

國立臺灣大學電機資訊學院資訊工程學系

碩士論文

Department of Computer Science and Information Engineering

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Taiwan University

Master Thesis

整合道路交通模擬器和網路模擬器：

建立一個真實車輛網路模擬

Building a Realistic Vehicular Network Simulation:
the Integration of the Road Traffic Simulator and the
Network Simulator

王朝盛

Chao-Sheng Wang

指導教授：蔡欣穆 博士

Advisor : Hsin-Mu Tsai, Ph.D.

中華民國 101 年 8 月

August, 2012

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

整合道路交通模擬器和網路模擬器：建立一個真實車輛網路模擬

Building a Realistic Vehicular Network Simulation: the
Integration of the Road Traffic Simulator and the Network
Simulator

本論文係王朝盛君（學號 R98922155）在國立臺灣大學資訊工程學系完成之碩士學位論文，於民國 101 年 7 月 6 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

蔡以飛

（指導教授）

邊愛君

王得智

蘇雅韻

許永英

系主任

誌謝

能夠完成研究所的學業及論文的撰寫，需要感謝的人很多：老師、同學、朋友和家人。若不是這些人的幫助，我的研究所之路，肯定會是一條困難重重的關卡。

首先，我要感謝的是我的指導教授蔡欣穆老師，在這兩年中，無論是學業、研究、或是生活上，都能感受到老師的細心教導、鼓勵及協助。每當研究有了瓶頸時，老師都會提供我想法和積極地與我討論這當中的困難點所在，並指引我如何去解決問題。而且在口試及論文的撰寫期間，老師在百忙之中，還抽空幫忙聆聽口試內容及修改論文的内容並給予意見，讓我非常的感動，深深地感受到老師的熱心及做研究的熱忱。在這段期間，還要感謝名蔚同學的幫助，每次遇到困難，都會陪我討論研究的方法及方向。接下來要感謝小小郭學弟，協助我撰寫和討論程式邏輯架構，且幫忙解決程式的錯誤，才能讓我順利地完成程式撰寫部份。最後要感謝我的父母和妹妹，給予生活上的支援，以及一直以來的鼓勵，才能讓我安心的完成學業。當然，免不了要感謝生活當中的朋友們加油打氣，如果沒有你們的陪伴，這研究所生涯之中，肯定是枯燥乏味的。

最後還要感謝實驗室的學弟妹們，因為有大家的一起奮鬥，也讓我從中學到了許多新知識。在此，由衷的感謝所有幫助過和陪伴我的人，祝福所有人前程似錦、且健康快樂。

朝盛

2012/08/09

中文摘要

在近年來許多車輛隨意網路(VANETs)之研究中，主要的應用為資訊傳播和交通安全服務。然而，許多網路協定(network protocol)和系統設計相關的 VANETs 的研究中，效能的評估通常沒有使用真實的交通流資料，因此，由這些研究衍生出來的設計，實際上在現實世界中可能無法獲得良好的效能。VANETs 的節點(即車輛)具有許多特性：它們擁有高移動性、網路拓撲結構往往迅速變化、車輛運動需要按照道路交通規則和遵守交通標誌。因此，交通移動模式的真實性對 VANETs 模擬的真實性有顯著的影響。

本論文之研究目的為提出一個整合模擬架構，以供研究 VANETs 車間(Inter-Vehicle Communication, IVC)通訊時使用。此一架構整合交通移動模擬器與網路模擬器。交通移動模擬器產生真實的交通移動資訊：如車輛的位置和速度，再將此資訊即時回饋給網路模擬器。以此方式，網路模擬器能夠更真實地模擬車輛移動時之通訊。具有真實的交通流資訊，能夠讓研究人員在 VANETs 網路協定、系統和應用程式的研究和設計更接近現實。在本研究中，我們實作城市交通模擬(Simulation of Urban Mobility, SUMO)[2](如交通移動模擬器)和 OPNET Modeler[12](網路模擬器)的整合，以實現此一架構。

在本論文的第二部份，我們利用所開發的架構，探討網路攝影機應用的可行性。在此應用中，裝有攝影機的車輛，可以利用車間通訊，將所拍攝到的即時影像傳送給鄰近的車輛，提供鄰近車輛駕駛觀察視頻，並作出相關的反應。此一應用在駕駛者的視線被阻擋時特別有用，功能類似於安裝在路邊的反射鏡，但幾乎可以在任何地點使用。我們使用本研究開發的模擬工具，於城市場景中有交通標誌之路口、城市場景中沒有交通標誌之巷道和高速公路的三種情境中，模擬此應

用，並調整不同的參數：如車輛密度、連結資料傳輸速率、影像解析度等，在不同的設置下比較系統的效能，對封包傳輸率和端到端延遲等性能指標，進行測量和比較。結果顯示，此一應用的服務品質，深受車輛密度的影響，因而容易由周邊的道路結構和交通標誌狀態所改變。此外，在大部份的狀況下，系統需要使用較高的 36 Mbps 連結傳輸速率，以達到駕駛者可以接受的影像品質。

關鍵詞：車輛隨意網路、網路模擬器、道路交通模擬器、車間通訊、效能分析



英文摘要

Recently, the applications of Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) in many existing researches have mainly been related to information distribution and traffic safety. However, in the researches that aim at designing the network protocols and systems for VANETs, performance evaluation usually does not utilize realistic traffic flow data; therefore, the derived design might actually not perform well in the real world. In VANETs, the nodes, i.e., the vehicles, have many unique features: they have high mobility, and the topology often changes rapidly; the movements of the vehicles need to follow the general traffic rules and obey the traffic signs. As a result, how realistic the traffic mobility model is can have significant impact on whether the simulations of VANETs are sufficiently realistic.

The main goal of this thesis is to build an integrated simulation framework, which can be utilized to study the Inter-Vehicle Communications (IVC) in VANETs. The framework integrates a traffic mobility simulator and a network simulator; in the framework, the traffic mobility simulator generates realistic traffic mobility information, such as the location and the velocity of the vehicles, and feeds it to the network simulator in real-time. The network simulator would then be able to model the communications between moving vehicles in a more realistic way. This enables the researchers to study and design the network protocols, systems, and applications in VANETs in a setting closer to the reality – with realistic traffic flow information. In this research, we implement the integration of Simulations of Urban Mobility (SUMO) (as the traffic mobility simulator) and OPNET Modeler (as the network simulator) to realize

this framework.

In the second part of this thesis, we utilize the developed framework to investigate the feasibility of the networked camera application. In this application, cars with cameras can utilize the IVC to send the captured video to neighboring vehicles, whose drivers can then observe the video and react accordingly. This is especially useful when the view of the driver is blocked; the functionality is similar to the mirror installed at the side of the road, but could serve the purpose at almost any location. We simulate this application in 3 different scenarios with the developed framework: intersections with traffic signals, intersections without traffic signals in the urban area, and a highway scenario, and adjusted various parameters, such as vehicle density, link data rate, and video resolution, to compare the system performance in different settings. Performance metrics such as packet delivery ratio and end-to-end delay are measured and compared. The results show that the quality of service of the tested application is strongly affected by the vehicle density, which is determined by the neighboring road structure and the traffic light status. We also found that in most applicable scenarios, it is required to use a link data rate as high as 36 Mbps so that the video quality is acceptable for the driver.

Keywords: VANET, road traffic simulator, network simulator, inter-vehicle communication, performance evaluation

目錄

誌謝	iii
中文摘要	iv
英文摘要	vi
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	5
1.4 研究流程	6
第二章 文獻回顧	7
2.1 車輛隨意行動網路(Vehicular Ad hoc Network, VANET)	7
2.2 車輛隨意網路之移動模型	9
2.3 整合網路模擬與交通模擬之間的研究	12
2.3.1 離線型的單向孤立運作模式	12
2.3.2 緊密的嵌入式運作模式	14
2.3.3 連線型的雙向聯合運作模式	15
2.3.4 緊密集成運作模式	16
第三章 網路模擬與道路交通模擬的整合架構	18
3.1 簡介道路交通模擬器和網路模擬器	18
3.2 SUMO 的交通控制界面(Traffic Control Interface, TraCI)	21
3.3 A Process Model and A TraCI Client Process Model	26
3.4 OPNET 中節點的移動資訊	29
3.5 OPNET 與 SUMO 的整合流程步驟之說明	33
第四章 模擬實驗	37
4.1 模擬實驗場景描述	37
4.1.1 城市場景中具交通號誌十字路口轉彎之情境	39
4.1.2 城市場景中不具交通號誌巷道轉彎之情境	40
4.1.3 高速公路變換車道之情境	41
4.2 實驗模擬環境參數設置	42
4.3 模擬實驗結果分析	46
4.3.1 城市場景中具交通號誌十字路口轉彎之情境	47
4.3.2 城市場景中不具交通號誌巷道轉彎之情境	52
4.3.3 高速公路變換車道之情境	57
第五章 結論與未來展望	65
5.1 結論	65
5.2 未來展望	66
參考文獻	67

圖目錄

圖 1-1 2000-2010 年中華民國交通部統計道路交通事故	4
圖 1-2 1975 - 2009 年美國交通部統計道路交通事故[32].....	4
圖 1-3 歐盟 25 國交通事故死亡、傷害和受傷人數表，1997 年- 2006 年[33].....	5
圖 1-4 研究流程圖	6
圖 2-1 車輛隨意網路之移動模型策略與技術發展歷史 [9].....	10
圖 2-2 車輛移動模型的分類.....	11
圖 2-3 交通模擬器和網路模擬器之間的作用：獨立運作模式.....	13
圖 2-4 MOVE 的架構示意圖	14
圖 2-5 嵌入式運作模式.....	14
圖 2-6 雙向聯合運作模式.....	15
圖 2-7 緊密集成運作模式.....	16
圖 3-1 由左至右 宏觀、中觀(左上圓圈)、微觀和亞微觀分類[2]	18
圖 3-2 OPNET 的三層模型階層圖 [12].....	20
圖 3-3 OPNET 統計分析工具.....	21
圖 3-4 網路模擬器和交通模擬器的系統架構圖.....	22
圖 3-5 TraCI 訊息格式[13].....	22
圖 3-6 A process model of OPNET Modeler [12].....	27
圖 3-7 A TraCI-Client Process Model	28
圖 3-8 客戶端程序模型中儲存 OPNET 可移動節點相關資訊 資料結構.....	29
圖 3-9 SUMO node 資料結構	29
圖 3-10 SUMO 設定位置和 OPNET 網路事件時間關係	33
圖 3-11 A TraCI-client process model 流程圖.....	36
圖 4-1 攝影機輔助車輛(Camera-Aided Vehicle)示意圖.....	38
圖 4-2 城市場景中有交通號誌之十字路口轉彎情境.....	39
圖 4-3 城市場景中沒有交通號誌巷道轉彎之情境.....	40
圖 4-4 高速公路變換車道之情境.....	41
圖 4-5 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同車輛密度的封包傳輸率.....	47
圖 4-6 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同車輛密度的端到端延遲.....	48
圖 4-7 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同傳輸速度的封包傳輸率.....	49
圖 4-8 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同傳輸速度的端到端延遲.....	50
圖 4-9 在城市場景中十字路口轉彎之情境，不同影像解析度的封包傳輸率.....	51
圖 4-10 在城市場景中十字路口轉彎之情境，不同影像解析度的端到端延遲.....	52
圖 4-11 城市場景中巷道轉彎之情境，不同車輛密度的封包傳輸率.....	53
圖 4-12 城市場景中巷道轉彎之情境中，不同車輛密度的端到端延遲.....	54
圖 4-13 城市城景中巷道轉彎之情境，不同傳輸速度的封包傳輸率.....	55
圖 4-14 城市場景中巷道轉彎之情境，不同傳輸速度的端到端延遲.....	55

圖 4-15 城市場景中巷道轉彎之情境中，不同影像解析度的封包傳輸率.....	56
圖 4-16 城市場景中巷道轉彎之情境中，不同影像解析度的端到端延遲.....	57
圖 4-17 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度封包傳輸率(前車).....	59
圖 4-18 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度的封包傳輸率(後車).....	59
圖 4-19 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度的端到端延遲(前車).....	60
圖 4-20 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度的端到端延遲(後車).....	61
圖 4-21 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的封包傳輸率(前車).....	62
圖 4-22 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的封包傳輸率(後車).....	62
圖 4-23 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的端到端延遲(前車).....	63
圖 4-24 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的端到端延遲(後車).....	64



表目錄

表格 3-1 Simulation Step [13]	23
表格 3-2 Subscription Responses[13]	24
表格 3-3 Command : Subscribe ... Variable[13]	25
表格 3-4 Response : ... Subscription Respond [13].....	25
表格 3-5 A Part of Overview Retrievable Vehicle Variables[13].....	25
表格 3-6 A Part of Overview Retrievable Simulation Variables[13]	26
表格 4-1 網路模擬器參數設置	43
表格 4-2 城市場景中十字路口轉彎和巷道轉彎之情境，車輛的參數設置.....	44
表格 4-3 模擬高速公路之情境車輛設置參數.....	44
表格 4-4 各模擬情境中的車輛密度.....	45



第一章 緒論

1.1 研究背景

近年來，交通道路日趨完整稠密，汽機車成為通勤、洽公和旅遊的代步工具。由於行動無線通訊技術的進步，結合通訊及資訊的技術將數位服務應用於車輛內的研究議題，也就相繼而生。在城市道路網路中，移動節點之間的無線通訊，可實現重要的應用：包括道路交通與行車安全、即時交通流量監測、十字路口的交通引導和協調、防碰撞預警系統和行車娛樂等應用。當在模擬中評估車輛隨意行動網路(Vehicular Ad-hoc Networks, VANETs)應用之系統效能時，使用真實的移動模型，為一至關重要的因素。

移動模型的獲取方式之一為從真實的世界中，使用攝影機或雷射測距儀實際測量的方式取得；不過資料取得不易且資料內容複雜，事後需要花費大量時間分析結果。另一種方式為使用道路交通模擬器，產生移動軌跡之輸出檔，兩者皆可以輸入檔的方式在網路模擬環境中使用。為了加快網路模擬的效能，軌跡文件通常是使用道路交通模擬器以離線的方式產生。然而，無論是使用道路交通模擬或從現實中觀測而得到的離線移動軌跡，都只能模擬道路交通對網路的影響，而無法模擬從網路得到對道路交通的影響。

研究 VANETs 的協定和應用之效能最真，莫過於在真實的道路環境中實驗。但是此方法具有缺點如建立大規模網路節點所需之大量時間及人力，無法重複相同場景進行重複的實驗等。因此，大多數狀況下只能利用模擬進行研究。一個真實的 VANETs 模擬，包含了道路交通模擬 (road traffic simulation) 和網路模擬 (network simulation)。為了要建立符合複雜且真實的模擬環境，這兩套模擬軟體通

常都是分散獨立研究及開發而成的。近年來，這兩大領域中，研究者都取得豐碩的研究成果和實際產品，在道路交通模擬器中著名的有 SUMO[2], VISSIM[15]和 VanetMobiSim[16];網路模擬器中著名的有 NS2[17], OPNET[12], OMNET++[18]等。

道路交通模擬器 SUMO，是一個由德國航空航天中心開發的，微觀、多模型、連續的空間和時間離散的汽車運動的道路交通模擬軟體。它是開放源碼的，使用標準的 C++ 資料庫，高度可攜性。可模擬不同的車輛類型、模擬換車道的多車道的街道、模擬不同的路權規則，交通信號燈，可導入多種實際地圖資料模擬實際地理環境，可逼真的模擬各種大規模交通場景，規模直至上萬條街道。

OPNET 是以離散事件模擬引擎為基礎的網路分析模擬軟體，用於設計和研究通信網路、設備、協定和應用。以物件為階層方式建模方法和圖形化的編輯器，反映了實際網路和網路模組的結構，實際中的系統可以直觀的映射到模型中。能夠快速地建立起現有網路的模型，並能夠方便地修改模型並進行模擬。

1.2 研究動機

VANETs[5]是行動隨意網路 (Mobile ad-hoc Network, MANET) 的一種延伸，由於許多特性與 MANETs 有顯著不同，因此無法一一套用 MANET 的特性與研究成果。VANETs 的關鍵特徵在於節點的高速移動，移動之自由度受限於實際的道路地圖。節點的拓撲迅速變化，受限於都市和郊區的節點密度疏密及速度的快慢，使得網路協定和應用程式的評估，與節點的移動模型有直接的相關。

模擬 VANETs 網路的最重要參數之一是節點的移動性。為了要反映真實世界

中車輛移動的行為模式，使用真實的移動模型模擬，VANETs 的網路模擬可以反映較真實的車輛行為。一個真實的移動模型應包括現實的拓樸地圖，它反映了不同的道路密度和不同種類的車速限制的街道。另一個重要的參數之一是障礙物，在現實世界中，建築物、樹木或其它物體分開的街道，是限制或規範節點的移動方向。然而，此類障礙物，往往是增加節點之間的平均距離。除此之外，每輛車在十字路口時，選擇的行駛方向，可能會造成道路的壅塞和車輛密度的增加，而網路的通訊品質和維持無線鏈路的連結能力，都會與此有密切的關係。

以通訊層面而言，資訊的傳播效率和可靠性的優劣，因距離由近至遠造成的，然而通訊密度高時，頻繁的廣播，則容易造成彼此之間的干擾，會使應用服務效益降低。先前的研究[21]表明，足夠細節的真實移動模型，是得到準確網路模擬的關鍵。因此整合網路模擬和道路交通模擬，透過不同的交通特性和模擬不同的車流密度，觀察對網路品質之影響，對於設計 VANETs 網路的協定和應用程式，是一研究動機。

根據 2000-2010 年台灣交通部交通事故死亡人數統計[29]，如圖 1-1 所示，從 2000-2010 年之間台灣每年平均約 3000 人因交通事故而死亡。根據交通部公佈最新統計，2011 年 A1¹ 類道路交通事故死亡人數為 2117 人，比 2010 年增加 3.4%，交通部調查發現，2011 年 A1 類道路交通事故中，以當事人乘坐車種觀察，騎機車死亡人數為 1242 人，58.7% 為最多，而行人及汽車事故死亡分別占 11.9% 及 9.4%，而自用小客車事故死亡占 8.4%。根據美國交通部統計[31]，如圖 1-2 所示，從 1975-2009 年之間美國每年平均約 35,000 人因交通事故死亡。2009 年的死亡人數比 2008 年下降 9.9%，乘員傷亡率每十萬人口（包括機車），從 1988 年的 13.6% 下降到 1992 年，從 1992 年至 2009 年下降 40.0%。從 1975 至 2009 年，每 10 萬人口

¹ A1 事故是指人員當場或 24 小時內死亡

的非乘員的死亡率已經下降了 60.2%。根據歐洲道路安全觀測站[32]2008 年的年度統計報告，從 1997-2006 年之中，每年平均約 50,000 人在交通事故中死亡；每年約 1,300 件交通事故；每年約 1,700 人次受傷。本研究希望能提供 VANET 研究所需工具，在設計網路協定及開發車輛應用時，能以真實的方式評估效能，以期能發展出適合的安全應用，降低車禍發生的機率。



圖 1-1 2000-2010 年中華民國交通部統計道路交通事故

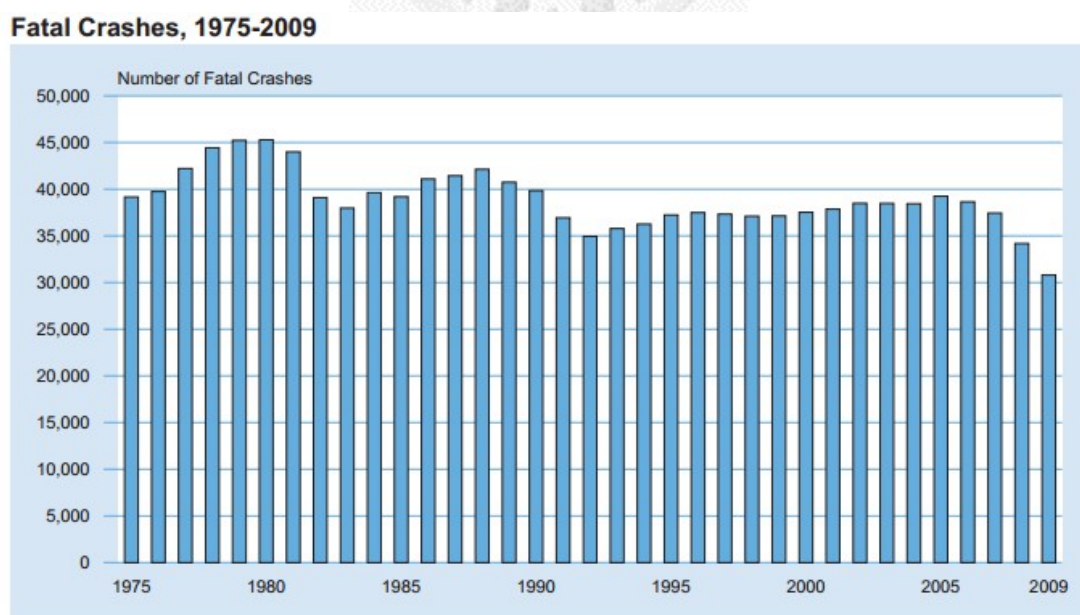


圖 1-2 1975 - 2009 年美國交通部統計道路交通事故[32]

Annual number of fatalities, injury accidents and injured people (EU-25), 1997-2006

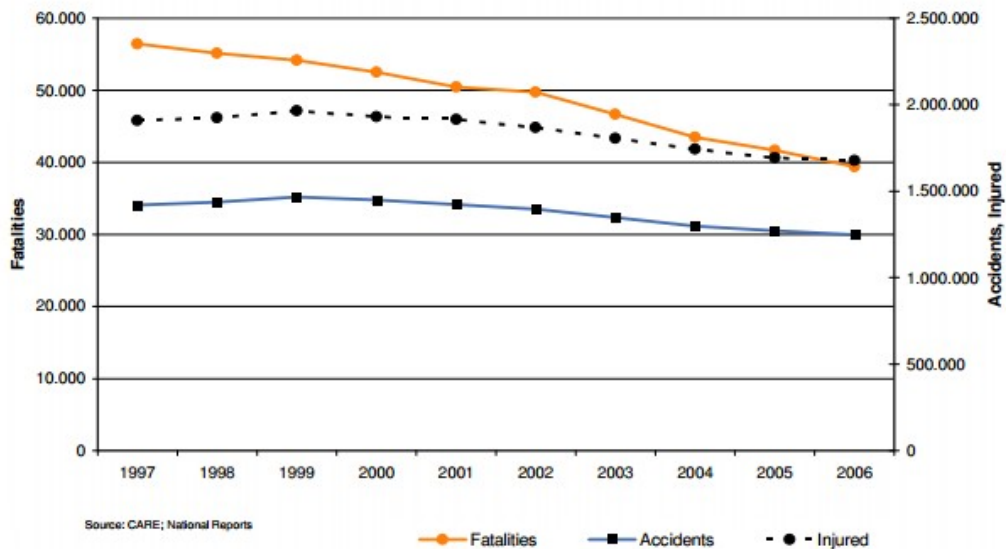


圖 1-3 歐盟 25 國交通事故死亡、傷害和受傷人數表，1997 年- 2006 年[33]

1.3 研究目的

本研究將透過不同的交通情境：以有交通號誌十字路口轉彎之情形、沒有交通號誌的街道路口轉彎之情形及高速公速變換車道的情形，利用攝影機傳送影像給周圍車輛的安全應用為方法，並透過不同的車流量密度推估，藉由模擬的方式了解網路的效能。以道路交通模擬器 SUMO 和網路模擬器 OPNET 為基礎，提出整合模擬工具，建立一真實的車輛網路模擬環境：是指將模擬經過道路交通模擬之後，將模擬結果匯入到網路模擬進行模擬以分析網路效能。

透過整合模擬工具，模擬實驗情境，分析不同的交通情境、不同的車流密度、不同的傳輸速度和不同影像解析度對網路效能的影響，希望藉由模擬真實的道路交通情境，能提升網路的效能和正確性。並藉此了解有交通號誌的十字路口、沒有交通號誌的路口及高速公路，對網路效能的影響。

1.4 研究流程

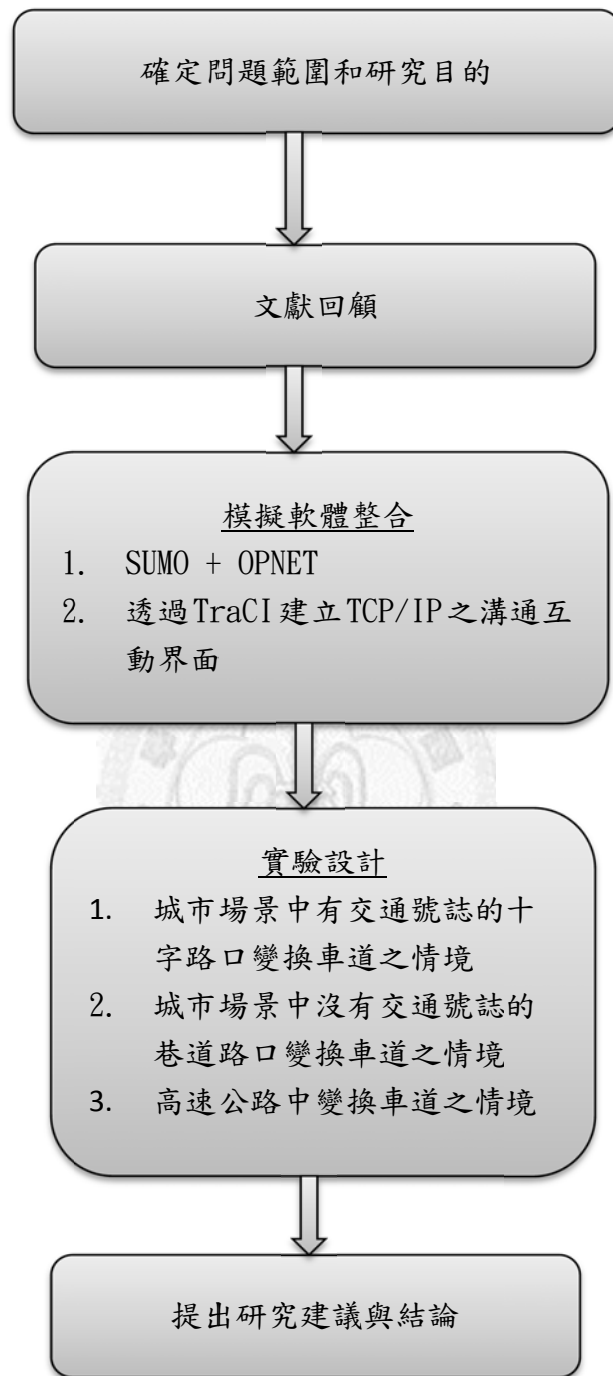


圖 1-4 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 車輛隨意行動網路(Vehicular Ad hoc Network, VANET)

智慧型運輸系統(Intelligent Transport System ,ITS)[25]是運用先進的科技技術，開發先進的應用程式，旨在提供有關不同的交通工具和交通管理的運輸系統服務，使人們更了解、更安全和更聰明的使用交通運輸網路。其目的包含提升人民的生活品質，以及改善交通品質。智慧型運輸系統，運用範圍廣泛，從基本管理如汽車導航系統、交通信號控制系統、電子收費；監控應用如閉路電視系統、自動車牌識別系統；整合其它的資源，如停車引導系統、氣候數據系統等。其相關的運用，都需要透過車間通訊 V2V(Vehicle to Vehicle communication)、車與路邊設備通 V2I(Vehicle to Infrastructure communication)和無線通訊來連結彼此。因此，在智慧型運輸系統中，車輛隨意網路(Vehicular Ad-hoc Network, VANETs)受到了相當的重視與研究。

行動隨意網路是一個自主的網路，可以不需要任何中央控制裝置，而正常運作。每一個節點，可以當作是終點，也可以擔任路由器的角色而轉發資料。節點之間是通過無線電波的連結，在一定的範圍內，進行通訊，交換資料。車輛隨意網路 (Vehicular ad-hoc Networks, VANETs) [5]是行動隨意網路 (Mobile ad-hoc Network, MANET) 的一種延伸，是藉由無線通訊與資料傳遞技術，串聯交通工具及路邊的交通設施，形成的特殊網路。其主要功能在於讓所有的用路人和車輛駕駛人，可以即時取得與傳遞交通相關的資訊，以便提高行車效率，增強用路安全與舒適性，減少空氣的污染等。車輛隨意網路可分為三種架構：(1) 車子對周邊設備的通訊，Roadside-to-Vehicle Communications (RVC)，(2) 車子對車子的通訊，Inter-Vehicle Communications (IVC)，(3) 混合以上兩種的通訊方式，Hybrid

Communication，以增加通訊的可靠性。

目前研究中所探討的車輛隨意網路主要功能為行車安全與娛樂方面應用[8]。行車安全是為了增進道路的安全和交通效率，且減少因交通而造成廢氣污染的環境影響，提供交通事故訊息，與道路壅塞情況等。行車娛樂可以提供駕駛人旅遊景點相關資訊介紹、尋找停車場位置、加油站位置及高速公路的道路收費等便利功能。

VANET 主要的特徵包括行車路線受限於道路範圍的限制，必需遵守交通規則和標誌行駛，呈現管狀形態；不同的道路，有不同的速度；網路拓樸結構變化迅速，深受人們的上下班尖離峰時刻影響，造成稀少或緊密的拓樸；網路鏈結管理不易，造成通訊的困難。

目前，為了符合 VANETs 的應用，各國都制定了新的專用無線通訊技術標準，如美國與歐洲所訂定之專用短距離通訊技術 DSRC (Dedicated Short Range Communication, DSRC) [19]，是利用裝置於路旁的定點通訊感應設備，為路側對車輛或車輛對車輛的無線通訊系統，提供短、中程通訊服務。它具備高移動性、高資料率、低傳輸延遲與小通訊涵蓋區之特性，應用範圍非常廣泛，可提供給車輛氣候警訊、交通控制和緊急救援等服務。在智慧型傳輸系統 (Intelligent Transportation systems, ITS) 的應用中，DSRC 工作於 5.9 GHz 頻段(美國)，採用 IEEE 802.11 p 通訊協定為基礎或是 5.8 GHz 頻段(日本或歐洲)。規劃中使用七個通道，其中六個通道用於服務，一個通道用於控制通道。控制通道主要用於廣播安全訊息，如：警告駕駛者危險的道路情況，也通常用來通知廣播可用之服務。另一方面，IEEE 在 2003 年以 802.11 a 為基礎，採用 5.9 GHz 頻段，制訂了 802.11 p 標準(或稱 WAVE: Wireless Access in the Vehicular Environment)。

相關的研究有歐盟第七框架下的 iTERTRIS[27]計畫，為了解決即時道路交通的管理，整合了無線通訊和交通的平台。為了模擬大規模和長期的合作交通管理應用程式，開發了一個評估平台。該平台以閉環方式結合了交通和通訊模擬，允許詳細分析交通流量、旅行時間和排放等合作應用的效果和性能。ITETRIS 計畫的設置，將引起工程公司、公路主管部門和通訊專家之間密切的合作，以滿足一個開放的、ETSI 標準(European Telecommunications Standards Institute，歐洲電信標準協會)，符合發展的需要和靈活的模擬平台。

美國的智慧型運輸系統[26]，2010-2014 年的研究計劃中，主要是以連接(connectivity)為主軸，在連接汽車應用的子計劃裡(connected vehicle applications)，為了安全應用，分別研究車輛與車輛(V2V)之間的通訊和車輛與基礎設施(V2I)的通訊。V2V 的研究目標是每一巷道(包括汽車、卡車、公共運輸車輛和機車)的車輛能夠與其他車輛溝通，這一套豐富的資料和通訊將支持新一代安全應用程式和系統。V2I 的研究的目標，在避免或減少車輛碰撞(包括汽車、卡車、大客車和公車)的安全應用，特別是在 V2V 之中沒有提到的崩潰情境。它也注重於國家建立基礎設施和車輛部署的相互合作。

CVIS(Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems)[28]，在設計、開發和測試車輛與附近的路邊基礎設施相互溝通所需的新技術。CVIS 將發展道路安全的新應用，基於即時的道路交通信息之上。

2.2 車輛隨意網路之移動模型

VANET 的系統模擬，需要兩個部份，即網路模擬與車輛移動模型模擬。在設計 VANET 的網路通訊協定時，車輛節點的移動會影響著網路拓撲結構的變化，對

評估和分析網路協定之效能評估，有重要的影響。圖 2-1 為 VANET 採用移動模型之發展歷史[9]。

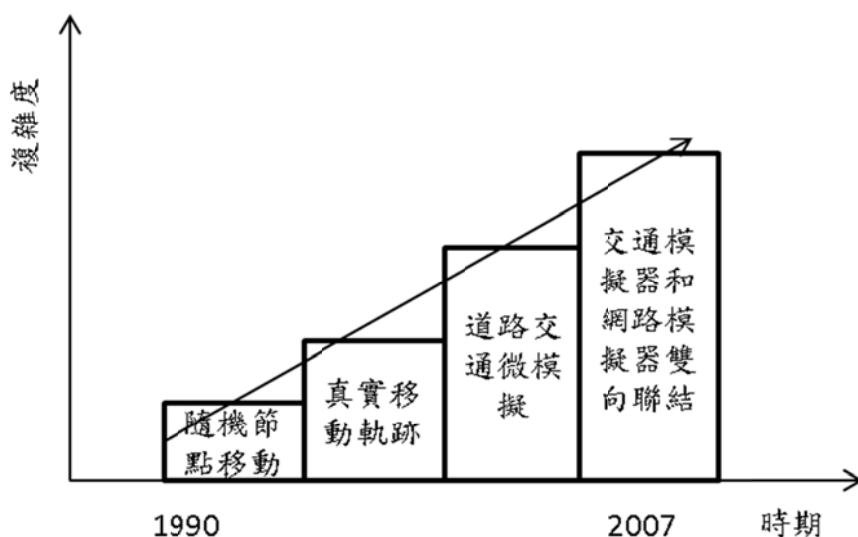


圖 2-1 車輛隨意網路之移動模型策略與技術發展歷史 [9]

於 1990 年時，網路模擬採用簡單的隨機移動模型，它是一種簡單的、隨機的、無限制的移動模式，無法反應真實複雜的車輛移動模型。接著使用真實的移動軌跡文件與人為模擬的車輛軌跡，在研究中相繼被採用。但是採用此方法於 VANET 模擬中，仍然有某些問題存在局限性：如真實移動軌跡，需要花費大量時間，相關參數不能輕易修改(例如車輛密度、速度等)；人為模擬的車輛軌跡，沒有提供影響駕駛人的行為。在某些情境下，如交通事故、危險警告或道路壅塞等資訊，需要通過網路模擬，改變駕駛者的行駛路徑。因此後續有學者提出了較複雜的交通模擬器和網路模擬器的整合框架程式，以解決以前的移動模式問題。隨著移動模型的真實度，越來越接近現實交通情況，其複雜度也跟著上升。

在 Harri[4]等人的論文中，車輛移動模型可以分為宏觀或微觀的。從宏觀的角度而言，觀察整體的車輛密度或車輛速度，整個車流的狀況猶如流動力學。從微觀的角度看，重點考慮每一車輛為單一的個體，模擬駕駛者的行為和交通中車輛

的移動行為。建構真實的車輛移動模型，需要幾個主要的功能：運動約速、交通產生器、時間和外部影響。運動約速是指每一車輛的自由移動受限制。宏觀而言，車輛的運動受到道路和建築物的阻礙，必須依道路地圖行駛；而微觀而言，則受到左右前後車輛和人行道的規範，車種和駕駛者習慣的限制。交通產生器定義不同種類的汽車和依據研究的環境，涉及它們之間的相互作用。宏觀上，它模擬交通密度、速度和流量；微觀上，它模擬了車間間距，加速度、剎車減速和超車等行為。真實運動建模的另一個重要環節是時間。車輛的密度關係：車輛密度會因時間的早晚、上下班尖峰時刻和週末的區別，出現不同密度的分佈。最後一個重要的功能為，外部影響。某些運動模式，車輛移動模型不能主動配置，因為它們是外部事件所造成的影響。該類別模仿交通事故、臨時道路工程或即時的交通狀況。通信系統是外部影響的主要來源資訊。

根據車輛模型產生的來源不同，把車輛移動模型分為四類，如圖 2-2：即綜合模型 (synthetic models)、基於道路交通模擬器的模型 (traffic simulator-based models)、基於調查的模型 (survey-based models) 和基於軌跡的模型 (trace-based models)。

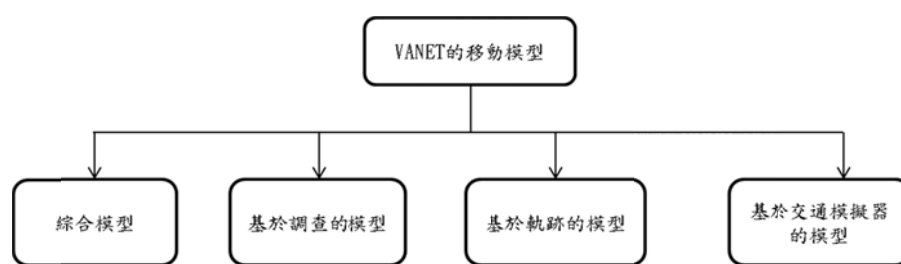


圖 2-2 車輛移動模型的分類

綜合模型：為使用數學模式來模擬移動的模型。在其中包含了如隨機模型，包含純隨機的運動模式；車流量模型，將車輛移動看似流體運動的現象；跟車模型，每位駕駛者的行為根據前車的行為來決定加減速或換車道等行為；佇列模型，將道路模擬視為先進先出 (FIFO) 的佇列，而車子

視為佇列中等待被處理的元件。

基於調查的模型：為根據調查真實中的行為，所得到的模型。主要來源於美國勞工部門；他們調查勞工者的行為，如通勤、午餐時間、旅行或午餐種類的喜好。基於此類調查數據的統計，可以構造一個一般化的移動模型。典型代表有 UDel 和 Agenda-based 模型。能夠反應真實的社會行為，如果需要更仔細和真實的移動行為，要依靠複雜的綜合模型來統計因而資料不容易被取得。

基於軌跡的模型：該模型的軌跡來源是從各種測量活動收集。此一測量方法需要長久的時間，而且人力物力消耗較大，收集的資料為特定情境下之固定軌跡，而無法彈性更動其中部份參數。

基於道路交通模擬器的模型：部份商業公司或大學研究機構，以微觀的角度及模型為基礎，開發了道路交通模擬器，如 PARAMICS[22], CORSIM[23], VISSIM[15], TRANSIMS[24] or SUMO[2]等模擬城市微觀交通、能源消耗、污染或噪音水平偵測。但是多數此類模擬器無法直接可以與網路模擬器整合使用，需要作資料格式轉換或實作其它方式的連結後才能使用。

2.3 整合網路模擬與交通模擬之間的研究

在 VANET 的研究中，交通模擬器和網路模擬器的雙向結合為目前重要課題。從相關的文獻研究中，將交通模擬和網路模擬整合的方法可分為下列幾項：

2.3.1 離線型的單向孤立運作模式

在此類型中，車輛移動模型是獨立運作的。把車輛移動模型輸出的結果，作

為網路模擬系統的靜態輸入。移動模型可從不同的方式獲得，如從真實社會中測量得到、基於軌跡資料或者從道路交通模擬器產出結果。為了加快模擬速度，輸出的車輛移動模型資料，都是離線事先產生的，而且資料一旦輸出之後，只能按照輸出的內容，當作網路模擬的輸入，在網路模擬中不能修改；網路模擬和交通模擬是獨立分離的。然而，實際情況下兩者之間是可以相互影響的。

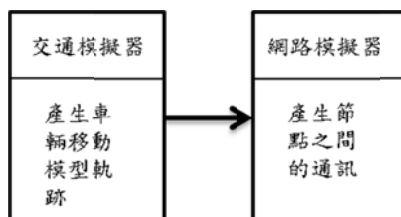


圖 2-3 交通模擬器和網路模擬器之間的作用：獨立運作模式

MOVE[6]，如圖 2-4 所示，是一個建置於微觀交通模擬器 SUMO 之上的工具，允許使用者快速產生 VANET 的真實移動模型，把輸出的格式，轉換成網路模擬器 NS2[17]和 Qualnet[20]支援的輸入格式，然後在網路模擬器上整合輸入的軌跡進行 VANET 網路之模擬。MOVE 包含兩個主架構：地圖編輯器和車輛移動編輯器。地圖編輯器可以產生網路模擬器所需要的道路地圖，產生的方式可以由使用者自己產生或由系統自動產生，可產生網狀、蜘蛛狀和隨機的地圖或導入世界地圖資料庫 TIGER 或 Google Earth 的地圖。車輛移動編輯器，可以自動產生車輛的移動路徑或者手動定義車輛行駛的路徑。手動定義車輛移動的軌跡時，需要定義在某條路段上車輛的數量、車子離開的時間、旅程的時間、車子的速度(含加速度、減速度和最高速度)等。MOVE 提供使用者圖形化界面，讓使用者不用撰寫複雜的交通模擬器腳本和了解它的內在細節，而提供了研究 VANET 一個方便的工具。

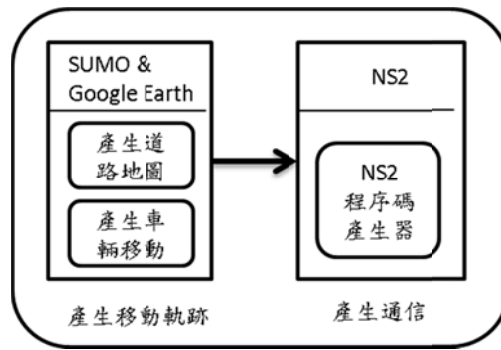


圖 2-4 MOVE 的架構示意圖

2.3.2 緊密的嵌入式運作模式

緊密的嵌入式運作模式是在網路模擬器之上，擴展簡單的車輛移動模型，整合內建的移動模型來評估和分析網路協定的效能。網路模擬的結果亦不會影響和改變車輛移動模型的軌跡。架構如圖 2-5 所示。



圖 2-5 嵌入式運作模式

SWANS++[3]增強了網路模擬器 SWANS 的圖形化界面，使場景和移動模型能以圖形呈現，讓使用者更容易使用。SWANS++採用的移動模型是 STRAW(street random waypoint)，結合了簡單的跟車模型，但是車輛被設定在真實的地圖文件中的道路上移動，而道路資訊是依照如 Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing(TIGER)格式文件。STRAW 支持多車道，在路口對每一個方向均提供一條車道讓車輛選擇行駛。但是在路徑選擇上，無法配置車輛起始位置，而是隨機的放置在要到路口之前的車道上。如果已經有車輛在該條道路上，新的車輛

將會放在已存在車輛的後方。SWANS++採用 JAVA 開發，將網路模擬器 SWANS 和移動模型 STRAW 集合在一起，但是網路模擬並沒有對車輛移動模型提供輸出改變其行為，所以屬於緊密的嵌入式運作模式。

2.3.3 連線型的雙向聯合運作模式

雙向聯合運作模式是集合現有的網路模擬器和交通模擬器，設計一個連接界面(API)程序，把相互不連接，獨立運作的兩套模擬器，集成在一起，並互相可以溝通且反饋訊息，在通過連接運作時，這兩套軟體必須同時運行，結構如圖 2-6 所示。

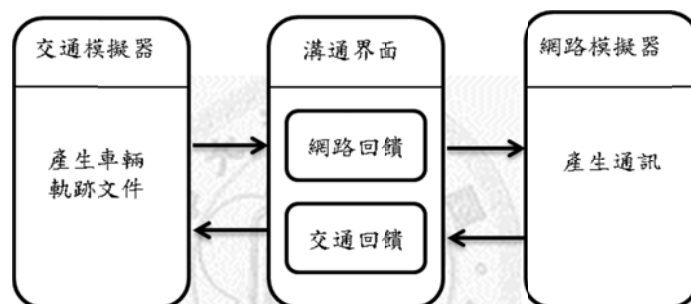


圖 2-6 雙向聯合運作模式

TraNS – TraNS [7] 為連接兩套開放源碼的模擬器：城市交通模擬器(SUMO)和網路模擬器(NS2)。網路模擬可以從 SUMO 軌跡輸出得到真實的交通資訊，也可以透過車間的網路通訊，改變車輛交通路徑。TraNS 具有兩種模式：一、以網路為中心的模式，用來評估真實的節點移動情形。此模式將 SUMO 的軌跡輸出，轉換成 NS2 可接受的輸入格式，而網路模擬並不影響車輛的移動模型，屬於單向性的溝通模式。二、以應用為中心的模式，SUMO 與 NS2 之間通過 TraCI [1]溝通界面即時通訊，同時交換網路與交通訊息。根據交通的情況，利用車間網路通訊，適時的改變車子的速度和變換車道。此模式，並不會產生車輛的軌跡輸出，而是動態的隨著網路傳送過來的命令，執行交通模擬。

VEINS (Vehicles in Network Simulation) [10] – 為一集合道路交通模擬和網路模擬雙向耦合模型之模擬器。此一模擬器同樣是採用城市交通模擬器(SUMO)，而網路模擬器則使用 OMNeT++ [18]。中間透過 TraCI [1]界面溝通，以 TCP 連線，互相交換命令。採用類似於主從式網路架構。由網路模擬器 OMNeT++，事件產生時開始模擬，傳送命令給道路交通模擬器，再進行交通模擬。同時在每一時間單位結束時，執行車輛移動之相關命令，命令執行完畢之後，再將車子的位置和速度軌跡，回傳給網路模擬器。網路模擬器收到軌跡之後，對應到相應的網路節點，進行網路模擬，並適時調節車輛的移動模型。

2.3.4 緊密集成運作模式

緊密集成運作模式是開發一個獨立的 VANET 系統模擬軟體，把車輛移動模型和網路模擬器集成在一起。此一模式由不同的模式實現，1)將通訊模型和網路協定加入到已有的交通模擬器中；2)在現有的網路模擬器中增加道路網路和移動模型；3)開發一個全新的模擬器，建立和加入所需要的元件，獨立為個別的模組。車輛移動模型和網路模擬。可以快速地進行即時反應和通訊。然而模擬器的設計及開發相當複雜且耗時，使用此一模式工作量龐大。此一模式之架構如圖 2-7 所示。

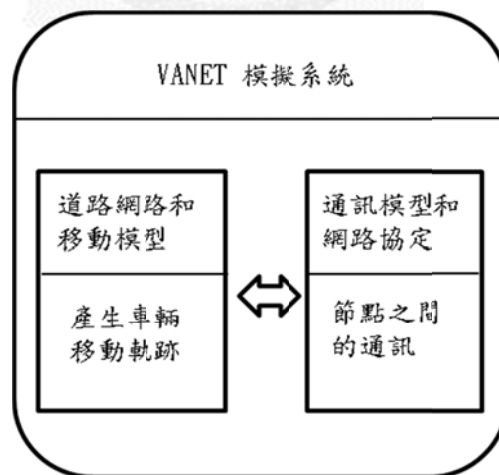


圖 2-7 緊密集成運作模式

NCTUns (Estinet) – NCTUns [11]是台灣國立交通大學開發的一套網路模擬軟

體，目前已經商業化，命名為 Estinet。在開發初期，模擬器僅支援 MANET 之模擬，NCTUns 4.0 版本以後，支持道路系統之建立和車輛移動模型，而可進行完整的 VANET 模擬。NCTUns 提供了圖形化界面、模擬引擎 (simulation engine)、行車代理程式 (car agent) 和交通信號管理程式 (signal agent)。NCTUns 採用跟車模型，支援多車道，在模擬中可變換車道，交通燈號和轉彎。並可進行無線訊號障礙 (radio obstacles) 的模擬，設定完全阻擋無線信號傳輸或減少無線信號的功率，而無線訊號障礙可真實地模擬障礙對車輛網路中協定的性能影響。圖形化界面中，可進行道路系統構建：單行道路、多條道路，十字路，T 形道路和道路合併等。在網路模擬方面，支持 IEEE 802.11 a, IEEE802.11 b, IEEE802.11 g 和 IEEE802.11 p 等網路實體層的標準。NCTUns 使用 Linux 系統中真實的 TCP/IP 協定堆疊(protocol stack) 進行模擬，因此，只支持一個版本的 TCP/IP 協定，與其它允許多個版本 TCP/IP 協定的網路模擬器不同。



第三章 網路模擬與道路交通模擬的整合架構

3.1 簡介道路交通模擬器和網路模擬器

在道路交通模擬中，交通移動模型可根據交通流顆粒度 (granularity) 的大小和密度的不同，分為四種類別：宏觀 (macroscopic)、中觀 (mesoscopic)、微觀 (microscopic) 和超微觀 (sub-microscopic)。宏觀模型是以車流密度、速度和流量之間的相互關係，觀察整體車流的行為，而不以單一的車輛節點作為單位；可以有效地描述交通網的總流量。中觀模型則將交通中的道路依需要劃分為路段，把單一車輛放入交通流中進行分析。並模擬車輛的佇列在預設節點流入及流出的行為。微觀模型把道路上的車輛作為模擬的基本單位，以每秒的時間變化，觀察車輛與道路的關係；在此模型中可以描述單獨車輛的速度、行駛時間和行車路線等資訊。亞微觀模型以單一車輛作為模擬的基本單位，但把車輛進一步劃分為各個子結構，如模擬引擎轉速、車速和駕駛者換檔速度之間的關係，如圖 3-1 所示：

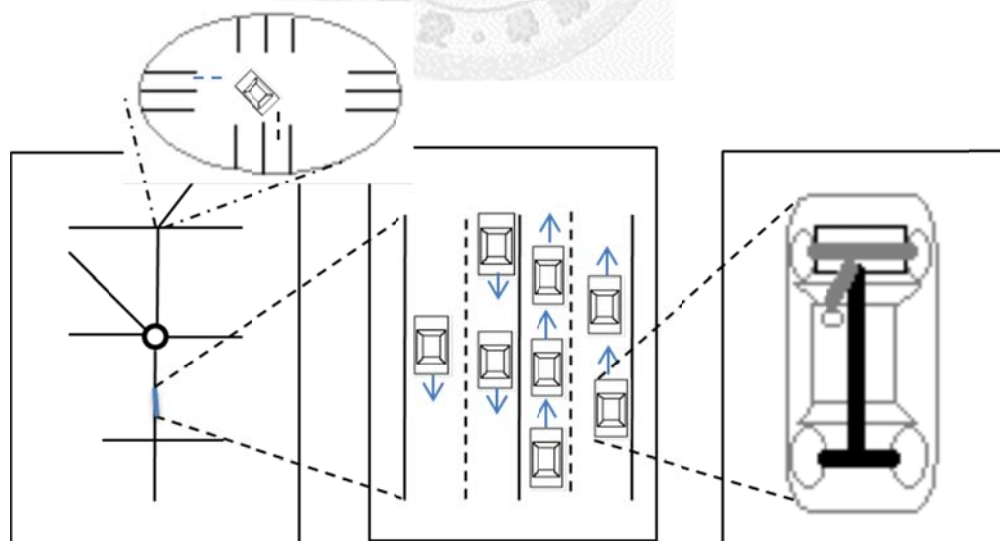


圖 3-1 由左至右 宏觀、中觀(左上圓圈)、微觀和亞微觀分類[2]

本研究的道路交通模擬器是使用微觀模型為主的城市交通模擬器(Simulation of Urban Mobility, SUMO)[2]。SUMO 是可模擬城市規模的交通道路系統，採用 C++ 語言開發，具高度可攜性，空間上連續、時間上離散的車輛運動模式，可模擬不同的車種。其特徵包括可供車輛變換車道的多車道街道、不同的路權規則和交通號誌、並可產生超過 10,000 條街道的道路系統供模擬使用。除此之外，亦支援輸出關於模擬中道路、汽車和探測器的資料。具有快速的 OpenGL 圖形化界面，支援 Windows 和 Linux 系統，並可接受多種地圖格式的輸入，包括 VISUM, Vissim, Shapefiles, OSM, RoboCup, MATsim, openDRIVE, 及 XML-Descriptions 等。

網路模擬是對通訊網路的一個有效的研究方法。它是使用電腦程式，來構造網路設備(如主機/路由器、資料連結和封包等)的屬性和特徵，並通過程式的執行，模擬網路的行為。其原理是對離散事件進行模擬，即按照事件在連續時間內發生的順序排列，對系統狀態的改變進行模擬真實系統的性能。

本研究使用的網路模擬器為 OPNET[12]，為一基於高層次離散事件的網路模擬軟體，由 OPNET Technology 公司開發，被廣泛地應用在各種複雜的網路、通訊系統之模型建立、模擬、規劃和分析。OPNET 提供了三層模型建立(圖 3-2)的機制，分別在程序層、節點層和網路層進行由下到上的設計。程序模型使用有限狀態機 (Finite State Machine, FSM) 來描述各個協定，各個狀態之間的轉換與所應採取之行為再分別以程式編寫，構成在節點中的處理器 (processor) 和佇列(queue) 模組的行為。節點模型是由程序模型構成，可以組成完整的協定堆疊，模擬真實的網路設備。各模組間通過封包和狀態機之間傳遞訊息來進行各種操作。網路模型由節點模型構成，並定義了模擬系統的整體範圍，定義了網路中包含的裝置，以及它們的物理位置之間的實體連結和相關設定，如圖 3-2 所示。

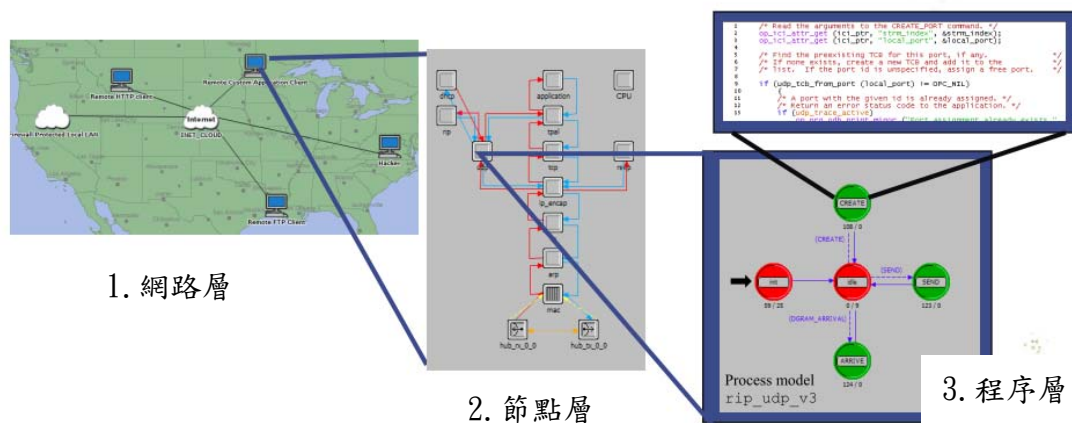


圖 3-2 OPNET 的三層模型階層圖 [12]

在無線網路中，對無線電波的傳導、衰減、干擾及和資料封包的接送和傳送共分為 14 個階段，每一個階段都與實際無線網路中一個資料封包傳送過程中所經歷的階段相對應處理，並可自行定義各階段之行為。除此之外，亦提供了車輛隨意網路中的實體層 802.11 p 模擬，供模擬 VANET 時使用。

OPNET 豐富的統計收集和分析功能，可以直接收集各個網路層次的性能參數統計，對單一或全部的性能參數進行分析，並方便地產生模擬報告，也可容易地導出資料數據到 Matlab 或者其它科學計算或試算表軟體，進行圖表繪製，如圖 3-3 所示。OPNET 的另一優點，就是圖形化界面，使開發者，很輕易的建立起網路模型並模擬。這也是我們選擇的使用 OPNET 的原因之一。

原先是為了要整合本實驗室所開發的以規則為基礎的混合機車與汽車的移動模型模擬器，只是在本研究開始之初，本實驗室的模擬器，尚未開發完成，才改用道路交通模擬器 (SUMO)，進行研究與實驗。

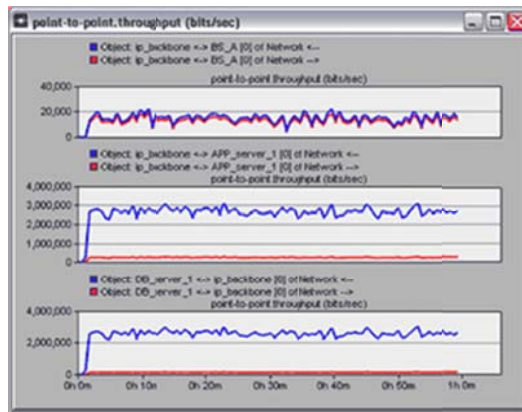


圖 3-3 OPNET 統計分析工具

3.2 SUMO 的交通控制界面(Traffic Control Interface, TraCI)

SUMO 支援輸出路徑軌跡至網路模擬器。它提供了一個與網路模擬器互相連接溝通的交通控制界面 (Traffic Control Interface, TraCI) [1]。在傳統的方式中，供網路模擬器使用之路徑軌跡檔案，為事先規劃靜態路徑；一經產生後，即無法再修改路徑，無法真實地反應在行駛路徑中駕駛者的行車行為。透過 TraCI 界面，可以即時地交換網路模擬器和道路交通模擬器的資料，SUMO 的道路交通軌跡，可以提供給 OPNET 網路模擬器，接收到道路交通軌跡資料之後，對應到網路模擬器的移動節點。

任何複雜的移動模式，都可以被拆解成基本的移動，如「改變速度」、「改變車道」和「改變路徑」等，這些移動的模式，都是因駕駛者的決定而造成的。基本的移動模式並不依靠 VANET 的應用程式。它主要是依靠，如宏觀的道路系統拓樸、車速的限制、微觀的當前車速和位置等移動限制。TraCI 是根據基本的車輛移動模型行為來設計的，如以上所述。如圖 3-4 所示，TraCI 的系統架構，在網路和道路交通模擬器之間的指令回應。SUMO 是伺服端，而網路模擬器是客戶端，只有客戶端向伺服端發送指令時，才會觸發道路交通的模擬。

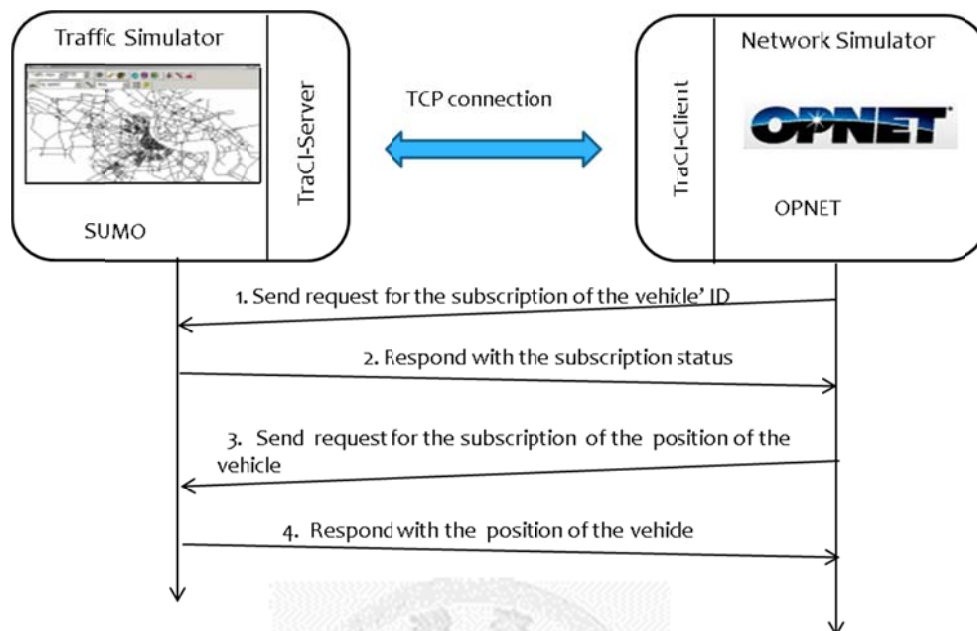


圖 3-4 網路模擬器和交通模擬器的系統架構圖

由上所述，道路交通模擬器和網路模擬器透過 TraCI 的界面在交換資料，兩者之間的訊息遵循 TraCI 的協定格式，如圖 3-5 所示。

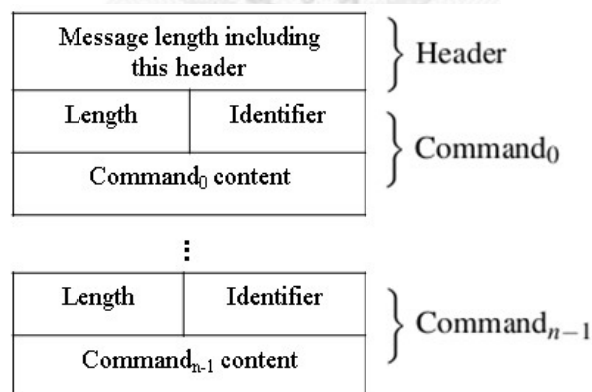


圖 3-5 TraCI 訊息格式[13]

TraCI 的訊息格式中將訊息之總長度標示在訊息的開始處，接著為一系列的命令。每一個命令都是由無符號的位元組組成，以長度和識別符開始。由定義得知，由網路模擬器傳送到道路交通模擬器的命令，其識別碼 (identifier) 是介於

[0,127]之間，相應的回傳命令識別碼是介於[128,255]之間。在每一個命令中，這些識別碼都包含在標頭裡。每一個命令的內容取決於特定的命令類型。

TraCI 的命令，可以歸類為三個類別。第一種命令控制模擬的運行，在每一個時間週期，會呼叫此種命令以執行下一個模擬步驟。第二種命令是用來設定移動模式，以決定每一輛車的移動行為。如：設置最大速度、停止車輛行進、轉換車道和變更車輛行駛的終點等。第三種是模擬場景的環境命令。如路線圖、興趣點、建置足跡、交通信號燈和公共交通等建設的模擬場景，都可透過此種命令進行設定或獲取其中的參數。

本研究中所用到的命令，主要包含控制模擬的執行、建立和關閉至模擬器之 TCP 連線、獲取道路交通模擬中車輛的速度、位置和車子名稱等資訊。這些命令的詳細格式如下所示：

命令：Simulation Step



Integer

TargetTime[ms]

表格 3-1 Simulation Step [13]

此一命令強制 SUMO 執行模擬。如果 TargetTime 是 0(零)，則 SUMO 執行一個時間步驟。否則 SUMO 執行模擬直到命令中指定的時間步驟。如果給定的時間步驟小於模擬的時間步驟，SUMO 至少會執行一個時間步驟。

當執行命令 SimulationStep 之後，SUMO 將對此命令進行回應，回應包含一訂閱好的命令回應清單，執行到最後一個時間執行完畢，如表格 3-2 所示。

Time	Time	String	Ubyte	Ubyte[n]
Begin Time	End Time	Object ID	Variable Number	The List of variables to return

表格 3-3 Command : Subscribe ... Variable[13]

String	Ubyte	Ubyte	Ubyte	Ubyte	<Return_type>
Object ID	Variable Count	Variable #1 Id	Variable #1 Status	Return Type of the Variable #1	<VARIABLE_VALUE#1> ...
Ubyte		Ubyte		Ubyte	<return_type>
Variable #n Id	Variable #n Status	Return Type of the Variable #n		<VARIABLE_VALUE #n>	

表格 3-4 Response : ... Subscription Respond [13]

在本研究中為了得到車輛相關的資訊，我們訂閱了車輛的 ID、速度、位置和角度，如表格 3-5 所示，將會以訂閱命令格式進行訂閱。在模擬執行中，車輛會在不同的時間內，進入和消失在模擬中。因此需要知道在某個模擬時間下，有多少台車輛存在於模擬中。我們需要知道車輛是否進入模擬環境中，或已經模擬完畢離開。模擬場景的環境命令，使用的命令如表格 3-6 所示。

Variable	Value Type	Description
Id list	stringList	Returns a list of ids of all vehicles currently running within the scenario
Speed	double	Returns the speed of the named vehicle within the last step [m/s]; error value: -1001
position	position	Returns the position(two doubles) of the named vehicle within the last step [m,m]; error value: [-1001,-1001]
angle	double	Returns the angle of the named vehicle within the last step [°]; error value: -1001

表格 3-5 A Part of Overview Retrievable Vehicle Variables[13]

Variable	Value Type	Description
ids of departed vehicles	stringList	A list of ids of vehicles which departed (were inserted into the road network) in this time step.
ids of arrived vehicles	stringList	A list of ids of vehicles which arrived (have reached their destination and are removed from the road network) in this time step.

表格 3-6 A Part of Overview Retrievable Simulation Variables[13]

3.3 A Process Model and A TraCI Client Process Model

網路模擬器 OPNET 中的程序模型(process models)決定了存在於節點模型 (node models)中的處理器模組及佇列模組的行為。程序模型可用來建置種類繁多的軟體和硬體的子系統，包括通訊協定、演算法、共享資源、作業系統、排隊理論和統計收集等。這些程序為事件導向的。當一個事件被送到程序時，會因該事件產生中斷 (interrupt)。有中斷發生時，程序中需有對應的反應。

OPNET 提供了一種稱為 Proto-C 的語言，用於描述程序模型，為 C 語言的一個變種，專門用於描述協定及分散式演算法，以圖形描述的有限狀態機 (Finite State Machine, FSM) 為主體，(亦稱為狀態轉換圖 (State Transition Diagram))。這種圖形主要是用來描述離散的事件系統，被用來定義軟體和硬體系統的功能，組合了圖形和文字的表達方式。

Proto-C 主要包括兩個基本元件：狀態和轉換，故稱之為狀態轉換圖。狀態通常用來代表一個程序可以進入的頂層模式。「轉換」指定程序可能的狀態變化。Proto-C 中的動作被稱為「executive」。每一個狀態的「executive」被分為兩個階段，分別是「enter executive」和「exit executive」，如圖 3-6。顧名思義，「enter executive」在進入某一個狀態時被執行；而「exit executive」在離開某一個狀態時被執行。Proto-C 定義兩種狀態，分別是停留狀態，以紅色表示，和非停留狀態，以綠色表示。停留狀態在執行完「enter executive」之後，會導致程序執行中斷，等下次事

件到達該程序時再呼叫「exit executive」能表達系統的真正狀態，非停留狀態，則不會導致程序中斷，執行「enter executive」之後立即執行「exit executive」，只能表達流程的分支或子模組的概念。

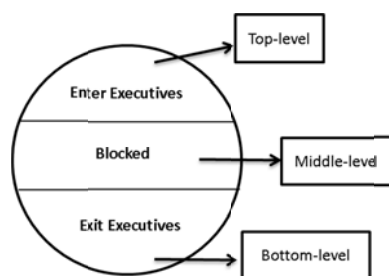


圖 3-6 A process model of OPNET Modeler [12]

本研究中所設定的程序模型，如圖 3-7 所示，使用了一個非停留狀態、一個停留狀態及三個轉換狀態。Init 初始化狀態，主要功能為建立 SUMO 與 OPNET 之間的 TCP 連線，讀取並建立 OPNET 網路模型中的所有移動節點之列表。在 Idle 的狀態中，遇到計時器產生的自我中斷時，程序模型的狀態轉移到 UPDATE_TIMER。由於此一動作由計時器觸發，每一個時間週期，會執行一次函式 `traci_client_update_location()`。此函式向 SUMO 擷取車子移動的位置和方向，與 OPNET 中的移動節點相對應後，更新 OPNET 中移動節點的位置。此步驟執行至 SUMO 中的車輛模擬結束後，狀態將轉移到 ENDSIM_CLEANUP，執行 `traci_client_cleanup_socket()` 函式，傳送關閉命令到 SUMO，關閉 OPNET 與 SUMO 連線，並結束整個模擬執行。

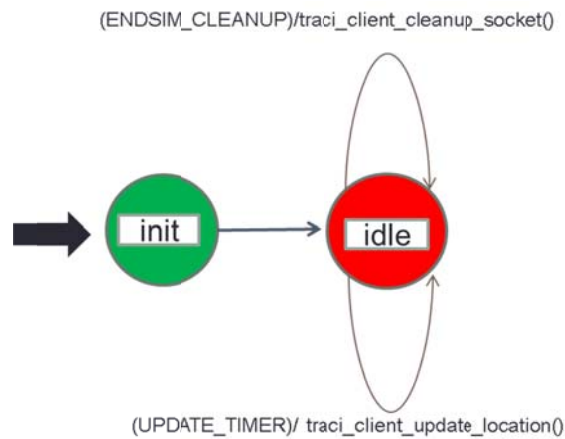


圖 3-7 A TraCI-Client Process Model

在我們的客戶端程序模型中，定義了兩組重要的資料結構。一組是用來儲存 OPNET 中所有移動節點的資料結構，如圖 3-8 如示。資料結構 `mobile_node_list_item` 中的 `node_objid` 是 OPNET 中對節點之唯一識別碼，由系統產生，且無法改變。`name` 欄位儲存節點的名稱。`node_id` 為一整數的序號，不具唯一性，用於檢視節點的個數。`vehicle_id` 欄位用於儲存 SUMO 中車輛名稱。`mapping` 用來檢查 OPNET 中的節點和 SUMO 中的車輛節點，是否已經配對；如果值為 0，則未曾配對，值為 1，表示配對中。此一 OPNET 中之移動節點與 SUMO 之車輛節點配對成一組，如果值為 1，則已經配對成功，無法再配對；直到移除配對關係之後，配對關係解除後的 OPNET 節點，才可以重新將 SUMO 與 OPNET 的節點配對。當 SUMO 中的車輛模擬結束，OPNET 中的節點，會將配對關係解除。`ref_longitude` 和 `ref_latitude` 是儲存參考點的經度和緯度，參考點為網路層的節點位置。

```

typedef struct
{
    Objid      node_objid;
    char       *name;
    int        node_id;
    char       *vehicle_id;
    int        mapping ;
    double     ref_longitude;
    double     ref_latitude;
} mobile_node_list_item;

```

圖 3-8 客戶端程序模型中儲存 OPNET 可移動節點相關資訊 資料結構

另一組資料結構則用來儲存 SUMO 車輛之相關資訊的資料結構，如圖 3-9 所示。結構 traci_node_list_item 中的 vehicle_id 用來儲存 SUMO 的車輛識別碼。pos_x 和 pos_y 為車輛在二維平面中的橫軸和縱軸的位置座標。speed 為車輛的行駛速度。traci_angle 是車輛行駛之方向角。

```

typedef struct
{
    std::string vehicle_id;
    double      pos_x;
    double      pos_y;
    double      speed;
    double      traci_angle;
} traci_node_list_item;

```

圖 3-9 SUMO node 資料結構

3.4 OPNET 中節點的移動資訊

在 OPNET 的程序模型中，若欲存取或改變節點之位置或移動性，必須取得道路節點在網路模型中的位置。網路模型由以下部分組成：子網路、通訊節點和通訊連結。子網路為一個邏輯上的容器，可將其中的其它節點抽象化，並集中成為一個物件，可包含一般節點和連結，亦可包含其它子網路。子網路的首要屬性是為其地理位置、範圍和移動性。子網路的範圍可用”x span”和”y span”來表示。

網路模型中的子網路和通訊節點，具有兩個重要屬性，即位置及移動性。位置使用物件的屬性"x"和"y"表示，而移動性的屬性包括高度、軌跡、方向、水平速度和上升速度等。在網路模型中存在兩套座標系統：一個是球面座標系統，位置是用經度、緯度和高度定義的，單位是度或弧度；另一個是球心座標系統，三維笛卡爾網格，座標系的原點在地球中心。座標系有三個軸 (x,y,z)，以公尺為單位。在我們的研究中，我們是使用球面座標系統，來設定 OPNET 網路節點的移動。從 SUMO 中得到二維座標位置，即 X 和 Y 值，透過 OPNET 提供的核心函式，計算經度、緯度和方向角，使 OPNET 的網路節點，依照 SUMO 中的車輛節點移動。

網路模型中的節點移動路徑，是用軌跡來定義的。軌跡有分段定義和向量定義兩種方法。分段定義是通過一系列預先定義的點來定義移動。向量定義是通過定義方向角、地面速度和上升速度來定義移動。本研究中的移動路徑是採用向量定義，節點將"trajectory"屬性設置為 VECTOR，並使用向量定義路徑。

在設定節點的移動路徑和軌跡之前，我們需要尋找節點在網路模型子網中路的參考點位置，之後再以參考點為中心更新節點的移動路徑。在程序模型中的 `traci_client_build_node_list()` 函式裡，我們擷取和儲存節點的初始位置。我們只處理可的且"trajectory"屬性設置為 VECTOR 的節點位置。首先尋找參考點的座標位置，步驟如下：

1. 先取得節點唯一識別碼 `node_id`，透過核心函式 `op_ima_obj_attr_get()`，取得節點的名稱和軌跡屬性，只有當軌跡設成 VECTOR 時才會讀取該節點的資料。
2. 透過核心函式 `op_topo_parent()`，取得該節點的父子網路識別碼。
3. 用核心函式 `op_ima_obj_pos_get()`，讀取父子網的球面座標和球心座標。
4. 用核心函式 `op_ima_obj_attr_get()`，讀取該節點父子網的橫軸(x span)和縱軸

(y span)的範圍，

5. 取得父子網的範圍之後，再用核心函式 `op_ima_obj_attr_get()` 讀取單位屬性，單位有度、公尺和公里之分。
6. 計算移動節點子網的左上角位置。如果單位是度，請跳至第七步，否則單位是公尺或公里等，請跳至第八步。以上單位都不是，請跳至第九步。
7. 如果讀取父子網的路範圍，單位為度，用以下方式計算左上角的經度和緯度。

`sub_longitude_min = sub_longitude - (sub_x_span / 2);`

`sub_latitude_max = sub_latitude + (sub_y_span / 2);`

`sub_longitude_min`：左上角經度的最小值

`sub_latitude_max`：左上角緯度的最大值

`sub_longitude`：父子網路的經度

`sub_latitude`：父子網路的緯度

`sub_x_span`：父子網路 x 的範圍

`sub_y_span`：父子網路 y 的範圍

8. 否則讀取父子網路的範圍，單位是以公尺、公里、英尺和英里。計算左上角的經度和緯度的方式為：

1. 利用核心函式 `prg_geo_distances_to_degrees_convert()`，將子網的中心和角落之間的距離，轉換為度。

2. 計算左上角的座標位置。

`sub_longitude_min = sub_longitude - long_distance;`

`sub_latitude_max = sub_latitude + lat_distance;`

`long_distance`：將距離的單位由公尺轉換為度單位的經度的值

`lat_distance`：將距離的單位由公尺轉換為度單位的緯度的值

9. 如果讀取父子網路的範圍單位，都不是步驟 7 裡為度的單位或步驟 8 以公尺、公里、英尺和英里為單位，則將參考點位置設為零。

```
sub_longitude_min=0;
```

```
sub_latitude_max=0;
```

得到參考點位置之後，還必須要計算速度、方向和位置。向量定義的軌跡，必須要知道下一時刻位置，計算行駛的速度和方向，才能定義出節點的移動位置。我們只儲存了 OPNET 節點的初始位置。為了讓節點的軌跡，依道路交通模擬 (SUMO) 中的車輛行駛路徑方向一致，我們將 OPNET 中的節點與 SUMO 中的車輛配對為一組，將所取得之車輛位置，更新至 OPNET 中的節點位置。因此，當 SUMO 的車輛更新位置時，OPNET 會收到相對應資訊，透過配對之後，更新 OPNET 中節點的位置資訊。SUMO 中的車輛位置是以公尺為單位的平面座標。以下的步驟可計算節點的距離、方向和速度，並移動節點的位置。

1. 首先檢查節點的狀態是否有效。因為在建立 OPNET 中的節點時，我們將沒有配對到的 SUMO 車輛的 OPNET 移動節點都預設為無效。
2. 利用核心函式 `op_ima_obj_pos_get()`，讀取已和 SUMO 車輛配對好的節點位置。
3. 將下一時刻的位置(由 SUMO 取得)和參考點之間的距離轉換為度，並存到變數 `loc_x` 和 `loc_y` 中，將參考點加上移動的距離，就是節點的目標位置。

```
longitude_target = mapping_ptr->ref_longitude + loc_x;
```

```
latitude_target = mapping_ptr->ref_latitude + loc_y;
```

`longitude_target` : 節點的經度目標位置。

`latitude_target` : 節點的緯度目標位置。

`mapping_ptr->ref_longitude` : 參考點的經度位置。

`mapping_ptr->ref_latitude` : 參考點的緯度位置。

`loc_x` : 下一秒 X 軸移動的距離。

`loc_y` : 下一秒 Y 軸移動的距離。

4. 利用核心函式 `prg_geo_great_circle_distance_get()`，再計算現在的節點位置和下一秒鐘的目標位置的兩個位置之間的距離。
5. 利用核心函式 `prg_geo_bearing_compute()`，計算移動節點的方向角。利用核心函式 `op_ima_obj_attr_set_dbl()`，將方向角的方向，設定到節點的”bearing”屬性。
6. 計算節點移動的速度。速度是位移隨著時間的變化率，將距離(distance)除於時間，即可計算出我們所需要之速度。再利用核心函式 `op_ima_obj_attr_set_str()`，設定節點的”ground speed”屬性。

在每次更新的週期，OPNET 將會向 SUMO 讀取新的位置資訊，並計算速度、方向和位置等資訊，再更新 OPNET 的節點所相對應的欄位，就可以更新移動節點的位置。

在圖 3-10 中，假設在時間 $T1$ ，道路交通模擬器 SUMO 設定車輛位置，而下一秒的車輛的位置在時間 $T2$ 才會產生，如果網路事件發生在 $T1$ 與 $T2$ 之間的時間 T 時，OPNET 會自動以內插法算得估計之位置和速度等。



圖 3-10 SUMO 設定位置和 OPNET 網路事件時間關係

3.5 OPNET 與 SUMO 的整合流程步驟之說明

在 3.2 節中，我們介紹了網路模擬器和交通模擬器，通過 TraCI 界面溝通的系統架構圖，如圖 3-4 所示。在本節中，我們將描述 TraCI-client process model 的程式架構流程，即 OPNET 中的程序模型，如何通過 TraCI 的界面，將 SUMO 與 OPNET 整合，即節點的互相配對和更新位置資訊，如流程圖 3-11 所示。

第一步，我們呼叫外部系統程式開啟 SUMO，等待客戶端的連線。此時我們需要先處理並將 OPNET 的移動節點分類。OPNET 中的移動節點無法在模擬時動態產生，而需要事先手動產生。因為無法事先得知 SUMO 中的模擬車輛數量為多少，無法事先手動一一將 SUMO 與 OPNET 的節點配對。因此我們採用重複利用 OPNET 中的節點機制，執行完一次配對之後，當 SUMO 中節點模擬結束(如駛出模擬地圖範圍)，OPNET 與 SUMO 的配對也將隨之結束，可再次重新配對新的 SUMO 節點給 OPNET 的節點，以此機制解決 OPNET 中節點不足的問題。使用此一機制，OPNET 中的同一個移動節點可能會配對到一個以上的 SUMO 車輛節點。每次 SUMO 節點與 OPNET 中的節點配對，都是以隨機順序自行配對，因此於使用時觀察和分析車輛的網路性能較為不便。因此，我們也容許手動建立一個固定配對(mapping)表格，設定某特定 SUMO 車輛固定與某特定 OPNET 節點配對，即可使觀察某特定車輛效能較為便利。

在 OPNET 的網路模型中，我們將這些節點分為兩類，一類是已經事先手動配對好的節點，此類節點將不重複被利用，稱為 static mapping nodes，所以將不在 SUMO 中節點結束模擬時再被重新使用；另一類是事先沒有配對好的自由節點，在模擬執行時，可以進行隨機的配對，此類節點稱為 dynamic mapping nodes。讀取 OPNET 中所有節點資料後，我們可以將此兩類之節點放入不同列表，以供後續使用。

第二步，初始化連線，OPNET 作為客戶端發起 TCP 連線，此時 SUMO 也在等待客戶端發起的連線。如果連線不成功，則結束程式，否則，連線成功，將會傳送觸發(trigger)SUMO 伺服端之運作。

第三步，OPNET 會向 SUMO 發送擷取資訊的動作，這樣的行為，稱為

Subscription。首先，我們會想知道在 SUMO 中模擬的 Vehicle ID，接著會讀取關於該 ID 車輛的相關的資訊：如位置、方向和速度等。所以，我們發出要求知道 Vehicle ID 的指令給 SUMO，SUMO 收到指令之後，會將目前正在模擬中的 Vehicle ID，傳送給我們。我們在讀取 OPNET 移動節點時，會將節點狀態設置為無效，只有當從 SUMO 端接收到車輛節點時，才會開啟 OPNET 移動節點的狀態，使之與 OPNET 節點進行配對的工作。如果 SUMO 的車輛節點，是已存在事先定義的配對表格裡，則將此 SUMO 車輛節點與 OPNET 中的 static mapping nodes 進行配對；否則，則將此 SUMO 車輛節點任意的與 OPNET 中的 dynamic mapping nodes 進行配對。配對成功後，即可更新 OPNET 中移動節點的位置及其他移動資訊。

第四步，在每次計時器觸發中斷時，會傳送 simulation step 給 SUMO，使 SUMO 進行下一時間步驟之模擬，進入到模擬的迴圈中，此時 SUMO 伺服器端傳回 Subscription 車輛相關的參數資料。當接收到 SUMO 傳送給 OPNET 告知有車輛進入模擬(Vehicle enter)之中，OPNET 會向 SUMO 發出 subscription 的指令，要求 SUMO 車輛的位置、速度和方向角等資料。我們會將訂閱回來的 SUMO 的車輛資料，與 OPNET 中的節點配對，配對的方式有兩種方法，即 static mapping 或 dynamic mapping，已在上文中描述。成功配對之後，每秒(OPNET 之模擬設定時間)會更新一次 OPNET 中的移動節點位置。接收到 SUMO 模擬車輛中的位置資訊(Vehicle State)之後，就可以更新 OPNET 中的節點位置資訊。接著判斷 SUMO 中的車輛，是否還在模擬當中，如果已經模擬結束或者已經離開模擬情境(Vehicle leave)，會向 SUMO 傳送指令，解除 subscription 車輛的位置資訊，使得 OPNET 中的節點，不再更新位置。則此時 SUMO 與 OPNET 中的配對，已結束配對任務。為了使 OPNET 的移動節點，可以重複利用，我們需要將 OPNET 中的移動節點配對結果取消，則 OPNET 中的移動節點，可在未來與新的 SUMO 車輛節點再進行配對。

圖 3-11 為本研究所開發 OPNET 與 SUMO 的整合模擬流程圖。

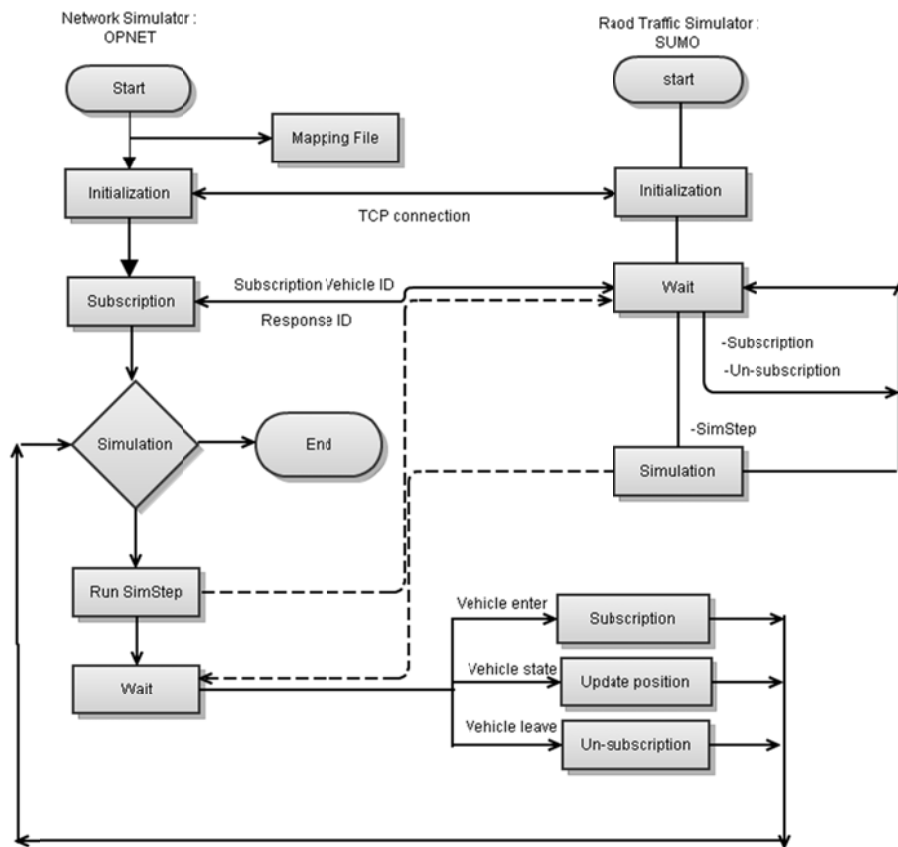


圖 3-11 A TraCI-client process model 流程圖

第四章 模擬實驗

本章將以第三章描述之道路交通模擬器 SUMO 與網路模擬器 OPNET 結合之工具做模擬實驗，對不同的交通移動模型場景，進行 VANET 網路之性能研究。本實驗將只探討道路交通移動模型之車流對網路性能的影響，而網路的模擬結果對道路交通車流中車輛之影響，則不在本論文的探討範圍之內。第 4.1 節介紹實驗模擬的交通移動模型場景，第 4.2 節介紹網路模擬和道路交通模擬的系統參數設定，第 4.3 節中則呈現於城市場景中十字路口轉彎換車道、城市場景中巷道轉彎和高速公路變換車道等三種情況之模擬實驗資料與結果分析說明。

4.1 模擬實驗場景描述

本實驗中，我們假設未來於道路上行駛的車輛多數將配備攝影機(如行車記錄器)及車間通訊之模組，於此實驗中，我們假設車間通訊模組為符合 IEEE 802.11 g 規範之通訊模組。本實驗模擬三種不同之交通情境：(1)城市場景中十字路口有交通號誌轉彎之情境、(2)城市城景中巷道無交通號誌轉彎之情境及(3)高速公路變換車道之情境。於這些情境中，利用車間通訊，在裝有攝影機的車輛上，將所拍攝之周圍影像，即時傳送給附近需要觀賭此一視角之車輛，增加該車輛的視線範圍。例如圖 4-1 中，假設 A 車裝有行車記錄器，則可將前方視角之影像，透過車間通訊傳送給 B 車，並在 B 車螢幕上顯示接收到的影像。此一功能類似於車輛的後照鏡或路邊的反射鏡，可增加行車駕駛者的可視度範圍。

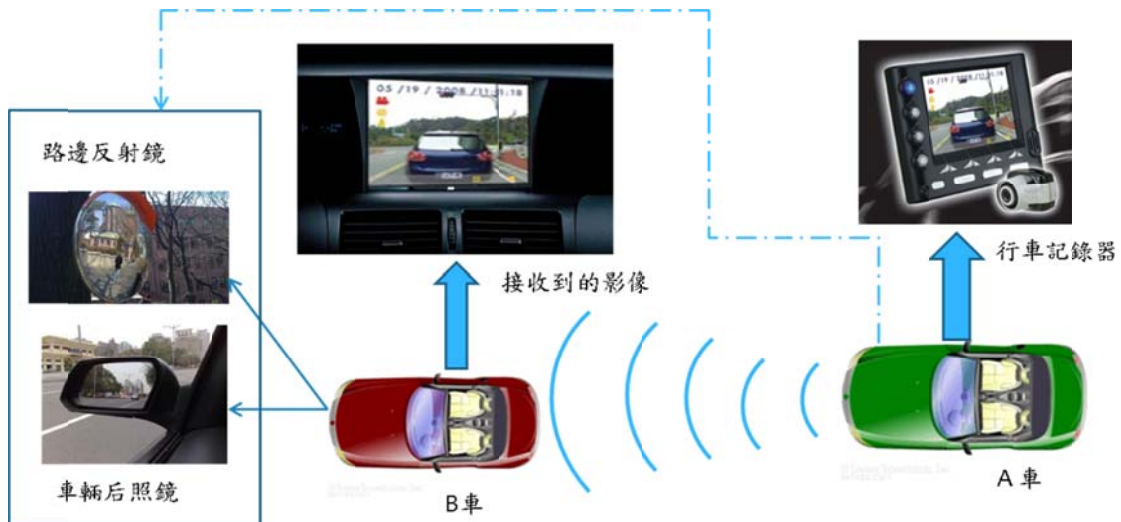


圖 4-1 攝影機輔助車輛(Camera-Aided Vehicle)示意圖

此外，在城市交通環境中，常有障礙物導致駕駛者的視線，使之具有無法觀察到的區域，形成視線死角，而容易造成交通事故。如果可以透過周圍車輛的協助，傳送給該駕駛者看不到的周圍環境的影像，則在特定情境下，可以達到輔助駕駛者行車安全，減少事故發生的目的。在道路交通環境中，不同的車輛密度、速度或不同的交通環境，對無線網路的訊號之品質，皆有所影響。因此，本實驗之目的，為利用前述之整合工具，模擬車間通訊傳遞影像，觀察並驗證車輛接收到的網路訊號品質，了解利用車間通訊傳輸影像是否可行。

在另外各個模擬情境中，僅有在路口或特定的車輛，在具有需求的情況下，才會傳輸影像封包供鄰近車輛使用。其它車輛，則僅定期的在發送 Hello 封包，以供鄰近車輛辨認此一車輛，對整個的網路通訊會有小部份的干擾。

4.1.1 城市場景中具交通號誌十字路口轉彎之情境

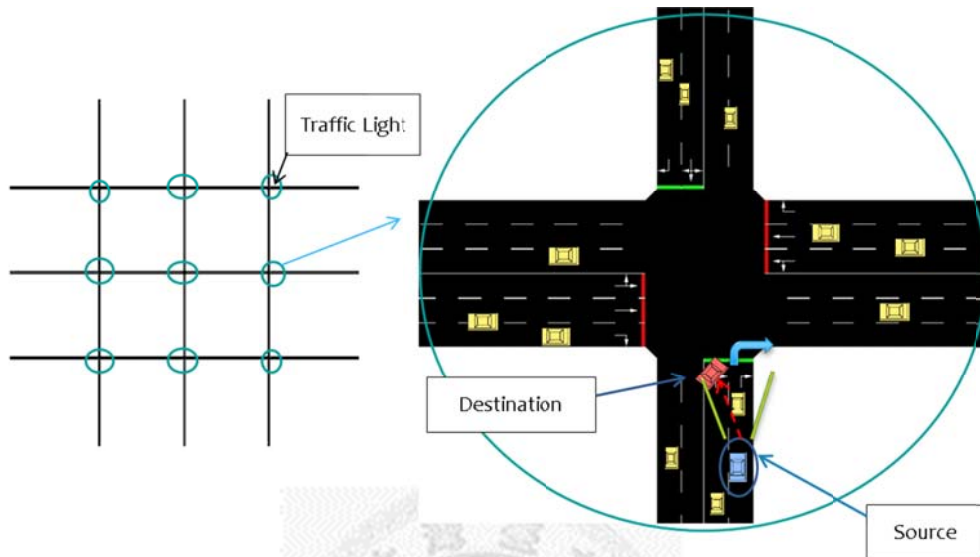


圖 4-2 城市場景中有交通號誌之十字路口轉彎情境

此一場景為車輛於設有交通號誌十字路口轉彎之情境 (如圖 4-2)。我們利用道路交通模擬器 SUMO 建構一模型，生成一個有向街道圖。在網格中，網格的長度均為 500 m，即交叉點與交叉點之間的道路長度為 500 m，在網格最外層的左右和上下道路各加長 20 m，做為節點的起始位置或終點位置。網格中的交叉點即模擬為城市中的十字路口，並設置交通號誌的模擬，形成 4 x 4 的道路網格。在模擬中所有的車輛如機車、汽車和公車，都是由某一特定的起點開始運行，行駛到某一特定終點終止，其起點或終點，都是以道路網格的最外層為主。

如圖 4-2，於此一場景中我們將觀察十字路口車輛轉彎的情況。轉彎車輛之駕駛者右方會產生部份視線死角；特別是公車駕駛者，其車體寬長，無法完整看到右方的車輛，容易形成視線死角。我們希望透過其它的車輛，傳送影像給正在轉彎的車輛，增加駕駛者的可視角度。如圖 4-2 中，在上行道路內側車道上的紅

色車輛 (destination)，右轉進入橫向道路時，可能因為車身長度過長或有障礙物之情形，無法看到外側車道的車輛，而造成無法看到的危險區域。此時，紅色車輛後方的藍色 (source) 車輛，可傳送影像給正在轉彎的車輛，提供該車右後方視線範圍中的影像，避免在轉彎時碰撞到右後方的車輛。

4.1.2 城市場景中不具交通號誌巷道轉彎之情境

第二種場景為城市巷道中轉彎之情境，以「田」字形的形狀，作為模擬的場景。如圖 4-3 所示，網格的長度均為 500 m，即交叉點與交叉點之間的道路長度為 500 m，只有在中間十字路口處，才設置交通號誌，車輛會遵循紅綠燈的引導行駛。在巷道轉角三叉路口處，則沒有設置交通號誌，因此車輛的轉彎行駛時，都必須要注意左右路口來車之情況，以免在轉彎衝出路口時，與左右方來車碰撞，此交通情境主要為類似會設置路邊反射鏡較為危險之 T 字型三叉路口。

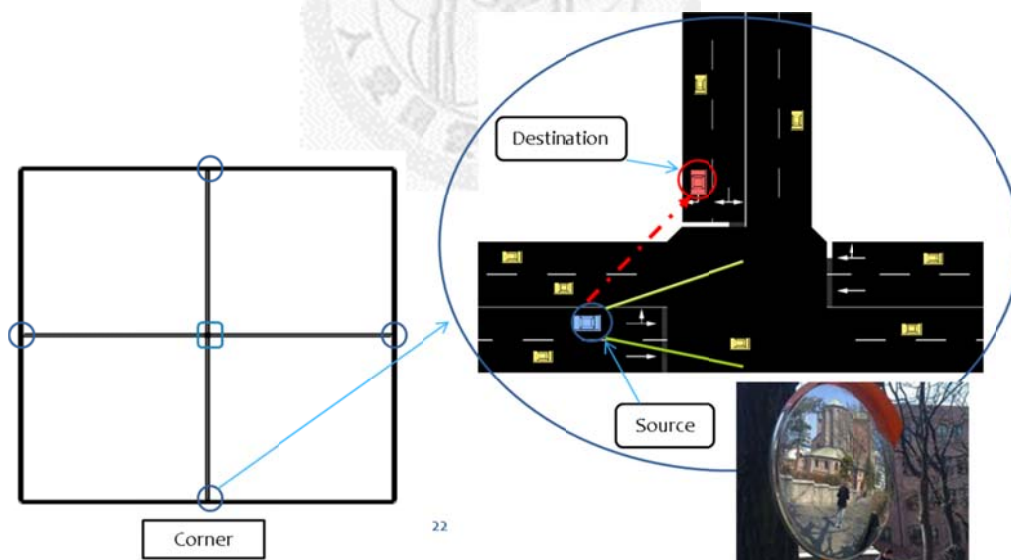


圖 4-3 城市場景中沒有交通號誌巷道轉彎之情境

如圖 4-3，於此一場景中我們將觀察在巷道轉角三叉路口時，上行道路之紅色車輛 (Destination)，在轉彎至橫向車道上時，因路口之障礙物如建築物，無法觀

看到橫向道路上的左右來車。此時，橫向道路藍色 (source) 車輛配有行車記錄器或攝影機，將前方的影像資料，傳送給直行道路中的紅色車輛。直行道路中的紅色車輛，可以從藍色車輛傳送來的影像中，看到在橫向道路上，有對向的來車，在到要轉彎路口時，可以適當地做減速的動作，降低碰撞的機率。

4.1.3 高速公路變換車道之情境

第三種場景為高速公路變換車道之情境，以管狀的有向網格作為模擬的場景。如圖 4-4 所示，網格的長度為 7 km，沒有交叉點，為一長條形的道路，無交通號誌。每一線道劃分為四個子車道，行駛的方向，可以左方為起點到右方為終點，或右方為起點到左方為終點。此模擬中的車輛，只有汽車和公車。

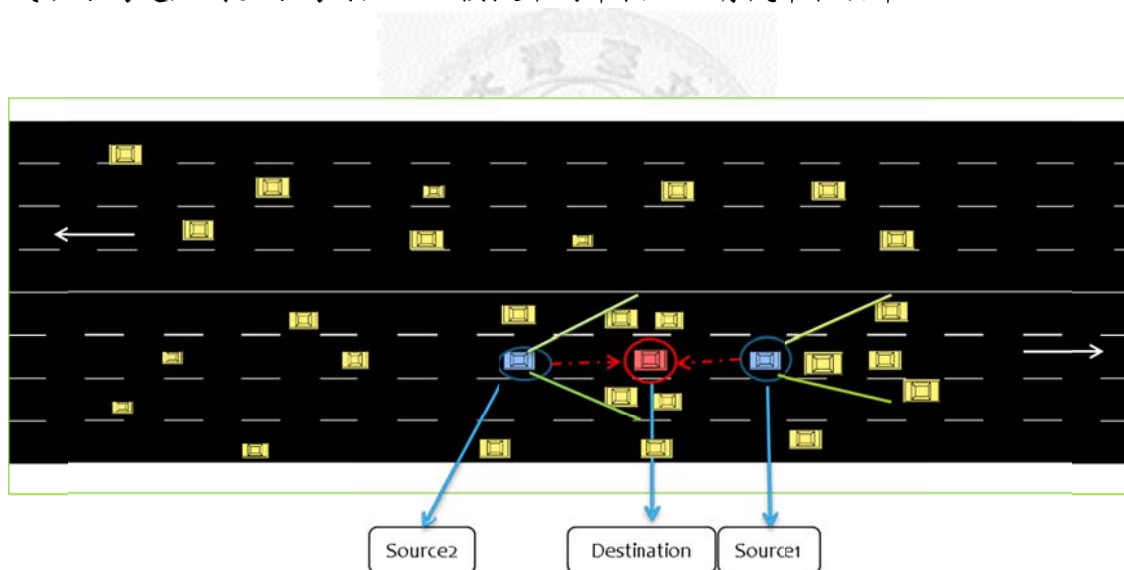


圖 4-4 高速公路變換車道之情境

如圖 4-4，車輛在高速公路上行駛時，經常變換車道或超車等行為。此時前方的車輛可能會擋住駕駛者前方的視線，後方的車況，在後照鏡中，具部分無法觀測之角度。紅色車輛 (Destination) 行駛在車道中，欲變換車道或超車時，需要觀看前後方的車流情況，以免在超車時，與前後方的車輛擦撞。此時紅色車輛，可接收前車和後車(藍色車輛 source1,source2)的影像，來觀察本車前後方的車況，增加駕駛者在超車時前後方的視線範圍。

4.2 實驗模擬環境參數設置

本實驗是利用道路交通模擬器 SUMO 建置交通移動模型及利用 OPNET 建構網路模型，並使用我們的整合工具進行模擬實驗。表格 4-1 為模擬場景之網路環境參數設置。本實驗使用 IEEE 802.11 g 實體層，車輛無線節點之間以 6、18 和 36 Mbps 資料率傳送，並關閉 RTS/CTS 功能。AP 之間的傳輸功率為 0.16 W (22 dBm) 和 0.2 W (23dBm) [34]。緩衝區 (buffer size) 設定為 10,240,000 (bits)；由於所要傳送的資料為影像，因此 buffer size 的空間容量設置需較大，否則將會因緩衝區不足，造成封包被丟棄，而沒有接收到部份資料。模擬的時間長度，會因設定的場景不同而有改變；因車輛密度的不同，模擬的時間會不同。

道路交通的模擬情境如圖 4-2、圖 4-3 及圖 4-4 所示。在模擬的環境中，我們會設定不同的車種如汽車、公車及機車。在模擬中，車輛的長度和速度，會以車種的不同而有區分。在城市場景中，模擬的車種為公車、汽車和機車，而在高速公路的場景中，則只有汽車和公車。在城市場景裡，機車的最大行駛速度為 13 m/s (46.8 km/h)、公车的最大行駛速度為 11 m/s (39.6 km/h) 和汽車的最大行駛速度為 16m/s (57.6 km/h)。在高速公路場景裡，汽車最大的行駛速度為 27.78 m/s(100.008 km/h) 和公车的最大行駛速度為 25 m/s (90 km/h)。在模擬的環境中，為了瞭解車輛密度對無線網路的影響，我們分別在情境中以 50、150 和 300 台車輛模擬，各模擬情境中的車輛密度如表格 4-4。各種車輛的數量比例和所有的模擬參數，如表格 4-2 和表格 4-3 所示。

Parameter	Value
Application	video
Trajectory	VECTOR
Physical layer	IEEE 802.11g
Data rate	6、18、36 Mbps
Transmit power	0.16 W(22 dBm)、0.2 W (23 dBm)
Routing	AODV
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
AP Beacon Interval(secs)	0.02
Max Receive Lifetime(secs)	0.5
Packet Reception-Power Threshold	-95(dbm)
Buffer size(bits)	10,240,000
Simulation time	600 ~ 2000 sec
Seed	10~950
Mobility Model	SUMO

表格 4-1 網路模擬器參數設置

汽車參數	值	公車參數	值	機車參數	值
最大行駛速度	16 m/s	最大行駛速度	11 m/s	最大行駛速度	13 m/s
最大加速度	1.2 m/s ²	最大加速度	1.0 m/s ²	最大加速度	0.8 m/s ²
最大減速度	4.5 m/s ²	最大減速度	4.5 m/s ²	最大減速度	3.0 m/s ²
車身長度	5 m	車身長度	15 m	車身長度	1.5 m
駕駛者反應速度值			0.5		
車輛數 50 輛			17 輛汽車、5 輛公車、28 輛機車		
車輛數 150 輛			50 輛汽車、15 輛公車、85 輛機車		
車輛數 300 輛			100 輛汽車、30 輛公車、170 輛機車		

表格 4-2 城市場景中十字路口轉彎和巷道轉彎之情境，車輛的參數設置

汽車參數	值	公車參數	值
最大行駛速度	27.78 m/s	最大行駛速度	25 m/s
最大加速度	1.0 m/s ²	最大加速度	1.2 m/s ²
最大減速度	4.5 m/s ²	最大減速度	4.5 m/s ²
車身長度	5 m	車身長度	15 m
駕駛者反應速度值		0.5	
車輛數 50 輛		44 輛汽車、6 輛公車	
車輛數 150 輛		135 輛汽車、15 輛公車	
車輛數 300 輛		270 輛汽車、30 輛公車	

表格 4-3 模擬高速公路之情境車輛設置參數

模擬情境	車道數目	總長度(公尺) (雙向道)	車輛數 (輛)	車輛密度(公尺/ 輛)
在城市場景有交通號誌之十字路口轉彎情境	6	24,480	50	489.6
	6	24,480	150	163.2
	6	24,480	300	81.6
在城市場景沒有交通號誌之巷道轉彎情境	6	12,000	50	240
	6	12,000	150	80
	6	12,000	300	40
高速公路變換車道之情境	1	14,000	50	280
	1	14,000	150	93.33
	1	14,000	300	46.67

表格 4-4 各模擬情境中的車輛密度



模擬中我們主要使用三種不同影像的解析度，分別為：

- 低解析度影像 (Low resolution video) = 128 * 120 pixels
- 高解析度影像 (High resolution video) = 128 * 240 pixels
- 盒式錄像 (Video Cassette Recording, VCR) = 352 * 240 pixels

本研究中所要測量網路的性能指標 (Performance Metrics)，包含下列幾項：

封包的傳輸率 (Packet Delivery Ratio)：代表每一秒正確收到的封包和每一秒發送的封包比值。在通常的情況下，比值應小於或等於 1；然而，在我們測量結果當中，會有大於 1 的情況。究其原因，主要是在收到封包情況時，有時會多收到上一秒的未收到的封包資料，造成此一比值大於 1。

終端到終端的延遲 (End-to-End Delay)：代表一個網路封包在網路中傳輸，由來源節點到目的地節點的所花費的時間。此一時間從來源端應用層產生封包時間開始計，至目的地端應用層接收到封包時結束計算。在影音即時播放 (streaming) 時，延遲之上限一般為 200 ms[30]。如果延遲時間超過 200 ms，將會造成收到的影像不連續或品質低落，而且收到的影像為較舊的影像，可能使駕駛誤判周圍車輛的情況。

在模擬結果資料圖中，每一條線段上的資料點，都是模擬網路 10 次平均得到的資料點。

4.3 模擬實驗結果分析

為了對 VANETs 的網路通訊效能作評估，在實驗中我們設置了不同的交通場景、不同的車輛密度、不同的傳輸速度和不同的影像解析度，每組設定模擬次數為 10 次，將 10 次之結果平均後相互比較。此外，在每一個模擬場景中，取三個不同路口中的一組節點或三個不同的地點各取一組節點，作為發送和接收節點，

觀察在不同道路及交通情況下的網路效能。

4.3.1 城市場景中具交通號誌十字路口轉彎之情境

圖 4-5 和圖 4-6 分別表示在城市場景中十字路口轉彎之情境，對不同的車輛密度，正確收到的封包傳輸率 (Packet Delivery Ratio, PDR) 和端點到端點延遲 (Packet End-to-End Delay)。在此一實驗中，我們使用高解析度傳送影像，而無線介面則固定使用 36 Mbps 的速率傳輸。X 軸表示的是相對於開始發送影像封包之時間(此時間設為 $t=0$)，個別封包發送和接收的時間；在圖 4-5 中，Y 軸表示的是接收節點的封包傳輸率，在圖 4-6 中，Y 軸表示的是接收節點的端到端延遲。

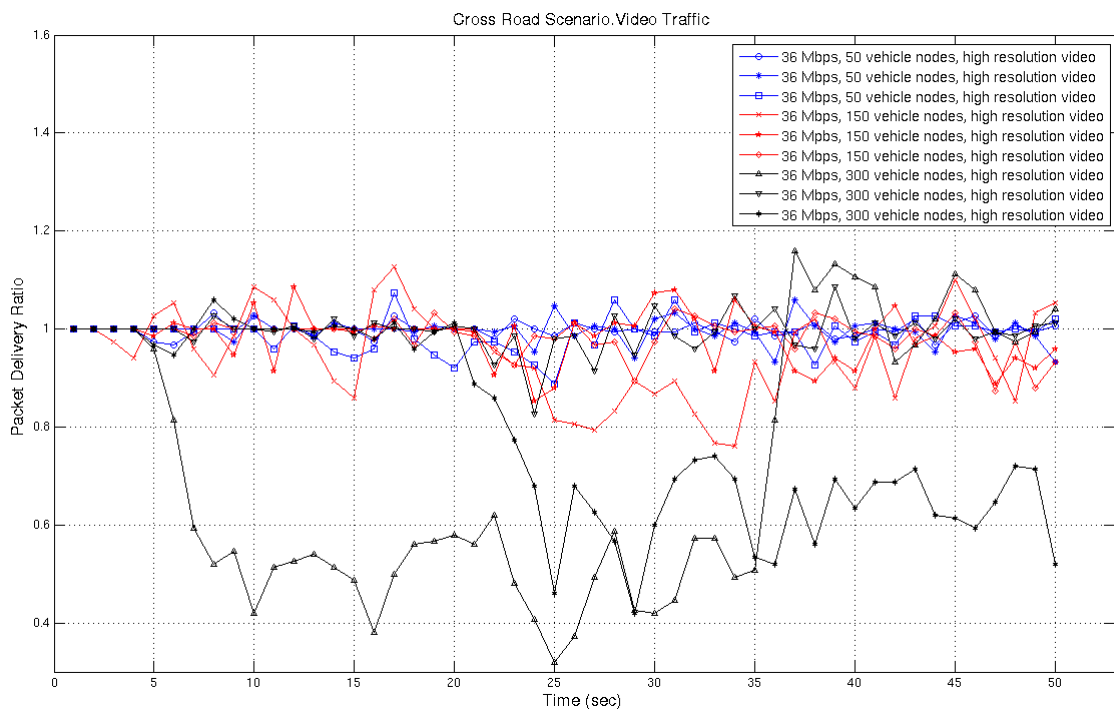


圖 4-5 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同車輛密度的封包傳輸率

在圖 4-5 中，車輛總數為 50 和 150 個節點的模擬中(用藍色線和紅色線分別表示)得到的封包傳輸率在 0.8 以上波動。究其原因，在十字路口周圍，車輛的密度少且受到其他車輛所發出之 hello 封包的影響不大，封包的碰撞機率少。因此封包沒有明顯的丟失和重傳，所以封包傳輸率都維持在良好的狀況。不過明顯可以

看出，以 150 個節點模擬時，因為節點密度的增加，封包丟失和重傳的情況比 50 個節點增加。用 300 個節點模擬時(以黑色線表示)，在時間 5 秒之後，我們明顯可以看到封包的傳輸率，下降到到 0.5 左右，甚至於部份時間，封包的傳輸率，僅有 0.2 左右。因此可知，在具交通號誌之路口，當車輛密度增加到一門檻值後，將會造成無線通道的頻繁競爭，封包碰撞激烈和重傳封包，導致封包傳輸率下降。

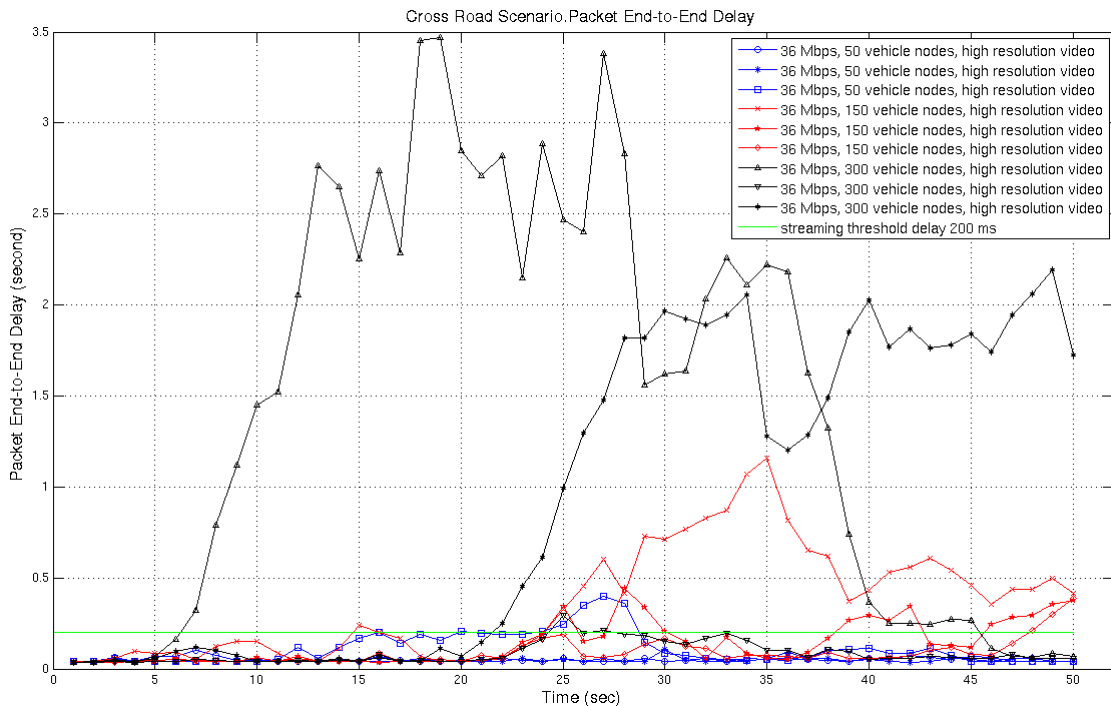


圖 4-6 在市場景中十字路口轉彎之情境中，不同車輛密度的端到端延遲

圖 4-6 表示的是不同車輛密度下的端到端延遲。在圖 4-5 中，我們觀察到只有在 50 和 150 個節點模擬下，收到的封包傳輸率，約略符合我們所期望的數值；而 300 個節點的封包傳輸率，則明顯無法使用。在圖 4-6 中，一條綠色的線代表大多數影像串流應用的延遲門檻值落於 (video streaming delay threshold) 200 ms。只有端到端延遲時間可以小於這個門檻值的封包，才是有效的封包。在 50 個車輛節點的狀況下，沒有造成太大的封包碰撞和重傳，封包位於佇列的時間比較短，所以延遲時間尚在可接受到的範圍以內。在 150 個車輛節點的狀況下，雖然收到

的封包傳輸率多在 0.8 以上，但是封包碰撞明顯增加，佇列時間久部份封包的延遲時間超出門檻值。而在 300 個車輛節點的狀況下，延遲的時間則皆增加到 2 秒以上，由以上的結果可知，以高解析度影像及 36 Mbps 傳輸速率的設定，在路口車輛密度稍高時，即無法有效使用本應用。

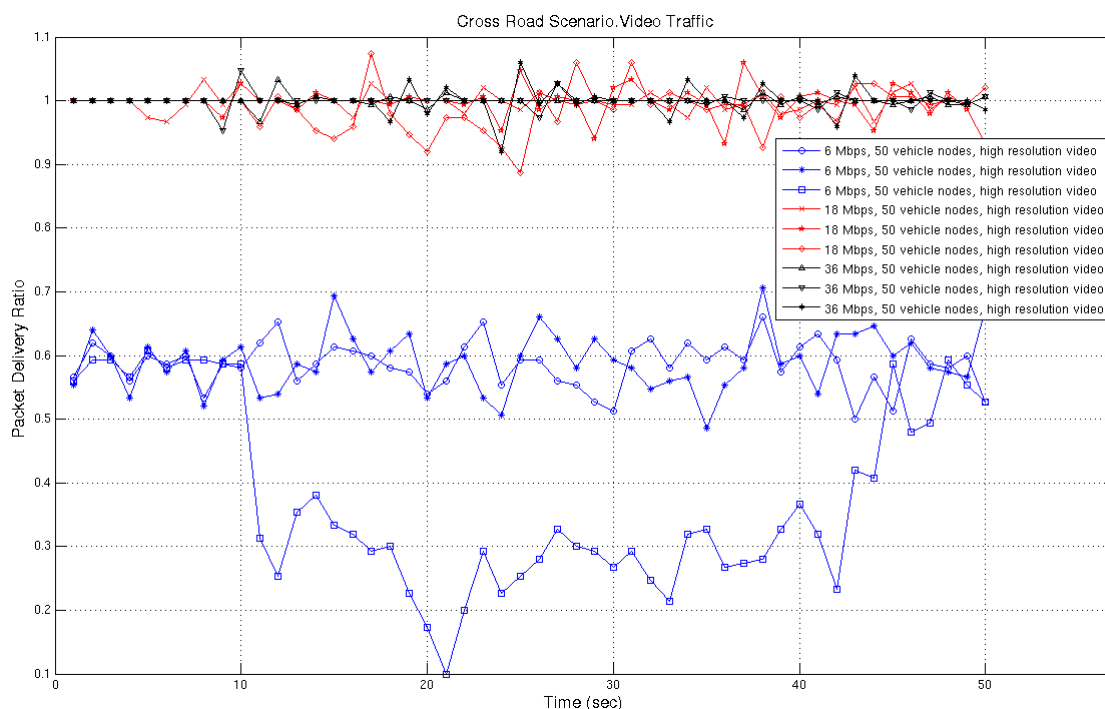


圖 4-7 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同傳輸速度的封包傳輸率

在目前規劃的專用短距離通訊 (DSRC) [19]技術中，基本的傳輸速度為 6 Mbps。如圖 4-5 和圖 4-6 中所示，車輛密度在 50 個節點時，封包的傳輸率均在 0.8 左右而且延遲時間多在 200 ms 以內，然而傳輸速度卻使用高速的 36 Mbps。在圖 4-7 和圖 4-8 中，我們嘗試使用 6、18 和 36 Mbps 等不同傳輸速度來傳送封包，觀察在這些狀況下的封包傳輸率和端到端延遲。

在圖 4-7 中，當以 18 和 36 Mbps 的傳輸速度傳送封包時，所接受到的封包傳輸率，尚可維持在 0.9 左右。由此可見，傳輸速度的速度越快，封包傳輸率越好。不過當以 6 Mbps 的速度傳送時，封包傳輸率約為 0.6，在較為嚴重的情況下，甚

至會降到 0.3 左右。此一現象之背後原因為，每個封包在較高的傳輸速率下，可以較為迅速的完成傳輸。因此，除了減少對周圍其他車輛的影響外，也可減少自己的封包傳輸時發生碰撞的機率。

圖 4-8 中，我們可看到在 18 和 36 Mbps 的傳輸速度下，延遲時間都在門檻值的 200 ms 以內。當使用以 6 Mbps 的傳輸速度時，延遲時間，則都增加到 1 秒以上，嚴重時可高達 6 秒。如果以 6 Mbps 的速度傳輸，在我們的應用中，即便可以有良好的影像品質，呈現的影像仍都是前一秒以前的影像，而且僅有一半的影像封包被完整收到；明顯無法符合應用的需求。如果我們想要使用 6 Mbps 的速度傳輸，保持延遲時間在 200 ms 以下，且封包的傳輸率都能維持 0.8 以上，勢必需降低影像的解析度。

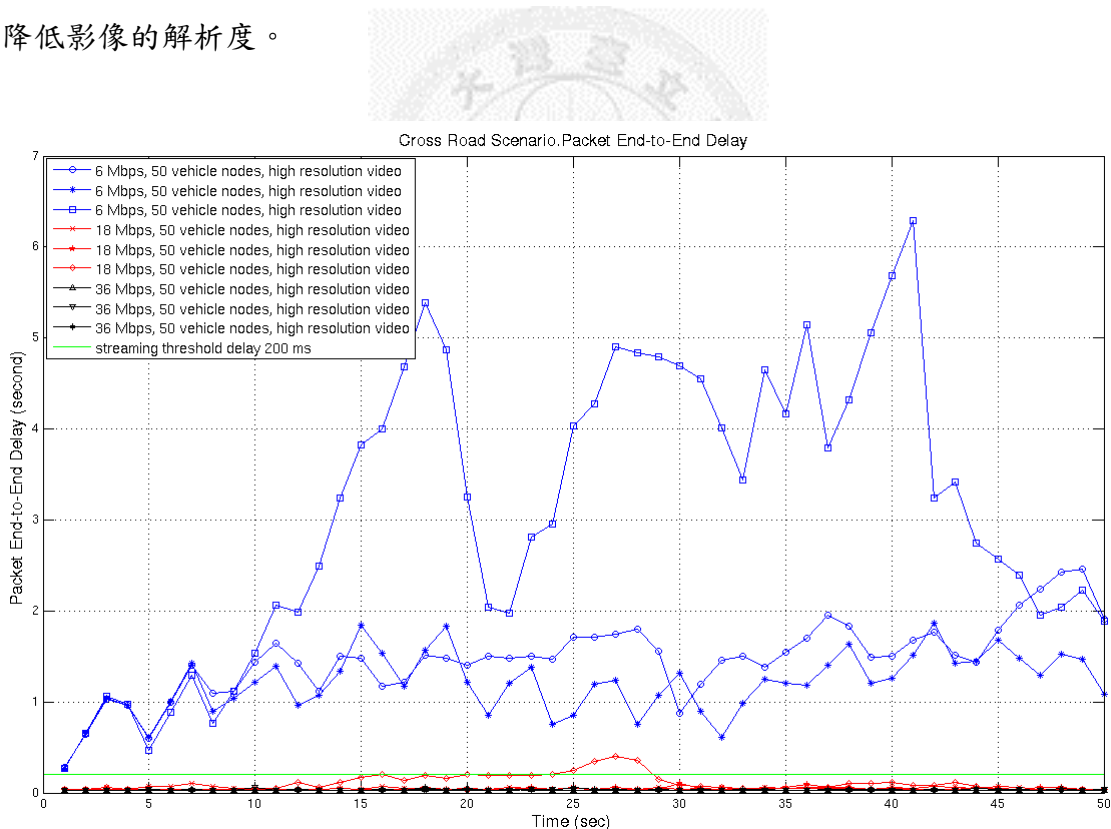


圖 4-8 在城市場景中十字路口轉彎之情境中，不同傳輸速度的端到端延遲

從圖 4-9 中，我們以 6 Mbps 的傳輸速度，傳送不同解析度的影像封包。只有在低解析度 (low resolution) 時，封包的傳輸率，才能約略保持在 0.9 左右。

不過當路口發生交通壅塞時，干擾會變得嚴重，封包的傳輸率會上下波動，造成封包的丟失與重傳的情況。當我們把影像解析度調到高解析度 (high resolution) 時，約只有 0.6 的封包，才會成功收到。使用更高的 VCR 解析度時，封包幾乎沒有被接收到。主要原因為影像解析度太大，傳輸速度慢，因此發生碰撞及重傳的機率極高。

在圖 4-10 中，只有使用低解析度的影像時，延遲時間才會低於 200 ms，而使用高解析度和 VCR 的影像時，延遲時間都超過 1 秒，特別是當使用 VCR 解析度的影像，延遲時間久，而且震盪激烈，影像封包幾乎無法被使用。由此結果可知，若欲使用 6 Mbps 的傳輸速率於此應用中，則必須使用低解析度的影像資料。

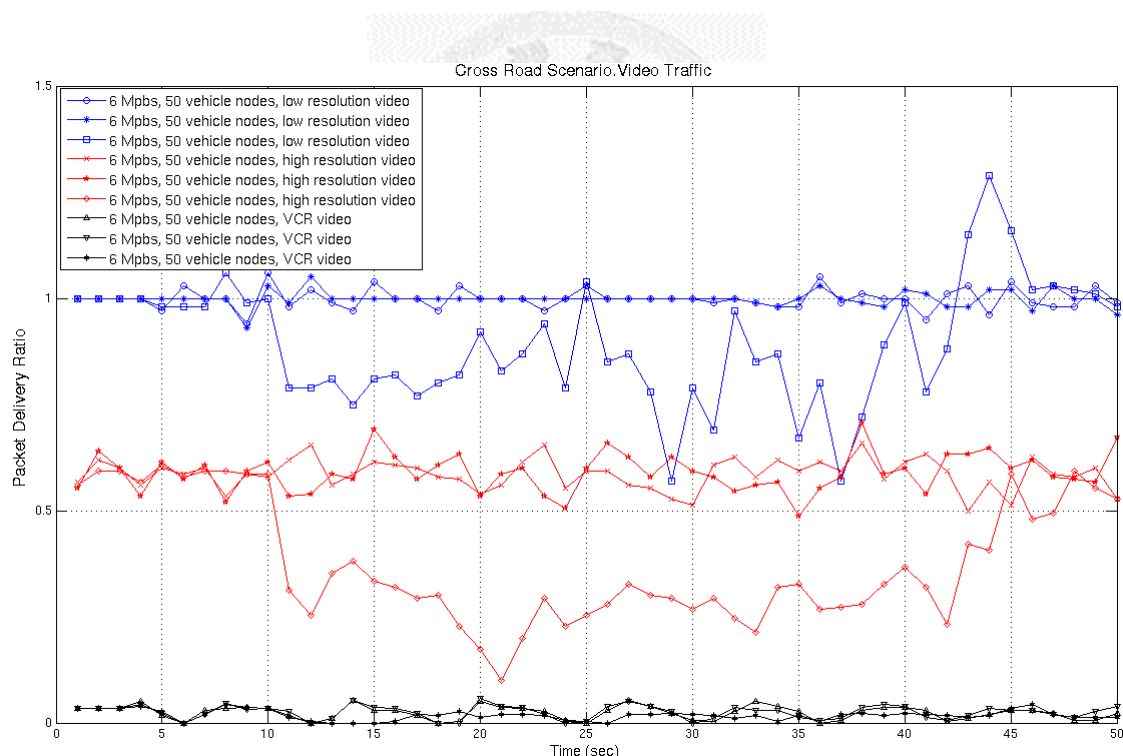


圖 4-9 在城市場景中十字路口轉彎之情境，不同影像解析度的封包傳輸率

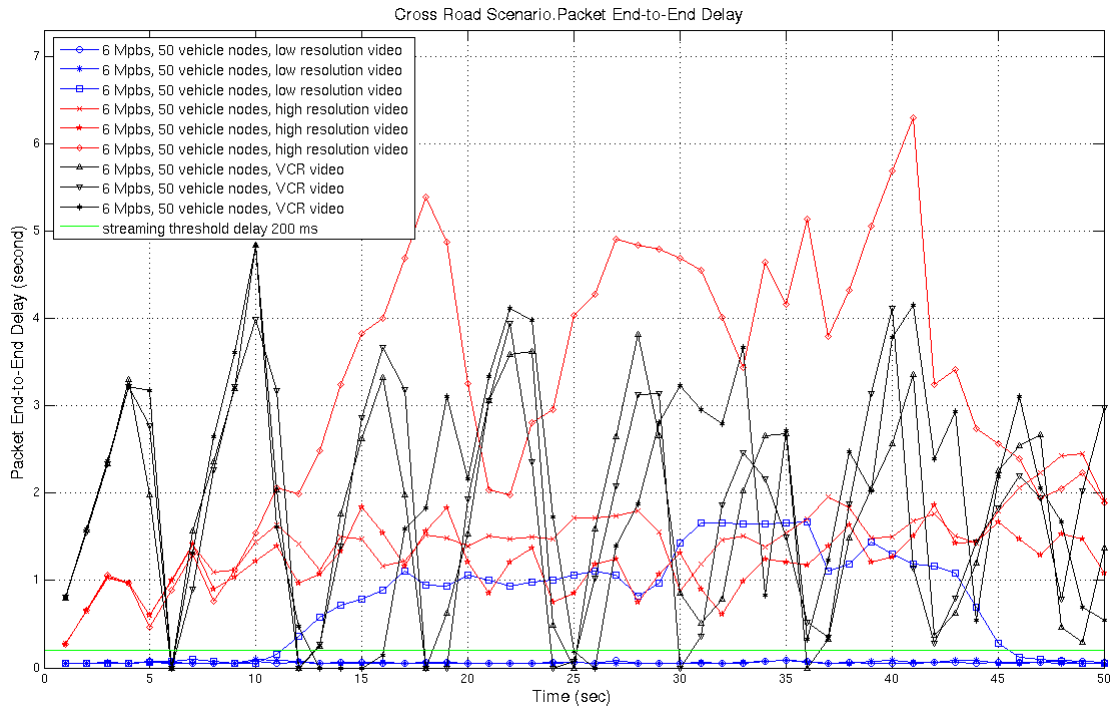


圖 4-10 在城市場景中十字路口轉彎之情境，不同影像解析度的端到端延遲

綜合以上不同的車輛密度、不同傳輸速度和不同影像解析度的分析，我們可以得出此一結論：在城市場景具交通號誌十字路口轉彎的情境中，使用 6 Mbps 速率傳送低解析度的影像，供鄰近車輛使用是可行的方案。如果要將影像解析度提高，則必須增加傳輸速度，以保持影像品質於可接受的範圍，並確保呈現的影像即時性。

4.3.2 城市場景中不具交通號誌巷道轉彎之情境

圖 4-11 和圖 4-12 分別呈現在城市場景中巷道轉彎之情境下，在不同的車輛密度時的封包傳輸率和端到端延遲。在圖 4-11 中，我們可以觀察到在總節點數 50 和 150 節點時的封包傳輸率，都約略在 0.8。而在 300 個節點時(以黑色線表示)，車輛密度的增加，車間網路的通訊，沒有明顯的受到的影響，部份的封包傳輸率約略在 0.8 左右，不過當路口的節點，超過一定數量密度時，節點的封包傳輸率，開始下降，落在 0.6 左右。究其原因：一、因為車輛行駛在交叉路口時沒有交通號

誌，車輛不會停止運動，不會造成車輛聚集在路口，因此不會受到太多的干擾，封包碰撞的機率減少，傳輸率較佳。二、在路口時，因為車輛密度增加，造成會車而減速，產生小規模的交通壅塞，同時也造成無線通道的競爭，加上節點頻繁地傳送封包，造成碰撞的機率增大，因而，在 300 個節點時，封包的傳輸率，只有在 0.6 左右。這兩個原因，不同之處在於，車輛的總數稀少，沒有造成聚集在路口，封包傳輸率較佳；車輛的總數增加時，路口會造成聚集的情況，封包傳輸率較差。

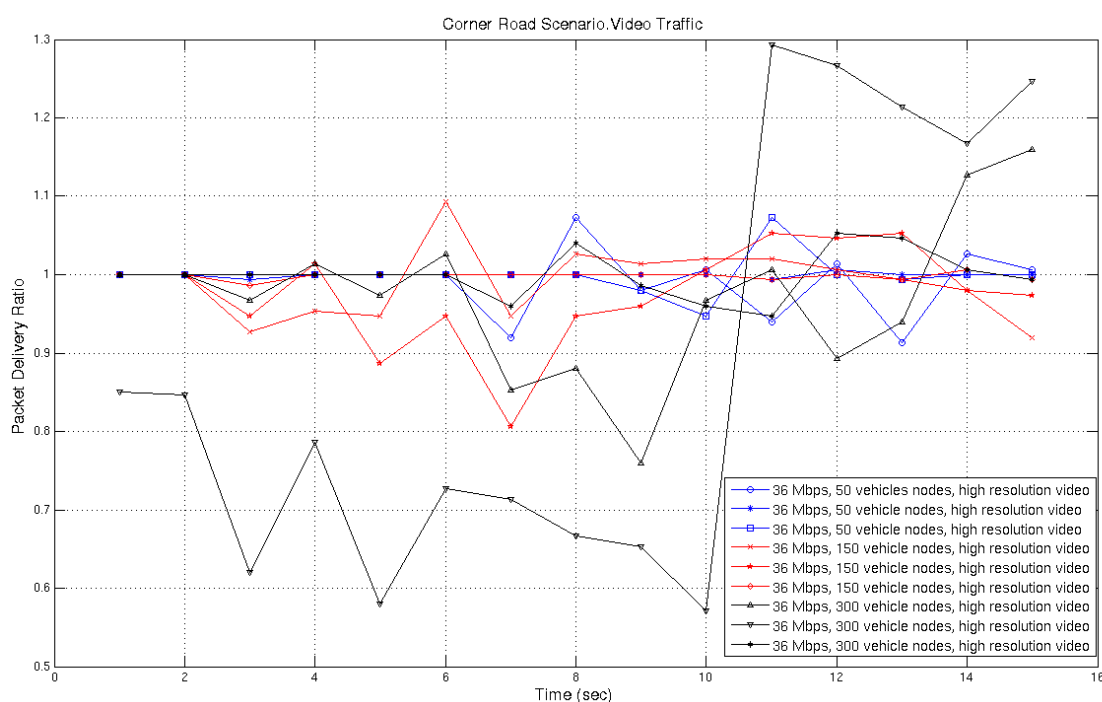


圖 4-11 城市場景中巷道轉彎之情境，不同車輛密度的封包傳輸率

圖 4-12 呈現的是在 50、150 和 300 個節點的情況下的端到端延遲。我們可以觀察到，在這三種不同的車輛密度中，延遲的時間都約在 200 ms 以下，在可接受的範圍之內。不過在 150 和 300 個節點的狀況下，仍可能在交通擁擠時，造成封包碰撞而重傳，而造成延遲時間上升，使封包無法使用。在此一模擬中，我們使用 36 Mbps 高速率的傳輸影像資料，封包傳輸率和端到端延遲，都在可接受範圍以內。在圖 4-13 和圖 4-14 中，我們將使用 6、18 和 36 Mbps 等不同傳輸速度，

來模擬和觀察不同速度的傳輸結果。

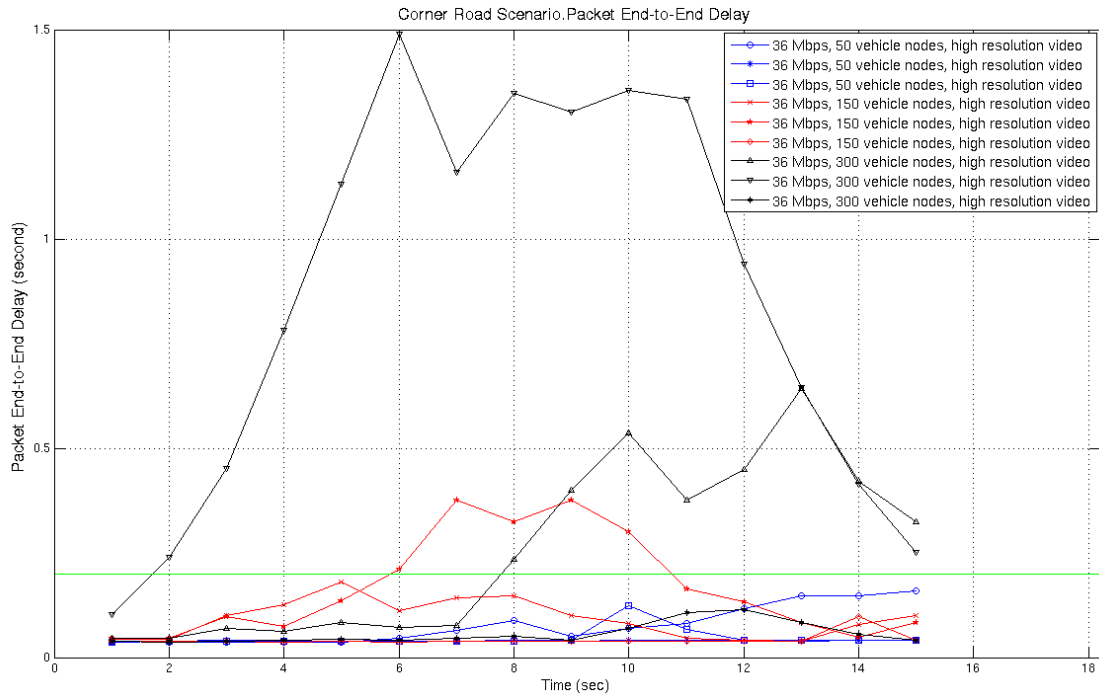


圖 4-12 城市場景中巷道轉彎之情境中，不同車輛密度的端到端延遲

圖 4-13 中，表示的是在 50 個節點的情況下，以不同的速度 6、18 和 36 Mbps 傳輸時的封包傳輸率。使用 18 和 36 Mbps 的傳輸速度時，封包傳輸率約略為 0.9，顯示在巷道轉彎時，當傳輸速度較快，封包碰撞機率縮小，因此傳輸率較高。當我們使用基本的傳輸速度 6 Mbps 傳送時，封包傳輸率則僅能維持在 0.6 左右，甚至在部份情況下可下降至 0.3。因此，在巷道轉彎的場景中，同時使用高解析度的影像及 6 Mbps 的傳輸速率時，將無法有效地傳送影像給周圍的車輛。

圖 4-14 則呈現在 50 個車輛密度時，以不同的速度 6、18 和 36 Mbps 傳送時的端到端延遲，我們可以觀察到以 18 和 36 Mbps 的傳輸速度傳送時，延遲時間都在 200 ms 以下且封包傳輸率都可達到 0.9 左右。由此可知，在巷道轉彎之情境中，當使用超過 18 Mbps 以上的速率時，就能將延遲的時間，降落至 200 ms 以下。反觀，當以 6 Mbps 傳送影像封包時，延遲的時間，可從 0.3 秒增加到 4 秒，時間的

延遲隨著影像傳輸時間增加，顯示傳輸佇列不斷增長。因此在此一設置下，無法傳輸高解析度的影像給鄰近車輛使用。

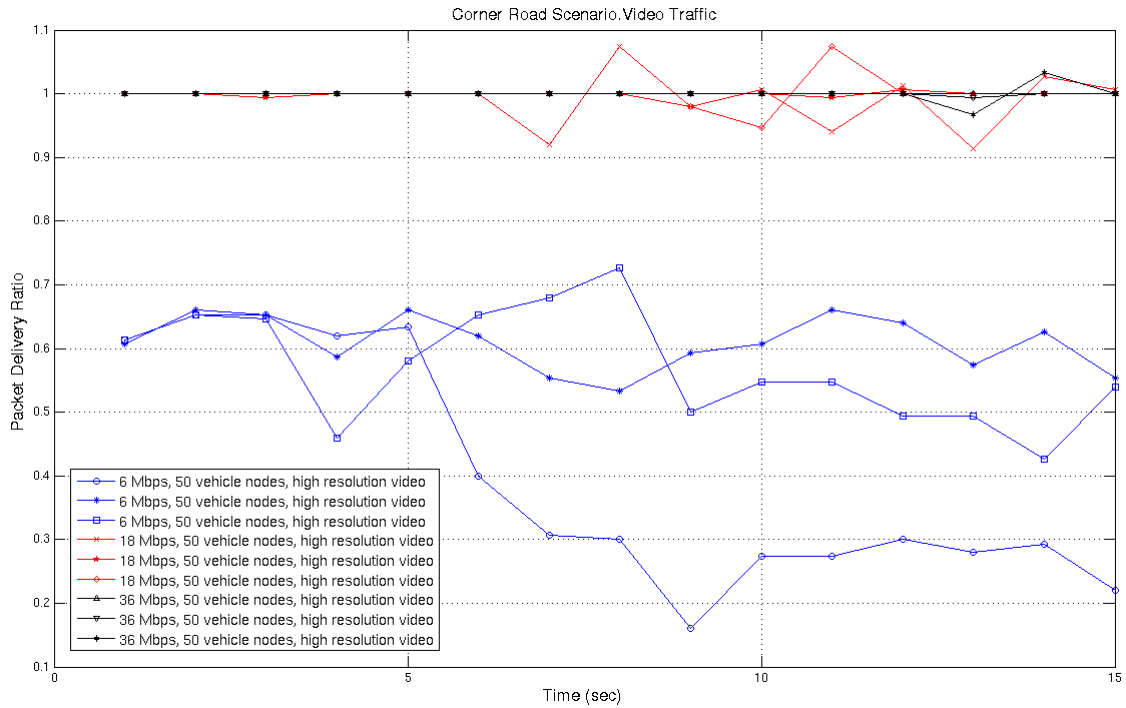


圖 4-13 城市城景中巷道轉彎之情境，不同傳輸速度的封包傳輸率

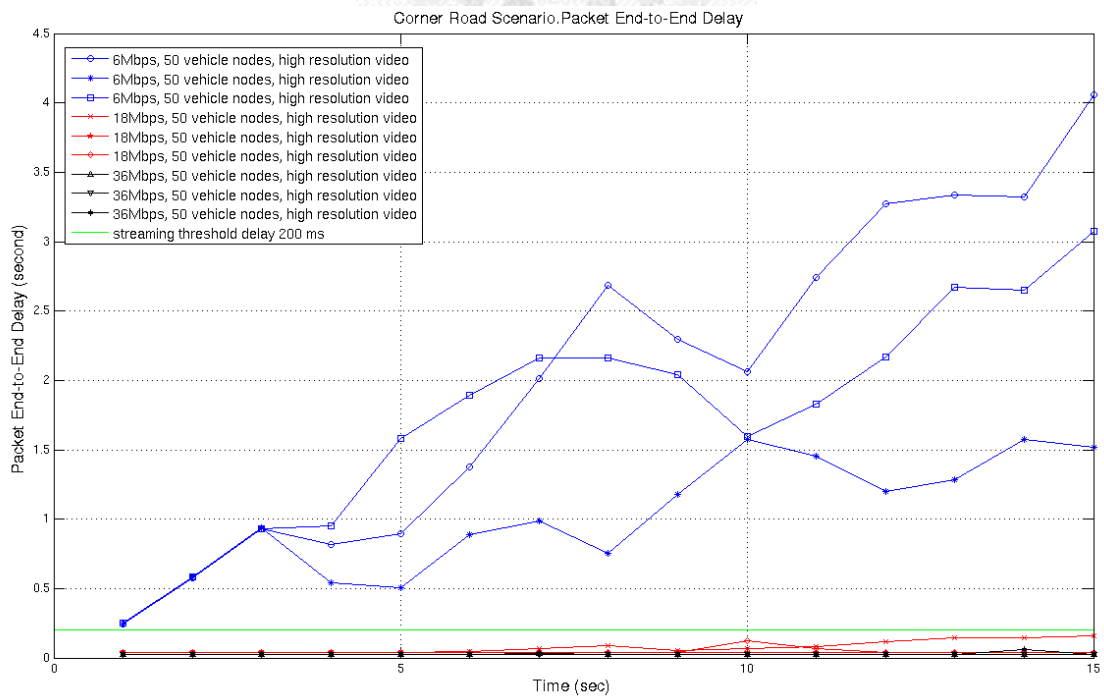


圖 4-14 城市場景中巷道轉彎之情境，不同傳輸速度的端到端延遲

圖 4-15 和圖 4-16 分別表示使用不同影像解析度時的封包傳輸率和端到端延遲。而傳輸速率皆使用 6 Mbps。在圖 4-15 中，我們可以觀察到，當使用低解析度的影像時，封包傳輸率尚能維持在 0.9 左右，雖然偶爾有碰撞而造成封包傳輸率，瞬間下降，不過平均而言封包傳輸率大多在 0.9 以上。在使用高解析度影像時，封包傳輸率則都只能維持在 0.5 至 0.6 左右。而當使用 VCR 的影像解析度時，情況更加嚴重，大部份的封包都沒有被正確接收到。

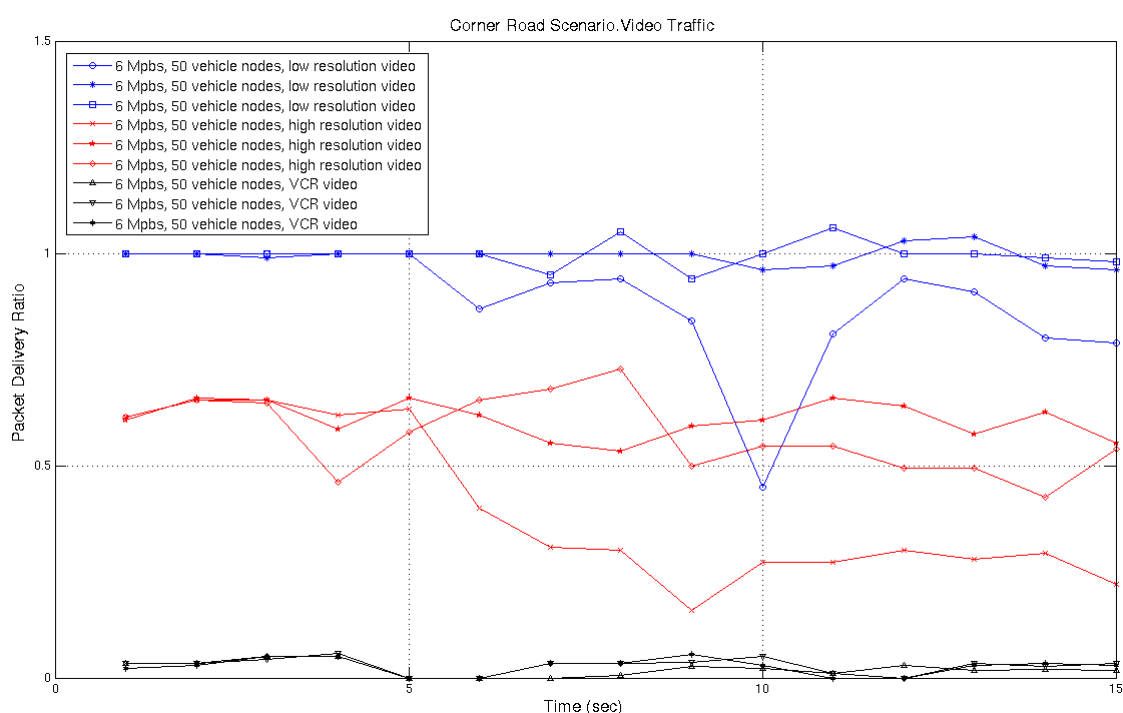


圖 4-15 城市場景中巷道轉彎之情境中，不同影像解析度的封包傳輸率

在圖 4-16 中，我們可以觀察到只有使用低解析度的影像時，端到端延遲才會在 200 ms 以內。在路口封包的傳送，偶爾有碰撞而導致重傳，此時端對端延遲，則會超過 200 ms。在使用高解析度影像時，延遲時間從時間 1 秒之後，不斷上升，顯示傳輸佇列隨著時間越來越長。使用 VCR 的影像解析度時，延遲時間非常不穩定，而且常常上下波動，有時一秒之內沒有任何封包被接收到，因此圖中部份延遲時間為 0。

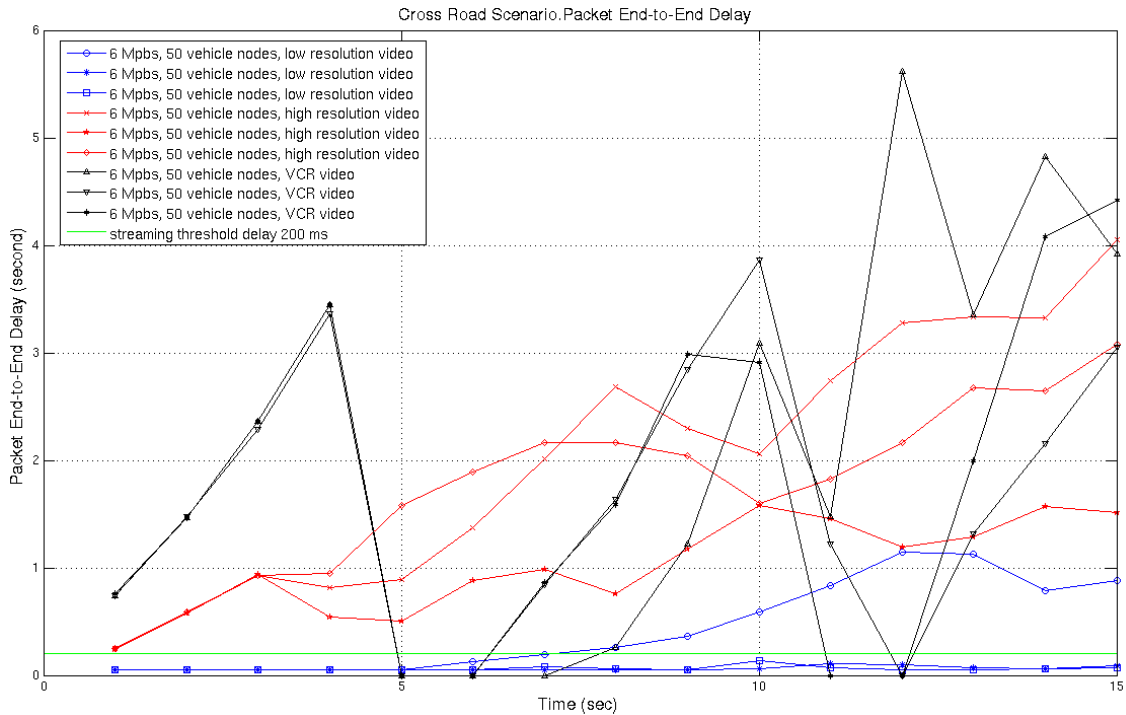


圖 4-16 城市場景中巷道轉彎之情境中，不同影像解析度的端到端延遲

綜合以上之觀察，可得出結論：在城市場景中巷道轉彎之情境中，利用車間通訊，傳送車上攝影機拍攝之影像給鄰近的車輛，當密度為較低（如本實驗中 50 個車輛節點之設定）時，以 6 Mbps 的傳輸速度，傳送低解析度的影像，是可行的。隨著車輛密度的增加或影像解析度的上升，就必須要適當地調升傳輸速度，使延遲時間可保持在 200 ms 之內，並正確的將大部份影像封包，傳送給鄰近的車輛節點。

4.3.3 高速公路變換車道之情境

圖 4-17 至圖 4-20 中表示的是在高速公路變換車道情境中，不同車輛密度下接收到前車和後車的封包傳輸率。主要目的是觀察前後兩車同時傳送影像給同一輛車的方式，是否可行。在高速公路的模擬中，影像將分三次傳送，每次持續 30 秒。每次傳送後，停止數秒，再續下一次持續發送 30 秒的影像傳送。此一設定是模擬車輛在變換車道前後需接收影像資料，持續觀察周圍狀況一段時間。而中間

暫停之時間則代表正常行駛時的狀況，不需傳遞影像資料。因此在圖中，亦可觀察到三批的影像封包。在高速公路中，車輛皆以高速行駛，且周圍行駛的車輛，比城市場景中多。因此我們可以觀察到，封包上下波動的情形很激烈。在 50 個節點的情況下，無論是前車或後車所傳輸之封包，傳輸率約略平均都只能維持在 0.7 左右。即使在行駛過一段時間之後，節點之間的距離，還是保持相同距離，因此受到干擾的情況，並沒有太大的改變。推究其原因為，在封包開始傳送時，車輛的密度就已經較高，眾多鄰近車輛發出的 hello 封包，造成封包的丟失和重傳。在 150 和 300 個節點的情況下，無論是前車或後車都在所傳送之封包的傳輸率 0.5 左右。在時間 0~30 秒之間，由於車輛的密度分散均勻，因此封包的碰撞亦均勻，導致封包的傳輸率，都約略固定。在行駛過一段時間之後，時間（在 35-65 秒之間），封包的傳輸率則由 0.8 下降至 0.2。可能造成的原因是，隨著節點的增加，被傳送的 hello 封包也增加造成碰撞機率上升，導致封包重傳且都沒有被收到，因此封包傳輸率一直下降。當車輛又行駛過一段距離之後（在時間 65-95 秒之間），我們可觀察到，封包的傳輸率，明顯有上升的情況，但又接著因封包碰撞而下降。車輛節點已經快要行駛到終點，某些鄰近的車輛節點已經離開模擬的道路，推則因此造成封包碰撞機率減少，封包傳輸率也因而略為上升。不過相較於兩種城市場景的模擬，高速公速的情境，由於前述幾項原因，收到的封包傳輸率明顯較低。

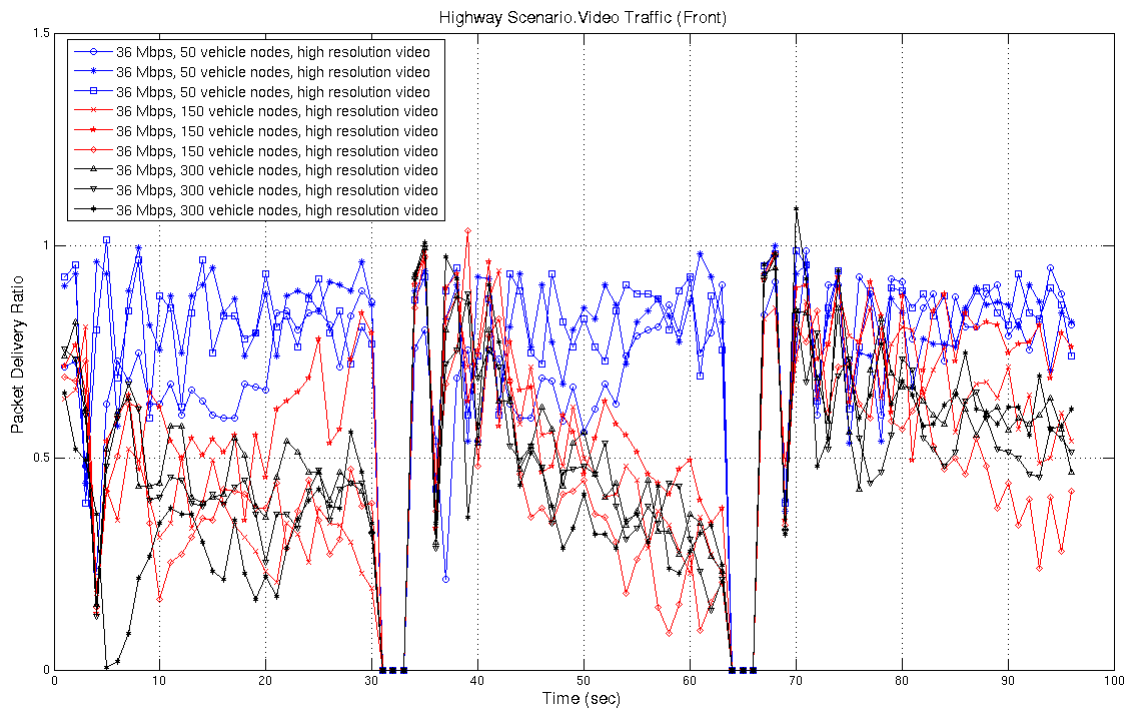


圖 4-17 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度封包傳輸率(前車)

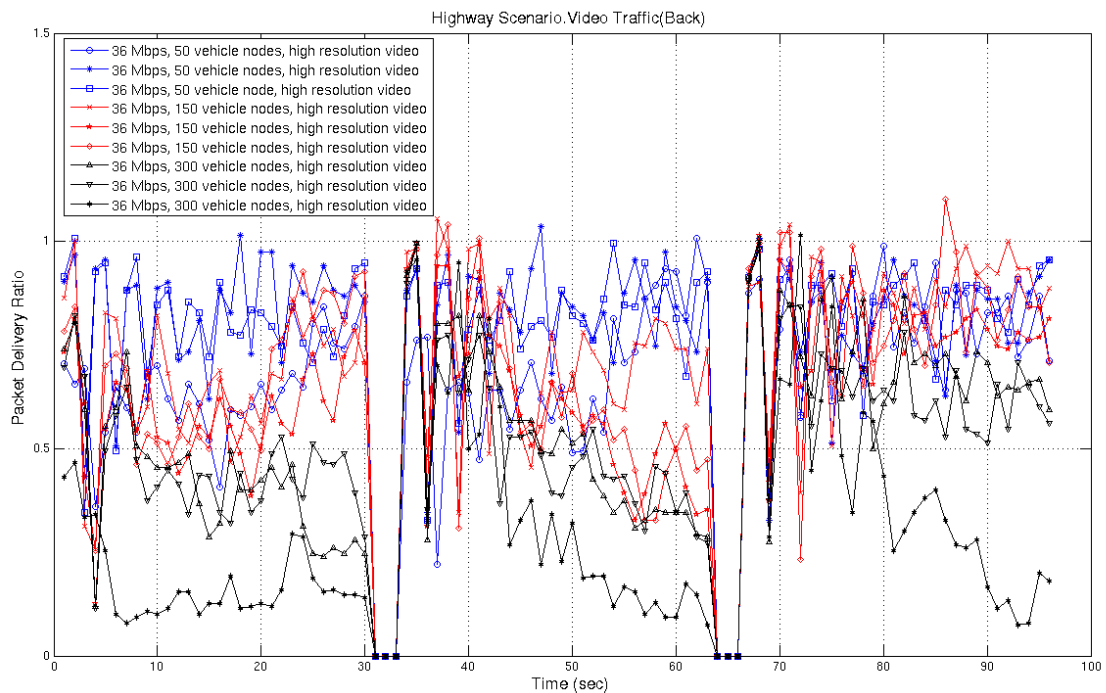


圖 4-18 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度的封包傳輸率(後車)

圖 4-19 和圖 4-20 則呈現在不同車輛密度下前車和後車所傳送封包的端到端延遲。在 50 個節點的情況下，無論是前車或後車，平均延遲時間都在 0.4 秒之上，遠遠高於 200 ms 的門檻值；因此大部份的封包，在我們的應用中是無效的。而在

150 和 300 個節點的情況下，無論是前車或後車，延遲時間都隨著影像傳輸時間而增加。前車的延遲時間，最高約為 5 秒，而後車受到的干擾更為嚴重；在 300 個節點的情況下，延遲時間可高達 10 秒。由此可知，在高速公路的情境中，即使車輛密度只有 50 個節點，端對端的延遲都仍不能在可接受的範圍之內。因此，在高速公速情境時，必須修正其他系統之參數，否則無法使用本應用。

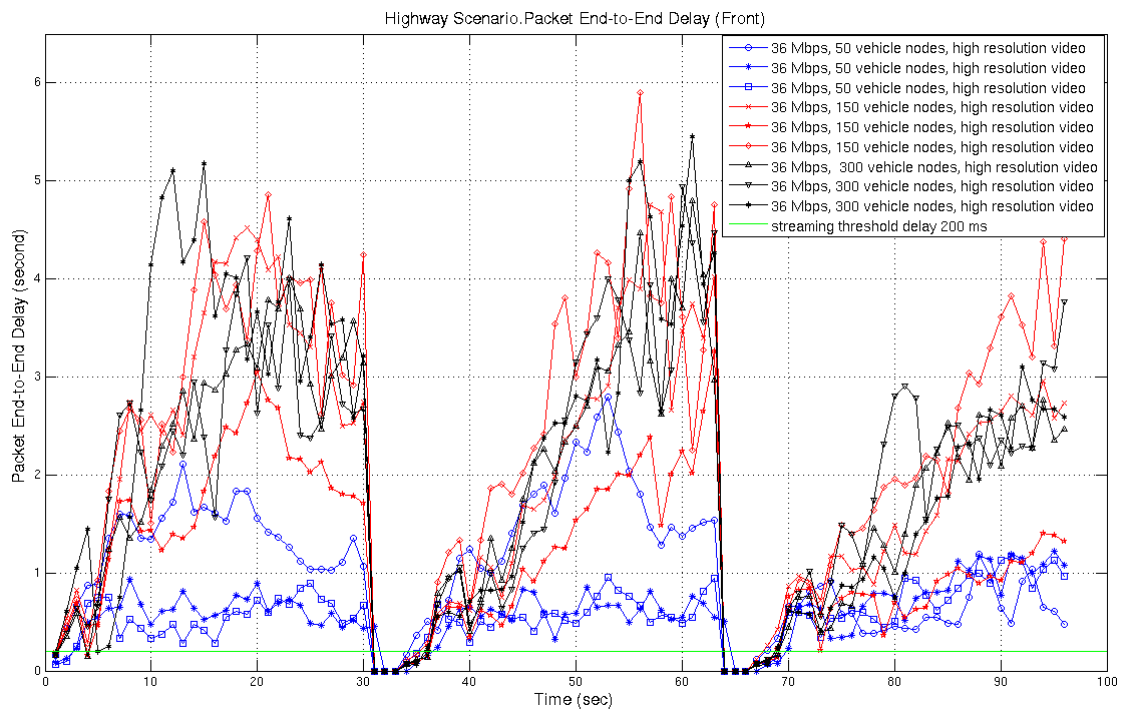


圖 4-19 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度的端到端延遲(前車)

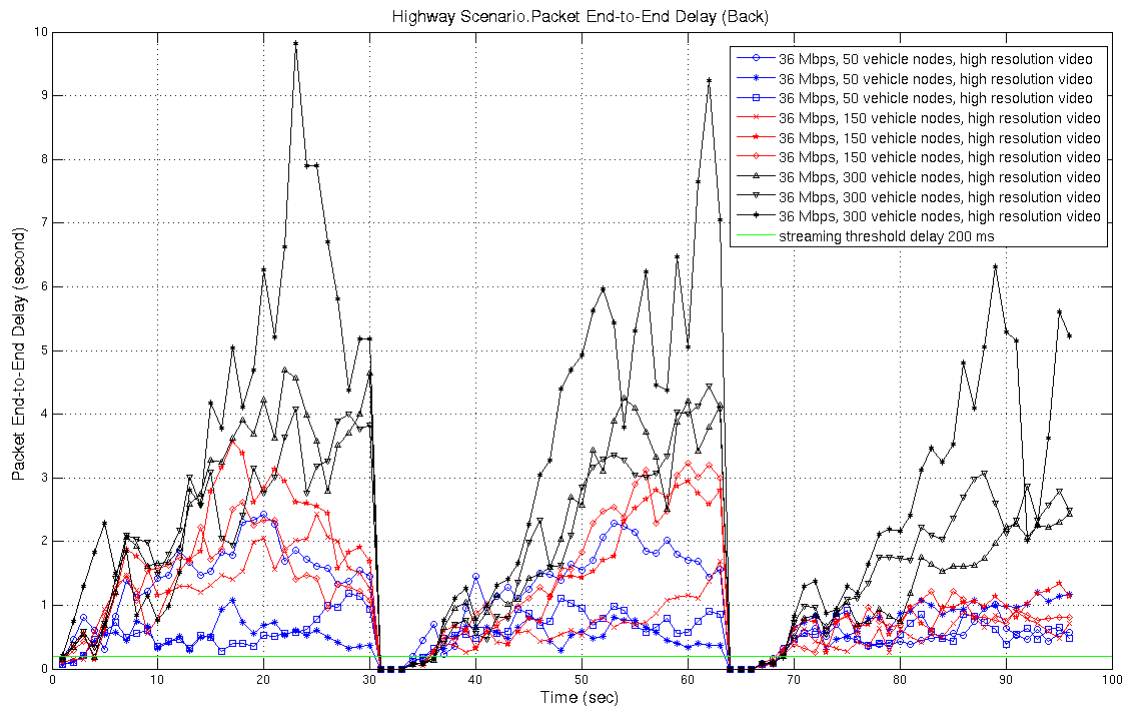


圖 4-20 高速公路變換車道之情境，不同車輛密度的端到端延遲(後車)

從前述的分析中可得知，在車輛總數 50 個節點的情況下，以 36 Mbps 的速率傳送影像給鄰近的車輛駕駛者，封包傳輸率平均只約為 0.7。而端到端延遲也多超出 200 ms 許多。因此若要在此情況下使傳輸的影像，可被駕駛者使用，只有選擇降低影像之解析度。另一方法為提升傳輸速率，但在此我們假設 36 Mbps 已為無線介面可支援的最高速率。

圖 4-21 和圖 4-22 呈現在不同影像解析度下前車和後車所傳送封包之傳輸率。由於在 36 Mbps 之下，使用高解析度影像時的封包傳輸率，已經不能達到傳輸率和延遲的最低要求，因此，在此我們嘗試降低影像解析度，而省略增加解析度的模擬結果。我們可以觀察到，當使用高解析度的影像時，封包傳輸率約略只維持在 0.7 左右；而當我們降低影像解析度時，無論是前車或後車的封包傳輸率都隨著上升，約略維持在 0.9 以上，得到較佳的封包傳輸率。

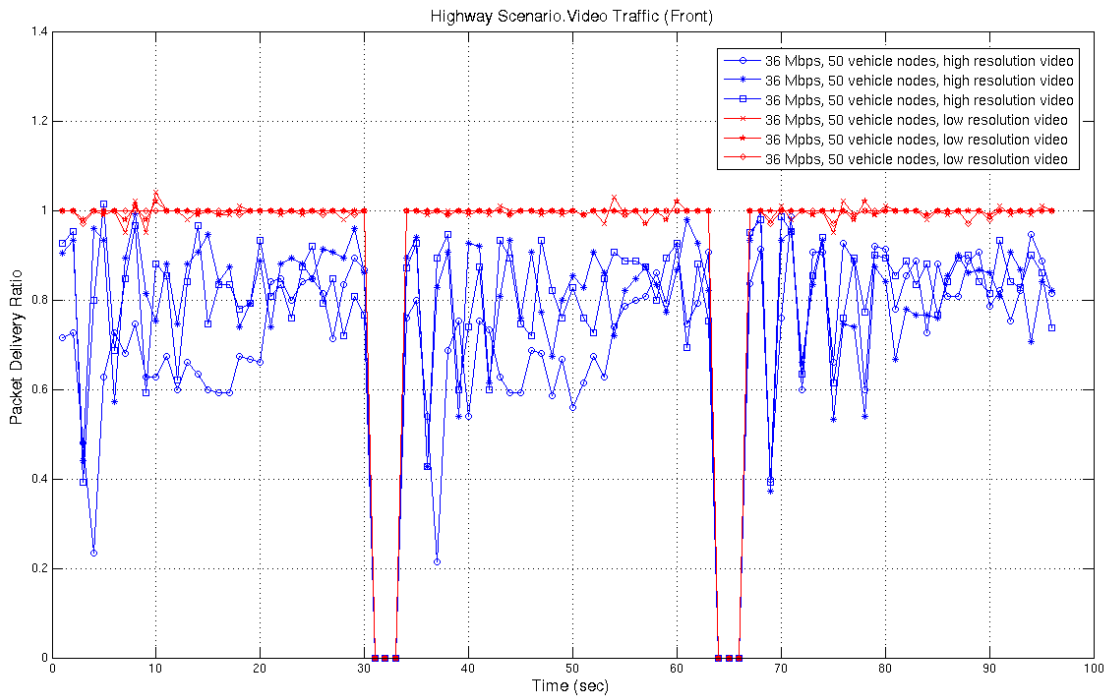


圖 4-21 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的封包傳輸率(前車)

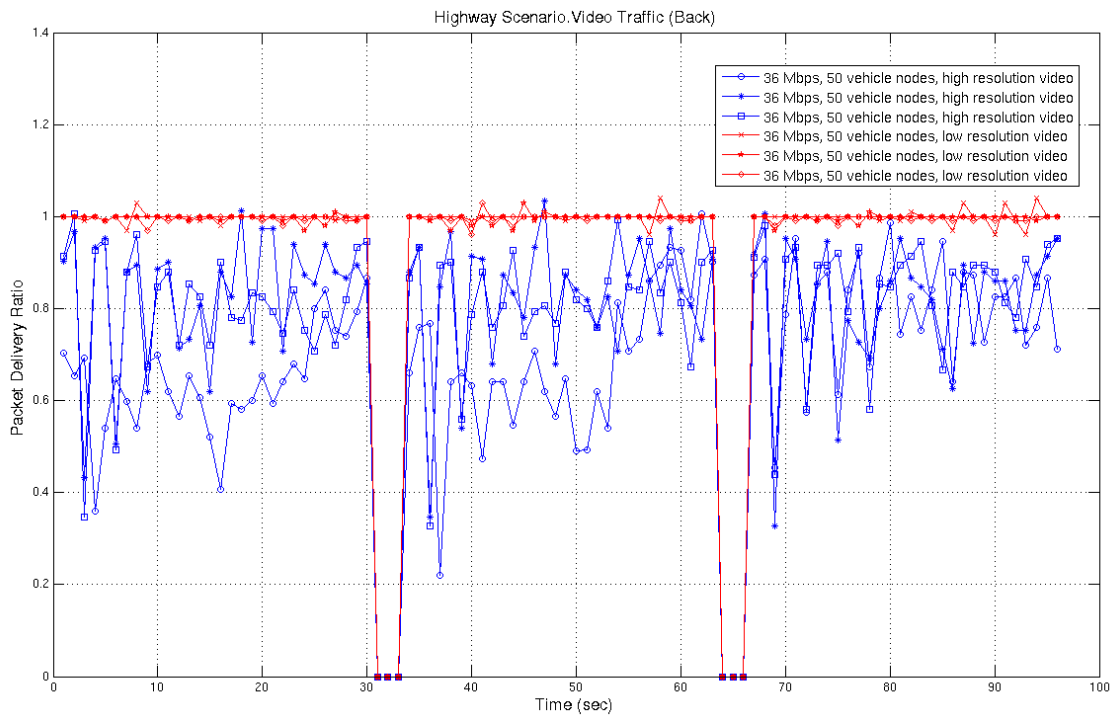


圖 4-22 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的封包傳輸率(後車)

圖 4-23 和圖 4-24 表示的是當使用不同影像解析度時的端到端延遲。從觀察中可得知，高解析度的影像時，最小的延遲時間仍約略為 0.5 秒，而最大則可達到 2.5 秒，已經超過延遲門檻值 200 ms 甚多。而在同一樣的傳輸速度 36 Mbps 之下，當使用低解析度影像時，延遲時間則可降低至 0.01 秒，落在延遲門檻值之內，而可以提供較為順暢的影像供駕駛者使用。

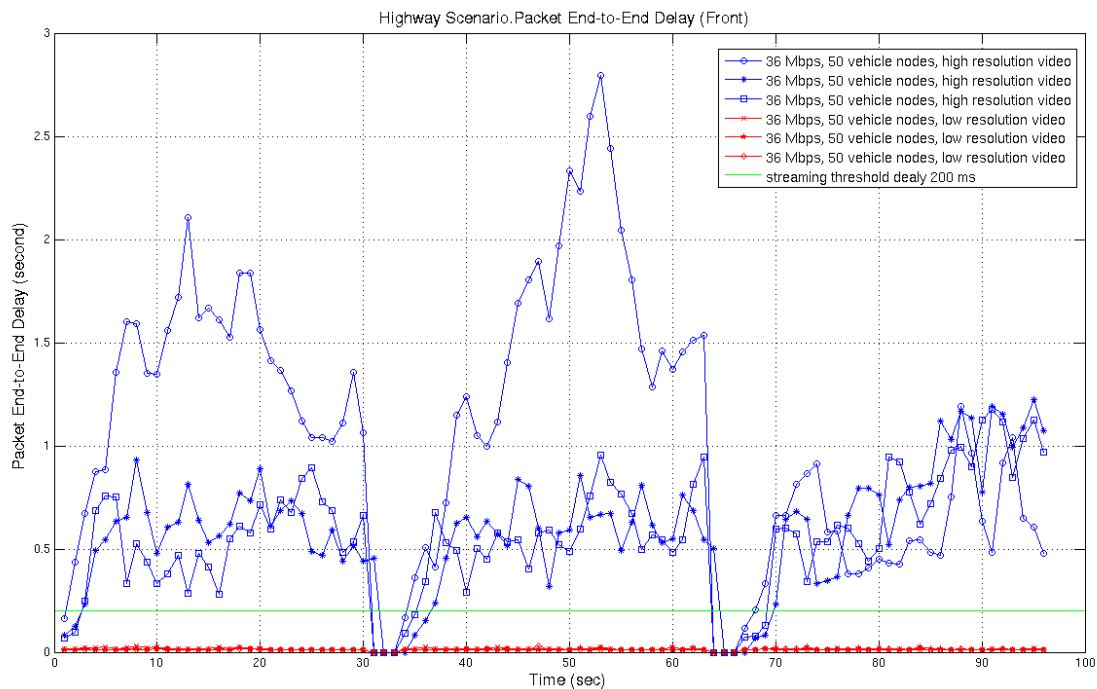


圖 4-23 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的端到端延遲(前車)

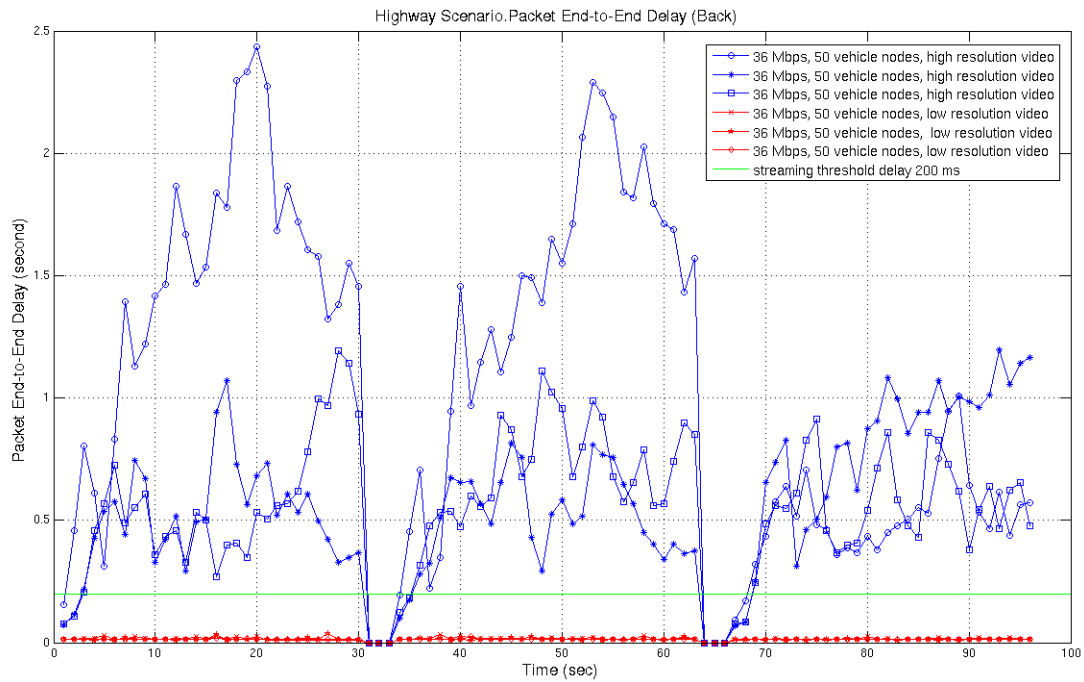


圖 4-24 高速公路變換車道之情境中，不同影像解析度的端到端延遲(後車)

綜合以上，實驗結果之分析，在高速公路情境中，車輛總數 50 個節點時，需使用較高的 36 Mbps 的傳輸速率，並使用低解析度的影像，封包傳輸率才能維持在 0.9 左右，並使延遲門檻值保持在可接受的 200 ms 之內，而低於 36 Mbps 的傳輸速率，則均無法使用。如果車輛總數增加或影像解析度調高，勢必要再調高傳輸速率，才能得到較佳的封包傳輸率和低於延遲門檻值的延遲時間。由於在此情境中需要同時接收前車與後車之影像，且周圍車輛較多，因此需要較為嚴苛之網路條件。此為本情況結果與其他情境不同之主要原因。

第五章 結論與未來展望

5.1 結論

本論文提出並實作了一整合性模擬架構，結合了道路交通模擬器(SUMO)和網路模擬器(OPNET)。因此，可用於 VANETs 中網路協定及應用程式之設計及開發，使獲得之設計較為有效。需要考慮到交通移動模型對網路的影響，使用此架構之車輛網路模擬比一般方法更接近真實。

本論文之第二部份，使用網路模擬和道路交通模擬的連結整合工具進行研究，並進行了實驗模擬，分析不同的交通情境對車輛網路中網路攝影機應用的性能影響。我們以三種不同的道路交通情境，觀察和分析在不同的車輛密度、不同的傳輸速度和不同的影像解析度下的封包傳輸率和端到端延遲。由結果可得到兩個結論：一、在城市場景中有交通號誌之十字路口轉彎和城市場景中沒有交通號誌之巷道轉彎兩個情境中，以 6 Mbps 的傳輸速度傳送低解析度的影像給鄰近的車輛，輔助駕駛者增加視線範圍是可行的。但在車輛密度再增加時，則可能需要提昇傳輸速率來保持影像品質。二、在高速公路情境中，由於車輛都在高速移動，周圍車輛密度高且都以同方向行駛，造成封包碰撞機率提高，因此且同時有前車和後車傳送影像資料，使用 36 Mbps 傳送低解析度的影像時，才能滿足影像傳輸的需求。

從模擬中得知，不同的交通移動模型對車間網路之效能是有顯著影響的。因此可知，只有在整合網路模擬和道路交通模擬的工具下，才能觀察交通移動模型對網路影響的程度。在設計 VANETs 應用程式或協定時，唯有網路所受到之影響及交通環境中的道路規劃與車輛密度，才能獲最佳的設計。

5.2 未來展望

1. 本論文基於不同的道路交通場景，對網路模擬和道路交通模擬進行了整合，並在此整合架構下進行研究，分析不同交通環境對網路性能的影響。然而，目前仍然存在許多方面需要探索：我們只對道路交通環境，進行了簡單的模型建置，較真實的作法應該為導入真實的地圖資訊。在實際的地圖模型中去模擬車間網路。

2. 我們沒有模擬公車在特定的地點停靠及提供乘客上下車的情境。未來可以增加此情境，使模擬車輛的行為更為真實。主要可考慮的應用為公車在停靠時，需要注意到乘客上下車的情況和行駛中的車輛情形的相關安全應用。

3. 由於本論文中模擬之交通環境的限制，模擬規模較小，車輛數目相對較少，相對的模擬時間也較短，未來可以加大規模，以期模擬更真實的交通環境。

4. 本文的整合工具，目前只實作了網路模擬接收道路交通模擬下車輛資料之功能，並未實作網路模擬之結果影響道路交通的車輛行為之功能。未來可以增加此功能，以建立更真實的 VANET 模擬。

參考文獻

- [1] Maxim Raya, Horst Hellbrück, Stefan Fischer, Axel Wegener, Michal Piórkowski and Jean-Pierre Hubaux, “TraCI: A Framework for Coupling Road Traffic and Network Simulators”. Available at ACM Digital Library, *Proceedings of the 11th Communications and Networking Simulation Symposium*, April 2008.
- [2] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, “SUMO - Simulation of Urban Mobility: An overview”. In SIMUL 2011, *The Third International Conference on Advances in System Simulation*, Barcelona, Spain, 2011.
- [3] David R. Choffnes and Fabian E. Bustamante, “An Integrated Mobility and Traffic Model for Vehicular Wireless Networks”. In *Proc. of the 2nd ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*, September 2005.
- [4] Filali F., Bonnet C. and Harri, J., “Mobility Models for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Taxonomy”. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 11, Issue: 4:19–41, Fourth Quarter 2009.
- [5] H. Hartenstein and K. P. Laberteaux, “A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks”. 46(6):164–171, 2008.
- [6] Karnadi, F.K. Zhi Hai Mo; Kun-chan Lan, “Rapid Generation of Realistic Mobility Models for VANET”. pages 2506 – 2511, 11-15 March 2007.
- [7] M. Piorkowski, M. Raya, A. Lezama Lugo, P. Papadimitratos, M. Grossglauser and J.-P. Hubaux, "TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs". *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 12(1):31–33, January 2008.
- [8] Mahmood Fathy, Saleh Yousefi and Mahmoud Siadat Mousavi, “Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs): Challenges and Perspectives”. *International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, 2006.
- [9] C. Sommer and F. Dressler, “Progressing Toward Realistic Mobility Models in VANET Simulations”. 46(11):132–137, 2008.
- [10] C. Sommer, R. German and F. Dressler, “Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis”. 10(1):3–15, 2011.
- [11] S.Y. Wang and C.L. Chou, “Nctuns Tool for Wireless Vehicular Communication Network Researches”. *Simulation Modeling Practice and Theory*, Vol. 17, No. 7:pp. 1211–1226, August 2009.
- [12] OPNET Technology Co., <http://www.opnet.com>
- [13] Wiki for the **Traffic Control Interface**,
<http://sumo.sourceforge.net/doc/current/docs/userdoc/TraCI.html>
- [14] WiFi, <http://en.wikipedia.org/wiki/Wifi>
- [15] VisSim, <http://www.vissim.com/>

- [16] VanetMobiSim, <http://vanet.eurecom.fr/>
- [17] NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [18] OMNet++, <http://www.omnetpp.org/>
- [19] Dedicated Short Range Communications (DSRC),
http://en.wikipedia.org/wiki/Dedicated_short-range_communications
- [20] Qualnet, <http://www.scalable-networks.com/content/>
- [21] John Heidemann, Nirupama Bulusu, Jeremy Elson, Chalermek In-tanagonwiwat, Kun chan Lan, Ya Xu, Wei Ye, Deborah Estrin and Ramesh Govindan, "Effects of detail in Wireless Network Simulation". *In Proc. of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference*, January 2001.
- [22] Paramics, <http://www.paramics-online.com/>
- [23] CORSIM, <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis/version5/corsim.htm>
- [24] Transims, <http://code.google.com/p/transims/>
- [25] Intelligent transportation system,
http://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system
- [26] Intelligent Transportation system of USA,
http://www.its.dot.gov/strategic_plan2010_2014/index.htm#f4
- [27] The EU-FP7 project iTETRIS, <http://www.ict-itetris.eu/>
- [28] CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems), <http://www.cvisproject.org>
- [29] Ministry of Transportation and communications R.O.C, <http://www.motc.gov.tw>
- [30] Krasic, C. and Li, K. and Walpole, J., "The Case for Streaming Multimedia with TCP", *Lecture Notes in Computer Science*, pages 213--218, Springer, 2001
- [31] Traffic Safety facts 2009, U.S Department of Transportation,
<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811402.pdf>
- [32] Annual Statistical Report 2008, European Road Safety Observatory,
http://ec.europa.eu/transport/wcm/road_safety/erso/data/Content/statistical_report.htm
- [33] Introducing Teletronics' TT™2400, <http://www.teletronics.com/tt2400.html>