

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

智慧型港口內拖車指派問題之研究

An Assignment Method for the Trailer Routing in Smart Ports



研究生：黃品嘉
指導教授：黃明居、黃寬丞

中華民國一百零八年七月

智慧型港口內拖車指派問題之研究

An Assignment Method for the Trailer Routing in Smart Ports

研究生：黃品嘉

Student：Pin-Chia Huang

指導教授：黃明居、黃寬丞

Advisor：Ming-Jiu Huang、Kuan-Cheng Huang



July 2019

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇八年七月

智慧型港口內拖車指派問題之研究

研究生：黃品嘉

指導教授：黃明居、黃寬丞教授

國立交通大學

運輸與物流管理學系

摘要

隨著科技蓬勃發展，大數據時代來臨，港口智慧化成為必然之趨勢。除了硬體設備的汰換更新，管理營運模式也應轉型以因應智慧型港口帶來的改變，因此本研究透過文獻整理探討智慧型港口與傳統港口之差異，並在後續研究中參考實務資料，建立模擬智慧型港口之環境。本研究以台灣基隆港為例，考量在半自動化貨櫃儲運場區之環境下，如何利用即時資訊指派場內拖車，降低場內拖車在貨櫃儲運場內的總行駛時間與停等時間，以達成智慧型港口提升營運效率的目標。

本研究發展在智慧型港口下貨櫃儲運場內之拖車指派模式，先以數學指派模型表示問題，再應用貪婪演算法(Greedy Heuristics)，提出模擬應用即時資訊之智慧指派模式，解決實務規模較大之場內拖車指派問題。並為了貼近實務指派現況，本研究以先到先服務(First Come First Serve, FCFS)為概念的目前指派。最後，建置情境模擬以模擬實務情境，進而分析兩種指派模式之差異性。

關鍵詞：智慧型港口、半自動化貨櫃儲運場、場內拖車指派模式

An Assignment Method for the Trailer Routing in Smart Ports

Student : Pin-Chia Huang

Advisor : Dr. Ming-Jiu Huang,

Dr. Kuan-Cheng Huang

Department of Transportation and Logistics Management

National Chiao Tung University

Abstract

With the rapid development of science and technology, the smart port has become an inevitable trend. In addition to the replacement of hardware devices, the operation model should be transformed. The study not only reviews literatures to explore the difference between the smart port and the traditional port but establishes an environment to simulate the smart port. In a case study of Taiwan's Keelung Port, the study considers how to use real-time information to assign trailers in the semi-automatic container terminal. In order to improve the efficiency of the smart ports, the method minimizes the total traveling time and waiting time of trailers.

The study proposes an assignment method for the trailer routing in smart ports. The mathematical model is used to express the problem, and the Greedy Heuristics Algorithm is applied to the smart assignment mode. To get close to the current assignment situation, the study proposes the current assignment mode based on the concept of First Come First Service. Finally, scenario simulation is built to simulate the current situation, and analyzing the differences between the two assignment modes that the study proposes.

Keywords: smart port 、 semi-automatic container terminal 、 trailer assignment method

誌謝

光陰似箭，轉眼在交大待了六年，回憶這六年來，回憶就像跑馬燈，充斥著酸甜苦辣，其中最大的收穫就是遇到了一群好朋友、好閨密，同時也是好戰友，從大學到研究所相互陪伴、扶持、成長，每天嘻嘻哈哈、打打鬧鬧，竟在不知不覺中已經從高中畢業生成為社會新鮮人。並感謝我的指導教授黃明居與黃寬丞教授，在撰寫論文期間，適時給予細心的指導使我獲益良多，也在重要時刻鼓勵我，讓我一路上能充滿力量的前進，並順利通過口試。

同時，謝謝黃明居老師帶我去基隆港務局實際訪查，讓我有機會能接觸到實務操作面，使研究的貢獻度提升，也很謝謝實驗室的學弟妹，在我撰寫程式的期間蒐集了許多相關參考文獻，讓我增加文獻回顧的豐富程度。在撰寫程式的期間，也很感謝所有被我詢問的朋友們，幫我一起看邏輯上或語法上的錯誤，如果不是你們，我真的無法順利完成情境模擬並完成論文的撰寫。

最後，最感謝的是永遠在背後支持我的家人，雖然經常默默擔心我是否能畢業，但還是在我面前避免這些話題，包容我的情緒起伏，給予我安全感、正能量，讓我在回家的時候能好好休息，讓我面對困難甚至卡關的時候，相信自己最終仍能克服難題，不要輕易放棄。

時常覺得自己是很幸運的人，總能天時地利人和，也能逢凶化吉，所以特別感謝媽祖、保生大帝等神明，在我犯太歲的這一年，順利發揮光明燈、太歲燈還有平安符的功用，通過了很多人生中重要的檻，希望在未來的人生，仍多多保佑我！

品嘉 謹記於
台北
民國一零八年夏

目錄

目錄	IV
圖目錄	V
表目錄	VI
第一章 緒論	1
1.1 研究背景及動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究方法.....	4
1.4 研究範圍.....	5
1.5 研究流程.....	6
第二章 文獻回顧.....	7
2.1 智慧型港口.....	7
2.2 港口運具調度.....	11
2.3 時窗限制下多倉收送貨問題.....	12
2.4 小結.....	15
第三章 智慧型港口內拖車指派問題求解.....	18
3.1 問題描述.....	18
3.2 智慧型港口拖車指派模式.....	20
3.3 模式求解與演算法.....	22
3.4 案例分析.....	26
第四章 基隆港區模擬情境與分析.....	28
4.1 基隆港區拖車指派現況.....	28
4.2 模擬環境與情境建置.....	29
4.3 情境模擬與分析.....	34
4.4 敏感度分析.....	52
4.5 小結.....	56
第五章 結論與建議.....	58
參考文獻	60
中文部分.....	60
英文部分.....	60

圖目錄

圖 1.1 智慧型港區下貨櫃儲運場示意圖	1
圖 1.2 智慧型港區轉型流程圖	2
圖 1.3 研究流程圖	6
圖 3.1 自動化貨櫃儲運場示意圖	19
圖 3.2 智慧指派模式求解流程圖	22
圖 3.3 目前指派模式求解流程圖	24
圖 3.4 案例分析示意圖	27
圖 4.1 基隆港西岸貨櫃儲運場拖車路線設計圖	30
圖 4.2 情境模擬 A1 之差異百分比變化	38
圖 4.3 情境模擬 A2 之差異百分比變化	41
圖 4.4 情境模擬 A3 之差異百分比變化	44
圖 4.5 情境模擬 B 之差異百分比變化	48
圖 4.6 情境模擬 C 之差異百分比變化	51
圖 4.7 情境模擬 C 之差異百分比變化細部圖	52
圖 4.8 懲罰成本之情境模擬下成本變化	54
圖 4.9 閒置時間之情境模擬下閒置時間變化	55



表目錄

表 2.1 文獻回顧整理表.....	17
表 4.1 模擬環境相關營運資料.....	30
表 4.2 橋式起重機之需求產生機率.....	31
表 4.3 門式起重機之需求產生機率.....	31
表 4.4 情境模擬架構表.....	32
表 4.5 指派需求架構表.....	33
表 4.6 裝貨情境模擬參變數表.....	33
表 4.7 卸貨情境模擬參變數表.....	34
表 4.8 裝卸貨情境模擬參變數表.....	34
表 4.9 情境模擬 A1 之指派需求量 30.....	35
表 4.10 情境模擬 A1 之指派需求量 50.....	36
表 4.11 情境模擬 A1 之指派需求量 100.....	36
表 4.12 情境模擬 A1 之指派需求量 200.....	37
表 4.13 情境模擬 A1 之指派需求量 300.....	37
表 4.14 情境模擬 A1 之運算結果比較.....	38
表 4.15 情境模擬 A2 之開始時間密集度高.....	39
表 4.16 情境模擬 A2 之開始時間密集度中.....	39
表 4.17 情境模擬 A2 之開始時間密集度低.....	40
表 4.18 情境模擬 A2 之運算結果比較.....	40
表 4.19 情境模擬 A3 之開始時間間隔 1 分鐘.....	42
表 4.20 情境模擬 A3 之開始時間間隔 10 分鐘.....	42
表 4.21 情境模擬 A3 之開始時間間隔 30 分鐘.....	43
表 4.22 情境模擬 A3 之運算結果比較.....	43
表 4.23 情境模擬 B 之指派需求量 30.....	45
表 4.24 情境模擬 B 之指派需求量 50.....	45
表 4.25 情境模擬 B 之指派需求量 100.....	46
表 4.26 情境模擬 B 之指派需求量 200.....	46
表 4.27 情境模擬 B 之指派需求量 300.....	47
表 4.28 情境模擬 B 之運算結果比較.....	47
表 4.29 情境模擬 C 之車輛數為 2.....	48
表 4.30 情境模擬 C 之車輛數為 3.....	49
表 4.31 情境模擬 C 之車輛數為 4.....	49
表 4.32 情境模擬 C 之車輛數為 5.....	49
表 4.33 情境模擬 C 之車輛數為 6.....	49
表 4.34 情境模擬 C 之車輛數為 7.....	50
表 4.35 情境模擬 C 之車輛數為 8.....	50
表 4.36 情境模擬 C 之車輛數為 9.....	50
表 4.37 情境模擬 C 之車輛數為 10.....	50
表 4.38 懲罰成本對車輛數之情境模擬環境設置.....	52

表 4.39 懲罰成本對車輛數之情境模擬結果	53
表 4.40 懲罰成本情境模擬之環境設置	53
表 4.41 懲罰成本對車輛數之情境模擬結果	54
表 4.42 閒置時間之情境模擬環境設置	54
表 4.43 閒置時間之情境模擬結果	55



第一章 緒論

1.1 研究背景及動機

隨著科技蓬勃發展，大數據時代來臨，港口智慧化成為必然之趨勢。交通部航政司(民 104 年)中，智慧型港口(Smart Port)就是將物聯網、大數據、雲端等新興科技應用於港口營運管理，使各項營運資料有效蒐集、分析及運用，優化港區資訊環境，加強港際、周邊城市間資訊整合與分享利用，以發揮資訊加值效益。

智慧型港口之營運模式如圖 1.1 所示，港區營運單位能藉由港區裝設之偵測器蒐集港區各作業環節之即時資訊，再透過港區之物聯網系統傳遞有用的資訊至相關作業單位，提升作業效能。以卸貨流程為例，智慧型港區能有效監控船期，掌握到船舶準確的定位，在船舶靠港後，作業單位能準確地分派所需要的橋式起重機以及貨車數量，在橋式起重機卸貨的過程中，港區營運單位也能透過貨車上的定位系統，即時掌握貨車位置並結合橋式起重機卸載的貨櫃種類及目的地等資訊，作出有效的派遣指令，同時貨車駕駛也能透過行動裝置接收到港區即時路況，減少塞車與尋找車位的時間浪費。透過應用港區即時資訊，智慧型港區營運單位能有效提升整體營運效率。

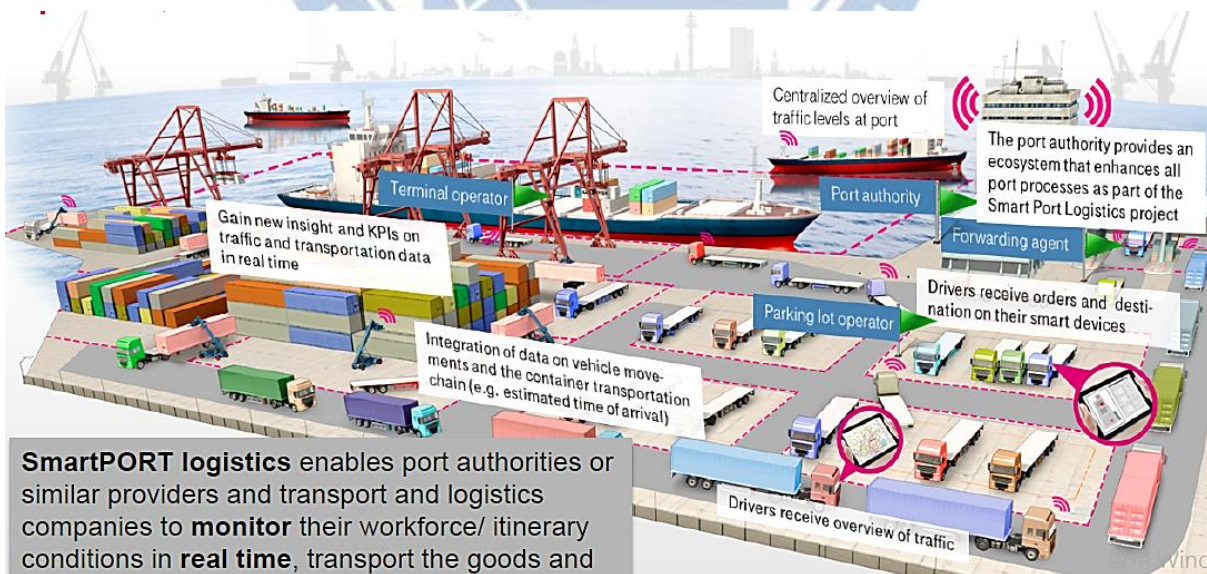


圖 1.1：智慧型港區下貨櫃儲運場示意圖

資料來源：Peter Filbey (2014)

Olaf Merk (2014)說明一個巨型港口(Mega-Ports)應滿足以下三項元素：貨運量、經濟規模與土地及水面利用面積，由此可知，一個巨型港口除了要滿足物理實質條件外，還要滿足貨櫃處理量及經濟代表規模等需求，因此目前巨型港口的實例多為貨櫃港，如：荷蘭鹿特丹港與德國漢堡港等。為了能加速提升巨型港口之營運效率，貨櫃型港口相較其他類型港口，如：郵輪港，更積極轉型成為智慧型港口，應用自動化作業系統與應用即時資訊以優化港區營運效率。如圖 1.2 所示，智慧型港口的轉型可分為四個階段，首先港區內各個單位將建立自動化系統，第二是將港區內各單位的系統串聯起來，接著是整合港區與腹地的系統，最後是連接港區與供應鏈，完成智慧型港口轉型的過程。

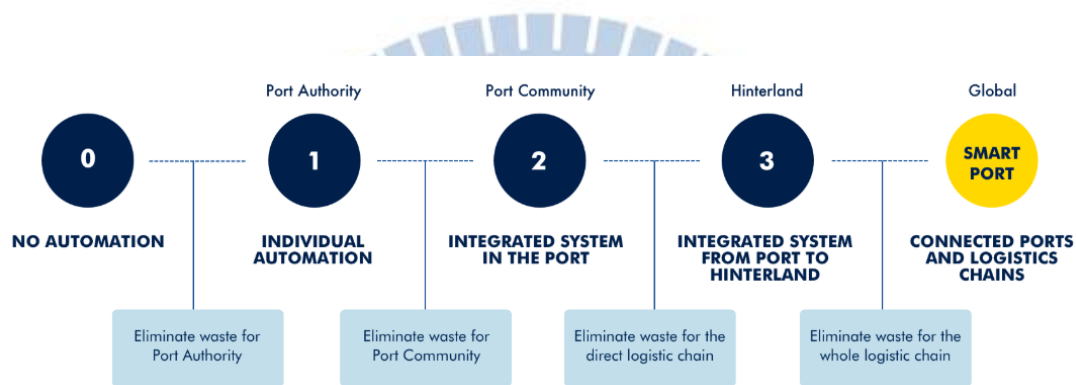


圖 1.2：智慧型港區轉型流程圖

資料來源：<https://www.portofrotterdam.com/en/port-forward/step-by-step-towards-a-digital-port>

智慧型港口為全球貨櫃港口之轉型趨勢，其中以荷蘭鹿特丹港與德國漢堡港之轉型成效最為顯著。荷蘭鹿特丹港與軟體研發公司，如：IBM 與思科(Cisco)等，共同研發軟體並合作打造智慧型港口，目標是在 2025 年實現港內航運連網全自動，使入港的船能在不須引水人的協助下，自動航行在港內水道。並透過物聯網、人工智慧及 3D 金屬列印等科技重新整建鹿特丹港之營運環境，計畫在碼頭磚頭、浮標及道路裝上感測器，該涵蓋範圍將橫跨鹿特丹市至北海共 42 公里陸地及海域，感測器將會蒐集有關潮汐、洋流以及氣候、溫度、風速、水位及泊位可用性等資訊，使港口實現更安全、更高效率的港口交通管理，並藉由 3D 金屬列印技術生產零件以降低成本(鹿特丹港官方網站，2019)。德國漢堡港整合陸上之道路、鐵路以及水上水道三大運輸系統，打造資訊整合平台，以即時反應客戶需求，同時使交通更加通暢、營運成本下降。在陸上運輸方面，漢堡港務局已在道路裝上三百多

個感應器以監測港區交通及橋樑上的軌道磨損狀況，並應用 APP 裝置提供即時交通及停車訊息給駕駛。而在海上運輸方面，漢堡港也在水路加裝感應器，收集水上交通數據以監測水上交通狀況(漢堡港官方網站，2019)。

在國內發展智慧型港口方面，臺灣交通部自民國 91 年起推動「航港資訊系統(91-95 年)(96-100 年)」兩期計畫，建立了航政監理設備、港棧電子票證、港區通行管理等港口智慧化之基礎建設，且臺灣港務公司與航港局推動「航港資訊系統發展計畫(102- 105 年)」，建置「航港資料庫」，促使臺灣港區資訊環境更加完善。經實際訪查得知，臺北港正在發展自動化櫃場，建立無線網路開發車輛定位、自動報到與資料交換等作業流程自動化，但目前門式軌道起重機與貨櫃車仍是人工操作，尚未全面無人化。在高雄港方面，已經引入自動化門式起重機，並以中央統一控制的模式提升港區營運效率，同時也降低人力成本。由此可知，臺灣已具備智慧型港口建立之基礎，並計畫轉型傳統港區成為智慧型港口。

根據上述國內外案例得知，物聯網、雲端科技與人工智慧等相關技術已逐漸廣泛應用在智慧型港口之發展，用以蒐集港區內各營運相關即時性資料與自動化。然而，港區營運單位在蒐集到各方資料後，如何在這資料量龐大的巨量資料中篩選出有用的資訊並加以應用，甚至預測出未來的經營環境並搭配出適合的營運策略，已成為智慧型港口轉型之主要目標之一。因此，在轉型成智慧型港口的過程中，除了發展港區硬體設備外，港區營運單位也應建構出相關管理系統與數學運算模型，以因應智慧型港口在硬體方面之轉變，進而達到提升港區營運效率之目標。

本研究以臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司港區營運現況為主要研究對象，同時經營貨輪與郵輪兩大業務，並以積極發展郵輪產業為導向，將大部分的資源投入郵輪港區的經營，但仍需維持基隆貨櫃港區營運，因此如何在有限資源下提升貨櫃儲運場的裝卸效率成為一重要課題。比較國外發展智慧型港口的經驗，多以建立港區即時資訊系統為背景，同時引入無人運具，如：無人車、無人船等，以降低港區人力成本，但以基隆港發展現況，無人運具的投資金額龐大，基隆貨櫃港區無法投入大量資金於硬體設備汰換，且考量無人車技術目前尚未成

熟，本研究將於後續研究以貨櫃儲運場為研究範圍，半自動化運具為研究對象，嘗試優化運具指派以降低港區裝卸貨的時間，進而提升港區營運效率，達到轉型成智慧型港口的目標。

1.2 研究目的

本研究將在智慧型港口的前提下，以不同情境分析，搭配基隆港務分公司的實際營運資料應用本研究所提出的數學模型及指派模式，找出對基隆港務分公司最適合的指派模式與使用環境，以供未來臺灣港務公司發展智慧型拖車指派問題時做參考，本研究之研究目的如下：

- (一) 探討智慧型港口之組合元素並收集整理國內外相關經驗，以供台灣未來發展智慧型港口參考。
- (二) 發展數學指派模型表示在智慧型港口下，基隆港區貨櫃儲運場內之拖車指派運輸模式，以供未來智慧型港口制定相關管理模式時參考。
- (三) 建置求解演算法，建置符合在智慧型港口下，能解決台灣貨櫃儲運場內之拖車指派問題之指派模式，以提升智慧型港區營運之效率，並降低其營運成本。
- (四) 模擬情境分析，使港區營運單位在運算資源及營運效能間取得平衡，以期將問題更貼近現實。

本研究將以港口利益最大化為目標，設計適合未來台灣智慧型港區之拖車指派之數學模型及運用港區即時資訊之智慧型指派模式，因應智慧型港口之硬體設備之發展，以期未來能降低港區營運成本，提升港區營運之效率，提高台灣貨櫃港口在國際之競爭力。

1.3 研究方法

本研究將考量貨櫃儲運場內之拖車使用數量有限，以最小化拖車行駛時間為目標，建構數學規劃模型，試找出規模較小之貨櫃儲運場內之拖車指派問題之最佳可行解。但因該類運輸問題之複雜度亦隨問題規模增加而遽增，為 NP-Hard 問題，且考量在實務上，該類運輸問題多為規模較大者，因此本研究將接續應用演

算法，求解實務作業層面規模較大之貨櫃儲運場內的拖車指派問題。完成指派模式後，本研究將建立一套符合台灣港區營運現況之智慧型港區環境，並結合基隆港務分公司之實際營運資料模擬，比較使用不同指派模式前後之差異，進而找出適合者，以達到本研究之研究目的。

1.4 研究範圍

本研究背景為智慧型港口，且針對台灣貨櫃港為主要研究對象，並以基隆港之營運環境為主要參考對象，後續研究將針對智慧型港口所需要之相關技術做更深入的探討及分析。目前台灣雖無完整的智慧型港區，但已具備其發展基礎硬體設施，且發展智慧型港口已成為全球港口之發展趨勢，因此本研究將於後續研究整理智慧型港口相關文獻，試得出智慧型港口之營運特徵，進而針對該特徵建立相關假設，以貼近本研究之研究背景。

本研究考量台灣港區硬體設備裝置現況，其相關硬體設備多裝置於貨櫃儲運場區內，並以提升港區貨櫃裝卸效率進而增加台灣貨櫃港口競爭力為目標，因此本研究以智慧型港口下之貨櫃儲運場區內之拖車運輸貨櫃之運輸規劃著手，且研究範圍不包含港區內之私人運具或載人之運具，只考量運送貨櫃之運具。本研究同時考量目前無人車發展技術尚未成熟，且投資金額龐大，所以以半自動化運具為研究對象，每輛拖車都有司機但需按規畫路線行駛，除了能避免場內拖車碰撞問題，也能降低其投入成本，且期望未來能將該指派模式應用於無人運具。

在後續模擬分析中，將分別模擬裝貨、卸貨及同時裝卸三種主要情境，因此假設門式起重機與橋式起重機之裝卸效率固定。在裝貨方面，假設兩種情況：一為所有貨櫃皆在貨櫃儲運場內、二為貨櫃依序抵達貨櫃儲運場內，在卸貨方面，則假設所有貨櫃皆在貨櫃輪且目的地皆為貨櫃儲運場內，詳細的參變數設置將於第四章作介紹。

1.5 研究流程

本研究將先蒐集國內外對於智慧型港口之相關文獻，了解目前相關研究之研究進展，進一步思考該問題之發展性。確定研究方向後，將著手研讀並整理相關文獻，同時本研究也實際訪查臺灣基隆港，深入了解該港口之營運現況。確立研究目的以及範圍後，本研究將開始建構本研究適合之數學規劃模型及指派模式，透過數學規劃模型討論規模較小的拖車指派問題，再建立指派模式討論規模較大的拖車指派問題，以本研究建構之模擬環境結合港務局之實際數值測試指派模式，比較指派模式之優劣，進而精進之，並模擬實際情境下的拖車指派成果，以調整指派模式，最後將為研究的結論及建議。

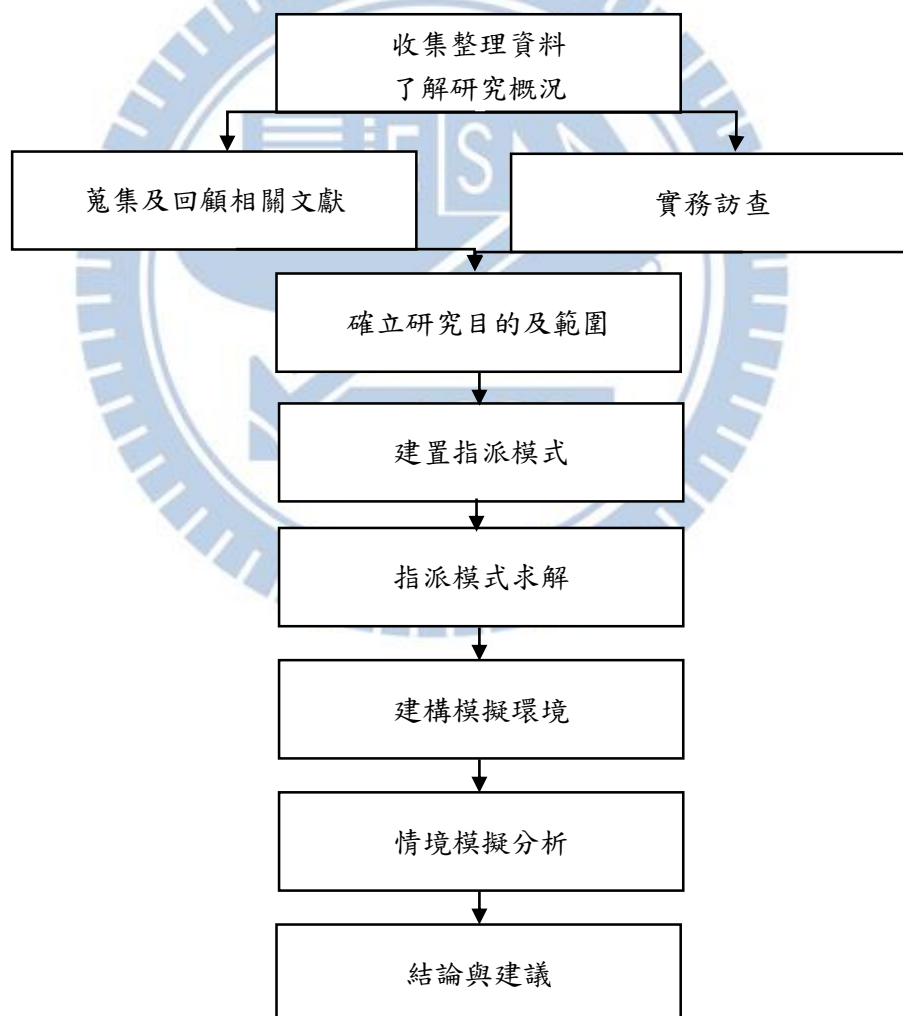


圖 1.3：研究流程圖

資料來源：本研究整理

第二章 文獻回顧

本章節將整理與本研究相關之國內外文獻並做回顧，在 2.1 小節中將回顧國內外智慧型港口相關文獻，了解目前智慧型港口之議題種類以及研究進度，在 2.2 小節將蒐集並回顧過去港區運具調度問題相關文獻資料。在 2.3 小節中將回顧時窗限制下多倉收送貨問題 (Multi-Depot Pick-Up and Delivery Problem with Time Windows, MDPDPTW) 相關研究，進而了解並整理其他研究針對該問題所使用之演算法及數學模型，以供本研究後續參考。最後，本研究於 2.4 小節針對第二章前面 2.1 至 2.3 小節之文獻回顧總結本章節。

2.1 智慧型港口

法國物流協會—Sefacil 的代表 Yann Alix 於 2017 年 9 月 15 日發表文章「何為智慧型港口」，在文中介紹智慧型港口是藉由物聯網、雲端科技、人工智慧與巨量資料等技術優化港區決策。即時監控與蒐集港區各方資訊，預先制訂出因應未來變化之營運策略，提升港口管理運作效率，進而使港區使用者及港口營運部門間的協調過程更透明、即時。然而，Yann Alix 也在文末提出智慧型港口轉型的挑戰在於：如何建構使整個港區營運系統更加智慧化之營運環境與溝通網路 (Yann Alix, 2017)。

Antonio et al. (2017) 將港區供應鏈重新概念化成智慧化服務系統，並以服務科學的角度，重新理解港區之供應鏈進而提升供應鏈之競爭力。作者以義大利薩來諾(Salerno)港為例，並將其結合服務科學理論以重新建構智慧型港區的供應鏈系統。在文中提到，若以服務科學的角度，智慧型港區的供應鏈需要具備即時性，供港區利益相人能即時溝通，進而使營運單位能根據最新的資訊有效率地做出正確決策，因此需要大量運用資訊與通訊科技，這突顯了資訊即時性對智慧型港區的重要性。

Heilig and Voß (2016) 表示資訊科技與資訊系統(Information Technology/Information System, IT/IS)的應用將成為智慧型港口之發展要素，論文中介紹多種

與 IT/IS 相關之科技技術，如下所示：差分全球定位系統(Differential Global Positioning System, DGPS)延伸自全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，DGPS 之定位準確度高於 GPS，應用於貨櫃港區能準確追蹤貨車、船等運具之動態。無線射頻辨識(Radio-Frequency Identification, RFID)則是應用電磁感應原理，能藉由感應器(RFID reader)偵測標籤(RFID tag)以讀取資料，應用於港區的電子收費系統和出口閘門裝置。即時定位系統(Real-Time Location Systems, RTLS)則獨立於 GPS 系統外，將物體加裝偵測標籤，以便營運單位能在港區室內區域，如：港區倉庫，以及戶外區域追蹤目標物位置。光學字元辨識技術(Optical Character Recognition, OCR)則是藉由影像掃描器將文件掃描成一個影像，再經由辨識軟體輸出至介面，送至其他應用軟體使用，能應用於港區駕駛的駕照辨識...等等，以上所蒐集得來之港區即時資訊將藉由行動裝置接收，如：智慧型手機、平板等裝置。由此可知，以上介紹之科技技術為智慧型港口建立蒐集即時資訊之基礎。

Fernández et al. (2018) 表示現代許多組織廣泛應用物聯網及人工智慧等技術，其中也包含港口營運單位，藉由這些技術廣泛蒐集許多資料而形成巨量資料，但若缺乏適當的系統管理並使用這些巨量資料，這些資料對營運組織並無實質幫助。在本篇研究中，作者將 3D 立體視覺化的技術應用至行動裝置，如：手機 APP，將港區的資訊視覺化傳遞給資訊使用者，並在未來進一步開發這項技術擴展至更多系統上使用，將巨量資料做妥善的運用。Yang et al. (2018) 提到隨著現今物聯網興起，其相關技術也隨之積極發展，而智慧型港口也不例外。遠端感應技術被廣泛應用在港區，加速港區營運自動化並建構了新的營運架構以因應新科技的應用。在這篇研究中，介紹了數個智慧型港口在遠端感應技術方面的應用以及因應策略，例如：碼頭起重機、自動導引車與貨櫃裝卸起重機。在文中，對其系統有詳細的描述並進一步討論其通信的信令標準，最後在提出未來的研究方向。根據上述兩篇研究可知，現代港口營運單位除了廣泛蒐集資料外，也開始積極研究如何將這些蒐集得到的巨量資料轉換成有用的資訊，並應用在港區營運以提升服務效率及品質，同時也顯現出港區自動化之趨勢，達到智慧型港口的目標。

為了轉型成智慧型港口，除了透過上述介紹之先進技術蒐集並轉化港區資訊外，港區營運單位也考慮引進無人運具，以提升港區營運效率並減少人力成本。

Zheng et al. (2017) 以數學模型應用於無人船之貨櫃儲運場間運輸問題(Inter-Terminal Transport Routing Problem, ITTRP)，荷蘭鹿特丹於 2011 年港預見 2035 年後，每年的貨櫃量將超過三千萬 TEU，促使貨櫃儲運場間運送的貨櫃量增加，應用無人船能行駛水道，比車輛行駛道路所花費的交通時間短，也能降低碳排放量及人力成本，因此考慮引入無人船來舒緩壅塞的港區陸上交通，並提升港區營運的效率，研究中以數學模型最佳化無人船行駛的路線，該數學模型不僅考量無人船行駛速率，並提出無人船因體型較其他運具大、裝載的物品要較多、整體價值高，所以要加設有關運具須保持安全距離之限制式，確立無人船避免碰撞的性質。Ghaderi et al. (2018) 探討海運業短程海線人力問題，並提出以無人船補足人力相關潛在問題，如：員工技術不足帶來的風險，同時降低人力相關成本，並將無人船套入案例作情境分析，研究結果顯示，應用無人船能有效降低長期營運成本，可見無人船在港區應用具有前景性，但其相關規劃仍具有侷限性，未來仍有很大的研究及發展空間。

Carlo et al. (2014) 介紹貨櫃港區運具作業模式以及設備使用方式，並整理 2012 年以前針對港區運作作業之相關文獻，文中提及港區使用無人搬運車 (Automated Guided Vehicle, AGV) 搬運貨櫃，將成為現今港區發展趨勢。Yang et al. (2018) 考量現今全球化帶動港區貨櫃量提高，而自動化貨櫃儲運場(Automated Container Terminal, ACT)能有效舒緩港區壅塞之現象，同時能降低人力成本，因此以自動化貨櫃儲運場為研究背景，即應用自動化橋式起重機、運具等港區機具於港區貨櫃儲運場內。該研究以最小化自動化運具運行之起訖時間差，提出兩階層數學模型，將運具路線模型之子問題代入以排程模型之主問題，並進一步應用基因演算法，發展預防港區壅塞之兩階層基因演算(Congestion Prevention Rule-based Bi-level Genetic Algorithm)，最後再將自行產出基於均勻分配下之指派需求代入數學模型內運算，並與滾動時域法(Rolling Horizon Procedure, RHP)之運算結果做比較，得知研究提出之兩階層基因演算之運算成果較佳。以上兩篇研究也顯示，智慧型港口之貨櫃儲運場內應用自動化系統之可行性與必要性。

在能源議題蓬勃討論的今日，如何減少能源使用和碳排放量成為智慧型港口發展的目標之一，Hentschel et al. (2018) 以荷蘭鹿特丹港為例，試著提出多項港口

營運策略以達到港區能源轉型的目標。再生能源合作協會(Renewable Energy Cooperatives, RECs)為歐洲重要的再生能源組織，透過接受公民及公司投資再生能源，進而成為獨立電力生產商，以提升人民對再生能源的接受度。在文中以案例研究鹿特丹港與整個歐洲中的利益相關者之間的關聯，並提出具體可行的計畫以增加鹿特丹港的再生能源使用量。Heilig et al. (2017a) 考量到日益壅塞的港區交通所衍生出的環境汙染問題，並以港區應用雲端資訊系統為背景，且港區內的貨車皆裝設行動裝置，能讓港區營運單位得知港區貨車的即時資訊。作者建立多目標數學模型求解三種不同的目標，分別為成本、貨車運行時間及碳排放量，試著找出港區內各個貨櫃儲運場間之貨車運行的路線，以達到總成本最小化的目標，同時提出多目標模擬退火演算法試求解規模大的問題，最後以德國漢堡港之實際數據，模擬及分析數學模型以及演算法的運算成果。

Heilig et al. (2017b) 討論將雲端資訊系統及行動裝置應用於德國漢堡港港區貨車之貨櫃儲運場間運輸問題，透過港口設置之感應設備能偵測即時路況，以便營運單位能即時修改貨車路線及班表。該研究之背景為智慧型港口，港區已具備能即時運算貨車可行駛路線之雲端系統，因此貨車的路線皆為已知的狀態下，數學模型之目的為選擇較適合的行駛路線，而非重新規劃貨車路線，突顯出智慧型港區與傳統港區之差異性。論文主要目標是找到適合的演算法使港區營運效率提高，以降低貨車空車率、車輛設置成本、行駛時間、碳排放量與港區交通量。最終再將演算法帶入德國漢堡港，以實際的數值模擬，結果顯示能有效提升港口營運效率及降低碳排放量。該研究的主要貢獻之一為將雲端裝置帶入貨車，將其設為問題背景及假設之一，更符合當今智慧型港區中資訊即時性及共享性之趨勢。

由於智慧型港口為台灣港區之未來發展目標，因此本研究除了實地考察與了解台灣港區現況及發展方向外，參考 2.1 關於智慧型港口之相關文獻，得知在智慧型港區之環境下，資訊之取得及流通皆具有即時性，港區營運單位應將其即時性資訊結合雲端等科技，將資訊篩選並加以運算，進而做出最符合當前狀況之決策。除此之外，上述研究也突顯出港區作業自動化與應用無人運具能有效提升營運效率，因此本研究將提出能有效配合智慧型港區資訊即時性、作業自動化等特性之拖車指派模型與指派模式。

2.2 港口運具調度

在傳統港區營運中，貨櫃儲運場區內與貨櫃儲運場間之運具及機具指派及調度方法主要依賴港區營運單位及船公司長期累積之經驗法則，但貨櫃港區在尖峰時段，貨櫃儲運場區之貨櫃裝卸設備仍會發生無法及時滿足貨櫃裝卸需求的情況，容易造成運具等候及壅塞的問題。為了降低港區內運具壅塞之可能性，港區營運單位會以事前指派的方式控制一個時段內運具之使用數量，降低港區壅塞所帶來之相關成本。本研究將於後續整理港區貨車預約系統(Truck Appointment System)相關文獻，以介紹港區營運單位藉由該系統之應用，協助港區運具指派作業，以舒緩港區壅塞問題並提升港區營運效率。

Zehendner and Feillet (2014) 表示港區營運單位應重視港區內陸相關交通問題，包含貨車、鐵路以及近海接駁船，且認為貨車預約系統不僅能有效提高貨車服務品質，也能提升鐵路及近海接駁船之服務效率。作者以港區營運單位的角度出發，在考量港區整體人力及機具設備有限的情況下，假設港區各貨櫃儲運場區之大小一致、不同運具使用之裝卸機具數量及類型不同、強制各家貨運業者必須事前向港區營運單位提出申請為作業流程等，但不考慮貨車使用數量之有限性。作者以最小化港區總延誤時間為目標，建立一套混和整數規劃模型，於前一日事先決定隔日在各時段下不同運具之預定到達量以配合港區裝卸機具的使用，最後再以實際數據測試數學模型是否能有效提升港區營運單位之效益。

Phan and Kim (2015) 與 Phan and Kim (2016) 兩篇研究以貨車業者與港區營運單位的角度出發，在考量貨車使用量有限的情況下，建立數學模型表示貨運業者以及港區營運單位溝通協商的過程，決定各個時段貨車使用的數量以達到成本最小化的目標，並設立懲罰機制，向未如期到目的地的貨運業者收取罰金，以減少港區發生壅塞的可能性。兩篇研究的差別在於：Phan and Kim (2015) 建立兩個數學模型，分別代表貨車業者以及港區營運單位，而 Phan and Kim (2016) 則是將貨運業者排班之子問題與港區營運單位成本最小化之子問題一起放入一個數學模型，同時運算求出最佳解。且 Phan and Kim (2015) 最小化之總成本包含車輛延誤、提早到達以及等候成本，Phan and Kim (2016) 則是最小化車輛派遣固定成本、車輛總

旅行以及等候成本。在研究貢獻方面，Phan and Kim (2015) 提出一組數學模型能表現港區營運單位與貨運業者協商貨車班表的過程，Phan and Kim (2016) 則是進一步改善先前的數學模型，建立了一套能讓港區營運單位與貨運業者同時協商的環境。

上述文獻顯示，在傳統港區之運具指派模式，較常使用港區貨車預約系統，以事前規劃的方式決定港區運具以及機具之指派班表，但臨場的運具相關指派工作仍較依賴港區營運單位的經驗法則。比較上述傳統港區運具調度模式相關研究，本研究將結合智慧型港區特性，再後續研究進一步探討適合的數學模型與指派模式，以降低港區營運成本之目的。

2.3 時窗限制下多倉收送貨問題

時窗限制下多倉收送貨問題常見於透過托運業者聯合規劃路線、處理指派需求以節省成本之相關研究，在這類研究中，業者會將所有客戶指派需求集中，並應用有效的演算法同時規劃這些指派需求。Crujssen and Salomon (2004) 考量有多個運輸業者在有配送中心及多位客戶的情況下進行路網規劃，並進一步比較共同規劃運輸問題前後之差別，發現共同規劃的情況下，能使成本下降。然而，Krajewska et al. (2008) 提出無論貨運業者是否合作，他們都會面臨到時窗限制下收送貨問題(Pickup and Delivery Problem with Time Windows, PDPTW)，單一托運業者個別解決單一倉庫的運輸規劃問題。若多個托運業者互相合作，合併所有的客戶指派需求，就為一個多個倉庫之運輸規劃問題，即時窗限制下多倉收送貨問題。Memon et al. (2017) 時窗限制下多倉收送貨問題能直接以 $G=(V,A)$ 之圖形形式表現，其中 V 代表取貨、送貨與車庫點， A 則代表能夠行駛的路段，考量時窗限制下，以啟發式插入及移除的方式找到成本較小的運輸路線。

Bettinelli et al. (2014) 提到收送貨問題(Pick-Up and Delivery Problem, PDP)屬於VRP 中的特例，延伸自有容量限制之車輛路線問題(Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)，CVRP 為在考慮運具容量限制下，客戶的總需求量不能超過車隊總裝載容量，規劃車隊從同一車庫出發服務多位客戶之路線，達到成本最小化的目標，而 PDP 取貨點及送貨點皆須以同一輛運具服務，且不須轉運，客戶的供需

具有成對性質。作者以分支價格演算法(Branch-and-Price Algorithm)試著解決米蘭市區交通運輸問題，在論文中歸類其運輸問題為軟時窗限制下多倉之收送貨問題(Multi-Depot Heterogeneous-fleet Pickup and Delivery Problem with Soft Time Windows, MDHPDPSTW)。在時窗定義方面，軟時窗為客戶有偏好的服務時窗，若服務時間不在該時窗內仍能服務，但須支付額外費用，而硬時窗則只能在客戶服務時窗內被車隊服務。Iswari and Asih (2018)以多項指標比較基因演算法(Genetic Algorithm)與燕群演算法(Particle Swarm Optimization)應用在 CVRP 之情形，最佳化路線規劃以達運輸成本最小化之目的。從兩種演算法的求解結果得知，基因演算法求得的解優於燕群演算法，總旅行距離較短，但仍有改進的空間。

Ting et al. (2017) 以三種演算法，分別為禁忌搜尋演算法(Tabu Search)、基因演算法和分散搜尋法(Scatter Search)，求解多車輛選擇性收送貨問題(Multi-Vehicle Selective Pickup and Delivery Problem, MVSPDP)，在滿足車隊容量及旅行距離限制下，求得運輸成本最小之路線。收送貨問題中，總供給量及總需求量相等，且每一個客戶點都必須被拜訪，選擇性收送貨問題(Selective Pickup and Delivery Problem, SPDP)則是放鬆其限制，不須拜訪每一個客戶點，能夠僅挑選拜訪幾個取貨點以滿足所有送貨點之需求。多車輛選擇性收送貨問題延伸自選擇性收送貨問題，並加入多車輛之性質，使問題更貼近現實生活。比較三種運算結果，三種演算法所得最佳近似解相似，但禁忌搜尋演算法的運算時間最短，因此推知禁忌搜尋法較適合求解多車輛選擇性收送貨問題，未來能加入時窗限制或最小化停等時間等目標，延伸該問題之研究。

Heilig et al. (2017b) 將貨櫃儲運場間運輸問題歸類為時窗限制下多倉收送貨問題，該論文以時窗限制下多倉收送貨問題探討貨車指派問題，假設每一筆指派需求皆能被一輛貨車服務且具有時窗限制，其問題背景參考德國漢堡港，研究背景如下所示：

- (一) 智慧型港口港區內具備能得知即時的交通狀況之系統，因此運輸規劃時，拖車之旅行時間為已知且會隨時間改變。
- (二) 拖車行駛路線的成本會隨指派路線狀況的不同變動。

- (三) 拖車上皆安裝定位或遠端控制感應系統，且營運單位具備相關硬體設備，能接收拖車即時位置，並以此做為每次指派之依據。
- (四) 港區內之拖車必遵從營運單位之指派規劃，並能即時接收指派資訊。
- (五) 港區營運單位能預先藉由雲端設備計算出每一台拖車可行駛之每一條路線，在藉由本研究建構數學模型及演算法挑選出最適合的路線。

該論文先以數學規劃模型求解規模較小的問題，挑選出貨車行駛的路線，目標是最小化港區貨車行駛總成本，包含貨車行駛固定成本、行駛時間與超過時窗限制之懲罰成本，Heilig et al. (2017b) 提出之數學規劃模型如下所示：

符號說明：

Ω_{tl} ：為所有貨車 $t \in T$ 從起始點 $l \in L^s$ 出發的可行駛路線。

C_r ：為參數矩陣，代表行駛 r 路線所需要的成本。

u_l ：為一參數，代表在起始點 l 可以使用的拖車數量。

Z_r ：為 0、1 變數，若第 r 條路線被拖車行駛則為 1，反之為 0。

e_{or} ：為 0、1 變數，若指派需求 o 在第 r 條路線內則為 1，反之為 0。

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{l \in L} \sum_{r \in \Omega_{tl}} C_r Z_r \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{t \in T} \sum_{l \in L} \sum_{r \in \Omega_{tl}} e_{or} Z_r = 1, \forall o \in O \quad (2)$$

$$\sum_{r \in \Omega_{tl}} Z_r \leq u_l, \forall l \in L^s, \forall t \in T \quad (3)$$

$$Z_r \in \{0,1\}, \forall r \in \Omega \quad (4)$$

在上述整數線性模型中，公式(1)至(4)的涵義，如下所示：

(1)為最小化拖車總行駛成本之目標式

- (2) 確認每一筆指派需求都會被滿足
- (3) 該出發點規劃路線使用的拖車數量不可大於該出發點可使用的拖車總數量
- (4) z_r 為 0、1 變數

Heilig et al. (2017b) 同時也提出兩種貪婪演算法(Greedy Heuristics)及兩種混和模擬退火法(Hybrid Simulated Annealing Algorithms)求解規模較大的問題並比較，最後以漢堡港的實際數據分析出該論文提出之演算法確實能提升港區營運效率，並能使成本降低，其中以混和模擬退火法之求解成果最佳。

根據 2.3 相關文獻回顧，本研究將研究問題歸類為時窗限制下多倉收送貨問題，原因如下：

- (一) 在智慧型港區之貨櫃儲運場內，為減少人力成本，多採用自動化作業系統，如 1.4 小節之環境假設所示，場內拖車也行駛固定路線，因此智慧型港區之運具管理應著重在指派問題，而非如傳統港區之拖車路線規劃或排班問題。
- (二) 在貨櫃儲運場內，貨櫃多放置於貨櫃輪或是場內的貨櫃堆放區，可將其貨櫃放置區及貨櫃輪視為貨艙。
- (三) 港區營運單位須整合所有場內指派需求，以營運成本最小化為目的，統一指派港區拖車滿足指派需求。
- (四) 所有指派需求皆具有時窗限制與收送貨點。

因此可歸類本研究之問題為時窗限制下多倉收送貨問題。由於該類型問題為 NP-hard 問題，求解時間受問題規模影響甚鉅，難以用數學規劃模型求得最佳解，須以演算法輔助指派模式得其近似最佳解，且由 2.3 得知，有關求解時窗限制下多倉收送貨之演算法之相關文獻少，因此其演算法的設計也為值得研究方向之一。

2.4 小結

本研究在 2.1 中本研究蒐集有關智慧型港口之相關研究，得知智慧型港口為現今熱門的研究議題，且智慧型港口仍為各個港區共同努力的目標，有許多提及智

慧型港區之相關的背景都是以假設代替實務資訊，如：Ghaderi et al. (2018)，因此各篇研究對智慧型港口的背景描述與假設並不相同，但其中的共同點為：第一，智慧型港口善用物聯網及雲端等先進科技，具備蒐集港區即時資訊的能力，且港區營運單位以及使用者，如：運輸業者、拖車駕駛等，能藉由行動裝置接收港區即時資訊。第二，智慧型港口為了節省人力成本、碳排放量與提升營運效率等因素，應用無人運具，如：無人船、無人車，以及採用港區內自動化作業系統已成必然趨勢。並以 Yang et al. (2018)與 Heilig et al. (2017b) 兩篇以自動化貨櫃儲運場和德國漢堡港為背景之研究出發，參考大量研究中對智慧型港口之背景描述以及假設。

在 2.2 小節中，回顧過去傳統港區運具指派相關文獻，由於過去港區在轉型成智慧型港口前，著重於事先規劃的方式決定港區運具的配置，數學模型之建置也較複雜，需要考慮到較多限制以及各個單位間溝通協調的過程，模型較偏重路線規劃與排班問題，求解得到之運具或貨車使用數量及班表也較欠缺即時性，港區營運單位所降低的成本有限，而本研究將智慧型港區之資訊即時性與營運作業自動化的特性加入問題假設，試著發展適合的數學模型與指派模式，以達到港區營運成本降低的目的。

在 2.3 小節中，本研究回顧有關時窗限制下多倉收送貨之研究，了解時窗限制下多倉收送貨問題延伸自時窗限制下收送貨問題，將單一倉庫增加至多個倉庫，同時回顧相關問題之求解演算法，本研究將貨櫃輪與廠內貨櫃堆放區與貨艙做連結，且同樣需要由港區營運單位統一整合並指派場內拖車，以滿足具時窗限制之指派需求，並根據 Heilig et al. (2017b)求解結果，得知以數學規劃模型及演算法規劃智慧型港口下之貨車路線指派問題，能有提升港區效率之效果，本研究將參考該數學模型，並強化智慧型港區貨櫃儲運場區內之作業系統自動化之趨勢，進一步將指派需求納入貨櫃與時窗種類之考量，設計出更貼近智慧型港區之貨櫃儲運場內之數學模型與指派模式，以達成本研究前述之研究目的，以國外案例借鏡台灣，使台灣港區營運並更接近智慧型港區之目標。

本研究將智慧型港區運具指派相關研究做進一步詳細的比較，如表 2.1 所示，雖研究港口皆為智慧型港口，但因研究範圍不同，使相關環境假設有所差異，例如：在使用運具方面，因 Heilig et al. (2017b) 研究範圍較廣，所以使用貨車當作運具且無固定路線，機動性較高；而 Yang et al. (2018) 研究範圍較小，所以能以自動駕駛為運具且有固定路線，使效率提升。在數學模型方面，Yang et al. (2018) 提出之模型雖能較詳細表示並規劃運具班表及路線，但因規模較大，所以無法實際運算；而 Heilig et al. (2017b) 以指派模型貼近智慧型港口自動化作業的特徵，且能實際運算求解。在模擬情境方面，Heilig et al. (2017b) 雖較貼近實務，以實際資料運算演算法並進而比較，但兩者皆無提出一套真正能與實務比較之機制。

綜合以上，由文獻回顧得知，目前在智慧型港口內之運具指派相關研究中，仍缺少真正符合智慧型港口內之問題背景並能求解的數學模型，且在模擬分析方面，目前相關研究並無提出一套能與實務情境比較之機制，以上兩點將為本研究後續研究之主要目標。

表 2.1：文獻回顧整理表

文獻名稱	Heilig et al. (2017b)	Yang et al. (2018)
港口類型	智慧型港口	
研究背景	第三方托運業者	自動化貨櫃儲運場
研究範圍	貨櫃儲運場間	貨櫃儲運場內
使用運具	貨車搭配行動裝置	自動駕駛運具
行駛路線	無固定路線	有固定路線
貨櫃種類	無提及	40 呎貨櫃
數學模型	單階層數學模型	兩階層數學模型 (分為排程與路線規劃兩階段)
模型求解	需搭配智慧型港區雲端運算系統以求得指派結果	因模型規模較大 無法實際運算
應用演算法	貪婪演算法 模擬退火法	基因演算法
模擬環境	德國漢堡港	無應用實際案例
指派需求	實際資料	以均勻分布產生 指派需求
比較機制	以實際資料代入演算法運算， 並比較演算法優劣	小規模問題與滾動時域法 之求解結果比較

資料來源：本研究整理

第三章 智慧型港口內拖車指派問題求解

比較傳統港口與智慧型港口差異性，在於智慧型港區蒐集並運用即時資訊，並搭配自動化港區作業系統，使港區營運單位能即時做出最合適的決策，並有效率的完成工作。本研究主要目標在於最佳化船邊至貨櫃堆放區之路徑，藉由降低時間成本以提升營運效率。在第三章中，本研究將於 3.1 小節詳細解釋問題相關假設，並於 3.2 與 3.3 小節建立智慧型指派模式之數學模型以即求解演算法，最後在 3.4 小節以案例分析，進一步介紹 3.2 小節提出之數學指派模型。由於 3.3 小節應用演算法於智慧型指派模式以解決大規模之實務問題，因此將於第四小節模擬分析中驗證。

3.1 問題描述

本研究之研究問題為智慧型港口下拖車指派之研究，針對智慧型港口下之貨櫃儲運場與傳統港口之差異，如第二章文獻回顧中得知，智慧型港口下之貨櫃儲運場有兩大特點：

- (一) 貨櫃儲運場內作業流程自動化，以門式起重機與橋式起重機裝卸貨，且有應用無人運具取代港區拖車之趨勢。
- (二) 善用港區即時資訊，港區具有蒐集即時資訊之硬體設備，如：道路狀況、停車位以及天氣等，港區營運單位能藉此做出最佳化決策。

由於智慧型港口為現在各國貨櫃港之發展目標，智慧型港口仍為發展的概念，尚未有完全完成的案例，本研究藉由文獻回顧整理出上述智慧型港口之兩大特點，並延伸這兩大特點建立了以下關於智慧型港口之假設：

- (一) 智慧型港口港區內具備能得知即時的交通狀況之系統。
- (二) 拖車上皆安裝定位或遠端控制感應系統，且營運單位具備相關硬體設備，能接收拖車即時位置，並以此做為每次指派之依據。
- (三) 港區內之拖車必遵從營運單位之指派規劃，並能即時接收指派資訊。

- (四) 智慧型貨櫃儲運場區內之門式起重機、橋式起重機裝卸貨櫃位置皆固定，以達到港區作業系統自動化之目標，如圖 3.1 綠色與藍色標示區域。
- (五) 為搭配港區系統自動化，智慧型貨櫃儲運場區內之拖車行駛路線皆已事先經港區營運單位規劃，場內拖車按固定路線運行，如圖 3.1 黑色線段所示，停靠位置也皆固定，如灰色方況所示，且一停靠位置僅能停放一輛拖車。
- (六) 港區內的拖車以半自動化系統運作，所以每輛拖車有一位駕駛，因此解決港區路線規畫衍生出的路口衝突點之問題。

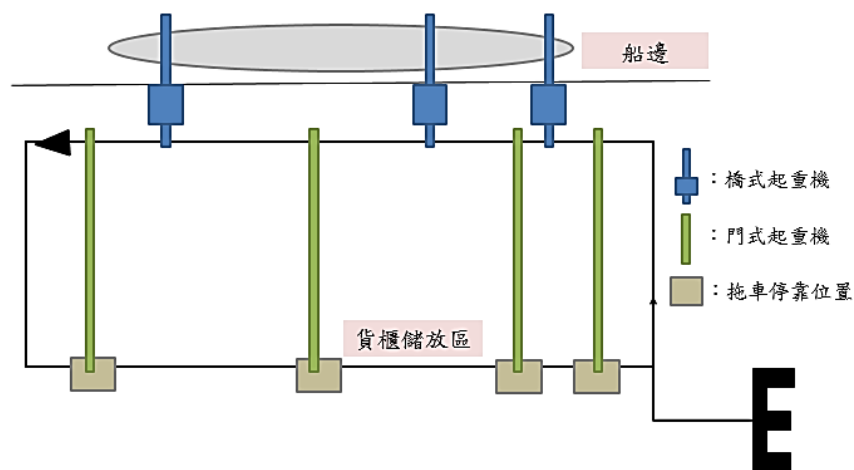


圖 3.1：自動化貨櫃儲運場示意圖

資料來源：本研究整理

因智慧型港口具備以上兩大特點，在智慧型港口下貨櫃儲運場內之運輸問題中，比較傳統貨櫃儲運場內之運輸問題，智慧型港口能簡化傳統貨櫃儲運場下之排班與路線規劃問題，港區內的運具都按固定路線行駛，所以本研究認為智慧型港口下貨櫃儲運場內之運輸問題應該要著重於運具指派。為了因應港區作業系統自動化，每一輛拖車在貨櫃儲運場內皆行駛固定路線，並進一步將未來運用無人運具之可能性納入考量，因此每條拖車可行駛路線應滿足以下六項限制：

- (一) 每筆拖車運送的指派需求皆能夠一次被滿足。
- (二) 每台拖車一次能最多能運送兩箱 20 呎貨櫃或一箱 40 呎貨櫃，且兩箱 20 呎貨櫃需同時裝卸。
- (三) 拖車可在時窗限制前抵達指定地點，但只能在時窗限制的時間內執行任務。

- (四) 拖車必先到起點取貨，才能到迄點送貨。
- (五) 若拖車比時窗限制晚到指定地點，則要支付罰款。
- (六) 考量未來無人運具之運用，拖車運行路線必須符合港區規劃固定路線。
- (七) 拖車裝卸貨櫃的停等時間皆為固定。

本研究將在後續研究建立符合上述智慧型港口相關背景之假設與拖車路線之限制的數學指派模型，並以最小化行駛時間成本為目標，將於 3.2 小節中做詳細的介紹與解釋。且因該類型運輸問題為 NP-hard 問題，運算時間容易隨問題規模擴大而增加，所以本研究將應用演算法，建立實務應用之智慧型指派模式，並於 3.3 小節中介紹。

3.2 智慧型港口拖車指派模式

本研究之研究背景為貨櫃儲運場內，其拖車服務範圍較小，且考量貨櫃儲運場內之拖車指派問題的自動化作業系統環境，即每個貨櫃裝卸貨點皆已明確設置並固定，如 3.1 小節之智慧型港口之假設。

以下為本研究發展之數學指派模型之使用符號說明，因使用的參數與變數較少，所以將在以下段落中一同介紹。

符號說明：

C_{tr} ：為參數矩陣，代表第 t 輛拖車行駛 r 路線所需要的成本。

e_{ir} ：為 0、1 參數，若指派需求 i 在第 r 條路線內則為 1，反之為 0。

X_{tr} ：為 0、1 變數，若第 r 條路線被拖車 t 行駛則為 1，反之為 0。

$$\min \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} C_{tr} X_{tr} \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_{t \in T} \sum_{r \in R} e_{ir} X_{tr} = 1, \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{r \in R} X_{tr} \leq 1, \forall t \in T \quad (7)$$

$$X_{tr} \in \{0,1\}, \forall r \in R \quad (8)$$

在上述數學指派模型中，公式(5)至(8)的涵義，如下所示：

(5)為最小化所有場內拖車運行之總時間成本

(6)確認每一筆指派需求都會被滿足

(7)限制每條路線至多被一台拖車行駛

(8) X_{tr} 為 0、1 變數

其中，公式(5)總成本(C_{tr})為公式(9)簡化： x_t 為拖車 t 是否處理指派需求， y_i 為指派需求 i 是否逾期之 0、1 變數，而 $hour_t$ 以及 pen_i 分別為拖車 t 處理指派需求的行駛時間與指派需求 i 之懲罰成本。因此，在數學模型中，總時間成本能分為兩部分解釋，分別為使用拖車之處理指派需求之行駛時間以及逾期造成之懲罰成本，以最小化總時間成本達到提高港區營運之效率。

$$\min \sum_{t \in T} x_t \cdot hour_t + \sum_{i \in I} y_i \cdot pen_i \quad (9)$$

本研究配合智慧型港口之背景，提出適用於處理即時性資訊之數學模型，並考量智慧型港口之作業系統自動化的特性，每輛拖車能運行的路線皆為固定且為已知。因此本研究提出之數學模型，以指派模型取代傳統港區拖車路線規劃和排班模型，較傳統拖車指派問題之數學模型精簡。整體而言，本研究提出之數學指派模型著重在挑選出在時窗限制下滿足指派需求之場內拖車，以達到適用於智慧型港口並提升港區營運效率之目標。

3.3 模式求解與演算法

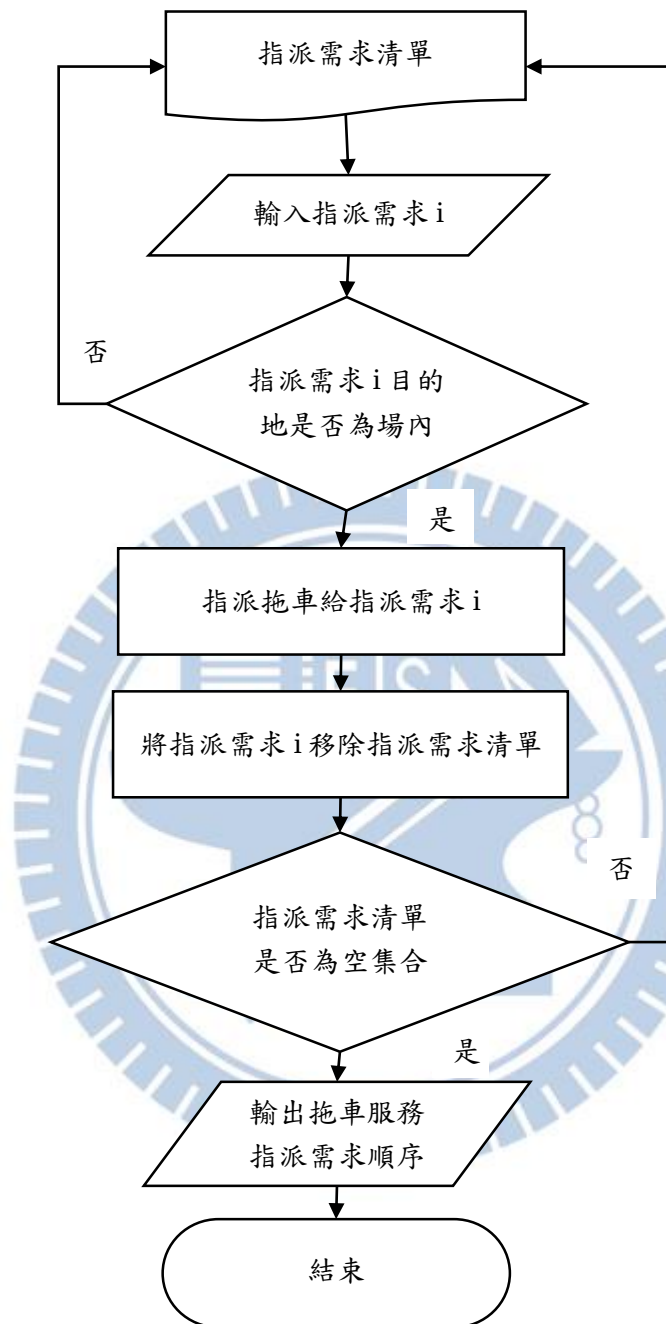


圖 3.2：智慧指派模式求解流程圖

資料來源：本研究整理

本研究應用即時資訊以提出智慧型指派模式，如圖 3.2 所示，首先，本研究將會先輸入指派需求資料，依序判斷單筆資料是否為場內拖車，若為場內拖車則指派拖車服務該筆資料，並將該筆指派需求移除指派需求之陣列中，持續執行，直

到場內之指派需求之清單為空集合，最後，將輸出每輛拖車服務指派需求之順序並停止。本研究也將會建立模擬環境以及設計貼近實務之目前指派模式，進一步驗證智慧型指派模式，比較兩者運算結果。

在智慧指派模式求解中，指派拖車給指派需求的部分，應用貪婪演算法，試求得近似最佳解。為了得到較佳的拖車即時班表，本研究使用貪婪式演算法以運算港區即時資訊，進而求得港區拖車班表。貪婪插入演算法中，以不交換已排定之任務順序並滿足時窗限制為原則，找出每一項任務要安排給哪一台拖車服務以及在該班表上的位置，進而最小化增加時間成本。本研究藉由貪婪插入演算法，安排拖車指派需求已達到最小化目標總時間成本。

以下為演算法之虛擬碼：

貪婪插入演算法虛擬碼：

```

 $S^t \leftarrow$  sequence of orders to be performed by each truck  $\forall t \in T$ 
 $O \leftarrow$  set containing all the unassigned orders
while( $I \neq \emptyset$ )do
    for( $\forall order \in I$ )do
        for( $\forall t \in T$ )do
             $\Gamma_t^i \leftarrow$  Increasing of assigning order to truck  $t$  at the best possible
            position  $pos_t$  in the sequence  $S^t$ 
        end for
    end for
     $(order_{sel}, t_{sel}) \leftarrow \arg \min_{t \in T, i \in I(\Gamma_t^i)}$ 
    Include the best assignment  $(order_{sel}, t_{sel}, pos_{sel})$  in the solution
    Update  $S_{sel}^t$  for including  $order_{sel}$  at position  $pos_{sel}$ 
     $I \leftarrow I \setminus order_{sel}$ 
end while

```

除此之外，由於目前台灣貨櫃港區之拖車指派作業多以經驗法則為運作基礎，並無一套固定的指派模式以及原則，因此本研究為了分析與比較智慧型指派模式之運作效率，除了建立上述模擬驗證之拖車運作環境外，以傳統港區沒有使用即時資訊的情況，提出一套以先到先服務(First Come First Serve, FCFS)為概念之目前拖車指派模式，如圖 3.3 所示：當指派需求產生，系統將告知營運單位，並將指派需求指派給目前完成已派遣指派需求時間最短的拖車，接著系統將指派結果通知拖車司機，當拖車司機完成指派需求，系統回報營運單位，以模擬現實港區拖車指派尚未有效運用即時資訊之運作方式，並作為標竿比較基準，將在後續比較目前指派模式與應用貪婪演算法之智慧指派模式之拖車指派運算結果。

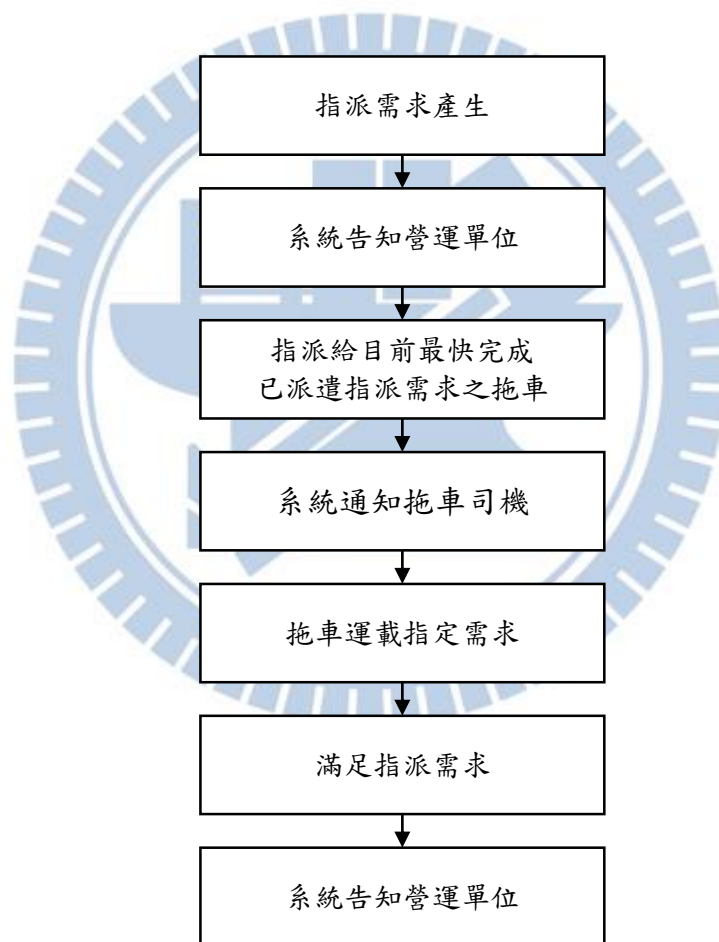


圖 3.3：目前指派模式求解流程圖

資料來源：本研究整理

本研究以 Visual Studio 2015 C++撰寫指派模式，其中在拖車與服務順序已知的情況下，計算插入單筆指派需求的成本時，需要在程式中呼叫函式計算，因此計算成本之函式，即為本研究之核心程式，詳細程式碼如下所示：

```

int cal_cost(int truck) {
    if (assign[truck].size() == 0)
        return 0;
    int cost = 0;
    int curr_time = 0;
    int pos = d_init[truck];
    for (int i = 0; i < assign[truck].size(); i++) {
        cost += time[pos][assign[truck].at(i).sp];
        curr_time += time[pos][assign[truck].at(i).sp];
        pos = assign[truck].at(i).sp;

        cost += time[pos][assign[truck].at(i).ep];
        curr_time += time[pos][assign[truck].at(i).ep];
        pos = assign[truck].at(i).ep;

        if (curr_time < assign[truck].at(i).s) {
            curr_time = assign[truck].at(i).s;
        }
        else if (curr_time > assign[truck].at(i).e) {
            cost += (curr_time - assign[truck].at(i).e) * penalty;
        }
    }
    return cost;
};

```

本研究提出之智慧指派模式，並應用貪婪演算法，以港區即時資訊求解實務上之港區拖車指派問題，同時也提出目前指派模式，以先到先服務為概念，模擬港區尚未應用即時資訊，進行港區指派之情境。本研究將在後須研究以臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司的實際營運資料模擬實際環境以驗證智慧指派模式與目前指派模式的求解效能，並進一步比較使用智慧指派模式前後之優劣並加以改進。

3.4 案例分析

本研究共提出兩種研究方法，為數學指派模型以及指派演算法，並分別代表理論表達與實務應用，所以本研究將在 3.4 小節之案例分析中，以一例題驗證 3.2 小節提出之數學指派模型，在第四章模擬環境中，則以 3.3 小節建立之智慧型指派模式，實際模擬港區作業情境。

在案例中，使用相關參數以及環境假設，如下所示：

(一) 拖車數量：2 輛。

(二) 指派需求：5 筆。

(三) 拖車指定停放點：6 點。

(三) 拖車可行駛路線：2 條。

(四) 成本參數矩陣 $C_{tr} = \begin{bmatrix} 10 & 20 \\ 21 & 9 \end{bmatrix}$ 。

(五) 參數矩陣 $e_{or} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

在圖 3.4 中，共有兩輛拖車以橘色原點表示、五筆運送指派需求以黑色箭頭表示與六個指定托車停放點以黑點表示，虛線為拖車車道。本研究模擬智慧型港區之即時資訊運算系統，事先求得兩條符合限制之拖車可行駛路線，並考量拖車服務時間以及逾時造成之懲罰成本，預先計算出兩輛拖車行駛這兩條路線之成本參數矩陣，代入 3.2 小節之數學指派模型挑選出拖車最後行駛路線。

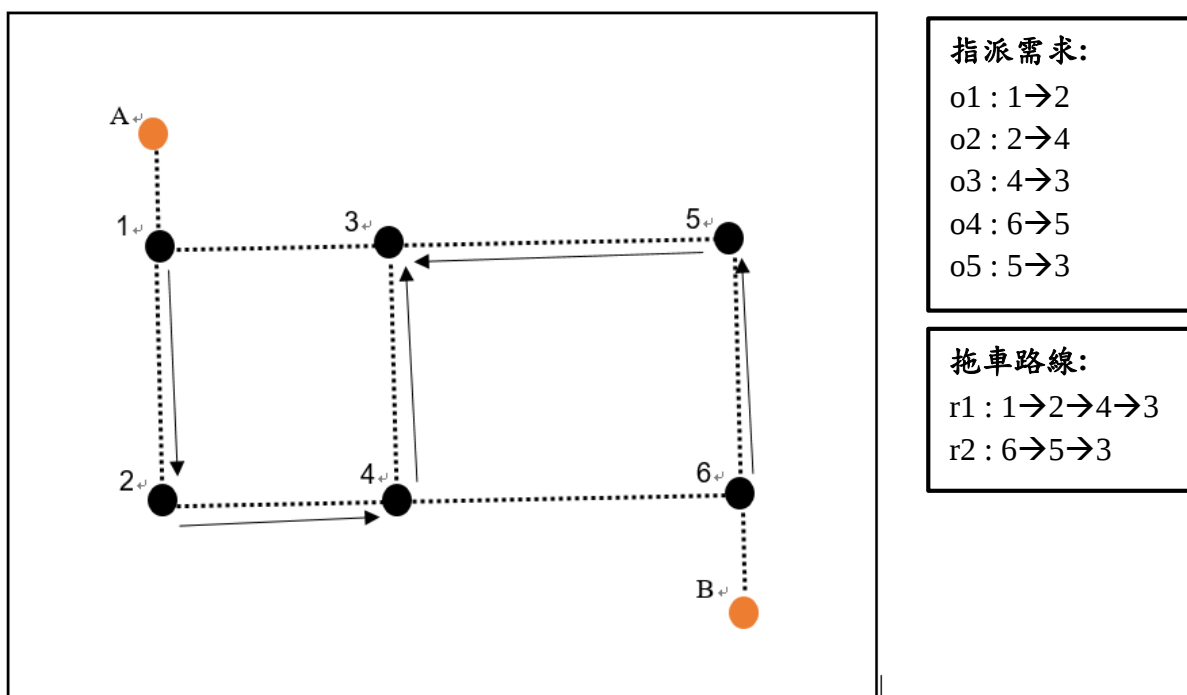


圖 3.4：案例分析示意圖

資料來源：本研究整理

經本研究提出之拖車指派數學模型運算後，拖車 A 將行駛路線 r1，完成指派需求 o1、o2、o3，拖車 B 將行駛路線 r2，並完成指派需求 o4、o5，總時間成本為 19。最終，五筆指派需求皆能被拖車服務且能達到總時間成本最小化之目標。

第四章 基隆港區模擬情境與分析

4.1 基隆港區拖車指派現況

臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司港區實務經營中，船公司以船期停泊港口的時間為基準，以經驗法則滿足總容量需求。並以及時服務港區機具裝卸的貨櫃為目標，準備所需的拖車車隊、理貨員、橋式起重機及門式起重機駕駛等相關資源，於船舶靠港時就位準備裝卸船舶貨櫃。而港務營運單位則負責規劃港區貨櫃存放場之貨櫃堆疊位置並隨時監控船舶即時位置。一般而言，橋式起重機裝卸船舶貨櫃是以先下後上的原則運行，但在符合貨櫃堆疊規劃下，當船舶艙位以及橋式起重機同時閒置時，仍有同時上貨與卸貨的情況。若發生船公司拖車供不應求的情形，即該船公司發生拖車車隊不足以處理機具裝卸之貨櫃量之情況，港區內的船公司之間會互相支援，會以臨時人工調派車輛的方式幫忙運載貨櫃，舒緩拖車供不應求的狀況。

一艘停靠港口之貨櫃船，船上的貨櫃主要能分為運送至貨櫃儲運場區內之貨櫃存放場以及運送至貨櫃儲運場區外兩類，而船公司考慮運至貨櫃場區外之時間及路程不確定性，所以會將運送這兩類之貨櫃使用的車輛分開管理。本研究之研究範圍為貨櫃儲運場區內，因此本研究不考慮運送至場外之拖車指派問題。本研究將於後續模擬中參考基隆港區之實際營運資訊，如下所示：

- (一) 港區環境配置，其中包含機具、船席數量與位置。
- (二) 船舶停靠數目，平時兩至三艘、尖峰時段三至四艘。
- (三) 場內拖車使用數目，平時五至七輛、尖峰時段八至十輛。
- (三) 貨櫃種類比率，即一箱 40 呎貨櫃與兩箱 20 呎貨櫃運送比率。
- (四) 橋式起重機裝卸效率，為一小時處理三十箱貨櫃。
- (五) 橋式起重機使用數目，一艘貨櫃船多以二至三輛橋式起重機同時服務。

由於基隆港相對其他貨櫃大港之貨櫃量少，如：新加坡港、上海洋山港，貨櫃儲運場之腹地也相對較小，因此在貨櫃儲運場區內之拖車運行規劃方面，是以

巡迴固定路線的方式運行。雖然基隆港目前不論是拖車、橋式起重機、貨櫃堆疊位置規劃等營運作業事宜仍以傳統人力經驗法則方式運行，但也因基隆港之貨櫃儲運場之腹地較小，相對容易控制及操作，適合用以模擬智慧型港區，因此本研究將以基隆港之貨櫃儲運場之實際數據為案例模擬上述提出之解決方式。

4.2 模擬環境與情境建置

本研究將建立一套模擬環境以驗證第三章提出之指派模式，試分析以本研究提出之求解方法應用於貨櫃儲運場區內之拖車指派前後之差異性，並進一步調整智慧指派模式，以期未來本研究提出之求解方法能實際運用於港區實務作業層面，達成智慧型港口轉型之目標。本研究參考國內外智慧型港區環境及未來發展目標，試著以 Python 產生需求，搭配 Visual Studio 2015 撰寫指派模式，建立一套適合台灣港區實務發展之營運環境，本研究建置之模擬環境如下所示：

- (一) 港區環境配置參考台灣基隆港北櫃場如圖 4.1 所示，如：船席位置、拖車行駛車道以及貨櫃存放場區位等相關港區環境配置資訊。
- (二) 拖車運行方式參考台灣台北港半自動化模式，即每輛拖車皆有人工駕駛，但車上皆設有設備能接收營運單位之指派，且場內拖車之運行路徑皆固定，如圖 4.1，拖車駕駛能按照車上設備接收之即時指示，以滿足港區內之指派需求。
- (三) 港區實際運作之相關數據參考 4.1 小節中提之基隆港實際數據如表 4.1 所示，如：船舶停靠率、橋式起重機運作效能以及拖車種類之使用比率等數值資料。
- (四) 指派需求之資料架構以基隆港之資料格式為產出參考依據，其中包含提貨點、送貨點、貨櫃尺寸、時窗限制以及運送目的地為場內或場外之分類。
- (五) 懲罰成本 pen_0 皆預設為 50，即當貨櫃在時窗限制外抵達目的地，則會將運送時間乘以五十倍，再增加至目標式，以反映懲罰成本。
- (六) 在指派需求之貨櫃尺寸的資料欄位中，共有兩種型式分別為一箱 40 呎貨櫃或兩箱 20 呎貨櫃。
- (七) 拖車於貨櫃儲運場內之行駛速度為定速，時速 30 公里。

表 4.1：模擬環境相關營運資料

場域範圍	基隆港北櫃場(W22-W26)
橋式起重機運作效率	30 箱/時
20 呎貨櫃*2：40 呎貨櫃*1	3：2
船舶停靠數目	3 輛
拖車可使用數目	7 輛
橋式起重機使用數目	7 台
門式起重機使用數目	4 台

資料來源：本研究整理

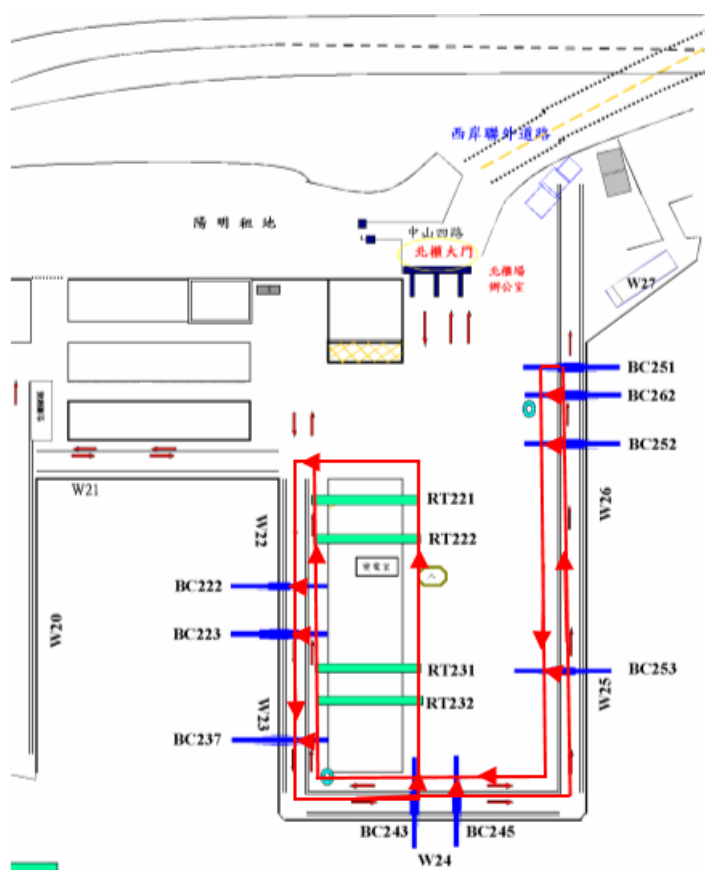


圖 4.1：基隆港西岸貨櫃儲運場拖車路線設計圖

資料來源：本研究整理

公式(10)、(11)分別為門式起重機以及橋式起重機之指派需求產生之機率，考慮其運作模式，分別以均勻分佈與加權平均為概念。以卸貨部分之環境模擬為例：可將橋式起重機位置視為起點，門式起重機位置為迄點，如表 4.1 所示，共有 7 個起點以及 4 個迄點。在指派需求產生方面，橋式起重機的需求產生機率將以該船席

停泊貨輪噸位重量為產生基準做加權平均。以表 4.2 中的模擬情境為例，橋式起重機 BC252 與 BC253 服務船席 W26，而停泊 W26 之船席為 3000TEU，計算 W26 之加權平均數為 0.24，再平均分配其機率給服務該船席之橋式起重機，求得 BC252 與 BC253 之需求產生機率分別為 0.12 與 0.12。而門式起重機的需求產生機率為均勻分配，如表 4.3 所示。

$$\text{門式起重機機率} = 1 / \text{門式起重機數量} \quad (10)$$

$$\text{橋式起重機機率} = \text{船舶噸位} / (\text{船舶噸位總和} * \text{船舶數量}) \quad (11)$$

表 4.2：橋式起重機之需求產生機率

橋式起重機	服務船席	船舶噸位(TEU)	機率
BC222	W23	8000	0.21
BC223			0.21
BC237			0.22
BC243	W24	1500	0.06
BC245			0.06
BC253	W26	3000	0.12
BC252			0.12

資料來源：本研究整理

表 4.3：門式起重機之需求產生機率

門式起重機	機率
RT221	0.25
RT222	0.25
RT231	0.25
RT232	0.25

資料來源：本研究整理

在各筆指派需求之時窗模擬方面，本研究參考台灣基隆港營運現況，每一筆貨櫃之裝卸時窗，以貨櫃船舶停泊港區之時間為主要依據，例如：海泰貨櫃輪之實際靠泊時間為 2019 年 3 月 8 日，預計出港時間為 2019 年 3 月 9 日，因此以海泰貨櫃輪為例，該船舶產生卸貨需求之時窗限制皆為 2019 年 3 月 8 日至 2019 年 3 月 9 日之內，若拖車無法在 2019 年 3 月 9 日前滿足指派需求，則會有懲罰成本產生。

本研究模擬不同作業情境，以分析本研究提出之智慧型指派模式與目前指派模式之指派效果，如表 4.4 所示，本研究將作業情境分為裝貨、卸貨與裝卸貨三大

類之模擬情境。在裝貨之模擬情境 A 中，考量貨櫃是否已運送至貨櫃儲運場區之情形，分為兩種裝貨情境：第一種為情境模擬 A1 為開始時間相同，即全部貨櫃皆已至貨櫃儲運場內後，場內拖車再將貨櫃上貨至貨櫃船，而第二種為開始時間不同之情境模擬 A2、A3，即場外貨車邊從場外運送貨櫃至貨櫃儲運場內，場內拖車邊將貨櫃上貨至貨櫃船。並進一步討論貨櫃抵達貨櫃儲運場內的時間在不同時間分佈下之情境，本研究將開始時間分佈分別假設為情境模擬 A2 均勻分佈與情境模擬 A3 指數分佈之兩種開始時間分佈之型態做進一步的討論。而在卸貨、裝卸貨之情境模擬 B 與 C 中，因貨櫃輪到港即貨櫃一次全部到貨櫃儲運場內，因此僅針對開始時間相同的情況做討論。

表 4.4：情境模擬架構表

情境模擬編號	情境模擬	開始時間		討論變因
A1	裝貨	相同		指派需求量
A2		不同	均勻分佈	開始時間
A3			指數分佈	開始時間
B	卸貨	相同		指派需求量
B	裝卸貨	相同		指派需求量、車輛數

資料來源：本研究整理

本研究中，每一種模擬情境皆隨機產生 10 筆相同條件下之資料，經本研究提出之兩種指派方式指派後，再取平均以得到最終情境模擬之拖車指派總成本，而裝貨、卸貨以及裝卸貨情境模擬之參數與變數設置分別如表 4.6、4.7 與 4.8 所示。而使用參數及變數詳細說明如下所示：

- (一) 指派需求量：為一次指派需求的數量。
- (二) 開始時間：為指派需求之時窗開始時間，亦可視為貨櫃抵達貨櫃儲運場之時間，如：船舶靠港、場外貨車將貨櫃運至場內貨櫃堆放區等時間點。
- (三) 結束時間：為指派需求之時窗結束時間，亦可視為貨櫃應離開貨櫃場之時間，如：船舶離開港區。
- (四) 車輛數：為貨櫃場區內可使用之場內拖車數量。

每筆指派需求如表 4.5 所示，具備編號、開始時間、結束時間、起點、迄點、貨櫃種類與是否為場內之資訊，以表 4.5 為例，編號 1 的指派需求開始時間為 0 秒，結束服務時間為 43200 秒，即指派需求需在船舶靠港的期間 12 小時內完成運送服務，拖車將於位置 7 取貨再到位置 0 送貨，貨櫃為兩箱箱 20 呎貨櫃，且為場內的指派需求，所以場內的欄位設為 1。

表 4.5：指派需求架構表

編號	開始時間	結束時間	起點	迄點	貨櫃種類	場內
1	0	43200	7	0	20 呎貨櫃*2	1

資料來源：本研究整理

表 4.6 為裝貨情境模擬之參變數設置，由於本研究情境模擬以貼近實務為主要目的，因此車輛數之參數設置為 7 輛，即基隆貨櫃儲運場區內平時使用之場內拖車數量，且為了控制變因以體現變數對目標式之敏感度，因此將貨櫃時窗限制皆設為 12 小時，即貨櫃輪停靠基隆港之時間。情境模擬 A1 中，在所有開始時間與結束時間以及使用拖車數量皆相同情況下，測試不同需求數量下兩種指派模式之運算成本。情境模擬 A2 與 A3 中，延續情境模擬 A1 之運算結果，顯示當指派需求量大於 100 筆後，兩種指派模式之差異百分比將會收斂，因此本研究在指派需求為 100 與使用車輛數為 7 輛之情況下，測試開始時間不同之差異性。

表 4.6：裝貨情境模擬參變數表

情境模擬編號	變數	變數設置	參數	參數設置
A1	指派需求量	30、50、100、 200、300 筆	開始時間	0 秒
			結束時間	43200 秒
			車輛數	7 輛
A2	開始時間	0-50、0-200、 0-500 分鐘	指派需求量	100 筆
			車輛數	7 輛
A3	開始時間	1、10、30 分鐘/車	指派需求量	100 筆
			車輛數	7 輛

資料來源：本研究整理

表 4.7 為卸貨情境模擬下之參數與變數設置，本研究模擬實際情境，即在 12 小時內以七輛拖車卸載貨櫃輪上之貨櫃，因此在情境模擬 B 中，本研究在貨櫃時

窗限制與場內拖車使用數量皆相同之情況下，討論不同指派需求數量時，兩種指派模式對目標成本之差異性。

表 4.7：卸貨情境模擬參變數表

情境模擬編號	變數	變數設置	參數	參數設置
B	指派需求數量	30、50、100、 200、300 筆	開始時間	0 秒
			結束時間	43200 秒
			車輛數	7 輛

資料來源：本研究整理

表 4.8 為裝卸貨情境模擬下之參數與變數設置，本研究模擬實際情境，即 12 小時裝卸載貨櫃輪上之貨櫃，並考量裝卸貨情境較貼近實務情形，因此本研究進一步將車輛數作為變因，加入模擬情境與分析中。本研究在貨櫃時窗限制與場內相同之情況下，分別討論不同指派需求數量以及車輛數時，兩種指派模式之差異性。

表 4.8：裝卸貨情境模擬參變數表

情境模擬編號	變數	變數設置	參數	參數設置
C	指派需求數量	30、50、100、 200、300 筆	開始時間	0 秒
	車輛數	2-10 輛	結束時間	43200 秒

資料來源：本研究整理

本研究將在 4.3 小節中，詳細說明上述不同模擬情境下之指派成果，進一步探討兩種指派模式之差異，以及找出本研究提出之指派模式之適用環境，以供台灣港區營運單位做未來規劃之參考。

4.3 情境模擬與分析

本研究將於 4.3 小節中，以 4.3.1、4.3.2 與 4.3.3 三小節，分別討論裝貨、卸貨與同時裝卸貨三種情境，其中在 4.3.1 小節中又分為三節：即為情境模擬 A1 開始時間相同、情境模擬 A2 開始時間呈均勻分佈與情境模擬 A3 開始時間呈指數分佈。最後，模擬結果將以差異百分比做衡量兩種指派模式的標準，如公式(12)所示，若智慧型指派模式越好，差異百分比將越大。

$$\text{差異百分比} = (\text{智慧型指派模式} - \text{目前指派模式}) / \text{目前指派模式} \quad (12)$$

4.3.1 裝貨情境模擬

本研究將在 4.3.1 小節中，延續 4.2 小節中表 4.5 之裝貨情境模擬之環境建置，並分為三個小節，先以 4.3.1.1 小節模擬單純裝貨之情境，再以 4.3.1.2 及 4.3.1.3 兩個小節探討開始時間改變對於指派模式之影響力。

4.3.1.1 情境模擬 A1：開始時間相同

在情境模擬 A1 中，本研究模擬貨櫃全部抵達貨櫃儲運場內，再由場內拖車依序裝貨上貨櫃輪之情境，並結合實務營運數據，假設開始時間相同且拖車使用數量為 7 輛下，探討不同指派需求規模下，本研究提出之智慧型指派模式與模擬實務之目前指派模式之差異性，如表 4.9 至表 4.13 所示，依序為指派需求 30、50、100、200 以及 300 之運算結果。

表 4.9：情境模擬 A1 之指派需求量 30

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	1341	1302	2.9%
2	1394	1355	2.8%
3	1358	1325	2.4%
4	1411	1371	2.8%
5	1398	1317	5.8%
6	1404	1389	1.1%
7	1235	1206	2.4%
8	1362	1330	2.3%
9	1445	1406	2.7%
10	1501	1465	2.4%
平均	1385	1347	2.8%

資料來源：本研究整理

表 4.10：情境模擬 A1 之指派需求量 50

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	2250	2203	2.1%
2	2390	2336	2.2%
3	2325	2230	4.1%
4	2260	2208	2.3%
5	2419	2331	3.7%
6	2169	2135	1.6%
7	2205	2168	1.7%
8	2292	2219	3.2%
9	2312	2132	7.8%
10	2312	2235	3.3%
平均	2293	2220	3.2%

資料來源：本研究整理

表 4.11：情境模擬 A1 之指派需求量 100

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4715	4598	2.5%
2	4447	4355	2.1%
3	4416	4357	1.3%
4	4435	4353	1.8%
5	4587	4501	1.9%
6	4503	4391	2.5%
7	4555	4469	1.9%
8	4603	4496	2.3%
9	4678	4577	2.1%
10	4754	4659	2.0%
平均	4569	4476	2.0%

資料來源：本研究整理

表 4.12：情境模擬 A1 之指派需求量 200

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	9525	9351	1.8%
2	9131	8946	2.0%
3	8726	8547	2.1%
4	9415	9231	1.9%
5	9237	9083	1.7%
6	9363	9188	1.9%
7	8718	8607	1.3%
8	8950	8782	1.9%
9	9311	9099	2.3%
10	8774	8642	1.5%
平均	9115	8947	1.8%

資料來源：本研究整理

表 4.13：情境模擬 A1 之指派需求量 300

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	13929	13608	2.3%
2	13733	13447	2.1%
3	13425	13222	1.5%
4	13844	13572	2.0%
5	13798	13532	1.9%
6	14073	13758	2.2%
7	14536	14238	2.0%
8	13496	13244	1.9%
9	13977	13703	2.0%
10	13959	13669	2.1%
平均	13877	13599	2.0%

資料來源：本研究整理

表 4.14 為情境模擬 A1 之運算結果比較表，當指派需求量为 50 時，智慧型指派模式與目前指派模式之差異百分比數值最大，即為百分之三點二，且如圖 4.2 所示，當指派需求超過 100 筆時，兩種指派模式之差異百分比將收斂至百分之二左右。因此當貨櫃全部抵達貨櫃儲運場，再由場內拖車裝貨至貨櫃輪之模擬情境下，指派需求規模大於 100 筆需求時有收斂的情況。

表 4.14：情境模擬 A1 之運算結果比較

指派需求量	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	1347	1385	2.8%	38
50	2220	2293	3.2%	74
100	4476	4569	2.0%	94
200	8947	9115	1.8%	168
300	13599	13877	2.0%	278

資料來源：本研究整理

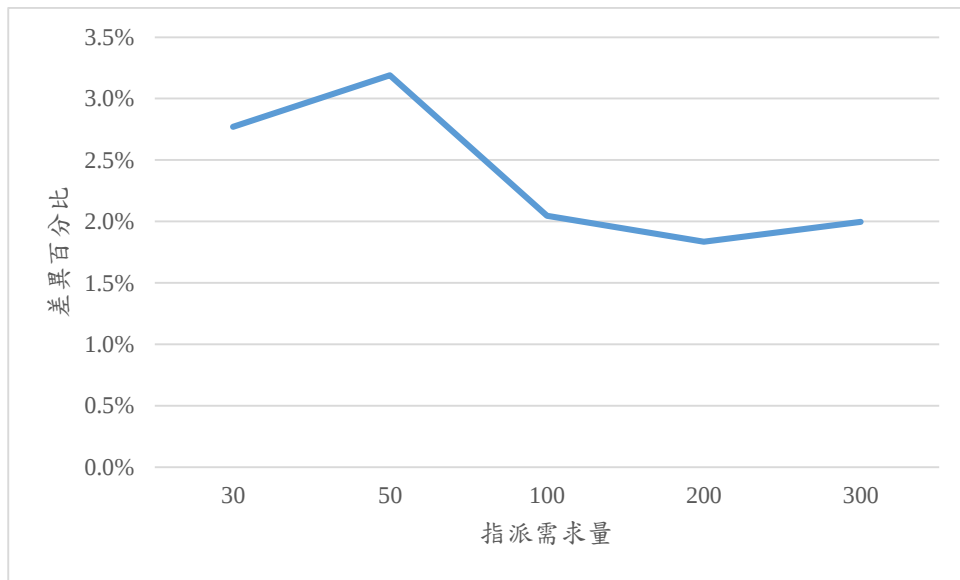


圖 4.2：情境模擬 A1 之差異百分比變化

資料來源：本研究整理

4.3.1.2 情境模擬 A2：開始時間呈均勻分佈

在情境模擬 A2 中，模擬場外貨車邊從場外運送貨櫃至貨櫃儲運場內，場內拖車邊將貨櫃上貨至貨櫃船之情境，即為開始時間不同的情況，且開始時間呈均勻分佈，進一步模擬開始時間密集度高、中、低，即假設開始時間集中在 50、200、500 分鐘內。考量實務營運數值以及情境模擬 A1 之模擬結果：指派需求量为 100 之後將收斂，假設拖車使用數量為 7 輛與指派需求量为 100 筆下，探討不同開始時間密集程度下，智慧型指派模式與目前指派模式之差異性，如表 4.15 至表 4.17 所示，依序為開始時間密集度高、中、低之運算結果。

表 4.15：情境模擬 A2 之開始時間密集度高

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4635	4513	2.6%
2	4666	4556	2.4%
3	4544	4471	1.6%
4	4762	4636	2.6%
5	4744	4654	1.9%
6	4775	4662	2.4%
7	4797	4680	2.4%
8	4543	4431	2.5%
9	4722	4599	2.6%
10	4565	4478	1.9%
平均	4675	4568	2.3%

資料來源：本研究整理

表 4.16：情境模擬 A2 之開始時間密集度中

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4665	4550	2.5%
2	4812	4681	2.7%
3	4538	4429	2.4%
4	4448	4367	1.8%
5	4339	4282	1.3%
6	4251	4188	1.5%
7	4533	4420	2.5%
8	3976	3890	2.2%
9	4790	4674	2.4%
10	4585	4479	2.3%
平均	4494	4396	2.2%

資料來源：本研究整理

表 4.17：情境模擬 A2 之開始時間密集度低

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4783	4649	2.8%
2	4606	4531	1.6%
3	4410	4312	2.2%
4	4642	4505	3.0%
5	4429	4345	1.9%
6	4580	4542	0.8%
7	4462	4335	2.8%
8	4571	4442	2.8%
9	4317	4254	1.5%
10	4397	4315	1.9%
平均	4520	4423	2.1%

資料來源：本研究整理

表 4.18 為情境模擬 A2 之運算結果比較表，當開始時間密集度高時，智慧型指派模式與目前指派模式之差異百分比數值稍高於另外兩者，但其差異程度僅為百分之一以下，如圖 4.3 所示，差異百分比皆在百分之二左右，且當開始時間密度越低時，差異百分比將微量減少，曲線十分平緩。因此，本研究認為在開始時間呈均勻分佈，場內拖車裝貨至貨櫃輪之模擬情境下，開始時間之密集程度對運算結果之差異百分比的影響力並不顯著。

表 4.18：情境模擬 A2 之運算結果比較

開始時間密集度	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比
高	4568	4675	2.3%
中	4396	4494	2.2%
低	4423	4520	2.1%

資料來源：本研究整理

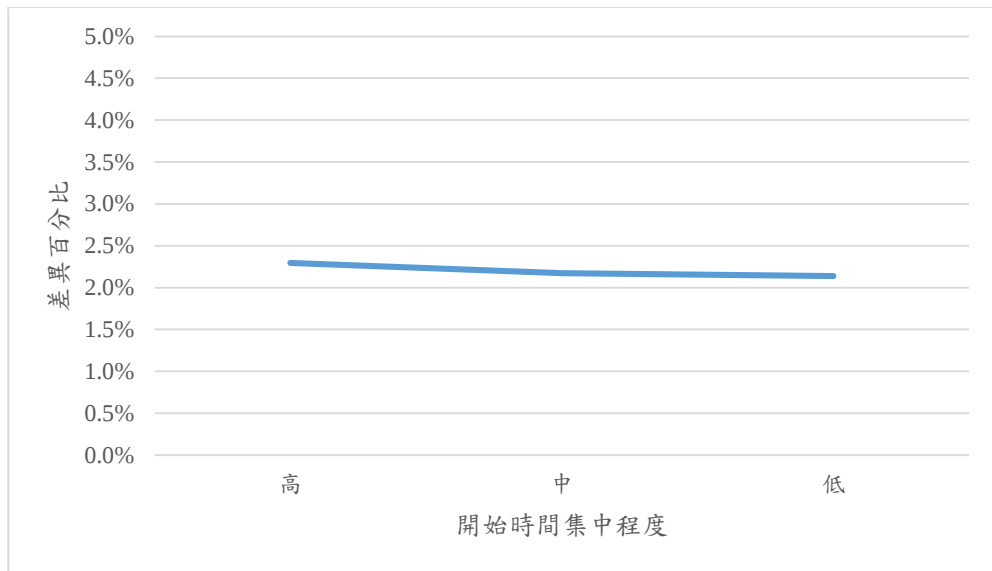


圖 4.3：情境模擬 A2 之差異百分比變化

資料來源：本研究整理

4.3.1.3 情境模擬 A3：開始時間呈指數分佈

在情境模擬 A3 中，模擬場外貨車邊從場外運送貨櫃至貨櫃儲運場內，場內拖車邊將貨櫃上貨至貨櫃船之情境，即為開始時間不同的情況，且開始時間呈指數分布之情境，模擬開始時間間隔 1、10、30 分鐘。並同樣如情境模擬 A2 之模擬環境，考量實務營運數值以及情境模擬 A1 之模擬結果，假設拖車使用數量為 7 輛與指派需求為 100 下，探討不同貨櫃抵達間隔時間下，智慧型指派模式與模擬實務之目前指派模式之差異性，如表 4.19 至表 4.21 所示。

表 4.19：情境模擬 A3 之開始時間間隔 1 分鐘

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4509	4410	2.2%
2	4807	4711	2.0%
3	4342	4306	0.8%
4	4696	4579	2.5%
5	4498	4396	2.3%
6	4417	4364	1.2%
7	4788	4653	2.8%
8	4544	4444	2.2%
9	4503	4383	2.7%
10	4614	4531	1.8%
平均	4572	4478	2.0%

資料來源：本研究整理

表 4.20：情境模擬 A3 之開始時間間隔 10 分鐘

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4357	4283	1.7%
2	4493	4413	1.8%
3	4640	4554	1.8%
4	4593	4476	2.5%
5	4594	4503	2.0%
6	4799	4674	2.6%
7	4505	4449	1.2%
8	4493	4403	2.0%
9	4716	4586	2.8%
10	4514	4406	2.4%
平均	4570	4475	2.1%

資料來源：本研究整理

表 4.21：情境模擬 A3 之開始時間間隔 30 分鐘

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4855	4757	2.0%
2	4537	4442	2.1%
3	4467	4379	2.0%
4	4436	4361	1.7%
5	4626	4486	3.0%
6	4656	4541	2.5%
7	4629	4528	2.2%
8	4535	4417	2.6%
9	4584	4481	2.3%
10	4655	4519	2.9%
平均	4598	4491	2.3%

資料來源：本研究整理

表 4.22 為情境模擬 A3 之運算結果比較表，當開始間隔時間為 30 分鐘時，差異百分比數值稍高於另外兩者，但其差異百分比之差值仍在百分之一以內，且如圖 4.4 所示，在開始間隔時間 1、10 與 30 分鐘下，差異百分比皆在百分之二左右，當間隔時間越長，差異百分比將微量上升，但整體曲線仍呈平緩趨勢。因此在模擬情境 A2 下，開始間隔時間對差異百分比的影響程度並不高。

表 4.22：情境模擬 A3 之運算結果比較

開始間隔時間(分鐘)	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比
1	4478	4572	2.0%
10	4475	4570	2.1%
30	4491	4598	2.3%

資料來源：本研究整理

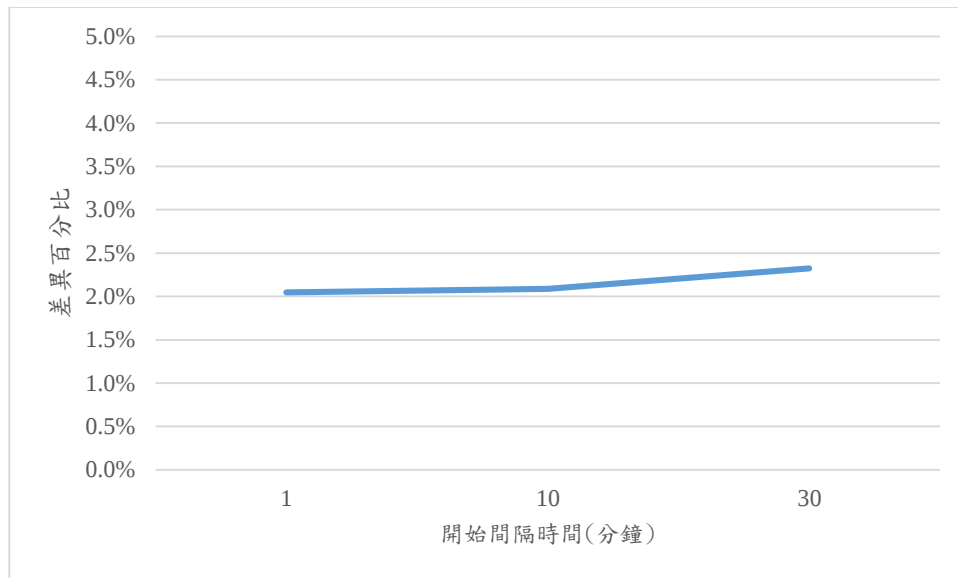


圖 4.4：情境模擬 A3 之差異百分比變化

資料來源：本研究整理

4.3.2 卸貨情境模擬

本研究將在 4.3.2 小節中，延續 4.2 小節中表 4.6 之卸貨情境模擬之環境建置，單純模擬貨櫃儲運場內之卸貨情境，再實際以本研究提出之智慧型指派模式與目前指派模式運算與分析，進而比較兩者之差異性。

在 4.3.2 小節中，即情境模擬 B，本研究模擬貨櫃輪全部抵達且停泊至港區，再由場內拖車依序卸貨至貨櫃儲場內之情境，並結合實務營運數據，假設開始時間相同且拖車使用數量為 7 輛下，探討不同指派需求規模下，本研究提出之智慧型指派模式與模擬實務之目前指派模式之差異性，如表 4.23 至表 4.27 所示，依序為指派需求 30、50、100、200 以及 300 之運算結果。

表 4.23：情境模擬 B 之指派需求量 30

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	1201	1138	5.3%
2	1283	1247	2.9%
3	1185	1109	6.4%
4	1371	1338	2.4%
5	1327	1254	5.5%
6	1369	1258	8.1%
7	1273	1181	7.2%
8	1171	1063	9.2%
9	1269	1120	11.8%
10	2151	1898	11.8%
平均	1360	1261	7.1%

資料來源：本研究整理

表 4.24：情境模擬 B 之指派需求量 50

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	2216	2142	3.3%
2	2198	2032	7.5%
3	2239	2176	2.8%
4	2398	2241	6.5%
5	2499	2411	3.5%
6	2087	1959	6.2%
7	1890	1827	3.3%
8	2499	2389	4.4%
9	2169	2103	3.0%
10	3676	3564	3.0%
平均	2387	2284	4.4%

資料來源：本研究整理

表 4.25：情境模擬 B 之指派需求量 100

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	4362	4281	1.9%
2	4634	4465	3.7%
3	4258	3558	16.4%
4	4253	4185	1.6%
5	4386	4280	2.4%
6	4481	4344	3.1%
7	4813	4730	1.7%
8	4554	4388	3.6%
9	4702	4577	2.7%
10	7970	7757	2.7%
平均	4841	4656	4.0%

資料來源：本研究整理

表 4.26：情境模擬 B 之指派需求量 200

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	9010	8846	1.8%
2	9003	8933	0.8%
3	8708	8574	1.5%
4	9173	9091	0.9%
5	8694	8566	1.5%
6	9088	8923	1.8%
7	8832	8704	1.5%
8	8841	8751	1.0%
9	9091	9012	0.9%
10	15408	15275	0.9%
平均	9585	9468	1.2%

資料來源：本研究整理

表 4.27：情境模擬 B 之指派需求量 300

	目前指派模式	智慧型指派模式	差異百分比
1	13747	13645	0.7%
2	13750	13644	0.8%
3	13574	13408	1.2%
4	13493	13408	0.6%
5	13199	13105	0.7%
6	14165	14075	0.6%
7	13327	13208	0.9%
8	13666	13568	0.7%
9	13707	13588	0.9%
10	23232	23031	0.9%
平均	14586	14468	0.8%

資料來源：本研究整理

表 4.28 為情境模擬 B 之運算結果比較表，當指派需求量为 30 時，智慧型指派模式與目前指派模式之差異百分比數值最大，即為百分之七，且如圖 4.5 所示，當指派需求超過 200 時兩種指派模式之差異百分比將收斂至百分之一。因此指派模式運用在卸貨之模擬情境時，指派需求規模越大，差異百分比越小，且當指派需求規模大於 200 時，差異百分比將收斂至百分之一左右。

表 4.28：情境模擬 B 之運算結果比較

指派需求量	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	1261	1360	7.1%	100
50	2284	2387	4.4%	103
100	4656	4841	4.0%	185
200	9468	9585	1.2%	117
300	14468	14586	0.8%	118

資料來源：本研究整理

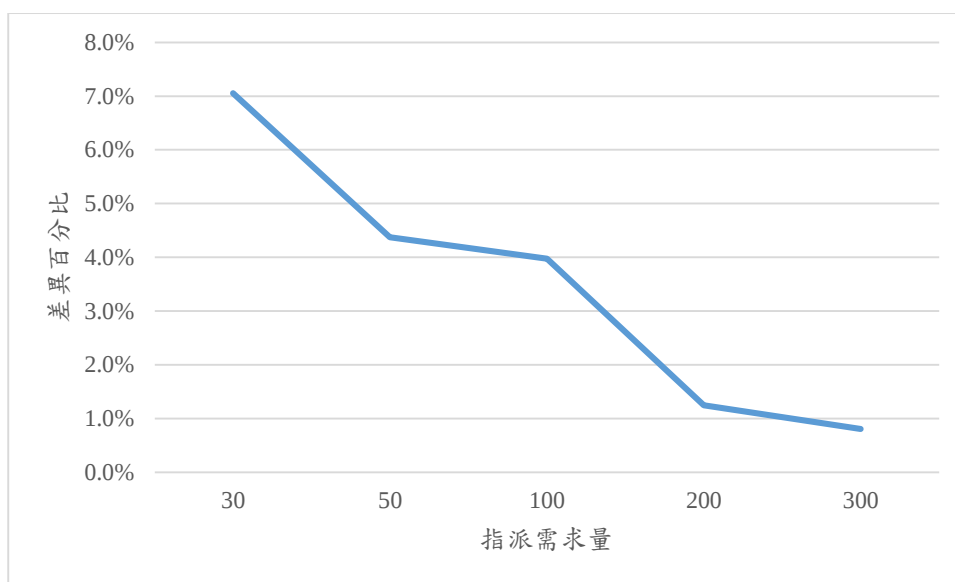


圖 4.5：情境模擬 B 之差異百分比變化

資料來源：本研究整理

4.3.3 裝卸貨情境模擬

本研究將在 4.3.3 小節中，延續 4.2 小節中表 4.7 之裝卸貨情境模擬之環境建置，模擬貨櫃儲運場內同時裝卸貨之情境，實際以本研究提出之智慧型指派模式與目前指派模式之運算成果，進而比較兩者之差異性。在 4.3.3 小節中，即情境模擬 C，本研究模擬貨櫃儲運場區內同時裝卸貨之情況，假設所有指派需求之時窗限制相同時，探討不同指派需求規模下，智慧型指派模式與模擬實務之目前指派模式之差異性，並考量港區同時裝卸貨之情境模擬較貼近實務，因此，本研究進一步分析不同拖車使用數量下之情況。如表 4.29 至表 4.37 所示，分別為車輛數為 2 至 10 輛時，服務不同筆指派需求規模時之指派運算結果比較。

表 4.29：情境模擬 C 之車輛數為 2

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	944	2772	44.7%	1828
50	1572	4319	47.1%	2747
100	3049	7274	52.4%	4226
200	5885	16087	61.2%	10203
300	8836	21694	56.6%	12859

資料來源：本研究整理

表 4.30：情境模擬 C 之車輛數為 3

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	948	4646	24.8%	3698
50	1569	1995	28.5%	426
100	3038	4381	28.5%	1343
200	5932	8765	30.7%	2834
300	8548	11902	27.8%	3354

資料來源：本研究整理

表 4.31：情境模擬 C 之車輛數為 4

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	968	1130	14.3%	190
50	1603	1975	18.8%	442
100	3706	4817	23.1%	1111
200	7205	9193	21.6%	1988
300	8839	11643	24.1%	2804

資料來源：本研究整理

表 4.32：情境模擬 C 之車輛數為 5

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	961	1087	11.4%	126
50	1566	1871	16.1%	305
100	3041	3874	21.1%	833
200	5937	7486	20.7%	1549
300	8844	11315	21.6%	2472

資料來源：本研究整理

表 4.33：情境模擬 C 之車輛數為 6

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	958	1076	11.0%	118
50	1570	1844	14.8%	274
100	3024	3866	21.4%	842
200	6027	7332	17.7%	1304
300	8889	11183	20.2%	2294

資料來源：本研究整理

表 4.34：情境模擬 C 之車輛數為 7

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	959	1062	9.6%	103
50	1570	1812	13.4%	243
100	3019	3706	18.3%	687
200	5930	7163	16.9%	1233
300	8739	10962	19.8%	2224

資料來源：本研究整理

表 4.35：情境模擬 C 之車輛數為 8

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	938	1030	8.9%	93
50	1597	1819	12.1%	222
100	3042	3704	17.3%	662
200	5931	7104	16.5%	1173
300	8873	10928	18.4%	2054

資料來源：本研究整理

表 4.36：情境模擬 C 之車輛數為 9

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	934	1026	9.0%	92
50	1558	1759	11.2%	201
100	3024	3667	16.9%	643
200	5907	7010	15.7%	1103
300	8872	10836	17.7%	1964

資料來源：本研究整理

表 4.37：情境模擬 C 之車輛數為 10

	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	934	997	6.3%	63
50	1561	1743	10.2%	182
100	3032	3616	15.5%	584
200	5942	6908	14.0%	966
300	8854	10645	16.3%	1791

資料來源：本研究整理

圖 4.6 為情境模擬 C 之差異百分比變化圖，整體而言，當指派需求量增加，差異百分比越高，且當拖車數量越少時，指派需求量對差異百分比之影響程度越顯著，如：車輛數為 2 與車輛數為 3 之情境。如圖 4.6 所示，當車輛數在 2 輛時，車輛服務不同指派需求規模下之差異百分比的變化較大，需求規模在 200 筆時，兩種指派模式之差異百分比最高可接近百分之百。但當車輛數大於 6 輛時，車輛服務不同指派需求規模下之差異百分比將趨於穩定，需求規模在 30、50、100、200 與 300 筆下，兩種指派模式之差異百分比大致在百分之二十以下。因此本研究認為智慧型指派模式在指派需求量高且車輛數少之情況下，指派效果優於目前指派模式。

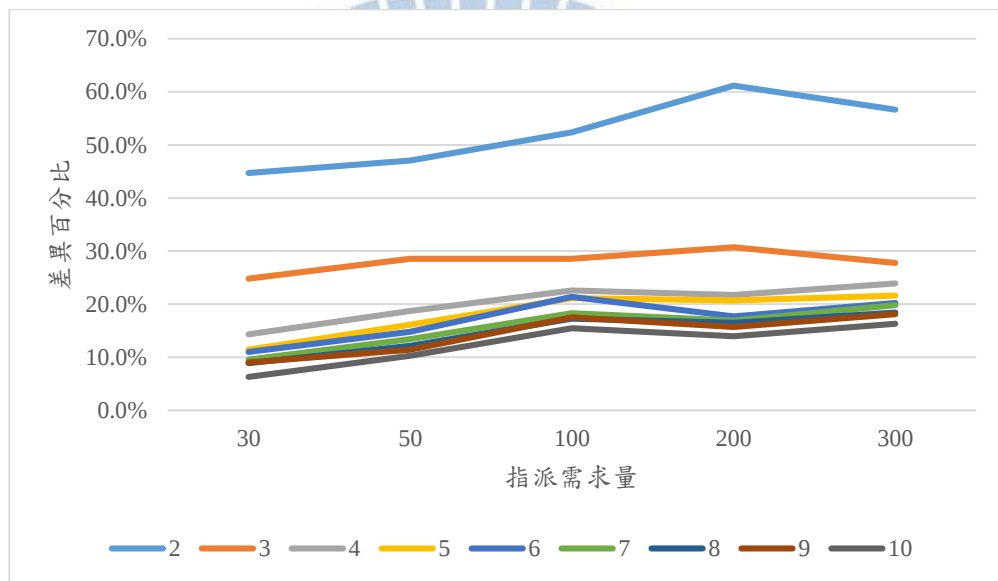


圖 4.6：情境模擬 C 之差異百分比變化

資料來源：本研究整理

若針對兩種指派結果之差異收斂後之情況，探討指派需求規模對差異百分比之影響，如圖 4.7 所示，當車輛數為 6 至 10 輛時，指派需求量为 30 時運算差異性較小，差異百分比在百分之十左右，指派需求量为 100 與 300 筆下之運算差異性較顯著，差異百分比落在百分之十五至二十。因此不論車輛數增減，當指派需求規模越大，智慧型指派模式之指派結果越優於目前指派模式。

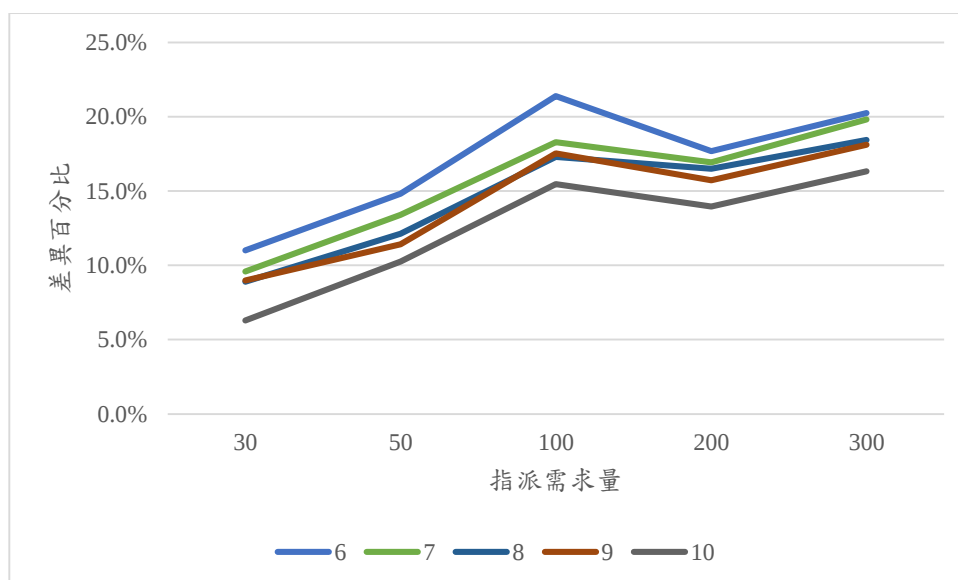


圖 4.7：情境模擬 C 之差異百分比變化細部圖

資料來源：本研究整理

4.4 敏感度分析

在 4.4 小節中，本研究以同時裝卸之情境為背景，以 4.4.1 與 4.4.2 兩小節分別討論懲罰成本與場內拖車閒置時間之變化。

4.4.1 懲罰成本

在 4.4.1 小節中，本研究以同時裝卸之情境為背景，針對懲罰成本對整體總時間成本的影響力做進一步的探討，模擬情境如下表 4.38 所示，參考圖 4.7 同時裝卸的模擬結果：當車輛數大於 6 輛時，成本將收斂，僅討論拖車 2、4、6 輛。

表 4.38：懲罰成本對車輛數之情境模擬環境設置

情境模擬	變數	變數設置	參數	參數設置
懲罰成本 對拖車數	車輛數	2、4、6 輛	開始時間	0 秒
			結束時間	7200 秒
			指派需求量	300 筆
			懲罰成本	50 倍

資料來源：本研究整理

模擬結果如表 4.39 所示，當車輛數為 2 輛時，使用目前指派模式將無法在時窗限制內完成所有指派，造成懲罰成本的產生，使車輛數為 2 時的差異百分比明顯高於車輛數為 4 與 6 的情況。

表 4.39：懲罰成本對車輛數之情境模擬結果

車輛數	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
2	8834	42234704	93.1%	42225871
4	8847	11643	23.9%	2797
6	8842	11220	20.9%	2378

資料來源：本研究整理

兩種指派模式的時間成本如表 4.39 所示，而兩種指派模式的差異百分比變化，當車輛數為 2 輛時，兩種指派模式的總成本差距最大，由此可知，懲罰成本對指派結果的影響力顯著，能夠有效協助拖車在時窗限制內完成所有指派需求，以達成在船舶靠港期間完成所有指派需求的目的。除此之外，也能看出智慧型指派模式能運用較少的車輛完成較多指派需求，能達到提升港區營運效率的目標。

由上述模擬結果，得知懲罰成本對指派結果的影響力十分顯著，所以本研究進一步以懲罰成本為變因，探討懲罰成本改變下，對兩種指派模式的模擬結果。參考上述模擬結果，得知在車輛數為 2 輛的情況下，差異百分比最為顯著，因此將拖車數量之參數設為 2 輛，詳細環境設置如表 4.40 所示。

表 4.40：懲罰成本情境模擬之環境設置

情境模擬	變數	變數設置	參數	參數設置
懲罰成本	懲罰成本	10、30、50 倍	開始時間	0 秒
			結束時間	7200 秒
			指派需求量	300 筆
			車輛數	2 輛

資料來源：本研究整理

模擬結果如表 4.41 所示，當懲罰成本為 10 倍時，目前指派模式的運算結果最低，反之，當懲罰成本為 50 倍時，目前指派模式的運算結果最高，由此可知，懲罰成本對指派模式的影響力呈正相關，且由圖 4.10 也可驗證。

表 4.41：懲罰成本對車輛數之情境模擬結果

懲罰成本	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
10	8834	7868998	92.2%	7860164
30	8834	25439495	92.9%	25430661
50	8834	42234704	93.1%	42225871

資料來源：本研究整理

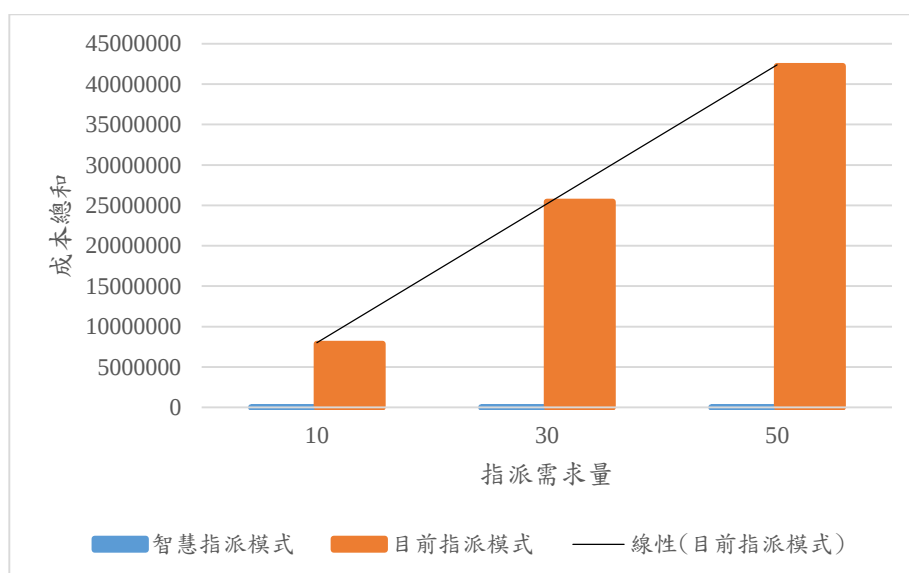


圖 4.8：懲罰成本之情境模擬下成本變化

資料來源：本研究整理

4.4.2 場內拖車閒置時間

在 4.4.2 小節中，本研究以同時裝卸之情境為背景，探討兩種指派模式下，拖車於貨櫃儲運場內的拖車閒置時間之差異。模擬環境如表 4.42 所示，討論變因為指派需求量，參數方面，每筆指派需求的時窗為船舶停靠時間，即為 12 小時，車輛數為 7 輛，而超過時窗限制之懲罰成本為 50 倍。

表 4.42：閒置時間之情境模擬環境設置

情境模擬	變數	變數設置	參數	參數設置
閒置時間	指派需求量	30、50、100、 200、300 筆	開始時間	0 秒
			結束時間	43200 秒
			車輛數	7 輛
			懲罰成本	50 倍

資料來源：本研究整理

模擬結果如表 4.43 與圖 4.11 所示，智慧型指派模式下模擬結果之場內拖車閒置時間皆少於目前指派模式下的模擬結果，且指派需求量對差異百分比的影響力並不顯著，由此可知，智慧型指派模式能有效降低場內拖車的閒置時間，進而提升港區的營運效率。

表 4.43：閒置時間之情境模擬結果

指派需求量	智慧指派模式	目前指派模式	差異百分比	節省成本
30	49	61	21.7%	12
50	46	53	6.9%	6
100	48	90	47.3%	42
200	47	65	28.5%	18
300	52	69	29.2%	17

資料來源：本研究整理

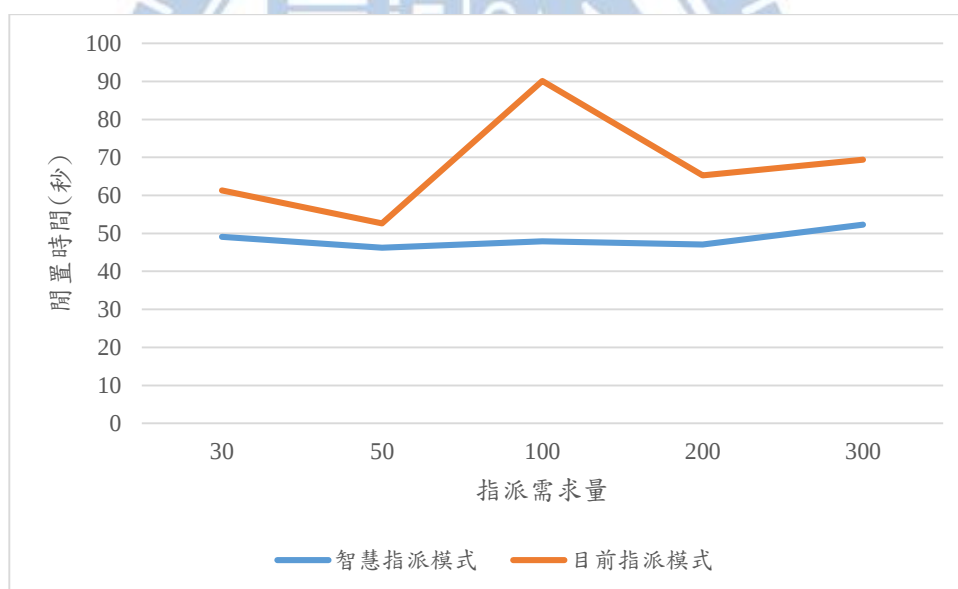


圖 4.9：閒置時間之情境模擬下閒置時間變化

資料來源：本研究整理

4.5 小結

在 4.1 至 4.2 小節中，本研究實際蒐集基隆港之營運相關數據資料，並詳細說明模擬環境與數值產生方式，進而建立多種貼近實務之情境模擬，試在後續小節中，以 3.3 小節設計之智慧型指派模式與目前指派模式實際運算，分析不同情境下之運算成果。

在 4.3.1 小節中，模擬實務裝載貨櫃之情境，由智慧型指派模式以及目前指派模式運算後，無論開始時間相同、呈均勻或指數分佈，不同指派需求下之差異百分比皆在百分之五以下，大多集中在百分之二左右，且開始時間之改變對差異百分比之影響程度較小，差異百分比改變程度皆在百分之一內，因此開始時間改變與否，對智慧型指派模式運算結果無明顯影響。

在 4.3.2 模擬實務卸載貨櫃之情境，由兩種指派模式運算後得知，在不同指派需求下之差異百分比最高可達百分之七，且當指派求規模大於 200 時，差異百分比將收斂至百分之一左右，指派需求規模越大，差異百分比之變化程度越小。

在 4.3.3 小節中，模擬實務同時裝卸貨之情境，由兩種指派模式運算後，若比較前面單純討論裝貨以及卸貨之情境，以車輛數為 7 輛為相同比較基準下，在運算不同指派需求規模時，同時裝卸貨之差異百分比皆落在百分之十至二十間，明顯優於單純討論裝貨或卸貨之情境模擬。

比較 4.3 三個小節，指派需求量對兩種指派模式下之差異百分比，在單純討論裝貨、卸貨情境中，指派需求規模對差異百分比之敏感度不高，差異百分比皆在百分之十以下，即智慧型指派模式稍優於目前指派模式，且有指派需求規模越大，差異百分比越小之趨勢。但在同時裝卸貨之情境中，指派需求規模對差異百分比之變化程度提升至百分之十至二十間，且指派需求規模對差異百分比之影響力大致呈正相關。本研究認為因單純討論裝貨或卸貨之作業流程與運送路線較單一，所以兩種指派模式之差異程度較小，且在指派需求增加時，其差異程度也越

不明顯。反之，在貨櫃儲運場內之同時裝卸貨情境中，作業流程與運送路線較為複雜、多變，因此差異程度較大，且有指派需求越多，差異百分比越高之趨勢。

在 4.4.1 小節中，得知當拖車數量少時，懲罰成本會造成目前指派模式下之總時間成本提升，造成差異百分比上升，因此本研究認為當拖車數量越少時，雖容易受懲罰成本影響造成總時間成本上升之現象，但也能看出智慧型指派模式之指派結果更加明顯優於目前指派模式之運算結果。最後，在 4.4.2 小節中，能看出智慧型指派模式下的模擬結果能有效降低場內拖車之閒置時間，進而提升港區營運效率。

綜合以上，港區實務運作多以同時裝卸貨為主，即 4.3.3 小節同時裝卸貨之情境模擬較貼近實務，參考 4.3 小節與 4.4 小節之模擬結果，不論在拖車數量多或少之情況下，根據總時間成本以及差異百分比，智慧型指派模式之運算結果整體優於模擬實務之目前指派模式，因此本研究提出之智慧型指派模式應能有效降低拖車行駛之總時間成本，且能使用較少拖車數量完成指派需求，以提升港區營運效率並降低成本。

第五章 結論與建議

鑒於智慧型港口為目前全球港口發展之趨勢，且為提升港區營運效率與降低營運成本，更加強發展智慧型港口之必需性，因此本研究以智慧型港口為背景，並考量台灣港區發展現況，發展能實際運用在貨櫃儲運場內之拖車指派模式。在模擬驗證研究方法方面，有別於過去相關研究，較少應用實際資料運算研究方法，較不容易與實務連結，本研究運用大量基隆港營運相關數據，建立一完整情境模擬架構，並以本研究提出之指派模式運算，有效驗證其指派模式應用於實務之可行性，以期未來提供港務單位參考。以下為對應本研究目的之研究結論：

- (一) 本研究由第二章文獻回顧蒐集大量國外智慧型港口相關文獻，得知智慧型港口運用先進科技，能蒐集港區營運相關即時資料，並藉由行動裝置將其資訊傳遞至營運單位與使用者手中。本研究認為智慧型港口與傳統港口之主要差異主要有兩項，分別為港區營運作業系統自動化與港區即時資訊之運用，未來更將會以無人運具代替駕駛以降低人力成本，因此本研究將這兩項特性作為研究環境建立之主要假設依據。
- (二) 延續智慧型港口與傳統港口之差異性，本研究根據智慧型港口下貨櫃儲運場內之環境，發展一數學指派模型，有別於傳統港口之數學模型著重於排班與規劃路線，更貼近智慧型港口之營運環境，同時也更適合使用在自動化貨櫃儲運場內之拖車指派工作上。
- (三) 本研究應用貪婪演算法於智慧型指派模式，以最小化拖車總時間成本為目的，其中包含拖車總行駛時間成本以及未在時間內滿足指派需求而衍生之懲罰成本，找出在時窗限制下能滿足指派需求之拖車行駛路線。本研究提出之智慧型指派模式，能有效運用港區即時資訊，且能處理大量指派需求，較適合應用於實務問題，因此本研究也設計多種貼近實務之模擬情境，實際測試智慧型指派模式之運算效率。
- (四) 本研究提出目前指派模式以模擬實務港區營運單位沒有運用即時資訊之指派情形，做為標竿比較基準，並參考基隆港實際營運之環境與數據，模擬裝貨、卸貨與裝卸貨三種情境，進而與智慧型指派模式做比較。而情境模擬顯示：單純模擬裝卸貨時，智慧型指派模式稍優於目前指派模式之運算結果，兩者差異

百分比皆在百分之十以下，且差異百分比有隨指派需求規模提升而收斂之現象。模擬同時裝卸貨情境時，智慧型指派模式之運算結果優於目前指派模式，且有差異百分比隨指派需求規模提升而增長之趨勢，平均差異百分比相差 9.8%。除此之外，模擬也顯示當車輛數較少時，智慧型指派模式之運算結果明顯優於目前指派模式，當車輛數為 2 時，差異百分比最多差 47.2%，且智慧型指派模式下的場內拖車閒置時間少於目前指派模式之模擬結果。因此，考量場內拖車行駛時間與閒置時間，能得知本研究提出之智慧型指派模式能有效改善現今港區指派拖車之現況，並有效減少使用車輛數量與服務時間，進而提升港區營運效率。

由於智慧型港口仍為國際港區轉型之目標，智慧型港區之運輸規劃問題將仍會是未來港區相關研究之趨勢，因此本研究提出相關延伸研究之建議，以供未來後續相關研究做參考，建議如下所示：

- (一) 考量科技發展速度將帶動智慧型港口發展，本研究建議未來相關研究仍需繼續蒐集相關資訊，以了解現今相關研究發展情況。
- (二) 在數學模型方面，本研究認為未來能將車輛固定成本、碳排放量與港區停等時間等拖車延伸之相關成本納入考量。
- (三) 在指派模式方面，本研究建議未來研究能應用其他演算法，如：基因演算法、螞蟻演算法等，試優化其求解效能。
- (四) 在情境模擬方面，本研究建議未來相關研究能進一步針對同時裝卸貨之情境作更深入之探討，例如：調整裝卸貨之比率，比較不同裝卸貨比率下指派模式之運算效果，進而使模擬結果更貼近實務，更具有說服力。

參考文獻

中文部分

中華民國交通部 (2015) · 第三屆港市合作發展論壇 · 取自 <https://www.twport.com.tw/Upload/A/RelFile/News/12648/0d609a8d-269f-4fcf-8418-803eee34e398.pdf>

英文部分

- Antonio Botti, A. M., Marco Pellicano and Carlo Torre. (2017). The Re-Conceptualization of the Port Supply Chain as a Smart Port Service System: The Case of the Port of Salerno. *Systems*, 5(2). doi:10.3390/systems5020035
- Bettinelli, A., Ceselli, A., & Righini, G. (2014). A branch-and-price algorithm for the multi-depot heterogeneous-fleet pickup and delivery problem with soft time windows. *Mathematical Programming Computation*, 6(2), 171-197. doi:10.1007/s12532-014-0064-0
- Carlo, H. J., Vis, I. F. A., & Roodbergen, K. J. (2014). Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 412-430. doi:10.1016/j.ejor.2013.10.054
- Fernández, P., Suárez, J. P., Trujillo, A., Domínguez, C., & Santana, J. M. (2018). 3D-Monitoring Big Geo Data on a seaport infrastructure based on FIWARE. *Journal of Geographical Systems*, 20(2), 139-157. doi:10.1007/s10109-018-0269-2
- Ghaderi, H. (2018). Autonomous technologies in short sea shipping: trends, feasibility and implications. *Transport Reviews*, 39(1), 152-173. doi:10.1080/01441647.2018.1502834
- Grimault, A., Bostel, N., & Lehuédé, F. (2017). An adaptive large neighborhood search for the full truckload pickup and delivery problem with resource synchronization. *Computers & Operations Research*, 88, 1-14. doi:10.1016/j.cor.2017.06.012
- Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., & Voß, S. (2017a). Multi-objective inter-terminal truck routing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 106, 178-202. doi:10.1016/j.tre.2017.07.008
- Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., & Voß, S. (2017b). port-IO: an integrative mobile cloud platform for real-time inter-terminal truck routing optimization. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29(3-4), 504-534. doi:10.1007/s10696-017-9280-z
- Heilig, L., & Voß, S. (2016). Information systems in seaports: a categorization and overview. *Information Technology and Management*, 18(3), 179-201. doi:10.1007/s10799-016-0269-1
- Hentschel, M., Ketter, W., & Collins, J. (2018). Renewable energy cooperatives: Facilitating the energy transition at the Port of Rotterdam. *Energy Policy*, 121, 61-69. doi:10.1016/j.enpol.2018.06.014
- Iswari, T., & Asih, A. M. S. (2018). Comparing genetic algorithm and particle swarm optimization for solving capacitated vehicle routing problem. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 337. doi:10.1088/1757-899x/337/1/012004
- Krajewska, M. A., Kopfer, H., Laporte, G., Ropke, S., & Zaccour, G. (2008). Horizontal cooperation among freight carriers: request allocation and profit sharing. *Journal of the Operational Research Society*, 59(11), 1483-1491. doi:10.1057/palgrave.jors.2602489

- Lalla-Ruiz, E., Expósito-Izquierdo, C., Taheripour, S., & Voß, S. (2015). An improved formulation for the multi-depot open vehicle routing problem. *OR Spectrum*, 38(1), 175-187. doi:10.1007/s00291-015-0408-9
- Memon, M. A., Karray, M. H., Letouzey, A., & Archimède, B. (2017). Semantic transportation planning for food products supply chain ecosystem within difficult geographic zones. *Industrial Management & Data Systems*, 117(9), 2064-2084. doi:10.1108/imds-10-2016-0459
- Morales Fusco, P., Pedrielli, G., Zhou, C., Lee, L. H., & Chew, E. P. (2016). *Inter-terminal transfer between port terminals. A continuous mathematical programming model to optimize scheduling and deployment of transport units*. Paper presented at the Libro de Actas CIT2016. XII Congreso de Ingeniería del Transporte.
- Parragh, S. N., Doerner, K. F., & Hartl, R. F. (2008). A survey on pickup and delivery problems. *Journal für Betriebswirtschaft*, 58(1), 21-51. doi:10.1007/s11301-008-0033-7
- Phan, M.-H., & Kim, K. H. (2015). Negotiating truck arrival times among trucking companies and a container terminal. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 132-144. doi:10.1016/j.tre.2015.01.004
- Phan, M.-H., & Kim, K. H. (2016). Collaborative truck scheduling and appointments for trucking companies and container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological*, 86, 37-50. doi:10.1016/j.trb.2016.01.006
- Port of Rotterdam (2019). From <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/logistics/storage-and-transshipment/terminals>
- Port of Hamburg (2019). From <https://www.hafen-hamburg.de/>
- Tierney, K., Voß, S., & Stahlbock, R. (2014). A mathematical model of inter-terminal transportation. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 448-460. doi:10.1016/j.ejor.2013.07.007
- Ting, C.-K., Liao, X.-L., Huang, Y.-H., & Liaw, R.-T. (2017). Multi-vehicle selective pickup and delivery using metaheuristic algorithms. *Information Sciences*, 406-407, 146-169. doi:10.1016/j.ins.2017.04.001
- Wang, Z., & Lin, L. (2013). A Simulation-Based Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times. *Journal of Applied Mathematics*, 2013, 1-10. doi:10.1155/2013/127156
- Yang, Y., Zhong, M., Dessouky, Y., & Postolache, O. (2018). An integrated scheduling method for AGV routing in automated container terminals. *Computers & Industrial Engineering*, 126, 482-493. doi:10.1016/j.cie.2018.10.007
- Yann Alix (2017). What is a smart port. From <http://parisinnovationreview.com/articles-en/what-is-a-smart-port>
- Zehendner, E., & Feillet, D. (2014). Benefits of a truck appointment system on the service quality of inland transport modes at a multimodal container terminal. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 461-469. doi:10.1016/j.ejor.2013.07.005
- Zheng, H., Negenborn, R. R., & Lodewijks, G. (2017). Closed-loop scheduling and control of waterborne AGVs for energy-efficient Inter Terminal Transport. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 105, 261-278. doi:10.1016/j.tre.2016.07.010