

國立成功大學

交通管理科學研究所

碩士論文

封裝廠材料揀貨策略之研究

The Material Picking Strategy of Assembly Factory

研究生：邱芷涵

指導教授：林東盈 博士

中華民國一零八年一月

國立成功大學

碩士在職專班論文

封裝廠材料揀貨策略之研究

The Material Picking Strategy of Assembly Factory

研究生：邱芷涵

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

王逸琳

沈宗緯

柯東昱

指導教授：柯東昱

系(所)主管：陳勁甫

中華民國 108 年 1 月 16 日

摘要

本研究探討 IC 封裝廠物料揀貨作業之訂單批次處理與揀貨路徑安排的問題，並發展出適合內部揀貨批次與最少揀貨旅行成本的揀貨路徑，以解決倉儲中心揀貨作業重工、過多揀取品項的揀貨單導致長時間的揀貨作業，與不必要的作業等待與揀貨移動時間，以提高物料揀取作業的效率，縮短發料時效。

本研究將此揀貨問題規劃為有容量限制之車輛排程問題 (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)，將每一位揀貨員視為一輛有容量限制的車輛，必須用最少的車輛、效率最高的方式，將所有工廠的需求量完成，並以原啟發式演算法 (metaheuristics) - 禁忌搜尋法求解 CVRP 問題。以四種求解策略求解個案公司之材料揀貨作業問題，並在不改變現有的倉儲佈局與存儲規則下，開發材料揀貨之最佳策略。

經過系統模擬實驗，證實本演算法皆有很好的績效表現，對於現在企業的揀貨問題，具實際應用價值。本演算法以符合倉儲中心實際揀貨環境，結合材料揀取的載具容積，計算出最佳揀貨批次與揀貨路徑，在揀貨總時間最少的情況下完成揀貨作業。而在總揀貨人次上，四種策略也較未經過運算的派工人次與揀貨員人數有很好的表現，有效節省旅行次數，對於現場作業人員的調度，提供了更大的彈性。本研究開發出之最佳揀貨策略演算法，可提升揀貨效率與降低發料時效，並提高企業生產力與整體生產效益。

關鍵詞：具容量限制之車輛排程問題(Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)、訂單揀貨(Order Picking)、禁忌搜尋法 (Tabu Search)

The Material Picking Strategy of Assembly Factory

Zhi-Han Chiu

Dung-Ying Lin

National Cheng Kung University Department of Transportation and Communication
Management Science, College of Management

SUMMARY

This study investigates the material picking issues in an IC assembly factory. The main goals are to develop the picking path, to evaluate the minimum picking travel costs to address the rework of picking operations in the warehouse center, to avoid picking orders with too many items, and to remove unnecessary picking movement waste.

The problem is formulated as a Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). Each picking operator is considered as a vehicle with capacity constraint. We attempt to complete the material picking requirement with the fewest number of operators/vehicles. To solve the resulting program, we develop a metaheuristics-tabu search. With the proposed solution method, we evaluate four different material picking strategies with real-world data.

Based on the numerical experiment, the results confirmed that the algorithm on these experiments outperforms the factory's current practice and results in significant savings. On the other hand, the current enterprise met material picking issues, which proves that it possesses practical application value. This algorithm is not only based on a warehouse's real picking environment but also combines the capacity of the material picking carrier to calculate and optimize the best choice of picking batch and picking route. The algorithm is built on the fewest total working hours to fulfill the picking process. Based on the total picking person-times, that performance is better than those without computed. It could save travel times and provide more flexible men deployment to supervisors. From this research, the development of the best strategy algorithm can improve working efficiency, reduce material delivery times, increase the enterprise's productivity.

Keywords: Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Order Picking, Tabu Search (TS)

INTRODUCTION

Order picking has been thought as the highest labors intensive level job in all warehouses; its running cost is also highest. The cost of order picking is estimated to be higher than 55% of the whole running cost of a warehouse. Any worsening of order picking will cause worse service and higher costs. It will affect the whole material supply and production efficiency. Therefore, when an enterprise encounters a shortened product life cycle, a compressed delivery time, a cost reduction request or uprising service demands, the order picking process needs to be designed as a more stable and optimized control system.

This study probes the material picking issues of the picking order batch process and the arrangement for the material picking path in an IC assembly factory. To develop an internal picking path and minimum picking travel costs to address the rework of picking operations in the warehouse center, picking orders with too many items results in long picking operations and too much waiting and unnecessary picking movement waste. This study target to improve the efficiency of material picking operations and shorten the timeliness of material delivery. It is actually applied to the enterprise's Warehouse Management System (WMS), and complete material picking operation rules and related processing procedures are established to strengthen the dispatch management functions in the storage center and to reduce logistics labor costs.

MATERIALS AND METHODS

The problem is formulated as a Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). Each picking operator is considered as a vehicle with capacity constraint. We attempt to complete the material picking requirement with the fewest number of operators/vehicles. To solve the resulting program, we develop a metaheuristics-tabu search. With the proposed solution method, we evaluate four different material picking strategies with real-world data. These four strategies are: (1) the random strategy, (2) the least picking manpower strategy, (3) the unlimited picking machine usage strategy, and (4) the increasing picking frequency strategy.

RESULTS AND DISCUSSION

Through simulative experiment, based on the scene measured picking route of a picking operator, which is compared with the computed one, the result shows that there can be savings up to 60.23% in the computed picking route. It means the worksite wastes much time on unnecessary picking movement.

Another experiment takes a whole day's picking list and tries to find out which is the best

approach under four kinds of strategies. These four strategies all have good performance. Of them, the best performance is the increasing picking frequency strategy, which apparently shortened the total picking time. Compared with the sample model, its efficiency raised up to 53.98%. Also, the total picking efficiency of the least picking manpower strategy can be raised up to 51.95%, which is just behind the increasing picking frequency strategy, as shown in Fig. 1.

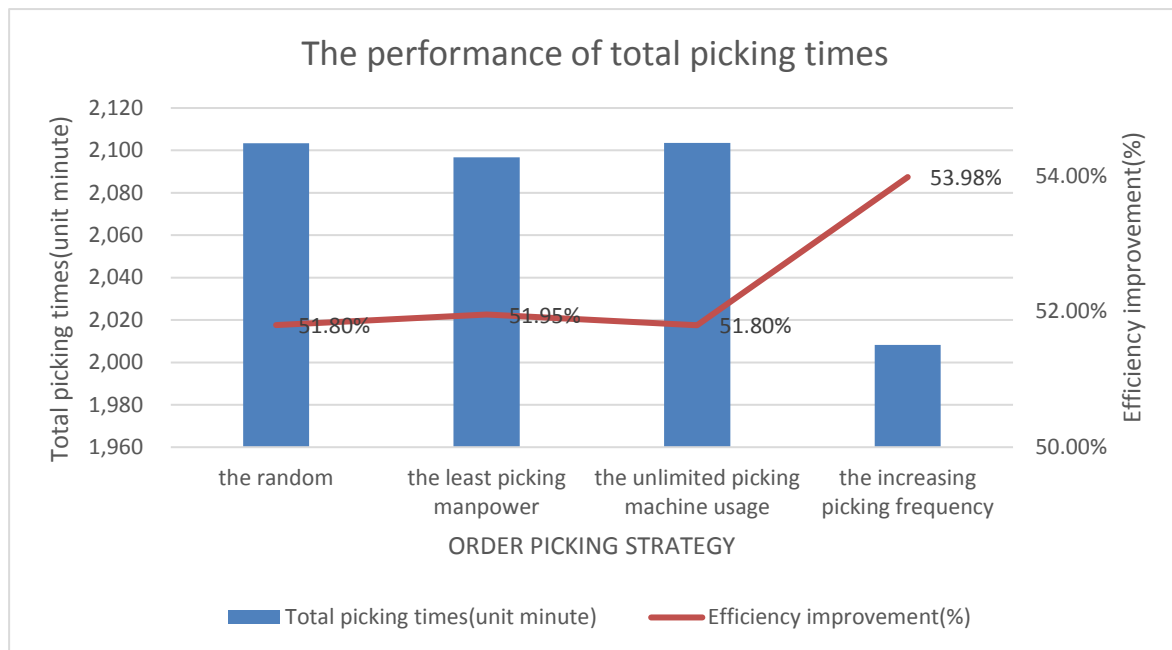


Fig. 1. The performance of total picking times

Regarding the performance of picking person-times, after being calculated, the performance of all the picking person-times of these four picking strategies are better than the uncomputed one, which can effectively save travel times. Among them, the least picking manpower with 26 person-times had the best performance of them. Also, it reduced to 56.67% compared to the uncomputed one. Moreover, it shows its advantages better than the others, as shown in Fig. 2.

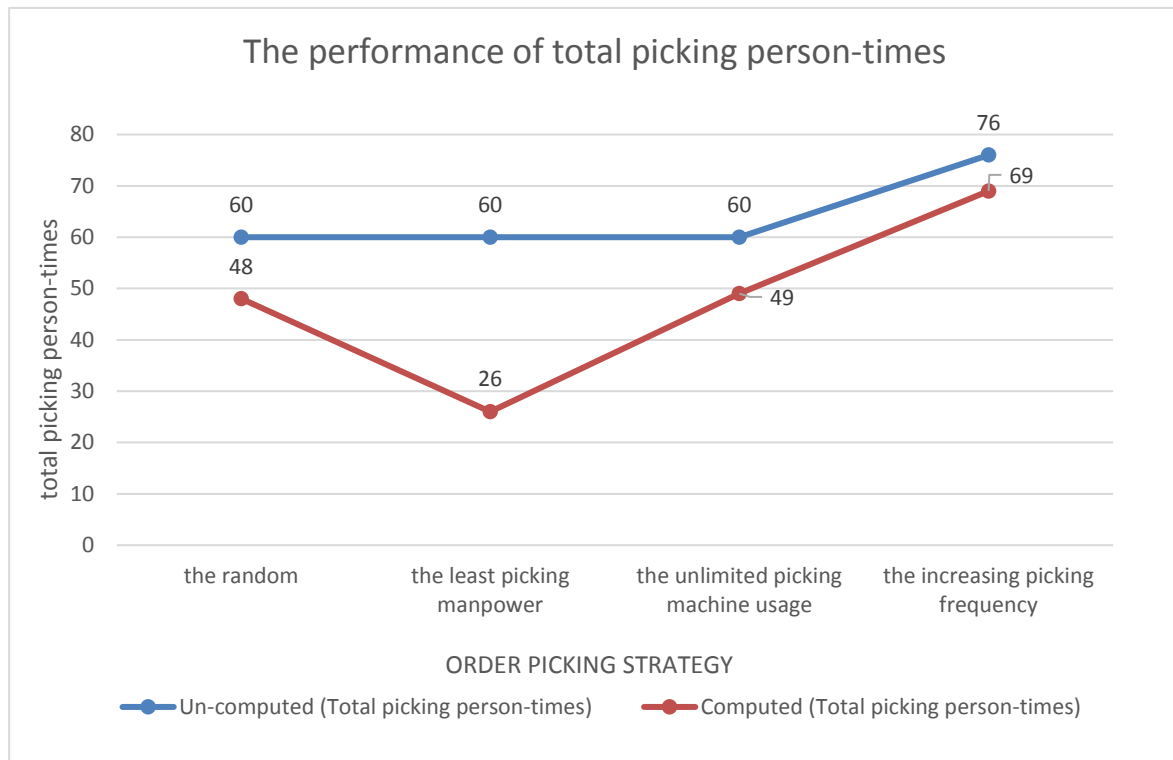


Fig. 2. The performance of total picking person-times

CONCLUSION

Based on the numerical experiment, the results confirmed that the algorithm on these experiments outperforms the factory's current practice and results in significant savings. On the other hand, the current enterprise met material picking issues, which proves that it possesses practical application value. This algorithm is not only based on a warehouse's real picking environment but also combines the capacity of the material picking carrier to calculate and optimize the best choice of picking batch and picking route. This algorithm is built on the least total working hours to fulfill the picking process. Based on the total picking person-times, that performance is better than those without computed. It could save travel times and provide more flexible men deployment to supervisors. From this research, the development of the best strategy algorithm can improve working efficiency, reduce material delivery times, increase the enterprise's productivity.

誌謝

研究所兩年半充實的日子終於要畫下句點了，過程中遇到瓶頸的時候，都會接收到好多幫助與鼓勵，讓我得以順利地完成這本碩士論文。首先要感謝我的指導教授林東盈老師，老師不僅在學術上耐心地指導，在研究過程中亦多次到我們倉儲中心討論揀貨作業的改善，並給予指導與建議，讓我能夠快速的找到研究方向。

我也要特別感謝我的口試委員沈宗緯教授與王逸琳教授。謝謝老師們細心地審閱，並且給予我許多寶貴的建議，使我的論文更趨於完善。

除了老師們的教導與協助之外，感謝在論文撰寫的過程中，每一位幫助過我、給我力量的決策科技研究室的學弟妹們。感謝北榮學弟即時點出我的問題並提出建議與作法。感謝依婷不厭其煩的說明研究方法與教導 EndNote 操作。感謝晏如總是配合我的時間，不論是晚上、半夜或任何時候，給我即時與滿滿的幫助，及不厭其煩的說明及解決我的問題。感謝子琪，給予運算後的圖示建議與協助。感謝決策科技研究室的大家，陪我渡過這最後一年的論文計劃與外審的論文準備。

我還要感謝我的家人，是你們的配合與生活上的協助，讓我能無憂的完成我的學習與研究。感謝我工作上的伙伴以及 IT 團隊，感謝有你們的參與與討論，讓我能完成我的論文。

最後，再次感謝東盈老師與老師的研究團隊，是你們讓我能實現工作結合學術，提升自己在物流領域的專業，能將所學運用在工作領域上，做出更有價值的事。

芷涵 謹誌

中華民國一百零八年一月

目錄

表目錄	ix
圖目錄	x
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
1.4 研究範圍	4
1.5 研究流程	6
第二章 文獻回顧	8
2.1 倉儲規劃	8
2.1.1 倉儲佈置	9
2.1.2 儲存策略	11
2.1.3 儲位指派	13
2.2 訂單揀取 (Order Picking)	15
2.2.1 訂單切割 (Order Splitting)	15
2.2.2 訂單批次化 (Order Batching)	16
2.3 揀貨路徑安排 (Route Planning)	19
2.3.1 揀貨政策 (Picking Policies)	19
2.3.2 車輛排程問題 (Vehicle Routing Problem, VRP)	22
2.4 小結	25

第三章 研究方法.....	26
3.1 問題說明.....	26
3.2 問題模型.....	29
3.2.1 CVRP 車輛排程問題.....	29
3.2.2 基本假設.....	30
3.3 求解方法.....	31
3.3.1 禁忌搜尋法 (Tabu Search, TS).....	31
3.3.2 禁忌搜尋法流程.....	33
3.4 求解策略.....	34
第四章 實證結果與分析.....	36
4.1 模擬實驗設計.....	36
4.1.1 實驗環境.....	36
4.1.2 實驗目的與方法.....	37
4.1.3 實驗項目說明.....	39
4.2 模擬實驗結果.....	39
4.2.1 實驗一之實驗結果.....	39
4.2.2 實驗二之實驗結果.....	43
4.3 揀貨策略之績效.....	48
第五章 結論與建議.....	51
5.1 研究結論.....	51
5.2 建議.....	52
參考文獻.....	54

表目錄

表 1 文獻分類整理表.....	8
表 2 初始解設計範例一.....	38
表 3 初始解設計範例二.....	38
表 4 初始解設計範例三.....	38
表 5 TS 求解後結果.....	40
表 6 原揀貨員揀貨順序與取貨距離	42
表 7 實證分析結果.....	43
表 8 揀貨策略的目標式與條件	44
表 9 隨機策略實驗結果.....	45
表 10 最少揀貨員策略實驗結果	46
表 11 機具未限制策略實驗結果.....	47
表 12 派單頻率增加策略實驗結果	48
表 13 揀貨策略之總揀貨時間績效	49
表 14 揀貨策略之總揀貨人次績效	50

圖目錄

圖 1 倉儲中心作業流程圖	5
圖 2 研究流程.....	7
圖 3 典型倉儲佈置 (Caron, Marchet et al. 2000).....	10
圖 4 揀貨策略說明圖(Petersen 1997)	21
圖 5 材料揀取作業流程圖	28
圖 6 倉儲中心揀貨區.....	37
圖 7 TS 求解後路徑圖	41
圖 8 原揀貨員第一批揀貨路徑圖	42
圖 9 原揀貨員第二批揀貨路徑圖	43
圖 10 揀貨策略之總揀貨時間績效	49
圖 11 揀貨策略之總揀貨人次績效.....	50

第一章 緒論

1.1 研究背景

過去幾年來，在經濟市場化、自由化與全球化的趨勢下，對 IC 封裝廠來說，對內的挑戰為面對客戶產品設計、製造品質與供貨時效等基本要求；而外部環境的威脅，則為大陸紅色供應鏈半導體的興起，這使得產業環境與結構產生極大的變化，競爭更加激烈。

然而，IC 封裝廠在面對全球半導體生產技術的進步和發展，與國際客戶生產需求的多樣化的要求下，於供應鏈管理，不論從供應商到客戶端的供應與需求，生產與交付最終產品和服務的過程，乃至於生產方式、存貨模式、物流存貨策略、採購策略、製造與裝配等，已具備系統及管理標準和流程；於物流管理，從材料的需求預測、原材料採購和運輸環節的進向物流，到原材料在工廠內部工序間的生產流通，直至成品完成後配送與客戶服務的出向物流，以保證在最低的存貨條件下，物料暢通的買進、運入、加工、運出並交付到客戶手中。每個主要的物流活動，皆以流程管理的方式去觀察分析原材料運到工廠，流經生產線上每個工作站，產出成品，再運送到配送中心，最後交付給客戶的整個流通過程，每個職能部門都儘可能地利用其產能，以系統化管理企業的運作，達到整體效益的最大化。因為各職能部門沒有留下任何富餘，一旦需求增加，則處處成為瓶頸，導致整個流程的中斷。

因此，在面臨客戶產品生命週期短、交期縮短、企業降低成本與改進服務的壓力下，如何在既有的人力資源下，運用先進、高效的物流系統，進行物流成本管控，尋求自有資源利用最佳化，以提升資源運用之生產力與報酬率，並將此過程標準化與實際化，進而降低企業單位製造成本，以提高整體生產效益

及效率。

1.2 研究動機

一般企業的物流單位為生產製造的後勤支援單位，對於材料的供應，只重視物料在倉儲中心的流動與材料庫存是否足夠，對於物料的供應時效並無太多的要求。但在客戶產品生命週期短、交期縮短與企業降低成本等壓力下，快速處理客戶少量多樣的訂單，已是物流單位必須面對的趨勢。

物流的各項內部作業中，揀貨作業是一項重要且繁複的工作。根據崔利群 and 謝群英 (2006)所提，在物流配送中心搬運成本中，揀貨作業的搬運成本約占 90%；在勞動密集型的物流配送中心，與揀貨作業直接相關的人力占 50%；揀貨作業時間約占整個物流配送中心作業時間的 30%~40%。因此，在物流活動的各環節中，揀貨作業是整個物流作業系統的核心。合理規劃與管理揀貨作業，對物流作業效率的提高具有決定性的影響。

企業物料的揀取排程透過 SAP (Systems Applications and Products in Data Processing) 系統傳遞相關資訊，倉儲中心接獲此出貨資訊後，直接將材料揀貨單印出，揀貨人員依此單據指示進行揀貨 (Order Pick)，主要供應製造部生產的材料需求。

倉儲中心目前面臨的問題與挑戰有：

1. 材料揀貨單產生頻繁，造成揀貨人員作業重工。
2. 材料揀貨單多樣品項，造成長時間的揀貨作業，影響發料時效。
3. 現在的揀貨作業在各主要作業環節，存在太多的作業等待與不必要的作業時間浪費。

4. 客戶少量多樣多頻的材料揀貨單，產生過多的物流處理成本。
5. 公司內部每年出貨量增加，但為降低營運成本，作業人力不增加。

本研究將藉由文獻的探討，規劃出一個合理的物料揀取方法，以減少揀貨作業等待與作業時間的浪費，提供企業內部高效率的物流服務，即時供應材料給生產單位以達到客戶訂單交期。

1.3 研究目的

本研究探討個案公司物流倉儲中心揀貨作業的改善。現有系統揀貨單的產生規則，由生管客戶訂單觸發材料揀貨單，倉儲揀貨人員依 SAP 系統材料揀貨單產生規則：依廠別、急件即時與一般件每兩小時批次產生的揀貨單進行材料揀取，不考慮揀貨路徑、揀貨載具容積與每張揀貨單品項多寡。故此研究為透過最佳化運算，尋求揀貨排程合理化與降低揀貨作業時數，結合固定的材料揀取載具容積，計算出最佳揀貨品項、批次與最低揀貨旅行成本，並執行倉儲管理系統 (Warehouse Management System,WMS) 揀貨清單指派作業。

本研究的主要目的歸納如下：

1. 經由模擬系統環境，發展出適合內部揀貨批次與最少揀貨旅行成本的揀貨路徑，以解決個案公司長期存在的作業重工、揀貨作業各環節產生的作業等待與作業時間的浪費，與過多揀取品項的揀貨單導致長時間的揀貨作業，影響出貨時效等問題。
2. 透過演算法開發與實驗結果分析，求出最佳的揀貨策略，可作為個案公司的揀貨系統規則設定的依據。

3. 在現有 WMS 系統，建構系統最佳材料揀貨規則，以決定揀貨作業指派排程，免去倉儲幹部揀貨作業指派與揀貨人員等待的時間成本。

由本研究所開發之軟體，為解決訂單批次處理與揀貨路徑安排的問題，為發展出適合內部揀貨批次與最少揀貨旅行成本的揀貨路徑，期能提升 25%物料揀取作業效率。並將其實際運用於企業內部倉儲中心的 WMS，建置一套完善的物料揀貨作業規則與相關處理程序，以強化倉儲中心內的發料管理機能與降低物流人力成本，相信對於企業內部每年出貨量增加的情況下，將有顯著的影響。

1.4 研究範圍

本研究範圍以 IC 封裝廠的物流倉儲中心為例，其倉儲中心主要功能為提供工廠生產製造使用的材料儲存與配送。該倉儲中心為因應客戶訂單需求與外界環境的變化，強化其材料物流的作業流程，實現快速供料的服務。其物流系統的作業流程大致可分為：(1) 倉儲中心與材料供應商之間的進貨作業；(2) 倉儲中心內部的物料揀取與出貨包裝作業；(3) 倉儲中心與工廠線邊倉間的材料發料作業，如圖1所示。

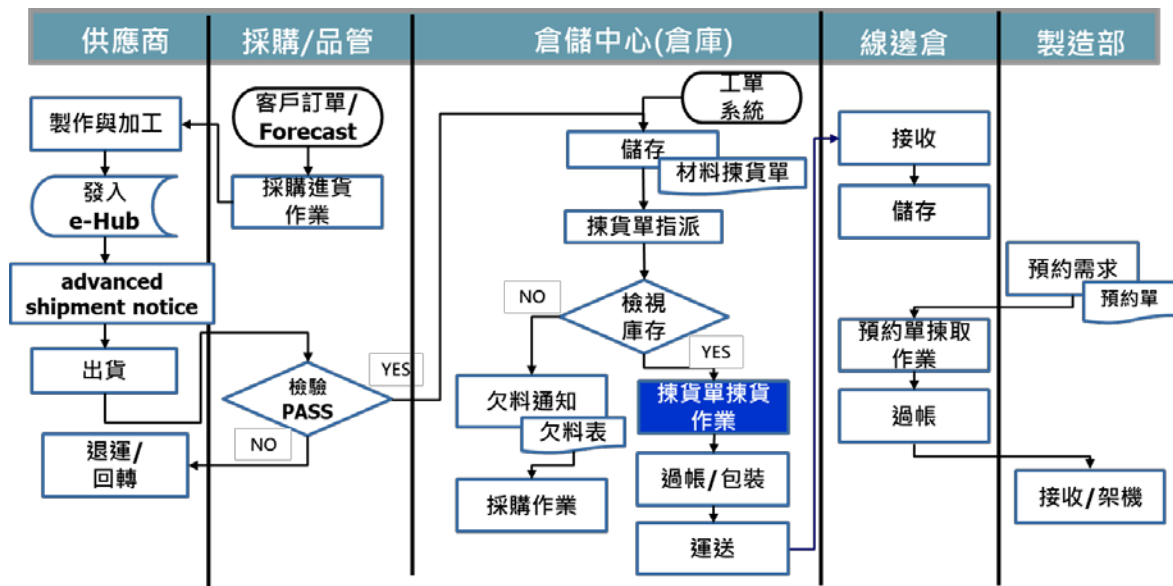


圖 1 倉儲中心作業流程圖

本研究範圍在探討個案公司物流倉儲中心，每天提供工廠生產所需主要直接材料的揀貨單揀取的作業階段，考量揀貨載具容積問題，規劃一個適合內部揀貨批次與最少揀貨旅行成本的揀貨路徑的方法。

本研究的倉儲環境與系統主要規則特性如下：

1. 已知的倉儲佈局(layout)與倉儲設備；
2. 既定之材料存儲規則；
3. 材料揀貨單產生規則：由客戶工單產生後，生管單位投料，經由系統計算封裝製程所需的材料類別、物料料號與數量後，一般件以每兩小時，急件即時觸發SAP系統產生材料揀貨單。材料揀貨單資訊規則為：
 - (1) 依廠別；
 - (2) 依料號進貨批號先進先出原則；
 - (3) 將同一物料料號所有生產批號所需的材料數量加總。

為解決個案公司物流倉儲中心直接材料長期存在的揀貨問題，在不改變上述現有的倉儲佈局與存儲規則，實際開發材料揀貨之最佳策略。

1.5 研究流程

本研究依序分為五個章節，第一章研究緒論、第二章文獻探討、第三章研究方法、第四章實證結果與分析，以及第五章結論與建議。本研究流程如圖 2 所示，茲將流程說明如下。

1. 緒論：針對研究的背景、動機與目的做一簡單描述，並說明本研究環境與作業特性，及欲研究的問題。
2. 文獻探討：蒐集整理與探討物流作業訂單揀取相關的訂單批次處理、揀貨路徑與儲存分配策略等文獻，作為本研究在進行模式運算時的基本概念來源。
3. 研究問題與方法：本研究將此揀貨問題規劃為有容量限制之車輛排程問題 (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)，將每一位揀貨員視為一輛有容量限制的車輛，必須用最少的車輛、用效率最高的方式，將所有工廠的需求量（個別出貨清單）完成。
4. 演算法開發與實驗結果分析：求解演算法預計利用禁忌搜尋法 (Tabu Search, TS)，利用程式語言 C# 撰寫求解軟體，並以封裝廠實務資料為例，進行實證研究與分析。本研究開發封裝廠材料最佳揀貨策略之演算法，期能利用最佳化方法，提升揀貨效率。
5. 結論與建議：將系統模擬產生的實驗數據，作一分析與比較，編寫程式套用於個案公司之 WMS 系統，建構最佳的物料揀貨單揀取規則。

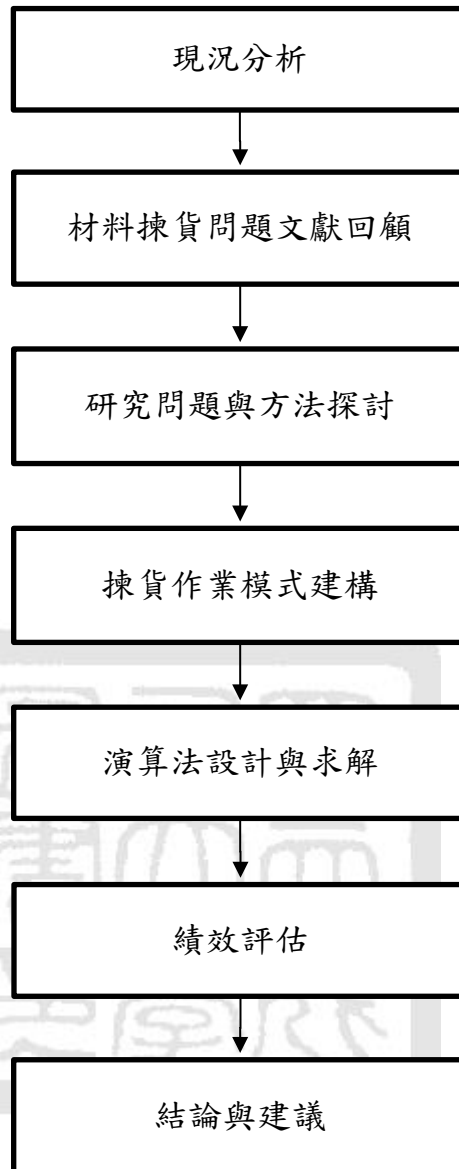


圖 2 研究流程

第二章 文獻回顧

長期以來，訂單揀選幾乎被認為是每個倉庫勞動力密集度最高，成本最高的活動，訂單揀選成本估計高達總倉庫運營成本的 55%。任何訂單揀選表現不佳，都會導致倉庫服務品質不佳和高運營成本，進而影響整個供應鏈。

本研究探討個案公司內部倉儲中心的材料揀貨問題。為了高效率作業，訂單揀貨過程需要進行穩健設計和優化控制。因此我們將專注於儲存指派方法、揀貨路徑與訂單分批和切割（分區）的文獻研究探討。茲將這些文獻作一整理與說明。其文獻分類整理如表 1 所示：

表 1 文獻分類整理表

倉儲規劃	倉儲佈置
	儲存策略
	儲位指派
訂單揀取 (Order Picking)	訂單切割 (Order Splitting)
	訂單批次化 (Order Batching)
揀貨路徑安排 (Route Planning)	揀貨政策 (Picking Policies)
	車輛排程問題 (Vehicle Routing Problem, VRP)

2.1 倉儲規劃

倉儲佈置規劃，對於揀貨作業有很深的影響。倉儲佈置型態一旦決定後，要再變更其型態，將耗費相當大的成本。因此，如何在有限的空間內，發揮最大效益將是倉儲佈置的重點。儲位規劃主要可分為儲存策略與儲位指派，儲存

策略為儲位規劃的大原則，儲存策略的決定將影響儲位指派的方式，兩者相互搭配才能充分利用儲存空間，縮短物品出入庫的移動距離，提升物品移動效率，並減少揀貨旅行時間。

Rouwenhorst et al., (2000) 提出倉儲規劃與控制的架構。作者認為倉儲特性可分為三類：流程，資源和組織。所謂流程即產品到達倉庫所進行的步驟；資源是指倉庫作業所需的設備和人員；而組織則為運行系統的所有計劃和控制程序。另外，作者也指出，倉庫系統的設計涉及大量相互關聯的決策，將這些決策分成三個層面：(1) 策略 (Strategic Level)；(2) 戰術 (Tactical Level)；(3) 作業面 (Operational Level)。作者更在倉儲績效標準中提出，生產倉庫的功能是存儲與製造和/或裝配過程相關的原材料，在製品和成品。原材料和成品可能會長期存放。長時間的貨物存放必須具有成本效益，並且通常在廉價的存儲系統(例如貨架)中大量進行。因此，設計標準是存儲容量。主要設計目標是低投資成本和運營成本。同時，因為需求大多是未知的，為了避免延遲生產，從倉庫取回的速度必須很快。此研究提供了一些針對設計方法的指導方針，包含評估特定的倉庫設計，需要明確定義的性能標準：投資和運營成本，數量和混合靈活性，吞吐量，存儲容量，響應時間和訂單履行質量(準確性)。

2.1.1 倉儲佈置

倉儲佈置規劃的好壞，對於揀貨作業的效率的影響很大。一般倉儲設計主要探討的類型為矩形佈局配置，Caron, Marchet et al. (2000) 將倉儲分為三種類型，如圖 3 所示。第一種為平行走道，將 I/O 點設置於儲區的中間走道 (middle aisle) 前，將儲區分為二個部份。第二種為垂直走道，而 I/O 點位於整個倉儲

區域前端的中央；第三種為垂直走道，而 I/O 點位於整個倉儲區域前端的左下方。揀貨員從 I/O 點 (input/output point) 領取揀貨單出發，以揀貨單上的儲位揀取物品，揀完全部物品後回到 I/O 點進行包裝，完成訂單揀取。此文獻中提到，這三種類型的倉儲佈局，以第一種為最優，因為設有交叉通道的倉儲規劃，其揀貨旅行時間大約減半。而在第二與第三種垂直走道，其揀貨路徑較長，揀貨旅行時間相對較長。

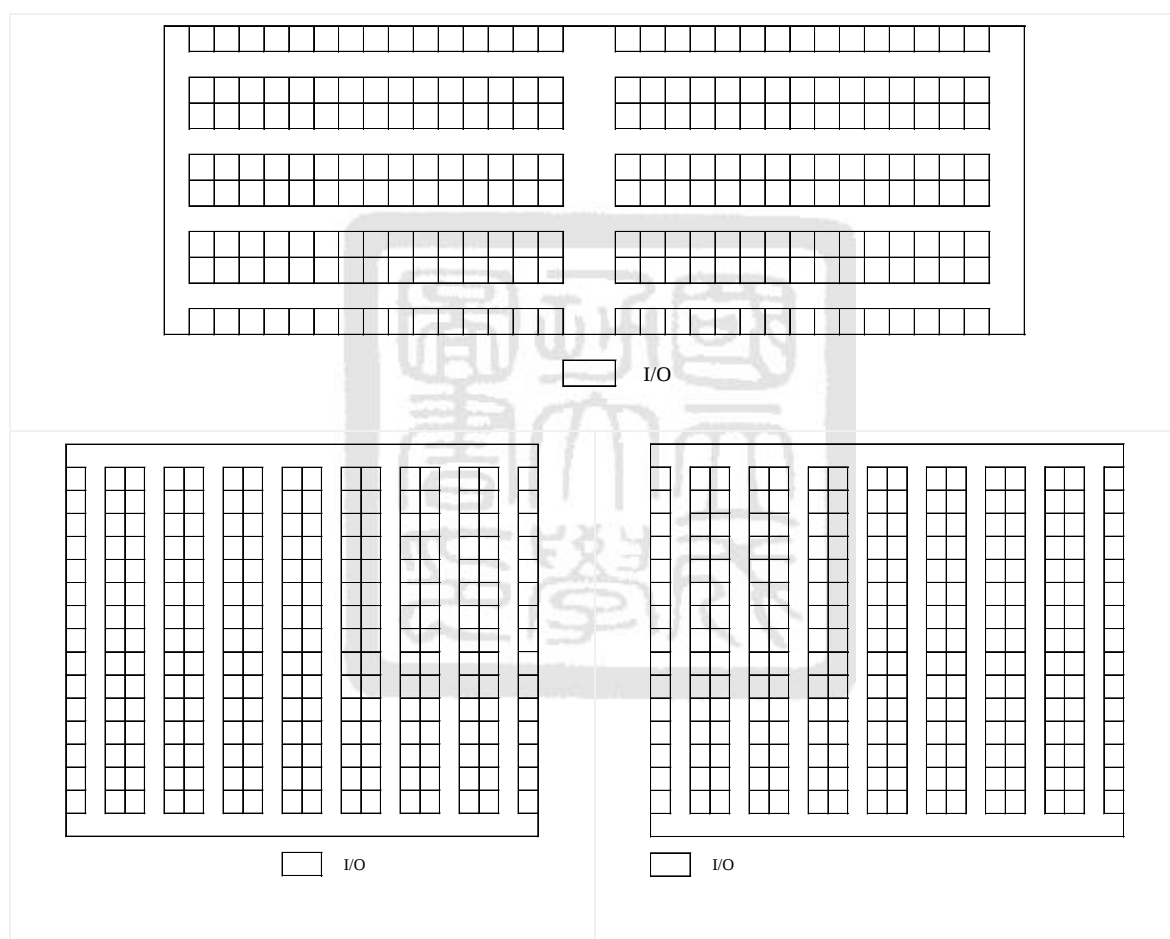


圖 3 典型倉儲佈置 (Caron, Marchet et al. 2000)

Vaughan (1999) 探討在訂單揀選效率上增加交叉通道對揀貨距離的影響。作者以最小化揀貨距離為目標函數，利用動態規劃演算法，尋找最短路徑距離。實驗結果顯示，交叉通道對訂單揀取的路徑提供了更大的彈性，進而縮短了訂

單揀取距離。然而，當交叉通道的數量過多時，將使倉儲面積過度增加導致揀貨距離上升，倉儲系統的空間利用率也隨之下降。因此，謹慎增加交叉通道通常提供在揀取倉庫物品時實現更高效的旅行的機會。交叉通道的效率，取決於主通道的數量與每個通道揀取平均物品數量，隨著主存儲通道的長度相對於交叉通道的寬度增加，獲得實際益處的機會最大。

2.1.2 儲存策略

貨物儲存規劃是倉庫作業過程的重要內容之一，也是優化倉庫作業空間組織的先決條件。而倉庫貨物儲存規劃中的儲位規劃，指的是按貨物種類、規格、揀貨頻率等事先規劃好的規則，將貨物依照規則指派到各儲位上，有利於貨物管理、出入庫搬運的方便性與庫容的利用，同時，適當的儲位規劃可以減少貨物入出庫的移動距離，進而減少揀貨員的旅行時間，有助於縮短整體的倉儲作業時間。孫海蛟 and 董福慶 (1995) 曾提出，儲存策略主要為制定儲位指派的原則，其主要可分為下述類型：

一、 定位儲存 (Dedicated Storage)

每一項貨品都有固定的儲位，貨品在儲存時不可互換儲位，因此揀貨人員容易熟悉貨品儲位，從而方便存取，提高作業效率。並可依貨品特性所須控制不同的保管儲存條件安排貨位，將不同貨品特性間的相互影響減至最小。但採用此一儲存方法，必須注意每一項貨物的儲位容量必須大於其可能的最大庫存量，需要較多的儲存空間，導致儲區空間平時的使用效率較低。此儲存貨物具有多品種、少批量的特點。

二、 隨機儲存 (Random Storage)

每一個貨物沒有固定的儲存位置，各貨品可存放於任何可利用之位置，因貨品可共同使用儲位，因此提高了儲區空間的利用率。因貨品為隨機儲存，周轉率高的貨物可能被置於離出入口較遠的儲位，增加了出入庫的搬運距離，不利於貨物出入庫管理與盤點作業。通過模擬實驗，採用隨機儲存能有效利用貨架空間，比定位儲存節約 35% 的移動儲存時間，增加了 30% 的儲存空間。此法適用於空間有限，貨物品種不多的情況。

三、 分類儲存 (Class Storage)

貨物按一定特性加以分類，每一類貨物都有固定的儲存區域，將依貨物相關性大，流動性等因素進行分類安排，同類貨物放在同一儲區內，區域內的貨品擺放又可按一定規則來指派儲位。此方法亦有定位儲存的優缺點。

四、 分類隨機儲存 (Random within Class Storage)

每一類貨物均有固定存放位置，但在各類儲區內，每個儲位的指派都是隨機的，有分類儲放的優點，又可節省儲位數量以提高儲區利用率，兼具分類儲存和隨機儲存的特點。但對於人員執行貨物出入庫管理與盤點作業的困難度較高，與隨機儲存有著相同的缺點。

五、 共同儲存

在確知各種貨物的進出庫時間下，使不同貨物可共用相同的儲位。此儲位方式在管理上較為複雜，但可以節省儲存空間，使其利用更為充裕。

2.1.3 儲位指派

在決定儲存策略的原則後，還必須選擇合適的儲位指派法則，將貨物擺放在適當的位置，不同的儲位指派將顯著影響貨品出入庫的移動距離與揀貨員揀貨的旅行時間。文獻中主要探討儲位指派法則有三種，為周轉率 (turnover based location)、產品關聯性 (correlation) 與存取頻率 (frequency)：

一、周轉率 (turnover based location)

Hausman, Schwarz et al. (1976) 提出在自動倉儲系統中，比較 ABC 周轉率搭配定位儲存、隨機儲存與分類儲存，探討此三種方法，結果顯示定位儲存較隨機儲存好。

Eynan and Rosenblatt (1994) 提出以貨品周轉率作為儲位指派基礎的分類儲存 (class-based storage) 法，研究結果顯示，當倉庫被劃分為相對較少的區域時，在單程旅行時間的有明顯的改善。

二、產品關聯性 (correlation)

Rosenwein (1994) 使用群集分析 (Cluster Analysis) 將貨品分群，把貨物關聯性較高的分於同一群。再以 p- 中值 0-1 整數程序建構叢集問題的模式，以求解最佳揀貨路徑。該研究使用分支界線法求解，所得結果顯示效率高於隨機儲存 20%。

Brynzér and Johansson (1996) 提出將各組件有相同差異特徵的組合成同一差異群組 (Variant Group, VG) 與未得到群組 (Undesired Variant Group) 即不包括在揀取上而略過的差異群組。並以存儲位置分配策略 (SLASEPS) 把這些群組放在一起，來縮短貨品揀取時間。但文獻作者也指出定位過程的主要目的不

是縮短行程，而是要注意提升揀取精度，以降低揀貨錯誤的機會，也就是減少由錯誤導致的返工而獲得更多的節省。案例研究的結果表明，使用 SLASEPS 可以減少所需的 uVGs 的通過次數，即可以節省訂單揀選時間並減少揀選錯誤，可以降低揀貨員的揀取資訊 75%。更早之前的研究表明，更合理的佈局可以減少揀取所需的時間並提高揀取精度。

Le-Duc and De Koster (2005) 探討分類（或 ABC）存儲策略，研究確定用於手動操作的倉庫的每個過道最佳分類的存儲區域的問題。該研究提出一個 2-opt 交換啟發式來尋找最優分區方案，以減少平均旅行距離。研究發現對於固定的倉庫，當揀選表單大小和存儲分配更改時，最佳存儲區域可能會發生變化。對於大的揀選表單，相同通道佈局是最佳選擇。當揀選表單較小時，倉庫形狀比例是一個決定性因素：如果形狀比較大，相同的通道可能不是最佳佈局。

三、存取頻率 (frequency)

Petersen and Schmenner (1999) 提供如何利用數量基礎存儲和更複雜的路徑啟發式或最佳路徑所帶來的節省的作法，以提高訂單揀取效率。該研究中的路徑和存儲策略根據完成給定選擇列表所需的行程距離進行比較。訂單揀選車輛的速度和工人的步行速度有很大不同，因此，由於旅行方法的性質，最佳路線和啟發式路線時間之間的差距會有所不同。此外，如果使用總路線時間，不僅需估算旅行時間，還需估算確定存儲地點和揀取產品的時間，從揀選地點選取正確的數量，確認揀選的揀選列表，並將物品放入採摘車或車輛的總路線時間。作者先以數量基礎 (volume-based) 的儲存系統，提出四種儲位指派法則：(1) diagonal、(2) within-aisle、(3) across-aisle 與 (4) perimeter，並評估先前學者提出的揀貨路徑策略，搭配訂單數量大小與需求量分配高低，檢查路徑和存儲策略的交互在不同的操作條件下挑選清單大小和需求量的分配。實驗結果發現，

採用 within-aisle 的儲存策略，在不同訂單大小與需求量分配高低，比其他數量基礎儲存 (volume-based storage) 策略節省了 10%~20% 的揀貨旅行距離。

2.2 訂單揀取 (Order Picking)

揀貨作業是依據顧客的訂單要求或配送中心的送貨計劃，盡可能迅速、準確地將貨品從其儲位或其他區域揀取出來，並按一定的方式進行分類、集中、包裝與運送的一連串物流活動。為提高系統產出的績效與減少揀貨旅行時間，可利用適當的方法，將訂單分批處理。

本研究將回顧訂單揀貨問題，包括訂單切割 (Order Splitting Problem) 與訂單批次化問題 (Order Batching Problem)。

2.2.1 訂單切割 (Order Splitting)

訂單批次化的過程中，因揀貨車上沒有足夠的容積載運所有的揀貨單品項，或考慮揀貨策略的問題，例如為使規劃出的總揀貨路徑績效最佳，將訂單部份品項切割至另一訂單的揀取作業中。此部分文獻將研究過去學者探討存貨管理與控制和排程問題切割方法，不限於揀貨作業的訂單切割問題。

羅國書 (2001) 特別考慮揀貨車的承載容積，研究不同的切割方法對揀貨的績效影響。作者提出一個兩階段訂單批次的方法，其中當種子訂單超過揀貨車容積時，則以極小化揀貨行走距離為目標切割訂單。而若所切割的訂單是配合訂單時，配合訂單在以下兩種情況下才會被切割；情況一：此情況與種子訂單被切割的情況類似，也就是當揀貨車上剩餘的空間無法接納配何訂單內的所

有品項時，以極小化揀貨行走距離為目標進行切割；以及情況二：搭配已被選入訂單批次 (batching) 的訂單的商品內容進行分割，此情況發生在當揀貨車上的剩餘空間，足以容納配合訂單內的所有商品時，不過此時為了極小化揀貨行走距離，作者將檢查配合訂單內有那些品項，其儲存位置是與單批次內之商品的儲存位置相鄰近的，只把這些商品從配合訂單內切割出來，加入訂單批次內。研究結果顯示，與不切割訂單則揀取貨品的方式比較，將切割訂單加入批次策略的揀貨方法有較佳的總揀貨旅行距離、次數與花費時間的績效。

Kelle and Miller (2001) 提出隨著全球採購和即時 (Just in Time, JIT) 生產的環境裡，採用訂單切割處理作業的問題。作者用在當沒有一個可靠供應商，訂單會被切割分配給各個零售商，直到出現可靠的供應商。另外，作者認為只要前置時間的不確定性不能降低，雙採購就是單一採購的合適替代方案，則最佳切割方法在雙來源下有較低的缺貨風險。目前的研究被認為是更好地進行風險評估和決策支持的一個步驟，旨在訂購戰略重要項目，其主要目標是最大限度地減少缺貨風險，其研究方法所求出的解具有不錯的成本效益。

2.2.2 訂單批次化 (Order Batching)

Yu and De Koster (2009) 提出，系統中任意訂單的平均吞吐量時間是訂單揀貨系統效率的重要度量指標。訂單可以被揀取的速度越快，它就可以越早準備好裝運，倉庫可以提供更高的服務水平。訂單批量和分揀區域劃分是影響訂單揀貨效率的兩個重要因素。該研究使用 $G/G/m$ 排隊網絡近似模型來分析批量和分區對在線訂單到達時的訂單揀貨系統性能的影響。近似模型顯示當區域的利用率或數量變大時，錯誤會增加。通過使用不同輸入參數進行的其他大量實驗，如在揀貨區域的建立時間，系統的不同訂單到達率以及不同的訂單到

達分佈，文獻作者發現批量大小對平均順序吞吐時間有很大影響。系統中的平均順序吞吐時間對於最佳區域周圍不同數量的區域是相當穩健的。對於給定的訂單到達率，訂單到達分佈的精確形狀對平均訂單吞吐量時間僅有輕微影響。當區域利用率很小時尤其如此。

Goetschalckx and Ratliff (1988) 提出在寬走道的倉儲環境下，物品必須從寬闊的過道兩側人工取出貨品，並存放在通道行駛的揀貨車輛上，選取器將停止車輛，挑選並將物品裝載到車輛上，然後開車到下一站。若車輛停駐點的次數越多，揀貨員在儲位間的行走時間就越短，但車輛停止與啟動的時間卻越長，因此作者以動態規劃演算法 (Dynamic Programming Algorithm) 求最佳車輛停駐點的最佳數量與位置，並指定在每站停靠時選擇的項目。與過去學者所提的啟發式叢集方法 (Heuristic Clustering Methods) 節省 10% ~ 90% 揀貨旅行時間。

Elsayed and Unal (1989) 探討在 AS/RS 的倉儲系統環境下，為求貨品揀取總行程時間最短，針對訂單批次問題開發了四種啟發式演算法：(1) EQUAL (Equal algorithm)；(2) SL (Small and Large algorithm)；(3) MAXSAV (Maximum Saving algorithm)；與 (4) CWright (Clarke and Wright algorithm)。所有啟發式是在一個單一的行程合併兩個或多個訂單，而不是一次處理一個訂單。結果發現，在所提出的啟發式演算法中，SL 演算法的機器行程時間較其他演算法具有更好的表現。

Gibson and Sharp (1992) 提出先到先服務 (First-Come First-Served, FCFS) 啟發式演算法，FCFS 啟發式的性能將被用作與其他啟發式進行比較的基準還提出兩種新的訂單批次處理方法：空間涵蓋曲線批量啟發式 (Spacefilling Curve Batching Heuristic, SFC) 與連續最小距離批量啟發式 (Sequential

Minimum Distance Batching Heuristic, SMD)。作者評估批次時，考慮了七個實驗因素，表現結果顯示，兩種新的方法都優於傳統方法的績效表現，若結合使用 ABC 位置分配，可顯著減少平均批量行程長度，節省揀貨旅行距離達 44%。另外，作者也指出在 Euclidean、Rectilinear 或 Chebyshev 的行走路徑下，建議使用 SFC 啟發式，因為行程一般較短，執行時間比 SMD 啟發式要快得多。在傳統走道路徑的典型倉庫中，建議使用 SMD 啟發式，因為行程時間明顯短於通過 SFC 啟發式獲得的行程時間，並且 SMD 啟發式的執行時間更合理。

Elsayed, Lee et al. (1993) 使用 JIT 生產控制方法，以準確的訂單檢索，使生產階段之間的生產延遲和庫存積累最小化。此研究以 TSP 方法先求出各張訂單的執行時間，再依據各張訂單的到期日，計算所有訂單比到期日早 (earliness) 或晚 (tardiness) 完成的時間懲罰值 (penalty)，目標是對訂單進行分批和分組，以使懲罰函數最小化，直至滿足存取機容量限制為止。

Tsai, Liou et al. (2008) 提出一個批量揀選模型，該模型不僅考慮了旅行成本，還考慮了提早和遲到的懲罰，以實現當前複雜且快速響應的環境。該模型使用多基因演算法 (Genetic algorithms, GA) 方法來生成最佳批次揀貨計劃。多 GA 方法的核心由 GA_BATCH 和 GA_TSP 算法組成。GA_BATCH 演算法通過最小化旅行成本和提早和拖期懲罰的總和來找到最佳的批次揀選計劃。GA_TSP 算法通過最小化行進距離來搜索批次的最有效的行進路徑。為了展示所提出的模型的益處，使用具有不同訂單特徵和倉庫環境的多個數據集進行模擬和敏感性分析。在方法開始時，應提供倉庫設置和訂單信息。關鍵倉庫設置包括揀取設施的容量，揀取設施的行程速度，每單位時間的旅行成本，每單位時間的早期罰款，每單位時間的拖期罰款，挑選一件物品的平均時間，以及超重批次的單位罰款。訂單信息包括每件商品的單件重量，每件訂單中的件數以及每件訂單的到期時間。搜索空間是另一個需要指定的重要參數。multiGA 方

法試圖在有限的搜索空間內找到最優的批次揀配計劃，從而實現最低總成本 (Total Cost of Ownership, TCO)。這些實驗的結果表明，所提出的方法優於基準模型。

De Koster, Van der Poort et al. (1999) 研究倉庫中的訂單問題，提出在分揀過程中將訂單批量或一起分組，以形成單一揀貨路線，可縮短旅行時間。作者把訂單叢集的啟發式方法分為三類，分別為：(1) 單前進 (Simple, Straightforward Methods)、(2) 種子演算法 (Seed Algorithms) 與 (3) 省時演時演算法 (Saving Algorithms)。在實踐中，訂單分批問題使用單前進方法即先到先服務 (FCFS)，亦即在到達的順序中將路線中的訂單合併，直到 pickdevice 已滿。一旦訂單集合形成後，計算路線的行程時間就需要解決一些揀貨員的問題。評估了另兩組啟發式算法：種子演算法是以二種種子規則、六種種子訂單選取方法、五種配合訂單的訂單組合；省時演算法，提出三種方法：CW (Clarke and Wright routing Algorithm)、EQUAL (Equal Algorithm)、與 SL (Small and Large Algorithm) 求訂單叢集的結果，並且使用 S-shape Routing 與 Largest Gap Routing 兩種不同的路徑規劃策略評估算法的性能，比較總揀取旅行時間的績效表現。實驗結果證明，種子算法與 S-shape Routing 和揀取設備的大容量結合是最好的。節省時間的算法與 Largest Gap Routing 和小的 pickdevice 容量結合使用效果最佳。如果 CPU 時間變得重要，那麼應該考慮使用簡單的種子算法。

2.3 揀貨路徑安排 (Route Planning)

2.3.1 揀貨政策 (Picking Policies)

此部份文獻主要探討揀貨人員在進行揀貨作業過程中，於走道內之行走路徑，因不同的揀貨策略，會造成不同的揀貨順序，而導致揀貨人員行走的路徑有所差異，進而影響揀貨行走距離與效率。

Goetschalckx and Donald Ratliff (1988) 提出利用動態規劃法求解通道內的揀貨路徑問題。作者提出五種最佳化揀取方法：(1) 穿越 (Traversal)；(2) 分割穿越 (Split Traversal)；(3) 返回 (Return)；(4) 分割返回 (Split Return)；(5) Z 型揀取啟發法 (Z-pick Heuristic)，由訂單數目密度 (Density of Orders) 與走道寬度 (Width of Aisles) 兩種因子，進行模擬實驗。結果顯示，當使用佳通道穿越策略，得到的結果比返回策略的結果好，可以節省 30% 的旅行時間。且在物品品項數目少的情況下，執行效果會比較差，當品項數目增加時，揀取效果會比較好。當使用 Z 型揀取啟發法時，穿越策略和返回策略之間的差異將明顯的減少。對穿越策略而言，訂單密度和走道寬度都是決定行走距離的重要因素，密度愈高，穿越策略的行走距離將比返回策略更短。

Petersen (1997) 提出訂單揀取路徑政策的評估，在他的研究中提出五種揀貨策略，如圖 4 所示。包括 (1) 穿越策略 (Traversal Strategy)；(2) 返回策略 (Return Strategy)；(3) 中點策略 (Midpoint Strategy)；(4) 最大間隙策略 (Largest Gap Strategy)；與 (5) 混合策略 (Composite Strategy)。該研究指出揀貨策略、倉庫形狀與 P/D 點位置之選擇，對於揀貨效率有很大的影響。在考慮倉庫形狀時，擁有較少數目但較長通道的倉庫，比擁有較多數目但較短通道的倉庫，其效果要來得好。該研究建議當揀取品項較多時，採用混合策略和穿越策略會有較好的效果；當揀取品項較少時，採用最大間隙策略以及中點策略也有不錯的揀取效率。對固定儲存量的倉庫而言，該研究發現深度較深的倉庫可以獲得較短之途程距離。此外，當倉庫較寬且揀取品項較少時，P/D 點設於中間比 P/D 點設於角落的倉庫的行走距離較短。

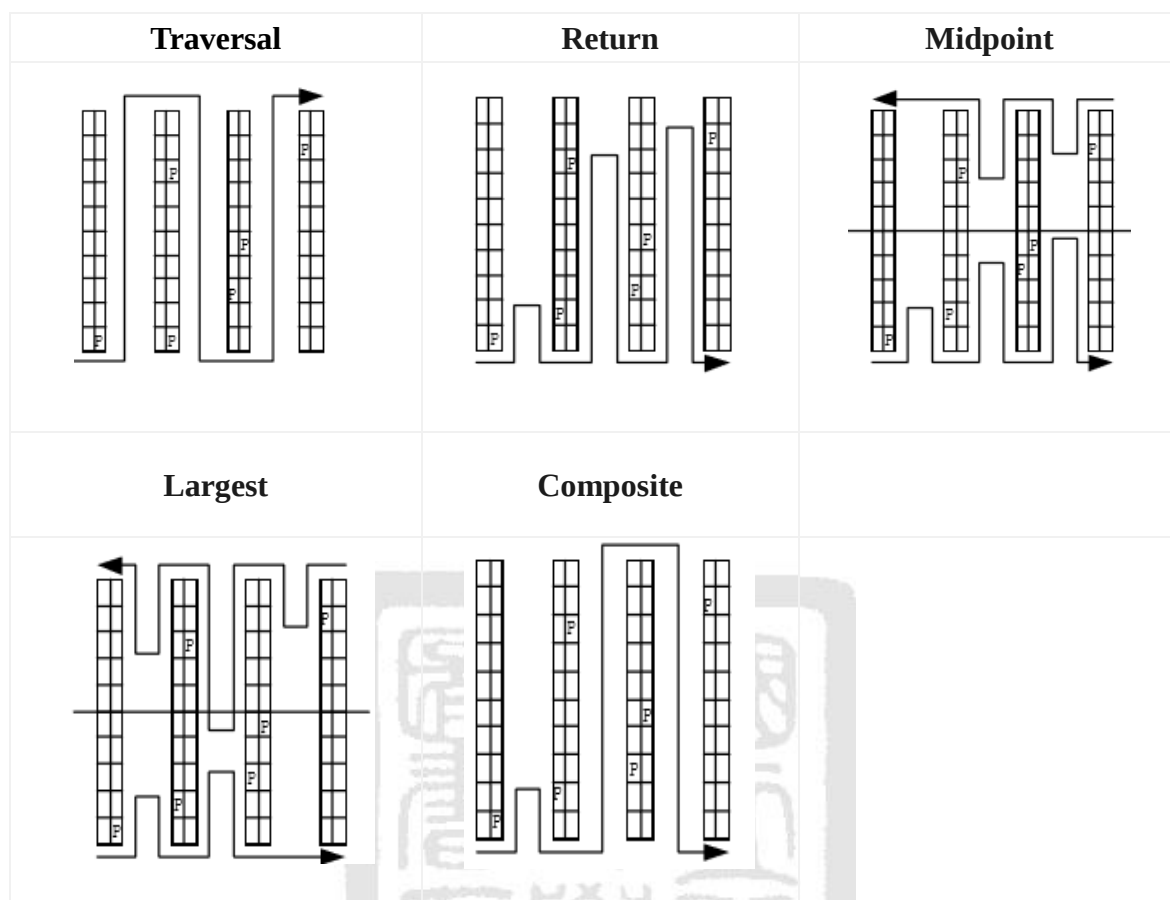


圖 4 揀貨策略說明圖(Petersen 1997)

De Koster and Van Der Poort (1998) 的研究延伸 Ratiliff and Rosenthal (1983) 所提的演算法，找出最有效率的訂單揀貨路徑。作者同時考慮傳統倉儲：中央存取點 (Central Depot) 與現代倉儲：分散存取點 (Decentralized Deposit) 的設計，並以三種實際訂單揀貨系統與 S-shape 啟發法比較，發現改善後的演算法，不僅能夠求出之前中央存取點環境下的最佳解，同時也能夠求出分散存取點環境下的最佳解。其中在現代化的倉儲環境下，當揀取品項數目增加時，其揀貨績效將隨之提升；而在傳統的倉儲環境下，揀貨時間和走道內待揀品項數目有很強的關係，但不表示當走道內品項增加時，其 S-shape 啟發法的績效會隨之提升。作者指出，新的演算法可以減少 7%~34% 的揀貨旅行時間。

Roodbergen and Koster (2001) 提出在多走道式的倉儲系統裡，針對各種揀貨策略進行不同走道數目的揀貨路徑評估與比較。求解最短路徑啟發法，包括：(1) S 型 (S-shape Heuristic)；(2) 最大間隙 (Largest Gap Heuristic)；(3) 走道接走道 (Aisle-by-aisle Heuristic)：使用動態規劃決定最佳走道安排；(4) 最佳法 (Optimal Algorithm)：以分枝界限演算法求 TSP 問題，並且為績效評估的標準。以及作者發展出的組合啟發法 (Combined Heuristic)。在多走道式的倉庫中，揀貨員沿著通道走路或開車從倉庫中挑選產品。他們可以在一些交叉通道上更換通道。這些交叉通道通常位於倉庫的前部和後部，但在其間的位置也可以有一個或多個交叉通道。作者為了分析啟發式的性能，使用了生成最短訂單揀選路線的分支界限演算法。對於大多數具有兩個以上交叉通道的實例，新開發的啟發式似乎比現有啟發式更好。此外，作者還討論在倉庫添加交叉通道可以降低平均出行時間來縮短訂單的處理時間，但是，增加大量的交叉通道可能會增加平均旅行時間。

2.3.2 車輛排程問題 (Vehicle Routing Problem, VRP)

決定倉庫揀貨路徑的規劃策略類似於銷售員旅行問題 (Travelling salesman problem, TSP)。銷售員旅行問題是最基本的路線問題，該問題是指在知道每個城市間距離的條件下，尋求單一旅行者由起點出發，通過所有給定的需求點之後，最後再回到原點的最短路徑成本。TSP 問題是 VRP 的特例，於 Gaery 和 Zhang and Zhang (2012) 已證明 TSP 問題是 NP 難題 (NP-hard)，因此，VRP 也屬於 NP 難題 (NP-hard)。最早的旅行商問題的數學規劃是由 Dantzig (1959) 和 Golden, Raghavan et al. (2008) 等人提出。

銷售員旅行問題第一個描述是瑞士數學家和物理學家 Eule 於 1759 年

的騎士旅遊問題。VRP 最早由 Dantzig 和 Ramser 於 1959 年提出，在一定數量的客戶，每個客戶都有不同數量的貨物需求，配送中心為客戶提供貨物，由一個團隊負責分銷貨物與組織適當的交通路線，目標是使客戶的需求得到滿足，並在一定的限制下，實現最短距離，最低成本，最少耗時等目的。

Lawler (1985) 曾探討揀貨問題，即在解決銷售員旅行問題，並指出 VRP 問題，也是 TSP 的應用。VRP 決定那幾台車輛來服務顧客訂單需求，其一般限制包括有：車輛的負載容積限制與顧客的時間窗口，在使得全部顧客的需求都被滿足之下，求取最小的總旅行距離成本，並提出最佳化演算法來解決此 TSP 問題，包括：(1) Algorithm Based on Benders Decomposition; (2) Branch and Bound Algorithm Based on State-space Relaxation; (3) Bounds from State-space Relaxation。

Laporte (1992) 提出銷售員旅行問題是最廣泛研究的組合優化問題之一。TSP 在業務研究中佔有核心地位。它是幾個實際應用的基礎，過去 35 年左右的研究導致了重要的理論發展。現在可以常規地解決涉及幾百個頂點的問題以達到最優性。涉及超過 2000 個頂點的實例也可以通過 Constraint Relaxation Algorithms 完全解決。還提出了許多強大的啟發式方法：Tabu Search Methods 和 Generalized Insertion Algorithms 似乎具有很大的潛力。

Gendreau, Hertz et al. (1994) 描述了一個新的 TABU ROUTE 的 VRP。這是一種用於具有容量和路徑長度限制的車輛排程問題的新 Tabu Search Heuristic。該算法考慮通過從其當前路線重複移除頂點，並將其重新插入另一路線而獲得的相鄰解的序列。基準問題的數值測試表明，Tabu Search 優於現有的最佳啟發式算法，並且 TABU ROUTE 經常生成最為人所知的解決方案。TABU ROUTE 通常會產生最著名的解決方案。另外，還可以輕鬆處理附加功

能，例如將特定城市分配給特定車輛，使用多個倉庫，允許主要和次要路線等等。

Bramel and Simchi-Levi (1997) 提出最近插入法 (The Nearest Insertion Heuristic) 的啟發法。由於 TSP 所求得的路線，便如同將所有的點連線一次，因此，作者先將最接近出發點的兩點，與出發點連成一個三角形，然後逐漸以圓形的方式擴大，將所有點一點一點的連接起來。當所有點都相連接後，所形成的環狀即為行走路線。

Seyyedhasani and Dvorak (2017) 提出車輛排程問題是一種用於表達許多物流問題的強大工具。探討在農業現場工作包括完全覆蓋油田的機器路徑，許多可用機器之間的現場路徑的分配和排序已經轉換為 VRP，可以優化整個現場的完成時間。使用基本啟發式算法（常見的 Clarke-Wright 算法的修改形式）和原啟發式算法 Tabu Search 進行優化。這兩種技術都是通過計算機模擬在兩個領域進行評估的：一個假設的基本矩形場和一個更複雜的真實世界場。對於同時使用 1,2,3,5 和 10 輛車的情況，計算現場完成時間和有效現場容量。儘管禁忌搜索方法 (Tabu Search) 相較於 Clarke-Wright 的方法，需要花較多的時間生成解決方案，但禁忌搜索提供了更好的解決方案，從而減少了現場完成時間並提高了有效範圍容量。Tabu Search 提供更大的好處在更複雜的領域與車輛數量增加。在現實世界中有十輛車，Tabu Search 通過改裝的 Clarke-Wright 提供的優勢導致完成時間縮短了 32%，但即使只有三輛車，也可以減少 15%。雖然十輛車可能僅適用於未來的自動機器，但在目前的生產中同時使用三台機器並不罕見。由於生產商考慮使用多台機器來改善現場完成時間和有效的現場容量，因此優化車輛路線將在確保完全實現這些改進方面發揮重要作用。

Nair, Grzybowska et al. (2017) 提出一個調度和路徑模型，旨在同時為每個

食品供應商和福利機構選擇一個訪問組合，並設計路線以滿足他們所需的服務水平，最大限度地降低總運輸成本，同時滿足某些操作限制。作者為此調度和路徑問題提出一個基於 Tabu Search 的啟發式解決方案方法。並於現實食品救援和交付網絡中實施該算法。實驗表明，所提出的方法優於現有的啟發式方法，並且能夠使用比實際使用的資源少得多的資源來解決現實狀況。

2.4 小結

目前所收集到的文獻資料，訂單批次化與揀貨路徑安排使用的演算法均能有效節省揀貨旅行時間。其中以車輛排程問題提出的 Tabu Search 的演算法，是一種用於具有容量限制，以批次化訂單，並找出最短路徑。同時可處理客戶附加的要求，又可在複雜的領域，在一定的限制下，實現最短距離、最低成本，最少耗時等目的。因此本研究將發展一套新的揀貨模式，目標在個案公司能實現依客戶、工廠時效要求，求出最佳揀貨單批次與最低成本路徑安排，以實現最少揀貨總成本。

第三章 研究方法

3.1 問題說明

本研究收集個案公司之實際材料揀貨單資料以及揀貨過程中的條件限制，作為設計最佳揀貨單模式之依據。其相關揀貨處理作業與作業環境說明如下。

揀貨處理作業分為三個主要部份：

第一個部份：集合揀貨單池(Order Pool)。SAP 系統將來自於生管的客戶訂單觸發的材料揀貨單，以系統原先設定好的規則，急件即時與一般件每兩小時，定時批次拋給 WMS 系統，透過 WMS 系統完成資訊蒐集成為揀貨單池(Order Pool)。倉儲中心每天約需處理上千筆材料揀貨單，依現有系統批次給單規則，已影響發料時效。

第二個部份：儲備之揀貨作業指派，存在指派即時性與材料揀貨單批次化的問題。每班儲備約每兩個小時進行派工作業，派工規則依揀貨單單數、工廠別、單筆揀貨單品項多寡，自行將揀貨單併批或不併批指派給不同的揀貨員，其所指派的揀貨員人數也由現場儲備依揀貨單數量決定。目前儲備的派工與揀貨單分批作業，沒有作業標準，也因儲備的經驗與指派作業即時與否，影響揀貨作業時效。

第三個部份，揀貨員進行揀貨作業的揀貨路徑問題。揀貨員依現場儲備分配的揀貨清單進行現場揀貨作業，揀貨作業開始，揀貨員於領單點確認揀貨清單，並依自己喜好，選擇空的揀貨載具，棧板或台車，再至揀貨區域進行揀貨

作業。每張揀貨單的物料品項與數量多寡不一，其清單上材料儲存位置分散整個揀貨區域，揀貨作業無固定路徑，人員任意穿梭於揀貨走道，完成揀貨清單上的品項後，可由任一走道回到集貨點，將已揀貨之棧板與材料置放在集貨點。若揀貨員於揀貨作業開始時，未選取適當的揀貨載具或因該批揀貨清單品項太多，無法於該趟次完成所有品項的揀取，則揀貨員需先將已滿載材料，送回到集貨點，並繼續未完成的揀貨單，直至該批揀貨單所有品項揀取完成後，再回到集貨點執行材料外箱（包）資訊刷取比對與包裝出貨等後續作業。完成後，於此處取得新的揀貨單，繼續進行下一批的揀貨作業。因目前揀貨單未考慮每批揀貨載具容積、每張揀貨單品項多寡與揀貨員依揀貨單揀貨不考慮揀貨路徑，此揀貨作業將增加不必要的揀貨移動時間。圖 5 說明現行每批材料的作業指派與揀貨作業流程。



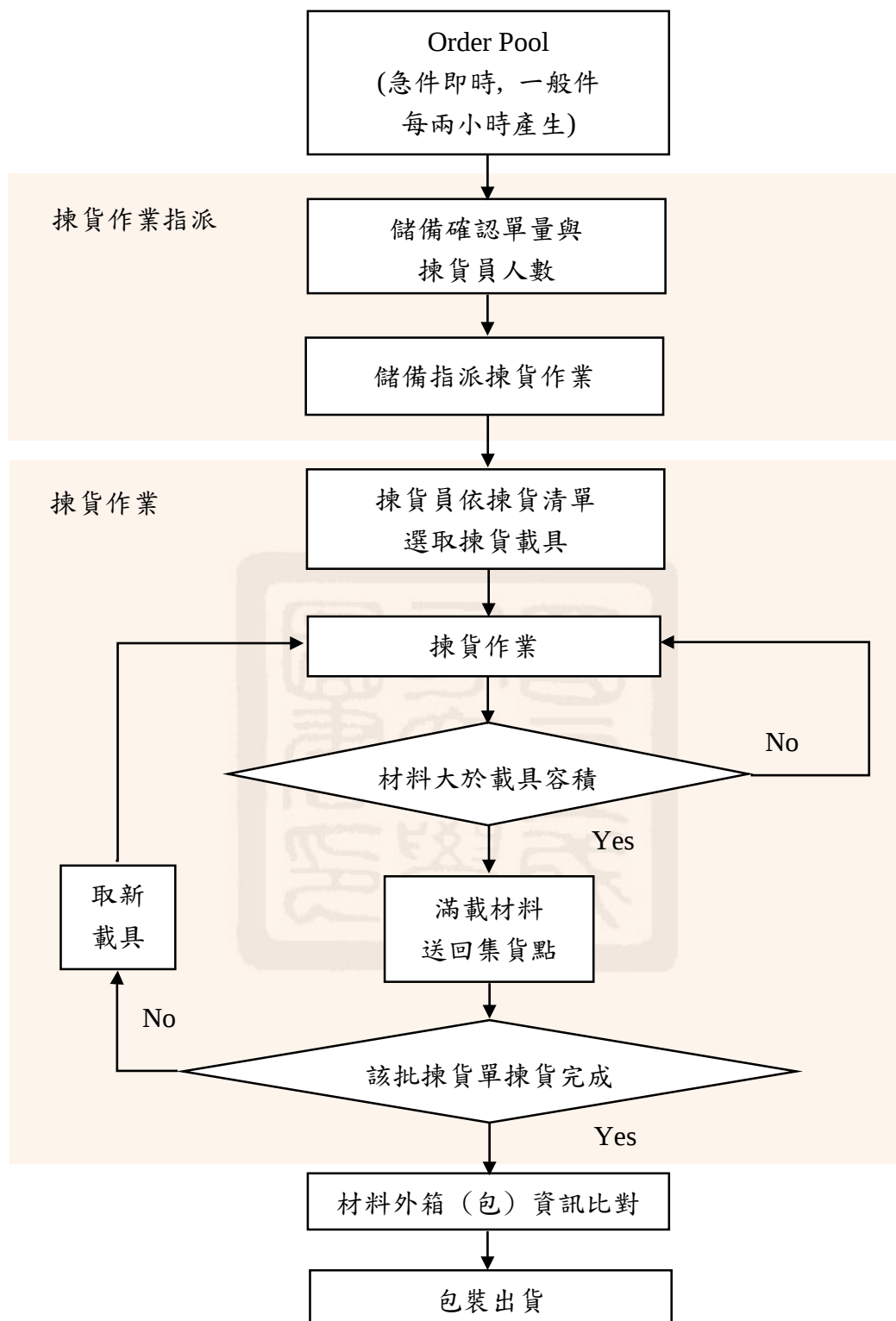


圖 5 材料揀取作業流程圖

3.2 問題模型

本研究以有容量限制之車輛排程問題 (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) 求解。將此揀貨問題規劃為車輛排程問題，將每一位揀貨員視為一輛有容量限制的車輛，必須以總成本最少為目標，用效率最高的方式，將所有工廠的需求量（個別出貨清單）完成。

3.2.1 CVRP 車輛排程問題

CVRP 問題基本型式為，考慮有限車輛數、以及車輛容量，於有車輛總旅行距離最小的情形下，派遣車輛運送貨物自基地出發，於各儲位揀取所需貨物，並且回到基地。本研究問題為基本型式之變化，如以下所示。

假設本問題之路網為 $G = (V, A)$ ， V 為節點代表產品（ $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ ）， A 代表連接產品至產品間的節線（ $A = \{(v_i, v_j): i \neq j\}$ ），代表產品 i 與 j 可由同一輛車揀貨，而車輛行經產品 i 之後接著至產品 j 所需之運輸成本以一非負參數 c_{ij} 表示。本問題之目的為使用最少的運輸成本（可涵蓋旅行時間、旅行成本、懲罰值等資訊），派遣位於基地 (depot, 即 v_0) 的 m 輛車至 n 個節點處，依據其所需產品數量揀貨後，再回至基地；亦即，CVRP 可協助設計出一組所需運輸成本最低的揀貨路徑，並符合以下條件：

1. 每條路徑的起訖點皆為基地；
2. 每個產品有其需求量 q_i （基地的需求量 q_0 為 0），而每輛車所揀之物品數量不可超過車輛容量上限 Q ；

3. 除了基地以外的產品節點如需求不為 0 ($q_i \geq 1$)，則皆至少須被經過一次。

3.2.2 基本假設

1. 訂單集合來自固定一段時間內之材料揀貨單，且在這段揀貨時段內不會改變。
2. 材料揀貨單所需揀取材料品項儲位為已知的，且在這段揀貨期間內不會改變。
3. 每一儲架有一層至四層的儲存位置，材料品項的儲存位置是唯一的。
4. 揀貨員揀取貨品來自一張或多張材料揀貨單組成的揀貨批次。每筆材料皆須被一位揀貨員揀取。
5. 每批揀貨清單不得超過揀貨載具容積限制。
6. 不考慮材料欠料後補的情形發生。
7. 不會發生揀貨員等待空棧板與等待揀貨機具的問題。
8. 揀貨員可同時揀取通道兩側儲架上的材料。
9. 揀貨員可同時揀取清單上跨廠別的材料，並放置於同一棧板，於揀貨完成後，回到集貨點進行理貨，再依廠別區分出。
10. 材料揀貨單揀取指派，依揀貨員的技能進行指派。每位揀貨員有不同廠別與不同材料類別的揀貨技能與操作機具的技能。

11. 可容許在一揀貨時間段內，同一揀貨員被指派一批以上的揀貨清單。
12. 揀貨員揀貨總路徑時間，以實際行走距離(Traveling Distance)時間、每箱材料揀取時間、每箱材料理貨分板時間與每種料號使用機具取出時間的加總。

3.3 求解方法

3.3.1 禁忌搜尋法 (Tabu Search, TS)

因 VRP 問題為一 NP-hard 問題，求解費時，故本研究將以原啟發式演算法 (metaheuristics) - 禁忌搜尋法 Glover and Laguna (1998) 求解上述 CVRP 問題。TS 之基本概念為，於重複調整各決策數值的過程中，以禁忌名單 (tabu list) 紀錄最後 k 個調整，以避免搜尋解時於局部區域重複求解，提升演算法的績效。其特色為可搜尋與檢視現行解的鄰近區域解，且允許目標值惡化，以避免求解時被侷限於區間。

由 Glover (1986) 所提出的禁忌搜尋法，藉由不斷的移動並短暫接受目標值較差的解，嘗試跳出區域最佳解，以便移往全域最佳解。本研究認為此方法能藉由接受比現有最佳解還差的解，能夠使搜尋逐漸跳出區域最佳解，能夠有更廣的搜尋空間。其在選擇下一步的鄰近解時，其可能選擇的集合中包含扣除位於禁忌名單中的鄰近解，以及滿足渴望機制之禁忌名單鄰近解。其相關參數名詞定義如下：

1. 鄰近解(Neighborhood)：在改善的過程中，可以列入下一個選擇的可能改善方案的集合。
2. 禁忌名單(Tabu List)：為禁忌搜尋的記憶體制，其將每次的移動路徑記錄起來，在禁忌名單中的移動路徑，被禁止最為可行解，其目的為了避免重新搜尋，陷入區域解中。對於禁忌名單內的移動路徑，每次的移動即會更新禁忌名單，並以先進先出的方式，使得禁忌名單已無空間時，會將最早進入的移動路徑予以移除，更新禁忌名單。紀錄已經嘗試過的鄰近解，其記憶數量等於禁忌長度。
3. 禁忌長度(Tabu length)：演算法在搜尋更好解的同時，需要避開先前已經嘗試過的鄰近解個數。禁忌名單長度不得為無限的長度，這樣會造成所有可行移步皆在禁忌名單。
4. 渴望機制(Aspiration Criterion)：是演算法避免遺失優良狀態，激勵對優良狀態的局部搜尋，進而實現全局優化的關鍵步驟。當禁忌名單中的解優於鄰近解集合的所有解時，可放鬆禁忌名單的條件而選擇該解作為下一個改善方向，可避免持續在較差的鄰近解集合中打轉，獲得比現有最佳解更好的解的機會。
5. 停止原則(Stopping Criterion)：指的是終止搜尋進行的條件，可利用預設最大迭代次數，或預設目標值持續未改善之次數，或達到預設目標值作為判別條件。

3.3.2 禁忌搜尋法流程

TS 原啟發式演算法之求解過程如下：

第一步、求得一組可行解：

在已知的材料揀貨單的揀貨資料，本研究以貪婪演算法(Greedy algorithm) Zhang, Schwartz et al. (2000)為基礎，產生一組可行解，即為初始解，組合時，路徑所需搜集之貨品數量不得超過車輛容量限制 Q 。

第二步、搜索可行路徑：

使前述的初始解為現有最佳解，並記錄其揀貨單批次和目標值。有了初始解之後，我們使用交換法(Swap)來改善初始解，將現行路徑組合中之產品交換 (swap) 以產生其他可行路徑，並將交換之產品紀錄於禁忌名單中，若該調整已被紀錄於清單中，則拒絕該項調整；若禁忌名單內記錄之調整超過 k 個，則將最舊的調整刪除。重複上述動作以找出 J 組鄰近可行路徑與其解，接著將其中求解結果最優者挑出，該解將取代並成為現行解。路徑交換之方式如 Generalized Insertion Procedure (GENI) 與 Subpath Ejection Method 等。

以 Rego (1998)為例，其路徑交換方式分為兩類，其一為交換機制，另一類為移動機制。各揀貨員所有揀貨批次均會按照這兩大機制，並且考慮交換後的成本，以成本小的為優先，分別找出新的路徑，形成一組鄰近解。

在交換機制的部份針對的是揀貨員與揀貨員之間的揀貨批次相互交換，移動機制的部份為揀貨員內揀貨批次的單程移動。

不管是交換機制或是移動機制，其每次只將單一批次和其他揀貨員之單一批次做交換。其中，主要考量的批次稱為交換批次，其他能與交換批次互相交

換的可能性批次稱為被交換批次。同時考慮交換批次與被交換批次交換後，是否符合該人員的技能限制、時間限制以及容量限制，若是超過其中一項限制，必須加以懲罰值。

在選擇過前一小節中最好的鄰近解並移動過去之後，要將最後選擇的鄰近解記錄在禁忌名單中。主要是要利用記錄選擇過的鄰近解的方式，在未來一定時間內防止再次選擇該方案，用以跳脫區域最佳解。

第三步、更新現行最優可行解：

若現行解優於現行最優可行解，則該現行解成為新的現行最優可行解。

1. 若其目標值優於現有最佳解，更新現有最佳解之目標值及揀貨單批次。
若否，則單純移動至該解。
2. 將此移動記錄至禁忌名單中，使其暫時無法再移動至此解，避開落入區域最佳解的可能。

第四步、終止條件檢查：

檢查是否符合停止條件。若是，則終止運算，並輸出現行最優可行解；若否，則回至第二步再繼續求解。

3.4 求解策略

本研究為個案公司實際之材料揀貨作業模式，此研究中擬以以下四種求解策略加以測試，並從中選出最適之策略，此四種策略分別為：(1)隨機策

略；(2)最少揀貨員策略；(3)機具未限制策略；(4) 派單頻率增加策略。

1. 隨機策略：目標為總揀貨時間最少，依每班開班設定之初始揀貨員五人，參照揀貨員的機具操作與具備可揀取廠別與材料類別的技能，庫區內有等同數量的樓梯車與油壓車揀貨機具，與兩台堆高機，每個時間段都有固定兩人能使用堆高機，並有兩個小時的揀貨時間。
2. 最少揀貨員策略：其假設跟隨機策略相同，唯一不同為改變目標為在揀貨時段，所使用揀貨人數最少。
3. 機具未限制策略：其假設與隨機策略相同，唯一不同為五位揀貨員都會使用堆高機，以及堆高機有五台，因此每個人隨時都可以使用堆高機。
4. 派單頻率增加策略：其假設與隨機策略相同，為改變其派單頻率，由兩個小時縮短為一個小時。

第四章 實證結果與分析

本章將以實驗模擬方式評估不同策略下之揀貨總時間的績效。在 4.1 節中，將就實驗環境、實驗方法與項目作一說明。4.2 節說明實驗項目之實驗結果與分析。在 4.3 節中說明四種揀貨策略下的揀貨績效。

4.1 模擬實驗設計

4.1.1 實驗環境

本實驗的揀貨環境共有平面的倉儲料架區與自動倉儲設備(Automatic Storage Retrieval System, ASRS)，整個平面揀貨區有 6 個揀貨走道，走道間亦有橫向走道，揀貨員揀貨開始與結束的位置共同在平面揀貨區的左上角，這個位置也是領單點與集貨點 (P/D)，如圖 6 所示。平面倉之料架存儲整板材料，ASRS 則存放非整板之零數箱。平面倉的每一料架又可切割成若干儲位，於平面倉的每座倉儲料架最多分為四層儲格，第三層與第四層儲位之揀貨作業，使用的揀取機具為堆高機；第二層儲格之揀貨作業使用的揀取機具為樓梯車，揀貨員可直接站在樓梯車上依揀貨清單上的數量進行材料揀出；而第一層的儲位，揀貨員直接揀取。

揀貨員由 P/D 點位置出發至所要揀取貨物的儲位，完成所有揀取回到集貨點再開始下一批次的揀貨。揀貨員在揀貨作業過程中，揀貨員需依材料儲存位置，操作適當的揀取機具進行揀貨。

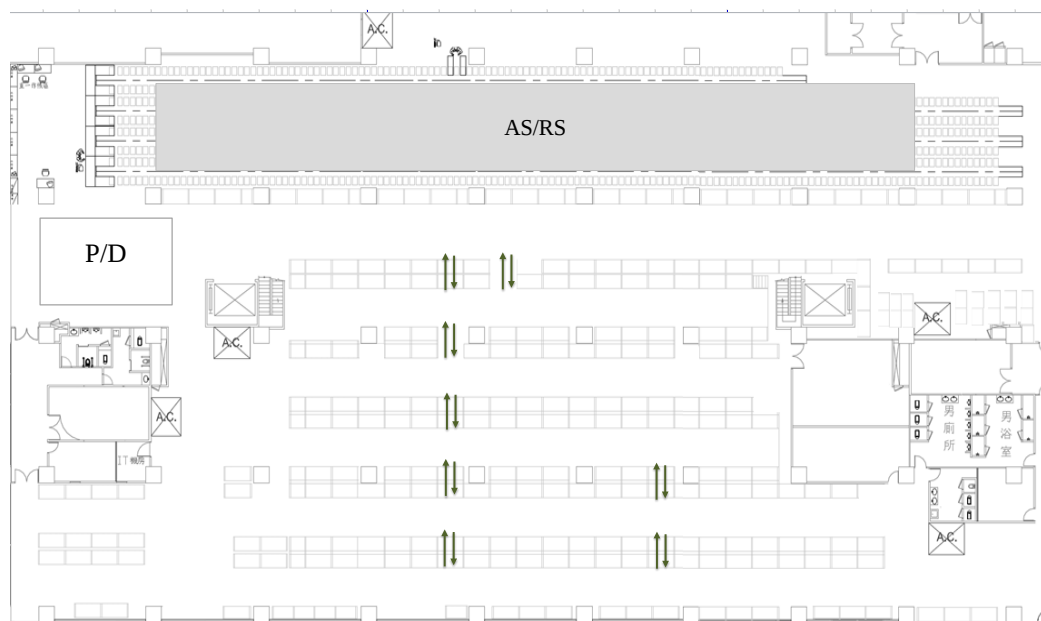


圖 6 倉儲中心揀貨區

4.1.2 實驗目的與方法

本實驗的主要目的，將揀貨問題規劃為車輛排程問題，進行模擬實驗，求解該揀貨時間段，揀貨員揀貨總成本最低。此實驗之揀貨總成本為所有揀貨員的總路徑時間加總，總路徑時間包括該揀貨員的移動時間、對每項貨物的揀貨時間、每次揀貨的機具使用時間，與揀貨完後每項貨物的理貨時間。

為了使研究更合乎倉儲中心實際揀貨狀況，本實驗在揀貨作業加入揀貨員的技能、揀貨載具容積限制與揀貨時間限制。並以下列範例說明初始解產生的方法。

每班開班時，儲備會在系統設定當班的揀貨員，在已知的揀貨員的情況下，初始解的運算，依照系統揀貨單產生的時間，參照揀貨員的機具操作技能與具備可揀取廠別與材料類別的技能，依序指派材料揀貨單給技能具備，有剩餘棧板容量且同時可以在揀貨時段內完成之揀貨員執行，如：表 2 所示。若該揀貨

員之技能、棧板容量、與揀貨時段內完成之條件之一無法滿足，皆不可銜接，需將新增的料號指派給第二位揀貨員，如料號 3 因 A 揀貨員不可銜接，無法繼續交給 A 揀貨員執行，因此增加 B 揀貨員執行揀貨，如表 3 所示。若有二位以上的揀貨員剩餘棧板容量相同，則優先指派給順序較前面之揀貨員執行，如 A 與 B 揀貨員皆剩餘 80% 之棧板容量，且可於揀貨時段內完成，此時因為 A 揀貨員順序較前面，因此將料號 4 指派給 A 揀貨員執行，如表 4 所示。

表 2 初始解設計範例一

A揀貨員					A揀貨員			
廠別	料號	數量	儲位		廠別	料號	數量	儲位
P1	11111	1308	Y3-03-2		P1	11111	1308	Y3-03-2
					P2	22222	419	Y8-01-3

表 3 初始解設計範例二

A揀貨員				B揀貨員			
廠別	料號	數量	儲位	廠別	料號	數量	儲位
P1	11111	1308	Y3-03-2	P3	33333	2123	F4-10-3
P2	22222	419	Y8-01-3				

表 4 初始解設計範例三

A揀貨員					B揀貨員				
廠別	料號	數量	儲位	餘容量	廠別	料號	數量	儲位	餘容量
P1	11111	1308	Y3-03-2	90%	P3	33333	2123	F4-10-3	80%
P2	22222	419	Y8-01-3	80%					
P5	44444	225	F2-09-1	70%					

本實驗設定禁忌長度為貨物數量的三分之一到三分之二不等。而停止原則為：最佳解五百次運算都沒有改善的話，就會停止。

4.1.3 實驗項目說明

本實驗分為兩部份實驗因子。變動因子在禁忌搜尋法原啟發式演算法求解一組初始解時，分別以揀貨員人數、揀貨機具與揀貨派單頻率增加的各種組合，進行模擬實驗找出何組最佳。固定因子則以實驗環境的揀貨區儲位位置、揀貨區長寬比例、材料外箱材積、P/D 點數目與位置、機具點與位置、揀貨載具尺寸、揀貨員的技能與每項作業的最小單位時間等固定因子，比較不同變動因子組合對績效的影響。

本實驗將使用上述因子來設計本研究欲觀察的實驗組合。

實驗一：模擬實驗揀貨路徑。採用一張材料揀貨單所需揀取的貨物品項，實際量測在未運算的揀貨員揀取貨物的行走路徑，並與與運算後的揀貨路徑進行比較。

實驗二：模擬實驗單日的材料揀貨單，經過禁忌搜尋法運算四種揀貨策略之個別績效表現，從中選出最適之策略。

4.2 模擬實驗結果

4.2.1 實驗一之實驗結果

本實驗採用庫區實際作業單一張材料揀貨單共 18 筆料號品項，分析現行路徑經過運算後，產生的其他可行路徑之結果。以禁忌搜尋法求解最短揀貨路線，參照揀貨員的機具操作技能與具備可揀取廠別與材料類別的技能，在有容

量限制與二小時揀貨時間限制的情況下，將原揀貨員以台車為揀貨載具分二批揀貨所行經的路徑，求解出以搭配棧板，以一次揀貨路徑完成該批揀貨單材料之揀取。運算後揀貨單之揀貨順序已被重新排序，如表 5 所示，其揀貨路徑僅行走 243.76 公尺。而揀貨路徑圖如圖 7 所示。

表 5 TS 求解後結果

編號	儲位	承載設備	取貨距離(M)	總距離(M)
13	(退庫區)	棧板 1	7.8	243.76
15	F5-28-1	棧板 1	52.26	
16	F5-38-2	棧板 1	12.6	
14	F5-34-1	棧板 1	5.04	
17	D2-12-1	棧板 1	62.57	
18	Y9-02-3	棧板 1	25.56	
12	YB-08-1	棧板 1	47.93	
9	0407502	棧板 1	6	
2	0504606	棧板 1	2	
10	0110304	棧板 1	2	
1	0609505	棧板 1	2	
8	0205901	棧板 1	2	
6	0306904	棧板 1	2	
5	0802907	棧板 1	2	
3	0210709	棧板 1	2	
4	0201110	棧板 1	2	
7	0313710	棧板 1	2	
11	0411309	棧板 1	6	

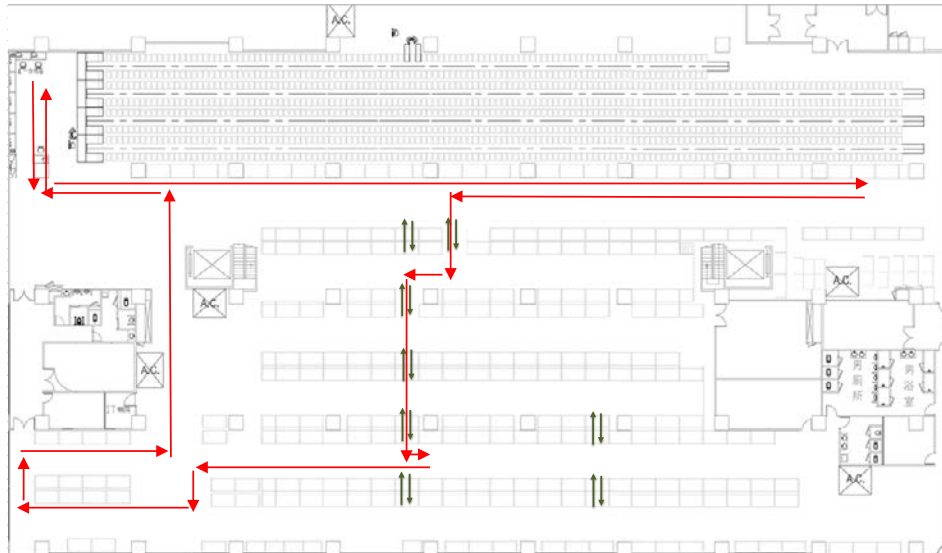


圖 7 TS 求解後路徑圖

原未經過禁忌搜尋法的揀貨方式，在不同的揀貨員會使用不同的載具與行經不同走道進行揀貨，有些揀貨員則會於揀貨開始前，自行將揀貨清單分批，分批揀取材料。以此範例說明，揀貨員依材料揀貨單上自行決定揀貨路徑與揀貨載具，該揀貨員使用台車執行第一批揀貨作業，當台車容積無法負荷時，揀貨員將第一批揀貨單上的材料送回集貨點位置放下，再挑選第二批揀貨所需台車，執行第二批材料揀取。此範例揀貨員分二批揀取作業共行走 613 公尺，其揀貨移動順序，如表 6 所示。揀貨員使用第一台台車的揀貨路徑如圖 8 所示。揀貨員同一張揀貨單使用的第二台台車之揀貨路徑，如圖 9 所示。

表 6 原揀貨員揀貨順序與取貨距離

儲位	箱數	承載設備	取貨距離(M)	總距離(M)
0609505	2	台車 1	10	613
0504606	1	台車 1	2	
0210709	1	台車 1	2	
0201110	1	台車 1	2	
0802907	1	台車 1	2	
0306904	1	台車 1	2	
0313710	5	台車 1	2	
0205901	1	台車 1	2	
0407502	1	台車 1	2	
0110304	1	台車 1	2	
0411309	1	台車 1	2	
YB-08-1	6	台車 1	2	
(退庫區)	3	台車 1	140	
F5-34-1	1	台車 1	51	
F5-28-1	5	台車 1	5	
F5-38-2	4	台車 1	157	
		台車 1 拉回出貨區	70	
(D2-12-1 前)	3	台車 2	86	
Y9-02-3	8	台車 2	50	
		台車 2 拉回出貨區	22	

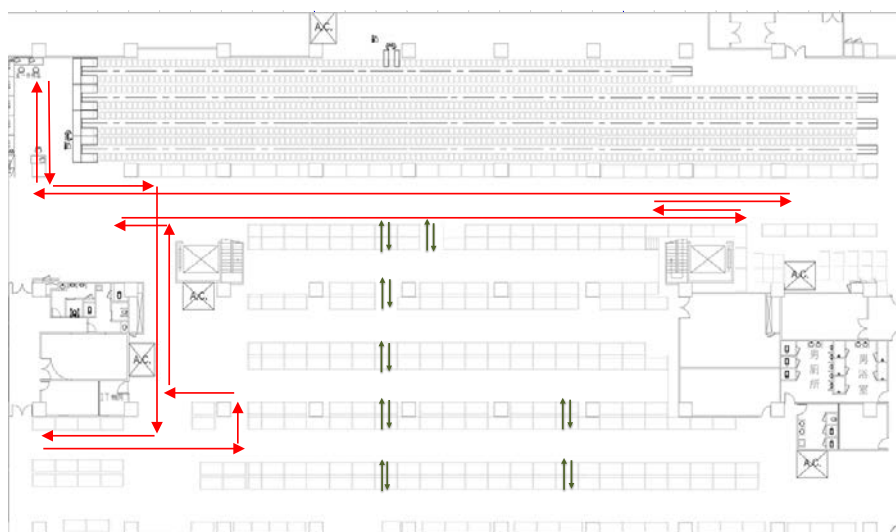


圖 8 原揀貨員第一批揀貨路徑圖

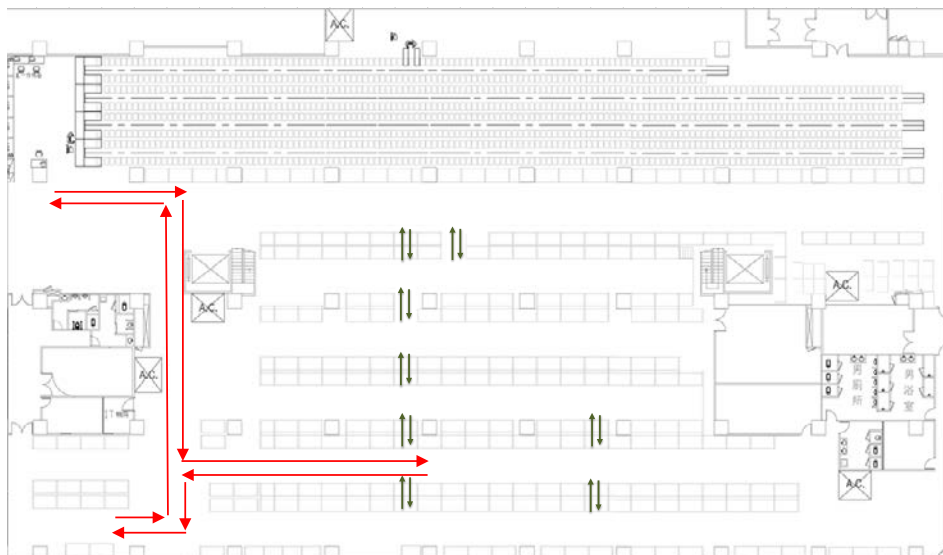


圖 9 原揀貨員第二批揀貨路徑圖

此實驗績效，如表 7 所示。優化後路線縮短 369.24 公尺，揀貨路線節省 60.23%。透過禁忌搜尋法求解出此張揀貨單未超出棧板容量，故可以一個棧板作為揀貨載具，節省揀貨員來回集貨點走動時間與重新挑選揀貨載具的時間，並且透過運算，重新組合揀貨路徑，有效率地縮短揀貨旅行距離。

表 7 實證分析結果

評估項目	原路線	優化後
揀貨路線距離(公尺)	613	243.76
揀貨載具	2台台車	1個棧板

4.2.2 實驗二之實驗結果

本實驗分析單一日 167 份材料揀貨單，共 731 筆料號，以禁忌搜尋法求解 731 筆資料在四種揀貨策略下的揀貨總成本最低。參照揀貨員的機具操作技能與具備可揀取廠別與材料類別的技能，在揀貨容量限制與一定揀貨時間的條件

下，依照 WMS 系統揀貨單產生的時間，求解四種揀貨策略總時間。此四種策略分別為：(1)隨機策略；(2)最少揀貨員策略；(3)機具未限制策略；(4) 派單頻率增加策略。其目標式與條件如表 8 所示。

表 8 揀貨策略的目標式與條件

揀貨策略	目標式	人數條件	機具條件	時間條件
隨機	總時間最少	五人	兩台堆高機	兩個小時
最少揀貨員	總時間最少，總揀貨人員最少	越少越好	兩台堆高機	兩個小時
機具未限制	總時間最少	五人	每個人都配有一台堆高機	兩個小時
派單頻率增加	總時間最少	五人	兩台堆高機	一個小時

(1)隨機策略

人數條件為每班開班設定揀貨員為五人，在運算過程可指派給這五人執行揀貨。機具條件為兩台堆高機，系統設定只有兩名揀貨員可使用堆高機執行第一層到第四層儲位的貨物揀取，其餘揀貨員只能揀取第一層到第二層儲位上的貨物。時間條件則以「材料揀貨單單據產生時段」設為時間條件，求解在此時間條件內的單據之揀貨清單組合，因設定求解兩個小時內單據，故假設揀貨員在下一次派單前可完成揀貨作業。實驗結果如表 9 所示，揀貨總時間為 2,103.34 分鐘，總求解時間為 17 分 26 秒，總揀貨人次 48 人。

表 9 隨機策略實驗結果

unit: minute		揀貨員					總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
班別	單據產生時段	A	B*	C	D*	E		
早班	5~7	23.55	26.98	15.93	15.82	10.2	92.48	00:13
	7~9	64.36	89.95	9.93	65.99	20.13	250.36	01:39
	9~11	67.58	118.1	19.67	116.8	35.26	357.41	00:58
	11~13	64.26	119.85	0	72.69	0	256.80	02:06
	13~15	13.48	29.63	0	14.31	0	57.42	00:06
	15~17	50.93	110.86	15.93	52.34	0	230.06	01:39
	總時間(分)	284.16	495.37	61.46	337.95	65.59	1244.53	06:41
班別	單據產生時段	F	G*	H	I*	J	總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
晚班	17~19	38.25	13.36	27.53	32.24	34.18	145.56	00:38
	19~21	39.34	80.53	3.53	22.93	8.58	154.91	00:56
	21~23	30.23	15.04	49.73	50.83	13.38	159.21	00:49
	23~1	88.26	62.42	78.53	47.16	74.49	350.86	03:56
	1~3	0	21.21	3.53	0	23.53	48.27	04:26
	3~5	0	0	0	0	0	0	0
	總時間(分)	196.08	192.56	162.85	153.16	154.16	858.81	10:45
		480.24	687.93	224.31	491.11	219.75	2103.34	17:26

備註：*為操作堆高機之揀貨員

(2) 最少揀貨員策略

其條件跟隨機策略相同，唯一不同為改變目標在揀貨時段，需以最少揀貨員執行揀貨求解。實驗結果如表 10 所示。揀貨總時間為 2,096.69 分鐘，總求解時間為 14 分 15 秒，總揀貨人次 26 人。此策略在於單數較少的時間段，集中指派部份揀貨員執行揀貨作業，可減少揀貨員執行揀貨作業的次數，在派工人次上有較佳表現，但也因作業指派不均，易造成部份揀貨員因分工不均所形成的工作負擔與現場管理問題。

表 10 最少揀貨員策略實驗結果

unit: minute		揀貨員					總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
班別	單據產生時段	A	B*	C	D*	E		
早班	5~7	91.53	0	0	0	0	91.53	00:12
	7~9	0	106.29	77.62	64.66	0	248.57	01:43
	9~11	55.71	111.37	72.29	117.94	0	357.306	01:03
	11~13	0	65.43	0	112.89	77.74	256.06	02:25
	13~15	0	0	0	56.94	0	56.94	00:06
	15~17	0	68.03	102.43	0	58.65	229.11	02:05
	總時間(分)	147.24	351.12	252.338	352.428	136.39	1239.516	07:34
班別	單據產生時段	F	G*	H	I*	J	總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
晚班	17~19	0	67.01	77.8	0	0	144.81	00:46
	19~21	92.62	0	61.15	0	0	153.77	01:02
	21~23	0	89.15	0	69.9	0	159.05	00:58
	23~1	118.41	100.89	67.64	64.43	0	351.37	03:52
	1~3	0	48.17	0	0	0	48.17	00:03
	3~5	0	0	0	0	0		
	總時間(分)	211.03	305.22	206.59	134.33	0.00	857.17	06:41
		358.27	656.34	458.93	486.76	136.39	2096.69	14:15

備註：*為操作堆高機之揀貨員

(3) 機具未限制策略

其條件跟隨機策略相同，唯一不同為改變目標在揀貨時段，五位揀貨員都會使用堆高機，以及堆高機有五台，且每個人隨時都可以使用堆高機。實驗結果如表 11 所示。揀貨總時間為 2,103.56 分鐘，總求解時間為 22 分 11 秒，總揀貨人次 49 人。此策略之揀貨總時間與揀貨人次和隨機策略的結果表現無顯著差異。分析其原因為當日需揀取的材料，位於第三層與第四層的儲位只佔當日貨物的 12%，不需使用到五台堆高機，致此二種策略之揀貨總時間不會有太大的差異。

表 11 機具未限制策略實驗結果

unit: minute		揀貨員					總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
班別	單據產生時段	A*	B*	C*	D*	E*		
早班	5~7	16.03	27.92	14.03	27.26	7.13	92.37	00:13
	7~9	67.73	69.234	0	56.85	57.86	251.67	01:38
	9~11	113.42	37.79	21.58	117.96	65.05	355.80	01:11
	11~13	84.46	89.89	1.39	81.69	0	257.43	02:11
	13~15	13.87	13.77	0	26.43	3.63	57.70	07:46
	15~17	71.13	14.02	22.85	68.13	53.92	230.05	02:02
	總時間(分)	366.64	252.624	59.85	378.32	187.59	1245.02	15:01
班別	單據產生時段	F*	G*	H*	I*	J*	總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
晚班	17~19	34.1	52.35	40.78	5.49	12.55	145.27	00:40
	19~21	23.9	34.93	44.61	19.43	31.27	154.14	00:59
	21~23	72.66	14.46	0	58.13	13.75	159.00	00:52
	23~1	89.06	66.73	85.06	59.36	51.53	351.74	04:35
	1~3	21.33	0	3.53	23.53	0	48.39	00:04
	3~5	0	0	0	0	0		
	總時間(分)	241.05	168.47	173.98	165.94	109.10	858.54	07:10
		607.69	421.09	233.83	544.26	296.69	2103.56	22:11

備註：*為操作堆高機之揀貨員

(4) 派單頻率增加策略

其條件跟隨機策略相同，唯一不同為改變其派單頻率，由兩個小時縮短為一個小時，因設定派單頻率一個小時一次，故求解一個小時內單據，並假設揀貨員在下一次派單前可完成揀貨作業。實驗結果如表 12 所示，揀貨總時間為 2,008.23 分鐘，總求解時間為 9 分 53 秒，總揀貨人次 69 人。此策略派單頻率雖由兩小時變為一小時，但未因派單次數增加 2 倍，而揀貨人次等比增加，因此可以解釋為經由演算後的揀貨組合，可有效節省旅行次數。但黃底的部份，因該時間段的單量較大，平均每位揀貨員均已超出假設的一個小時內可以完成的揀貨總時間，此將影響下一時間段的材料揀取。

表 12 派單頻率增加策略實驗結果

unit: minute		揀貨員					總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
班別	單據產生時段	A	B*	C	D*	E		
早班	5~6	11.26	18.93	0	16.96	23.99	71.14	00:07
	6~7	0	20.07	0	3.53	0	23.60	00:03
	7~8	18.53	33.72	0	23.76	0	76.01	00:10
	8~9	42.33	39.13	0	44.46	49.03	174.95	00:47
	9~10	52.45	58.87	0	44.76	0	156.08	00:24
	10~11	32.22	30.41	8.73	6.45	26.86	104.67	00:07
	11~12	5.96	19.53	0	19.85	0	45.34	00:06
	12~13	56.43	46.47	30.83	59.12	19.42	212.27	01:44
	13~14	0	34.78	0	0	0	34.78	00:03
	14~15	0	0	0	0	24.35	24.35	00:02
	15~16	57.03	9.05	55.53	44.51	17.26	183.38	01:02
	16~17	0	0	6.63	30.65	11.53	48.81	00:05
	總時間(分)	276.21	310.96	101.72	294.05	172.44	1155.38	04:40
班別	單據產生時段	F	G*	H	I*	J	總時間 (分)	求解時間 (分:秒)
晚班	17~18	35.23	33.35	49.34	0.97	5.97	124.86	00:27
	18~19	0	0	0	22.56	0	22.56	00:02
	19~20	32.23	30.88	0	30.19	16.55	109.85	00:23
	20~21	0	20.38	0	12.83	14.78	47.99	00:05
	21~22	11.00	13.73	23.43	6.34	0	54.50	00:08
	22~23	14.13	36.23	0	47.23	12.15	109.74	00:15
	23~24	65.04	65.89	60.19	63.55	62.94	317.61	03:48
	24~1	17.47	0	0	0	0	17.47	00:02
	1~2	14.23	21.21	0	12.83	0	48.27	00:03
	2~3	0	0	0	0	0	0.00	
	3~4	0	0	0	0	0	0.00	
	4~5	0	0	0	0	0	0.00	
	總時間(分)	189.33	221.67	132.96	196.50	112.39	852.85	05:13
		465.54	532.63	234.68	490.55	284.83	2008.23	09:53

備註：*為操作堆高機之揀貨員

此實驗使用 visual studio 2017 求解，此實驗中問題規模最大的為 23 點到 1 點的時段，此時段包含 120 個 node，14400 個 arc，求解時間為 3 分 56 秒。

4.3 揀貨策略之績效

四種策略實驗績效，將以下列績效評估與說明。

● 總揀貨時間績效

四種策略實驗績效，如圖 10 所示，以派單頻率增加策略的總揀貨時間最少，總揀貨時間為 2,008.23 分鐘，相較於未經過運算的實際總揀貨時間 4,363 分鐘，節省了 2,355.77 分鐘，總揀貨效率提升 53.98%。而最少揀貨員策略的總揀貨時間為 2,096.69 分鐘，總揀貨效率提升 51.95%，僅次於派單頻率增加策略。選擇隨機策略與機具未限制策略運算出的總揀貨時間績效，彼此間沒有太明顯的差異，以如表 13 所示，分析其原因為當日需揀取的材料，位於第三層與第四層的儲位只佔當日貨物的 12%，不需使用到五台堆高機，致此二種策略之揀貨總時間不會有太大的差異。

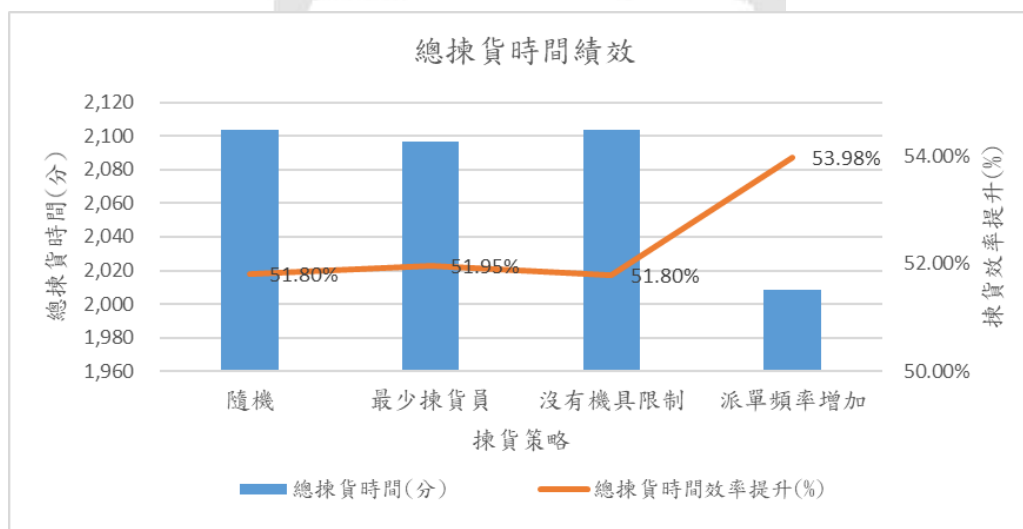


圖 10 揀貨策略之總揀貨時間績效

表 13 揀貨策略之總揀貨時間績效

揀貨策略	求解時間 (分:秒)	總揀貨人次	總揀貨時間 (分)	總節省時間 (分)	總揀貨時間效率提升 (%)
隨機	17:26	48	2,103.34	2,260.66	51.80%
最少揀貨員	14:15	26	2,096.69	2,267.31	51.95%
機具未限制	22:11	49	2,103.56	2,260.44	51.80%
派單頻率增加	09:53	69	2,008.23	2,355.77	53.98%

● 總揀貨人次績效

從實驗數據分析發現，經過運算的揀貨組合，在這四種策略下，所需指派的揀貨員人次，都比未運算過由當班儲備指派的人次少，以如圖 11 所示。其中又以最少揀貨員策略減少的人次比率 56.67% 最多，可解釋此策略的條件設定，除節省總揀貨時間外，也可大幅節省旅行次數。如表 14 所示。而派單頻率增加策略雖派單頻率由兩小時變為一小時，但未因派單次數增加 2 倍，而揀貨人次等比增加，因此可以解釋為經由禁忌搜尋法演算後的揀貨組合，可有效節省旅行次數。

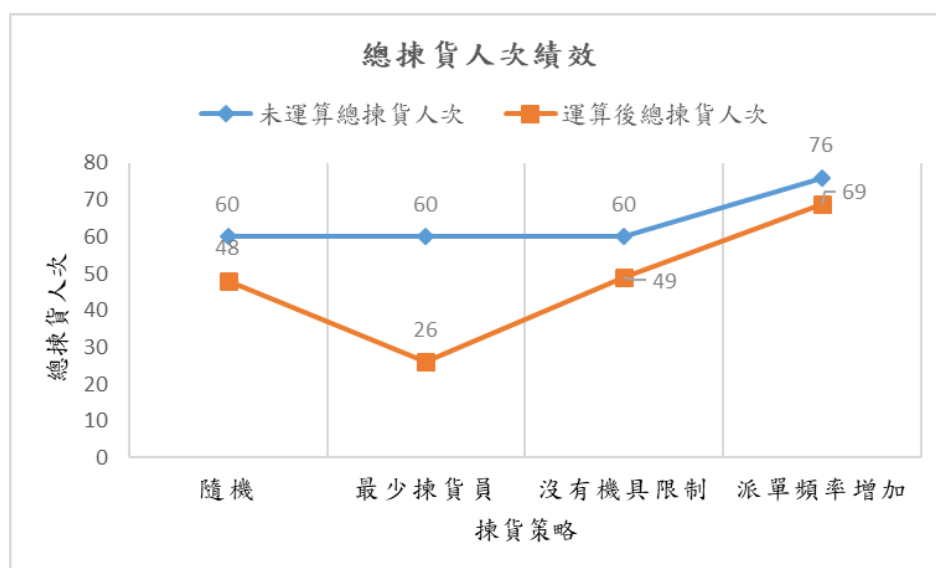


圖 11 揀貨策略之總揀貨人次績效

表 14 揀貨策略之總揀貨人次績效

揀貨策略	運算後總揀貨人次	未運算總揀貨人次	減少揀貨人次	減少人次 (%)
隨機	48	60	12	20.00%
最少揀貨員	26	60	34	56.67%
機具未限制	49	60	11	18.33%
派單頻率增加	69	76	7	9.21%

第五章 結論與建議

因個案公司的倉儲中心已有 WMS 系統，以及因應公司無紙化，主要作業表單全面導入 WMS 系統，倉儲人員可透過 PDA 執行材料收發領退作業，並於 WMS 系統留下作業紀錄，此已改變倉儲中心的揀貨問題模式。因此，本論文考慮揀貨作業不再是一個以人為判斷的揀貨分批、揀貨作業指派，與揀貨員依個人喜好的揀貨載具挑選及材料揀取行走路徑。因而發展出一套利用系統運算求解出的最佳揀貨批次與揀貨路徑，並由系統指派揀貨員，揀貨員只需依揀貨清單上的揀貨品項順序，依次揀取，並依揀貨作業標準，使用標準揀貨棧板執行揀貨，即可在揀貨總時間最少的情況下完成揀貨作業。經過系統模擬實驗後，證實本演算法皆有很好的績效表現。對於現在企業面臨的揀貨問題，具實際應用價值。以下 5.1 節、5.2 節為本研究的結論與建議。

5.1 研究結論

經由模擬實驗分析，針對目前揀貨環境彙整以下幾點研究結論。

1. 揀貨作業考慮揀貨容積問題，運算出最適的揀貨批次與揀貨路徑，使本研究更符合倉儲中心實際揀貨環境。
2. 由模擬實驗揀貨路徑之實驗績效，揀貨路線節省60.23%。此表示現場的揀貨作業多浪費在不必要的揀貨移動上，倉儲中心的揀貨問題導入此運算，可有效降低揀貨作業不必要的移動時間。

3. 針對四種揀貨策略績效值中，均有不錯的績效，又以派單頻率增加策略的總揀貨時間最少，最能解決倉儲中心長期存在揀貨問題。
4. 透過揀貨系統導入，對四種揀貨策略績效中的貨物揀選人次，均較未經過運算的派工人次與揀貨員人數有很好的表現，除降低揀貨作業重工，有效節省旅行次數，對於現場作業人員的調度，提供了更大的彈性。而最少揀貨員策略在總揀貨人次有明顯優於其他策略的表現。
5. 本研究探討在個案企業之倉儲中心的系統運用與傳統揀貨問題，系統將每一位揀貨員視為一輛有容量限制的車輛，必須用揀貨總成本最少、效率最高的方式，完成揀貨作業。此揀貨模式在企業尚未導入全自動化揀貨設備的情況下，可為公司解決長期存在的揀貨問題，提升揀貨作業效率與降低發料時效，並可作為未來倉儲中心發展全自動揀貨設備的最佳揀貨系統。

5.2 建議

在少量多樣多頻率的客戶需求所帶來的新揀貨問題紛紛浮現，本研究提出的各種有效率的揀貨與處理操作，也由實驗證明有其重要性與可行性。在因應未來更多更複雜的內外部客戶需求，有許多未來尚需探討的問題。提出以下幾點建議作未來為後續研究之參考。

1. 本研究採跨廠之揀貨批次處理，揀貨員可同時揀取清單上跨廠別的材料，再依廠別理貨發貨。但以目前的揀貨作業為專廠專人的方式執行，因此可再以專廠專人的揀貨模式規劃策略，評估揀貨績效。

2. 經實驗結果，透過派單頻率增加，有效縮短揀貨時間，又可透過系統指派揀貨作業，故可評估調整SAP系統批次拋單時間，預估可縮短發料時間30%~50%，約2~3小時的時間，提供更快速的材料供應服務。
3. 不同貨物品項應該會有不同揀貨載具大小的選擇，未來可探討採用多種揀貨載具形式，使訂單批次更符合揀貨員實際操作。
4. 揀貨員揀貨技能應再提升與加強，使其技能一致，以減少系統運算的限制。並於未來的模擬實驗可加入考量揀貨員揀貨作業承載(Load)，以平均每位揀貨員的揀貨作業工時。
5. 本研究可就揀貨員揀貨作業超出揀貨時間的問題，作更深入的探討。



參考文獻

- Bramel, J. and D. Simchi-Levi (1997). The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management, Springer New York.
- Brynzér, H. and M. I. Johansson (1996). "Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times." International Journal of Production Economics 46: 595-603.
- Caron, F., G. Marchet and A. Perego (2000). "Layout design in manual picking systems: a simulation approach." Integrated Manufacturing Systems 11(2): 94-104.
- De Koster, M., E. S. Van der Poort and M. Wolters (1999). "Efficient orderbatching methods in warehouses." International Journal of Production Research 37(7): 1479-1504.
- De Koster, R. and E. Van Der Poort (1998). "Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions." IIE transactions 30(5): 469-480.
- Elsayed, E., M.-K. Lee, S. Kim and E. Scherer (1993). "Sequencing and batching procedures for minimizing earliness and tardiness penalty of order retrievals." The International Journal of Production Research 31(3): 727-738.
- Elsayed, E. A. and O. Unal (1989). "Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems." The International Journal of Production Research 27(7): 1097-1114.
- Eynan, A. and M. J. Rosenblatt (1994). "Establishing zones in single-command

- class-based rectangular AS/RS." IIE transactions 26(1): 38-46.
- Gendreau, M., A. Hertz and G. Laporte (1994). "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem." Management science 40(10): 1276-1290.
- Gibson, D. R. and G. P. Sharp (1992). "Order batching procedures." European Journal of Operational Research 58(1): 57-67.
- Glover, F. (1986). "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence." Computers & operations research 13(5): 533-549.
- Glover, F. and M. Laguna (1998). Tabu search. Handbook of combinatorial optimization, Springer: 2093-2229.
- Goetschalckx, M. and H. Donald Ratliff (1988). "Order picking in an aisle." IIE transactions 20(1): 53-62.
- Goetschalckx, M. and H. D. Ratliff (1988). "An efficient algorithm to cluster order picking items in a wide aisle." Engineering Costs and Production Economics 13(4): 263-271.
- Golden, B. L., S. Raghavan and E. A. Wasil (2008). The vehicle routing problem: latest advances and new challenges, Springer Science & Business Media.
- Hausman, W. H., L. B. Schwarz and S. C. Graves (1976). "Optimal storage assignment in automatic warehousing systems." Management science 22(6): 629-638.
- Kelle, P. and P. A. Miller (2001). "Stockout risk and order splitting." International Journal of Production Economics 71(1-3): 407-415.
- Laporte, G. (1992). "The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms." European Journal of Operational Research 59(2): 231-247.
- Lawler, E. L. (1985). "The traveling salesman problem: a guided tour of

- combinatorial optimization." Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics.
- Le-Duc, T. and R. B. De Koster (2005). "Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse." International Journal of Production Research 43(17): 3561-3581.
- Nair, D., H. Grzybowska, Y. Fu and V. Dixit (2017). "Scheduling and routing models for food rescue and delivery operations." Socio-Economic Planning Sciences.
- Petersen, C. G. (1997). "An evaluation of order picking routeing policies." International Journal of Operations & Production Management 17(11): 1098-1111.
- Petersen, C. G. and R. W. Schmenner (1999). "An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation." Decision Sciences 30(2): 481-501.
- Rego, C. (1998). "A subpath ejection method for the vehicle routing problem." Management Science 44(10): 1447-1459.
- Roodbergen, K. J. and R. Koster (2001). "Routing methods for warehouses with multiple cross aisles." International Journal of Production Research 39(9): 1865-1883.
- Rosenwein, M. B. (1994). "An application of cluster analysis to the problem of locating items within a warehouse." IIE transactions 26(1): 101-103.
- Seyyedhasani, H. and J. S. Dvorak (2017). "Using the Vehicle Routing Problem to reduce field completion times with multiple machines." Computers and Electronics in Agriculture 134: 142-150.
- Tsai, C.-Y., J. J. Liou and T.-M. Huang (2008). "Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time."

- International Journal of Production Research 46(22): 6533-6555.
- Vaughan, T. (1999). "The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency." International Journal of Production Research 37(4): 881-897.
- Yu, M. and R. B. De Koster (2009). "The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance." European Journal of Operational Research 198(2): 480-490.
- Zhang, J. and Z. Zhang (2012). Multi-parameter Multi-objective Algorithm to Solve VRP. Communications and Information Processing, Springer: 156-162.
- Zhang, Z., S. Schwartz, L. Wagner and W. Miller (2000). "A greedy algorithm for aligning DNA sequences." Journal of Computational biology 7(1-2): 203-214.
- 孫海蛟 and 董福慶 (1995). 物流中心儲位管理, 經濟部商業自動化系列叢書.
- 崔利群 and 謝群英 (2006). 現代超市物流與配送, 北京: 经济管理出版社.
- 羅國書 (2001). 電子零售商的最佳化貨品揀取; Optimizing Order Picking in an e-Tailer Company, 國立中央大學圖書館.