

機場出境行李卸載轉盤指派最佳化 模式與演算法¹

THE AIRPORT DEPARTURE LUGGAGE LOADING CAROUSEL ASSIGNMENT MODEL AND SOLUTION ALGORITHM

顏上堯 Shangyao Yan²

盧宗成 Chung-Cheng Lu³

洪逸樺 Yi-Hua Hong⁴

(108 年 10 月 1 日收稿 · 108 年 12 月 25 日第 1 次修改 · 109 年 3 月 22 日定稿)

摘 要

在開拓新航點與航線多元發展下，桃園國際機場正積極為成為東亞地區轉運樞紐做準備。除了機場捷運開通以及興建第三航廈計畫外，第二航廈也做了許多更新，包含整合各項軟硬體設備、跑道整建工程等，其中出境部分直線型行李卸載道也於 2015 年更新成轉盤型行李卸載轉盤，期能提高作業效率。隨著桃園國際機場航空運量大幅成長，每天有超過 10 萬件以上的行李需處理運送，但目前實務上作法仍仰賴人工經驗進行行李運送規劃，缺乏系統性整合，容易造成資源浪費，因此本研究參考航班運量預報資訊，並考量實務問題之複雜度，建構出機場行李卸載轉盤指派之模式。本研究利用數學規劃方法，在滿足所有航班皆指派至一行李卸載轉盤和實務方面限制為前提下，以最小化航班行李卸載轉盤重疊作業時間為目標，

-
1. 本研究承科技部專題計畫 (MOST-107-2221-E-008-019) 補助，特此致謝。作者亦感謝二位審查委員提供寶貴的修正意見，使本文更為嚴謹。
 2. 國立中央大學土木工程學系教授 (聯絡地址：32001 桃園市中壢區中大路 300 號 中央大學土木工程系；電話：(03)4227151 轉 34141；E-mail: t320002@cc.ncu.edu.tw)。
 3. 國立交通大學運輸與物流管理系教授。
 4. 國立中央大學土木工程學系碩士。

構建機場行李卸載轉盤指派之模式。在求解方法上，因模式問題規模龐大，本研究發展一啟發式演算法，利用基因演算法搭配 2-OPT 區域搜尋法求解問題。而為評估模式之實用性，本研究以國內某國際機場為例進行範例測試，並針對不同參數進行敏感度分析，結果顯示本研究提出之模式，在航班指派行李卸載轉盤上能有效規劃，故本研究之模式與求解演算法，可提供決策單位作為航班指派行李卸載轉盤規劃之參考。

關鍵詞： 行李卸載轉盤；基因演算法；2-OPT 區域搜尋；行李分揀系統；共用資源指派

ABSTRACT

Taoyuan International Airport is actively preparing to be a transit hub in East Asia by expanding new routes. In addition to the activation of the airport MRT and the construction of the third terminal, there are significant upgrades to the existing second terminal, including hardware and software integration and runway construction projects. Among those, the linear baggage conveyor in the departure section had also been replaced by the baggage loading carousel in 2015, in order to improve the operational efficiency. The travel demand at Taoyuan International Airport grows significantly and there are more than 100,000 pieces of luggage transported every day. However, the current practice of assigning baggage carousels to departure flights relies on the operator's experience, which lacks a systematic approach and hence may result in inefficient use of carousel resources. To address this issue, this study constructs a baggage carousel assignment model that takes into account outbound luggage demand forecasts and complex practical constraints on assigning baggage carousels to departure flights. The objective of the model is to minimize the overlapping time of luggage loading operations among departure flights. The proposed model is characterized as NP-hard. To solve large scale instances of the problem efficiently, a genetic algorithm, coupled with a 2-OPT local search, is developed. A case study using real data from Taoyuan International Airport is performed to evaluate the model and the heuristic. The results show that the model and the solution algorithm are useful for assigning luggage carousels to departure flights.

Key Words: Luggage loading carousel; Genetic algorithm; 2-OPT; Baggage handling system; Common use resource assignment

一、緒 論

隨著國際航點與兩岸航線的開拓，廉價航空的興起與紅眼班機日益增加以及南北跑道

的修建完成，桃園國際機場航空運量大幅成長，2016 年桃園國際機場客運量超過 4,000 萬人次，面對每日超過 10 萬件以上的行李，2015 年桃園國際機場開始進行第二航廈出境行李輸送系統設備更新，將第二航廈原先的直線型行李卸載道全面更新成轉盤型行李卸載轉盤，更引入省力機械行李搬運裝置以提高地勤人員處理旅客行李之效率，避免因出境行李輸送效率導致班機的延誤。因此，為了提升行李輸送效率與出境航班的準點率，龐大的行李輸送量，使得行李卸載轉盤的航班指派成為一個重要的議題。

目前桃園國際機場第二航廈，行李卸載轉盤分兩種：一為設置在入境大廳，供入境旅客提領行李之行李提領轉盤，二為設置在出境行李處理中心，供航空公司使用卸載出境旅客行李之行李卸載轉盤。為了讓航班能準時起飛，以避免影響航機後續的銜接任務，一般來說，出境行李的輸送急迫性較入境行李來的高。然而，經與機場行李轉盤指派人員訪談得知，目前行李轉盤指派作業皆是人工指派方式，因此機場的行李卸載轉盤指派作業，在機場營運上扮演著十分重要的角色。良好的行李卸載轉盤指派系統，不僅可取代決策人員費時的人工指派方式，亦可更有效地運用行李卸載轉盤，提高行李卸載轉盤作業效率，並降低航班的延誤。

旅客行李一般分類為 3 種：出境行李、轉機行李、入境行李，一般流程在出境部分，出境行李處理中心仰賴行李分揀系統處理出境行李與轉機行李，當出境行李經報到櫃檯貼上編碼後，經行李分揀系統分至該航班所指派之行李卸載設備，而行李卸載設備則有直線型與轉盤型，以供地勤人員對應航班，將行李裝至盤車上送至機門邊。因此旅客出境行李處理流程，除了後端作業（即行李從卸載轉盤運送至機門）會影響輸送效率外，前端作業（即行李從報到櫃檯經系統分揀至各航班指派之行李卸載轉盤）亦為影響輸送效率的關鍵因素之一。然而目前國內外針對航班指派行李卸載轉盤與考量報到櫃檯側區位之相關文獻較少，多數文獻著重於航班指派行李卸載道亦或考量因素與機門區位相關，如 Abdelghanya 等人^[1] 考量美國一家大型航空公司在芝加哥奧黑爾國際機場的行李調度分配，提出行李卸載設備分配原則應先考慮航班機門位置，再考量指派過的行李卸載設備並加入與登機門距離，並減少行李卸載設備擾動度，發展一 activity selection problem (ASP) 演算法求解最大化可安排行李卸載設備的航班數量。Ascó 等人^[2] 依據在 Abdelghanya 等人^[1] 所提出的行李卸載設備分配原則應先考慮航班機門位置前提假設下，認為行李卸載設備所需處理行李之時間應比機門使用時間長，在模式建立中考慮緩衝時間納入限制，並發展貪婪式演算法求解最小化行李卸載設備數量。Barth^[3] 針對入境部分的轉盤型卸載道分配調度，有別於其他主要研究出境部分的行李卸載設備分配，提到入境行李到達行李轉盤時間是固定的，而在行李分揀系統中，出境行李需考量早到行李，因此問題考量有所不同。此外，問題的目的也不同，主要研究旅客提領到入境行李之時間，建立混合整數規劃模型，增加行李卸載設備調度使用，利用 CPLEX 數學規劃軟體進行求解最小化成本。Ascó 等人^[4] 考慮倫敦希斯洛機場第一航廈與第二航廈機門與行李分揀系統分布，針對行李卸載設備服務時間並考量飛行密度與機門使用限制，透過壓縮卸載時間增加安排航班數，建立整數規劃數學式，利用 CPLEX 數學規劃軟體，進行求解最大化可安排行李卸載設備的航班數量。

施昂義^[5]針對在桃園機場行李卸載道改變為轉盤型行李卸載轉盤後，可同時卸載多個航班得以解決卸載道不足的問題，在將所有航班都排入卸載道前提下，考量機場機門相對位置與行李卸載轉盤數量，求出航班卸載道配置，建立混合整數規劃模型，增加行李卸載設備調度使用，利用基因演算法與粒子群演算法，進行求解最小化卸載道重疊時間。Huang 等人^[6]針對航班出境部分的行李分揀系統中直線型卸載道分配，有別於其他考量行李卸載設備服務時間或飛行密度與機門使用限制，考量行李處理所需時間限制與行李數量，盡量減少使用行李卸載設備資源的同時分配機場行李卸載設備，建立 stochastic vector assignment problem (SVAP) 之數學模式，利用 CPLEX 數學規劃軟體求解最小化成本。

在資源有限，而需求增加的情況下，透過數學規劃方法建立模式，以求解指派排程問題，可避免由人工指派所造成的不可靠及無效率之作業方式。又根據以往文獻，數學規劃方法於機場設備（如報到櫃檯、機門等）的指派排程問題上已有良好成效，如 Tang^[7]、Tang 等人^[8]、Yan 等人^[9]與 Yu 等人^[10]之研究。本研究目的即為在行李卸載轉盤數量有限，而出境航班數龐大的情況下，利用數學規劃方法建立行李卸載轉盤指派模式，以系統性地指派各航班所使用之行李卸載轉盤。

然而，實務上的問題規模龐大，通常難以在合理時間內，直接以現有數學規劃軟體求解模式。為了有效率求解模式，最早應用區域搜尋的概念，發展啟發式演算法。而 Glover^[11]發表「巨集啟發式解法 (meta-heuristics)」的概念，乃是以傳統啟發式方法為核心架構，結合創新的搜尋策略，使其能跳脫局部最佳解之限制，而找到更優的解。相較以往的區域搜尋啟發式演算法，巨集啟發式解法能有效的跳脫局部最佳解，使得搜尋範圍更大，因而提高求得最佳解或較佳解的可能性。Holland^[12]在 1975 年所提出基因演算法 (Genetic algorithm)，為一種全域搜尋之演算法，仿照達爾文提出的進化論中生物適者生存演化法則，藉由群體中每一個體之染色體，演化過程挑選染色體，而挑選過程採用適應環境的程度，以適應度來表示並複製進交配池，在交配池中經由交配，為避免世代的個體趨於一致，運用突變運算子以多樣化染色體，將產生的新群體取代舊的群體進行世代的替換演進，直至收斂解或設定條件出現為止，一組染色體代表一組解，包含不同基因代表其編碼決策結果。

基因演算法屬於散佈式搜尋演算法，在廣度搜尋方面，可廣泛搜尋可行解區域，在突變運算子中隨機機率過高可能會破壞染色體的優良基因，甚至使得基因演算法變成完全隨機的搜尋法；然而過低也可能尚未搜尋到區域最佳解時，即跳離至另一可行解區域，因此搭配 2-OPT 為深度搜尋之方法，改善突變尚未搜尋到區域最佳解即跳離至另一可行解區域情形，使基因演算法能向下探掘至區域最佳解，整體求解效果更有效率。Lin 與 Hu^[13]以優先權選擇的混合式基因演算法解決旅行家問題研究中，提及基因演算法此啟發式演算法常用於解決最佳化問題，結合 2-OPT 區域搜尋演算法可形成效能更佳的混合式基因演算法，並可以較短時間得到較優可行解。

綜合上述文獻回顧，國內外研究針對行李卸載轉盤的指派問題上，多數著重於機場機門與行李卸載設備相對區位關係，鮮少考量報到櫃檯與行李卸載轉盤的相對區位關係。然

而相較於國外的大型機場而言，桃園國際機場之面積較小，故各機門與行李卸載設備之間的距離不遠，航空公司的地勤人員將行李自轉盤取下後放置行李車，即直接往機坪送上飛機，而行李車都可順利行駛至各登機門，因此不論航班被指定於哪個登機門，其出境行李的後端作業效率相差不大。但是在前端作業部分，行李通過檢驗的 X 光機後，若是報到櫃檯與行李卸載轉盤在不同區域時，會因跨區而再經過一道程序（即中央閘門），故報到櫃檯與行李卸載轉盤之間除了距離，還有程序時間會影響行李輸送的效率。此外，理論上，行李卸載轉盤的指派作業，係在一個時間內，盡量讓一個轉盤指派給一個航班，以避免不同航班在行李分揀時影響作業效率。然而由於行李卸載轉盤數量有限，航班數增加導致出境時間重疊時，在實務上亦有一個轉盤在同一時間內指派給不同航班之情形。當一個行李轉盤上，指派給不同航班之數量與重疊時間越多時，不僅會導致行李輸送效率變差，也可能造成行李分揀錯誤率提升。另外，由於行李轉盤的容量限制，同一時間內航班數量與大小的搭配，也成為行李卸載轉盤指派作業的重要考量因素之一。目前國內外雖有文獻（如施昺義^[5]及 Huang 等人^[6]）探討出境航班行李卸載轉盤的重疊時間指派問題，然而，他們的模式中仍欠缺考慮同一時間內，同一轉盤上航班數量與大小的搭配問題，且也僅探討後端作業的效率影響，然而在臺灣桃園機場，卸載轉盤上之行李運到機門屬於航空公司負責，並非機場當局的責任，而報到櫃檯與卸載轉盤均為機場負責，為同一系統，故前後端作業的營運者不同。爰此，本研究以機場決策者的立場，考量實務狀況之限制，以最小化航班行李卸載轉盤重疊作業時間為目標，構建一機場行李卸載轉盤指派最佳化模式，並發展基因演算法搭配 2-OPT 區域搜尋法進行問題之求解，此模式及演算法可望能提供相關決策單位在進行航班指派行李卸載轉盤之參考。

本文後續內容如下：第二節描述所建構之出境行李卸載轉盤指派模式，第三節說明求解演算法，第四節為範例測試與結果分析，最後在第五節提出結論與建議。

二、模式建構

本研究針對桃園國際機場第二航廈之出境行李卸載轉盤指派最佳化問題，從機場營運者之立場，以最小化航班行李作業重疊時間為目標，構建機場出境行李卸載轉盤指派模式，利用數學規劃方法與基因演算法搭配 2-OPT 區域搜尋法進行問題之求解，以提供相關決策單位在進行航班指派行李卸載轉盤之參考。本小節將針對模式之基本假設、符號及數學模式等進行說明。

2.1 模式基本假設

為了界定模式使用上之限制，本研究給定以下基本假設：

1. 已知各航班行李卸載轉盤啟用時間為飛機起飛前 2 小時，行李卸載轉盤關閉時間為飛機起飛前 30 分鐘。

2. 出境行李卸載轉盤與入境行李卸載轉盤是不同區域，不同區域做法類似，本研究僅探討出境行李卸載轉盤指派問題。
3. 將 1 個月的指派分為 4 星期，並利用啟發式演算法逐日求解 1 星期中每日的行李轉盤指派。此外，前一日的指派結果將會納入後一日的指派模式求解參考，亦即相同的航班代碼盡可能指派到相同的行李轉盤。此作法與機場實務作法相同，將有助於提升行李轉盤指派效率。
4. 考慮現況行李卸載轉盤數容量有限，所以規劃任一時間點之航班數有一上限。
5. 因天候不佳、意外事故等而使得規模有所變動之突發狀況，此類即時性問題，本研究暫不列入考量。
6. 在行李卸載轉盤的布設，已知共有 3 區，包含：南區、北區、北機廊廳區，各區行李卸載轉盤數分別為：6 個、6 個、11 個；櫃檯側的布設分為兩側，包含南側與北側。
7. 考量南北側區域距離遠近，櫃檯側區域與其分配轉盤不同區域會衍生較長輸送與處理時間，且行李通過海關 X 光機後，會因跨南北區卸載轉盤區間而再經過一道中央閘門的處理程序，且北候機廊廳區行李卸載轉盤距離又更遠，因此設計南北側報到櫃檯至各行李卸載轉盤之分配權重值，以減少跨區指派情形發生。在權重值設計的分配上，以南側與北側櫃檯至北機廊廳區轉盤之處理時間最長，其次為北側櫃檯至南區轉盤與南側櫃檯至北區轉盤，處理時間最短為南側櫃檯至南區轉盤與北側櫃檯至北區轉盤，此為同側櫃檯指派至同區轉盤。值得一提的是，機場的報到櫃檯可依租用時間，分為長期專用櫃檯與短期共用櫃檯，然不論是長期或短期的租用櫃檯，其位置均在南側、北側與北候機廊廳等區域，因此報到櫃檯的租用屬性並不影響模式。
8. 作業重疊時間計算上，由於 3 個航班混淆度較兩個航班更大，因此在同一時段有 3 個航班作業重疊時間，為同一時段有兩個航班作業重疊時間之 3 倍。
9. 不予考量各別航空公司之偏好；值得一提的是，實務上行李從卸載轉盤卸載後，須透過小拖車運送至各班機的登機門，此等距離在國內機場中差異不大，且後端作業為各航空公司負責，故以機場當局的立場，航班與卸載轉盤的指派不需考慮各登機門位置。另外，報到櫃檯與卸載轉盤為同一系統，均屬於機場營運者的責任，故本研究將航班的報到櫃檯區位一同納入卸載轉盤指派的考量因素。
10. 已知各航班所屬之出境旅客數、起飛時間、航班序號。
11. 考量同航班在不同日指派櫃檯側至轉盤組合不同，將增加航空公司地勤人員作業混淆之情形，因此設計一個與之前指派報告櫃檯與行李轉盤不同之懲罰值，以減少同航班不同日被指派之櫃檯側與轉盤組合不同之情形；而之前指派櫃檯側至轉盤組合之集合，亦需要根據航班在不同日指派櫃檯側至轉盤組合指派結果而更新。

2.2 數學模式

2.2.1 模式符號說明

以下說明模式所使用之集合、參數及決策變數。

變數：

x_{ijk} 其值為 1 代表第 i 航班在 j 側報到櫃檯側分配至第 k 個行李卸載轉盤；此變數為本模式之決策變數。

y_{ir} 表示第 i 航班與第 r 航班分配至同一行李卸載轉盤之重疊時間 (單位：分鐘)。

集合定義：

M 一天內所有航班集合；

K 所有行李卸載轉盤集合；

W 所有報到櫃檯側集合；

T 所有時間區間之集合；

Q 之前指派第 i 班次在第 j 側報到櫃檯側至 k 行李卸載轉盤之 (i, j, k) 組合之集合；

F 有重疊作業時間之所有大型航班配對之集合；

L_t 第 t 個時間區間中所包含之航班集合；

O 有重疊作業時間之所有航班配對之集合；

I 整數集合。

參數定義：

s_i 第 i 航班行李卸載轉盤啟用時間；

e_i 第 i 航班行李卸載轉盤關閉時間；

α_{jk} 航班從 j 報到櫃檯側分配至第 k 個行李卸載轉盤之權重值 (單位：分鐘)；

β 航班指派 (i, j, k) 組合與之前指派不同之懲罰值 (單位：分鐘)。

2.2.2 數學模式

$$\text{目標式：} \quad \min \sum_{i \in M} \sum_{r \in M} y_{ir} + \sum_{i \in M} \sum_{j \in W} \sum_{k \in K} \alpha_{jk} \cdot x_{ijk} + \sum_{(i,j,k) \in Q} \beta \cdot (1 - x_{ijk}) \quad (1)$$

$$\text{限制式：} \quad \sum_{j \in W} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, \forall i \in M \quad (2)$$

$$\sum_{i \in L_t} \sum_{j \in W} x_{ijk} \leq 3, \forall t \in T, \forall k \in K \quad (3)$$

$$x_{ijk} + x_{rjk} \leq 1, \forall (i, r) \in F, i \neq r \quad (4)$$

$$, \forall j \in W, \forall k \in K$$

$$(e_i - s_r) \cdot (x_{ijk} + x_{rjk} - 1) - y_{ir} \leq 0 \quad , \forall (i, r) \in O, e_i \leq e_r \quad (5)$$

$$, \forall j \in W, \forall k \in K$$

$$y_{ir} \geq 0 \quad , \forall i, r \in M, i \neq r \quad (6)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \quad , \forall i \in M, \forall j \in W \quad (7)$$

$$, \forall k \in K$$

目標式 (1) 為最小化行李卸載轉盤作業時間，包含各航班在各時點的作業重疊時間、各航班分配報到櫃檯側至行李卸載轉盤之加權值，以及各航班指派之報告櫃檯與轉盤組合與之前指派組合不同之懲罰值。限制式 (2) 為航班次限制，意義為「每一航班次必須被指派至一行李卸載轉盤」。限制式 (3) 為行李卸載轉盤限制，意義為「同時間之行李卸載轉盤，最多只能被指派 3 個航班次」。限制式 (4) 為所有大型航班配對在同一行李卸載轉盤最多只能有 1 個航班次被指派之限制式。限制式 (5) 為各航班次在各時點的作業重疊時間計算限制式。限制式 (6) 為變數 y_{ir} 的非負整數限制式。限制式 (7) 為變數 x_{ijk} 的零壹限制式。

三、求解演算法設計

本研究模式為混合整數數學規劃問題，屬於 NP-Hard 問題，經初步測試後，發現 CPLEX 數學規劃軟體之求解時間過長，加上問題規模過大，因此本研究發展基因演算法進行求解。

一般而言，基因演算法主要架構分為基因編碼、初始化群體、適應性度評估、選擇、交配、突變。然而，在本研究中採用 2-OPT 區域搜尋法來取代突變這個運算子，另外也針對可行解調整提出策略。以下針對每一步驟進行說明，演算法流程圖如圖 1 所示。

3.1 基因編碼

本研究採用整數編碼且以組合三字元為一基因方式編碼，一基因表示一航班編碼，所有航班編碼形成一串基因為一染色體，在航班的編碼第一碼代表報到櫃檯分側，後兩碼代表分配之卸載行李轉盤代碼，例如 A 航班代碼 213 表示分至報到櫃檯 2 側，卸載行李轉盤 13。

3.2 初始化群體

本研究設定每代群體數為 120 組染色體，且每組皆為可行解情況下，隨機產生初始群體。本研究可行解定義為滿足在數學式中之兩限制，其一為限制式 (3)：行李卸載轉盤限制為同時間之行李卸載轉盤，最多只能被指派 3 個航班次；其二為限制式 (4)：所有大型

航班配對在同一行李卸載轉盤只能有一個航班次被指派之限制式。

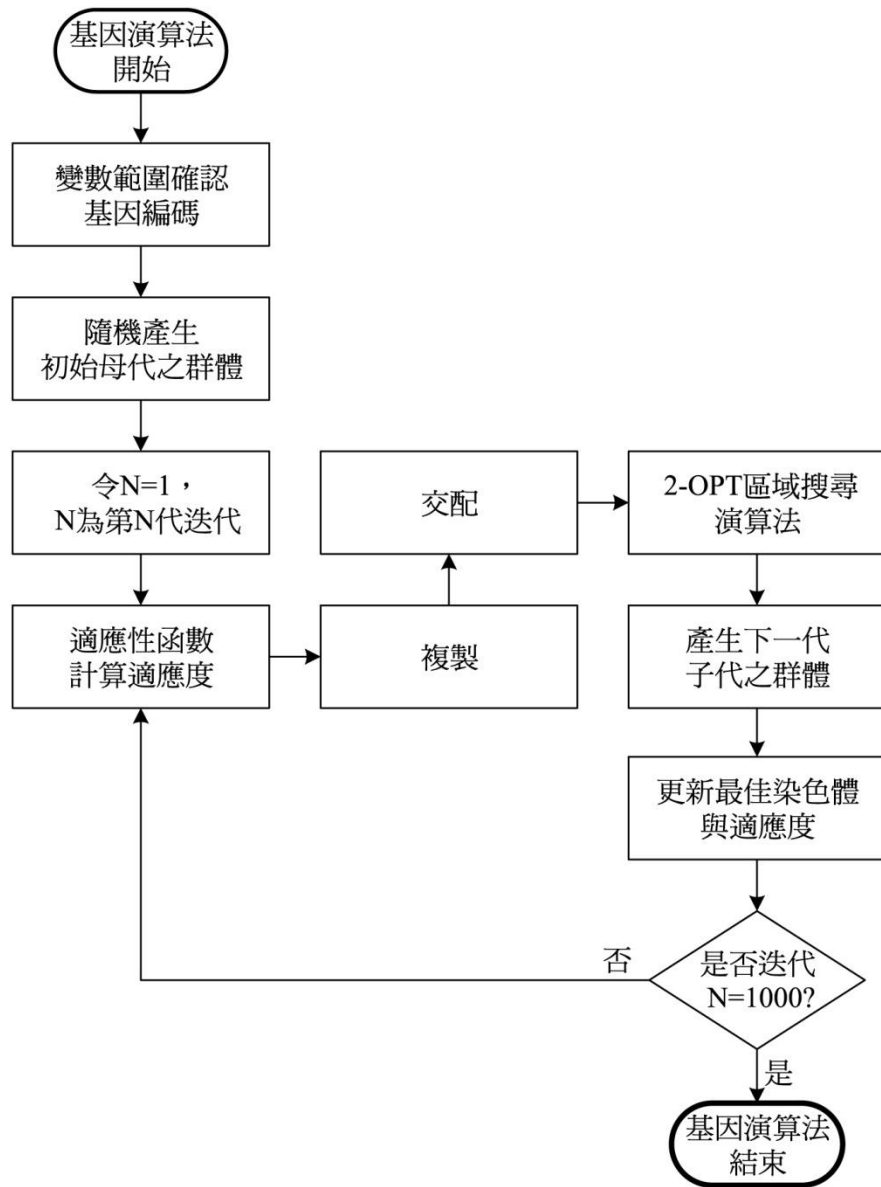


圖 1 模式求解基因演算法之流程圖

初始群體產生由兩階段完成，第一階段產生屬於大型航班之編碼為滿足限制式 (4)，第二階段產生非大型航班之編碼為滿足限制式 (3)。每一染色體在第一階段皆會將屬於大型航班之飛機，先以隨機產生方式給予編碼，同時檢查是否已有大型航班屬於同作業時間並分配至此一行李卸載轉盤之現象，若有則會重新產生編碼給予修正，直至所有大型航班

編碼完成，染色體進入第二階段，在第二階段每一行李卸載轉盤皆會有一容量上限，接續會將未給予編碼之基因先以隨機產生方式給予編碼，產生同時會檢查此行李卸載轉盤是否達到容量上限，若達到則會重新產生編碼給予修正。直至所有基因皆給予編碼完成一染色體，重複此方法產生染色體形成群體；其流程圖如圖 2 所示。

3.3 適應性評估

本研究在適應性函數計算上，每組染色體皆會代入目標式 (1) 計算出其適應度，包含各航班次在各時點的作業重疊時間、各航班分配報到櫃檯側至行李卸載轉盤之加權值，以及各航班與之前指派不同之懲罰值。

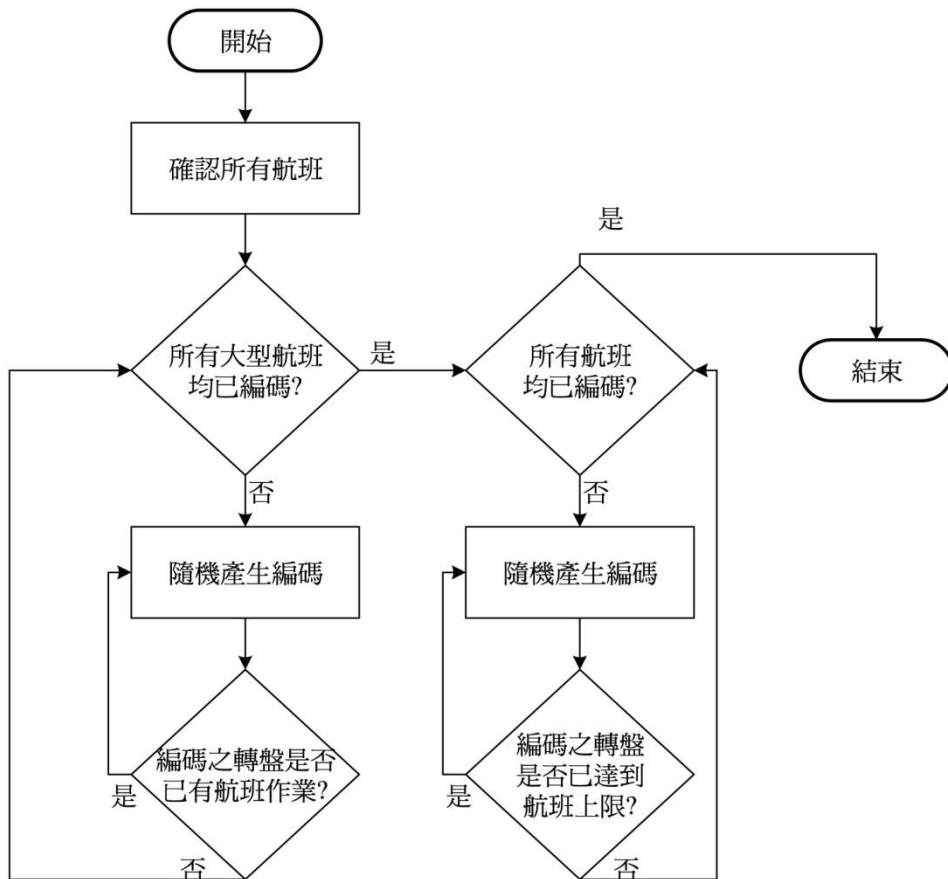


圖 2 以隨機方式產生染色體之流程圖

3.4 複製

適應性函數計算出適應度，以便於挑選染色體之優劣，挑選過程有以下常見幾種方

法：(1) 輪盤選擇法；(2) 隨機競爭選擇法；(3) 最佳保留選擇法；(4) 確定式採樣選擇法；(5) 排序選擇法。一般而言，輪盤選擇法又分為隨機式與分配式，本研究在複製運算子中，運用分配式輪盤選擇法結合隨機競爭選擇法，依照每一染色體之被挑選機率，計算每一染色體之期望值，本研究為求解極小值問題，再根據期望值分配每一染色體可複製數量，淘汰適應度較差之染色體，適應度較高之染色體則複製進入交配池，在此過程中若無複製達到每代所需之染色體組數，則進行隨機選取兩染色體，比較其適應度，較大者則複製進入交配池，直到複製達到每代所需之染色體組數；其流程圖如圖 3 所示。

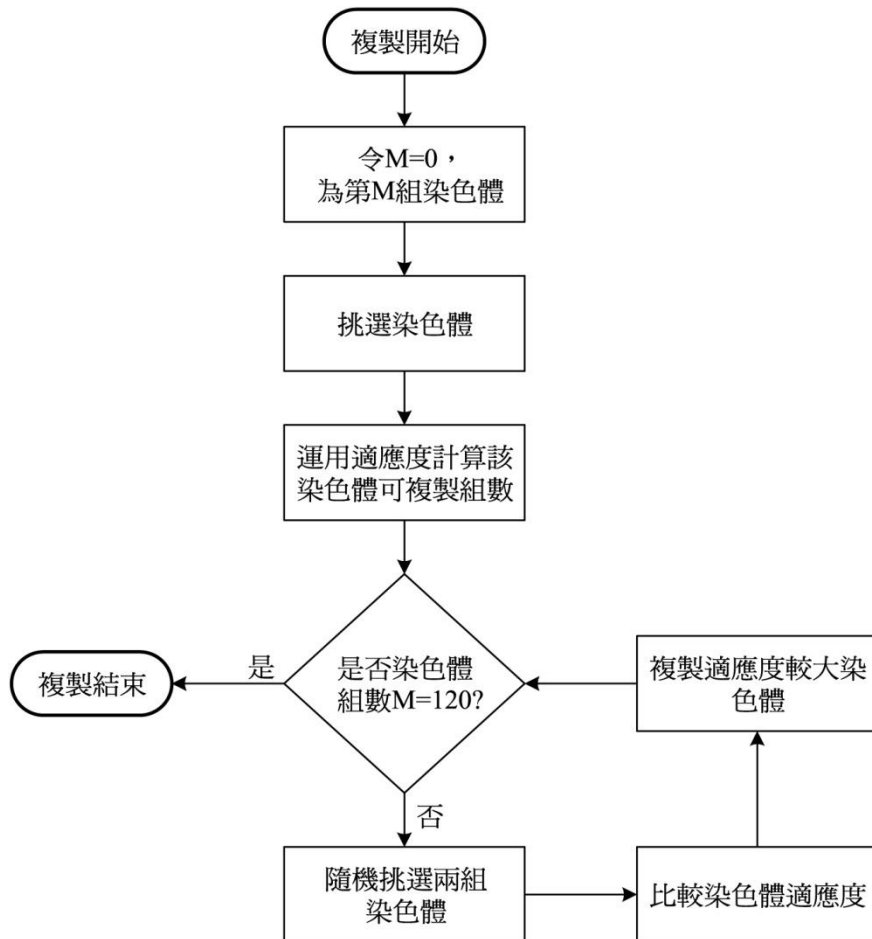


圖 3 基因演算法複製流程圖

3.5 交配

隨機選取任兩組交配池中染色體，交換彼此字元，組成新的染色體，交配過程常見形式有 3 種：(1) 單點式交配；(2) 兩點式交配；(3) 均勻交配。施昺義^[5] 針對機場行李運輸

系統航班卸載道指派問題，使用基因演算法求解模式，其過程中採用兩點式交配作為交配運算子的方法。而本研究參考其作法使用兩點式交配，選取兩染色體裡隨機兩字元，交換其字元間所有字元；其流程圖如圖 4 所示。

3.6 可行解調整策略

交配完之染色體，會立即檢查是否為可行解，在數學式中有兩限制式需要檢查，其一為限制式 (3)：同一時間行李卸載轉盤最多只能被指派 3 個航班次；其二為限制式 (4)：所有大型航班配對在同一行李卸載轉盤只能有一個航班次被指派。由於在模式基本假設上，考慮現況行李卸載轉盤數量有限，所以規劃任一時點之航班數有一上限，此假設確保行李卸載轉盤數量足夠，因此利用上述方法調整不可行解至可行解為可行且有效。

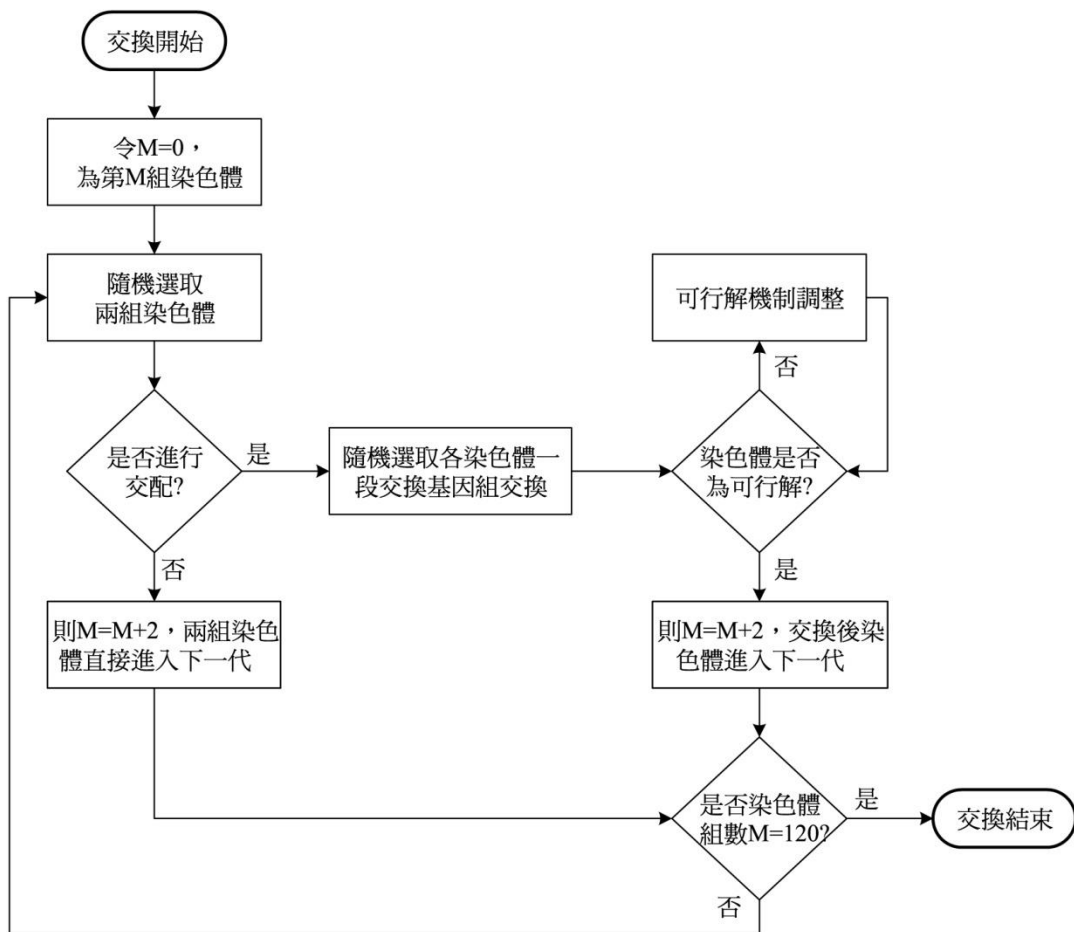


圖 4 基因演算法交換流程圖

在檢查上，首先會檢查各時段各卸載行李轉盤之航班數量，卸載行李轉盤上如有 4 航班數量，代表此染色體交配後為不可行解，因此在程式中，會隨機選取其他未超過 2 航班之卸載行李轉盤來取代卸載行李轉盤，以達至可行解。接下來會檢查所有大型航班配對在各卸載行李轉盤數量，卸載行李轉盤有 2 架大型航班，代表此染色體交配後為不可行解，因此在演算法中，會隨機選取其他未有大型航班之卸載行李轉盤來取代卸載行李轉盤，作為選取交換之新字元，以達至可行解；流程圖如圖 5 所示。

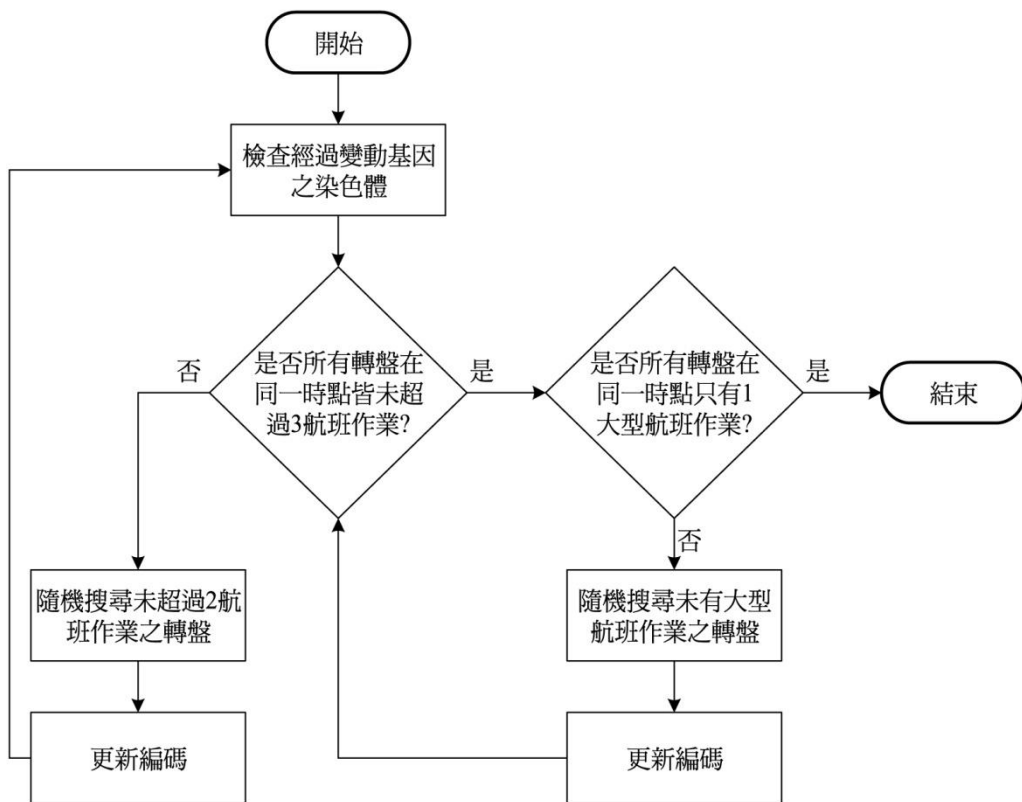


圖 5 可行解機制調整流程圖

3.7 2-OPT 區域搜尋法

本研究選擇 2-OPT 區域搜尋法觀念來結合基因演算法，在染色體中隨機選取兩位元作為交換點，經檢查後，若為可以改善適應度之組合則進行交換，在每次更新染色體時，皆會立即檢查是否為可行解，保證每階段所得之染色體皆為可行解，其可行解調整機制與交配階段可行解調整機制方法相同，直至無法再更新解為落入區域解；其流程圖如圖 6 所示。

本研究曾利用一小部分航班表設計一小規模之範例，此範例規劃作業期為 2 個小時，從早上 9：00 至下午 12：00，包含 8 個航班、2 個報到櫃檯側(分為南北側)，2 個行李卸

載轉盤(分為南北區各一)，航班作業時間為 60 分鐘，以驗證本研究模式之可靠性及演算法之初步績效。我們分別以基因演算法及 CPLEX 求解此小範例，得到目標值皆為 95 分鐘，二者細部解亦皆相同，經人工計算驗證此求解結果為最佳解。基因演算法的求解時間為 0.73 秒，所使用的終止條件為迭代數達到 1000 代，其參數設定交配率為 0.8，母代數目為 120 組。由於在演算過程第 5 代時已收斂，因此實際上遠小於 0.73 秒即可獲得結果；至於 CPLEX 的求解時間為 0.27 秒。此等結果顯示本研究基因演算法的初步效果不錯，至於二者在大型問題的求解比較，可為未來的研究方向。

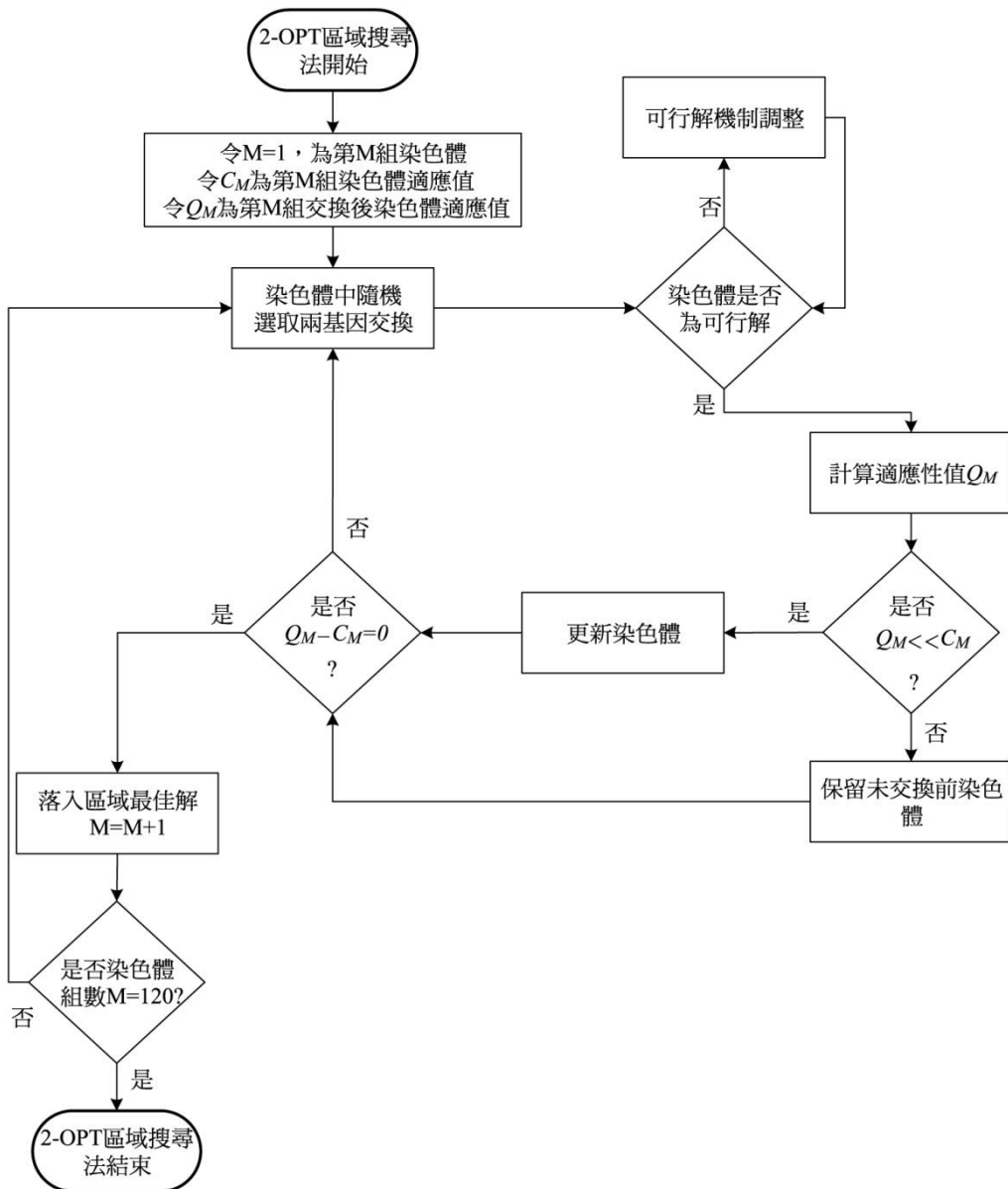


圖 6 基因演算法 2-OPT 區域搜尋法流程圖

四、範例測試

為測試本研究發展之航班指派行李卸載轉盤模式與求解演算法的績效，本研究以桃園國際機場第二航廈實際航班資料為例，蒐集整理相關資料並合理假設相關參數後，作為模式範例測試輸入之資料。本研究利用 Microsoft Visual Studio Professional 2013 軟體撰寫演算法程式，在 Intel(R) Core(TM) i7-2600 CPU 3.40GHz、8.00Gb RAM 搭配作業系統為 Microsoft Windows 7 Enterprise 之個人電腦上進行運算實驗。

4.1 基本輸入資料

本研究範例測試所需之資料主要可分為：(1) 機場出境航班運量預報表之相關資料；(2) 機場出境航班分配轉盤之相關資料；(3) 相關參數資料等三大部分，茲分別說明如下：

1. 機場出境航班運量預報表之相關資料

本研究以桃園國際機場第二航廈出境航班運量預報表為參考資料，資料內容包含：序號、航空公司、班次、起飛期間、目的地、出境人數、櫃檯、航廈。本研究參考並選取部分預報資料作為測試資料，包含航班序號、航班起飛時間、航班出境人數。

- (1) 各航班之行李卸載轉盤啟用時間與關閉時間：根據航班起飛時間，設定各航班之行李卸載轉盤啟用時間與行李卸載轉盤關閉時間。各航班行李卸載轉盤啟用時間為飛機起飛前 2 小時，行李卸載轉盤關閉時間為飛機起飛前 30 分鐘；時間在呈現上以分鐘表示。
- (2) 大型航班：根據航班出境人數來設定各航班是否為大型航班，其依據為出境人數超過 300 人，則為大型航班。在指派行李卸載轉盤上，為提高行李處理效率，當該航班登機人數較高時，在同一作業時間應避免指派另一班大型航班至同一行李卸載轉盤。
- (3) 航班重疊作業時間影響之航班與大型航班：在設定完各航班之行李卸載轉盤啟用時間與行李卸載轉盤關閉時間後，根據行李卸載轉盤啟用時間與關閉時間作為航班作業時間，整理各航班作業時間互相影響之情形；大型航班部分，根據已設定完之行李卸載轉盤啟用時間與關閉時間，作為航班作業時間，整理各大型航班作業時間互相影響之情形。

2. 機場出境航班分配轉盤之相關資料

根據機場出境航班分配轉盤相關資料，設定每日航班之前航班指派組合，其資料包含：航班代號、報到櫃檯側、行李卸載轉盤。

3. 其他相關參數資料

演算法模式之相關參數設定及其限制，為航班指派組合與之前指派不同則懲罰值為 30 分鐘；航班從報到櫃檯側分配至行李卸載轉盤權重值分別為：南側報到櫃檯至北側行李卸載轉盤權重值為 50 分鐘、北側報到櫃檯至南側行李卸載轉盤權重值為 50 分鐘、南側報到櫃檯與北側報到櫃檯至北機廊廳區行李卸載轉盤權重值為 100 分鐘。

4.2 測試結果與分析

本研究建構航班指派行李卸載轉盤指派模式，以桃園國際機場第二航廈實際航班資料為例，蒐集並整理相關資料，卸載行李轉盤共有 23 個，分為南區 6 個、北區 6 個、北機廊廳區 11 個；報到櫃檯共有兩側，分為南側、北側；規劃 1 個月的指派，分割成 4 個星期來指派，1 星期指派為 7 日逐日求解結果，並可延伸至 1 個月，而 1 星期內 7 日航班數皆不同，分別為 160 架、165 架、151 架、167 架、173 架、160 架、170 架，並利用基因演算法搭配 2-OPT 區域搜尋法求解問題。1 星期各天之問題規模大小如表 1 所示。

表 1 測試範例問題規模

1 星期數學式規模								
星期		星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
變數		32800	34650	29596	35404	37714	32800	36550
限制式總數		207482	221126	180034	223290	235670	213623	221246
限制式分項	航班限制式 (2)	160	165	151	167	173	160	170
	行李卸載轉盤限制式 (3)	3634	3749	3427	3795	3933	3634	3864
	大型航班配對限制式 (4)	7452	6900	5520	7912	6992	10396	4968
	重疊作業時間計算限制式 (5)	196236	210312	170936	211416	224572	199433	212244
非負整數限制式 (6)		25440	27060	22650	27722	29756	25440	28730
零壹限制式 (7)		7360	7590	6946	7682	7958	7360	7820
航班數		160	165	151	167	173	160	170

4.2.1 基因演算法測試分析

本研究發展基因演算法求解航班指派行李卸載轉盤問題，首先針對 2-OPT 區域搜尋法取代突變運算子之基因演算法，與傳統基因演算法包含突變運算子作測試並比較結果；另外，在基因演算法中有 2 個重要參數：交配率與染色體組數，交配率意義為隨機染色體配

對進行交配步驟的機率值，一組染色體為代表一組編碼解，每代執行演算法運算時皆須滿足設定之組數，為測試此模式於不同參數求解效率與情況，本節主要探討 2-OPT 區域搜尋法結合基因演算法與傳統基因演算法作測試並比較結果，以及交配率與染色體組數搭配不同求解並進行分析。

1. 基因演算法搭配 2-OPT 區域搜尋法與突變運算子求解比較

基因演算法中若突變運算子隨機機率過高，可能會破壞染色體的優良基因，甚至使得基因演算法變成完全隨機的搜尋法；然而過低也可能造成尚未搜尋到區域最佳解時，即跳離至另一可行解區域。因此本研究搭配 2-OPT 為深度搜尋之方法，改善突變尚未搜尋到區域最佳解即跳離至另一可行解區域情形，使基因演算法能向下探掘至區域最佳解，整體求解效果更有效率。本節比較 2-OPT 區域搜尋法與突變運算子之求解效果，交配率設定為 0.8，終止條件為 1000 代，染色體組數為 120。

由於測試過程中發現求解結果皆相似，因此以一天之結果進行比較，如表 2 所示，分別測試突變機率為 0.1、0.2、0.5、0.8，以及 2-OPT 區域搜尋法取代突變運算子結合基因演算法之結果。在突變運算子設定為 0.1 時，所得目標值為 5575；突變運算子設定為 0.2 時，所得目標值為 5520；突變運算子設定為 0.5 時，所得目標值為 5430；突變運算子設定為 0.8 時，所得目標值為 5840，而運用 2-OPT 區域搜尋法取代突變運算子結合基因演算法，所得模式目標值為 3730，可知以 2-OPT 區域搜尋法取代突變運算子，能夠有效改善傳統基因演算法之突變運算子尚未搜尋到區域最佳解，即跳離至另一可行解區域情形。

表 2 2-OPT 區域搜尋法與突變運算子求解比較

2-OPT 區域搜尋法與突變運算子求解模式目標值					
	突變率 0.1	突變率 0.2	突變率 0.5	突變率 0.8	2-OPT 區域搜尋法
模式目標值 (分鐘)	5775	5520	5430	5840	3730
作業重疊時間 (分鐘)	2385	2340	2650	3250	2330
分配至櫃檯與轉盤之加權值 (分鐘)	1800	1500	1230	1000	950
與之前指派不同轉盤之懲罰值 (分鐘)	1590	1680	1530	1590	450
收斂代數 (代)	931	974	971	997	700

2. 基因演算法參數組合分析

本研究提出 9 種參數組合方案進行測試，如表 3 所示，交配率為 0.5、0.8、1；染色體組數為 100、120、150 來作為參數選擇。

表 3 方案之組合表

染色體組數	交配率		
	方案 A	方案 B	方案 C
	交配率：0.5 染色體組數：100	交配率：0.8 染色體組數：100	交配率：1 染色體組數 100：
	方案 D	方案 E (範例)	方案 F
	交配率：0.5 染色體組數：120	交配率：0.8 染色體組數：120	交配率：1 染色體組數：120
	方案 G	方案 H	方案 I
	交配率：0.5 染色體組數：150	交配率：0.8 染色體組數：150	交配率：1 染色體組數：150

求解結果如表 4，表中之模式總目標值為分別求解 7 天資料之結果加總，求解時間為分別求解 7 天之求解時間加總。求解結果顯示方案 E (交配率 0.8 與染色體組數為 120 組) 在此測試範例之模式總目標值為 28493 分鐘，明顯優於其他方案；而在求解時間方面，會隨著染色體組數增加而拉長。在求解結果第二優異之方案 A，求解時間相較於方案 E 少約 3 分鐘，但在模式總目標值中相較於方案 E 多出 580 分鐘。本研究在後續的參數敏感度分析中，將以方案 E 之參數組合進行測試。

表 4 方案求解之結果

方案	一星期模式求解結果加總		
	方案 A	方案 B	方案 C
模式總目標值 (分鐘)	29073	29743	29083
求解總時間 (秒)	1048	1042	1045
方案	方案 D	方案 E (範例)	方案 F
模式總目標值 (分鐘)	29868	28493	29573
求解總時間 (秒)	1274	1240	1247
方案	方案 G	方案 H	方案 I
模式總目標值 (分鐘)	29368	29583	29463

求解總時間 (秒)	1574	1527	1548
-----------	------	------	------

4.2.2 測試結果

本研究利用基因演算法搭配 2-OPT 區域搜尋法求解問題，模式求解 7 天結果之目標值為作業重疊時間、分配至櫃檯與轉盤之加權值、與之前指派不同之懲罰值之加總，如星期一之模式目標值為 3730 分鐘，即作業重疊時間 2330 分鐘與分配至櫃檯與轉盤之加權值 950 分鐘，以及與之前指派不同之懲罰值 450 分鐘之加總 ($2330+950+450=3730$)；模式之範例測試求解結果整理如表 5 所示。

4.3 敏感度分析

本研究模式中，在各項參數值不同的情形下，可能造成不同的規劃結果與績效，因此，本研究針對：(1) 報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值；(2) 與之前指派之報告櫃檯與行李轉盤組合不同之懲罰值；(3) 同一時點同一轉盤被指派航班數上限；(4) 轉盤數量；(5) 航班使用卸載行李轉盤作業時間等相關參數，進行敏感度分析。

表 5 範例測試之求解結果

範例測試結果	求解結果						
項目	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
模式目標值 (分鐘)	3730	4000	3365	4430	4755	3945	4268
作業重疊時間 (分鐘)	2330	2010	1795	2510	2245	2125	2188
分配至櫃檯與轉盤之加權值 (分鐘)	950	1600	1000	1350	2000	1250	1450
與之前指派不同之懲罰值 (分鐘)	450	390	570	570	510	570	630
求解時間 (秒)	164	182	143	181	202	180	188
航班數 (架次)	160	165	151	167	173	160	170

1. 報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值

本研究所建構之模式目標式中，考量航班指派報到櫃檯至不同區卸載行李轉盤差異，針對報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值進行調整，可能會影響模式目標值與航班指派之決策，因此本研究針對報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值敏感度分析，觀察其求解結果的變化，如表 6 所示。隨著報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值增加 (80%~120%)，雖然

減少航班指派至與報到櫃檯側不同區之卸載行李轉盤所產生之目標值，但是相對增加同一時點在同一行李卸載轉盤上作業之航班，伴隨航班作業重疊時間增加，導致總模式目標值增加。

表 6 報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值變動下之模式求解結果

單位：分鐘

報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值				
		80%	100% (範例)	120%
各 天 目 標 值	星期一	3695	3730	3890
	星期二	3985	4000	4400
	星期三	3210	3365	3570
	星期四	4140	4430	4660
	星期五	4685	4755	4815
	星期六	3885	3945	4275
	星期日	4043	4268	4468

2. 與之前指派之報到櫃檯與行李轉盤組合不同之懲罰值

本研究所建構之模式中，考量航班之前指派過的報告櫃檯與行李卸載轉盤組合，希望求解結果與之前指派結果差異較小，因此加入與之前指派組合不同之懲罰值。針對此懲罰值進行調整，可能會影響模式目標值與航班指派之決策，因此本研究針對與之前指派組合不同之懲罰值做敏感度分析，觀察其求解結果的變化，如表 7 所示。基本上，隨著懲罰值增加，模式目標值則越高；反之，懲罰值減少，模式目標值則降低。

表 7 與之前指派組合不同之懲罰值變動下之模式求解結果

單位：分鐘

與之前指派組合不同之懲罰值						
		減少 20	減少 10	範例	增加 10	增加 20
各 天 目 標 值	星期一	3660	3725	3730	3925	4175
	星期二	3945	4020	4000	4390	4530
	星期三	3250	3340	3365	3555	3795
	星期四	4130	4250	4430	4660	4675
	星期五	4520	4690	4755	4790	4895

機場出境行李卸載轉盤指派最佳化模式與演算法

	星期六	3615	3830	3945	4170	4225
	星期日	3983	4243	4268	4468	4523

3. 同一時點同一轉盤被指派航班數上限

本研究所建構之模式考量同一時點同一轉盤被指派航班數上限，針對航班數上限進行調整，可能會影響模式目標值與航班指派之決策，因此本研究針對同一時點同一轉盤航班指派數上限做敏感度分析，觀察其求解結果的變化，如表 8 所示。

基本上，隨著航班數上限增加，模式目標值有下降的現象。在上限減少一航班之情形下，由於每一行李卸載轉盤在同一時點上可作業航班數減少，發現在航班作業重疊時間會有所增加，例如在同一時段同一轉盤上有 3 架航班的作業重疊時間，是同一時段同一轉盤上有兩架航班的作業重疊時間之 3 倍，且可能造成航班被指派至與報到櫃檯不同區之行李轉盤情形增加，以及指派結果與之前指派組合不同之情形增加，因此減少航班數上限，卻可能會增加模式目標值。反之，在上限增加一航班之情形下，由於每一行李卸載轉盤在同一時點上可作業航班數增加，會減少航班被指派至與報到櫃檯側不同區之行李轉盤的情形，也會減少指派結果與之前指派組合不同之情形，降低模式目標值。

4. 轉盤數量

本研究模式中考量可作業之行李轉盤數量，針對行李卸載轉盤數進行調整，可能會影響模式目標值與航班指派之決策，因此本研究針對轉盤數量做敏感度分析，觀察其求解結果的變化，如表 9 所示。在測試範例中，南區、北區、北機廊廳區分別有 6、6、11 座行李卸載轉盤，在各區減少一行李卸載轉盤的情況中，模式目標值大幅增加，在星期一的模式目標值中比範例模式目標值多出 50%，在各區增加一行李卸載轉盤的情況中，模式目標值減少幅度並無減少一行李卸載轉盤模式目標值大，在星期二的模式目標值中比範例模式目標值少 19%。當減少一行李卸載轉盤時，模式目標值變化幅度大，供給小於需求的情況下，各航班所產生之作業重疊時間、報到櫃檯分配至卸載行李轉盤加權值，以及與之前指派組合不同之懲罰值皆提升，故增加一行李卸載轉盤時，模式目標值變化幅度相較於減少一行李卸載轉盤之模式目標值變化幅度小，即各航班所產生之作業重疊時間、報到櫃檯分配至卸載行李轉盤加權值，以及與之前指派組合不同之懲罰值皆減少。

表 8 同一時點同一轉盤被指派航班數上限變動下之模式求解結果

單位：分鐘

同一時點同一轉盤被指派航班數上限				
		減少一航班	範例	增加一航班
各 天 目 標 值	星期一	4105	3730	3855
	星期二	4260	4000	4230
	星期三	3570	3365	3425
	星期四	4480	4430	4310
	星期五	5110	4755	4800
	星期六	4060	3945	3935
	星期日	4453	4268	4268

表 9 轉盤數量變動下之模式求解結果

單位：分鐘

轉盤數量				
		各區各減少一轉盤	範例	各區各增加一轉盤
各 天 目 標 值	星期一	5595	3730	3080
	星期二	5925	4000	3680
	星期三	4765	3365	2735
	星期四	6255	4430	3760
	星期五	6315	4755	4180
	星期六	5500	3945	3360
	星期日	5863	4268	3498

5. 航班使用卸載行李轉盤作業時間

本研究模式中考量航班使用卸載行李轉盤作業時間，針對作業時間進行調整，可能會影響模式目標值與航班指派之決策，因此本研究針對航班使用卸載行李轉盤作業時間做敏感度分析，觀察其求解結果的變化，如表 10 所示。當減少 30 分鐘時，模式目標值減少，其原因在各航班所產生之作業重疊時間、報到櫃檯分配至卸載行李轉盤加權值皆減少，由於作業時間減少，所以各行李卸載轉盤能夠處理之航班數增加，能減少各航班所產生之作業重疊時間與航班指派與報到櫃檯側不同區之行李卸載轉盤可能性；反之，當增加 30 分鐘，每架航班所占用行李卸載轉盤時間拉長，減少行李卸載轉盤能夠處理之航班數情況下，各航班所產生之作業重疊時間，以及航班指派與報到櫃檯側不同區之行李卸載轉盤可能性也會提升，增加模式目標值。

表 10 航班使用卸載行李轉盤作業時間變動下之模式求解結果

單位：分鐘

航班使用卸載行李轉盤作業時間				
		減少 30 分鐘	範例	增加 30 分鐘
各 天 目 標 值	星期一	1405	3730	6850
	星期二	2165	4000	7435
	星期三	1820	3365	5940
	星期四	2070	4430	7870
	星期五	1780	4755	8510
	星期六	1685	3945	6920
	星期日	1730	4268	7698

五、結論與建議

有效運用行李卸載轉盤處理旅客行李，在飛航運量日漸成長的情況下，是一件重要的議題，目前實務上航班指派行李卸載轉盤規劃仍然採取人工作業方式，仰賴決策者之經驗，缺乏整體系統性考量，在分配行李卸載轉盤時，也較無法指派合理航班重疊作業時間，以減少地勤人員在作業上之混亂度。良好的轉盤指派作業系統，不僅可取代機場決策人員費時耗力的人工指派方式，亦可更有效地運用行李卸載轉盤，提高行李轉盤作業效率。本研究發展航班指派卸載行李轉盤模式，提供決策者有效的輔助規劃工具；本研究旨在探討航班指派行李卸載轉盤模式，以達到最小化航班重疊作業時間，參考相關文獻和實務情況，以機場營運者之立場，透過數學規劃方法，以最小化航班重疊作業時間為目標，構建航班指派行李卸載轉盤規劃模式，提出可行之解決方案。在問題求解方面，本研究發展基因演算法，結合 2-OPT 區域搜尋法取代傳統突變運算子，此效能更佳之混合基因演算法，使求解效率更好，亦可對基因演算法參數進行調整，於實際之運用及求解上更具彈性。

本研究之測試範例以桃園國際機場第二航廈為對象，規劃期為 1 個月，分割成 4 個星期，1 星期之指派為 7 日，逐日求解之結果並可以延伸至 1 個月，行李卸載轉盤分區共有 3 區，包含：南區、北區及北機廊廳區，分別有 6、6、11 座行李卸載轉盤位，各天航班資料皆不同，依照機場公司所提供資料求解問題。本研究首先針對基因演算法之參數進行調整，利用不同交配率與染色體組數之組合，求解範例測試問題，結果顯示隨著不同參數組合所得求解結果雖然略有差異，但求解效果皆不錯；此外，以 2-OPT 區域搜尋法取代傳統基因演算法中之突變運算子，發現求解效能有顯著之提升。接著本研究分別針對 5 個重要的模式參數進行敏感度分析，分別是：報到櫃檯分配至卸載行李轉盤權重值、與之前指派組合不同之懲罰值、同一時點同一轉盤航班上限、轉盤數量、航班使用卸載行李轉盤作業時間。整體而言，本研究所發展之模式與求解演算法經由實際範例測試後效果良好，可提供做為機場營運管理單位在行李卸載轉盤指派上之決策支援參考。雖然本研究的數學模式構建，是以桃園國際機場第二航廈的出境行李作業設施與流程做為對象，但所建構之數學模式經過適度地調整後，亦可適用於其他具有類似設施配置的機場出境行李作業，求解行李卸載轉盤指派最佳化問題。

參考文獻

1. Abdelghany, A., Abdelghany, K., and Narasimhan, R., "Scheduling Baggage-Handling Facilities in Congested Airports", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 12, No. 2, 2006, pp.76-81.
2. Ascó, A., Atkin, J. A. D., and Burke, E. K., "The Airport Baggage Sorting Station Allocation Problem", The 5th Multidisciplinary International Scheduling Conference, MISTA, 2011.

3. Barth, T., "Optimal Assignment of Incoming Flights to Baggage Carousels at Airports", Project Report, Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, 2013.
4. Ascó, A., Atkin, J. A. D., and Burke, E. K., "An Analysis of Constructive Algorithms for the Airport Baggage Sorting Station Assignment Problem", *Journal of Scheduling*, Vol. 17, No. 6, 2013, pp. 601-619.
5. 施昺羲, 「機場行李運輸系統航班轉盤卸載道指派問題」, 國立清華大學工業工程與工程管理研究所碩士論文, 民國 104 年。
6. Huang, E., Mital, P., Goetschalckx, M., and Wu, K., "Optimal Assignment of Airport Baggage Unloading Zones to Outgoing Flights", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 94, 2016, pp. 110-122.
7. Tang, C. H. "A Network Model for Airport Common Use Check-In Counter Assignments", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 61, 2010, pp. 1607-1618.
8. Tang, C. H., Yan, S., and Hou, Y. Z., "Notice of Retraction a Dynamic Algorithm for Gate Assignments under Varied Flight Delay Information", In Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 3rd IEEE International Conference, Vol. 5, 2010, pp. 209-213.
9. Yan, S., Tang, C. H., and Chen, J. H., "Common-Use Check-In Counter Reassignments with a Variable Number of Service Lines and Variable Length of Time Window", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 37, 2014, pp. 643-658.
10. Yu, C. and Lau, H. Y., "Airport Gate Reassignment Based on the Optimization of Transfer Passenger Connections", *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, Vol. 3, No. 1, 2015, pp. 25-30.
11. Glover, F., "Tabu Search - Part I", *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1, No. 3, 1989, pp. 190-206.
12. Holland, J. H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", *An Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, University of Michigan Press, MI, 1975.
13. Lin, C. H. and Hu, J. W., "A Genetic Algorithm with Priority Selection for the Traveling Salesman Problem", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 42, 2008, pp. 465-475.