

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
同質營運環境下國道客運路線最適站位組合與排班策略之研究
**An Optimization for Intercity Freeway Transit Scheduling and
Midway Stop Locations under Homogeneous Environment**

計畫編號：NSC 90 - 2416 - H - 009 - 007

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：林貴璽 gslin@cc.nctu.edu.tw 國立交通大學運輸科技與管理學系

一、中文摘要

自民國八十四年三月交通部開放高速公路客運路權後，促進了國道客運業的蓬勃發展與多家爭鳴的市場現象，惟多數經營者係以單一路線點對點的直達方式提供服務，非但路線重覆，且浪費資源；交通部雖有採用轉運站來整合部份重疊路線，以發揮運輸資源效用與提升服務水準的構想，但短期內仍有轉運站位點取得不易、配置成本高、增加行駛時間等缺點，加上現行大眾運輸法令的規範與非法業者的參與，不僅降低合法業者的經營彈性，亦削弱其市場的競爭力。因此設立國道客運中途站位，不但可降低營運成本、避免重覆路線浪費、提昇業者的競爭力與服務水準，且服務範圍更可涵蓋高速公路全線，既可改善乘客載運與吸引能力，增進營收，亦連帶達到轉運效果。

不同於一般單線兩起迄端點對點的營運方式，本研究由業者的角度，在最大獲利目標之下，探討國道客運單一與多重路線在採用分線調度作業與一系列中途站配置下班次排程與服務站位的組合問題；一般而言，影響業者排班的主要因素包括乘客需求、迴車時間、現有車隊規模、運具容量、以及競爭者的吸引力等，由於業者的經營策略係以最大獲利為前提，因此車隊數量與班次並無滿足各站位旅次需求的

限制，但因市場競爭環境對於業者提供服務班次多寡具有直接增減營收的衝擊，換言之，競爭者對各站位的乘客需求會因業者的排班決策而產生不同的吸引力；業者必須在車隊規模與供給容量侷限之下，面對如何規劃服務路線與停站組合以增加獲利的問題。

本規劃作業考慮：1. 車輛容量與車隊規模的限制；2. 任一站位（除迄點外）均可為中途站與/或發車站；3. 任一站位（除迄點外）的總供給沒有滿足總需求的必要。由於業者的各項運作成本（如營運、車隊、行車成本等）、客運市場競爭者的相對服務屬性（或效用）所導致的乘客移轉、以及因供給低於需求所致的營收損失等都會影響業者的營收，因此本研究採最大獲利折減法來定義目標函數。基於業者獲利最大的目標，本研究建立單方向的國道客運路線組合和停靠站位的評估模式，研究不同路線組合的排班策略，提供業者一套決策的方法，作為調整現有營運策略的依據；並且利用載運狀態變數的設計，以瞭解各站的載運情形是否滿足，決定符合業者利益最佳的經營路線組合、各個場站的配車數，以及各路線的服務班距。

關鍵詞：國道客運、客運招呼站、班距、路線組合、旅運需求

Abstract

The intercity freeway bus services have

become well diversified and more competitive in transit market since the deregulation of freeway travel in 1995. Unfortunately, the existing simple end-to-end bus service mode adopted by most transit operators makes vast majority of intercity freeway transit routes seriously overlapped. This would cause the very limited transport resources to be allocated improperly. To treat such problems, the Ministry of Communication has proposed alternatives of locating either transfer terminals or midway bus stops in order to increase the level of transit services. However, the former has been found to be an unlikely solution due to a number of reasons such as restrictions from existing transport policy, shared market by other illegal transit agents, higher cost for infrastructures and longer travel required. The latter is currently projected as a feasible treatment. It not only helps decreasing operating cost and increasing the share of demand coverage over the freeway but tends to survive those legal transit operators in the market and maintain higher service level for most transit users.

Unlike most traditional analysis, this study concerns with a benefit maximization problem from an operator's standpoint. It explores the concurrent optimization for bus route scheduling as well as midway bus stop allocation on a freeway. Critical factors such as demand patterns along the route, vehicle circulation time, vehicle capacity, fleet size, and potential of market share are known to have influence on the level of service frequency. For a specific transit route, based

on the goal of benefit maximization, the model does not require an operator to reach a decision of completely fulfilling the demand at any midway stop on the route. However, lower service frequency may result in higher loss in demand, thus decreasing market share and benefit. With the limitation, transit operators should determine a way of gaining the maximum benefit by carefully considering the above factors and well organizing service routes and stops along the path.

The pre-planning methodology defines the objective using a profit deduction approach. In addition to the expected revenue from the overall market, the model takes into account the operating costs, the transferring passengers due to a less competitive service plan to the others, and the unattainable ticket revenue due to insufficient transport capability of the operator. With the premise of maximum benefit for a transit operator, this study develops a model to help designing the optimal in-time route service plan that evaluate various service headway decisions and freeway transit route combinations in which feasible midway bus stops are allocated. The conclusion may be used by any transit operator to fine tune the existing service strategy in order to meet the preset goal.

二、緣由與目的

基於現有公路系統的需求量持續增加，發展與鼓勵使用大眾運輸系統便成為因應運輸設施快速飽和的重要對策，其中國道客運為公路客運系統中最高等級的

服務型態，交通部有鑑於短期方案的限制，並以配合發展大眾運輸的既定政策，參予經營的客運業者配合營運市場的擴大與服務路線的增加，產生不同的經營策略。

排班策略的相關研究可分為圖解法（Newwell，1971、Salzborn，1972、Hurdle，1973、韓復華，1977、藍武王等，1996）以時間及累計人數為軸組成二維座標系，其概念係在假設乘客不會流失的情況下，業者最省成本的發車方式，就業者的角度來看，會希望提供的班車能發揮最大效能，因此圖解法的概念可以作為求解營業淨利的上限。最大乘載區間法（Vuchic，1976、Ceder，1984）的概念適用於行車途中的停靠站可以同時上下乘客，在每站蒐集乘客上下車統計資料，以分析乘載最多乘客的區段，作為發車依據，但因研究範圍的限制，此法不適用於本研究。模擬法（陳武正等，1978、周義華等，1994、周義華等，1997）的優點在於可以同時考慮許多變數的影響，且容易將乘客抵達停靠站的行為在系統中表現出來。數學規劃法（Friedman，1976、張學孔，1980、Han 等，1982）將要考慮的因素予以量化，由使用者所考慮的觀點訂定目標與限制式，將變數之間的關係以數學式表示，採用適當的方法求得最佳解。本研究擬站在業者的角度制定排班策略，以國道單一路線（任維廉等，2000）的各種考慮因素為著眼，在同時考慮期望收入、成本（王晉元等，1996）、競爭對手、未載運乘客損失的基礎上，以營業淨利最大為求解目標；同時，由考慮中途停靠站配置的方式，發展最佳路線組合（藍武王等，1997）的營運模式，以決定經營路線（游政霖，1996），停站方式（許巧鶯等，1999）與最佳服務班距，提供業者

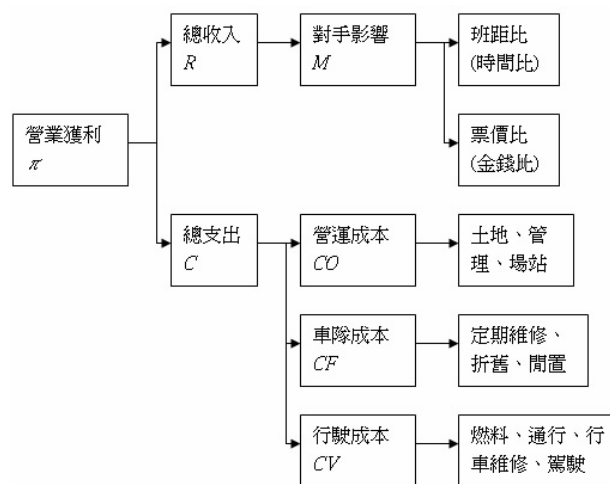
中長期營運的參考。

本研究以營運者的角度為出發點，探討多起點單一迄點之路線組合式國道客運營運之問題，主要研究課題包括：(1) 研究以國道客運業者獲利最大為目標，在不變更車隊規模的前提之下，尋求最佳營運路線組合與個別路線的最佳班距結果；(2) 考慮競爭對手對業者的影響，將班距、票價作為業者在排班作業時的考量需求；(3) 在變動站位需求與服務品質（如票價、行車時間、班車容量、乘客移轉的便利性等）之下，探討不同服務路線與站位組合對業者營運班距的影響。

三、結果與討論

（一）系統架構與基本模式

目標式建立：本研究以業者利潤最大的觀點來尋求最佳營運組合，獲利架構如圖一，各項重要組成項目分述如後：



圖一 營運獲利結構圖

營運獲利 π ：業者獲利主要考量各經營路線的總收入 R 與總支出 C ；將業者的總收入扣掉總支出即為業者的淨利。本研究求取業者獲利最大的情況下，若有經營該路線，則該路線的狀態變數 $X_r = 1$ ，反之代表未經營 $X_r = 0$ ，即 $\pi = R - C$ 。

其次總收入 R 與總支出 C 分析如下：

1. 總收入 R ：根據乘客平均抵達率、票價與營運時間長度所估算的收入。

$$\sum_{r=1}^{2^{n-1}-1} X_r \frac{T_T}{T_r} x_r \sum_{i=1}^{n-1} P_i \lambda_{iM} H_i \alpha_{r,i}$$

$$\begin{cases} x_r = 0 & \text{if } X_r = 0 \\ x_r > 0 & \text{if } X_r = 1 \end{cases}$$

其中實際抵達率 $\lambda_{iM} = f(M, \lambda_i)$ ， M ：對手影響力， λ_i ：站位 i 預期望乘客抵達率， x_r ：路線 r 使用車輛數

班距 H 則求所有路線 r 於站位 i 停靠所發生的站位 i 平均班距：

$$H_i = \frac{H_{c,i}}{\left(\frac{H_{c,i}}{H_1 \alpha_{1,i}} \right) + \left(\frac{H_{c,i}}{H_2 \alpha_{2,i}} \right) + \dots + \left(\frac{H_{c,i}}{H_{2^{n-1}-1} \alpha_{2^{n-1}-1,i}} \right)}$$

其中 $H_{c,i}$ ：所有有停靠站位 i 的路線 r ，其班距 H_r 的最小公倍數

2. 總支出 C ：成本部分由三項組成：營運成本 CO ，車隊成本 CF ，行駛成本 CV ，以下條列各式說明

- (1) 營運成本 CO ：為各場站營運一天固定支出成本，與營運時間長度，該站位使用停靠與否有關。

$$\sum C o_i T_T \beta_i \quad \text{for all } r, \beta_n = 1$$

$$\beta_i = \begin{cases} 0, & \text{if } \sum \alpha_{r,i} X_r = 0 \\ 1, & \text{if } \sum \alpha_{r,i} X_r > 0 \end{cases}$$

- (2) 車隊成本 CF ：與車隊規模有關的成本。包含車輛維修保養費用、折舊成本以及未使用車輛所產生的閒置成本。

$$[R_R F] + [W(1 - 1/m) / (N-n) F o + W/mn (F - F o)] + [C_i(F - \sum x_r)]$$

- (3) 行駛成本 CV ：與發車趟次有關的成本，即每發一班次所引發的成本。包含有燃料、附屬油料、輪胎、行車附支費

用、通行費、行車人員薪資等。

$$[(T_T/H_r) d_r C_g] + [(T_T/H_r) C_{t_{r+}}] + [R2 (T_T/H_r) + R3 (T_T/H_r)] + [\delta C_p \sum x_r]$$

限制式建立：由於系統上的設定，因此必須加入若干限制式：

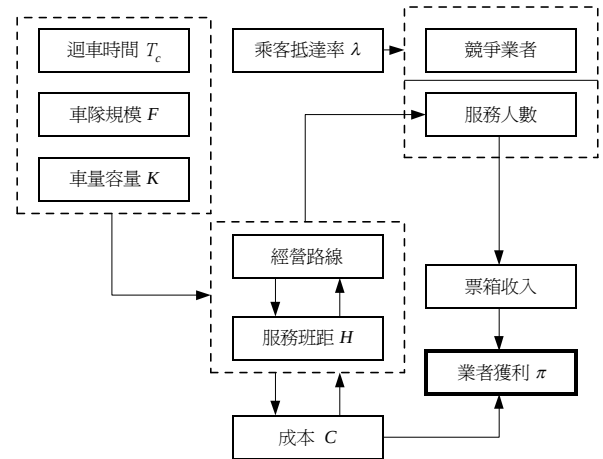
- (1) 業者所擁有的車隊可供調度為有限，因此有規模限制式：

$$\sum_{r=1}^{2^{n-1}-1} x_r \leq F$$

- (2) 業者所擁有車輛有其座位上限，因此有行駛於路線 r 之車輛座位限制式：

$$\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i H_i \alpha_{r,i} \leq C \quad (\forall i, \lambda_i H_i \geq 1)$$

圖二為本研究之系統分析架構圖



圖二 系統分析架構圖

註：箭頭代表影響的方向

表一為模式各變數說明：

(二) 求解流程

由於多重路線組合有其複雜性，所需變動的決策變數範圍過大而難以一般數學求解得最佳解，因此本研究以前述數學模式為基礎，先以「單一路線之站位組合」先觀察其獲益趨勢：

1. 首先進行個別站位組合，將 n 個場站由

距終點站最遠者開始依序給予編號。

2. 求各場站與終點站 n 組成之路線組合個別的獲利值 π 與所需車輛數 χ 。
3. 將所求得的各站最佳獲利值 π 由大而小排序為 $D_1、D_2、\dots、D_n$ ，其場站編號為 $S_1、S_2、\dots、S_n$ 。

表一 變數說明

符號	說 明	單 位
R	總收入	元/天
C	總成本	元/天
M	對手影響力	
π	業者營運獲利	元/天
n	場站數量（含起站 1、迄站 d ）	個
r	n 個場站所有路線的集合	
λ_i	由 i 到 d 的期望乘客抵達率	人/分
λ_{iM}	由 i 到 d 受 M 影響後的實際乘客抵達率	人/分
P_i	由 i 到 d 的票價	元
x_r	路線 r 行駛車隊	輛
T_T	業者營運時間	分/天
T_r	r 路線迴車時間	分/班次
X_r	經營路線 r 指標變數：1 - 經營 0 - 未經營	
R_R	每日每輛車維修成本	元/天
$R2$	每迴車維修成本	元/趟
$R3$	每迴車保養成本	元/趟
CO	每日營運成本	元/天
Co_i	i 場站單位分鐘營運成本	元/分
CF	每日車隊成本	元/天
C_i	閒置車輛成本	元/天
Cg	每日每輛車單位距離燃料成本	元/公里
C_{tr}	r 路線每迴車通行費成本	元/趟
CV	每日行駛成本	元/天
Cp	駕駛成本	元/輛/天
d_r	r 路線迴車距離	公里
F	所有路線總車隊數量	輛
H_r	r 路線發車班距	分/車
H_i	停靠站位 i 之所有 r 的班距之平均班距	分/車
$H_{c,i}$	所有有停靠站位 i 的路線 r ，其班距 H_r 的最小公倍數	分/車
$\alpha_{r,i}$	經營路線 r 於站位 i 停靠情形指標變數：1 - 停靠 0 - 未停靠	
β_i	站位 i 營運情形指標變數：1 - 營運 0 - 未營運	
δ	駕駛成本因子	
H_{mi}	由 i 到 d 競爭對手發車班距	分/車
P_{mi}	由 i 到 d 競爭對手票價	元

4. 進行個別站位組合，將 n 個場站由距終點站最遠者開始依序給予編號。

5. 求各場站與終點站 n 組成之路線組合個別的獲利值 π 及所需車輛數 χ 。

6. 再將所求得的各站最佳獲利值 π 由大而小排序為 $D_1、D_2、\dots、D_n$ ，其場站編號為 $S_1、S_2、\dots、S_n$ 。

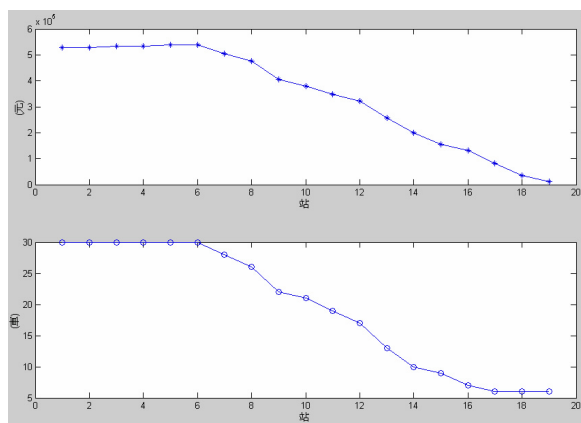
7. 檢驗 D_1 獲利值 π_1 ，檢驗原有車輛數是否全部使用，從獲利值最大的場站 D_2 開始加入組合，直到所需車輛數等於全部車隊數，此時即為單一路線站位組合之最佳值。

若以「多重路線組合」為營運主軸，則以兩條路線組合並觀察其收益變化，以窮舉法方式找出趨向最佳解的組合。

（三）分析與討論

1. 單一路線站位組合

由系統分析架構可知乘客需求、迴車時間是調整服務班距與車隊規模的主要影響因素，原有車隊規模與班車容量則為設定參數，就抵達率 λ 而言，當抵達率為固定時，站位設置有離終點站越遠則收益越高的趨勢（圖三）；當離終點站越遠抵達率漸增時，站位設置必然傾向離終點站最遠者最佳，但當抵達率為漸減時，離終點站遠的站位因為抵達率低，即使票價收入高，其迴車時間長所造成的成本會使獲利值呈漸減現象，但仍傾向離終點站較遠者設為起始站有較佳獲益的趨勢。就站位組合而言，若該路線站位組合達最佳解且已使用全部車隊數，則多增加任一站位仍無法提升收益，反而增加站位成本及班距；反之，車隊未全部使用時可再增加站位以投入更多車輛數來獲取該增加站位的收益。



圖三 各站位與終站組合之最佳車隊數與最佳獲益

2. 多重路線與多站位組合

在進行多重路線組合時雖有其複雜性，並不易直接快速的求得最佳組合解，然而仍有一定的趨勢：若各路線在最佳收益下所使用的車輛數皆未超過系統車隊數，則多重路線組合有獲益較高的優勢；反之，若某單一路線已達最佳收益解且已投入全部車隊，則安排多重路線與其配合會有降低收益的可能。在多重路線組合中，於中途發車的車輛其後所停靠的站位必須與發車站車輛停靠站位相一致，因此若中途站位的乘客抵達率比發車站來的高時，針對該中途站進行多重路線組合安排該站發車，則獲益也會明顯提升。

四、計畫成果自評

過去的研究大多站在系統的角度，追求系統成本（業者、乘客、社會成本）最小或是社會福利最大化為目標。本研究則站在業者的角度，以營業獲利最大為考量目標，針對國道客運業者的營運路線進行站位配置與排班作業的探討，包括單一路線站位組合的最佳求解，以及多重路線組合的最佳獲益可能的趨勢，將可提供業者在因應路線需求變動時調整站位與班距的參考。

本研究建立單方向國道客運路線組合

和停靠站位的評估模式，提供業者一套決策方法，據以決定符合業者利益最佳的經營路線組合、各個場站的配車數，以及各路線最佳班距班距。本研究中發現針對旅運需求高的站位進行優先的路線站位組合獲益表現比較高，多重路線組合時將相近需求的站位作組合獲益也較高，然而車隊數限制往往對是否達到最佳收益組合有其重要的影響力。

本研究僅假設競爭對手只有一家，只針對票價及班距比作分析，為來可加入互相影響的的互動行為模式，使整體模式在乘客轉移的函式中更能符合實際情形。

區間車與直達車的票價差異及服務水準在本研究中並未納入，未來可就因班距長短及區間車或直達車等差別因素而對模式產生影響，進一步配合競爭對手的班距及票價吸引等使模式更為符合現實營運情形。

本研究範圍僅限定乘客只能上車至迄點站下車，未來可擴大系統的設定，放寬為各站乘客皆可上下車並各有其旅次目的地，針對此種行為發展出一套更為合理的模式。

面對多重路線求解時仍採用窮舉法，本研究只觀察出其獲益趨勢，並為發展搜尋流程來求最佳組合解，因此未來可就求解方法找出一合適之演算法，節省搜尋時間找出最佳解位置。

五、參考文獻

- [1] 韓復華，「客運系統班次排定問題研究」，台灣大學土木工程系碩士論文，1977 年 6 月。
- [2] 藍武王、王丘明，「城際客運之排班與乘客等候時間分析」，交通運輸，12 卷 81-91 頁，1996 年。

- [3] 陳武正、蕭耀廷，「公車車輛調度模擬分析」，運輸計劃季刊，7 卷 4 期，10-20 頁，1978 年。
- [4] 周義華、謝金玫，「專家系統應用於公車排班作業之研究」，運輸計劃季刊，23 卷 2 期，199-234 頁，1995 年。
- [5] 周義華、吳宗憲，「公車路線間相互支援之排班專家系統」，運輸計劃季刊，26 卷 1 期，159-202 頁，1997 年。
- [6] 張學孔，「最小社會成本與最大社會福利：兩個大眾運輸系統最佳化目標」，運輸，9 卷，133-142 頁，1980 年。
- [7] 任維廉、林容聖，「旅運需求與迴車時間變異對國道客運排班與車隊影響之研究」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，2000 年 6 月。
- [8] 王晉元、廖俊儀，「有方向性節線排程問題解法之研究」，國立交通大學交通運輸研究所博士論文，1996 年 6 月。
- [9] 藍武王、林祥生，「均質環境下城際國道客運服務策略之最佳化分析」，運輸學刊，10 卷 3 期，39-78 頁，1997 年。
- [10] 游政霖，「城際客運轉車系統路線設計之研究」，台灣大學土木工程系碩士論文，1996 年 6 月。
- [11] 許巧鶯、張廉右，「高速鐵路各路段運量與列車停站方式、票價及班次策略關係之研究」，國立交通大學運輸工程與管理學系碩士論文，1999 年 6 月。
- [12] Newell, G.F., "Dispatching Policies for a Transportation Route", Transportation Science, Vol.5, No.1, pp.91-105, 1971.
- [13] Salzborn, F.J.M., "Optimum Bus Scheduling", Transportation Science, Vol.6, No.2, pp.137-148, 1972.
- [14] Hurdle, V.F., "Minimum Cost Schedules for a Public Transportation Route", Transportation Science, Vol.6, No.2, pp.109-137, 1973.
- [15] Vuchic, V.R., Transit Operating Manual, Pennsylvania Department of Transportation, 1976.
- [16] Ceder, A., "Bus Frequency Determination Using Passenger Count Data", Transportation Research, Vol.18A, pp.439-453, 1984.
- [17] Friedman, M., "A Mathematical Programming Model for Optimal Scheduling for Buses Departure Under Deterministic Condition", Transportation Research, Vol.10, No.2, pp.83-90, 1976.
- [18] Han, A.F. and N.H.M. Wilson, "The Allocation of Buses in Heavily Utilized Networks with Overlapping Routes", Transportation Research, Vol.16B, pp.221-232, 1982.