

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 物流中心分區儲存、訂單批量及揀貨路徑之整合設計與績效 評估

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-216-013-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學科技管理學系(所)

計畫主持人：謝玲芬

計畫參與人員：徐仕明、黃婷筠

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 9 月 29 日

## 中文摘要

供應鏈管理是利用一連串有效率的方法，來整合供應商、製造商、倉庫和商店，使商品得以正確的數量生產，並且在正確的時間配送到正確的地點，為的就是在一個令顧客滿意的服務水準下，使得整體系統成本最小化。由此可知，物流是供應鏈程序的一部份，然而倉儲也是物流的一部份，環環相扣的結果，對公司的成本有舉足輕重的影響，因此以最少的操作成本得到最大的效益則是我們的目標。

由於揀貨作業是以訂單資料處理後的結果來進行，因此，如何規劃合理的訂單批次標準，可有效降低揀貨作業之時間與成本。再者，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達到最小行走距離之目的，對於提昇揀貨作業亦有直接之影響；因此，本研究將儲位指派、訂單批量揀貨及揀貨路徑規劃作最佳整合規劃，在儲位指派部分，採用關聯法則之 Apriori Algorithm【4】分析產品間之關聯強度，再加以探討分區揀貨與不分區揀貨。在訂單批量部分，探討訂單批次、訂單分區與批量揀貨對物流中心揀貨績效之影響，提出應用關聯法則將訂單合併，並採用最適封包批量法(First Fit-Envelope Based Batching, FF-EBB)、最適分級批量法(First Fit-Class Based Batching, FF-CBB)兩種方法，並與單一訂單揀貨作比較。此外，針對揀貨路徑規劃，本研究發展一套以蟻群系統為依據，重新規劃儲位，以作揀貨路徑上之規劃，並與橫跨法改良策略(Cross+ Strategy)【13】加以比較，以總揀貨成本最小化為目標，進而達到單位時間內揀貨績效提昇，提供業者規劃揀貨系統時之參考。

關鍵詞：訂單批次、訂單分割、儲位指派、關聯法則、揀貨路徑規劃、螞蟻理論

## Abstract

Supply chain management utilizes a series of efficient methods to integrate suppliers, manufacturers, warehouses, and stores. This allows for the production of the correct amount of products, and it allows for them to be delivered to the correct places at the correct times. This is done in order to make the costs of integrated systems as low as possible under standards, which are satisfying to customers. From this it can be seen that logistics management is one part of supply chain procedures; however, warehouses are also a part of logistics management. The results of these functioning links have a decisive influence on company costs. In view of this, our objective is to acquire the highest benefits from the lowest investment costs.

“Single order picking” and “batch picking” are two common methods that are widely adopted by distribution centers nowadays. The order batching is a complex problem. However, the order batching output can influence the performance of order picking operations. In order to enhance the efficiency of order picking, this study used the Apriori algorithm【4】in order to analyze the strength of associations between products. At the same time, this paper compared the zoning storage and non-zoning storage. About the order batching method, this paper used First Fit-Envelope Based Batching, First Fit-Class Based Batching, and using Apriori algorithm respectively in order to find the relationship between the orders, and the single order picking is the contrast for comparison. Furthermore, route planning can minimize principal costs for order picking, and an increase in order picking achievements can be reached within unit times. Therefore, we apply ant colony system and cross<sup>+</sup> strategy【13】 to find the optimal solution in route planning respectively. Finally, the best combination of storage assignment, order batch, order split and pick routing are found by simulation. In accordance with literature reviews and a deep empirical understanding, with the proper usage of zoning storage, order batching, storage assignment and routing planning can be used to reach the objective of minimizing total traveling distances. This has a direct influence on the promotion of an order picking system.

Keywords: Warehouse storage passageway layout; Storage assignment; Association rules; Select goods strategy.

## 1. 前言

物流中心的內部作業中，揀貨作業是一項重要的繁雜工作，以往的訂單配送方式中顧客需求為少樣少量，現今已改變成多樣少量的方式；能否在合理的時間內完成此項作業，將直接影響物流中心的經營成本與服務水準。另外，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更佔 50% 以上【3】，有鑑於此，從分區揀貨、訂單批量及揀貨路徑規劃各方面加以改善，勢必會降低成本及提高生產效率及空間利用率。

本計畫於儲位規劃部份將運用關聯法則及考慮產品存取頻率的儲位指派方法，並配合訂單批次問題，將揀貨型態分為分區(Zoning)及不分區兩種方式。對訂單處理作業中批次處理之組合問題，利用資料挖掘之關聯法則推論出訂單彼此間之關聯及採用文獻中較佳的訂單批次處理方法(FF-EBB、FF-CBB)，並和單一訂單揀貨作比較。在揀貨路徑規劃問題，提出利用螞蟻理論及橫跨法改良策略(Cross<sup>+</sup> Strategy)【13】找尋最佳路徑規劃。希望藉由多重改善下，達到最小化揀貨行走距離，以提高揀貨作業效率的目標。本研究期望達到下列研究目的：

- 一、針對物流中心儲位規劃問題，運用關聯法則及考慮產品存取頻率的儲位指派方法，並配合訂單批次問題，將揀貨型態分為分區(Zoning)及不分區兩種方式。
- 二、針對訂單批次處理中訂單之組合問題，本研究提出利用資料挖掘之關聯法則推論出訂單彼此間之關聯性，期許其與路徑規劃以及分區揀貨搭配達到較佳之績效。
- 三、本研究提出一套以蟻群系統為依據，重新規劃儲位並尋找最佳路徑規劃，期許其在訂單數量大的情況下，在績效上有所提升。
- 四、對於影響物流中心中之分區揀貨、訂單批量與揀貨路徑策略之各種不同組合進行比較分析，以得到最佳的分區揀貨、訂單批量與揀貨路徑方法組合。

## 2. 文獻探討

物流中心之相關揀貨問題中，影響平均旅行時間因子，包括倉儲佈置型態、訂單大小、儲位指派方式…等，而本研究將針對「儲位指派」、「產品關聯法則」、「訂單組合」、「揀貨路徑規劃」與「螞蟻理論」作一相關文獻分類整理。

### 2.1. 儲位指派

儲存策略主要在訂定儲位的指派原則。良好的儲存策略可以減少出入庫移動的距離、縮短作業時間，甚至能夠充分利用儲存空間。一般常見儲存策略如下【2】，定位儲放(Dedicated Storage)、隨機儲放(Random Storage)、分類儲放(Class Storage)、分類隨機儲放(Random Within Class Storage)及共用儲放，各儲存策略各有其優缺點，應視環境與情況加以應用。

沈武賢【1】利用在隨機儲存策略下及分類儲存策略分別有以下的結論，一般皆可藉由增加交叉走道來提高揀貨作業效率，當訂單平均揀取品項數少或儲區為寬扁型之儲區型式時，才需藉由增加交叉走道來提高揀貨作業效率。而在訂單揀取品項數多或儲區為狹長型之儲區型式時，以傳統之佈置方式較佳。Petersen II, C. G., and Schmenner, R. W【19】從儲存策略以及揀貨路徑策略兩方面來評估揀貨的效率問題，並提出依需求量分配高低的四種儲位指派法則，斜角佈置(Diagonal)、內走道佈置(Within-Aisle)、跨走道佈置(Across-Aisle)與週邊佈置(Perimeter)搭配揀貨路徑策略做比較。Jarvis 和McDowell【15】將商品按存取頻率的高低，依次將頻率最低者指派至離出入口最遠的通道，直到頻率最高者指派到最近的通道為止。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。產品相關性法則是指，品相關性大者在訂購時經常被同時訂購，所以應可能存放在相鄰位置。考慮物品相關性儲存的優點有縮短揀取距離、減少工作人員疲勞、簡化清點工作，產品相關性大小可以利用歷史訂單數據做分析。

Hsieh and Lin【13】在物流中心的儲位規劃方面，分為兩階段進行：第一階段為將品項

存取頻率依ABC儲存方法將儲位分為三個儲區，依歷史資料中之品項存取頻率為基礎，將產品按存取頻率的高低，依次把頻率最低者指派到離I/O點最遠的通道，直到頻率最高者指派到最近的通道為止；第二階段是以ABC存取頻率分類佈置後，將ABC三類品項分別以Apriori演算法決定產品關聯性，再加以調整儲位。

## 2.2. 產品關聯法則

關聯法則分析由 Agrawal 在 1993 年提出，主要目的是從龐大銷售交易記錄資料庫中，尋找銷售項目間令人感到有興趣的關聯或相互關係【4, 11】，最典型的應用是市場購物籃分析【12, 23】。目前已經被發展出之關聯法則中，最具有效性首推 Agrawal et. al. 【4】所提出之 Apriori 演算法，其運作的過程為，反覆的產生候選項目，及搜尋整個資料庫，直到找到所有的高頻度項目組，接下來利用所找到的高頻度項目組，推導出所有的關聯法則。

Megiddo 與 Srikant 【18】指出支持度門檻值及信賴度門檻值之設定是很重要的，當支持度門檻值設太低時，會將重要性較低之項目也包含進來，而設太高又怕因此而失去某些重要規則。信賴度門檻值之設定太低則較不具意義，Han 與 Kamber 【12】認為門檻值的設定需依據使用者的需求而定。

## 2.3. 訂單揀取方法

一般揀貨方式可分為四種：訂單別揀取、批量揀取、彙整訂單揀取、複合揀取。Lin 與 Lu 【17】提出五種訂單分類及兩種策略之搭配，經由模擬驗證，發現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。訂單批次處理問題一般可利用整數規劃的求解方式求得最佳解，例如 Vinod 【24】曾對批次問題提出兩個整數規劃的方法，相似的方法亦見於 Kusiak et. al. 【16】，其提出二次整數規劃的方法，利用訂單彼此間的距離當作目標方程式的係數，來解決訂單批次問題。

Hwang et. al. 【14】將料架分割成幾個不同的區域，以揀取位置在相同區域來量測兩訂單之間的相似程度，實驗結果發現相似性對於訂單的揀取問題有很大的效用。Ruben 與 Jacobs 【22】主要提出五種不同的訂單合併批次啟發式演算法與六種儲位指派方式在一個有九個走道的傳統倉儲系統作訂單揀取總路徑最短與人力成本之比較，此五種方法為隨機式批量法(Random Batching, RAN)、最少批量法(First-Fit-Decreasing, FF-D)、最小距離排序法(Sequential Minimize Distance, SMD)、最適封包批量法(First Fit-Envelope Based Batching, FF-EBB)、最適分級批量法(First Fit-Class Based Batching, FF-CBB)。

## 2.4. 揀貨策略規劃

揀貨路徑規劃之目的，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 與 Rosenthal 【20】探討加入中間走道後的倉儲系統，結果發現有中間走道的倉儲設計均比沒有中間走道的倉儲設計來得省時，並且在大型倉儲環境下更是顯著。Hall 【10】探討在矩形倉儲中三種不同貨旅行路徑策略：橫越、中點來回、最大間隔來回。利用模擬方法來做旅行距離之比較，相較之下最大間隔來回表現較佳。

Roodbergen 與 Koster 【21】在交叉走道的倉儲環境系統下，針對各種不同的揀貨策略比較在不同走道數目、不同品項數以及不同走道寬度的揀貨路徑評估。求算最短路徑之啟發式演算法包括：S 型法、最大間隙法、走道接走道法、最佳法、組合啟發法(Combined Heuristic)以及結合法改良策略(Combine<sup>+</sup> Heuristic)，所提出的結合法改良策略有最佳績效表現，而 Hsieh 與 Lin 【13】又將其加以改善，提出橫跨法策略(Cross Strategy)，並加入兩點改善，將其稱為橫跨法改良策略(Cross<sup>+</sup> Strategy)，該研究所提出的橫跨法改良策略，經實驗結果證明，較結合法改良策略更能有效的改善揀貨距離。

## 2.5. 螞蟻理論

在自然界不斷演化下，自然界中的螞蟻族群已發展出一套完整且有效率的社會體系。1992 年，Beckers et. al. 【5】發表的文章中指出，自然界中的螞蟻藉由牠們本身特有分泌物—費落蒙素(Pheromone)幫助其他螞蟻找尋食物的路徑。由於螞蟻的行走速率相當，較短路徑的費落

蒙素會累積較快，相對的也會有愈來愈多的螞蟻走相同的路徑，而較長路徑的費洛蒙素也會逐漸蒸發。

### 2.5.1. 人工螞蟻

然而人工螞蟻便是藉此特性找尋最短路徑，在 1997 年，Dorigo 與 Gambardella【9】提及了以人工螞蟻模擬自然界螞蟻行為的三大關鍵特性為螞蟻傾向於選擇具有較高費洛蒙的路徑、對於較短的路徑，其費洛蒙累積的速度較為快速及螞蟻透過費洛蒙達到間接溝通(Indirect Communication)的效果。

螞蟻演算法最初是應用在旅行推銷員問題，即推銷員必須經過所有城市，凡走過城市不得重覆，最終須回到起始城市，求最短路徑。螞蟻系統(ant system，簡稱 AS)以方程式表示時間  $t$ ，第  $k$  隻螞蟻從城市  $i$  到  $j$  的機率函數為  $P_{ij}^k(t)$ 。

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in allowed_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \times [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

$\tau_{ij}(t)$  表示時刻  $t$ ，由城市  $i$  到城市  $j$  之費洛蒙素濃度。(2.1)式之  $P_{ij}^k(t)$  表示在時間( $t$ )之內，螞蟻由城市  $i$  行走到下一個城市  $j$  所依據的機率函數。此機率函數為由螞蟻行走沿途所釋放的費洛蒙素與城市間之距離所求得，並以參數值  $\alpha$ 、 $\beta$  代表控制城市與城市間重要關係程度的參數值，其中  $allowed_k$  表示第  $k$  隻螞蟻可能選擇下一個城市的集合，如此便可求出選擇下一個城市的機率值。

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (\rho : \text{費洛蒙素蒸發係數}, 0 < \rho \leq 1) \quad (2.2)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.3)$$

$\Delta\tau_{ij}$  :  $k$  隻螞蟻從城市  $i$  到  $j$  所有費洛蒙素的總和

(2.2)式表示因螞蟻在搜尋路徑的過程中會不斷地移動，造成費洛蒙素不斷地更替與累積，也可能因時間與距離等其它因素產生費洛蒙蒸發的情況，故以  $\rho$  表示蒸發的權重係數，其值介於 1 至 0 之間。(2.3)式表示自第  $k$  隻螞蟻開始，共有  $m$  隻螞蟻在時間  $t$  與  $t+1$  的時間間距內，從城市  $i$  到城市  $j$  所留下之費洛蒙素。

### 2.5.2. 費洛蒙更新策略

費洛蒙異動的策略可分為：

#### 一、局部更改法(local updating)

只要有螞蟻走過的路徑，即改變路徑上的費洛蒙。局部更改法的主要精神在於避免產生一過於強勢的路徑，吸引所有的螞蟻走上該路徑，如此無法進行適當的探索新路徑動作，而影響所得解之品質。

Dorigo et. al.【7】提出螞蟻密度模式(ant-density model)，即以之前有多少螞蟻走過作為第  $k$  隻螞蟻選擇行走下一個城市的依據。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q & \text{if the } k\text{th ant goes from } i \text{ and } j \text{ between time } t \text{ to } t+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

其中  $Q$  指在時間  $t$  到時間  $t+1$  之內，螞蟻從城市  $i$  到城市  $j$  所留下的費洛蒙素值。依據歷年的研究數據顯示， $Q$  通常表示一常數值，通常將此設置在 1、10、100...等整數值。

另一稱為螞蟻質量模式(ant-quality model)，以城市  $i$  到  $j$  距離的倒數為依據。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{d_{ij}} & \text{if the } k\text{th ant goes from } i \text{ and } j \text{ between time } t \text{ to } t+1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

其中  $\frac{Q}{d_{ij}}$  指的是時間  $t$  到時間  $t+1$  的間距內，由第  $k$  隻螞蟻從城市  $i$  到城市  $j$  所留下的費

洛蒙素值， $d_{ij}$  指螞蟻行走城市  $i$  到城市  $j$  之間的距離。 $Q$  為費洛蒙素累積量。

## 二、全域更改法(global updating)

針對每循環(iteration)取得最佳解的路徑改變其費落蒙；在此「循環」是指所有螞蟻均取得一可行解的時間。全域更改法的精神則在於對於好的解給予獎賞，以引導螞蟻依據這些路徑進行開發及探索。Dorigo 指出總體更新有兩種方式實施：循環最佳(iteration-best)與全域最佳(global-best)，前者指針對「每循環所得解答中最好的路徑」進行增加費落蒙的動作；後者指則在「截至目前所獲得之解中，針對最好者的路徑」進行費落蒙更新。但在 1997 年，Dorigo 與 Gambardella【8】針對 TSP 的實驗中指出，二者所得效益相差不大。

對第  $k$  隻螞蟻而言，經由上一次所走過的路徑總和來作為費落蒙素的依據。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } k\text{th ant uses edge}(i, j) \text{ in its tour (between time } t \text{ and } t+n) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\frac{Q}{L_k}$  中  $L_k$  表示由第  $k$  隻螞蟻走過所有城市路徑之沿途所釋放的費洛蒙素值總和。 $Q$  為費洛蒙素值累積量。

## 3. 模式構建

### 3.1. 應用關聯法則技術之 Apriori 演算法於儲位規劃

本研究運用關聯法則之 Apriori 演算法於儲位規劃，以 Apriori 演算法決定產品關聯性，以隨機產生 1,000 筆訂單，運用 PolyAnalyst 資料採礦軟體作分析，並且利用 Apriori 演算法得到品項關聯性，品項關聯性高之品項放置在相鄰的位置。其基本運算步驟如下：(如表 3.1 所示)

- 步驟一：搜尋訂單資料庫。搜尋整個訂單資料庫，計算其候選項目集合( $C_1$ )之支持度，假設定最小支持度為 1，則找出支持度大於 1 之項目，此項目稱之為  $L_1$ 。
- 步驟二：利用  $L_1$  產生候選項目。利用長度為 1 的大項目集合  $L_1$  來產生長度為 2 的候選項目 ( $C_2$ )，並以同樣的方法找出支持度大於最小支持度之集合，稱之為  $L_2$ 。
- 步驟三：重複步驟二，直到無法產生新的項目集合。產生  $C_3$ ，再計算  $C_3$  的支持度，最後選出  $L_3$ ，由於無法產生新的項目集合，因此產品 1、3、8 此三項產品為關聯度最高的品項集合。

表 3.1 Apriori 產品關聯性

訂單		$L_1$		$L_2$		$L_3$	
訂單別	產品項	項目集合	支持度	項目集合	支持度	項目集合	支持度
1	2、3、6	{1}	3	{1,2}	1	{1,3,8}	2
2	1、3、8	{2}	2	{1,3}	2	{2,3,8}	1
3	1、2、3、8	{3}	3	{1,8}	3		
4	1、8	{6}	1	{2,3}	2		
		{8}	3	{2,8}	1		
				{3,8}	2		

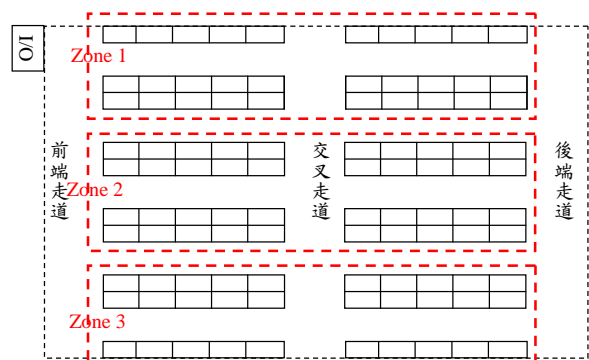


圖 3.1 分區之揀貨環境圖

### 3.2. 揀貨型態

本研究根據倉儲系統之環境，因此將揀貨型態分為不分區揀貨及分區揀貨。不分區揀貨為揀貨員一次揀取一張訂單或一個批量，即繞行完整個揀貨區域；分區揀貨部分，本研究環境之走道數為 5 個走道數，因此本研究分區之環境將倉儲系統分為三個區域，每個區域指派一位揀貨員，負責揀取位於該區域內的品項。亦即一張訂單或一個批量有可能同時分割為數

張子訂單，由許多不同區域的揀貨員一次揀完。(如圖 3.1)

### 3.3. 訂單批量法

本研究探討之訂單批量法則分為單一訂單、關聯訂單批量、最適分級批量以及最適封包批量法。以下就各種不同法則加以探討之。(1)單一訂單：揀貨員針對每一張訂單依揀貨型態及揀貨路徑規劃法於揀貨區域中揀取，此法為傳統式之揀取方法。(2)關聯訂單批量：在關聯法分析中，當最小支持度門檻值設太小時，會使電腦記憶體容量耗用大增而無法執行，所以最小支持度門檻值及最小信賴度門檻值的制定，多憑經驗而得。本研究採取最小支持度門檻值為 2%。因為信賴度愈高，表示關係愈強烈。本研究設定最小信賴度門檻值以 60%，而找出之關聯法則中，找出其關聯規則。訂單與訂單間具關聯規則者進行合併的動作，但合併後的重量不能超過一次揀取旅程的總負載重量上限。(3)最適分級批量：本研究環境為 5 個走道數，因此將訂單分成 A、B、C、D 四個等級，其中可在 1-2 走道揀取完的訂單放在 A 等級、可在 3-4 走道揀取完的訂單放在 B 等級、可在第 5 走道揀取完的訂單放在 C 等級、其他放在 D 等級。等級相同之訂單可進行合併，但合併後的重量不能超過一次揀取旅程的總負載上限。(4)最適封包批量：此法不同於最適分級批量法在於並非將走道分區，而是將走道分為數個封包，緊鄰的數個訂單封包可能會被合成為同一個批量。

### 3.4. 揀貨路徑

#### 3.4.1. 橫跨法改良策略(Cross<sup>+</sup> Strategy)

橫跨法改良策略為將橫跨法策略加以改良，以求得更優解。以下就橫跨法策略之求解步驟作一介紹。其途程示例於圖 3.2，求解步驟敘述如下：

步驟一：計算出最靠左有揀貨點之走道。

步驟二：開始於最靠左有揀貨點之走道前側。

步驟三：開始揀取作業於最靠左有揀貨點之走道，並移動至離卸貨點最遠且有揀貨點的區塊前側。

步驟四：從離卸貨點最遠的區塊且有揀貨點的前側開始，向右移至有揀貨點之次走道。

步驟五：開始於目前位置，計算起始點與目前區塊內各揀貨點之距離，並以最近距離來決定下一揀貨點，來決定該區塊內之揀貨順序。

步驟六：當旅程至目前區塊最後需拜訪的次走道，則直接穿越次走道到前側跨走道處，當最後一個區塊作業完成後，回至卸貨點。

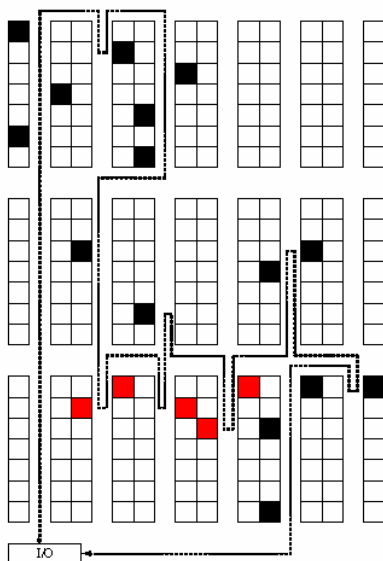


圖 3.2 橫跨法策略

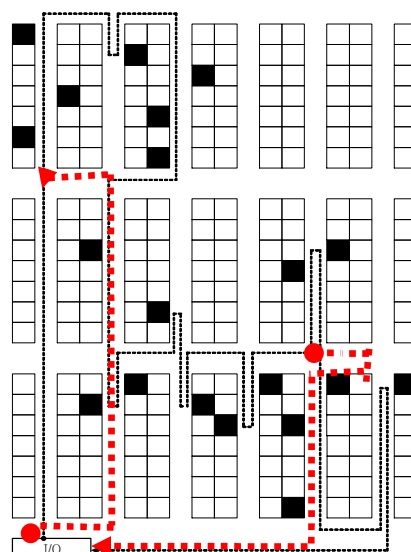


圖 3.3 橫跨法策略

橫跨法改良策略就是將橫跨法策略加入下列兩點改善，以求得更優解，其途程示例於圖 3.3。



- (1) 當揀貨作業執行至離 I/O 點最近的區塊時，揀貨方向可能是從左至右，致使最後回程時需橫跨整個前走道。所以當揀貨作業執行至離 I/O 點最近的區塊時，應限定其揀貨方向，使其從右至左。
- (2) 揀貨路徑從領單點開始，揀取作業移動至離 I/O 點最遠且有揀貨點的區塊前側，這條路徑可能會經過一些完全沒有揀貨點的次走道，為了使這條路徑能揀取更多的品項，故將這條固定的路徑作修改，其修改步驟如下：
  - 步驟一：根據每張訂單之揀貨品項，首先找出每個區塊最靠左側且有揀貨點的次走道。
  - 步驟二：經由步驟一所尋得之次走道，移動至離卸貨點最遠且有揀貨點的區塊前側。

### 3.4.2. 應用螞蟻理論

在本研究中，螞蟻系統中第  $k$  隻螞蟻由儲位  $i$  行走到下一個儲位  $j$  之機率估算如文獻所提之機率公式。其中  $\tau_{ij}$  代表的是螞蟻在儲位  $i$  到儲位  $j$  沿途所釋放的費洛蒙素， $\eta_{ij}$  則表示儲位  $i$  到儲位  $j$  間距離的倒數 ( $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ )，此通常表示螞蟻的視覺能力，指越近的城市螞蟻越容易

看得見。為使螞蟻系統在求解過程時，減少可能產生的停滯現象或過早收斂的情形，因此加入費洛蒙更新機制來改善此一狀況，因全域更新方法較能參考到全域性的資訊，故本研究以全域性的搜尋作為改良費洛蒙的更新方式。

利用螞蟻系統作為儲位指派之依據，乃起因於螞蟻依循著費洛蒙素值選擇下一個揀取儲位，因此該路徑上之費洛蒙素值高者可能代表著以下三種情況(如圖 3.4 所示)：一、該路徑所需揀取之品項數多(如路線 1)；二、若虛線所表示之路線 2 上費洛蒙素值高，有可能是因為經常有訂單出現只需揀取  $*^5$  及  $*^6$ ，而造成螞蟻浪費在  $*^5$  到  $*^6$  之行走路徑過高；三、該路徑之品項關聯性高，亦即訂單中凡出現 A 產品，則隨即出現 B 產品。

因此，引發本研究儲位互換之判斷步驟如下：

- 一、首先，輸入原始訂單資料，並讓螞蟻系統找尋起始最佳解。
- 二、根據起始最佳解，觀察所有路徑之費洛蒙素值，取出費洛蒙素值佔所有費洛蒙素值前 20% 之路段。
- 三、並針對費洛蒙素值高達前 20% 路段上之儲位作儲位指派及互換的動作。
- 四、判斷該路段上前半部走道或後半部走道被揀取之儲位數比例是否低於 50%，若是，則品項數少者移動至品項數多者之相鄰儲位，品項數相等時，則離 Input 點較遠者移至離 Input 點較近之相鄰儲位；若否，則停止。

在揀貨法則方面，本研究將考慮到任一產品之訂單需求可能無法由一個儲位獲得滿足時，因此必須以一個以上之儲位供給之。本研究依交貨期決定顧客訂單順序揀貨，其揀貨法則如下，若發生同產品在不同儲位時，其之間距離為零時，其揀貨的法則是以任意選擇其中之一儲位揀取之；若發生距離不等時，以先遇到的該產品儲位先揀取，但此時又有二種情況，因本研究之儲位佈置有交叉走道之設計，故有前、後區之分，當同產品位於前、後區時，此時必須以訂單的總體性為考量，也就是說一筆訂單最好集中於同區塊中，以利搬運車承載時減少路徑的繞行。且由於區塊之前半部屬於一群組，區塊之後半部屬於另一群組，在同群組之間的儲位互換有可能影響行走距離，而本研究設計之搬運車從起始點出發，再回到起始點。

在螞蟻系統中對於各參數的設定當中，本研究將根據 Dorigo et al.【6】的建議及本研究的問題屬性作設定，把  $\alpha$  與  $\beta$  兩個參數設定在(0.5,5)，代表費洛蒙蒸發的係數  $\rho$  值在  $0 < \rho < 1$  之間，本研究在此設定為 0.9，目的是為了使螞蟻能快速找到最短路徑，避免產生停滯現象。代表費洛蒙累積量的  $Q$  為一常數值，本研究將  $Q$  值設定為 100。本研究以 20 隻螞蟻來進行整個模式的演練，每隻螞蟻依據所設定的參數值各自循環走 1000 週期，每組作 20 次，並取其平均值評比客觀的結果。

## 4. 模擬驗證分析

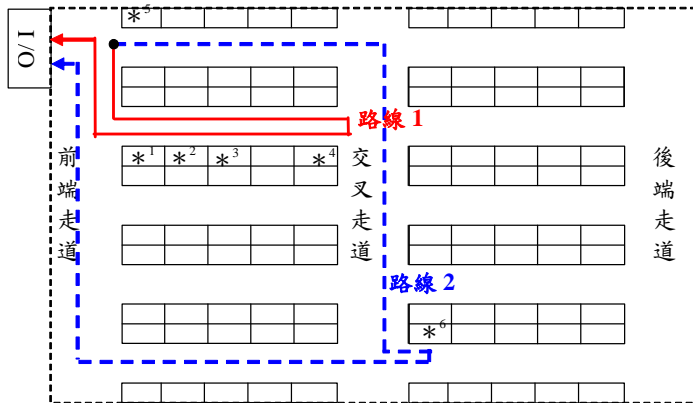
### 4.1. 模擬環境

本研究以 Visual C++ 程式語言構建物流中心揀貨環境系統，共計 100 種產品，由電腦隨機



產生 1,000 筆訂單，共有 5 個主要走道，走道左右各有 10 個儲位，故共有 100 個儲位，設定每個儲位格寬度與深度為 1 公尺，主走道寬度與交叉走道寬度為 2.5 公尺，I/O 點於倉儲區的左上角。假設搬運車及倉儲系統無當機狀況或缺料情況發生，揀貨員可同時揀取揀貨走道兩側儲架上之商品，揀貨車為 40 單位負載量，行走距離以直角距離計算，每組因子均模擬 30 次後，取其平均值，以平均訂單揀貨距離、平均訂單揀貨時間及揀貨車容量利用率為績效指標，將模擬結果利用 SPSS 10.0 統計軟體進行資料分析，期望能找出最佳實驗組合。

表 4.1 實驗因子組合圖



\*<sup>i</sup>: 代表需被檢取品項 i 之儲位

圖 3.4 揀貨路線圖

實驗編號	組合因子
01	產品關聯性-不分區揀貨-單一訂單-Cross <sup>+</sup> Strategy
02	產品關聯性-不分區揀貨-單一訂單-Ant System
03	產品關聯性-不分區揀貨-關聯訂單批量-Cross <sup>+</sup> Strategy
04	產品關聯性-不分區揀貨-關聯訂單批量-Ant System
05	產品關聯性-不分區揀貨-最適分級批量-Cross <sup>+</sup> Strategy
06	產品關聯性-不分區揀貨-最適分級批量-Ant System
07	產品關聯性-不分區揀貨-最適封包批量-Cross <sup>+</sup> Strategy
08	產品關聯性-不分區揀貨-最適封包批量-Ant System
09	產品關聯性-分區揀貨-單一訂單-Cross <sup>+</sup> Strategy
10	產品關聯性-分區揀貨-單一訂單-Ant System
11	產品關聯性-分區揀貨-關聯訂單批量-Cross <sup>+</sup> Strategy
12	產品關聯性-分區揀貨-關聯訂單批量-Ant System
13	產品關聯性-分區揀貨-最適分級批量-Cross <sup>+</sup> Strategy
14	產品關聯性-分區揀貨-最適分級批量-Ant System
15	產品關聯性-分區揀貨-最適封包批量-Cross <sup>+</sup> Strategy
16	產品關聯性-分區揀貨-最適封包批量-Ant System

## 4.2 實驗因子組合

儲位指派策略利用依品項存取頻率及 Apriori 演算法求出之品項關聯性；揀貨型態探討分區揀與不分區揀貨；在訂單批次處理部分，考量最適封包批量法(FF-EBB)、最適分級批量法(FF-CBB)、利用關聯法則推論訂單彼此間之關聯性與單一訂單；在揀貨路徑規劃部分比較運用螞蟻理論及橫跨法改良策略(Cross<sup>+</sup> Strategy)，共計有(2×4×2)不同排列組合，實驗因子的組合表如表 4.1 所示。

## 4.3 實驗結果分析

為驗證各組合因子間之最佳績效組合是否會因訂單數目的增加而有所改變，因此將每組實驗分別執行 50、100、500 筆初始訂單，並蒐集所有的平均訂單揀貨距離、平均訂單揀貨時間及揀貨車容量利用率。

從平均訂單揀取距離來看，可發現使用螞蟻理論於路徑規劃法，平均揀取距離均較小。就整體而言，產品關聯性在分區揀貨下，搭配最適封包批量及搭配應用螞蟻理論在訂單數目為 50、100 及 500 時均有最佳解(如表 4.1)；表 4.2 中可以發現，平均訂單揀取距離對訂單總完成時間其有相對的影響，但並不是絕對。當產品關聯性搭配分區揀貨搭配最適封包批量搭配應用螞蟻理論在平均訂單揀貨距離與平均訂單揀貨時間上皆有不錯的表現；根據表 4.3 可以得知當訂單使用批量法時，可明顯地提高揀貨車容量利用率。訂單數為 500 時，可知產品關聯性在分區揀貨環境下，搭配最適封包批量及搭配應用螞蟻理論在平均訂單揀貨距離、平均訂單揀貨時間以及揀貨車容量利用率此三項績效指標上皆有良好之績效；由表 4.4 可知，在相同的組合之下，當訂單數量增加時，其電腦運行時間會有少許的增加，但其運行時間仍在可接受的範圍內，因此此法在電腦模擬上而言，視為可行法。

由表 4.5 得知，除了 CPU 運行時間外，分區揀貨於其他三樣績效指標的表現皆優於不分區揀貨，且差異達顯著水準。由表 4.6 得知，應用螞蟻理論不論在任何績效指標中，皆為最佳解，且差異達顯著水準，表示應用螞蟻理論的績效優於橫跨法改良策略。

表 4.1 平均訂單揀貨距離(公尺)統計表

方法 \ 訂單數目	01	02	03	04	05	06	07	08
50	223.30	168.18	146.93	112.12	146.02	111	150.11	109.45
100	228.79	174.91	190.73	99.95	188.82	197.32	186.78	92.98
500	229.35	178.34	221.74	99.08	220.16	96.23	215.76	95.26
方法 \ 訂單數目	09	10	11	12	13	14	15	16
50	267.96	179.69	149.86	113.36	145.65	110.88	147.11	87.56
100	251.67	173.58	191.95	100.32	188.80	87.15	164.37	79.34
500	225.49	175.46	221.51	98.98	215.76	85.64	172.61	66.68

表 4.3 揀貨車容量利用率統計表

方法 \ 訂單數目	01	02	03	04	05	06	07	08
50	0.19	0.18	0.46	0.45	0.46	0.50	0.48	0.50
100	0.19	0.18	0.46	0.51	0.46	0.52	0.44	0.52
500	0.19	0.18	0.46	0.52	0.50	0.56	0.60	0.57
方法 \ 訂單數目	09	10	11	12	13	14	15	16
50	0.41	0.37	0.69	0.46	0.48	0.51	0.48	0.51
100	0.41	0.39	0.57	0.57	0.47	0.52	0.48	0.52
500	0.41	0.38	0.51	0.53	0.51	0.57	0.44	0.63

表 4.5 揀貨型態的各績效指標之平均數與其變異數分析表

績效指標	揀貨型態	觀察個數	平均數	標準差	F 檢定	P 值
平均訂單揀貨距離	不分區揀貨	240	169.4905	58.2758	4.638	0.032*
	分區揀貨	240	157.7667	60.9647		
平均訂單揀貨時間	不分區揀貨	240	210.5844	49.1221	9.350	0.002*
	分區揀貨	240	197.3767	45.4373		
揀貨車容量利用率	不分區揀貨	240	0.44693	0.16054	17.931	0.000*
	分區揀貨	240	0.49654	0.084716		
CPU 運行時間	不分區揀貨	240	2.8208	1.6019	97.232	0.000*
	分區揀貨	240	4.1875	1.4298		

註：\*表示 P<0.05

表 4.2 平均訂單揀貨時間(秒)統計表

方法 \ 訂單數目	01	02	03	04	05	06	07	08
50	230.70	279.19	157.36	186.12	155.21	184.26	160.15	188.17
100	236.30	289.15	199.50	165.23	197.50	261.36	195.03	124.59
500	236.73	285.03	229.37	158.35	228.08	162.62	223.52	160.99
方法 \ 訂單數目	09	10	11	12	13	14	15	16
50	276.83	265.84	160.51	188.17	152.73	200.41	156.95	150.53
100	259.93	228.50	199.98	138.18	197.48	117.35	171.63	106.32
500	232.75	261.35	229.14	158.19	223.52	144.73	178.81	112.70

表 4.4 CPU 運行時間(秒)統計表

方法 \ 訂單數目	01	02	03	04	05	06	07	08
50	0.2	0.43	1.23	1.63	1.2	0.53	1.2	0.93
100	0.63	0.4	1.67	1.53	1.73	1.03	1.73	1.5
500	2.23	2.17	3.6	3.13	2.53	2.3	3.73	2.87
方法 \ 訂單數目	09	10	11	12	13	14	15	16
50	1.17	0.8	1.23	0.9	1.2	0.73	1.2	0.77
100	1.6	1.37	2.7	2.03	2	1.07	2.27	1.53
500	3.93	3.33	4.53	3.27	6.83	4.77	4.57	4.4

表 4.6 揀貨路徑之各績效指標平均數與其變異數分析表

績效指標	揀貨路徑	觀察個數	平均數	標準差	F 檢定	P 值
平均訂單揀貨距離	橫跨法改良策略	240	215.2977	17.3389	1408.152	0.000*
	應用螞蟻理論	240	111.9596	38.9796		
平均訂單揀貨時間	橫跨法改良策略	240	222.7374	17.9180	87.532	0.000*
	應用螞蟻理論	240	185.2237	59.4767		
揀貨車容量利用率	橫跨法改良策略	240	0.45274	0.12087	10.134	0.002*
	應用螞蟻理論	240	0.49054	0.13735		
CPU 運行時間	橫跨法改良策略	240	3.7292	1.6305	8.923	0.003*
	應用螞蟻理論	240	3.2792	1.6697		

註：\*表示 P<0.05

由表 4.7 得知，不同訂單批量對四個績效指標均有顯著性影響，而不同訂單批量法對揀貨績效影響有差異，於平均訂單揀貨距離、平均訂單揀貨時間及揀貨車容量利用率，三績效指標中可發現任一訂單批次法均優於單一訂單，其中又以最適封包批量為最佳。於 CPU 運行時間中，當使用訂單批量時，其運行時間稍微高於單一訂單法，但仍在可接受範圍內，而各批次法彼此之間是無差異的。

三因子組合中，分區揀貨搭配單一訂單搭配橫跨法改良策略(實驗編號 16)於平均訂單揀貨距離、平均訂單揀取時間及檢貨車容量利用率中，皆為最佳績效組合，於平均訂單揀取時間中分區揀貨搭配最適分級批量搭配應用螞蟻理論(實驗編號 14)亦有最佳表現。實驗編號 01 即不分區揀貨搭配單一訂單搭配橫跨法改良策略、實驗編號 02 亦即不分區揀貨搭配單一訂單搭配應用螞蟻理論、實驗編號 05 即不分區揀貨搭配最適分級批量搭配橫跨法改良策略、實驗編號 06 即不分區揀貨搭配最適分級批量搭配應用螞蟻理論以及實驗編號 08 即不分區揀貨搭配最適封包批量搭配應用螞蟻理論，在 CPU 運行時間上為同一子集且為最佳組合。但最差之 CPU 運行時間與最佳之 CPU 運行時間只差 2.6 秒，此差別不大，仍在可接受範圍內。

表 4.7 訂單批量於各績效指標之 Duncan Test

訂單批量	平均訂單揀貨距離	Duncan Test	訂單批量	平均訂單揀貨時間	Duncan Test
最適封包批量	137.5783	A	最適封包批量	178.4604	A
最適分級批量	54.4484	B	最適分級批量	189.7352	B
關聯訂單批量	160.3280	B	關聯訂單批量	193.7619	B
單一訂單	202.1599	C	單一訂單	253.9647	C
訂單批量	揀貨車容量利用率	Duncan Test	訂單批量	CPU 運行時間	Duncan Test
單一訂單	0.28818	A	單一訂單	2.9167	A
關聯訂單批量	0.50449	B	最適分級批量	3.5417	B
最適分級批量	0.53439	C	關聯訂單批量	3.6333	B
最適封包批量	0.55989	D	最適封包批量	3.9250	B

## 5. 結論

本研究之研究目的乃在探討為提高揀貨效率，因影響平均訂單揀貨績效之因子並非僅揀貨路徑方法，因此本研究與過去學者所提出最佳之揀貨路徑方法作比較，以及考量訂單批量法、揀貨型態，並驗證在各因子間之組合以找出最佳組合，因此根據本研究之模擬實驗所蒐集之數據，經過統計分析，可以得到下面的幾點結論：

- 一、 模擬結果可知，本研究考慮分區揀貨與不分區揀貨兩種型態，以及搭配訂單批量法則之考量，尋求更有效率的揀貨法則，確實在分區揀貨型態下，除 CPU 運行時間外皆有最佳表現，而運行時間亦在可接受時間範圍內，其中以最適封包批量法應用螞蟻理論於揀貨路徑規劃上為最佳。
- 二、 除了模擬結果顯示任一訂單批次法於各績效指標皆優於單一訂單，雖電腦運算時間稍微較差，但仍於可接受範圍，其中又以最適封包批量法為最佳，且與其他因子之組合皆有不錯表現。
- 三、 就文獻而言，尚未有學者將蟻群系統應用在儲位規劃指派上，因此本研究成功地應用蟻群系統於倉儲系統作儲位規劃，且求解速度快亦有效率，希望能夠帶給後續研究學者作一深入探討。
- 四、 針對三因子組合間之探討，仍以本研究所提出應用螞蟻理論於揀貨路徑規劃上對平均訂單揀貨距離、平均訂單揀貨時間以及揀貨車容量利用率皆有最佳之改善，其電腦運行時間亦在可接受時間範圍內，且若訂單數目的增加，運行時間並不會有大幅度的增加。且不論在任何因子組合下，應用螞蟻理論之平均訂單揀貨距離皆優於其它各因子組合。
- 五、 本研究是以物流中心的倉儲環境之儲位指派作探討，為符合實務上的需求，儲位間佈置

考慮交叉走道之架構，使整體環境更符合實際狀況，並對於物流中心整體的績效證實有所改善，更可作為物流業者在倉儲設計上之參考，亦可提供不同揀貨型態之業者，在訂單批量選擇以及揀貨路徑選擇上的參考。

表 4.8 各實驗因子於各績效指標之 Duncan Test

實驗編號	平均訂單揀貨距離	Duncan Test	實驗編號	平均訂單揀貨時間	Duncan Test	實驗編號	揀貨車容量利用率	Duncan Test	實驗編號	CPU 運行時間	Duncan Test
16	66.6781	A	14	144.7270	A	16	0.62516	A	02	2.1667	A
14	85.6421	B	16	150.5347	A,B	07	0.60319	B	01	2.2333	A
08	95.2331	C	12	158.1907	B	08	0.56655	C	06	2.3000	A
06	96.2306	C	04	158.3475	B	14	0.56652	C	05	2.5333	A,B
12	98.9813	D	08	160.9870	B	06	0.55712	C	08	2.8667	A,B,C
04	99.0802	D	06	162.6191	B	12	0.52657	D	04	3.1333	B,C,D
15	172.6087	E	15	178.8047	C	04	0.52108	D	12	3.2667	B,C,D
10	175.4579	F	07	223.5153	D	11	0.51332	E,F	10	3.3333	B,C,D
02	178.3432	G	13	223.5178	D	13	0.51199	E,F	03	3.6000	C,D
13	215.7604	H	05	228.0768	D,E	05	0.50195	F	07	3.7333	D,E
07	215.7631	H	11	229.1399	D,E	03	0.45698	G	09	3.9333	D,E,F
05	220.1604	I	03	229.3693	D,E	15	0.44464	G	16	4.4000	E,F,G
11	221.5143	I	09	232.7461	D,E	09	0.40678	H	11	4.5333	F,G
03	221.7361	I	01	236.7290	E	10	0.37737	I	13	4.5667	F,G
09	225.4909	J	10	261.3525	F	01	0.18467	J	15	4.7000	F,G
01	229.3475	K	02	285.0312	G	02	0.18390	J	14	4.7667	G

## 6. 參考文獻

1. 沈武賢(2000),「物流中心儲區通道之規劃」,雲林科技大學工業管理研究所碩士論文。
2. 孫海蛟、董福慶(1995),「物流中心儲位管理」,經濟部商業自動化系列叢書。
3. 董福慶、陳明德(1995),「物流中心揀貨作業」,經濟部商業自動化系列叢書。
4. Agrawal, R., T. Imielinski, and Swami, A. (1993), "Mining Association Rules between Sets of Items in Large Data Bases," In Proceedings of the ACM SIGMOD Conference in Management of Data, Washington DC, USA.
5. Beckers, R., J.L. Deneubourg and Goss, S. (1992), "Trails and U-Turns in the Selection of the Shortest Path by Ant *Lasius Niger*," Journal of Theoretical Biology, Vol. 159, pp.397-415.
6. Dorigo, M., V. Maniezzo and Colorni, A. (1991), "Positive Feedback as a Search Strategy," Technical Report No.91-016.
7. Dorigo, M., V. Maniezzo and Colorni, A. (1996), "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents," Systems, Man and Cybernetics, Part B, IEEE Transactions on, Vol. 26, No. 1, pp.29-41.
8. Dorigo, M. and Gambardella, L.M. (1997), "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 1, No. 1, pp.53-66.
9. Dorigo, M. and Gambardella L.M. (1997), "Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem," BioSystems, Vol. 43, pp.73-81.
10. Hall, R.W. (1993), "Distance Approximations for Routing Manual Pickers in a Warehouse," IIE Transactions, Vol. 25, No. 4, pp.76-87.
11. Han, J., and Fu, Y. (1999), "Mining Multiple-Level Association Rules from Large Database," IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering, Vol. 11, No. 5, pp.1-8.
12. Han, J., and Kamber, M. (2000), "Data Mining: Concepts and Techniques," Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
13. Hsieh, L.F. and Lin, C.C. (2005) "Compatibility Study between Storage Assignment and Order Picking Strategy in Distribution Centers," submit to Production Planning and Control.
14. Hwang, H., W. Baek, and Lee, M.K. (1988), "Clustering Algorithms for Order Picking in an Automated Storage and Retrieval Systems," International Journal of Production Research, Vol.

26, No. 2, pp.189-201.

15. Jarvis Jay, M. and McDowell Edward, D. (1991), "Optimal Product Layout in an Order Picking Warehouse," IIE Transactions, Vol. 23, No. 1, pp.93-102.
16. Kusiak, A., A. Vanelli, and Kumar, K.R. (1986), "Clustering Analysis: Models and Algorithms," Control and Cybernetics, Vol. 15, No. 2, pp.139-152.
17. Lin, C.H., and Lu, I.Y. (1999), "The Procedure of Determining the Order Picking Strategies in Distribution Center," International Journal Production Economics, Vol. 60, No. 61, pp.301-307.
18. Megiddo, N. and Srikant, R. (1998), "Discovering Predictive Association Rules," American Association for Artificial Intelligence.
19. Petersen II, C. G., and Schmenner, R. W. (1999), "An Evaluation of Routing and Volume-Based Storage Policies in an Order Picking Operation," Decision Sciences, Vol. 30, No. 2, pp.481-501.
20. Ratliff, H. D., and Rosenthal S. (1983), "Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem," Operations Research, Vol. 31, No. 3, May-June, pp.507-521.
21. Roodbergen, K. J., and Koster, R. D. (2001), "Routing Method for Warehouse with Multiple Aisles," International Journal of Production Research, Vol. 39, No. 9, pp.1865-1883.
22. Ruben, R.A., and Jacobs, I.R. (1999), "Batch Construction Heuristics and Storage Assignment Strategies for Walk/Ride and Pick Systems," Management Science, Vol. 45, pp.575-594.
23. Simoudis, E. (1996), "Reality Check for Data Mining," Institute of Electrical and Electronic Engineers Expert, Vol. 11, No. 5, pp.26-33.
24. Vinod, H.D. (1969), "Integer Programming and the Theory of Grouping," Journal of the American Statistical Association, Vol. 64, No. 326, pp.506-515.

#### 計畫成果自評

本研究主要發展一套以蟻群系統為依據，重新規劃儲位，併行考量揀貨路徑規劃，以總揀貨成本最小化為目標，進而達到單位時間內揀貨績效提昇，完全依照計畫書的想法進行，目前已經全部完成，結果與原預期之計畫目標相符合，而且整理完手稿，投稿國際期刊中。在計畫執行期間曾參與兩個國際研討會，分別是APIEM 2006 及ACME 2006，國際會議心得報告及發表之論文詳見附錄。

附錄一：出席APIEM 2006 國際會議心得報告及發表之論文

附錄二：出席ACME 2006 國際會議心得報告及發表之論文