

結合路側單元與網路編碼之車載網路路由機制設計

廖思臺 朱紹儀 李俊豫
國立高雄應用科技大學 電子工程系
E-mail: erwinchu@kuas.edu.tw

摘要

行動車載網路是行動隨意網路技術在車載環境下的具體應用，也是智慧型運輸系統的重要組成部分，在行動車載網路中車輛間可以彼此通信，也可以透過基礎設施通信，不同於傳統行動隨意網路，由於車輛的移動速度較快，所以造成網路拓撲的快速變化，資料的傳送範圍也受限於道路的分布，使得資料在傳輸時不穩定，造成封包的遺失，或傳輸延遲的增加，所以無法簡單的將行動隨意網路既有的路由協定技術應用到車載環境中。在本論文中，我們將針對城市環境下行動車載網路的特點及傳統 AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)協定之不足，利用網路編碼配合車對基礎設施通信來增強傳輸效率，模擬結果表明我們提出的路由演算法相較 AODV 協定能有效提高封包傳遞率。

關鍵詞：車載網路、無線網路編碼、ADOV。

Abstract

Because of fast moving of vehicles and dynamical changes of the network topology, the data transfer over vehicular ad hoc networks (VANET) becomes unreliable. This paper therefore improves the conventional ad hoc on-demand distance vector (AODV) protocol by using the cooperative mechanism of the road-side unit (RSU) and the network coding technique to enhance the transmission efficiency in an urban environment. Simulation results show that the proposed routing algorithm effectively improves the packet delivery rate as compared to AODV protocol.

Keywords: VANET, Network Coding, AODV.

1. 前言

近年來隨著無線通信技術的快速發展，行動車載網路(vehicular ad hoc network, VANET)也得到了業界的廣泛關注，在行動車載網路中車輛可以在彼此傳輸範圍內進行車間通信(Inter-Vehicle Communication, IVC)，也可藉由道路旁的路側單元(Road-side unit, RSU)進行車對基礎設施通信(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)，車輛可透過這兩

種通信來進行各種應用，如 交通控制，即時路況監測，以及行車安全的服務等[1]。

VANET 雖然為行動隨意網路(Mobile Ad Hoc Network, MANET)上的一種延伸應用，但兩者之間仍有差異，VANET 的節點的移動速度更快、路由壽命較短、網路拓撲變化更大，且車輛的移動受限於道路的分布與交通號誌的影響，易造成整體網路的區域性，造成封包傳遞率的下降，封包傳遞的可靠度在車載網路環境下更具有挑戰性，一些傳統的 MANET 路由協定如 AODV[2]、DSR(Dynamic Source Routing)[3]，雖然可以用於行動車載網路，但是具有較低的效能，因此如何改良傳統 MANET 的路由協定，使其能夠適用於 VANET 的環境下是一個相當重要的議題。

為了使傳統 MANET 協定能適用於 VANET 的環境，研究人員提出了一些改良的協定，在[4]的研究中，Naumov 等人將守衛機制應用在 AODV 上，透過守衛來記錄即時的路徑變化提高了封包傳遞率和可靠度，在[5]的研究中，Abedi 等人提出 PAODV 路由協定，藉由限制 AODV 控制封包的開銷，使路由更穩定。另外，在[6]的研究中，Jerbi 等人提出 GyTAR 路由協定，根據即時車輛交通的變化來選擇封包傳送到目的端所經過的十字路口，並改善貪婪式轉發策略，使封包傳遞率和延遲得到了改善。除了車輛間協助傳送資料外，部分的路由協定也利用路側單元協助資料的傳送，在[7]的研究中，Chang 等人提出利用路口上的路側單元統計相關道路車輛密度訊息，並排除一些有道路障礙的路段，當車子要發送資料會跟路側單元請求相關資訊，並尋找合適的路段來做資料傳送。在[8]的研究中，Aisling 等人提出了 IEGRP 路由協定，結合 IVC 與 V2I 經由預測鏈路穩定性，動態改變其路由決策提高封包傳遞率。

網路編碼[9]想法由 Ahlswede 等人首次提出，並從理論上證明了利用網路編碼技術可以使吞吐量達到網路的最大上限。在[10]的研究中，Katti 等人提出了無線網路編碼方案 COPE，利用無線網路特有的性質，如無線網路中節點的廣播、偵聽特性來提高網路吞吐量。由於網路編碼所帶來的優點，一些協定也結合了網路編碼應用在 VANET，在[11]的研究中，Chin 等人提

出 MFPD 路由協定，具有預測目的端的移動方向，並配合網路編碼來減少檔案下載的延遲。在 [12] 的研究中，Wu 等人提出以發送端為導向的廣播路由方案，來源端指定兩個中繼節點透過網路編碼來提升目的端封包的接收率。

目前車載網路大多數的路由協定相關研究都著重在車間通訊上，對於基礎設施協助資料傳遞的討論則相對較少，因此，在本論文中，我們將研究在城市的環境下以 AODV 路由協定來做為改良對象，並藉由網路編碼與路側單元合作機制來有效提升封包傳遞率，並減少端對端的延遲。在接下來的章節中，第二節詳細說明了 AODV 建立路由過程，第三節則描述我們所提出來的的方法，第四節則描述實驗建置及模擬結果，並於第五節作結論。

2. AODV 路由協定

在 VANET 路由協定中，按照路由建立的方式不同，可分為以拓撲為基礎和以位置為基礎兩大類，以拓撲為基礎的路由協定是根據網路中車子的鏈路訊息，將資料從來源端送到目的端。而以位置為基礎路由協定，則根據目的端位置訊息來轉發封包。在本論文中，我們著重於以拓撲為基礎的路由協定做探討，其中以拓撲為基礎的協定又可分為主動式與反應式，由於主動式無論是否有通信請求，每個節點會周期性交換路由訊息來維護路由表，這並不適合在高動態的車載環境下。而反應式則是當有傳輸請求時，才被動的搜索從來源端到目的端的路由，當沒有傳輸請求時，節點則不需要交換路由訊息。我們採用反應式最具代表性 AODV[2] 路由協定來進行改良，AODV 建立路由過程如圖 1。

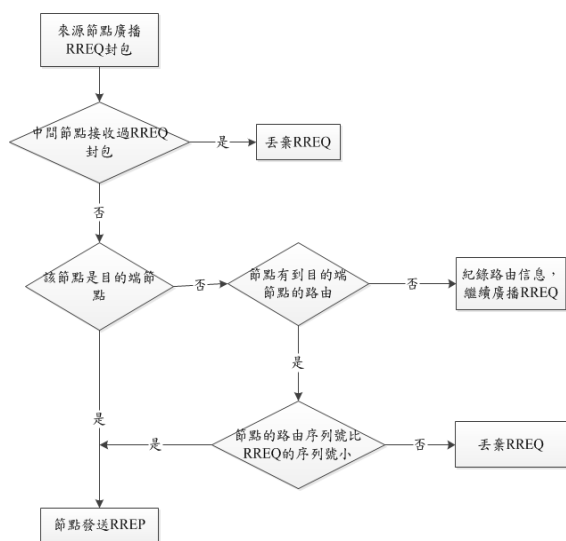


圖 1. AODV 路由建立過程

如圖 1 所示在 AODV 中，來源端想要傳資料

給目的端時，會發出查詢封 RREQ(Route Request)，該封包包含了來源端位址、來源端節點序列號、目的端節點序列號、廣播 ID 和跳數，以廣播的方式傳送出去，中間節點收到 RREQ 後根據其中的訊息，建立從自身到來源節點的路由，即在路由表中增加一個路由條目，稱為“反向路由”。在建立好反向路由後，中間節點繼續向周圍節點廣播該路由請求封包，直直到達目的節點，此時目的節點向來源節點回復路由由回應封包 RREP(Route Reply)，RREP 沿著剛建立的“反向路由”向來源節點傳送，在傳送過程中，收到 RREP 的中間節點建立到目的節點的路由稱之為“正向路由”，此時來源端即得到一條通往目的端的路徑，開始傳送資料封包。當路由發生變化無法正常通信時，當前的節點將廣播錯誤訊息 RERR(Route Error)封包給鄰居節點，RERR 包含無法訪問的節點地址和序列號，當來源節點收到 RERR 封包後，將重新啟動路由建立過程。

3. 網路編碼應用於 AODV 路由方案

3.1 節提出單純以網路編碼結合 AODV 之路由機制，稱之為 AODV 具網路編碼方法。3.2 節則是以 AODV 具網路編碼方法為基礎，搭配 V2I 技術所提出來的合作式網路編碼方法。

3.1 AODV 具網路編碼方法

為了改善車載網路環境下封包傳送的可靠度，我們使用無線網路編碼技術 COPE，其基本思想就是使網路中的節點不僅具有儲存轉發功能，還能夠將若干個待轉發的封包進行編碼成一個封包，並轉發給相應的接收節點，且以足夠大的機率來保證接收節點能夠順利解碼封包，從而提高網路吞吐量。由於 COPE[10]具有編碼複雜度低，編碼過程只是簡單 XOR 操作，在這一點上簡化了編碼解碼所產生的延遲，此外，COPE 不需要預先知道整個網路的拓撲結構，節點透過鄰居節點報告來進行網路編碼，因此更適合於車載網路的環境下。

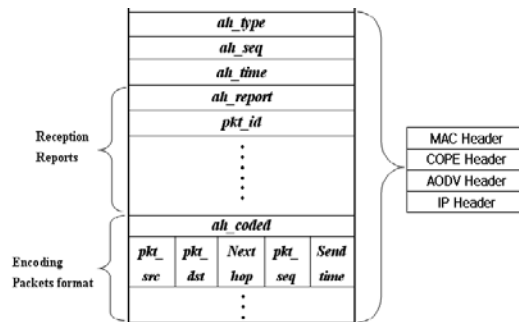


圖 2. 封包標頭格式

由於 AODV 協定有其特有的封包標頭格式，因此，我們將 COPE 標頭訊息直接附加在

AODV 標頭訊息中，如圖 2 所示，其中 ah_type 是 AODV 協定原有的訊息，節點經由讀取該訊息來判斷某封包是路由訊息封包或是資料封包。另外我們在 AODV 封包標頭添加以下訊息， ah_seq 為資料封包序列號。 ah_stime 用來記錄當節點發送資料封包時當前的時間。 ah_report 為鄰居狀態報告。而 ah_coded 用來標記該封包是原始封包或是編碼封包，若是原始封包，則其值為 1，若是編碼封包，則值為編碼封包的個數，並附上每個編碼封包的訊息，包含來源節點位址 pkt_src ，目的節點地址 pkt_dst ，下一跳地址 $next_hop$ ，序列號 pkt_seq ，發送時間 $send_time$ ，該訊息用於解碼時能順利恢復原始封包，將其接收或轉發。

然而當 MAC 層通知節點信道為空閒時，節點應該以何種機制來判斷是否有合適的編碼機會，必須考慮到以下一個簡單的編碼規則：

1. 待編碼的封包應為轉發封包，而不是由該節點初始發送的原始封包。
2. 待編碼的封包下一跳節點應各不相同
3. 待編碼的封包應為原始封包
4. 若節點 A 將要發送 p_1, \dots, p_n ，這 n 個封包到對應 n 個下一跳節點 r_1, \dots, r_n ，則它能將這 n 個封包一起編碼成一個封包 p ，若且唯若對任意一個下一跳節點 r_i ， r_i 的緩存區中已含有 p_1, \dots, p_{i-1} ， p_{i+1}, \dots, p_n 這 $n-1$ 個封包。

```

編碼過程
從輸出佇列取出封包 p
Natives={p}; //原始封包集合
Prehops={prehop(p)}; //上一跳節點集合
Nexthops={nexthop(p)}; //下一跳節點集合
// 依序取出佇列中所有元素
for p_i=queue -> head to queue -> tail do
// 判斷封包 p_i 是否為原始封包且下一跳節點是否重複
if p_i 是原始封包 && {nexthop(p_i)}! ⊂ Nexthops then
// 判斷封包 p_i 是否滿足編碼規則
if prehop(p_i) ∈ Neighbor_Table[Nexthops]&&
Prehops ⊂ Neighbor_Table[Nexthops(p_i)] then
//封包 p_i 滿足編碼規則
p=p ⊕ p_i;
Natives=Natives ∪ {p_i};
Nexthops=Nexthops ∪ {i};
更新封包標頭訊息;
刪除輸出佇列中封包 p_i;
end if
end if
end for
return p

```

圖 3. 編碼演算法

圖 3 為本方案所設計的編碼演算法，依編碼規則所述，節點判斷某一個封包能否進行編碼，是根據編碼規則，以及節點所維護的鄰居狀態表來決定的。節點依序遍歷輸出佇列中的元素，假設此時節點已經選定了 p_1, \dots, p_{n-1} 這 $n-1$ 個原始封包，此時輸出佇列中仍有未遍歷的封包，則節點依圖 3 的演算法來選取下一個可編碼的封包 p_n 。

```

解碼過程
count = 0; //用於計數未知原始封包的個數
decoded = 0; //用於標記解碼成功後得到的封包
codedpkts = {p_1, ..., p_n}; //編碼封包 p 中的原始封包集合
bufferpkts; //節點緩存區中封包集合
for codedpkt i = 1 to n do
if p_i ∈ bufferpkts then
count = count++;
decoded = i;
end if
end for
if count == 1 then
解碼成功;
return p_i //返回解碼後的原始封包 p_i
else
return Null //解碼失敗
end if

```

圖 4. 編碼演算法

當節點 r_i 監聽到一個編碼封包 p ，首先會先檢查其是否為資料封包，若該封包 p 是編碼封包，則檢查它的封包標頭訊息中的下一跳節點列表，表中記錄著被編碼的 n 個封包的下一跳節點地址，節點 r_i 查找自己是否為某個封包的下一跳地址，若是，則調用解碼機制，否則結束。若節點 r_i 是編碼封包 p 的其中一個原始封包的下一跳地址，則節點 r_i 需要藉由緩存區中的訊息來解碼出原始封包，解碼演算法如圖 4 所示。

3.2 合作式網路編碼方法

由於網路編碼與解碼過程會產生額外的延遲，這在節點高速移動的車載網路環境中，單純以網路編碼結合 AODV 無法明顯提升整體性能。因此，在合作式網路編碼方法中，我們搭配路側單元來協助封包傳遞。由於路側單元之間是以有線網路互相連接，所以利用有線網路比無線網路傳輸更可靠、快速之優點，減少封包在無線網路環境下傳輸的過程，可以大幅降低封包遺失的狀況也可以快速的將封包傳送到目的端，以進一步的提升網路整體性能。為了減少路側單元佈署成本，我們假設路側單元的數量有限只佈署在重要的交叉路口。

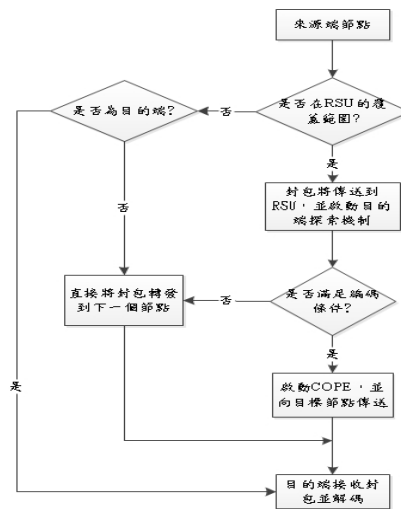


圖 5. 合作式網路編碼流程圖

圖 5 為合作式網路編碼方案的流程圖。當一個來源端節點要傳送資料時，會先檢查自身的鄰居列表是否存在 RSU，如果 RSU 存在則以 RSU 作為中繼節點，取代一般的車輛。當 RSU 接收到封包會先檢查封包的目的端是否在鄰居列表中，如果沒有將會向其他 RSU 來請求目的端節點資訊，此時離目的端最近的 RSU 將作為中繼節點，並判斷封包是否滿足編碼條件，如果滿足編碼條件則啟動 COPE，並將編碼後的封包傳給目的端，目的端接收到封包會判斷是否為一個編碼封包，如果是將進行封包解碼機制。然而，當來源端節點欲傳送封包時不在 RSU 的覆蓋範圍，那來源端將選擇一般車輛作為中繼節點，繼續將封包轉發直到 RSU 的覆蓋範圍或目的端。

4. 效能分析

根據我們車載網路環境下的模型設計，本研究利用車流模擬軟體(Simulator of Urban Mobility, SUMO)[13]來產生道路架構與車輛的移動性，配合網路模擬軟體(Network Simulator version 2, NS2)[14]之間相互回饋的機制進行數值實驗。我們將探討三種不同傳輸模式的路由方式，包含我們所提出的 AODV 具網路編碼方案和合作式網路編碼方案，並與傳統的 AODV 作比較。具體的實驗環境為 Windows 7，並安裝 Cygwin，在 Cygwin 上操作 NS2.35，SUMO 的版本為 sumo 0.12.3。在實驗中，車輛的移動速度介於 0-20 m/second，隨機移動在一個 1800 乘 2000 米的網格地圖，將以 10 條不同固定位元速率(Constant bit rate, CBR)，以每秒傳送 4 個封包，來評估三個方案的效能，相關的參數設定如表 1。

表 1. 參數的設定

模擬環境	設定參數
地圖大小	1800 米 X 2000 米
資料封包大小	1024 bytes
RUS 覆蓋半徑	250 米
車輛覆蓋半徑	250 米
車輛移動速度	0-20 米/秒
車輛數目	100-250
RUS 數目	10 個
模擬時間	300 秒

我們以兩種網路評估指標來作為我們的方法的效能評估標準，包括封包傳遞率 (Packet Delivery ratio) 和平均端對端延遲 (Average End-to-end delay)。

1. 封包傳遞率：從來源端的應用層傳送出去的資料封包到目的端應用層所成功接收到的資料封包數量之比值，比值越高代表傳輸效能好。
2. 平均端對端延遲：從來源端的 MAC 層，所發送出去資料封包的時間，直到目的端在 MAC 層收到資料封包，在這段期間每個節點到節點

之間平均的時間差。

我們設定車輛數目從 100 台車開始，每次模擬增加 25 台車，直到車量密度到達穩定程度 250 台車，而 RUS 固定為 10 個，每次模擬時間為 300 秒，首先我們模擬不同車輛數目與封包傳輸率的關係，如圖 6 所示。在這個模擬過程中，由於車輛密度增加，封包可以容易找到下個中繼者協助傳輸，在封包傳遞率方面，AODV 具網路編碼方案在 100 至 125 輛車時，封包傳遞率是低於 AODV，原因是由於在節點密度低時，AODV 具網路編碼方案編碼機會減少，並且不能適時的啟用編碼機制，而節點密度低時車輛移動較快，導致編碼封包無法成功傳輸給目標節點，所以 AODV 具網路編碼方案在節點密度低時封包傳遞率較低，從圖 6 中明顯看出合作式網路編碼方案優於其他兩種傳遞機制，這是因為透過 RSU 協助傳輸能使得封包在比較穩定的環境下進行傳輸，除此之外還能經由網路編碼來增加封包傳遞的可靠度。

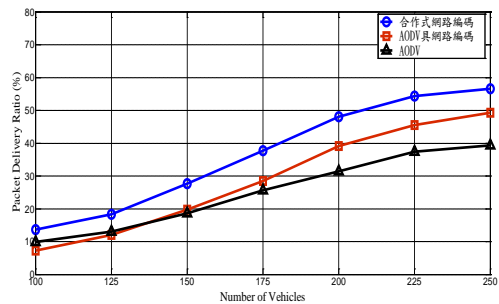


圖 6. 車輛數目與封包傳遞率

再來我們分析車輛數目與封包平均端對端延遲的影響變化，如圖 7 所示。從圖中能看到 AODV 具網路編碼方案平均端對端延遲較高，這是因為封包在編碼與解碼時所產生的延遲，由於 AODV 具網路編碼方案是始終啟用編碼機制的所以延遲相對高，然而，合作式網路編碼方案能適時的請求 RSU 協助傳輸，所以產生的延遲相對於 AODV 具網路編碼方案能夠減少許多，雖然合作式網路編碼方案平均端對端延遲較 AODV 略高，但是在封包傳遞率方面是獲得明顯改善，因此，延遲尚再可容忍的範圍內。

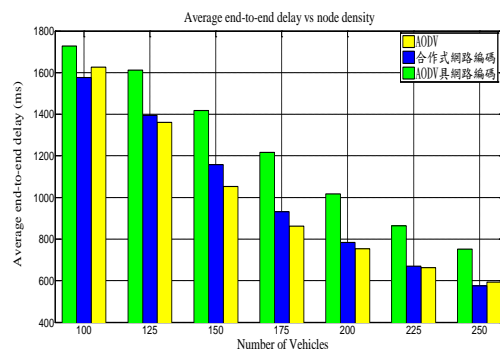


圖 7. 車輛數目與平均端對端延遲

5. 結論

在本研究中，我們基本想法是利用網路編碼，藉由路側單元的輔助配合車間通訊，來改善車載網路所面臨的問題，在不論車輛密度高或是在車輛稀疏的情況下均可適用的路由機制，本論文提出了 AODV 具網路編碼方案和合作式網路編碼方案，來作為車載網路城市環境下的路由方法，模擬結果顯示，AODV 具網路編碼方案在車輛密度較高的環境下，相較於傳統 AODV 能夠改善封包傳遞率，然而，在合作式網路編碼方案中，我們利用少量的 RSU 佈署在重要的交叉路口協助資料傳輸，相比 AODV 具網路編碼方案與 AODV，封包傳遞率在節點密度低與密度高時都能獲得有效改善。

致謝

本論文承蒙國科會計畫補助，計畫編號：NSC101-2221-E-151-075、NSC102-2221-E-151-003。

參考文獻

- [1] K. Sampigethaya, Mi. Li, L. Huang, and R. Poovendran, “AMOEBA: robust location privacy scheme for VANET,” in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), Special issue on Vehicular Networks*, Vol. 25, No. 8, pp. 1569-1589, Oct. 2007.
- [2] C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad hoc on-demand distance vector routing,” in *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA)*, 1999.
- [3] D. Johnson and D. Maltz, “Dynamic source routing in ad hoc wireless networks,” in *Mobile computing*, pp. 153–181, 1996.
- [4] V. Naumov and T.R. Gross, “Connectivity - aware routing (CAR) in vehicular ad hoc networks,” in *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, May. 2007.
- [5] O. Abedi, R. Berangi, and M. A. Azgomi, “Improving route stability and overhead on AODV routing protocol and make it usable for VANET,” in *IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pp. 464-467, 2009.
- [6] M. Jerbi, S.-M. Senouci, R. Meraihi, and Y. Ghamri-Doudane, “An improved vehicular ad hoc routing protocol for city environments,” in *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, June. 2007.
- [7] I.-C. Chang, Y.-F. Wang, and C.-F. Chou, “Efficient VANET unicast routing using historical and real-time traffic information,” in *IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, pp. 458–464, Dec. 2011.
- [8] O’ Driscoll, Aisling., Pesch, Dirk., “An Infrastructure Enhanced Geographic Routing Protocol for Urban Vehicular Environments”, in *IEEE Wireless Vehicular Communications (WiVec)*, June. 2013.
- [9] R. Ahlswede, N. Cai, S. R. Li, and R. W. Yeung, “Network information flow,” in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46, no. 4, pp. 1204–1216, Jul. 2000.
- [10] S. Katti, H. S. Rahul, W. Hu, D. Katabi, M. Médard, and J. Crowcroft, “XORs in the air: Practical wireless network coding,” in *ACM SIGCOMM*, pp. 243–254, Aug. 2006.
- [11] T.-L. Chin, Y.-S. Chen, H.-C. Du, Y.-S. Li, and W.-C. Chuang, “Network Coded File Sharing in Vehicular Ad-Hoc Networks,” in *IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, Sept. 2012.
- [12] C. Wu, S. Ohzahata, and T. Kato, “A loss-tolerant scheme for unicast routing in VANETs using network coding,” in *IEEE International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, July. 2013.
- [13] SUMO, <http://sumo.sourceforge.net/>.
- [14] NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.