

以行車事故資料庫為基礎之警力資源分析： 應用 GIS 與模擬方法

汪志忠

成功大學交通管理科學系

黃國平

成功大學交通管理科學系

鄭雅云

修平技術學院國際企業經營系

摘要

本文主要探討都市行車事故處理的交通警力資源分析問題。由於不同區域有不同的事故發生頻率、事故地點以及路網型態，因此若警力的負荷未能有效的分析管理，很可能造成行車事故當事人等待救援與處理的時間增加，延長事故對於交通的衝擊時間，影響事故處理的服務品質，進而招致政府資源配置效率不彰的批評。本研究以行車事故資料庫為基礎，應用地理資訊系統與系統模擬方法，分析事故發生時間、地點等機率分配函數，再依據行車事故處理的作業流程與相關的特性參數，以地理資訊系統軟體 ArcView 及其結構化程式語言 Avenue，建構行車事故處理之模擬模式，作為交通警力資源配置的分析工具。最後，本模式透過反應時間作為系統評估的核心指標，模擬分析不同資源配置下的整體服務績效。研究結果顯示，模擬模式可以有效澄清資源配置所造成的服務差異性，同時透過邊際效益分析，指出資源投入的優先順序。

關鍵詞：行車事故資料庫；地理資訊系統；系統模擬



Resources Analysis Based on Database of Traffic Accident: Application of GIS and Simulation Method

Chi-Chung Wang

Department of Transportation and Communication Management Science,
National Cheng Kung University

Kevin P. Hwang

Department of Transportation and Communication Management Science,
National Cheng Kung University

Ya-Yun Cheng

Department of International Business Management, Hsiuping Institute of Technology

Abstract

This paper mainly discusses the problem of resources analysis for traffic accident. The service efficiency of traffic accident management in a city is not concerned before even though the government efficiency is strongly emphasized now. Resources for traffic accident are limited usually. Under such circumstances, to significantly improve the efficiency of rescue efforts, balancing the loading of resources is important, especially for the randomness of occurrence of traffic accident. The purpose of this study is to build a simulation model based on the historical database of traffic accident, applying system simulation method and geographic Information System. This model is very innovative and capable to analyze the efficiency of the system. Besides, this model could clearly figure out the service variances and priority choice.

Key words: Database of traffic accident; Simulation; Geographic Information System



壹、導論

在企業追求效率與資源使用效用最大化的影響下，政府機關部門提供讓民眾滿意的服務為非常重要的目標與課題，尤其是在政府預算的排擠效應下，對於某些資源與預算相當有限的機關單位，提升組織所能提供的服務效率是格外重要的。因此，本文探討的即是與一般民眾息息相關的行車事故處理及其資源分析的問題。

行車事故發生時，政府部門之交通肇事處理執行機構的首要服務工作是即時到達現場進行事故處理與救援相關事宜，執行人員到達事故現場後的首要工作是處理現場並排除行車事故，恢復交通順暢，而傷患的搶救則平行由醫療單位進行。Vasconcellos(1999)研究指出都市地區的行車事故問題隨著都市發展將會日益嚴重。因此如何在有限的警力資源限制下，針對行車事故的即時處理原則，有效提昇政府機關部門的組織服務效率，增加民眾對於政府部門的信賴程度均有賴於妥善的資源配置分析。

過去對於行車事故特性的分析與預測方法上，最常見的是透過實驗設計，有目的地收集所需的特定資料，再以數學模式進行預測。例如 Linda 等(1996)針對英國七個縣，總長 3,800 公里、六種不同型式的公路，超過 5,000 個次要路口，整理所有的事故資料，以迴歸分析方法分析事故資料，指出發生於次要路口之事故頻率與暴露量具有非線性關係。其次，又如 Karlaftis & Tarko(1998)以集群分析法將研究範圍內的都市，依照發展特性劃分成三個集群，分別是都會區(urban)、次都會區(suburban)、及郊區(rural)，之後再按照這三個區內所登錄的事故資料分別建立事故預測模式。Abdel-Aty & Radwan(2000)以 Florida 的主要道路 SR-50 為研究對象，收集 1992-1994 三年間的 1606 件事務資料，同時將 SR-50 分割成 566 個路段，使每一個路段均具有均勻的幾何與交通特性，最後根據這些路段，建立負二項(Negative Binomial)預測模式。該模式指出年平均交通量、道路水平彎度、車道寬、路肩寬、與分隔島寬、市區或郊區、路段長度等因素顯著影響事故發生頻率。Greibe(2003)對丹麥都市內 1036 個路口及總長 142 公里的道路，以一般化線性模式來尋找事故頻率與各種變數的關係，藉以預測事故頻率及確認高事故率之地區。結果發現道路幾何形狀及設計對道路事故預測模式有明顯意義，但對路口模式則較不重要。

這些研究都僅指出行車事故在量上的關聯性，但卻均無法完整解釋行車事故發生的時空隨機特性。行車事故的發生受到相當多的因子影響，在不同區域有不同的事故發生頻率與事故地點，牽涉到地理空間與人為等諸多的不確定因子。許多研究指出舉凡道路寬度、坡度、駕駛人生理、心理、車輛狀態、天候、環境、交通量、車型等各項有型與無形的因素都有可能對行車事故的發生造成影響(Sabey & Taylor, 1980; Hauer, 2001; Karlaftis & Golias, 2002; Chin & Quddus, 2003)。因此，若使用有限的因子來表示行車事故的發生，難免有所不足。同時空間路網與交通狀態也是影響肇事處理執行機構整體處理效率的重要因素，此牽涉到最短救援路徑選擇的問題。若肇事處理警力資

源配置未考慮事故發生的時空特性，造成事故發生時經常性地發生備勤警力資源短缺的現象，造成無法即時指派，可能會增加等待警力到達事故現場處理而使得行車事故當事人等待處理的時間增加，同時延長了事故地點的交通影響時間，尤其當在都會地區的交通繁忙時段，交通流量大，問題也會變得特別嚴重。因此，如何有效管理與配置行車事故處理執行機構的警力資源是非常重要的課題。

行車事故處理所具備的特性與消防系統相當類似，具有時效性、效率性及機動性等特徵。Chaiken & Larson(1972)認為以地理因素決定消防人員、車輛總數與消防據點位置的消防政策有其方便性，然而，實際上消防反應時間並不完全決定於地理因素，勤務中心派遣的延遲、消防車奔馳的速度、救災時間、歸隊時間、道路的結構等亦為重要因素。

在行車事故與地理資訊系統應用方面，Goh(1993)曾利用地理資訊系統 ARC/INFO 管理新加坡的肇事資料，並指出以此系統來處理相關地理資訊，是一種最佳的空間分析技術，運輸規劃人員和公路安全工程師利用地理資訊系統分析肇事趨勢，可輕易的描述肇事情形，使肇事地點的相關資訊都能充份掌握以利於研究。

在資源配置研究層面使用系統模擬方法作為管理上的系統評估工具相當多，例如 Fu(2002)針對撥招副大眾運輸的評估、Fatemi & Ashjari(2002)的計畫資源配置研究、Ahmed 等(1997)的緊急救援服務系統管理與分析、Hans & Irene(1995)針對不同碰撞型態進行安全設計，以模擬與行車事故資料為理論方法，進而評估潛在傷害。

貳、系統與問題分析

本研究以台南市的行車事故資料庫為資料來源，分析台南市的行車事故型態。台南市的行車事故處理是由台南市交通隊的「車禍處理小組」來負責。車禍處理小組依照行政區域編組成四個組別，分別為隊本部、東區組、南區組及安南區組。隊本部之管轄範圍包括了西區、中區及安平區；東區組則包括了東區及北區；南區組負責南區；安南區組則負責安南區，所在位置與管轄範圍如圖 1 所示。

在行車事故處理所需的警力資源上有警備車輛與執勤警員人數兩種。隊本部配有 3 輛，南區組與安南區組各配有 1 輛，東區組則配有 2 輛，合計共 7 輛；在執勤方式上，各組之外勤員警均分成二班交互服勤，因此每部警備車輛需搭配四位執勤警員，所以基本上一單位警力資源指的是一輛警備車輛與四位警員。同時依據台南市 1999 年的行車事故資料庫所記載之發生總數，各車禍處理小組負荷分析結果如表 1。



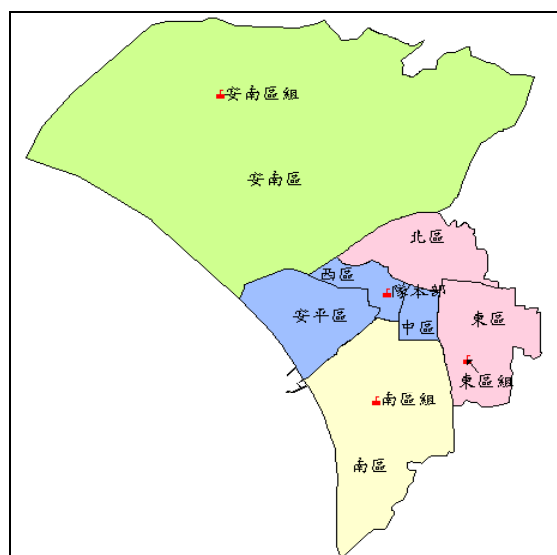


圖 1：車禍處理小組位置及管轄範圍圖

在車禍次數方面，以東區組的車禍案件最多，有 4,281 件之多，其次為隊本部，有 2,791 件；在「每組單位警力年平均處理件數」方面，以東區組的員警處理件數最多，平均處理 2,140 件，其次是安南區組為 1,646 件；「每平方公里的發生次數」亦以東區組的發生次數最高，有 204 件之多。由此一初步分析結果可知，東區車禍處理小組每組年平均處理件數是隊本部的 2 倍多，且每平方公里車禍發生數又居四個編組之冠，然而資源配置數目卻比隊本部少一組，顯然有警力負荷與配置不平衡的現象。

由於車禍處理小組每組所配置的警力資源數會直接影響整體行車事故的救援績效，因此，建立一可瞭解行車事故處理程序與運作機制的系統模擬模式以進一步分析最佳管理方案是本研究的主要目的。

表 1：車禍處理小組負荷分析

組別	警力資源數	車禍數(件)	管轄區域面積 (平方公里)	每組單位警力年 平均處理件數	每平方公里 發生次數
隊本部	3	2,791	15.9	930	175.0
東區組	2	4,281	20.9	2140	204.3
南區組	1	1,158	25.6	1158	45.2
安南區組	1	1,646	103.5	1646	15.9

參、模擬架構與模式建立

由於整體系統處理程序牽涉到行車事故發生的隨機性與路徑選擇的特性問題，但過去對於行車事故特性的分析完全著重於量的預測上，缺少對於整體隨機特性的觀察；其

次，行車事故分析大多集中於空間點構面或固定族群上，可以應用於交通工程與管理層面的改善，以減少行車事故發生機會；但應用在資源分析模擬所需的大規模事故資料之時間機率分配，研究實在有限。就本研究而言，由於行車事故的發生具有不確定性，且車禍處理小組前往處理時，又會因地理因素、車流狀況或其他種種因素而延誤處理時間，難以數學解析模式來分析和描述車禍處理小組的動態作業情形，因此選擇以系統模擬方法作為分析工具。本問題可分為四個層次，分別是(1)藉由行車事故資料庫的大量資料，分析行車事故發生時間特性；(2)藉由行車事故資料庫的大量資料，分析行車事故發生空間特性；(3)行車事故的處理時間特性；與(4)奔馳時間的計算。

在行車事故發生時間分析上，本研究轉化台南市行車事故資料庫的資料，以系統模擬方法中使用機率分佈的資料輸入型態，使用統計方法萃取出台南市行車事故資料的時間與空間機率分配。在應用系統工具上，由於行車事故發生牽涉到空間與路網資訊，因此本研究應用地理資訊系統軟體 ArcView 作為空間模擬工具，以使系統模型更為完備。ArcView 可應用台南市電子地圖路網，提供找出車禍發生地點與車禍處理小組間的最短路徑。此外，亦將利用 ArcView 所提供的結構化程式語言 Avenue 撰寫模擬程式。圖 2 即為在地理資訊系統軟體 ArcView 下所採用的台南市路網圖。

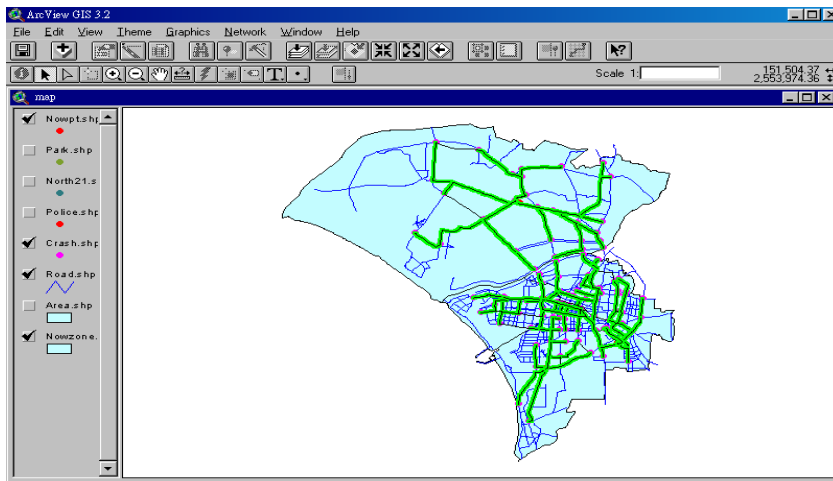


圖 2：台南市路網圖

一、模擬系統架構

圖 3 為本研究之系統架構，基本上可解析為五項基本運作程序。第一項是圖三中以無箭頭的虛線表示 Accident1 與 Accident2 的分別報案(Calling)；第二項是以實線環圈表示對於 Accident1 的任務派遣(Assigning)；第三項是以實線表示去程時間(Travelling)；第四項是以實線環圈表示 Accident1 的事故處理時間(Clearing)；第五項則是以有箭頭的虛線表示處理完畢 Accident1 後的回程時間(Returning)。因為在回程中

有可能接受到 Accident2 的任務派遣，所以虛線有兩個方向。若在回程中 Accident2 尚未完成指派，則回到車禍處理小組，然若 Accident2 於回程途中指派，則警備車輛直接前往下一個事故地點 Accident2。

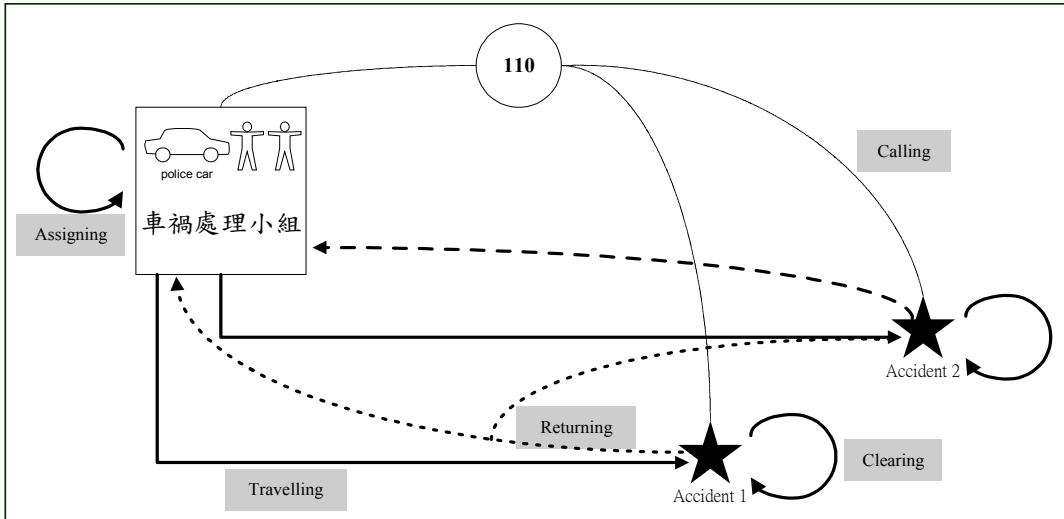


圖 3：系統架構圖

在這五項基本運作程序中，第一項可視為資訊流，時間延滯可忽略，第二至五項則為行動流，均有實際操作時間，惟每次所需時間均為動態隨機過程。以下詳細說明每項運作程序的內涵。

1. 報案：派出所透過民眾 110 電話報案後，準備接洽車禍處理小組開始處理行車事故。
2. 任務派遣：接獲報案的派出所必須確認行車事故的正確位置與資訊才能通知事故所屬的車禍處理小組。此一作業會產生指派作業上的延滯，包括有派出所確認資訊與通知車禍處理小組的時間延滯與肇事處理小組從準備到出發所產生的延滯。
3. 去程時間(Travelling to the scene of the accident)：車禍處理小組警員從任務派遣出發點到達事故現場所需要的時間。
4. 處理時間(Clearing)：車禍處理小組到達現場後，必須製作事故現場圖與處理現場其他事宜，這一部份所需花費的時間要依據事故的嚴重度等級而決定，但這一部份的資料並無紀錄與確定性資料，因此需透過與員警的實際訪談取得歷史經驗資料。
5. 回程時間(Returning)：回程時間是處理完行車事故後回到車禍處理小組待命所需花費的路程時間。當處理完行車事故後，資源即處於可指派的待命狀態，但由於有可能在回程途中必須接受新的指派，因此必須先行設定待命狀態，以釐清在新的指派發生時，資源是在回程或是已回到中心。第一種狀態是回程待命

狀態，表示資源剛離開上一個事故地點，但尚未回到中心，仍在回程途中。而除了設定待命狀態之外，此時亦同步儲存待命狀態的起始時間，也就是剛處理完行車事故的時間點；第二種是中心待命狀態，表示資源已依照最短時間路徑的設定回程時間回到車禍處理小組待命。因此透過待命狀態的設定，可以區別新任務指派時究竟資源是在中心或是回程途中。因此若是在回程待命狀態有新的任務指派時，表示在回程途中有新的指派產生，將逕行前往新的事故地點，同時回程時間提早終止，而此時已發生的回程時間即等於新的指派時間減去待命狀態的起始時間，並據此已發生的回程時間計算設定新起點。

其次，本研究基於此五項基本運作程序與實際運作實務，研究中所言之可指派的待命資源是指設定為回程待命狀態或中心待命狀態者，也就是對於新任務發生在資源均處於處理時間或去程時間的情況下，並沒有指派的機會，因此必須等待新的待命資源出現。因此，當資源處於去程時間或處理時間的情況下，原則上資源是處於不可派遣的，必須等到處理時間完畢方可前往下一個事故地點。

二、模擬模式

本小節將說明在系統運作架構下，模擬程式產生系統關鍵參數的方法與演算方程式。

(一) 產生系統關鍵模擬參數

1、指派延滯

指派延滯是指當派出所接獲報警，查問清楚車禍地點並經初步判斷後，下達派遣命令給該責任區之車禍處理小組所需之時間，經訪談後獲知此延滯時間僅需約 20-30 秒。因為指派延滯的時間數值小且變異不大，影響模擬結果預期亦不高，但為真實反映現象，亦將此一部份納入模擬過程。而依據 Law and Kelton 在 "Simulation Modeling and Analysis" 一書中對於 Uniform 分配的可能應用指出在模擬過程中 Uniform 分配是可被應用來處理對於無充足數據資料的情形下但可估算出上下限值的模擬輸入問題 (Law and Kelton, 1991)。因此本研究產生指派延滯的處理方式是採用均勻分配的方式來獲得。若已知下限值 a 與上限值 b ，隨機變數 $u (0 \leq u \leq 1)$ ，則指派延滯 x 可由式 1 產生。

$$x = a + (b-a) * u \quad (1)$$

2、發生時間間距

在模擬過程中，下一事件的產生通常是以其與前一事件的時間間隔作為下一事件發生時間的計算依據。行車事故發生過程一般為波生過程，而為了檢定行車事故發生過程是否為波生過程，可以檢核前後兩兩行車事故的發生時間間距是否為指數分配加以證實，因此行車事故資料庫中基礎的序列時間資料需要轉換成發生時間間距以利於計算檢核。轉換後的資料分析可分成下列三個步驟：(1)適當的將資料分組後，繪製次數分佈圖，初步判別該組資料是否符合指數分配的分佈型態；(2)以最大概似法

(Maximum Likelihood) 估計推定理論分配參數值；(3) 以適合度檢定方法中的卡方檢定程序檢定樣本資料是否符合推定之理論分配。

台南市 1999 年行車事故資料庫紀錄所發生的行車事故資料樣本數共 9,876 件，將資料以每小時發生次數進行統計分析後發現，在 7 時到 23 時的這段時間內，發生頻率較高，時距較短，而在 23 時到隔天 7 時前的這個時段內，發生頻率明顯較低，時距較長，這是因為行車事故發生頻率與交通曝光量為正向關聯(Ivan etc., 2000)。而交通量通常有所謂的尖離峰現象，故可能造成不同時間有不同的行車事故發生頻率。

時間間距的指數分配檢定結果如表 2 所示，各月份兩個時段均可通過適合度檢定，表示時間間距符合指數分配。指數分配的累積機率分配函數 $F(x)$ 如式 2，當時時間間距的平均值為 β 時，則回傳值 x 可以經由一隨機變數 $u (0 \leq u \leq 1)$ 與式 3 及式 4 計算而得。

表 2：發生時間間距指數分配檢定結果

時段	0700 - 2300				2300 - 0700			
月份	樣本數	平均數 β	χ^2	臨界值 (自由度)	樣本數	平均數 β	χ^2	臨界值 (自由度)
1	655	42.8	5.4	12.59(6)	131	80.6	2.4	11.07(5)
2	555	44.2	10.9	12.59(6)	146	67.0	2.9	7.81(3)
3	628	44.1	10.8	12.59(6)	157	68.1	1.4	9.48(4)
4	702	37.6	5.0	12.59(6)	136	76.3	1.6	9.48(4)
5	713	38.2	7.6	12.59(6)	161	65.5	3.2	11.07(5)
6	687	38.2	19.6	19.67(11)	158	76.4	7.4	11.07(5)
7	730	36.4	3.9	12.59(6)	174	68.8	7.0	12.59(6)
8	702	38.9	5.8	11.07(5)	120	72.3	3.9	11.07(5)
9	597	45.6	5.3	12.59(6)	136	72.7	2.7	9.48(4)
10	710	39.0	3.5	12.59(6)	169	69.2	3.2	11.07(5)
11	657	40.0	5.7	12.59(6)	138	74.2	6.2	11.07(5)
12	750	36.9	7.4	9.48(4)	164	71.4	2.3	9.48(4)

註：顯著水準 $\alpha=0.05$

$$F(x)=1-e^{-x/\beta}, 0 \leq F(x) \leq 1, 0 \leq x \quad (2)$$

For $0 \leq u \leq 1$, then

$$F(x)=u, \text{ then } e^{-x/\beta} = 1-u \quad (3)$$

$$\ln(e^{-x/\beta}) = \ln(1-u) \text{ then } x = -\beta * \ln(1-u) \quad (4)$$

3、發生地點

在事故地點模擬的處理上，本研究先行統計各行政分區內車禍發生次數與機率，之後以主要道路上之交叉點作為據肇事集中地點，計有 109 個，接著將發生於各肇事集中地點附近的事故予以納入，此舉的目的在於將分散於路段上的行車事故地點納入特定的路網節點，以有利於地理資訊系統的空間定位程序。此一部分是以蒙地卡羅法(Monte-Carlo)產生肇事地點，蒙地卡羅法是僅使用隨機亂數(random number)的模擬。假設一隨機亂數 x 的機率函數為 $P(t)$ ，同時 $t \geq 0$ ，則其累積機率函數 $F(x)$ 可以表

示為式 5。

$$F(x) = \int_0^x p(t) dt, 0 \leq F(x) \leq 1, x \geq 0 \quad (5)$$

4、肇事嚴重度與車禍處理時間

肇事嚴重程度關係著車禍處理時間的長短，而車禍處理時間是指員警到達現場後從事管制與現場蒐證、調查記錄所需時間。車禍處理時間與車禍的嚴重程度有高度關聯性，但在交通事故調查表中並無登錄處理時間，故實務上無法得知車禍的真實處理時間。肇事嚴重度的等級可分為 A1、A2 及 A3 三個等級，A1 等級是指有人死亡或重傷之事故而言，A2 等級則是指僅有輕微傷害及財物損失之事故，而 A3 等級則是無人傷亡、僅有財物損失之事故。根據黃國平君(1996)的研究指出，肇事等級 A1 的平均處理時間約 50-70 分鐘，肇事等級 A2 的平均處理時間約 30~50 分鐘，肇事等級 A3 的平均處理時間約 20-40 分鐘。本研究將所有的肇事資料依據嚴重度進行統計分析。結果顯示 A3 等級車禍發生的機率最高，為 0.5587，其次為 A2 等級車禍，發生機率為 0.4279，最低的則為 A1 等級車禍，僅佔 0.0134。假設累積機率函數為 $S(i)$ ， $i=1,2,3$ 。使用蒙地卡羅法(Kravanja, 1996)，考慮隨機變數 $u(0 \leq u \leq 1)$ ，則藉由 u 值與式 6 可產生所屬隨機的肇事嚴重度等級

$$S(i-1) < u \leq S(i), i=1,2,3 \quad (6)$$

在模擬過程中，由於各肇事嚴重度等級的處理時間亦無實際數據樣本資料，因此同指派延滯的產生方式，依據肇事嚴重度等級，利用均勻分配(Uniform Distribution)函數，以一隨機變數 $u(0 \leq u \leq 1)$ 獲得各等級的車禍處理時間(clear-time)，如式 7、式 8 與式 9。

$$\text{clear-time}(A1) = 50 + (70-50) * u \quad (7)$$

$$\text{clear-time}(A2) = 30 + (50-30) * u \quad (8)$$

$$\text{clear-time}(A3) = 20 + (40-20) * u \quad (9)$$

5、去程時間與回程時間

在搜尋最短路徑時，是以「時間」作為尋找最短路徑之依據，而時間的計算則透過距離與平均行駛速率的關係來獲得。由於路網中每個路段的距離長度為定值，而每個路段的行駛時間則與行駛速率呈反比例的關係。本研究主要使用靜態的路段長度與平均行駛速率來推估旅行時間，也就是以台南市流量調查之服務水準資料作為行駛速率的設定依據。除此之外，亦考慮了尖離峰時間與道路等級。因此，本研究利用 ArcView 之空間分析功能計算路段的長度，之後再除以各路段之行駛速率，獲得每個路段的行駛時間，並依此對應數值搜尋出最短時間路徑，而非最短距離路徑，同時紀錄下此路徑的所有節點與相關資訊，以利後續模擬過程中應用。

(二) 模擬流程

本研究的模擬模式包含一連串的隨機過程，因此如何將隨機現象合理的數量化以應用於模式之中是相當重要的一環。在本研究中，每一個行車事故的發生即代表一個

事件(Event)的產生，隨即的流程動作就如系統架構中所述的五項基本運作，同時根據真實資料與訪談方式瞭解其作業特性，在進行數量化分析後，將隨機現象以機率函數加以呈現。在模擬過程中，一輛警備車輛與二名警力的組合數是模擬過程中的關鍵資源，有派出處理或待命兩種狀態。當所有資源均在派出處理狀態時若有新的事故發生，則因已無回程待命與中心待命資源可供派遣處理，則此一新事故就必須等待回程待命資源的狀態出現方可獲得處理。

系統之模擬程式是以地理資訊系統軟體 ArcView 內含之結構化程式語言 Avenue 所撰寫，模擬程式流程依序如圖 4 所示。

流程 1：進行參數設定，例如各管轄區資源數目、去程起點、去程終點、等待時間變數、去程時間變數、亂數產生種子(seed)等均需先行設定。

流程 2：使用指數分配與參數 β 產生時間間距，進而確定下一個事件的發生時間。

流程 3：產生該事件的事發地點與嚴重度。

流程 4：比較該事件的發生時間與目前的中心待命時間，若大於等於，則直接派遣，等待時間為 0；若小於，則再比較該事件的發生時間與回程待命時間，若大於等於，則於回程途中派遣，並計算設定新起點，等待時間為 0；若仍小於，則此時等待時間大於 0，須等到模擬時間到達回程待命時間時才有資源可以派遣，這時上一個事故地點就是該事故的起點。

流程 5：使用 ArcView 功能函數搜尋最短路徑並求得去程時間。

流程 6：依據該事件的嚴重度等級，使用均勻分配產生事故處理時間，並依據事故處理時間設定新的回程待命時間。

流程 7：若無事故處於等待狀態，則以車禍處理小組為終點產生回程時間，並依據回程時間設定新的中心待命時間。

同時，在系統績效衡量部分，本研究在模式中設定一項與民眾感受最直接的時間指標，就是從報案到警力到達現場的這段時間長度，本研究稱之為反應時間(Response-time)，包含有派出所通報作業的指派延滯、等待待命資源的時間與從接受派遣地點到達事故現場所需的最短旅行時間。因此在模式中，每一件行車事故在模擬過程中所對應產生的指派延滯、等待時間與去程時間都被一一紀錄，同時加總成為反應時間，如式 10。

反應時間 = 指派延滯 + 等待時間 + 去程時間(10)



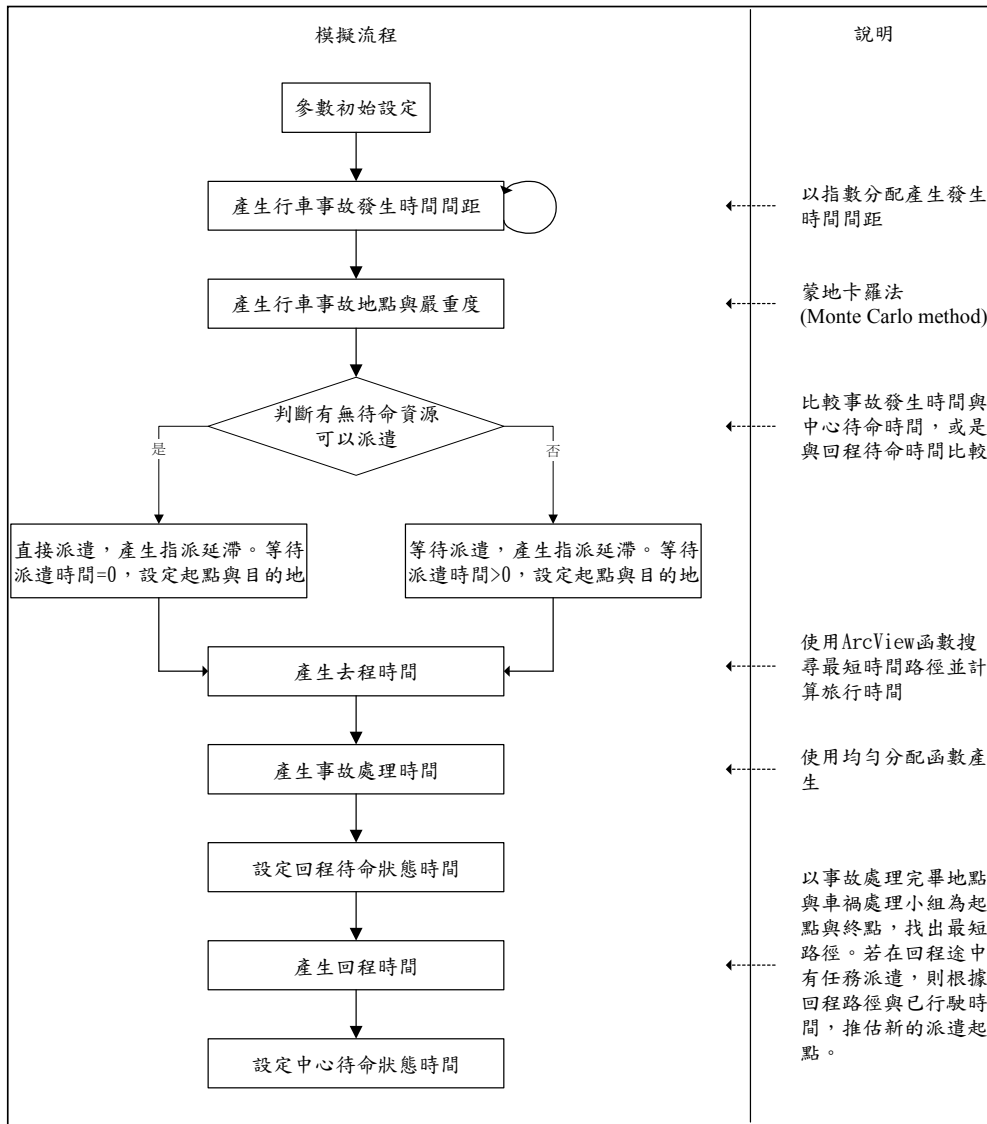


圖 4：模擬流程圖

(三) 模式驗證

為了了解本研究所構建之模擬模式是否可反應真實的車禍發生頻率，本研究乃以 K-S(Kolmogorov-Smirnov)檢定法進行客觀之統計驗證，進行時段 7-23、時段 23-7 與時段 0-24 三個時段的實際發生值與模擬值之統計檢定，評估模擬模式是否反應實際現象。K-S 檢定法係利用模擬值與實際發生值的最大分配累積機率絕對差值進行適合度檢定：在虛無假設 H_0 為假設兩種分配相同之下，首先分別計算實際發生值之累積機率 $F(x)$ 與模擬值之累積機率 $S(x)$ ；接著找出統計量 D ，而 $D = \text{MAX} | F(x) - S(x) |$ ；查 K-S 檢定表，由樣本數 n 與顯著水準 α 找出臨界值 $D_{\alpha/2}$ ；若 $D \leq D_{\alpha/2}$ ，則接受虛無假設 H_0 。



本研究以 K-S 檢定法進行檢定時，採用之顯著水準 α 為 0.05。各時段各月份之檢定結果如表 3 所示，顯示各時段各月份之 D 值均小於 $D_{\alpha/2}$ ，均接受虛無假設 H_0 ，充分表示模擬模式除了在各月份的時段 7-23 與時段 23-7 均可正確反應實際車禍發生頻率之外，結合兩時段之後的全時段模擬亦同樣地正確反應了實際車禍的發生頻率，顯示模擬模式可正確反應實際車禍發生的現象。

表 3：K-S 檢定結果

月份	時段 7-23		時段 23-7		時段 0-24	
	D	$D_{\alpha/2}$	D	$D_{\alpha/2}$	D	$D_{\alpha/2}$
1	0.0162	0.0531	0.0643	0.1188	0.0141	0.0485
2	0.0188	0.0577	0.0688	0.1126	0.0179	0.0514
3	0.0338	0.0543	0.0783	0.1085	0.0325	0.0485
4	0.0354	0.0513	0.0854	0.1166	0.0329	0.0470
5	0.0234	0.0509	0.0611	0.1072	0.0219	0.0460
6	0.0332	0.0519	0.0751	0.1082	0.0319	0.0468
7	0.0230	0.0503	0.0643	0.1031	0.0214	0.0452
8	0.0301	0.0513	0.0913	0.1242	0.0289	0.0474
9	0.0176	0.0557	0.0775	0.1166	0.0165	0.0502
10	0.0341	0.0510	0.0608	0.1046	0.0318	0.0459
11	0.0299	0.0531	0.0881	0.1158	0.0278	0.0482
12	0.0292	0.0497	0.0755	0.1062	0.0257	0.0450

註：顯著水準 $\alpha=0.05$

肆、資源配置分析

本節將使用所建立的模擬模式進行資源配置模擬與分析。模擬時間是一個月，依模擬月份之實際天數決定，本小節將討論一月與九月的模擬結果。分析重點主要針對目前的資源配置模擬得到整體的績效指標，接著依據模擬結果調整擬定改善的資源配置方案並實施情境模擬，同時亦進行敏感度分析。

一、現況模擬分析

表 4 為現況模擬的整體反應時間分佈結果。由模擬結果可以得知，總體而言，在隊本部與南區組的管轄範圍內，反應時間在 10 分鐘內的行車事故比例最低為南區組九月的 91%；但在東區組的管轄範圍內，反應時間在 10 分鐘內的行車事故比例則為九月的 63%；在安南區組的管轄範圍內，反應時間在 10 分鐘內的行車事故比例最低為一月的 51%，這表示發生在安南區的行車事故等待警力的反應時間有將近一半的機會超過 10 分鐘以上。由此總體結果反映出：東區組管轄範圍內行車事故發生頻率高、次數多是導致 10 分鐘到達率低的原因；安南區組管轄範圍則因面積過大與路網不密集，導致旅行時間過長，資源多處於忙碌狀態無法派遣，一月與九月甚至出現反應時間超過 50 分鐘以上的事件。若以 20 分鐘到達率為服務目標基準，則在所有的管轄範圍內，

反應時間在 20 分鐘內的行車事故比例均在 85.8%以上(最小值為一月的安南區組， $51.14+34.66=85.8$)。

表 4：現況模擬的反應時間分佈結果

模擬月份	車禍處理小組	0-10 分	10-20 分	20-30 分	30-40 分	40-50 分	50 分以上
一月	隊本部	98.89	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00
	東區組	68.59	25.36	1.73	3.17	0.86	0.29
	南區組	95.24	2.38	1.19	1.19	0.00	0.00
	安南區組	51.14	34.66	3.41	1.14	2.84	6.82
九月	隊本部	98.52	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00
	東區組	63.82	27.39	4.77	1.51	0.25	2.26
	南區組	91.84	2.04	0.00	2.04	2.04	2.04
	安南區組	54.93	31.69	2.11	3.52	2.11	5.63

二、改善方案與情境模擬結果

根據現況分析結果，本研究設定 3 個資源配置改善方案。方案 A 與 B 是在資源未變動的條件下進行資源調整，方案 C 則是在不考慮資源設置成本的假設下，分析增加資源後各組整體績效的改善程度。而本研究中所稱資源單位是指一部警備車輛與四位警員，也就是警備車輛與警員是連結在一起的資源。因此本研究中資源增加一單位表示需增加一部警備車輛與四位警員。

資源配置改善方案如表 5。

表 5：資源配置改善方案

方案別	隊本部	東區組	南區組	安南區組	資源總數
現況	3	2	1	1	7
方案 A	2	2	1	2	7
方案 B	2	3	1	1	7
方案 C	3	3	2	2	10

方案 A 主要是針對安南區組 10 分鐘到達率過低的現象，將目前整體表現最佳的隊本部資源調整 1 組至安南區組。方案 A 的模擬結果如表 6 所示。比較 10 分鐘到達率可以發現，安南區組的 10 分鐘到達率提升約 9%-10%($51.14 \rightarrow 61.93$ 、 $54.93 \rightarrow 63.83$)，而隊本部的 10 分鐘到達率僅降低 1%-2%。由此結果可知，調整減少隊本部一組資源並不會嚴重降低隊本部的 10 分鐘到達率；而調整增加安南區一組資源，可提升安南區組的 10 分鐘到達率至 62-63%，然此一數值仍偏低，因此仍需增加資源的投入以提升 10 分鐘到達率。但是若以 20 分鐘到達率來評估改善狀況，則高達 99%的 20 分鐘到達率顯示此一方案是具有實質改善成效的。

方案 B 則是針對東區組 10 分鐘到達率不高的現象，將隊本部資源調整 1 組至東區組以進一步了解東區組增加 1 組資源後，10 分鐘到達率的提升狀況。方案 B 的模擬

結果亦如表 6 所示。比較 10 分鐘到達率可以發現，東區組的 10 分鐘到達率提升約 5%-7%(68.59→73.49、63.82→71.11)。由此結果可知，調整增加東區組一組資源，可提升東區組的 10 分鐘到達率至 71-73%，因此是否仍需增加資源的投入則可視財政狀況而定。同樣地若以 20 分鐘到達率來評估改善狀況，高達 99% 的 20 分鐘到達率亦顯示此一方案的改善成效。

另外，為了更進一步區別東區組、南區組與安南區組各自調整增加一組資源後的 10 分鐘到達率改善情形，因此設定了方案 C。模擬結果如表 6 內所示。東區組與安南區組增加一組資源後的 10 分鐘到達率改善情形已如前所述，而南區組的 10 分鐘到達率則提升約 2%-5%(95.24→97.62、91.84→96.94)。

表 6：改善方案模擬結果

方案	模擬月份	車禍處理小組	0-10 分	10-20 分	20-30 分	30-40 分	40-50 分	50 分以上
A	一月	隊本部	96.67	2.59	0.74	0.00	0.00	0.00
		東區組	68.59	25.36	1.73	3.17	0.86	0.29
		南區組	95.24	2.38	1.19	1.19	0.00	0.00
		安南區組	61.93	37.50	0.57	0.00	0.00	0.00
	九月	隊本部	97.04	2.46	0.49	0.00	0.00	0.00
		東區組	63.82	27.39	4.77	1.51	0.25	2.26
		南區組	91.84	2.04	0.00	2.04	2.04	2.04
		安南區組	63.83	35.46	0.71	0.00	0.00	0.00
B	一月	隊本部	96.67	2.59	0.74	0.00	0.00	0.00
		東區組	73.49	25.94	0.29	0.29	0.00	0.00
		南區組	95.24	2.38	1.19	1.19	0.00	0.00
		安南區組	51.14	34.66	3.41	1.14	2.84	6.82
	九月	隊本部	97.04	2.46	0.49	0.00	0.00	0.00
		東區組	71.11	27.64	0.50	0.25	0.50	0.00
		南區組	91.84	2.04	0.00	2.04	2.04	2.04
		安南區組	54.93	31.69	2.11	3.52	2.11	5.63
C	一月	隊本部	98.89	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00
		東區組	73.49	25.94	0.29	0.29	0.00	0.00
		南區組	97.62	2.38	0.00	0.00	0.00	0.00
		安南區組	61.93	37.50	0.57	0.00	0.00	0.00
	九月	隊本部	98.52	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00
		東區組	71.11	27.64	0.50	0.25	0.50	0.00
		南區組	96.94	2.04	0.00	1.02	0.00	0.00
		安南區組	63.83	35.46	0.71	0.00	0.00	0.00

三、資源邊際效益分析

本小節將方案 C 中東區組、南區組與安南區組各自調整增加一組資源後的 10 分鐘到達率改善情形與 20 分鐘到達率改善情形彙整成表 7。表 7 中數值呈現的是單位資

源所增加的反應時間改善效益，也就是所謂的邊際效益。此一分析主要是澄清在資源增加的成本限制下，應當如何優先選擇資源的投入單位以取得成本投入後的最大整體服務改善效率。由表 7 得知，無論是 10 分鐘到達率改善情形與 20 分鐘到達率，投入一組新的資源至安南區組可得到最大的邊際效益。也就是說，若當有一新的資源被允許投入時，安南區組應該是第一優先單位，其次是東區組，然後是南區組。隊本部則是屬於資源充裕，可充分滿足轄區內的服務需求，因此不需考慮增加資源。

表 7：邊際效益分析

邊際效益	月份	東區組	南區組	安南區組
反應時間	一月	4.90%	2.38%	10.79%
10 分鐘到達率	九月	7.29%	5.10%	8.90%
反應時間	一月	5.48%	2.38%	13.63%
20 分鐘到達率	九月	7.54%	5.10%	12.66%

伍、結論與建議

在重視效能的時代，資源運用的有效性與提升一般民眾對於公部門服務效率的印象，是政府單位應該要積極面對的。本文根據行車事故資料庫，指出台南市交通肇事處理執行機構的資源配置問題，另外創新整合行車事故資料庫、地理資訊系統與系統模擬方法，以不同的角度詮釋行車事故的發生特性，突破空間功能分析與行車事故組織實務調整上的困難，以實際的行車事故發生資料與台南市路網構建一個合理且具有空間分析功能的模擬模式，作為資源分析的系統工具。總體而言，本研究以系統模擬方法，針對行車事故的資源配置所建立的具體的、可操作的系統模擬模型是具有高度獨創性與實用性的。茲將本研究所獲致之相關結果與建議歸納說明如后。

一、結論

本研究之研究結果包含以下幾點：

1. 本文以創新的觀念重新詮釋靜態的行車事故資料庫，不同於以往僅是數量上的資料，而是進一步萃取出時間、空間與嚴重度分配特性，並依此建立模擬系統所需的相關系統參數。
2. 本研究成功地以地理資訊統的空間分析功能與其結構化程式語言將系統架構轉化模擬程式，同時以 K-S 檢定法進行模式驗證，證實此一模擬模式之試驗值與實際值並無明顯差異，可見此模式之完整性。
3. 透過反應時間作為管理系統評估的核心指標，本研究評估不同資源配置下的整體服務績效。研究結果顯示，隊本部由於資源組數最多，但行車事故發生總數並非最多，因此有高達 98% 的 10 分鐘到達率；然而東區組的行車事故總數最多與安南區組的管轄範圍最大卻未配置較多的資源組數，造成東區組與安南區

組的 10 分鐘到達率均不及 70%，而此模擬結果也更證實目前的資源配置確實造成明顯的服務差異性，而非僅是單從設施管理者的角度意識到資源分配不當的問題，卻未能具體澄清其對行車事故當事人所造成的影響。

4. 本研究結果明確指出在行車事故的資源配置上，各調整改善方案在服務績效上可能造成的影響，同時亦透過邊際效益分析，指出資源投入的優先順序。

二、建議

以下針對本研究所得結論及研究過程提出幾點建議，以供後續研究之參考方向：

1. 本研究終所運用的行車事故資料雖然僅是一年的資料，但資料量多達 9876 筆，在統計檢檢定的應用分析上已相當足夠；除此之外，所有行車事故的原始資料可供直接使用的僅有肇事嚴重度等級一項，餘如時間資料轉換、發生地點在地理資訊系統上的編碼均需透過人工逐一處理。因此建議將來行車事故資料庫系統應逐步強化資料的可分析性與空間資訊的完整性、鏈結性。此外，當前行車事故的資料分析愈來愈多元化，因此建議政府交通部門主管機關與交通部運輸研究所規劃中之永續運輸資訊系統，應積極考慮建立具備空間資訊的多屬性行車事故資料庫，做好一次購足(one stop shopping)的系統規劃，區分保密資訊與公開資訊，除可成為政府從事交通施政成效評估、區域交通建設發展比較與交通成長變化追蹤分析等重要工作的輔助系統之外，亦可進一步協助運輸安全、肇事分析等相關研究，降低資料取得與處理的複雜度。
2. 本研究礙於模擬功能之限制，目前僅依道路交通流量之尖離峰時段設定行駛速率，並未考量路口停等延滯，使得模擬系統與真實系統有些許時間上的誤差。但就現況言，此一模擬系統已足可反應行車事故處理的多項特性，但仍建議未來可嘗試考慮納入路口號誌等動態運作參數進行模擬，以強化去程時間與回程時間的估計。
3. 雖然本研究主要集中在如何調整警力資源以改善平均反應時間，然不可諱言的，以事故位置分佈而言，資源的位置若設置不當，偏離多數事故發生地點，是有可能因為去程時間增加而導致反應時間增長，所以資源位置確實也會是影響反應時間的另一項主要因素。以台南地區而言，由於車禍處理小組的位置設定是以派出所位置為主，因此後續研究上將可根據事故發生地點的散佈圖，篩選可能改善反應時間的替選地點，並利用本模擬模式得到相關績效指標，分析出較佳的車禍處理小組的位置。

參考文獻

- 林豐福、田養民、楊志凱，1999，『行車事故現場處理時程縮短之研究』，道路交通安全與執法研討會。
- 姚學海，1985，車輛檢修作業人力配置之模擬研究，交通大學管理科學研究所碩士論文。

- 黃宇斌，2000，警察勤務執行機構設置調整分析專家系統離型之研究，私立東海大學管理研究所碩士論文，2000。
- 黃國平，1996，『車禍處理之組織、服務區位之研究』，道路交通安全論文集。
- 黃國珍，1991，都市巡邏警力之研究－以台北市中山警察分局為例，國立交通大學管理科學研究所碩士論文。
- Abdel-Aty, M.A. and Radwan, A.E. "Modeling traffic accident occurrence and involvement," *Accident Analysis & Prevention* (32:5) 2000, pp.633-642
- Ahmed, S.Z., Hsing, K.C. and Barnett, R.P. "A simulation model for the analysis and management of an emergency service system," *Socio-Economic Planning Sciences* (31:3) 1997, pp.173-189
- Chaiken, J.M. and Larson, R.C. *Analysis of public system-Methods for Allocation Urban Emergency system*, MIT Press, 1972.
- Chin, H.C. and Quddus, M.A. "Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalised intersections," *Accident Analysis and Prevention* (35:2) 2003, pp.253-259
- Goh, P.C. "Traffic Accident Analysis Using Geoprocessing Techniques," *Road and Transport Research* (2) 1993, pp.76-85
- Greibe, P. "Accident prediction models for urban roads," *Accident Analysis and Prevention* (35:2) 2003, pp.273-285
- Hans, N. and Irene, I.H. "Injury potential prediction of a safety design feature: A theoretical method based on simulations and traffic accident data," *Safety Science* (19:1) 1995, pp.45-56
- Hauer, E. "Computing and interpreting accident rates for vehicle types or driver groups," *Transportation Research Record* (1746) 2001, pp69-73.
- Ivan, J.N., Wang, C. and Bernardo, N.R. "Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure," *Accident Analysis and Prevention* (32:6) 2000, pp.785-795
- Karlaftis, M.G. and Golias, M. "Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates," *Accident Analysis and Prevention* (34:3) 2002, pp.357-365
- Karlaftis, M.G. and Tarko, A.P. "Heterogeneity Consideration in Accident Modeling," *Accident Analysis and Prevention* (30:4) 1998, pp.425~433
- Law, A.M. and Kelton, W.D. *Simulation Modeling & Analysis*, New York: McGraw-Hill, 1991.
- Linda, M., Bachir, F. and David, J. "Accident Prediction Models For Roads With Minor Junctions," *Accident Analysis and Prevention* (28:6) 1996, pp.695~707
- Fu, L. "A simulation model for evaluating advanced dial-a-ride paratransit systems," *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (36:4) 2002, pp.291-307

- Fatemi, S.M.T. and Ashjari, B. "A simulation model for multi-project resource allocation,"
International Journal of Project Management (20:2) 2002, pp.127-130
- Sabey, B. and Taylor H. The known risks we run: the highway SR 567. UK, Transport and
Road Research Laboratory, Crowthorne, Berks, 1980.
- Vasconcellos, E.A., "Urban development and traffic accidents in Brazil," Accident
Analysis and Prevention (31:4) 1999, pp.319 - 328

