

應用於高效率車輛單點路由協定的交通統計路口圖設計

張英超* 李原嘉 王元芬

國立彰化師範大學資訊工程學系

* icchang@cc.ncue.edu.tw

{s95610034, m96612010}@mail.ncue.edu.tw

摘要—車輛單點路由協定(unicast routing)是車輛隨意網路(Vehicular Ad Hoc Network, VANET)應用所不可或缺的技术。然而,由於車輛網路的特性造成網路拓撲變動劇烈,經常產生車輛網路的分隔(partition),使得傳統的單點路由協定不適用在車輛網路上。先前許多車輛單點路由協定都是基於貪婪法(Greedy)的概念,當車輛收到封包時,根據訂定的各項準則將封包繼續傳送到所選出的「最佳」鄰居車輛,期望能透過一輛輛車間的轉送,成功將封包傳送到目的地。這類的作法已經證明有可能產生非最佳路由或傳輸迴圈的問題,同時也無法應用在分隔的車輛網路上。因此在本文中,我們利用真實可得的電子地圖(e-map)及整體道路交通流量統計資訊,比較車輛間距是否小於等於無線訊號傳輸範圍來篩選出可進行逐次跳躍(hop-by-hop)傳遞的路段,建立一個路口圖(Intersection Graph, IG),進而算出封包在此路口圖上傳遞所經過的最佳路徑。另外搭配我們提出的「區域」(Local)和「時滯容錯網路」(Delay-Tolerant Networking)兩種模式,能夠進行有效率的節點間路徑規劃。相較於 Greedy-based 的路由演算法,這種以路口圖為核心的單點車輛路由協定將達成較低的封包傳輸延遲,較高的封包傳輸成功率,同時減少無線網路資源的消耗。

關鍵詞—車輛隨意網路、車間通訊、電子地圖、單點路徑選擇協定。

一、前言

1999 年美國聯邦通訊委員會 (Federal Communication Commission, FCC) 分配 5.9GHz 的頻譜以供基於智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 的車間

(inter-vehicles) 及路邊 (vehicle-roadside) 存取點 (Access Point, AP) 通訊使用,稱為 DSRC (Dedicated Short Range Communications)[3]。其後 DSRC 被釋出,並許可讓一些車輛上的公用安全和隱私相關的網路應用所使用,至此可謂是車輛網路的開端。而後 IEEE 把它納入 WAVE (Wireless Ability in Vehicular Environments) 的技术中,就是一般所謂的 802.11p[4],規範車輛網路底層的標準。之後又陸續製定了 IEEE 1609[10]-[13]的各項標準,以利於車輛網路其他層的發展。相關的基礎建設 (Infrastructure) 也在北美各地陸續進行。同時,車輛網路也在歐洲掀起研究發展熱潮如 CHAUFFEUR[5]與 CarTalk 2000[22]。而各種車用網路裝備也被預定為不久後的未來車輛的標準備配,車輛網路儼然成為各先進國家的既定發展趨勢。

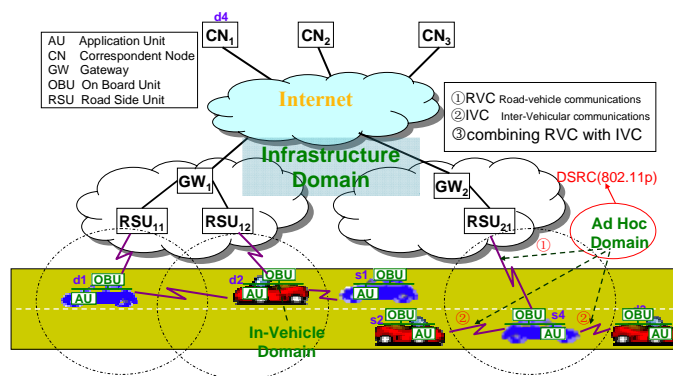


圖 1. 車輛網路的環境架構

一般車輛網路(Vehicular Network)的架構(如圖 1)裡,道路上的車輛除了可以和路邊的 RSU (Road Side Unit) 執行路間通訊

(Vehicle-Roadside Communication, VRC)外，也可透過其他車輛彼此做車間通訊(Inter-Vehicle Communication, IVC)。目前真實的環境中，基礎建設能夠設置足夠的RSU的情況並不普遍，而未來RSU布建也可能依道路的重要性而有疏密之分，或發生故障而無法使用，因此仍必須透過車間通訊的方式，才能達到成功的傳輸。車間通訊是在車輛網路上以行動隨意網路(Mobile Ad Hoc Network, MANET)的方式做資料的傳輸，所以一般會將車輛隨意網路與行動隨意網路相提並論。但車輛網路還是有許多不同於其他無線網路的特性，例如車輛的移動是在既定的道路上，形成特殊的節點分佈；移動速度快，且有明顯相異的移動方向，造成網路拓撲變化劇烈；另外還可能因不同地理區域造成道路交會、車道(lane)數的不同，以及道路上包括紅綠燈在內的交通控制機制，影響網路的傳輸。所以在路徑選擇的設計上，也必須調整或改變其他網路的方法，才可能適合車輛網路的環境。

由車輛網路的應用來看，網路單點傳輸是必備的技術。目前多數的有線及無線網路服務，均使用網路單點傳輸，無論是網頁流覽、線上購物，或是多媒體傳輸等。因此，研究網路單點傳輸在車輛網路上的適用方法是極其重要的。由於車間通訊是使用隨意式無線傳輸，因此在路徑選擇的設計上，常沿用或參考行動隨意網路或無線感測網路(Wireless Sensor Network)的方式。例如使用行動隨意網路的路由協定AODV修改而來的ROMSGP[24]和[25]以及無線感測網路的路由協定GPSR[14]為基本的GPCR[19]、VADD[26]、CAR、GVGrid[23]等。這些研究雖然依照車輛網路和所使用路徑選擇方法的特質做修改，然而卻都僅能改善部份傳輸失敗的情況，或無法確切解決資料傳輸時的迴路(routing loop)問題。所以，本文提出一個利用可信賴的整體道路電子地圖及交通流量統計資訊[2]，篩選出車間距小於無線訊號傳輸門檻值的可靠轉遞路段及路口，建立出以交叉路口為節點的(intersection graph, IG)代替原本以車輛為節點的網路拓撲來選擇無線傳輸路線，將可避免先前研究方法中不必要的傳輸迴路，或是網路出現分隔時以節點移動幫助封包傳遞的時滯容錯網路(Delay-Tolerant Networking,

DTN)模式的延遲時間。

本篇的剩餘部分尚有四段。下一段將談論在適應車輛隨意網路上路徑選擇協定的進展。第三段則介紹本篇的方法，包括使用電子地圖與公開交通流量統計資訊所設計的IG路徑選擇方法，及其路徑中斷時的修復方法。第四段顯示我們的方法和其他方法在模擬上的比較結果。最後是結論。

二、相關研究

在車輛網路上單點路徑選擇協定通常採用下列兩類方法：被動式行動式隨意網路路徑選擇協定(Reactive Ad Hoc Routing Protocol, RARP)和基於目的地位置的路徑選擇協定(Position-Based Routing Protocol, PBRP)。

RARP是行動隨意網路所屬的主動式(proactive)和被動式(reactive)兩類路徑選擇方式中的被動式方法。在[18]中已明確指出，由於車輛網路的拓撲改變過快，主動式的路徑選擇方法會因為頻繁的連結斷裂與新節點的加入，造成過大的傳輸額外消耗(communication overhead)，使得網路效能低下，因此研究趨向於由被動式路徑選擇發展。然而被動式路徑選擇方法如AODV，仍必須在傳送封包之前確認一條傳輸路徑，如果不存在，則使用RREQ(Routing Request)和RREP(Routing Reply)來發現並建立路徑(route)，之後再以RERR(Routing Error)做路徑的維護。這雖然能確定從來源到目的地的完整傳輸路徑，但當路徑中的任何節點相對於整個網路拓撲的位置改變時，都可能造成通訊失敗。例如ROMSGP中，作者觀察出車輛移動的方向及節點連結時間對傳輸的影響，因此提出方向向量及以較長連結時間(link expiration time, LET)的路徑選擇方法，但此種方法仍被限制在車輛密度相當高的情況下，而當傳輸來源和目的地節點間，需要長距離使用不同方向的中間節點時，連結中斷的情形勢必增加。而且使用這一類的方法在建立路徑時

是以泛濫法(flooding)交換節點的訊息，造成大量的網路資源與時間消耗，同時增加無線封包的碰撞(collision)機率，最終造成傳輸效能不佳。

另外一種單點傳輸協定，一般稱為以位置為基礎的路徑選擇方式，是由無線感測網路的路徑選擇方式發展而來的方法，到目前為止文獻量最多。此類的方式通常是以貪婪法(Greedy)和調整過的分區路徑選擇(Face Routing)兩種技術完成。貪婪法是一種不需要記憶，只需要知道本身及目的地端的位置資料的演算法。通常在車輛網路上，假設所有車輛都有全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，可以確實得到必要的地理位置服務(Location Service)。使用這類方法的優點是，所有參與傳輸的節點，都只找出所要轉遞的下一個跳躍(next hop)節點，因此可以避免拓撲改變的影響，同時節點的位置資訊相對新鮮。不需要以泛濫法交換鄰居節點以外的訊息，也不用在傳輸資料前建立路徑，因此網路資源與時間消耗都較屬於 RARP 之類的協定少。然而屬於 PBRP 的方法卻會因為貪婪法是以直線距離判斷是否接近目的地節點，使得路徑的中間節點可能陷入區域最小值(local minimum)的情況，無法繼續往目的地方向轉遞，或因選到間斷的路徑，而必須進入分區路徑選擇模式。而進入分區路徑選擇模式時會造成較大的網路資源消耗，同時可能引起不必要的路徑迴路。但以整體來看，PBRP 的效能仍比 RARP 好得多，也較適合車輛網路。

在 PBRP 的發展方面，一開始的研究著重在測得路徑轉彎時位於道路的交叉路口的車輛(position-anchor, PA)，例如 GPCR 和 CAR 的方法。這些方法都需要額外的計算來確知 PA，若車輛使用電子地圖的資訊，即可不需計算獲得這些資訊，同時避免計算方式不佳所造成的錯誤選擇。另一方面，在[15]中提到，在行動隨意網路是一種間歇連結網路(Intermittent Connected Network, ICN)，網路拓撲的分隔是一種常態。尤其是車輛隨意網路，不但是車輛在道路上快速行

駛，同時又有各項交通設施影響移動行為，造成了即使是有高密度的車輛情形下，依然無法避免通訊的間斷。但上述的文獻中，例如 GPCR 及 CAR，皆將車輛網路視為不會找不到交遞節點的狀態。而在 GVGrid 中雖然提到應選擇有較多車輛的傳輸路徑，以避免網路中斷，卻並未提出當找不到可供傳輸路徑時的有效的策略。在 VADD 中雖然考慮到網路中斷的問題，也以儲存和交遞(carry-and-forward)的方法將封包運送至十字路口後再選擇路徑，卻是以迴路的路徑，來等待傳送至目的地的機會，這種方法可能使傳輸的路徑無限拉長，而增加傳輸的時間及資源的耗費。另外，在近來的文獻中已發展出考慮網路的中斷或利用路口交通資訊的方法。例如 Geopps[16]及 GeoDTN+Nav[7]，運用車輛導航系統(navigation system)產生路線軌道，來判斷應選擇的下一個交遞節點，但車輛的路線軌道除了大眾交通工具外，屬於私人資訊，並不容易取得，可信度也難以判斷。而 OPERA[9]和 CBRP[17]則是認為路口交通資訊對都市格狀車輛網路的重要性，然而 OPERA 必須建立在每個路口都設置固定節點，雖然對車輛資訊的獲得有幫助，卻也可能造成路口附近的傳輸瓶頸而產生新的問題；CBRP 強調路口交通資訊應為即時性的(real-time)，卻沒有提出如何得到這些即時的資訊，而這些資訊是車輛網路上極可能消耗大量資源才能得到的。縱觀以上的路徑選擇方法，都缺乏整體、可靠的資訊來選擇真正穩定的傳輸路徑，造成封包傳輸的損失。

從以上對兩類方法的發展與分析，我們不難發現在車輛網路的路徑選擇上，PBRP 被大量引用的原因。而使用 PBRP 傳輸資料時，如果能從來源車輛到目的地車輛，找出一條完整的路線，上面不乏中繼轉遞的車輛，只要指定封包沿著這條路線，即可保證資料傳輸成功，並可縮短延遲時間。在假設車輛網路上的每輛車都備有電子地圖和 GPS 的情況下，我們可以得到車輛本身和

每一路口的座標位置。以此為基礎，可以很容易地計算出一條從來源車輛到目的地車輛的最短路線。若要確定所選的路線上一定有轉遞的車輛，換言之就是路線上的車間距離必須小於等於無線傳輸的半徑，這樣的資訊就不是上述的假設可以簡單得到。利用現有的道路及交通流量統計資訊，是目前消耗網路資源最小，而最有效獲得車輛網路車間距離的整體資訊的方法。因此，本文將討論如何利用此項統計資訊，提升單點路徑選擇協定的效能。

三、以 IG 為基礎的路徑選擇協定

在這一段中，我們將描繪所提出的路徑選擇方法。最重要的部分在於事先處理一份真實且可得的道路及交通流量統計資訊，以得到各個路段的平均車間距，再設無線傳輸的半徑為門檻值，篩選出可供無線傳輸的路段，配合電子地圖與 GPS 找出這些路段的路口當作節點，建立靜態的 IG，替代快速移動的車輛所形成的動態車輛網路，藉以形成穩定的無線傳輸路徑。

(一) 前置處理

一開始，我們將臺北市交通管制工程處提供的交通流量資料做分析。資料包含基本、調查、圖等各部分。基本部分記載所調查資料的站名、車道數、路口簡圖，並註明是否有禁止轉彎的方向，依照簡圖，可以於地圖上標出路口的位。調查部分則記錄路口各方向在各時段內的累計經過的車輛數目。由於這些資料原先的目的是為了調查車流量對交通瓶頸的影響，所以將所有車輛轉換成小客車單位(PCU)對交通流量影響的權重。而我們的方法則是要以車輛總數推算出平均車間距，藉以判斷該路段能否以逐次跳躍的方式來進行無線傳輸。所以是將未來最可能有車輛網路設備的大型車及小型車，不換算成 PCU 的方式來計算。重新整理之後的調查資料如圖 2(a)及圖 2(b)，配合圖 3(a)與圖 3(b)的圖示，可以計算出杭州南路與愛國東路交叉路口到金山南路與愛國東路交叉路口之間這段東西向道路的車流量。

圖 3(a)是杭州南路與愛國東路交叉路口(站

牌編號 SI081)的圖示。圖中的 A、B、C、D 各代表此路口四個方向的路段，配合圖 2(a) 各方向於調查時間內的調查資料，車輛前往不同方向的數量可以計算出往 A 的車流量是由 B 右轉的 117 輛車(0 輛大型車與 117 輛小型車的和)，加上由 C 直進的 755 輛車(0 輛大型車與 755 輛小型車的和)，再加上由 D 左轉的 0 輛車，合計為 872 輛車，也就是杭州南路與愛國東路交叉路口往東的車流量。以此類推，我們可以用圖 3(b) 配合圖 2(b)計算出金山南路與愛國東路交叉路口往西的車流量(565 輛)。將兩方向車輛數相加(872 + 565)就是此段道路在調查期間的車流量總和。

SI081

時間	方向	左轉		直進		右轉	
		大型車 (輛)	小型車 (輛)	大型車 (輛)	小型車 (輛)	大型車 (輛)	小型車 (輛)
08:00	A	0	0	3	299	4	96
	B	19	81	13	714	0	117
09:00	C	1	680	0	755	0	0
	D	0	0	0	0	0	0

圖 2 (a) 道路及交通流量統計資料：杭州南路與愛國東路交叉路口

SI084

時間	方向	左轉		直進		右轉	
		大型車 (輛)	小型車 (輛)	大型車 (輛)	小型車 (輛)	大型車 (輛)	小型車 (輛)
08:00	A	0	10	0	179	1	99
	B	9	181	27	949	0	72
09:00	C	4	328	1	194	2	131
	D	0	49	19	547	3	193

圖 2 (b) 道路及交通流量統計資料：金山南路與愛國東路交叉路口

以此車流量當作是時間 t 該方向路段測量的總車輛數 N_{veh} ，測量期間的總時數為 T_{total} ，平均車速為 V(如最高速限在幹道為 50 公里/小時，巷道則為 30 公里/小時)，計算出平均車間距 D_{veh} ，如方程式(1)所示。

$$D_{veh} = \frac{T_{total}}{N_{veh}} \times V \quad (1)$$

假設這段東西向道路路段為幹道，平均車速

為 50 公里/小時，由方程式(1)可以得到其車間距為 $\frac{1}{1437} \times 50 \times 10^3 \cong 34.8$ (公尺)。

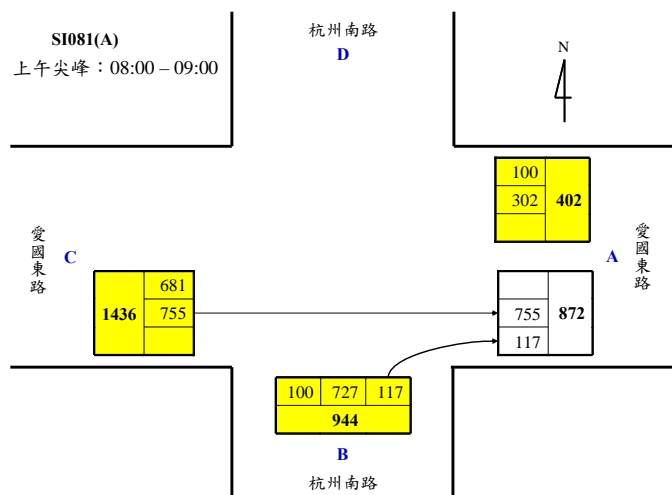


圖 3 (a) 道路及交通流量統計圖示：杭州南路與愛國東路交叉路口

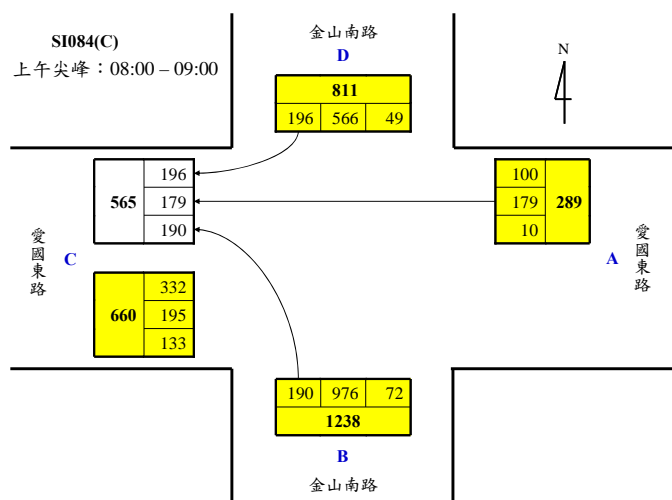


圖 3 (b) 道路及交通流量統計圖示：金山南路與愛國東路交叉路口

當每路口的資料依上述方法處理完後，我們設 IEEE 802.11p 的傳輸半徑 R 為最大車間距門檻值，如程式(2)。

$$R \geq D_{veh} \quad (2)$$

由(1)與(2)兩個方程式計算篩選的結果，即可在電子地圖上進行 IG 的建立。定 R 為車間距門檻值作為篩選可靠傳輸路段，是因為當 $R \geq D_{veh}$ 時，即表示這段道路的車間距，能以車

間多個跳躍的無線傳輸來傳送封包，因此這個路段的兩個路口都成為 IG 中的節點。

(二) IG 的建立與最短 IG 樹

將所有車間距小於或等於 R 者，資料路口標於電子地圖上(如圖 4.)，以兩相鄰路口之間的路段(road segment)視為 IG 的邊(edge, E)，邊的端點路口當作 IG 的節點(node, vertex, V)。測量相鄰兩 IG 節點正中央位置之間的距離當作是邊的長度 L ，定義權重(weight)為 L/R 取整數，有餘數者加一，即傳輸的跳躍數(hop count)，以此做出一個具有權重的圖， $IG = (V, E)$ 。我們在 IG 模式時，以 IG 取代以往用車輛為節點的網路拓撲來做路徑選擇。



圖 4. 在電子地圖上建立 IG

來源車輛完成 IG 的初始化後，先讀取全國路況資訊中心[1]的路況資訊，並檢查是否有安全性訊息(safety message)需要修改資料而造成原有的穩定路段中斷。接著在 IG 上分別找出來源車輛及目的地車輛鄰近的 IG 節點，以最接近來源車輛的當作來源節點，離目的地車輛最近的當作目的地節點。若有兩節點距離相同，則選擇能使來源節點與目的地節點相距的直線距離最近者。來源及目的地節點設定完成後，利用 Dijkstra 演算法[8] 建立連結狀態(Link State)路徑(如圖 5.)，也就是說做最短路徑樹。

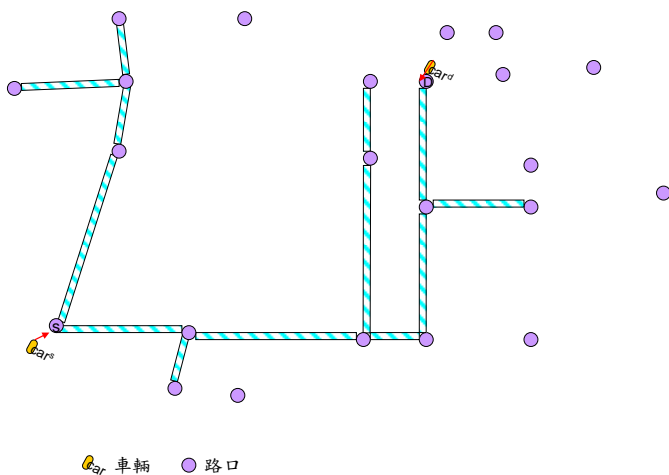


圖 5. 在 IG 上以連結狀態(Link State)建立的最短路徑樹

以 IG 來代替車輛建立最短路徑樹的方法可以避免不必要的繞路(loop)和需要使用車輛移動來攜帶封包的 DTN(Delay-Tolerant Networking)模式的時間。也就是說只要有路徑可傳就一定傳得到，而且時間延遲較少，只有在 IG 為非連通圖的時候才真正需要 DTN 模式。而因為 IG 中的節點是靜態不動的，所以可以避免網路拓撲改變對所選路徑的影響。有整體而可靠的依據判斷路徑是否最短與路徑上是否有車輛可供傳輸。來源車輛不需要做(flooding)或發出封包蒐集路徑資料找路，僅需使用車流量的統計資料計算。一般計算所需的時間較傳輸無線封包要來得快。另外，假設 IG 的節點之間都必須有一個跳躍以上的距離才傳得到，則 IG 最短路徑的計算量也會較以車輛為網路拓撲為少。

(三) 區域模式， IG 模式以及 DTN 模式

使用 IG 建立完成最短路徑樹後，從來源車輛到目的車輛的資料傳輸，可能有三種模式(圖 6)：局部區域模式(Local mode)、IG 模式(IG mode)以及時滯容錯網路模式(DTN mode)。局部區域模式是來源車輛到達 IG 最短路徑樹，或最終即將到達目的地車輛時，由於兩者皆有可能並不在 IG 路徑上，因此直接以貪婪法來找出連接到 IG 或目的地車輛的路徑。IG 模式即是在 IG 上建出的最短路徑上，車輛將沿著此路徑，以貪婪法傳資料封包給不特定的單一車輛做轉遞(forward)，這將是三種模式中，最省耗費的一個模式。

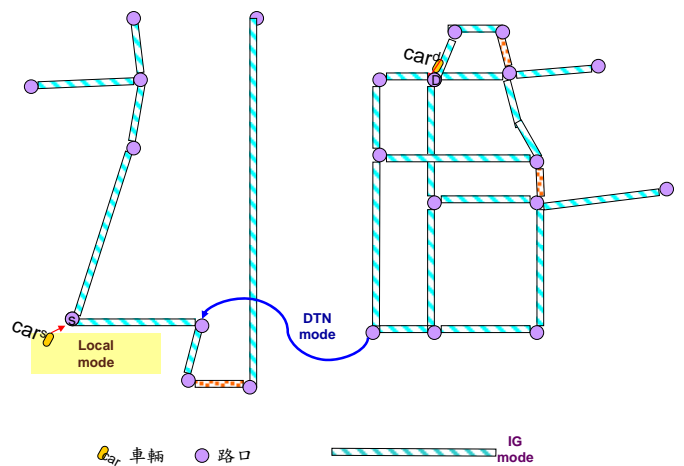


圖 6. 區域模式， IG 模式與 DTN 模式

最後的時滯容錯網路(DTN)模式是當 IG 來源節點和目的地節點不能建立一條最短路徑時，也就是說，兩節點位在不同的分隔(partition)時，就必須藉由車輛本身的移動來攜帶封包，在此模式我們使用 Geopps 與 GeoDTN+Nav 的方法，利用公車來攜帶封包，因為公車有固定可得的路線與發車時間，近年 e-化公車資訊，甚至可得到公車位置的及時資訊，而本論文所使用的資料正是為公車路線車流量做統計，更可增添適用性。每兩個分隔間的路口對應關係，則可以利用 [6] 的方法，IG 節點間有公車到另一分隔的路線時，視為此 IG 節點可移動到另一分隔，以路線距離除以公车的平均車速後，再加上需等待公車前來的時間為基數，選出最小基數的兩 IG 節點連線為 DTN 模式的路線，可以得到最短的 DTN 傳輸時間。

(四) 傳輸中的最短路徑的修復

由於我們提出的方法所使用的資料是靜態的固定資料，雖然有易於取得、可靠性高且不需經常更新的傳輸消耗等重要優點，然而也因此可能和即時的交通情況不完全相同。除了在前面提到的可先查詢路況資訊再做 IG 路徑的計算外，一旦真正在傳輸時發生中斷，也僅需要將封包傳回前一 IG 節點路口，重新計算可行的傳輸路線，即可再傳送此封包，不至發生大量的封包遺失的情況。

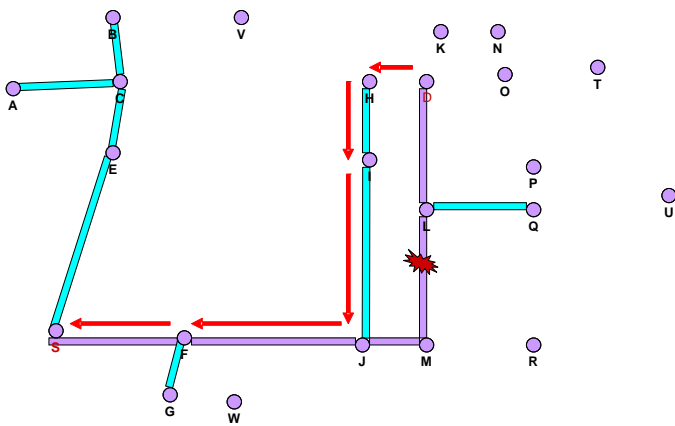


圖 7. 最短路徑的修復

四、分析與模擬

接下來我們將評估所提出的方法，並與 AODV、DSR 以及 GPSR 做比較。我們提出的方法是以真實的交通流量統計資訊為基礎，因此也以真實道路圖(圖 8)及統計資料來進行模擬。



圖 8. 模擬的道路與相對應的調查路口

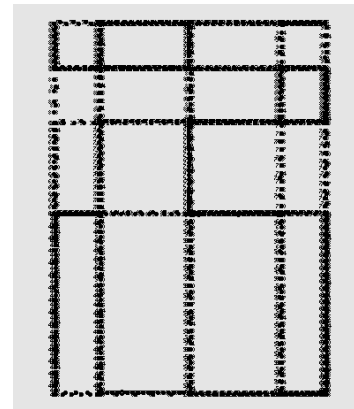


圖 9. 模擬的網路拓撲

圖 9.為模擬時的網路拓撲，道路中的車間距是以真實資料計算後所得。其他模擬參數設定如表 1.，使用模擬工具為 NS2。

表 1. 模擬的參數設定

項目	設定值
車輛數目	981 (輛)
模擬時間	10 (s)
訊號範圍	250 (m)
網路大小	4300 x 4300 (m)
CBR 傳送位元比率	1.0 (Mbps)
CBR 傳送間距	0.1 (s)
CBR 封包大小	1024

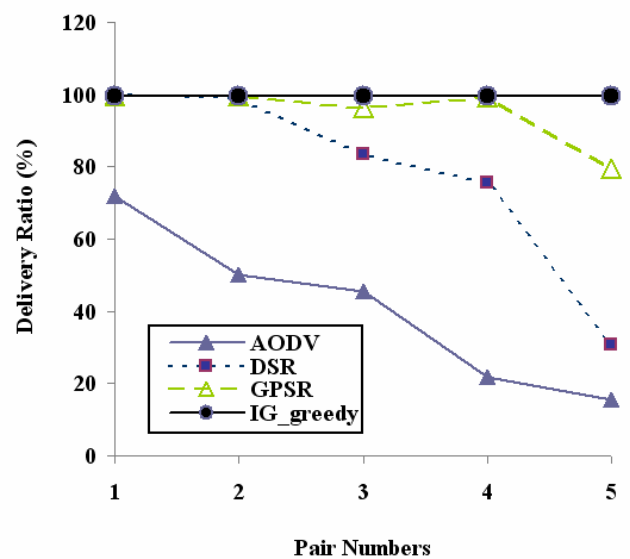


圖 10. 不同送收對數的封包傳輸率

實驗的結果可以由圖 10 看出，屬於 RARP 的 AODV 和 DSR 兩種方法，封包傳輸率明顯低於 GPSR 及我們所提出的方法，並且快速遞減。圖 11 放大 GPSR 及我們所提出的方法的比較，可以看出 GPSR 在封包送收對數很少的時候，可以表現得很好，但是當對數增加時，封包傳輸率也明顯的開始下降。封包的傳輸延遲時間的結果如圖 12，GPSR 及我們所提出的方法也有顯著的優勢。如此證明我們所提出的方法是需於其他的方法。

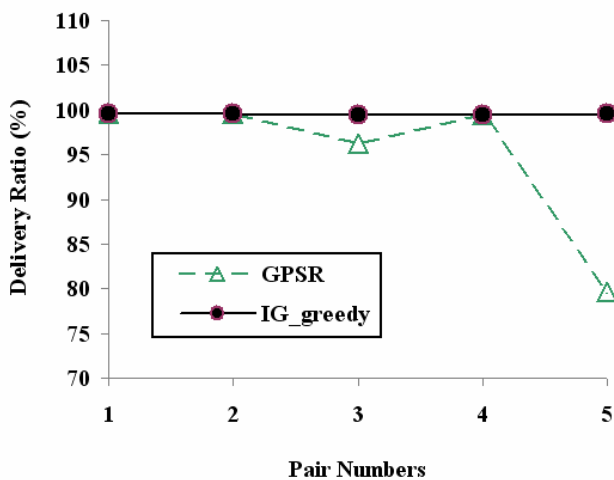


圖 11. 放大 GPSR 與 IG-greedy 的不同送收對數的封包傳輸率

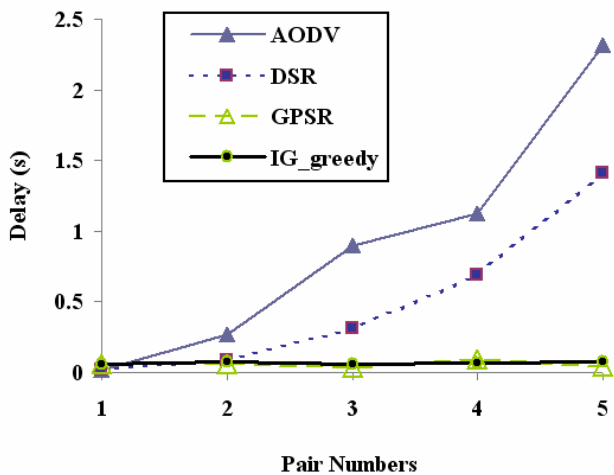


圖 12. 不同送收對數的傳輸延遲時間

五、結論與未來方向

在本文中，我們提出一個以 IG 觀念為基礎，並配合「區域」和「時滯容錯網路」兩種模式，設計出完整高效率的單點路徑選擇協定。IG 觀念是以完全公開交通統計資料做出建立一個路口圖，進而算出封包在此路口圖上傳遞所經過的最佳路徑。此次的實驗我們是以交通尖峰時間車流統計資料為數據，未來將以此方法應用在計算交通離峰時的適用性。

六、參考文獻

- [1] 全國路況資訊中心 <http://e-traffic.iot.gov.tw/>
- [2] 臺北市交通管制工程處全球資訊網 http://www.bote.taipei.gov.tw/06_sub03.asp
- [3] ASTM E2213-02, Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems—5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, July 2003.
- [4] L. Armstrong and W. Fisher, Status of Project IEEE 802.11 Task Group p: Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE), January 2009.
- [5] C. Bergese, A. Braun, and E. Porta, “Inside CHAUFFEUR”, in Proceedings 6th ITS World Conference, Toronto, Canada, November 1999.
- [6] J. Boice, J. Garcia-Luna-Aceves and K. Obraczka, “Combining On-demand and Opportunistic Routing for Intermittently Connected Networks”, Elsevier Ad Hoc Networks Journal, vol. 7, no. 1, pp. 201-218, January 2009.
- [7] P. Cheng, K. Lee, M. Gerla and J. Harri., “GeoDTN+Nav: A Hybrid Geographic and DTN Routing with Navigation Assistance in Urban Vehicular Networks”, in Proceedings of the 1st Symposium on ISVCS'08, July 2008.
- [8] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest and C. Stein, Introduction to Algorithms. New York: McGraw-Hill, 1990, ch. 24.
- [9] M. Ghaffari and F. Ashtiani, “A New Routing

- Algorithm for Sparse Vehicular Ad-Hoc Networks with Moving Destinations”, in Proceedings of IEEE WCNC, pp. 1-6, April 2009.
- [10] IEEE Standard 1609.1-2006, Trial-Use Standard for WAVE – Resource Manager, IEEE Vehicular Technology Society, October 2006.
- [11] IEEE Standard 1609.2-2006, Trial-Use Standard for WAVE - Security Services for Applications and Management Messages, IEEE Vehicular Technology Society, July 2006.
- [12] IEEE Standard 1609.3-2007, Trial-Use Standard for WAVE – Networking Services, IEEE Vehicular Technology Society, April 2007.
- [13] IEEE Standard 1609.4-2006, Trial-Use Standard for WAVE - Multi-channel Operation, IEEE Vehicular Technology Society, November 2006.
- [14] B. Karp and H. Kung, “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks”, in Proceedings of ACM MobiCom, pp. 243–254, August 2000.
- [15] E. Kuiper and S. Nadjm-Tehrani, “Geographical Routing in Intermittently Connected Ad Hoc Networks”, in Proceedings of IEEE AINAW, pp. 1690-1695, March 2008.
- [16] I. Leontiadis and C. Mascolo, “GeOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks”, in Proceedings of IEEE WoWMoM’07, pp. 1 - 6, June 2007.
- [17] T. Li, Y. Li and J. Liao, “A Contention-Based Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments”, in Proceedings of IEEE ICDCS, pp. 482-487, April 2009.
- [18] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, H. Fussler, D. Hermann and M. Mauve, “A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments”, in Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV03), pp. 156-161, June 2003.
- [19] C. Lochert, M. Mauve, H. Fussler and H. Hartenstein, “Geographic Routing in City Scenarios”, in Proceedings of ACM SIGMOBILE Review, vol. 9, no. 1, pp. 69-72, January 2005.
- [20] V. Naumov and T. Gross, “Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad Hoc Network”, in Proceedings of the 26th IEEE INFOCOM, pp. 1919-1927, May 2007.
- [21] C. Perkins and E. Royer, “Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing”, in Proceedings of IEEE WMCSA, pp. 90-100, February 1999.
- [22] D. Reichardt, M. Miglietta, L. Moretti, P. Morsink, and W. Schulz, “Cartalk 2000—Safe and Comfortable Driving Based Upon Inter-Vehicle Communication”, in Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV02), June 2002.
- [23] W. Sun, H. Yamaguchi, K. Yukimasa, and S. Kusumoto, “GVGrid: A QoS Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks”, in Proceedings of the 14th IEEE Quality of Service, pp. 130-139, June 2006.
- [24] T. Taleb, E. Sakhaee, A. Jamalipour, K. Hashimoto, N. Kato, and Y. Nemoto, “A Stable Routing Protocol to Support its Services in VANET Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 56, no. 6, pp. 3337–3347, November 2007.
- [25] S. Wang, C. Lin, Y. Hwang, K. Tao and C. Chou, “A Practical Routing Protocol for Vehicle-Formed Mobile Ad Hoc Networks on the Roads”, in Proceedings of the 8th IEEE Intelligent Transportation Systems, pp. 161–165, September 2005.
- [26] J. Zhao and G. Cao, “VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 3, pp. 1910-1922, May 2008.