國立成功大學
機械工程學系
碩　士　論　文

移動式汙染源於不確定因素下制訂法規與測站點之循序最佳化方法

Sequential Optimization of Transportation Regulations and Receptors Locations for Urban Mobile Emissions Under Uncertainty

研 究 生：張琇雯
指導教授：詹魁元 博士

中 華 民 國 九 十 九 年 七 月

移動式汙染源於不確定因素下制訂法規與測站點之循序最佳化方法

Sequential Optimization of Transportation Regulations and Receptors Locations for Urban Mobile Emissions Under Uncertainty

研 究 生：張琇雯　　Student: Hsiu-Wen Chang

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

移動式汙染源於不確定因素下制訂法規與測站點之循序最佳化方法

學生：張琇雯　　指導教授：詹魁元 博士

國立成功大學機械工程學系

摘　　要

本研究提出一利用工程上最佳化的方式，進行交通政策的制定和測站點位置的選定，來減少道路上空氣汙染濃度。此方法運用最佳化的方式，在觀測點汙染濃度符合法規的前提下，提升道路的速限以降低社會成本。在計算汙染的時候，本研究發現觀測點位置的選定會影響到汙染濃度的高低，但在以往制定最佳交通政策的文獻中，所選擇的觀測站位置，並沒有考慮到所選擇的觀測站是否能夠代表該路網全體的汙染情況，而在選擇觀測站的文獻當中，其所提出的大多爲量化性的準則，且在設置測站後，並沒有再去進行該地區的汙染控制。故在本論文中，我們將結合制定交通法規和逐步增加觀測站的方法，找出代表路網的觀測站並訂制交通法規來管控汙染，最後使得該地區的汙染都符合政府所要求的法規標準。一開始我們先決定初始觀測點，然後利用交通法規的制定確保該地區的汙染符合法規標準，同時最小化社會成本。接著再找尋汙染濃度不合法規的點，將該點設爲新的觀測站後，再重新制訂法規。經過這一系列增加觀測站和制定新的交通政策，我們就可以只用有限的觀測站代表一個大面積的地區並使路網上各處汙染符合法規。在計算汙染濃度的部分，我們結合使用者平衡、高斯汙染擴散模型、車輛排放係數、路網結構和定量的環境因素做計算。同時，爲了更接近實際的狀況，我們也將問題延伸到加入人爲和環境的不確定因素。在人爲不確定因素的部份我們應用隨機使用者平衡車流模型；在環境不確定因素的部分，則利用文獻上提供的模型來模擬風向、風速和大氣穩定度。這些不確定因素的加入使得原本的問題成爲考量機率的可靠度最佳化問題。我們將分別使用六條路的簡單的路網結構和台南市區域的路網展示未考量不確定因素和考量不確定因素的法規制定結果。結果顯示雖然加入不確定因素大幅增加了模型的複雜度和計算成本，但是這樣的政策制定結果反而更能反映眞實世界的汙染情況。

關鍵字：交通法規、使用者平衡 、可靠度最佳化、空氣汙染

Sequential Optimization of Transportation Regulations and Receptors Locations for Urban Mobile Emissions Under Uncertainty

Student: Hsiu-Wen Chang Advisor: Dr. Kuei-Yuan Chan

Department of Mechanical Engineering
National Cheng Kung University

ABSTRACT

We propose a methodology to sequentially determine the optimal traffic regulations in compliance to air quality standards and obtain the corresponding optiaml receptor locations. Similar studies in the literature focus primarily on the optimal traffic policy-setting for specific receptors only without considering the representativeness of these receptors to the area of interest.Although critera in selecting good receptor locations do exist, they are predominately qualitative guidelines. To determine the best regulatory setting of a target area, we start with an initial receptor location and taylor traffic policy to make sure the air quality at the receptoris in compliance to the government standards with the minimal societal cost. By sequentially add/removing receptors and setting new policies,we are able to use a limited number of receptors to represent a large area. The pollution concentration at the receptor is calculated by integrating user equilibrium, the Gaussian dispersion model, and emission factors from on-road vehicles for a given road network structure and deterministic environmental conditions. We also extend the study to consider uncertainties in the environment. Stochastic user equilibrium is adopted to consider perception uncertainty in traffic simulation. Ambient uncertainties such as wind speed, wind direction, and atmosphere stability conditions for pollution concertration modeling are also considered. These uncertainty models result in probabilistic optimization problems that is later solved using the state-of-the-art techniques. Simple road structure with six roads and the road network for the city of Tainan in Taiwan are both studied using the proposed methods with and without considering uncertainty. Results show that although including uncertainty significantly increases model complexity and computation cost, they should be emphasized in real world policy decision-marking under uncertainty.

Keywords：traffic policy,user equilibrium,design under uncertainty,air pollution

誌　　謝

自學生進研究所以來，從當初的不知道該做些甚麼到現在這篇論文的完成，在這兩年內，要感謝許多人給了學生相當多的提攜和幫助。

首先要感謝的是我的指導教授 詹魁元教授，自學生進實驗室這兩年多的時光，不時的給學生鞭策和關懷，除了在課業上和做學問的方法外，更讓學生在待人處事上獲益良多。這段求學的時光將成爲學生難忘的回憶，也是學生求學生涯中最重要的一段日子，老師的教導讓學生永誌於心。還有感謝口試委員 陳家豪教授和 李孟穎教授，感謝你們的指導讓學生的論文更臻完善。

再來要感謝“系統最佳化實驗室”的夥伴們，不論是已經畢業的大學長：岱璟、智豪學長，和你們的相處時間雖然不長，但學長也教導了我許多待人處事的方法；再來是彥智、東信、凱勛學長，在我碩一的那一年中，除了教導了我課業和程式上的技巧，並帶來了許多歡笑。還有同學和學弟妹們：子頡、昱達、淳民、勝昌、佳豪、季儒、祐伸、彬儀、佑安、嘉珮、伊倩、力豪，感謝你們的扶持和幫助，陪我度過的一起修課、做研究和玩樂的那段日子，這兩年來的點點滴滴，不論快樂悲傷都長駐我心中。

接著要感謝我的大學同學和社團的夥伴和老師，即使只是偶爾的聚會，大家在一起天南地北的聊天，卻帶來了許多歡笑，而受到挫折時一聲簡單的加油，更讓我受到莫大的鼓舞。還有我的室友們，謝謝你們這些日子來的照顧，放颱風假一起找食物和在床上翻滾的回憶讓我難忘。還要感謝我的爺爺奶奶和親戚們，我在台南的這段日子受了你們許多的照顧，謝謝。

最後要感謝我的父母和姊姊，謝謝你們在我求學時光的陪伴和無怨無悔的付出，讓我可以專心的念書並順利的完成學業，感謝你們。

目　　錄

論文口試委員審定書 i

書名頁 ii

中文摘要 iii

英文摘要 iv

誌謝 v

目錄 vi

表目錄 ix

圖目錄 xi

符號說明 xiii

第一章、序論 1

1.1　研究背景 1

1.2　研究動機和目的 4

1.3　論文架構 5

第二章、文獻探討 6

2.1　交通法規之制定 6

2.2　測站點位置之選定 9

2.3　可靠度最佳化方法概述 13

2.3.1　不確定因素 13

2.3.2　最佳化概述 13

2.3.3　可靠度概述 14

2.3.4 可靠度最佳化概述 15
2.4 文獻整理與討論 16
第三章、針對移動式汙染源之循序最佳化方法 17
3.1 城市交通車流模型 18
3.1.1 使用者平衡理論 20
3.1.2 使用者平衡演算法 21
3.1.3 旅行時間函數 22
3.2 汙染擴散模型 24
3.2.1 點汙染源 24
3.2.2 線汙染源 24
3.2.3 排放係數 26
3.2.4 擴散係數 27
3.3 測站點位置之選擇 29
3.4 政策制定最佳化模型建構 30
3.4.1 目標函式 30
3.4.2 限制條件 32
3.4.3 使用之演算法 33
3.5 田字型路網範例 34
第四章、不確定因素對制訂法規和測站點之影響 37
4.1 包含人爲不確定因素之城市交通車流模型 37
4.1.1 隨機使用者平衡理論 38
4.1.2 隨機使用者平衡演算法 40

4.2 環境不確定因素模擬 42
4.3 最佳化方法 44
4.4 田字型路網範例與結果 46
第五章、台南市區域路網範例 51
5.1 路網描述 51
5.2 未考量不確定因素之法規設計 51
5.3 考量不確定因素之法規設計 54
5.3.1 台南市路網只考量人爲不確定因素之法規設計範例 55
5.3.2 台南市路網只考量環境不確定因素之法規設計範例 57
5.3.3 台南市路網考量人爲和環境不確定因素之法規設計範例 58
5.4 小結 60
第六章、結論與建議 62
6.1 研究貢獻 62
6.2 未來研究方向 63
參考文獻 64
自傳 68
附錄一：中英對照表 69

表　目　錄

1.1 各汙染物對人體健康之影響 2

2.1 AirBase 測站類型及其代表面積定義 10

2.2 新世代空氣品質監測站設置準則 12

3.1 台灣空氣污染標準 26

3.2 自用小客車(四行程機車)的排放係數 27

3.3 大氣穩定度等級及其在台南發生的機率 28

3.4 擴散係數方程式(3.13)中的a, c, d 和 f值 28

3.5 各類運具的車上時間成本 31

3.6 田字型路網範例定量問題應用UE車流的最佳速限制定結果 35

4.1 田字型路網應用SUE車流定量問題的最佳速限制定結果 47

4.2 田字型路網應用SUE車流模型RBDO問題之最佳速限置定結果 48

4.3 田字型路網應用UE車流RBDO問題之最佳速限制定結果 49

4.4 田字型路網應用UE和SUE車流模型做最佳設計後的比較 50

5.1 台南市區域路網道路邊號 52

5.2 台南市路網未考量不確定因素問題最佳制定速限結果 54

5.3 台南市路網應用UE車流五個觀測點的聯合可靠度 55

5.4 台南市路網只考量人爲不確定因素問題之最佳速限制定結果 56

5.5 台南市路網應用UE和SUE車流問題之比較 57

5.6 台南市路網只考量環境不確定因素問題之最佳制定速限結果 57

5.7 台南市路網只考量環境不確定因素問題之六個觀測點的可靠度 58

5.8 台南市路網考量人爲和環境不確定因素問題之最佳速限制定結果 59

5.9 台南市路網考量人爲和環境不確定因素問題三個觀測點之聯合可靠度 59

5.10 台南市區域路網考量環境不確定因素時，有無考量人爲不確定因素結果之比較 . 60

圖　目　錄

2.1 兩條路路網示意圖 6

3.1 最佳速限和觀測站制定之流程 17

3.2 計算汙染濃度之流程 19

3.3 四個節點五條路段的路網 20

3.4 旅行時間函數J參數的影響 23

3.5 高斯擴散模型點汙染源示意圖 25

3.6 線源擴散模型的道路、觀測點和風向圖 25

3.7 最佳速限和觀測站制定流程之數學形式 33

3.8 田字型路網示意圖 34

3.9 田字型路網定量問題在最佳速限制定下之NOx汙染濃度分佈圖 35

4.1 主風向角和風向的關係, ψ: 主風向角, U_y:主風向角上的風速, U_h:垂直主風向角方向的風速 42

4.2 台南市風向風速不確定因素模型 43

4.3 台南市2003年到2008年雲量等級分佈圖 44

4.4 包含不確定因素考量的最佳速限和觀測站制定流程之數學形式 46

4.5 田字型路網應用SUE車流定量問題的兩個觀測點位置 48

4.6 田字型路網應用SUE車流RBDO問題路網上聯合可靠度最低點位置圖 49

4.7 田字型路網應用UE車流RBDO問題路網上聯合可靠度最低點位置圖 50

5.1 台南市區域路網圖 51

5.2 台南市區域路網路段編號 52

5.3 台南市區域路網道路編號 53

5.4 台南市區域路網起訖對 53

5.5 台南市路網未考量不確定因素問題在最佳制定速限下NOx的污染濃度 55

5.6 台南市路網只考量環境不確定因素問題逐步找到之六個觀測點 58

5.7 台南市路網考量人爲和環境不確定因素問題逐步找到之三個觀測點 60

符 號 說 明

$\mathcal{A}$	所有路段的集合
c_k	路徑k的實際旅行時間
cap_a	道路容量
$C(\mu - g/m^3)$	爲觀測點(x, y, z)處在穩定狀態時的濃度
C_k	感覺的路徑旅行時間
C_A^j	觀測點A集合內的汙染物j的濃度
C_j^{std}	汙染物j的的環保署標準
$\mathcal{C}$	限制條件集合
$\mathrm{E}[\cdot]$	$[\cdot]$的平均值
EF	排放因子
f_k	路徑k的車流
$f_{U_h}(v)$	風速的機率密度函數
$f_\theta(\theta)$	風向的機率密度函數
FC	平均一車行駛每單位距離的油耗成本
$\mathcal{K}$	單一OD對間所有路徑的集合
L	線源長度
$\mathcal{N}$	所有節點的集合
$\mathbf{p}$	定量參數
$\mathbf{P}$	隨機參數
$P_{f,j}$	每個限制條件的破壞機率

P_{f}	破壞機率
$\mathrm{Pr}[\cdot]$	$[\cdot]$的機率
P_k	路徑選擇機率
q	路網的總車流
Q (μg/s)	污染排放率
t_a	路段a的實際旅行時間
t_a^0	自由流時間
$t_a(x_a)$	路段a的旅行時間函數
TC	行駛每單位距離的平均時間成本
T_a	感覺的路段旅行時間
$u(m/s)$	風速
U_h	實際風速
U_y	風速沿著主風向角上的分量
U_x	風速垂直於主風向角的分量
$\mathrm{Var}[\cdot]$	$[\cdot]$之變異數
x_a	路段a車流
$\mathbf{x}$	定量設計變數
$\mathbf{X}$	隨機設計變數
γ	機率密度函數的變異係數之倒數
$\delta_{a,k}$	表示路段a是否在路徑k上，若是則爲1，不是則爲0
μ	機率密度函數的平均值
σ	機率密度函數的標準差

σ_y	y方向的擴散係數
σ_z	z方向的擴散係數
ψ	主風向角

第 一 章　序論

1.1　研究背景

近年來台灣地區快速的工業化和都市化，提升了人民的生活水準並帶動大量的人員和物資的運輸需求，交通系統因此成爲都市發展的動脈。而隨著社會經濟的成長，車輛數目和車行距離也逐漸增加，環保署資料顯示我國車輛登記數已由10年前1千4百多萬輛成長至超過2千萬輛 [1]。而伴隨大量的車輛增加，同時帶來了空氣汙染 [2,3]、噪音 [4]、道路擁塞 [5,6]、氣候改變 [7]、能源的耗費 [8]甚至意外 [9]等社會成本的損失。據環保署統計，台灣地區空氣汙染有42.07%來自移動性汙染源，其中機車、汽車各佔16.97%及24.83% [10]，而根據民國96年的調查顯示，台灣地區空氣汙染中有54.61%的NOx(氮氧化物)、77.69%的CO(一氧化碳)來自移動式汙染源 [11]。其他國家如美國則有56%的NOx、89% 的CO是來自於移動式汙染源 [12]。由此可知，移動式汙染源爲很大一部分的空氣汙染來源。

汽機車等移動式汙染源主要排放包含PM2.5(懸浮微粒)、CO(一氧化碳)、NOx(氮氧化物)、SOx(硫氧化物)、Pb(鉛)、HC(碳氫化物)等汙染物，而這些汙染物對人體的健康有不良的影響。以NOx和CO爲例，此兩種氣體皆易與血紅素結合，降低血液輸氧功能，進一步可能會造成心臟血管或是呼吸系統的疾病，由表 1.1可看出其他四種汙染物對人體的中樞神經系統和呼吸道系統也有很大的不良影響 [1]。而這些汙染物除對人健康造成影響外，並會造成動植物損害，像是NOx（氮氧化物）及NMHC（非甲烷碳氫化合物）的光化產物O3(臭氧)對植物有害且會減少穀物收穫及損害樹木，而SO2則會形成酸雨，造成建築物及森林的傷害 [1]。

有鑑於車輛所排放的汙染物對人體和環境產生不良的影響，文獻上有數種針對移動式汙染源所排放之汙染物的管制辦法，簡單可分爲車輛管制、推動潔淨燃料和低污染車輛、交通管理策略與法規三方面，分別敘述如下：

- 第一部分：車輛管制

  針對尚未使用過的新出廠車輛和正在行駛中的車輛進行汙染相關管制:

  – 針對新車的管制有:

表 1.1: 各汙染物對人體健康之影響 [1]

汙染物種類	影響
1.懸浮微粒(PM)	由車輛排氣管排出之粒狀汙染物，直徑在1μm以下者容易進入肺部，若吸附其他刺激或有害物質則對呼吸系統影響更大甚至有致癌性
2.一氧化碳(CO)	降低血液輸送氧氣的功能，血紅素和一氧化碳結合而成一氧化碳血紅素，將影響心臟血管和中樞神經系統。並使心臟血管疾病加重惡化，神經及肺部系統受影響，運動功能受損的影響。
3.碳氫化合物(HC)	在低濃度時會對呼吸系統產生刺激，高濃度則對中樞系統有影響甚至致癌。易和氮氧化物起光化學反應，產生臭氧，對肺部產生刺激，降低肺功能。長期暴露可能會造成肺纖維化
4.氮氧化物(NOx)	由汽車排氣管排出多爲NO(一氧化氮)，其易與血紅素結合，降低血液輸送氧氣功能。而NO在空氣中會氧化成NO2(二氧化氮)，NO2爲褐色有毒氣體，會造成呼吸疾病及肺傷害
5.硫氧化物(SOx)	主要以刺激呼吸系統爲主，對眼睛、喉嚨及上呼吸道影響最大。
6.鉛(Pb)	由排氣管排出的鉛微粒，主要爲氧化物及鹵化物形式。由呼吸系統吸入，使血中鉛、尿中鉛濃度增高，若長期吸入後，可能對造血系統、肝臟、腎臟、神經系統造成影響。特別會對孩童造成腦傷害及智力受影響，並且高血壓與血中鉛含量有明顯的相關

  * 逐期加嚴新車排放標準，使得新車每公里可排放的汙染物克數降低。例如:小客車的NOx在民國84年的排放標準是每公里0.25克，而民國91年的排放標準是每公里0.07克 [1]。使得新車行駛同樣的公里數，排放的汙染物較少。
  * 鼓勵車廠生產或引進符合新標準的車輛 [1]。

– 針對正在行駛中的車輛管制有
  * 規定機車定期排氣檢驗，由各縣市環保局寄發檢驗通知單，通知機車至環保局認可之定檢站檢驗排氣，合格之車輛則貼上合格標籤，不合格之車輛則要求維修並複檢。
  * 鼓勵民眾檢舉有汙染之虞的車輛(即俗稱之烏賊車) [1]。
  * 補助淘汰老舊車輛及二行程機車。民眾若將已完成年度排氣定期檢驗之車齡7年以上二行程機車交由合格回收商回收，即可向各縣市環境保護局申請1,500元之補助。

    - 補助柴油車加裝濾煙器。濾煙器可吸附柴油車排放廢氣當中的粒狀污染物，降低懸浮微粒污染，測試結果顯示顯示有加裝濾煙器可以削減高達90%的粒狀污染物。

- 第二部分：推動潔淨燃料和低污染車輛

  推廣車輛使用較低汙染的燃料和使用低汙染的車輛，像是油電混合車、電動車或是自行車。

  - 在低汙染燃料推動方面 [1]
    - 補助液化石油氣氣價
    - 對使用非法油品者，加強取締
    - 推動使用生質柴油及酒精汽油
  - 在低污染車輛推廣方面
    - 補助計程車改裝成油氣雙燃料車及分年增設加氣站，提供設站補助
    - 補助民眾購買電動輔助自行車。民眾於中華民國99年11月30日購買電動自行車者，每輛補助3,000元。
    - 鼓勵民眾使用自行車

- 第三部分：交通管理策略與法規

  利用交通管理策略和法規的制定達到減少汙染排放量的目的

  - 交通管理措施包括有:
    - 鼓勵使用大眾運輸系統：包括公車轉捷運或捷運轉公車之轉乘優惠。
    - 實施停車收費：機車和汽車停車格，依時計費。
    - 停車熄火措施：宣導停車超過三分鐘熄火。
    - 費率調整策略：包含公車票價、計程車費率及捷運票價之調整。
    - 營運管理策略：包括公車及捷運班次間距的調整。
    - 路權管制策略：包括入城小客車共乘制度以及捷運及公車專用道沿線進止機車行駛策略的實施。
    - 合併執行策略：包括機車管制搭配公車票價及班次調整等合併策略。
  - 法規制定

    在法規制定上則有Chan等人應用工程上最佳化的方法在固定的車流下針對簡單的路網做政策制定使汙染量符合美國國家標準 [13]

1.2 研究動機和目的

空氣汙染對人體的影響爲直接且有害的，爲此，政府和學者都提出控制空氣汙染的方案，然而有效的空氣汙染控制，必須先知道空氣受汙染的程度，才能針對空氣汙染嚴重之區域進行汙染控管策略，是故空氣汙染的監測在控制汙染上面是很重要的。已知一個路網上之車流，會因爲車輛活動而產生污染，那究竟何處的汙染最嚴重?該如何決定觀測點的位置呢?理論上，在路網上放上無限多個觀測點，每個觀測點可計算得出該點的汙染濃度，由無限多組觀測點我們即可得知該路網每一處的汙染情況；但實際上，因爲有限的經費考量下，我們不可能設置大量觀測站，我們希望路網上每一處的汙染皆符合法規的要求下，如何設置監測站就成爲制訂法規能否合理呈現實際狀況之重要依據。

如1.1節的背景所述，控制污染可簡單分爲車輛管制、推動潔淨燃料和低污染車輛、交通管理策略與法規三方面，在車輛管制方面，雖然新車的排放汙染物較少，但我們無法控制在城市中行駛的車輛是新車還是舊車居多，而進行排氣檢驗也只型確保每台車的排放量在某一個標準之下，並無法控制城市中有多少車輛在排放汙染。在推動潔淨燃料和低污染車輛方面，政府只能進行政策的宣導和補助使用低汙染車和潔淨燃料之車輛，無法強制所有民眾全數使用低汙染車，再加上進行這項策略，必須花費大量的金錢，和相關的配合措施，但對整個城市中的汙染減少成效卻難以評估，是故進行交通管理或是政策的制定成爲較節省成本且易達到減量汙染的方式 [10]。Chan等人 [13]以工程上最佳化的方式進行法規制定，但此文獻只針對簡單的兩條路路網進行法規制定，且文獻中這兩條路上的車流也假設爲固定車流，無法反映實際城市道路上的車流情形，再者，文獻中的觀測點爲隨意選定，文獻中也只限定在觀測點的的汙染濃度符合法規，在路網上的其他地區的汙染濃度是否符合法規則不在考量之內。

是故，本論文之研究的目標可歸納爲以下幾點:

1. 利用較複雜符合實際城市道路的路網，取代以往政策制定使用之簡單路網所引發的代表性不足之問題。
2. 利用使用者平衡概念進行城市車流模擬，取代以往政策制定中固定車流之不合理假設。
3. 利用最佳化方法逐步制訂法規並設置觀測點，使得整個路網的汙染皆可以符合環保署汙染濃度的標準

4. 將人爲及環境不確定因素納入最佳化制定法規和觀測站選定之考量，確保在不同的環境因素下，汙染仍能符合法規標準。

1.3 論文架構

本論文一共分爲六章，其內容架構如下：

- 第一章：序論
  介紹本論文探討問題之背景，接著說明本論文之研究動機與目的，最後本論文架構。
- 第二章：文獻探討
  在這章將會介紹交通法規制定、測站點選定和可靠度最佳化方法概述。
- 第三章：針對移動性污染源之循序最佳化方法
  敘述本研究中針對移動汙染源之一整套應用最佳化方法制訂法規所用到的模型，包含了城市車流模型，計算汙染的汙染擴散模型，測站點之選擇以及最佳化模型中的目標函式和限制條件，最後爲應用此方法的田字型路網範例。
- 第四章：不確定因素對制訂法規和測站點之影響
  本章將不確定因素加入到第三章所介紹的模型內，城市車流改爲包含不確定因素的車流模型，並模擬環境的不確定因素，最後爲田字型路網範例之結果
- 第五章：台南市區域路網範例
  此章將第三章和第四章的方法實際應用到台南市區火車站和成功大學附近的路網
- 第六章：結論和未來研究方向
  總結本論文之內容，並對此論文提出相關建議，以供未來研究發展之參考。

第 二 章　文獻探討

本章將會針對現有相關文獻加以整理並比較。2.1節將探討交通法規制定相關文獻；2.2節將介紹文獻上如何選定觀測站之重要考量；2.3節將介紹可靠度和最佳化；2.4節則將現有文獻整理與討論。

2.1　交通法規之制定

在交通法規制定上面，Nijkamp和Blaas提供了一個有關於交通政策計畫如何做政策制定的框架 [14];Haldenbilen和Ceylan利用基因演算法(GA)模擬交通需求並評估道路稅制系統之交通政策 [15]; Ülengin等人發展一套交通政策系統 [16]，該系統利用貝式因果地圖分析長時間需求規畫的交通政策可能發生的情境；Chan等人 [13]在2010年的文獻中用工程上最佳化的方法運用在簡單的路網上來展示交通法規的制定，該論文雖展現工程最佳化設計如何成功應用在法規決策上，文中的假設限制了該方法的應用領域。Wu等人 [12]則探討在複雜路網中法規制定與汙染之擴散，但並未考量人爲不確定因素及觀測站選擇的衝擊。在此篇論文我們將利用Chan等人提出的問題，進一步探討並尋求改善的方法。

Chan等人用交通法規置探討的對象爲一簡單的路網，該路網包含了兩條高速公路，在臨近兩條高速公路一段距離L1和L2處有一汙染測站點(Receptor)，其相對位置如圖2.1所示。

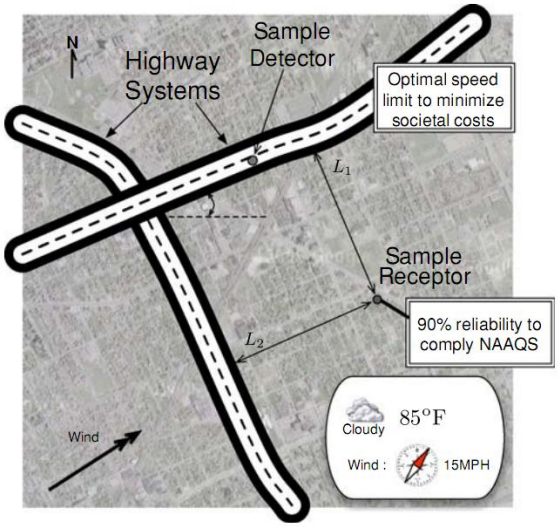


圖 2.1: 兩條路路網示意圖

該問題假設在此路網上的所有汙染只來自這兩條路的道路車輛汙染排放，而爲了減少這些汙染對人們健康產生的危害，政策制訂者希望藉由法規方案來使此區的CO和NOx汙染符合美國空氣品質標準的限制(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)，且符合的機率能達到某一特定的可靠度(e.g.90%)。而政策的制定包含了燃油的經濟標準和鼓勵 [17,18]、提高汙染排放的標準 [19]、對汙染車輛的課稅 [20]、利用通行費來減少車輛交通密度 [21,22]，和修正車輛速限 [9]等方法。在此範例中，Chan假設政策制定者只對用速限制訂法規有興趣。而政策制定者除了考量汙染問題外，必須同時考慮到制定速限法規對時間、安全、經濟活動等社會成本的衝擊。是故，政策制定者希望能藉由制定速限法規來達到汙染符合環保署的法規標準的可靠度，且同時最小化對社會成本的衝擊。

由問題的定義，可發現此爲一可靠度最佳化問題。目標函式爲安全和節省的時間 (time saving)的速限聯合函數 [23]:

$$f(v) = 1000 \times D(v) + c(v) \tag{2.1}$$

其中D(v)爲表示每100百萬輛車在財產損失上的安全函數(單位:千元)，其定義爲發生碰撞的機率乘上不同速度下碰撞的嚴重性，如方程式(2.2)所示。

$$D(v) = 2.11 \times 10^{-6}v^4 - 5.03 \times 10^{-4}v^3 + 0.0454v^2 - 1.838v + 32.2189 \tag{2.2}$$

$c(v)$則爲隨車速增加而節省的時間成本，假設w爲每人每小時的平均工資，$c(v)$就是每小時用在旅行上而沒有工作的花費。若t表示花在全長s公里(km)旅程上面的旅行時間，則t爲:

$$t = s/v \tag{2.3}$$

v爲道路上的平均速度，則全長s公里(km)旅程的全部花費$c(v)$爲:

$$c(v) = w \times t \tag{2.4}$$

是故社會成本的函式就由財產損失上的安全函數$D(v)$和節省的時間成本函數$c(v)$組合而成，即爲問題中的目標函式(2.1)。

限制條件的部分則是圖2.1中兩條路上汽車所排放的廢氣CO和NOx在測站點所量測到之汙染值必須符合NAAQS的小時標準。故Chan等人使用了Gilbert在書中 [24]所描述的無限長線源擴散模型，來計算路網上兩條路的汙染，該模型之數學式如方程式(2.5)所示。

$$g_j(x) = \sum_{i=1}^{2} \frac{2q_i^j}{\sqrt{2\pi}\sigma_{zi}U_{hi}} \tag{2.5}$$

i表示圖2.1中兩條無限長線源，j表示不同的汙染物(CO和NOx)。q_i^j爲污染排放率， 是排放係數(emissions factors ,EF)和交通密度T的乘積，如方程式(2.6)所示。

$$q(g/s) = EF(g/vehicle) \times T(vehicle/s) \tag{2.6}$$

而Montgomery等人 [25]則提供了CO和NOx的EF和速度的關係式。而在交通密度T的部分，Chan等人假設在兩條路上爲固定車流，且道路上皆爲同一種的車輛，每輛車長3公尺，車距15公尺，由方程式(2.7)即可計算出交通密度。

$$T(v) = v(m/s) \div (3 + 15)(m/vehicle) \tag{2.7}$$

Chan等人 [13]在該問題使用的不確定因素包含了風向風速，擴散係數和速限。其風向風速和擴散係數所使用的不確定因素模擬方式將在4.2節不確定因素模擬部分詳述。由上述步驟之方程式(2.5)到方程式(2.7)即可計算出觀測點的汙染濃度，我們將汙染值限定符合法規即爲限制條件。在本篇論文中制訂交通法規之部分將沿用Chan等人 [13]之方法，應用最佳化的方式處理，並建立更爲完善的目標函式和限制條件，而本篇論文所建立的目標函式和限制條件將在接下來的章節裡逐一說明並展示範例。

2.2 測站點位置之選定

在測站點位址的選定上面，則可簡單分成兩大方面，一爲量化指標，另一爲非量化指標。在量化指標方面，有Dosage Monitoring Survey Design(DMSS)、Figure of Merit and Sphere of Influence(FOM-SOI)和Correlation-Variation(C-V)這三種設置方法決定測站的位置。量化指標的這三種設置方法簡單介紹如下:

首先是Noll和Mitsutomi在1983年 [26]提出“計量監測調查設計法”(Dosage Monitoring Survey Design,DMSS)，此法先設定一恕限(threshold)濃度值，再以空氣汙染擴散模式算出各測站點在不同時間內之濃度值，凡在同段時間內測站點之濃度超過恕限值者，則定義爲群集(cluster)。當一測站點有許多群集，則定義爲高劑量濃度地區，亦爲較有可能之測站設置地點。

第二種爲Figure of Merit and Sphere of Influence(FOM-SOI)法，是由美國研究人員Liu.等人 [27,28]針對美國拉斯維加斯測站點設置的所提出之研究。Liu.等人的設置理論有兩部分，分別爲價值圖(Figure of Merit,FOM)和影響圖(Sphere of Influence,SOl)。第一部分爲FOM之觀念，其考慮空氣品質指標和發生機率等因素，對各測站點之綜合影響，並依其影響程度排列出各測站點之優先順序，如方程式(2.8):

$$\text{FOM} = \sum(\text{空氣品質指標}) \times (\text{發生機率}) \tag{2.8}$$

空氣品質指標則可自行選定，可爲汙染濃度、汙染濃度超過環保署標準或PSI值等。 第二步利用SOI觀念，找出各測站點間汙染物濃度時間變化的相關係數，並設定一分界值(Cutoff value)，則可定義出各測站依分界值區分可代表的範圍，若某測站點落在比它優先的測站之範圍內，該測站點即可刪去。

第三種爲相關變異法(C-V)則爲同時對監測站進行相關性和濃度比值的分析，其計算各地點間之濃度變化的相關係數以及差異率。其主要用於反應區域性空氣品質水準和變化趨勢。

李彥儒 [29]將上述三種方法分別應用於台南市設置測站後指出，DMSS法僅用於監測最大暴露量劑，FOM-SOI法由於可使用於多評量指標，故設置的測站點可以達到多種監測之目的。C-V設置方法，則主要用於反應區域性空氣品質水準和變化趨勢。

在非量化指標的方面，則是設置觀測站的一些相關準則。在行政院環保署爲了未來空氣品質政策規劃所需，研擬空氣品質監測系統之計畫 [30]的文獻當中，彙整了國內外的設站準則，並討論測站點的績效和適切性並評估多餘性，最後並提出對新世代全國空氣品質監測的計畫。而這些設置觀測站的準則，簡單來說可以分爲兩個方面，一爲依照人口及區域特性設置，另一爲依照汙染物而做調整。這兩方面的準則可分述如下:

首先在人口及區域特性的設置準則方面，在日本、歐洲和我國的環境局皆有提出相關的準則，分別敘述如下。首先是日本依照環境“大氣環境監測之應有措施”報告書所決定的的設站原則:

- 依人口和可住地面積計算：每75000人設一站，可住地面積每25km^2設一站。
- 依環境濃度高低調整：若過去3年，測定項目或環境標準值所做出評價爲“高”者，維持站數。“中”者，減少站數爲原之1/2，“低”者，減少爲1/3。

再來是歐洲有歐盟依歐洲環境局第12號技術報告說明EuroAirnet設站原則：

- 測站應依汙染物在人群、物質材料及生態系統之暴露量差異有所區別。

EuroAirnet採用之數據來自AirBase資料庫，該資料庫未明確定義監測站最小需求數，但針對各類型監測站有代表面積之定義，如表2.1所示。

表 2.1: AirBase 測站類型及其代表面積定義

Airbase測站類型	代表面積(radius of area)
交通測站	不適用
工業測站	10-100公尺
背景測站:	
都市背景測站	10-1000公尺
鄰近城市背景測站	1-5公里
地區背景測站	25-150公里
偏僻背景測站	200-500公里

此外，歐盟針對Level1監測站設站數目依面積大小決定，面積大於10000km^2者，應至少設立一個空氣品質監測站，其選址原則爲：

- 採樣及測站之位址應足以代表大區域特性
- 測站所在代表性區域，其大小應大於大氣擴散模式可解析之空間解析度
- 測站代表性應考慮，地形、測站主要風向、站址附近土沙等引起之量測誤差

最後是國內，空氣汙染防制法施行細則第12條內有提及：

- 地形、地勢和氣象條件
- 人口分布及交通狀況

第二部分則是依照汙染物而做調整的設置準則，一樣有日本、歐洲和我國的環境局所提出相關的準則。在日本，環境“大氣環境監測之應有措施”報告書提到:

- 依測定項目調整：依照不同的監測汙染物做測站數調整

在歐洲方面，則依歐洲環境局第12號技術報告說明指出：

- 汙染物在人群的暴露量分爲人口密集區、郊區、城市外工業區三種。在人口密集區則依城市人口總數而有不同站數選取比例；郊區則依監測汙染物決定；城外工業區則依汙染程度決定。

在國內，空氣汙染防制法施行細則第12條內有提及：

- 欲設置之空氣品質監測站的種類
- 汙染源之分佈、類型及汙染濃度分佈

除了上述依照人口及區域特性設置和依照汙染物而做調整的部分，我國空氣汙染防制法施行細則第12條還有提及其他的設置原則，像是:

- 有易於防治對策效果之判定
- 都市計畫、區域計畫或其他土地利用計畫

表 2.2: 新世代空氣品質監測站設置準則

監測站種類	設置地點
一般空氣品質監測站	設置於人口密集、可發生高汙染或能反應較大區域空氣品質分佈狀況之地區
其他空氣品質監測站:	
交通屬性	設置於交通流量頻繁之地區(高速公路、市區及省道)
國家公園屬性	設置於國家公園內之適當地點
背景屬性	設置於較少人爲汙染地區
核心空氣品質監測站	設置於人口密集、高超過空氣品質標準地區

在環保署的報告書 [30]中，其綜合國內外設站的原則後，最後提出新世代空氣品質監測站設置準則。如表2.2 所示。

表2.2 可看出，環保署所建議的設站準則會根據不同的類別和屬性進行建議，但我們可以大致歸納出，這些設站點大多設置在人口多或是汙染濃度高的地方。而在本論文中我們所探討的爲控制交通所帶來的汙染，表2.2 中建議關於交通屬性的監測站可以設置在交通流量頻繁之地區，交通流量頻繁可視爲車流量大的地方，而交通車流量大的地方同時也表示著汙染濃度高的地方。由此可見，在汙染濃度大的地方設置監測站來監測汙染並管控是有其必要性。

但我們必須知道，同一個地點的汙染濃度，除了會受到該地點附近的車流量影響之外，同時環境因素也會影響該地點的汙染濃度。以風向爲例，汙染物會隨風吹的方向擴散，若觀測點在風的下風方向，則該觀測點量測到汙染物濃度就會較大，若觀測點在上風處，量測到的汙染物濃度就會較小。由此可見，當風向不同的時候，觀測點量測到的汙染物濃度也會不盡相同。而不同的風向，可視爲一種不確定因素，而評估不確定因素的影響，就必須考量到可靠度的問題。在下一節將依序介紹不確定因素、最佳化、可靠度以及可靠度最佳化方法。

2.3 可靠度最佳化方法概述

2.3.1 不確定因素

在眞實的環境中包含了很多不確定因素。不確定因素其意義爲無法被準確的預測，舉例而言，某一個現象在同一點或是不同狀態量測時，其會有不同的量測結果。雖然可能會有些量測結果出現的頻率較高，但是仍會出現其他值，故整體來說，該現象的量測值是無法預測的。相應於不確定因素，可準確預測的物理量值稱爲定率(deterministic)，反之則稱爲不確定因素(uncertainty)。

眞實的環境中，不確定因素處處存在。以工程上的產品爲例，每個產品都會有一個設計的尺寸，但是實際製造出來的產品，個體與個體之間都存在的微小的尺寸差異，我們稱之爲製造公差，而這公差即是不確定因素的一種，一般而言，不確定因素分爲下列四大項：

- 人爲因素：加工品質、量測精度、操作差異…等
- 材料特性：楊式係數(Young's module)、蒲松比(poisson ratio)、密度…等
- 自然環境：溫度、濕度、氣壓、風向、風速、地震…等
- 時間：疲勞、老化…等

這些不確定因素都影響的產品或是模型的結果，若想要更加逼近眞實的情況，在模擬的時候，就必須考量這些不確定因素，而我們將用可靠度來評估不確定因素的影響。

2.3.2 最佳化概述

最佳化簡單來說就是滿足某些特定的限制條件下，所能達到的最好目標結果。以本論文的交通汙染設計問題爲例，我們的目的是希望路網上觀測點處的汙染符合環保署制定的標準，我們透過制定速限的方式來達成這個目的，而在改變速限的同時，我們會希望盡量減少因爲速限改變，對整個社會的時間、安全、經濟活動的衝擊。是故，最佳化社會成本就是我們的目標，汙染要符合環保署法規爲限制。而這個問題，可能會因爲不同的需求、環境或是時間而改變我們的目標。同樣以交通汙染爲例，若我們的目標希望路網所能容納的車流量最大，那這個問題目標就變成車流量。在某些時候，設計者必須同時考慮兩個以上的目

標，這即爲多目標最佳化問題 [31]。在本論文中我們不考慮多目標問題，只考慮單一目標函式的最佳化問題。方程式(2.9)即爲一般單一目標最佳化問題的數學型式。在方程式(2.9)中，$f(\mathbf{x},\mathbf{p})$ 爲目標函式， $\mathbf{h}(\mathbf{x},\mathbf{p})$爲等式限制式，$\mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{p})$爲非等式限制式。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{x}} \quad & f(\mathbf{x},\mathbf{p}) \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{p}) \leq 0 \\ & \mathbf{h}(\mathbf{x},\mathbf{p}) = 0 \end{aligned} \tag{2.9}$$

目標函式在此爲希望越小越好，若我們希望目標越大越好時，只需在$f(\mathbf{x},\mathbf{p})$前面加上負號及可。限制條件g和h爲必須要滿足的目標。方程式(2.9)的形式是使用全負型態(negative null form)，即$g \leq 0$爲滿足限制條件的安全設計，$g > 0$稱爲違反(violation)亦或是破壞(failure)。在設計過程中會隨疊代過程而改變的設計量值稱爲設計變數$\mathbf{x}$(design variable)，不變的稱爲設計參數$\mathbf{p}$(design parameter)，滿足所有限制條件的解集合稱爲可行解空間(feasible space)。每次疊代過程的設計變數稱爲設計點，經由演算法最終獲得的設計變數結果稱爲最佳解$\mathbf{x}^*$(optimum)，最終的目標函式數值爲最佳解$f^* = f^*(\mathbf{x},\mathbf{p})$。

在最佳化的計算當中，爲了要讓目標函式達到極致，方程式(2.9)的最佳解通常都會在限制條件的邊界上，若有不確定因素的產生，則最佳解將會受到不確定因素的影響，其滿足限制條件的機率將會下降到50%左右，換而言之，最佳解受到不確定因素的影響後，有很大一部分的機率會違反現有的限制條件，見文獻 [32–34]， 但在我們的生活所中，不確定因素到處可見，在模擬的時候爲了要更加符合眞實的情況，我們必須要考量到不確定因素的問題，是爲我們評估可靠度的原因。

2.3.3 可靠度概述

可靠度是產品在指定時間範圍內可滿足某性能指標的機率 [34]，也是評估不確定因素影響產品或系統的重要指標。較嚴謹的定義是可靠度爲某些狀置在特定的使用條件下，於特定期間內，能夠無故障發揮其功能的機率。其中，特定功能、使用條件、時間和機率爲四個組成可靠度很重要的因素。

- 特定功能： 可靠度中很重要的爲“明確”定義產品功能，進而我們依此定義判斷，產品是否破壞。若產品失去功能我們定義爲“破壞”(failure)，反之爲安全(safe)。

- 使用條件： 指產品與服務在使用前的限制，如特定的工作環境：溫度、壓力等，在此特定的條件下對產品功能的可靠度才有評估的標準和依據。因此可靠度需在特定的使用條件下才有意義。此也爲廠商在一般商品的保固說明上，皆強調保固範圍爲非人爲破壞的原因。

- 時間： 時間也爲一種不確定因素。隨著時間的增加，產品會產生老化或疲勞，產品在使用超過一定的年限後，可靠度會逐漸下降。故明確標定一個使用時間，有助於做可靠度的分析。

- 機率： 在可靠度的分析當中，這項爲分析的結果。產品穩定的程度藉由機率來作爲指標。

2.3.4 可靠度最佳化概述

在一般最佳化的問題當中，並未考慮到不確定因素的問題。而當不確定因素加入之後，受到不確定因素影響，問題最佳解由於通常會緊鄰拘束條件的邊界而使可靠度常常只有50%甚至更低。而在實際情況中，不確定因素確實存在並影響著我們的設計問題。我們希望整個設計問題更加符合實際情況，將不確定因素加入到設計過程，原本的最佳化問題改寫成爲方程式(2.10)之形式。

$$\begin{aligned} \min_{\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{x}},\mathbf{x}} \quad & f(\boldsymbol{\mu}_{\mathbf{X}}, \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{P}}, \mathbf{x}, \mathbf{p}) \\ \text{s.t.} \quad & P_{\mathrm{r}}\left[g_j(\mathbf{X}, \mathbf{P}, \mathbf{x}, \mathbf{p})\right] \leq P_{\mathrm{f,j}} \quad \forall j \in \mathcal{C} \end{aligned} \tag{2.10}$$

方程式(2.10)中的$\mathbf{X}$爲隨機設計變數(Random design variable)，$\mathbf{P}$爲隨機參數(Random parameter)，$\mathbf{x}$爲定量設計變數(Detministic design variable)，$\mathbf{p}$爲定量參數(Deterministic parameter)，目標函式爲定量值的集合，$\mathcal{C}$爲限制條件集合，$P_{f,j}$定義爲每個限制條件的破壞機率。

2.4 文獻整理與討論

在2.1節中Chan等人 [13]利用設計速限這項政策的制定來控制觀測點處的汙染並最小化社會成本。在2.2節則有李彥儒 [29]和行政院環境保護署 [30]的爲了監測汙染而設置觀測點的方法。Chan等人 [13]所提出的政策制定只針對在所指定的觀測點汙染濃度是符合環保署法規，而在該路網上的其他區域，其所受到車輛排放的汙染則無法肯定是否符合環保署所設定的法規，進而使人類的健康和財產不置於受到損害。李彥儒 [29]和行政院環境保護署 [30]所提出設置觀測點的方法，也僅只於設置在汙染濃度大的地方做監測，觀查濃度的變化。

綜合這兩個部份的文獻，我們可以發現在現有文獻的限制和不足的地方，條列如下:

1 現有的政策制定是針對兩條路的簡單路網，無法反應眞實的城市路網複雜實的政策制定結果。

2 現有的政策制定時，假設路網上的車流是固定的，在實際城市中，路網上每一處的車流是完全不相同的。

3 在觀測站設置上面，不論是量化指標或是非量化的準則這兩種的設置觀測站的方式，其設置後，都僅監測該觀測點濃度的變化，而沒有根據該濃度而去做相對應的交通管控。

根據文獻中這些不足，故本論文將針對移動式汙染源提出一套循序最佳化之政策制定的流程，並使用較接近眞實城市的路網和模擬城市路網車流之模型，使得我們可以利用設計速限這項政策制定的方式來控制汙染，也同時可以透過逐步找尋最大汙染點並增加觀測點的方式使得整個路網上每一處的汙染都是符合法規的，並最小化社會的成本。

第 三 章　針對移動式汙染源之循序最佳化方法

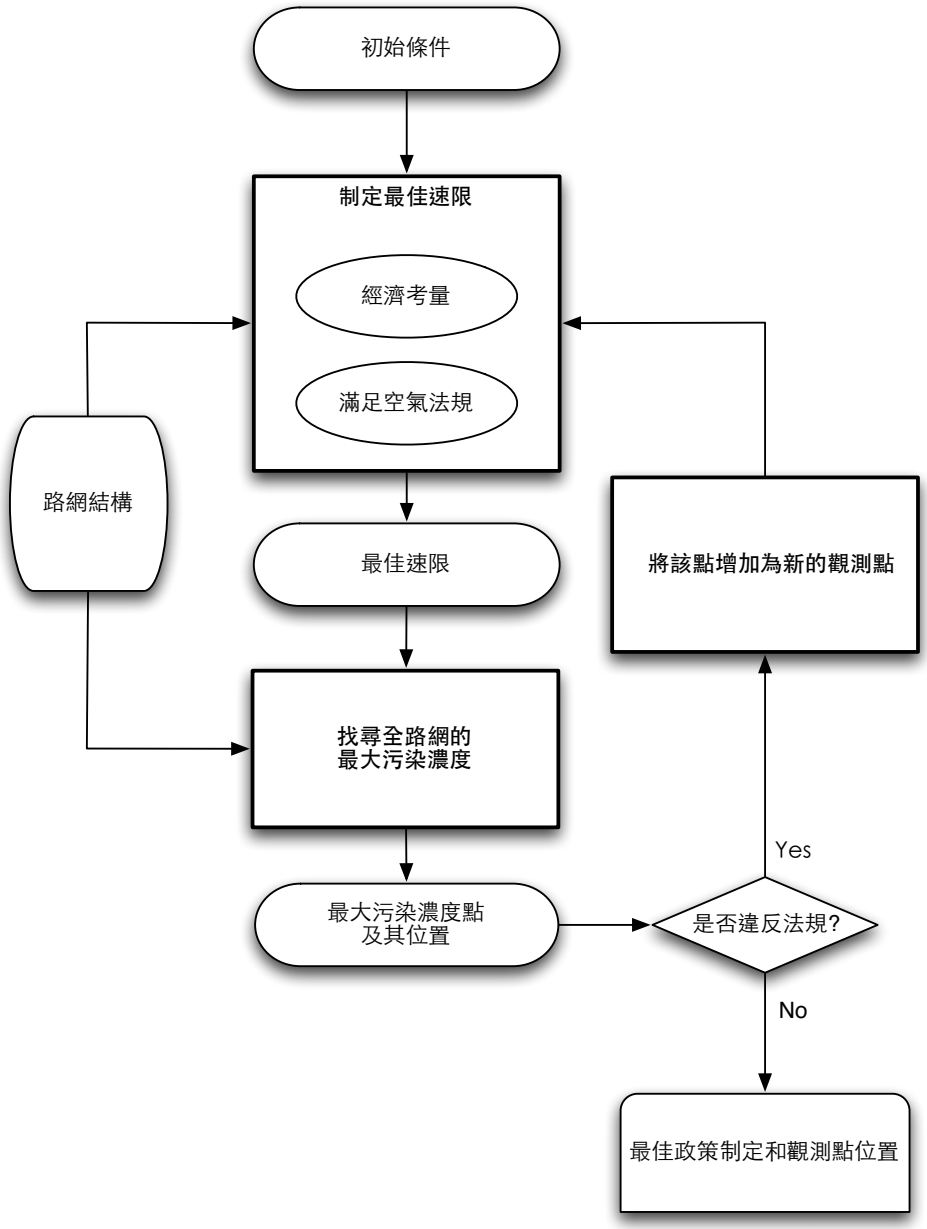


圖 3.1: 最佳速限和觀測站制定之流程

圖3.1爲本文針對移動式汙染源之循序最佳化方法提出之流程圖。該流程由三個迴圈組合而成，分別爲最佳速限的迴圈、找尋最大汙染位置的迴圈、最後爲判斷最大汙染點之汙染值是否符合法規，若不符合再反覆找尋最佳速限和最大汙染位置，直到我們所設計的速限可以使得該地圖上最大的汙染點都符合環保署所制定的法規。

在進行整個流程之前，我們必須要先建構好要分析的路網結構和相關的初始條件。包含道路長度、車道容量、初始速限、初始觀測點、在路網上行駛的總車流以及旅行起點和終點(Origin-Destination ,OD pair)，在此章做定率(Deterministic)問題的分析，故還包含了固定的風向風速。

圖3.1中第一步爲將初始條件和路網結構當成參數丟入最佳交通政策速限制定的迴圈內。在此迴圈內由速限的制定，減少汙染使其符合環保署的法規，並同時以社會經濟成本爲目標，希望我們在制定速限時，所付出的社會成本越小越好，這個成本包含了在路網上行駛的油耗成本和時間成本。而第一個迴圈的結果爲一組符合汙染條件和使社會經濟成本最小的速限。該組最佳速限和路網結構將會一起丟入第二個找尋最大汙染濃度位置點的迴圈內，在這迴圈內，我們希望找到在第一個最佳化迴圈所制定的最佳速限下，該路網上面汙染濃度最高的位置。結果爲最大汙染濃度和其位置。我們利用環保署的法規判斷第二迴圈的最大汙染濃度是否符合法規，若符合，則可得到最佳的速限和觀測點位置，若不符合，則將該最大汙染濃度的位置當成新的觀測點加入到原本的觀測點內，再回到第一個最佳速限制定的迴圈，重新進行最佳的速限制定。反覆進行最佳速限制定和找尋最大汙染點並判斷是否符合法規來設置新的觀測點。最後，我們將得到一組符合法規之速限和觀測站位置，而此時，我們可以確保在該路網上每一處的汙染濃度都是符合環保署法規的。

圖3.2則詳細的說明了計算汙染濃度的流程。一開始將速限、起訖對(OD pair)和路網結構丟入車流模型裡面，在本章爲利用使用者平衡模型(User Equilibrium Model,UE)模擬車流。經過車流模型的計算會得到一組該速限下的車流，利用此車流和速限，我們可以得到車輛密度。然後利用行車型態(Driving Cycle)和排放因子資料，計算出每單位密度的排放率。將此汙染排放率和車輛密度丟入高斯汙染擴散模型內，即可計算出在觀測點的汙染物濃度。

而在圖3.1和圖3.2流程中，用到的車流模型、高斯擴散模型、社會經濟成本函式等模型將會在接下來的3.1節、3.2節和3.4節做詳細的說明。

3.1 城市交通車流模型

一的地區的交通通常藉由路網來模擬，而路網則由節點(node)和路段(link)組成 [35]。我們定義任兩個相鄰的節點中間爲路段，且這任意兩個節點間只存在一個路段。對應到實際的道路上面，可將節點看做路口，任意兩個路口間的路則爲路段。而在定義路

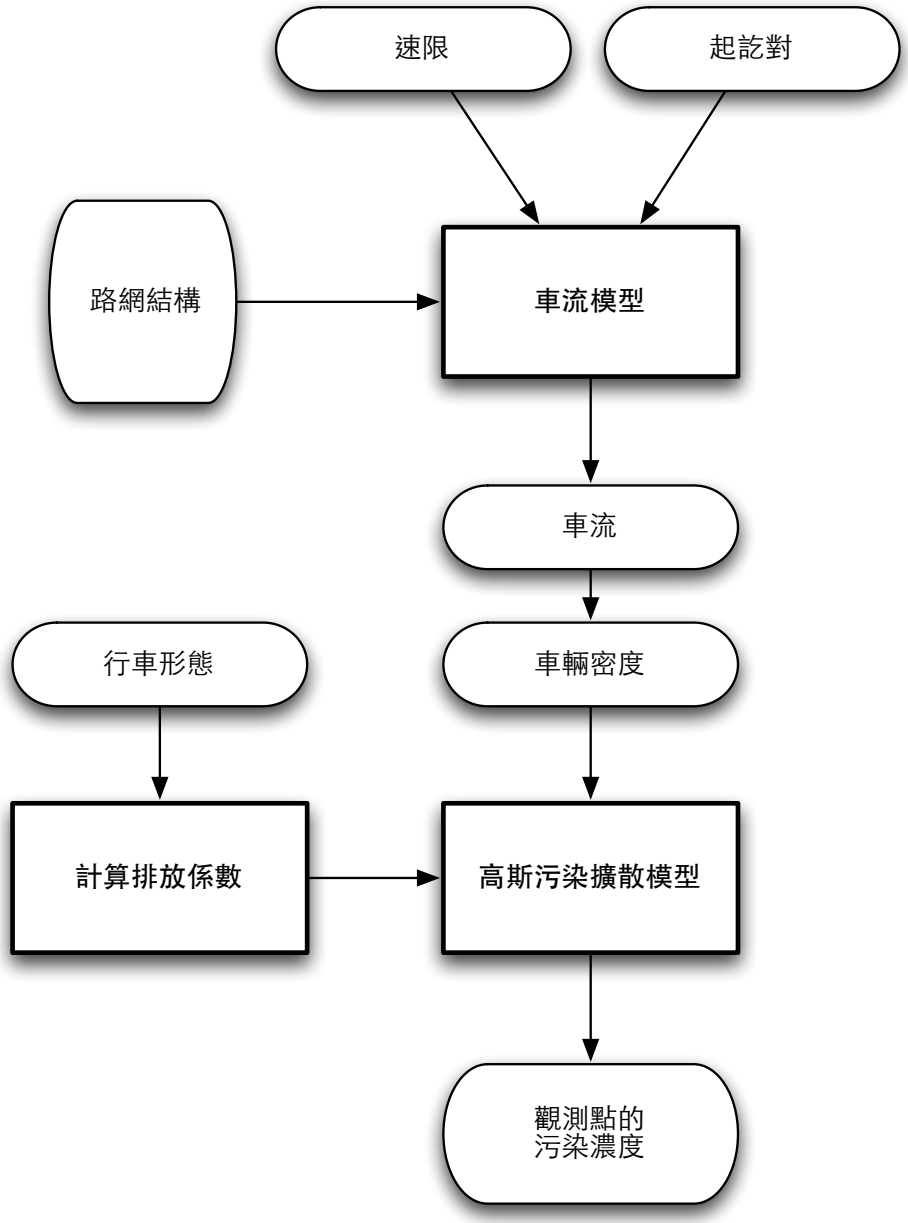


圖 3.2: 計算汙染濃度之流程

徑(path或route)之前，我們必須先定義起點終點對(Origin-destination pair,OD pair)，OD對意義爲在路網上的使用者(旅行者、人們)欲從某個節點到達另一個節點，起始的節點被稱爲起點(Origin)，到達的節點被稱爲終點(Destination)。而每一組OD對都由一系列的路徑(path或route)組成。以圖3.3的簡單路網表示。該路網中，旅行者由I點出發到IV點，I到IV就稱爲一個OD對，該路網包含了四個節點，五條路段，由I到IV則共有三條路徑，分別爲路段(1,4)、路段(1,3,5)、和路段(2,5)。在此我們定義所有節點(node)的集合爲$\mathcal{N}$，所有路段的集合爲$\mathcal{A}$，單一OD對間所有路徑(path)的集合爲$\mathcal{K}$。i、a、k分別代表某一

節點、某一路段、某一路徑。

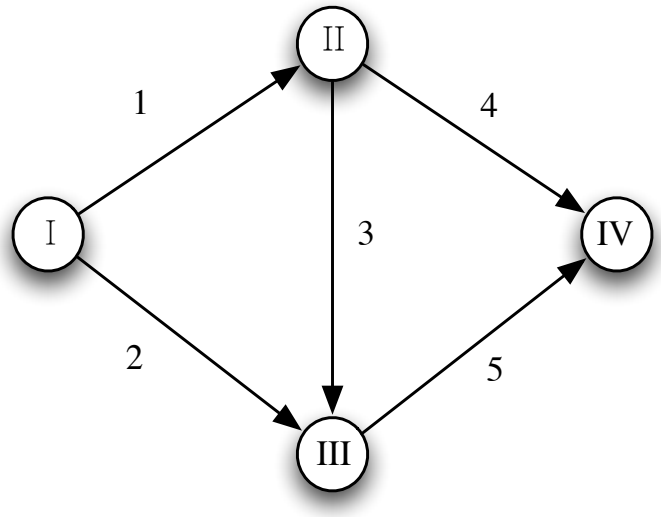


圖 3.3: 四個節點五條路段的路網

而在已知路網結構和路網所負載的總車流下，我們根據旅行者要由何地前往何處，進行車流的指派和分配，而這個車流的指派和分配我們將利用車流模型來進行模擬，本章所使用的車流模型爲使用者平衡模型(User Equilibrium Model,UE)。

3.1.1 使用者平衡理論

使用者平衡的理論基礎爲，有一已知的OD對和在這路網上的總車流。每個使用者由起點到達終點會選擇走旅行時間(travel time)最短的路徑，而這個選擇會使的路網上的車流最後到達平衡的狀態。在平衡的狀態下，沒有任何一個使用者可以藉由改變路徑的方式達到減少旅行時間的效果。換言之，此時路網上每一條路徑的旅行時間是相等的。在此處的旅行時間，也可以解釋爲旅行阻抗(travel impedance)，表示使用者選擇走這條路徑所需付出的代價。 方程式(3.1)到方程式(3.4)爲使用者平衡的數學表示式，式中t_a和x_a分別爲路段(link)的旅行時間函數和路段車流。關於本章中所使用的旅行時間函數將在3.1.3節中做介紹。目標函式(3.1)並沒有任何直覺的經濟上或行爲上的解釋，可視爲一單純的數學問題 [35]。限制條件(3.2)則確保了所有可能路徑上的車流會等於該路網的總車流，方程式(3.2)中f_k和q分別表示路徑的車流和路網的總車流。在方程式(3.3)中的$\delta_{a,k}$則用來表示路段a是否在路徑k上，若有則$\delta_{a,k}$值爲1，沒有則爲0。

$$\min_{\mathbf{x}} \sum_{a} \int_{0}^{x_a} t_a(x)dx \tag{3.1}$$

$$\text{s.t.} \sum_{k \in \mathcal{K}} f_k = q \tag{3.2}$$

$$x_a = \sum_{k \in \mathcal{K}} f_k \delta_{a,k} \tag{3.3}$$

$$f_k \geq 0 \tag{3.4}$$

將使用者平衡的模型應用到一般簡單的小路網時候，我們確實可以利用方程式(3.1)到方程式(3.4)，配合可解決非線性問題的最佳化演算法求解出路段(link)的車流，但是當應用到大路網時候，直接用方程式(3.1)到方程式(3.4)來求解路段(link)的車流將會變得非常的複雜，原因在於方程式(3.3)這項限制條件使得我們必須要知道OD對中有幾種可能的路徑走法，當路網變大且OD對很多的時候，方程式(3.3)這項限制條件的處理就變得相當的費時和費工，是故文獻上 [35]提供了一個應用使用者平衡的演算法，可以藉由逐步的疊代找出最後每條路段(link)的車流。

3.1.2 使用者平衡演算法

承上節所述，在大路網直接針對方程式(3.1)到方程式(3.4)求解是很費工的，文獻上 [35]提及一個演算法，不需要進行所有路徑的列舉，而可以利用演算法一步一步的計算找到每條路段的車流，其演算步驟如下：

- 步驟 0：初始
  將旅行時間函數根據一開始路段上都沒車流，計算最初的$t_a = t_a(0)$，$\forall a$，再根據$t_a = t_a(0)$進行全量指派(all-or-nothing assignment)，此步驟會產生一車流x_a^1。設定迴圈計數$n = 1$。

- 步驟1：更新
  由於旅行時間函數爲車流的函數，根據已找出來的車流x_a^n，進行路段旅行時間函數的更新，即設定$t_a^n = t_a^n(x_a^n)$,$\forall a$。

- 步驟2：找尋方向
  根據t_a^n，$\forall a$進行全量指派(all-or-nothing assignment)，此步驟會產生一輔助的車流y_a^n。

- 步驟3：Line search

  利用方程式(3.5)找尋α_n，α_n爲在進行第4步驟的方向找尋時，每一步幅的大小。

$$\min_{0\le\alpha\le1}\sum_a\int_0^{x_a^n+\alpha(y_a^n-x_a^n)}t_a(x)dx \tag{3.5}$$

- 步驟4：移動

  根據步驟3找到的步幅大小α_n決定下一步的路段車流大小。

  設定$x_a^{n+1}=x_a^n+\alpha_n(y_a^n-x_a^n),\forall a$。

- 步驟5：收斂測試

  若收斂條件已達成則停止，路段的車流即爲x_a^{n+1}，反之，則$n=n+1$回到步驟1。 而文獻上 [35]也有提供收斂的條件如方程式(3.6)或方程式(3.7)所示。

$$\sum_k\frac{|c_k^n-c_k^{n-1}|}{c_k^n}\le\kappa \tag{3.6}$$

$$\sum_k\frac{\sqrt{\sum_a(x_a^n-x_a^{n-1})^2}}{\sum_a x_a^n}\le\kappa' \tag{3.7}$$

方程式(3.6)表示的爲當時間不再改變時，則收斂。方程式(3.7)則表示當車流不改變時則收斂。式中的κ和κ'表示爲很小的差值，c_k^n則爲第n次回圈第k條路徑的實際旅行時間，兩個收斂條件只要擇一使用即可。

3.1.3 旅行時間函數

大部分的旅行時間函數，都應用美國公眾道路事務處(U.S.Bureau of Public Road,BPR) [36]所提供的旅行時間函數，如方程式(3.8)所示。

$$t_a=t_a^0\left[1+\alpha(\frac{x_a}{\mathrm{cap}_a})^\beta\right] \tag{3.8}$$

t_a和x_a分別表示路段(link)a的旅行時間和車流，t_a^0爲自由流時間，自由流時間的意思爲在沒有車流時可達到的速度下車輛行駛該路段所需時間，cap_a爲道路容量，α和β爲模型的參數，

一般常用值爲0.15和4。相較於車流的理論，BPR所提供的這個函數，並不會慢慢逼近車道容量，故Davidson [37]提出另外一種旅行時間函數會慢慢逼近車道容量，如方程式(3.9)所示。

$$t_a = t_a^0 \left[1 + J(\frac{x_a}{\mathrm{cap}_a - x_a}) \right] \tag{3.9}$$

J爲模型參數，其數值的影響如圖3.4所示，當J數值越小的時候，表示其路段車流值越逼近車道容量。方程式(3.9)中其餘的參數意義和方程式(3.8)相同，而在本論文中提到旅行時間函數皆是使用Davidson [37]所提供的這組函數。

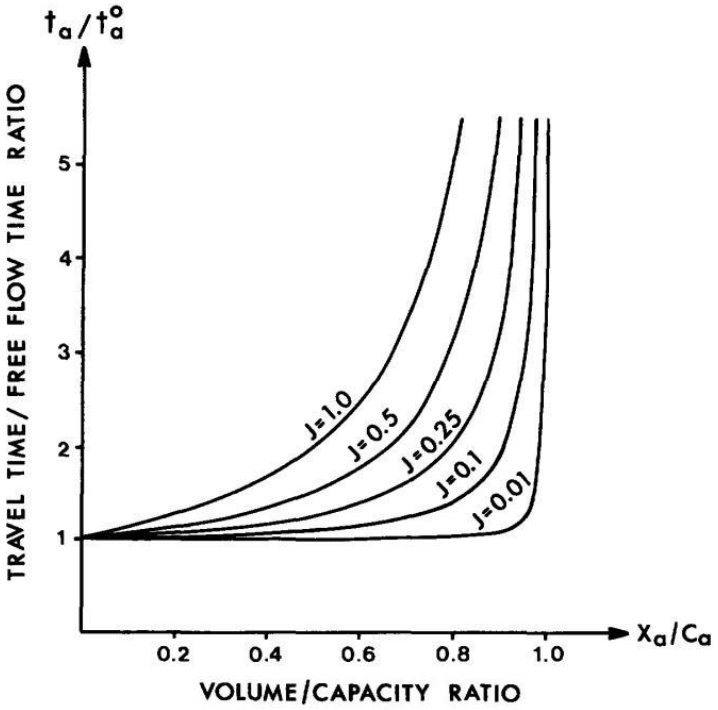


圖 3.4: 旅行時間函數J參數的影響 [37]

3.2 汙染擴散模型

在觀測點觀測到的汙染濃度，和道路的幾何形狀、觀測點的位置、道路上車輛密度、車輛種類和大氣條件有關，而車輛的種類和道路上行駛速度則會影響到排放係數。高斯汙染擴散模型(Gaussion Dispersion Model)則是用來模擬汙染源的汙染物擴散到大氣中的情形。又根據汙染源的不同，有點汙染源和線汙染源兩種不同的模型。

3.2.1 點汙染源

高斯汙染擴散模式假設汙染物的傳播在風速方向主要爲對流(convection)的影響，而在與風速垂直的另外兩個風向主要爲擴散(diffusion)的影響。其定義風的下風方向爲正x軸，垂直地面方向爲z軸，和x軸同平面但相垂直的爲y軸，如圖3.5，依照高斯汙染擴散模式，若爲點源，且汙染源座標軸原點且高度H公尺(m)處，污染排放率(emission rate)爲 Q (μg/s).，並考慮到地面的反射效果，則在觀測點(x, y, z)處所觀察到的汙染濃度如方程式(3.10)。

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y(x), \sigma_z(x)} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2(x)} + \frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \tag{3.10}$$

其中$C(\mu g/m^3)$爲觀測點(x, y, z)處在穩定狀態時的濃度，$u(m/s)$爲風速， σ_y 和 σ_z 則爲擴散係數，皆爲x的函數。

3.2.2 線汙染源

而一般道路都是線，單就點源的汙染擴散模型並不能適用。圖3.6展示了一個簡單的兩條路排放源，而此時風向垂直向下。觀測點的位置如圖3.6中所示。而兩條路A和B所排放的汙染物皆必須考慮。在過往，高速公路的汙染排放大部份都用無限長的線源來模擬，然而，在此使用無限長的模型來模擬汙染則可能會造成巨大的錯誤，因爲大部分的城市內道路都是有限的長度。

而線源的部分，由於線是由無限多個點組成，故我們將積分方程式(3.10)的點源模型，把它當成有限長的線源模型，如方程式(3.11)所示。

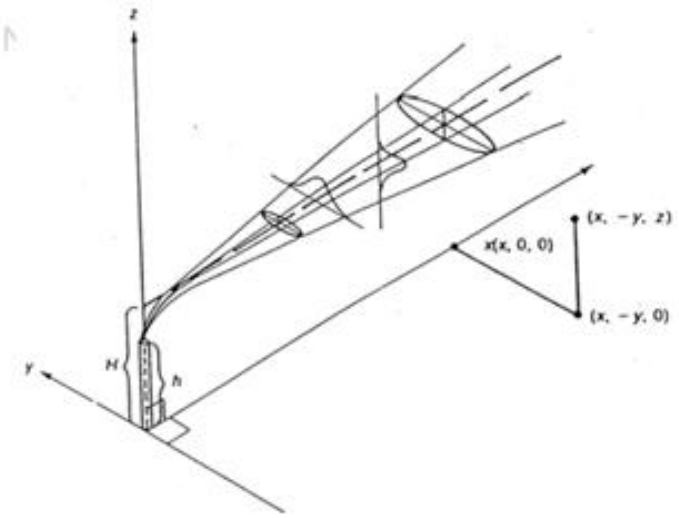


圖 3.5: 高斯擴散模型點汙染源示意圖 [38]

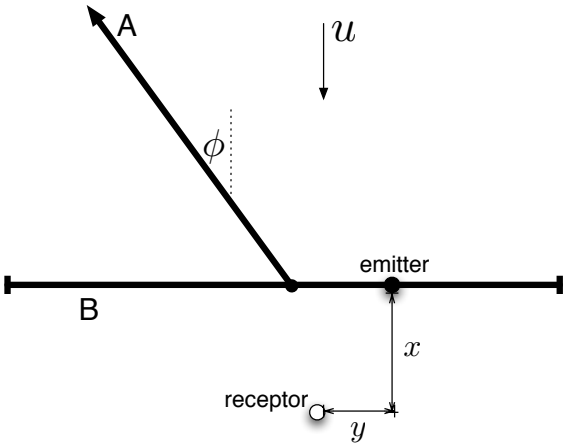


圖 3.6: 線源擴散模型的道路、觀測點和風向圖

$$\int_0^L C(x,y,H)dx \approx \sum_k C(x,y,z) \tag{3.11}$$

方程式(3.11)的積分是沒有解析解的，Venkatram等人 [39]則曾將擴散係數 σ_y 和σ_z 假設爲常數找出方程式(3.11)近似解 [39]，但這個假設和風向有著高度的相依性，當觀測點和排放源之間的距離增加或風向大於60度的時候，這個近似的解法將會產生巨大的錯誤。

而由方程式(3.11)找出來的汙染濃度必須要符合相關的汙染標準。台灣行政院環保署針對CO、NO2、SO2、Pb、PM10和TSM等六種汙染物做出相對應的汙染標準，如表3.1，根

據不同的汙染物種類，標準又分爲年平均、日平均和小時平均值。而台灣的污染標準並未詳細定義NOx和SOx的汙染值，故我們用NO2和SO2代替。

表 3.1: 台灣空氣污染標準 [1]

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

3.2.3 排放係數

在高斯汙染擴散模式方程式(3.10)中所提到的道路上的污染排放率Q爲排放係數(Emission factor,EF)乘上交通密度T(taffic density)如方程式(3.12)。排放係數的資料我們則利用行政院環保署所提供的台灣排放資料系統(TEDS) [11]內的非北高縣市車輛排放因子資料。資料內包含了九種不同的車種，分別爲自用小客車、營業用小客車、汽油小貨車、柴油小貨車、大貨車、大客車、公車/客運車、二行程機車和四行程機車。共有10種汙染物在車速5到100(km/hr)，不同速度下的各個排放係數。

$$Q(\text{gram/second}) = EF(\text{gram/km-vehicle}) \times T(\text{vehicle-km/second}) \tag{3.12}$$

我們應用西元2000年版本的TEDS資料，如表3.2。排放係數可能會隨著不同車輛和不同的操縱方式而有所差異，但在本論文的範例內不考慮其所產生的不確定因素問題。

表 3.2: 自用小客車(四行程機車)的排放係數 (gram/km-vehicle) [11]

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)

3.2.4 擴散係數

在高斯有限長線源模型內，我們有提到擴散係數σ_y和σ_z爲線源L到觀測點距離的函數。而擴散係數通常用參數 a, c, d, f [40]來表示，如方程式(3.13)。

$$\sigma_y = ax^{0.894} \tag{3.13}$$
$$\sigma_z = cx^d + f$$

a, c, d, f 的值跟據大氣環境的條件而定，而這大氣環境的條件我們稱呼爲穩定度等級(stability class)。穩定度等級描述在空氣中有效的垂直方向空氣混合的情況，如表3.3。而表3.4則爲不同穩定度等級下的 a, c, d, f 值。在台灣氣象局的定義中日照(Solar insolation)可用雲量或是天空被雲的遮蓋量來量化，其量值由0/10到10/10，其中0/10表示晴空(clear)，10/10表示密雲(overcast)，0/10到5/10表示強烈日照(strong insolation)，5/10到8/10表示中等日照(moderate insolation)，大於8/10則表示輕微日照(slight insolation)

表 3.3: 大氣穩定度等級及其在台南發生的機率 [24]

Wind	Day solar insolation		
Speed	Strong	Moderate	Slight
(m/s)< 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 3.4: 擴散係數式(3.13)中的a, c, d 和 f值 [24]

		$L \leq 1$ km			$L \geq 1$ 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

在本章的範例中，由於只考慮定量分析，故在這章中我們直接假設一個穩定度的等級，再利用表3.4即可得到相對應的 a, c, d, f 值。

3.3 測站點位置之選擇

如圖3.1的流程所示，根據初始的觀測點，在做完速限的最佳制定後，這個速限的制定將會影響道路往上車流的分配，它爲了要使觀測點的汙染符合環保署法規，可能會將靠近觀測點附近的道路速限設置很低，而此時車流將會分配到其他速限高的道路上，這時將會導致在速限高的路段可能會擁有很高的車流量，進而使得在該路段的汙染濃度升高，可能會超出法規制定的標準，這並非我們所希望見到的現象。爲了避免這個現象，我們提出逐步增加觀測點的方式，在第二個找尋最大汙染濃度迴圈中，用最佳化的方式找到地圖上的最大汙染點，再判斷該汙染點的汙染濃度是否有超過法定標準。若超過，將該點指定爲路網上新的觀測點，將其加入到原本的觀測點矩陣當中，再重新最佳化速限。而找尋最大汙染點的最佳化數學式如方程式(3.14)所示。

$$
\begin{aligned}
\max \quad & C_i \\
w.r.t \quad & \text{Location}(x, y) \\
\text{where} \quad & i \in \{\text{TSP}, \text{PM10}, \text{SOx}, \text{Pb}, \text{NOx}, \text{CO}\} \\
& 0 \leq x \leq x_{max} \\
& 0 \leq y \leq y_{max}
\end{aligned}
\tag{3.14}
$$

目標函式的部分應用有限長高斯汙染擴散模型，計算在路網上每個觀測點觀測到的六種汙染物的汙染值，而這六個汙染值也分別各自對應的汙染濃度標準，即可得到六個汙染物對應標準的汙染濃度倍數，回傳汙染濃度倍數最大的汙染物，並在下一步判斷該倍數是否大於1，若大於表示該汙染物是超過法定標準的，將該座標點加入到下一步的最佳化的執行迴圈中。方程式(3.14)中x_{max}和y_{max}分別表示地圖上x軸和y軸的最大值，C_i表示不同汙染物的汙染濃度值。

3.4 政策制定最佳化模型建構

在定量的條件下，針對交通法規的最佳政策制定可寫成一數學模式如方程式(3.15)。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{v}_{\max}} \quad & f(\mathbf{v}_{\max}, \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{P}}) \qquad (3.15) \\ \text{s.t} \quad & C_{j,k} \leq C_j^{std} \\ \text{where} \quad & j \in \{\text{TSP}, \text{PM10}, \text{SOx}, \text{Pb}, \text{NOx}, \text{CO}\} \\ & k = 1 \backsim N, N\text{個觀測點} \end{aligned}$$

(3.16)

方程式(3.15)中，目標函式爲社會經濟成本考量函式，設計變數爲每條道路的速限，限制條件爲每個觀測點的汙染物都要符合法規。

3.4.1 目標函式

在本論文中，我們的目標函式設定爲社會經濟成本函式，目的爲評估當我們改變道路的速限時，這組速限會對整個社會造成的影響，像是速限的改變，使得旅行時間增加或是減少，而這增加或是減少的時間，可能使得整個社會需付出相對應的金錢代價；還有由於速限的變化，車輛行駛每公里所需付出的油料成本也會不相同；還有速限的改變也會影響到意外發生的可能性；速限的改變也可能會導致違規的罰單增加或是減少。這些都是速限改變可能會造成之經濟活動的影響，而在本論文中的社會經濟成本函式，我們只考量速限對時間成本和油耗成本的影響，其他暫不列入考慮。

方程式(3.15)中的目標函式是由時間成本(TC)和油耗成本(FC)以1比1的比例相加，並假設道路上的九種車種依序爲，自用小客車、營業用小客車、汽油小貨車、柴油小貨車、大貨車、大客車、公車/客運車、二行程機車、四行程機車且9種車的比例相同。

- 時間成本(TC)

欲知路上的平均速度，我們必須要先知道車輛在道路上行駛的行爲，即車輛的行車型態(Driving cycle)，行車型態簡單說即爲車速對時間的關係，在國際上一般是使用FTP-75爲

行車型態。在此我們也假設台南市的行車型態爲FTP-75，先將各道路的速限根據FTP-75的最大速限做一個縮放，找出每條道路的平均車速。利用車流模型和平均車速找出車輛密度(veh/km)，再由車輛密度找出每條路的車輛數。由車種比例和各運具的車上時間成本，如表3.5 [41]，計算出道路車輛的平均成本，在此我們假設每條路上的車種比例相同，且總和爲1，如方程式(3.17)所示。

$$TV = \sum rate \times TV_m \tag{3.17}$$

表 3.5: 各類運具的車上時間成本

運具別	步行	腳踏車	機車	小客車	計程車	公車	捷運
車上時間價值（元/分）	無	1.41	1.16	1.13	1.13	0.94	0.94

方程式(3.17)中TV爲道路車輛的平均成本。$rate$爲9種車種比例，TV_m爲各種車的車上時間成本。而道路車輛的平均成本除以平均車速即爲每單位距離的時間花費，如方程式(3.18)。

$$Rd_{cost} = TV/V_{avg} \tag{3.18}$$

方程式3.18中V_{avg}爲平均車速，Rd_{cost}爲各道路行駛每單位距離的時間成本。最後依照各道路的車輛數加權平均計算出整個地圖上道路行駛每單位距離的平均時間成本，如方程式(3.19)。方程式(3.19)中n_i是每條道路車輛數。

$$TC = \frac{\sum Rd_{cost} \times n_i}{\sum_i n_i} \tag{3.19}$$

- 油耗成本(FC)

文獻上提供機車、汽車、計程車和公車行駛每公里的油料成本 [41]。我們假設汽油小貨車和柴油小貨車的每公里成本等於計程車每公里的油料成本，再將其對應到相對的9種車的每公里油料成本。再由每條路的速限和車種找出相對應的油耗比例，並把此比例利用車種比

例做加權(在此假設自用小客車、營業用小客車、二行程機車和四行程機車的油耗比例等於小客車的油耗比例，其他車種的油耗比例等於小貨車的油耗比例)。再計算各道路平均一車每單位距離的成本，如方程式(3.20)所示。

$$E = \sum fuel_{cost} \times cost_m \tag{3.20}$$

E爲各道路平均每車每單位距離的成本，$fuel_{rate}$爲各道路各種車的油耗比例，$cost_m$爲9種車的每公里之油料成本。最後依各道路的車輛數做加權，計算出平均一車行駛每單位距離的油耗成本，如方程式 (3.21)所示。

$$FC = \frac{\sum n_i \times E}{\sum_i n_i} \tag{3.21}$$

是故，目標函式值即爲方程式(3.22)所示。

$$f = TC + FC \tag{3.22}$$

3.4.2 限制條件

方程式(3.15)的限制條件應用有限長高斯汙染擴散模型並結合使用者平衡車流模型，計算出每次進行最佳化時，N個觀測點的每一種汙染物的汙染值，並要求這N個觀測點的六種汙染物(TSP、PM10、SOx、Pb、NOx、CO)，每個汙染物都要符合環保署所制定的法規，該法規如表3.1。

故在本章中的範例進行最佳速限和觀測站制定的數學流程如圖3.7，先將初始的起迄對、總車流、初始觀測點和初始速限丟入制定最佳速限的最佳化迴圈內，可得到最佳的速限制定，再將最佳的速限和路網結構丟入找尋最大汙染點的最佳化迴圈內，可找到最大的汙染濃度和位置，再判斷該點的汙染是否違反法規，若違反法規就增加爲新的觀測點再重新進行最佳速限的制定，直到最大汙染濃度符合法規，即爲收斂，就可得到最佳的政策制定和觀測點位置。

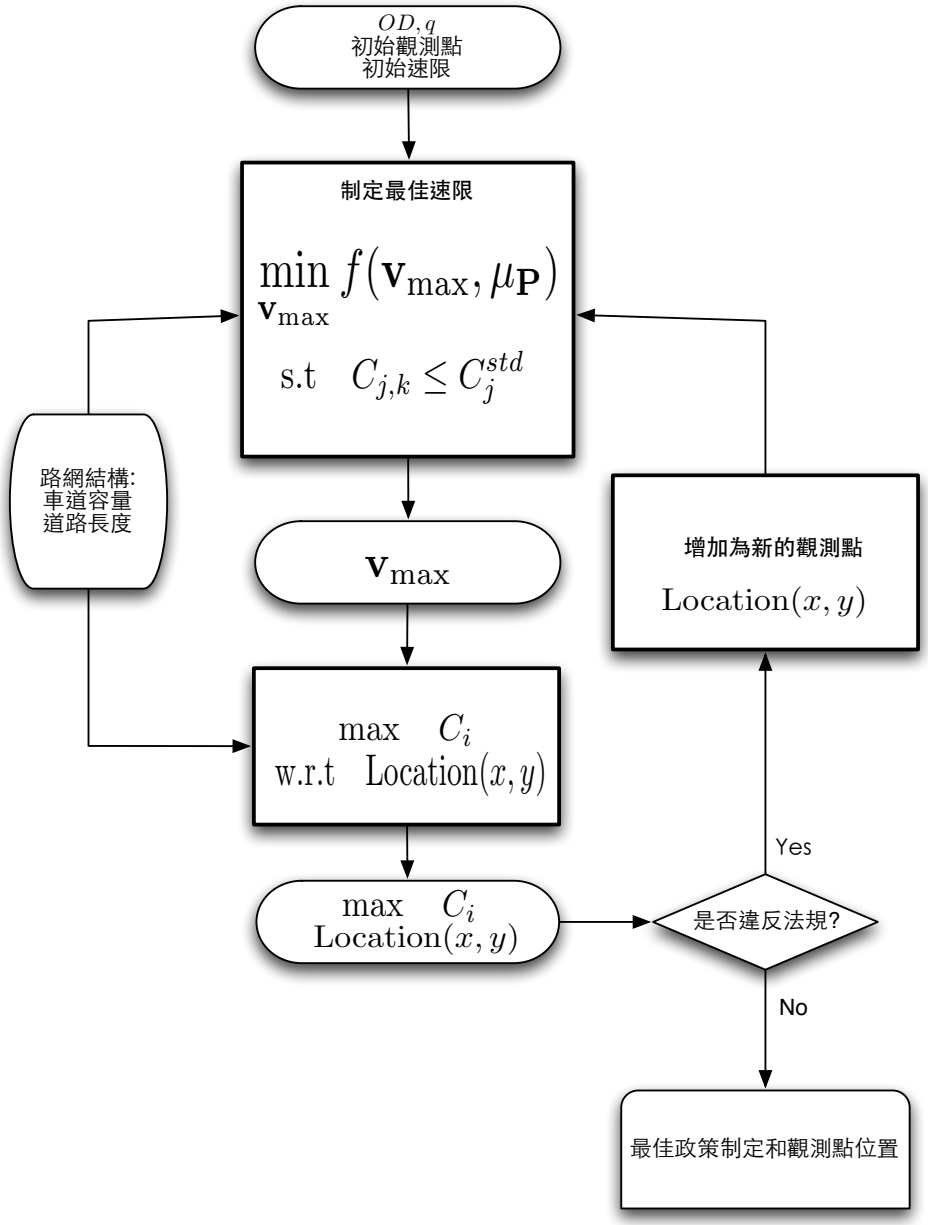


圖 3.7: 最佳速限和觀測站制定流程之數學形式

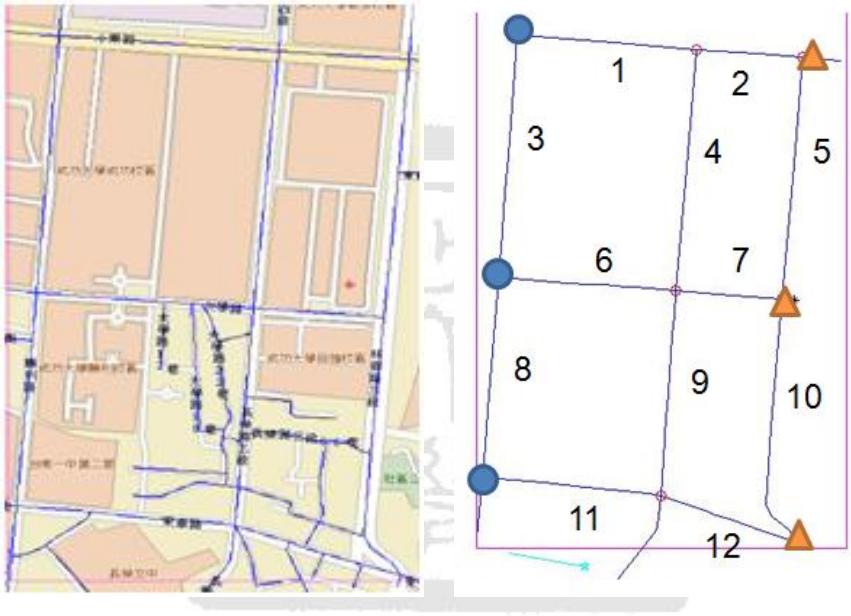
3.4.3 使用之演算法

在本論文中，所使用的演算法爲gclsolve，其爲一種Direct演算法。Direct這種演算法是不需要梯度計算而且可以找到全域最佳值的演算法，它首先會在設計空間的正中央計算，接下來演算法開始把設計空間切割成較小的矩形(Rectangles)，再計算矩形中央的值，因此這類演算法才會命名爲DIvided RECTangles。本論文所使用的gclsolve演算法，只能處理不等式拘束條件，另外它最後只會在函數計算次數(Function evaluations)或是疊代次數(Iterations)達

到我們指定的值爲會停止，因此理論上計算越多次答案越接近最佳解。

3.5 田字型路網範例

在此節，我們用簡單的田字型路網做範例，該田字型路網取自台南市成功大學附近，如圖3.8(a)，在實際做速限制定的時候，我們只考慮主要道路，街、巷、弄等以及校區內道路皆不在速限制定的範圍內。



(a) 原地圖　　(b) 示意簡圖

圖 3.8: 田字型路網示意圖

而該路網在制定速限的時候只考慮六條道路。在這個最佳化問題中，總車流爲$q = 2300$(車輛/小時,veh/hr)，平均分給9個OD對，如圖3.8(b)中左側三個點分別對應到右側三個點。

在本節的範例暫不考慮不確定因素帶來的影響，故所使用的車流模型爲本章所介紹的不包含人爲不確定因素影響的使用者平衡模型(User Equilibrium)。風向爲台南市2003到2008年風向的眾數：10度，風速爲台南市2003到2008年平均風速：2.561m/s，日照假設爲強烈日照，配合風速決定其大氣穩定度爲A-B。初始觀測點設置在後甲國中，如圖3.9中所示p1點。

表3.6爲最佳制定後的速限結果，此爲逐步找尋增加到第三個觀測點後，該路網才符合限制條件，路網上每一處的汙染的符合環保法規。由此結果，我們可以發現，路網中大部分的

表 3.6: 田字型路網範例定量問題應用UE車流的最佳速限制定結果

路名	速限
1.長榮路三段	79.84
2.東寧路	79.84
3.林森路二段	13.33
4.勝利路	40
5.大學路	79.84
6.小東路	79.84

速限都傾向接近速限上限($80m/hr$)，這是由於我們的目標函數，隨著速限的增加目標函數會越來越好的原因。而第三條路和第四條路的速限會較低，則是因爲當其速限調高後，會導致其在第2個觀測點處的NOx汙染物違反。在此問題中我們的目標函數值爲每單位的時間和油耗成本5.3337元。圖3.9爲三個觀測點的位置和用最佳制定後的速限所找出NOx汙染濃度的分佈圖，圖中三個黑色星點爲三個觀測點，可看出來第二和第三觀測點分別加在汙染濃度高的地方。

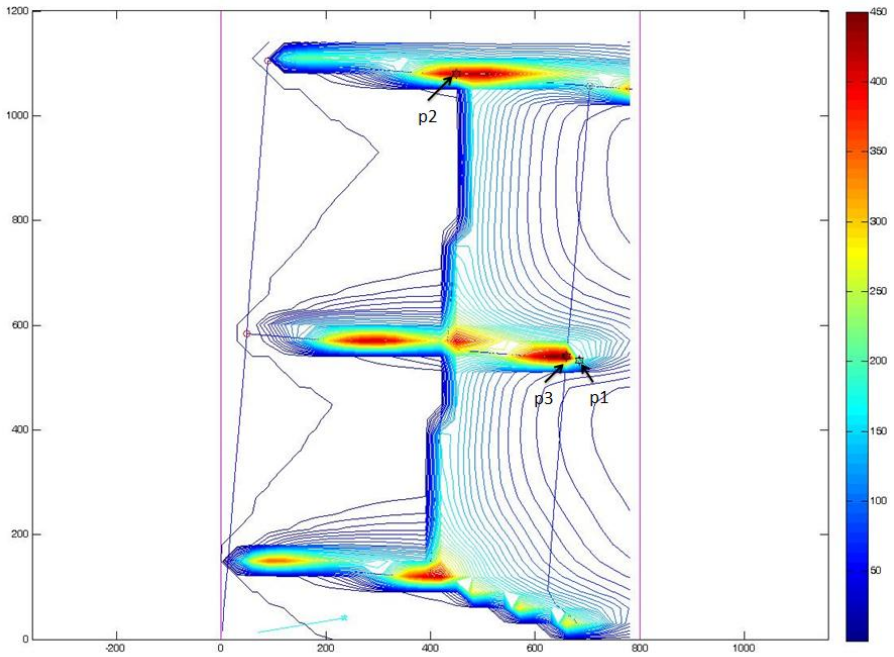


圖 3.9: 田字型路網定量問題在最佳速限制定下之NOx汙染濃度分佈圖

在最佳制定後的速限下，包含這三個觀測點在內，路網上的污染全符合環保法規，但若考量到不同的風向風速等不確定因素加入該路網，則在這三個觀測點符合法規的機率(聯合可靠

度)就變成，93.74%、50.37%以及66.01%，很明顯目前這組最佳制定的速限無法使路網上的觀測點在考量不確定因素時候，仍能維持一定的可靠度。但在實際的生活中，不確定因素是存在的，我們希望在速限制定時要考量更加眞實的情況，勢必要將不確定因素加入做討論。

第 四 章　不確定因素對制訂法規和測站點之影響

在第三章，我們針對移動式汙染源進行循序最佳化，利用逐步制定速限和設置觀測點的方式，使得整個路網上每一處的汙染濃度皆符合法規。但在第三章中，我們假設環境參數，風向風速和大氣穩定度爲一個定值，可是在實際上，每日的風向風速和大氣穩定度皆是不相同的，而這就是環境不確定因素。承我們再第二章中所提到，環境的不確定因素會大幅的影響觀測點汙染濃度的變化，若想要更加逼近眞實的情況，在模擬的時候，就必須將這些不確定因素納入考量。除了環境不確定因素之外，在第三章當中我們假設車流爲沒有任何隨機因素的車流模型，不論任何情況下，只要是相同的總車流，每次分配的車流皆會相同。可在實際上，即使人們每天都是同樣的出發點和目的地，但可能會因爲天氣、時間、心情等因素，而行走不同的路徑，而當人們行走不同的路徑時，連帶會帶動車流的變化，而車流的改變，將會影響到汙染物的濃度，這些人爲因素，也是不確定因素的一環，我們也必須將其納入考量內。是故，本章將把環境不確定因素和人爲的不確定因素加入到在第三章所提及的針對移動式汙染源之循序最佳化方法當中，形成一可靠度最佳化問題。在這問題當中，我們將會計算不確定因素所帶來的不同的汙染濃度值，並限制在每個觀測點所觀察的汙染濃度值符合法規的機率必須到達某個可靠度。在4.1節會先介紹包含人爲不確定因素的城市交通車流模型，4.2節則是針對環境不確定因素的模擬，4.3節則介紹整個最佳化的方法，在4.4節則展示簡單的田字型路網範例。

4.1　包含人爲不確定因素之城市交通車流模型

在第三章提及了一種模擬城市交通的車流模型:使用者平衡模型。這模型建立在每個使用者對道路上的資訊都是相當清楚，而且每個使用者所掌握的資訊式一模一樣的。換言之，只要該路網在同樣的總車流下，使用者所選擇的路徑和最後的車流分配是不變的。可是在實際生活當中，我們知道就算同樣每天都由A地出發到B地，同樣一位使用者，每天選擇的路徑可能都是不相同的，只能說使用者可能偏好某條路徑，但無法百分之百的肯定，使用者一定會選擇該條路徑。故我們知道使用者在選擇路徑上也是包含著很大的不確定性，所以爲了知道實際使用者在選擇路徑之機率，得到更接近實際的車流，故我們要使用包含不確定因素的城市交通車流模型，隨機使用者平衡模型(Stochastic User Equilibrium Model,SUE)。4.1.1節將介紹隨使用者平衡的理論，4.1.2節將介紹應用隨機使用者平衡的演算法。

4.1.1 隨機使用者平衡理論

在介紹隨機使用者平衡之前，先介紹隨機路網負載模型(Stochastic Network Loading Model,SNL)。隨機路網負載模型爲指派一系列的車流分配到交通路網上的一個模型，這模型在指派車流時，假設每條路的路段(link)實際旅行時間是固定的，不隨車流改變 [35]。且假設使用者對所感覺到的旅行時間爲一隨機變數，且使用者都是知道該分佈的 [35]。是故我們知道每條路的感覺旅行時間機率分佈函數就可以算出路徑選擇的機率 [35]。 而在隨機路網指派模型下，書上 [35]介紹了兩種路徑選擇模型，一爲邏輯回歸模型(Logit-based Loading Model)另外一種爲機率單位模型(Probit-based Loading Model)。

邏輯回歸模型爲一隨機效用函數模型(Random Utility Model)，其假設在可選擇集合裡面的每個方案的Utility都是理想且獨立分佈(identically and independently distributed, i.i.d.)的Gumbel variate。其由隨機效用函數和效用函數最大化的概念推出路徑選擇機率如下方程式 (4.1) [35]所示。

$$P_k = \frac{e^{-\theta c_k}}{\sum_{l \in \mathcal{K}} e^{-\theta c_l}} \tag{4.1}$$

方程式(4.1)中θ爲針對感覺時間做縮放的一個參數，c_k爲路徑k實際旅行時間，c_l爲路徑l實際旅行時間。

機率單位模型則是依據隨機效用理論的不連續選擇模型。其假設感覺的路徑旅行時間(perceived path travel time)爲常態分佈，這個分佈可由路段旅行時間的分佈推導而來。假設路段a的感覺旅行時間爲一隨機變數且爲常態分佈，其平均值爲路段a實際旅行時間，變異數成比例於平均值，如方程式(4.2)所示。

$$T_a \backsim N(t_a, \beta t_a) \tag{4.2}$$

$$C_k = \sum_a T_a \delta_{a,k} \tag{4.3}$$

其中β爲比例常數，由於在路徑k上的感覺的路徑旅行時間則爲組成該路徑的所有路段感覺旅行時間和，如方程式(4.3)。由於常態分佈的疊加性，路徑k的感覺路徑旅行時間的平均值和變異數分別如方程式(4.4)和方程式(4.5)所示。

$$c_k = \sum_a t_a \delta_{a,k} \tag{4.4}$$

$$\mathrm{var}(C_k) = \sum_a \beta t_a \delta_{a,k} = \beta c_k \tag{4.5}$$

故由此可得路徑的感覺旅行時間也爲一常態分佈如方程式(4.6)所示。

$$C_k \backsim N(c_k, \beta c_k) \tag{4.6}$$

當我們得知感覺路徑(path)旅行時間的機率密度函數後，前人有提出解析法 [42]和蒙地卡羅法 [43]來計算路徑選擇機率。但解析法由於必須做路徑列舉的關係並不適用於複雜的路網 [35]，故將用蒙地卡羅的方式演算。在4.1.2節中將會分別介紹邏輯回歸模型和機率單位模型的演算法 。

而隨機使用者平衡則是應用隨機路網負載模型，再加入平衡的概念。在此，感覺的旅行時間不單爲隨機變數也和車流有相依的關係，其相依性爲假設每個路段的平均(實際)旅行時間爲該路段車流的函數，即$t_a = t_a(x_a)$。故當我們已知路網的總車流q時，可用下列的方程式(4.7)到方程式(4.10)表示隨機平衡所需的條件。

$$t_a = t_a(x_a) \tag{4.7}$$

$$t_a = E\left[T_a\right] \tag{4.8}$$

$$x_a = \sum_k f_k \delta_{a,k} \tag{4.9}$$

$$f_k = qP_k \tag{4.10}$$

方程式(4.7)爲每個link的平均(實際)旅行時間爲該路段車流的函數，方程式(4.8)爲表示路段實際旅行時間爲路段感覺旅行時間的平均值，方程式(4.9)爲路段(link)和路徑(path)車流的關係，方程式(4.10)則確保路徑車流和總車流相合。而由這些條件，隨機使用者平衡模型到達平衡狀態時，沒有任何一個使用者可以藉由改變路徑來減少其感覺到的旅行時間。文獻上 [35]提出將SUE轉化爲一最小化的數學問題，如方程式(4.11)所示。

$$\min Z(\mathbf{x}) = -qS\left[\mathbf{c}(\mathbf{x})\right] + \sum_a x_a t_a(x_a) - \sum_a \int_0^{x_a} t_a(x)dx \tag{4.11}$$

$$\text{其中} \quad \frac{\partial S(\mathbf{c}(\mathbf{x}))}{\partial c_k} = P_k$$

方程式(4.11)的解將會遵守方程式(4.7)到方程式(4.10)所提出的條件。而SUE問題除了可用數學解之外Sheffi所撰寫的書上 [35]有提出用演算法計算，而這個演算法將在下一節介紹。

4.1.2 隨機使用者平衡演算法

- 連續平均演算法

  文獻上提出連續平均演算法(Method of Successive Average)來處理SUE車流分配的問題，該演算法流程如下：

  - Step 0:由初始的旅行時間(t_a^0),根據某一個隨機網路負載(ex:Logit 或 Probit model)產生一組車流，設定n=1。
  - Step 1:更新旅行時間$t_a^n = t_a(x_a^n)$。
  - Step 2:由現在的旅行時間t_a^n,依據選定的隨機網路負載模型產生一虛擬的路段車流y_a^n
  - Step 3:找出新的路段車流。

$$x_a^{n+1} = x_a^n + \frac{1}{n}(y_a^n - x_a^n) \tag{4.12}$$

  - Step 4:若符合收斂條件,則停止,或是n=n+1,回到step1

    收斂條件:

$$\frac{\sqrt{\sum_a (x_a^{n+1} - x_a^n)^2}}{\sum_a x_a^n} \leq \epsilon \tag{4.13}$$

- 邏輯回歸模型(Logit Model)演算法

  以下演算法中i, j分別表示節點i和節點j，$i-j$表示節點i到節點j

  - Step 1: 設定路網中每個節點的$r(i), s(i)$
    - $r(i)$: 自起點到節點i沿最小旅行時間路徑之旅行時間

* $s(i)$: 自節點i到終點沿最小旅行時間路徑之旅行時間

– Step 2:指定link likelihood函數

$$L(i-j) = \begin{cases} exp[r(j) - r(i) - t(i-j)], & \text{if } r(i) < r(j)) \text{ and } s(i) > s(j) \\ 0, & \text{other} \end{cases} \tag{4.14}$$

– Step 3:計算每條link的權重(link weight)

$$w(i-j) = \begin{cases} L(i-j), & \text{if } i = 1 \\ L(i-j)\sum_{o \in in} w(o \to i), & \text{other} \end{cases} \tag{4.15}$$

– Step 4:計算車流

$$x(i-j) = \begin{cases} q\frac{w(i-j)}{\sum_{o \in in} w(o \to j)}, & \text{if } j = s \\ \sum_{d \in out} x(j \to d)\frac{w(i-j)}{\sum_{o \in in} w(o \to j)}, & \text{other} \end{cases} \tag{4.16}$$

Step 3和4中的$o \in in$ 和$d \in out$分別表示哪幾個節點的車流可能進入該節點，以及該節點的車流可能流往哪幾個節點之集合。

- 機率單位模型(Probit Model)演算法

– Step 0: 初始. 設定$l = 1$。

– Step 1: 取樣. 依據$T_a \sim N(t_a, \beta t_a)$對每一條link取$T_a^{(l)}$。

– Step 2: All-or-nothing指派. 根據step1取樣的車流$T_a^{(l)}$,將q指定給最短的路徑. 在此步驟將會產生一系列的路段車流$X_a^{(l)}$。

– Step 3: 平均車流.

$$x_a^{(l)} = \frac{[(l-1)x_a^{(l-1)} + X_a^l]}{l} \tag{4.17}$$

– Step 4: 停止機制.

(a)讓

$$\sigma_a^{(l)} = \sqrt{\frac{1}{l(l-1)}\sum_{m=1}^{l}[X_a^m - x_a^{(l)}]^2} \tag{4.18}$$

(b)若 $\max_a \left\{\frac{\sigma_a^{(l)}}{x_a^{(l)}}\right\} \leq \kappa$ 則停止,其車流爲$\left\{x_a^{(l)}\right\}$.若未滿足,則$l = l + 1$回到Step 1.

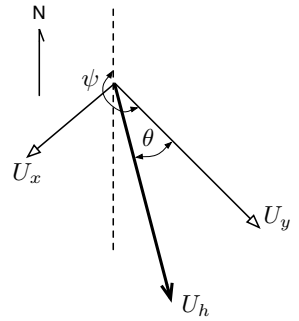


圖 4.1: 主風向角和風向的關係, ψ: 主風向角, U_y:主風向角上的風速, U_h:垂直主風向角方向的風速

在本章中，所使用的SUE車流模型將利用MSA演算法配合Probit隨機附載模型進行演算，在文獻上 [35]有提及Logit隨機附載模型的演算法在遇到大型路網的時候，會有路徑列舉的問題，並不適合做大型路網的運算，是故在此我們選擇用Probit隨機附載模型的演算法。

4.2 環境不確定因素模擬

環境的不確定因素主要爲三個部份，風向風速和雲量的模擬。雲量的部分主要爲影響在3.2.4節中提及的擴散係數之大氣穩定度出現的不同機率，本節將先提風向風速的不確定因素模擬，再提雲量的部分。 McWilliams等人在1979年和1980年提出模擬風向風速的機率密度函數(Probability density function,PDF) [44,45]。他將風速分成兩個方向的分量，一個爲沿著主風向角(prevailing wind direction)的方向，另一爲垂直於主風向角的方向。我們指定實際風速爲U_h，主風向角 ψ，爲風速沿著主風向角上的分量爲U_y，而風速垂直於主風向角的分量爲U_x。圖4.1風速分量間的關係。McWilliams等人 [44] 在文獻中提及風速在不同方向上的量值在統計學上可視爲互相獨立，故風速沿著主風向角的分量和其正交方向的分量也視爲獨立，他們並進一步假設在某已知方向的風速分量爲常態分佈(Normal distribution)，即爲U_y和U_x方向，如方程式(4.19)所示。

$$U_y \sim N(\mu, \sigma^2), \quad U_x \sim N(0, \sigma^2) \tag{4.19}$$

根據McWilliams等人 [44]，風速U_h和風向θ(此處的風向θ是指相風向對於主風向角的角度)的分佈可用$U_h = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$和$\theta = \tan(U_x/U_y)$來計算求得。 方程式(4.20)則分別

爲U_h和U_θ的PDF，其中I_0爲修正的第零階第一種Bessel函數(modified Bessel function of the first kind and order zero)。

$$f_{U_h}(v) = \left[\frac{1}{\sigma^2} v e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}}\right] \cdot e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}} \cdot I_0\left(\frac{\mu}{\sigma^2} v\right) \tag{4.20a}$$

$$f_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}} \left[1 + \frac{\mu}{\sigma}\sqrt{2\pi}\sin(\theta) \cdot \Phi\left(-\frac{\mu}{\sigma}\sin(\theta)\right) \cdot e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\mu}{\sigma}\sin(\theta)\right)^2}\right] \tag{4.20b}$$

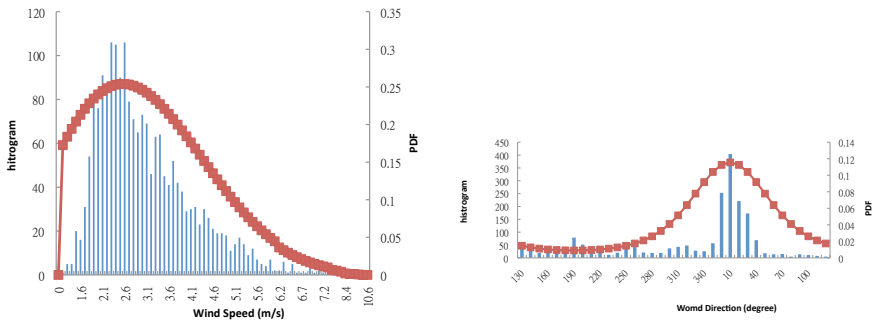
$$\text{其中} \quad \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mathbf{x}}^{\infty} e^{\frac{\mathbf{x}^2}{2}} d\mathbf{x} \tag{4.20c}$$

設定 $\gamma = \mu/\sigma$。並向台灣中央氣象局取得台南市測站2003年到2008的每日平均風向風速資料。由這些資料我們計算出風向(θ)的變異數(variance)爲0.563徑度(radian)，而根據McWilliams等人 [45]指出利用此風向的變異數，由方程式(4.21a) 可得到 γ的值，得知 γ之後先計算出風速平方的平均值，再利用方程式(4.21b)可計算得到 σ和 μ。最後，由風向風速的資料指出主風向角爲100度。

$$\mathrm{Var}[\theta] = 3.276 + 2.6\gamma - 0.274\gamma^2 - 0.146\gamma^3 \tag{4.21a}$$

$$E[v^2] = \sigma^2(\gamma^2 + 2) \tag{4.21b}$$

圖4.2(a)和4.2(b)分別爲利用方程式(4.20)預測得出的風向風速的的PDF和累積分佈圖。



(a) Wind Speed(m/s)　　(b) Wind Direction(degree)

圖 4.2: 台南市風向風速不確定因素模型

在雲量不確定因素的模擬部分，我們先向台灣中央氣象局取得台南市測站2003年到2008的每日雲量資料，並依其雲量對應的日照等級配合不同風速出現的機率，可得到不同大氣穩定度的出現機率。表3.3中括弧內其爲每個大氣穩定度出現的機率。而雲量等級的分佈資料如圖4.3。

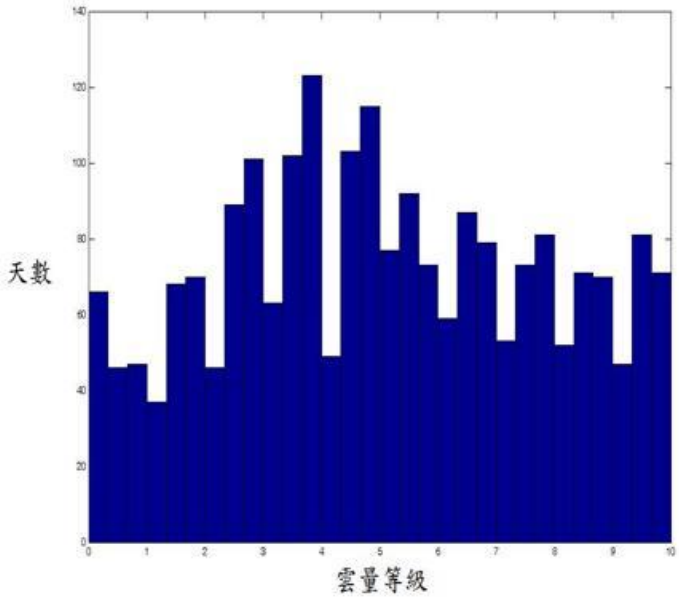


圖 4.3: 台南市2003年到2008年雲量等級分佈圖

4.3 最佳化方法

在不確定因素下的交通法規與測站點的最佳政策制定數學型式如方程式(4.22)和方程式(4.23)。其中制定交通法規的公式類似於文獻中所提到的可靠度最佳化設計(Reliability-based Design Optimization,RBDO)公式，但是有幾點明顯的特徵是不相同的。(1)風向風速所產生的非高斯隨機設計參數(2)汙染物符合的聯合可靠度必須要滿足環保署的標準(3)在計算汙染濃度時所應用到的離散隨機參數“大氣穩定度”。其數學是如方程式(4.22)所示。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{v}_{\max}} \quad & f(\mathbf{v}_{\max}, \boldsymbol{\mu}_{\mathbf{P}}) \\ \text{subject to} \quad & \Pr\left[\bigcup_j C_A^j > C_j^{\text{std}}\right] \le P_{\text{f}} \\ \text{where} \quad & j \in \{\text{TSP}, \text{PM10}, \text{SOx}, \text{Pb}, \text{NOx}, \text{CO}\} \\ & A: \text{觀測點的集合} \end{aligned} \tag{4.22}$$

方程式(4.22)中C_A^j爲不同汙染物在不同觀測點的汙染濃度值，C_j^{std}爲不同汙染物的標準值，P_f爲可容許的破壞機率，在此設定爲10%。 找尋測站點的數學式則如方程式(4.23)。

$$
\begin{aligned}
\max \quad & P_{\mathrm{f}} \\
\text{w.r.t} \quad & \mathrm{Location}(x, y) \\
& 0 \leq x \leq x_{max} \\
& 0 \leq y \leq y_{max}
\end{aligned}
\tag{4.23}
$$

方程式(4.23)中x_{max}和y_{max}分別表示地圖上x軸和y軸的最大值，目標函式則爲找尋地圖上不符合可靠度的最大點(即爲破壞機率最大點)，經判斷後若該點破壞機率大於我們所設定的值，則當成新的觀測點加入到制訂交通法規的式內，此時再重新做最佳速限的制定。將要求每個觀測點的每組汙染物其聯合可靠度都要符合法規標準。藉由逐步判斷地圖上的破壞機率最大點並增加觀測點再制定速限，使得最後整個路網上任一處其污染都是符合聯合可靠度的，而在此設定可靠度爲90%(破壞機率P_f:10%)。

方程式(4.22)中目標函式與第3.4.1節中所描述的相同，在本章的範例將車流模型換成隨機使用者平衡模型。限制條件則爲每個觀測點在不同風速風向下的六種汙染物必須滿足環保署標準的機率必須達到一定的可靠度。

故在本章中考量不確定因素後進行最佳速限和觀測站制定的數學流程如圖4.4，和第三章的流程相同，先丟入初始條件，再進行最佳速限制定，在此限制條件爲考量每個觀測點在不同風向風速下汙染物濃度不符合法規得的破壞機率要小於某個數值，得到最佳速限後，再找尋路網上，汙染物濃度不合法規的的破壞機率最大點，並判斷該點的破壞機率是否可以接受，若不能接受將該點增加爲新的觀測點，並重新制定最佳速限，直到地圖讓每一處的汙染物濃度不合法規的破壞機率皆可接受爲止，即可得到最佳政策和觀測點位置。

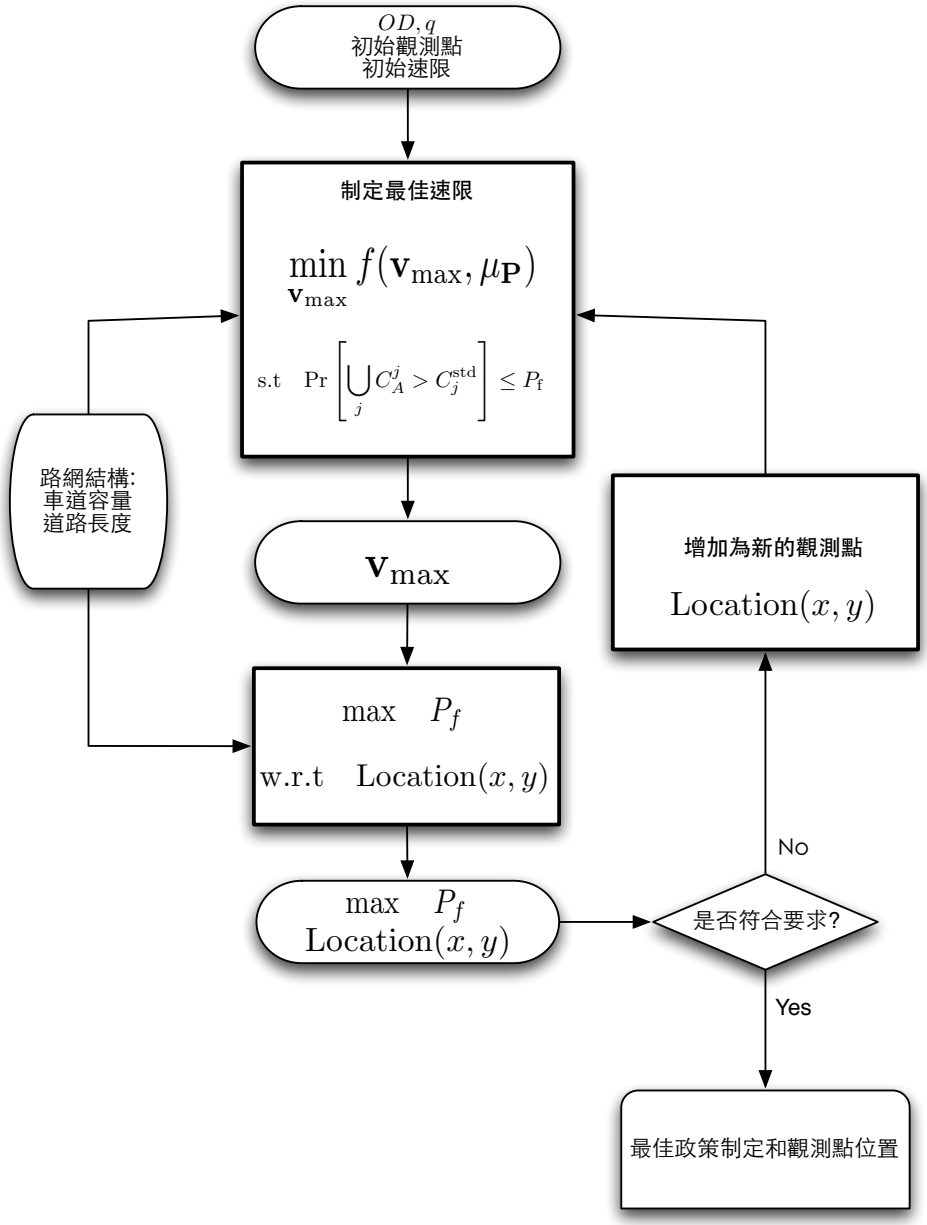


圖 4.4: 包含不確定因素考量的最佳速限和觀測站制定流程之數學形式

4.4 田字型路網範例與結果

在這節將利用田字型路網，應用模擬人爲不確定因素的隨機使用者平衡車流模型，做只有人爲不確應因素和包含人爲及環境不確定因素的法規設計，最後再用第三章所提及之使用者平衡車流模型，配合本章的不確定因素取風向風速的方法做只有環境不確定因素的法規設計。

第一個範例爲只考量人爲不確定因素的法規設計，在此車流應用隨機使用者平衡模型。在此例子中，除了車流模型使用隨機使用者平衡模型外，其所使用的路網和參數設定皆和3.5小節的設定相同。參數簡列如下：

- 總車流：2300 veh/hr
- 9組OD對
- 風向：10度
- 風速：2.561m/s

其速限結果如表4.1所示。

表 4.1: 田字型路網應用SUE車流定量問題的最佳速限制定結果

路名	速限
1.長榮路三段	79.98
2.東寧路	79.95
3.林森路二段	13.33
4.勝利路	8.72
5.大學路	79.95
6.小東路	79.95

如同3.5節的範例結果所示，使用SUE車流模型，大部分的道路速限皆接近速限上限，只有第三條和第四條路因爲污染濃度的關係被限制到較低的速度。此範例逐步找到二個觀測點如圖4.5所示，而目標函示值爲5.3289元。

第二個範例爲考量人爲和環境不確定因素的法規設計，車流應用隨機使用者平衡模型。在這個可靠度最佳化問題中，總車流設定爲q=40(veh/hr)，路網仍爲田字型路網，一樣爲9個OD對。風向風速則利用4.2節提到的方法，隨機取10000組，配合10000組隨機雲量，可得到10000組隨機風向風速和大氣穩定度資訊，聯合可靠度設定爲90%。

表4.2爲最佳制定後的速限結果，所有路的速限幾乎全到達速限上限，而且，透過逐步找觀測點程式發現，該路網上包含現有觀測點在內，每一處汙染皆符合聯合可靠度90%的設定。表示在此車流下，車輛所產生的污染幾乎不影響到該路網。而此範例的目標值爲5.3278元。

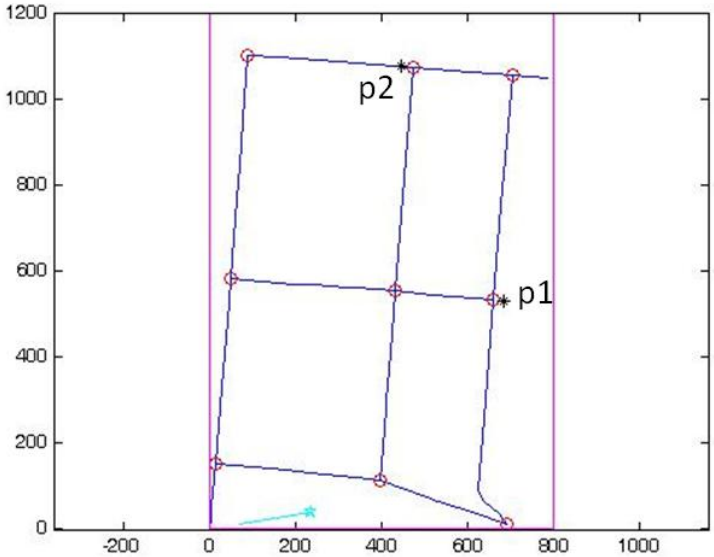


圖 4.5: 田字型路網應用SUE車流定量問題的兩個觀測點位置

表 4.2: 田字型路網應用SUE車流模型RBDO問題之最佳速限置定結果

路名	速限
1.長榮路三段	79.9939
2.東寧路	79.9939
3.林森路二段	79.9939
4.勝利路	79.9939
5.大學路	79.9817
6.小東路	79.9817

其初始觀測點在最佳速限下的聯合可靠度分爲99.98%，此速限下該路網上聯合可靠度最低的點如圖 4.6中所示五芒星處，其聯合可靠度也有91.98%。

第三個範例爲只考量環境不確定因素的法規設計，車流模型應用使用者平衡(UE)模型。此範例設定的參數和第二個範例相同，簡列如下:

- 總車流：40veh/hr
- 9組OD對
- 10000組風向風速和大氣穩定度等環境不確定因素資料

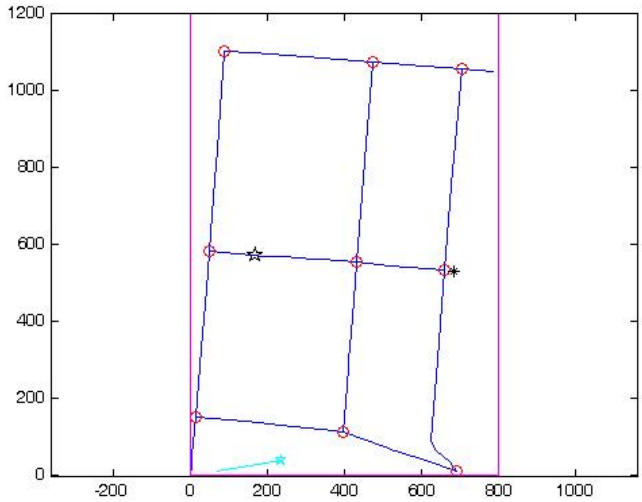


圖 4.6: 田字型路網應用SUE車流RBDO問題路網上聯合可靠度最低點位置圖

表4.3爲考量聯合可靠度90%最佳制定後的速限結果。經過逐步找觀測點最佳化後，找到第二個觀測點後，該路網就全部符合聯合可靠度90%的要求。在此範例中第一條路和第四條的速限較低，則是爲了要使整體的目標函式越好的原故。而此目標函式結果爲5.3283元。

表 4.3: 田字型路網應用UE車流RBDO問題之最佳速限制定結果

路名	速限
1.長榮路三段	11.25
2.東寧路	79.98
3.林森路二段	79.98
4.勝利路	31.88
5.大學路	79.95
6.小東路	79.98

其兩個觀測點在最佳速限下的聯合可靠度分爲99.98%和94.76%，此速限下該路網上聯合可靠度最低的點如圖4.7中所示五芒星處，其聯合可靠度也有92.91%。

比較第二個和第三個範例，兩者除了在車流模型所使用的不同之外，其餘參數皆設定相同，而兩個不同的車流模型皆可提供一組最佳速限解使得整個地圖上各處皆是符合聯合可靠度90%這個條件。表4.4中可發現，SUE車流模型計算時間較少且目標函式值較好一點，但用UE模型的最後該路網上聯合可靠度最低的點可靠度較高。若考量到將來設置監測站的成本了話，SUE模型所建議的監測站數目是較少成本的。

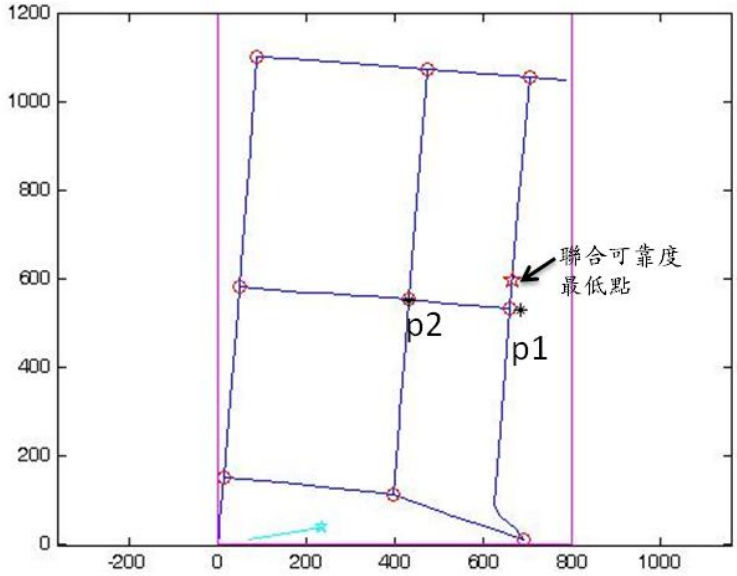


圖 4.7: 田字型路網應用UE車流RBDO問題路網上聯合可靠度最低點位置圖

表 4.4: 田字型路網應用UE和SUE車流模型做最佳設計後的比較

車流模型	UE	SUE
Receptor數目	2	1
目標函數值(元)	5.3283	5.3278
運算時間(小時)	11.8978	4.8117
地圖上聯合可靠度最低的點之聯合可靠度	92.91%	91.98%

最後比較第三章中所做的未考量人爲不確定因素的法規設計範例(應用UE車流模型)和本章的考量人爲不確定因素的法規設計範例(應用SUE車流模型)，可發現這兩個範例的結果，第三條和第四條路的速限都特別的低，這是因爲利用較低的速限限制這兩條路的車流量，使其汙染不會違反。一樣可以發現使用SUE模型的目標函數結果稍微較使用UE模型的結果好，所找到可直接代表該路網的觀測點數也較少，若就將來設置觀測站的成本來說，使用SUE模型模擬是較爲理想的。但我們可以注意到這兩個範例的觀測點在加入環境不確定因素之後，符合法規的機率都會降低，故在本章中，第二個和第三個範例再分別利用UE和SUE模型進行考量環境不確定因素的最佳化的制定。在考量環境不確定因素的最佳化制定結果中，不論是使用哪種車流模型，都可是確保在路網上每一處的汙染物符合法規的機率都達到90%以上，其中SUE模型的目標函試結果較低、運算時間較短且須設的代表型測站較少，將來若要進行測站設立，使用SUE模型會是較使用UE模型節省成本且快速。

第 五 章　台南市區域路網範例

5.1　路網描述

台南市位於南台灣，有超過77萬人口，土地面積約175.64平方公里，圖5.1爲本章範例所使用的台南市路網，主要爲台南部分的東區和中區，包含了台南重要的運輸中心-台南火車站，還有北門路和中山路的商圈以及國立成功大學，在此處我們主要考慮的道路爲主要幹道大約有23條，不考慮街、巷、弄以及校區內道路，除了育樂街外，由於此條街有相當多學生使用，尖峰時刻，人車擁擠，故在此也做道路速限設計和汙染控制的考量。

圖 5.1: 台南市區域路網圖

該路網我們只考慮主要道路，共有23條主要道路，故有23個設計變數。在此我將同路不同段是爲兩條路，依照第三章所敘述的節點(Node)和路段(Link)定義，該路網共有36個節點，55條路段，如圖5.2，圖中紅色圓圈表節點(node)，L1到L55爲每個路段的編號。接下來在第五章中爲了避免路段(link)編號和道路編號相混淆，路段編號開頭爲L，道路編號開頭爲R，而23條道路的編號和對應路名如表5.1相對應的圖爲5.3。

5.2　未考量不確定因素之法規設計

在這個最佳化問題中，總車流爲q=1500(車輛/小時,veh/hr)，平均分給8個OD對，如圖5.3中所示，8個OD對分別爲圖5.4中左側四個起點到右側兩個終點，共8個OD對。所使用

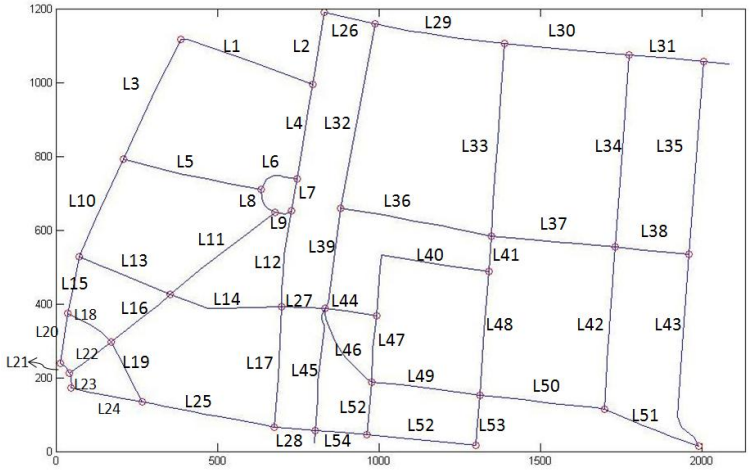


圖 5.2: 台南市區域路網路段編號

表 5.1: 台南市區域路網道路邊號

編號	路名	編號	路名
R1	長榮路三段	R13	北門路-中山路-成功路-富北街圓環
R2	東寧路	R14	育樂街
R3	林森路二段	R15	民族路一段
R4	民族路二段	R16	前鋒路
R5	東寧路西段	R17	大學路西段
R6	青年路	R18	中山路(台20)
R7	北門路二段	R19	民權路二段
R8	勝利路	R20	公園路
R9	大學路	R21	中山路-開山路-南門路-中正路圓環
R10	公園南路	R22	小東路(縣180)
R11	北門路一段	R23	民權路一段
R12	成功路		

的車流模型爲不包含人爲不確定因素影響的使用者平衡模型(User Equilibrium)。風向爲台南市2003到2008年風向的眾數：10度，風速爲台南市2003到2008年平均風速：2.561m/s，日照假設爲強烈日照，配合風速決定其大氣穩定度爲A-B。初始觀測點設置在後甲國中，如圖5.4中所示黑色星點，並使用gclSolve演算法做最佳化。

表5.2爲最佳制定後的每條路速限結果，一共逐步增加到第五個觀測點，最後整個路網上每一處的污染都是符合標準的。在此範例結果中，在第2個觀測點NOx汙染濃度最大，使得

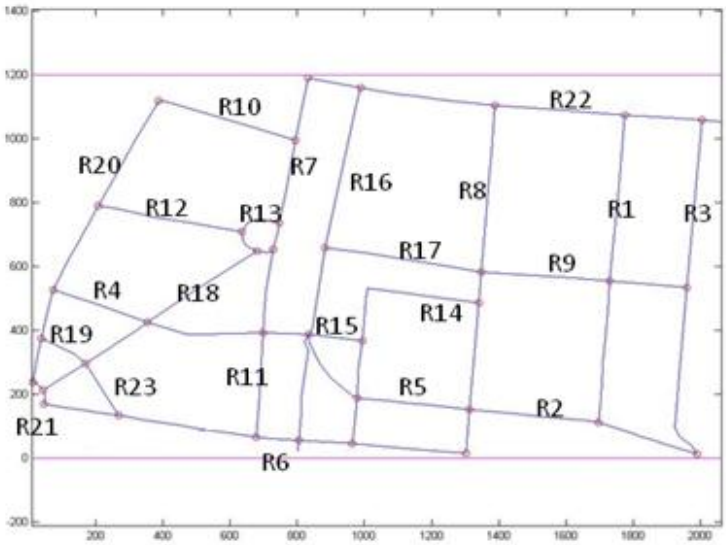


圖 5.3: 台南市區域路網道路編號

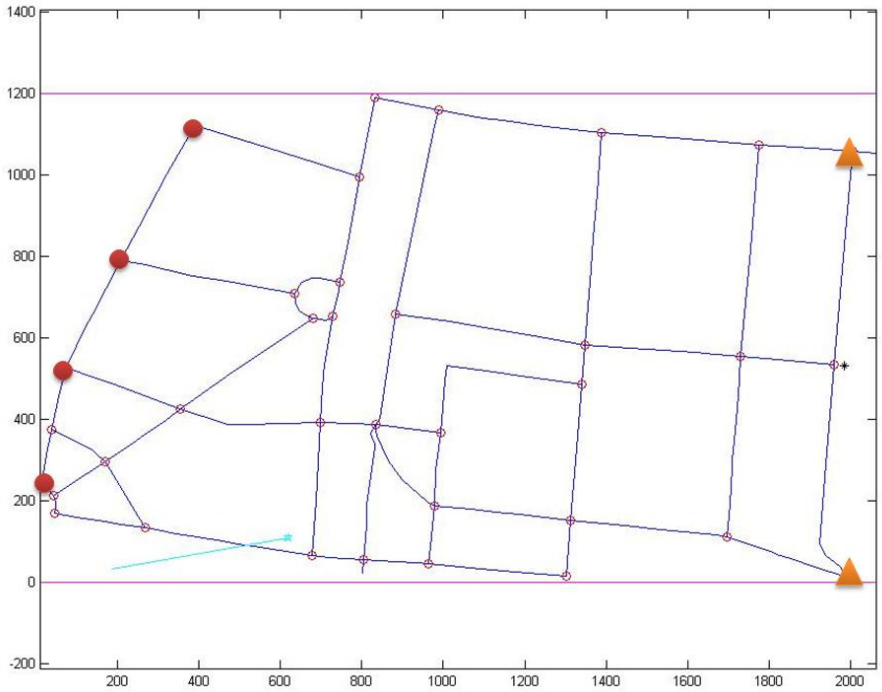


圖 5.4: 台南市區域路網起訖對

限制條件剛好到達限制條件邊界，若改變速限的結果，則會使在第2觀測點NOx汙染超出標準。

圖5.5爲在最佳制定速限下和5個找出來的觀測點針對NOx汙染物所作的汙染濃度分佈圖，可以看出來這5個觀測點所設置的地點，皆是路網中汙染濃度較高的點。綜合車流和速限結果並以R22小東路的速限結果來看，最後速限制定爲40km/hr，而行經的車流爲超

表 5.2: 台南市路網未考量不確定因素問題最佳制定速限結果

編號	路名	速限	編號	路名	速限
R1	長榮路三段	31.11	R13	北門路-中山路-成功路-富北街圓環	40
R2	東寧路	75.56	R14	育樂街	75.56
R3	林森路二段	40	R15	民族路一段	66.67
R4	民族路二段	75.56	R16	前鋒路	66.67
R5	東寧路西段	40	R17	大學路西段	66.67
R6	青年路	66.67	R18	中山路(台20)	40
R7	北門路二段	40	R19	民權路二段	57.78
R8	勝利路	66.67	R20	公園路	40
R9	大學路	75.56	R21	中山路-開山路-南門路-中正路圓環	31.11
R10	公園南路	4.45	R22	小東路(縣180)	40
R11	北門路一段	13.33	R23	民權路一段	13.33
R12	成功路	66.67			

過300veh/hr以上，若讓速限加高，經過的車流會增加，導致在第2觀測點的汙染不合，若讓速限降低，行經的車流減少，而減少的車流將會行駛其他條路，而進一步使得該條路的汙染濃度增加。而且目標函式爲一隨速限增加而目標值越小的的函式，故降低速限除了可能會增加其他條路的汙染外，也會增加目標值。而表5.2的速限結果可達到我們路網各處符合汙染且目標函式成本最低的要求。而此範例目標值爲每單位油耗和時間成本7.137元。

儘管以此路網來說，在不考慮任何不確定因素，其可以提供一組速限設計值，使得汙染符合和社會成本最小。但若考量到加入風向風速大氣穩定度的不確定因素後，該路網的每個觀測點分別的聯合可靠度顯示表5.3，其汙染不再全部的符合環保署法規，尤其是第2、第3和第4三個觀測點的可靠度甚至不到一半。

5.3 考量不確定因素之法規設計

在本節的法規設計範例當中，第一個範例爲只考量人爲不確定因素之法規設計(應用SUE車流模型)，第二個範例爲只考量環境不確定因素之法規設計(應用UE車流模型)，第三個範例爲同時考量人爲和環境不確定因素之法規設計。

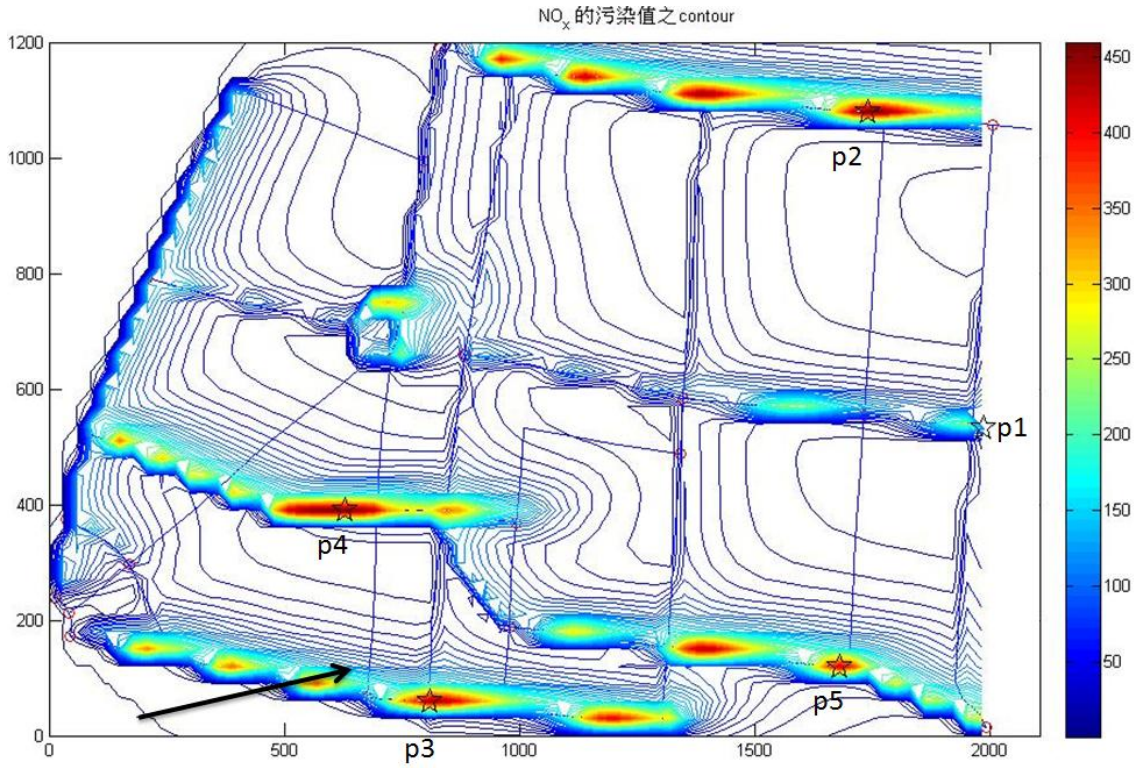


圖 5.5: 台南市路網未考量不確定因素問題在最佳制定速限下NOx的污染濃度

表 5.3: 台南市路網應用UE車流五個觀測點的聯合可靠度

觀測點	聯合可靠度
p1	0.958
p2	0.4966
p3	0.4152
p4	0.425
p5	0.5154

5.3.1 台南市路網只考量人爲不確定因素之法規設計範例

在這個法規設計範例中，將車流模型改成考慮人爲不確定因素的隨機使用者平衡車流模型，而其餘參數和5.2節範例設定相同，簡列如下:

- 總車流：1500 veh/hr
- 8組OD對
- 風向：10度

- 風速：2.561 m/s

逐步觀測點增加到第三點後，該路網上每一點的污染皆符合標準，表5.4爲這三個觀測點最佳制定後的每條路速限結果，速限結果並未使汙染濃度到達邊界。但任意改變速限結果將會使車流重新分配，可能會導致在某些觀測點的汙染濃度不符。而此路網的最佳目標值爲每單位油耗和時間成本5.7799元

表 5.4: 台南市路網只考量人爲不確定因素問題之最佳速限制定結果

編號	路名	速限	編號	路名	速限
R1	長榮路三段	10.37	R13	北門路-中山路-成功路-富北街圓環	75.56
R2	東寧路	60.74	R14	育樂街	57.78
R3	林森路二段	78.52	R15	民族路一段	69.63
R4	民族路二段	78.52	R16	前鋒路	75.56
R5	東寧路西段	78.52	R17	大學路西段	78.52
R6	青年路	78.52	R18	中山路(台20)	78.52
R7	北門路二段	19.26	R19	民權路二段	75.56
R8	勝利路	4.45	R20	公園路	78.52
R9	大學路	69.63	R21	中山路-開山路-南門路-中正路圓環	40
R10	公園南路	31.11	R22	小東路(縣180)	1.48
R11	北門路一段	78.52	R23	民權路一段	51.852
R12	成功路	51.85			

在此最佳速限下的結果，並未考慮環境不確定因素，若考慮環境不確定因素後，在這三個觀測點的聯合可靠度分別爲96.82%、52.84%以及55.42%。由聯合可靠度來看，其汙染不再全部符合環保署法規，尤其是第2和第3兩個觀測點的可靠度約只有一半多一點。

比較5.2節和此節有考量人爲不確定因素的範例結果，如表5.5，我們可發現未考量人爲不確定因素的法規設計(應用UE車流模型)需要時間較短，但有考量人爲不確定因素的法規設計(應用SUE車流模型)的觀測點數較少且目標函式值較好，若考慮將來設置監測站數目的成本，使用SUE模型作分析會是較好的選擇，但相對需要付出較多的時間。

表 5.5: 台南市路網應用UE和SUE車流問題之比較

車流模型	UE	SUE
Receptor數目	5	3
目標函數值(元)	7.137	5.7799
運算時間(小時)	1.2202	22.74

5.3.2 台南市路網只考量環境不確定因素之法規設計範例

在只考量環境不確定因素之法規設計問題中，總車流爲$q = 30(veh/hr)$，平均分給8個OD對，風向風速利用4.2節提到的方法，隨機取5000組，配合5000組隨機雲量，可得到5000組隨機風向風速和大氣穩定度資訊。

表5.6速限結果爲考量聯合可靠度90%(破壞機率10%)時的速限結果。此次逐步增加的觀測點條件爲，在設計的最佳速限下，該路網的聯合可靠度不符合且最低的點，利用逐步最佳化增加到第6個觀測點，而最後該路網上每處的汙染值都符合聯合可靠度90%的要求。這六點位置分別如圖 5.6所示，而這六個點在最後的最佳設計速限下的聯合可靠度如表5.7，目標值則爲5.5202元。

表 5.6: 台南市路網只考量環境不確定因素問題之最佳制定速限結果

編號	路名	速限	編號	路名	速限
R1	長榮路三段	78.52	R13	北門路-中山路-成功路-富北街圓環	22.22
R2	東寧路	75.56	R14	育樂街	75.56
R3	林森路二段	75.56	R15	民族路一段	75.56
R4	民族路二段	78.52	R16	前鋒路	75.56
R5	東寧路西段	78.52	R17	大學路西段	75.56
R6	青年路	75.56	R18	中山路(台20)	75.56
R7	北門路二段	48.89	R19	民權路二段	78.52
R8	勝利路	75.56	R20	公園路	78.52
R9	大學路	75.56	R21	中山路-開山路-南門路-中正路圓環	40
R10	公園南路	75.56	R22	小東路(縣180)	75.56
R11	北門路一段	75.56	R23	民權路一段	57.78
R12	成功路	22.22			

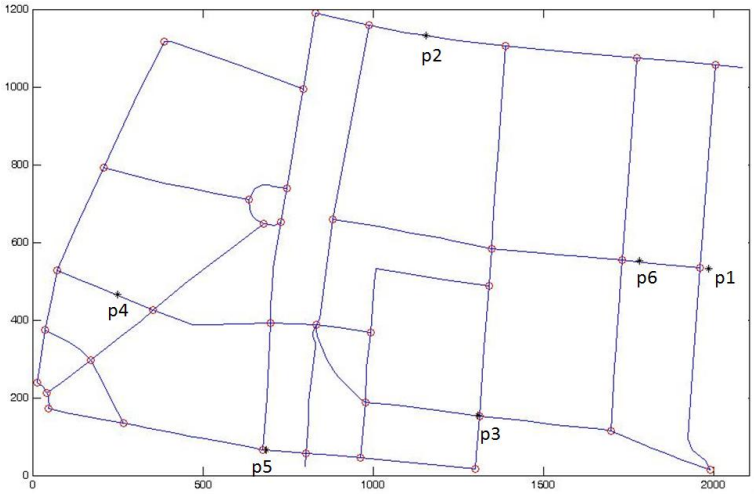


圖 5.6: 台南市路網只考量環境不確定因素問題逐步找到之六個觀測點

表 5.7: 台南市路網只考量環境不確定因素問題之六個觀測點的可靠度

觀測點	聯合可靠度
p1	1
p2	0.9074
p3	0.9282
p4	0.9078
p5	1
p6	0.9982

在此RBDO問題中，若總車流和維持q=1500(veh/hr)，該問題會找不到最佳解，故在此調降總車流到q=30(veh/hr)時，才找到這一組解可以使得路網上每一處皆滿足聯合可靠度大於90%。

5.3.3 台南市路網考量人爲和環境不確定因素之法規設計範例

此小節將考量人爲和環境不確定因素的法規設計問題，參數設置和5.3.2節相同，而車流模型改用包含人爲不確定因素的隨機使用者平衡模型。參數簡列如下：

- 總車流爲q=30(veh/hr)
- 8個OD對

- 風向風速大氣穩定度5000組
- 可靠度：90%

表5.8爲考量聯合可靠度90%(破壞機率10%)時的速限結果。此範例則是增加到第3個觀測點即可使該路網上每處的汙染值都符合聯合可靠度90%的要求。這三點位置分別如圖 5.7所示，而這三個點在最後的最佳設計速限下的聯合可靠度如表“觀測點之聯合可靠度”，目標值則爲5.5133元。

表 5.8: 台南市路網考量人爲和環境不確定因素問題之最佳速限制定結果

編號	路名	速限	編號	路名	速限
R1	長榮路三段	22.22	R13	北門路-中山路-成功路-富北街圓環	66.67
R2	東寧路	31.11	R14	育樂街	75.56
R3	林森路二段	75.56	R15	民族路一段	75.56
R4	民族路二段	75.56	R16	前鋒路	75.56
R5	東寧路西段	57.78	R17	大學路西段	75.56
R6	青年路	75.56	R18	中山路(台20)	22.22
R7	北門路二段	22.22	R19	民權路二段	13.33
R8	勝利路	75.56	R20	公園路	75.56
R9	大學路	75.56	R21	中山路-開山路-南門路-中正路圓環	40
R10	公園南路	13.33	R22	小東路(縣180)	13.33
R11	北門路一段	75.56	R23	民權路一段	31.11
R12	成功路	22.22			

表 5.9: 台南市路網考量人爲和環境不確定因素問題三個觀測點之聯合可靠度

觀測點	聯合可靠度
p1	1
p2	1
p3	0.9622

觀察5.3.2節和5.3.3節的兩個範例，可發現兩者在總車流爲30(veh/hr)的時候，都有一組解，而該組解的目標函數值差異很小，由表5.10比較表可看出，當未考量人爲不確定因素時(應用UE車流模型)算到整個路網全部符合，逐步需增加到六個觀測點，而時間

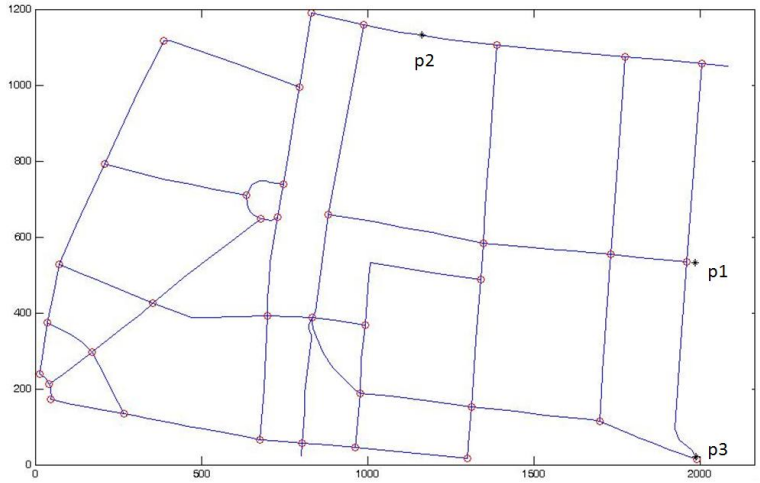


圖 5.7: 台南市路網考量人爲和環境不確定因素問題逐步找到之三個觀測點

爲95.3066小時，而考量人爲不確定因素時(應用SUE模型)則爲三個，計算時間爲 55.6867小時。以這兩個範例來看，在兩者的目標函示值差異極小的狀態下，使用SUE模型較能節省計算的時間。若考量到將來在何處設置觀測站或是移動式監測，SUE模型只需設置三個是相對比較省成本的做法。

表 5.10: 台南市區域路網考量環境不確定因素時，有無考量人爲不確定因素結果之比較

車流模型	UE	SUE
Receptor數目	6	3
目標函數值(元)	5.5202	5.5133
運算時間(小時)	95.3066	55.6867
地圖上聯合可靠度最低的點之聯合可靠度	90.66%	91.88%

5.4 小結

由5.2節和5.3節的範例結果來看，不論有無考慮人爲或是環境不確定因素，我們可以發現，速限都傾向越高越好，因爲這可使得目標函式值降低。而在未考量環境不確定因素的問題結果中，我們發現在最佳速限制定條件下，初始觀測點的聯合可靠度都相當的高，皆有95%以上，但接下來找到的幾個汙染濃度大的觀測點，聯合可靠度皆不高，大約只有50%左右。表示在未考量環境不確定因素的情況下，一旦風向、風速和大氣穩定度等的外

在環境因素改變，有許多觀測點的汙染濃度符合環保署法規的機率降到只有50%左右。而這並非我們所希望看到的。所以又進一步做了只考量環境不確定因素和同時考量環境及人爲不確定因素的分析。由這兩種法規設計的結果，我們可以看到，在不同風向、風速和大氣穩定度下所逐步找到的幾個觀測點，最後的聯合可靠度都可以達到90%以上。而且我們可以看到當有同時考量人爲和環境不確定因素的法規設計結果的目標函式值是較好的，而且相對所找到的觀測點較少，若要進行觀測站的設立，其爲較好的選擇，但美中不足的點爲當有考量人爲不確定因素分析的時候，所需耗費的時間相對的比未考量時冗長許多。若考量到運算時間的長短，建議不考慮人爲和環境的不確定因素，直接使用UE模型做車流的指派，進行法規的設計即可。

第 六 章　結論與建議

本研究利用最佳化的方式提出一種交通政策的制定和測站點位置的選定的方法。其中包括了蒐集路網資料建構地圖，建立了包含時間成本和油耗成本的社會經濟成本函式，並將該函式當成最佳交通制定的目標函數，結合高斯擴散模型、不確定因素和兩種交通車流模型(UE、SUE)進行污染的推估，我們以速限爲交通政策制定的變數，限制汙染爲拘束條件，最小化社會經濟成本，做出速限制定，再利用最大汙染破壞機率點的找尋，判斷路網是否都符合法規，設置新的觀測點。經由反覆的疊代直到最後，整個路網上沒有任一處的聯合可靠度皆達到要求，才宣告收斂。

6.1　研究貢獻

茲將本研究的貢獻條列如下:

1. 本研究成功的利用最佳化針對複雜路網進行交通法規的制定，解決以往簡單路網實用性不佳之問題。
2. 本研究在利用最佳化進行交通法規的制定時，成功的運用較爲精準的車流模型進行交通流量的指派，取代以往車流模型固定的假設。
3. 本研究成功的結合最佳化速限制定和觀測站的設置，使得最後制定的速限政策可以讓整個路網每一處的汙染皆是符合法規，改善以往政策制定時，只有觀測點的汙染濃度是符合法規之問題。
4. 承第3點，本研究在進行最佳速限制定和觀測點的設置時，只設置有必要性的觀測點，且根據不同的狀況有不同的設置地點，取代以往在設置觀測站上，位置固定且有多餘觀測點的問題。
5. 本研究成功的將不確定因素納入最佳速限制定和觀測站設置的考量內，使得在環境不確定因素下，路網上每個觀測點汙染濃度符合法規的機率大於某一定之可靠度。

6.2 未來研究方向

在本研究的計算當中，有進行許多的假設，分別將重要的假設條列如下：

- 在使用汙染擴散模型的時候，我們不考慮汙染物進行沉積、吸收和化學反應
- 在計算污染排放率時，不考慮同樣車種之間每台車之間的差異
- 在進行車流分配時，不考慮駕駛偏好的路線和駕駛行爲
- 社會經濟成本考量上，不考慮意外發生的成本
- 假設路網的起訖對(OD pair)總車流量
- 不考慮路網上紅綠燈的問題
- 假設九種車種密度都是相同的
- 假設汙染來源只有道路上的車輛排放汙染物

根據這些重要的假設以及本研究的內容，茲提出幾點建議，提供後續研究之參考：

- 在實際的生活當中，駕駛行爲、紅綠燈和道路上車種密度都會對道路上交通的行爲有一定程度的影響，若能將此項假設去除，根據台南市建立相對應的模式，汙染濃度的計算會更加準確
- 起訖對(OD對)對路網的車流分配有很大的影響，在這方面若可以進行實際的調查或是取得台南市的旅次分佈資料對車流的指派會更加精準
- 在進行RBDO逐步找觀測點的範例，不論是應用UE車流模型或是SUE車流模型，皆可發現，隨著路網的變大，道路數的增加，演算的時間就會大幅的增加，若能有效的縮短演算的時間，在路網的限制上將會有更大的餘裕，也可提高計算的效率。
- 在逐步增加觀測點的部分，可考慮利用active set的概念，每增加一個觀測點，便去找尋是否會凌駕(dominate)其他現有的觀測點，可將被凌駕的觀測點刪去，減少下一輪的計算。

參 考 文 獻

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

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

[9] 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.

[10] 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.

[11] Environmental Protection Agency, Executive Yuan, Taiwan, "Taiwan Emission Data System," April 2010. http://www.ctci.com.tw/air-ei/Default.asp.

[12] Y.-D. Wu and K.-Y. Chan, "Optimal design and impact analysis of urban traffic regulations under ambient uncertainty," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. in press, 2010.

[13] 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*, vol. 24, pp. 101–116, 2010.

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

[15] 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.

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

[17] National Highway Traffic Safety Administration, "Automobile fuel economy," Tech. Rep. Title 49 U.S Code ,Chap329, U.S. Department of Transportation, 2000.

[18] Interal Revenue Service, "Publication 510-gas guzzler tax," 2005. Department of Treasury.

[19] Office of Mobile Souces, "Emission facts-the history of reducing tailpipe emissions," Tech. Rep. EPA420-F-99-017, Environmental Protection of Agency,USA, 1999.

[20] Office of Mobile Souces, "Minor amendments to inspection/maintenance program evaluation requirements," Tech. Rep. EPA420-F-97-052, Environmental Protection of Agency,USA, 1997.

[21] A. Mekky, "Toll revenue and traffic study of highway 407 in toronto," *Transportation Research Record*, pp. 1498:5–15, 1995.

[22] M. Yildrim and D. Hearn, "A first best toll pricing framework for variable demand traffic assignment problems," *Transportation Research Part B:Methodological*, vol. 39, no. 8, pp. 659–678, 2005.

[23] O.Ashenfelter and M.Greenstone, "Using mandated speed limits to measure the value of a statisical life," *Journal of Political Economy*, vol. 112, no. 1, p. 2, 2004.

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

[25] D. Montgomery, *Design and analysis of experiments*. New York: Wiley, 6th ed., 2005.

[26] K.-E. Noll, and S. Mitsutomi, "Design methodology for optimum dosage air monitoring site selection," *Atmospheric Environment*, vol. 17, no. 12, pp. 2583–2590, 1983.

[27] M.-K. Liu, J. Avrin, R.-I. Pollack, J.-V. Behar, and J.-L. McElroy, "Methodology for designing air quality moitoring networks-i. theoretical aspects," *Environment Monitoring Assessment*, vol. 6, pp. 1–11, 1986.

[28] J.-L. McElroy, J.-V. Behar, L.-M. Dunn, P.-N. Lem, N.-T. Fisher, T.-C. Meyers, and M.-K. Liu, "Methodology for designing air quality moitoring networks-2. application to las vegas,nevada,for carbon monoxide," *Environment Monitoring Assessment*, vol. 6, pp. 13–34, 1986.

[29] 李彥儒, "都市地區空氣品質監測網設置地點評估方法之研究," Master's thesis, 國立成功大學環境工程學系, 台灣, 1991.

[30] 行政院環保署, "研擬新世代全國空氣品質監測系統發展綱要計畫," Tech. Rep. EPA-98-L105-02-201, 2009.

[31] S. Yoshikazu, N. Hirotaka, and T. Tetsuzo, *Theory of Multiobjective Optimization*. Academic Press, INC, 1996.

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

[33] 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.

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

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

[36] U.S. Bureau of Public Roads, *Traffic Assignment Manual.* Washington, D.C.: Department of Commerce., 1964.

[37] K. Davidson, "A flow-travel time relationship for use in transportation planning," *Australian Road Research Board*, vol. 3, pp. 183–194, 1966.

[38] D.B.Turner, *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates.* Washington,DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1970.

[39] A. Venkatram and T. Horst, "Approximating dispersion from a finite line source," *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 13, pp. 2401–2408, 2006.

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

[41] 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.

[42] C. Clark, "The greatest of a finite set of random variables," *Operationa Research*, vol. 9, pp. 145–162, 1961.

[43] S. Lerman and C. Manski, "An estimator for the generalized multinomial probit choice model," 1978. 56th Annual TRB Meeting,Washington,D.C.

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

[45] 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.

自　　傳

- 姓名：張琇雯
- 籍貫：台北縣
- 出生日期：09/19
- 學歷：
  - 國立成功大學機械系 (93.9∼97.6)
  - 國立成功大學機械所 (97.7∼99.7)

附錄一：中英對照表

Deterministic 定率

Dominate 凌駕

Emission Factor 排放係數

Emission Rate 污染排放率

Gaussion Dispersion Model 高斯汙染擴散模型

Link 路段

Logit Model 邏輯回歸模型

Node 節點

OD Pair 起訖對

Path 路徑

Probit Model 機率單位模型

Stochastic 序率

Stability Class 穩定度等級

Stochastic User Equilibrium 隨機使用者平衡

Travel Time 旅行時間

Uncertainty 不確定因素

User Equilibrium 使用者平衡