

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

最佳揀貨效率之倉儲系統儲區交叉走道與揀貨策略  
配置模型之研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫  
計畫編號：NSC 92-2213-E-216-026-  
執行期間：92年8月1日至93年7月31日

計畫主持人：謝玲芬  
共同主持人：  
計畫參與人員：徐仕明、林嘉慶

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學工業管理學系

中華民國 93年 9月 16日

## 中文摘要

根據文獻探討與對實務界的深入瞭解，儲位指派法則的妥善運用，可利用最少的儲存空間以達到最小化行走距離之目的，對於提昇揀貨作業亦有直接之影響；此外，適當的揀貨路徑規劃可最小化總揀貨成本，進而達到單位時間內揀貨績效的提昇。因此，本論文考量倉儲區交叉走道數量佈置方式、儲位指派、揀貨路徑、走道內平均揀貨密度、及訂單組合方式等因素對倉儲揀貨系統績效之影響，並以 eM-plant 軟體進行模擬分析，發展一套以總揀貨距離最小為最佳績效指標之倉儲設計的資料庫，將倉儲系統內之交叉走道數量、儲位佈置、儲位指派、揀貨路徑規劃、揀貨密度及訂單組合方式做最佳的整合規劃。最後，提供資料庫給業界將來在作倉儲系統規劃或改善倉儲系統設計時之參考。

關鍵詞：交叉走道，揀貨績效，儲位指派，揀貨路徑，平均揀貨密度，訂單組合

## Abstract

From literature review and deep understanding on the practical industry, it is understood that the proper use of storage assignment policies can use minimum storage space to reach the purpose of minimum total traveling distance, and this has a direct impact on enhancing the order picking performance; in the same time, proper routing planning can minimize overall order picking cost, and finally reach the goal of picking performance enhancement in unit time. Therefore, this paper consider the effects on order picking system performance for factors such as: quantity and layout type of cross aisles in a warehouse system, storage assignment policy, picking route, average picking density inside an aisle, and order combination type etc., a software, eM-plant, will be used as a simulation and analysis tool, a warehouse design database will be developed which is based on the minimum overall traveling distance as the optimum performance index, the cross aisle quantity, warehouse layout, storage assignment, picking route planning, picking density and order combination type will be optimally integrated and planned in the warehouse system. Finally, provide this database to the industry as a reference in the warehouse planning or warehouse design improvement in the future.

Key words: Cross aisle, order picking performance, storage assignment policy, picking route, averaged picking density.

## 1. 前言

物流中心的內部作業中，揀貨作業是一項重要且繁雜的工作，從人工需求的角度來看，目前絕大多數的物流中心仍屬於勞力密集的產業，其中揀貨作業直接相關的人工成本更佔總成本之 50% 以上，商品多而複雜，內部之作業調整可改善公司之成本，也是目前急需關切的課題。因此，揀貨作業績效對公司成本有舉足輕重的影響。有鑑於此，倉儲設計配合儲位指派及揀貨路徑規劃，勢必會提高生產效率及空間利用率，並降低揀貨成本。

本論文以 Vaughan and Petersen【18】之模式為基礎，加入儲位指派、揀貨法則及訂單組合方式三因素之考量。由於此三因素皆會影響揀貨效率，因此在模式中融入此三因素，增加考慮不同的儲位規劃方式、不同的揀貨密度、不同的揀貨法則及依個別訂單揀取和合併類似訂單揀取後再合併等不同訂單組合方式，藉由各種組合之模擬分析，期望能對倉儲系統作最佳設計，以提高揀貨作業之效率。

一個良好的倉儲系統應要確保物品適時且有效率地存取，並適當的利用儲位，找到最短的路徑，並且在合理的時間內送達。本論文主要探討的問題是物流中心揀貨作業之儲區

交叉走道數量、儲位規劃、揀取路徑、走道內揀取密度及訂單組合方式等問題做一有系統的分析研究，以求取最短的揀貨旅行距離。

最後，經由模擬驗證分析，發展出一套設計倉儲系統之資料庫，提供業界規畫倉儲系統時的參考。良好的揀貨作業可望提高生產效率，配合佈置完善的倉儲系統規畫，決定揀貨策略，將有助於企業有效的降低成本。

## 2. 文獻探討

基於考量影響揀貨系統績效之因子，本文針對倉儲揀貨系統設計大致區分成「倉儲佈置」、「儲存指派策略」、「揀貨路徑規劃」與「訂單組合」四大方向來研究：

### 2.1 倉儲佈置設計

影響揀貨作業系統中非常重要因素，不外乎是儲區規劃之良窳。Ashayeri【1】提出倉儲佈置問題時，以最小化建構成本或搬運成本為追求的目標。一般來說，倉儲配置的型態大部分以矩形為主，Caron et.al.【2】提出倉儲之儲位配置可分成三種類型，第一種為平行走道(I/O 站位於中央)；第二、三種為垂直走道，但 I/O 站分別位於中央及左下方。

根據 Roodbergen and Koster【16】研究平行走道之料架間，考慮設置有交叉走道(Cross aisle)，並比較在沒有交叉走道的情況下，兩種方案之平均揀貨距離有顯著差異。Ratliff 和 Rosenthal【14】探討只有走道兩端具有通道之長方形倉儲的揀貨問題，他們運用圖論(Graph Theory)求解最短的揀貨時間，研究結果發現求解時間與品項數無關，而與通道數目呈線性關係。Vaughan and Petersen【18】提出訂單合併方式於交叉走道佈置對於揀貨距離的影響，結果顯示當交叉走道呈現最佳化時即會產生最大效益。Roodbergen and Koster【15】則利用多個交叉走道與揀貨路徑做最佳配適。

Caron et.al.【3】發現揀貨旅行距離對於揀貨區域佈置是有顯著的影響，其證明佈置設計的影響差異大於 60%，因此證明了佈置確實會對揀貨距離有關。Vaughan and Petersen【18】利用啟發式解法，得到最佳化交叉走道的數目，產生最大效益；Roodbergen and Koster【16】比較一般的佈置與有交叉走道佈置之平均旅行時間，證明實際上有交叉走道的倉儲，其平均旅行時間會較短，因此構建一個最佳倉儲系統走道的設計也是其研究重點之一。

### 2.2 儲存指派策略

一般常見儲存策略如下：隨機式儲存、分級式儲存、固定式儲存、連續式儲存。Rosenblatt 和 Eynan【17】提出分類儲放法的指派基礎是以週轉率為主，結論顯示隨著分類數增加，期望行走時間減少，且分類數在 10 以下可以得到較大的改善。

Jarvis 和 McDowell【9】針對長方形倉庫包含交叉通道於尾端的位置，假設各品項揀取時間相同且揀貨時間和揀貨距離成正比，利用定位儲存法，計算期望揀貨時間。Rosenblatt and Eynan【17】將倉儲細分成幾個小區域，利用分級儲存改善揀貨時間，然後決定自動倉儲系統最佳範圍。Guenov and Raeside【7】探討區域外形(Band heuristic)佈置與自動存取系統(AS/RS)下之最佳的範圍寬度，利用 ABC 儲存法則將有效的增加自動存取機台的容量。Jeroen et.al.【11】說明分級式儲存是基於顧客需求比率，將儲存區域及產品作有效的分類，進入及裝載的產品是儲存在它所屬的等級裡。Petersen 和 Schmenner【13】對啟發式揀貨途徑以及揀貨量為基礎的儲存策略進行評估，該研究指出揀貨量為基礎的儲存法中，通道間法儲存策略較其他的儲存法節省約 10~20%的揀貨路徑。Jarvis 和 McDowell【9】他們所發展的隨機模型在穿越法(Traversal Policy)策略下，該指派能獲得最小平均存取時間。

### 2.3 揀貨路徑規劃

路徑規劃之目的，在於減少不必要的揀貨距離，達到最短而且最有效率的揀貨。Ratliff 和 Rosenthal【14】對於揀貨路徑問題提出一種新的求解方法，先個別求出每個走道的揀取距離，再算出連接下一走道的距離，如此重覆進行直到揀取完所有商品品項。Goetschalckx

and Ratliff【6】證明揀貨法則的適用性與走道內之揀貨密度有關，當走道內揀貨密度小於50%時，有效的揀貨法則是在走道內的兩邊橫越；但當揀貨密度大於50%時，則是在走道內先揀取一邊後再揀取另一邊。Jeroen et. al.【10】在自動倉儲系統中有固定的儲位而考慮區塊的順序，當存取時能夠產生最短旅行時間。Goetschalckx and Ratliff【6】證明當走道內揀貨密度小於50%時，Z字型法則優於來回法；除非揀貨密度大於50%才適用來回法。Caron et. al.【2】比較不同的走道形式對於旅行距離與走道的數目之影響有何相關？研究結果證明交叉走道揀貨之旅行距離與走道的數目成正比；在中線內走道之揀貨旅行距離與走道數目成正比，而且其揀貨旅行距離隨著走道數目增加而快速成長；而Z字型走道之揀貨旅行距離則不受走道數目影響。

Hall【8】探討在矩形倉儲中三種不同的人工揀貨旅行路徑策略：橫越、中點來回、最大間隔來回。利用模擬方法比較各種策略之旅行距離，模擬結果顯示最大間隔來回表現較佳。Vaughan and Petersen【18】探討具有交叉走道的倉儲佈置，找出一條最短訂單揀取距離，作者以四個因子作實驗組合設計並利用動態規劃求算揀貨距離，其結果顯示主走道長度相對於走道寬度增加時，有最佳交叉走道數目出現。Roodbergen and Koster【15】利用動態規畫演算法決定倉儲大小與不同揀貨清單之平均旅行時間，若佈置上採中間走道（三個交叉走道）則平均旅行時間明顯較低，在該論文中介紹七種訂單揀貨路徑方法，其中以結合法(combined)有最好的績效；最大間隔法(largest gap heuristic)用於二個交叉走道與揀取密度低時較佳。

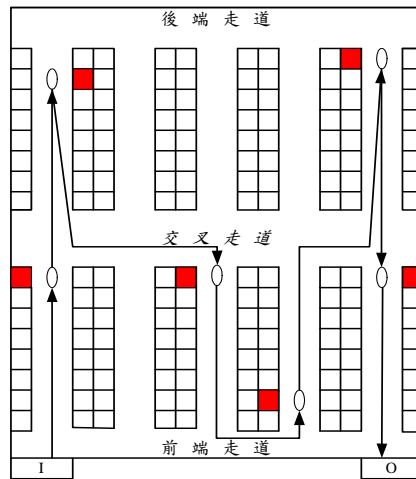
#### 2.4 訂單組合

單一訂單揀貨(single order picking)意思為揀貨人員依一筆訂單揀貨；批量及區域揀貨(batching and zoning)即結合一些訂單，然後分別在不同揀貨區中揀取之。Lin and Lu【12】提出五種訂單分類及兩種策略之搭配，經由模擬驗證，發現各種訂單類型都有其適合的策略，尤其在最小化揀貨時間與提昇人員利用率上都可得到一致的結果，也就是多樣多量與少樣少量是適合單一訂單揀貨及批量區域揀貨策略。Gademann et.al.【5】採平行走道倉儲之變動的揀貨作業，探討同時揀取(Wave Picking)的訂單批量化方法，把多個批量由一組揀貨員同時揀取，利用分支界限法(Branch-and-Bound)解訂單批量的問題，其演算法顯示改善的主要目的是可以得到簡單卻又以非常有效的程序以改善批量下限。Chiang【4】提出當訂單分派成本並不低時，在切割訂單至多交期(Multiple-Delivery)與雙交期(Two-Delivery)模式下，研究在定期檢視系統(Periodic Review System)下的訂單切割法，可以找到訂單於週期時間內的最佳交期數，並有效降低存貨總成本。

### 3. 研究方法與模式設定

本文將對於物流中心倉儲系統設計之揀貨績效因子：交叉走道數、揀貨路徑、揀貨密度及訂單組合等問題作一具體描述，並以最小化揀貨距離為基礎，在不同的倉儲環境下作最佳揀貨績效組合之倉儲系統設計。

傳統的儲位佈置並沒有交叉走道之設計，徒增許多不必要的繞行距離。為了改善上述問題，Vaughan and Petersen【18】提出交叉走道之構想，如圖一所示。加入交叉走道後，總儲位數不變，主走道之長度增加，因此所需之總空間增加，導致空間利用率下降。但加入交叉走道後可以增加揀貨繞行的彈性，使得揀貨效率可以提升，這對降低總揀貨距離是有助益的；但是當加入過多的交叉走道時，反而會因儲區面積的過度增加而造成訂單揀取距離的再度增加。



圖一 交叉走道佈置圖

### 3.1 倉儲系統模擬架構設定

#### (1) 倉儲佈置考量與分類假設

本文主要以 Vaughan and Petersen 【18】提出交叉走道數 (1~9 個) 之構想為基礎，再進一步擴充範圍，共假設十一種交叉走道數，分別為 0 個至 10 個。本文僅考慮出入口點 (I/O 點) 位於左下及右下方兩處；每一次揀貨，揀貨人員自入口點出發，揀貨完畢回到出口點表示完成一張訂單；若以合併訂單方式揀取，則是完成該次任務之所有訂單；揀貨時考慮實際行走距離，亦即採行直角距離(rectilinear distance)計算。

#### (2) 儲位規劃

在倉儲系統的儲位規劃策略方面，分別有二種儲位規劃方式：一是依品項存取頻率 (SS1)，另一則是依品項存取頻率加上品項相關性(SS2)。在過去研究中曾證實同時考慮品項間相關性及存取率的儲位指派模式，對倉儲系統確實有改善揀貨效率之益能，本論文主要探討其改善效果顯著與否。

#### (3) 揀貨路徑規劃

在揀貨路徑規劃部分，考量修正 Goetschalckx and Ratliff 【6】的 Z 型法，提的改良 Z 型 (modified Z-pick) 法及來回 (return) 法二種揀貨策略。為因應修正 Z 型法及來回法在揀貨路徑政策實務上之真實情況，來回法的路徑計算主要是以直角距離來計算，茲計算如下：

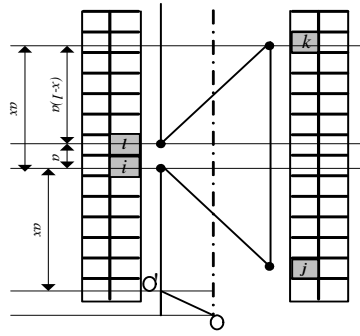
- a. 自第  $i$  個通道口到第  $m$  個通道口的水平距離為  $M(i, m)$ ，其中  $a$  為每個儲位之寬度， $b$  為每個儲位之深度， $w$  為每個走道之寬度，

$$M(i, m) = 2 \times |m - i| \times b + |m - i| \times w \quad ; \text{for } i, m=1,2,\dots,N$$

- b. 走道內的行走距離為  $M_w$ ，

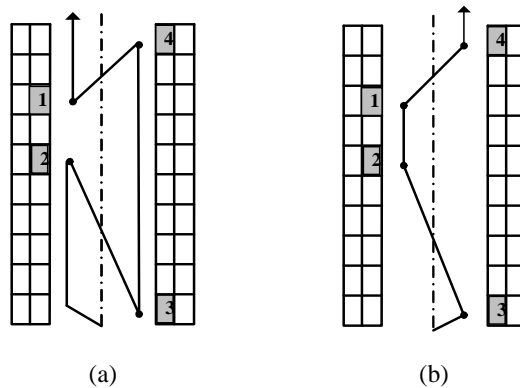
$$M_w = a \times \text{實際通過儲存格數}$$

而 Z 型法揀貨路徑的形成係採用 Goetschalckx and Ratliff 所提 Z 型法揀貨路徑的基本原理，主要是揀貨員從前端走道進入，從另一端離開，使用該走道的寬度必須大於 2.1 公尺。揀貨時，揀貨人員必須經常橫跨通道，所經過的路徑的軌跡似「Z」字型，故稱為 Z 型揀貨法則，如圖二所示，Z 型法揀貨距離之計算是以直線距離(Euclidean Distance)為考量依據。



圖二 Z型法揀貨路徑示意圖

本論文提出了修正Z型法揀貨路徑策略，主要是摒除Z型揀貨法則必須固定往返通道兩側的限制，因為Z型揀貨法則加入往返通道兩側的限制後，當走道內之揀貨密度過高時，勢必會徒增不必要的跨越走道之距離，因此本文提出了修正Z型法揀貨路徑政策，主要針對單一走道內之揀貨順序加以修正，希望對揀貨績效有所幫助。修正Z型揀貨法乃依Z型法基本原理及最鄰近法決定走道內之揀貨順序，再利用2-opt改變揀貨順序，不再嚴格遵循固定往返通道兩側的限制，以尋求最小化揀貨距離之走道內揀貨順序。例如：在每一走道之入口處，判斷走道內之揀貨順序為點2、3、4及1，如圖三(a)初始解所示。再利用路線內交換法，改善揀貨途程，將原先點2、點3、點4及點1揀貨途程，進行2-opt交換改善成為點3、點2、點1及點4，如圖三(b)改善解所示。



圖三 (a) Z型法揀貨路徑 (b) 修正Z型法揀貨路徑

#### (4) 走道內揀貨密度

本文在設定走道內之揀貨密度時，主要是依據 Goetschalckx and Ratliff 之實驗結果，取50%範圍內的10%、20%及30%三種揀貨密度為實驗水準。

#### (5) 訂單組合

在訂單組合方面，是以減少揀貨距離為目標，主要考量兩種因素分別為個別的訂單揀取、類似訂單合併揀取兩種組合方式，分別說明如下：

a. 個別的訂單揀取：即單一訂單揀取方式。

b. 類似訂單合併揀取：訂單的合併數是以兩張為主，而達到合併訂單的條件，主要考慮訂單間相似度。

本文對於物流中心倉儲設計問題構建一綜合交叉走道數量、儲位指派、揀貨路徑、揀貨密度及訂單組合等因子之模式，得其組合關係是由十一種不同的交叉走道數量、二種儲位指派策略、二種揀貨路徑、三種揀貨密度及二種訂單組合所構成的，主要探討這五個因子在不同水準下對倉儲揀貨系統的影響，並以 eM-pland 軟體進行模擬驗證分析。

## 4. 模式構建與模擬分析

### 4.1 模擬環境設定

本模擬實驗的揀貨環境佈置為一個矩形物流中心，假設每個儲位格寬度及深度分別是 5 公尺及 1 公尺，I/O 點分別在揀貨區的左下角及右下角，揀貨員由 I 點出發至揀取點揀貨，完成所有揀貨作業回到 O 點，再開始下一張訂單之揀貨作業，以 eM-plant 模擬軟體建構的細節如下。

1. 走道寬度為 3 公尺。
2. 每個儲位架皆有產品。
3. 儲位共 240 個，存放 240 種不同產品。
4. 搬運車平均行駛速度為 30 公尺/分鐘。
5. 搬運車及倉儲系統無當機狀況或缺料情況發生。

由電腦隨機產生 100 筆訂單資料、訂單揀取商品存取率及品項相關性資料，而 ABC 存取頻率分類之品項數以 eM-plant 內建亂數產生器產生。每一種測試組合均以品項資料轉換至相對應的相同儲位格再計算揀貨距離。並在十一種交叉走道、二種儲位指派策略(SS1、SS2)、二種揀貨路徑政策、二種訂單組合及三種揀貨密度的各種組合模式下分別執行 10 次。本模擬系統蒐集相關評估指標的資料主要是以平均總揀貨距離為績效評估準則。

### 4.2 模擬實驗結果

本文在三種揀貨密度下，分別有 100 筆初始訂單進行不同交叉走道、儲位指派、揀貨路徑、揀貨密度及訂單組合的批次實驗，共進行 264(11×2×2×3×2)組實驗，每組實驗分別重覆作 10 次實驗。本文將此實驗數據的結果以 SAS 統計軟體進行資料分析。針對不同揀貨路徑規劃整理出實驗數據，分別以表一、表二、表三列出密度 10%、密度 20%及密度 30%之揀貨距離。

由表一、表二、表三可得知單一訂單組合及合併訂單組合，在 SS1 及 SS2 不同儲位指派下、分別在不同密度 10%、20%、30%下，針對來回 (Return) 與修正 Z 型揀貨法則在不同交叉走道數下的平均總揀貨距離對整體實驗績效表現之趨勢。

### 4.3 ANOVA 統計檢定分析

針對模擬蒐集到的平均總揀貨距離整理後作變異數分析如表四所示，由表四可知訂單的組合、揀貨密度、揀貨路徑、儲位規劃及交叉走道數目五個因子，在平均總揀貨距離皆達顯著差異。因此本文在有顯著差異的情況下繼續進 Duncan 分群，主要分析平均總揀貨距離與交叉走道數差異、訂單的組合差異、揀貨密度差異、及揀貨路徑差異的情形。相關結果的分析分別如表五、表六、表七、表八、表九所示。

表一 密度 10%時之平均總揀貨距離 (單位：公尺)

訂單組合+儲位指派 +揀貨法則	交叉走道數目										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
單一 SS1_Return	23968	19762	18812	18777	19054	19066	19250	19701	20315	20980	21602
單一 SS2_Return	24105	19630	18247	18221	18432	18760	18925	19350	19955	20704	21338
單一 SS1_修正 Z-pick	22420	17107	16136	16211	16469	16676	16874	17324	17899	18525	19210
單一 SS2_修正 Z-pick	21529	16863	15754	15983	16105	16401	16581	16985	17569	18258	18883
合併 SS1_Return	23544	19436	18532	18588	18874	18925	19102	19550	20167	20838	21457
合併 SS2_Return	23386	19217	17980	17833	18082	18413	18577	19000	19599	20317	20940
合併 SS1_修正 Z-pick	21128	16764	15793	15835	16069	16262	16452	16889	17453	18065	18722
合併 SS2_修正 Z-pick	21055	16485	15409	15662	15784	16025	16205	16609	17174	17846	18455

表二 密度 20%時之平均總揀貨距離 (單位：公尺)

訂單組合+儲位指派 +揀貨法則	交叉走道數目										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
單一 SS1_Return	29959	27915	27342	27276	27957	28047	28417	29178	30097	31115	32227
單一 SS2_Return	30402	27987	27117	26885	27476	27483	27866	28631	29538	30612	31701
單一 SS1_修正 Z-pick	28684	24949	23873	23918	24403	24981	25254	25882	26672	27584	28602
單一 SS2_修正 Z-pick	31040	25005	23829	24036	24473	24999	25331	25939	26768	27732	28697
合併 SS1_Return	18988	18576	18654	18747	19323	19792	20110	20729	21382	22138	22908
合併 SS2_Return	19292	18725	18931	19126	19640	19697	20023	20650	21274	21949	22730
合併 SS1_修正 Z-pick	21684	17535	16673	16796	17195	17704	17984	18452	19023	19632	20322
合併 SS2_修正 Z-pick	21525	17695	16836	17065	17549	18094	18375	18877	19388	20006	20651

表三 密度 30%時之平均總揀貨距離 (單位：公尺)

訂單組合+儲位指派 +揀貨法則	交叉走道數目										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
單一 SS1_Return	32123	32809	33110	33194	34112	34338	34835	36008	37250	38595	39862
單一 SS2_Return	32662	33216	33070	33406	34335	34879	35476	36636	37967	39197	40390
單一 SS1_修正 Z-pick	36618	30562	28879	29192	29598	30745	31171	32108	33074	34098	35277
單一 SS2_修正 Z-pick	38230	31224	29465	29977	30664	31591	32144	33064	34182	35249	36445
合併 SS1_Return	11815	12415	13009	13597	14161	14606	14995	15570	16151	16751	17345
合併 SS2_Return	11941	12541	13092	13570	14140	14602	15030	15611	16211	16757	17293
合併 SS1_修正 Z-pick	15603	13419	12779	13019	13500	13981	14349	14798	15312	15773	16226
合併 SS2_修正 Z-pick	16539	14132	13280	13555	13954	14359	14727	15240	15763	16202	16793

由表五的結果可看出，不論設置 2 個或 3 個交叉走道，在平均總揀貨距離的分析中是沒有顯著的差異，為最優的組合；第二組的交叉走道數目分別為 1 個、4 個或 5 個交叉走道，這三種交叉走道個數同屬於 G 群與第三組的交叉走道數目分別為 5 個 6 個交叉走道，這二種交叉走道個數同屬於 F 群，主要是因為只有 1 個交叉走道或增加過多交叉走道之情形下，對節省揀貨路徑效率是一樣差的。因此，增加 2 個或 3 個適當的交叉走道數對揀貨路徑的效率及空間利用率的提升是最佳的設計。由表六的結果可看出，訂單組合的平均總揀貨距離的分析是有顯著的差異。然而，單一訂單與合併訂單的總揀貨距離的比較下，採用合併訂單揀貨策略是較佳的。由表七的結果可看出，走道內揀貨密度對平均總揀貨距離的分析是有顯著的差異，走道內揀貨密度越大其揀貨距離是越短。由表八的結果可看出，揀貨路徑法則的平均總揀貨距離的分析是有顯著的差異；本文所提出的修正 Z-pick 的揀貨法則與文獻中的 Return 揀貨法則相較之下，修正 Z-pick 的揀貨法則對提昇揀貨績效確實非常有幫助的。由表九的結果可看出，不同之儲位指派法則的平均總揀貨距離的分析是有顯著的差異；ABC 存取率佈置與 ABC 存取率佈置加上品項相關性兩種佈置，在總揀貨距離的表現上，指出儲位指派以 ABC 存取率佈置加上品項相關性，對揀貨績效的確是有幫助的。



表四 五個因子在平均總揀貨距離的變異數分析摘要表

來源	自由度	型 III平方和	平均平方和	F檢定	顯著性
a	1	13007030.88	13007030.88	2616.30	<.0001*
b	1	46314.12	46314.12	9.32	0.0023*
a*b	1	50008.36	50008.36	10.06	0.0016*
c	2	2408785.85	1204392.93	242.26	<.0001*
a*c	2	6951007.09	3475503.54	699.08	<.0001*
b*c	2	270067.59	135033.80	27.16	<.0001*
a*b*c	2	171726.59	85863.29	17.27	<.0001*
d	1	226417.49	226417.49	45.54	<.0001*
a*d	1	181.32	181.32	0.04	0.8486
b*d	1	46128.64	46128.64	9.28	0.0024*
a*b*d	1	75141.25	75141.25	15.11	0.0001*
c*d	2	63255.36	31627.68	6.36	0.0018*
a*c*d	2	268487.86	134243.93	27.00	<.0001*
b*c*d	2	141427.74	70713.87	14.22	<.0001*
a*b*c*d	2	137971.56	68985.78	13.88	<.0001*
e	10	1173055.48	117305.55	23.60	<.0001*
a*e	10	55436.93	5543.69	1.12	0.3470
b*e	10	2938.91	293.89	0.06	1.0000
a*b*e	10	5182.91	518.29	0.10	0.9998
c*e	20	140305.46	7015.27	1.41	0.1070
a*c*e	20	35669.73	1783.49	0.36	0.9959
b*c*e	20	2624.49	131.22	0.03	1.0000
a*b*c*e	20	2657.37	132.87	0.03	1.0000
d*e	10	181186.60	18118.66	3.64	<.0001*
a*d*e	10	10635.35	1063.53	0.21	0.9951
b*d*e	10	13977.16	1397.72	0.28	0.9854
a*b*d*e	10	11949.41	1194.94	0.24	0.9921
c*d*e	20	83123.17	4156.16	0.84	0.6705
a*c*d*e	20	20054.58	1002.73	0.20	0.9999
b*c*d*e	20	11448.67	572.43	0.12	1.0000
a*b*c*d*e	20	6409.50	320.47	0.06	1.0000
Total	1451	78987256.51			*P<0.05

註：a:訂單組合 b:儲位規畫 c:揀貨密度 d:揀貨路徑 e:交叉走道數

表五 交叉走道數的平均總揀貨距離的比較

Duncan 分群	交叉走道數目
H	2, 3
G	1, 4, 5
F	5, 6
E	7
D	8
C	9
B	0
A	10

表六 訂單組合的平均總揀貨距離的比較

訂單組合	平均值	排序
合併訂單	582.184	1
單一訂單	911.413	2

表七 揀貨密度的平均總揀貨距離的比較

揀貨密度	平均值	排序
30%	678.524	1
20%	885.669	2
10%	1080.256	3

表八 揀貨路徑的平均總揀貨距離的比較

揀貨路徑	平均值	排序
修正 Z-pick	860.267	1
Return	902.699	2

表九 儲位規畫的平均總揀貨距離的比較

儲位指派	平均值	排序
ABC 存取率+ 品項相關性	863.309	1
ABC 存取率	899.657	2

## 5. 結論

過去國內外許多學者進行探討物流中心揀貨作業效率化問題時，大多圍繞於訂單的揀取方法、揀貨路徑、儲位規劃的範疇內，很少從最初的儲區通道之交叉走道個數設計、訂單的揀取方法、揀貨路徑、儲位規劃及揀貨密度等問題合併進行探討。因此，本文發展一套決定交叉走道數、儲位規劃、揀貨路徑演算法、揀貨密度的多寡、訂單組合等因子組合的模式，經過系統模擬實驗後，證實倉儲設計在不同環境下，可找出最適的組合，且有不錯的績效表現，對於業者在設計、規劃物流中心時提供參考資訊，具實際應用價值性。

經由模擬實驗與統計分析，針對目前的倉儲設計環境彙整以下幾點結論：

1. 本文所發展的修正 Z 型揀貨法則在平均揀貨距離的分析結果，明顯優於來回 (Return) 法則。因此，本文所提的揀貨法則更具實用性。
2. 本文在三種不同揀貨密度的水準下找出不同的交叉走道數、不同的揀貨法則、不同的訂單組合及不同的儲位規劃下之最適之倉儲設計組合。
3. 合併訂單之訂單組合比單一訂單揀貨較佳，當揀貨密度越大時，效果愈明顯。
4. 在儲位規劃方面，以 ABC 存取率佈置加上品項相關性，對揀貨績效的確是有幫助的。
5. 揀貨密度、交叉走道數、揀貨法則、訂單組合及儲位規劃這五個因子間存在有交互作用。
6. 由模擬結果驗證適當的交叉走道個數搭配儲位規劃，對降低揀貨總距離有明顯助益。
7. 依 ABC 存取率和品項相關性來規劃儲位，在訂單之揀取品項越多時，採用相類似訂單合併及修正 Z 型法則進行揀貨，具有較佳之揀貨績效。
8. 本文考量交叉走道數、儲位規劃、揀貨路徑演算法、揀貨密度的多寡、訂單組合等因子之組合，提供以平均總揀貨距離為評估績效之資料庫，提供業界作為倉儲設計或改善倉儲規劃時之參考。

### 參考文獻

1. Ashayeri J., Gelders L. F., "Warehouse Design Optimization", *European Journal of Operational Research*, Vol.21, pp285-294 (1985)
2. Caron, F., Marchet, G., and Perego, A., "Layout design in manual picking system: a simulation approach", *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 2, pp. 94-104(2000)
3. Caron, F., Marchet, G., and Perego, A., "Optimal layout in low-level picker-to-part systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 1, pp. 101-117(2000)
4. Chiang, and Chi, "Order splitting under periodic review inventory systems", *International Journal of Production Economics*, Vol.70, No. 1, pp. 67-76(2001)
5. Gademann, A.J.R.M., Jeroen, P.V. D. B., and Hassan, H. V. D. H., "An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse", *IIE Transactions*, Vol.33, pp. 385-398(2001)
6. Goetschalckx, M., and Ratliff, H. D., "Order picking in an aisle", *IIE Transactions*, Vol. 20, pp. 53-62(1988)
7. Guenov, M., and Raeside, R., "Zone shapes in class based storage and multicommand order picking when storage/retrieval machines are used", *European Journal of Operational Research*, Vol. 58, pp. 37-47(1992)
8. Hall, R. W., "Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse ", *IIE Transactions*, Vol. 25, No. 4, pp. 76-87(1993)
9. Jarvis Jay M., McDowell Edward D., "Optimal Product Layout in an Order Picking Warehouse", *IIE Transactions*, Vol.23, No.1, pp93-102 (1991)
10. Jeroen, P.V. D. B., and Gademann, A.J.R.M., "Optimal routing in an automated storage/retrieval system with dedicated storage", *IIE Transactions*, Vol. 31, pp. 407-415(1999)
11. Jeroen, P.V.D.B., and Gademann, A.J.R.M., "Simulation study of an automated storage/retrieval system", *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 6, pp. 1339-1356(2000)
12. Lin, C.H., and Lu, I.Y., "The procedure of determining the order picking strategies in distribution center", *International Journal Production Economics*, Vol. 60, No. 61, pp. 301-307 (1999)
13. Petersen II, and Charles G. Roger W. Schmenner, "An Evaluation of Routing and Volume-based Storage Policies in a Order Picking Operation", *Decision Sciences*, Vol.30, No.2, pp. 481-501(1999)
14. Ratliff H. D., Rosenthal S., "Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem", *Operations Research*, Vol.31, No.3, May-June, pp507-521 (1983)
15. Roodbergen, K. J., and Koster, R. D., " Routing method for warehouse with multiple aisles", *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 9, pp. 1865-1883 (2001)
16. Roodbergen, K. J., and Koster, R. D., " Routing order picking in a warehouse with a middle aisle", *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, pp. 32-43 (2001)
17. Rosenblatt, M. J., and Eynan, A., "Deriving the optimal boundaries for class-based automatic storage/retrieval systems", *Management Science*, Vol. 35, No. 12, pp. 1519-1524 (1989)
18. Vaughan, T.S., and Petersen, C.G., "The effect of cross aisles on order picking efficiency", *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 4, pp. 881-897 (1999).