

## 物流出貨運送管理系統

國立中興大學資訊管理學系終身特聘教授 詹永寬教授

2025/05/13

### 一、摘要

本次演講介紹一套整合式的物流出貨運送管理系統，涵蓋出貨排程、車輛分派、最短路徑規劃與商品覆點四大子系統。透過數學模型與演算法（如排程分散度評估、最短路徑演算與車輛指派），系統能有效提升運輸效率、降低配送成本並均衡每日物流負載。

**關鍵字：**物流排程科學化、智慧物流。

### 二、介紹

物流出貨運送管理系統是一套整合各種子系統的智慧化平台，旨在提升配送效率、降低成本，並改善客戶服務品質。本次演講中，主要介紹了以下四個核心子系統：

- **出貨排程子系統：**根據貨物屬性與時間需求，進行最佳化的出貨排程，以達到資源利用率最大化。
- **車輛分派子系統：**根據經銷商配送需求與地理分佈，安排合適車輛與路線，提高運輸效率。
- **最短路徑排程子系統：**以演算法計算出最短配送路徑，降低總里程與油耗。
- **商品覆點子系統：**確保所有地點均被有效覆蓋，達到配送完整性。

### 三、出貨排程子系統

在本次研講介紹了兩項排程原則：

- **原則一：**同一經銷商避免連續天數送貨，以分散配送頻率。
- **原則二：**每日送貨的經銷商家數應儘量平均，以平衡每日負載。

#### 3.1、原則一：同一經銷商避免連續天數送貨

在物流排程的設計中，原則一強調「同一經銷商避免連續天數送貨」，其核心目的在於**分散配送頻率，降低集中出貨造成的人力與資源壓力**。若對同一經銷商連續多日配送，不僅容易導致車輛與倉儲資源短期內過度集中，**亦可能因突發事件導致整體配送效率下降**。因此透過間隔式配送可提高彈性與風險抵抗力。

### 3.1.1、原則一解決辦法

為了落實「同一經銷商避免連續天數送貨」的原則，系統將每週（週一至週六）的出貨安排轉換為**六位元的二進位字串**，其中 1 表示該日有配送，0 表示無配送。每位經銷商的出貨週期會被表示為一串連續的二元字串，接著進行連續出貨分布分析，並透過計算函數  $f_d$  來評估出貨的集中程度。

函數  $f_d$  的設計會將每段連續出貨天數  $L_i$  取平方後加總：

$$f_d = \sum_{i=1}^n L_i^2$$

平方的設計會使**連續出貨天數越長，其懲罰值成長越快**，從而有效抑制連續安排送貨的情況。例如：字串 000**111**000**11**0 表示有一段連續 3 天與另一段連續 2 天的配送，其  $f_d = 3^2 + 2^2 = 13$ ，集中度偏高；相較之下，字串 010101010100 出貨分布較均勻，對應  $f_d = 1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 = 5$ ，評分更佳。

透過**最小化  $f_d$  作為目標函數**，系統能在不犧牲整體運輸效率的前提下，**優化配送間隔**，避免對同一經銷商連續送貨，實現配送頻率分散與負載平衡的雙重目標。

### 3.2、原則二：每日送貨的經銷商家數應儘量平均

為了提升整體物流作業的穩定性與人力資源配置的效率，系統設計中納入了原則二：每日送貨的經銷商家數應儘量平均。此原則的核心目標是**避免出現某些日子工作量過重、某些日子工作量過輕**的情況，以達到物流人力與車輛調度的平衡。

具體來說，若部分日子的配送經銷商數量**過多**，可能**導致倉儲區域壅塞、車輛調度困難，甚至延誤配送**；反之若某日出貨家數**過少**，則會**造成資源閒置、效率下降**。因此，讓每天的出貨數量分布接近平均值，可有效提升營運穩定性與配送準確率。

#### 3.2.1、原則二解決辦法

為了解決每日配送家數不均的問題，系統導入了一套**以變異分析為基礎的排程機制**。具體做法是：首先統計出每一天的出貨經銷商數量，形成一組長度為 6（代表週一至週六）的數列，再透過計算此數列與其平均值之間的離散程度來判斷每日出貨的平衡程度。

評估方法採用函數  $f_s$ ，定義如下：

$$f_s = \sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x}_i)^2$$

其中， $x_i$  表示第  $i$  天的出貨家數， $\bar{x}_i$  為六天的平均值。這個公式即為「平方差和」，可量化出貨家數的波動程度。

舉例來說，若某週每日的出貨家數為下表一，每日出貨平均  $\bar{x}_i$  為 5，則各天與平均值的差異平方加總為  $f_s = (6-5)^2 + (4-5)^2 + (5-5)^2 + (6-5)^2 + (4-5)^2 + (5-5)^2 = 4$ ，顯示出貨分布略有不均。若能調整排程，讓每一天的出貨家數都為 5，則  $f_s = 0$ ，代表達到完全平衡。透過最小化此平方差指標  $f_s$ ，系統可以有效調整每日配送安排，避免個別日子負荷過重或過輕，進而提升整體物流的穩定性與營運效率。

表一、假設某一周的出貨家數

星期	出貨家數
一	6
二	4
三	5
四	6
五	4
六	5

#### 四、車輛分派子系統

車輛分派子系統的主要功能是根據各經銷商的出貨需求與地理位置，合理安排每日配送所需的車輛與路線。在物流實務中，單純完成出貨排程仍不足以保證高效率，若無良好的車輛分派機制，可能出現某些車輛負荷過重、某些閒置或路線重疊等情況，導致成本上升與效率下降。

為解決此問題，系統會根據當日的配送地點分布、出貨量與車輛可用數量，進行最佳化分派。分派原則包括：

- 每台車配送的經銷商家數儘量平均，避免個別車輛負荷過重。
- 優先安排距離相近的配送點於同一台車上，減少繞路與里程。

## 4.1、車輛分派選擇

以下圖一為例，A4 表示 A 經銷商需配送的總重量為 4，整體配送網絡中還包含 B3、C2、D3、E4、F3 等經銷商（數字代表其配送重量）。為提升配送效率與平衡車輛負載，系統設計以下幾個步驟進行車輛分派：

1. **確認可用車輛數量**：以這個例子來說，我們假設有 2 台車可供調度。
2. **依地理位置挑選「最遠端」的配送點作為初始分派中心**：觀察圖中配送網絡，假設 F 與 A 距離最遠，則將 A4 指派給第一台車、F3 指派給第二台車，作為兩台車的起始節點。
3. **逐步擴充節點並進行負載平衡**：接下來系統依據每個經銷商與目前分派節點的數量與載重，逐一選擇分派的節點，分派的方式如下。
  - (1). 首先計算兩台車目前的**每台車目前分派的經銷商數量及平均載重**。
  - (2). 優先選擇**分派的經銷商數量較少的車**，如果一樣則優先選擇**平均載重較輕的車**。
  - (3). 如果某一台車的平均載重較輕，則優先從目前**可到達的經銷商中選擇貨物最重的配送點**分派給它；反之，則給予**可到達的經銷商中選擇貨物最輕的配送點**分派給它。

例如：

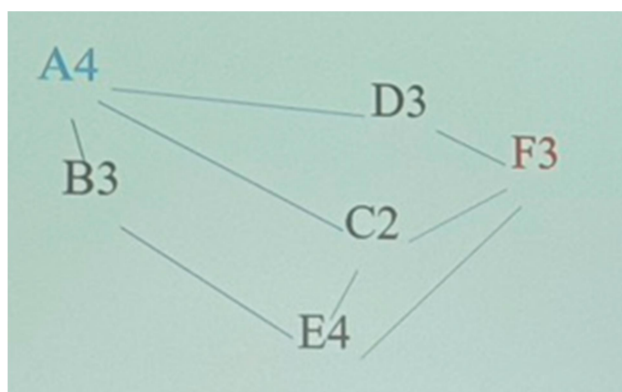
本案例中車輛一及車輛二每台車目前分派的經銷商數量均為 1，但第二台車輛的平均載重較輕，所以將第二台車輛可到達的經銷商中選擇貨物最重的配送點(E4)。

最終的分派結果為：

車輛一：A4 (4)、C2 (2)、B3 (3) → 總重 9

車輛二：F3 (3)、E4 (4)、D3 (3) → 總重 10

4. **更新狀態並重複步驟 3**：完成一次分派後，**更新每台車的配送點與平均載重**，再繼續下一輪分派，直到所有點分配完成。
5. **檢查與調整**：系統可再次計算每台車的總路徑與載重，**進行微調以取得最佳平衡**。



圖一、各個經銷商需配送的重量及位置

## 五、最短路徑排程子系統

最短路徑排程子系統的核心目的是在多個配送點之間規劃出總距離最短、效率最高的行車路線。在物流配送中，若配送順序規劃不當，可能導致路徑繞遠、油耗上升、時間浪費等問題，因此此子系統負責透過演算法找出最優配送順序。

在理論上，最精確的方式是透過「窮舉法 (Brute Force)」列出所有配送路徑的排列組合，再逐一計算總距離，選出最短者作為最佳解。然而，這種方法的計算量會隨著節點數呈階乘級數成長，例如：僅有 10 個配送點就有超過 360 萬種組合，若是 30 個點更高達  $30! \approx 2.65 \times 10^{32}$  種可能，幾乎無法在合理時間內完成。

因此，實務上會改採近似演算法，例如：基因演算法，來快速找到接近最短的路徑。雖然這些方法無法保證找出真正的最短解，但能在可接受的時間內取得高效率且足夠好的結果，是面對大規模路徑排程的實用選擇。

### 5.1、使用基因演算法求最短路徑排程

為了解決多個配送點的最短路徑問題，系統採用了基因演算法 (Genetic Algorithm, GA) 來進行路徑優化。首先，將每一種配送順序視為一條「染色體」，例如：某一條路徑為  $C \rightarrow A \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow \dots$ ，這些染色體會組成初始族群。每條染色體的適應度是根據其總路徑距離決定，距離越短，適應度越高。

接下來，系統會重複進行下列步驟：

1. **選擇 (Selection)**：保留適應度高的路徑作為下一代父母。
2. **交配 (Crossover)**：將兩條路徑進行部分基因交換，產生新解。
3. **突變 (Mutation)**：隨機改變路徑中的節點順序，以增加多樣性並避免陷入局部最佳解。

這些操作會進行數十甚至數百代，逐步演化出更短的路徑。最後選出總距離最短的個體，作為本次的最短配送排程。



## 六、商品覆點子系統

商品覆點子系統的主要目的是確保所有經銷商、門市或配送區域都能被有效覆蓋，且不重複或遺漏。在實際物流配送作業中，不僅要考慮時間與距離，還要保證每一項商品都能準時、完整地配送到其應達的地點。因此，覆點子系統就扮演了配送範圍控管與區域重疊檢查的重要角色。

## 七、未來延伸

### 7.1、結合即時資料進行動態排程

我認為「**結合即時資料進行動態排程**」是這套物流出貨運送管理系統中具**延伸價值與實用潛力**的一個方向。在實際配送作業中，原本規劃再好的路線，也可能因為**突發狀況**（例如：塞車、突發事件、下雨封路等）而**導致配送延誤**。若能將即時資料整合進系統，例如：**GPS 定位、即時交通流量、事故通報、天氣預警資訊**等，讓系統可以「**即時重排路線**」，對提升整體運作的彈性與效率會有非常明顯的幫助。

從我的角度來看，這樣的設計不只是技術升級，更是讓系統從「**靜態最佳化**」邁向「**智慧決策支援**」的關鍵一步。當車輛在途中遇到路況變化，系統能立刻重新計算其他可行路線並推播給司機，甚至在**未來若結合自駕或車載 AI**，也可以直接由系統控制轉向決策。這樣的架構不只提升配送的準時率與可靠性，也讓整個物流系統更具應變能力，不再受限於原始規劃。

此外，若能再加入一些商業邏輯，例如：「**某些貨物或客戶具有更高時效性**」，系統甚至可以根據即時狀況動態調整**配送順序的優先級**，讓高價值或急件先送，其他延後處理，也會讓整體服務品質提升。這種智慧化、彈性的設計，我認為是未來物流系統真正會走向的方向，也非常值得深入發展。

### 7.2、導入其他最短路徑演算法以提升彈性

在這次演講中介紹的最短路徑排程，是透過基因演算法（GA）來優化配送順序，這種方法能**有效處理多點、多組合**的問題，對於大規模配送任務非常實用。不過，在我自己的碩論研究過程中，也接觸到了許多不同的最短路徑演算法，像是 **A\* (A-star)**、**Dijkstra**、**Ant Colony Optimization** 等。

以 A\* 演算法為例，它結合了**成本與啟發式預測**，可以快速找出單一路徑的最短解，特別適合應用在**固定起點到終點的情境中**。未來若能將 A\*

或其他演算法模組化整合進系統中，例如處理「**區域內點對點配送**」、「**緊急件插單重排**」等特定任務，會比**單一套用基因演算法更具彈性與效率**。

從我自身的學習經驗來看，不同演算法都有其擅長的解題情境，如何根據實際的配送需求選擇合適的方法，甚至結合多種演算法互補長短，將會是智慧物流系統未來可以深入研究與發展的重要方向。

## 八、心得

在聽完這場關於物流出貨運送管理系統的演講後，我對於「物流」這件事有了更全面與系統性的理解。過去我對物流的印象，可能只停留在車子開出去送貨這麼簡單，但實際上，背後牽涉到排程、分派、路徑設計、覆蓋分析等多項演算法與管理策略，這讓我深刻體會到「**資訊技術與物流營運的結合**」，可以為企業帶來極大的效率提升與資源節省。

其中我很有感的一點是，原本在還沒聽演講之前，會以為像這樣的物流出貨運送系統一定非常複雜、難以實作，畢竟它涉及排程、派車、路線、地圖、演算法等各種層面。但講者用子系統的方式來說明整體架構，讓我理解到：其實再複雜的系統，只要能**拆解成功能清楚的子系統來處理**，就可以**逐步分析、逐步實現**。

像是把整體系統拆成出貨排程、車輛分派、最短路徑、商品覆點等幾個核心功能，每一塊都有其專責處理的目標與演算法模型，這不僅讓系統設計變得更有邏輯性，也讓**維護、調整變得更有彈性**。我覺得這種「**模組化思維**」不只適用在物流領域，對於我**未來在做系統設計或開發時，也是一個值得學習與套用的架構方式**。

## 九、參考資料

- [1]. C. Chanachan, M. Sirisethakarn, P. Khapla and J. Polvichai, "A Comparison of Route Optimization Algorithms on Capacitated Vehicle Routing Problem," *2023 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications (ITC-CSCC)*, Jeju, Korea, Republic of, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITC-CSCC58803.2023.10212815.
- [2]. T. T. Lee, "Research on Intelligent Transportation Systems in Taiwan," *2008 27th Chinese Control Conference*, Kunming, China, 2008, pp. 18-23, doi: 10.1109/CHICC.2008.4604875.

- [3]. C. H. Su *et al.*, "A Roadside Unit Software Platform for Intelligent Transportation System Applications," *2024 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)*, Taichung, Taiwan, 2024, pp. 823-824, doi: 10.1109/ICCE-Taiwan62264.2024.10674580.
- [4]. L. T. Lin, H. J. Huang, J. M. Lin and F. F. Young, "A New Intelligent Traffic Control System for Taiwan," *2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, (ITST)*, Lille, France, 2009, pp. 138-142, doi: 10.1109/ITST.2009.5399369.
- [5]. Government Research Bureau, "Smart City Development Plan," 2023, Retrieved from <https://www.grb.gov.tw/search/planDetail?id=2135287>.
- [6]. Government Research Bureau, "Smart Transportation System," 2023, Retrieved from <https://www.grb.gov.tw/search/planDetail?id=926145>
- [7]. K. A. D. D. Dharmadasa, G. K. Sahoo, S. K. Das and P. Singh, "Video-based Road Accident Detection on Highways: A Less Complex YOLOv5 Approach," *2023 International Conference on Computer, Electronics & Electrical Engineering & their Applications (IC2E3)*, Srinagar Garhwal, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/IC2E357697.2023.10262716.
- [8]. E. Khanmirza, M. Haghbeigi, M. Nazarahari and S. Doostie, "A Comparative Study of Deterministic and Probabilistic Mobile Robot Path Planning Algorithms," *2017 5th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)*, Tehran, Iran, 2017, pp. 534-539, doi: 10.1109/ICRoM.2017.8466197.
- [9]. M. Richter and H. Kabza, "Strategic dynamic traffic routing algorithm for globally optimized urban traffic," *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Gold Coast, QLD, Australia, 2013, pp. 756-762, doi: 10.1109/IVS.2013.6629558.
- [10]. K. M. Dhanya and S. Kanmani, "Solving vehicle routing problem using hybrid swarm intelligent methods," *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Melmaruvathur, India, 2016, pp. 1461-1465, doi: 10.1109/ICCSP.2016.7754399.