車收到 RREQ 封包後將轉換為 GW_R 的狀態，並使用式 (8) 與式 (9) 計算出自己的延後時間，即 $BT_A = 55$ 、 $BT_B = 27$ 、 $BT_C = 39$ ，如圖 9 (a) 所示。

由於 B 車會先倒數完畢，所以會將自己狀態改為 GW 並轉發 RREQ 封包，當 A 與 C 車聽到 RREQ 封包後便停止倒數並轉換狀態為 OD，如圖 9 (b) 所示。同時 E、G、H 車也會收到 B 車所發出的 RREQ 封包，因此這三輛車也會計算自己的倒數時間，即 $BT_E = 27$ 、 $BT_G = 18$ 、 $BT_H = 24$ ，很明顯地此階段將會由 G 車廣播 RREQ 封包並轉換為 CH 車輛，如圖 9 (c)。當目的車輛 (D 車) 收到 RREQ 封包後便沿著建立好的路徑回覆

RREP 封包到 S 車，並轉換狀態為 GW_R，並進一步變成 OD 車輛，如圖 9 (d)所示，此時 S 車便透過 S-B-G-D 的一條穩定性高的路徑將資料傳送給 D 車。

4. Performance Evaluation

本論文中，我們在不同 VANET 環境下比較 PCR Protocol 與傳統的 PC 機制的效能。

4.1. 模擬設定

本研究以 MOVE (MObility Model Generator for VEhicular Networks)產生車輛節點的移動樣本(Mobility Patterns)，並以 NS-2[16]進行模擬。我們設計一段 5 公里的範圍來模擬高速公路環境，其中車輛最大移動速度(Vehicle maximal velocity)為 34 m/s，是指每輛車在任一時間的移動速度是從 0 到 34 m/s 內隨機選擇一個速度。模擬中資料傳輸的來源車輛與目的車輛是以隨機選取，資料流量(Traffic Load)採用固定位元速率(Constant Bit Rate, CBR)，每個場景模擬 5 次並取平均值，其他模擬參數詳見表 1。

4.2. 模擬結果

本文所提出的 PCR Protocol 是利用 Cluster 結構減少控制封包數量，並考慮車輛密度、連結品質及連結失效時間當作選擇路徑的因子，以建立穩定的封包傳輸路徑進而提昇整體網路效能。實驗中我們比較了 PC 和 PCR 搭配不同權重設定等方法，為了方便表示，我們以 $PCR(\alpha, \beta, \gamma)$ 表示使用不同權重的 PCR 協定。此外，我們主要的評估項目為下列兩項：

(1) 封包到達率 (Delivery Ratio)：目的車輛收到封包總量除以來源車輛發送封包總量。

(2) 網路傳輸量 (Throughput)：目的車輛收到的所有資料封包總和除以總模擬時間。

本模擬每次是建構出一對路徑發送封包，以多次模擬不同路徑對來平均計算出封包到達率與網路傳輸量。

由圖 10 圖 11 說明封包到達率與網路傳輸量在不同的節點數量中的比較情形，在圖中可以看到 $PCR(0.6, 0.2, 0.2)$ 大部份優於 PC 因為 PC 本身在尋找代傳點是沒有特別考慮任何因素而隨機選擇轉送節點， $PCR(0.6, 0.2, 0.2)$ 也優於 $PCR(1/3, 1/3, 1/3)$ 和 $PCR(1, 0, 0)$ 。因為單一考慮到密度的情況下只會選擇到鄰居較多的節點幫忙轉送封包，並不保證 Link 品質，所以可能會選擇到 Link 品質差的節點幫忙轉送。在圖 10 圖 11 我們可以觀察出如果只考慮密度並不能直接決定出一條穩定的路徑，而必須加入額外的通訊資訊(LET、ETX)才能建構更穩定的路徑。

在圖 12 與圖 13 將說明考慮兩點之間的連結通訊品質(ETX)在不同的比重下的影響。根據圖 12 與圖 13 可以觀察出在有考慮 ETX 的情況下，其網路品質會比 PC 來的高。如前所述，因 PC 是隨機選擇一個代傳點，所以在模擬結果可看出不管 ETX 的參考比重值為多少，大致都優於 PC 的方法。在比重為 $PCR(0, 1, 0)$ 和 $PCR(0.2, 0.6, 0.2)$ 兩種不同比重所呈現的結果皆比 $PCR(1/3, 1/3, 1/3)$ 來的低，此結果可說明無論在高密度或低密度的環境下，都會選擇 ETX 較好的節點，讓連結通訊品質較好的節點來轉送封包，但在相對車速差異較大或密度較低(節點的鄰居數較少)環境下，此節點可供選擇到較穩定 ETX 節點的機會也相對較低，進而影響路徑無法穩定的連接。因此根據圖 12 與圖 13

中使用參考密度和 LET 的情況，在密度低的環境中會有較好封包到達率。

圖 14 與圖 15 將說明加入 LET 參數對路徑的影響，在圖中可以觀察到 PCR(0.6,0.2,0.2)和 PCR(1/3,1/3,1/3)此兩種分別表示參考密度與 LET 的不同比重，大致皆比隨機選擇節點的 PC 和單一考慮 LET 的 PCR(0,0,1)到達率來的高。因為單獨考慮 LET 所選擇到的節點雖然是可以維持在通訊範圍內時間最長的節點，但並無考慮到節點的穩定通訊能力(ETX)及代傳節點的鄰居數量，在這種情況下有可能會選擇到鄰居數較少的代傳節點而導致其代傳節點只能再讓較差的節點代傳封包，這樣建構出來的路徑雖然可維持較長的時間，但傳送封包的穩定性較差。因此根據圖 14 與圖 15 可以看出在有參考密度和 ETX 的情況下會比只考慮 LET 選擇到更穩定的路徑。

由圖 16 圖 17 我們可以觀察到再不同密度情況中 PCR(0.6,0.2,0.2) 會比 PCR(0.2,0.6,0.2)和 PCR(0.2,0.2,0.6)，普遍有較好的到達率表現。此圖可以說明有選擇鄰居多的節點來代傳封包，將會比鄰居少的節點有更大的機會選擇到較好的路徑。

5. Conclusions

為了減少資料傳輸時產生的控制封包量，本論文設計一個以 PC 為主，且可應用在 VANET 的路由協定，稱為 PCR Protocol。基本上，PCR Protocol 包含 Route Discovery、Route Establishment 和 Data Transmission 三個階段，其中 Route Discovery 階段是透過 RREQ 封包傳送時以被動式方式 PC 結構，有別於傳統 PC 的機制，PCR Protocol 還加入了車輛密度、連結品質與連結失效時間三項因素，目的是建立具備低控制封包量與高穩定度的資料傳輸路徑。模擬

結果顯示 PCR Protocol 的效能確實比傳統的 PC 機制為佳。未來我們將進一步探討多種網路場景在不同權重值對 PCR Protocol 效能的影響。此外，我們也將針對 PCR Protocol 應用在多對傳輸對的應用進行深入的研究。

References

- [1] Broch, J, Johnson, D.B. and Maltz, D.A., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (Internet-draft)," *IETF MANET Working Group*, 1998.
- [2] Couto, D.S.J. De, Aguayo, D., Bicket, J. and Morris, R., "A High-throughput Path Metric for Multi-hop Wireless Routing," *in Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp. 134-146, 2003.
- [3] Draves, R., Padhye, J. and Zill, B., "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks," *in Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp. 114-128, Sep. 2004.
- [4] Gerla, M., Kwon, T. J. and Pei, G., "On-demand Routing in Large Ad Hoc Wireless Networks with Passive Clustering," *in Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 100-105, Sep. 2000.
- [5] Hartenstein, H. and Laborteaux, K. P., "A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 6, pp. 164-171, Jun. 2008.

- [6] Hou, T. C. and Tsai, T. J., "Adaptive Clustering in A Hierarchical Ad Hoc Network," *International Computer Symposium*, pp. 171-176, 1998.
- [7] Karnadi, F., Mo, Z., and Lan, K.-C., "Rapid Generation of Realistic Mobility Models for VANET," *Poster Session, ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, Aug. 2005.
- [8] Kwon, T. J. and Gerla, M., "Efficient Flooding with Passive Clustering (PC) in Ad Hoc Networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 32, no., 1, pp. 44-56, Jan. 2002.
- [9] Lin, C. R. and Gerla, M., "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 7, pp. 1265-1275, Sep. 1997.
- [10] McDonald, A. B. and Znati, T. F., "A Mobility-based Framework for Adaptive Clustering in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.17, no. 8, Aug. 1999, pp.1466-1487.
- [11] Okada, H., Takano, A. and Mase, K., "A Proposal of Link Metric for Next-Hop Forwarding Methods in Vehicular Ad Hoc Networks," *in Proceedings of the IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Jan. 2009.
- [12] Perkins, C. E. and Bhagwat, P., "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance -Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 24, no. 4, pp. 234-244, Oct. 1994.
- [13] Perkins, C. E. and Royer, E. M., "Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing," *in Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*, pp. 90-100, 1999.
- [14] Schoch, E., Kargl, F., Leinmuller T. and Weber, M., "Communication Patterns in VANETs," *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 11, pp.119-125, Nov. 2008.
- [15] Su, W., Lee, S. J. and Gerla, M., "Mobility Prediction and Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *International Journal of Network Management*, vol. 11, no. 1, pp. 3-30, 2001.
- [16] Taleb, T., Sakhaee, E., Jamalipour, A., Hashimoto, K., Kato, N. and Nemoto, Y., "A Stable Routing Protocol to Support ITS Services in VANET Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, no. 6, pp. 3337-3347, Nov. 2007.
- [17] The networks simulator ns-2 http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns_doc.pdf
- [18] Toh, C. K., "Associativity-Based Routing for Ad Hoc Mobile Networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 4, no. 2, pp. 103-139, Mar. 1997.
- [19] Tseng, Y.-C., Ni, S.-Y., Chen, Y.-S., and Sheu, J.-P., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad hoc Network," *ACM Wireless Networks*, Vol. 8, No. 2, pp. 153-16, Mar. 2002.

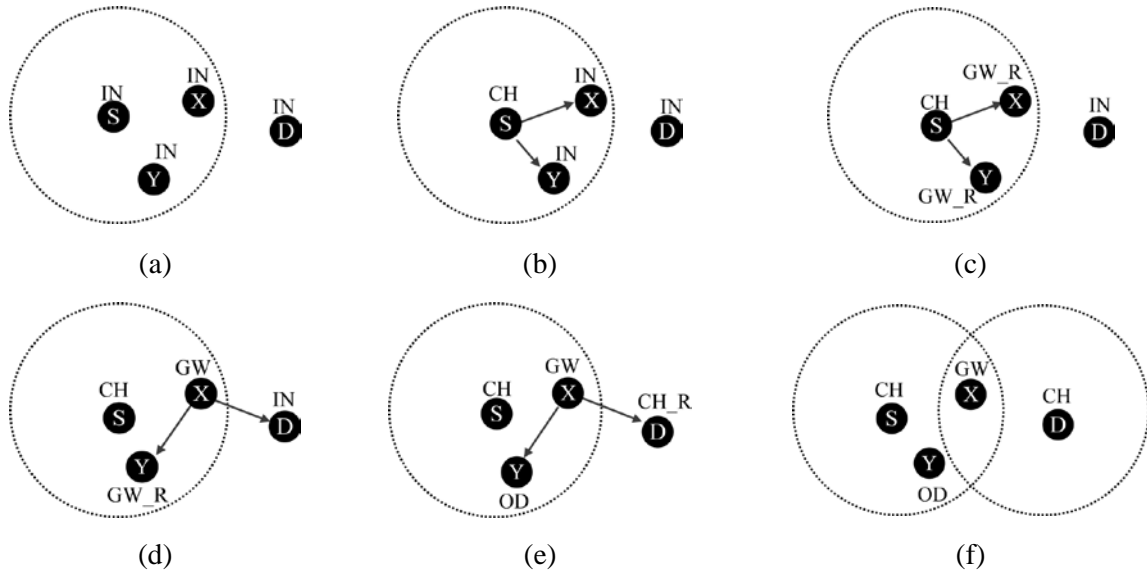


圖1 Passive Clustering 狀態轉換範例

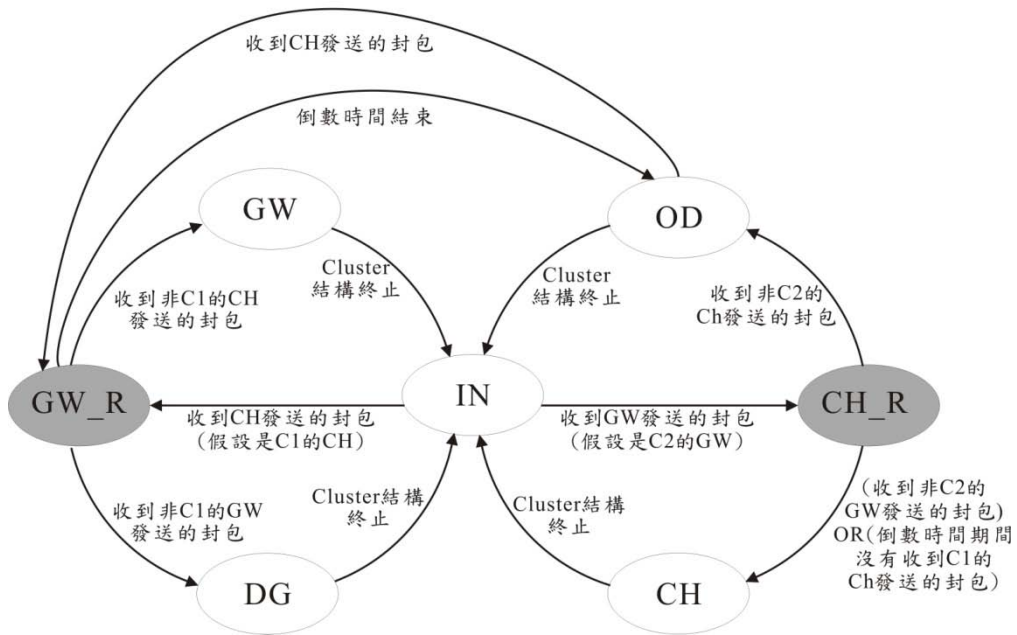


圖2 PCR Protocol 車輛狀態轉換圖

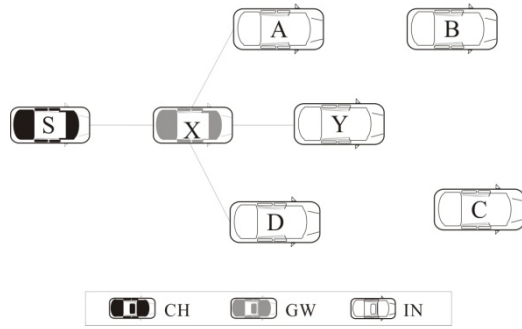


圖3 車輛密度對 Cluster 結構的影響之範例圖

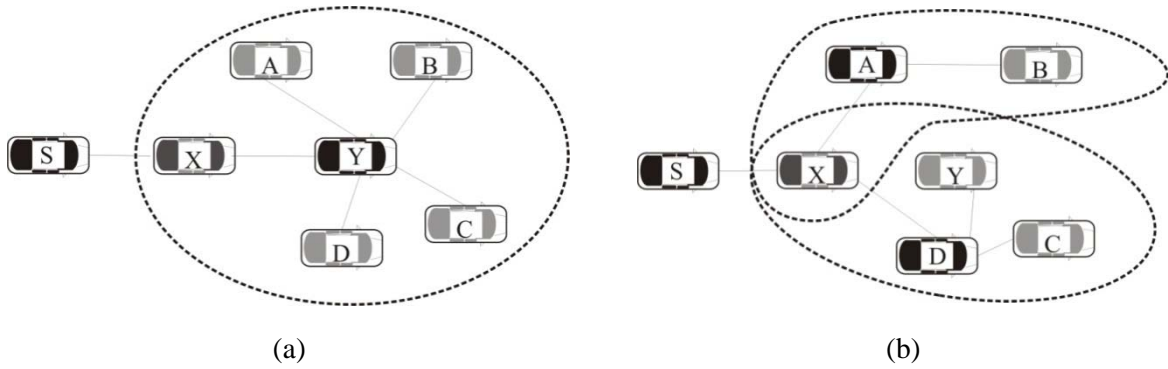


圖4 網路密度對 Cluster 結構的影響 (a)不考慮密度的結果 (b)考慮密度的結果

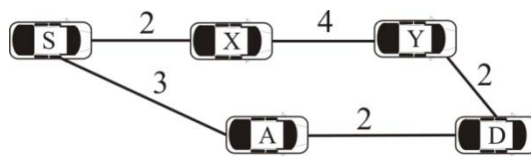


圖5 ETT 為主路由協定的問題

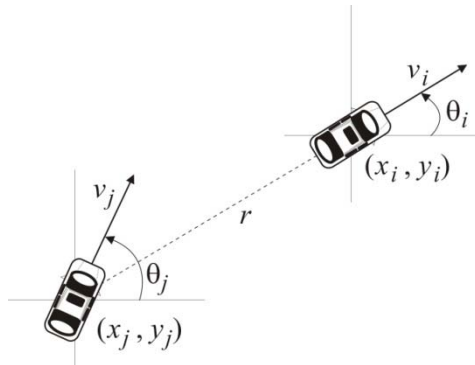


圖6 LET 計算方式示意圖

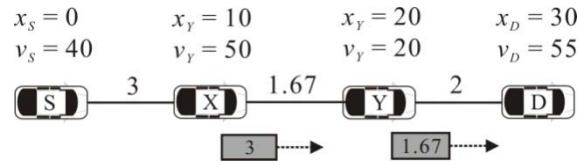


圖7 計算 LET 的範例

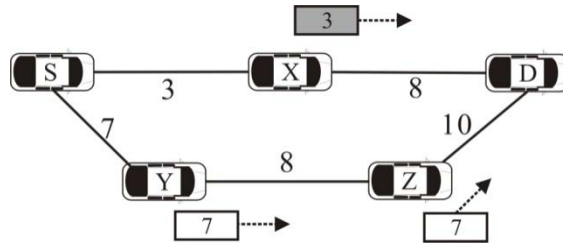


圖8 LET 為主路由協定的問題

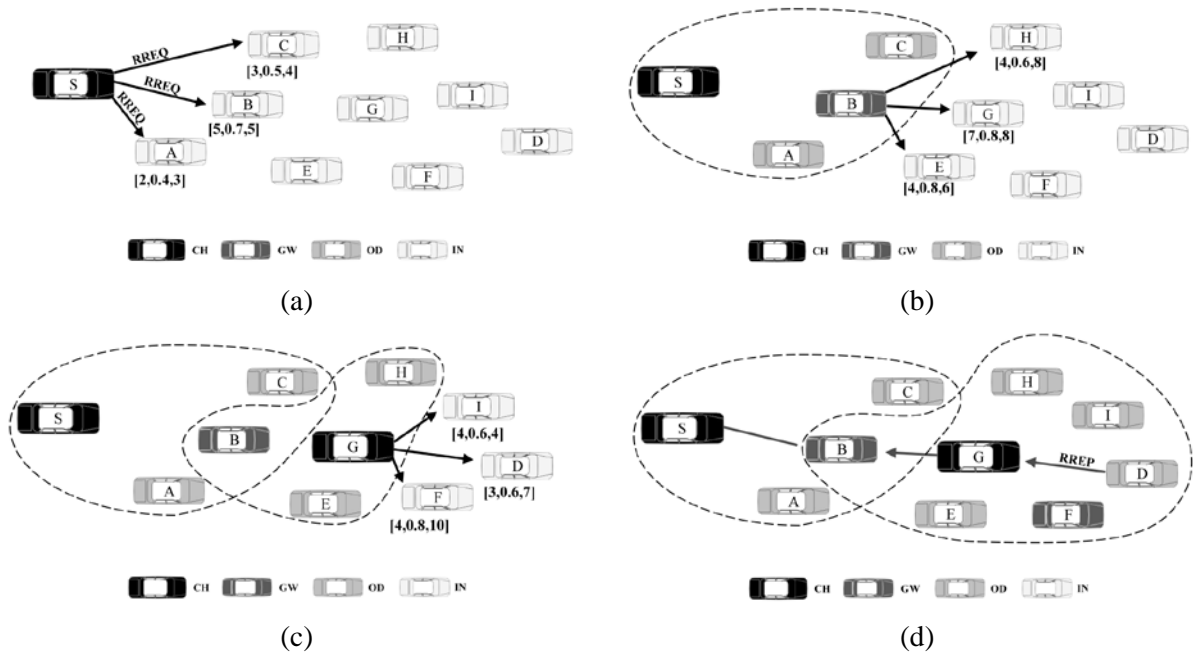


圖9 PCR Protocol 運作範例圖(虛線表示形成的 Cluster)

表1 本研究模擬參數

Number of lanes	3
Number of vehicles	100- 300
Communication range	250 m
Packet size	1000 Bytes
Channel Capacity	1 Mbps
t_{slot}	100 ms
Weighted factors (α, β, γ)	[0,1]
Simulation time	100 sec
Routing Protocol	AODV

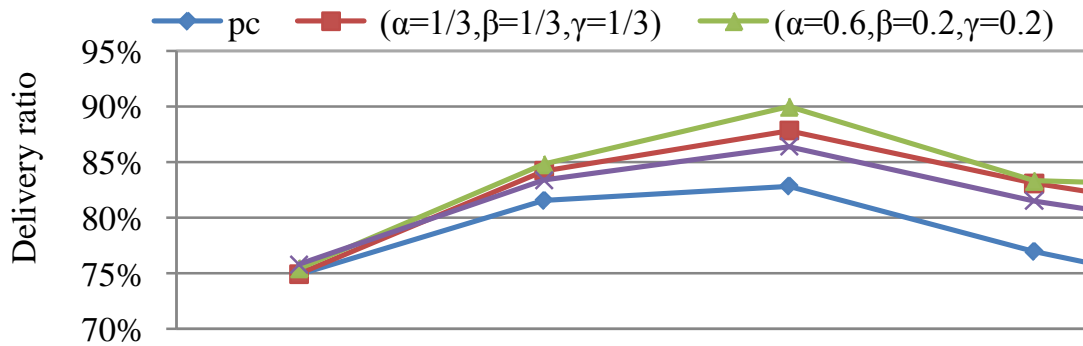


圖10 PC、均衡權重及以密度為主的多種 PCR 協定之封包到達率模擬結果

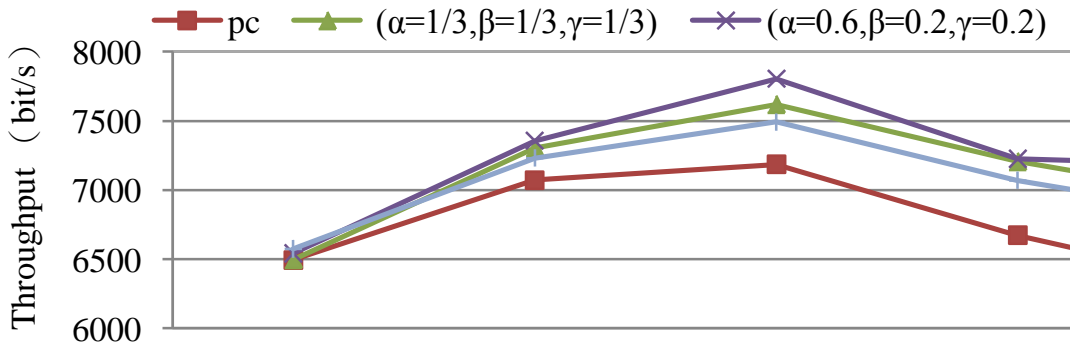


圖11 PC、均衡權重及以密度為主的多種 PCR 協定之網路傳輸量模擬結果

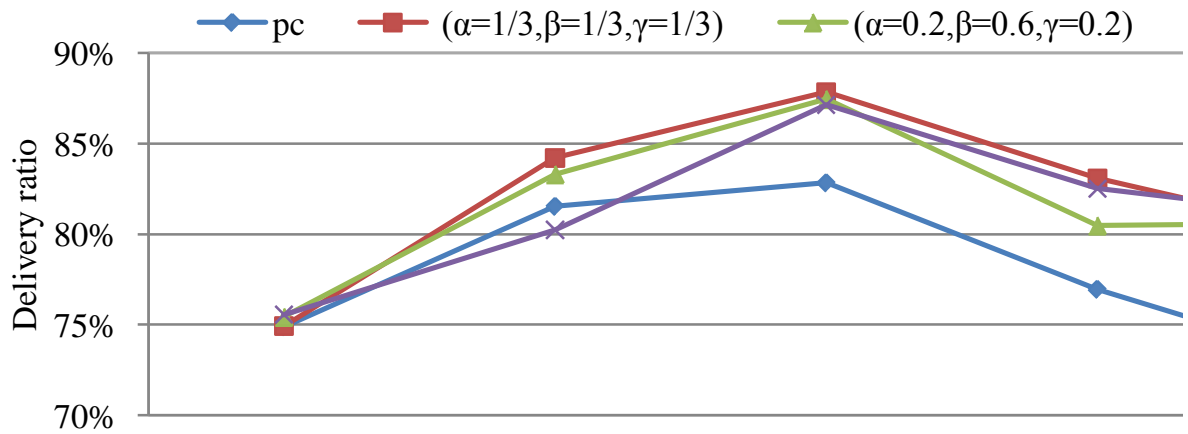


圖12 PC、均衡權重及以 ETX 為主的多種 PCR 協定之封包到達率模擬結果

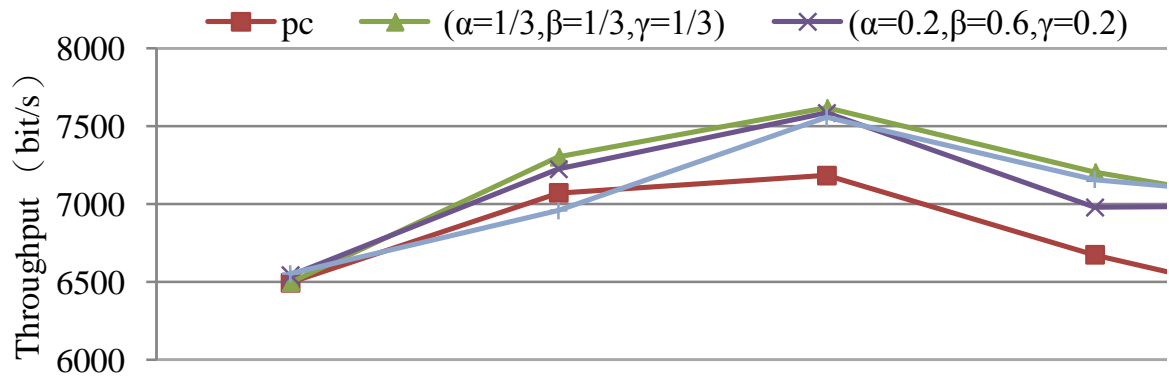


圖13 PC、均衡權重及以 ETX 為主的多種 PCR 協定之網路傳輸量模擬結果

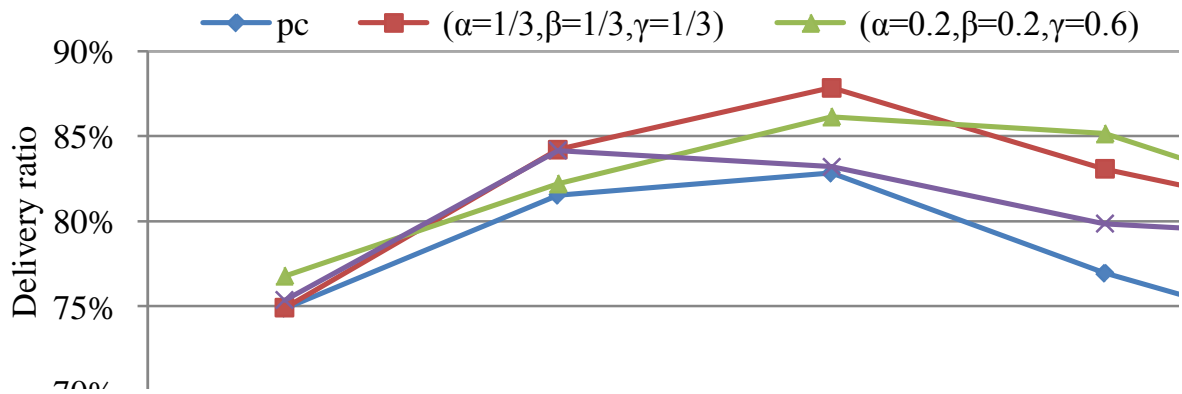


圖14 PC、均衡權重及以 LET 為主的多種 PCR 協定之封包到達率模擬結果

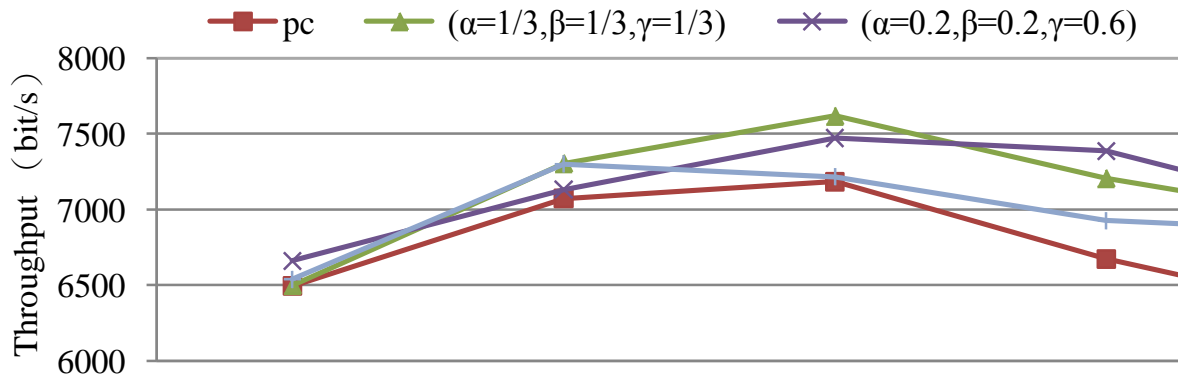


圖15 PC、均衡權重及以LET為主的各種PCR協定之網路傳輸量模擬結果

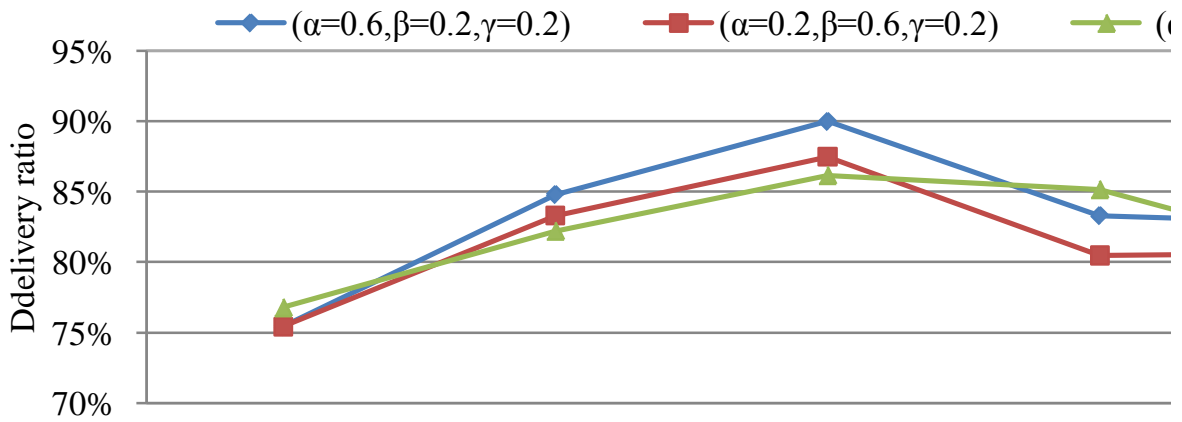


圖16 使用不同權重設定之PCR協定的封包到達率

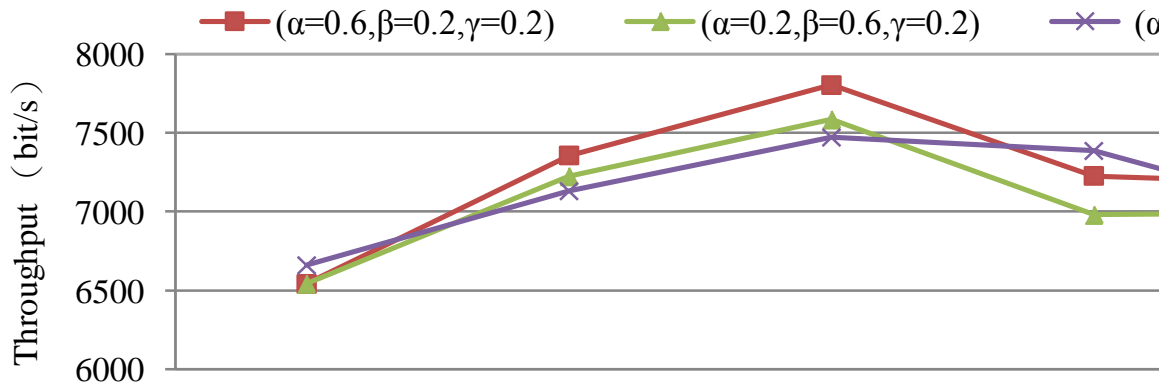


圖17 使用不同權重設定之PCR協定的網路傳輸量