國立成功大學
機械工程學系
碩　士　論　文

可靠度最佳化方法應用於不確定因素下之城市交通法規制定

Extension of Probabilistic Optimization to Urban Traffic Policy-Setting Under Uncertainty

研 究 生：吳昱達
指導教授：詹魁元 博士

中 華 民 國 九 十 九 年 七 月

國立成功大學

碩士論文

可靠度最佳化方法應用於不確定因素下之城市交通法規制定

Extension of Probabilistic Optimization to Urban Traffic Policy-Setting Under Uncertainty

研究生：吳昱達

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

陳家豪

瞿志行

[illegible]

指導教授：[illegible]

系(所)主管：林大惠

中 華 民 國 99 年 7 月 8 日

可靠度最佳化方法應用於不確定因素下之城市交通法規制定

Extension of Probabilistic Optimization to Urban Traffic Policy-Setting Under Uncertainty

研 究 生：吳昱達　　Student: Yu-Ta Wu
指導教授：詹魁元 博士　　Advisor: Dr. Kuei-Yuan Chan

國立成功大學
機械工程學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Mechanical Engineering
National Cheng Kung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Dept. of Mech. Eng.
July 2010
Tainan, Taiwan

中華民國九十九年七月

可靠度最佳化方法應用於不確定因素下之城市交通法規制定

學生：吳昱達　　指導教授：詹魁元 博士

國立成功大學機械工程學系

摘　　要

交通運輸產生的汙染是城市中空氣汙染的主要來源，而在各類控制交通空氣汙染的方法中，交通管理方法具備了及時性、低研發成本、低推廣失敗風險等優點，因此利用制定適當的法規來控制交通空氣汙染已逐漸被重視。然而在進行法規決策時，環境中存在的不確定因素向來是決策的一大挑戰。

本研究將工程上可靠度最佳化設計的概念延伸至城市交通政策的決策上，首先參考多個現存的交通細胞自動機(CA)模型，發展出一套可模擬多線道汽機車混合車流的交通模型；將此交通模型搭配道路使用者平衡(UE)以用來模擬台南市汽機車的交通行爲；利用與高斯擴散模型的結合，可有效評估交通汙染的濃度擴散情形。本論文除提出一套有系統的方法進行交通汙染的評估外，也探討特定政策下交通汙染對周邊造成的環境衝擊與各種不確定因素對環境衝擊的影響，進而實際應用在台南市區域的路網，展示如何應用可靠度最佳化方法來輔助交通法規的制定，在最佳化路網中行車成本的同時，也使道路周邊的空氣品質可符合環保法規限制之標準。

關鍵字：不確定因素下之最佳政策制定、環境衝擊、細胞自動機、可靠度最佳化設計、不確定因素模擬

Extension of Probabilistic Optimization to Urban Traffic Policy-Setting Under Uncertainty

Student: Yu-Ta Wu Advisor: Dr. Kuei-Yuan Chan

Department of Mechanical Engineering
National Cheng Kung University

ABSTRACT

Decision-making in traffic regulations is challenging with uncertainty in the environment. In this research we extend probabilistic engineering design concepts to policy decision-making for urban traffic with variability from field data. City traffic is simulated using user equilibrium and cellular automata. A cellular automata (CA) model is developed by combing existing CA models with tailored rules for local traffic behaviors in Tainan, Taiwan. Both passenger sedans and motorcycles are considered with the possibility of passing between different types of vehicles. The tailpipe emissions from all mobile sources are modeled as Gaussian dispersion with finite line sources. Speed limits of all roads are selected as independent policy design variables, resulting in a problem with 50 dimensions. We first study the impacts of a particular policy-setting on traffic behaviors and on the environment under various sources of uncertainties. The genetic algorithm, combined with probabilistic analysis, is then used to obtain the optimal regulations with the minimal cost to the environment in compliance to the current ambient air quality standards.

Keywords: Optimal Policy Setting under Uncertainty, Environmental Impact, Cellular Automata, Reliability-Based Design Optimization (RBDO), Uncertainty Modeling

誌　　謝

本篇論文的完成，首先要感謝我的指導教授 詹魁元老師，老師在我兩年的研究過程中，不論是於課業或是待人處事上，都耐心的給予許多寶貴的指導和啓發，讓學生這幾年來成長良多且受益匪淺，對老師的教誨學生將銘記於心。感謝口試委員：陳家豪教授與瞿志行教授對本論文的指導與建議，讓論文內容可更加完善。

感謝成功大學交通模擬指派實驗室的胡大瀛老師，提供DynaTAIWAN軟體與其台南市路網資料，也感謝胡老師實驗室中的陳炯男、陳麗雯、張清濱、何偉銘等學長姐，在軟體使用上給予的各項指導。

在我由專題生到碩士畢業的這幾年中，要感謝許多實驗室的夥伴一路陪我渡過。感謝已畢業的學長們：岱璟、智豪、東信、彥智、凱勛，在研究上或生活上給予我許多幫助。也要感謝實驗室的夥伴們：子頡、琇雯、淳民、俊余、勝昌、佳豪、季儒、祐伸、彬儀、佑安、嘉珮，謝謝你們一起陪伴我度過研究生涯中的各種歡樂與艱難的時刻，分享各種生活的點點滴滴，使我這幾年的生活增添許多色彩。

感謝成大機械97乙班的同學以及美食社97的各位，大家在大學畢業後還是團結的互相給予鼓勵和協助，一起克服眾多困難。也感謝我的好友們：甘地、王聰明、小丸子、建翰等人，一起經歷生活中的各個愉快時光，走過各個關鍵的及無聊的時刻。感謝台南這美麗的土地和可愛親切的人們，給予我大學至研究所畢業整整六年的珍貴美好回憶。

最後要感謝我的父母親與家人，感謝你們從小至今的支持與鼓勵，並提供一個穩定的環境，讓我可以無後顧之憂的專注於課業和自己的生活，無須爲了柴米油鹽的雜事而煩心，深深感謝，本論文僅獻給我最親愛的你們。

目　　錄

論文口試委員審定書 1

書名頁 i

授權書 ii

中文摘要 iii

英文摘要 iv

誌謝 v

目錄 vi

表目錄 ix

圖目錄 x

符號說明 xii

第一章、緒論 1

1.1　研究背景 1

1.2　動機與目的 2

1.2.1　研究動機 2

1.2.2　研究目的 3

1.3　論文架構 3

第二章、文獻回顧 5

2.1　交通空氣汙染 5

2.1.1　交通空氣汙染概況 5

2.1.2　交通空氣污染的推估 6

2.1.3 交通空氣汙染對人體的危害 7
2.1.4 交通空氣汙染的減量策略 8
2.1.5 交通政策規劃與空氣汙染 12
2.2 交通細胞自動機相關研究 13
2.2.1 交通細胞自動機模型的發展 14
2.2.2 交通細胞自動機模型之應用 16
2.3 可靠度最佳化設計 17
2.4 本章小結 20
第三章、交通模擬 22
3.1 交通模擬概述 22
3.2 使用者平衡 23
3.2.1 使用者平衡概述 23
3.2.2 DynaTAIWAN簡介 25
3.3 建構台南區域性交通CA模型 30
3.3.1 單線道模型(NS model) 30
3.3.2 雙線道模型 31
3.3.3 單線道含號誌路口模型 32
3.3.4 混合機車車流模型 33
3.3.5 台南區域性交通模型 35
3.3.6 台南區域性交通模型車流敏感度分析 36
3.4 情境分析 38
3.4.1 情境分析設定 38

3.4.2 情境分析結果 40
第四章、環境衝擊分析 44
4.1 高斯汙染擴散模型 44
4.2 交通汙染排放率 47
4.3 不確定因素模擬 47
4.3.1 風速與風向 47
4.3.2 污染擴散係數 50
第五章、交通法規之最佳化制定 52
5.1 研究區域簡介 52
5.2 交通汙染之環境衝擊分析 52
5.3 最佳化問題數學模型 55
5.3.1 目標函數 55
5.3.2 限制條件 57
5.4 最佳化解題方法 58
5.5 台南市區速限最佳化結果 61
5.5.1 無不確定因素下之速限最佳化結果 61
5.5.2 考慮不確定因素之速限最佳化結果 64
第六章、結論與建議 66
6.1 研究總結與貢獻 66
6.2 未來研究方向 66
參考文獻 68
自傳 75

表　目　錄

1.1 台灣歷年運輸產生之空氣汙染量與佔總空氣汙染量之比例 2

2.1 歐洲各國在1992 年之NOx 排放量 6

2.2 移動汙染源減量措施 10

3.1 DynaTAIWAN輸入檔案說明 28

3.2 DynaTAIWAN輸出檔案說明 29

3.3 車流敏感度分析參數水準值 37

3.4 情境分析參數設定方式 39

4.1 自用小客車 (四行程機車)汙染排放係數 (gram/km-vehicle) 48

4.2 大氣穩定度等級分類與在台南發生機率 50

4.3 高斯擴散模型參數 (a, c, d, f)值 50

5.1 各類運具平均時間價值 57

5.2 車輛於各速率下的油耗效率 58

5.3 台灣空氣品質法規標準 59

5.4 無不確定因素最佳化與可靠度最佳化結果比較 65

圖　目　錄

2.1 應用可靠度最佳化方法進行汙染考量的交通政策決策 13

2.2 184號CA模型示意圖 14

2.3 NS模型模擬結果 15

2.4 混合機車車流模型汽車流量基本圖 16

2.5 二維交通CA模型概念示意圖 17

2.6 CA模型應用於現實大型路網交通模擬 18

3.1 路網內節點與節線關係 22

3.2 交通模擬流程 24

3.3 DynaTAIWAN輸入使用者介面 26

3.4 DynaTAIWAN路網模擬畫面 26

3.5 單線道CA模型 31

3.6 雙線道CA模型 32

3.7 單線道含號誌路口模型 33

3.8 混合機車車流模型 34

3.9 台南交通特性模型 35

3.10 台南特性交通模型車流敏感度分析結果 37

3.11 高車流密度下法規情境的影響 41

3.12 低車流密度下法規情境的影響 43

4.1 由交通模擬結果計算汙染擴散濃度之流程 44

4.2 高斯點汙染源擴散模型示意圖 45

4.3 擴散模型中的道路、觀測點與風向關係 46

4.4 主風向角方向 ψ、主風向角風速 U_y、眞實風速U_h間的幾何關係 49

4.5 風速、風向機率密度函數與與實際資料比較 49

4.6 依台南市2003−2008年雲量分布產生的一萬組隨機雲量等級 51

5.1 台南市最佳化研究區域路網 53

5.2 主風向角風向(100 °)下的汙染濃度等高線圖 54

5.3 最頻繁風向(10°)下的汙染濃度等高線圖 54

5.4 最佳化範圍考量之主要道路與觀測點 60

5.5 使用基因演算法(GA)的最佳化解題流程 61

5.6 無不確定因素考量的道路速限最佳化結果 62

5.7 最佳速限下NOx 濃度分布 63

5.8 最佳速限下Pb濃度分布 64

5.9 考慮不確定因素下的道路速限最佳化結果 65

符 號 說 明

$\mathcal{A}$	起迄對的所有可能路徑集合
C_{ij}^{f}	車輛i於速度j下行駛單位距離的油耗成本
C_j	汙染物j的濃度
C_j^{std}	法規對汙染物j的濃度限制
C_i^{t}	車種i的單位時間價值
c_{ij}	節點 i到節點 j節線的時間成本
D	號誌間的距離
d	與前方車輛的距離
d_{o}	與另一車道前方車輛的距離
$d_{\mathrm{o,back}}$	與另一車道後方車輛的距離
$d_{\mathrm{c,back}}$	與後方汽車的距離
$\mathrm{E}[\cdot]$	$[\cdot]$的期望值
E_i	車種i的排放量
EF	排放係數
FC	行駛單位距離的油耗成本
f_k	路徑k的車流
H	汙染源的有效高度
$\mathcal{I}_i$	所有可到達節點i節線的上游節點集合
L	交通CA模型中汽車的長度
l	同車道前方的可見距離

l_{o}	另一車道前方的可見距離
$l_{\mathrm{o,back}}$	另一車道後方的可見距離
m	車種的數量
$\mathcal{N}$	路網中所有節點的集合
n_i	車種i的數量
n_{ij}	車種i於速度j的總數
$\mathcal{O}_i$	所有離開節點 i節線的下游節點集合
P_{f}	破壞機率
$\mathrm{Pr}[\cdot]$	$[\cdot]$的機率
p	隨機煞車機率
p_{change}	變換車到機率
q	起迄對的旅次產生率
R_{e}	可靠度
r	一個由標準平均分布產生之0到1間的亂數
s	與前方最近號誌的距離
TC	單位距離的平均旅行成本
T	交通號誌相同燈號間的時間間隔
T_i	車種i的旅行成本
U_h	眞實風速
U_x	眞實風速於垂直主風向角方向的分量
U_y	眞實風速於主風向角方向的分量
u	平均風速

V_i^{ave}	車種 i的平均速度
$\mathrm{Var}[\cdot]$	$[\cdot]$的變異數
VKT_i	車種i的活動強度
v	車輛速度
v_{max}	車輛的最高速度
$v_{\mathrm{max,C}}$	汽車的最高速度
$v_{\mathrm{max,M}}$	機車的最高速度
v_{M}	M車道前方機車的速度
v_{CM}	CM車道前方車輛的速度
x_{ij}	節點i到節點j節線的車流
x	節線的車流
$\delta_{ij,k}$	判斷節點i到節點j節線是否在路徑k上的判斷因子(數值爲0或1)
θ	眞實風向方向(相對於主風向角)
$\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{p}}$	設計參數的期望值
$\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{x}}$	設計變數的期望值
σ_y	高斯擴散模型的水平擴散係數
σ_z	高斯擴散模型的垂直擴散係數
ψ	主風向角方向

第 一 章　緒論

1.1　研究背景

交通運輸的進步爲人類生活帶來許多便利，然而卻也隨之產生許多環境或社會的相關問題，其中包括空氣汙染 [1,2]、噪音汙染 [3]、交通阻塞 [4,5]、氣候改變 [6]、能源消耗 [7]、交通事故 [8]等。就空氣汙染而言，許多研究都指出交通運輸工具是空氣汙染的重要來源，根據美國環境保護署推估，美國因交通運輸產生的氮氧化物(NOx)佔總排放量的56%，一氧化碳(CO)佔總排放量的89%，揮發性有機化合物佔總排放量的45%；而環保署統計台灣歷年由交通運輸產生的空氣污染量及其占總空氣污染量的比例如表1.1所示，由表中可發現民國84到87年間，交通運輸產生的一氧化碳(CO)與鉛(Pb)約佔總排放量的72%，已接近汙染總量的3/4，NOx則佔總量的44%亦接近總量的一半，可知交通運輸造成的汙染爲目前台灣多項空氣汙染物的最主要來源，此外由表中也可發現在近年民眾與政府環保意識的逐漸提升下，多數汙染物的排放量皆呈現逐年下降的趨勢，但仍存在有可以改善的空間；以上調查顯示了無論在國內外，交通運輸都是許多空氣汙染物的主要來源。這些由交通運輸所造成的空氣污染，主要是因公路運輸中使用石化燃料之汽機車大量成長所致 [9]；環保署推估2000年台北市由車輛產生的CO佔總排放量的98%，NOx佔總排放量的76% [10]。歐洲空氣汙染的相關統計也指出，較早使用觸媒且柴油車比例較少的國家，車輛的NOx排放在所有交通運輸的排放中約占90% [11]，這些統計結果均顯示在交通運輸這類重要的空氣汙染來源中，又以道路車輛的排放爲其最主要汙染來源。

而醫學相關研究指出，空氣汙染將導致人體罹患各類疾病 [12]。因此如何降低車輛汙染排放造成的負面影響便成爲一個值得探討的課題。有學者認爲降低車輛空氣污染排放可由車輛技術改良、制定環境保護法規與運輸系統管理等三個方向進行 [13]，而相較於技術改良方法，交通運輸管理的方法具有低成本、低風險且容易執行的優點 [14]。因此利用交通管理政策來降低道路車輛的空氣汙染排放已成爲現今重要的研究方向。

表 1.1: 台灣歷年運輸產生之空氣汙染量(公噸)與佔總空氣汙染量之比例(%) [9]

年	CO	Pb	NOx	NMHC	TSP	PM10	SOx
84	1,774,649 (74.34%)	351 (79.30%)	252.742 (44.86%)	312,859 (31.58%)	40,839 (4.24%)	37,018 (9.97%)	22,293 (3.87%)
85	1,676,683 (73.29%)	337 (78.57%)	237,353 (43.59%)	289,316 (29.20%)	40,087 (4.27%)	36,137 (9.75%)	25,348 (4.83%)
86	1,510,719 (71.24%)	163 (63.98%)	221,384 (42.81%)	257,569 (29.39%)	39,556 (4.64%)	35,574 (9.86%)	21,890 (5.37%)
87	1,393,627 (69.87%)	167 (64.43%)	217,808 (43.65%)	241,109 (28.80%)	40,756 (4.93%)	36,641 (10.23%)	15,798 (4.45%)

1.2 動機與目的

1.2.1 研究動機

進行交通管理政策決策需要一套系統化的方法，過去文獻中雖有交通政策決策方法的相關研究 [15–18]，但多數使用了大幅簡化的城市模型，並不適合現今複雜的城市路網；且多數政策相關研究都著重於探討行車績效而未考量交通汙染。而有考量交通汙染的研究則多半著重於汙染分析，少有探討對應的交通政策設計，也未以最佳化方法探討考量環境衝擊下的最佳政策設計。

此外，政策決策需要在各類不確定因素下具有足夠的強健性與可靠度，過去文獻少有將環境不確定因素系統化整合於法規制定方法的研究。因此欲探討不確定因素對法規制定的影響也是本研究的重要動機之一。茲將上述本研究之研究動機整理如下：

- 過去交通政策相關研究使用的城市路網模型皆大幅簡化，無法反映道路車流的細部狀況
- 過去交通政策研究多數只考量行車績效，未探討交通政策對環境的衝擊
- 過去研究中少有將環境的不確定因素納入考量
- 過去考量交通政策與空氣汙染關係的研究，多著重於分析而未探討政策的最佳設計

1.2.2 研究目的

有鑑於上述過去研究尚未解決的問題，本研究將建構一個符合本土交通特性的微觀交通模型以探討特定政策產生的交通影響與環境衝擊，並延伸工程領域中的機率設計概念至城市交通政策的決策，考量在各種不確定因素下政策對環境之衝擊。同時利用一個眞實的台南市區域作爲範例，展示如何應用可靠度最佳化方法輔助交通政策的決策，以最佳化道路行車成本爲目標，同時使周圍空氣品質可滿足環保法規限制的要求，幫助政策決定者以工程的最佳化方法評估其決策。本研究主要目的如下：

1. 建構符合台南市交通特性的微觀交通模型
2. 探討交通模型中各參數對交通與環境的影響
3. 探討在環境不確定因素下，政策對環境造成的衝擊
4. 應用可靠度最佳化方法進行最佳法規的制定
5. 分析各種法規情境對交通與環境的影響趨勢

1.3 論文架構

本文共分爲6章，架構如下：

- 第一章：緒論
  介紹本論文探討問題之背景，並闡述研究之動機與目的，說明全文架構。
- 第二章：文獻回顧
  探討交通空氣汙染的現況及過去相關之研究，並回顧交通細胞自動機模型的發展過程，同時對可靠度最佳化進行說明
- 第三章：交通模擬
  介紹本研究模擬交通的方法，分別說明使用者平衡及本土化交通細胞自動機模型建構的過程與模型特性。此外也探討各種法規制定情境產生的影響

- 第四章：環境衝擊分析

  介紹本研究用以分析空氣汙染擴散情形的高斯擴散模型，並說明如何在分析時將環境中的不確定因素納入考量

- 第五章：交通法規之最佳化制定

  說明本研究法規最佳化制定問題的數學架構與解題方法，並以一個眞實的台南市區域做爲交通法規最佳化的範例。

- 第六章：結論與建議

  說明本研究之貢獻與結論，並對後續的研究提出建議

第 二 章　文獻回顧

本研究希望利用工程中的可靠度最佳化方法，透過模擬不同交通政策下的交通狀況，分析其在不確定因素下產生的環境衝擊，以輔助考量交通空氣汙染因素的政策設計。因此本章將針對「交通空氣汙染」、本研究用以模擬城市交通的「細胞自動機模型(CA)」，與可考量政策設計中不確定因素的「可靠度最佳化設計」三方面，分別進行相關文獻回顧。

2.1　交通空氣汙染

本節將對交通空氣汙染的相關研究進行回顧。首先於2.1.1節中介紹目前世界各國交通空氣汙染的概況與汙染組成比例；2.1.2則介紹推估空氣汙染排放量常見的方法；2.1.3則闡述各種交通空氣汙染物對人體的危害，以顯示交通空氣汙染減量的重要性；2.1.4則整理政府與學界提出的各種交通空氣汙染減量策略類型，並指明利用交通管理政策達到空氣汙染減量的優勢；2.1.5回顧目前交通管理政策與交通空氣汙染的相關研究，說明過去研究中還未解決的問題。

2.1.1　交通空氣汙染概況

交通運輸造成的汙染向來是影響空氣品質的重要因素，國內外均有許多相關的調查研究可作爲佐證。中華民國環保署推估民國96年全國的空氣污染排放中，移動汙染源所排放的CO佔全國總量的77.73%，NOx佔全國總量的54.47%，NMHC佔全國總量的22.50% [19]。2004年曾羿航以Mobile6.2公路汽機車排放係數推估模式爲核心進行汙染推估的結果認爲，台灣都會地區的主要空氣汙染來源爲自用小客車及二、四行程機車，此三類車種的HC及CO排放量約爲該汙染物總排放量的95%與88%，而NOx的汙染排放中，柴油車的汙染約佔總排放量的46% [20]。1993年全球石化燃料產生的各項汙染物中，由機動車輛排放的CO與HC約佔50%到60%，NOx佔30%而CO_2佔14% [21]。1992年歐洲各國NOx的排放中約有65%爲交通汙染造成(詳見表2.1)，其中又以德國、英國等汽車工業發展歷史悠久的國家排放量最高。1993年Qin對中國廣州進行的研究認爲，交通汙染造成的CO與NOx分別佔年平均濃度的87%與67% [22]。以上研究皆顯示了交通污染影響的重要性。

表 2.1: 歐洲各國在1992 年之NOx 排放量 [11]

國家	總排放(千噸)	車輛污染源比例%	國家	總排放(千噸)	車輛污染源比例%
奧地利	201	68.6	義大利(1990)	2053	59.7
比利時	349	58.2	荷蘭	550	61.1
丹麥	247	64.3	挪威	220	73.2
芬蘭(1990)	284	61.6	葡萄牙	248	60.5
法國	1600	73.8	西班牙(1990)	1257	60.3
德國	2904	67.3	瑞典	391	80.8
希臘(1985)	308	39.0	瑞士	161	76.4
愛爾蘭	125	43.2	英國	2750	57.3

若進一步檢視道路車輛中各車種的汙染排放比率，根據環保署以民國96年爲基準年的推估結果，可發現懸浮微粒(PM10)與氮氧化物(NOx)排放比例最高的車種爲柴油大貨車，分別佔39%與55%，硫氧化物(SOx)、非甲烷碳氫化合物(NMHC)、一氧化碳(CO)與鉛(Pb)排放比例最高車種皆爲自用小客車，所佔排放比率分別40%、32%、50%與63% [19]，此結果顯示在多項車輛造成的空氣污染物中，自用小客車都是其最主要的來源。

2.1.2 交通空氣污染的推估

2.1.1節所述各研究中呈現的汙染總量與汙染比例結果，皆須仰賴適當的空氣汙染推估方法獲得，本節將說明目前常見的空氣汙染推估方法。 空氣污染物推估方式可分爲污染源實測、質量平衡法與排放係數法三種 [23]，各方法之計算方式與特性簡述如下：

- 污染源實測：
  對污染源進行實際量測。適用於可實際檢測污染值的污染源，且檢測資料須具有足夠的代表性，此法的推估結果才較爲準確。

- 質量平衡法：
  此方法假設輸入污染源的質量與輸出污染物的質量相等，適用於完整操作流程下的汙染推估計算。可完全掌握生產過程中產生的污染物種與機制，一般運用於單一廠房排放量推估。

- 排放係數法：

  排放係數(Emission Factor,EF)的定義爲單位活動強度或產量下，汙染源的污染排放量。此法利用推估汙染源排放係數的方式，以污染源的排放係數乘以其活動強度與削減效率推估汙染排放量，爲目前推估污染源排放最普遍的方式。

污染源實測雖爲較可靠的方法，但因需要耗費的資源較多，故僅能做有限的量測，量測亦只對該測試區有效，所以通常對重要設施、重點位置、特殊地點才會進行汙染實測。對一般污染源則常採用間接的、學理的估計方法，進行各類排放源的污染量推估 [24]。對於具有不確定因素或不易測量的空氣汙染源，通常也會以建立推估方程式的方式進行排放量推估。因此交通汙染源的排放量一般也採用排放係數法進行推估，方程式2.1爲常見的交通空氣汙染推估方程式，其中E_i代表車種i的排放量，EF_i代表車種i的排放係數，VKT_i代表車種i的活動強度，一般爲車輛的行車里程。

$$\begin{aligned} \mathrm{E}_i &= EF_i \times \mathrm{VKT}_i \\ \mathrm{E}_i: &\quad \text{排放量} \\ EF_i: &\quad \text{排放係數} \\ \mathrm{VKT}_i: &\quad \text{活動強度，即車行里程} \\ i: &\quad \text{車種別} \end{aligned} \tag{2.1}$$

過去文獻中亦有許多使用排放係數法進行交通汙染推估的研究，包括莊涵翔於2002年推估台中地區的移動源汙染排放量 [25]，蘇偉仁於2005年計算臺北市移動源排放總量 [23]，陳憲偉於2006年進行國道一號及國道三號污染物排放推估 [24]。皆是應用推估排放係數的方法進行交通汙染量評估。

2.1.3 交通空氣汙染對人體的危害

交通空氣汙染物依特性可分爲粒狀汙染物與氣態污染物，粒狀汙染物包括灰塵與燃燒不完全的碳物質等，懸浮微粒(PM)即屬於此類污染物；氣態污染物則是指常溫常壓下爲氣體的污染物，如CO、HC、NOx皆屬此類污染。對各類車輛排放污染物對人體健康之危害如下 [26]：

- 懸浮微粒(PM)：
  由車輛排氣管排出的粒狀污染物，粒狀汙染物粒徑如果在 1 μm 左右，容易進入並累積在肺部造成肺部健康的損害，粒狀污染物若吸附其他有害或刺激性物質，則對呼吸系統的影響更大，甚至具有致癌性 。

- 一氧化碳(CO)：
  一氧化碳對人體健康的危害主要是降低血液輸送氧氣的能力，因爲人體血液中血紅素和一氣化碳的親和力遠大於血紅素和氧的親和力 ，血紅素與一氧化碳結合成一氣化碳血紅素 ，將會影響心臟血管系統和中樞神經系統 ，並使心臟血管疾病加重、惡化，神經及肺部系統受影響，造成運動功能受損等不良影響。

- 碳氫化合物(HC)：
  碳氫化合物低濃度時會對人體呼吸系統產生刺激，較高濃度則可能對中樞神經系統產生影響甚至致癌。碳氫化合物還會和氮氧化物等起光化學反應，產生臭氧，會對肺產生刺激，造成呼吸系統疾病，降低肺功能，長期曝露可能會造成肺纖維化。

- 氮氧化物(NOx)：
  由排氣管排出的氮氧化物大多爲一氧化氮(NO)。其與血紅素結合能力非常強，動物實驗結果約是一氧化碳的一千多倍。一氧化氮因較不安定，在空氣中會漸漸氧化成二氧化氮(NO2)，二氧化氮爲褐色有毒氣體，對人體健康會造成呼吸方面的疾病及肺傷害。

- 硫氧化物(SOx)：
  柴油車主要排放二氧化硫(SO2)。對人體的作用主要以刺激呼吸系統爲主，通常二氧化硫的作用力和它的水溶性有關，所以對眼睛、喉嚨及上呼吸道影響最大。

由文獻 [26]的資料可發現，交通運輸產生的空氣汙染物對人體的呼吸系統、心臟血管系統、中樞神經系統皆會造成重大的危害，甚至會導致罹患癌症，因此如何減低交通運輸汙染產生的負面影響已成爲現今社會的重要研究課題。

2.1.4 交通空氣汙染的減量策略

爲了減少交通運輸的空氣汙染排放，政府與學者皆有提出各類汙染減量策略。在學者方面，Teng等人 [13]提出交通空氣汙染減量可針對三個方向進行，分別爲：車輛技術改良、制

定環境保護法規與運輸系統管理之應用。楊文龍 [14]曾探討此三種改善方向之特性及其應用，各類改善方式包含的具體內容如下：

1. 車輛技術改良
   - 引擎的改良：如提高燃燒效率
   - 管末排放控制之改良：如加裝觸媒轉化器
   - 替代燃料的使用：如使用燃料電池
   - 新型態運輸工具的研發：如磁浮列車
2. 政策及法規的引導
   - 淘汰老舊車輛：如補助舊車報銷
   - 替換清淨車輛：如補助電動機車購買
3. 交通管理
   - 提高行車效率：如改善號誌系統、調整上下班時間
   - 減少行車里程：如提高乘載率、加強停車管理
   - 淨區管制：如高汙染車輛篩選
   - 推動大眾運輸系統：如建立公車棋盤路網、結合捷運與公車系統

而在政府方面，行政院環保署則提出了包括新車管制、使用中車輛管制、潔淨燃料推動、低汙染車輛推廣、交通管理措施等五種減量方案 [26]，五種方案的具體管制措施如表2.2所示：

綜合上述學者與政府提出的各類道路交通空氣污染減量方案，可將其歸納爲以下4類：

1. 技術改良
   研發新型低汙染車輛、技術與能源，直接改善單位汙染源的排放量；如開發油電混合車、磁浮列車，提升引擎與傳動系統的效能，發展生質柴油等等。
2. 政策管制
   利用政策對汽車業者與車輛駕駛者兩方面進行管制，對業者的管制政策如逐期加嚴車

表 2.2: 移動汙染源減量措施 [26]

管制方案	具體措施
新車管制	逐期加嚴排放標準 新車型審驗 鼓勵車廠生產引進符合新標準的車輛
使用中車輛管制	機車排氣定期檢驗 加速淘汰老舊車輛與二行程機車 機車柴油車不定期檢驗 補助柴油車加裝濾煙器
潔淨燃料推動	補助液化石油氣氣價 推動使用生質柴油及酒精汽油 降低車用汽柴油硫含量 取締非法油品
低汙染車輛推廣	推廣使用清潔車輛 推動增加油氣雙燃料車及加氣站 補助購買電動輔助自行車
交通管理措施	鼓勵使用大眾運輸系統 推動環境與交通運輸管理 推動停車熄火措施

輛汙染排放標準，可促使汽車業者投入環保車輛的研發，同時規範市售車輛的污染排放率；對駕駛的管制政策則如定期進行車輛排氣檢驗，可促使駕駛重視車輛的保養與維修，並裝設降低污染的設備，也迫使老舊不合乎標準的車輛淘汰。

3. 政策推廣

利用政策推廣低污染的車輛與技術的使用，並鼓勵老舊車輛淘汰；新型的低汙染技術於研發時必須投入大量成本，此成本也常反映於產品價格導致消費者使用意願降低，因此政府可利用如補助購買電動車、油電混合車等方式提升環保車種的使用率，或補助舊車報銷增加使用者更換新型環保車輛的誘因。

4. 交通管理

藉由交通政策的設計管理達到汙染減量的目的，如進行交通管制限制車輛密度避免交通阻塞，設計系統性的號誌時程保持車流順暢，提高車輛乘載率，建立完善的大眾運

輸系統等。

在上列各類降低交通空氣污染排放的方法中，政策管制與政策推廣的方法都需要經過長時間的法規審核，法規通過後政府也需投入大量的預算與人力資源來實行；而技術改良的方法雖然可直接改善每個單位汙染源的污染排放量，但也存在著下列的缺點與風險 [14]：

- 高額的投資成本：
  新型環保車輛與技術的研發需要常需要高額的投資成本，以電動車研發爲例，美國目前投資了24億美金進行電動車研發計畫，英國也以5年1億英鎊的計畫進行電動車發展 [27]。

- 需要周邊系統配合：
  新設備的引進常需要更新周邊系統來配合，例如推廣瓦斯車與電動車的同時，也需要在各地普設加氣站與充電站來配合。

- 刺激使用量提升：
  新技術帶來便利可能造成使用量的提升，例如新型的省油環保車輛雖然汙染較少，但因降低了油耗成本讓民眾開車意願增加，可能反而提升了車輛的使用量造成汙染加劇。

- 需要長時間研發與引進：
  新技術從開發到普及之間，需要長時間的研發、測試與推廣，以磁浮列車爲例，早在1962年磁浮列車的測試軌道便已建造完成，但被預計於2000年第一輛列車才會開始使用，而完成路網建設則需更長的時間 [28]。

- 引進失敗的風險：
  新技術引進時，需要與舊產品進行市場競爭，還要面對大眾對陌生系統的疑慮，若無法提供更好的服務品質將難以普及推廣。

相較之下，利用交通管理的方法不需要投入研發、生產、引進的高成本與風險，並且可即時產生效果，這些優點使利用交通管理達到汙染控制已成爲現今高度被重視的研究主題。

2.1.5 交通政策規劃與空氣汙染

如何合理的制定與評估交通政策是一個廣泛被探討的問題，過去文獻中曾出現許多關於制定理想交通政策的研究；Nijkamp與Blaas在文獻 [15]中提供了一個交通規劃決策的基本架構，分別由政策評估與政策衝擊分析兩方面進行討論，介紹數種交通規劃的分析模型與方法，探討應如何評估一項新的交通政策造成的結果，並說明這些交通分析方法在城市公共設施規劃、鐵路規劃、機場航運規劃等方面的應用；2005年Haldenbilen與Ceylan [16]利用基因演算法由人口、車輛數等因素來推估交通運輸的需求，基於此推估的運輸需求來評估土耳其的道路稅收系統，同時提出一種替代的道路稅收政策，結果認爲基於行車里程的道路稅收制度(Distance-Base-Taxation,DBT)可以控制高速公路的交通流量，並有效的將部分的運輸需求轉移至鐵路，研究中也重新規劃其鐵路系統以滿足此運輸需求，並建議鐵路系統建設所需的資金可由高速公路的道路稅收來平衡；2006年 Ülengin等人 [17]因認爲土耳其的路網系統缺乏因應交通量成長的規劃，於是發展了一套交通決策支持系統(decision support system)來幫助政策決策者制定其政策，評估制定特定交通政策產生的效果，並對多種交通情境進行分析；2004年Zhao等人 [29]因認爲交通決策所產生的結果會受到環境、社會、政治等方面不確定因素的影響，於是提出一套含有隨機因素的模型來輔助高速公路發展的決策，其模型內考量了包含土地價值、交通需求(traffic demand)、高速公路損耗(highway deterioration)等三項不確定因素，並在其演算中使用了蒙地卡羅法(Monte Carlo simulation)進行高速公路規劃的最佳化。儘管已有如上述眾多的交通政策制定相關文獻，但**內容多數未將交通空氣汙染造成的環境衝擊及環境不確定因素納入研究考量**。

在交通運輸政策與空氣汙染關係的研究方面，2001年楊文龍 [14]提出了一套包含「交通旅次分析」與「交通汙染排放評估」的決策支持系統，對公車班次調整、機車管制、小客車共乘制度等多種單一交通策略以及兩種聯合交通策略(聯合實行兩種單一策略)分析其對汙染的影響，結果顯示小客車共乘制度與捷運票價優惠的政策皆可同時降低NOx與HC排放；而在文獻 [18]中，Chan等人對一個如圖2.1所示的簡化的雙道路進行考量污染的道路速限設計，假設道路皆爲固定車流，展示如何應用可靠度最佳化方法處理政策決策問題，其結果顯示**利用可靠度最佳化方法來輔助政策決策深具可行性與發展性**。

在多數交通政策與空氣汙染關係的研究中，內容主要皆以分析爲主且未將不確定因素納入考量，而考量交通空氣汙染下的法規設計研究，使用的路網大多都經過了大幅簡化，難以反映眞實城市路網的複雜狀況，因此仍存在可以改善的空間。

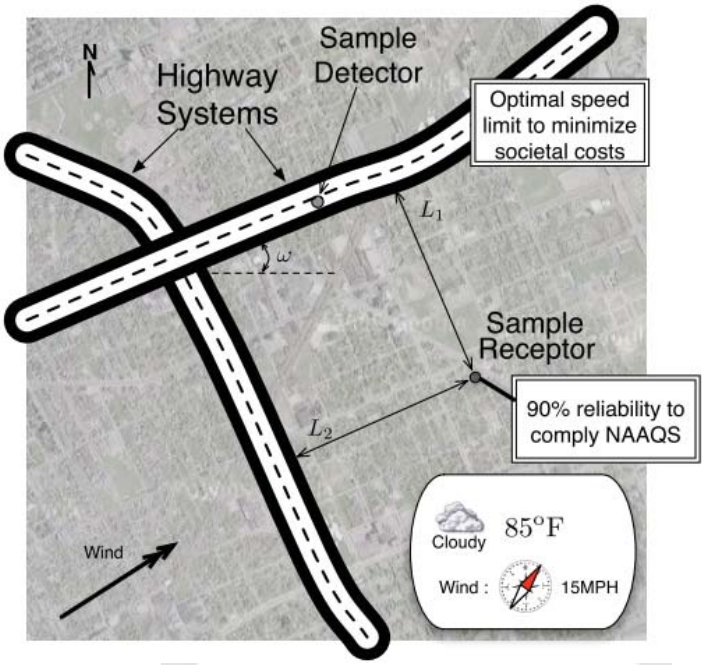


圖 2.1: 應用可靠度最佳化方法進行汙染考量的交通政策決策 [18]

2.2 交通細胞自動機相關研究

細胞自動機(Cellular Automata)是由數學家 Stanislaw M. Ulam與John von Neumann於1950年代所提出的一種離散模型，其基本概念是由多個格子組成一系統，將每個格子都視爲一個具有某種狀態的細胞(cell)，在一個時間點下每個細胞只能呈現一種狀態。隨著時間的改變，每個細胞會依據前一時間點自身與周遭的狀態，遵循特定的規則產生下一個時間點的狀態，其具備以下三個重要特徵：

1. 平行計算(parallel computation)：每一個細胞都同時同步的改變
2. 局部性(local)：細胞的狀態變化只受周遭細胞的影響
3. 一致性的(homogeneous)：所有細胞均受同樣的規則所支配

細胞自動機的優點爲可利用簡單的規則重現複雜的系統行爲。此模型在生物學 [30]、物理學 [31]、數學 [32]、交通模擬 [33]等眾多領域都有廣泛的應用，本節主要針對應用於交通領域的細胞自動機模型發展進行簡單的回顧，其規則之細節則於第三章進行說明。

2.2.1 交通細胞自動機模型的發展

交通相關的細胞自動機模型(CA)發展至今已有數十年的歷史，早在1983年Wolfram等人便提出184號規則CA模型，作爲一個簡單的單線道高速公路車流模型 [34]，其示意圖如圖2.2所示，模型概念如下：由一列一維的格子系統代表道路，格子可呈現0或1兩種狀態，分別代表該段道路有車與無車，隨著時間的變化，每個格子將依據前一時間點週遭的狀態，遵循相同規則產生下一時間點的狀態，代表下一時間點道路的交通狀態，此即爲最基本的一維交通CA模型；Cremer等人於1986年也將細胞自動機應用於簡化的雙線道道路交通模擬 [35]。

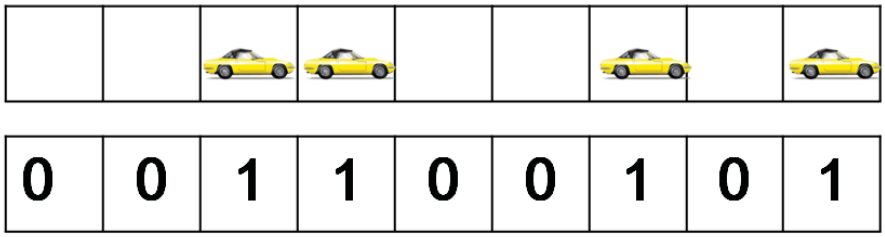
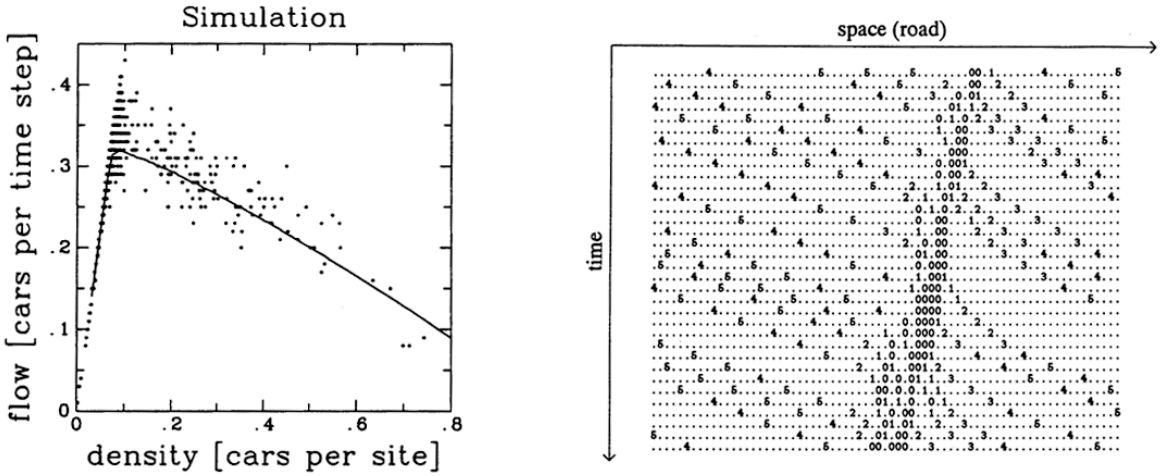


圖 2.2: 184號CA模型示意圖

德國學者Nagel與 Schreckenberg [33]於1992年將隨機減速與最高速度兩個因素加入 184 號 CA 模型，並訂定了包括：加速、減速、隨機減速、車輛移動四個規則，發展出一個含有隨機因素的一維單線道模型以模擬高速公路車流。重現了隨著車流密度變化產生的自由流(free flow)與擁擠流(congested flow)相態(圖2.3(a))，並可由道路狀態的時間-空間圖(圖2.3(b))觀察到停止-前進流(Stop-and-Go flow)的現象。此模型又稱爲NS(Nagel-Schreckenberg)模型，許多後續發展的交通CA模型皆以NS模型爲基礎進行修改。

Barlovic [36]於1998年以 NS 模式爲基礎，在 NS模型加入一個判斷隨機減速機率的規則，目的是爲了重現車流的磁滯現象(hysteresis phenomena)與亞穩定態(metastable states)。模擬結果可發現當車輛駛離道路的擁擠區段後，會延遲其加速行爲，此類降低啓動時加速能力的規則又稱爲減速-起動規則(Slow-to-start)。此模型因將車輛隨機減速機率視爲車速的函數，所以又被稱爲VDR(velocity-dependent randomization)模型。

Knospe等人 [37]於2000年以VDR模型爲基礎，於模型中加入煞車燈參數，提出一種在車輛互相影響範圍內，後車會受到前車減速行爲影響的模型，並加入安全距離考量。此外，爲了使模型具備更精確的空間離散性，允許車輛占有一個以上的細胞。此模型又稱爲BL(Brake Light)模型。



(a) NS模型基本圖

(b) NS模型時間-空間圖

圖 2.3: NS模型模擬結果 [33]

Rickert等人 [38]於1995年以NS模型爲基礎，將車輛變換車道的行爲加入考量，發展出一種一維雙線道的交通CA模型。此模型中車輛會考量自身速度、與前後車的距離、另一車道的車輛狀況等條件，決定是否進行變換車道的行爲。模型中也考量了車道偏好性對變換車道行爲的影響，其結果顯示無論是否具備車道偏好性，加入變換車道規則後皆會使車流量提高，而有車道偏好性時的變換車道行爲將較爲頻繁。

Meng等人 [39]在2007年提出一種考量汽車、機車混合車流的雙線道CA模型，將道路加入一條機車專用道，允許長度爲汽車一半的機車在汽車道與機車道行駛，藉以探討含有機車車流的交通現象。其結果顯示即使只加入了低密度的機車車流，也會使汽車車流量明顯降低(圖2.4)，而混合了機車的車流中即使令汽車具備行駛的優先權，汽車的車流也無法明顯提升。

Biham等人 [40]於1992年基於184號CA模型，發展出最早的二維交通CA模型，稱爲BML(Biham-Middleton-Levine)模型。以一個網格平面代表二維的路網，每個網格都代表「東-西向道路」與「南-北向道路」的交叉口，其示意圖如圖2.5(a)所示，BML模型讓不同方向的車流在不同的時間點輪流更新，藉以模擬二維路網道路間彼此影響的交通行爲。即使此模型經過大幅簡化而未考慮道路交叉口間的路段，但其不同方向道路輪流更新車流的規則相當於道路交叉口的號誌控制，且模擬結果已可呈現低密度時的自由流狀態與高密度時的阻塞狀態。許多後續的二維交通CA模型研究皆參考BML模型基礎進行發展。

Schadschneider等人 [41]於1999年參考NS模型與BML模型，發展出一個考量含有號誌路

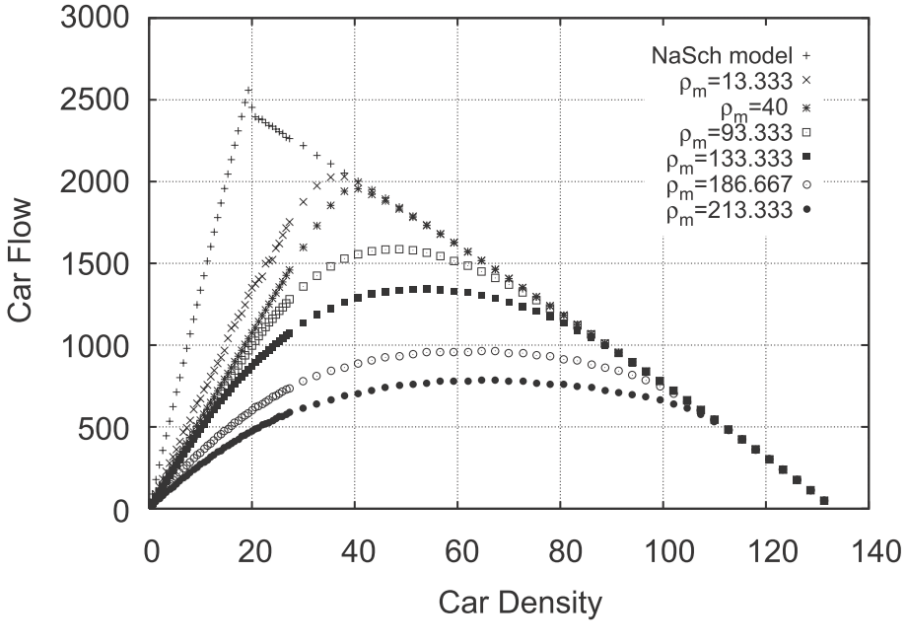


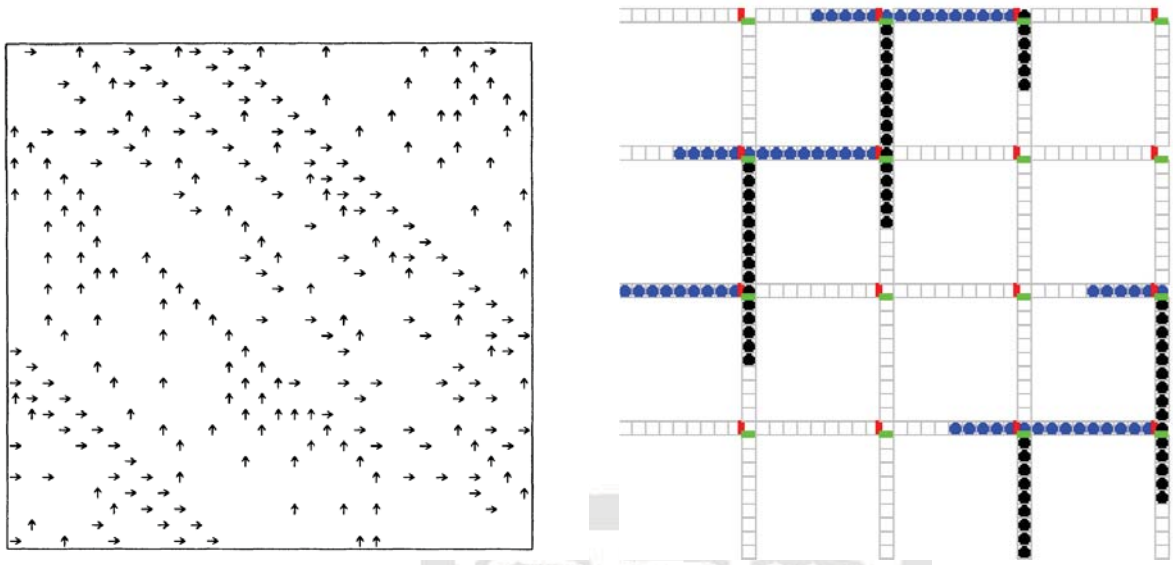
圖 2.4: 混合機車車流模型汽車流量基本圖 [39]

口路網的二維CA模型。模型中以多條互相垂直交叉的格子組代表路網系統，不同方向格子組的交會處代表道路交叉口，並在交叉口設置交通號誌，其示意圖如圖2.5(b)所示，模型中車輛會考量與號誌距離及號誌狀態進行更新。不同於BML模型的大幅簡化，此模型可考量號誌設置間距、號誌週期等因素的影響，且明顯呈現車流隨著號誌狀態變化的改變，車流速度也隨之產生的週期性的相位變化。

除了上述的模型外，文獻中還存在著許多各種不同規則的交通CA模型，如考慮駕駛人舒適且順暢的駕駛爲模型 [42]，雙向行駛道路的模型 [43]，開放邊界條件的匝道模型 [44]，不同類型車輛混合車流的模型 [45]，車輛可在二維路網中轉向的模型 [46]等。時至今日，仍然不斷有各種配合不同交通情境需求的CA模型被發展出來，顯示CA模型在交通模擬領域是一種十分具有發展性的研究方法。

2.2.2 交通細胞自動機模型之應用

除了發展各類交通細胞自動機模型的研究外，文獻中也存在許多交通CA模型的應用研究，相關應用主要可分爲模擬分析與設計規劃兩類。在交通模擬分析方面，文獻[47]中Dupuis與Chopard以交通CA模型模擬日內瓦含有3145條路段總長4000公里的大型城市路網(圖2.6)，研究中配合平行運算電腦進行計算並評估其運算效率，顯示出CA模型的平



(a) BML模型概念示意圖　　(b) 含號誌路口模型概念示意圖

圖 2.5: 二維交通CA模型概念示意圖 [40,41]

行計算特性於大型路網模擬時具備的優勢。文獻 [48]中Tamaki與Kita利用交通CA模型配合簡化的道路結構，進行日本名古屋市東區的交通模擬。而文獻 [49]中Simon與Nagel以交通CA模型分析美國達拉斯下城區25平方英里範圍中的交通。

在設計規畫應用方面，文獻 [50]中Lu與Liu利用交通CA模型與混合遺傳演算法(Hybrid Genetic Algorithm)進行號誌設置規劃的最佳化，其研究結果顯示結合交通號誌控制與駕駛路徑導引系統可大幅降低旅行時間。文獻 [51]中譚惠麗等人利用交通CA模型研究十字路口號誌對交通流的影響，探討各種交通狀況下的最佳號誌時程制定。文獻 [52]中Brockfeld等人對交通號誌控制策略進行分析，指出最佳號誌周期必須由路網的幾何特性決定。

2.3 可靠度最佳化設計

最佳化設計簡言之就是在滿足所要求的限制下，使設計目標達到最好的結果。以一個結構設計的問題爲例，工程師在設計橋樑時，需使橋樑強度足以承受外力負載以確保不發生崩塌，同時又希望以最少的成本完成此橋樑，在此設計問題中，對外力負載的要求便是必須滿足的限制，花費最少成本便是其目標。方程式(2.2)爲一般最佳化問題的數學形式，其中包含目標

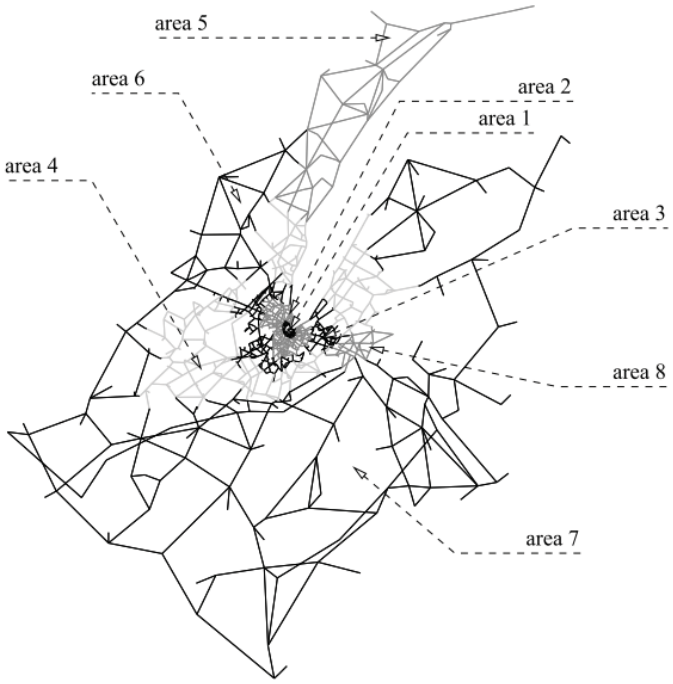


圖 2.6: CA模型應用於現實大型路網交通模擬 [47]

函數 $f(\mathbf{x},\mathbf{p})$ 與非等式限制式 $\mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{p})$，$\mathbf{x}$代表設計者可以控制的設計變數，如橋樑各部分的尺寸 ；$\mathbf{p}$代表設計者無法決定的設計參數，如橋樑所在環境的溫度與濕度。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{x}} \quad & f(\mathbf{x},\mathbf{p}) \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{p}) \leq 0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

最佳化設計中常見的問題是：即使設計時的分析結果顯示產品可滿足所要求的限制，但現實中卻無法眞正符合限制要求。之所以產生這種矛盾的原因是由於「不確定因素」的影響。

幾乎在所有工程問題中都包含了不確定因素存在，舉例來說，任何產品在製造時都會因爲有公差而無法生產出兩個完全一模一樣的產品，這便是一種不確定因素的表現。一般而言不確定因素可分爲以下四類：

- 人爲因素：
  產品加工時的品質、加工量測的精度、人員操作的差異等。
- 材料特性：
  材料的楊式係數、浦松比、材料密度等。

- 環境因素：
  產品使用環境的溫度、濕度、氣壓、風速等。

- 時間產生的影響：
  產品材料的疲勞、老化等。

在工程問題中，這些不確定因素皆可能對產品的性能表現產生重大影響。在過去的歷史中，工程師面臨不確定因素時，往往都採用制定安全係數的方式來處理，訂定比原先預期要求還高的標準，避免不確定因素影響造成產品功能失效，然而，提高限制標準往往會使成本增加或產品的其他性能降低，且合適的安全係數訂定往往都需依賴工程師的經驗，當工程師的經驗或資訊不足時，便很容易做出錯誤的決定；若可利用統計的概念來了解不確定因素的發生機率，便可使工程師做出更好的判斷，因此便產生了評估產品可靠度的需求。

可靠度的意義爲產品在指定的時間內滿足某項性能指標的機率 [53]，更爲嚴謹的定義爲產品在指定的期限內、於特定使用條件下正常發揮特定功能的機率，其中以「指定期間」、「使用條件」、「特定功能」、「機率」爲四個組成可靠度的主要元素，對此四個元素分別說明如下：

- 指定期間：
  隨著時間的流逝，產品性能難以避免的會發生改變，常見的變化有零件老化、疲勞，幾乎沒有永久不會損壞的產品，產品破壞機率也會隨時間不同而改變。因此，需指定產品的使用時間，可靠度分析才具有意義。

- 使用條件：
  意指產品使用時的限制，如限定產品使用環境的溫度、溼度、壓力等等，因爲幾乎沒有產品可以在任何環境下都維持其功能表現，因此需限定於特定的使用環境與操作條件下，討論產品可靠度需才具有意義。這也解釋了爲何多數商品的保固說明中，皆強調保固的範圍需在非人爲破壞與正常工作環境下的原因。

- 特定功能：
  明確定義產品的功能，才可藉由功能的定義判斷產品是否失去功能。“明確定義”是指在任何情況下，依照此準則來判斷是否失去功能都會得到相同的結果。若產品失去功能則稱“破壞”(failure)，反之稱爲“安全”(safe)。

- 機率：

  此項用以代表可靠度的分析結果。產品穩定的程度須藉由機率來作爲量化的指標，這也是可靠度的單位。

可靠度是評估不確定因素對產品影響的重要指標。爲了在設計過程中將這些不確定因素的影響納入最佳化設計的考量，於是工程上便發展出了可靠度最佳化設計(Reliability-Based Design Optimization,RBDO)。

可靠度最佳化設計是一種融合了可靠度考量的最佳化設計方法，其要求在滿足含有不確定因素的限制條件下，將設計目標最佳化，把原本最佳化問題中當作定性定量值(deterministic)的設計變數與參數，改以某種隨機的機率分布取代，藉以表現不確定因素對設計的影響。方程式(2.3)爲一般可靠度最佳化的數學形式，其中$\mathbf{X}$與$\mathbf{P}$代表呈現某種隨機分布的設計變數與參數值，$\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{x}}$與$\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{p}}$爲設計變數與參數的期望值，而$P_{\mathrm{f}}$是違反限制條件的機率上限，由於違反限制條件的情形我們稱之爲破壞，因此P_{f}也可以稱之爲破壞機率，所謂的可靠度R_{e}即爲$1-P_{\mathrm{f}}$。

$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{x}}} \quad & f(\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{x}}, \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{p}}) \\ \text{s.t.} \quad & P_{\mathrm{r}}\left[\mathbf{g}(\mathbf{X}, \mathbf{P}) > 0\right] \leq P_{\mathrm{f}} \end{aligned} \tag{2.3}$$

在可靠度最佳化問題中目標函數因具有隨機的變數與參數，相較於一般最佳化問題較難評估其數值，所以需以一個具有代表性的數值代表目標函數，一般常使用期望值代表；而限制條件也因爲包含了不確定的隨機變數與參數，導致限制不再是絕對的滿足或違反，而是有一定機率可滿足限制，於是可靠度最佳化便將機率設計的概念引入最佳化問題的限制條件中，要求限制滿足的機率不可低於設計者要求的可靠度。

由於可靠度最佳化設計可在最佳化的同時，將產品於不確定因素下的可靠度納入考量，以科學的方法提升產品的穩健性，因此目前在許多工程領域都受到了廣泛的關注，包括了土木 [54]、機械 [55]、化工 [53]、航空 [56]中都可發現相關的研究，可見其爲一個可應用於眾多領域的設計方法。

2.4 本章小結

交通運輸是城市眾多空氣汙染物的主要來源，而隨著國內汽機車數量的成長 [57]，交通空氣

汙染的控制也更顯重要。在眾多交通空氣汙染減量的方法中，交通管理方法具有低成本、低風險、效果即時等令人注目的優點，但目前交通政策規劃的相關研究中，多數未考量政策對環境空氣污染的影響，而探討交通政策與空氣汙染關係的文獻中，則多數著重於汙染分析未探討政策設計，且使用的路網模型經過大幅減化，也未將環境不確定因素納入考量。

過去研究中城市路網過度簡化的缺點，可利用微觀的交通模型—交通細胞自動機模型(CA)進行改善。而交通政策設計時的環境不確定因素，則可利用可靠度最佳化方法將其納入考量。因此本研究於第三章將參考過去的CA模型文獻，建構一個台南區域性交通模型以模擬不同政策下的交通。並在第四章探討分析環境衝擊時存在的不確定因素，於第五章利用可靠度最佳化方法，探討不確定因素下城市交通法規的最佳化設計。

第 三 章　交通模擬

本章將詳細說明本研究的交通模擬方法。首先於3.1節中介紹交通模擬的基本概念與本研究的交通模擬流程；3.2節則說明道路使用者平衡(User Equilibrium ,UE)的概念與意義，同時介紹本研究中用以進行使用者平衡的模擬軟體DynaTAIWAN；3.3節說明本研究建構台南區域性交通CA模型的過程，詳細介紹模型建構時參考的各種CA模型規則與最後建構出的交通CA模型，並對此CA模型進行車流敏感度分析；3.4節則探討在不同交通政策情境下，交通汙染與行車成本的變化趨勢。

3.1　交通模擬概述

不論是都市地區或是高速公路的交通，通常皆由節點(node)與節線(link)來進行模擬 [58]，節線代表兩個節點間一條具有方向性的連結，而路徑(path)則是可連結兩節點的一組連續節線集合，起迄對(origin-destination pair,OD pair)代表一個起始節點與終點節點的組合，OD矩陣則代表路網中各OD pair的旅次量。若令$\mathcal{O}_i$代表所有離開節點i的節線之下游節點集合，$\mathcal{I}_i$代表所有進入節點i的節線之上遊節點集合，則節點與節線之關係可表示如圖3.1所示。

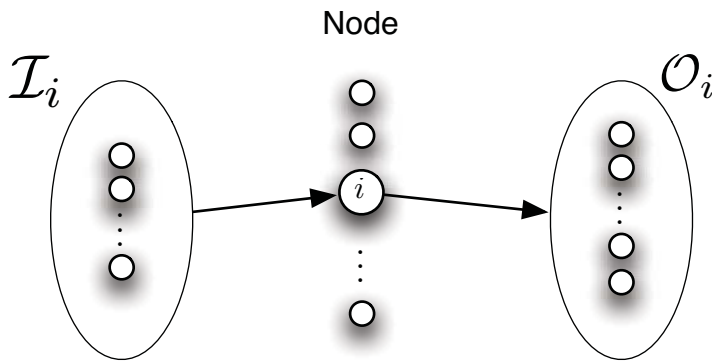


圖 3.1: 路網內節點與節線關係

交通CA模型雖然可模擬一條特定路徑的微觀車流狀況，然而實際城市的交通模擬需考量的問題卻更加複雜，主要原因如下：

1. 現實世界中，每一個起迄對的旅次進行路徑選擇時，需要考量每一條路徑的旅行成本
2. 當所有的旅次都完成路徑選擇後，每一條道路上的車流密度才可得知
3. 縱使降低道路速限會增加使用者的旅行時間及旅行成本，但在CA模型中，卻不會對道路車流密度產生影響
4. 對每個起迄對的最短路徑計算，需考量所有可行路徑的旅行成本

爲了處理上述問題，本研究結合了使用者平衡(User Equilibrium,UE)與CA模型進行城市交通模擬，完整的交通模擬流程如圖3.2所示。首先須設定模擬區域的路網地圖與此區域的OD矩陣，OD資料通常可由政府機構(如交通部運輸研究所)的調查獲得，因此將OD資料視爲決策者已知的資訊；接著設定各節線的行車速限，利用使用者平衡計算各節線的車流密度；再以此車流密度配合本研究發展的一種台南區域性交通CA模型，得到路網各道路上各速度車輛的數量。接著3.2與3.3節將分別敘述平衡使用者平衡與交通CA模型的細節。

3.2 使用者平衡

3.2.1 使用者平衡概述

使用者平衡(User Equilibrium,UE)的定義爲：對路網中的任一個OD pair而言，所有被使用路徑需要的旅行時間皆相等，且此旅行時間小於或等於行駛任何一條未被使用路徑需要的時間 [58]。而使用者平衡的代表的意義爲：路網中所有駕駛者都試圖使自己由起點到終點的旅行時間最小化，以此爲目標進行路徑選擇的考量，最後達到所有駕駛者皆無法藉由獨自改變其選擇的路徑而縮短旅行時間的穩定狀態，因爲所有駕駛者都被預期是行爲獨立的個體，所以在達到此狀態後，所有駕駛者皆不再有改變其路徑的動機，使車流達成平衡的狀態，此時並非所有駕駛者皆選擇某一條旅行時間最短的路徑，因爲路徑的旅行時間會因路徑上車流的不同而改變。

方程式3.1爲使用者平衡問題的數學型式，目標函數3.1a中的$\mathcal{N}$代表路網中所有節點的集合，$\mathcal{O}_i$代表所有離開節點i的節線的下游節點集合，x代表節線的車流，x_{ij}與c_{ij}分別代表由節點i到節點j節線的車流與時間成本，此目標函數沒有任何直覺上的經濟或行爲解釋，只單純視爲一個數學上的效用函數 [58]；限制式3.1b到3.1d中，$\mathcal{A}$代表OD pair的所有可能的路徑集

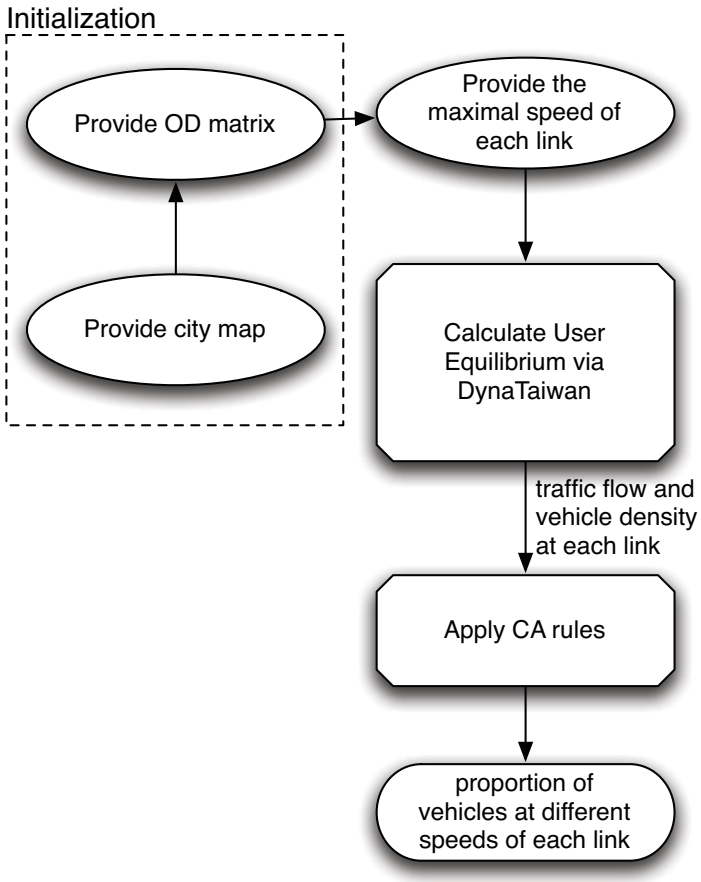


圖 3.2: 交通模擬流程

合，f_k代表路徑k的車流，q代表起迄對的旅次發生率(trip rate)，$\delta_{ij,k}$爲判斷節線ij是否在路徑k上的判斷因子(若是則其值爲1，否則其值爲0)，方程式3.1b代表路徑的車流量守恆限制，限制任一OD pair的所有路徑車流總合需等於此OD pair的旅次發生率；方程式3.1c代表每條節線上的車流，是由各條包含此節線之路徑的車流組成；方程式3.1d則代表車流需要符合現實世界的狀況，不得出現負值。

$$\min_{\mathbf{x}} \sum_{\forall i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{O}_i} \int_0^{x_{ij}} c_{ij}(x)dx \tag{3.1a}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in \mathcal{A}} f_k = q \tag{3.1b}$$

$$x_{ij} = \sum_{k \in \mathcal{A}} f_k \delta_{ij,k} \tag{3.1c}$$

$$f_k \geq 0 \tag{3.1d}$$

使用者平衡可使用標準的非線性最佳化演算法進行求解，但在求解方程式3.1前，須先對路網中各起迄對車流進行初始的交通指派，因此完整的使用者平衡共包含以下步驟：

1. 設定旅行時間函數，此旅行時間函數爲一個節線車流的函數
2. 進行初始的交通指派，找出各OD pair間最短的路徑，以全有全無率(all-or-nothing)將車流指派至路網中
3. 尋找可最小化方程式3.1中目標函數的最佳車流
4. 重複疊代更新車流，直到此最佳化問題收斂爲止

當最佳化收斂而獲得最佳解時，每個起迄對的被使用路徑會有相同的旅行成本。本研究中使用交通模擬軟體DynaTAIWAN進行使用者平衡，下節中將對DynaTAIWAN與其使用方式進行說明。

3.2.2 DynaTAIWAN簡介

DynaTAIWAN之全名爲Dynamic Traffic Assignment and Information in Wide Area Networks， 是一個由交通部運輸研究所自民國92年起陸續與成功大學、逢甲大學合作研發的動態車流模擬指派模型，其發展過程以美國公路聯邦總署(FHWA)研發的兩套動態指派模型DYNASMART與DynaMIT爲參考基礎，並參照國內駕駛者的行爲特性、車流特性與交通控管策略，建立了一套符合台灣本土特性的交通推估預測系統。其功能包含交通車流模擬、動態交通指派與即時交通推估預測。使用者可設定路網結構、道路速限、道路屬性、流量需求、駕駛者屬性等輸入資料，藉由DynaTAIWAN進行交通模擬後可輸出包含路段平均車流密度、路段平均車流速度、各車種旅行時間等多項交通模擬結果；DynaTAIWAN可模擬的駕駛者類型包含固定路徑使用者(PS)、可接收車內資訊路徑使用者(RI)、系統最佳化路徑使用者(SO)與使用者平衡路徑使用者(UE)；適用範圍包含高速公路以及都市地區路網。DynaTAIWAN計畫未來將開其放程式碼，並提供交管單位、教育與研究單位免費使用 [59]。 DynaTAIWAN中提供圖形使用者介面(GUI)的功能，可經由圖形介面編輯輸入資料，其資料編輯畫面如圖3.3所示；完成輸入資料編輯後啓動執行核心模擬，可利用圖形介面觀看輸出數值資料以及模擬畫面，其模擬車流畫面如圖3.4所示。

圖 3.3: DynaTAIWAN輸入使用者介面

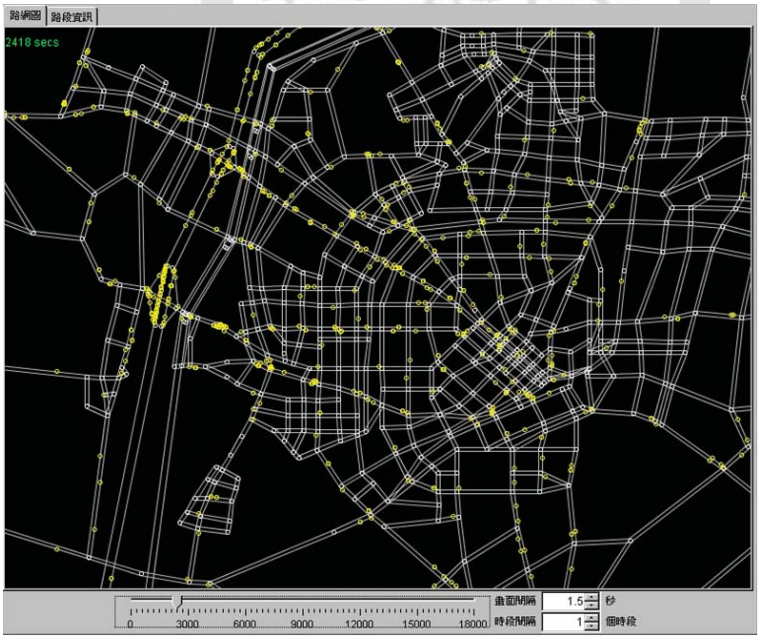


圖 3.4: DynaTAIWAN路網模擬畫面

此外DynaTAIWAN也可不透過圖形使用者介面編寫輸入資料檔案，執行核心模擬後直接輸出模擬結果數值檔案，以數值觀測的方式進行交通分析，研究若無展示畫面的需求一般皆採用此方法進行模擬以節省記憶體空間的使用。DynaTAIWAN的輸入資料檔案共分爲17項，其中包含3個模型參數檔，可設定如路網的節點、節線資料、車輛的流量需求等模擬條件，各輸入檔對應內容與其簡介整理於表3.1。而執行模擬後的輸出檔可分爲四類，分別爲資訊摘錄檔、車輛追蹤檔、路段屬性資料、指派資訊，內容包含各路段車流密度、速度等交通模擬數據，各輸出檔對應的內容整理於表3.2。

表 3.1: DynaTAIWAN輸入檔案說明

檔名	內容	簡介
network.dat	路網資料	路網道路相關屬性資料可於此進行設定，爲模擬基礎資料，藉以產生路網之基本組成，主要內容爲路口節點與路段節線之屬性資料，如節限的速限、長度、飽和流率等
zone.dat	路網資料	路網交通分區之資料，包含組成數目、區中心節點編號
move.dat	路網轉向資料	定義路網節點相對位置，即轉向資料。藉由本項資料的輸入，系統內路網結構才得以建立，車輛才能順利在路網中移動
demand.dat demoto.dat	流量需求資料	模擬車輛之產生基礎，每一時段，依照 OD 矩陣產生該時段之車輛數目，並於此時段中依序將車輛放入路網
scenario.dat	情境設定	此檔主要設定執行模擬所需相關環境等參數用以控制模擬進行。包含需求增量因子以及模擬時間參數
behavior.dat	決策行爲模式	有關途中決策行爲模式之資料，目的爲提供途中行爲模組運作使用，以模擬資訊影響旅運者之情況
attribute.dat	行爲屬性	決策行爲中所考慮之車輛個別屬性資料，包含駕駛傾向、路網熟悉度
control.dat	號誌設定	設定號誌路口之時制資料
ramp.dat	匝道資料	匝道控制資料，主要透過設置一偵測器，以取得該位置之模擬流量，用以協助進行匝道儀控
vms.dat	可變號誌系統	設定可變號誌系統之資料，以在路況到達設定情境下，可提供用路人交通資訊
incident.dat	事件資料	路段上之事件資料，包含開始、結束時間以及影響容量
bus.dat	公車資訊	公車或是具備固定路線行走車輛的資料
para_leftcap.dat	左轉容量限制	不同時比、不同對向流量、車道數目下，路口左轉容量數值資料
para_ivis.dat	車內行爲模式參數	車內導引資訊下，駕駛者行爲模式參數
para_vms.dat	可變資訊系統行爲模式參數	可變資訊系統顯示資訊下，駕駛者路徑選擇行爲模式參數
rh.dat	參數檔案	爲了進行滾動平面法的操作設定的參數資料，分別爲滾動週期、分析階段長度以及總規劃平面時間長度
develope.dat	輸出控制	提供選擇輸出的資料

本研究進行交通使用者平衡的方法，乃是利用國立成功大學交通模擬指派實驗室所建構提供的DynaTAIWAN台南市路網與旅次資料(OD矩陣)，將其配合指定的道路速限設計值輸入DynaTAIWAN，並把所有駕駛者設定爲使用者平衡路徑使用者(UE)，完成台南市路網的

表 3.2: DynaTAIWAN輸出檔案說明

檔名	內容	簡介
SimSummary.dat	資訊摘錄檔	紀錄整體模擬資料。包含路網基本資料、總體模擬資訊、統計資料
VehTrajectory.dat	車輛追蹤檔	紀錄模擬中所有車輛個別屬性，包含車輛起迄點、車輛進入路網時間；車輛旅行時間等資料
GenVol.dat	產生流量	路網中各路段在各模擬時段產生的車流量
LinkVol.dat	路段流量	各路段在各模擬時段的車流量
VehQueue.dat	停等汽車車輛數	各路段在各模擬時段停等之汽車數
MotorQueue.dat	停等機車數	各路段在各模擬時段停等之機車數
LinkVel.dat	路段平均速度	各路段在各模擬時段的平均車速
control.dat	號誌設定	設定號誌路口之時制資料
LinkCon.dat	路段平均密度	各路段在各模擬時段的平均車流密度
MovVel.dat	移動車輛平均速度	各路段在各模擬時段移動車輛的平均速度
MovCon.dat	移動車輛平均密度	各路段在各模擬時段移動車輛的平均密度
Green.dat	路口綠燈時間長度	每一時段下各號誌路口綠燈時間的長度
Outflow.dat	離開車輛數	各路段在各模擬時段離開的車輛數
DTA.dat	收斂指標輸出檔	各車種於每一次遞迴下系統最佳化(SO)以及使用者平衡(UE)收斂指標數值記錄
Sum.dat	指派統計數值輸出檔	每一遞子迴平均旅行時間、平均旅行距離、平均停等時間之數值紀錄

交通模擬。藉由結果輸出檔LinkCon.dat獲得各節線完成使用者平衡後的車流密度資料，將各路名相同的節線車流密度依節線長度進行加權平均，做爲各道路的穩態車流密度。將此密度結果輸入3.3.5節介紹的交通細胞自動機模型，進行下一階段的交通模擬。

3.3 建構台南區域性交通CA模型

完成使用者平衡後我們可獲得中觀的車流資訊，然而分析車流汙染對環境的衝擊，還需要了解車流的微觀資訊，如路網中各速度車輛的數量與位置。因此本研究將建構一個台南區域性交通CA模型，以此模型獲得微觀的車流資訊。

建構台南區域性交通CA模型前，首先需對台南市的交通特性有基本的認識，台南市交通特性包含：

1. 高車輛密度
   台南市與台灣許多城市一樣都具有很高的車輛密度，根據交通部機動車輛登記資料，至2009年1月爲止，台南市小客車的登記數量爲189424輛，機車登記數爲577197台[57]。
2. 車流機車比例高
   台南市的車流組成中具有很高的機車比例，根據交通部旅次調查資料顯示，台南市51.2%的日常交通旅次爲機車。若只限定於工作目的之旅次，機車旅次所佔的比例更高達59.4% [60]。
3. 交通號誌眾多
   台南市由於開發歷史悠久造成路網十分複雜，因此道路中設有眾多號誌管制交通狀況。

爲了模擬各種不同政策下的交通情境，本研究結合了多個交通CA模型文獻的概念，建構出一套可反映上述台南市交通特性的交通CA模型。本節中將詳細說明模型建構時參考的交通CA模型規則，並說明本研究最後建構出的台南區域性交通CA模型規則。

3.3.1 單線道模型(NS model)

Nagel與 Schreckenberg於1992年發展出了一維單線道的交通CA模型 [33]，圖3.5爲NS模型的示意圖，模型中以一列長度皆爲L的格子組合成道路，格子的狀態可分爲「空格」與「被車輛占據」兩類，車輛速度v可能爲0到最高速度$v_{\max}$間的任何整數，每台車只可占據一格。模型設定每格的長度L爲7.5公尺，更新的時間間隔爲1秒，隨時間改變所有車輛依據規則同步進行速度與位置的更新。當時間由t前進至$t+1$時，模型更新步驟與其代表意義說明如下：

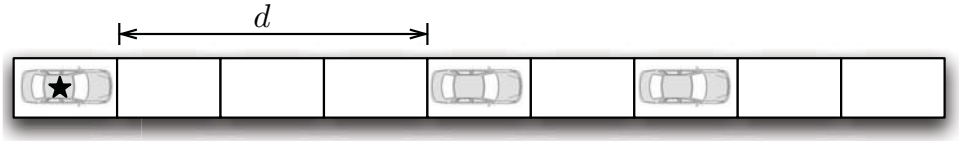


圖 3.5: 單線道CA模型

步驟1： 加速

若車速低於車輛的最高速度$v_{\max}$，則車速v加1

$v(t_1) = \min(v(t) + 1, v_{\max})$

步驟2： 減速

若與前車距離d小於步驟1更新後的速度$v(t_1)$，則速度降爲d

$v(t_2) = \min(v(t_1), d)$

步驟3： 隨機減速

若車速大於0，則車速有p的機率減1，其中r爲以標準平均分布產生的0到1間的亂數

If $r < p, v(t_3) = \max(v(t_2) - 1, 0)$

步驟4： 車輛移動

車輛速度v更新爲$v(t_3)$，車輛位置x向前移動v格

$v(t + 1) = v(t_3)$

$x(t + 1) = x(t) + v(t + 1)$

3.3.2 雙線道模型

Rickert等人於1996年將單線道交通CA模型延伸，發展出一種雙線道的交通CA模型 [38]，其模型示意圖如圖3.6所示，特色爲可將車輛行駛時的變換車道行爲納入考量。隨時間改變兩條線道上車輛同步進行速度與位置的更新。模型的更新步驟可分爲變換車道與單線道規則兩部分，當時間由t前進至$t + 1$時，其更新步驟與代表意義說明如下：

步驟1： 變換車道

判斷以下條件

1. $d < l$:同車道前方可見距離l內有車存在

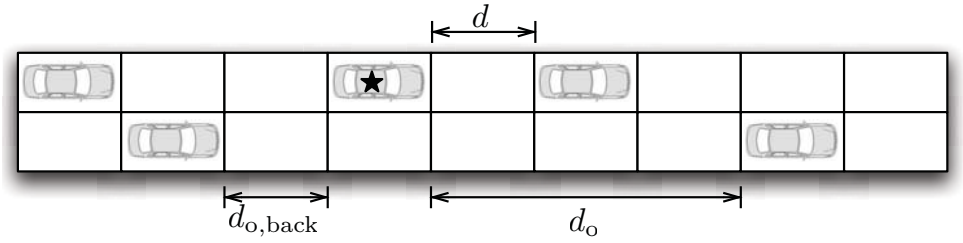


圖 3.6: 雙線道CA模型

2. $d_o > l_o$:另一車道前方可見距離l_o內無車存在
3. $d_{o,back} > l_{o,back}$:另一車道後方可見距離$l_{o,back}$內無車存在
4. $r \leq p_{\mathrm{change}}$:滿足$p_{\mathrm{change}}$的變換車道機率，其中$r$爲以標準平均分布產生的0到1間的亂數

若以上條件均滿足，則車輛變換車道。若車輛具備車道偏好性，則判斷時不需考量條件1

步驟2： 單線道規則

兩車道車輛同步以單線道模型規則進行速度與位置的更新

註：模型中的前方可見距離l設定爲車速v+1，後方可見距離設定爲車輛最高速度$v_{\max}$

3.3.3 單線道含號誌路口模型

1992年Biham等人提出第一個考量不同道路車流彼此影響的二維交通CA模型後 [40]，後人爲了使模擬城市路網的交通CA模型更接近現實狀況，發展出了一個考量含號誌路口的二維路網模型 [41]，模型中考量號誌道路的示意圖如圖3.7所示，此模型的更新規則與NS模型十分相似，多加入了車輛與號誌距離s及號誌變化週期T的考量，其更新步驟與代表意義說明如下：

步驟1： 加速

若車速低於車輛的最高速度$v_{\max}$，則車速v加1

$v(t_1) = \min(v(t) + 1, v_{\max})$

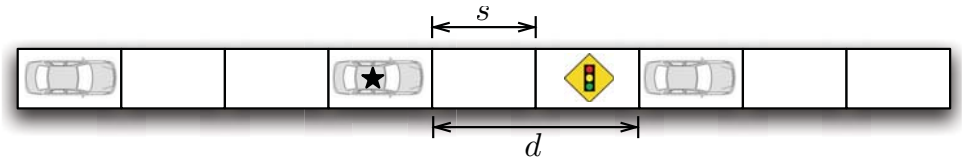


圖 3.7: 單線道含號誌路口模型

步驟2： 減速

狀況1：號誌爲綠燈，車輛考量與前車距離d決定是否減速，此狀況與NS模型減速規則完全相同

$v(t_2) = \min(v(t_1), d)$

狀況2：號誌爲紅燈，車輛考量與前車距離d及與前方最近號誌距離s判斷是否減速

$v(t_2) = \min(v(t_1), d, s)$

步驟3： 隨機減速

若車速大於0，車速有p的機率減1，其中r爲以標準平均分布產生的0到1間的亂數

If $r < p, v(t_3) = \max(v(t_2) - 1, 0)$

步驟4： 車輛移動

車輛速度v更新爲$v(t_3)$，車輛位置向前移動v格

$v(t+1) = v(t_3)$

$x(t+1) = x(t) + v(t+1)$

3.3.4 混合機車車流模型

2007年Meng等人因考慮到許多亞洲開發中國家中，交通流具有高比例機車的特性，因此發展出一套考量汽、機車混合車流的交通CA模型 [39]。其模型概念示意圖如圖3.8所示，在單線汽車道C旁增加一條機車專用道M，汽車被限制只可在C車道行駛，機車則可在M車道或C車道中的一條虛擬車道CM行駛，模型中設定機車長度爲汽車長度的一半，汽車會占據道路2格而機車只占據1格，其格子的長度設定爲NS模型的一半，即3.75公尺，因此汽車加速較NS模型緩慢，模型中還加入了汽車可優先使用C車道的「汽車優先權規則」。模型車流更新規則與其說明如下：

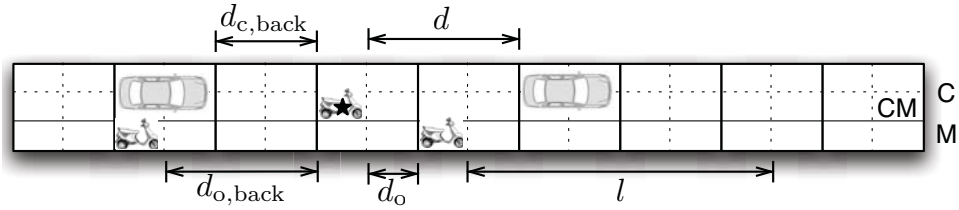


圖 3.8: 混合機車車流模型

步驟1： 變換車道

- M車道機車變換車道

  若M車道機車滿足下列所有條件，則變換至CM車道

  1. $v \leq d_o$，車速v不大於其與C車道前方車輛距離，車輛可能爲汽車或機車
  2. $v_{\mathrm{max,C}} \leq d_{o,back}$，汽車的最高速度$v_{\mathrm{max,C}}$不大於與C車道後方車輛的距離$d_{o,back}$
  3. $v_{\mathrm{M}} \leq v$，M車道前方機車車速v_{M}不大於車速v
  4. $v_{\mathrm{M}} \leq v_{\mathrm{CM}}$，M車道前方機車車速$v_{\mathrm{M}}$不大於CM車道前方車輛速度$v_{\mathrm{CM}}$

- CM車道機車變換車道

  若CM車道機車滿足下列所有條件，則變換至M車道

  1. $v \leq d_o$，車速v不大於與M車道前方機車距離
  2. $v_{\mathrm{M}} \leq d_{o,back}$，機車的最高速度$v_{\mathrm{M}}$不大於與M車道後方機車距離$d_{o,back}$
  3. $d_{c,back} = 0$ or $v \leq v_{\mathrm{M}}$ or $v_{\mathrm{CM}} \leq v_{\mathrm{M}}$
     - 與同車道後方汽車距離$d_{c,back}$爲0
     - 車速v不大於M車道前方機車速度v_{M}
     - CM車道前方車輛速度v_{CM}不大於與M車道前方機車速度v_{M}

     以上三條件有任一個成立

註：若前方車輛不在駕駛的可見範圍內，則前方車輛速度判定爲無限大

步驟2： 單線道規則

所有車輛(汽、機車)同步以單線道模型規則進行速度與位置的更新

3.3.5 台南區域性交通模型

本研究中結合了單線道、雙線道、單線道含號誌路口以及混合機車車流4種交通CA模型的概念，發展出一套符合台南基本交通特性的CA模型。圖3.9爲本研究發展的CA模型示意圖，模型中設置兩條汽車道C1、C2與一條機車專用道M，汽車被限制只可在C1與C2車道行駛，機車則可在M車道與C2車道中的一條虛擬車道CM行駛，車輛及格子長度設定與混合機車車流模型相同。車流更新規則可分爲4個步驟，其說明如下：

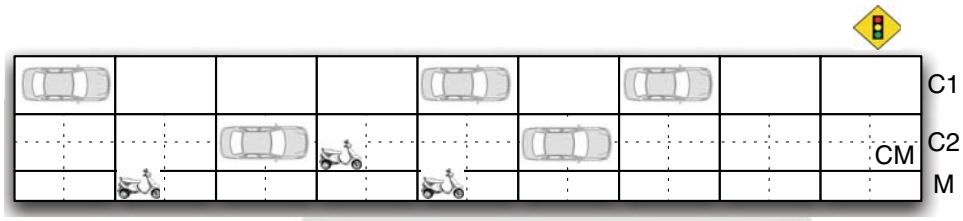


圖 3.9: 台南交通特性模型

步驟1： CM車道機車變換車道

若CM車道機車滿足下列所有條件，則變換至M車道

1. $v_{\max,\mathrm{M}} < d_{o,back}$:機車最高速度$v_{\max,\mathrm{M}}$小於與M車道後方機車距離$d_{o,back}$
2. 下列2種條件有任1種符合
   - $d_{c,back} = 0$ and $d_o \geq v$
     與後方汽車距離 $d_{c,back}$爲0，且與M車道前方機車距離不小於車速v
   - $d < l$ and $d_o > d$ and $r \leq p_{\mathrm{change}}$
     與前方車輛距離d小於同車道前方可見距離l，且與M車道前方機車距離d_o大於與前方車輛距離d，且滿足隨機變換車道機率p_{change}，其中r爲以標準平均分布產生的0到1間的亂數

步驟2： 汽車變換車道

若汽車滿足下列所有條件，則汽車變換車道

1. $d < l$:與前車距離d小於同車道前方可見距離l
2. $d_o > d$:與另一車道前車距離d_o大於與前車距離d

3. $d_{o,back} > v_{\max,\mathrm{C}}$:與另一車道(C1或C2)後方車輛的距離$d_{o,back}$大於汽車最高速度$v_{\max,\mathrm{C}}$

4. $r \leq p_{\mathrm{change}}$: 滿足隨機變換車道的機率$p_{\mathrm{change}}$，其中$r$爲以標準平均分布產生的0到1間的亂數

步驟3： M車道機車變換車道

若M車道機車滿足下列所有條件，則變換至CM車道

1. $v_{\max,\mathrm{C}} < d_{o,back}$:汽車最高速度$v_{\max,\mathrm{C}}$小於與車道C1後車距離$d_{o,back}$

2. $d < l$:與前車距離d小於同車道前方可見距離l

3. $d_o > d$:與C1車道前車距離大於與前車距離d

4. $r \leq p_{\mathrm{change}}$:滿足隨機變換車道機率$p_{\mathrm{change}}$，其中$r$爲以標準平均分布產生的0到1間的亂數

步驟4： 單線道速度與距離更新

所有車輛(汽、機車)同步以單線道含號誌路口模型規則，進行速度與位置的更新

註：模型中前方可見距離l與雙線道模型相同，設定爲車速v+1

3.3.6 台南區域性交通模型車流敏感度分析

本節中將對3.3.5節中的台南區域性交通CA模型進行車流量的敏感度分析。車流量(flow)之定義爲道路車流密度(density)與道路車流平均速度(speed)的乘積，其代表的意義爲單位時間內道路中某參考點平均可通過的車輛數，是一種常被用以評估交通狀況的特性。我們挑選出交通模型中的隨機煞車機率(p)、汽車密度(car density)、機車密度(motorcycle density)、汽車速限 ($v_{\max,\mathrm{C}}$)、機車速限($v_{\max,\mathrm{M}}$)、號誌變換的間隔週期(T)、號誌間的距離(D)、隨機變換車道機率(p_{change}) 等八個參數，以L18直交表進行車流敏感度分析，探討各道路交通參數改變對車流量產生的影響。分析的模型參數與參數對應的水準值如表3.3所示。道路設定邊界條件爲環狀道路，道路總長爲7.5公里，模擬時間共50分鐘，以模擬20分鐘後的車流計算平均值，以使分析車流狀況達到穩態。敏感度分析之結果如圖3.10所示，對分析呈現的結果我們可進行下列解釋：

表 3.3: 車流敏感度分析參數水準值

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
probability of random deceleration(p)	0.3	0.7	
car density, 1/km	32	80	132
motorcycle density, 1/km	32	80	132
speed limit of car ($v_{\mathrm{max,C}}$), km/hr	54	81	135
speed limit of motorcycle($v_{\mathrm{max,M}}$), km/hr	54	81	135
signal period (T), second	30	60	90
signal distance (D), meter	187.5	375	562.5
probability of lane changing(p_{change})	0.5	0.7	0.9

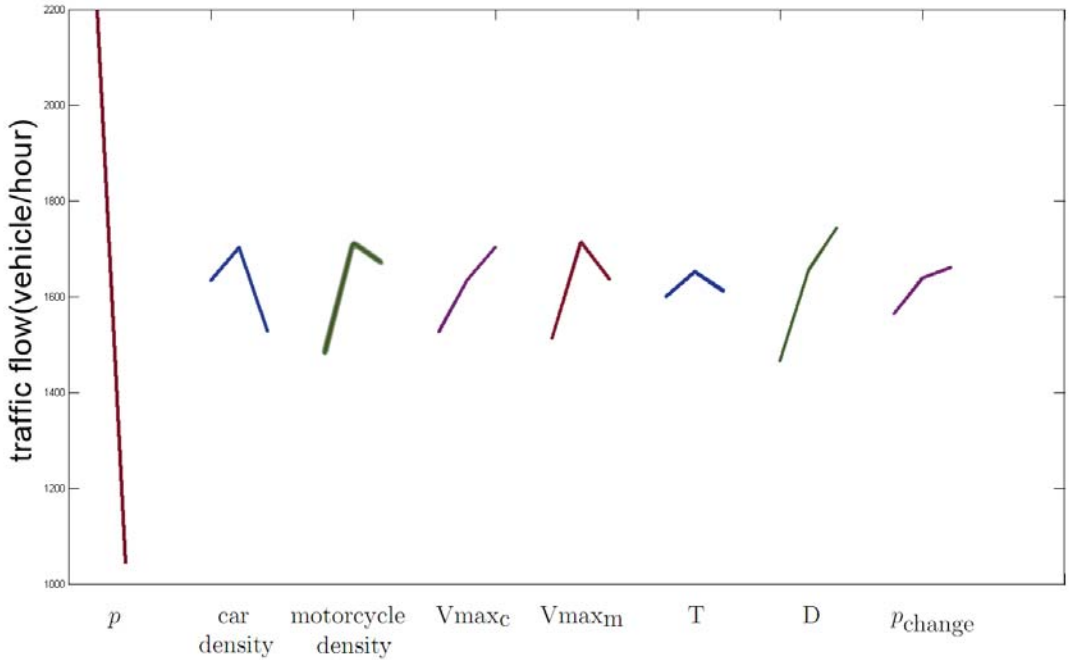


圖 3.10: 台南特性交通模型車流敏感度分析結果

- 隨機減速機率(p)對車流量產生之影響最爲明顯，隨機減速機率越大，平均車流量將越小，此現象可解釋爲隨機減速機率提高造成駕駛的加速行爲減少，使車流平均速度降低而連帶減少了車流量。

- 增加汽車密度(car density)可使平均車流量提升，但到達最大車流量後，因道路的車流密度升高造成阻塞，導致車速逐漸下降，此時若繼續增加汽車密度反而會使車流量降

低。機車密度(motorcycle density)的變化也可發現相同的現象。

- 增加車輛的最高速度($v_{\mathrm{max,C}}$,$v_{\mathrm{max,M}}$)可使車流量提升，然而增加車輛最高速度卻也會造成車輛變換車道的行爲減少，因爲此時變換車道要求的目標車道後方距離增大(可視爲需要的安全距離增加)，導致變換車道行爲更加困難，機車最高速度($v_{\mathrm{max,M}}$)所造成的車流變化便爲此原因造成。

- 較短的號誌週期(T)將迫使車輛做出短暫的停等，造成車輛加速到最高速度的機會降低導致車流下降，增加號誌週期可使車流量增加；然而號誌週期過長也會使車輛的怠速時間增加，導致整體車流量下降。

- 號誌間的距離(D)越長，相同長度內的道路號誌的數量越少，此時車輛將更有機會達到最高速度，造成車流量的提升。但號誌間距離過長也會使車流量上升逐漸減少，因過長的距離會使停等紅燈的車隊過長，使部分車輛須到停等兩次紅燈才可通過號誌。

- 於較高的變換車道機率(p_{change})下，車輛將有更多機會避開前方車道的阻塞，因此增加變換車道機率對車流量的提升具有正面影響。

3.4 情境分析

3.4.1 情境分析設定

本節將利用單一道路的情境分析，探討在高車流密度與低車流密度兩種狀況下，各種法規制定對行車成本與車輛汙染排放率造成的影響。行車成本與汙染排放率之分析方法細節，將分別於5.3.1節與4.2節進行說明。首先說明預設的模擬道路參數值，我們將道路設定爲一條長5.62公里的環形道路，道路中各號誌的間距爲187.5公尺，號誌的紅、綠燈時間均爲30秒，道路的汽、機車速限均爲54 km/h，車輛的隨機減速機率爲30%，符合變換車道條件下變換車道的機率爲70%，汽車具有行駛優先權(當汽、機車行駛於相同線道且後方汽車與前方機車間已無間距時，機車若可變換線道則需變換至其他線道)，高密度情境下預設的汽、機車車流密度皆爲80 veh/km，低密度情境下預設的汽、機車車流密度皆爲30 veh/km。而本研究共探討了13種不同的法規制定情境，各情境之說明與對應的模擬參數設定列於表3.4之中。

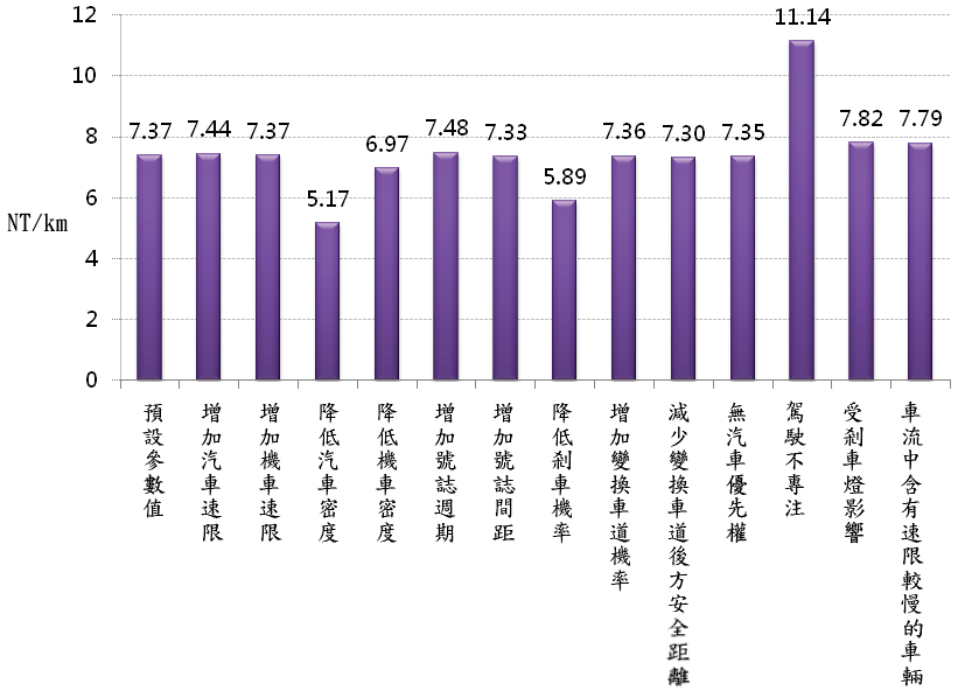
表 3.4: 情境分析參數設定方式

法規情境	模擬參數設定
提高道路汽車速限	將汽車最高速度增加50%(81 km/hr)
提高道路機車速限	將汽車最高速度增加50%(81 km/hr)
實施交通管制限制進入道路的汽車	將汽車密度減爲50%
實施交通管制限制進入道路的機車	將機車密度減爲50%
加長號誌週期	將模型中紅、綠燈時間均加倍(60秒)
減少號誌數量	將模型中號誌間距加倍(375公尺)
宣導減少無故的減速行爲	將隨機煞車機率降爲10%
鼓勵在被前方車輛阻擋時變換車道	將變換車道機率增加爲90%
宣導駕駛於變換車道時考量的安全距離較不保守	將變換車道的安全距離減爲原限制距離的50%
汽車無行駛優先權	取消汽車優先權規則
取消禁止講手機等使專注力降低的法令	車輛有50%的機率在更新過程不進行速度更新(但避免與前車碰撞的減速除外)
宣導行駛時注意前車的煞車燈	將CA模型速度更新規則改爲BL(Brake Light)模型更新規則 [37]
道路無最低速度限制	將車流中50%車輛的最高速度降爲75% (40.5km/h)

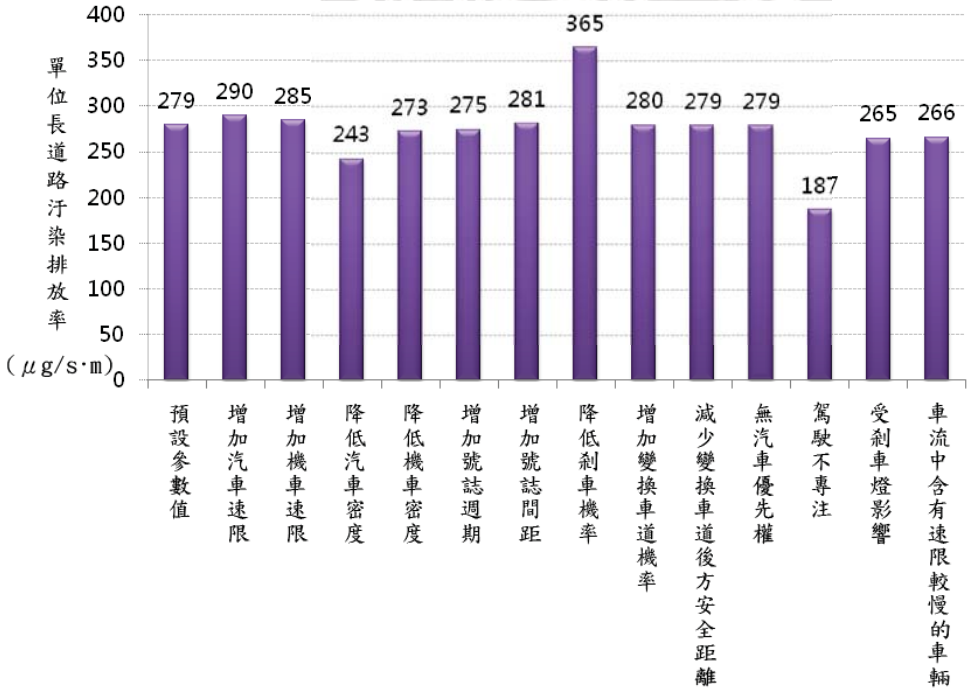
3.4.2 情境分析結果

本研究對以上13種政策情境設定進行交通模擬，分析行車成本與NOx排放的變化。高車流密度下的情境分析的結果如圖3.4.2所示。由圖中可發現於高密度的車流下，各情境有對成本與NOx排放呈現以下現象：

- 增加汽、機車的速限對行車成本、汙染排放皆無明顯的影響，其原因爲在高密度的車流中，車輛的速度已被前後密集的車輛所限制，即使增加道路速限，實際上車輛的速度仍無法提升
- 以交通管制的方式降低汽、機車的車流密度均可使行車成本有效的降低，且因車輛總數減少，亦可明顯降低各汙染物的排放，其中又以降低汽車密度的效益較爲明顯
- 號誌週期與間距的增加，對行車成本與汙染皆無明顯的變化
- 宣導減少無故減速的駕駛行爲可使行車速度增加，行車成本大幅下降，但車速提升也造成了NOx排放量增加
- 增加變換車道機率對行車成本與汙染皆無明顯影響，主因爲在高密度車流下，所有車道皆呈現壅擠的狀態，變換車道要求的「安全距離條件」以及「可增加行車速度條件」皆不易滿足
- 減少變換車道的安全距離對行車成本與污染的影響亦不顯著，此現象乃因各車道皆呈現擁擠狀態所導致，但安全距離的縮短確實可增加變換車道行爲，因此其行車成本較增加變換車道機率的成本更低，但需注意減少變換車道的安全距離可能會增加事故發生的機率，而本研究探討之行車成本並未將事故成本納入考量
- 汽車優先權的有無對行車成本與汙染均無明顯影響，此結果與文獻 [39]中呈現汽車優先權對車流量少有影響的結果相符
- 駕駛不專注將導致行車成本大幅上升，因爲駕駛的不專注行爲不但會降低自身行車的加速行爲，也會連帶影響後車的加速機會，導致整條道路的車流速度大幅下降，而速度降低連帶造成NOx排放降低
- 考量前車煞車燈的狀態將使行車成本提升而NOx排放下降，因在高車流密度時車輛的加速行爲已被前後壅擠的車輛所限制，考量前車煞車燈的狀況更會增加前後車輛的影



(a) 行車成本



(b) NOx排放率

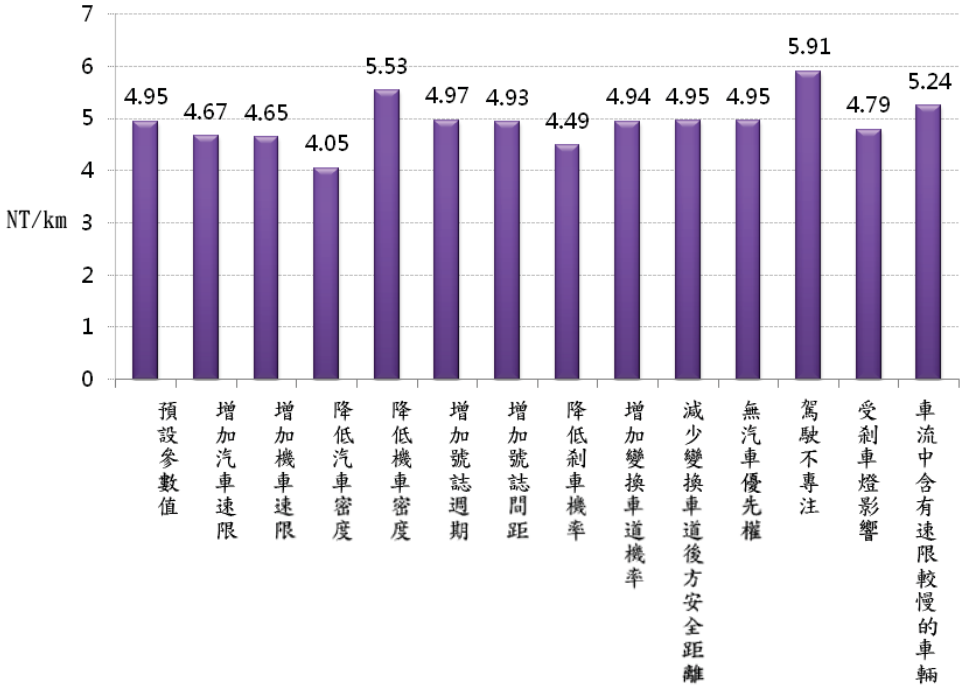
圖 3.11: 高車流密度下法規情境的影響

響範圍，使車輛更難以加速，但需注意考量前車剎車燈可能會減少事故發生的機率，而本研究探討之行車成本並未將事故成本納入考量

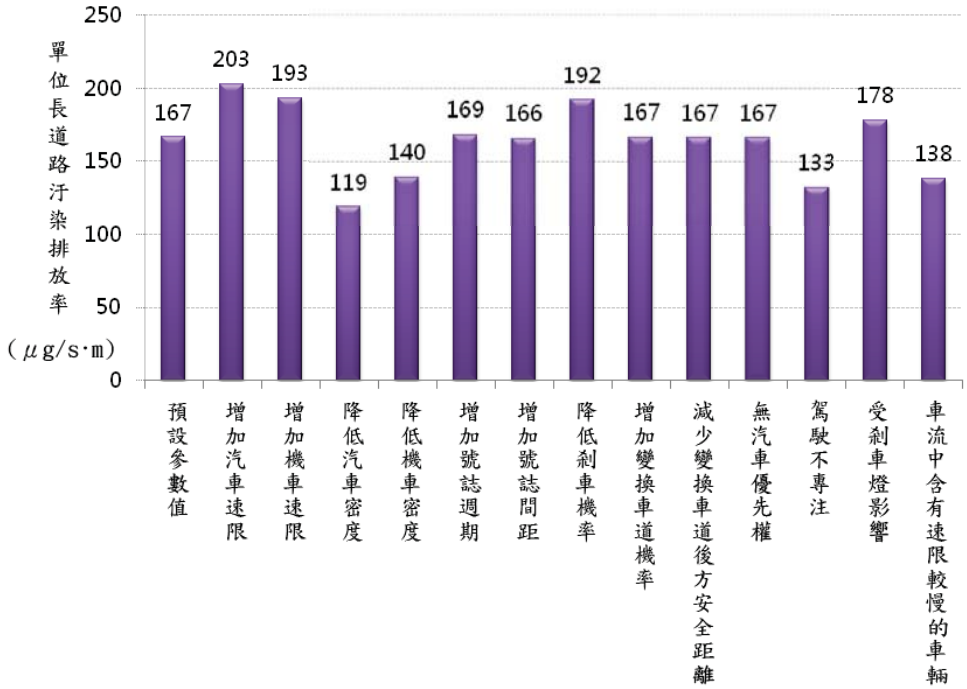
- 若道路因無最低速度限規定而導致車流中部分車輛的速限較低，將增加道路的行車成本，因速限較低的車輛不但本身速度會降低，也會阻擋其他速限較高車輛的加速行爲，也因此NOx排放略爲下降

於低車流密度下的相同情境分析的結果如圖3.4.2所示，整體而言，行車成本與汙染排放皆低於高密度車流情境。以下針對其與高密度情境下的差異進行探討：

- 增加汽、機速限可降低行車成本，因在低車流密度的狀態並無壅塞發生，提升車輛速限可使速度確實提升；而NOx排放也因速度增加而提升
- 以交通管制的方式降低汽車密度，會使路網平均行車成本降低；然而降低機車密度則會使行車成本增加，造成此現象的原因爲在低密度的車流條件下，無論是否降低車流密度，車流皆會呈現自由流(free flow)的狀態，車流中各車速車輛所佔比例亦保持不變，但因汽車所耗費的油耗成本高於機車，所以降低汽車密度相當於降低汽車比例，造成平均行車成本下降；降低機車密度相當於降低機車比例，將使平均成本上升。而污染狀況則因降低汽、機車密度皆可使道路車輛減少，因此汙染排放皆下降
- 宣導駕駛在前方阻塞時變換車道、宣導減少變換車道的安全距離，此兩種法規在低密度情境下對行車成本與汙染皆無影響，因在低密度狀況下車輛前方幾乎不會發生壅塞，因此並無變換車道的需求與行爲。而取消汽車優先權也因汽、機在低密度車流下少有貼近行駛的機會，而不會對成本與汙染排放產生影響
- 考量前車煞車燈的狀態在低密度情境下，可使行車成本下降，因煞車燈可使後車具備預測前車減速行爲的能力，提前進行較緩和的減速避免突然的煞車現象，使整體車流速度更加順暢；而NOx排放也因車輛有較長時間保持於較高速度而增加



(a) 行車成本



(b) NOx排放率

圖 3.12: 低車流密度下法規情境的影響

第 四 章　環境衝擊分析

本章將說明本研究用以分析交通汙染排放對環境造成衝擊的方法。本研究中選擇一氧化碳(CO)、氮氧化物(NOx)、硫氧化物(SOx)、鉛(Pb)、總懸浮微粒(TSP)以及粒徑小於等於10微米的懸浮微粒(PM10)等六種汙染物做爲討論的目標汙染物，要求此六種汙染物的汙染濃度可以符合環保署所制定的法規標準限制。在完成第三章所介紹的交通模擬後，我們可得到路網中各道路上各車種於各不同速度下之車輛數量，我們將此資訊與氣象資料進行整合，計算選擇之汙染觀測點位置的汙染物濃度，汙染物濃度的計算流程如圖4.1所示。本章首先於4.1節中介紹本研究用以評估汙染物擴散方式的高斯擴散模型；接著4.2節將說明推估交通汙染排率的方式；4.3節中則說明本研究所考量的不確定因素以及探討方法。

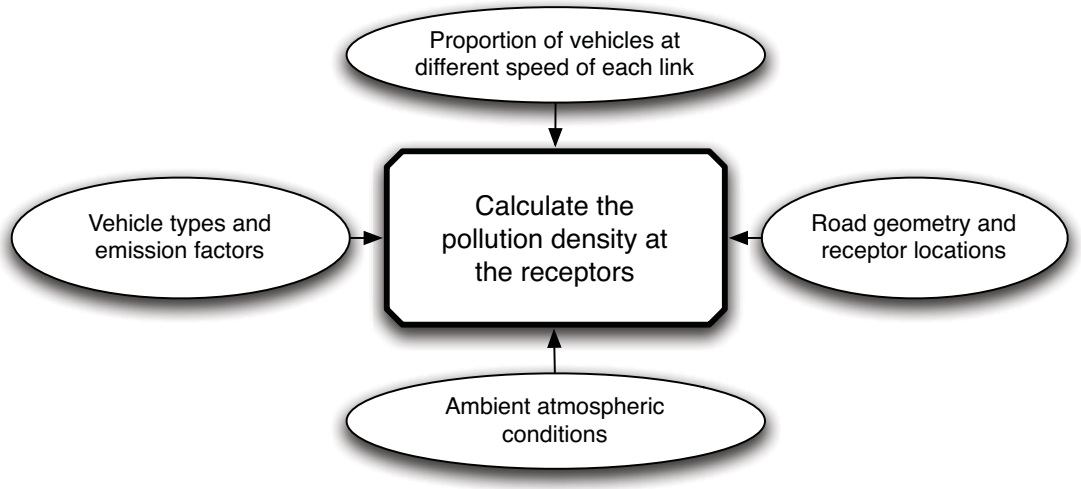


圖 4.1: 由交通模擬結果計算汙染擴散濃度之流程

4.1　高斯汙染擴散模型

高斯擴散模型是一種常被用以評估汙染物擴散狀況的模型，在假設汙染物傳播方式於風速方向以對流(convection)爲主，於垂直風向的另外兩方向以擴散(diffusion)爲主的條件下，推估穩定狀態的汙染物濃度，目前市面上許多汙染擴散模擬軟體包括CALINE 4、CAR-FMI、ADMS-Roads等皆是以高斯擴散模型爲架構進行開發。高斯擴散模型中的主要假設如下 [61]：

- 汙染源的污染排放率(單位時間內的汙染排放量)爲定值
- 風速於不同時間及不同高度下皆爲定值
- 汙染物的性質穩定，不會與其他物質產生化學反應或因衰變、沉澱而消散，當碰到地面時也不會被地面吸收
- 模擬區域的地形平坦無障礙物

典型的點汙染源排放情形如圖4.2所示，定義平行風向方向爲x軸，垂直風向的水平方向爲y軸，高度方向爲z軸，汙染源位於xy平面原點高度H處，則高斯點源擴散模型推估座標(x, y, z)處的汙染濃度方程式如方程式4.1a所示，其中 $C(x, y, z)$代表座標(x, y, z)處的汙染濃度，q代表點汙染源的污染排放率，u代表風速，H代表汙染源的有效高度，而σ_y與σ_z分別代表汙染物在y方向與z方向的擴散係數，分別影響汙染物在y與z方向的擴散速率，其數值會受到觀測點與汙染源相對位置關係以及大氣條件的影響，擴散係數的計算方式將於4.3.2節中說明。由方程式 4.1a可發現在高斯擴散模型中，汙染源之汙染排放率與觀測點之汙染濃度呈現正比的關係；而風速增加則會造成汙染物擴散的濃度降低。

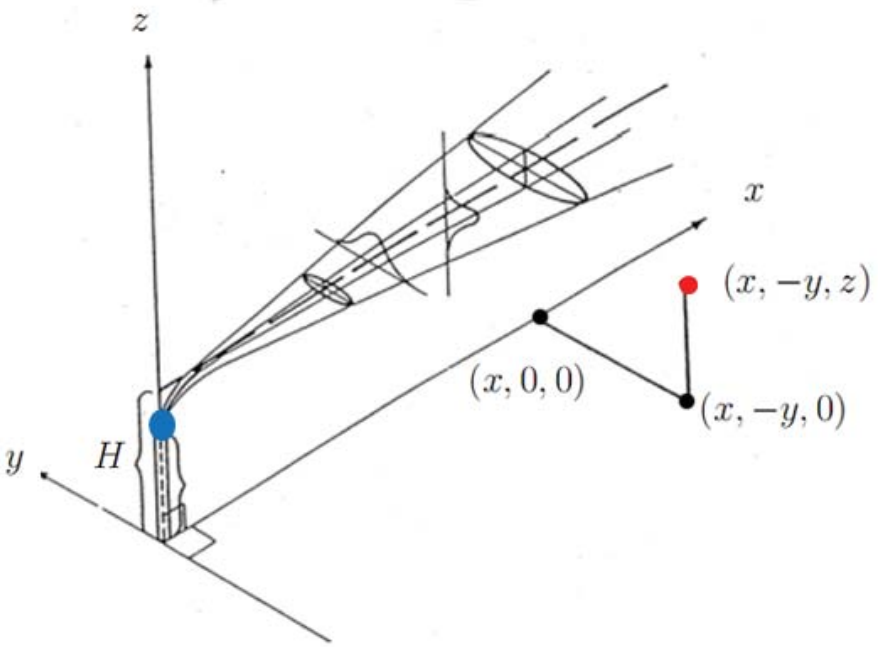


圖 4.2: 高斯點汙染源擴散模型示意圖

$$C(x,y,z) = \frac{q}{2\pi u \sigma_y(x), \sigma_z(x)} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2(x)} + \frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \tag{4.1a}$$

$$\int C(x,y,z)dL \approx \sum_k C(x,y,z) \tag{4.1b}$$

了解高斯擴散模型的基本形式後，我們接著將說明如何利用高斯擴散模型推估道路擴散的汙染濃度。圖4.3中顯示了一個污染觀測點位於兩條道路下方的簡單情境，兩條道路(A與B)皆因車輛的污染排放形成線汙染源，而環境存在向下的風向使道路汙染物產生擴散。我們將道路形成的有限長線汙染源視爲多個點汙染源的組合，此時道路對觀測點造成的汙染濃度，可用方程式4.1a中點汙染源汙染濃度的積分表示，如方程式4.1b中的積分式所示；然而此積分式並不存在解析解。爲了配合本研究執行交通模擬的CA模型中車輛位置爲離散點的概念並增進計算效率，我們採用加總的方式取代積分計算線汙染源(道路)汙染擴散濃度的近似值，將線汙染源造成的汙染視爲多個點汙染源造成汙染的總合，如方程式4.1b中的加總式所示，其中k代表將道路分割成的點汙染源總數，本研究中將分割的點汙染源間距設定爲0.5公尺。

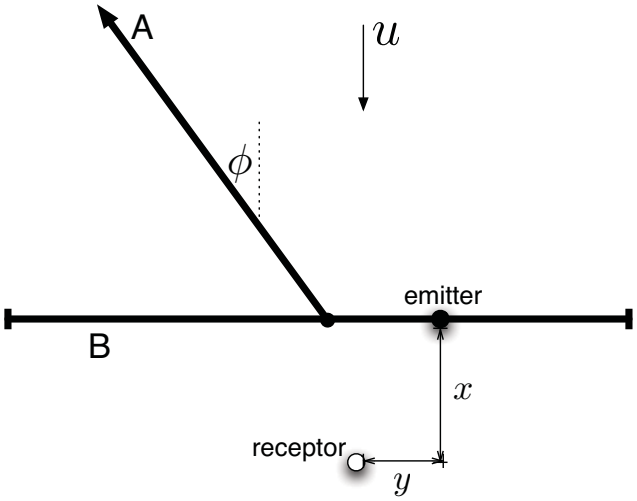


圖 4.3: 擴散模型中的道路、觀測點與風向關係

4.2 交通汙染排放率

使用方程式4.1a的高斯擴散模型前，需要先求得汙染源的污染排放率q。交通造成的汙染排放率可利用排放係數(enission factor,EF)進行推估，排放係數的定義爲汙染源在單位活動強度下產生的汙染排放量，對交通汙染源而言一般以行車里程做爲其活動強度單位，汙染排放率與排放係數的關係如方程式4.2所示，其中q代表道路的污染排放率，EF代表車輛的污染排放係數，T代表車輛數與行車速度的乘積。

$$q(\text{gram/second}) = EF(\text{gram/km-vehicle}) \times T(\text{vehicle-km/second}) \tag{4.2}$$

車輛於各不同行駛速度下的汙染排放係數值，本研究引用環保署建立之排放清冊資料庫TEDS7.0(Taiwan Emission Data System) [19]中的資料。TEDS7.0中線汙染源的排放係數推估是採用Mobile-Taiwan2.0模式及AP-42方法估算，並且以民國以96年或相近年份的資料進行模型中參數的更新，更新參數包括行車里程、車齡分布、油品含硫量及氣象參數等，而推估的區域由前一版本資料庫(TEDS6.1)中的三個分區(台北縣市、高雄縣市、非北高縣市)改爲五個分區(台北縣市、高雄縣市、台中縣市、離島縣市及其他縣市)。雖然現實中車輛的汙染排放係數會因駕駛的習慣、車輛保養的方式、車齡等因素的不同而有所差異，但本研究不將這些不確定因素納入考量，以TEDS7.0中推估的排放係數值作爲各車種的平均汙染排放係數，並假設道路上的車流皆爲自用小客車與四行程機車兩種車種組成。TEDS7.0中自用小客車與四行程機車在各速度下各類污染物的汙染排放係數如表4.2所示。我們將表4.2中各速度下車輛對應的排放係數乘上該車輛的速度與總數，可得到該速度車輛的汙染排放率，將各速度車輛的污染排放率加總，即可得到道路的總汙染排放率。

4.3 不確定因素模擬

4.3.1 風速與風向

風速與風向是高斯擴散模型中直接影響汙染物擴散方向與濃度的參數，因每日的氣象條件皆不會完全相同，導致這兩個重要參數成爲了計算汙染濃度時的不確定因素。爲了模擬風速與風向不確定因素造成的影響，本研究根據McWilliams等人 [62,63]的方法來推估風速與風向的

表 4.1: 自用小客車 (四行程機車)汙染排放係數 (gram/km-vehicle) [19]

Speed (km/h)	TSP	PM10	SOx	Pb	NOx	CO
5	0.1485 (0.0816)	0.0870 (0.0484)	0.0092 (0.0062)	0.0026 (0.0017)	0.54 (0.25)	18.23 (12.91)
10	0.1472 (0.0804)	0.0860 (0.0474)	0.0086 (0.0034)	0.0013 (0.0005)	0.46 (0.22)	10 (6.94)
15	0.1468 (0.0802)	0.0856 (0.0473)	0.008 (0.0026)	0.0009 (0.0003)	0.43 (0.21)	6.94 (4.48)
20	0.1466 (0.0801)	0.0855 (0.0472)	0.0075 (0.0022)	0.0007 (0.0002)	0.42 (0.21)	5.46 (3.28)
25	0.1465 (0.0801)	0.0854 (0.0472)	0.007 (0.0020)	0.0006 (0.0002)	0.41 (0.21)	4.61 (2.6)
30	0.1464 (0.0801)	0.0853 (0.0471)	0.0066 (0.0019)	0.0005 (0.0001)	0.41 (0.22)	4.06 (2.17)
40	0.1463 (0.0800)	0.0853 (0.0471)	0.0058 (0.0019)	0.0004 (0.0001)	0.42 (0.25)	3.02 (1.63)
50	0.1478 (0.0800)	0.0864 (0.0471)	0.0053 (0.0021)	0.0003 (0.0001)	0.45 (0.28)	2.32 (1.27)
60	0.1477 (0.0800)	0.0864 (0.0471)	0.005 (0.0025)	0.0002 (0.0001)	0.45 (0.30)	1.85 (1.02)
70	0.1477 (0.0801)	0.0864 (0.0471)	0.0048 (0.0032)	0.0002 (0.0001)	0.46 (0.31)	1.54 (0.87)
80	0.1477 (0.0801)	0.0864 (0.0472)	0.0049 (0.0029)	0.0002 (0.0002)	0.49 (0.33)	1.39 (0.81)
90	0.1477 (0.0801)	0.0864 (0.0472)	0.0052 (0.004)	0.0003 (0.0002)	0.59 (0.40)	1.62 (0.99)
100	0.1478 (0.0801)	0.0864 (0.0472)	0.0056 (0.004)	0.0003 (0.0002)	0.68 (0.46)	3.1 (2.2)

機率密度函數(PDF)；風的向量可視爲兩個不同方向分量的組合，分別爲主風向角方向與垂直主風向角的方向，其中主風向方向代表風向數據的中位數風向方向，令U_h代表眞實風速的向量，ψ代表主風向角的角度，U_y代表風速在主風向角方向分量，U_x代表風速在垂直主風向角方向分量，θ代表眞實風向的角度(相對於主風向方向的角度)，以上風速分量與角度間的關係如圖4.4所示。

McWilliams等人 [62]在其模型中將假設風速分量U_y與U_x的分布爲兩個具有相同標準差σ的高斯分布，如方程式4.3所示。根據McWilliams等人的研究 [63]，眞實風速速率U_h與眞實風向角度θ兩者的機率密度函數，可以方程式4.4表示，其中I_0代表第一類修正型bessel函數。

$$U_y \sim N(\mu, \sigma^2), \quad U_x \sim N(0, \sigma^2) \tag{4.3}$$

$$f_{U_h}(v) = \left[\frac{1}{\sigma^2} v e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}}\right] \cdot e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}} \cdot I_0\left(\frac{\mu}{\sigma^2} v\right) \tag{4.4a}$$

$$f_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}} \left[1 + \frac{\mu}{\sigma}\sqrt{2\pi}\sin(\theta) \cdot \Phi\left(-\frac{\mu}{\sigma}\sin(\theta)\right) \cdot e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\mu}{\sigma}\sin(\theta)\right)^2}\right] \tag{4.4b}$$

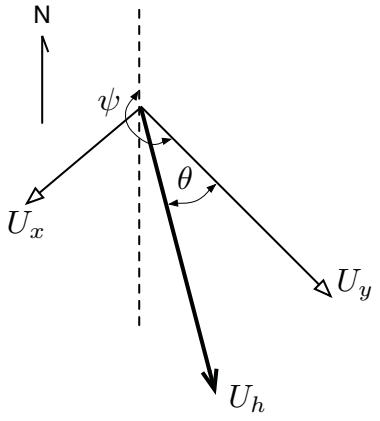


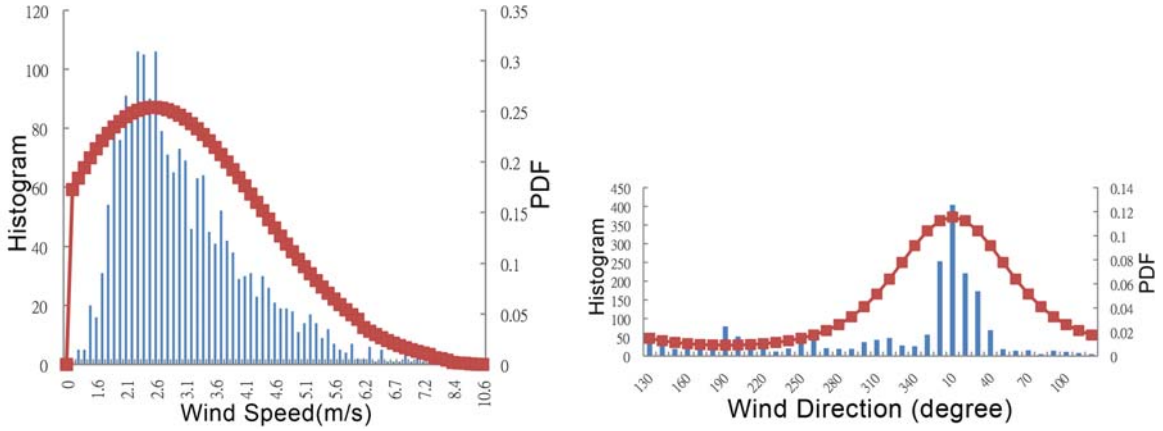
圖 4.4: 主風向角方向 ψ、主風向角風速 U_y、眞實風速U_h間的幾何關係

令$\gamma = \mu/\sigma$，由風向θ的統計資料計算其變異數(variance)後，便可利用文獻 [63]中γ與θ的關係式(方程式4.5a)以及平均風速與γ、σ的關係式(方程式4.5b)，求得γ值與兩個風向分量分布的標準差σ與U_y的平均值μ。將σ與μ帶回方程式4.4即可得到風速與風向的機率密度函數。

$$\mathrm{Var}[\theta] = 3.276 + 2.6\gamma - 0.274\gamma^2 - 0.146\gamma^3 \tag{4.5a}$$

$$E[v^2] = \sigma^2(\gamma^2 + 2) \tag{4.5b}$$

圖4.5(a)與圖4.5(b)中的曲線爲我們利用上述風速、風向的機率密度函數推估方法，配合台南市2003年到2008年的風速風向統計資料所得到的風速、風向分布，由圖中可看出，此機率密度分布與實際資料分布(圖4.5(a)與圖4.5(b)中的長條圖)具有合理的相似性。



(a) Wind Speed (b) Wind Direction

圖 4.5: 風速、風向機率密度函數與與實際資料比較

4.3.2 污染擴散係數

在4.1節介紹的高斯擴散模型中，擴散係數σ_y與σ_z皆爲汙染源到觀測點下風距離x的函數，這兩個係數一般可由參數a、c、d、f表示 [64]，σ_y及σ_z與a、c、d、f關係式如方程式4.6所示。

$$\sigma_y = ax^{0.894} \tag{4.6}$$
$$\sigma_z = cx^d + f$$

其中參數a、c、d、f的數值須由環境大氣條件中的大氣穩定度等級(stability class)所決定。大氣穩定度代表的意義爲空氣中粒子在垂直方向有效混合的程度。大氣穩定度等級須由環境中的風速與日照強度決定，由於風速與日照強度皆爲環境中的不確定因素，因此也使擴散係數成爲高斯擴散模型中的不確定因素。不同風速與日照條件下的大氣穩定度等級分類與其在台南發生機率如表4.2所示，表4.3則顯示在各大氣穩定度與不同觀測點下風距離狀況下參數a、c、d、f的數值。

表 4.2: 大氣穩定度等級分類與在台南發生機率 [61]

Wind Speed (m/s)	Day solar insolation		
	Strong	Moderate	Slight
< 2	A (0.0415)	A-B (0.0194)	B (0.0067)
$2-3$	A-B (0.2725)	B (0.1272)	C (0.0442)
$3-5$	B (0.2520)	B-C (0.1177)	C (0.0408)
$5-6$	C (0.0339)	C-D (0.0158)	D (0.0055)
> 6	C (0.0140)	D (0.0066)	D (0.0023)

表 4.3: 高斯擴散模型參數 (a, c, d, f)值 [61]

		$x \leq 1$ km			$x \geq 1$ km		
Stability	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	61.0	0.911	0	61.0	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0

本研究假設日照強度與風速兩者互相獨立。風速之分布可利用4.3.1節中介紹的方法獲得；而日照強度則以中央氣象局的每日的天空雲量資料作爲判斷依據。中央氣象局將天空雲量等級分爲0/10到10/10，其中雲量0.0/10到0.9/10代表天空爲晴朗的碧空(clear)，1.0／10到5.9／10代表天空雲量爲疏雲(Scattered)，6.0／10到9.0／10代表天空雲量爲裂雲(Broken)，而9.1／10以上則代表天空雲量爲密雲(Overcast)。圖4.6中顯示根據台南市2003年到2008年間雲量等級分布產生的一萬組隨機雲量等級。本研究根據雲量等級判斷其對應至表4.2中的日照強度，將雲量0.0/10到5.0/10歸類爲強烈日照(strong)，5.1/10到8.0/10判斷爲中等日照(moderate)，8.1/10以上則判斷爲少量日照(slight)。得到風速與日照強度分布後，便可利用表4.2找出其對應的大氣穩定度等級；接著再利用表4.3以大氣穩定度等級配合汙染源至觀測點的下風距離x，判斷計算擴散係數所需參數a、c、d、f的數值，將參數帶入方程式4.6中即可得到對應的擴散係數σ_y、σ_z數值。

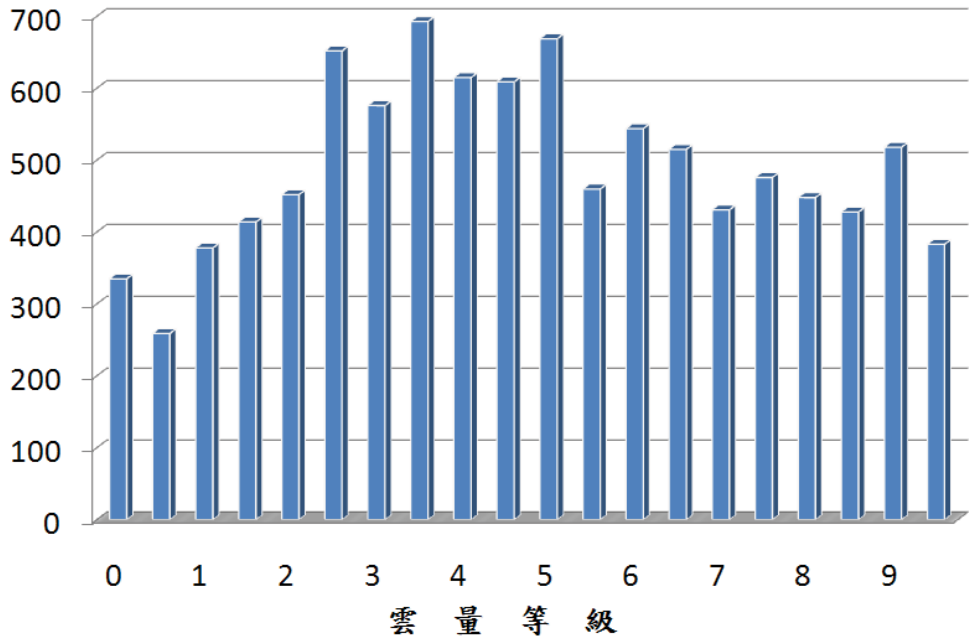


圖 4.6: 依台南市2003–2008年雲量分布產生的一萬組隨機雲量等級

第 五 章　交通法規之最佳化制定

本章將結合第三章與第四章中介紹的交通模擬與汙染擴散模型，利用一個台南市區的路網作爲範例，展示如何應用工程中的可靠度最佳化方法於考量不確定因素下環境衝擊的交通法規制定。5.1節首先簡介本研究選擇做爲研究區域的台南市區規模與其區域特性；5.2節利用兩個不同大氣條件下研究區域的汙染狀況差異，展示不確定因素對環境衝擊產生的影響；5.3節說明本研究探討的最佳化問題的架構，分別描述目標函數與限制條件代表的意義與其建構方式；5.4節敘述本研究最佳化的流程與使用的解題方法；5.5節分別探討在無不確定因素下與考慮不確定因素下，台南市區的速限最佳化結果。

5.1　研究區域簡介

台南市面積約175.64平方公里，劃分爲東區、南區、北區、安南區、安平區、中西區共六個行政分區，年均溫約24°C [65]；根據2010年5月份的統計，人口數約77萬人 [66]，而其中以東區194392人爲人口最多之處。本研究的研究區域設定爲台南市東區與中西區一塊面積3.5×3.5 km^{2}的範圍，此區域的路網如圖5.1所示，其中包含50條主要道路。此區域是台南市商業活動的主要集中處，成功大學與台南火車站皆坐落於此，同時這裡也是台南市各級學校密集聚集的區域，共設有2所國立大學、11所高級中學、8所國民中學，16所國民小學與3所職業學校。因人口密集且重要設施眾多之故，使此處成爲台南市每日交通極爲繁忙的區域，因此具有探討交通汙染環境衝擊的價值。研究中使用的路網資料來源爲交通部運輸研究所發行的路網數值圖。

5.2　交通汙染之環境衝擊分析

本節中將結合第三章介紹的交通模擬與第四章的汙染擴散濃度評估方法，對研究的台南市區域進行汙染濃度分析，並展示在不同的不確定因素下汙染濃度分布狀況的差異，以說明不確定因素對環境衝擊產生影響的重要性。根據交通部發布的道路交通安全規則93條 [67]，在無速限標誌或標線的路段，行車時速限制爲50公里，因此在此分析中，我們假設路網內各道路的最高速度皆爲54 km/hr(CA模型中車輛最接近50km/hr的速度)。圖5.3與5.3中展示了兩種

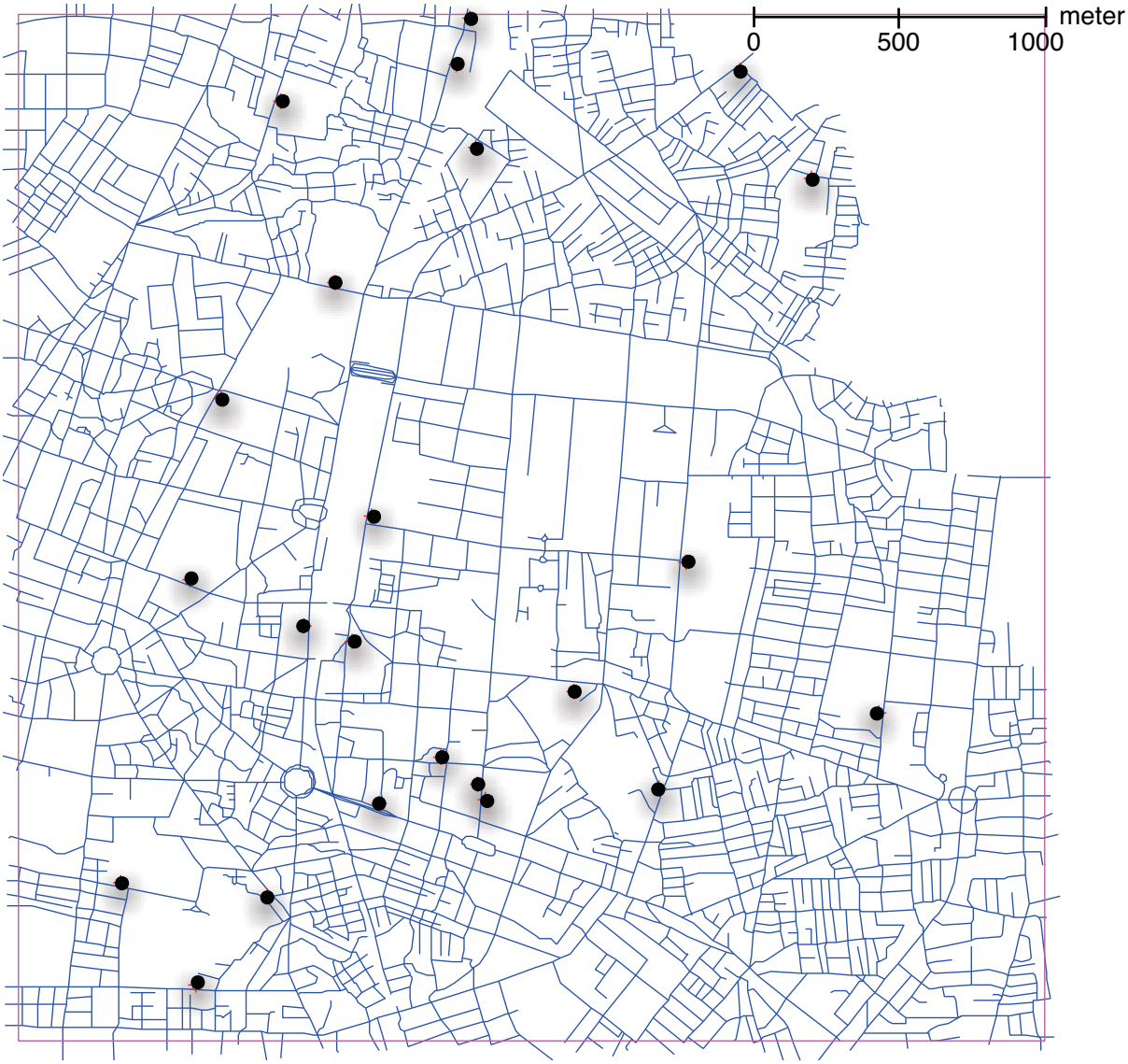


圖 5.1: 台南市最佳化研究區域路網

不同風向下台南市NOx汙染濃度的分布狀況，圖5.2爲風向等於主風向角(100度)時的汙染物濃度等高線圖，圖5.3爲風向等於最頻繁風向(10度)時的汙染物濃度等高線圖，由圖5.2中可發現當風向等於100度時，道路的汙染物由道路位置向西北邊逐漸擴散，濃度逐漸降低；而在風向等於10度時，道路汙染物則由道路位置向東邊擴散降低，兩種風向的擴散方式有著明顯的差異。而由數值來看，在風向等於100度時，最高汙染濃度位置的汙染物濃度爲130.98 mg/m^3；而在風向等於10度時，同一個位置的汙染濃度下則降至55.90 mg/m^3，與原汙染濃度差異約爲57%，由此可見在不同的風向條件下，無論是整個路網的汙染濃度分佈或是單一觀測點的汙染濃度值，都會產生顯著的差異，因此不確定因素在考量交通的環境衝擊時，確實是一個值得被探討的問題。

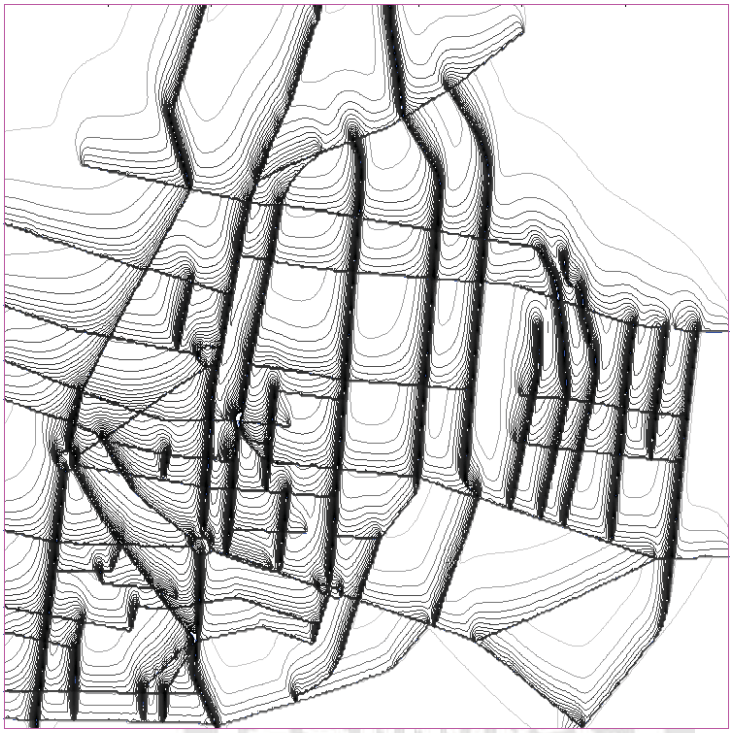


圖 5.2: 主風向角風向(100 °)下的汙染濃度等高線圖

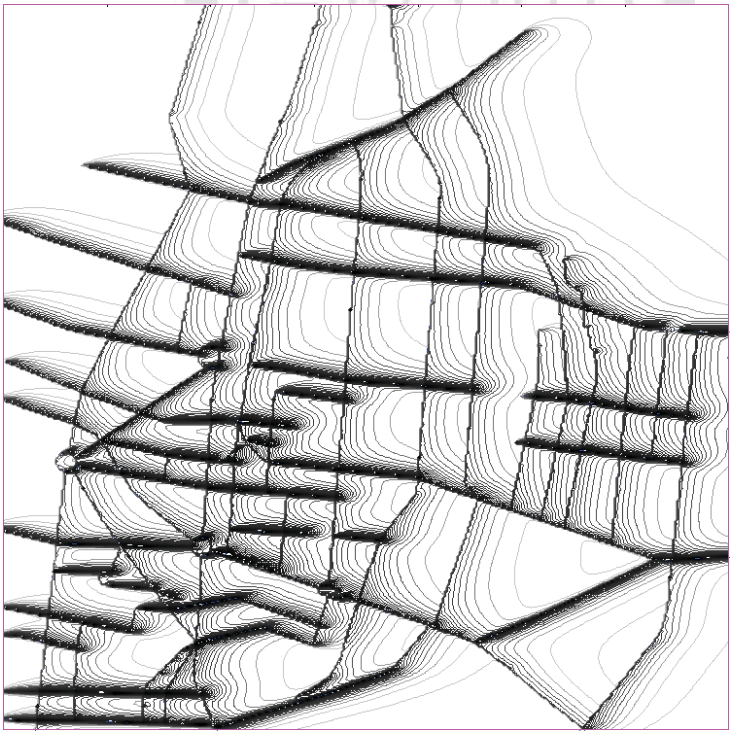


圖 5.3: 最頻繁風向(10°)下的汙染濃度等高線圖

5.3 最佳化問題數學模型

本節將描述本研究進行城市交通法規制定最佳化所使用的數學模型，此最佳化問題的數學模型如方程式5.1所示，$f(\mathbf{v}_{\max}, \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{P}})$爲代表行車成本的目標函數，$\mathbf{v}_{\max}$代表各道路的速限設計值，也是此最佳化問題的設計變數，$\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{P}}$代表模型中設計參數的期望值，$C_j$代表汙染物$j$的汙染濃度，而$C_j^{\text{std}}$代表汙染物$j$法規限制的濃度標準，限制條件要求汙染濃度違反法規的機率不得高於設計允許的最高破壞機率P_{f}。此問題形式與文獻中常見的可靠度最佳化問題十分相似，並具有以下數項特性：

- 由於使用的交通模型(CA模型)爲離散模型，因此設計變數$\mathbf{v}_{\max}$也爲離散變數
- 最佳化問題中的不確定因素如風速、風向、大氣穩定度，皆爲非高斯分布的隨機參數
- 聯合可靠度限制的條件爲現行國家法規對汙染物濃度的限制標準
- 高斯擴散模型中水平擴散係數σ_y與垂直擴散係數σ_z，因需以大氣穩定度等級判定而成爲離散的參數

$$
\begin{aligned}
&\min_{\mathbf{v}_{\max}} f(\mathbf{v}_{\max}, \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{P}}) \\
&\text{subject to} \quad \Pr\left[\bigcup_j C_j > C_j^{\text{std}}\right] \leq P_{\text{f}} \\
&\text{where} \quad \mathbf{v}_{\max} \in \{3.75, 7.5, 11.25, 15, 18.75\} \\
&\qquad\qquad j \in \{\text{TSP}, \text{PM10}, \text{SOx}, \text{Pb}, \text{NOx}, \text{CO}\}
\end{aligned}
\tag{5.1}
$$

此最佳化問題中的設計變數爲研究區域內各條道路的行車速限($\mathbf{v}_{\max}$)；速限值可爲CA模型中的單位速度的倍數，單位速度於3.2.5節介紹的台南市CA模型中相當於13.5 km/hr。而我們設定在此範例中台南市區可制定的速限範圍爲13.5 km/hr到67.5 km/hr。

5.3.1 目標函數

本研究的最佳化問題中，以路網內一台車輛行駛1公里所耗費的平均行車成本做爲目標函數，此行車成本考量的項目包含時間成本(traveling cost ,TC)與油耗成本(fuel cost ,FC)兩部

分，總行車成本即爲TC與FC之和。考量的車種爲小客車與四行程機車兩種。時間成本的計算方式如方程式5.2所示，其計算過程與代表意義如下：

1. 以交通模擬結果計算車種i車輛的平均速度V_i^{ave}，其倒數即爲車種i行駛1公里耗費的平均時間
2. 將車種i的行駛1公里耗費的平均時間乘以車種i的單位時間價值C_i^t，即爲車種i耗費的時間成本
3. 將路網內各車種的時間成本依其數量n_i計算加權平均值，即爲路網內車輛的平均時間成本

$$\text{TC} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i C_i^t / V_i^{\text{ave}}}{\sum_{i=1}^{m} n_i} \tag{5.2}$$

衡量車種的單位時間價值有許多方式，如直接訪問法爲直接詢問旅行者，以提出金錢與旅行時間做爲交換條件，當旅行者願意接受金錢或旅行時間做爲交換條件時，即表示該條件下的時間價值等於提出的交換條件，與時間價值相關的文獻大致有以下結論 [68]：

1. 時間價值隨個人所得的增加而增加，工資與時間價值具有正相關性
2. 在不同旅次目的中，以「洽公」與「商務」旅次的時間價值最高，而工作目的的時間價值又高於購物、休閒等旅次
3. 旅行者的「等車」與「步行」時間價值約爲車內時間價值的1—3倍

本研究中各車種的單位時間價值，引用2003年文獻 [69]所整理的各運具車上時間價值，如表5.1所示，將小客車行駛的單位時間價值定爲1.13 NT/min，四行程機車的單位時間價值定爲1.16NT/min。

油耗成本的計算方式如方程式5.3所示，其計算過程與意義如下：

1. 計算各車種於各不同速度下的油耗效率，獲得其行駛1公里所需的油耗量

表 5.1: 各類運具平均時間價值(元/分鐘) [69]

運具別	步行	腳踏車	機車	汽車	計程車	公車	捷運
車上		1.41	1.16	1.13	1.13	0.94	0.94
車外	1.885	1.885	2.34	2.34	2.34	1.885	1.885

2. 將各車種於各不同速度下行駛1公里所需的油耗量，乘以單位油料的價格，即可得到車種i於速度j下的油耗成本C_{ij}^{f}

3. 將路網內各車種於各不同速度下的油耗成本依其數量n_{ij}計算加權平均值，即爲路網內車輛的平均油耗成本FC

$$\mathrm{FC} = \frac{\sum_{j=0}^{V_{\mathrm{M}}} \sum_{i=1}^{m} n_{ij} C_{ij}^{f}}{\sum_{j=0}^{V_{\mathrm{M}}} \sum_{i=1}^{m} n_{ij}} \tag{5.3}$$

本研究使用的小客車油耗效率資料引用文獻 [70]中1997的實驗數據，如表5.2所示，計算其實驗車輛中6種型號之汽車於各速度下的油耗效率平均值，作爲小客車各速度下的油耗效率；而機車於不同速度下之油耗效率因過去缺乏實驗數據，因此以小客車各速度下之油耗效率乘以文獻 [69]中的汽、機車油耗比例，作爲四行程機車於各速度下的油耗效率；單位油料成本資料則引用經濟部能源局統計之2009年台灣本島95無鉛汽油平均油價26.81NT/公升 [71]。

5.3.2 限制條件

本研究最佳化問題之限制條件爲觀測點的汙染物濃度C_j違反政府法規標準濃度C_j^{std}的機率不得高於設計的要求。目前行政院環保署的空氣汙染相關法規中，制定了6種與車輛相關的空氣汙染物濃度的標準，包括了總懸浮微粒(TSP)、粒徑小於等於10微米的懸浮微粒(PM10)、二氧化硫(SO2)、二氧化氮(NO2)、一氧化碳(CO)與鉛(Pb)，其限制的濃度值如表5.3所示。

本研究選擇了表5.3中TSP、PM10之24小時值標準、SO2、NO2、CO之小時平均值標準以及Pb之月平均標準，作爲最佳化問題的限制。此外，因環保署提供的排放

表 5.2: 車輛於各速率下的油耗效率(miles per gallon) [70]

Speed (mph)	1988 Chevrolet Corsica	1993 Subaru Legacy	1994 Oldsmobile Olds 88	1994 Oldsmobile Cutlass	1994 Chevrolet Pickup	1994 Grand Cherokee	1994 Jeep Mercury Villager	1995 Geo Prizm	1997 Toyota Celica
5	10	14.5	10.5	5.1	7.9	8.2	12.3	18.1	19.1
10	16.8	24.7	14.9	7.9	16	11.2	19	23.1	34.1
15	17.7	31.9	22.2	11.4	16.3	17.5	22.4	38.9	41.7
20	21.7	34.4	26.3	12.5	19.9	24.7	25.8	39.4	46
25	23.9	37.4	28.3	15.6	22.7	21.8	30.8	41.7	52.6
30	28.7	39.7	29	19	26.3	21.6	30.3	40	50.8
35	28.6	38	30.9	21.2	24.3	25	26.1	39.1	47.6
40	29.2	37	33.2	23	26.7	25.5	29	38.9	36.2
45	28.8	33.7	32.4	23	27.3	25.4	27.8	42.3	44.1
50	31.2	33.7	34.2	27.3	26.3	24.8	30.1	39.1	44.8
55	29.1	37.7	34.6	29.1	25.1	24	31.7	37.7	42.5
60	28.2	35.9	32.5	28.2	22.6	23.2	27.3	36.7	48.4
65	28.7	33.4	30	25	21.8	21.3	25.3	34.1	43.5
70	26.1	31	26.7	22.9	20.1	20	23.9	31.7	39.2
75	23.7	28.8	24	21.6	18.1	19.1	22.4	28.3	36.8

清冊資料庫(TEDS7.0)中，未提供車輛對SO2與NO2之排放係數資料，因此本研究以表5.3中SO2與NO2之限制做爲硫氧化物(SOx)與氮氧化物(NOx)之濃度限制。研究考量產生汙染的50條主要道路顯示於圖5.4的路網，而選擇的污染觀測點則爲坐落於研究區域內的23所學校，其位置如圖5.4中的圓點所示。

5.4 最佳化解題方法

圖5.5爲本研究進行城市交通法規在不確定因素下的最佳化制定流程圖。首先建構代表行車成本的目標函數與代表汙染物濃度符合法規標準之可靠度要求的限制條件，並設定代表各道路速限的設計變數上下界；接著利用基因演算法(genetic algorithm,GA)產生離散的道路速限設計值，以此速限設計值輸入使用者平衡與CA模型完成交通模擬；根據模擬結果計算目標函數值，並以交通模擬結果配合車輛的汙染排放係數計算道路污染排放率，再利用高斯擴散模

表 5.3: 台灣空氣品質法規標準 [72]

Pollutant	Standard	Unit
TSP	250 (24-hour) 130 (annual)	$\mu g/m^3$
PM10	125 (daily) 65 (annual)	$\mu g/m^3$
SO2	0.25 (one-hour) 0.1 (daily) 0.03(annual)	ppm
NO2	0.25 (one-hour) 0.05(annual)	ppm
CO	35 (one-hour) 9 (8-hour)	ppm
Pb	1 (monthly)	$\mu g/m^3$

型判斷於考量不確定因素下，汙染濃度符合法規限制的可靠度是否符合要求；最後將目標函數與限制條件回傳至基因演算法，判定此設計值是否收斂，若收斂則得到路網中各道路的最佳速限設計，若不收斂則重複以基因演算法產生新的設計變數值，進行目標函數與限制條件的判斷。

本研究使用的最佳化演算法爲基因演算法(GA)，主要原因爲GA具備處理高度非線性函數的能力，無論不確定因素的型態爲高斯(Gaussian)或非高斯(non-Gaussian)分布皆可以GA計算，且GA可處理設計變數爲離散(discrete)變數的最佳化問題，此特性可幫助我們處理交通CA模型中道路速限爲離散變數的限制；此外GA也具有可計算全域最佳解(global optimum)的優點。基因演算法是一種以生物演化法則爲概念的最佳化演算法，其概念爲將每組設計變數視爲一個候選解(candidate solution)，也稱爲個體，而一群個體的組合則稱爲族群(population)，首先演算法會隨機產生一個族群的變數作爲演算的第一個世代(generation)，並對此族群中的所有個體計算其適應性(fitness)，目標函數與限制條件皆爲適應性的判斷標準之一；在得到族群中每個個體的適應性後，藉由演算法中的演化法則進行疊代產生下一個世代的族群，所考量的演化法則包含了交配(crossover)與突變(mutation)；重

圖 5.4: 最佳化範圍考量之主要道路與觀測點

複疊代過程產生新一代的族群，直到符合演算法的收斂條件而獲得設計最佳解。基因演算法內容的細節可參閱文獻 [73]。而可靠度分析方法方面，本研究採用蒙地卡羅法進行可靠度計算，評估在一萬組不確定因素下汙染濃度符合法規限制的聯合可靠度(joint reliability)。

本研究使用Mathworks公司研發的工程計算軟體Matlab R2009a版作爲撰寫最佳化流程的程式語言，並使用Matlab中的Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox進行基因演算法的計算。演算法參數將族群規模(Population Size)設定爲10，菁英子代數(Elite Count)設定爲2，交配率(Crossover Fraction)設定爲0.8，收斂條件則設定爲連續經過20個世代(generation)後目標函數皆無改善。

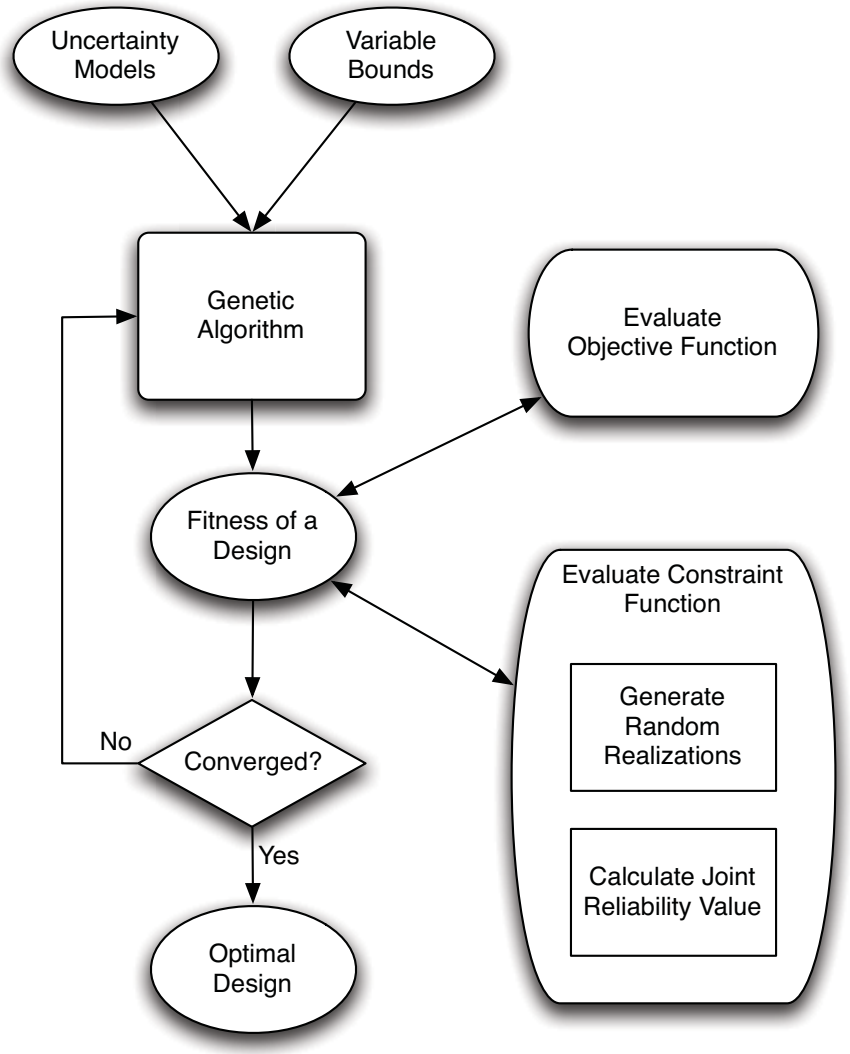


圖 5.5: 使用基因演算法(GA)的最佳化解題流程

5.5 台南市區速限最佳化結果

5.5.1 無不確定因素下之速限最佳化結果

本節將說明不考慮不確定因素條件下，台南市區道路速限的最佳化結果。首先描述環境參數的設定值，我們將風向設定爲台南市2003到2008年風向統計資料的主風向角100度，風速設定爲台南市的平均風速2.561(m/s)，日照強度則設爲強烈日照(strong)。最佳化後各道路的速限結果如圖5.6所示，不同速限的道路以不同的線條樣式表示，並於圖中標示選擇的23個汙染限制觀測點，標示星號者爲其中汙染值最大的觀測點。 在演算過程中我們發現，於此組無不

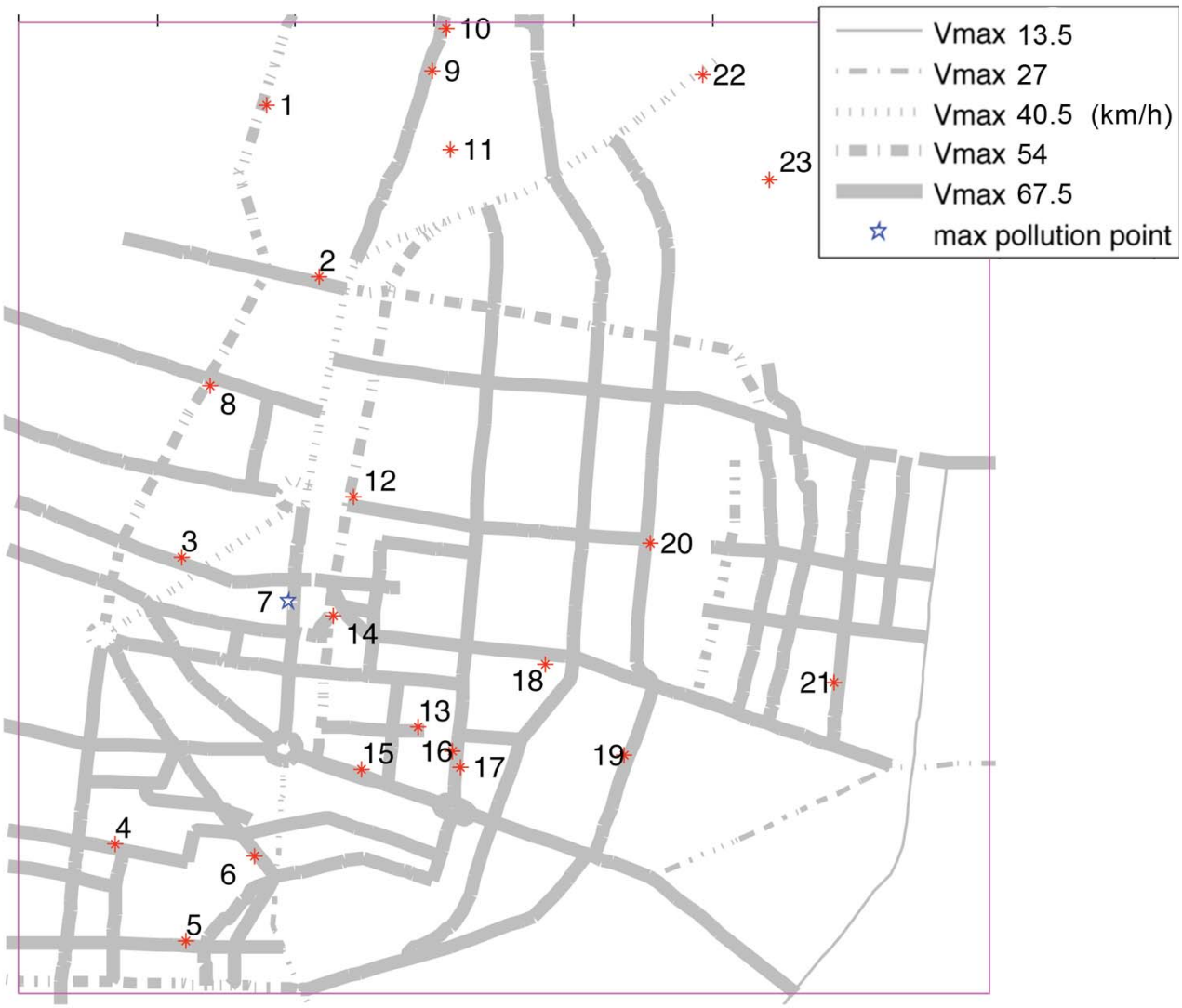


圖 5.6: 無不確定因素考量的道路速限最佳化結果

確定因素的環境參數條件下，各觀測點的汙染物濃度皆不易違反法規限制；而在問題設定的速限範圍內，行車成本爲行車速度的遞減函數，因此理論上所有道路最佳化後的速限皆應達到設定的速限上限值；然而，圖5.6中存在有少數道路的速限未達速限上限值，其原因乃是由於在使用者平衡過程中，速限設定較高的道路將會增加選擇此道路的使用者，造成過多的車輛選擇行駛於同一道路而產生壅塞，反而降低了行車的速度，造成行車成本的增加；因此，爲了降低路網中車輛的平均行車成本，最佳化的速限結果將降低少部分道路的速限，避免道路發生壅塞導致成本上升。 在此最佳化速限下，23個觀測點中所有汙染物的最大汙染濃度皆出現於觀測點7，但若不將觀測位置限定於選定的23個觀測點，則不同汙染物的最大汙染濃度出現位置也將不同，圖5.7爲在此最佳速限下NOx濃度的分布等高線圖，此時NOx濃度最大

的觀測點出現於台南火車站前方的圓環位置(標示星號處)；而圖5.8爲最佳速限下Pb濃度的分布等高線圖，最大濃度則出現於台南火車站後方的前鋒路與大學路交界三叉路口(標示星號處)。造成各汙染物最大濃度出現於不同位置的原因乃是由於對不同汙染物而言，車輛排放係數在速度改變時產生的變化也不相同所致。

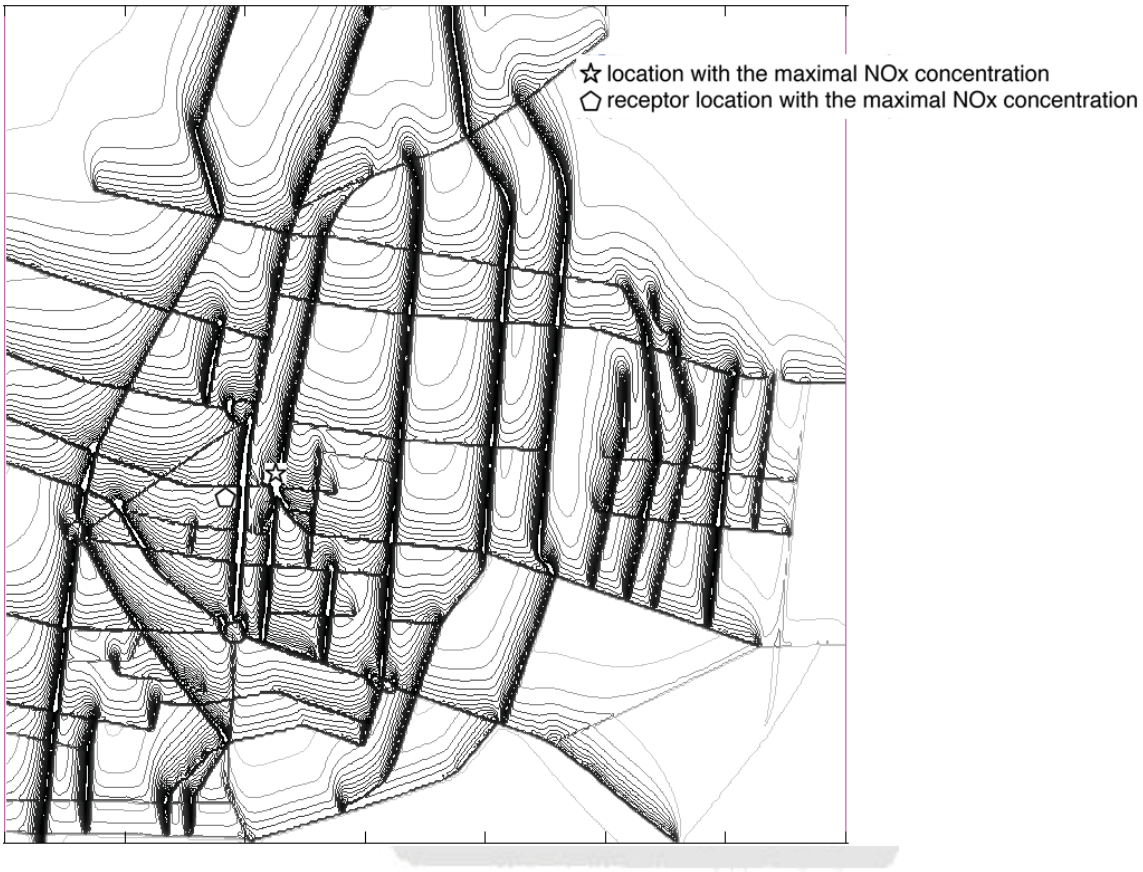


圖 5.7: 最佳速限下NOx 濃度分布

儘管在無不確定因素的速限最佳化結果下，各種汙染物的濃度皆未違反法規的標準，然而此結果卻很容易受到環境的不確定因素所影響；若對此組最佳速限加入不確定因素考量，評估各觀測點符合法規限制的可靠度，可發現最低可靠度85%出現在觀測點20的位置，因爲風速會影響汙染物的擴散速率，風向會改變道路汙染物的擴散方向，而不同的日照強度則會影響汙染的擴散係數。因此，儘管在特定法規制定與環境條件下觀測點的汙染濃度可符合法規標準，但其符合標準的可靠度仍可能未達到決策者的要求，因此我們需要將不確定因素納入考量，進行可靠度最佳化。

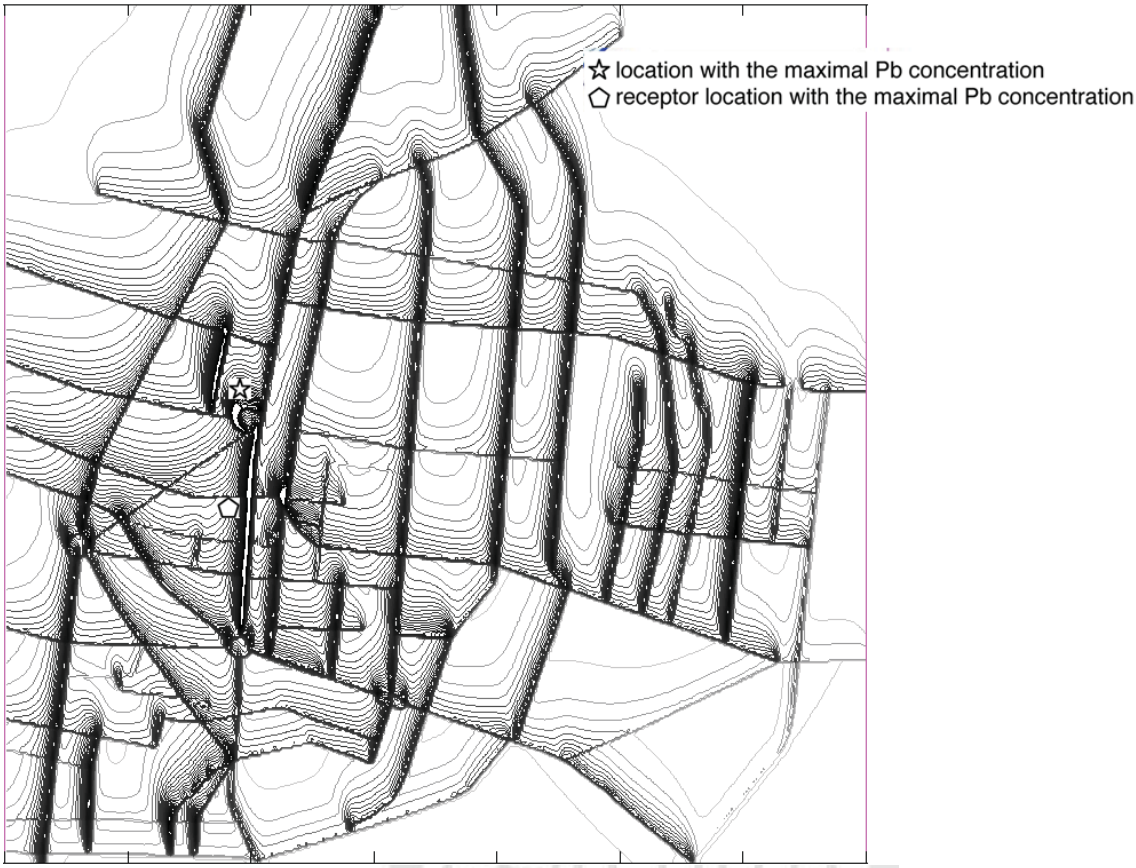


圖 5.8: 最佳速限下Pb濃度分布

5.5.2 考慮不確定因素之速限最佳化結果

圖5.9爲在考量環境不確定因素下，台南市區道路速限的可靠度最佳化結果，我們設定的可靠度要求爲92%。相較於圖5.6中無不確定因素的最佳結果，可靠度最佳化結果中許多道路的速限均被降低，原因爲速限降低會導致道路車速下降，使多數汙染物的汙染排放率也隨之下降，進而提升了汙染物濃度符合法規限制的可靠度；然而，車速下降同時也會造成行車成本的增加，由圖5.9中可發現與觀測點距離較遠的道路因不易受到限制條件的影響，因此仍有道路速限達到設定的速限上限值。無不確定因素與考慮不確定因素的最佳化結果比較列於表5.4中，在考慮不確定因素的最佳速限下，目標函數值較未考慮不確定因素時增加了38%，而汙染濃度符合法規標準的可靠度則由85.5%上升至92.0%。在此可靠度最佳化速限下，最低可靠度出現於觀測點2，而其次爲觀測點15(92.5%)與觀測點13(93.7%)。

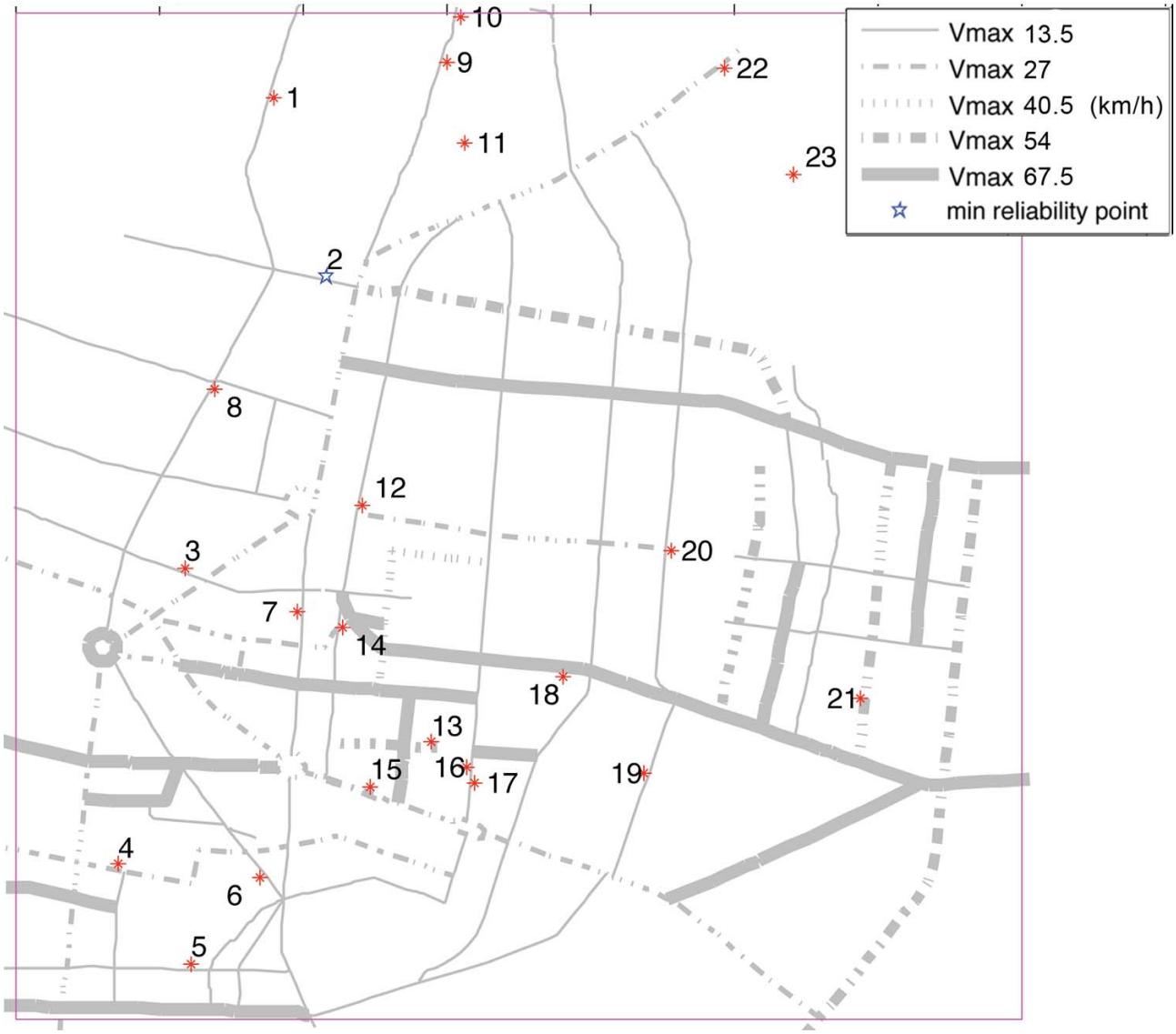


圖 5.9: 考慮不確定因素下的道路速限最佳化結果

表 5.4: 無不確定因素最佳化與可靠度最佳化結果比較

	目標函數	聯合可靠度
Det. Opt.	5.1317	0.85
Prob. Opt.	7.0803	0.92

第 六 章　結論與建議

6.1　研究總結與貢獻

本研究以CA模型搭配道路使用者平衡模擬城市道路的車流，配合各車種的汙染排放係數，推估道路的汙染排放率；並蒐集現實的氣象數據作爲考量的不確定因素，以高斯擴散模型模擬交通汙染排放對其周邊區域空氣品質產生的衝擊。利用一現實的台南市區域，展示一種結合了全域最佳化演算法與蒙地卡羅法的城市交通法規最佳化制定方法。並探討在不同法規制定情境下，車輛汙染排放與行車成本的變化。本研究之貢獻整理如下

1. 發展出一種可模擬多線道汽機車混合車流的交通CA模型
2. 結合交通模型與擴散模型，分析現實城市中車輛汙染對道路周邊造成的空氣品質衝擊
3. 提出一套系統化的方法將空氣汙染因素納入城市交通法規制定的考量
4. 比較並展現出在含有不確定因素的條件下，道路車輛汙染對其周邊環境空氣品質衝擊產生的差異
5. 將工程中的可靠度最佳化決策方法應用於法規制定的輔助，提出一套對城市規模路網的交通法規最佳化制定方法
6. 評估數種政策情境下，行車成本與車輛汙染排放產生的變化趨勢

6.2　未來研究方向

以下提出本研究之建議供後續研究做爲參考。本研究於模擬城市道路的交通汙染影響時，無可避免的做了許多假設，本研究的重要假設如下：

- 路網中所有道路的道路容量、線道數、號誌周期均相同，且號誌紅、綠燈比例皆相等
- 將同一條道路當作汙染排放均勻的線汙染源，不考慮道路各段位置的污染排放差異
- 不考慮各駕駛者駕駛行爲的差異

- 行車成本中未考量發生交通事故消耗的成本
- 各種汙染物皆互相獨立且穩定，不會與其他物質產生化學反應或因衰變、沉澱而消散，也不考慮周邊障礙物的遮蔽效應
- 在評估空氣汙染限制時僅考量車流造成的汙染，未將其他汙染源納入考量
- 在使用者平衡中，所有的道路使用者皆知道最短旅行路徑的資訊

未來研究若可獲得更多現實的道路調查數據，使用更複雜的交通與擴散模型進行模擬，將可提升整體模擬的準確性；然而，如何取得模擬準確性與模擬效率間的平衡，也是必須考量的問題。 而在政策的最佳化制定方面，特定政策在現實中產生的效果，可能會不符合原先的預期 [74]，因此現實中政策的制定仍需要長期與持續的觀察；此外，成功的政策制定不但需要考量是否可改善目前狀況，還要考慮如何執行政策的實施推廣 [75]，未來研究者可進一步將此納入考量

在城市交通的污染評估方面，車流除了會產生空氣汙染外，也會造成噪音的汙染，未來研究者若可結合噪音汙染模型與本研究之成果，將可對城市交通汙染進行更加全面的評估，並可將噪音汙染因素納入城市政策制定的考量。

此外，本研究於基因演算法之參數設定時，並未將參數的最佳化設定納入考量，因此對演算法中的各項參數進行最佳制定也是未來研究的目標。

參 考 文 獻

[1] M. Sattler, "Transportation and air quality/environment : A suggested course addition to the environmental engineering/science curriculum," *Journal of Environmental Engineering Science*, vol. 23, no. 3, pp. 479–492, 2006.

[2] A. Amundsen, R. Klæboe, and A. Fyhri, "Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for norway," *Atmospheric Environment*, vol. 42, no. 33, pp. 7679–7688, 2008.

[3] M. Ruedi, "A method to include in lca road traffic noise and its health effects," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 9, no. 2, pp. 76–85, 2004.

[4] M. Brando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, and Y. Sugiyama, "Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation," *Physics Review E*, vol. 51, no. 2, pp. 1035–1042, 1995.

[5] J. Hanks and T. Lomax, "Roadway congestion in major urban areas, 1982 to 1988," in *the 70th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 910264, (Washington, D.C., USA), 1991.

[6] V. Wee, "Treats from car traffic to the quality of urban life : problems, causes and solutions.," in *Environmental Effects of Urban Traffic* (T. Gärling and L. Steg, eds.), pp. 11–32, Amsterdam: Elsevier, 2007.

[7] Energy Information Administration, "Monthly energy review," Tech. Rep. DOE/EIA-0035, U.S. Department of Energy, November 2009.

[8] D. Solomon, "Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle," tech. rep., U.S. Department of Commerce/Bureau of Public Roads, 1964.

[9] 交通部, 交通政策白皮書. 台北市長沙路1段2號: 中華民國交通部, 2002.

[10] 陳威成, "以擴散模式與計算流體力學進行車輛污染排放模式驗證," Master's thesis, 國立中興大學機械工程學系, 台灣, 2006.

[11] P. Kageson, "Control techniques and strategies for regional air pollution from the transport sector the european case," *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 85, pp. 225–236, 1995.

[12] D. Bates, "Health indices of the adverse effects of air pollution: The question of coherence," *Environmental Research*, vol. 59, pp. 336–349, 1992.

[13] J.-Y. Teng and G.-H. Tzeng, "Multicriteria evaluation for strategies of improving and controlling air quality in the super city: a case study of taipei city," *Journal of Environmental Management*, vol. 40, pp. 213–229, 1994.

[14] 楊文龍, 交通管理策略對都會空氣品質之影響評估. PhD thesis, 淡江大學水資源及環境工程學系, 台灣, 2001.

[15] P. Nijkamp and E. Blaas, *Impact Assessment and Evaluation in Transportation Planning*. Springer, 1994.

[16] S. Haldenbilen and H. Ceylan, "The development of a policy for road tax in turkey, using a genetic algorithm approach for demand estimation," *Transportation Research Part A*, vol. 39, pp. 861–877, 2005.

[17] F. Ülengin, S. Önsel, Y. Topcu, E. Aktas, and O. Kabak, "An integrated transportation decision suppor t system for transportation policy decisions : The case of turkey," *Transportation Research Part A*, vol. 41, pp. 80–97, 2007.

[18] K.-Y. Chan, P. Papalambros, and S. Skerlos, "A method for reliability-based optimization with multiple non-normal stochastic parameters: a simplified airshed management study," *Stochastic Environmental Research Risk Assessment*, pp. 1–16, 2009.

[19] Environmental Protection Agency, Executive Yuan, Taiwan, "Taiwan emission data system," April 2010. http://www.ctci.com.tw/air-ei/Default.asp.

[20] 曾羿航, "台灣都會地區機動車輛污染排放量推估分析," Master's thesis, 國立中興大學環境工程學系, 台灣, 2004.

[21] B. Johansson, "Strategies for reducing emissions of air pollutants from the swedish transportation sector," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 29, pp. 371–385.

[22] Y. Qin and L. Chan, "Traffic source emission and street level air pollution in urban areas of guangzhou, south china (p.r.c.)," *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, vol. 27, pp. 275–282.

[23] 蘇偉仁, "都會區移動污染源排放量推估方法之建立－以臺北市爲例," Master's thesis, 國立臺灣大學環境工程學系, 台灣, 2005.

[24] 陳憲偉, "以 caline模式模擬台北市高速公路行駛車輛空氣污染物之排放," Master's thesis, 國立臺灣大學環境衛生研究所, 台灣, 2006.

[25] 莊涵翔, "台中地區移動性污染源污染排放量之推估與探討," Master's thesis, 國立中興大學環境工程學系, 台灣, 2002.

[26] 行政院環境保護署, "行政院環境保護署移動汙染源管制網," June 2010. http://mobile.epa.gov.tw/index.aspx.

[27] 中華民國行政院, "行政院全球資訊網," 2010. http://www.ey.gov.tw/mp?mp=1.

[28] S. Rienstra, J. Vleugel, and P. Nijkamp, "Options for sustainable passenger transport: an assessment of policy choices," *Transportation Planning and Technology*, vol. 19, pp. 221–233, 1996.

[29] T. Zhao, S. Sundararajan, and C. Tseng, "Highway development decision-making under uncertainty : A real options approach," *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 23–32, 2004.

[30] A. Kansal, S. Torquato, G. Harsh, IV, E. Chiocca, and T. Deisboeck, "Simulated brain tumor growth dynamics using a three-dimensional cellular automaton," *Journal of Theoretical Biology*, vol. 203, pp. 367–382, 2000.

[31] G. Vichniac, "Simulating physics with cellular automata," *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 10, pp. 96–116, 2002.

[32] S. Wolfram, "Random sequence generation by cellular automata," *Advances in Applied Mathematics*, vol. 7, pp. 123–169, 1986.

[33] K. Nagel and M. Schreckenberg, "A cellular automaton model for freeway traffic," *Journal of Physics I France*, vol. 2, pp. 2221–2229, 1992.

[34] S. Wolfram, "Statistical mechanics of cellular automata," *Reviews of Modern Physics*, vol. 55, pp. 601–644, 1983.

[35] M. Cremer and J. Ludwig, "A fast simulation model for traffic flow on the basis of boolean operations," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 28, pp. 297–303, 1986.

[36] R. Barlovic, L. Santen, A. Schadschneider, and M. Schreckenberg, "Metastable states in cellular automata for traffic flow," *The European Physical Journal B*, vol. 5, no. 3, pp. 793–800, 1998.

[37] W. Knospe, L. Santen, A. Schadschneider, and M. Schreckenberg, "Towards a realistic microscopic description of highway traffic," *Journal of Physics A: Mathematical and General*, vol. 33, p. L477—L485, 2000.

[38] M. Rickert, K. Nagel, M. Schreckenberg, and A. Latour, "Two lane traffic simulations using cellular automata," *Physica A*, vol. 231, no. 4, pp. 534–550, 1996.

[39] J. Meng, S. Dai, L. Dong, and J. Zhang, "Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles," *Physica A*, vol. 380, no. 1, pp. 470–480, 2007.

[40] O. Biham, A. Middleton, and D. Levine, "Self-organization and a dynamical transition in traffic-flow models," *Physical Review A*, vol. 46, no. 10, pp. R6124–R6127, 1992.

[41] A. Schadschneider, D. Chowdhury, E. Brockfeld, K. Klauck, L. Santen, and J. Zittartz, "A new cellular automata model for city traffic," in *Traffic and Granular Flow 1999: Social, Traffic, and Granular Dynamics*, Springer, 1999.

[42] R. Jiang and Q.-S. Wu, "Cellular automata models for synchronized traffic flow," *Journal of Physics A*, vol. 36, no. 2, pp. 381–390, 2003.

[43] P. Simon and H. Gutowitz, "Cellular automaton model for bidirectional traffic," *Physics Review E*, vol. 57, no. 2, p. 2441—2444, 1998.

[44] H. Ez-zahraouy, Z. Benrihane, and A. Benyoussef, "The effect of off-ramp on the one-dimensional cellular automaton traffic flow with open boundaries," *International Journal of Modern Physics B*, vol. 18, pp. 2347–2360, 2004.

[45] M. Fukui, H. Oikawa, and Y. Ishibashi, "Flow of cars crossing with unequal velocities in a two-dimensional cellular automaton model," *Journal of the Physical Society of Japan*, vol. 65, pp. 1868–1870, 1996.

[46] J. Cuesta, F. Martnez, J. Molera, and A. Sanchez, "Phase transitions in two-dimensional traffic-flow models," *Phys. Rev. E*, vol. 48, p. R4175—R4178, 1993.

[47] A. Dupuis and B. Chopard, "Cellular automata simulations of traffic : A model for the city of geneva," *Networks and Spatial Economics*, vol. 3, pp. 9–21, 2003.

[48] T. Tamaki and E. Kita, "City traffic simulation using cellular automata with stochastic velocity model," Tech. Rep. 2004-MPS-50, IPSJ SIG Technical Report, 2004.

[49] P. Simon and K. Nagel, "Simplified cellular automaton model for city traffic," *Physics Review E*, vol. 58, no. 2, pp. 1286–1295, 1998.

[50] S. Lu and X. Liu, "Based on hybrid genetic algorithm and cellular automata combined traffic signal control and route guidance," in *Proceedings of the 26th Chinese Control Conference, CCC*, 2007.

[51] 譚惠麗，劉慕仁，孔令江, "十字路口紅綠燈的控制效應," 廣西師範大學學報, vol. 62, pp. 18–21, 2003.

[52] E. Brockfeld, R. Barlovic, A. Schadschneider, and M. Schreckenberg, "Optimizing traffic lights in a cellular automaton model for city traffic," *Phys. Rev. E*, vol. 64, pp. 05632–1–05632–12, 2001.

[53] A. Haldar and S. Mahadevan, *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*. New York: John Wiley & Sons, 2000.

[54] M. Allen and K. Maute, "Reliability-based shape optimization of structures undergoing fluid-structure interaction phenomeena," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 194, pp. 3472–3495, 2005.

[55] L. Gu, R.-J. Yang, C. Tho, M. Makowski, O. Faruque, and Y. Li, "Optimization and robustness for crashworthiness of side impact," *International Journal of Vehicle Design*, vol. 26, no. 4, pp. 348–360, 2001.

[56] L. Huyse, S. Padula, R. Lewis, and W. Li, "Probabilistic approach to free-form airfoil shape optimization under uncertainty," *AIAA Journal*, vol. 40, no. 9, pp. 1764–1772, 2002.

[57] 中華民國交通部, "交通部全球資訊網," 2010. http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/mp?mp=1.

[58] Y. Sheffi, *Urban Transportation Network : Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1984.

[59] 成大交通模擬指派實驗室, "Dynataiwan官方網站," 2007. http://mobile.epa.gov.tw/index.aspx.

[60] Y. Yan, "Tainan urban area origin-destination transport survey," Tech. Rep. MOTC-IOT-I-C-89-001, Transportation Institute, Ministry of Transportation, Taiwan, November 2001.

[61] M. Gilbert, *Introduction to Environmental Engineering and Science*. New Jersey: Prentice Hall, second ed., 1996.

[62] B. McWilliams, M. Newmann, and D. Sprevak, "Probability distribution of wind velocity and direction," *Wind Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 269–273, 1979.

[63] B. McWilliams and D. Sprevak, "Estimation of the parameters of the distribution of wind speed and direction," *Wind Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 227–238, 1980.

[64] D. Martin, "The change of concentration standard deviation with distance," *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 26, 1976.

[65] 臺灣南區氣象中心, "臺灣南區氣象中心," 2010. http://south.cwb.gov.tw/index1.php.

[66] 台南市政府民政處户政科, "台南户政生活服務網," 2010. http://210.69.40.18/population/population.asp.

[67] 法務部全國法規資料庫工作小組, "全國法規資料入口網站," 2010. http://law.moj.gov.tw/index.aspx.

[68] 台北市政府捷運工程局, 臺北都會區整體運輸需求預測模式*(TRTS III)*校估報告. 台北市政府捷運工程局.

[69] 郭瑜堅, "都市旅次成本之研究," Master's thesis, 國立台灣大學土木工程學系, 台灣, 2003.

[70] S. Davis, "Transportation energy data book : Edition 17," Tech. Rep. ORNL-6919, Center for Transportation Analysis, Energy Division, Oak Ridge National Laboratory, September 1997.

[71] 經濟部能源局, "經濟部能源局油價資訊管理與分析系統," 2010. http://www.moeaboe.gov.tw/oil102/.

[72] 行政院環境保護署, "環保署空氣品質監測網," 2010. http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/b0206.aspx.

[73] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1989.

[74] W. Harrington, V. McConnell, and A. Ando, "Are vehicle emission inspection programs living up to expectations?," *Transportation Research Part D*, vol. 5, no. 3, pp. 153–172, 2000.

[75] L. Eriksson, J. Garvill, and A. Nordlund, "Acceptability of single and combined transport policy measures : The importance of environmental and policy specific beliefs," *Transportation Research Part A*, vol. 42, pp. 1117–1128, 2008.

自　　傳

- 姓名：吳昱達
- 籍貫：台北市
- 出生日期：民國74年12月06日
- 學歷：

  國立成功大學機械工程學系(93.9-97.7)

  國立成功大學機械工程學系碩士班(97.9-99.7)

國立成功大學圖書館