

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

考量機場入境航班抵達時間隨機性之
入境航班行李卸載轉盤指派與排程問題
Optimal Assignment of Inbound Flights to Baggage Carousels
Considering Stochastic Arrival Times of Flights

研 究 生：任家瑜 (Jen, Chia-Yu)
指導教授：盧宗成 (Lu, Chung-Cheng)

中華民國 一一〇年 六月

June 2021

考量機場入境航班抵達時間隨機性之

入境航班行李卸載轉盤指派與排程問題

Optimal Assignment of Inbound Flights to Baggage Carousels
Considering Stochastic Arrival Times of Flights

研 究 生：任家瑜

Student：Chia-Yu Jen

指導教授：盧宗成 博士

Advisor：Dr. Chung-Cheng Lu

國立陽明交通大學

運輸與物流管理學系

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Yang Ming Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Logistics Management

June 2021

Taiwan, Republic of China

中華民國一一〇年六月

國立陽明交通大學

博碩士論文紙本暨電子檔著作權授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之學位論文，為本人於國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 物流管理 組，109 學年度第 2 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：考量機場入境航班抵達時間隨機性之入境航班行李卸載轉盤指派與排程問題
指導教授：盧宗成

一、紙本論文授權

紙本論文依著作權法第15條第2項第3款之規定辦理，「依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者…推定著作人同意公開發表其著作」。

二、論文電子檔授權

本人授權將本著作以非專屬、無償授權國立陽明交通大學、台灣聯合大學系統圖書館及國家圖書館。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：	
中英文摘要	必需公開
本校及台灣聯合大學系統區域網路	■ 中華民國 115 年 8 月 22 日公開
校外網際網路及國家圖書館	■ 中華民國 115 年 8 月 22 日公開

說明：基於推動「資源共享、互惠合作」之理念與回饋社會及學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟或數位化等各種方式收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行線上檢索、閱覽、下載或列印。

授權人： 任家瑜 (親筆簽名)

中華民國 110 年 08 月 23 日

國立陽明交通大學碩士學位論文審定同意書

運輸與物流管理學系物流管理 碩士班 任家瑜 君
所提之論文

題目：考量機場入境航班抵達時間隨機性之入境航班行李卸載轉盤指派與
排程問題

Optimal Assignment of Inbound Flights to Baggage Carousels Considering

Stochastic Arrival Times of Flights

經學位考試委員會審查通過，特此證明。

學位考試委員會（簽名）

口試委員：顏上堯（召集人）
楊大輝

詹宗成

論文已完成修改

指導教授 詹宗成（簽名）

系主任 黃明居（簽名）

中 華 民 國 110 年 6 月 21 日

誌謝

兩年前的 3 月 5 號我在德國收到考試放榜的消息，當下心情異常平靜但有些許擔憂。收到錄取通知後的下一步就是盡快與教授們約面談時間，非常感謝盧宗成老師答應讓我加入盧 Lab，現在的我非常慶幸當時的選擇是正確的！研究所這兩年期間，我明顯感受到自己思考方式的變化和成長。從畏懼個人報告到可以不看稿的侃侃而談，從毫無程式撰寫的經驗到用 C++ 語言求解整個最佳化問題。這一切都好不可思議，儘管這段過程內心煎熬甚至顧不好身心狀況，還是很感謝自己願意凡事先踏出第一步嘗試，而不是預先設想自己可能做不到。感謝我的指導教授盧宗成老師，給予我相當多的鼓勵與包容我的身體狀況，且用心地給學生論文的建議和幫助。我從老師身上學習到良好的做事態度和方法，我會帶著這些種種繼續努力的！感謝張宗勝老師和姚銘忠老師給予過的指導與鼓勵，讓我突破自己獲得從未想過的成長。感謝顏上堯老師與楊大輝老師在口試時提出許多寶貴的建議，使我的論文內容更加完善。感謝復華學長和大學同學曉瑩幫助我了解機場實際情況。感謝佳宜學姐和妍葶學姐在我寫論文遇到困難時給予很多幫助。

來到交大運管讀研究所讓我結交了許多又會玩又認真做事的同學們，謝謝他們聽我發牢騷以及幫助我程式和論文遇到的問題。感謝玄鈺、采馨、啟洋同為物流組共患難的同學，總是熱心的幫助我關心我還有找我吃飯，祝你們未來一切順順利利，靠你們了:) 感謝盧 Lab 的季萱、蕾絮、岳鴻，很開心能夠認識那麼棒的你們，雖然我一人在新竹校區，但你們都會分享一些趣事讓我覺得不孤單哈哈。感謝楚文、凱嫻、威瑜、佳臨、宗翰陪我聊天，你們是綜一可愛且溫暖的存在~ 在我一開始還未熟悉交大環境時認識了陳立立，謝謝你陪伴我度過無趣又有趣的最後的學生生活！理性又有執行力的你總是覺得我的煩惱不算煩惱(哭阿!)，但還是默默地遞衛生紙和幫我 debug，帶我出門轉換心情或是搞笑，讓我能充飽電再出發，希望我們在各方面都能越來越好，你最棒！不能忘了雅優姐，謝謝妳在我要經歷各種變化時用力推我一把，給我滿滿勇氣面對這一切！

特別感謝供我吃穿和認真教育我 24 年的父母！讓我有個安全堅固的避風港，每次回家都會準備好吃的，盡力供給我最好的教育資源，送我出國體驗不同的生活也讓我來交大接受更大的挑戰。謝謝你們給予的一切，我會當個孝順不讓你們擔憂的女兒！在求學路上還有許多要感謝的人無法逐一列舉，但我由衷感謝你們曾經給予的幫助，讓我覺得自己是幸運的人。最後，期許自己進了職場後，能夠做好自己的本分也能顧好自己的身心，繼續保有學習熱忱和勇氣面對所有人生挑戰，YA~~

任家瑜 謹致於
國立陽明交通大學
2021 年 8 月

考量機場入境航班抵達時間隨機性之入境航班行李卸載轉盤

指派與排程問題

研究生：任家瑜

指導教授：盧宗成 教授

國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

本研究求解入境航班行李卸載轉盤指派與排程最佳化問題。實務上入境航班常因為許多非預期的事件無法於排定時間抵達機場(例如因天候不佳而延誤抵達)，造成機場作業人員在行李卸載轉盤指派作業的困擾，也影響了機場的服務品質，因此本研究考量入境航班抵達時間之不確定性，透過離散機率分布呈現各入境航班抵達時間之情境。為了有效描述行李卸載轉盤的指派與排程，本研究建立行李卸載轉盤流動網路，並在此網路基礎上建立入境航班行李卸載轉盤指派之隨機最佳化模式，模式求解目標為最小化非預期抵達之排程延誤成本之期望值、旅客提領行李之步行距離、以及與航班常用行李轉盤之差異。

本研究以桃園國際機場為研究對象，經由機場相關單位協助取得 2019 年 8 月份所有入境航班資料與行李卸載轉盤指派資料，並透過與機場相關人員訪談了解作業流程並收集相關參數資料，根據所收集的資料建立測試例題，使用 C++ 語言撰寫程式並將數學模式輸入至最佳化求解軟體 Gurobi Optimizer 進行求解。求解結果顯示此模式可以有效地得到最佳化的入境航班行李卸載轉盤指派與排程。除此之外，本研究也針對模式中的重要參數進行敏感度分析，並透過模擬評估方法比較確定性模式與隨機最佳化模式之指派結果。本研究成果除了有理論貢獻，也具有實務應用價值，可供機場相關部門人員於入境航班行李卸載轉盤指派之參考。

關鍵字：入境航班行李卸載轉盤指派、航班抵達時間不確定、網路流量問題、隨機規劃

Abstract

This study deals with the baggage unloading carousels (BUCs) assignment problem for inbound flights in an airport. Actual arrival times of inbound flights are general uncertain due to some unexpected events (e.g., inclement weather) in practice. The uncertain arrival times may adversely affect the operations of baggage unloading in the airport and could significantly downgrade the service quality of the airport. This study considers the uncertain arrival times of inbound flights and represents the uncertainty using a discrete probability distribution. In order to effectively describe the assignment and the schedule of (BUCs), this study proposes a baggage carousel flow network and constructs the stochastic optimization model based on the proposed network. The objective is to minimize the expected value of unanticipated schedule delay costs, the walking distance for passengers to baggage claim, and the difference between the optimal assignment and the historical assignment of flights to BUCs.

Using the Taoyuan International Airport as a case study, this study obtained the inbound flight data and the BUC assignment data in August, 2019 from the airport operator, and generated problem instances using the data. The problem instances of the proposed stochastic optimization model were solved using Gurobi Optimizer. The results show the model is able to effectively generate the optimal BUC assignment to inbound flights. This study also conducted a set of sensitivity analyses to examine the impact of the model parameters on the solution. Moreover, the solutions of the deterministic model and the stochastic model are compared to evaluate the benefits of using the stochastic model. In addition to the methodological contribution, the proposed approach has practical application value and can provide a reference for the airport operator to perform the BUC assignment for inbound flights.

Keywords: Assignment of baggage unloading carousels to inbound flights, uncertain flight arrival times, network flow problem, stochastic programming

目錄

摘要	i
Abstract	ii
目錄	iii
表目錄	v
圖目錄	vi
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的與範圍	2
1.3 研究方法與流程	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 機場旅客行李卸載轉盤排程	4
2.1.1 入境旅客行李卸載	4
2.1.2 出境旅客行李卸載	5
2.2 運輸與物流相關之排程問題	6
2.3 小結	8
第三章 數學模式建構	10
3.1 問題描述	10
3.2 行李卸載轉盤流動網路(baggage carousel flow network)	12
3.3 行李卸載轉盤排程之數學模型	23
3.3.1 符號說明	23
3.3.2 數學模型	25
3.4 小範例測試	26
3.4.1 小範例測試之結果	30
3.4.2 以手動排程方式進行重新指派	34
3.5 小結	35
第四章 實驗結果與分析	36
4.1 資料輸入	36
4.1.1 資料應用至建立過往指派轉盤編號表	36
4.1.2 資料應用至計算行李卸載流程所經歷的各個時間段	39
4.2 實驗設計	41

4.3 範例測試結果	43
4.4 中型與大型測試例題之隨機規劃模式評估	46
4.5 模擬評估	48
4.5.1 模擬評估架構	48
4.5.2 指派規則	49
4.5.3 評估指標	51
4.5.4 模擬評估結果分析	54
4.6 敏感度分析	57
4.6.1 單位時間懲罰成本之敏感度分析	57
4.6.2 對後續入境航班行李影響權重之敏感度分析	60
4.6.3 對入境航班行李本身影響權重之敏感度分析	61
4.6.4 指派成本之敏感度分析	62
4.7 小結	63
第五章 結論與建議	64
5.1 結論	64
5.2 未來研究方向建議	65
參考文獻	66

表目錄

表 2-1 與本研究相關之文獻比較表	8
表 3-1 指派成本設定示意表	22
表 3-2 入境航班行李卸載資訊	26
表 3-3 小範例測試之問題規模	30
表 3-4 小型測試例題結果	31
表 3-5 小範例之最佳化排程模式結果	31
表 4-1 部分入境航班運量表(一天資料量)	37
表 4-2 部分入境航班運量表(一天資料量)	40
表 4-3 各測試例題之問題規模	43
表 4-4 範例測試結果	44
表 4-5 一周資料測試結果	45
表 4-6 中型例題之確定性與隨機性規劃結果比較	46
表 4-7 大型例題之確定性與隨機性規劃結果比較	47
表 4-8 模擬評估結果	54
表 4-9 大型隨機性規劃模式例題於不同單位時間懲罰成本之求解結果	58
表 4-10 大型確定性規劃模式例題於不同單位時間懲罰成本之求解結果	59
表 4-11 大型隨機性規劃模式例題於不同後續入境航班行李影響權重之求解結果	60
表 4-12 大型隨機性規劃模式例題於不同入境航班行李本身影響權重之求解結果	61
表 4-13 大型隨機性規劃模式例題於不同指派成本倍數之求解結果	62

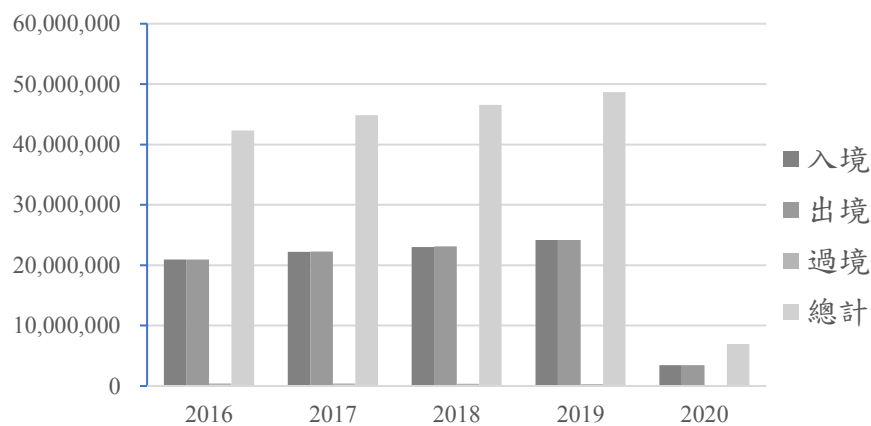
圖目錄

圖 1-1 桃園國際機場 2016-2020 年總客運量	1
圖 1-2 研究流程圖	3
圖 2-1 入境航班行李卸載過程示意圖	4
圖 2-2 出境航班行李處理過程示意圖	5
圖 3-1 行李轉盤使用狀態	10
圖 3-2 行李轉盤使用流動示意圖	12
圖 3-3 行李轉盤流動網路	13
圖 3-4 行李抵達行李轉盤時間隨機性之流動網路	15
圖 3-5 虛擬轉盤流動網路圖	17
圖 3-6 擷取圖 3-4 之部分行李卸載轉盤流動網路	19
圖 3-7 桃園國際機場第二航廈入境提領大廳示意圖	22
圖 3-8 小範例測試之行李轉盤 A 流動網路示意圖(第一層網路圖).....	27
圖 3-9 小範例測試之行李轉盤 B 流動網路示意圖(第二層網路圖).....	28
圖 3-10 小範例測試之虛擬轉盤流動網路圖	29
圖 3-11 行李轉盤 A 之排程結果(第一層網路圖).....	32
圖 3-12 行李轉盤 B 之排程結果(第二層網路圖).....	32
圖 3-13 虛擬轉盤之排程結果	33
圖 3-14 重新指派結果示意圖	35
圖 4-1 機場入境航班行李卸載流程示意圖	39
圖 4-2 情境發生機率產生方式	41
圖 4-3 入境航班抵達時間情境及轉盤卸載時間的設定	42
圖 4-4 模擬評估架構圖	48
圖 4-5 重新指派規則示意圖(1).....	50
圖 4-6 重新指派規則示意圖(2).....	50
圖 4-7 早到情況之評估指標計算示意圖	52
圖 4-8 晚到情況之評估指標計算示意圖	52
圖 4-9 確定性模型與隨機性模型之 DRA 數值分布直方圖	55
圖 4-10 確定性模型與隨機性模型之 DRS 數值分布直方圖	56

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

根據國際機場協會(ACI)的機場流量預測分析(西元 2019 至 2040 年)，全球平均客運人數每年以 3.7%之成長率增加。以國內桃園國際機場為例，西元 2019 年總客運量超過 4800 萬，入境和出境的旅客數皆超過 2400 萬人次。從分析上述數據可得知，由於國際和兩岸航點增設、廉價航空蓬勃發展以及受到政府的新南向政策所刺激，人們對於航空運輸之需求與日俱增。因此，旅客接觸到的機場設施以及人員服務，將會作為評判機場服務水準優劣之依據，進而影響機場之聲譽和收入來源。機場營運者應改善服務品質和提升設施的使用效率，以因應大量的旅客需求。



註：統計方式比照 ACI 標準：[入境=入境+入境轉機]、[出境=出境+出境轉機]、[過境=出境過境]

圖 1-1 桃園國際機場 2016-2020 年總客運量

資料來源：桃園國際機場公司

目前國內的桃園國際機場處理入境行李卸載轉盤排程的方式是由主要的兩個航勤公司，桃園航勤以及長榮航勤，提供客貨機裝卸和入境航班指派至行李卸載轉盤等服務。現況是由兩家航勤公司分開進行指派作業，且透過人工方式依照過往經驗，將入境航班指派至行李卸載轉盤，缺乏系統性的整合以及規劃，影響行李卸載轉盤系統的效率。因此，本研究希望透過設計數學模型，進行排程最佳化的計算，提供航勤公司預先的行李卸載轉盤排程計畫和建議，以彌補個人經驗決策的不足。

本研究選擇機場中一項重要的設施，即入境大廳中的行李卸載轉盤作為研究對象。行李卸載設施與負責處理相關事務的地勤人員服務是從旅客下飛機至完全離開機場的過程中最後一項會影響旅客滿意度的服務項目。影響旅客滿意度的因素如旅客入境後步行至提領行李區域的距離太遠、等待行李時間過長、行李遺失或損毀，抑或是提領行李區域過於擁擠 (Barth, 2013)。行李卸載轉盤的排程系統如何因應不可預期的事件發生，以及過程中所需參考的特殊考量，亦為本研究想深入了解的課題。因此，本研究特別探討入境航班抵達機場時間不確定之情況、考量旅客步行至行李卸載轉盤位置之距離遠近和各航班過往使用之行李卸載轉盤等實務議題，進行行李卸載轉盤之排程規劃。與國內某國際機場相關人員進行訪談後，得知入境航班旅客的行李多會指派至離入境提領大廳入口較近的行李卸載轉盤，以減少旅客步行距離，因此本研究將此指派準則納入考量。本研究也參考過往實際資料中，各入境航班行李卸載所使用的行李卸載轉盤的資訊，期望各入境航班能由其常用的行李卸載轉盤服務，使得行李卸載轉盤的排程能夠趨於穩定。航空公司可以依據其慣用的行李卸載轉盤的位置設置服務櫃台，就近處理旅客行李之問題。

負責下達指派結果之決策人員須滿足旅客、航空公司、地勤公司及卸載設備各方需求，並將入境航班行李指派至合適的行李轉盤進行運送。為了處理決策人員下達指派指令之流程費時或發生決策錯誤之情況，本研究認為建立行李卸載轉盤排程系統，以輔助人工指派的方式，有效安排行李卸載轉盤，能提高整體作業效率和服務水準。

1.2 研究目的與範圍

本研究從機場營運者之角度出發，探討將入境航班行李指派至行李卸載轉盤之議題。本研究之主要目的在於針對此入境行李轉盤指派問題建立隨機最佳化模式，求解目標為最小化(1)入境航班非預期抵達之排程延誤期望成本、(2)旅客提領行李之步行距離以及(3)與航班常用行李轉盤之差異。本研究以桃園機場實際營運資料進行建模與求解，並將最佳化模式之求解結果進行分析。

1.3 研究方法與流程

本研究將行李卸載轉盤排程最佳化問題以多物品(此處為多個行李轉盤)網路流量問題(multi-commodity network flow problem)之概念處理，並建構一隨機規劃模型，依據入境航班隨機抵達機場的時間，求解行李卸載轉盤排程之最佳化結果。本研究使用數學規劃模型最佳化求解軟體 Gurobi Optimizer 對本研究建立之數學模型進行求解。

以圖 1-2 之流程圖說明本研究之內容架構。本研究考量入境航班抵達時間之不確定性，以最小化非預期抵達之排程延誤成本之期望值為主要目標，並且將入境航班常用轉盤位以及旅客步行距離皆納入研究考量。為了探討以上所提之研究重點，本研究蒐集國內外相關文獻，與機場相關人員訪談了解作業流程並收集相關參數資料，以釐清研究發展方向。接著於第三章詳細描述問題重點、研究假設、本研究所建構之行李卸載轉盤流動網路並以此網路基礎上建立入境航班行李卸載轉盤排程之隨機最佳化模式。於第四章中，根據收集的資料建立小型、中型與大型範例，並進行模擬評估、敏感度分析及比較隨機規劃模式與確定規劃模式之求解結果差異。最後，於第五章透過總結研究結果提出合理的結論，並對於未來研究方向給出建議。

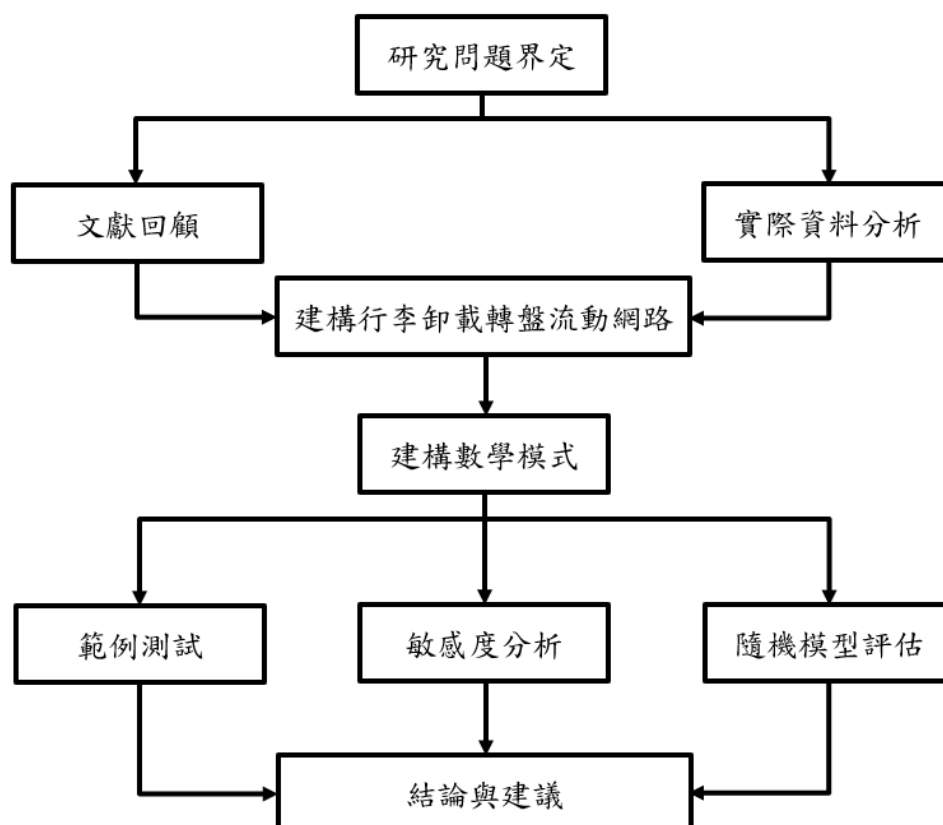


圖 1-2 研究流程圖

資料來源：本研究自行繪製

第二章 文獻回顧

2.1 機場旅客行李卸載轉盤排程

機場旅客行李的種類可分成：入境行李、轉機行李及出境行李，依據旅客行李的來源，機場營運方分別設置不同型態與功能的行李卸載設施以運送旅客行李至正確的目的地。以下分別就入境與出境旅客行李種類之運送活動，進行描述和整理相關之文獻：

2.1.1 入境旅客行李卸載

當入境航班抵達機場後，由地勤人員卸下貨櫃裝載的旅客行李，並駕駛行李盤車 (baggage tow) 運送行李至不同分檢功能之行李處理中心 (infeed station)。行李抵達行李處理中心後，即被移送至行李分揀系統 (baggage handling system, BHS)，進行海關 x 光檢驗和分揀。最後，行李藉由輸送帶運送至入境行李提領大廳的行李卸載轉盤，由旅客自行取回。

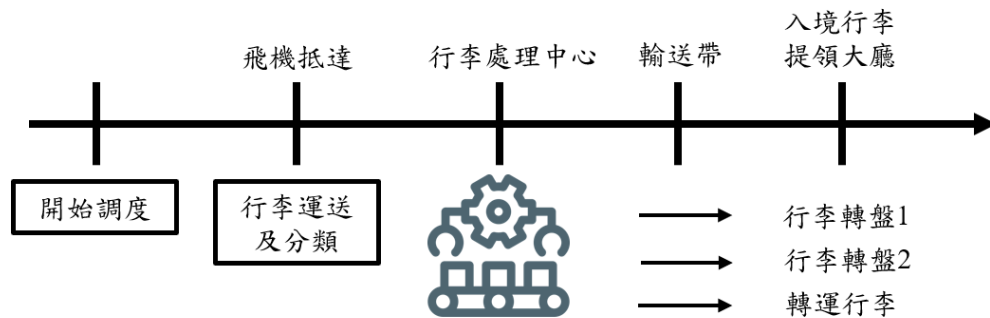


圖 2-1 入境航班行李卸載過程示意圖

資料來源：本研究自行繪製

Barth (2013) 研究入境轉盤型行李卸載道的調度系統，並建立混合整數規劃模型的調度員決策系統，以 CPLEX 數學規劃軟體求解最小化指派成本以及軟限制條件 (soft constraints, 例如：於一轉盤上同時處理兩航班之行李、行李提領大廳擁擠情形等)。文獻中提到入境與出境行李所需考量的方向不同，入境航班行李抵達行李轉盤的時間是固定的，而出境航班行李需要考量早到行李的處理。

Frey et al. (2017) 應用混合啟發式演算法，結合 GRASP (greedy randomized adaptive search) 演算法、區域搜尋法 (guided fast local search) 及重劃路徑方法 (path relinking)，解決入境航班行李的規劃和排程問題。此外，文獻中將數學規劃模型所求之結果與慕尼黑機場提供的求解結果相互比較，作者應用的演算法可以減少 38% 的行李卸載作業尖峰，以及 11% 的旅客等待提領行李的時間。

2.1.2 出境旅客行李卸載

一般的出境航班行李處理流程為，行李經過各航空公司的報到櫃台人員貼上行李條後，透過自動行李分揀系統掃描行李條上之編碼，由喂入機將行李分送至各出境航班所分配到的行李卸載裝備。行李卸載轉盤分成直線型與轉盤型兩種，方便地勤人員將出境航班行李透過盤車運送至機門邊。使用自動分揀系統能更有效率地將行李裝載至機艙和暫存早到行李，並能連結跨航站間託運行李的運送。

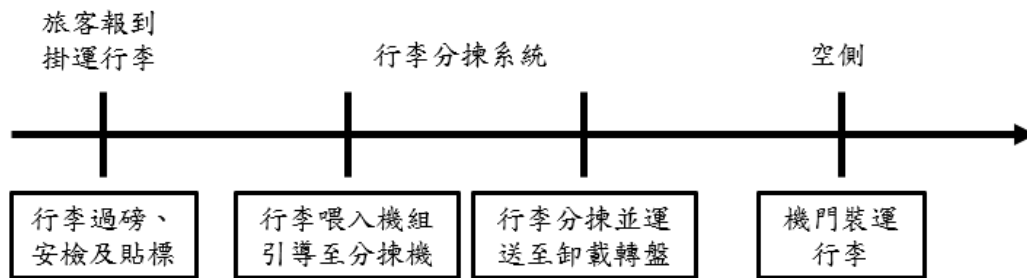


圖 2-2 出境航班行李處理過程示意圖

資料來源：本研究自行繪製

Ascó et al. (2011) 研究行李卸載指派之問題，考量卸載道、登機門距離及緩衝時間之限制，以最小化行李卸載設備數量為目標，構建一混合整數規劃模式，利用 constructive algorithm 和 greedy algorithm 發展一啟發式解法。

Ascó et al. (2013) 研究直線型卸載道分配之問題，考量航班卸載道與登機門為同一側，且不接受同一卸載道乘載多個航班之限制，以最大化可安排至卸載道的航班數量、最小化卸載處理時間和最小化卸載道與登機門之距離為多目標決策，構建一混合整數規劃模式，並利用 CPLEX 數學規劃軟體進行求解。

施昺義 (2015) 提到桃園機場第二航廈的航班增長，機場為了解決行李卸載道數不敷使用之情況，將同一時段只能卸載一航班行李的直線型卸載道改為轉盤型卸載道。於改變成轉盤型卸載道後，必須重新分配各航班使用的卸載道，以免造成轉盤耗損或是地勤人員分揀錯誤等風險。此研究以最小化卸載道重疊時間為目標，由於此問題的求解規模太大，因此提出以基因演算法與粒子群演算法進行求解。此外，此研究也考慮隨機性之情況，依據航空公司、航班目的地與乘客數及航班起飛時間三個因素進行分類，求出各因素影響下之卸載處理時間分配。

Huang et al. (2016) 考量出境航班行李於直線型卸載道之分配問題，在已知行李卸載時間限制與旅客行李量的情況下，盡量減少使用行李卸載設備之資源並有效分配現有的行李卸載設備。此研究目標為最小化分配成本並將重疊時間之懲罰成本納入考量，將此研究問題發展為 Stochastic Vector Assignment Problem (SVAP) 之模式，透過 CPLEX 求

解問題。

洪逸樺 (2018) 以最小化出境航班行李卸載轉盤重疊作業時間為目標，考量機場櫃檯相對位置與行李卸載轉盤數量及其他營運限制，建立混合整數規劃方法，配合基因演算法與 2-OPT 區域搜尋法，求解行李卸載轉盤不足的問題。作者以國內某國際機場所提供之資料進行分析，規劃期為一個月，針對 23 座行李轉盤的指派問題提出可行的解決方案。

陳怡廷 (2019) 考量出境航班行李卸載轉盤發生臨時性故障之情境，以最小化所有航班指派的擾動時間和航班作業重疊時間為研究目標，建立行李卸載轉盤即時指派模式。由於作者考慮問題規模過大，而發展基因演算法以求解模式。利用國內某機場公司所提供之資料進行範例測試和敏感度分析，以提出解決方案供相關人員參考。

2.2 運輸與物流相關之排程問題

運輸排程的議題主要圍繞在如何將運具妥善地指派給相對應的需求者。過往的許多研究應用了網路流量模式(network flow model) 以處理運輸排程的問題，而本研究也同樣應用網路流量之概念，建立一個行李卸載轉盤排程之網路，以節線上之流量表示成本和行李卸載轉盤有無運作的使用狀態。本小節將介紹應用網路流量模式於運輸與物流領域之文獻。

網路模式可應用於海運的船席指派問題(berth allocation problem)。因港口的停泊空間及時間有許多限制，因此為了控制這些因素以減少營運成本，建立船席指派網路可有效協助決策人員決定船舶的停泊時間與位置。此問題的解決目標通常為最小化總成本，包含靠港船舶的等待時間所造成的成本及未能服務某些船舶的懲罰成本。

Yan, et al. (2015)利用船席流量網路方法，處理考量船舶抵達時間的隨機性之動態船席指派問題(stochastic dynamic and flexible berth allocation problem, SDFBAP)，並將問題以整數多貨物流量網路模型(integer multi-commodity network flow problem)呈現。此研究之目標為最小化排程延誤成本的期望值以及未能於規劃時間內服務所有船舶之懲罰成本。透過實際資料測試 SDFBAP 模型之效能與效率，並以模擬方法評估模型和多種情境分析方法評估重要參數。

近幾年，共享經濟之概念被廣泛應用。由於都市人口密度高且土地資源有限，民眾開車通勤常有停車位難尋和耗時耗財的情況，因此共享停車位(shared parking)的概念逐漸發展。以下介紹幾篇相關文獻，運用網路流量模式之概念建立共享停車位系統最佳化的數學模型以求解問題。

洪筠筑 (2019) 藉由車位流動網路的概念，建立預約制停車位共享系統車位使用之最佳化指派模式，以最大化共享平台業者收入為目標，進行車位與需求者之配對。根據實際資料建立測試題庫，利用 Gurobi 軟體求解測試例題，為了提升模式的執行績效進而發展模擬退火演算法。

邱佳宜 (2019) 以共享停車平台業者的立場，求解預約制共享停車位的排程問題。作者考量停車位預約需求者無法準時抵達停車位之情況，以離散隨機分布呈現需求者抵達車位時間的不確定性。透過建立車位流動網路呈現車位的使用狀態，並以平台業者期望利潤最大化為目標，建構數學規劃模式，並對手動排程、確定性和隨機性模型三種模型進行實際抵達情況的模擬，得到隨機性模型的排程結果最為穩健。

蔡其峰 (2020) 針對預約制停車位共享系統，求解車位指派問題。在已知車位供給與需求者資訊下，追求共享停車位平台業者最大化總收益為目標，進行車位指派與供需配對，並以變數產生法為基礎發展演算法。主問題定式為集合裝運模式，子問題則是運用車位流動網路(parking space flow network)概念描述車位使用情形，建立網路流量問題幫助產生潛在之車位指派。每次迭代則以 Gurobi 軟體求解主問題與子問題之數學模式。

2.3 小結

表 2-1 與本研究相關之文獻比較表

參考文獻	問題性質	研究問題	研究目標	求解方法
探討出境航班行李指派問題				
Ascó et al. (2011)	確定性	探討航班與直線型行李卸載道配置	最大化可安排行李卸載的航班數量、最小化卸載道與機門距離	Constructive Algorithm、Greedy Algorithm
Ascó et al. (2013)	確定性	同上	最大化可安排行李卸載的航班數量、最小化卸載處理時間、最小化卸載道與機門之距離	CPLEX
施曷義 (2015)	確定性 隨機性	探討規劃轉盤型行李卸載道配置，並考量機門相對位置	最小化卸載重疊時間	Gurobi、Genetic Algorithm、Particle Swarm
Huang et al. (2016)	隨機性	探討航班與直線型行李卸載道配置	最小化成本	CPLEX
洪逸樺 (2018)	確定性	探討航班、報到櫃檯與轉盤型行李卸載道配置	最小化航班行李卸載重疊作業時間	CPLEX Genetic Algorithm
陳怡廷 (2019)	隨機性	最小化所有指派航班之擾動值時間加上航班作業重疊時間	最小化航班行李卸載重疊作業擾動時間	CPLEX Genetic Algorithm

參考文獻	問題性質	研究問題	研究目標	求解方法
探討入境航班行李指派問題				
Barth (2013)	確定性	航班之行李卸載道指派	最小化指派成本、 最小化資源利用(軟限制條件)	MIP model MIP-solver
Frey et al. (2017)	確定性	航班行李的規劃和排程問題	避免行李轉盤滿載情形以及縮短旅客等待行李時間	結合 GRASP、 Guided fast local search、 Path relinking
本研究	隨機性	考量入境航班行李抵達時間隨機性之行李卸載轉盤排程問題	(1) 最小化航班非預期抵達之排程延誤期望成本 (2) 最小化與之前指派結果之差異	Gurobi 流量網路

綜觀以上提及之文獻回顧內容，發現國內鮮少有文獻探討入境航班指派至行李卸載轉盤之問題，而國外相關文獻多為建立確定性模式以解決指派問題。本研究為了貼近實際運作情況，考量入境航班行李可能因不確定因素而影響抵達時間，造成排程延誤的情況。此外，本研究運用網路流量之概念建立數學模式，並參考邱佳宜(2019)於共享停車位指派問題之轉換方式，透過轉換成特性和求解方式相似的問題加速求解效率。

第三章 數學模式建構

本研究探討入境航班行李卸載轉盤排程的問題，並且考量入境航班抵達時間具有隨機性之情況。本章節分成 3 小節，於 3.1 小節針對本研究問題進行描述，說明行李運送的過程；3.2 小節介紹本研究設計的行李轉盤流動網路；3.3 小節為本研究建立之數學規劃模型。

3.1 問題描述

旅客行李的種類可分成：入境行李、轉機行李及出境行李，而地勤人員處理行李的方式也有所不同。機場公司分別在入境和出境大廳設置不同形式的行李卸載設施，提供旅客自行提領行李或是各家航空公司將已報到旅客的行李托運時使用，本研究僅考量入境航班行李如何指派至行李卸載轉盤之問題。本研究將研究問題定義為**行李卸載轉盤的排程規劃問題**，從另一角度來看，此問題也可定義為考慮入境航班之抵達時間並將入境航班指派至行李卸載轉盤之**入境航班指派問題**。

本研究應用生產排程規劃的基本概念於行李卸載轉盤排程問題。將行李卸載轉盤比擬為機器或是人力，入境航班則比擬為任務(task/job)，以此概念探討行李轉盤的使用狀態。行李轉盤的使用狀態有兩種：一為轉盤為運送某一航班行李而使用，另一種為轉盤處於閒置狀態。以下方圖 3-1 所示，假設有兩台可使用的行李轉盤(轉盤 A 與轉盤 B)，於探討時間段(9:00~13:00)內要服務五個入境航班行李之運送活動。行李轉盤與機器的使用狀態相似，於一時間段內一台行李轉盤只能卸載一個航班之行李，可對應至一台機器僅能處理一項任務。另一方面，每一個入境航班之行李必須被一個行李轉盤所服務，可對應至每項任務皆須被一機器所服務。

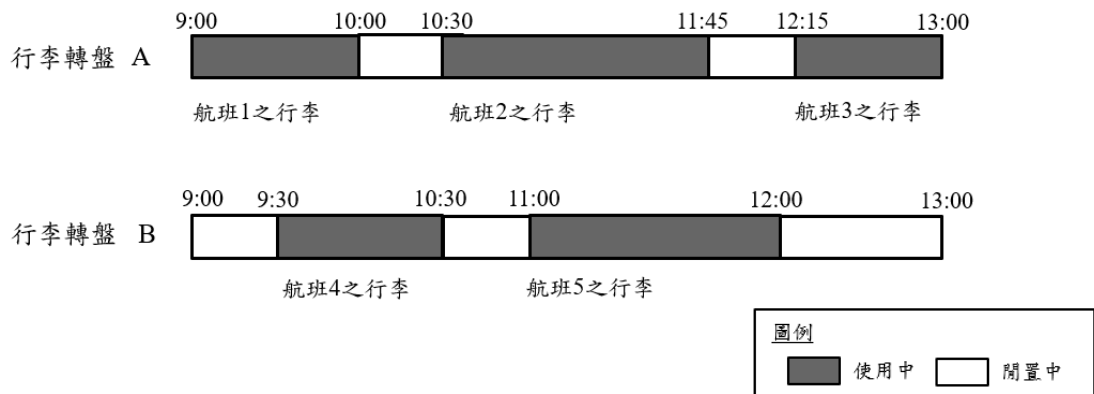


圖 3-1 行李轉盤使用狀態

資料來源：本研究自行繪製

實務上，許多不確定因素使得行李無法準時送達行李轉盤(如：氣候不佳導致班機延誤、行李處理設備損壞等突發情況)，旅客等待領取行李時間過長，也讓行李提領區域變得壅塞。因此，在不考慮入境航班行李於海關檢驗和運送等過程所花費的時間下，本研究考量入境航班抵達時間具有隨機性(stochastic arrival time)，進而導致行李抵達指派轉盤的時間也具有隨機性之情形，建立行李卸載轉盤排程隨機最佳化模式(stochastic optimization)。

本研究建立的行李卸載轉盤排程隨機最佳化模式，以最小化非預期抵達之排程延誤成本之期望值、旅客提領行李之步行距離、與航班常用行李轉盤之差異為求解目標。針對供給面(行李轉盤的供應)與需求面(入境航班行李的卸載需求)兩大面向，提出以下基本假設：

- 供給面

1. 供給之行李轉盤相關資訊已知，包含轉盤位置、可使用之數量、釋出之時段。
2. 每一行李轉盤於一時間段內，以卸載一個入境航班之行李為原則。
3. 人員調度和運送規劃等問題與行李轉盤排程問題獨立，因此本研究不予考慮。
4. 不考慮行李轉盤維修及保養之情形。
5. 由於相同航班的指派結果具有週期性，因此考量過往指派結果之資料進行指派，以減少行李處理人員的混淆情形。

- 需求面

1. 入境航班之相關資訊已知，包含抵達時間、乘客數量、行李卸載時間。
2. 每一入境航班行李之數個抵達時間情境服從一個已知的離散隨機分布(discrete probability distribution)。

為簡化行李隨機抵達行李轉盤時間此一隨機因子，本研究利用離散隨機分布表示一個入境航班行李抵達行李轉盤的數個可能抵達時間情境，使問題得以轉換為一網路問題。於規劃時間段內的每一個情境都有其對應之發生機率，而行李隨機抵達時間之機率分布可從歷史資料進行推估計算。

3. 一個入境航班的行李分配給一個轉盤卸載。

除非是運送超大型航班或頭等艙及機艙組員行李，才可能分配一個航班以上的行李予一個行李轉盤，但本研究不考慮此情況。

3.2 行李卸載轉盤流動網路(baggage carousel flow network)

本研究以行李轉盤流動網路圖呈現將入境航班行李指派於行李轉盤之概念。接續 3.1 節中提到的行李轉盤之使用狀態，發展行李轉盤使用流動圖。如圖 3-2 所示：

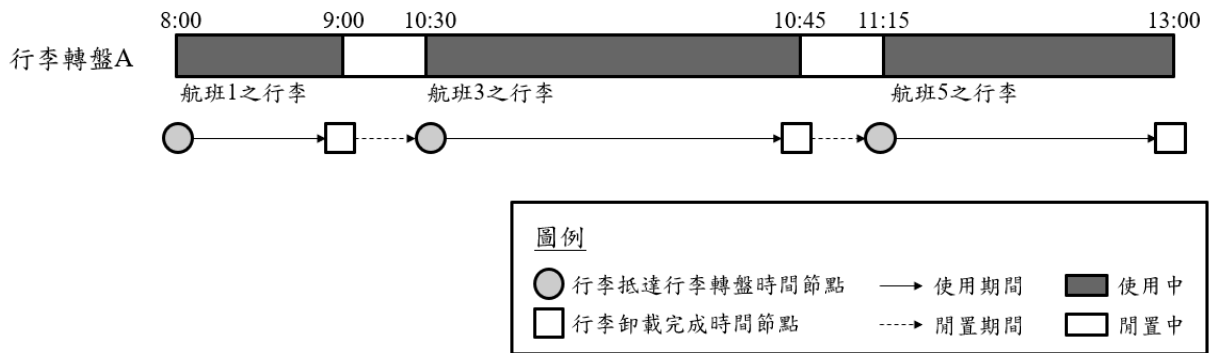


圖 3-2 行李轉盤使用流動示意圖

資料來源：本研究自行繪製

本研究以節點分別表示行李轉盤運作之起迄時間，稱作行李隨機抵達行李轉盤時間節點與行李卸載完成時間節點。連接兩節點之節線稱作轉盤卸載行李節線，而自行李卸載完成時間節點到下一個行李隨機抵達行李轉盤時間節點之連結節線可表示為行李轉盤閒置之時間段。基於圖 3-2 行李轉盤使用流動圖之概念，本研究將其擴展為行李轉盤流動網路，如圖 3-3 所示。當一層流動網路中之起始節點與結束節點間的節線有流量流經，則表示某一入境航班之行李被指派由某一時段的某一行李卸載轉盤進行卸載，以一路徑示意圖表示該行李轉盤排程之使用狀態，行李轉盤 A 依序服務航班 2 之行李(節點 0 至節點 3 及 4)，再服務航班 4 之行李(節點 4 至節點 7 及 8)，之後結束此行李轉盤與入境航班行李的卸載配對。

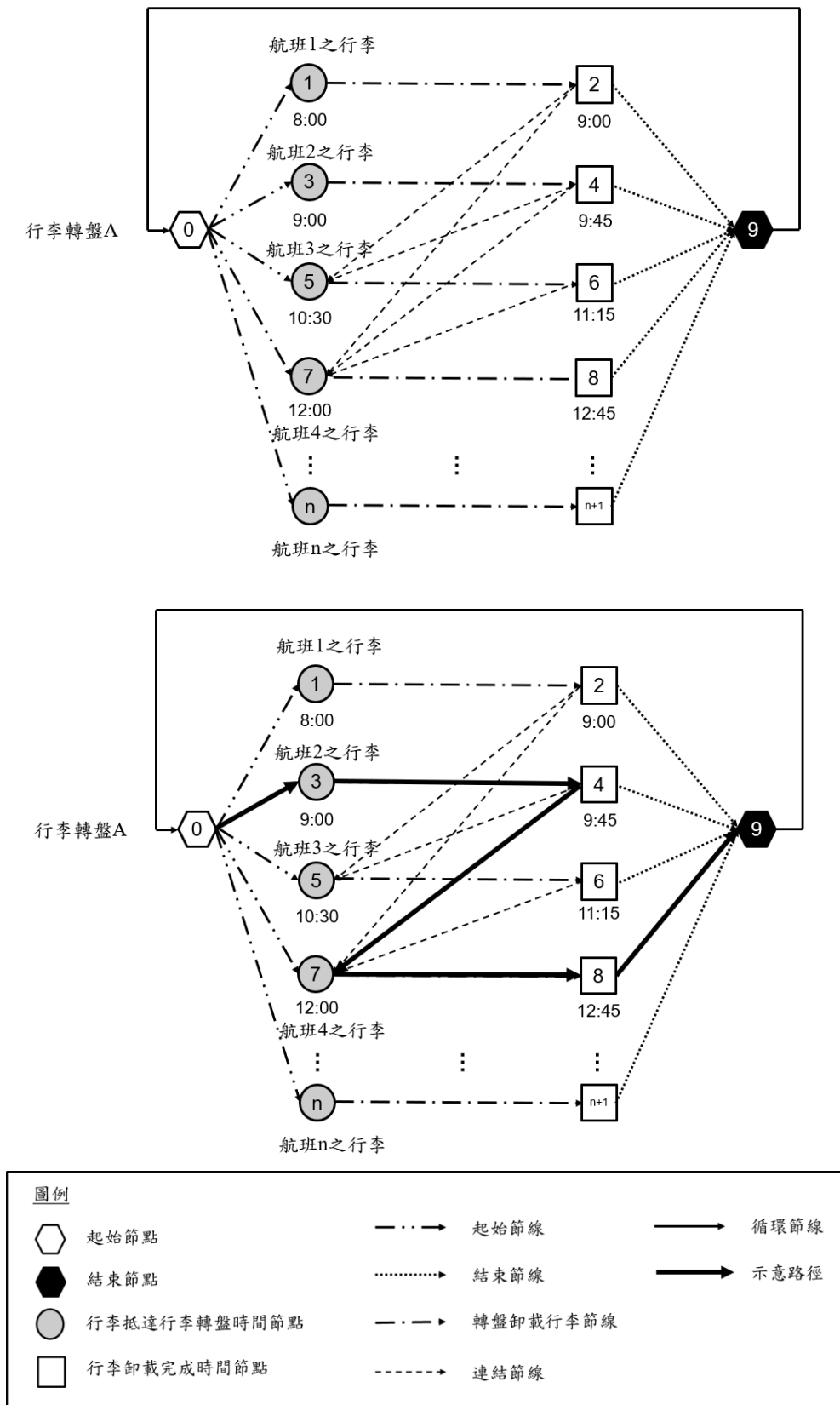
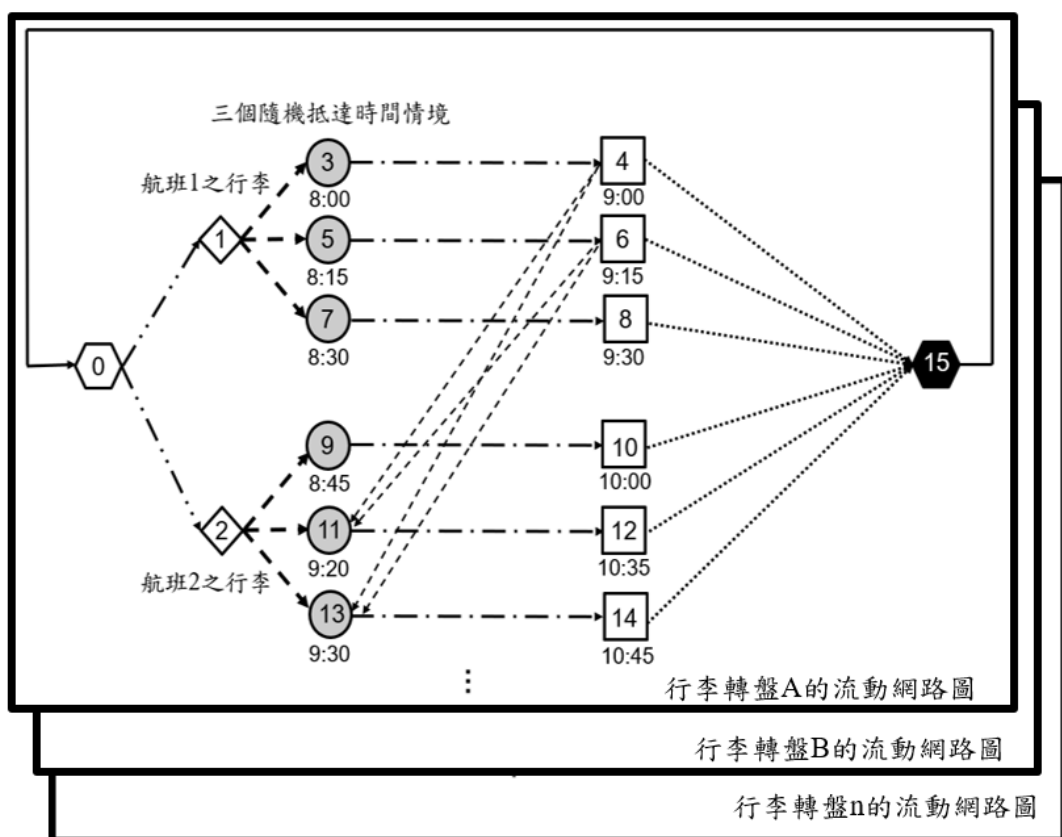


圖 3-3 行李轉盤流動網路

資料來源：本研究自行繪製

一層行李轉盤流動網路對應至一個行李轉盤，而本研究探討多個行李轉盤的排程問題即有多層行李轉盤流動網路。此外，本研究考量行李抵達行李轉盤時間的隨機性情況，假設一航班行李抵達行李轉盤之時間服從一離散隨機分布。指派節點與行李隨機抵達行李轉盤時間節點之間的數條指派節線，可表示為一入境航班行李的數個抵達行李轉盤時間之可能情境。於規劃時間段內的每一個情境都有其對應之發生機率，而行李隨機抵達時間之機率分布可從歷史資料推估而得。舉一範例說明將考量行李抵達行李轉盤時間的隨機性之行李轉盤排程問題轉換成多層行李轉盤流動網路(如下圖 3-4)，於規劃時段內，行李轉盤 A 將服務數個入境航班之行李的運送(此處以兩批入境航班行李示意)。



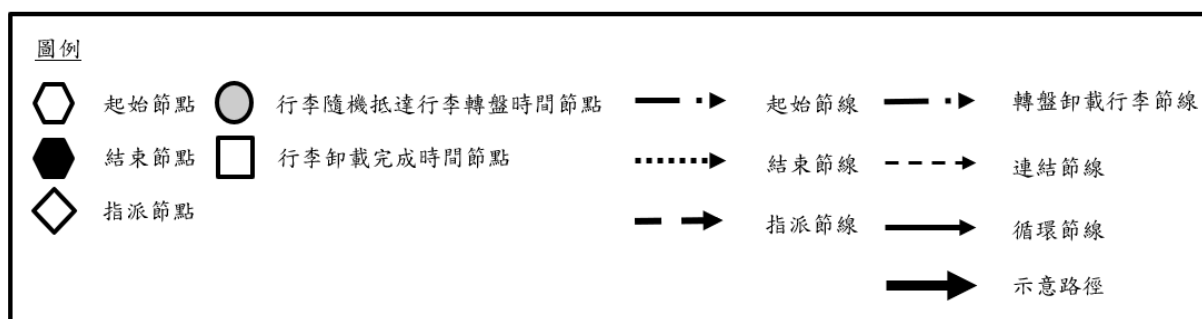
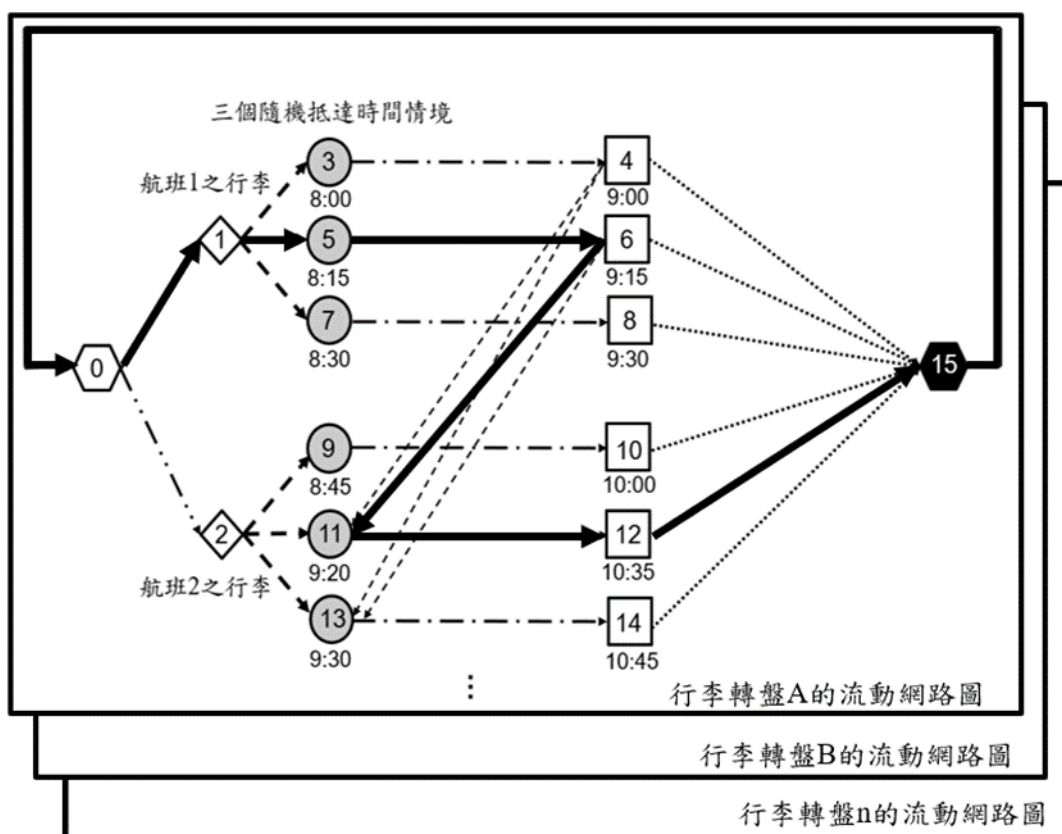


圖 3-4 行李抵達行李轉盤時間隨機性之流動網路

資料來源：本研究自行繪製

流動網路之層數與機場設置的入境航班行李卸載轉盤的數量一致，每一層網路代表一個行李卸載轉盤在規劃時段中入境航班行李的運送規劃。如圖 3-4 所示，由五種節點與六種節線構成一網路。

● 節點種類介紹

1. **起始節點** (starting node)：表示於規劃時段內，行李轉盤排程之開始。
2. **結束節點** (ending node)：表示於規劃時段內，行李轉盤排程之結束。
3. **指派節點** (assignment node)：每一批可以被該行李轉盤服務之入境航班行李，於該行李轉盤的流動網路圖上皆有一個指派節點；本研究以入境航班行李抵達行李轉盤的時間與轉盤運轉時間能否配合作為指派可行性之判斷依據。
4. **行李隨機抵達行李轉盤時間節點** (stochastic baggage arrival time at the baggage carousel node)：於某一情境下，一批入境航班之行李隨機抵達行李轉盤之時間。
5. **行李卸載完成時間節點** (baggage unloading completed time node)：於某一情境下，行李轉盤完成卸載某一入境航班的所有行李之時間。

● 節線種類介紹

1. **起始節線** (starting arc)：連結起始節點與指派節點，節線成本為零。
2. **結束節線** (ending arc)：連結行李卸載完成時間節點與結束節點，節線成本為零。
3. **指派節線** (assignment arc)：連結指派節點與行李隨機抵達行李轉盤時間節點，節線成本為零。一條指派節線即代表該入境航班行李抵達時間之一種可能情境，以圖 3-4 為例，入境航班 1 及 2 皆有三種抵達時間之可能情境，因此共有六條指派節線。
4. **轉盤卸載行李節線** (baggage unloading arc)：連結行李隨機抵達行李轉盤時間節點與行李卸載完成時間節點，一條轉盤卸載行李節線對應至一條指派節線，及對應至一種可能的行李隨機抵達行李轉盤的時間情境。轉盤卸載行李節線之成本為入境航班行李非於預期時間抵達行李轉盤之排程延誤成本(the unanticipated schedule delay cost)，以及考量實務情況而設定的指派成本，本研究將於本章節後續內容中詳加說明。
5. **連結節線** (connectible arc)：連結一入境航班之行李卸載完成時間節點與另一入境航班之行李隨機抵達行李轉盤時間節點，節線成本為零。本研究以此節線呈現將一個行李轉盤依序指派給兩批入境航班之行李，而連結節線僅於一入境航班行李卸載完成的時間早於下一入境航班行李抵達行李轉盤之時間的情況下才成立。

6. **循環節線 (cycle arc)**：連結結束節點與起始節點，節線成本為零。建立循環節線之目的為確保行李轉盤流動網路圖中起始節點與結束節點間的流量守恒，也可透過循環節線上是否有流量以判斷該行李轉盤是否有在運作。

為了呈現於規劃時間內無法服務之入境航班，本研究建立虛擬轉盤流動網路(dummy baggage carousel flow network)，如圖 3-5 所示，流經虛擬轉盤之入境航班為系統無法服務之入境航班。虛擬網路與一般網路有些許不同，每一入境航班皆會在虛擬網路上呈現，各自對應至一條轉盤卸載行李節線，該節線之節線成本為未服務該航班之懲罰成本。

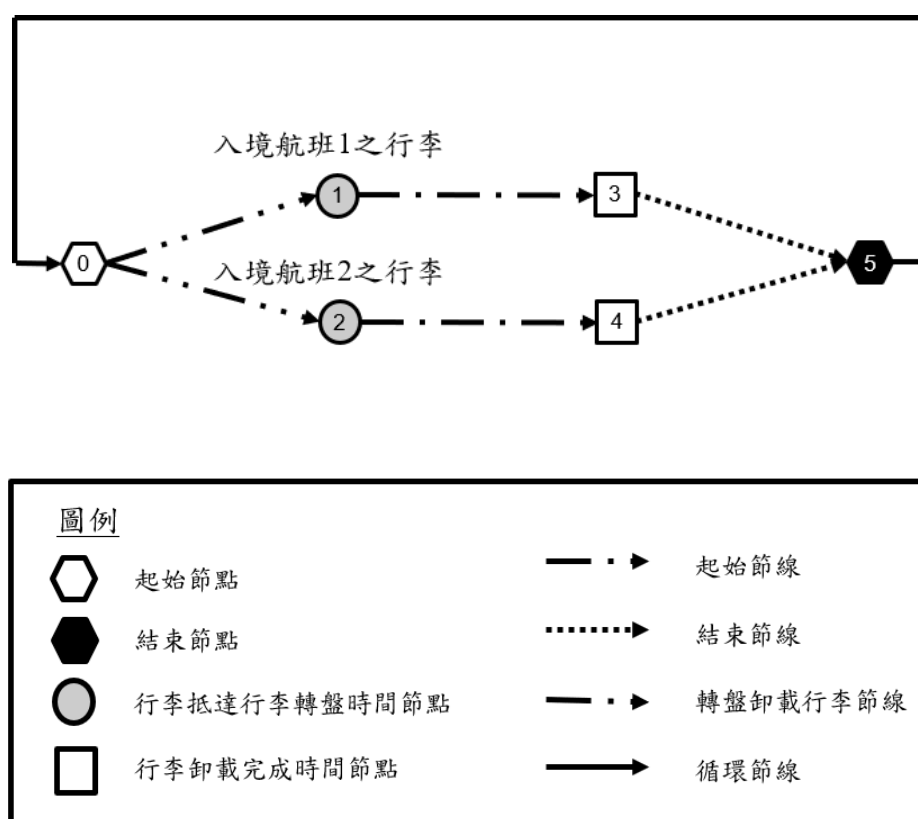


圖 3-5 虛擬轉盤流動網路圖

資料來源：本研究自行繪製

接著介紹轉盤卸載節線成本之相關計算，此節線成本包含兩種成本：非預期抵達之排程延誤成本之期望值以及考量旅客提領行李之步行距離以及與航班常用行李轉盤之差異而設定之指派成本，本研究之研究目標為最小化此兩種成本。

● 非預期抵達之排程延誤成本之期望值

本研究為考量入境航班行李抵達時間隨機性之行李卸載轉盤排程問題，建立以最小化排程延誤(schedule delay)為目標之行李卸載轉盤排程隨機最佳化模式。因此，於本研究的行李轉盤流動網路圖中所設定之轉盤卸載行李節線的節線成本將影響目標值之變化。入境航班抵達機場的時間可能早於預估時間也可能延遲，導致後續將行李運送至行李轉盤的時間具有隨機性。非預期時間抵達所產生的排程延誤成本(the unanticipated schedule delay cost, i.e. ε_b^s)，表示入境航班行李 b 非於指派時間抵達之成本，亦即當入境航班行李 b 被指派於某一隨機抵達時間情境 s 送達行李轉盤，而實際上入境航班行李 b 並未能於隨機抵達時間情境 s 抵達行李轉盤。由於每一隨機抵達時間情境皆有其對應的發生機率，因此本研究於探討非預期時間抵達之排程延誤成本時，將以排程延誤成本之期望值(the expected value of unanticipated schedule delay cost)表示，並透過本研究設計之集合與參數以計算非預期時間抵達之排程延誤成本之期望值：

集合	ST_b	入境航班行李 b 之隨機抵達行李轉盤時間情境集合。
參數	p_b^v	入境航班行李 b 隨機抵達時間情境 v 抵達之機率。
	$\Delta t_b^{v,s}$	入境航班行李 b 於隨機抵達時間情境 v 抵達相對於隨機抵達時間情境 s 抵達之時間差，其中 $v \neq s$ 。
	$tc_b^{v,s}$	入境航班行李 b 被指派於隨機抵達時間情境 s 抵達行李轉盤，卻於隨機抵達時間情境 v 抵達，兩者時間差之單位時間成本，其中 $v \neq s$ 。
	$W_b^{v,s}$	入境航班行李 b 被指派於隨機抵達時間情境 s 抵達行李轉盤，卻於隨機抵達時間情境 v 抵達，入境航班行李 b 所造成的影響，以加權呈現，其中 $v \neq s$ 。

權重 參數	$w_{b,i}^{v,s}$	入境航班行李 <i>b</i> 被指派於隨機抵達時間情境 <i>s</i> 抵達行李轉盤，卻於隨機抵達時間情境 <i>v</i> 抵達，對於入境航班行李 <i>b</i> 本身(itselt)之影響，以加權呈現，其中 <i>v</i> ≠ <i>s</i> 。
權重 參數	$w_{b,f}^{v,s}$	入境航班行李 <i>b</i> 被指派於隨機抵達時間情境 <i>s</i> 抵達行李轉盤，卻於隨機抵達時間情境 <i>v</i> 抵達，對於後續的入境航班行李運送(following)之影響，以加權呈現，其中 <i>v</i> ≠ <i>s</i> 。

對於入境航班行李***b***於非預期時間抵達行李轉盤，其轉盤卸載行李節線之成本亦即排程延誤成本之期望值的計算方式為其他隨機抵達時間情境與其對應之發生機率相乘之總和，如下數學式(1)所示：

$$\varepsilon_b^s = \sum_{v \in ST_b; v \neq s} p_b^v \Delta t_b^{v,s} tc_b^{v,s} W_b^{v,s} \quad (1)$$

本研究依據歷史資料推估集合***ST_b***、參數***p_b^v***與***tc_b^{v,s}***之值，並假設入境航班行李抵達時間服從一個離散隨機分布。

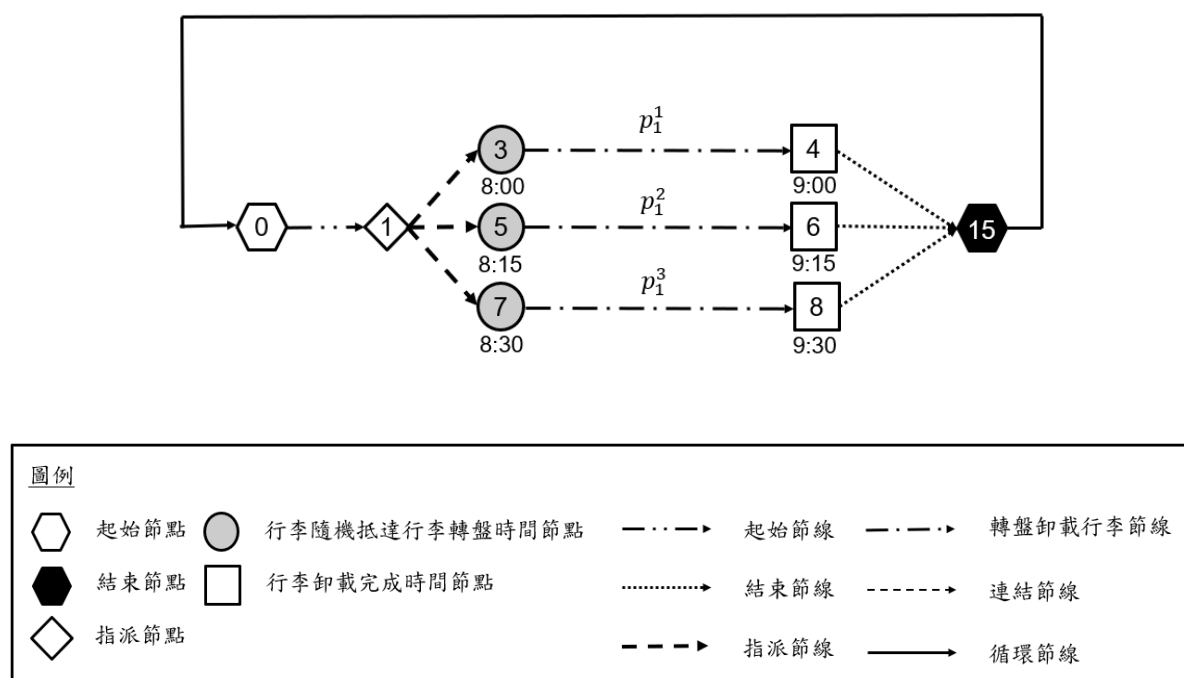


圖 3-6 擷取圖 3-4 之部分行李卸載轉盤流動網路

資料來源：本研究自行繪製

以圖 3-6 為例(擷取來自圖 3-4 入境航班行李 1 的流動網路圖層)，入境航班行李 1 有三種可能抵達時間情境，各情境之機率為 p_1^1 、 p_1^2 和 p_1^3 。以行李抵達時間情境 2 之節線(5, 6)為例，其非預期時間抵達之排程延誤成本之期望值為：

$$\varepsilon_1^2 = \sum_{v \in ST_1; v \neq 2} p_1^v \Delta t_1^{v,2} tc_1^{v,2} W_1^{v,2} = p_1^1 \Delta t_1^{1,2} tc_1^{1,2} W_1^{1,2} + p_1^3 \Delta t_1^{3,2} tc_1^{3,2} W_1^{3,2}$$

抵達時間情境 1 與抵達時間情境 2 之時間差為 0.25 小時，亦即 $\Delta t_1^{1,2} = 0.25$ ，而抵達時間情境 3 與抵達時間情境 2 之時間差為 0.25 小時，亦即 $\Delta t_1^{3,2} = 0.25$ 。本研究將簡化單位時間成本之計算，假設入境航班行李 b 於隨機抵達時間情境 s 抵達行李轉盤，相較於隨機抵達時間情境 v 抵達，兩者時間差之單位時間成本為一常數 tc ($tc_1^{1,2} = tc_1^{3,2} = tc$)。

本研究將入境航班行李於非預期時間抵達行李轉盤的情形分成兩種：相比預期時間提早抵達或是較晚抵達，兩者情況皆導致行李轉盤排程之變動。首先，探討入境航班行李 b 抵達行李轉盤時間延誤之情形，對於入境航班行李 b 自身影響是確定的，因此將對自身之影響設為 1。至於所受影響之其他入境航班行李與行李轉盤的指派可能互相影響，而入境航班行李 b 對其他入境航班行李之影響甚為複雜，因此本研究不考慮兩者間的交互關係。以入境航班行李 b 抵達行李轉盤時間至規劃時段的終止時間，此時間段占整個規劃時段之比例作為入境航班行李 b 對其他入境航班行李卸載之影響。

本研究進一步將入境航班行李 b 被指派於隨機抵達時間情境 s 抵達行李轉盤，卻於隨機抵達時間情境 v 抵達所造成的影響($W_b^{v,s}$)之程度分成兩部分：一部分是對入境航班行李 b 自身之影響程度($w_{b,i}^{v,s}$)、另一部份是對於其他入境航班行李運送排程之影響程度($w_{b,f}^{v,s}$)，並將影響程度以權重方式計算。若入境航班行李 b 抵達轉盤時間晚於模式指派之隨機抵達時間，則將對自身之影響權重($w_{b,i}^{v,s}$)設定為 1；對於其他入境航班行李運送之影響權重($w_{b,f}^{v,s}$)設為 0.5。接著探討入境航班行李 b 較預期時間提早抵達行李轉盤之情況，對入境航班行李 b 自身之影響權重($w_{b,i}^{v,s}$)設定為 0.5，而對其他入境航班的行李之影響權重($w_{b,f}^{v,s}$)設為 0。

綜合以上對於 $\Delta t_b^{v,s}$ 、 $tc_b^{v,s}$ 與 $W_b^{v,s}$ 數值之設定，以圖 3-6 為例(考量規劃時段 8:00-10:00)，抵達時間情境 2 對應之節線(5, 6)的非預期時間抵達之排程延誤成本之期望值為：

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^2 &= p_1^1 \Delta t_1^{1,2} tc_1^{1,2} W_1^{1,2} + p_1^3 \Delta t_1^{3,2} tc_1^{3,2} W_1^{3,2} \\ &= p_1^1 \Delta t_1^{1,2} tc_1^{1,2} (w_{1,i}^{1,2} \times 1 + w_{1,f}^{1,2} \times \frac{10-8}{10-8}) + p_1^3 \Delta t_1^{3,2} tc_1^{3,2} (w_{1,i}^{3,2} \times 1 + w_{1,f}^{3,2} \times \frac{10-8.5}{10-8}) \\ &= p_1^1 \times 0.25 \times tc \times (0.5 \times 1 + 0 \times \frac{10-8}{10-8}) + p_1^3 \times 0.25 \times tc \times (1 \times 1 + 0.5 \times \frac{10-8.5}{10-8}) \end{aligned}$$

抵達時間情境 1 對應之節線(3, 4)的非預期時間抵達之排程延誤成本之期望值為：

$$\varepsilon_1^1 = p_1^2 \times 0.25 \times tc \times (1 \times 1 + 0.5 \times \frac{10-8.25}{10-8}) + p_1^3 \times 0.5 \times tc \times (1 \times 1 + 0.5 \times \frac{10-8.5}{10-8})$$

抵達時間情境 3 對應之節線(7, 8)的非預期時間抵達之排程延誤成本之期望值為：

$$\varepsilon_1^3 = p_1^1 \times 0.5 \times tc \times (0.5 \times 1 + 0 \times \frac{10-8}{10-8}) + p_1^2 \times 0.25 \times tc \times (0.5 \times 1 + 0 \times \frac{10-8.25}{10-8})$$

● 入境航班指派成本

除了排程延誤產生的成本，本研究在與國內某國際機場相關人員訪談後，於研究目標中加入指派成本的相關設定。指派成本根據兩個實務狀況訂定：

(1) 參考過往各入境航班常用的行李卸載轉盤編號資料進行指派。

由於相同航班的指派結果具有週期性，因此本研究使用機場提供的資料，盡量將入境航班指派至其常用的行李卸載轉盤，以減少行李處理人員的混淆情形，方便各航空公司於已設立的服務櫃檯處理旅客的行李問題。

(2) 依據各行李卸載轉盤與入境大廳入口之距離設定指派成本。

各入境航班常會被指派至鄰近旅客進入入境行李提領大廳入口之行李轉盤，且旅客於通過證照查驗後通常會搭乘下圖 3-7 右半部的手扶梯或電梯，因此較常被指派的行李卸載轉盤編號為 5 和 6 號。本研究將旅客需求反應至指派成本上，旅客步行至行李卸載轉盤的距離遠近，將會影響旅客對機場服務之滿意度。

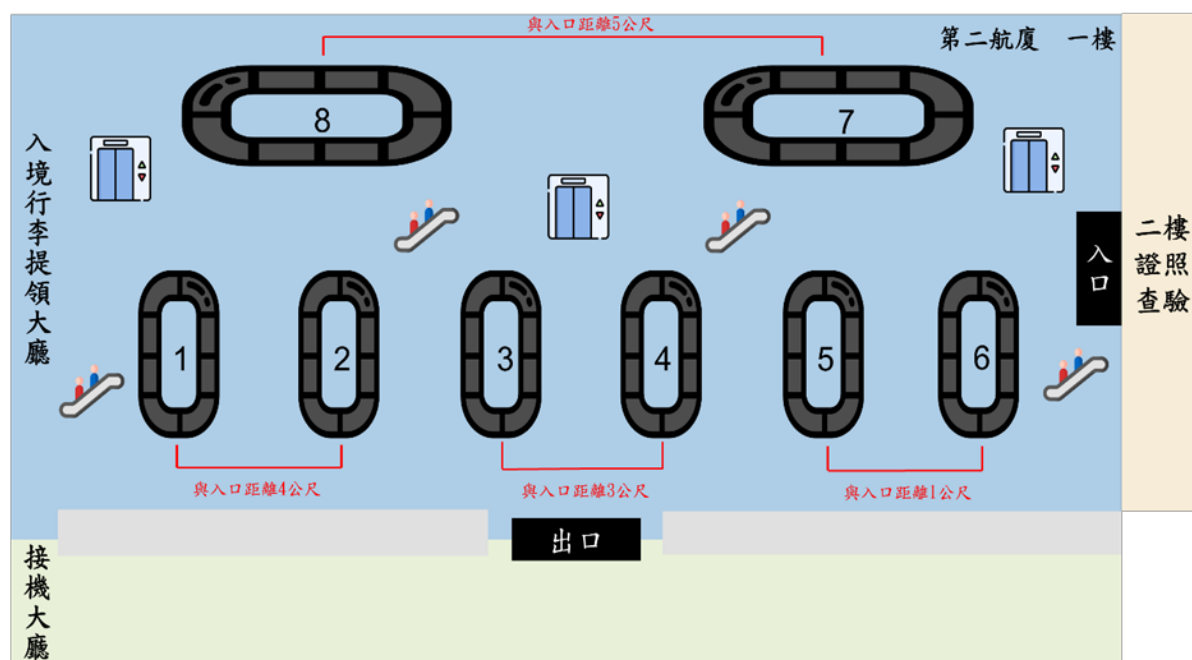


圖 3-7 桃園國際機場第二航廈入境提領大廳示意圖

資料來源：桃園國際機場、本研究自行繪製

綜合以上兩個實務考量，本研究設定指派成本的原則如下：若某一入境航班指派至其常用的行李卸載轉盤，則指派成本等於 0。反之，若該入境航班指派至其他轉盤，則依據該行李卸載轉盤與入境行李提領大廳入口之距離設定指派成本。入境航班指派至離入口越近的行李卸載轉盤，指派成本越低，如下表 3-1 所示。

表 3-1 指派成本設定示意表

資料來源：本研究自行繪製

行李轉盤編號		1	2	3	4	5	6	7	8
入境航班 指派成本	與過往指派轉盤相同	0	0	0	0	0	0	0	0
	與入境大廳入口之 大約距離(公尺)	4	4	3	3	1	1	5	5
	指派成本倍數(預設)	5 倍							
入境航班 指派成本	與過往指派轉盤不同	20	20	15	15	5	5	25	25

3.3 行李卸載轉盤排程之數學模型

3.3.1 符號說明

指標	(i, j)	行李轉盤流動網路之節線， i 與 j 表示網路上之節點。
	k	行李轉盤編號，也表示為第 k 層的一般網路圖。
	kv	虛擬網路圖。
	s	入境航班行李隨機抵達行李轉盤的時間情境。
	b	入境航班行李。

集合	K	所有行李轉盤流動網路之集合。
	$K \setminus kv$	排除虛擬網路之行李轉盤流動網路之集合
	N^k	於流動網路第 k 層中，所有節點的集合。
	A^k	於流動網路第 k 層中，所有節線的集合。
	UA^k	於流動網路第 k 層中，所有轉盤卸載節線的集合。
	UA^{kv}	於虛擬網路圖 kv 中，所有轉盤卸載節線的集合。
	B	於規劃時間內抵達之入境航班行李集合。
	C_b	可服務入境航班行李 b 之行李轉盤集合。
	UA_b^k	於流動網路第 k 層中，入境航班行李 b 對應之轉盤卸載節線的集合。
	CA^k	於流動網路第 k 層中，循環節線的集合。
	$\Gamma^-(i)$	i 點之上游點集合
	$\Gamma^+(i)$	i 點之下游點集合

參數	$\tau_{(i,j)}^{kv}$	於虛擬網路圖 kv 中，轉盤卸載節線 $(i,j) \in UA^{kv}$ 上，未能服務入境航班行李之懲罰成本。由單位時間懲罰成本(\$/分鐘)與該入境航班行李所需卸載時間長度(分鐘)相乘而得。本研究將單位時間懲罰成本設為一較大之常數，促使模式於規劃時間內讓行李卸載轉盤服務越多的入境航班行李。
	$\theta_{(i,j),b}^{k,s}$	$\theta_{(i,j),b}^{k,s}=1$ ，表示於排程網路第 k 層中轉盤卸載節線 (i,j) 對應入境航班行李 b 之隨機抵達時間情境 s ；反之 $\theta_{(i,j),b}^{k,s}=0$ 。
參數	$\varphi_{(i,j)}^k$	於流動網路第 k 層中，轉盤卸載節線 $(i,j) \in UA^k$ 上，非預期時間抵達之排程延誤成本之期望值。經由加總所有入境航班行李與其對應之所有情境之排程延誤成本之期望值而得。 $\varphi_{(i,j)}^k = \sum_{b \in B} \sum_{s \in ST_b} (\varepsilon_b^s \times \theta_{(i,j),b}^{k,s})$
	$\gamma_{(i,j)}^k$	考量行李卸載轉盤位置距離入境行李提領大廳出口之遠近和各航班過往使用之行李卸載轉盤兩實務原則，而設定的指派成本。亦為流動網路第 k 層中，轉盤卸載節線 $(i,j) \in UA^k$ 之節線成本。
	$u_{(i,j)}^k$	於流動網路第 k 層中，節線 $(i,j) \in A^k$ 之容量上限。

決策變數	$x_{(i,j)}^k$	於流動網路第 k 層中，節線 (i,j) 之流量。
------	---------------	-------------------------------

3.3.2 數學模型

$$\text{Minimize} \quad \sum_{(i,j) \in UA^{kv}} \tau_{(i,j)}^{kv} \cdot x_{(i,j)}^{kv} + \sum_{k \in K \setminus kv} \sum_{(i,j) \in UA^k} (\varphi_{(i,j)}^k + y_{(i,j)}^k) \cdot x_{(i,j)}^k \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{k \in C_b} \sum_{(i,j) \in UA_b^k} x_{(i,j)}^k = 1 \quad , \forall b \in B \quad (3)$$

$$\sum_{j \in \Gamma^+(i)} x_{(i,j)}^k - \sum_{h \in \Gamma^-(i)} x_{(h,i)}^k = 0 \quad , \forall i \in N^k; k \in K \quad (4)$$

$$0 \leq x_{(i,j)}^k \leq u_{(i,j)}^k \quad , \forall (i,j) \in A^k; k \in K \quad (5)$$

$$x_{(i,j)}^k \in \text{integer} \quad , \forall (i,j) \in A^k; k \in K \quad (6)$$

本研究建立多目標數學模式，其中目標式(2)分為三個部分：最小化因行李卸載轉盤未服務某些入境航班而產生的懲罰成本、最小化非預期抵達之排程延誤成本之期望值以及最小化指派成本。

限制式(3)確保每一入境航班之行李皆被指派至一個行李轉盤。限制式(4)確保每層排程網路中的每個節點之流量守恆，各節點自上游點流入之流量總和，會與該節點流出至下游點之流量和相同。限制式(5)與(6)確保決策變數 $x_{(i,j)}^k$ 皆為整數且介於流量的上下界中。

3.4 小範例測試

本研究以 C++ 程式語言撰寫驗證 3.3 小節所述數學模型之正確性的程式，並呼叫最佳化求解軟體 Gurobi Optimizer 8.1.1，求解小型測試範例。

本研究將小範例測試之規劃時間長度設定為一天的 7:30 至 13:00，於規劃時段中有 4 個入境航班(入境航班編號 1 到 4)的行李卸載需求，由兩個行李卸載轉盤(行李卸載轉盤 A 與 B)服務這四個航班的行李卸載活動。本研究假設每個航班抵達機場的時間各有三個隨機抵達情境，且各具有 0.25、0.5 及 0.25 的發生機率。入境航班資訊如表 3-2 所示：

表 3-2 入境航班行李卸載資訊

入境航班 編號	行李卸載時間 長度(分鐘)	航班隨機抵達 時間情境編號	行李卸載 時間	行李完成 卸載時間	情境發生 機率
1	60 分鐘	1	8:00	9:00	0.25
		2	8:15	9:15	0.5
		3	8:30	9:30	0.25
2	75 分鐘	1	8:45	10:00	0.25
		2	9:20	10:35	0.5
		3	9:30	10:45	0.25
3	90 分鐘	1	9:25	10:55	0.25
		2	9:45	11:15	0.5
		3	10:00	11:30	0.25
4	60 分鐘	1	11:25	12:25	0.25
		2	11:35	12:35	0.5
		3	11:45	12:45	0.25

接著，將入境資訊表轉換至一張虛擬網路圖(如圖 3-10)及兩張一般流動網路圖(如圖 3-8 及圖 3-9)。虛擬網路圖的節線若有流量，則代表某些入境航班之行李無法於規劃時間內經由行李卸載轉盤進行卸載。兩張一般流動網路圖分別呈現行李卸載轉盤 A 與 B 的預先排程狀況，若一般流動網路圖的節線有流量，則可視為某一行李卸載轉盤於相對應的時段進行某一入境航班的行李卸載，也可視為某一入境航班行李指派予某一行李卸載轉盤進行卸載。

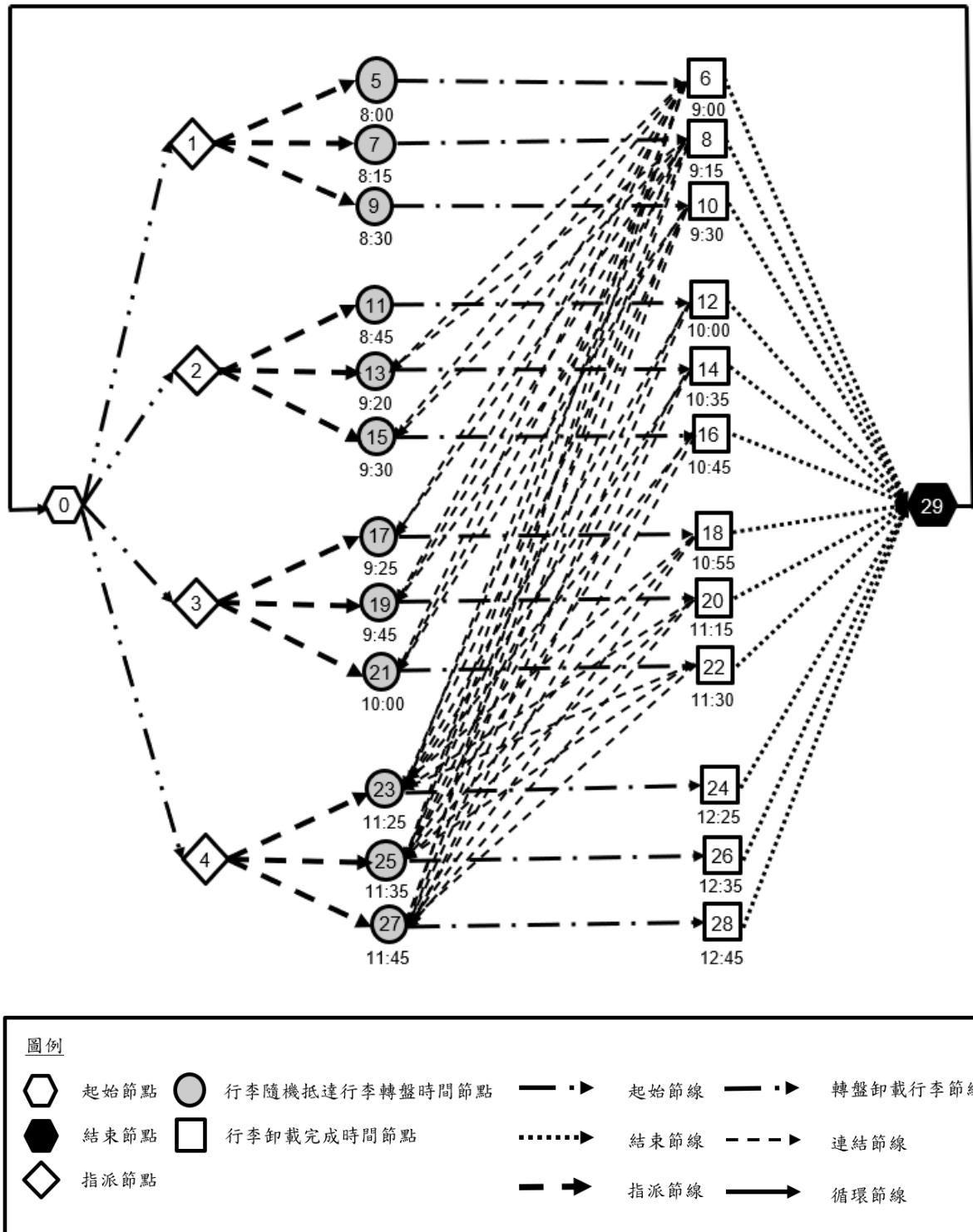


圖 3-8 小範例測試之行李轉盤 A 流動網路示意圖(第一層網路圖)

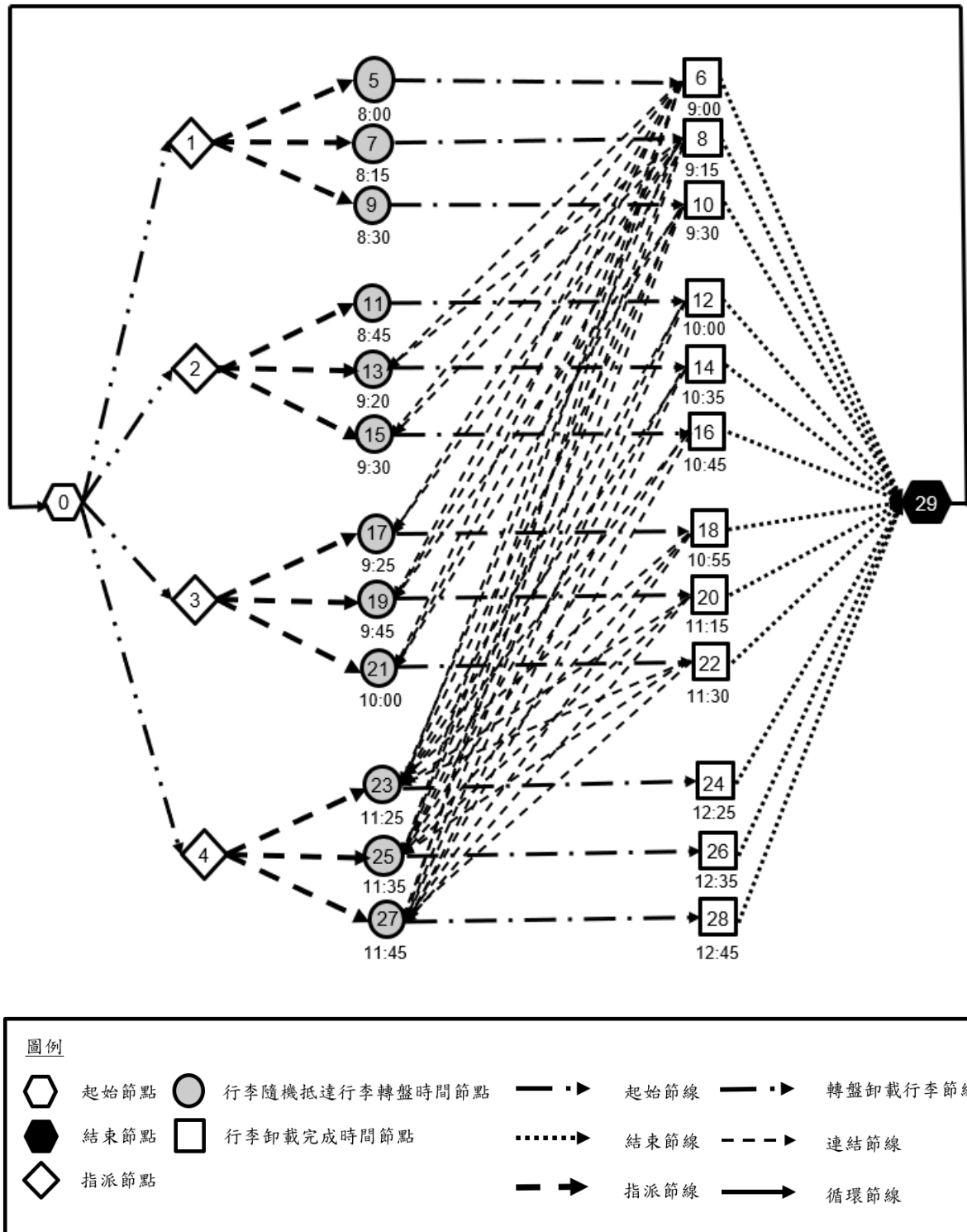


圖 3-9 小範例測試之行李轉盤 B 流動網路示意圖(第二層網路圖)

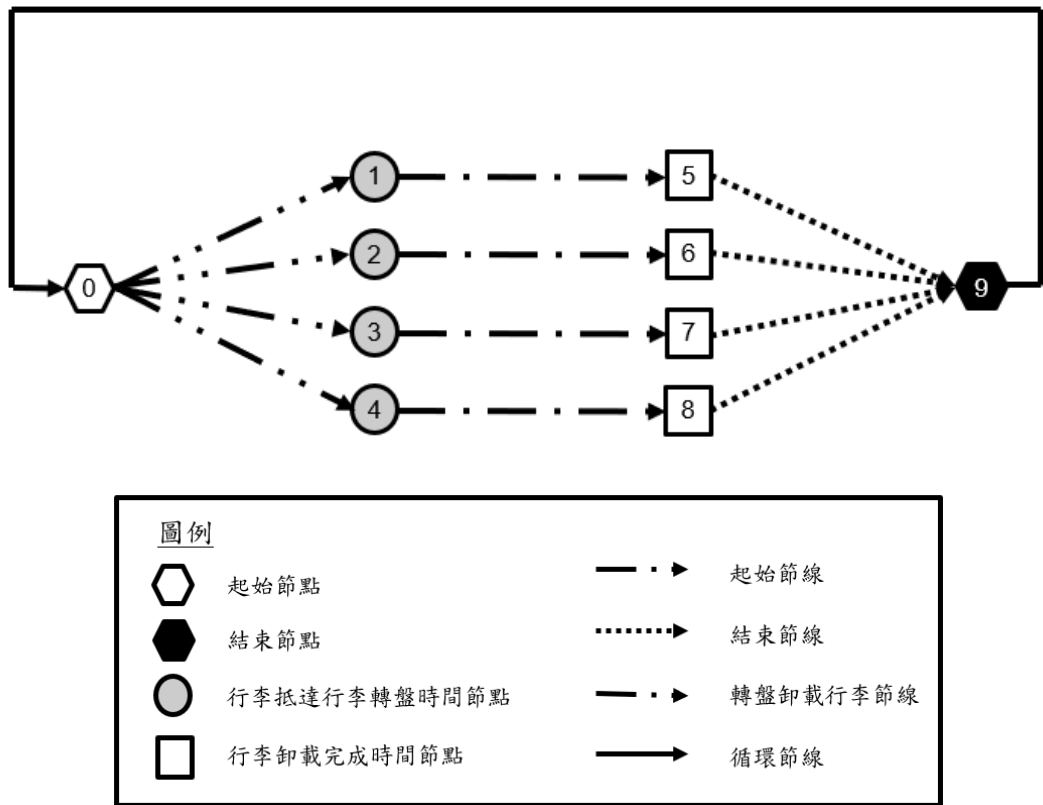


圖 3-10 小範例測試之虛擬轉盤流動網路圖
資料來源：本研究自行繪製

3.4.1 小範例測試之結果

本研究設計小範例測試的問題規模為一層虛擬流動網路(共 8 個節點)及兩層一般流動網路(對應至行李轉盤數)，每層有一個起始節點和結束節點，四個指派節點(對應至入境航班)，各指派節點分出三個行李隨機抵達行李轉盤時間節點(對應至可能的行李抵達時間)和三個行李卸載完成時間節點(對應至可能的卸載完成時間)，兩層一般流動網路共有 60 個節點。四個入境航班的指派節點各對應至一條指派原則限制式，共 4 條。68 個不同種類之節點各自對應至一條流量守恆限制式，共 68 條。一層虛擬網路中含有 13 條節線；一層一般流動網路中含有 76 條不同種類之節線，每條節線對應至一個二元決策變數 $x_{(i,j)}^k$ ，因此一層虛擬網路加上三層一般流動網路共有 165 個二元變數。小範例之問題規模整理如下表 3-3 所示：

表 3-3 小範例測試之問題規模

網路規模	虛擬指派網路層數	1
	一般指派網路層數	2
	虛擬指派網路節點數	10
	一般指派網路節點數	60
	虛擬指派網路節線數	13
	一般指派網路節線數	152
數學式規模	指派原則限制式	4
	流量守恆限制式	68
	二元變數	165

於輸入小範例之供給和需求資訊至本研究的最佳化行李轉盤排程模式後，利用 Gurobi Optimizer 軟體求得目標值為 60.1435，求解時間約為 9 秒。於下表 3-4 與表 3-5 中的測試結果可見，兩台行李卸載轉盤分別服務兩個入境航班的行李卸載，且 4 個入境航班都於準時情境(第二個情境)抵達機場。非預期抵達之排程延誤期望成本(第一項目標值)為 0.1435，而指派成本(第二項目標值)為 60，表示有一個入境航班行李被指派至其非常用轉盤進行卸載。從實際資料來看，入境航班 3 應由行李卸載轉盤 B 服務卻被指派至行李卸載轉盤 A，而卸載此入境航班行李需耗費 30 分鐘，將單位時間懲罰成本 2 乘以卸載時間 30 分鐘，可得指派成本 60。圖 3-11、圖 3-12 呈現兩個行李卸載轉盤之排程結果，而圖 3-13 中節線無流量，表示 4 個入境航班皆可於規劃時間內經由任一行李卸載轉盤進行行李卸載。

表 3-4 小型測試例題結果

小型測試例題				
問題規模	總供給(轉盤數)	2	最佳解結果	
	總需求(入境航班數)	4	總目標值	60.1435
	變數個數	165	總懲罰成本	0
	限制式個數	72	第一項目標值	0.1435
參數	抵達時間情境數	3	第二項目標值	60
	單位時間懲罰成本	2.0	入境航班被服務數量	4
	對後續航班影響係數	0.5	未被服務數量	0
	對航班自身影響係數	0.5	使用轉盤數量	2
	指派成本倍數	5	求解時間(秒)	9

表 3-5 小範例之最佳化排程模式結果

需求 (入境航班)	指派情境	情境對應之行 李抵達時間	情境對應之卸 載結束時間	指派行李轉盤
1	2	8:15	9:15	A
2	2	9:20	10:35	B
3	2	9:45	11:15	A
4	2	11:35	12:35	B

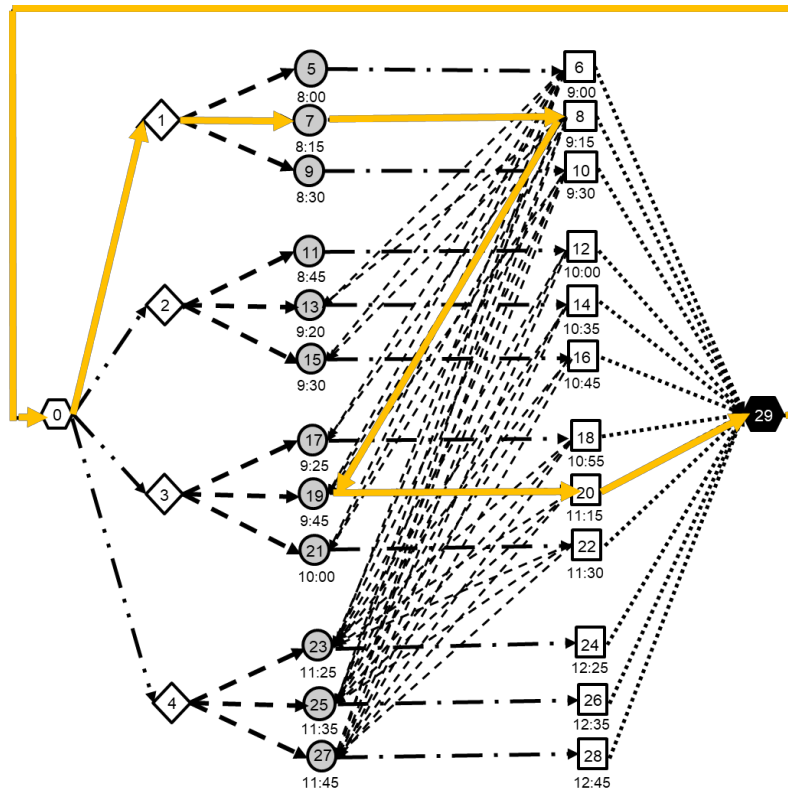


圖 3-11 行李轉盤 A 之排程結果(第一層網路圖)

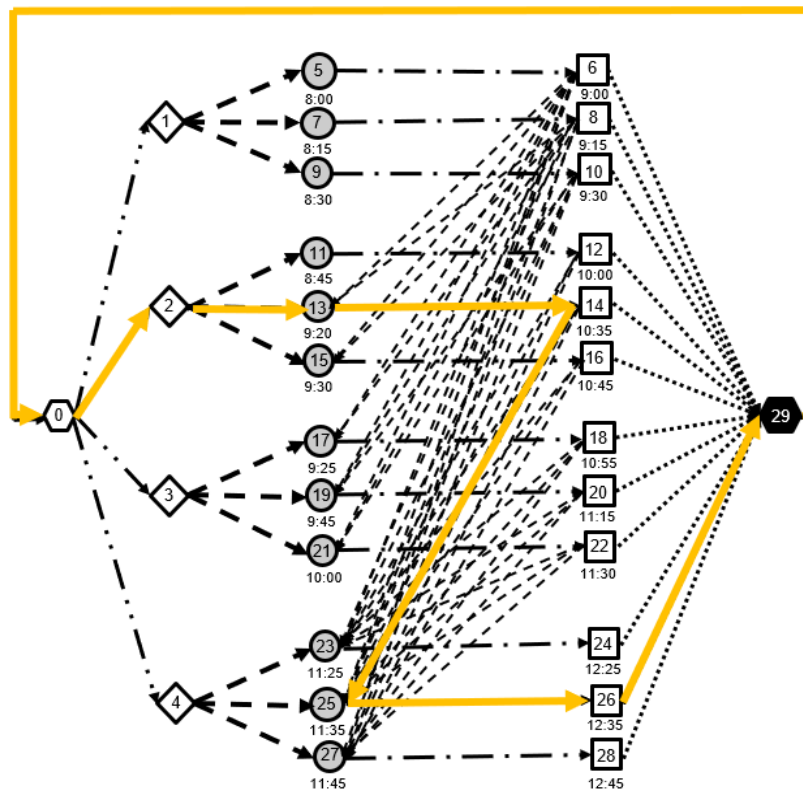


圖 3-12 行李轉盤 B 之排程結果(第二層網路圖)

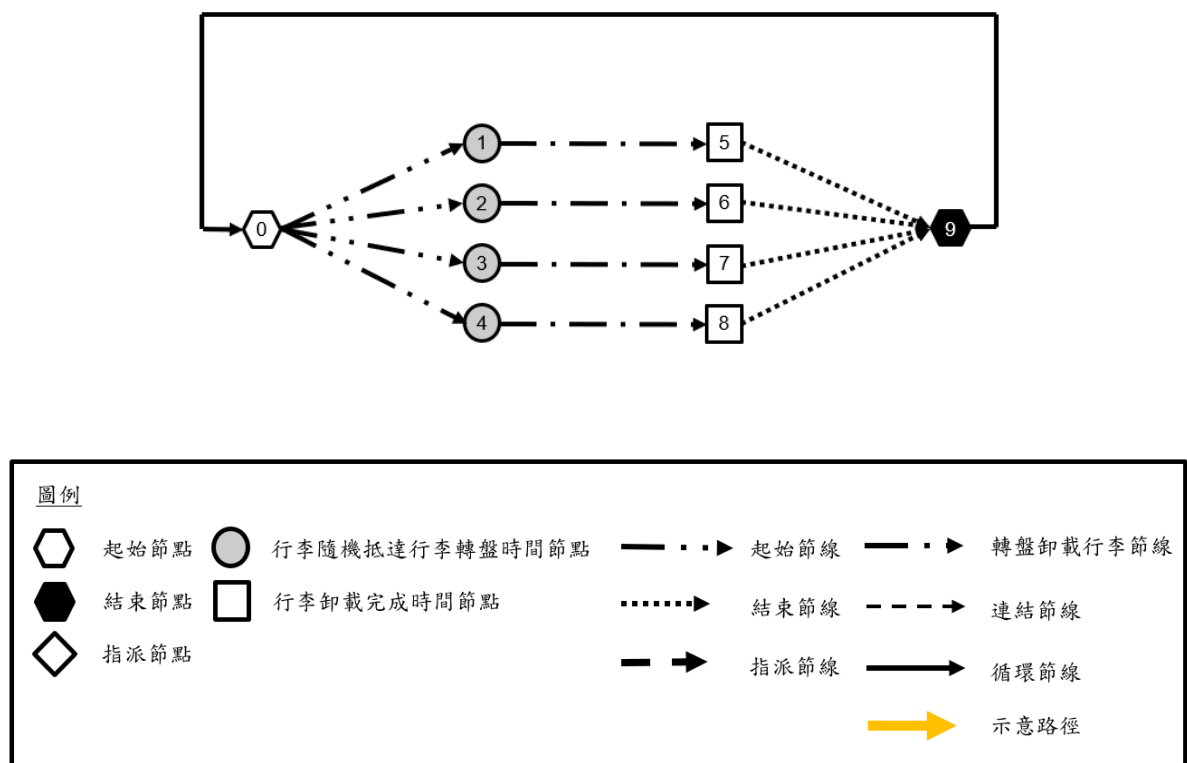
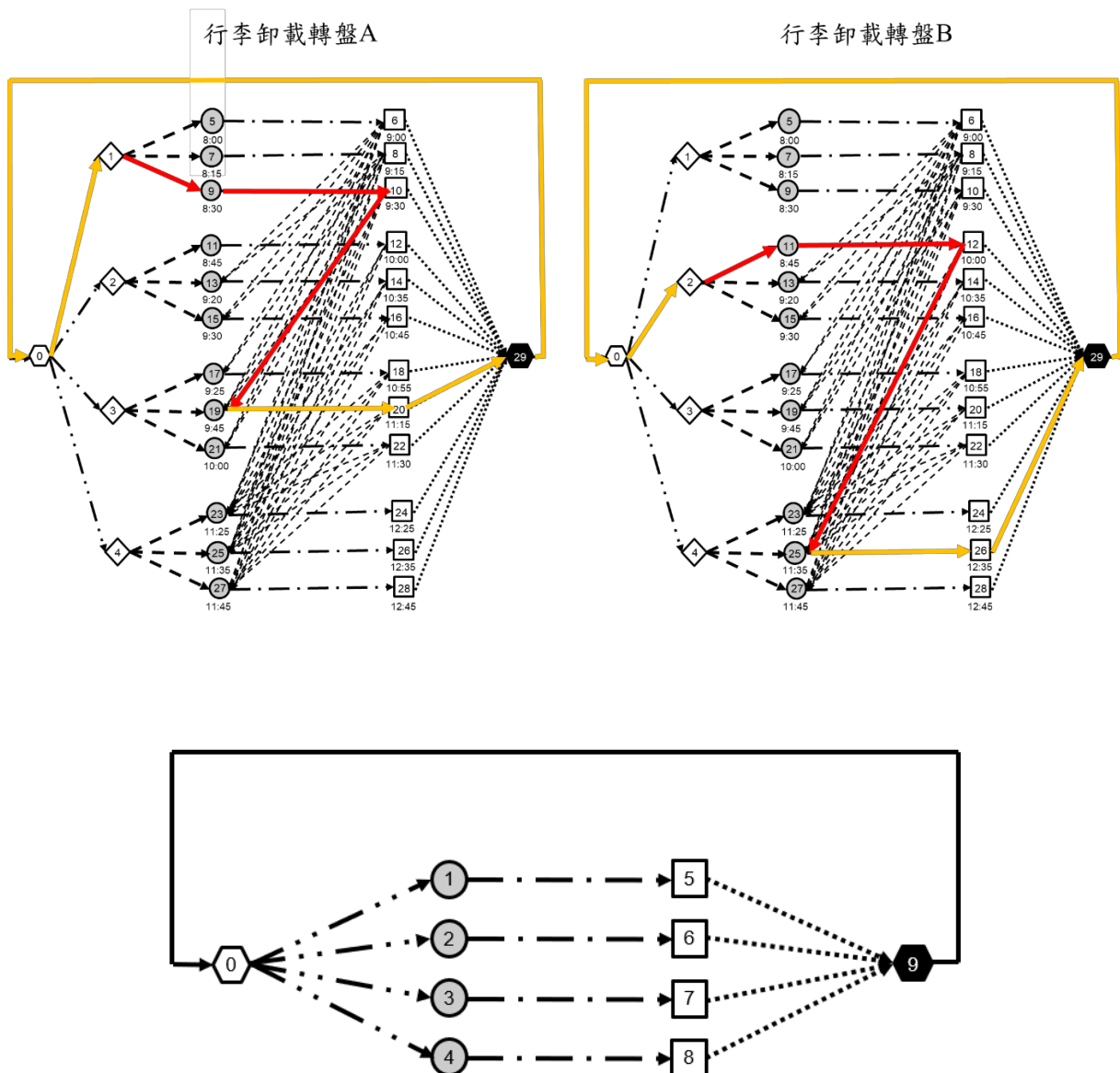


圖 3-13 虛擬轉盤之排程結果
資料來源：本研究自行繪製

3.4.2 以手動排程方式進行重新指派

3.4.1 節呈現小範例測試之行李卸載轉盤排程結果，即 4 個入境航班行李分別於可行時段被指派至 2 個行李卸載轉盤。本研究依據實際資料中的各個入境航班表定抵達時間(schedule time)資訊，作為入境航班的準時抵達時間，並透過本數學模式進行排程與指派之後，可得到預先指派計畫。若將本模式規劃的預先指派計畫應用至實務情況，可能會有入境航班實際抵達時間相較於本模式安排的抵達時間早到或是延誤之情形發生。以圖 3-11、圖 3-12、圖 3-13 為例，經由手動排程方式進行重新調整，如圖 3-14 所呈現之重新指派結果。



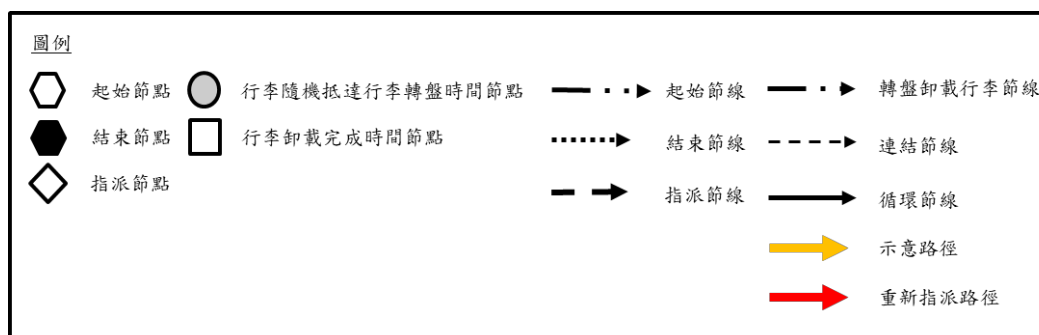


圖 3-14 重新指派結果示意圖

資料來源：本研究自行繪製

實務上，行李處理人員於處理入境航班抵達時間延誤和提早之情形(如圖 3-14 之 1 號和 2 號入境航班)，將依據實際抵達時間與預先規劃時間之時間差，決定是否進行重新指派。原則上，入境航班早到或延誤半小時內，通常會由原指派之行李卸載轉盤進行行李卸載，若是延誤時間超過一小時，則會等到該航班確定即將抵達機場，再重新指派至行李卸載轉盤。圖 3-14 中的紅色箭頭表示入境航班進行重新指派後，兩張流動網路圖中各節線流量之變化。晚到的 1 號入境航班實際抵達時間為 8:30，則改為指派節線(1,9)與轉盤行李卸載節線(9,10)有流量流經。接著，依據該航班的行李卸載完成時間 9:30，接續安排下一個抵達時間可行之入境航班行李卸載服務，此處維持卸載 3 號入境航班的行李，因此連結節線(10,19)有流量流經。此外，由於航班延誤或是早到之成本相較於準時抵達之成本來得大，因此進行重新指派或是抵達時間的調動，皆會使得總成本上升。

3.5 小結

本研究為了加速求解效率，運用流動網路之概念，發展考量入境航班抵達時間具有不確定性之數學模型，並求解入境航班行李指派至行李卸載轉盤的問題。其中，考慮最小化入境航班於非預期時間抵達而產生的排程延誤期望成本及旅客步行距離，使得本研究發展的數學模型可更貼近實務情況。於第三章之最後一部分，本研究設計小範例以驗證數學模型之可行性。由結果得知，此數學模型能在考量最小化總成本之情況下有效求解最佳的預先指派計畫。本研究亦透過手動排程方式，呈現入境航班實際抵達時間較規劃時間提早或延遲，於實務情況應如何重新進行指派。

第四章 實驗結果與分析

此章節將呈現本研究發展的入境航班行李卸載轉盤排程模式，應用於不同問題規模下之結果。本研究以國內某國際機場所提供的實際入境航班資料為例，並應用與機場內部相關人員訪談後所獲得的資訊作為依據，做出合理的假設、設定參數並設計測試例題。

本章節將針對資料輸入和模式測試結果，分節進行說明及分析。4.1 小節為介紹資料的選擇及應用方式，以及設計測試例題；4.2 小節為模式測試結果的分析。本研究求解使用的個人電腦運算環境為 Microsoft Windows 10 之 64 位元作業系統，中央處理器為 Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 3.40 GHz，記憶體為 8.00GB。透過 Microsoft Visual Studio 2017 軟體做為開發環境，並以 C++ 語言撰寫程式、Gurobi 8.1.1 最佳化求解軟體求解測試範例。

4.1 資料輸入

本研究使用的參考資料來源為國內某國際機場西元 2019 年 8 月之入境航班運量表，採用該機場第二航廈一天的資料。表中欄位包含入境航班序號、班次、機型、所屬航空公司名稱、起飛地、表定抵達機場日期及時間(schedule time of arrival)、預估抵達時間(estimated time of arrival, ETA)、實際抵達時間(actual time of arrival, ATA)、航廈、使用轉盤編號、入境乘客人數。本研究將訪談後所得資料分別應用至建立各航班行李過往使用的轉盤編號表

4.1.1 資料應用至建立過往指派轉盤編號表

本研究考量過往指派結果之排程規劃，採用入境航班運量表中航班序號、表定抵達機場時間以及轉盤編號的資料欄位(如表 4-1)，將表定抵達時間假設為過往某一次各航班的抵達時間且將其對應之轉盤編號欄位假設為各航班過往使用之轉盤。接著，將資料轉換成表 3-1 中的入境航班指派成本(若使用過往使用過之轉盤，則指派成本等於 0)，當作參數輸入至模式中，以求解預先指派計畫。

表 4-1 部分入境航班運量表(一天資料量)

航班 序號	表定 抵達 時間	轉盤 編號	航班 序號	表定 抵達 時間	轉盤 編號	航班 序號	表定 抵達 時間	轉盤 編號	航班 序號	表定 抵達 時間	轉盤 編號
1	00:40	06	40	11:30	07	79	15:10	02	118	20:00	03
2	00:50	04	41	11:35	03	80	15:20	05	119	20:15	04
3	04:50	05	42	11:40	06	81	15:35	01	120	20:15	07
4	05:00	01	43	11:45	04	82	15:40	02	121	20:20	03
5	05:05	02	44	11:45	01	83	15:50	04	122	20:25	05
6	05:05	07	45	12:05	06	84	15:50	01	123	20:30	06
7	05:10	04	46	12:10	08	85	15:55	03	124	20:30	04
8	05:10	03	47	12:15	04	86	16:00	06	125	20:45	01
9	05:10	06	48	12:15	02	87	16:00	07	126	20:45	07
10	05:15	08	49	12:20	04	88	16:15	02	127	20:55	06
11	05:20	03	50	12:30	05	89	16:15	01	128	20:55	01
12	05:20	02	51	12:30	01	90	16:20	03	129	21:05	02
13	05:20	06	52	12:30	03	91	16:20	05	130	21:10	05
14	05:40	05	53	12:45	02	92	16:25	02	131	21:15	07
15	05:45	05	54	12:55	06	93	16:30	04	132	21:25	04
16	05:45	04	55	13:05	07	94	16:35	03	133	21:25	03
17	05:50	08	56	13:10	08	95	16:40	07	134	21:30	05
18	06:15	06	57	13:15	01	96	16:55	08	135	21:30	08
19	06:20	03	58	13:25	03	97	17:05	06	136	21:35	04

20	06:30	07	59	13:30	04	98	17:10	07	137	21:35	01
21	06:35	04	60	13:30	05	99	17:15	01	138	21:35	02
22	08:25	07	61	13:30	08	100	17:15	07	139	21:40	02
23	09:10	06	62	13:35	05	101	17:30	02	140	21:40	04
24	09:50	01	63	13:40	03	102	17:35	03	141	21:50	01
25	10:20	02	64	13:45	07	103	17:40	02	142	22:10	01
26	10:25	03	65	14:00	02	104	17:50	05	143	22:25	02
27	10:25	04	66	14:00	02	105	17:55	01	144	22:30	03
28	10:40	05	67	14:05	08	106	18:00	01	145	22:35	05
29	10:45	08	68	14:15	01	107	18:05	02	146	22:55	08
30	10:50	01	69	14:15	06	108	18:10	03			
31	10:55	07	70	14:25	01	109	18:20	04			
32	10:55	02	71	14:25	04	110	18:45	08			
33	11:10	03	72	14:35	08	111	18:50	05			
34	11:15	05	73	14:50	05	112	19:05	03			
35	11:15	04	74	14:55	03	113	19:20	06			
36	11:20	06	75	15:00	03	114	19:30	01			
37	11:20	05	76	15:00	08	115	19:40	08			
38	11:25	08	77	15:05	06	116	19:50	06			
39	11:30	02	78	15:05	08	117	19:55	02			

資料來源：本研究整理國內某機場提供的資料

4.1.2 資料應用至計算行李卸載流程所經歷的各個時間段

與機場相關工作人員訪談後，本研究取得飛機落地之後各流程時間之推算方式，並應用至本研究考量入境航班抵達時間具有隨機性的模型之中，如示意圖 4-1 所示。

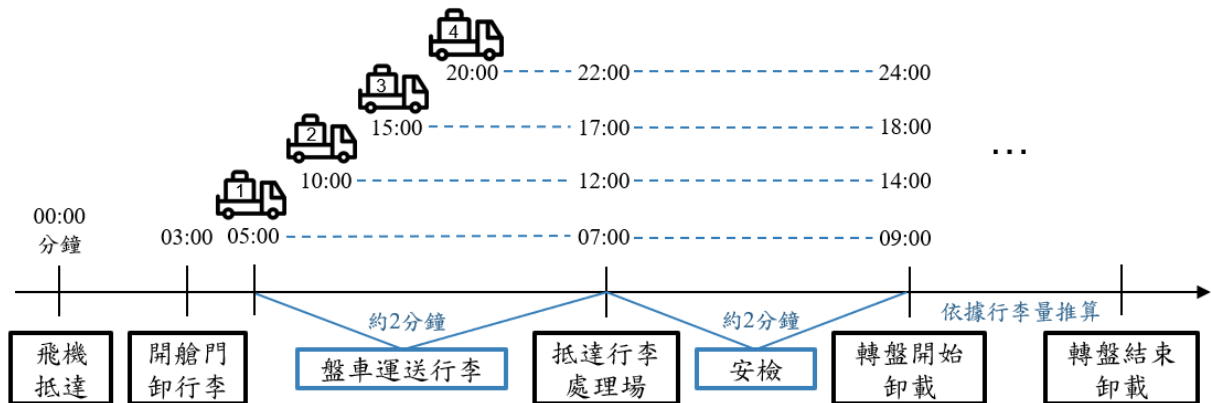


圖 4-1 機場入境航班行李卸載流程示意圖

資料來源：本研究自行繪製

飛機抵達停機坪後，地勤人員便會駕駛行李拖車前往艙門邊卸載行李。依據該航班的行李量，推估完成載運行李至行李處理場之任務所需的盤車數量。從訪談內容得知，窄體客機需要兩台盤車來載運所有行李，而寬體客機需要三至四台盤車以載運所有行李。每隔五分鐘會有一台盤車抵達艙門邊，而運送至行李處理場需花費大約兩分鐘的時間。接著，行李將於行李處理場進行安全檢查，一台盤車上的行李完成此流程需要大約兩分鐘，之後便依靠連結至行李處理場的傳送皮帶輸送行李至入境大廳的行李卸載轉盤上。本研究假設從盤車前往艙門卸載行李至完成安檢作業的時間，使用入境航班運量表中的表定抵達時間資料加上上述推估各流程可能花費的時間，作為轉盤開始卸載的時間點。

被分派到的轉盤將卸載該入境航班乘客的行李，此流程所需時間將以行李量推估。本研究於此處假設一名乘客僅攜帶一件托運行李，並假設轉盤每十分鐘可以完成卸載一百名乘客的行李，以此推算轉盤完成卸載一航班行李量所需的時間。

本研究使用入境航班運量表中的航班序號、表定抵達時間以及入境人數三個資料欄位，以推算各航班準時抵達情境的發生時間和轉盤卸載行李的起迄時間，如表 4-2 所示：

表 4-2 部分入境航班運量表(一天資料量)

航班 序號	表定 抵達 時間	入境 人數	轉盤 開始 卸載 時間	轉盤 結束 卸載 時間	航班 序號	表定 抵達 時間	入境 人數	轉盤 開始 卸載 時間	轉盤 結束 卸載 時間
1	00:40	225	00:58	01:20	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	00:50	183	01:04	01:22	137	21:35	73	21:49	21:56
3	04:50	248	05:08	05:32	138	21:35	137	21:49	22:02
4	05:00	349	05:24	05:58	139	21:40	209	21:58	22:18
5	05:05	354	05:29	06:04	140	21:40	316	22:04	22:35
6	05:05	331	05:29	06:02	141	21:50	267	22:08	22:34
7	05:10	262	05:28	05:54	142	22:10	134	22:24	22:37
8	05:10	311	05:34	06:05	143	22:25	222	22:43	23:05
9	05:10	290	05:28	05:57	144	22:30	197	22:44	23:03
10	05:15	250	05:33	05:58	145	22:35	240	22:53	23:17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	146	22:55	130	23:09	23:22

資料來源：本研究整理國內某機場提供的資料

4.2 實驗設計

由於一些不確定因素的影響，例如：當日天氣狀況或是軍事演習導致空中塞機的特殊事件，入境航班可能無法準時降落至指定的停機坪，後續的行李卸載流程也將延遲。因此，本研究考量入境航班的抵達時間具有隨機性，將航班提早抵達 30 分鐘、提早 15 分鐘、延遲抵達 15 分鐘及延遲抵達 30 分鐘之四種情況納入考量，而準時抵達情境的時間取自入境航班運量表中的表定抵達時間資料。另外，本研究在範例測試時，將五種情境之間的間隔時間設定為 15 分鐘，並根據歷史資料與機場人員經驗推估各入境航班五種抵達時間情境個別的發生機率，本研究產生情境發生機率之方式如圖 4-2 所示。於產生各入境航班之各情境的抵達時間和發生機率之後，可建立一個行李轉盤的流動網路圖(如圖 4-3 所示)，其中包含所有入境航班抵達情境資料。以入境航班 1 號為例，航班提早 30 分鐘抵達情境之機率(p_1^1)為 0.08、提早 15 分鐘情境之機率(p_1^2)為 0.2、準時抵達情境之機率(p_1^3)為 0.36、延遲抵達 15 分鐘情境之機率(p_1^4)為 0.24 及延遲抵達 30 分鐘情境之機率(p_1^5)為 0.12，準時抵達情境之發生機率最大，再來是提早及延遲 15 分鐘情境之機率，最小的發生機率出現於提早及延遲 30 分鐘之情境。實務上，於應用本模式時可以根據歷史資料，推估入境航班抵達時間的隨機機率分布。

〈 本研究產生情境發生機率之方法 〉

透過均勻分布隨機生成5個整數 Ex : 10, 15, 30, 45, 25



將五個整數分別除以總和，可得五個機率值 $\frac{10}{125}, \frac{15}{125}, \frac{30}{125}, \frac{45}{125}, \frac{25}{125} \rightarrow$ 機率：0.08, 0.12, 0.24, 0.36, 0.2



將最大機率值標示為準時情境的發生機率
最小的兩個機率值為早及晚到30分鐘情境的發生機率

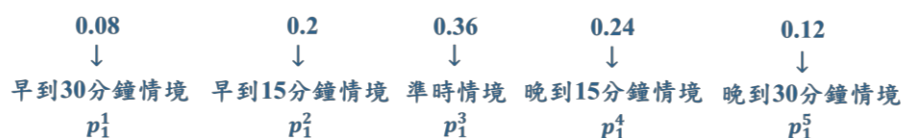


圖 4-2 情境發生機率產生方式

資料來源：本研究自行繪製

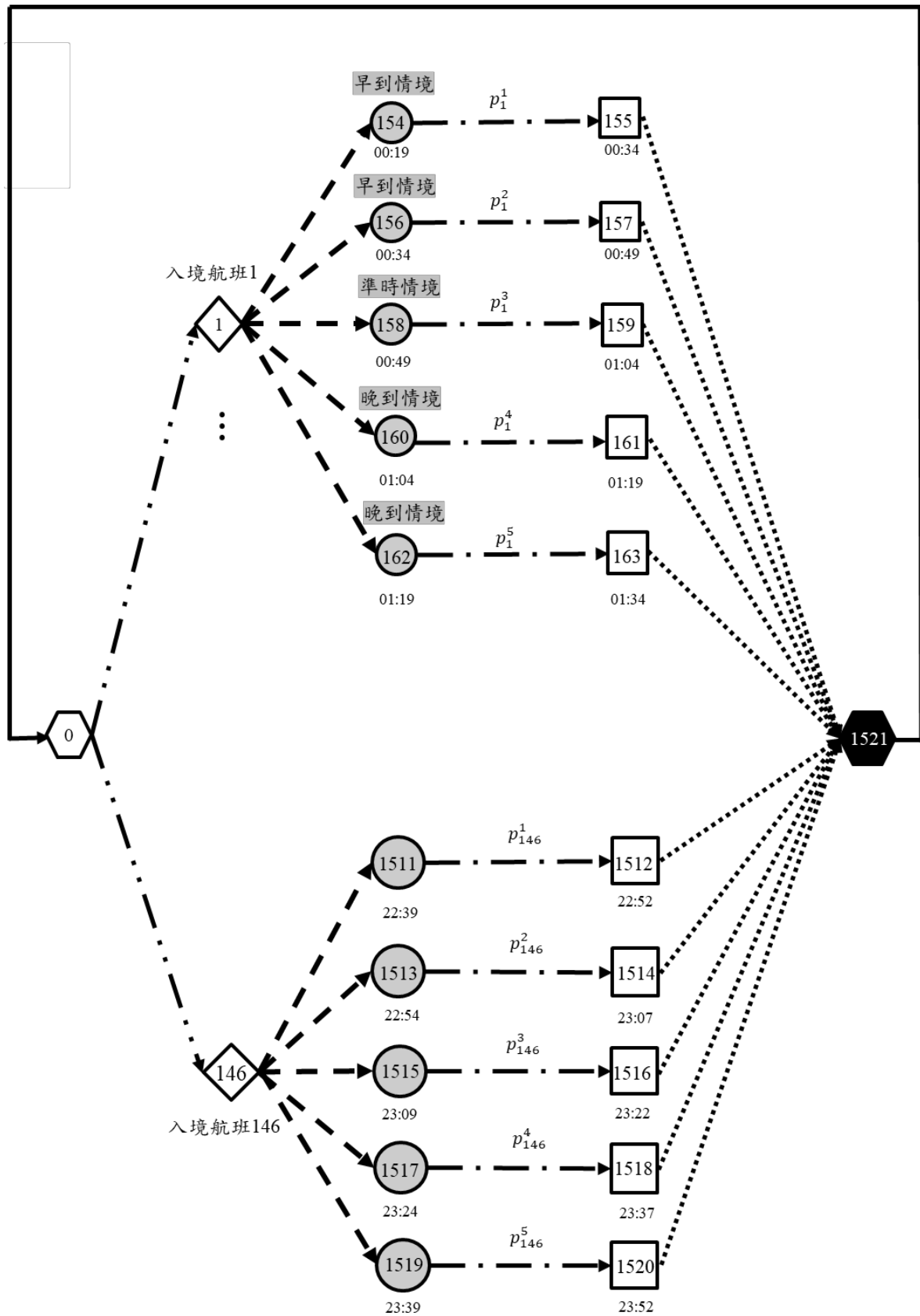


圖 4-3 入境航班抵達時間情境及轉盤卸載時間的設定

資料來源：本研究自行繪製

本研究將行李卸載轉盤排程隨機規劃模型之測試例題分成三種規模(小、中及大型)，輸入模式中的供給和需求數量以及運算所需使用變數和限制式數量如下表 4-3 所示。小型及中型例題之供給和需求數量為本研究自行假設，大型例題則為實際資料中一天的供給和需求數量。

表 4-3 各測試例題之問題規模

問題規模					
測試例題	總供給 (轉盤數)	總需求 (入境航班數)	抵達時間情境數	變數個數	限制式個數
小型例題	2 台	4 班	3 個(間隔 15 分鐘)	165	72
中型例題	4 台	50 班	5 個(間隔 15 分鐘)	108,719	2,360
大型例題	8 台	146 班	5 個(間隔 15 分鐘)	2,022,799	13,304

4.3 範例測試結果

本研究將 4.1.1 小節所介紹的兩種實際資料和參數代入至行李卸載轉盤排程模式中，並透過三種規模的例題以及由 7 天的實際資料產生的 7 個大型例題進行模式測試，詳細結果如表格 4-4 與 4-5 所示。

由表格 4-4 的資訊可得知，不論是小型、中型或是大型例題，於規劃時間(一天)內系統供給的轉盤數量皆能服務所有入境航班行李的需求量，且沒有入境航班行李未被服務之情況發生。從大型範例來看，實際情況之轉盤供給是可以滿足所有入境航班行李卸載之需求。最後，於三種規模之範例求解時間的表現上，小型例題求解時間少於 10 秒以及中型和大型例題求解時間少於 10 分鐘，屬於在合理範圍之內。

表格 4-5 的內容為求解一周各天之指派結果，本研究使用 2019 年 8 月 5 日至 8 月 11 日之資料建立 7 個大型例題。從結果可見，星期二、星期六及星期日的入境航班數較多且行李處理量較大，使得模式求解出的第二項目標值(指派成本)大於 0，表示有少數入境航班的行李被指派至其非常用行李卸載轉盤進行卸載。此外，透過本隨機規劃模式進行求解沒有出現入境航班行李未被服務之狀況。

表 4-4 範例測試結果

測試例題		小型	中型	大型
問題規模	總供給(轉盤數)	2	4	8
	總需求(入境航班數)	4	50	146
	變數個數	165	108,719	2,022,799
	限制式個數	72	2,360	13,304
參數	抵達時間情境數	3	5	5
	單位時間懲罰成本	2.0		
	對後續航班影響係數	0.5		
	對航班自身影響係數	0.5		
	指派成本倍數	5		
最佳解	總目標值	60.1435	350.719	141.469
	總懲罰成本	0	12	0
	第一項目標值	0.1435	73.719	141.469
	第二項目標值	60	265	0
	入境航班被服務數量	4	49	146
	未被服務數量	0	1	0
	使用轉盤數量	2	4	8
	求解時間(秒)	9	56	318.8

表 4-5 一周資料測試結果

測試例題		星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
問題規模	總供給(轉盤數)	8	8	8	8	8	8	8
	總需求(入境航班數)	146	161	151	153	80	159	172
	行李處理量(件)	32,155	34,460	32,199	33,453	20,101	37,764	41,118
	變數個數	2,022,799	2,463,556	2,165,454	2,218,332	594,753	2,398,694	2,799,285
	限制式個數	13,304	14,669	13,579	13,941	7,298	14,487	15,670
參數	抵達時間情境數	5						
	單位時間懲罰成本	2.0						
	對後續航班影響係數	0.5						
	對航班自身影響係數	0.5						
	指派成本倍數	5						
最佳解	總目標值	141.469	189.867	155.638	158.35	79.7485	209.0455	261.9145
	總懲罰成本	0	0	0	0	0	0	0
	第一項目標值	141.469	189.867	155.638	158.35	79.7485	159.0455	186.915
	第二項目標值	0	5	0	0	0	50	75
	入境航班被服務數量	146	161	151	153	80	159	172
	未被服務數量	0	0	0	0	0	0	0
	使用轉盤數量	8	8	8	8	8	8	8
	求解時間(秒)	318.8	331.37	359.05	324.64	308.88	329.61	411.36

4.4 中型與大型測試例題之隨機規劃模式評估

表 4-6 為中型例題於確定性規劃和隨機性規劃結果之比較。由於確定性規劃只採用一個準時抵達情境作為入境航班指派時間之依據，因此，節線數(二元變數個數)較隨機規劃模型少。若兩規劃模型皆使用相同的參數組合，確定性規劃之總目標值為隨機規劃之總目標值的 2.22 倍，其原因為確定性規劃的第一項目標值(非預期抵達之排程延誤期望成本)為 0，在只有一種抵達時間情境的指派可能下，將有 13 個入境航班行李無法被服務而產生懲罰成本。

表 4-6 中型例題之確定性與隨機性規劃結果比較

測試例題		中型	
規劃型態		確定性規劃	隨機性規劃
問題規模	總供給(轉盤數)	4	4
	總需求(入境航班數)	50	50
	變數個數	5,027	108,719
	限制式個數	560	2,360
參數	抵達時間情境數	5	5
	單位時間懲罰成本	2.0	2.0
	對後續航班影響係數	0.5	0.5
	對航班自身影響係數	0.5	0.5
	指派成本倍數	5	5
最佳解	總目標值	779	350.719
	總懲罰成本	544	12
	第一項目標值	0	73.719
	第二項目標值	235	265
	入境航班被服務數量	37	49
	未被服務數量	13	1
	使用轉盤數量	4	4
	求解時間(秒)	15	56

表 4-7 為大型例題於確定性規劃和隨機性規劃結果之比較。由於確定性規劃只採用一個準時抵達情境作為入境航班指派時間之依據，因此節線數(變數個數)較隨機規劃模型少。若兩規劃模型皆使用相同的參數組合，確定性規劃之總目標值為隨機規劃之總目標值的 2.85 倍，其原因為確定性規劃的第一項目標值(非預期抵達之排程延誤期望成本)為 0，在只有一種抵達時間情境的指派可能下，將有 3 個入境航班行李無法被服務而產生懲罰成本，而隨機性規劃能將所有入境航班進行妥善安排。從第二項目標值(指派成本)等於 0，可得知所有入境航班皆依照其常用行李卸載轉盤進行指派。

表 4-7 大型例題之確定性與隨機性規劃結果比較

測試例題		大型	
規劃型態		確定性規劃	隨機性規劃
問題規模	總供給(轉盤數)	8	8
	總需求(入境航班數)	146	146
	變數個數	84,855	2,022,799
	限制式個數	2,792	13,304
參數	抵達時間情境數	5	5
	單位時間懲罰成本	2.0	2.0
	對後續航班影響係數	0.5	0.5
	對航班自身影響係數	0.5	0.5
	指派成本倍數	5	5
最佳解	總目標值	404	141.469
	總懲罰成本	124	0
	第一項目標值	0	141.469
	第二項目標值	280	0
	入境航班被服務數量	143	146
	未被服務數量	3	0
	使用轉盤數量	8	8
	求解時間(秒)	36.8	318.8

4.5 模擬評估

本研究透過模擬各入境航班行李實際抵達行李卸載轉盤的狀況，評估確定性規劃模型(Deterministic model, DM)與隨機性規劃模型(Stochastic model, SM)所產生之預先指派計畫之穩健性。此處特別說明於進行確定性規劃時，本研究將入境航班規劃抵達時間(schedule time)作為唯一考慮之抵達時間情境，以之發展確定性規劃下之行李轉盤流動網路。本研究使用與隨機性規劃模型相同之測試例題，於移除不確定性因子(例如：隨機抵達時間情境)之後求解得出確定性規劃模型之預先入境航班指派計畫，再進行模擬評估。

4.5.1 模擬評估架構

本研究將模擬評估的流程分成兩個階段，第一階段為求解兩個模型個別的預先指派計畫；第二階段為依據行李處理相關人員提供的現場入境航班行李指派規則以及隨機抽樣產生的入境航班實際抵達時間，進行預先指派計畫之調整，並且使用評估指標以比較計畫調整前與後的差異。模擬評估的流程如下圖 4-4 所示：

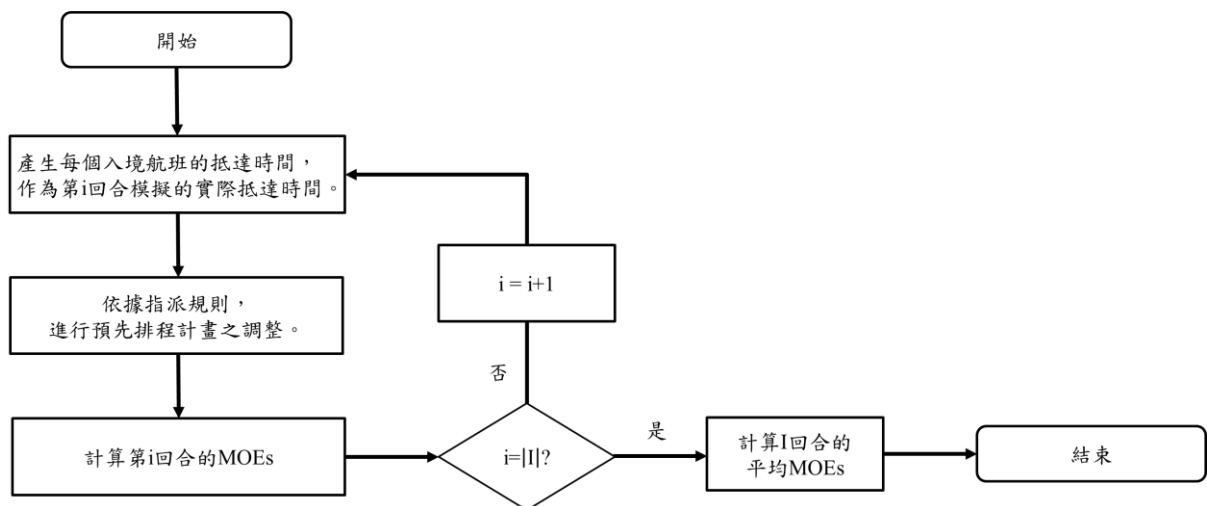


圖 4-4 模擬評估架構圖

資料來源：本研究自行繪製

模擬評估可分成 4 個執行步驟，各步驟之敘述如下：

步驟 1：將 i 設為 1，並透過隨機抽樣產生第 i 回合下各個入境航班的實際抵達時間。

(實際抵達時間之產生方式：從 0 到 4 的整數之間隨機抽取一數，並對應至預先指派計畫中各航班行李 5 個抵達情境中的某一情境，將該抵達情境的時間作為實際抵達時間。)

步驟 2：透過步驟 1 所產生的抵達時間以及指派規則，將兩個模型(DM、SM)預先求解之指派計畫進行調整。

步驟 3：依據各模型調整後之行李轉盤排程狀況，計算第 i 回合各模型的評估指標 (measures of effectiveness, MOEs)。

步驟 4：若 i 達到最大模擬次數 I 回合，則計算 I 個回合各個模型的平均 MOEs；反之，則設定 $i = i + 1$ ，並返回步驟 1 執行第 $i + 1$ 回合的模擬評估。

4.5.2 指派規則

本研究從與行李處理人員進行訪談的內容中，歸納出實務情況下行李處理人員依據入境航班實際抵達情況而執行的指派規則，以此規則進行兩種模型預先指派計畫的調整。本研究依循**先到先服務**(first come first serve, FCFS)之原則，當入境航班 A 實際抵達時間較入境航班 B 實際抵達時間來得早，即便於預先指派計畫中安排入境航班 B 的行李較入境航班 A 的行李早放上行李轉盤進行卸載，仍先考慮入境航班 A 之指派。實務上，第一件商務艙行李必須於航班抵達後的 15 分鐘內放上行李轉盤，因此，行李處理人員將採取先到先服務原則且盡快安排行李至閒置或是最快完成目前卸載作業之行李卸載轉盤。在模擬的過程中，若有入境航班無法使用預先安排的行李轉盤之情況，亦即原指派的行李轉盤當前被其他航班行李佔用或是發生突發事件，此時則需要進行重新指派。

重新指派入境航班至其他行李卸載轉盤可分成兩種情形來應對：

1. 若目前有其他閒置的行李轉盤可使用，則將航班行李指派至對後續航班行李卸載影響最小之行李轉盤。亦即，重新指派之航班行李完成卸載時間距離預先指派計畫中後續一個安排至此行李轉盤之航班行李開始卸載時間之差距越大者。如圖 4-5 所示，相比其他閒置轉盤(5 號及 7 號轉盤)，由 1 號轉盤先卸載航班 A 的行李，較不會影響下一個使用該轉盤的入境航班(B)行李卸載，兩航班行李卸載時段之間的閒置時

間為 50 分鐘，因此將航班 A 行李重新指派至 1 號轉盤。

<目前閒置>

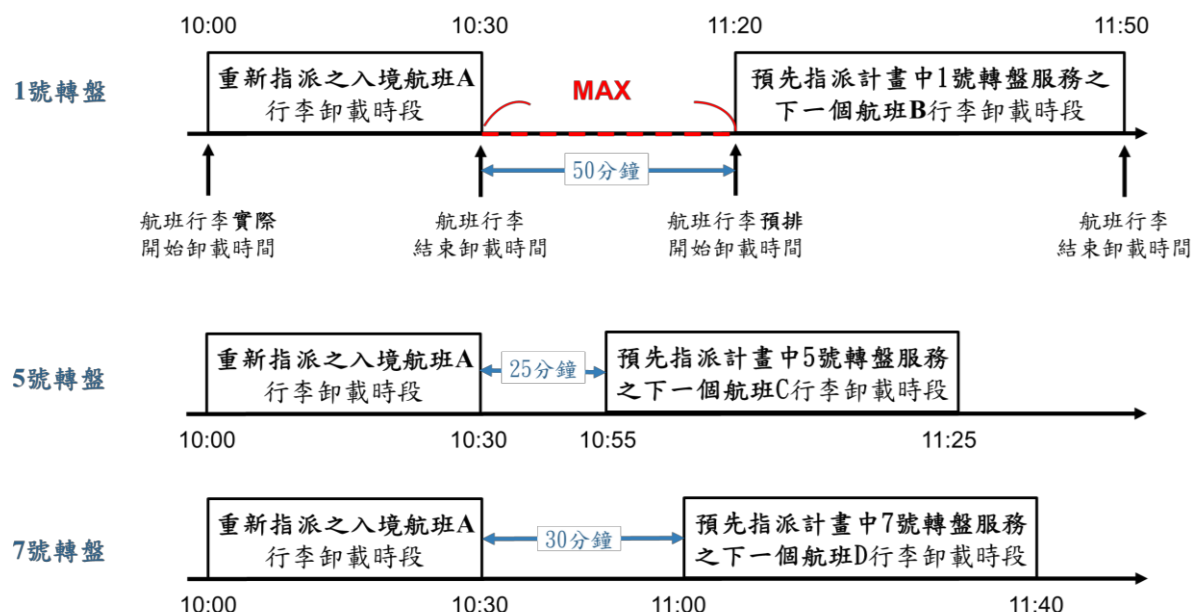


圖 4-5 重新指派規則示意圖(1)

- 若目前無任何閒置轉盤可使用，則會搜尋所有行李轉盤並指派至最快完成目前作業的轉盤，且設定當前航班行李須被服務至少 20 分鐘後，行李處理人員才可將卸載中的行李搬運至行李轉盤旁的空地擺放，進而讓行李轉盤能接續卸載新抵達之入境航班行李。如圖 4-6 所示，目前 1 號轉盤正在卸載入境航班 A 的行李，預計於 10:30 完成卸載。航班 B 行李於 10:18 抵達行李處理中心，必須等待 3 分鐘直到航班 A 行李被卸載 20 分鐘，1 號轉盤才可接續卸載航班 B 的行李。

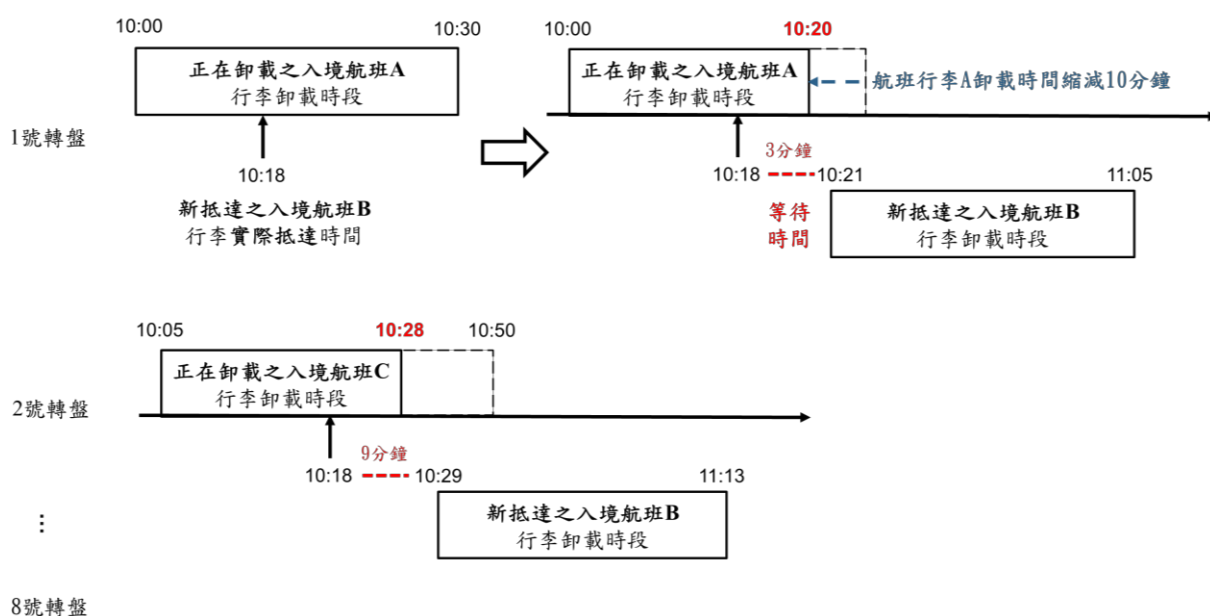


圖 4-6 重新指派規則示意圖(2)

4.5.3 評估指標

隨機性規劃模型之目標式為最小化期望總成本，而確定性規劃模型之目標式為最小化總成本，兩種數學模型中目標式所求之結果不同，因此無法將兩模型之目標式求解結果進行比較。本研究藉由兩個面向的評估指標(measures of effectiveness, MOEs)：無法滿足之入境航班需求數、與入境航班行李卸載相關之時間點之時間差進行評估。本研究探討的時間點包含數學模型求解之航班行李指派時間、行李實際抵達時間以及實際開始卸載時間。

在使用指派規則進行實際情況之模擬後，本研究於行李卸載時間相關之評估方面使用相對實際抵達時間之延遲(the delay relative to actual arrival time, DRA)以及相對指派時間之延遲(the delay relative to scheduled arrival time, DRS)兩項評估指標，以下針對評估指標之定義進行說明以及舉例。

- 相對實際抵達時間之延遲(the delay relative to actual arrival time, DRA)：

DRA 為實際開始卸載入境航班行李時間減去行李實際抵達轉盤時間，也可視為各航班行李抵達行李處理場後，依據本研究設計之指派原則而產生的等待卸載時間。

- 相對指派時間之延遲(the delay relative to scheduled arrival time, DRS)：

DRS 為實際開始卸載入境航班行李時間減去模型求解所得之指派時間，可透過比較兩個數學模型之 DRS 值，了解兩者於求解績效上之差異。

本研究為了探討入境航班實際抵達之情況，將其分為較模式指派時間早到以及晚到之情境，進而求解不同情境以及指派當下是否有行李轉盤可使用的條件下之 DRA 和 DRS 的值。如圖 4-7 所示，當入境航班行李較模式指派時間早抵達行李處理場，若此時有轉盤為閒置且可卸載該航班行李，則會立刻安排行李放上轉盤並開始進行卸載，不須等待至原指派時間，因此 DRA 為 0 分鐘(不須等待至原指派時間)、DRS 為-12 分鐘(可提早 12 分鐘開始卸載行李)。若目前無轉盤可卸載該航班行李時，則須等待目前最快完成其他航班行李卸載作業之轉盤，因此 DRA 為 3 分鐘、DRS 為-9 分鐘。

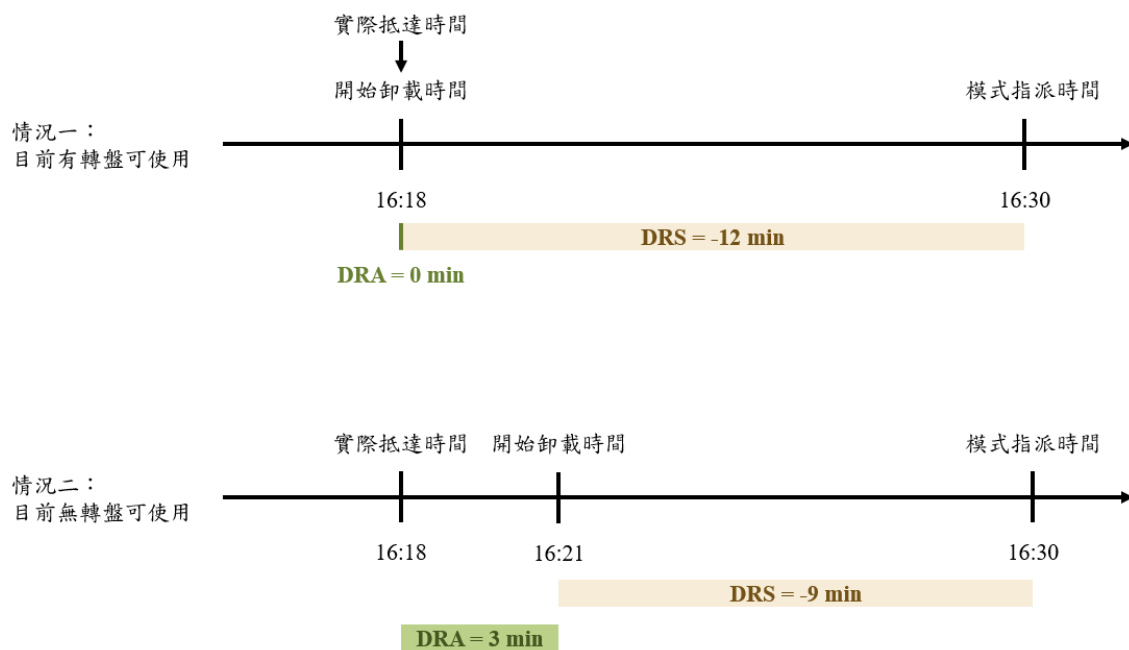


圖 4-7 早到情況之評估指標計算示意圖

於入境航班實際抵達時間較模式指派時間晚之情境而言(如圖 4-8 所示)，若航班行李抵達行李處理場時，目前有行李轉盤可卸載該航班行李，為了讓商務艙行李準時被卸載，地勤人員也會立刻安排行李放上轉盤開始卸載，因此 DRA 為 0 分鐘、DRS 為-30 分鐘。反之，若當下無閒置轉盤可卸載該航班行李，則須等待目前最快完成其他航班行李卸載作業之轉盤，因此 DRA 為 5 分鐘、DRS 為 35 分鐘。

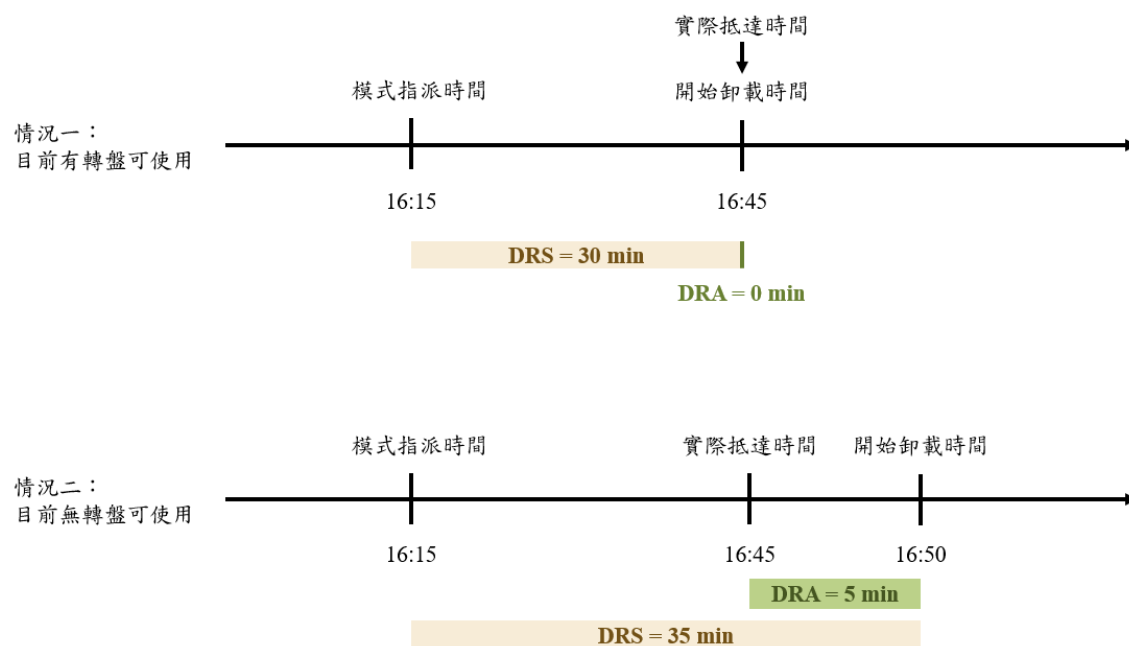


圖 4-8 晚到情況之評估指標計算示意圖

於模擬的最後一個步驟中，若 i 達到最大模擬次數 I 回合，則計算 I 個回合各個模型的平均 MOEs。本研究將所有回合中有被服務之入境航班行李(於規劃時間內抵達之航班集合 $|B|$ 減去經過模擬指派後未能被服務之入境航班數 U)之各個評估指標進行加總以及平均。此處需特別說明由於早到情形下求解 DRS 值為負值，為了避免早到與晚到情形之 DRS 值互相抵消，因此在加總 DRS 值時，採用 $\max(0, DRS_b^i)$ 。兩個平均 MOEs 之計算方式如下：

- 平均相對實際抵達時間之延遲(average DRA)：

$$average\ DRA = \frac{1}{|I| \times (|B| - U)} \sum_{i \in I} \sum_{b \in B} DRA_b^i$$

- 平均相對指派時間之延遲(average DRS)：

$$average\ DRS = \frac{1}{|I| \times (|B| - U)} \sum_{i \in I} \sum_{b \in B} DRS_b^i$$

4.5.4 模擬評估結果分析

本研究針對大型例題進行確定性規劃模型與隨機性規劃模型之求解，兩種數學模型各自求解出一個預先之入境航班指派計畫，並依據指派規則調整預先計畫。根據本研究之實驗測試後，當回合數達到 100 回合時，評估指標趨於穩定，因此本研究將 $|I|$ 設為 100 進行模擬評估。模擬評估之結果如下表 4-8 所示。

表 4-8 模擬評估結果

測試例題		大型	
規劃型態		確定性規劃	隨機性規劃
問題規模	總供給(轉盤數)	8	8
	總需求(入境航班數)	146	146
	變數個數	84,855	2,022,799
	限制式個數	2,792	13,304
最佳解	總目標值	404	141.469
	總懲罰成本	124	0
	第一項目標值	0	141.469
	第二項目標值	280	0
	入境航班被服務數量	143	146
	未被服務數量	3	0
	使用轉盤數量	8	8
	求解時間(秒)	36.8	318.8
模擬評估 (100 回合)	平均 DRA(分鐘)	3.5836	5.0116
	標準差(分鐘)	1.8025	2.1878
	平均 DRS(分鐘)	8.9926	5.5
	標準差(分鐘)	0.9682	0.7688
	未被服務數量	4	0

本研究針對與時間相關之評估指標以及未被服務之入境航班數量進行分析。第一種為航班行李實際抵達時間點與行李開始卸載之時間點相關之指標平均 DRA，此指標之值表示航班行李實際抵達行李處理場後，需等待人員分配行李轉盤之平均等待時間；第二種為模式求解而得之指派時間與行李開始卸載時間點相關之指標平均 DRS，此指標之值可呈現確定性與隨機性規劃模式求解之預先指派計畫之穩健性，可從中得知實際開始卸載時間與預先指派計畫中各航班行李的指派時間之間是否有差距。

如表 4-8 所示，透過確定性規劃模型所求得之預先指派計畫下，不論入境航班為早到或晚到，每個入境航班行李抵達行李處理場後，須平均等待約 3 至 4 分鐘才會放上轉盤進行卸載；而在隨機性規劃模型所得之預先指派計畫下，各航班行李須平均等待 5 分鐘才會被安排卸載。由此可知，依據模型求解之預先指派計畫進行航班行李的指派，各航班行李實際等待卸載時間皆少於 10 分鐘，相較於由現場的行李處理人員判斷目前指派情況再進行航班行李的指派，可得到較有效率且成本較少之安排。針對確定性模型與隨機性模型進行模擬後之 100 回合的 DRA 值分布，如圖 4-9 所示，x 軸為 DRA 值，y 軸為出現頻率。

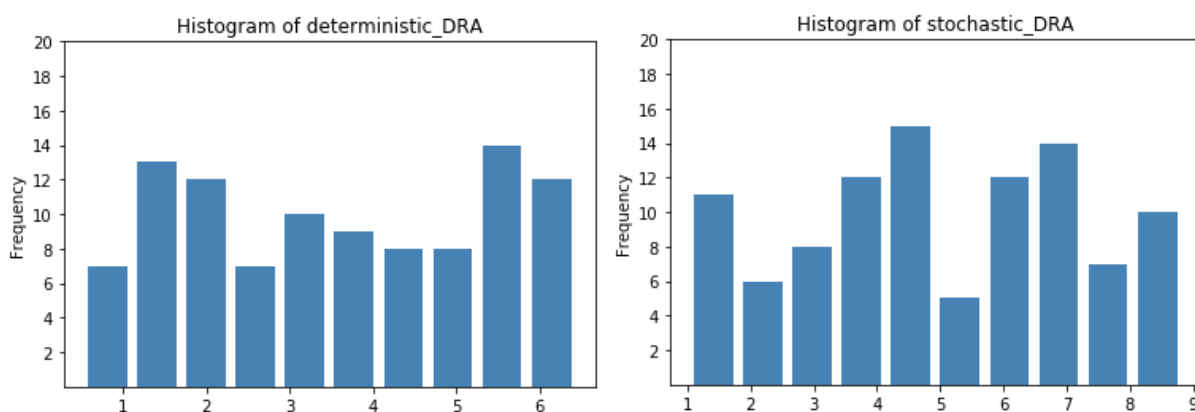


圖 4-9 確定性模型與隨機性模型之 DRA 數值分布直方圖

接著，探討兩模型所求得之預先指派計畫於平均 DRS 指標之表現。於確定性規劃之情況下，平均各入境航班行李之指派時間與實際開始卸載時間之時間差約為 9 分鐘，相較於透過隨機性規劃所求之預先指派計畫約為 5.5 分鐘之平均時間差，幾乎為兩倍的時間。由此可知，實行隨機性規劃模型所求得之預先指派計畫對於實際指派情況為較穩健之安排。針對確定性模型與隨機性模型進行模擬後之 100 回合的 DRS 值分布，如圖 4-10 所示，x 軸為 DRS 值，y 軸為出現頻率。

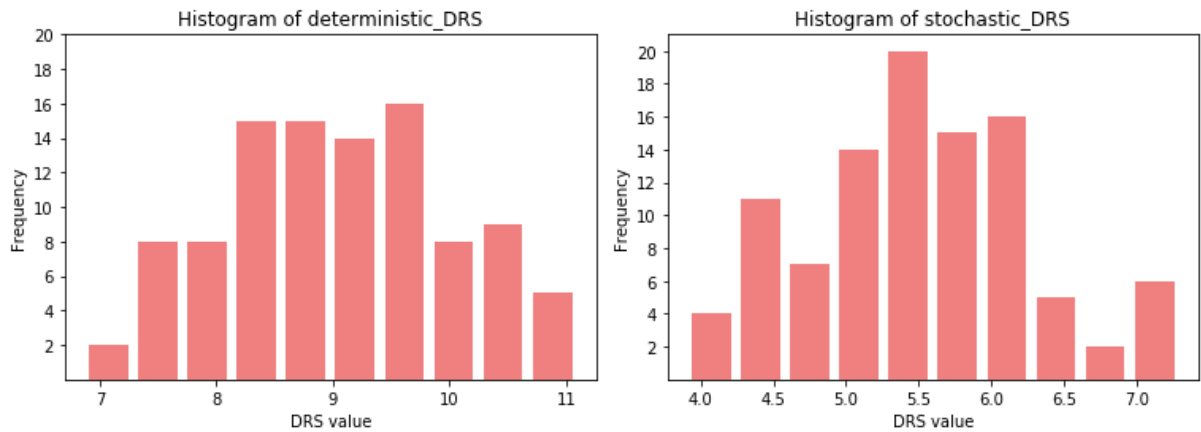


圖 4- 10 確定性模型與隨機性模型之 DRS 數值分布直方圖

最後針對平均未被服務之入境航班數量進行分析。如表 4-8 灰底內容所示，在求解預先指派計畫階段，透過確定性規劃模型進行問題求解時已出現 3 個未被服務之入境航班，而加入實際指派規則進行模擬後多出現一個入境航班行李未被行李轉盤服務之情形。若是實行隨機性規劃模型所求得之預先指派計畫，考量抵達時間之不確定性，可達到所有入境航班行李皆被服務之目標。

4.6 敏感度分析

本小節利用大型例題之問題規模以及針對行李卸載轉盤排程模式運用到的參數進行敏感度分析，探討參數的變動對於模式造成的影響。包含入境航班行李未被任何轉盤服務而產生的單位時間懲罰成本、入境航班行李未預期抵達轉盤對於後續入境航班行李指派之影響權重($w_{b,f}^{v,s}$)、對本身航班行李指派之影響($w_{b,i}^{v,s}$)，以及第二項研究目標中，根據與入境大廳入口之距離設定入境航班指派之指派成本($y_{(i,j)}^k$)四個參數。

4.6.1 單位時間懲罰成本之敏感度分析

此處進行分析的單位時間懲罰成本(\$/分鐘)參數與未被服務之入境航班行李所需卸載時間總和相乘，可得到未能服務入境航班行李之總懲罰成本($\tau_{(i,j)}^{kv}$)。本研究將此參數設為一較大之正數，期望本模式能在規劃時間內安排行李卸載轉盤服務越多的入境航班行李越好。

本研究調動此參數的值並觀察其變動對於隨機性模式之影響，分別將單位時間懲罰成本設定為 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0，五種情況，而其他參數則固定，如下表 4-10 中的第 5 至 8 列所示。從最佳解的結果可見，由於本研究使用過往的實際資料中各入境航班常用之行李卸載轉盤編號，且供給量和需求量平衡，因此所有入境航班行李皆可被行李卸載轉盤服務。

表 4-9 大型隨機性規劃模式例題於不同單位時間懲罰成本之求解結果

問題規模	總供給(轉盤數)	8				
	總需求(入境航班數)	146				
	變數個數	2,022,799				
	限制式個數	13,304				
參數	航班未被服務之 單位時間懲罰成本	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
	對後續航班影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	對航班自身影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	指派成本倍數	5	5	5	5	5
最佳解	總目標值	147.009	142.399	141.469	146.565	146.539
	目標值變化	+3.9%	+0.6%	-	+3.6%	+3.58%
	總懲罰成本	0	0	0	0	0
	第一項目標值	147.009	142.399	141.469	146.565	146.539
	第二項目標值	0	0	0	0	0
	入境航班被服務數量	146	146	146	146	146
	未被服務數量	0	0	0	0	0
	使用轉盤數量	8	8	8	8	8
	求解時間(秒)	320	319	318.8	320.12	317.87

承上，由於透過隨機規劃模式求解之結果，於敏感度分析中無法看出未被服務需求數量之變化，因此本研究將此參數之敏感度分析改為使用大型確定性規劃模式例題之資料進行分析。如表 4-11 所示，當單位時間懲罰成本增加，未被服務的入境航班數目下降，但是目標值受單位時間懲罰成本影響而逐漸上升，因為總懲罰成本為未被服務之入境航班行李所需卸載時間總和乘以單位時間懲罰成本而得，可見表格倒數第三列之資訊。由於單位時間懲罰成本等於 2.0 時所求得之入境航班行李未被服務數量較少以及求解時間較短，相較於其他情況來得好，因此本研究於進行範例測試時，將此參數設定為 2.0。

表 4-10 大型確定性規劃模式例題於不同單位時間懲罰成本之求解結果

問題規模	總供給(轉盤數)	8				
	總需求(入境航班數)	146				
	變數個數	84,855				
	限制式個數	2,792				
參數	航班未被服務之 單位時間懲罰成本	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
	對後續航班影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	對航班自身影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	指派成本倍數	5	5	5	5	5
最佳解	總目標值	207	308	404	463	519
	目標值變化	-48.7%	-23.7%	-	+14.6%	+28.4%
	總懲罰成本	122	133	124	168	224
	第一項目標值	0	0	0	0	0
	第二項目標值	85	175	280	295	295
	入境航班被服務數量	132	137	143	144	144
	未被服務數量	14	9	3	2	2
	未被服務航班行李所 需卸載時間之總和 (分鐘)	244	133	62	56	56
	使用轉盤數量	8	8	8	8	8
	求解時間(秒)	32.3	30.6	28.72	28.83	29.33

4.6.2 對後續入境航班行李影響權重之敏感度分析

此處進行分析的對後續入境航班行李影響權重參數為第一項研究目標，非預期抵達之排程延誤成本之期望值於計算時所使用到的參數。本研究分別將此權重參數設定為 0.1、0.25、0.5、1.0、2.0，五種情況，而其他參數則設為固定，觀察調動此參數之值對於隨機性模式之影響。從最佳解的結果可見，隨著權重增加，總目標值以及第一項目標值隨之增加，但增加幅度不大。因此選擇將影響權重參數設為中間值 0.5，此時所求得的總目標值相較於其他情況來得小且求解時間也較短，符合本研究追求最小化成本的目標，因此本研究於進行範例測試時，將此參數設定為 0.5。

表 4-11 大型隨機性規劃模式例題於不同後續入境航班行李影響權重之求解結果

問題規模	總供給(轉盤數)	8				
	總需求(入境航班數)	146				
	變數個數	2,022,799				
	限制式個數	13,304				
參數	單位時間懲罰成本	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	對後續航班影響權重	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0
	對航班自身影響權重	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	指派成本倍數	5	5	5	5	5
最佳解	總目標值	138.443	139.68	141.469	153.376	169.185
	目標值變化	-2.1%	-1.26%	-	+8.4%	+19.5%
	總懲罰成本	0	0	0	0	0
	第一項目標值	138.443	139.68	141.469	153.376	169.185
	第二項目標值	0	0	0	0	0
	入境航班被服務數量	146	146	146	146	146
	未被服務數量	0	0	0	0	0
	使用轉盤數量	8	8	8	8	8
	求解時間(秒)	341.23	351.64	318.8	321	319

4.6.3 對入境航班行李本身影響權重之敏感度分析

此處進行分析的對入境航班行李本身影響權重參數為第一項研究目標，非預期抵達之排程延誤成本之期望值於計算時用到的參數。本研究分別將此權重參數設定為 0.1、0.25、0.5、1.0、2.0，五種情況，而其他參數則設為固定，觀察調動此參數之值對於隨機性模式之影響。本研究計算非預期抵達之排程延誤期望成本時，不論情境屬於早到或晚到，對入境航班行李本身影響程度相較於對後續航班之影響，於期望成本中佔有較大比重(可見第 20 頁之相關敘述與範例)，因此調動此參數進行敏感度分析，將會發現各目標值間變化大之情形。從最佳解的結果可見，隨著權重增加，總目標值以及第一項目標值隨之增加，但各目標值間變化大。因此本研究於進行範例測試時，將此參數設定為平均值 0.5，於此情況下求解時間較短。

表 4-12 大型隨機性規劃模式例題於不同入境航班行李本身影響權重之求解結果

問題規模	總供給(轉盤數)	8				
	總需求(入境航班數)	146				
	變數個數	2,022,799				
	限制式個數	13,304				
參數	單位時間懲罰成本	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	對後續航班影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	對航班自身影響係數	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0
	指派成本倍數	5	5	5	5	5
最佳解	總目標值	52.8472	90.2046	141.469	213.705	301.19
	目標值變化	-63%	-36.2%	-	+51%	+113%
	總懲罰成本	0	0	0	0	0
	第一項目標值	52.8472	90.2046	141.469	213.705	301.19
	第二項目標值	0	0	0	0	0
	入境航班被服務數量	146	146	146	146	146
	未被服務數量	0	0	0	0	0
	使用轉盤數量	8	8	8	8	8
	求解時間(秒)	323.50	339.59	318.8	322.6	331.2

4.6.4 指派成本之敏感度分析

此處進行分析的參數為依據行李卸載轉盤與入境大廳入口之距離設定入境航班指派至行李卸載轉盤的指派成本。本研究分別將此參數設定為 3 倍、5 倍、6 倍、10 倍，四種情況，而其他參數則設為固定，觀察調動此參數之值對於隨機性模式之影響。從最佳解的結果可見，隨著倍數增加，總目標值以及第一項目標值隨之增加，但各目標值之間差距不大。當指派成本倍數等於 5 時所求得的總目標值，相較於其他情況來得小，也符合本研究追求最小化成本的目標，因此本研究於進行範例測試時，將此參數設定為 5 倍。

表 4- 13 大型隨機性規劃模式例題於不同指派成本倍數之求解結果

問題規模	總供給(轉盤數)	8			
	總需求(入境航班數)	146			
	變數個數	2,022,799			
	限制式個數	13,304			
參數	單位時間懲罰成本	2.0	2.0	2.0	2.0
	對後續航班影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5
	對航班自身影響係數	0.5	0.5	0.5	0.5
	指派成本倍數	3	5	6	10
最佳解	總目標值	143.979	141.469	143.223	145.195
	目標值變化	+1.77%	-	+1.23%	+2.63%
	總懲罰成本	0	0	0	0
	第一項目標值	143.979	141.469	143.223	145.195
	第二項目標值	0	0	0	0
	入境航班被服務數量	146	146	146	146
	未被服務數量	0	0	0	0
	使用轉盤數量	8	8	8	8
	求解時間(秒)	319	318.8	319.53	318.46

4.7 小結

本模式引入國內某國際機場於行李卸載轉盤排程以及入境航班指派所產生的實際資料，加上本研究設計的五種入境航班隨機抵達時間情境與相關假設。本章節透過三種範例測試、中型與大型例題之隨機規劃模型評估、大型例題之模擬評估以及四種參數之敏感度分析，進一步探討本研究發展之行李卸載轉盤排程系統之可行性。本研究將四種參數進行敏感度分析後，以最小化總目標值(成本)為目標，將單位時間懲罰成本設為 2.0、對後續入境航班行李影響權重設為 0.5、對自身入境航班行李影響權重設為 0.5 以及指派成本之倍數設為 5 倍，利用此參數設定組合求解大型範例，可得到不錯的求解結果。於規劃時間內系統供給的轉盤數量皆能服務所有入境航班行李的需求量，且依照入境航班過往使用的行李卸載轉盤進行指派。此外，本隨機規劃模型可在 10 分鐘以內求得入境航班與行李卸載轉盤配對之最佳解，且從模擬評估之結果可得知實行隨機性規劃模型所求得之預先指派計畫為較穩健且有效率之指派方式。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本章節乃經由研究背景、研究方法、範例測試與隨機規劃模式評估以及各參數敏感度分析之結果歸納出以下結論：

1. 研究背景

疫情爆發前，機場的出入境人數逐年增加，伴隨著行李處理量亦大幅增加。實務上，入境航班的抵達時間常因氣候及交通因素而有變動，進而導致臨時更改行李卸載轉盤之情況發生，使得地勤人員於處理卸載問題和旅客提領行李時產生混亂。本研究於訪談過程中得知，目前入境航班的預先指派計畫是由各家航勤公司自行安排且是仰賴人工經驗的方式將入境航班指派至行李卸載轉盤，缺乏整合且有效率的指派規劃。若能考量入境航班抵達時間變動的可能情境和旅客步行距離，且透過統一的指派模式取代人工指派，將能更有效的運用現有的行李卸載轉盤資源，提升行李卸載的作業效率，也能增加旅客對行李提領服務的滿意度。

2. 研究方法

本研究探討將入境航班行李指派至行李卸載轉盤之議題。建立以最小化入境航班非預期抵達之排程延誤期望成本、最小化考量旅客步行至行李卸載轉盤之距離及各入境航班常用之行李卸載轉盤而產生的指派成本為研究目標之行李轉盤排程隨機最佳化模式。本研究引用機場實際資料，設計出三種測試例題，使用C++語言撰寫程式並將數學式輸入至最佳化求解軟體Gurobi Optimizer進行問題求解，並針對各項結果進行分析。本研究應用流動網路圖之概念設計一個一般化架構予考慮入境航班抵達時間具有不確定之行李卸載轉盤排程問題，可簡化隨機規劃之數學模型建構。

3. 範例測試、隨機規劃模型與確定規劃模型之比較、模擬評估與敏感度分析

本模式採用實際指派資料與本研究設計的五種入境航班隨機抵達時間情境與相關假設，建立三種範例測試。接著依序進行一周指派分析、中型與大型例題之模式評估、大型例題之模擬評估以及四種參數之敏感度分析，以探討本研究發展之行李卸載轉盤排程系統之可行性。本研究求解的大型例題即為實際資料中一天的入境航班資料量，有146個入境航班及32155件旅客行李，透過8個行李卸載轉盤進行卸

載服務。本研究將四種參數進行敏感度分析後，以最小化總目標值(成本)為目標，將單位時間懲罰成本設為2.0、對後續入境航班行李影響權重設為0.5、對自身入境航班行李影響權重設為0.5以及指派成本之倍數設為5倍，利用此參數設定組合求解大型範例，可在10分鐘以內求得入境航班與行李卸載轉盤配對之最佳解，且於規劃時間一天內系統供給的轉盤數量皆能服務所有入境航班行李的需求量。於模擬實際情況後，依據DRA、DRS以及未被服務之航班數量三項評估指標，可得知透過隨機性規劃所建立之入境航班行李預先指派計畫與實際情況較為接近，且可得到較為穩健且成本最小之指派。

5.2 未來研究方向建議

本研究後續可發展之研究方向如下：

1. 可於後續研究中與國內機場行李處理相關人員合作，以取得更精確之入境航班行李卸載需求資訊。例如：各航班實際行李量以及實際完成一航班行李卸載所需耗費之時間計算。
2. 本研究假設不考量因當日行李運送事故、人為因素等而產生突發狀況，未來可將行李卸載轉盤故障或是行李處理場發生事故無法處理航班行李之情況納入考量，重新調整入境航班的指派。
3. 本研究目前將大型例題中各入境航班隨機抵達情境數設為 5 個，未來研究可依據資料型態設定情境數目。
4. 可於未來研究中加入同時卸載多個入境航班之行李的考量，以更貼近實務情況。

參考文獻

1. Abdelghany, A., Abdelghany, K., & Narasimhan, R. (2006). Scheduling baggage-handling facilities in congested airports: *Journal of Air Transport Management*, Volume 12, Issue 2, 76–81.
2. Ascó, A., Atkin, J.A.D., & Burke, E.K. (2011). The airport baggage sorting station allocation problem: *The 5th Multidisciplinary International Scheduling Conference, MISTA*.
3. Birge, J. R. (1982). The value of the stochastic solution in stochastic linear programs with fixed recourse. *Mathematical programming*, 24(1), 314–325.
4. Bunte, S., & Kliwer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. *Public Transport*, 1(4), 299–317.
5. Barth, T. (2013). Optimal assignment of incoming flights to baggage carousels at airports: *Department of Management Engineering*, Technical University of Denmark.
6. Huang, E., Mital, P., Goetschalckx, M., & Wu, K. (2016). Optimal assignment of airport baggage unloading zones to outgoing flights: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94, 110–122.
7. Hwang, C.L. (1979). Multiple Objective Decision Making – Method and Application. *Springer, New York*.
8. Marinelli, M., Dell’Orco, M., Sassanelli, D. (2015). A metaheuristic approach to solve the flight gate assignment problem: *Transportation Research Procedia* 5, 211–220.
9. Frey, M., Kiermaier, F., & Kolisch, R. (2017). Optimizing Inbound Baggage Handling at Airports: *Transportation Science* 51(4), 1210–1225.
10. Yan, S., Lu, C. C., Hsieh, J. H., & Lin, H. C. (2015). A network flow model for the dynamic and flexible berth allocation problem. *Computers and Industrial Engineering*, 81, 65–77.
11. Yan, S., Lu, C. C., & Wang, M. H. (2018). Stochastic fleet deployment models for public bicycle rental systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(1), 39–52.
12. Yan, S., Lu, C.-C., Hsieh, J.-H., & Lin, H.-C. (2019). A Dynamic and Flexible Berth Allocation Model with Stochastic Vessel Arrival Times. *Networks and Spatial Economics*.
13. 邱佳宜 (2019), 「考量抵達時間隨機性之共享停車系統車位排程最佳化模式」, 國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。

14. 施昺義 (2015),「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。
15. 洪筠筑 (2019),「預約制共享停車位系統車位使用之最佳化排程問題」,國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。
16. 洪逸樺 (2018),「機場行李卸載轉盤指派問題之研究」,國立中央大學土木工程所碩士論文。
17. 張承裕 (2016),「考慮物流士作業能力與服務時間相似度之車輛路徑問題」,國立臺北科技大學工業工程與管理所碩士論文。
18. 陳怡廷 (2019),「因應臨時事件機場行李卸載轉盤即時指派之研究」,國立中央大學土木工程所碩士論文。
19. 蔡其峰 (2020),「以變數產生法求解預約制停車位共享系統車位指派問題」,國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。