

# 適用於交叉路口環境之車輛叢集方法

王秀萍、胡誌麟

國立中央大學通訊工程學系

**摘要**—節點叢集化技術常用於車載網路服務及應用的研究，幫助網路形成一套階層式的節點管理架構，並能藉由叢集管理節點將訊息有效的傳送出去。然而在真實的道路環境中，交叉路口以及紅綠交通號誌燈四周的節點移動拓撲變化甚巨，為了在這類的道路環境下降低發生叢集重組的次數並減少資料運算量，本研究利用都普勒頻移模型以幫助車輛選擇叢集管理節點，並提出一套叢集方法來適應此類車載網路環境的節點移動特性。

## 一、簡介

車載隨意網路環境(Vehicular Ad Hoc Network; VANET)的車輛節點因具有與一般行動移動節點不同之移動特性，於近期研究發展中逐漸從行動隨意網路(Mobile Ad Hoc Network; MANET)中獨立或分支成一新議題並受到廣泛討論[1]。相較於 MANET，由於 VANET 中行動節點具快速的移動速度及較大的相對移動速率，節點間的連線不易長久維持；另一方面，道路拓撲也限制了節點的移動範圍，故訊息傳送方式需有別於一般行動網路所使用的方法。

節點叢集技術是被普遍使用於行動節點的管理[2]，叢集過程會藉由參考每個節點所持有的資訊，自適性的計算權重值(Weight Value)並決定其擔任的角色。常見的角色有叢集管理節點(Cluster Head; CH)與叢集成員，當網路節點形成許多叢集之後，叢集架構可用來減少冗餘的訊息傳送，並達到有效且快速的訊息路由和資料傳播。一個叢集於形成之後，若其成員隨著時間移動所發生的變動愈小，則認為此叢集的穩定性愈高。

在 VANET 環境下進行節點叢集化的過程時，若不參考車輛所表現的交通行為特性及道路的行駛規則，已形成的叢集將很難維持其穩定性，需額外進行多次重組且會造成額外的資料處理及計算量。其中，在裝設有紅綠燈的交叉路口環境中，叢集不斷重組的情況將更為嚴重，因為這類地點具有對向道路及車輛群匯集和分流的現象，故本研究將會針對交叉路口四周的道路環境及節點叢集特性進行討論、假設，並進一步提出對應的叢集方法。

根據文獻彙整和探討[3][4]，許多車載網路的研究會帶入 GPS 所提供的車輛地理位置訊息來幫助節點完成叢集化的動作，但真實環境中 GPS 地理位置資訊會具有一定的誤差，這樣的誤差在十字路口道路環境下卻容易負面影響到節點叢集化結果的穩定。為了能夠避免使用車輛位置資訊並且能夠更準確的達成節點叢集化，本研究帶入了都普勒效應(Doppler Effect)理論來幫助車輛節

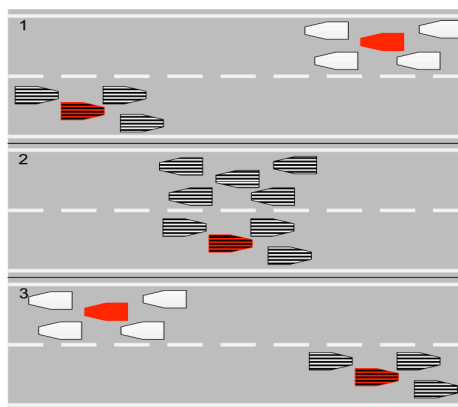
點選出 CH，並提出一套叢集方法來適應此類車載網路環境的節點移動特性。在模擬及效能分析部分，所提出的方法將與舊有的叢集演算法進行可能重組次數的比較，並藉由調整車流量與節點重組時機進一步去驗證本研究方法的效能。

本文內容架構如下：第二章為相關文獻探討，第三章描述本論文的方法設計，第四章則說明模擬設置並呈現數據結果，最後為本研究之結論。

## 二、相關研究

依照 VANET 節點叢集化演算法的發展過程，演算法的設計大致上可分為三類型的。第一類為節點利用本身已知的訊息，將其轉化為選擇 CH 依據的方法；第二類演算法則會在既有已知的訊息基礎上，套用不同理論以規劃出更高可信度之叢集架構；再者，過去 VANET 叢集演算法研究環境僅侷限於長直道路上，近期針對非長直道路環境所提出的演算法可是為第三類。

- 在第一類演算法中，[5]在節點選擇 CH 時，使用速度與位置資訊計算自己與鄰居節點之間因移動速度而彼此接近或遠離的程度以及與鄰居節點之間的位置關係；[6]的行動節點則會在信標(Beacon)中加入本身的移動向量，以此屏蔽與自己行駛方向相反的車輛，避免多餘的叢集重組。如圖一所示，由上到下分別代表先後三個時間點的車輛位置，時間點 2 中兩個對向的叢集因為未彼此屏蔽而發生叢集融合，但卻又由於節點移動性在時間點 3 被拆解為兩個不同的叢集，而發生一次不必要的叢集重組。



圖一：對向道路上的車輛對叢集之影響

第二類演算法中，[7]在假設已知節點位置的條件下套用熱力學領域的熵(Entropy)理論，藉此量化節點與鄰近節點之間的穩定性；[4]則套入[8]已驗證的資料叢集化演算法，另提出的節點叢集演算法之

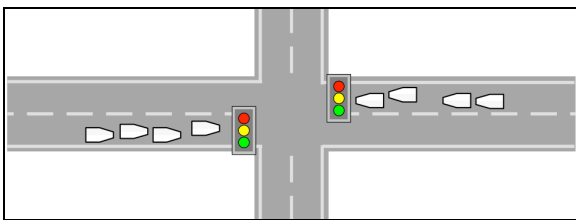
中；[9]利用節點自身感應傳送方發送訊息的頻率結合物理學的都普勒效應理論計算節點的權重值。

- 第三類演算法較貼近日常生活的道路拓樸環境作設計，像是農村、郊區和繁榮的市中心等。[10]依照十字路口上節點的行駛方向予以分選擇行駛至某方向的第一台車輛作為 CH；[11]則利用在道路上設置明確的固定參考點來協助車輛於特定的道路區段發動節點叢集化運算。

綜合以上分類，為了能將節點叢集化方法套用於現實的道路環境，本研究所提出的方法除了會採用節點自身的已知訊息外，也套用了物理學的都普勒效應理論，考慮到非長直道路上節點移動與叢集之特性。

### 三、方法設計

在說明本研究所提出的叢集化方法之前，將先探討在具十字路口的車載環境下應該需要先思考哪些道路和環境特性以及可能彙出現的問題，第 1 節會先描述車輛行駛方向之於叢集重組的關係以及紅綠燈所造成的車輛群聚與分流現象，第 2 節說明本文方法所作的前提與假設，第 3 節將整理車輛經過交叉路口前中後不同階段與不同種類節點的叢集流程。



圖二：正等待紅燈的對向車輛群

#### 3.1 車輛節點行駛方向與紅綠燈

一般道路拓樸上通常由多條雙向線道交錯構成，路口與路口間的道路稱作一個路段(Segment)。除了第二章提到對向車輛於會車時對叢集組織所造成的影響之外，位於不同路段在等紅綠燈的車輛群(如圖二)若被歸納成同一叢集，也容易因為綠燈亮起後行駛方向的不同而發生叢集重組。結合以上所述，節點必須了解如何排除接收同方向移動以外的車輛訊息，與剩餘的鄰居節點進行節點叢集化運算。

除了節點本身的行駛方向，紅綠交通號誌燈也會對叢集結果造成影響。當某交叉路口的紅燈亮起時，有一部分的節點隨即會被擋下，而形成群聚的現象；反之，會有一部分的節點因通過交叉路口而不受阻擋。不論是哪种情況，這種因號誌燈而引起的節點移動特性會造成一個原本完整的叢集架構被撕裂，且有部分的節點需要進行叢集重組。

從上述這幾項特點可發現若想要在這樣的節點移動環境中形成穩定性高的叢集架構，研究上不能直接套用固有的行動節點叢集化方法。

#### 3.2 前提與假設

本研究所使用的叢集化演算法中，為了讓車輛節點能在交叉路口行駛環境下獲得更多的資訊，首先需假設紅綠交通號誌燈座為已裝設無線訊號收送器之節點。再

者，不論紅綠燈或車輛節點，皆具備週期性廣播訊息給鄰居節點的能力。每個 beacon 中固定會夾帶一些訊息，若為紅綠燈節點，則會包含其所在交叉路口的 ID 以及周遭延伸路段號誌燈的信號狀態；若為車輛節點則包含車輛 ID、車速以及行駛方向。車輛節點透過這些週期性廣播的 beacon 內容適時作出記錄或計算的動作，並會將結果包進 beacon 後傳送給其他車輛節點，例如車輛節點權重值。

#### 3.3 節點叢集目的與流程

本研究目的在於車輛節點在藉由紅綠燈節點的訊息輔助之下，於通過交叉路口之後會與那些行駛同樣轉向(稱這群節點具有同樣的「未來轉向」)的車輛進行叢集。車輛節點在得知自己即將進行新的 CH 選擇程序後，並不需要先打破原先所屬的叢集和俱有的叢集角色。為了避免多餘的重組，一旦收到紅綠燈傳送的被阻擋訊息，將暫時不會與其他不同叢集的節點進行叢集融合。

在選擇 CH 的時候，一旦車流量大，聚集在交叉路口附近的車輛則可能間距不大。此時若採用 GPS 提供的位置資訊計算權重值則會有所誤差，可能無法表達節點與其鄰居之間真正的位置關係，故此處引入都普勒頻移的概念，用以取代節點使用位置資訊的方式。

由都普勒頻率可得已知公式(1)，其中表 I 說明式子內的各個變數所代表的意義。

$$f_{BA} = f_A - \frac{f \times v_{rel}}{C} \cos \theta. \quad (1)$$

表 I  
方程式變數

變數	解釋
$f_{BA}$	接收者 B 觀察到發送者 A 的頻率
$f_A$	發送者 A 真正送出訊息的頻率
$v_{rel}$	發送者與觀察者之間的相對速度
$\cos \theta$	發送者與觀察者行駛方向所夾的角度
$C$	光速

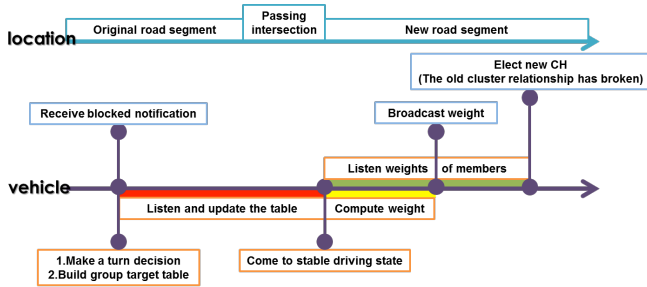
由於本研究設計中節點會屏蔽掉對向的車輛，故此處設定  $\cos \theta$  代入值為 1。公式(1)經由移項可得訊息發送者相對於自己的都普勒頻移值如公式(2)，且一個節點 B 可能具有多個鄰居節點，故節點 B 的權重值  $W_B$  可表示如公式(3)。透過 beacon 的傳送，節點會記錄所有同向行駛車輛的權重值，並會選擇在這之中權重值最小的節點擔任 CH。

$$\Delta f_{BA} = |f_{BA} - f_A| = \frac{f \times v_{rel}}{C} \cos \theta. \quad (2)$$

$$W_B = \sum_{i=1}^n \Delta f_{Bi} \quad (3)$$

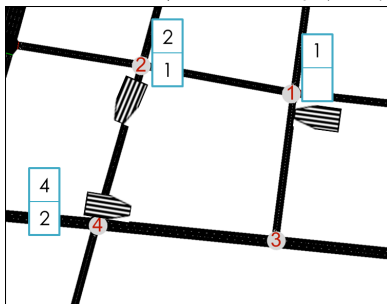
當車輛節點被紅綠燈阻擋且位於其傳輸範圍之內，則會收到由紅綠燈節點發送的被阻擋通知訊息(Blocked)

Notification ; BN)。特定節點在收到 BN 訊息後車輛節點會進入新的 CH 選擇程序，如圖三所示。由左指向右的箭頭表示時間上由先到後的關係，上方箭頭表示將車輛所在的位置分為通過交叉路口前中後三階段，並於下方箭頭標示車輛在接收 BN 訊息後於特定行駛位置會作的處理動作。



圖三：當車輛節點收到被阻擋通知訊息

首先車輛會依照使用者所打出的方向燈作出未來轉向判斷，並依照鄰居送出的 beacon 建立與自己未來轉向相同的節點紀錄表格。車輛隨即會等待並更新此表格，並在自己達到穩定行駛狀態的一段特定時間後用式(3)計算權重值，且會促使其範圍內且同路段中同樣也達到穩定行駛狀態(Stable Driving)的節點計算權重，節點各自的計算結果會被包在 beacon 內後送出。由於正在通過交叉路口的車輛節點其表現出的速度與行駛方向尚未穩定，並不適合拿來計算權重值，故上述所指之穩定行駛狀態即表示此節點已確定通過交叉路口並進入新行駛路段。計算權重值後同時也聆聽範圍內的節點已計算完畢的權重值，蒐集並經過比較後，此車輛節點會於這些節點中推舉出新的 CH，結束此次 CH 選擇程序。



圖四：車輛節點記錄行駛交叉路口

當車輛節點在接收 BN 訊息後完成上述動作，其本身尚須符合一些特定條件，也就是只有那些真正被紅燈阻擋的車輛節點才能進入新一次的 CH 選擇程序。針對此點，車輛節點必需要事先記錄自己行駛過的交叉路口，其方法如圖四所示。假設圖四中的車輛由路口 1 行經至路口 2，並在最後來到路口 4，車輛節點會透過紅綠燈節點廣播出的路口 ID 並利用類似佇列的方式將交叉路口 ID 記錄於兩個欄位中。透過此紀錄再結合紅綠燈節點所傳送的被阻擋路段訊息，車輛節點就可以確認自己是否真的已被紅燈阻擋。最後，BN 訊息的傳送範圍以及進入穩定行駛狀態並開始計算權重值的時間點皆會影響此方法的效能，此部分會在模擬章節進一步探討。

## 四、 模擬

### 4.1 模擬環境

本研究模擬環境建置採用 NS2 網路模擬器，配合 VanetMobiSim 產生的節點移動模型來檢驗本論文提出之方法。節點間的通訊參照 IEEE802.11p 模型之基本設定，車速設定範圍則在 20~40km/h 區間。

實驗環境包含車輛節點以及 2 個紅綠燈節點。車輛 20 台表示十字路口車流量較高的狀態，車輛 10 台則代表十字路口車流量較低的狀態。簡易的模擬環境為一個可雙向行駛的單線道交叉路口道路拓樸，位於交叉路口上的紅綠燈節點會廣播 BN 訊息，另一個紅綠燈節點則單純廣播其交叉路口 ID，用來幫助車輛節點實踐記錄行駛交叉路口的動作，並不需額外廣播其他資訊。模擬過程假設車輛節點能事前得知自己的未來轉向。

### 4.2 單一交叉路口重組次數比較

此部分將藉由測量單一交叉路口上節點在選擇叢集管理節點 CH 之後，即將會與此 CH 分群於不同轉向(或車道)的總次數，此數量將可用來表達未來可能發生之重組次數。舉例來說，節點 i 與節點 j 在路燈亮起後一個會往左轉，另一個會往右轉，則若節點 i 選擇節點 j 作為 CH，在綠燈亮起且車輛轉向之後兩節點的叢集關係會因為距離過遠無法互相接收訊息而毀滅。上述情形將被記作一次可能發生的叢集重組(CH 本身不用列入計算)。

此部分以 highest degree (HD) 叢集演算法[12]作為對照組，在 HD 方法中節點會選擇鄰居數目最多的節點當作 CH，若同時有兩個以上的節點其鄰居數目相同，則節點們會選擇節點 ID 最小的作為 CH。

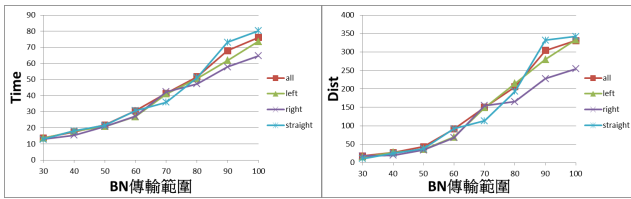
圖五列舉出本研究所提方法 IB 與 HD 之比較，BN 訊息傳送範圍設定為 50m 且車輛總數為 20 台，經過 10 組不同 20 輛車的輸入，本研究提出的方法與對照組進行比較，可發現在 HD 中平均可能會有 6 個節點會脫離原本的叢集，在本研究的方法則會選擇與自己同向行駛的車輛節點，所以次數為 0。

移動模型	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
方法	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB	HD	IB
次數	5	0	7	0	6	0	8	0	8	0	4	0	5	0	6	0	5	0	6	0

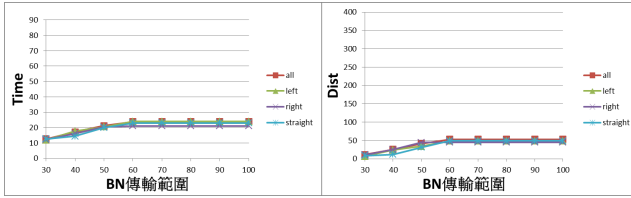
圖五：IB: intersection based(本文所提方法) vs. HD: highest degree

### 4.3 BN 訊息傳送範圍對於叢集方法的影響

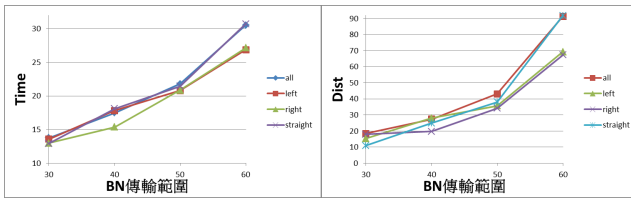
此部分藉由修改紅綠燈節點傳送 BN 訊息的範圍去觀察其對於叢集方法效能的影響。其權重值計算時間點設定為當所有未來行駛方向相同之車輛皆進入穩定行駛狀態之時。圖六和圖七中，橫軸代表不同的傳輸範圍，兩圖左半部縱軸 Time 代表節點在綠燈亮起到選出新 CH 所經過的時間，右半部的縱軸 Dist 表示選出新 CH 時車輛節點距離交叉路口多遠。



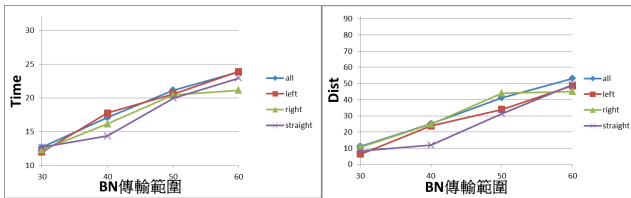
圖六：節點數=20, BN 傳輸範圍 30~100m



圖七：節點數=10, BN 傳輸範圍 30~100m



圖八：節點數=20, BN 傳輸範圍 30~60m

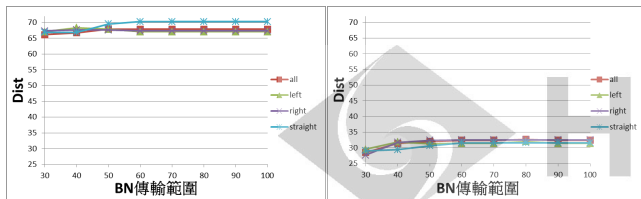


圖九：節點數=10, BN 傳輸範圍 30~60m

從數據圖可看出車流量較小的移動模型在 BN 傳輸範圍等於 60m 之後就保持水平，這是由於所有車輛在 60m 之後皆會收到 BN 訊息，反之車流量較大的移動模型不論是哪個轉向的時間與距離值皆會上升。若進一步擷取傳輸範圍 30~60m，可發現車流量較小的距離與時間皆會低於高車流量的移動模型，這是由於車子一多，未來行駛方向相同的車輛也會愈多，等待計算權重值所需的時間也愈長。由此可知，開始計算權重值的時機點也會影響此叢集方法的效能。

#### 4.4 權重值計算時間對於叢集方法的影響

由上一節推論的結果，進一步更改原先設定的權重值之計算時機點，並觀察此點對於本文提出之叢集方法的效能影響。調整方式為當節點在進入穩定狀態後等待 5 秒以及 10 秒就會先觀察範圍內是否有 CH，若沒有則去抓取範圍內同樣進入穩定行駛狀態的同向節點進行叢集。其結果如下。



圖十：節點數=10, (左)等待時間=10sec (右) 等待時間=5sec

經觀察後可明顯發現計算權重值前的等待時間愈長，選出新 CH 時節點與交叉路口的距離就愈遠。選出

CH 的距離若離交叉路口太遠，節點原始的叢集關係可能早已被破壞，這樣的叢集架構若拿來用於訊息傳送也是效果不彰，固本研究的叢集方法也需考慮到此項因素。

#### 結論

為了在都市或近郊道路環境中達到有效的節點叢集化，車輛節點必須透過獲取額外的資訊才能輔助自己了解所處環境的樣貌。本研究利用固定於道路拓樸中的紅綠燈節點供給車輛節點部分必要的訊息，並參考都普勒效應幫助車輛節點達成不需使用地理訊息的目的，其間除了完成與典型的 HD 叢集演算法的比較之外，亦驗證 BN 傳輸範圍及權重值計算時間這兩個叢集方法設計因子對於整體效能之影響。

#### 致謝

本論文部分研究之進行，承國科會專題研究計劃 NSC-100-2221-E-008-085-MY3 經費支持。

#### 參考文獻

- [1] M. Gerla, and L. Kleinrock, "Vehicular Networks and The Future of The Mobile Internet," *Computer Networks*, vol. 55, pp. 457-469, 2011.
- [2] O. Younis, M. Krunz, and S. Ramasubramanian, "Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges," *IEEE Network*, vol. 20, pp. 20-25, 2006.
- [3] Z. Wang, L. Liu, M. Zhou, and N. Ansari, "A Position-Based Clustering Technique for Ad Hoc Intervehicle Communication," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, vol. 38, pp. 201-208, 2008.
- [4] C. Shea, B. Hassanabadi, and S. Valaee, "Mobility-Based Clustering in VANETs Using Affinity Propagation," *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, pp. 1-6, 2009.
- [5] Y. Gunter, B. Wiegell, and H. P. Grossmann, "Cluster-Based Medium Access Scheme for VANETs" *Proc. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, pp. 343-348, 2007.
- [6] P. Fan, P. Sistla, and P. Nelson, "Theoretical Analysis of a Directional Stability-Based Clustering Algorithm for VANETs," *Proc. ACM International Workshop on Vehicular Inter-NETworking*, pp. 80-81, 2008.
- [7] Y. X. Wang, and F. S. Bao, "An Entropy-Based Weighted Clustering Algorithm and Its Optimization for Ad Hoc Networks," *Proc. IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pp. 56, 2007.
- [8] B. J. Frey, and D. Dueck, "Clustering by Passing Messages Between Data Points," *Science*, vol. 315, pp. 972-976, 2007.
- [9] E. Sakhaee, and A. Jamalipour, "A New Stable Clustering Scheme for Pseudo-Linear Highly Mobile Ad Hoc Networks," *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, pp. 1169-1173, 2007.
- [10] N. Maslekar, M. Boussedjra, J. Mouzna, and H. Labiod, "C-DRIVE: Clustering Based on Direction in Vehicular Environment," *Proc. New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, pp. 1-5, 2011.
- [11] N. Maslekar, J. Mouzna, M. Boussedjra, and H. Labiod, "CATS: An Adaptive Traffic Signal System Based on Car-to-Car Communication," *Journal of Network and Computer Applications*, pp. 1-8, 2012.
- [12] A. Ramalingam, S. Subramani, and K. Perumalsamy, "Associativity Based Cluster Formation and Cluster Management in Ad Hoc Networks," *Proc. International Conference on High Performance Computing*, 2002.