

隨機需求下機場護送任務指派之研究¹

AIRPORT ESCORT ASSIGNMENT WITH STOCHASTIC DEMANDS

顏上堯 Shang-yao Yan ²

劉姝妘 Shu-Yun Liu ³

孫晉聖 Ching-Sheng Sun ⁴

(111 年 3 月 8 日收稿，111 年 4 月 23 日接受)

摘 要

近年來，隨著機場護送任務的數量逐漸增加，如何適當指派護送任務以服務旅客的需求已成為機場營運重要的課題之一。目前護送任務指派方式仍大都仰賴決策者經驗，缺乏系統最佳化規劃，常導致不佳的指派，造成有時延遲或取消護送任務，有時卻又浪費人力等情況。因此本研究考量現實中護送任務需求的隨機性及相關的營運限制，以總護送員護送作業成本期望值最小為目標，構建一隨機需求下護送任務指派模式，期能幫助國內機場管理單位或相關業者有效地進行實務的機場護送任務指派。本研究應用網路流動技巧，構建一護送員作業網路，並以數學規劃方式建立模式，其可定式為含額外限制整數網路流動問題。本研究並配合滾動分析，在營運過程中動態地指派護送任務。為初步測試模式的應用績效，本研究參考國內某國際機場之相關護送任務資料為例，進行範例測試，且針對數個重要參數進行敏感度分析，結果良好，顯示本研究模式應可以為機場管理單位或相關業者之實務參考。

-
1. 本研究承科技部專題計畫 (MOST-110-2221-E-008-025-MY3) 之部分補助，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：320 桃園市中壢區中大路 300 號中央大學土木系，電話：03-4227151 轉 34141，E-mail：t320002@cc.ncu.edu.tw)。
 3. 國立中央大學土木工程學系碩士。
 4. 國立中央大學土木工程學系碩士。

關鍵詞： 機場護送任務指派、隨機需求、含額外限制整數網路流動問題、滾動分析

ABSTRACT

In recent years, the number of airport escorts have gradually increased. How to appropriately assign escorts to traveler requests has become one of the important issues in airport operations. However, the current method of escort assignment is mostly relied on decision makers' experiences, without a perspective of systematic optimization, usually resulting in inferior assignments with delayed/canceled escorts occasionally, while having waste of manpower sometimes. Therefore, we consider the stochasticity of escort demands and related operating constraints to develop an escort assignment model with stochastic demands, with the objective of minimizing the total expected escort operating cost. It is expected to be useful references for airport authorities or related carriers to effectively perform airport escorts in practice. We employed network flow techniques to construct an escort network and adopt mathematical programming method to establish the model which can be formulated as an integer network flow problem with side constraints. We also adopt a rolling analysis to dynamically assign escorts in operations. To preliminarily evaluate the model, we perform a case study using data from an international airport in Taiwan with a number of sensitivity/scenario analyses. The test results are good, indicating that the model could be useful for airport authorities/related carriers for their practices.

Key Words : *Airport escort assignment, Stochastic demand, Network flow problem with side constraints, Rolling analysis*

一、緒 論

目前機場旅客服務有行李托運、櫃檯報到、護送服務等等，其中護送任務主要目的為當旅客因身、心靈問題無法順利完成機場要務時，則護送員可協助其完成相關要務，包括：幫助旅客報到劃位、協助旅客於機場移動、託運或提取行李等相關手續與服務。根據 UK Civil Aviation Authority^[1] 在關於機場不便人員報告中指出，英國機場於 2018 年收到超過 370 萬份護送需求，比 2010 年的數字增加約 80%。隨著護送需求逐漸增加，可知適當的指派護送任務為機場營運之一重要課題。

針對機場護送任務，決策者通常會於前一天得知規劃日欲護送的需求，並於規劃日進行護送員調度，以執行護送任務。目前決策者調度護送員的方式大多依過往經驗判斷，根據所有護送員當下服務的狀況、所在的位置進行調度。此方式缺乏系統最佳化規劃，容易

造成旅客等待時間過長或甚至未服務情況，但有時又可能有浪費人力的現象。另外，實務上常出現許多無法預期之狀況，如旅客臨時取消服務或是需服務的旅客臨時增加，造成決策者需於調度額外人力進行服務等情形，造成調度混亂，進而影響護送人力的整體運用效率及機場的整體服務水準。

近年來逐漸有相關文獻探討機場護送行動不便旅客的績效，例如 Chang and Chen^[2] 曾應用績效分析來檢驗行動不便旅客對航空運輸服務的滿意度，結果發現多數旅客對於相關服務滿意度皆不盡理想。Chang and Chen^[3] 更指出多數行動不便旅客認為等待服務時間過長，故有效且系統化的護送任務指派方式是有需要的。Gaspar^[4] 亦針對國外機場實際訪問旅客，蒐集旅客在使用機場服務時的切身感受，最後將訪談內容整理並向航空公司提出建議。Major and Hubbard^[5] 針對美國某機場之行動不便旅客的投訴案件做研究，發現行動不便旅客投訴案件數量每年都在增加，在 2010 年時，機場每增加 100000 位行動不便旅客中便會產生 105 件投訴，到 2016 時，更增加到了 144 件，同時發現多數旅客投訴內容皆為未能及時提供相關的服務。

近年來有少數文獻開始探討機場護送任務的指派規劃，例如 Reinhardt et al.^[6] 針對機場行動不便旅客之護送需求，以護送員及接駁車閒置時間最小化為目標，建構一護送員及空側接駁公車之排程模式，並提出了一模擬退火的啟發式演算法來求解模式。Ancell and Graham^[7] 發現隨著行動不便的旅客數量增加，航空公司相關成本與機會成本的影響將越來越大，故針對影響護送行動旅客不便成本的關鍵因素進行研究，發現其中較重要因素包含行動不便旅客的移動距離、移動時的輔助工具以及飛機延誤的情況。Grahm and Jacquillat^[8] 曾針對行動不便的旅客護送指派問題，站在第三方公司的立場，以旅客等待時間最小化為目標，提出一整數規劃模式以決策最佳的護送任務指派，同時利用滾動式時窗排程法發展有效的解決方法。值得一提的是，此研究只針對確定護送需求規劃護送任務指派，與本研究不同，並未考量隨機的護送需求。René et al.^[9] 曾針對機場行動不便旅客護送問題，提出一分解模式，首先以模擬退火法來決定護送任務開始時間，之後利用啟發式配對演算法指派護送員給各護送任務。

本研究為護送任務即時指派問題，除了考慮規劃日已知的需求，亦針對臨時取消與出現之護送需求，考慮其未如期出現之機率，發展隨機指派模式，進行指派規劃。有關隨機排程或指派的文獻不少，例如 Yan et al.^[10] 曾以最小化總運送成本為目標探討災害搶修之物料補給問題，併構建一隨機性之物料補給排程模式。Chu et al.^[11] 曾探討車輛補貨路線規劃問題，以總運送成本最小化為目標，構建一隨機性車輛補貨路線模式。Yan et al.^[12] 曾探討在確定和隨機的需求下的公共自行車租賃系統，規劃自行車租賃站的位置、自行車車隊排程和自行車路線規劃，同時開發一啟發式演算法以有效求解此隨機模式。Hur et al.^[13] 曾針對隨機需求下機場地勤人員休息時間的排程問題，發展一多階段隨機模式，並進而轉成一二階段模式，以有效求解模式，作者並運用隨機解價值與完全資訊期望價值之評估方法評估模式。Keskin et al.^[14] 曾針對在充電站隨機等待時間下電動車的排程問題，在考量充電器數量限制下，提出一個二階段模式及啟發解以求解問題。第一階段係以車輛預

期等待時間並運用適應性大型鄰近搜尋法 (ALNS) 求解車輛排程, 第二階段則利用懲罰成本及模擬作法, 修正第一階段所得的車輛排程以滿足時窗限制及回到車站的時間限制。然而, 我們未曾發現有文獻探討隨機需求下機場護送任務指派問題。

另外值得一提的是, 機場營運外包為目前趨勢之一, 可使航空公司更專注於核心事業, 外包公司亦可提供更專業的服務於該項目, 如: 網路維運、服務行動不便旅客等等。相較於國外, 國內機場護送員即為各航空公司之地勤人員, 僅服務乘坐自家航班之行動不便旅客; 國外多數機場則將護送任務統一交由外包公司負責, 由外包公司整合規劃日所有需求, 提供人力及相關設備, 同時進行護送員任務指派。緣此, 本研究模擬國外機場之情況, 假設由一外包公司統一服務國內某機場需求, 以外包公司決策者的立場, 考量非確定性機場護送任務需求, 以總護送員護送作業成本期望值最小化為目標, 建構一隨機需求下機場護送任務指派模式, 並配合滾動分析, 在營運過程中動態地指派護送任務。

在研究範圍方面, 本研究以國內某國際機場需要護送的旅客和護送員為研究對象, 根據 International Air Transport Association (IATA) 國際航空運輸協會規範^[15], 將行動不便之旅客定義為: 身體或精神狀況有障礙與需要醫療輔助的旅客, 且在登機、下飛機、飛行中或地面上作業時需要航空公司服務的乘客, 如: 在單腳或雙腳打上石膏的旅客、需要使用輪椅之旅客等。此外, 常見需護送旅客亦包含語言不通者及獨自出國之孩童, 國內多數航空公司接受 5 歲至 12 歲之孩童單獨搭乘, 且規定必須申請護送服務。

本文後續內容如下: 第二節構建模式, 第三節進行範例測試與分析, 最後於第四節提出結論與建議。

二、模式構建

本研究應用網路流動技巧描述護送員於時空中的移動情況, 以總護送員護送作業成本期望值最小為目標, 於已知護送員總人數及規劃時間範圍下, 考慮每個任務需求的出現機率及相關的營運限制, 配合數學規劃方法構建一隨機需求下護送員指派模式。本節針對問題描述、模式基本假設與條件、時空網路設計以及數學定式進行說明如下:

2.1 問題描述

護送任務指派問題一般可分為人力規劃問題及即時指派問題。人力規劃為針對長期需求進行護送員數量估計; 即時指派則為確定人數情況下, 指派護送員執行護送任務, 若於短期營運中有發現護送員人數過多或過少的情況發生時, 則可回到人力規劃階段重新調整人數以解決此問題。本研究屬護送任務即時指派問題。

機場護送任務可分為出境、入境及轉機任務, 參考國內某國際機場之實務作業, 任務執行時間平均分別為 20、15 以及 30 分鐘。出境任務方面, 護送者需協助旅客完成報到、行李托運、出關以及如期到達登機門, 若旅客須乘坐輪椅, 亦須幫助其進行移動, 並於過

程中幫助旅客處理臨時狀況，通常任務起點為出境大廳，終點為登機門；入境任務方面，護送員主要協助旅客入境、領取行李以及抵達指定地點，任務起點為某一登機門，終點通常為入境大廳；轉機任務則協助旅客前往下一航班登機門，必要時須協助旅客進行出、入境等工作。

為使決策者排班更具彈性，並確保模式一定有解，本研究亦容許決策者可延遲任務服務時間或不服務該任務。前者表示護送員不需於任務起始時間準時抵達，即讓旅客於原地等待護送員一定時間，例如最多可延遲 20 分鐘；後者表示可放棄部分任務，例如：如期出現機率較低的任務，使護送員調度更有效率。然而，為避免延遲或放棄任務造成旅客的不便，本研究模式可依決策之判斷設定不同的懲罰值，以避免不當的延遲或放棄任務。例如，若決策不允許放棄任務，則該放棄的懲罰值可為一甚大值。為使需求資訊更明確下做決策，本研究同時以滾動式更新需求資料以動態進行任務指派，例如每小時更新一次模式，每次更新之規劃時長為四小時。第一個小時為決策期（需求資訊較確定），即已排定之指派結果；後三個小時為參考期（需求資訊較不確定），可作為下一次更新的參考。圖 1 以早上 7:00 到早上 11:00 為例，早上 7:00 到早上 8:00 為決策期，早上 8:00 到早上 11:00 為參考期。第一次更新需求資訊後，時間範圍更新為早上 8:00 到中午 12:00，早上 8:00 到早上 9:00 為決策期且早上 9:00 到中午 12:00 為參考期，其餘依此類推。

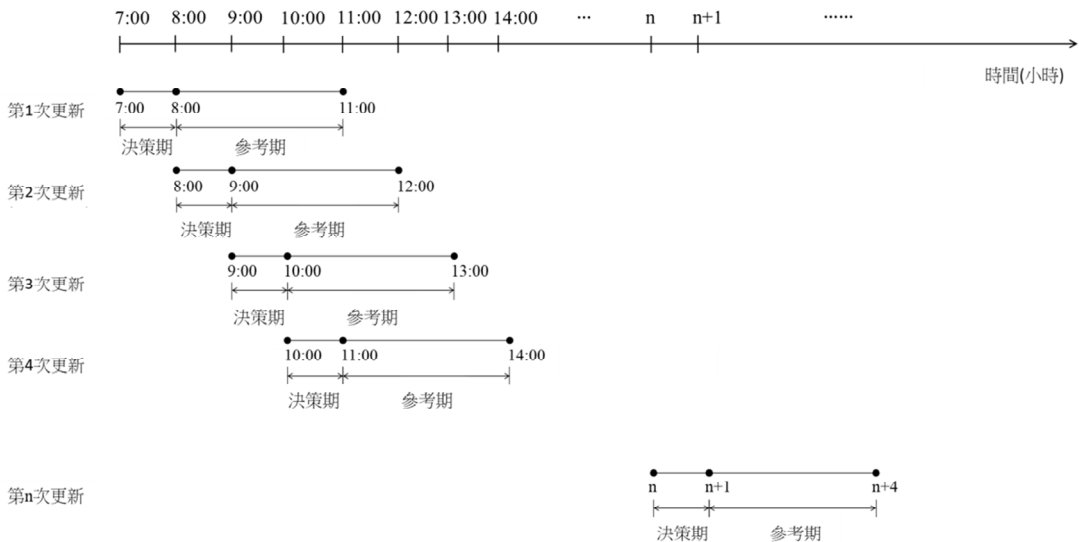


圖 1 滾動式更新圖

2.2 模式基本假設與已知條件

為方便模式的發展及界定模式的使用限制，本研究參考國內某國際機場的實務作業，給定下列基本假設及已知條件：

1. 已知規劃期所有護送任務的起迄點及起迄時間、如期出現的機率

實務上，護送任務詳細資料受相關法律的保護，無法取得，故本研究參考某航空公司相關的數據，產生規劃時段機場所有可能出現之護送任務資料，其中包含所有護送任務的起迄點及起迄時間、如期出現的機率等。如果為入境情況時，則從下飛機的地方為任務起點，機場出境大廳為迄點；當為出境情況時，則機場出境大廳為任務起點，登機門為迄點；若為轉機情況時，則起迄點為相對應之登機門。此等需求數在任務開始時間迫近時(例如一小時內)已經固定，但離任務開始時間較遠時，則可能還有增減，較不固定。至於護送任務之如期出現的機率則與時間遠近無關，而實務上護送任務之如期出現的機率，可利用護送任務的如期出現情況以估算。

2. 已知護送員的旅行時間以及護送作業時間

參考實務作業，出境、入境及轉機任務執行時間平均分別為 20、15 以及 30 分鐘。同時假設護送員於任務間移動速率為 4.5km/hr，如此可計算護送員於兩點間的旅行時間。

3. 已知護送員人數

由於目前國內並無服務機場行動不便之外包公司，因此護送員的數量係由與國內某航空公司討論後假設而得。

4. 假設所有護送員由外包公司統一指派

本研究參考國外經驗，假設未來以外包公司護送員管理者的立場，以服務機場所有須協助之行動不便旅客。

5. 假設不考慮旅客、班機延遲之情況

實務上，旅客有可能因個人原因或班機延遲原因而造成護送任務的起迄時間變動，本研究為簡化模式的構建僅考量護送任務的出現機率，至於護送任務的變動起迄時間，可以在未來進一步探討。

6. 假設所有護送任務的延遲時間上限為 20 分鐘

參考某航空公司的相關數據，我們發現旅客可接受延遲的時間約為 20 分鐘，為維持機場服務水準、避免影響旅客的登機時間，本研究假設護送任務最多可延遲 20 分鐘，並以每延遲 5 分鐘為一種延遲可能。決策者未來使用本研究模式時，可依其營運考量，設定適合的延遲時間上限。

7. 假設護送任務可以選擇不服務

實務上，當護送任務數量過多且集中於同一時段時，則因人力有限，而會造成部分旅客等待時間過長，影響整體的服務水準。因此，本研究假設決策者可放棄部分任務，例如放棄如期出現機率較低之任務，以有效進行護送員的調度，服務多數需協助的旅客。然而，為避免過度放棄護送任務，本研究模式可設計一相對應之懲罰成本，由決策者依其考量設定，以反映放棄任務時對服務水準的影響。

8. 假設每個護送任務皆為同質性任務

實務上，在護送員人數與設備需求方面，多數護送任務皆不盡相同，為簡化模式構建，

本研究先假設每個任務皆僅需一位護送員進行護送任務，且不考慮設備需求（或機場設備充足，可滿足所有需求，故設備不會限制決策）。未來可進一步考量每個任務所需的護送員人數與設備不同，進一步放鬆此假設，構建更彈性的模式。

9. 採滾動式決策更新之方法，規劃時間為四小時，並每小時即時更新一次

實務上，護送任務數量隨時間接近而趨固定，故為即時應變，本研究以四小時為規劃時間範圍，並採一小時即時更新一次資訊之模式，第一小時為決策期（需求資訊較確定），後三小時為參考期（需求資訊較不確定）。

2.3 護送任務指派時空網路

本研究以事件導向概念構建一時空網路，以定式護送員與護送任務在時空中的流動情形，如圖 2 所示。其中橫軸代表時間，縱軸代表不同區域。網路組成包含節點與節線，節點代表護送員的時空狀態，節線代表護送員於機場的移動或滯留情形。網路中節點及節線定義如下：

節點定義：

1. 任務起始節點

護送員開始執行某任務的時間與地點，如圖 2 中的任務起始節點 s_1 、 s_2 、 s_3 。

2. 任務結束節點

護送員結束某任務的時間與地點，如圖 2 中的任務結束節點 e_1 、 e_2 、 e_3 。

3. 服務據點節點

護送員在服務據點休息的時間與地點，如圖 2 中的服務據點節點 a_1 、 a_2 、 a_3 、...、 a_i ，可同時作為網路中供給及需求點，若有護送員於此開始上班，則視其為供給量；若有護送員於此下班，則為需求量。以國內某航空公司為例，將服務據點設置在第 B 航廈出口，護送員在此地點出發執行任務，或任務結束返回此地點，或在此地點等待任務分配。

節線定義：

1. 起始節線 (a_i, s_n)

表示護送員於第 i 時點從服務據點（即節點 a_i ）移動至任務 n 起點準時之節線，例如圖 2 中的起始節線 (a_1, s_1)，流量上限為 1，下限為 0，節線成本為護送員所花費之旅行時間成本。

2. 任務節線 (s_n, e_n)

表示護送員由任務 n 起點準時移動至任務 n 迄點準時之節線，例如圖 2 中的任務節線 (s_1, e_1)、(s_2, e_2)，流量上限為 1，下限為 0，代表該任務可能有一護送員服務或未服務。本研究運用任務延遲策略，規劃每一個任務可延遲一段時間，例如，圖 2 中的節線 (s'_1, e'_1)，代表任務 1 延遲 5 分鐘之節線。本研究假設各任務最多可延遲時間 20 分鐘，

並設計五分鐘為一可能的延遲，如此包含任務無延遲下，一任務總計會有五個可能的延遲。

3. 接續節線(e_n, s_h)

表示護送員由任務 n 迄點準時移動至任務 h 起點準時之節線，例如圖 2 中的接續節線 (e_1, s_3)，流量上限為 1，下限為 0，節線成本為護送員所花費之旅行成本，代表護送員在任務 n 結束時被派往任務 h 。

4. 返回節線(e_n, a_i)

表示護送員從任務 n 結束節點 e_n 準時至時點 i 服務據點 (即節點 a_i)，例如圖 2 中的返回節線 (e_1, a_5)、(e_2, a_7)，流量上限為 1，下限為 0，成本為護送員所花費之旅行成本，代表護送員結束任務 n 返回服務據點。

5. 滯留節線(a_i, a_{i+1})

代表護送員於第 i 時點至第 $i+1$ 時點滯留於服務據點，例如圖 2 中的滯留節線 (a_0, a_1)、(a_1, a_2)，流量上限為該時段服務據點可容納之護送員人數，下限為 0，成本為一位護送員在該時段滯留於服務據點所浪費人力之成本。

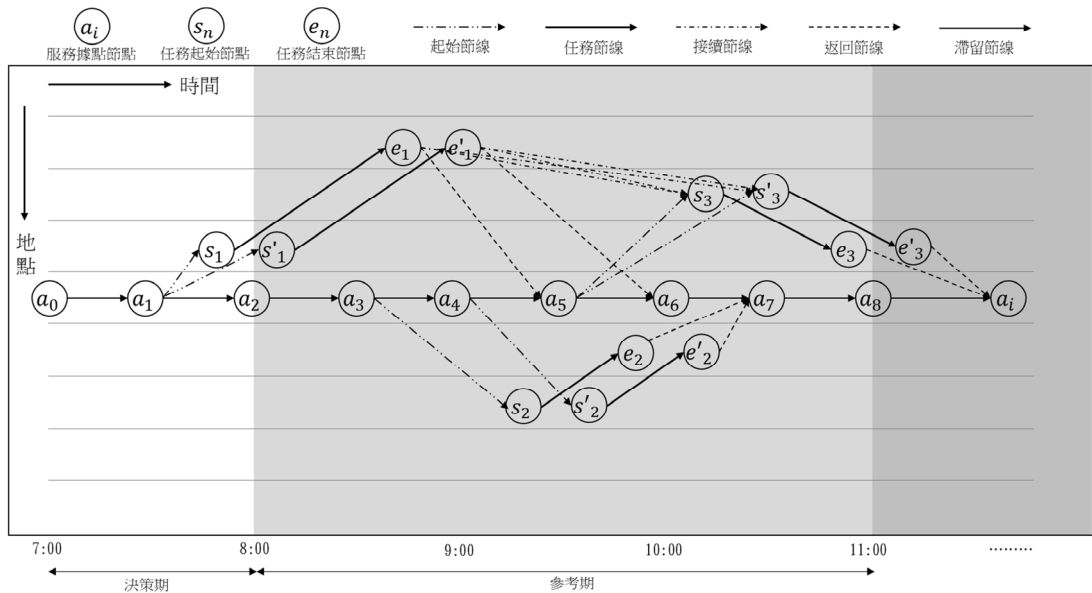


圖 2 護送任務時空網路圖

如圖 2 所示，以早上 7:00 至早上 11:00 為例，早上 7:00 到早上 8:00 為決策期，早上 8:00 到早上 11:00 則為參考期。此規劃期中有三件護送任務，各護送任務起始與結束的位置與時間皆有相對應節點與節線，而後可根據實務可行之接續，建立接續節線，若護送員無法於下一任務起始時間前到達起始地點，則不予連結兩任務間接續節線。需注意的是，

當有護送任務起始時間於規劃時間內，不論結束時間是否在規劃時間內，皆須將該任務納入網路並進行指派。而當任務起始的時間落於規劃期之上一小時以前，則不將其納入本次規劃範圍。

2.4 符號說明與數學定式

本研究針對任務出現隨機下，以護送員預期作業時間成本最小為目標，考量相關限制，應用數學規劃方法構建一護送員指派模式。以下說明模式中使用之符號與模式之數學定式：

2.4.1 符號說明

本研究之相關參數定義如下：

指標定義：

i, j, h ：節點 i, j, h

k ：第 k 個護送任務

ij ：節線 (i, j)

集合定義：

AD ：所有護送任務之節線集合

AN ：所有非護送任務之節線集合

A ：所有節線集合， $A = AD \cup AN$

N ：所有節點的集合

NH ：服務據點之所有節點的集合

K ：所有護送任務集合

I ：所有整數集合

$O(i)$ ：射入節點 i 之所有節線的頭點集合

$E(i)$ ：射出節點 i 之所有節線的尾點集合

MD_k ：第 k 個任務之所有可能延遲（含未延遲）之節線集合

參數定義：

c_{ij} ：節線 (i, j) 的成本， $\forall (i, j) \in A$

u_{ij} ：節線 (i, j) 的流量上限， $\forall (i, j) \in A$

π_{ij} ：護送任務 (i, j) 未如期出現但有指派時所引發的成本，包含護送員移動成本以及任務未如期出現時之聯絡等行政成本， $\forall (i, j) \in MD_k, \forall k \in K$

b_i ：節點 i 之護送員供需數量， $\forall i \in NH$

γ_k ：放棄第 k 個護送任務之懲罰成本， $\forall k \in K$

p_k ：第 k 個護送任務出現機率值， $\forall k \in K$

$$\delta_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{任務節線 } (i, j) \text{ 是第 } k \text{ 個護送任務} \\ 0, & \text{任務節線 } (i, j) \text{ 不是第 } k \text{ 個護送任務} \end{cases}, \forall (i, j) \in A, \forall k \in K$$

決策變數：

x_{ij} ：節線 (i, j) 的流量， $\forall (i, j) \in A$

2.4.2 數學定式

$$\min \sum_{ij \in AN} c_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in K} \sum_{ij \in AD} [p_k \delta_{ij}^k c_{ij} + (1 - p_k \delta_{ij}^k) \pi_{ij}] x_{ij} + \sum_{k \in K} p_k \gamma_k \left(1 - \sum_{ij \in MD_k} x_{ij} \right) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in E(i)} x_{ij} - \sum_{h \in O(i)} x_{hi} = b_i, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in MD_k} x_{ij} \leq 1, \forall k \in K \quad (3)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq u_{ij}, \forall (i, j) \in A \quad (4)$$

$$x_{ij} \in I, \forall (i, j) \in A \quad (5)$$

本模式可定式為含額外限制整數網路流動問題，目標式 (1) 為總護送員護送作業成本期望值最小化，其中，第 1 項為非護送移動或滯留時之成本，第 2 項則為當執行護送任務且任務如期出現時（乘上出現機率值）之護送成本期望值，加上當執行護送任務但任務未如期出現時（乘上未出現機率值）之引發成本期望值，第 3 項為未執行護送任務但任務如期出現時（乘上出現機率值）之懲罰成本期望值；限制式 (2) 為各節點流量守恆限制式；限制式 (3) 表示各任務最多被服務一次；限制式 (4) 為節線流量上限及下限；限制式 (5) 為節線流量的整數限制式。

2.5 流量分解法

本模式求解僅能得知每條節線上的流量，無法得知每一護送員的任務指派過程。在實務上，每位護送員之護送排程才是外包公司所需之最終指派結果，因此，本研究參考 Yan

and Yang^[16] 中提出之流量分解的作法，利用流量分解法求得每位護送員的指派排程。流量分解步驟如下：

步驟一：計算時段內護送員之平均服務時間 U

$$U = \frac{\sum_{k \in K} T_k}{a} \quad (6)$$

U ：護送員之平均服務時間

T_k ：第 k 個任務之服務時間

a ：該時段護送員總人數

步驟二：設定初始護送員

令 $n=1$ 。

步驟三：選擇未受到指派任務之護送員進行任務指派

令第 n 位護送員累積服務時間 S_n 為零，以該時段第一個服務據點為起點 (a_0)，尋找與該點相連且流量大於或等於 1 的節線 (即 $x_{a_0j} \geq 1, j \in A$)，並計算所有連接節線可能之累積服務時間，選其中累積服務時間最接近 U 者為護送員路徑，並將該節線流量減1表示已進行指派，記錄護送員目前位置於 j 點並計算累積服務時間 S_n ，若 $S_n \leq U$ ，則選擇與 j 點相連且流量大於或等於 1 的節線，再重複上述作法，直到 $S_n \geq U$ 或所有任務已指派完時結束。

S_n ：第 n 位護送員累積總服務時間

步驟四：確認是否所有護送任務皆被指派 ($n = a$)。若是，則結束流量分解；否則，令 $n=n+1$ 並回到步驟三。

2.6 模式驗證

為驗證本研究模式之正確性，茲設計一小規模範例當作輸入資料並透過 CPLEX 軟體求得最佳解，再與手算求解進行比較。此小範例之規劃長度為 12 個時間單位，前 4 個時間單位為決策期，其餘為參考期。此例含服務據點總計 7 個空間點，並於每兩個時間單位建立一服務據點節點。該時段有 2 個護送任務，如期出現機率分別為 0.9 及 0.75，護送員數量為一位 (a_0 節點為供給點， a_6 節點為需求點)，任務最多可延遲一個時間單位進行服務。此例之節線成本 c_{ij} 以該節線時間長度計算，每一時間單位 5 元；未如期出現但有指派之護送任務引發的成本 π_{ij} 則以任務時間長度之 1.5 倍計算，每一時間單位 7.5 元；滯留成本以每時間單位 5 元計算；不服務懲罰成本則以每時間單位 50 元計算。相關資料如表 1 與表 2 所示。此小範例的問題規模如表 3 所示。求解目標值與求解時間如表 4 所示，與手算結果相同，驗證本研究模式之正確性。至於詳細的任務指派結果如圖 3 所示，其中護送員於第 3 時點出發服務任務 1，結束後未返回服務據點，而直接前往服務任務 2，完成後返回至服務據點。

表 1 小範例的任務資料

	起時	迄時	起地	迄地	成本	如期出現之機率	未如期出現之成本
任務 1	3	5	3	2	10	0.9	15
任務 2	8	10	5	4	10	0.75	15

表 2 小範例各二點間的旅行時間

	地點 1	地點 2	地點 3	服務據點	地點 4	地點 5	地點 6
地點 1	0	1	1	2	2	3	4
地點 2	1	0	2	2	3	3	4
地點 3	1	2	0	1	2	3	3
服務據點	2	2	1	0	2	2	2
地點 4	2	3	2	2	0	2	2
地點 5	3	3	3	2	2	0	1
地點 6	4	4	3	2	2	1	0

表 3 小範例規模

護送員排程模式問題規模表	
網路規模	
護送員排程網路節點數	15
護送員排程網路節線數	22
數學模式規模	
變數數量	22
流量守恆限制式	15
護送任務的服務限制式	2
節線流量上下限制式	22
節線流量整數限制式	22

表 4 模式驗證結果

模式求解	CPLEX 求解	手算求解
有服務任務數(個)	2	2
不服務任務數(個)	0	0
目標值	61.75	61.75
求解時間(秒)	0.021	-

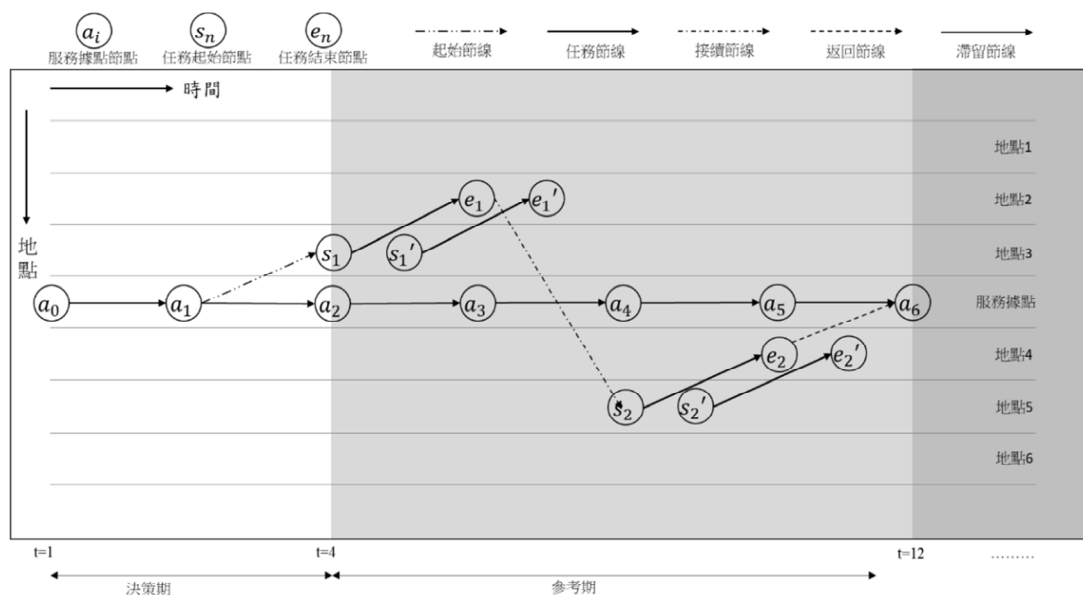


圖 3 小範例求解結果

三、範例測試

為測試本研究模式於實際應用之績效，本研究以國內某國際機場為研究對象，進行測試分析。本研究以 Microsoft Windows 10 為作業平台及 Microsoft Visual 2013 C++ 程式軟體為開發環境，使用 C++ 電腦語言撰寫程式構建模式，利用數學規劃軟體 CPLEX 12.62 進行模式求解，並於處理器 Intel(R) Core(TM) i7-2600 CPU @3.40GHz，記憶體 (RAM) 8.00GB 之個人電腦上執行程式運算。本節依序針對資料輸入、測試結果、人工規劃比較、模擬評估與敏感度分析進行說明。

3.1 資料輸入

本研究以國內某國際機場為研究對象，因護送任務之實際資料受法律保護，因此本研究經實際訪談並以合理假設預估護送任務資料、旅行時間及相關成本，茲分別說明如下：

3.1.1 護送任務資料

由於護送任務的詳細資料取得不易，故本研究與某航空公司相關人員討論後，取得各資料比例，進而模擬護送任務的詳細資料。以下針對護送任務資料的產生步驟進行說明：
步驟一：計算規劃日護送任務數量。

將規劃日中所有航班對應之機型載客數、航線載客率以及航線護送任務比例相乘，得

各航班護送任務數量，再將各航班護送任務數加總即可得該日護送任務的總數。

步驟二：決定各護送任務的起始時間。

將護送任務分為出、入境及轉機等三種，出境任務起始時間為班機出發時間前 60 分鐘至 30 分鐘；入境任務起始時間為班機到達時間 0 至 30 分鐘內，轉機任務亦為班機到達時間 0 至 30 分鐘內，並由電腦於該區間內隨機產生各護送任務的起始時間。

步驟三：決定各任務的結束時間。

出境護送任務時間設為 20 分鐘，入境護送任務時間設為 15 分鐘，轉機護送任務時間設為 30 分鐘，將各任務的起始時間加上該任務時間，即可得各任務的結束時間。

步驟四：決定各任務的起點與迄點。

根據登機門的使用比例，由電腦亂數產生相對應之機門，以此決定出境護送任務之迄點及入境護送任務之起點。出境任務之起點為該任務開始之航廈之出境大廳，入境任務之迄點為該任務結束之航廈之入境大廳；至於轉機護送任務的起迄點皆依據登機門使用比例由電腦亂數產生。

步驟五：決定各任務未出現機率。

依不同時段及任務種類區分，並根據歷史資料與相對應之機率區間亂數產生各任務未出現之機率。

3.1.2 旅行時間及作業成本

本研究之研究對象機場有 A、B 兩航廈，38 個登機門，各航廈皆有出、入境大廳，故總計 42 地點，另假設服務據點設於 B 航廈出境大廳。護送員人數為 15 人，護送員平均移動時速為每小時 4.5 公里，以計算護送員於任兩點間的平均旅行時間。在作業成本方面，本研究參考國內各航空公司地勤人員的經常性薪資約為四萬五千元，並假設地勤人員一個月上班時間約為 21 天，一天上班 8.5 小時，得知一分鐘薪水約 4.2 元。依據上述的推估之旅行時間乘上一分鐘薪水 4.2 元，可以得知在不同位置點移動時的時間成本，即起始、接續及返回節線之成本。而任務節線之成本則以該護送服務的時間計算，滯留節線成本則以滯留時間乘以十倍作為其成本，表示決策者十分重視人員的使用效率，儘量避免滯留。至於未如期出現但有指派之護送任務所引發的成本 (π_{ij}) 則以任務節線成本的 1.2 倍計算，另不服務之懲罰成本以 1500 元/件計算。未來模式在實際應用時，此相關成本可依實際情況再進行調整。

3.2 測試結果分析

此範例測試規劃時長為四小時，且每一個小時更新一次，更新四次，故總共延時為七小時，共 236 件護送任務，各規劃時段的任務數及問題規模如表 5 所示。

求解結果如表 6 所示。在早上 7:00 至早上 11:00 時段有 133 個護送需求的任務，有前往服務之任務數為 133 個，旅客平均等待時間為 5.3 分鐘，目標值為 31667.1 元，求解時

間為 0.243 秒；在早上 8:00 至中午 12:00 時段有 118 個護送需求的任務，有前往服務之任務數為 118 個，旅客平均等待時間為 4.74 分鐘，目標值為 30196.8 元，求解時間為 0.156 秒；在早上 9:00 至下午 13:00 時段有 130 個護送需求的任務，有前往服務之任務數為 130 個，旅客平均等待時間為 5.16 分鐘，目標值為 31382.1 元，求解時間為 0.188 秒；在早上 10:00 至下午 14:00 時段有 127 個護送需求的任務，有前往服務之任務數為 127 個，旅客平均等待時間為 5.04 分鐘，目標值為 30317.1 元，求解時間為 0.205 秒。由上可知，不論在哪一時段本模式皆可以在短時間以 CLPEX 求得最佳解，另外四個時段的任務皆有派護送員服務，沒有不服務任務的情形。

表 5 各規劃時段的任務數及問題規模

規劃時段	7:00-11:00	8:00-12:00	9:00-13:00	10:00-14:00
任務數	133	118	130	127
網路規模				
護送員排程網路節點數	1378	1228	1348	1318
護送員排程網路節線數	2329	2117	2414	2365
數學式規模				
變數數量	2329	2117	2414	2365
流量守恆限制式	1378	1228	1348	1318
護送任務的服務限制式	133	118	130	127
節線流量上下限制式	2329	2117	2414	2365
節線流量整數限制式	2329	2117	2414	2365

表 6 各規劃時段模式的求解結果

規劃時段	7:00-11:00	8:00-12:00	9:00-13:00	10:00-14:00
護送任務數量(個)	133	118	130	127
有服務任務數(個)	133	118	130	127
不服務任務數(個)	0	0	0	0
目標值(元)	31667.1	30196.8	31382.1	30317.1
不服務任務懲罰成本期望值(元)	0	0	0	0
旅客平均等待時間(分鐘)	5.30	4.74	5.16	5.04
決策期成本	8424.3	7783.7	8016.2	7629.0
決策期服務件數	46	29	34	24
求解時間(秒)	0.243	0.156	0.188	0.205

本研究利用流量分解法進一步進行護送員排程規劃，以 7：00 至 11：00 時段為例，結果如表 7 所示，此結果可協助決策者進行任務指派。

表 7 護送員排程規劃結果

護送員編號	任務編號 ⁵
1	2 → 8 → 31 → 41 → 47 → 52 → 67 → 86 → 96 → 108 → 112 → 113
2	9 → 30 → 53 → 57 → 60 → 68 → 74 → 98 → 126 → 127 → 131
3	10 → 23 → 46 → 48 → 58 → 80 → 100 → 110
4	4 → 36 → 40 → 50 → 59 → 69 → 77 → 101 → 111 → 122
5	29 → 42 → 55 → 72 → 75 → 102 → 104 → 130
6	3 → 7 → 33 → 65 → 78 → 91 → 105 → 114
7	6 → 18 → 34 → 66 → 90 → 92 → 97 → 128 → 133
8	12 → 22 → 37 → 56 → 70 → 87 → 99 → 123
9	13 → 24 → 38 → 44 → 49 → 61 → 82 → 95 → 103 → 120 → 121
10	5 → 14 → 25 → 39 → 51 → 62 → 83 → 88 → 106 → 125
11	1 → 16 → 27 → 43 → 54 → 85 → 118 → 124
12	11 → 26 → 45 → 63 → 71 → 79 → 115
13	20 → 32 → 64 → 73 → 84 → 109 → 129 → 132
14	15 → 28 → 35 → 76 → 89 → 107 → 119
15	17 → 19 → 21 → 81 → 93 → 94 → 116 → 117

本研究配合滾動分析，在營運過程中動態地指派護送任務，為得知其應用狀況，故比較規劃與實際營運結果，以早上 7:00—早上 11:00 時段為例，其原規劃結果目標值為 31667.1 元（即模式第一次求解結果）。本研究另將不同時段之決策期目標值相加後得實際營運目標值，為 31853.2 元，共服務 133 個任務。此實際營運後的結果較原本規劃之結果差，主要原因是因為後續參考期加入新任務，導致各決策期所選的任務排程受影響，而較原最佳解為差。

3.3 比較人工規劃結果

為適當評估本研究模式的績效，本節針對模式求解結果與人工規劃結果進行比較及分析。本研究參考實務作法，說明人工規劃步驟如下：

步驟一：將護送任務起始時間由近到遠依序排列。

步驟二：依護送任務順序進行指派，任務起始時間較早者優先指派，當任務起始時間相同

5. 白底代表為決策期規劃結果，灰底代表參考期規劃結果

時則優先指派離服務據點較近之護送任務。不論旅客是否如期出現，皆須指派護送員前往服務。

步驟三：依序指派不同護送員執行任務，護送員須於任務完成後回至服務據點。基於公平性考量，為使所有護送員服務任務數趨近相同，當所有護送員服務任務數等於或接近護送員之平均服務任務數，則再依序指派剩餘任務給服務據點之護送員。

步驟四：若有護送任務須執行，而未有閒置護送員時，則延遲服務該任務，直至有護送員完成任務且前往至任務起始地點。

步驟五：當所有護送任務被指派完畢即完成指派作業。

本研究之人工規劃方法類似於貪婪法，理論上所求的結果為一可行解，而非最佳解，詳細結果如表 8 所示，而表 9 為早上 7:00 至 11:00 時段護送員之排程結果。在早上 7:00 至 11:00 時段有前往服務之任務數為 133 個，目標值為 34138.5 元，求解時間為 177 秒；在早上 8:00 至中午 12:00 時段有前往服務之任務數為 118 個，目標值為 32073.9 元，求解時間為 159 秒；在早上 9:00 至下午 13:00 時段有前往服務之任務數為 130 個，目標值為 33741.6 元，求解時間為 170 秒；在早上 10:00 至下午 14:00 時段有前往服務之任務數為 127 個，目標值為 32907.4 元，求解時間為 179 秒。同時，於人工規劃結果下，旅客平均等待時間僅於早上 10:00 至下午 14:00 時段稍微下降 0.04 分鐘外，其餘時段皆有增加的情況。由此結果可發現人工規劃花費時間較長且目標值明顯較差，各規劃時段相差模式目標值約介於 6.22%~8.54%。

表 8 人工規劃求解結果

規劃時段	7:00-11:00	8:00-12:00	9:00-13:00	10:00-14:00
護送任務數量(個)	133	118	130	127
有服務任務數(個)	133	118	130	127
不服務任務數(個)	0	0	0	0
目標值(元)	34138.5	32073.9	33741.6	32907.4
不服務任務懲罰成本期望值(元)	0	0	0	0
旅客平均等待時間(分鐘)	5.42	4.77	5.2	5.00
求解時間(秒)	177	159	170	179
人工規劃與模式結果差異 ⁶ (%)	7.80	6.22	7.52	8.54

6. 人工規劃與模式結果差異 = $\frac{(\text{人工規劃目標值} - \text{模式目標值})}{\text{模式目標值}}$

表 9 人工規劃護送員排程結果

護送員編號	任務編號 ⁷																
1	3	→	14	→	31	→	44	→	61	→	76	→	92	→	105	→	122
2	2	→	20	→	32	→	48	→	63	→	79	→	91	→	106	→	121
3	1	→	15	→	33	→	47	→	62	→	78	→	93	→	108	→	123
4	4	→	18	→	37	→	49	→	65	→	77	→	94	→	109	→	125
5	6	→	19	→	35	→	50	→	64	→	81	→	95	→	112	→	126
6	5	→	21	→	34	→	51	→	66	→	82	→	99	→	110	→	124
7	7	→	26	→	36	→	53	→	68	→	83	→	97	→	111	→	128
8	8	→	22	→	39	→	52	→	69	→	80	→	96	→	113	→	127
9	10	→	25	→	41	→	54	→	67	→	86	→	98	→	114	→	129
10	9	→	23	→	40	→	56	→	70	→	87	→	100	→	115	→	131
11	11	→	24	→	38	→	58	→	71	→	85	→	101	→	116	→	130
12	12	→	28	→	42	→	57	→	72	→	84	→	102	→	117	→	132
13	17	→	27	→	43	→	59	→	75	→	88	→	103	→	119	→	133
14	13	→	29	→	45	→	60	→	74	→	89	→	107	→	118		
15	16	→	30	→	46	→	58	→	73	→	90	→	104	→	120		

3.4 模擬評估

模擬評估是指將規劃階段所求得之解與代入模擬營運的環境中，評估規劃解之營運績效。本研究參考 Yan et al.^[10] 與 Chu et al.^[11]，模擬營運中可能的產生多次的護送任務下，評估模式規劃解之營運適用性。理論上，模擬事件次數越多，越能反映實際真實的狀況。本研究在給定的護送員人數下，求得各組隨機護送任務需求下的營運目標值及所有事件下的平均營運目標值，評估模式規劃解應用於模擬營運中的績效差異。此評估方法之步驟如下：

步驟一：令 $M=1$ ， M 為模擬次數。

步驟二：在符合各護送任務的出現機率分配函數下，產生隨機護送任務需求組合。

步驟三：將第 M 次模擬之護送任務需求資料代入模式求得之護送員排程結果中，求解模擬營運之目標值。做法上係針對每位護送員的排程進行調整，以服務此組產生的護送任務需求。本研究參考某航空公司作法，若該護送任務如期出現，則依原規劃執行此任務，若該護送任務未如期出現，則依然前往原指定地點但不在該地停留，並在下一個護送任務時間開始時抵達護送任務地點。若規劃解有放棄護送任

7. 白底代表為決策期規劃結果，灰底代表參考期規劃結果

務時，亦依規劃解放棄該任務。最後依上述調整營運排程的做法重新計算成本，並加總計算此次模擬事件之營運目標值。

步驟四：檢查 M 是否達到模擬次數？若是，則進行步驟五；否則， $M = M + 1$ 並回到步驟二。

步驟五：綜合所有事件下計算平均的模擬營運目標值並進行比較分析。

根據上述步驟，本研究模擬 10 至 100 次隨機事件之平均模擬營運目標值，發現在各時段中，當模擬事件次數超過 70 次時，目標值的變動皆已呈現趨緩情形，但為求保險，本研究以模擬 100 次事件 ($M=100$) 作為後續模擬事件數進行模擬營運評估。由表 10 可發現各時段中模擬營運目標值皆稍比規劃目標值好。此外，本研究模式規劃目標值與模擬營運目標值間的差異較人工規劃目標值與模擬營運目標值間的差異稍微大一些，在 7:00-11:00 中，差異分別為-0.34%與-0.30%；在 8:00-12:00 中，差異分別為-0.25%與-0.24%；在 9:00-13:00 中，差異分別為-0.32%與-0.30%；在 10:00-14:00 中，差異分別為-0.32%與-0.30%，其主要是因為本研究發展模式規劃的結果稍微較密，而在人工規劃時則因人工規劃作法較為鬆散，因此當進行模擬營運重新調整護送員的排程後，會使得本研究模式的規劃目標值與模擬營運目標值間的差異稍微較大。同時，我們亦可以發現人工規劃之結果不

表 10 規劃目標值與模擬營運目標值結果

時間	方法	規劃目標值(元)	模擬營運目標值(元)	與規劃目標值差異 ⁸ (%)
7:00-11:00	隨機性模式	31667.1	31559.3	-0.34
	人工規劃	34138.5	34035.3	-0.30
	與模式目標值差異 ⁹ (%)	7.80	7.85	
8:00-12:00	隨機性模式	30196.8	30120.9	-0.25
	人工規劃	32073.9	31996.1	-0.24
	與模式目標值差異(%)	6.22	6.23	
9:00-13:00	隨機性模式	31382.1	31282.8	-0.32
	人工規劃	33741.6	33642.0	-0.30
	與模式目標值差異(%)	7.52	7.54	
10:00-14:00	隨機性模式	30317.1	30218.8	-0.32
	人工規劃	32907.4	32808.0	-0.30
	與模式目標值差異(%)	8.54	8.57	

8. 與規劃目標值差異 = $\frac{(\text{模擬營運目標值} - \text{規劃目標值})}{\text{規劃目標值}}$

9. 與模式目標值差異 = $\frac{(\text{人工規劃目標值} - \text{模式目標值})}{\text{模式目標值}}$

論是在規劃目標值或是模擬營運目標值，都明顯比模式的結果差，在 7:00-11:00 中，差異分別為 7.8%與 7.85%；在 8:00-12:00 中，差異分別為 6.22%與 6.23%；在 9:00-13:00 中，差異分別為 7.52%與 7.54%；在 10:00-14:00 中，差異分別為 8.54%與 8.57%，此顯示本研究之模式明顯優於人工規劃之方式。

3.5 敏感度分析

為了解相關參數改變對於模式結果之影響程度，本研究以範例測試中 7:00 至 11:00 任務數量為基礎，針對護送員人力、護送任務延遲時間上限、及護送任務數量進行敏感度分析，其結果可供決策者參考。至於其他規劃時段的測試結果類似，為節省篇幅，不再贅述。

3.5.1 護送員人數敏感度分析

本研究變動護送員人數為 5、10、15(原範例)、20、25 人，總計五個情境，測試其對模式結果的影響。結果如表 11 所示，當護送員由 10 人增加至 15 人、20 人、25 人時，規劃時段的服務任務數量並無變化，但目標值皆逐漸上升，原因是當護送員人數增加時，造成人力供過於求，使得多餘的護送員於服務據點滯留而產生過多的成本。旅客平均等待時間方面，則依護送員數量增加而明顯下降。當護送員減少至 5 人時，發現有 2 個未被服務任務數，表示護送員的人力不足，無法滿足現況護送任務的需求。

表 11 護送員人數敏感度分析結果

護送員人數(人)	5	10	15	20	25
護送任務數量(個)	133	133	133	133	133
有服務任務數(個)	131	133	133	133	133
不服務任務數(個)	2	0	0	0	0
目標值(元)	18335.5	21612.0	31667.1	41435.7	51305.1
不服務任務懲罰成本期望值(元)	2100	0	0	0	0
旅客平均等待時間(分鐘)	8.40	6.78	5.42	4.09	2.61
求解時間(秒)	4.132	0.672	0.243	0.217	0.199
與範例測試目標值差距 ¹⁰ (%)	-42.10	-31.75	0	30.85	62.01

¹⁰ 與範例測試目標值差距 = $\frac{(\text{情境目標值} - \text{範例目標值})}{\text{範例目標值}}$

3.5.2 護送任務延遲時間上限敏感度分析

本節變動護送任務延遲時間上限為 0、10、15、20 (原範例)、25 以及 30 分鐘，總計六個情境，測試其對模式結果的影響。由表 12 可以發現，當延遲時間由 10 增加至 15、20、25、30 分鐘時，規劃時段的服務之任務數量 (133 個) 與目標值 (31667.1) 皆無變化，旅客平均等待時間亦皆相同 (為 5.42 分鐘)。而當任務延遲時間上限降為 0 分鐘時，無任務延遲之情況，但出現 1 個未服務護送任務之情形，目標值亦明顯上升為 33802.2。此結果說明護送任務延遲策略在維持機場一定的服務水準情況下，可有效的減少不服務之任務數量。

表 12 延遲任務數量敏感度分析結果

延遲任務時間(分鐘)	0	10	15	20	25	30
護送任務數量(個)	133	133	133	133	133	133
有服務任務數(個)	132	133	133	133	133	133
不服務任務數(個)	1	0	0	0	0	0
目標值(元)	33802.2	31667.1	31667.1	31667.1	31667.1	31667.1
不服務任務懲罰成本期望值(元)	1050	0	0	0	0	0
旅客平均等待時間(分鐘)	0	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42
求解時間(秒)	0.235	0.191	0.178	0.243	0.354	0.401
與範例測試目標值差距 ¹¹ (%)	6.74	0	0	0	0	0

3.5.3 護送任務數量數

隨著旅遊風氣盛行以及人口老年化趨勢，可預期機場護送需求亦會隨之增加，故本研究亦針對機場護送任務數量改變作敏感度分析，本研究分別變動為 60%、80%、100% (原範例)、120%、140%、160%以及 180%，總計七個情境，測試其對模式結果的影響。測試問題規模與結果如表 13 所示，注意此測試的問題規模與護送任務數相關，變化較大，而前二個敏感度分析的問題規模變化不大，與原範例問題規模類似。當護送任務數量減少時 (100%以下)，皆無不服務護送任務之情形，目標值有下降趨勢但不大，原因是因護送任務減少，護送員雖不須前往服務，但仍需滯留於服務據點時仍有產生滯留成本，故未造成目

11. 與範例測試目標值差距 = $\frac{(\text{情境目標值} - \text{範例目標值})}{\text{範例目標值}}$

標值大幅下降。而當任務數量增加時，目標值有明顯上升情形，此乃因機場護送任務增加時，護送員數量並未增加，故使得有些任務被放棄，其中，當規模為原範例之 140%、160% 以及 180% 時，目標值明顯增加為 44088.4 元、51293.5 元以及 60124.3 元，且放棄任務數亦大幅增加。此說明原有的護送員數量已無法負擔該任務規模，故需增加護送員人力。旅客平均等待時間亦隨任務數量增加而上升，值得注意的是，當任務規模由 160% 增至 180% 時，旅客平均等待時間由 8.24 分鐘大幅上升至 10.79 分鐘，故建議若未來該機場任務數增至此規模時，需注意旅客平均等待時間過長的問題。至於求解時間方面，當規模擴大至 180% 時，求解時間仍只要 5.284 秒，說明本研究模式在此規模內皆可以 CPLEX 有效求解，可適用於即時的動態決策環境。

表 13 護送任務規模敏感度分析結果

任務比例數	60%	80%	100%	120%	140%	160%	180%
任務數量(個)	80	107	133	160	186	213	240
網路規模數量							
護送員排程網路節點數	848	1118	1378	1648	1908	2178	2448
護送員排程網路節線數	1420	1890	2329	2767	3097	3477	3776
數學式規模							
變數變數	1420	1890	2329	2767	3097	3477	3776
流量守恆限制式	848	1118	1378	1648	1908	2178	2448
護送任務的服務限制式	80	107	133	160	186	213	240
節線流量上下限制式	1420	1890	2329	2767	3097	3477	3776
整數限制式	1420	1890	2329	2767	3097	3477	3776
求解結果							
目標值(元)	29650.1	30629.5	31667.1	33837.9	44088.4	51293.5	60124.3
不服務任務懲罰成本期望值(元)	0	0	0	1534.3	11765.7	19243.3	28046.8
旅客平均等待時間(分鐘)	2.06	3.34	5.42	6.11	7.45	8.24	10.79
不服務任務數(個)	0	0	0	4	27	52	74
求解時間(秒)	0.152	0.168	0.243	0.410	3.152	3.881	5.284
與範例測試目標值差距 ¹² (%)							
	-6.4	-3.3	0	6.9	39.2	62.0	89.9

12. 與範例測試目標值差距 = $\frac{(\text{情境目標值} - \text{範例目標值})}{\text{範例目標值}}$

四、結論與建議

近年來，機場隨著行動不便的旅客增加，相關的服務品質日益受到重視，以往多數機場在行動不便旅客護送任務的指派上，皆以人工經驗為主，缺乏系統最佳化考量，故經常容易造成旅客等候時間過長或甚至不服務情形；另外，在機場營運時，經常可能面臨突發的問題，如旅客未如期出現等，造成護送員調度更加困難。同時，近年來機場營運外包逐漸成為趨勢，國外許多航空公司亦將行動不便旅客的護送需求交予外包公司負責。緣此，本研究基於機場外包公司的立場，運用時空網路及數學規劃技巧，以總護送員護送作業成本期望值最小化為目標，考量實務上旅客出現機率及相關營運限制，發展一隨機性護送員指派模式，並利用 CPLEX 數學規劃軟體求解模式，同時配合滾動分析，在營運過程中動態地指派護送任務，以協助決策者有效的解決機場護送員的調度問題。本研究亦發展一流量分解法，可協助決策者詳細指派各護送員之任務排程。

本研究以國內某國際機場為研究對象，針對該機場特定時段之護送員進行任務指派，且由於旅客護送資料難以取得，故經實際訪談並以合理假設相關輸入資料。其中，地點方面包含該機場 A、B 航廈出入境大廳、38 個登機口等 42 個地點，本研究並以 7:00 至 14:00 間機場所有的護送需求進行範例測試，總計有 236 件護送任務，每次求解四小時（前一小時為決策期、後三小時為參考期），共進行四次求解，最後所得結果包含 7:00 至 11:00 決策排程及 11:00 至 14:00 參考用排程。本研究範例測試四次更新目標值分別為 31667.1、30196.8、31382.1 以及 30317.1 元，求解時間皆不超過 1 秒，同時，四個時段人工規劃目標值為 34138.5、32073.9、33741.6 以及 32907.4 元，皆明顯較本研究模式結果差，顯示規劃上本研究模式可有效降低護送員實務作業的時間成本。在模擬評估中，本研究產生多組隨機護送任務需求以評估模式規劃解及人工規劃解之模擬營運績效，結果顯示本研究模式規劃解之模擬營運目標值皆明顯較人工規劃解之模擬營運目標值好，亦表示在營運上本研究模式預期亦可有效降低護送員實務作業的時間成本。本研究另外針對護送員人數、護送任務延遲時間上限、及護送任務數量等參數進行敏感度分析，結果顯示模式皆能有效的求解問題，此等結果亦可提供相關業者做為營運規劃之參考。

最後，於實務中，行動不便旅客的護送需求有許多種類型，如：有些人需輪椅、有些人須拐杖、有些人須多位護送員協助，而本研究針對所有護送任務為同質性任務，並不考慮旅客的異質性及所需設備。未來的研究方向可進一步針對異質性旅客及所需設備發展適合的護送任務指派模式，以有效的提升機場的服務水準。

參考文獻

1. Civil Aviation Authority, *Airport accessibility report*, 2019.

2. Chang, Y. C. and Chen, C. F., "Identifying Mobility Service Needs for Disabled Air Passengers", *Tourism Management*, Vol. 32, No. 5, 2011, pp. 1214-1217.
3. Chang, Y.C. and Chen, C. F., "Meeting the Needs of Disabled Air Passengers: Factors that Facilitate Help from Airlines and Airports", *Tourism Management*, Vol. 33, No. 3, 2012, pp. 529-536.
4. Gaspar, S., "Airport Accessibility and Mobility: Infrastructures, Services and Perception of Passengers with Reduced Mobility", University of Beira Interior, 2016.
5. Major, W. L. & Hubbard, S. M., "An Examination of Disability-Related Complaints in the United States Commercial Aviation Sector", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 78, 2019, pp. 43-53.
6. Reinhardt, L. B., Clausen, T. and Pisinger, D., "Synchronized Dial-a-Ride Transportation of Disabled Passengers at Airports", *European Journal of Operational Research*, Vol. 225, No. 1, 2013, pp. 106-117.
7. Ancell, D., Graham, A., "A Framework for Evaluating the European Airline Costs of Disabled Persons and Persons with Reduced Mobility", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 50, 2016, pp. 41-44.
8. Grah, R. and Jacquillat, A., "Optimal Escort Dispatch for Airport Travelers with Reduced Mobility", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 111, 2020, pp. 421-438.
9. René, V. T., Marjan, V. D. A., Hoogeveen, H., "Synchronizing Transportation of people with Reduced Mobility through Airport Terminals", *Computers and Operations Research*, Vol. 125, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105103>, 2021.
10. Yan, S., Lin, C.K. and Chen, S.-Y., "Logistical Support Scheduling under Stochastic Travel Times given an Emergency Repair Work Schedule", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 67, 2014, pp. 20-35.
11. Chu, J. C., Yan, S., Huang, H.J., "A Multi-Trip Split-Delivery Vehicle Routing Problem with Time Windows for Inventory Replenishment under Stochastic Travel Times", *Networks and Spatial Economics*, Vol. 17, 2017, pp. 41-68.
12. Yan, S., Lin, J. R., Chen, Y. C., Xie, F. R., "Rental Bike Location and Allocation under Stochastic Demands", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 107, 2017, pp. 1-11.
13. Hur, Y., Jonathan, F. B., Frey, M., Kiermaier, F., "A Stochastic Optimization Approach to Shift Scheduling with Breaks Adjustments", *Computers and Operations Research*, Vol. 107, 2019, pp. 127-139.
14. Keskin, M., Çatay, B., Laporte, G., "A Simulation-based Heuristic for the Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows and Stochastic Waiting Times at Recharging Stations", *Computers and Operations Research*, Vol. 125, 2021, 105060.
15. 國際航空運輸協會(IATA), 第 700 號決議, 取自 <https://www.iata.org/contentassets/7b3762815ac44a10b83ccf5560c1b308/iata-guidance-on-the-transport-of-mobility-aids-final-feb2023.pdf>, 民國 91 年。
16. Yan, S. and Yang, D.H., "A Decision Support Framework for Handling Schedule Perturbation", *Transportation Research B: Methodological*, Vol. 30, No. 6, 1996, pp. 405-419.