

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 最佳化機場機門數量估算模式及求解演算法之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-032-025-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學運輸管理學系

計畫主持人：邱顯明

共同主持人：顏上堯

計畫參與人員：曾惠鈺、李文聖

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 13 日



中 華 民 國 92 年 9 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 最佳化機門數量估算模式及求解演算法之研究

### Optimal Models and Solution Algorithms for estimating the number of an airport gates

計畫編號：

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：邱顯明 淡江大學運輸管理學系

共同主持人：顏上堯 中央大學土木工程學系

計畫參與人員：曾惠鈺、李文聖

#### 一、 中文摘要

機場的停機位數量多寡和使用效率一直是影響機場服務水準的關鍵。在短期機場擁擠下，如何以最小機門數有效指派尖峰時段的航次？在長期規劃且在有限的經費下，如何估算能滿足未來目標年航次數的最少機門數？等課題一直為機場營運當局所重視。傳統實務上，短期機門的指派，大都以人工經驗方式為之，缺乏系統性最佳化分析。至於長期機門數的規劃上，以往文獻大多以統計方法配合歷史資料估算預期機門數量。此方法缺乏系統最佳化指派考量，難以估算最少機門需求量。

有鑒於此，本研究擬利用網路流動技巧，發展數個機門指派模式，並透過穩健最佳化觀念，求解短期營運與長期規劃所需最少的機門數量問題。本研究擬先建立一基本模式，發展兩種不同策略模式，以求解各策略下滿足需求之最少的機門數量。進而測試兩種不同求解方法論，分別以拉式演算法以及基因演算法求解之。最後，我們以國內一國際機場的營運資料為例，進行實例分析，並配合穩健最佳化的方法，發展一模擬架構，綜合各策略模式，藉由多次模擬求解，求解長期規劃面的機門數量問題。個案分析結果顯示兩種解法皆可求得相同之最小雞門數量，證明本計畫所採用之巨集式啟發式解法同拉式演算法皆可得到相同品質之求解結果

**關鍵字：**機門、拉氏演算法、基因演算法、穩健最佳化

#### Abstract

The number of gates and their usage efficiency are essential to airport level of service. In short-term operations under congestion, what is the minimum number of gates that can operate all flights in peak periods in an airport? In long-term planning under limited budget constraint, what is the minimum number of gates that can operate all the flights expected in the target year in an airport? Although academic researchers have proposed some optimal gate assignment models, these models did not aim at minimizing the number of gates. In long-term planning, statistical methods, coupled with historical operating data, were used to estimate an expected number of gates. Without optimal assignment of flights to gates, it is difficult to estimate the minimum number of gates.

In this research, we employ the network flow techniques to develop several gate assignment models, together with robust optimization, to solve the minimum number of gates for airport short-term and long-term operations. Finally, the validation of the models and the two types of solution algorithms, i.e., Lagrangian Relaxation and

Genetic Algorithms, are evaluated in the research. Based on the results of case studies, we conclude the model can be used in determining the minimum gate number by either algorithm we tested in this research.

**Keywords:** gate, Lagrangian algorithm, genetic algorithm, robust optimization

## 二、緣由與目的

隨著經濟的發展，航空市場也日益茁壯，航班的增加，也意味著機場必須擴充整體軟硬體設備來應付日以遽增的搭機民眾需求。其中，機場的停機位數量的多寡和使用效率一直是影響機場服務水準的關鍵。機門的數量也是決定機場未來營運的重要因素，過少的機門數量容易形成營運上調度困難，間接造成航機起降誤點與旅客不便。而過多的機門數量除了在興建成本上造成不必要的支出，對於日常管理上亦須支出額外的保養費用。

本研究主要目的在利用網路流動技巧，發展數個機門指派模式，並透過穩健最佳化(robust optimization)觀念，以有效地機門指派方式，求解短期營運與長期規劃所需最少的機門數量問題，期能幫助機場當局疏解短期尖峰機門擁擠問題，及降低機場在長期興建的成本支出。綜而觀之，本計畫可提供：

1. 針對民用機場單日航班表建立一基本模式，求解最小機門需求數量。
2. 應用穩健最佳化的方法，發展一模擬架構，綜合各策略模式，藉由多次模擬求解，求解長期規劃面的機門數量問題。
3. 以國內一主要民用機場為例，參考其實際營運之資料，做一實例研究評估拉式演算法與基因演算法之求解效率。

## 三、結果與討論

一般關於機門指派問題大致上可以分成兩類，一種非數學解析方式，如運用等候理論配合其他策略以模擬的方式求解機門指派問題；第二種則是採取數學解析方式，如零壹整數規劃或以網路流動技巧構建模式。且不論運用何種方法，均著重於求取旅客總步行距離或是總延滯時間最小化，均把機門當作是一個定數。本研究嘗試以車輛繞境問題(VRP)的觀點來建構模式，並依據各個輸入項，用以求取一最適的機門數量，供機場營運者參考。本計畫之架構概括整理如下：

首先將本問題的所有輸入項與轉換成 VRP 之相對應內容整理出來如下表：

輸入項	VRP 相對應的內容
機場營運時段	Max time
停泊機門之時間長度	各節點服務時間
緩衝時間之長度	可併入服務時間內

航班編號  
 航班抵達時間與離開時間  
 節線成本

各節點之編號  
 時窗限制開始與結束時間  
 機門閒置時間

此一問題當中，輸出項為最小機門數量與當日航班機門指派表。不同於過去將機門設為一定數，本研究將機門數量設為一變數，目的在不違反航班使用機門的時間限制下，機門閒置時間最小化為目標，追求機門最小化。

本計畫構之目標式如下：

(一)符號說明

$R$  = 所有路徑之集合。

$T$  = 每日最大工作時數。

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{班機 } i \text{ 離去至班機 } j \text{ 進入之時間差。} \\ 9999, & \text{不符時窗限制。} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{班機 } i \text{ 之下一班機為 } j。 \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$$

$e_i$  = 班機  $i$  之時窗開始時間。

$l_i$  = 班機  $i$  之時窗結束時間。

$b_i$  = 車輛到達顧客  $i$  時間。

$s_i$  = 班機  $i$  的服務時間。模式構建

**目標式**

$$\text{Min } \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

目的在求取總閒置時間最小化。

**限制式**

流量限制

$$\sum_i \sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall (i, j) \in V \dots\dots\dots (2)$$

上式代表每架飛機只能由一個機門來服務，且只能服務一次。

$$\sum_{i \in V} x_{ip} - \sum_{j \in V} x_{pj} = 0 \quad \forall p \in V \dots\dots\dots (3)$$

此式代表若飛機進入機門  $P$ ，則仍會由該機門離開之流量守恆限制。

路徑時間限制

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ij} (s_i + c_{ij}) \leq T \dots\dots\dots(4)$$

上式表示每機門服務之時間，不得超過每日最大工作時數。

時窗限制

$$e_i \leq b_i \leq l_i \quad \forall i \in V \dots\dots\dots(5)$$

機門服務開始時間必須介於飛機抵達與離去時間。

避免子迴路限制

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} = |S| - 1 \quad \text{for all } S \subseteq N \dots\dots\dots(6)$$

其他限制

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in V \dots\dots\dots(7)$$

(五) 求解策略

本研究將以兩個求解策略來比較不同方法運用於本研究主題之適宜性。第一種求解策略為將此一問題轉換成最小成本網路流動問題，並利用拉氏鬆弛法暨次梯度法，配合網路單體法或其他啟發解法，發展有效之拉氏演算法，求解各網路模式。其完整步驟如下：

- 步驟1：設疊代次數 $n=1$ ，並設拉氏乘數的起始值為0。
- 步驟2：利用網路單體法求解模式(5)，得到模式目標之下限值 $Z(\mu k)$ ，同時根據前述整數化的考量將其無條件進位為 $Z^*(\mu k)$ ，若 $Z^*(\mu k) > Z^*(\mu k-1)$ ，則將 $Z^*(\mu k)$ 疊代下限值 $ZL$ 。
- 步驟3：以下限解為基礎，利用拉氏啟發式解法求解模式(5)得一上限解，若 $Z(\mu k) < Z(\mu k-1)$ ，則將 $Z(\mu k)$ 疊代上限解 $ZU$ 。
- 步驟4：比較上、下限之目標值，若上、下限目標值相差已到達容許的收斂範圍(即 $|(ZU - ZL) / ZU| < \theta$ ，或達到一定運算回合數時，則求解完畢停止運算。否則繼續進行步驟5。
- 步驟5：利用次梯度法修正拉氏乘數。若經過一定運算回合數後，目標下限值仍無改進時，則 $\lambda$ 值縮小1.5倍(經本研究測試，此縮小倍數之收斂效果最佳)。
- 步驟6： $k=k+1$ ，並回到步驟2。

第二種策略為採用固定的二維矩陣來表示各個航班的機門指派，採取一般





方式產生，以增加搜尋的變異，但亦有研究配合啟發解法產生。對於本研究來說，係以最鄰近法來產生初始群體。至於群體產生的數目，則針對不同的例題，自動調整其大小，使能夠同時兼顧搜尋時間與廣度。

## (2) 複製

所謂複製亦即模仿自然界侍者生存的現象，適應度高的染色體被複製的機率就高，而複製的過程中則保留原染色體的一切特性。本研究引用的選擇機制為輪盤法(Roulette Wheel Selection)。就是將群體的適應度值依據其大小比例分配在一個輪盤上，適應度函數越好者，分配的比例越大。

## (3) 交配

基因演算法主要透過交配來找尋下一個搜尋的對象，過去研究的交配方式包含單點交配、順序交配的方法。本研究將利用一對一單點交換的方式作交配。

## (4) 突變

一般而言，在自然界的基因突變率約在百萬分之一，但在演算法中，為避免過早收斂而陷入區域解中，故在突變率的設定上必須予以擴大。

## (5) 停止條件

本研究對於停止運算的判斷，將採用最佳解持續未改善的世代數作為到達某一標準做判斷。此一世代數則必須依題目不同而給予調整。

## (六)結果探討

本計畫利用所採用之 1998 年 10 月 11 日中正機場客運飛航資料表共 193 個航班來做測試，所有機型均視為同一機型。以第一種拉式演算法求解策略求出之最小機門數量為 23 個。另以第二種求解策略配合基因演算法求解，並配合穩健最佳化的方法，發展一模擬架構，綜合各策略模式，藉由多次模擬求解，求解長期規劃面的機門數量問題，其最佳解之機門數量也為 23 個，證明本計畫所採用之兩種解法同樣能夠運用於求解最小化機門數量，並得到相同品質之結果。惟求解過程中，發現起始解對於啟發式解法之求解品質會有顯著之影響，值得後續相關研究繼續探討。

## 四、計畫成果自評

本計畫以探討運用拉式演算法以及基因演算法於最小機門數量研究之適宜性，研究內容和原計畫提送內容相符，已達成預期之目標。有關演算法之應用，未來將進行其他測試項目，於學術期刊中發表。

## 五、參考文獻

1. 汪進財 (1992)，「機門指派最佳化模式」，運輸計劃季刊，第二十一卷，第二期，頁 247-260。

2. 汪進財、張東珍 (1996), 「動態機門指派績效評估」, 運輸計畫季刊, 第二十五卷, 第一期, 頁 121-144。
3. 周義華、夏武正 (1999), 「航空站停機位需求之估計」, 運輸計畫季刊, 第二十八卷第四期, 頁 609-634。
4. 陳春益、李宇欣、盧華安 (1997), 「時空網路應用於機門指派問題之研究」, 運輸學刊, 第十卷, 第三期, 頁 1-20。
5. 顏上堯、張家銘 (1997), 「機門指派最佳化之研究」, 中國土木水利學刊, 第九卷, 第三期, 頁 491-500。
6. 顏上堯、韓復華、霍俊明 (1998), 「大型機門指派問題最佳化」, 中國工業工程學刊, 第十五卷, 第三期, 頁 245-254。
7. 朱橋榮(2001), 「最小化機場機門數量之研究」, 國立中央大學碩士論文。
8. Abuali, F. N., Wainwright, R. L., and Schoenefeld D. A. (1995), "Determinant factorization: a new encoding scheme for spanning trees applied to the probabilistic minimum spanning tree problem," *Proceedings of The Sixth International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 470-477.
9. Ashford, N. and Wright, P. H. (1974), "Airport Engineering," 3<sup>rd</sup> Edition, Wiley Interscience City.
10. Babic, O., Teodorovic, D. and Tosic, V., (1984), "Aircraft Stand Assignment to Minimize Walking," *Transportation Engineering*, Vol. 110, pp.55-66.
11. Braaksma, P. and Shortreed, J. H. (1971), "Improving Airport Gate Usage With Critical Path Method," *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 97, No. TE2, pp. 187-203.
12. Cheng Y. (1997), "A Knowledge-Based Airport Gate Assignment System Integrated With Mathematical Programming," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 32, pp.837-852.
13. Gosling, G. D. (1990), "Design of an Expert System for Aircraft Gate Assignment," *Transportation Research Part A*, Vol. 24A, No. 1, pp. 59-69.
14. Hamzawi, S. G., (1986), "Management and Planning of Airport Gate Capacity: A Microcomputer-Based Gate Assignment Simulation Model," *Transportation Planning and Technology*, Vol. 11, pp.189-202. Hassounah, M. I. and Steuart, G. N. (1993), "Demand for Aircraft Gates," *Transportation Research Record*, n1423, pp. 26-33.
15. Horonjeff, R. and Mckelvey, F. X. (1975), "Planning and Design of Airports," 3<sup>rd</sup> Edition, McGraw-Hill.
16. Mangoubi, R. S. and Mathaisel, D.F.X. (1985), "Optimizing Gate Assignment at Airport Terminals," *Transportation Science*, Vol. 19, No.2, pp. 173-188.
17. McKenzie, J. et al. (1974), "Staging of Improvements to Air Transport Terminals," *Transportation Engineering Journal of ASCE*, Vol. 100, No. TE4, pp. 855-872.
18. Palmer, C. C., and Kershenbaum, A. (1994), "Representing Trees in Genetic Algorithms" *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Piscataway, NJ: IEEE Service Center, Vol. 1, pp. 379-384.
19. Steuart, G. N. (1974), "Gate Position Requirement at Metropolitan Airports," *Transportation Science*, Vol. 8, pp. 169-189.
20. Su, Y. Y. and Srihari, K., (1993), "A knowledge Based Aircraft-Gate Assignment Advisor," *Comps and Ind. Eng.*, Vol. 25, pp. 123-126.
21. Taguhi, T., Ida. K., Gen, M. (1998), "A Genetic Algorithm for Optimal Flow Assignment in Computer Network," *Computers ind. Engng*, Vol. 35, No3-4, pp. 535-538.

22. Vanderstraetan, G. and Bergeron, M., (1988), "Automatic Assignment of Aircraft to Gates at A Terminal," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 14, pp.15-25.
23. Wirasinghe, S. C. and Bandara, S. (1990), "Airport Gate Position Estimation for Minimum Total Costs—Approximate Closed Form Solution," *Transportation Research Part B*, Vol. 24B, No. 4, pp. 287-297.
24. Yan, S. and Huo, C. M. (2001), "Optimization of Multiple Objective Gate Assignments," *Transportation Research*, Vol. 35A, No. 5, pp. 413-432.
25. Yan, S. and Lin, C. (1997), "Airline Scheduling for the Temporary Closure of Airports," *Transportation Science*, Vol. 31, No. 1, pp. 72-82.