

國立交通大學

運輸與物流管理學系

碩士論文

考量廣義型重疊服務區域之  
聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題

Three-Dimensional Container Loading and Vehicle Routing  
Problem with General Overlapping Service Regions

研究生：周柏諺

指導教授：姚銘忠 教授

林春成 教授

中華民國一〇八年七月

考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題

Three-Dimensional Container Loading and Vehicle Routing Problem with  
General Overlapping Service Regions

研究生：周柏諺

Student: Bo-Yan Chou

指導教授：姚銘忠

Advisor: Dr. Ming-Jong Yao

林春成

Dr. Chun-Cheng Lin



國立交通大學  
運輸與物流管理學系  
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Logistics Management

July 2019

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇八年七月

# 考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載

## 與車輛路徑問題

研究生：周柏諺

指導教授：姚銘忠 教授

林春成 教授

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

### 摘要

本研究所探討的「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」為考量三維裝載容積之車輛路徑問題之延伸。在已知分區且考量廣義型重疊服務區域之架構下，求解物流公司配送客戶貨物需求之最佳車輛路徑與貨物裝載決策。其中包含在分區中使用該服務區域之原有車輛、跨分區車輛或租用車輛與車輛路徑及貨物裝載之安排。本研究考量之「廣義型重疊服務區域」，乃是允許多個服務區域相互重疊，增加車輛路徑安排與物流車隊運用之彈性，以降低物流公司配送作業之營運成本。

本研究建構一數學模型用以描述「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」。而由於傳統之車輛路徑問題為 NP-hard 問題，本問題有更高的複雜度，故本研究另提出基因演算法求解本問題。透過本研究提出基因演算法染色體編碼之資料結構，可以直觀且容易地掌握廣義型重疊服務區域之特性與描述對應的貨物指派及擺放情境。本研究以傳統車輛路徑問題之標竿題庫結合考量三維裝載容積之車輛路徑問題之標竿題庫，並加上廣義型重疊服務區域之考量，運用隨機產生之例題進行數據實驗分析。數據實驗的結果顯示，本研究所提出的基因演算法具有相當之求解品質與效率，且驗證本研究採用之廣義型重疊服務區域確實能有效地降低物流公司之配送營運總成本。

**關鍵字：**廣義型重疊服務區域、考量三維裝載容積之車輛路徑問題、基因演算法

# **Three-Dimensional Container Loading and Vehicle Routing Problem with General Overlapping Service Regions**

Student: Bo-Yan Chou

Advisor: Dr. Ming-Jong Yao  
Dr. Chun-Cheng Lin

Department of Transportation and Logistics Management  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

This study investigates the Three-Dimensional Container Loading and Capacitated Vehicle Routing Problem with general overlapping service regions, which is an extension of the three-dimensional capacitated vehicle routing problem (3L-CVRP). We are interested in solving the optimal decisions including the fleet deployment using the vehicles in the original region, the trans-regional vehicles and the vehicles from outsourcing, the corresponding vehicle routes for logistics companies to satisfy customers' demand, and the three-dimensional container loading with pre-determined and overlapping service regions. We take a districting concept of "general overlapping service regions" (GOSR) into consideration in this study, which would increase the flexibility in vehicle routing and fleet deployment, and help reducing the operating cost of the distribution operations for logistics companies.

We formulate a mathematical model following the scenario of the 3L-CVRP with overlapping service regions. It is well known that the conventional VRP is NP-hard. Since the concerned problem in this study is more complicated than the conventional VRP, it will be more difficult to solve. Consequently, we propose a genetic algorithm (GA) as our solution approach. The data structure of chromosome encoding in our GA is not only comprehensive, but also easy to deal with the situation of GOSR and to understand cargo assignment and three-dimensional cargo loading situation. We randomly generate our instances in our numerical experiments by referring to the benchmark problems for the conventional VRP and 3L-CVRP, taking into account of the characteristics of GOSR. Our experimental results show that our proposed GA is able to obtain solutions with excellently quality effectively, and making use of GOSR may save significant distribution operating cost for logistics companies.

**Keywords:** General overlapping service regions; three-dimensional capacitated vehicle routing problem; genetic algorithm

## 誌謝

在就讀交大運管所的兩年研究生生涯中，首先要感謝指導老師姚銘忠教授，謝謝老師在這兩年中給予的指導和教誨，教導與叮囑未來在為人處事應有的態度與技巧。同時也感謝共同指導老師林春成教授，在論文的研究與撰寫中，老師也給予了許多寶貴的建議以及觀念，使我受益頗豐。另外感謝口試委員李捷教授與林仁彥教授，承蒙兩位老師在口試期間的指正與建議，使我的論文更臻完善。同時也感謝兩年來所上老師們課程上的教授，過去所受的教誨，都成為奠定我未來人生旅途的基石，在此致上衷心的感謝。

感謝研究室的大家，對比兩年前甫進入交大運管所，面對新環境時的懵懂，感謝仲柏學長、宗桓學長、美好學姊和慶慧學姊的帶領，藉由你們的經驗分享與解惑，使我能快速地熟悉碩士班生活並步上軌道。也感謝同屆的妘如及國隆，在這兩年間的患難與共相互扶持，讓我在面對課程與論文上的迷惘和壓力，可以在討論中獲得啟發與壓力的釋放。也感謝一方學妹和珮誼在我們忙碌的碩二生活中給予的協助與支持，祝福你們在未來順利地完成研究所學業。這兩年間在交大運管所學習及生活的點點滴滴將成為我畢生難忘的回憶。

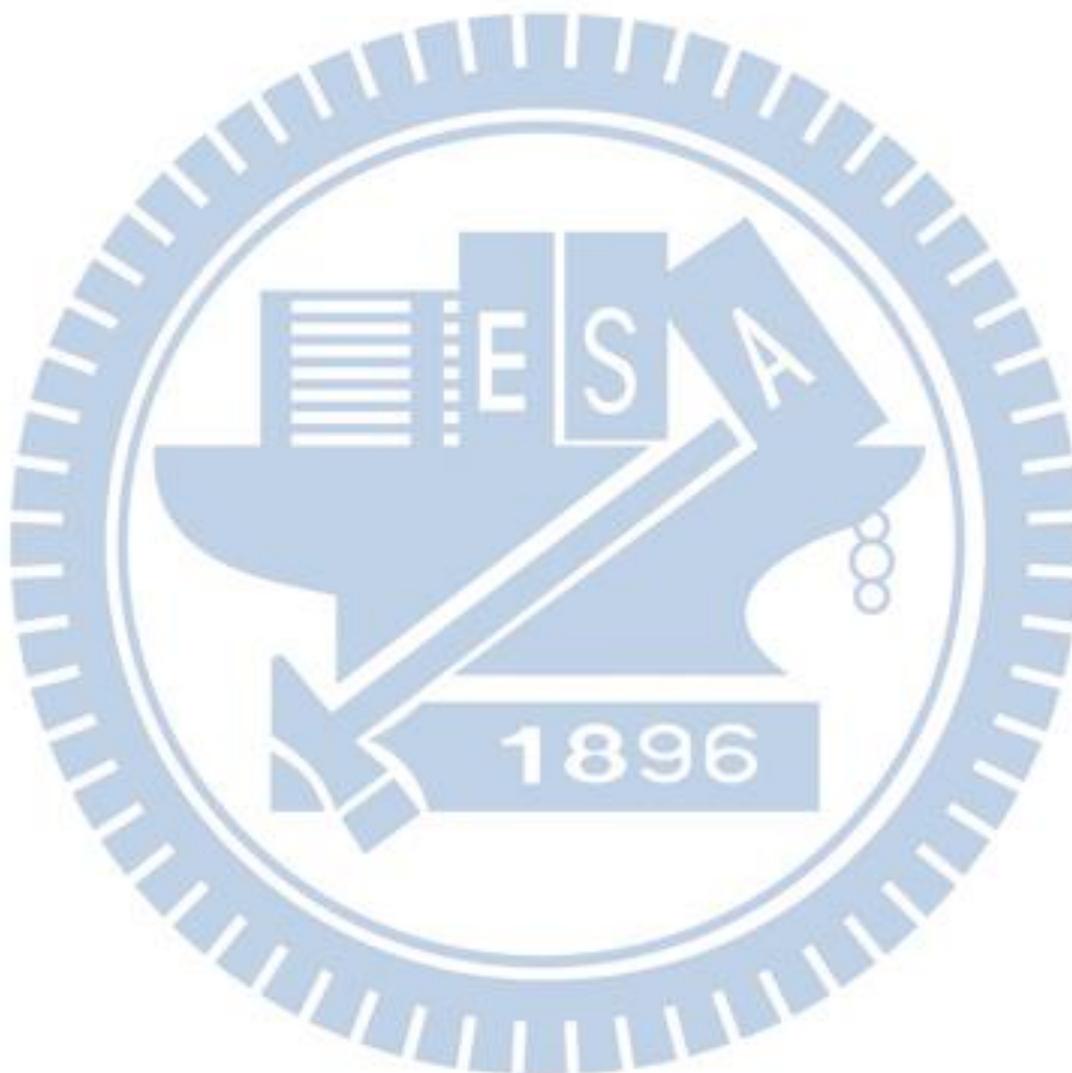
最後要感謝我的家人，在求學階段總是給予我無條件的付出與鼓勵，讓我在面對挫折時能擁有繼續前進的動力，感謝您們在課業與生活上的支持，使我能順利完成學業，並邁向人生下個階段。

周柏諺 謹誌

# 目錄

摘要 .....	i
Abstract .....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
圖目錄 .....	vii
表目錄 .....	ix
一、 緒論 .....	1
1.1 研究背景與動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	4
1.3 論文架構 .....	7
二、 文獻回顧 .....	9
2.1 三維貨櫃裝載問題 .....	9
2.1.1 子空間法 .....	10
2.1.2 左下角點法 .....	11
2.1.3 內壁建立法 .....	11
2.2 車輛路徑問題 .....	12
2.3 聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題 .....	14
2.4 關於重疊服務區域的相關研究 .....	17
2.5 小結 .....	18
三、 決策情境與數學模式 .....	20
3.1 情境說明 .....	20
3.2 情境假設與限制 .....	21
3.3 目標式與決策變數 .....	23
3.3.1 目標式之計算 .....	23
3.3.2 決策變數 .....	26
3.4 數學模式符號定義說明 .....	26
3.5 數學模式 .....	32
四、 本研究所提之基因演算法 .....	47
4.1 編碼 .....	50

4.2	解碼 .....	52
4.2.1	重疊服務區域段染色體解碼 .....	52
4.2.2	貨物裝載順序段染色體解碼 .....	53
4.2.3	擺放方向段之染色體解碼 .....	57
4.2.4	子空間堆疊法 .....	59
4.2.4.1	產生子空間 .....	60
4.2.4.2	子空間之更新 .....	61
4.2.5	車輛使用方式與解讀車輛路徑 .....	63
4.2.5.1	車輛使用方式 .....	63
4.2.5.2	解讀車輛路徑 .....	64
4.2.6	計算染色體之適應值 .....	65
4.3	運算子 .....	66
4.3.1	選擇 .....	66
4.3.2	交配 .....	68
4.3.3	突變 .....	74
4.4	終止條件 .....	77
<b>五、</b>	<b>實驗測試與結果 .....</b>	<b>78</b>
5.1	數據實驗設計 .....	78
5.2	一個「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題的求解 .....	80
5.3	敏感度分析 .....	80
5.2.1	有無運用廣義型重疊服務區域之比較 .....	84
5.2.2	不同包裝盒規格數之比較 .....	86
<b>六、</b>	<b>結論與建議 .....</b>	<b>89</b>
6.1	結論 .....	89
6.2	未來研究方向與建議 .....	90
	<b>參考文獻 .....</b>	<b>91</b>
	<b>附錄 A. 基因演算法最佳參數設定 .....</b>	<b>98</b>
A.1	迭代數 .....	98
A.2	染色體種群數量與交配率 .....	99
A.3	突變率 .....	103
A.4	菁英群組比例 .....	106
	<b>附錄 B、交配率與染色體數量參數測定數據 .....</b>	<b>109</b>



## 圖目錄

圖 1.1 鏈狀結構重疊服務區域示意圖.....	3
圖 1.2 廣義型重疊服務區域示意圖.....	4
圖 1.3 「給定無重疊服務區域」之車輛路徑問題文獻之決策情境示意圖.....	5
圖 1.4 本研究運用「廣義型重疊服務區域」之車輛路徑問題示意圖.....	6
圖 1.5 本研究之流程架構.....	7
圖 2.1 子空間法示意圖.....	10
圖 2.2 左下角點法示意圖.....	11
圖 2.3 內壁建立法示意圖.....	12
圖 2.4 車輛路徑問題示意圖.....	13
圖 3.1 貨物之可行擺放方向圖.....	23
圖 3.2 服務區域劃分與車輛使用之初始配置圖.....	25
圖 3.3 車輛實際使用示意圖.....	26
圖 3.4 在 3 個重疊服務區域之範例中 14 個客戶點之分布圖.....	29
圖 4.1 基因演算法架構圖.....	48
圖 4.2 基因演算法染色體貨物裝載順序第一階段解碼示意圖.....	54
圖 4.3 基因演算法染色體貨物裝載順序第二階段解碼示意圖.....	55
圖 4.4 基因演算法染色體貨物裝載順序第三階段解碼示意圖.....	56
圖 4.5 基因演算法染色體貨物裝載順序第四階段解碼示意圖.....	57
圖 4.6 子空間之示意圖 (a) $L_j > W_j$ (b) $L_j < W_j$ .....	61
圖 4.7 子空間之合併操作示意圖.....	62
圖 4.8 子空間之重新分區操作示意圖.....	62
圖 4.9 車輛使用數量之解碼示意圖.....	64
圖 4.10 車輛路徑解讀之解碼示意圖.....	65
圖 4.11 菁英競爭選擇法範例示意圖.....	68
圖 4.12 基因演算法染色體交配程序之可行切斷點.....	69
圖 4.13 基因演算法染色體重疊服務區域段交配示意圖.....	70
圖 4.14 基因演算法染色體貨物裝載順序段交配示意圖.....	72
圖 4.15 基因演算法染色體貨物裝載方向段交配示意圖.....	73
圖 4.16 基因演算法染色體重疊服務區域段突變示意圖.....	75
圖 4.17 基因演算法染色體貨物裝載順序段突變示意圖.....	76
圖 4.18 基因演算法染色體貨物裝載方向段突變示意圖.....	77
圖 5.3 「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題之客戶分布.....	80
圖 5.4 考量廣義型重疊服務區架構下例題之車輛路徑決策.....	83
圖 5.5 未考量廣義型重疊服務區架構下例題之車輛使用及路徑決策.....	84
圖 A.1 基因演算法各迭代數所測得之 10 組數據分布盒鬚圖.....	98
圖 A.2 基因演算法各迭代數所測得之平均成本折線圖.....	99

圖 A.3 在交配率 0.5 水準下各種群數量水準之 10 組數據分布盒鬚圖 .....	100
圖 A.4 在交配率 0.5 水準下各種群數量水準之平均成本折線圖 .....	101
圖 A.5 五種交配率-種群數量組合所測得之 10 組數據分布盒鬚圖 .....	102
圖 A.6 五種交配率-種群數量組合所測得之平均成本折線圖 .....	102
圖 A.7 疊服務區域段與貨物裝載順序段 5 種突變率之 10 組數據分布盒鬚圖 ..	104
圖 A.8 重疊服務區域段與貨物裝載順序段 5 種突變率所得之平均成本折線圖 ..	104
圖 A.9 貨物裝載方向段 5 種突變率所測得之 10 組數據分布盒鬚圖 .....	105
圖 A.10 貨物裝載方向段 5 種突變率所測得之平均成本折線圖 .....	106
圖 A.11 菁英群組比例 5 種水準所測得之 10 組數據分布盒鬚圖 .....	107
圖 A.12 菁英群組比例 5 種水準所測得之平均成本折線圖 .....	107
圖 B.1 基因演算法交配率 0.6 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖 ..	109
圖 B.2 基因演算法交配率 0.6 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖 ....	109
圖 B.3 基因演算法交配率 0.7 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖 ..	110
圖 B.4 基因演算法交配率 0.7 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖 ....	110
圖 B.5 基因演算法交配率 0.8 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖 ..	111
圖 B.6 基因演算法交配率 0.8 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖 ....	111
圖 B.7 基因演算法交配率 0.9 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖 ..	112
圖 B.8 基因演算法交配率 0.9 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖 ....	112



## 表目錄

表 2.1 聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題之文獻考量點比較表.....	16
表 2.2 聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題之文獻求解方法比較表.....	16
表 2.3 考量重疊服務區域文獻之比較.....	18
表 3.1 對應圖 3.4 之範例可行指派服務區域參數二元陣列表.....	30
表 3.2 對應圖 3.4 之範例客戶點可行指派區域範例參數表.....	30
表 3.3 對應圖 3.4 之貨物配送需求範例表.....	31
表 4.1 圖 3.4 範例中客戶點之配送需求.....	49
表 4.2 範例客戶點可行指派服務區域參數表.....	50
表 4.3 貨物編號、包裝盒種類及貨主之關係範例表.....	52
表 4.4 基因算法染色體形成範例示意表.....	52
表 4.5 基因演算法染色體重疊服務區域段編碼與所指派之服務區域.....	53
表 4.6 基因演算法染色體貨物擺放方向段之解碼.....	59
表 5.1 「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題之貨物需求資訊.....	81
表 A.1 基因演算法迭代數之成對 t 檢定結果.....	99
表 A.2 在交配率 0.5 水準下各鄰近種群數量水準組別之成對 t 檢定結果.....	101
表 A.3 基因演算法交配率-染色體數較佳組合成對 t 檢定結果.....	103
表 A.4 重疊服務區域段與貨物裝載順序段突變率成對 t 檢定結果.....	105
表 B.1 基因演算法交配率 0.6 下各染色體數量之成對 t 檢定結果.....	109
表 B.2 基因演算法交配率 0.7 下各染色體數量之成對 t 檢定結果.....	110
表 B.3 基因演算法交配率 0.8 下各染色體數量之成對 t 檢定結果.....	111
表 B.4 基因演算法交配率 0.9 下各染色體數量之成對 t 檢定結果.....	112
表 C.1 有無考量重疊服務區域之數據 ( $n = 31$ ).....	113
表 C.2 有無考量重疊服務區域之數據 ( $n = 37$ ).....	113
表 C.3 有無考量重疊服務區域之數據 ( $n = 43$ ).....	113
表 C.4 有無考量重疊服務區域之數據 ( $n = 49$ ).....	114

# 一、緒論

## 1.1 研究背景與動機

隨著網路平台蓬勃發展，物流快遞產業競爭愈發激烈，在面臨更多的貨物吞吐量以及對運送效率的要求下，責任的歸屬以及服務品質的維持是物流業者生存成敗的關鍵。其中，為使得業務能被熟悉操作，在實務運作上，物流快遞業者往往會依照地域條件給予物流士專屬的服務區域進行配送，以此讓物流士熟悉自身的作業區域並確保維持良好服務的品質。在文獻中，多數的研究在進行路線安排規劃時，對於每部卡車常事先給定服務區域範圍。往往因受限於事先給定「固定的」服務區域範圍，而可能產生較僵化的路線安排規劃的結果。故本研究針對物流快遞業者將貨物配送到顧客的服務過程，在物流士由場站出發完成配送作業後返回場站的情境基礎上，並對於物流士提出更具有彈性的所屬服務區域(即本研究所運用之「廣義型重疊服務區域」)之前提下，對車輛路徑安排以及貨物裝載之整合性問題進行探討。

物流快遞業者在每天的營運規劃中，必須進行「車輛路徑」及「貨物裝載」之兩項決策。在文獻的研究中，多數乃是在給定「固定的」服務區域劃分之前提下，對每位物流士各次派車之「車輛路徑」及該車所載運貨物「裝載」堆疊方式進行最佳決策，以最小化營運總成本。其中。車輛路徑問題(Vehicle Routing Problem; VRP)是在車輛容量的限制下，對每部車輛的拜訪需求節點進行排序安排以決策其運行路徑，在滿足所有客戶配送需求的前提下，最小化旅行成本或距離；文獻已證明此問題為一 NP-Hard 問題(Lenstra & Rinnooy, 1981)。

貨櫃裝載問題(Container Loading Problem)為將貨物進行放置排列組合之決策，以此達到卡車貨艙的最大空間使用率。依貨物特性一般可分為二維貨櫃裝載與三維貨櫃裝載兩種類型。前者多適用於大型機具、器材或易碎物品之運送，因其無法相互堆疊，在裝載時僅考慮貨物的長與寬的平面排列放置。三維貨櫃裝載問題乃考慮貨物的長、寬、高、

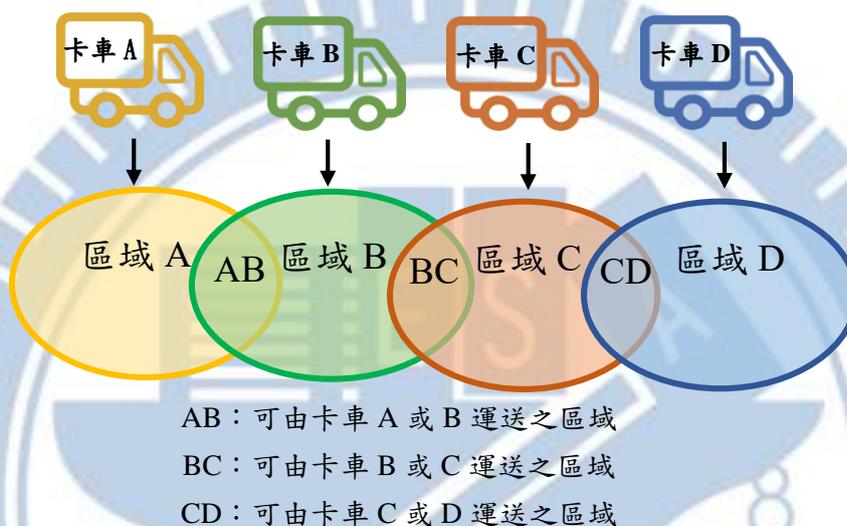
體積或重量，使貨物能在貨櫃中依照貨物堆疊之特性或限制進行可行之堆疊。這兩類貨櫃裝載問題皆已被證明為 NP-hard(Pisinger, 2002)。

如果同時考量車輛路徑安排及貨物裝載兩項決策，文獻中稱此類問題為「考量貨櫃裝載之車輛路徑問題」(Vehicle Routing Problem With Container Loading)。此一問題考慮車輛路徑及貨物裝載之間的連動關係，亦將「多卸貨點」之特性加入考量。意即物流士在進行配送業務時，必須考慮車輛路徑中拜訪客戶之先後順序，因此在裝載貨物的過程中，將屬於同一客戶的貨物靠近擺放。而且由於貨物在貨櫃中必須採取「先進後出」的原則。故先到達的客戶之貨物會擺放在靠近貨櫃外層以方便取出，且可避免因貨物卡在貨櫃內層難以直接拿出所造成的額外處理之卸貨成本(Bischoff & Ratcliff, 1995)。多卸貨點限制又可分為已知路徑和未知路徑兩類，前者為在已知客戶拜訪順序的情況下，僅需找出貨物於貨櫃內之最佳擺放位置即可(Lai et al., 1998 ; Bortfeldt et al., 2003 ; Bischoff, 2006 ; Liu et al., 2011 ; Bortfeldt, 2012 ; Lin et al., 2016) ，而後者則須共同考慮路徑旅行成本及貨物拿取成本，以找出最佳的車輛路徑及貨物放置位置 (Gendreau et al., 2006 ; Koloch & Kaminski, 2010 ; Lacomme et al., 2013 ; Junqueira & Morabito, 2015 ; Zhang et al., 2015 ; Männel & Bortfeldt, 2016)。

在文獻的研究中，物流士及其所駕駛的卡車僅配送其所指派「固定的」服務區域內之客戶(需求點)，通常不會越區提供配送服務。在「固定的」服務區域劃分下，由於各服務區域之物流士各司其職、互不干預，因受限服務區域界線之區隔，可能導致車輛路徑規劃缺乏彈性，無法運用最低營運成本進行貨物配送之情況。故本研究欲運用更有彈性的服務區域劃分方式，稱為「廣義型重疊服務區域」，協助物流公司在給定具重疊服務區域之前提下，探討考量貨櫃裝載之車輛路徑問題，以降低營運之成本。

「重疊服務區域」的概念由劉庭妤(2017)提出，其中兩個鄰近服務區域重疊部分之客戶，可由其兩個鄰近服務區域之卡車負責配送。因為劉庭妤(2017)所提出之重疊服務區域僅考慮兩個鄰近服務區域，故服務區域之劃分會形成鏈狀之結構，如圖 1.1 所示。位於鏈狀結構重疊服務區域 AB 之客戶，可由服務區域 A 或服務區域 B 之卡車進行服務;位於鏈狀結構重疊服務區域 BC 及 CD 之客戶，以此類推。

圖 1.1 鏈狀結構重疊服務區域示意圖



延伸此「鏈狀結構重疊服務區域」之概念，謝宗桓(2018)提出「廣義型重疊服務區域」，其中重疊服務區域允許多個服務區域相互重疊，且不限重疊服務區域涵蓋服務區域之數量；如圖 1.2 所示。位於重疊服務區域 h 之客戶可以由服務區域 1、服務區域 2、服務區域 3 或服務區域 4 之卡車進行配送服務，位於重疊服務區域 a、b、c、d、e、f 之客戶，皆以此類推。此一廣義型重疊服務區域之概念增加卡車車輛路徑規劃的彈性，也可能提高卡車貨櫃的空間使用率，進而減少配運之總卡車使用數量與成本。

而在給定具廣義型重疊服務區域之分區指派情境下，謝宗桓(2018)提出一車輛指派及車輛路徑決策之模式。其模式中加入體積及重量之裝載可行性限制，並允許在一服務區域內車輛運能不足時，可調用其他服務區域未使用之車輛或運用租用方式增加該服務區域可使用之車輛，提高給定分區下車輛使用之彈性，並達到營運總成本(包含車輛使用成本及車輛路徑成本)最小化之目標。

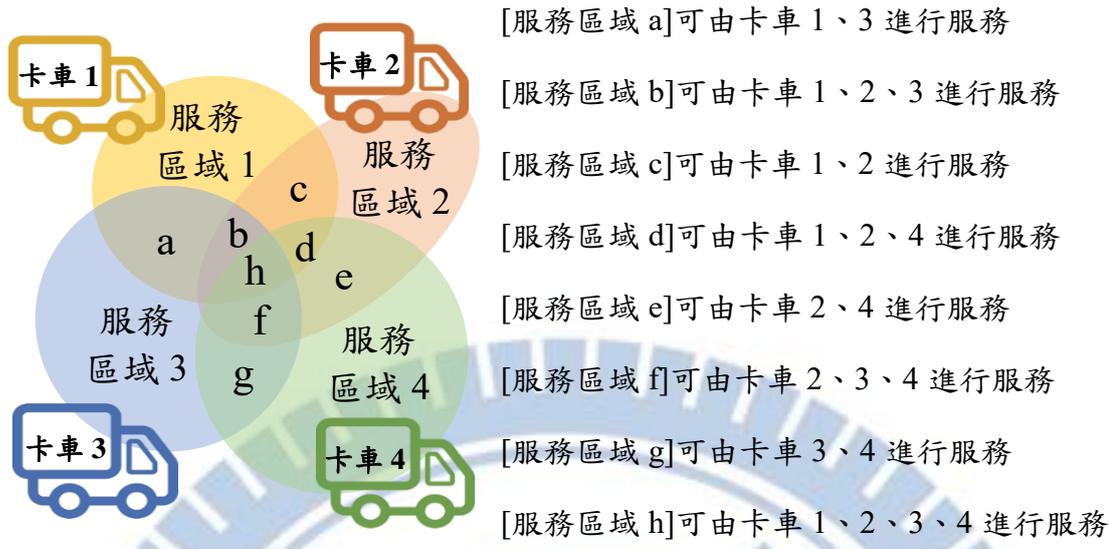


圖 1.2 廣義型重疊服務區域示意圖

本研究考量「車輛路徑問題」與「三維貨櫃裝載問題」提出一整合性營運規劃決策問題，將問題定義為「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」。在給定具重疊服務區域屬性之分區指派前提下，本研究將探討物流快遞公司針對車輛之指派、路徑規劃與三維貨櫃裝載進行最佳決策。

1.2 研究目的

本研究將針對「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」提出對應的數學模式與求解演算法，協助物流快遞公司達到最小化營運總成本。

過去文獻之研究所探討之車輛路徑問題多為「給定無重疊服務區域」之車輛路徑問題如圖 1.3 所示。在圖 1.3 的圖例中有編號 1 到 14 共 14 個客戶，給定其分屬三個互不重疊之服務區域，再對各服務區域內之客戶進行車輛路徑規劃求解，以達到營運成本最

小化之目標。

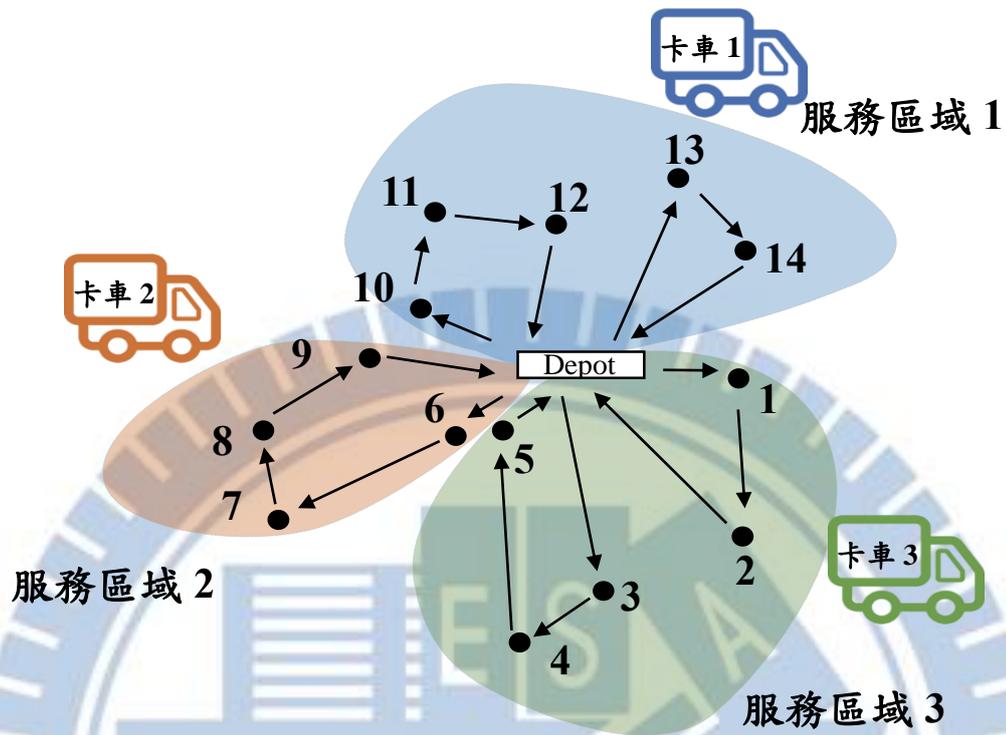


圖 1.3 「給定無重疊服務區域」之車輛路徑問題文獻之決策情境示意圖

本研究所探討之車輛路徑問題考量廣義型重疊服務區域如圖 1.4 所示。在圖 1.4 中同樣共有 1 到 14 共 14 個客戶點，因運用廣義型重疊服務區域之概念，產生三個相互重疊部分之服務區域。其中客戶點 1 可由服務區域 1 或服務區域 3 之卡車提供服務；客戶點 5 可由服務區域 1、服務區域 2 或服務區域 3 之卡車提供服務；客戶點 10 可由服務區域 1 或服務區域 2 之卡車提供服務。相較於圖 1.3 限制客戶點 1 只能由服務區域 1 提供服務；客戶點 5 只能由服務區域 3 之卡車提供服務；客戶點 10 只能由服務區域 2 之卡車提供服務，可發現本研究所運用之「廣義型重疊服務區域」概念對車輛路徑規劃安排具有更高的彈性。

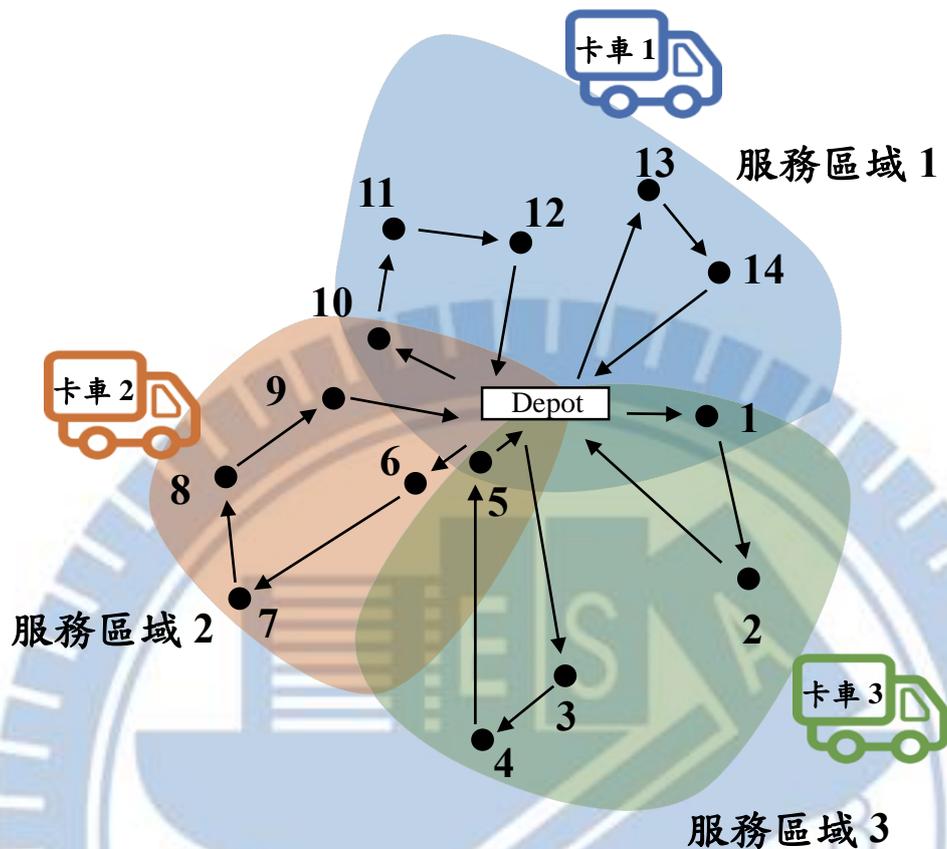


圖 1.4 本研究運用「廣義型重疊服務區域」之車輛路徑問題示意圖

目前關於求解考慮三維貨櫃裝載之車輛路徑問題的相關研究，皆無納入重疊服務區域之概念。因此本研究引用謝宗桓(2018)提出的廣義型重疊服務區域之概念，在給定廣義型服務區域之前提下，建構考慮三維貨櫃裝載之車輛路徑問題之數學模式。其數學模式相關之細節，將於第三章進行介紹。

另由於「車輛路徑規劃問題」與「三維貨櫃裝載問題」兩者本身皆為 NP-hard 問題，故本研究所探討之「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」，必定屬於難以使用數學模式直接求解之 NP-hard 問題。因此本研究計畫使用萬用啟發式演算法進行求解，期望在合理的運算時間下，協助物流快遞公司求得整合車輛安排及貨櫃裝載之決策。

### 1.3 論文架構

本論文之章節架構如圖 1.5 所示：



圖 1.5 本研究之流程架構

(1) 緒論

本章節先介紹物流快遞業者進行貨物配送之作業實務，說明本論文之研究動機與目的，介紹廣義型重疊服務區域之概念，並概述本論文各章節之架構。

(2) 文獻回顧

此章節將蒐集近年來探討貨櫃裝載問題、考量裝載限制之車輛路徑問題之文獻以及路網分區之車輛路徑問題，藉以分析及比較相關本論文研究議題之文獻與決策情境，確認本研究在相關文獻中之定位。

(3) 問題情境與數學模式

將針對本論文探討之考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題說明決策情境之相關細節，包含所運用之假設、考量之限制及成本計算之方式，

提出對應之數學模式。

(4) 求解方法

針對此問題，本研究將提出一基因演算法，依照考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題決策之特性，設計對應之編碼與解碼方式，選用適當之選擇機制與基因演算子，以利作為求解本問題之方法論。

(5) 實驗測試與結果

透過隨機數據實驗衡量本研究所提出基因演算法之求解效益，並再對參數設定進行敏感度分析，作為決策者運用本論文之基因演算法進行決策之參考。

(6) 結論與建議

彙整本研究之結果，並分析所提出之數學模式與演算法的益處，總結此論文之貢獻與不足並建議未來可行之研究方向。



## 二、文獻回顧

因為本論文的研究主題為「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」，在本章將針對四個相關主題的文獻進行回顧。在第 2.1 節先回顧三維貨物裝載問題，第 2.2 節再回顧傳統車輛路徑問題。然後在第 2.3 節回顧考量貨櫃裝載之車輛路徑問題，及於第 2.4 節回顧關於重疊服務區域的相關研究。最後，第 2.5 節彙整以上各個主題之文獻回顧。

### 2.1 三維貨櫃裝載問題

三維貨櫃裝載問題(Three-Dimensional Container Loading Problem)是貨物在運輸與儲存方面的重要課題，其牽涉到如何有效的使用現有空間裝載貨物，此問題可視為一幾何問題，目的在將三維之小物品指派裝配到三維的大物體中(Bortfeldt & Wäscher, 2013)，除此之外，三維空間裝載問題亦有諸多需要考量的限制，如 Bischoff and Ratcliff (1995) 就將三維裝載問題之限制分為以下 12 類：方向限制(Orientation constraints)、貨物承受重量之強度限制(Load bearing strength of items)、容易度與安全導向的擺放位置限制(Handling constraints)、負載穩定性限制(Load stability)、貨物分組限制(Grouping of items)、多卸貨點限制(Multi-drop situations)、分離擺放限制(Separation of items within a container)、完整運送限制(Complete shipment of certain item groups)、貨物優先運送限制(Shipment priorities)、貨物擺放之複雜性限制(Complexity of the loading arrangement)、貨櫃的載重限制(Container weight limit)與貨櫃內的重量分布限制(Weight distribution within a container)。

本研究所關切之貨物裝載問題可視為「多貨櫃裝載問題」，不同於文獻中多數探討單貨櫃裝載問題；如：Huang & He (2009)、Parreño et al. (2010)、Gonçalves & Resende (2012)、Bortfeldt & Wäscher (2013)與 Huang et al.(2016)。多貨櫃裝載問題主要研究如何將許多尺寸與重量不一的矩形貨物分裝至「多個」貨櫃中，這類的問題最早由 Ivancic et al.(1989)所提出，其以整數規劃為基礎發展一套演算法並成功地求解許多問題，獲得最低成本的最佳解。過去相關多貨櫃裝載問題之文獻中，Junqueira et al. (2012)以最大化整

體貨櫃空間使用率為目標，在建立一數學模式後，代入最佳化軟體進行求解；Zhu et al. (2012) 以最小化貨櫃使用數為目標，並使用列生成演算法 (Column generation algorithm) 進行求解；Ceschia and Schaerf (2013) 以最小化整體使用成本(包含未能裝入貨物之懲罰成本、貨櫃之固定成本以及剩餘空間成本) 為目標，使用局部搜尋演算法 (local search metaheuristics) 得到比以往更優的解。而過去文獻中，對於貨物裝載之決策大多運用三種方法：(1) 子空間法 (Subvolume approach)、(2) 左下角點法 (Bottom-left corner approach) 及 (3) 內壁建立法 (Wall-building approach)，相關細節將於以下小節進行說明。

### 2.1.1 子空間法

子空間法(Subvolume approach)之主要概念為在一貨物被裝載進一空間後，可依據該貨物的長、寬及高三個邊，進而在剩餘空間中生成三個子空間，如圖 2.1 所示。每裝載一個貨物後，即會增加三個子空間( $subv_1, subv_2, subv_3$ )，後再依貨物裝載之順序尋找可堆疊下一貨物的子空間，依序將貨物放置入空間中，然而此作法之優點為能確保貨物堆疊之穩定性並減少貨櫃裝載空間上之浪費。在劉庭妤(2017)論文中求解三維貨物裝載問題時，即使用基因演算法產生貨物裝載順序，再透過子空間法決定貨物擺放之位置。

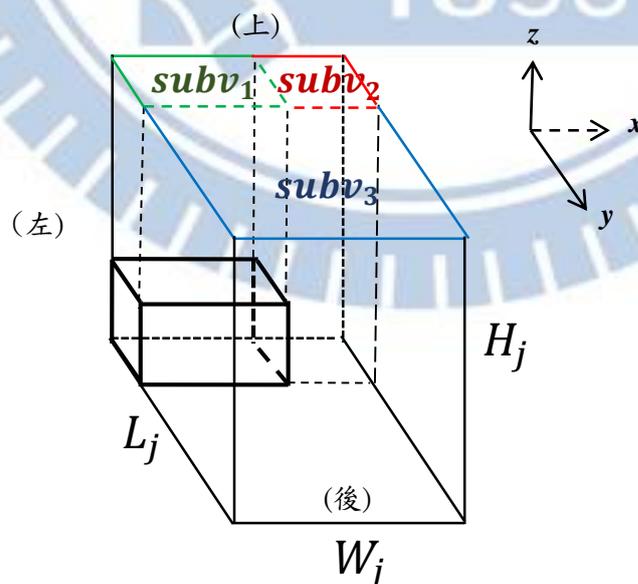


圖 2.1 子空間法示意圖

### 2.1.2 左下角點法

左下角點法(Bottom-left corner approach)將三維貨櫃中可供裝載之空間分別以座標標示其角點，如圖 2.2 所示，並將候選角點的位置依其「前後」、「左右」、「上下」三個比較順序，意即其座標中之三個維度的比較順序，將各個角點排列成一系列順位之候選順序，並在選定擺放貨物後依此角點之候選順位擺放，此方法之優點為能使貨物靠近同一側或同一角落方向放置，可減少零碎子空間之產生，Ceschia et al. (2013)使用此方法求解三維貨櫃裝載問題。

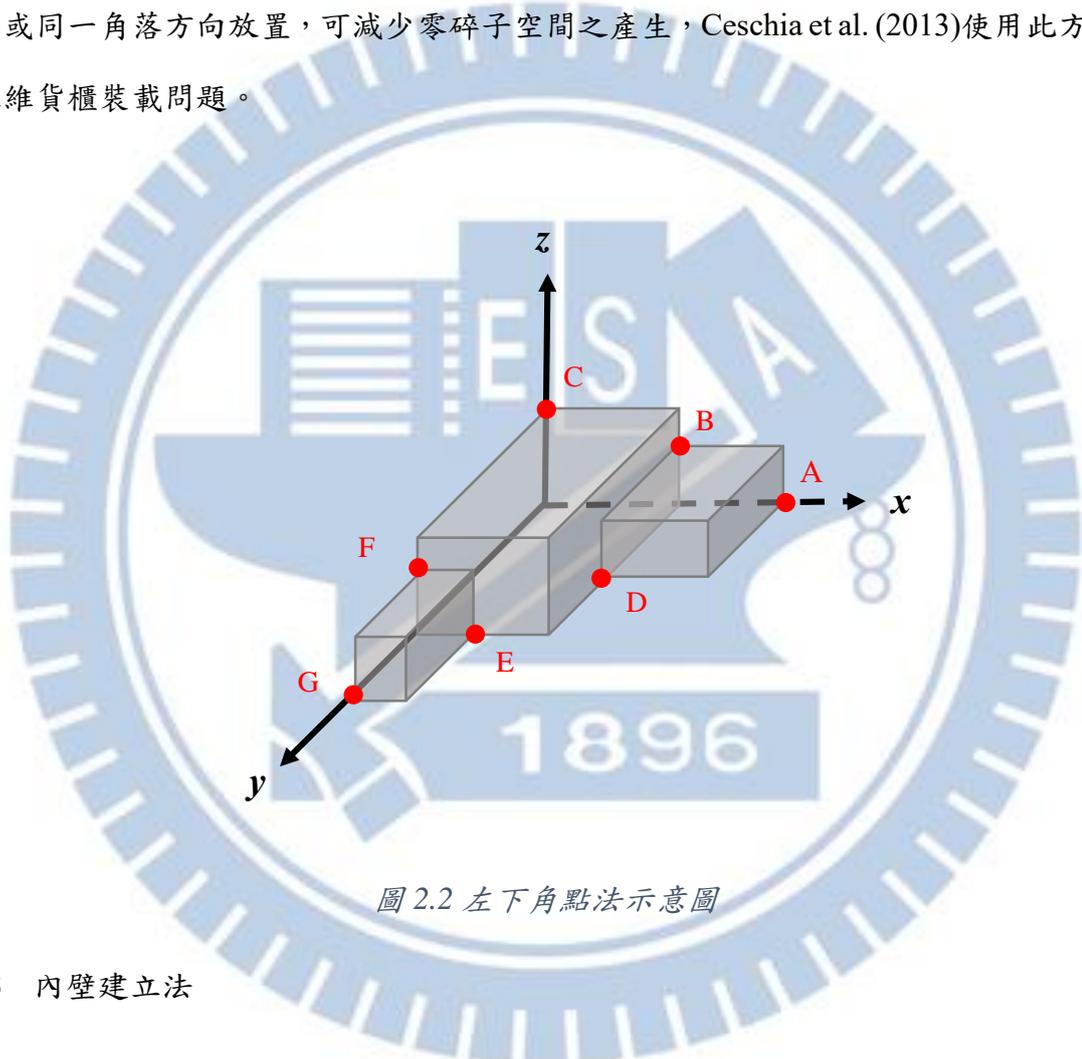


圖 2.2 左下角點法示意圖

### 2.1.3 內壁建立法

內壁建立法(Wall-building approach)由 George & Robinson (1980)所提出，其主要為將貨櫃之長型空間分層，意即將空間切割為一片一片的方式放置於貨櫃內，如圖 2.3 所示。此方法中設定每一層空間的寬與高都與貨櫃之寬與高相等，而裝載目標為在該層所需之長度中，盡可能提升空間使用率。然而此種堆疊模式因各個層面皆會產生剩餘之空間，因此堆疊較不穩定，且較容易發生零碎空間之浪費。但此種裝載模式較容易考量路

線上服務客戶之順序，意即較不易產生卸貨時所造成不必要之貨物移動；參見 Bischoff & Marriott (1990)、Gehring et al.(1990)與 Hemminki(1994)運用使用此方法來解決裝載的問題。

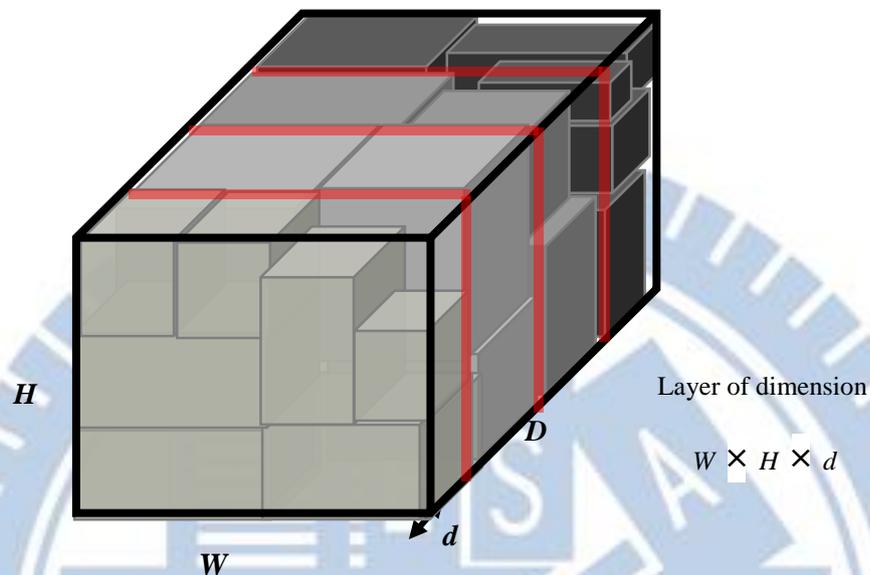


圖 2.3 內壁建立法示意圖

本研究主要採用于空間法與左下角點法結合之方式，參見：Jin et al. (2004)、Liu et al. (2011)與 Lin et al. (2016)。在裝載貨物並將其擺放於子空間時，將貨物左下角緊靠子空間之左下角點擺放，藉此既可減少零碎空間之產生，又可兼顧貨物擺放之穩定性，提升貨櫃的裝載率以達到降低貨物配送成本的目標。

## 2.2 車輛路徑問題

車輛路徑問題(Vehicle Routing Problem; VRP)最早由 Dantzig & Ramser (1959)所提出，為解決物流公司對貨物進行派送服務時產生之路徑安排問題，物流中心須利用其車隊安排適當之車輛路徑，以達成所有配送需求均被滿足之情況下，最小化物流公司配送總成本之目標，而車輛路徑問題有其基本條件之限制：

- (1) 每輛車必須從場站(Depot)出發並返回場站
- (2) 每個客戶僅允許被服務一次且每條路徑僅能指派一輛車

(3) 每個客戶都必須完成服務

傳統車輛路徑問題為單場站(Single-depot)、同質性之車種(Homogeneous fleet)之模型，不考慮時間窗(Time windows)、週期性(Period)、隨機需求(Stochastic demand)及分割交貨(Split deliveries)等假設，並且只考慮單一收貨或送貨之情況，車輛路徑問題如圖 2.4 所示。在圖 2.4 中的每個客戶（客戶 A~L）均被卡車服務並且恰好只被服務一次，每輛卡車也都由場站出發並回到場站。除上述基本限制外，為更貼近現實考量，現今車輛路徑問題多加入車輛之容量限制，為考量容量限制之車輛路徑問題(Capacitated VRP; CVRP)，同時也是最常見的車輛路徑問題類型。根據 Braekers et al. (2016)在 2009 年至 2015 年間的統計，約有 90%的文獻將容量限制列入以車輛路徑問題為研究主體之考量限制當中。隨著時間演進，為更貼近現實情況，更多研究提出各種車輛路徑問題之延伸類型(Laporte, 2009)。以下將回顧與本研究議題，即「考量貨櫃裝載之車輛路徑問題」(VRP with Container Loading Constraints)之相關文獻。

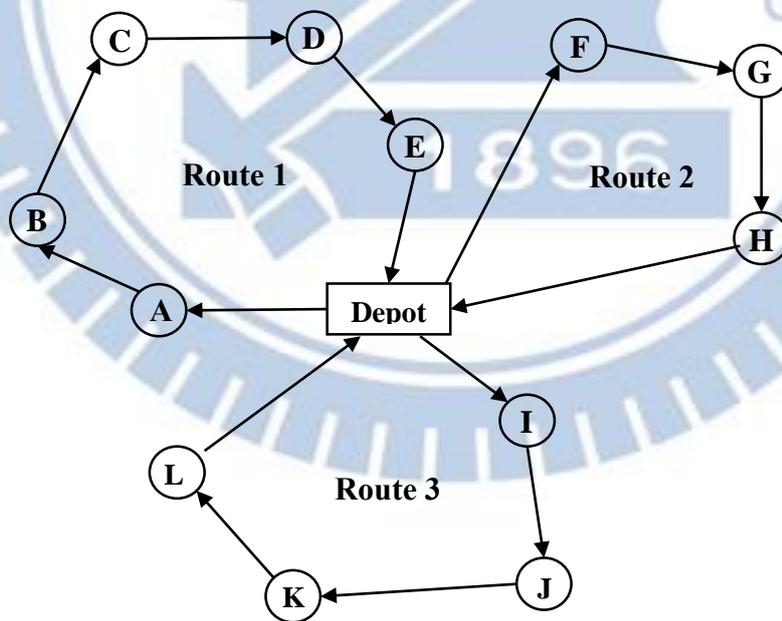


圖 2.4 車輛路徑問題示意圖

### 2.3 聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題

聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題(Container Loading and Vehicle Routing Problem)由 Gendreau et al.(2006)所提出，為考量貨櫃裝載及車輛路徑問題之整合性問題。因其問題為考量容量限制之車輛路徑問題之延伸，乃將容量限制更細分為長度、寬度、高度、體積或重量等維度進行考量，故其又可將此問題細分定義為考量二維裝載容量之車輛路徑問題(Two-dimensional Loading Capacitated Vehicle Routing Problem, 2L-CVRP)或是考量三維裝載容量之車輛路徑問題(Three-dimensional Loading Capacitated Vehicle Routing Problem, 3L-CVRP)兩種類型。前者考量貨櫃之長及寬限制，後者考量貨櫃之長、寬及高、限制。

在考量二維裝載容量之車輛路徑問題(2L-CVRP)文獻中，Shen et al. (2012)以最小化營運成本(包含車輛使用成本與車輛路徑成本)為目標，並提出一基因演算法求解貨物之裝載及車輛路徑之安排。其假設貨物由同質性之車種進行配送，且在車輛貨櫃中只能以單一方向進行擺放。Leung et al. (2013) 同樣以最小化營運成本(包含車輛使用成本與車輛路徑成本)為目標，並提出一模擬退火法求解貨物之裝載及車輛路徑之安排。其假設貨物由同質性之車種進行配送，且在車輛貨櫃中只能以單一方向進行擺放。Côté et al. (2017) 以最小化車輛路徑成本為目標，提出一數學模式求解貨物之裝載及車輛路徑之安排，其同樣假設貨物由同質性之車種進行配送，只能以單一方向擺放於車輛貨櫃中。

在考量三維裝載容量之車輛路徑問題(3L-CVRP)文獻中，Gendreau et al.(2006) 以最小化車輛路徑成本為目標，提出一禁忌搜尋法求解貨物之裝載及車輛路徑之安排。其中假設貨物由同質性之車種進行配送，且在車輛貨櫃中只能以兩種方向進行擺放，在貨物堆疊過程中須考量脆弱物之堆疊情況以及貨物之垂直穩固性，意即貨物下方不允許產生懸空的情況。Miao et al. (2012) 以最小化營運成本(包含車輛使用成本與車輛路徑成本)為目標，提出一混和式基因演算法求解貨物之裝載及車輛路徑之安排。同樣假設貨物由同質性之車種進行配送，且在車輛貨櫃中只能以兩種方向進行擺放，在貨物堆疊過程中須考量脆弱物之堆疊情況以及貨物之垂直穩固性。Bortfeldt & Homberger (2013) 以最小

化營運成本(包含車輛使用成本與車輛路徑成本)為目標，提出一兩階段啟發式解法求解貨物之裝載及車輛路徑之安排。其中假設貨物皆由同質性之車種進行配送並允許至多六種貨物之擺放方向，在貨物堆疊過程中須考量脆弱物之堆疊情況以及貨物之垂直穩固性。Ceschia et al. (2013) 以最小化營運成本(包含車輛使用成本與車輛路徑成本)為目標，並提出一局部搜索啟發式解法求解貨物之裝載及車輛路徑之安排。其假設貨物可由異質性車種進行配送，且在車輛貨櫃中有四種方向進行擺放，在貨物堆疊過程中須考量脆弱物之堆疊情況以及貨物之垂直穩固性。劉庭妤(2017)在考量三維裝載容量車輛路徑問題中加入鏈狀重疊服務區域之分區概念，在已知車輛路徑及分區劃分下進行貨物裝載之決策，提出一基因演算法進行求解，以最大化平均貨櫃空間使用率為目標。假設貨物皆由同質性之車種進行配送，且在車輛貨櫃中至多有六種方向可進行擺放，在貨物堆疊過程中須考量脆弱物之堆疊情況以及貨物之垂直穩固性，同時貨物只能由被指派之區域之車輛進行配送。針對以上之文獻，可發現多數文獻僅假設二至四種貨物擺放之方向，且未將服務區域列入考量。而本研究與過去文獻之差異為：假設至多有六種貨物擺放方向，並在考量具廣義型重疊服務區域之分區架構下，針對「車輛路徑」及「貨物裝載」此兩項決策進行求解。

在探討聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題時，通常會依問題考量的廣度，就車輛路徑、卸貨的順序、脆弱物能否堆疊。例如：Gendreau et al. (2006)、Miao et al. (2012)、Bortfeldt & Homberger (2013) 與 Männel & Bortfeldt (2016) 皆限制一脆弱物上，只允許堆放其他脆弱物，以確保堆疊的垂直穩固性。而在貨物擺放方向方面，長方體貨物有長、寬、高三個維度與正面、反面兩個方向，共六種放置與堆疊的方式。然而通常就研究之假設分為允許旋轉與反轉的「六向」、僅允許旋轉的「四向」、僅允許旋轉 90 度的「二向」以及固定方向的「一向」四種類別，而相關文獻之各個考量點的比較如表 2.1 所示。

表 2.1 聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題之文獻考量點比較表

文獻	裝載維度	未知車輛路徑	卸貨順序	脆弱物堆疊	重疊服務區域	貨物擺放方向
本研究	三維	V	V		V	6
Côté et al. (2017)	二維	V	V			1
Leung et al. (2013)	二維	V	V			1
Shen et al. (2012)	二維	V	V			1
劉庭好 (2017)	三維		V		V	6
Bortfeldt & Homberger (2013)	三維	V	V	V		6
Ceschia et al. (2013)	三維	V	V	V		4
Miao et al. (2012)	三維	V	V	V		2
Gendreau et al. (2006)	三維	V	V	V		2

由於貨櫃裝載與車輛路徑兩項問題都是 NP-Hard 問題，此一整合兩者問題之求解難度更甚(Iori& Martello, 2010)，因此過去文獻多使用啟發式演算法進行求解，彙整如表 2.2。

表 2.2 聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題之文獻求解方法比較表

文獻	裝載維度	求解方法
本研究	三維	基因演算法
Côté et al. (2017)	二維	數學規劃
Leung et al. (2013)	二維	模擬退火法
Shen et al. (2012)	二維	基因演算法
劉庭好 (2017)	三維	基因演算法
Bortfeldt & Homberger (2013)	三維	兩階段啟發式解法
Ceschia et al. (2013)	三維	局部搜索啟發式解法
Miao et al. (2012)	三維	混和式基因演算法
Gendreau et al. (2006)	三維	禁忌搜尋法

## 2.4 關於重疊服務區域的相關研究

文獻中分區問題與車輛路徑問題結合之研究主要建構在分區未知的情況下，探討如何將全域切割為若干子區域，再針對各子區域內之拜訪需求點進行車輛路徑之求解，以提升長期營運之效益。普遍在設計區域時會以各區域內由單台車輛提供服務為情境假設，意即每個分區中僅有一輛車，並且區域之間無重疊情況(Non-Overlapping)。此類問題中，目標多為最小化長期營運總成本，其研究之重點主要在於區域設計與預期成本之計算方式。路網分區也應用多方面的問題，包含：(1)考量收送貨情況之車輛路徑問題(Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery, VRPPD)，參見：Bard et al. (2009), González-Ramírez et al. (2011) 及 González-Ramírez et al. (2017)、(2) 具時窗限制之車輛路徑問題 (Vehicle Routing Problem with Time Deadline, VRPTD)，參見：Schneider et al. (2014)、(3) 保安人員之分區巡邏路線問題 (*Districting and Routing Problem for Security Control, DRPSC*)，參見：Prischink (2016) 與 (4) 醫療照護服務分區個案問題，參見：Steiner et al., (2015)。

由上述文獻中之內容可發現，多數分區研究的文獻皆假設區域之間為無重疊(Non-Overlapping)情況。因為無重疊情況可能會造成車輛路線安排過於僵化，劉庭好(2017)提出一「鏈狀結構服務區域」(參見圖 1.1)，允許兩個服務區域之間有相互重疊，位於此重疊區域部分之客戶，可從此兩個服務區域之車輛擇一進行服務，以提高配送業務之安排彈性。其將此一概念帶入「考量三維裝載容量車輛路徑問題」(3L-CVRP)的決策情境，其以「最大化平均貨櫃空間使用率」為目標，在已知車輛路徑及具鏈狀結構重疊服務區域之分區劃分前提下，進行貨物裝載之決策。在決策情境中，假設每個服務區域指派一位物流士進行配送服務，並且貨物皆由同質性之車種進行配送。在貨物堆疊過程中，須考量個別貨物之長、寬、高及體積使否符合裝載可行性，同時貨物只能由被指派之區域之車輛進行配送。劉庭好(2017)提出一基因演算法，求解此一問題。

謝宗桓(2018)延伸鏈狀結構重疊服務區域之概念，提出「廣義型重疊服務區域」。每

一重疊服務區域允許多個（可超過 2 個）服務區域相互重疊，且不限制重疊服務區域涵蓋服務區域之數量(參見圖 1.2)，以更加提高配送業務之安排彈性。謝宗桓(2018)將此一概念代入至「考量容量限制之車輛路徑問題」(CVRP)，其以最小化營運成本(包含車輛使用成本及車輛路徑成本)為目標，並在具廣義型重疊服務區域之分區前提下，進行車輛路徑之決策。在決策情境中，關於車輛之使用方式，假設貨物皆由同質性之車種進行配送，並預先指派每個服務區域給定數量之車輛進行配送服務。若服務區域之既有車輛無法滿足所有配送需求，則將調派其他服務區域之空間車輛進行支援，並在所有公司自有車輛皆用罄仍然無法滿足所有配送需求的情況下，透過租用車輛之方式以完成所有配送服務。而在貨物裝載過程中須考量貨物體積及重量使否符合裝載可行性，同樣限制貨物只能由被指派之區域之車輛進行配送。針對此一問題謝宗桓(2018)建立線性整數規劃模式，並提出基因演算法進行求解。

針對本研究與上述兩篇考量重疊服務區域之文獻進行比較，期間的差異彙整如表 2.3。

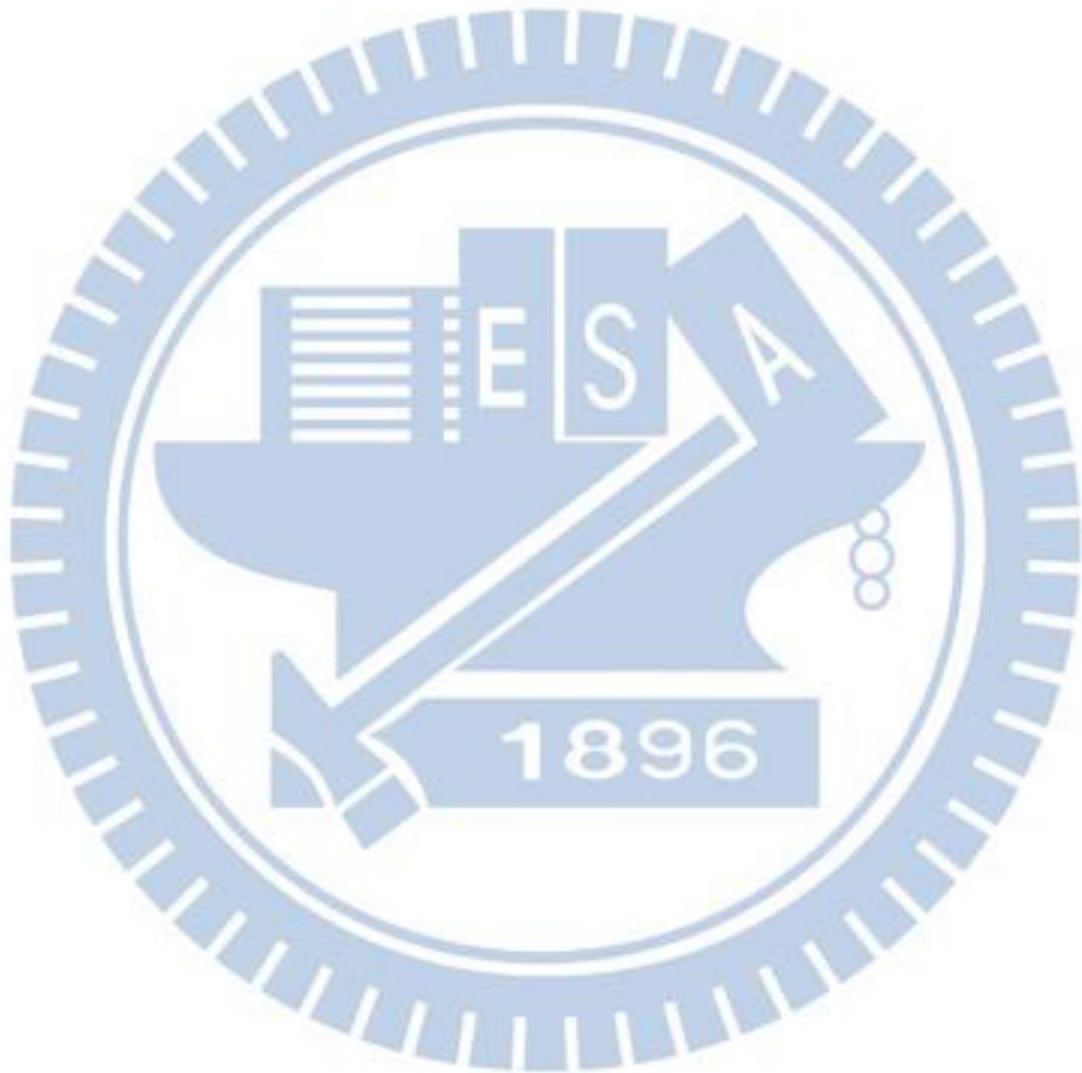
表 2.3 考量重疊服務區域文獻之比較

	問題類型	重疊服務區域	目標式	決策項		貨物裝載之限制考量					求解方法
				車輛路徑	貨物堆疊	長	寬	高	體積	重量	
本研究	3L-CVRP	廣義型	最小化營運總成本	V	V	V	V	V	V		基因演算法
劉庭好(2017)	3L-CVRP	鏈狀結構	最大化平均貨櫃空間使用率		V	V	V	V	V		基因演算法
謝宗桓(2018)	CVRP	廣義型	最小化營運總成本	V					V	V	基因演算法

## 2.5 小結

觀察針對以上三個主題所整理的文獻後，可以發現本研究與以往文獻之主要差異為在考慮三維貨櫃裝載之車輛問題文獻中，導入廣義型重疊服務區域之分區概念，期望可以找出更佳之路線安排及貨物裝載決策。而從過去考慮三維貨櫃裝載之車輛問題文獻中，可發現此類研究多以發展啟發式演算法作為其解決問題之方法論。而 Shen et al. (2012) 指出在求解考量貨櫃裝載容量之車輛路徑問題中，基因演算法擁有優異求解效能，並且可以在合理的時間完成求解。除此之外，廣義型重疊服務區域的資料結構，在基因演算

法中運用特殊的編碼方式，可直觀地描述客戶所屬分區，故基因演算法的演算程序也易與廣義型重疊服務區域整合，故本研究運用基因演算法作為求解方法。



### 三、 決策情境與數學模式

本研究欲解決之問題為「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」，將探討在已知客戶分布及具廣義型重疊服務區域之分區指派下，整合考量車輛路徑規劃安排與三維貨櫃裝載此兩者之決策模式，以達到營運總成本最小化之目標。本章將於 3.1 小節進行問題情境之基本介紹，再於 3.2 小節以條列式方式說明情境之假設與限制，並於 3.3 小節對目標之成本值計算及使用之決策變數進行描述，最後 3.4 及 3.5 小節為本研究針對此一問題所提出之數學模式及其相關細節解釋。

#### 3.1 情境說明

在本研究之問題情境中，決策者為物流快遞業者，而其決策目標為如何在給定各客戶其可行服務區域下，如何指派車輛路徑及貨物裝載方式，以提供更有效之營運表現，本研究將問題情境細分為基本決策環境、車輛路徑規劃決策及三維貨櫃裝載決策等三部分進行描述。

##### (1)基本決策之環境

本研究假設該物流快遞業者擁有單一倉儲配送場站(Depot)及自有卡車  $\Phi$  輛，並給定共  $|M|$  個可具有重疊部分之服務區域( $M$  為所有服務區域之集合)，針對單一客戶允許其可被多個服務區域所涵蓋。本研究假設共有  $n$  個已知客戶，且物流業者共提供有  $b$  種形式之包裝盒，而針對個別規格種類包裝盒而言，每個客戶  $i$  的需求量為  $B_k^i$  即允許客戶擁有 1 件以上貨物需要配送服務。

##### (2)車輛路徑規劃之決策情境

本研究在路徑規劃之情境中，假設在重疊服務區域內客戶之貨物，可由任一重疊服務區域之車輛進行配送，而不在重疊服務區域之貨物，則優先由該服務區域之車輛進行配送。對於任一客戶必須由同一輛車輛進行配送服務，不允許該客戶之貨物分批進行配送。在配送過程中，所有的配送車輛均自該場站出發進行配送服務，並在服務完排定之

車輛路徑上所有客戶後返回該場站。(本研究將單一車輛從場站出發進行配送服務，再返回場站之一次流程稱為「單次出車」。) 參照物流快遞業者之實務作業情況，一般而言，在一給定工作期間內(半天班)，各物流士只會進行單次出車，因此本研究假設每輛車輛都以單次出車方式出勤。

### (3)三維貨櫃裝載之決策情境.

本研究以  $B_k^i$  表示客戶  $i$  對第  $k$  種包裝盒所包裝之貨物需求量，為考慮其三維貨櫃裝載之限制，避免發生貨物堆疊之方式超過車輛貨櫃容納許可之情況。其貨物之裝載以一位客戶為單位進行，並以不違背路徑之拜訪順序為裝載原則。裝卸貨順序採取「後進先出」(Last In First Out ; LIFO)之原則，意即車輛路徑上先訪問之客戶，其需求貨物必須最後裝載；反之車輛路徑上最後訪問之客戶，會優先被裝載上車，此一限制目的為避免產生額外處理之卸貨成本。

## 3.2 情境假設與限制

本研究相關決策情境之假設共有四大類別:基本情境假設、給定服務區域之假設、車輛路徑之假設和三維貨櫃裝載之假設，詳述如下：

- 本研究情境之基本假設：

- (1) 所有客戶  $i$  之位置及其所有包裝種類  $k$  之需求量  $B_k^i$  為已知。
- (2) 所有客戶之貨物裝卸貨與運送時貨物的毀損不列入考量範圍。
- (3) 包裝盒形狀皆為長方體，本研究不考慮不規則形狀之貨物。
- (4) 所有車輛(包括租用車輛)之規格，包含貨櫃長( $CL$ )、寬( $CW$ )、高( $CH$ )之資訊為已知。

- 給定服務區域之假設與限制:

- (1) 每一客戶之可行服務區域皆已知。

(2) (貨物所屬區域限制)每一客戶之貨物皆有所屬服務區域，服務區域可分為「非重疊服務區域」及「重疊服務區域」兩類。非重疊服務區域之貨物即由被指派到該服務區域之車輛進行配送服務，而位於重疊服務區域之貨物可指派所有重疊服務區域內之車輛進行配送服務。

(3) 本研究採用廣義型重疊服務區域，即允許多個服務區域相互重疊之情況。

● 車輛路徑之假設與限制：

- (1) 每輛車輛必須由原點(場站)出發，並且完成其車輛路徑中所有客戶之配送需求後返回原點。
- (2) 每個客戶之配送需求皆須被滿足。
- (3) 同一客戶之貨物必須裝載於同一輛車輛上，意即不允許分批裝載。
- (4) 如果該車輛進行派車，只允許進行單次出車。

● 三維貨櫃裝載之假設與限制：

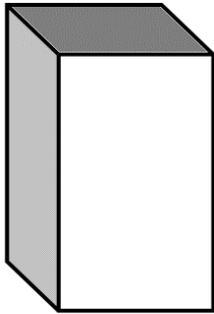
- (1) 所有車輛裝卸貨順序採「後進先出」之原則。
- (2) 貨物必須貼平貨櫃表面或下層貨物放置，並且貨物底面積與貨櫃表面或下層貨物之面積必須完全接觸。
- (3) 貨物裝載時不可超過車輛貨櫃的容積限制，包含車輛貨櫃長( $CL$ )、寬( $CW$ )、高( $CH$ )三個面向。
- (4) 每個客戶  $i$  的需求總體積不會超過一輛車輛貨櫃的體積容量限制，且每個包裝規格種類  $k$  包裝盒(貨物)之長( $l_k$ )、寬( $w_k$ )、高( $h_k$ )皆不會超過車輛貨櫃之長( $CL$ )、寬( $CW$ )、高( $CH$ )限制，意即不會有無法裝載的情況發生。

- (5) 每種規格之包裝盒都有限定其被允許之擺放方向，本研究考量長方體貨物至多 6 種擺放方向(如圖 3.1 所示)，包含(1)長 x 寬面向下，以橫向擺放，(2)長 x 高面向下，以橫向擺放，(3)寬 x 高面向下，以橫向擺放，(4)長 x 寬面向下，以直向擺放，(5)長 x 高面向下，以直向擺放，(6)寬 x 高面向下，以直向擺放。

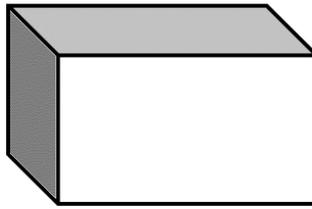
圖 3.1 貨物之可行擺放方向圖

● 橫向擺放

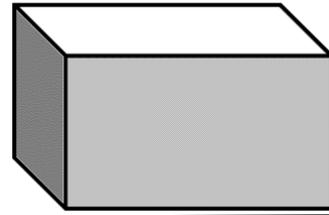
(1)長 x 寬面向下



(2)長 x 高面向下

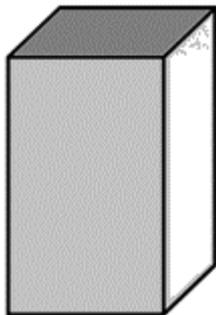


(3)寬 x 高面向下

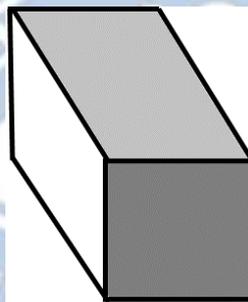


● 直向擺放

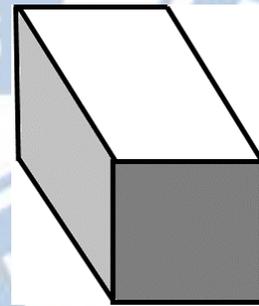
(4)長 x 寬面向下



(5)長 x 高面向下



(6)寬 x 高面向下



### 3.3 目標式與決策變數

#### 3.3.1 目標式之計算

本研究之「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」中，在預先給定服務區域劃分前提下，進行車輛路徑及貨物裝載決策，以達到最小化營運總成

本之目標。目標式中的營運總成本包含：(1)車輛固定成本(Fixed Cost)、(2)租用車輛成本(Rent Cost)及(3)車輛路徑成本(Routing Cost，以 1 元/單位距離為基本計算單位)。

一般而言，物流士及其所駕駛的卡車僅配送其所指派服務區域內之客戶，不會越區提供配送服務。而為解決車輛使用之僵化情況，本研究認為在有剩餘閒置車輛之情況下，貿然租用車輛而未使用公司自有車輛有違常理，因而優先使用自有車輛進行服務再以租用車輛方式支援，直到該服務區域內之所有客戶皆被服務。故本研究依據探討之分區情境將使用車輛之派車模式分為三種方式：(1) 使用該區域之公司自有車輛，(2) 使用其他區域之公司自有車輛，(3) 租用車輛。使用該區域之公司自有車輛每輛之固定單位成本為  $C^F$ ，使用其他區域之公司自有車輛之固定單位成本乃是在  $C^F$  之外每輛調度車輛另加  $C^B$  之調度單位成本，租用車輛之租用單位成本為  $C^R$ ；其中， $C^F < C^F + C^B < C^R$ 。為說明調度其他區域之公司自有車輛及租用車輛的機制，將運用圖 3.2 及圖 3.3 進行說明。

圖 3.2 中假設初始為給定 3 個服務區域及編號 1 到 14 共 14 個客戶之分布情況，且服務區域 1、3 各擁有公司自有車輛 1 輛，服務區域 2 擁有公司自有車輛 2 輛，其服務區域劃分與車輛使用之初始配置情形如圖 3.2 所示。倘若安排之車輛路徑如圖中所示，則服務區域 1、服務區域 2 與服務區域 3 所需之車輛數分別為 2 輛、1 輛和 2 輛，故可以明顯看出服務區域 1 及服務區域 3 皆不足 1 輛車，而區域 2 有 1 輛車閒置。為解決此供給不足情況，將透過調派其他服務區域中間置之車輛或使用租用方式取得所需車輛，支援該服務區域之配送服務作業。故在此範例中車輛實際使用情形如圖 3.3 所示；即先將原所屬服務區域 2 之車輛 (2-2) 調派至服務區域 1，其路徑涵蓋服務客戶 13 及 14，

再以租用方式獲取另一部車輛其路徑涵蓋服務區域 3 所負責客戶 3、4、5 之配送服務。

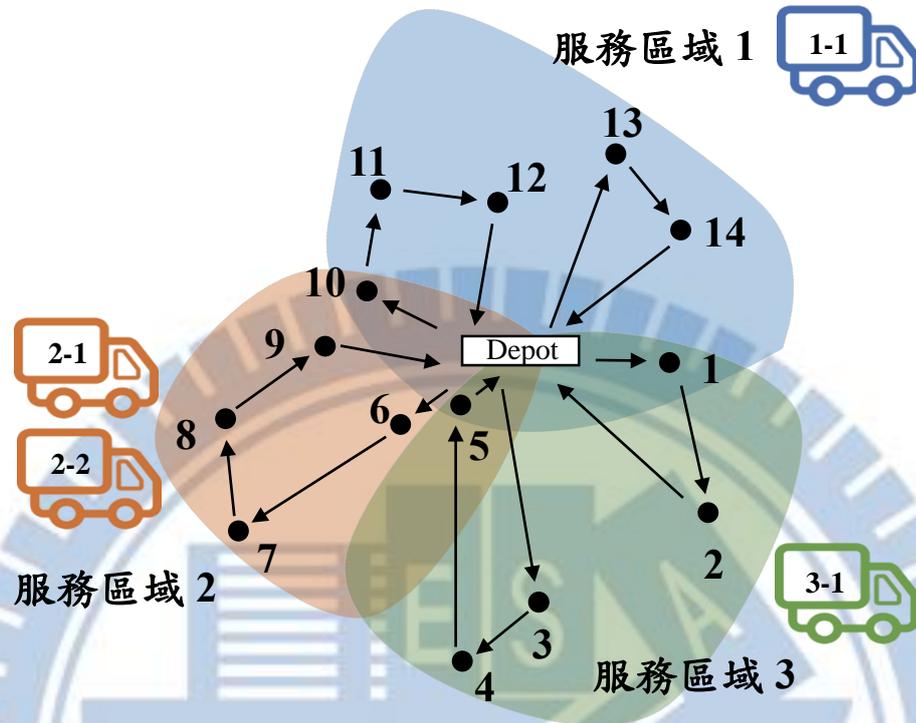


圖 3.2 服務區域劃分與車輛使用之初始配置圖

而以圖 3.3 之車輛實際使用情形為例，在目標式成本值之計算上，可分成三部分進行加總：(1)車輛固定成本及調度成本：從圖 3.3 中，可發現共使用 4 輛公司自有車輛進行配送，其中有 1 輛車輛由原屬服務區域 2 調派至服務區域 1 進行支援，故車輛固定成本及調度成本值為  $4 \cdot C^F + 1 \cdot C^B$ ，(2)車輛租用成本：同樣從圖 3.3 中，可發現使用租用方式額外新增 1 輛車輛進行配送，故車輛租用成本值為  $1 \cdot C^R$ ，(3)車輛路徑成本：可由 5 輛車輛所移動之路徑距離總和求得。將此三部分成本值加總即可得出以圖 3.3 為例之營運總成本值。

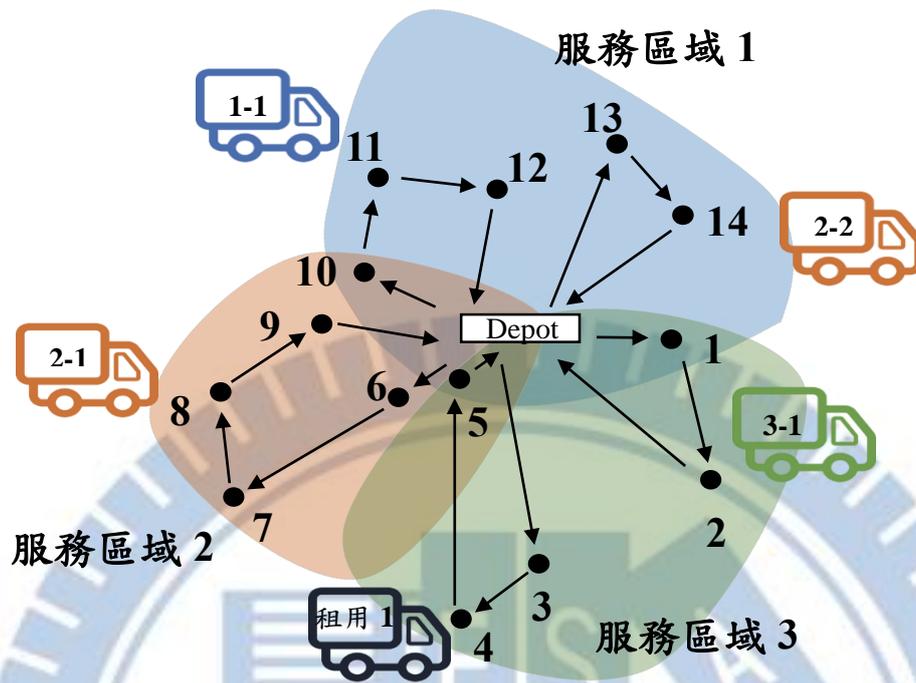


圖 3.3 車輛實際使用示意圖

### 3.3.2 決策變數

本研究決策變數可分為兩部分：

- (1) 車輛路徑規劃安排決策: (a)決定各服務區域內客戶(以節點表示)之間的連線是否有車輛路徑通過，依此來計算車輛路徑之運行成本；(b)為滿足各服務區域之配送需求之前提下，決定是否需要調派其他服務區域車輛或運用租用車輛之方式，依此來計算車輛調度及車輛租用之成本。
- (2) 三維貨櫃裝載決策: 為在考量拜訪順序之情況下，進行貨物放置於貨櫃內位置及方向之決策。

### 3.4 數學模式符號定義說明

此章節將介紹本研究針對此一「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」所提出之數學規劃模式所用之集合、參數與變數。此數學規劃模式以

Junqueira et al. (2012)針對聯合貨櫃裝載與車輛路徑問題所提出之數學規劃模式為基礎，本研究再延伸加入廣義型重疊服務區域之考量。另由於此問題複雜度較高，在以下之數學模式中，本研究僅考慮運用單一固定之方向擺放貨物，並於第四章演算法三維貨櫃裝載之決策過程中再允許多種貨物擺放方向。

● 索引符號說明

- $i, j, l$  : 節點(包含客戶點及場站)  
 $m$  : 服務區域  
 $v$  : 車輛  
 $t, u$  : 時窗階段  
 $k$  : 包裝盒種類  
 $x$  : X 軸座標位置  
 $y$  : Y 軸座標位置  
 $z$  : Z 軸座標位置

● 集合說明

- $I$  : 所有客戶之集合， $I \equiv \{1, \dots, n\}$ (共有  $n$  個已知客戶)  
 $M$  : 服務區域集合  
 $C^m$  : 服務區域  $m$  可行服務客戶點集合，

$$C^m \subset I, \bigcup_{m \in M} C^m = I \quad \forall m \in M$$

兩服務區域之可行服務客戶點集合未必無交集

- $V$  : 車輛集合；最大可能車輛數可設為客戶點之總數量  
 $T$  : 時窗階段集合， $T \equiv \{1, \dots, n, n+1\}$   
 $B$  : 包裝盒種類集合， $B \equiv \{1, \dots, b\}$   
 $X^m$  : 第  $m$  區負責之配送貨櫃中，所有規格包裝盒之前端可能 x 軸座標位置

$$X^m = \left\{ x : x = \sum_{k \in B} \varepsilon_k \cdot l_k, 0 \leq x \leq CL - \min_k l_k, \quad \forall m \in M \right.$$

$$\left. 0 \leq \varepsilon_k \leq \sum_{i \in C^m} B_k^i \text{ 且為整數} \right\}$$

$Y^m$  : 第  $m$  區負責之配送貨櫃中, 所有規格包裝盒之前端可能  $y$  軸座標位置

$$Y^m = \left\{ y: y = \sum_{k \in B} \varepsilon_k \cdot w_k, \quad 0 \leq x \leq CW - \min_k w_k, \right. \\ \left. 0 \leq \varepsilon_k \leq \sum_{i \in C^m} B_k^i \text{ 且為整數} \right\} \quad \forall m \in M$$

$Z^m$  : 第  $m$  區負責之配送貨櫃中, 所有規格包裝盒之前端可能  $z$  軸座標位置

$$Z^m = \left\{ x: x = \sum_{k \in B} \varepsilon_k \cdot h_k, \quad 0 \leq x \leq CH - \min_k h_k, \right. \\ \left. 0 \leq \varepsilon_k \leq \sum_{i \in C^m} B_k^i \text{ 且為整數} \right\} \quad \forall m \in M$$

$X_k^m$  : 第  $m$  區負責之配送貨櫃中, 第  $k$  種規格包裝盒之前端可能  $x$  軸座標位置

$$\forall m \in M, k \in B$$

$$X_k^m = \{x \in X^m : 0 \leq x \leq CL - l_k\}$$

$Y_k^m$  : 第  $m$  區負責之配送貨櫃中, 第  $k$  種規格包裝盒之前端可能  $y$  軸座標位置

$$\forall m \in M, k \in B$$

$$Y_k^m = \{y \in Y^m : 0 \leq y \leq CW - w_k\}$$

$Z_k^m$  : 第  $m$  區負責之配送貨櫃中, 第  $k$  種規格包裝盒之前端可能  $z$  軸座標位置

$$\forall m \in M, k \in B$$

$$Z_k^m = \{z \in Z^m : 0 \leq z \leq CH - h_k\}$$

● 參數符號說明

$D$  : 物流公司場站(Depot)

$C_{ij}$  : 車輛自節點  $i$  行駛至節點  $j$  之成本, 其中  $C_{ij} = C_{ji} \quad \forall i, j \in I \cup \{D\}$

$L$  : 大數

$Q$  : 貨櫃容量體積上限( $Q = CL \cdot CW \cdot CH$ ) (長·寬·高)

$C^F$  : 自有車輛固定成本(單位:元)

$C^B$  : 自有車輛調度成本(單位:元)

$C^R$  : 租用車輛成本(單位:元)

$r_m^i$  : 其值為 1 時, 表客戶點  $i$  可被指派到服務區域  $m$  之車輛服務, 反之則為 0

$B_k^i$  : 客戶點  $i$  其第  $k$  種包裝盒之需求數

- $d_i$  : 客戶點  $i$  之需求貨物總體積( $d_i = \sum_{k \in B} l_k \cdot w_k \cdot h_k \cdot B_k^i$ )
- $\Phi$  : 物流業者自有車輛總數
- $\varphi^m$  : 指派到服務區域  $m$  之自有車輛數( $\Phi = \sum_{m \in M} \varphi^m$ )

● 變數說明

- $w_{ijm}^{vt}$  : 二元決策變數，其值為 1 時，表屬於服務區域  $m$  之第  $v$  輛車在時窗階段  $t$  會從點  $i$  移動到點  $j$ ；若無則為 0。
- $u_{xyz}^{ikmvt}$  : 二元決策變數，其值為 1 時，表有一屬於客戶  $i$  之第  $k$  種包裝貨物擺放於服務區域  $m$  之第  $v$  輛車載貨櫃之  $(x,y,z)$  座標(以左前下角點為基準)，在時窗階段  $t$  時進行卸貨；若無則為 0。
- $L'_{imv}$  : 針對多卸貨點限制所訂定之整數變數，表服務區域  $m$  第  $v$  輛車所裝載屬客戶  $i$  貨物  $x$  軸放置末端位置之最大值

其中  $r_m^i$  為一代表可行指派服務區域之二元參數，其值為 1 時，代表  $i$  客戶點可由指派到服務區域  $m$  之車輛進行配送服務；反之其值為 0。以圖 3.4(含 3 個分區及 14 個客戶點)之客戶點 1 為例，其位於服務區域 1 與服務區域 3 之重疊範圍，故可將其參數值標示為  $r_1^1 = 1$ 、 $r_2^1 = 0$  和  $r_3^1 = 1$ ，其餘客戶點之參數值則依此類推；本範例中所有的  $r_m^i$  值可彙整如表 3.1。

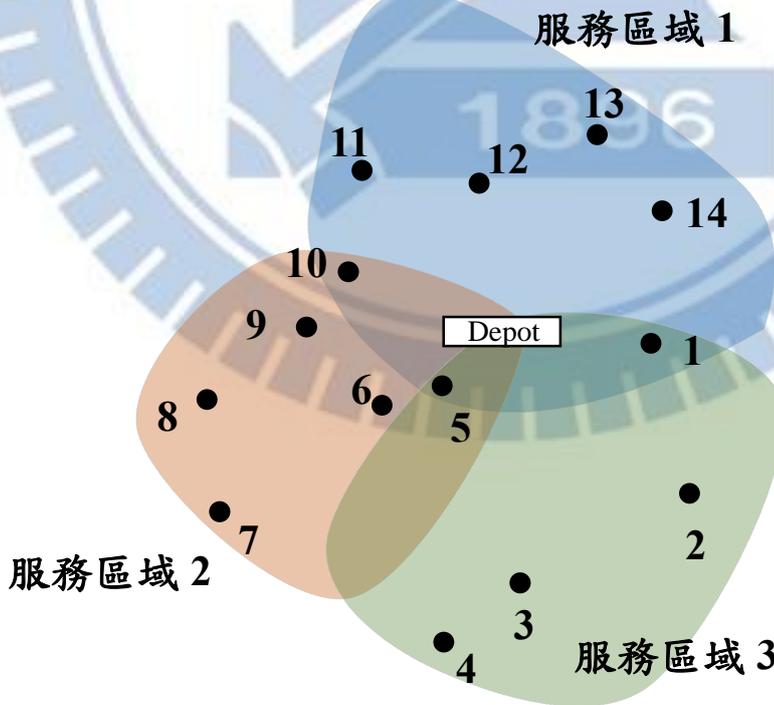


圖 3.4 在 3 個重疊服務區域之範例中 14 個客戶點之分布圖

表 3.1 對應圖 3.4 之範例可行指派服務區域參數二元陣列表

客戶 $i$ / 服務區域 $m$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

另  $X^m$ 、 $Y^m$  及  $Z^m$  為針對貨物裝載決策所訂定之參數集合，代表服務區域  $m$  內之卡車貨櫃中，其擺放貨物時所有規格包裝盒之貨物其前端可能  $x$ 、 $y$  及  $z$  座標位置，以利進行貨物裝載放置之決策。在訂定此集合之前，需預先辨別各服務區域之可行服務客戶點。運用圖 3.4 為例，各服務區域之可行配送客戶點彙整如表 3.2。其中服務區域 3 可以配送客戶點 1、2、3、4 及 5 之需求貨物，即  $C^3 \equiv \{1,2,3,4,5\}$ 。於服務區域 3 之單次出車時，在考量單一貨櫃體積之限制下，其卡車貨櫃中將裝載此 5 位客戶之全部(或部分)貨物，在所有可行擺放組合中選擇其中一種進行貨物之擺放。

表 3.2 對應圖 3.4 之範例客戶點可行指派區域範例參數表

服務區域 $m$	1	2	3
可負責配送服務之客戶集合 $C^m$	1	5	1
	5	6	2
	10	7	3
	11	8	4
	12	9	5
	13	10	
	14		

假設物流快遞公司之貨櫃規格為 12 x 6 x 6(以長 x 寬 x 高表示)，並提供 3 種規格之包裝盒：規格 1(2 x 6 x 6)，規格 2 (3 x 6 x 6)，規格 3(6 x 6 x 6)。以表 3.2

中服務區域 3 為例，假設客戶 1、2、3、4 及 5 之 3 種規格之貨物需求如下表 3.3 所示。

表 3.3 對應圖 3.4 之貨物配送需求範例表

客戶 $i$	1	2	3	4	5
貨物需求 (個別以包裝盒規格種類表示)	規格 2 ( $B_2^1 = 1$ )	規格 2 ( $B_2^2 = 1$ )	規格 1 ( $B_1^3 = 1$ )	規格 2 ( $B_2^4 = 1$ )	規格 3 ( $B_3^5 = 1$ )
	規格 3 ( $B_3^1 = 1$ )				
貨物總數 $\sum_{k \in B} B_k^i$	2	1	1	1	1

在此範例中，可發現服務區域 3 可能配送的貨物為規格 1 包裝盒 1 個、規格 2 包裝盒 3 個及規格 3 包裝盒 2 個。則此範例之三維貨櫃裝載必須在符合單一貨櫃體積之限制下，將此 6 個包裝盒從可行擺放之排列組合中，選擇一種進行擺放；其擺放方式本研究運用  $x$ 、 $y$  及  $z$  軸 3 個維度的可能擺放前端位置進行標示。以服務區域 3 之  $x$  軸向所有規格之貨物可能擺放前端位置(  $X^3$  )進行說明，此 6 個包裝盒在貨櫃中  $x$  軸全部共 14 種擺放之排列組合如圖 3.5 所示。以第一種擺放方式為例：為將兩個規格 3 (長度為 6) 之包裝盒前後依序擺放，可剛好滿足貨櫃之長度裝載許可(長度為 12)，故可發現在此種擺放情況下，貨物在  $x$  軸之可能擺放前端位置包含 0 (第一個規格 3 包裝盒之前端位置)及 6 (第二個規格 3 包裝盒之前端位置)，將剩餘 13 種擺放方式依此類推，最終可得到所有規格包裝盒在  $x$  軸之所有可能擺放前端位置包含 0、2、3、5、6、8 及 9，故可將其數值記錄於  $X^3$ ，即  $X^3 \equiv \{ 0, 2, 3, 5, 6, 8, 9 \}$ 。根據圖 3.5，又可依照各種規格包裝盒之長、寬及高定義其可能擺放前端位置之集合；以長度為 2 之規格 1 包裝盒為例，規格 1 包裝盒在  $x$  軸之所有可能擺放前端位置包含 0、2、3、5、6、8 及 9，即  $X_1^3 \equiv \{ 0, 2, 3, 5, 6, 8, 9 \}$ 。以此類推，對應規格 2 包裝盒之  $X_2^3 \equiv \{ 0, 2, 3, 5, 6, 8 \}$ ，對應規格 3 包裝盒之  $X_3^3 \equiv \{ 0, 2, 3, 5, 6 \}$ 。其餘  $y$  軸與  $z$  軸之可能擺放前端位置集合  $Y^m$ 、 $Y_k^m$ 、 $Z^m$  及  $Z_k^m$  之定義方式皆以此類推。

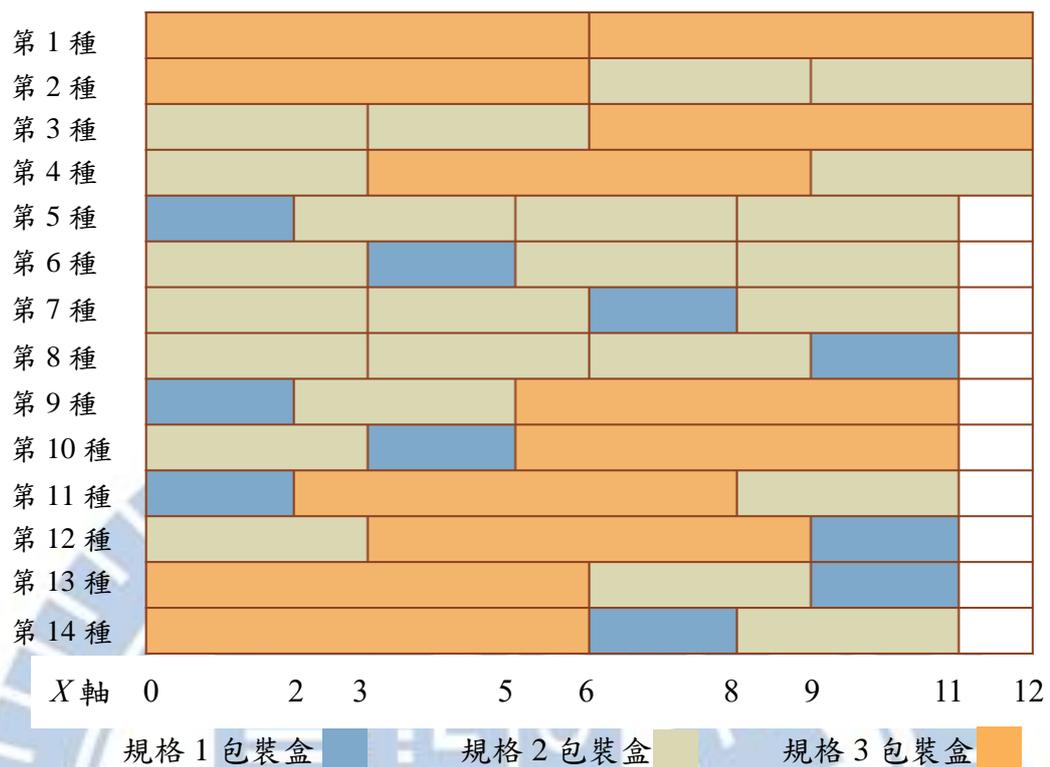


圖 3.5 x 軸擺放組合之裝載示意圖

### 3.5 數學模式

為避免數學模式之呈現過於複雜，本節之數學模式乃僅考慮運用單一固定方向之方式擺放貨物。(於第四章演算法三維貨櫃裝載之決策過程中再允許多種貨物擺放方向。)

本研究之決策情境中，決策者關切之目標函數為最小化營運總成本；其中營運總成本包含：(1)自有車輛固定成本及車輛調度成本、(2)租用車輛成本與(3)車輛路徑成本三個部分；各部分成本的推導討論如下：

(1)自有車輛固定成本及車輛調度成本：為計算自有車輛固定成本，必須先計算使用車輛之總數量。由於預先給定每輛車最多只能出車一次之限制，故每出車一次即代表需使用一輛車輛，因此我們可以藉由計算時窗第 1 階段從場站  $D$  出發之出車總次數  $(\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1})$  得出使用車輛之總數量。先將所有使用之車輛視為自有車輛，計算得自有車輛固定成本為  $C^F \cdot \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1}$ 。然後再判定各服務區域  $m$  之實際車輛使用數量是否超過原指派之車輛數  $(\sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} \geq \varphi^m)$ ；若有，則將增加派遣之

車輛先視為由其他服務區域調度之公司自有車輛，故因為增加派遣車輛所發生之車輛調度總成本為  $C^B \cdot \sum_{m \in M} \max(\sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \varphi^m, 0)$ 。

(2)租用車輛成本：為計算外租用車輛成本，必須先判定租用車輛之總數量。若總出車次數大於公司自有車輛數( $\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} \geq \Phi$ )，則租用車輛之總數量為  $(\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \Phi)$ ；故租用車輛之總數量可以表示為  $\max(\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \Phi, 0)$ 。由於在(1)的車輛調度成本計算中，先將超過自有車隊數之車輛均視為自有車輛，故在租用車輛成本計算時，針對租用車輛應該加上「租用車輛單位成本與自有車輛固定單位成本加調度單位成本之差額」(即  $C^O - (C^F + C^B)$ )。故租用車輛成本可表示為  $\{C^O - (C^F + C^B)\} \cdot \max(\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \Phi, 0)$ 。

(3)車輛路徑成本：若服務區域  $m$  之車輛  $v$  的車輛路徑在時窗階段  $t$  由節點  $i$  行駛至節點  $j$ ，則  $w_{ijm}^{vt} = 1$  且發生車輛路徑成本  $C_{ij} \cdot w_{ijm}^{vt}$ ，故服務區域  $m$  之車輛  $v$  的車輛路徑總成本為  $\sum_{t \in T} \sum_{i, j \in I \cup D} C_{ij} \cdot w_{ijm}^{vt}$ 。所有區域之所有車輛之車輛路徑成本可表示為  $\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{i, j \in I \cup D} C_{ij} \cdot w_{ijm}^{vt}$ 。

加總上述三部分之成本即可得營運總成本( $TC$ )，表示如下：

$$\begin{aligned}
 TC & (w_{ijm}^{vt}, u_{xyz}^{ikmvt}) \\
 & = C^F \cdot \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} + C^B \\
 & \cdot \sum_{m \in M} \max \left( \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \varphi^m, 0 \right) + \{C^O - (C^F + C^B)\} \\
 & \cdot \max \left( \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \Phi, 0 \right) + \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{i, j \in I \cup D} C_{ij} \cdot w_{ijm}^{vt}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

以下將對在數學模式中，為針對車輛運行路徑所提出之 6 項決策限制，各別進行細節之介紹：

(1)客戶拜訪次數之限制：其限制針對各個客戶點  $i$  而言，其必剛好只被一服務區域之其中一輛車在其中一個時窗階段離開並前往下一客戶點或返回場站  $D$ 。因為  $w_{ijm}^{vt}$

表示服務區域  $m$  之第  $v$  車輛在時窗階段  $t$  是否會從點  $i$  到點  $j$ ，故對於所有服務區域( $m$ )、所有車輛( $v$ )在所有時窗階段( $t$ )從節點  $i$  離開是否到達節點  $j$  (包含  $I$  中的其他客戶點  $j$  及場站  $D$ )，必須且僅能發生其中一種情況，故對於可表示為(3.2)式：

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{j \in I \setminus \{i\} \cup D} w_{ijm}^{vt} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

(2)路徑拜訪時窗連結之限制：為確保若車輛在時窗階段  $t$  從一節點  $i$  到達客戶點  $l$ ，則在時窗階段( $t+1$ )必會從客戶點  $l$  離開前往下一節點  $j$ 。因公式(3.2)已限制每位客戶只會被拜訪一次即  $\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{j \in I \cup D} w_{ijm}^{vt} = 1$ ，故到達客戶點  $l$  之時窗階段可以  $\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T/\{n+1\}} \sum_{l \in I \cup D} t \cdot w_{ilm}^{vt}$  表示。以此類推，由客戶點  $l$  之離開時窗階段可以  $\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T/\{1\}} \sum_{j \in I \cup D} t \cdot w_{ljm}^{vt}$  表示。因為以上二值是以客戶點  $l$  為時窗分界點，其時窗階段差值必等於 1，故可表示為(3.3)式：

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T/\{1\}} \sum_{j \in I \cup D} t \cdot w_{ljm}^{vt} - \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T/\{n+1\}} \sum_{l \in I \cup D} t \cdot w_{ilm}^{vt} = 1 \quad \forall l \in I \quad (3.3)$$

(3)出車次數限制：限制每輛車最多只能從場站  $D$  進行出車一次，意即針對各個服務區域  $m$  之第  $v$  輛車而言，其在時窗 1 階段(出車階段)從場站  $D$  出發到達某一客戶點  $j$  之路徑至多只能為 1 條，若 0 則代表無使用此輛卡車進行配送。將此限制表示於(3.4)式：

$$\sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} \leq 1 \quad \forall m \in M; v \in V \quad (3.4)$$

(4)可行指派服務區域限制：為確保只有在客戶點  $i$  與客戶點  $j$  皆可被同一服務區域  $m$  之同一車輛  $v$  所服務時，則客戶點  $i$  與  $j$  方可形成車輛路徑中之連結。此限制以(3.5)式表示如下：

$$L \cdot (w_{ijm}^{vt} - 1) + 2 \leq r_m^i + r_m^j \quad \forall m \in M; v \in V; t \in T \setminus \{1\}; i, j \in I \quad (3.5)$$

若客戶點  $i$  可被指派給服務區域  $m$  之車輛進行服務，則  $r_m^i$  為 1，反之則為 0， $r_m^j$  亦然如此。驗證(3.5)式可分為以下兩種情況：

- (1) 當  $r_m^i + r_m^j$  之值為 0 或 1 時：代表客戶點  $i$  及客戶點  $j$  無法皆被服務區域  $m$  之車輛所服務，則此兩客戶點間必然不允許有路徑相連，即對於所有的車輛( $v$ )在所有時窗階段( $t$ )  $w_{ijm}^{vt}$  必為 0。(3.5)式之左邊算式  $L \cdot (w_{ijm}^{vt} - 1)$  必為極小之負值，故(3.5)式得以成立。
- (2) 若  $r_m^i + r_m^j$  之值為 2 時：代表客戶點  $i$  及客戶點  $j$  皆可被同一服務區域  $m$  之車輛所服務，則可允許  $i$  及  $j$  兩點之間形成路徑中之連結，但因為車輛路徑中客戶點  $i$  不必然直接連結客戶點  $j$ ，故  $w_{ijm}^{vt}$  可為 0 或 1。在  $w_{ijm}^{vt}$  為 0 時，(3.5)式之左邊算式  $L \cdot (w_{ijm}^{vt} - 1)$  必為極小之負值，故(3.5)式得以成立；在  $w_{ijm}^{vt}$  為 1 時，(3.5)式之左邊算式  $L \cdot (w_{ijm}^{vt} - 1)$  為 0，(3.5)式因  $2 = 2$  而成立。

(5)流量守恆限制: 為確保針對任一客戶點  $l$  其流量守恆。因(3.2)式限制每位客戶點  $l$  只能被拜訪一次，又因(3.3)式限制到達與離開客戶點  $l$  之兩時窗差值必等於 1。因此對各客戶點  $l$  而言，其路徑之運行必有一條到達(進)及一條離開(出)，故若在時窗階段  $t$ ，服務區域  $m$  之第  $v$  輛車從上一節點  $i$  到達客戶點  $l$  ( $w_{ilm}^{vt} = 1$ )，則在時窗  $t + 1$  階段，此輛車必將從客戶點  $l$  離開並移動至下一節點  $j$  ( $w_{ljm}^{v(t+1)} = 1$ )。兩者之差值必為 0，故可以(3.6)式表示如下:

$$\sum_{j \in I \cup D} w_{ljm}^{v(t+1)} - \sum_{i \in I \cup D} w_{ilm}^{vt} = 0 \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; \\ v \in V; \\ t \in T \setminus \{n + 1\}; \\ l \in I; \end{array} \quad (3.6)$$

(6)車輛貨櫃之體積限制：為確保針對各別服務區域  $m$  之第  $v$  輛車而言，其在整個配送時程中(考量全部時窗階段下)，其裝載貨物能符合貨櫃之體積限制。意即針對服務區域  $m$  之第  $v$  輛車所運行路徑中拜訪之客戶，其需求貨物體積總和即  $\sum_{t \in T} \sum_{\substack{i \in I \\ j \in I \cup D}} d_i \cdot w_{ijm}^{vt}$  必小於卡車貨櫃之體積  $Q$ ，得以符合裝載之可行性，故可以(3.7)式表示如下:

$$\sum_{t \in T} \sum_{\substack{i \in I \\ j \in I \cup D}} d_i \cdot w_{ijm}^{vt} \leq Q \quad \forall \quad \begin{matrix} m \in M; \\ v \in V \end{matrix} \quad (3.7)$$

另由於在數學模式中，本研究採用兩決策變數分別為車輛路徑決策變數 $w_{ijm}^{vt}$ 及貨櫃裝載決策變數 $u_{xyz}^{jkmvt}$ 。在時窗階段 $t$ 時進行由服務區域 $m$ 第 $v$ 輛車所裝載屬於客戶 $j$ 之卸貨總件數，必須等於在時窗階段 $t$ 時，由服務區域 $m$ 第 $v$ 輛車所裝載屬客戶 $j$ 的貨物之應卸貨總件數，可用(3.8)式進行表示：

$$\sum_{k \in B} \sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{jkmvt} = \sum_{i \in I \cup D} \sum_{k \in B} B_k^j \cdot w_{ijm}^{vt} \quad \forall \quad \begin{matrix} m \in M; v \in V; \\ t \in T \setminus \{n+1\}; \\ j \in I \end{matrix} \quad (3.8)$$

在等式左方之 $u_{xyz}^{jkmvt}$ 表有一屬於客戶 $j$ 之第 $k$ 種包裝貨物擺放於服務區域 $m$ 之車輛 $v$ 貨櫃之 $(x,y,z)$ 座標(以左前下角點為基準)，在時窗階段 $t$ 時進行卸貨，而 $(X_k^m, Y_k^m, Z_k^m)$ 表示服務區域 $m$ 負責之配送貨櫃中，第 $k$ 種包裝盒之前端可行 $(x,y,z)$ 軸座標位置之集合，故 $\sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{jkmvt}$ 即為服務區域 $m$ 之車輛 $v$ ，在時窗階段 $t$ 時進行屬於客戶 $j$ 之第 $k$ 種包裝貨物卸貨之總件數。故在時窗階段 $t$ 時進行屬於客戶 $j$ 之卸貨總件數為 $\sum_{k \in B} \sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{jkmvt}$ 。(對所有包裝種類進行加總)。在等式右方， $B_k^j$ 表示客戶點 $j$ 其第 $k$ 種規格包裝盒之需求數，針對任一客戶點 $j$ 而言，假設其在時窗階段 $t$ 時，由服務區域 $m$ 之第 $v$ 輛車從上一節點 $i$ 到達此點並將所屬客戶 $j$ 之貨物(包含考量所有包裝盒種類( $k$ ))進行卸貨( $w_{ijm}^{vt} = 1$ )。故 $B_k^j \cdot w_{ijm}^{vt}$ 則表示在時窗階段 $t$ ，由服務區域 $m$ 之第 $v$ 輛車從上一節點 $i$ 到達客戶點 $j$ 其第 $k$ 種包裝盒之應卸貨件數；對於所有節點 $i$ 及包裝盒種類進行加總( $\sum_{i \in I} \sum_{k \in B} B_k^j \cdot w_{ijm}^{vt}$ ，即等式右方)，乃表示在時窗階段 $t$ 時，由服務區域 $m$ 第 $v$ 輛車所裝載屬客戶 $j$ 的貨物之應卸貨總件數。

以下將逐條說明數學模式中所提出針對貨物裝載之4項決策限制：

(1) 貨物裝載需求滿足限制：針對任一客戶  $i$  而言，必須滿足其各規格貨物之配送需求，以(3.9)式表示：

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{ikmvt} = B_k^i \quad \forall \begin{matrix} i \in I; \\ k \in B \end{matrix} \quad (3.9)$$

$\sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{ikmvt}$  為在時窗階段  $t$  時，由服務區域  $m$  第  $v$  輛車所裝載屬客戶  $i$  第  $k$  種包裝盒之卸貨總件數，故考量所有服務區域( $m$ )、所有車輛( $v$ )在所有時窗( $t$ )進行所屬客戶  $i$  的第  $k$  種包裝盒之總卸貨件/次數可以等式左方即

$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{ikmvt}$  表示。等式右方  $B_k^i$  表示為客戶點  $i$  其第  $k$  種包裝盒之需求數。故針對整個配送流程中，其分屬各客戶之各包裝盒卸貨件數必須符合其需求數量，得以滿足配送之需求。

(2) 禁止空間重疊限制：為確保貨櫃中貨物在空間上沒有重疊，以符合現實之裝載情況，可以(3.10)式表示：

$$\sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{i \in I} \sum_{k \in B} \sum_{\substack{x \in X_k^m: x' - l_k + 1 \leq x \leq x' \\ y \in Y_k^m: y' - w_k + 1 \leq y \leq y' \\ z \in Z_k^m: z' - h_k + 1 \leq z \leq z'}} u_{xyz}^{ikmvt} \leq 1 \quad \forall \begin{matrix} m \in M; v \in V; \\ x' \in X^m; y' \in Y^m \\ z' \in Z^m \end{matrix} \quad (3.10)$$

假設有一貨物可能擺放「前端位置」(即貨物之「左前下角點」)為  $(x', y', z')$ ，向左前下方回推一虛擬貨物 A (第  $k$  種包裝盒)之擺放空間，如圖 3.6 所示。若  $(x', y', z')$  為貨物 A (第  $k$  種包裝盒)之擺放末端位置(即貨物 A 之「右後上角點」)，則貨物 A (第  $k$  種包裝盒)之擺放前端位置即為  $(x' - l_k, y' - w_k, z' - h_k)$ 。故針對  $x$  軸： $x' - l_k + 1$  到  $x'$ ； $y$  軸： $y' - w_k + 1$  到  $y'$ ； $z$  軸： $z' - h_k + 1$  到  $z'$ ，此三維格點組合所形成之虛擬貨物 A 內部長方體空間(如圖 3.6 中紅色長方體所示)。

$\sum_{\{x \in X_k^m: x' - l_k + 1 \leq x \leq x'\}} \sum_{\{y \in Y_k^m: y' - w_k + 1 \leq y \leq y'\}} \sum_{\{z \in Z_k^m: z' - h_k + 1 \leq z \leq z'\}} u_{xyz}^{ikmvt}$  代表在時窗階段  $t$ ，位

於服務區域  $m$  第  $v$  輛車內部由  $x$  軸： $x' - l_k + 1$  到  $x'$ ； $y$  軸： $y' - w_k + 1$  到  $y'$ ； $z$  軸： $z' - h_k + 1$  到  $z'$ ，所圍成之長方體空間之所屬客戶  $i$  其第  $k$  種包裝盒之卸貨數。故若針對所有時窗階段( $t$ )、所有客戶( $i$ )及所有包裝種類( $k$ )進行加總，即可得知共有多少件貨物(以左前下角點為基準)被擺放在此紅色長方體空間中。故其空間內擺放貨物數可以不等式(3.10)左方(即

$\sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{i \in I} \sum_{k \in B} \sum_{\{x \in X_k^m : x' - l_k + 1 \leq x \leq x'\}} \sum_{\{y \in Y_k^m : y' - w_k + 1 \leq y \leq y'\}} \sum_{\{z \in Z_k^m : z' - h_k + 1 \leq z \leq z'\}} u_{xyz}^{ikmvt}$ )表示；不等式(3.10)設定該值不大於 1，其意義為令此空間(紅色長方體空間)中至多只允許存在一個貨物之擺放(以左前下角點為基準)，意即至多只有一個貨物之空間涵蓋到貨物可能前端放置座標點  $(x', y', z')$ ，以避免空間中有貨物重疊之情況發生。

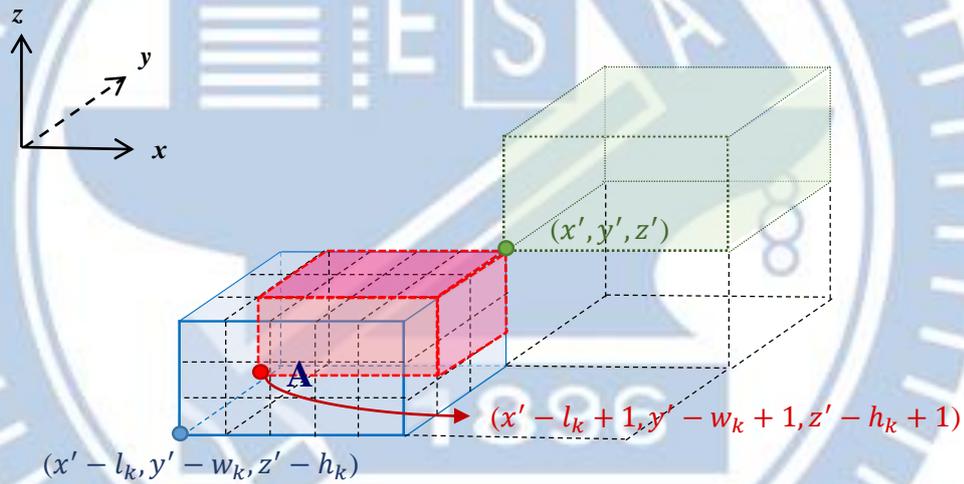


圖 3.6 貨物空間重疊限制示意圖

(3)垂直穩固性限制：為確保貨物底部皆被百分之百支撐，以維持貨物堆疊於貨櫃中之穩定性，可以(3.11)式表示。假設貨櫃中有兩上下堆疊之貨物 A 及 B 如圖 3.7 所示。其中上方貨物 A 為一第  $k$  種包裝盒，並擺放於座標  $(x, y, z)$ (以左前下角點為基準)，下方貨物 B 為一第  $p$  種包裝盒，擺放於座標  $(x'', y'', z - h_p)$ (以左前下角點為基準)。則此兩貨物在空間上接觸之面積可以  $L_{kp} \cdot W_{kp}$  (長 x 寬)表示；為取得貨物 A(第  $k$  種規格包裝盒)與貨物 B(第  $p$  種包裝盒)之重疊面積之長，必須選取此兩貨物較小之擺放末端座標值(即  $\min(x + l_k, x'' + l_p)$ )，再選取此兩貨物較大之擺放前端座標值(即  $\max(x, x'')$ )，其差值



$\sum_{\{x'' \in X_k^m: x-l_p+1 \leq x'' \leq x+l_k+1\}} \sum_{\{y'' \in Y_k^m: y-w_p+1 \leq y'' \leq y+w_k+1\}} u_{x''y''(z-h_p)}^{ipmvt}$ 。若考量包貨物 A 卸貨後(假設其位於時窗  $t$  階段進行卸貨)之所有時窗( $\tau \geq t$ )、所有客戶( $i$ )及所有包裝規格種類( $p$ )，則可以得知所有堆疊於貨物 A 下方，與其底面積所接觸之貨物件數，其可表示為等式左方之  $\sum_{\{\tau \in T \setminus \{n+1\}: \tau \geq t\}} \sum_{i \in I} \sum_{\{p \in B: z-h_p \geq 0\}} \sum_{\{x'' \in X_k^m: x-l_p+1 \leq x'' \leq x+l_k+1\}} u_{x''y''(z-h_p)}^{ipmvu}$ 。對於每個堆疊於貨物 A 下方之貨物，各別乘以接觸之面積( $L_{kp} \cdot W_{kp}$ )，再進行加總後可得貨物 A 下方之支撐總面積，即可表示為等式左方  $\sum_{\{x'' \in X_k^m: x-l_p+1 \leq x'' \leq x+l_k+1\}} \sum_{\{y'' \in Y_k^m: y-w_p+1 \leq y'' \leq y+w_k+1\}} L_{kp} \cdot W_{kp} u_{x''y''(z-h_p)}^{ipmvu}$ 。

(4) 多卸貨點限制：確保其貨物擺放遵照後進先出(LIFO)原則，以便進行卸貨，以(3.12)式、(3.13)式、(3.14)與(3.15)式表示：

$$(x + l_k) \cdot \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt} \leq L'_{imv} \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; v \in V; \\ i \in I; k \in B; \\ x \in X_k^m; y \in Y_k^m; \\ z \in Z_k^m \end{array} \quad (3.12)$$

$$L'_{imv} \leq CL \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; \\ v \in V; \\ i \in I \end{array} \quad (3.13)$$

(3.12)式以  $(x + l_k) \cdot u_{xyz}^{ikmvt}$  代表在時窗階段  $t$ ，服務區域  $m$  第  $v$  輛車所裝載屬客戶  $i$  進行卸貨之單一件貨物(第  $k$  種規格包裝盒)其  $x$  軸擺放末端位置(相對於前端擺放位置  $x$  加上第  $k$  種包裝盒在  $x$  軸之長度)。  $L'_{imv}$  之定義為服務區域  $m$  第  $v$  輛車所裝載屬客戶  $i$  之貨物在  $x$  軸擺放末端位置之最大值(若有 3 件屬客戶  $i$  貨物放置於服務區域  $m$  第  $v$  輛車，則  $L'_{imv}$  為 3 件中最靠近車尾(貨櫃艙門)之貨物的  $x$  軸擺放末端位置)。故  $L'_{imv}$  之數值在考量所有時窗階段( $t$ )及所有包裝種類( $k$ )下，均必須大於等於服務區域  $m$  第  $v$  輛車所裝載屬客戶  $i$  所有貨物  $x$  軸擺放末端位置。並由(3.13)式限制  $L'_{imv}$  之數值不大於貨

櫃之長度 (CL) ，意即貨物 x 軸擺放末端位置最大值不得超過貨櫃之長度 (CL)。

$$L'_{jmv} \leq L'_{imv} + \left(1 - \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} w_{ijm}^{vt}\right) \cdot L \quad \begin{array}{l} \forall m \in M; \\ v \in V; \\ i, j \in I \end{array} \quad (3.14)$$

$$L'_{jmv} \leq x \cdot \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt} + \left(1 - \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt}\right) \cdot L \quad \begin{array}{l} \forall m \in M; v \in V; \\ i, j \in I; x \in X_k^m; \\ y \in Y_k^m; z \in Z_k^m \end{array} \\ + \left(1 - \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} w_{ijm}^{vt}\right) \cdot L \quad (3.15)$$

二元變數  $w_{ijm}^{vt}$  其值為 1 時，表屬於服務區域  $m$  之第  $v$  車輛在時窗階段  $t$  會從點  $i$  移動到點  $j$ ；若無則為 0。(3.14)式假設客戶點  $j$  為客戶點  $i$  之下一拜訪點並由服務區域  $m$  之第  $v$  輛車進行配送，則考量所有時窗階段( $t$ )， $\sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} w_{ijm}^{vt} = 1$ ，在符合此條件下，該車輛( $v$ )所裝載屬「後拜訪」客戶  $j$  貨物 x 軸擺放末端位置之最大值必小於所裝載屬「先拜訪」客戶  $i$  貨物 x 軸擺放末端位置之最大值( $L'_{jmv} \leq L'_{imv}$ )。

同理於(3.12)式，(3.15)式以  $x \cdot \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt}$  表示在時窗階段  $t$ ，服務區域  $m$  第  $v$  輛車所裝載屬客戶  $i$  進行卸貨之單一貨物(第  $k$  種規格包裝盒)其 x 軸放置之前端位置。假設服務區域  $m$  第  $v$  輛車先拜訪客戶點  $i$  再拜訪客戶點  $j$ ，則在考量所有時窗階段( $t$ )下，由服務區域  $m$  之第  $v$  輛車從上一節點  $i$  到達客戶點  $j$  ( $\sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} w_{ijm}^{vt} = 1$ )。在此情況下，若所裝載屬客戶  $i$  第  $k$  種規格之包裝盒(放置於座標點( $x, y, z$ )，以左前下角點為基準)進行卸貨，則  $\sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt} = 1$ 。則在此情況下，「後拜訪」客戶  $j$  貨物 x 軸擺放末端位置之最大值必小於等於所裝載屬「先拜訪」客戶  $i$  所有貨物之 x 軸擺放末端位置( $L'_{jmv} \leq x \cdot \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt}$ )。結合考量(3.14)式及(3.15)式，可限制「先拜訪」客戶  $i$  之貨物相對「後拜訪」客戶  $j$  之貨物必須更靠近車尾(貨櫃艙門)放置，以符合貨物後進先出(LIFO)之原則。

最後(3.16)式、(3.17)式及(3.18)式為 3 項變數  $w_{ijm}^{vt}$ ,  $u_{xyz}^{ikmvt}$  及  $L'_{imv}$  之值域限制:

$$w_{ijm}^{vt} \in \{0,1\}$$

$$\forall m \in M; v \in V; \\ t \in T; \\ i, j \in I \cup D$$

(3.16)

$$u_{xyz}^{ibmvt} \in \{0,1\}$$

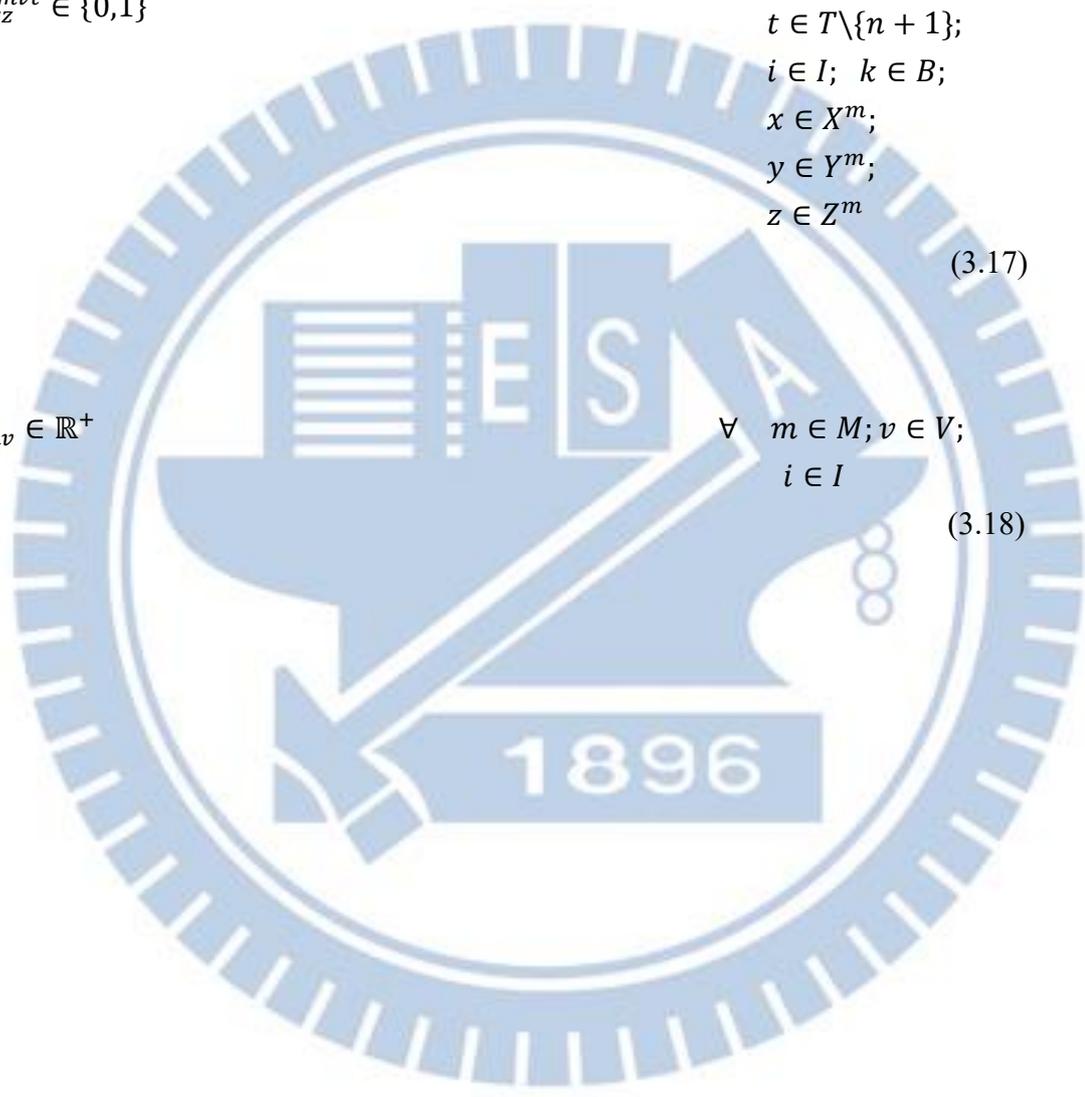
$$\forall m \in M; v \in V; \\ t \in T \setminus \{n+1\}; \\ i \in I; k \in B; \\ x \in X^m; \\ y \in Y^m; \\ z \in Z^m$$

(3.17)

$$L'_{imv} \in \mathbb{R}^+$$

$$\forall m \in M; v \in V; \\ i \in I$$

(3.18)



包含目標式及限制式之完整數學規劃模式如下所示：

$$\begin{aligned}
 \min TC(w_{ijm}^{vt}, u_{xyz}^{ikmvt}) \\
 = C^F \cdot \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} + C^B \cdot \sum_{m \in M} \max \left( \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \varphi^m, 0 \right) \\
 + \{C^O - (C^F + C^B)\} \cdot \max \left( \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} - \Phi, 0 \right) \\
 + \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{i, j \in I \cup D} C_{ij} \cdot w_{ijm}^{vt}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

s. t.

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{j \in I \cup D} w_{ijm}^{vt} = 1 \quad \forall i \in I \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T \setminus \{1\}} \sum_{j \in I \cup D} t \cdot w_{ijm}^{vt} & \quad \forall l \in I \tag{3.3} \\
 - \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{l \in I \cup D} t \cdot w_{ilm}^{vt} & = 1
 \end{aligned}$$

$$\sum_{j \in I} w_{Djm}^{v1} \leq 1 \quad \forall m \in M; v \in V \tag{3.4}$$

$$L \cdot (w_{ijm}^{vt} - 1) + 2 \leq r_m^i + r_m^j \quad \forall m \in M; v \in V; t \in T \setminus \{1\}; i, j \in I \tag{3.5}$$

$$\sum_{j \in I \cup D} w_{ljm}^{v(t+1)} - \sum_{i \in I \cup D} w_{ilm}^{vt} = 0 \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; \\ v \in V; \\ t \in T \setminus \{n+1\}; \\ l \in I; \end{array} \quad (3.6)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} d_i \cdot w_{ijm}^{vt} \leq Q \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; \\ v \in V \end{array} \quad (3.7)$$

$$\sum_{k \in B} \sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{jkmvt} = \sum_{i \in I \cup D} \sum_{k \in B} B_k^j \cdot w_{ijm}^{vt} \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; v \in V; \\ t \in T \setminus \{n+1\}; \\ j \in I \end{array} \quad (3.8)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{x \in X_k^m} \sum_{y \in Y_k^m} \sum_{z \in Z_k^m} u_{xyz}^{ikmvt} = B_k^i \quad \forall \begin{array}{l} i \in I; \\ k \in B \end{array} \quad (3.9)$$

$$\sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} \sum_{i \in I} \sum_{k \in B} \sum_{\{x \in X_k^m: x' - l_k + 1 \leq x \leq x'\}} \sum_{\{y \in Y_k^m: y' - w_k + 1 \leq y \leq y'\}} \sum_{\{z \in Z_k^m: z' - h_k + 1 \leq z \leq z'\}} u_{xyz}^{ikmvt} \leq 1 \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; v \in V; \\ x' \in X^m; y' \in Y^m \\ z' \in Z^m \end{array} \quad (3.10)$$

$$\sum_{\{\tau \in T \setminus \{n+1\}: \tau \geq t\}} \sum_{i \in I} \sum_{\{p \in B: z - h_p \geq 0\}} \sum_{\{x'' \in X_k^m: x - l_p + 1 \leq x'' \leq x + l_k + 1\}} \sum_{\{y'' \in Y_k^m: y - w_p + 1 \leq y'' \leq y + w_k + 1\}} L_{kp} \cdot W_{kp} \cdot u_{x''y''(z-h_p)}^{ipmvt} \geq l_k \cdot w_k \cdot u_{xyz}^{jkmvt} \quad \forall \begin{array}{l} m \in M; \\ v \in V; \\ t \in T \setminus \{n+1\}; \\ j \in I; k \in B; \\ x \in X_k^m; \\ y \in Y_k^m; \\ z \in Z_k^m \setminus \{0\} \end{array} \quad (3.11)$$

where  $L_{kp} = \min(x + l_k, x'' + l_p) - \max(x, x'')$   
 $W_{kp} = \min(y + w_k, y'' + w_p) - \max(y, y'')$

$$(x + l_k) \cdot \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt} \leq L'_{imv} \quad \forall m \in M; v \in V; \\ i \in I; k \in B; \\ x \in X_k^m; y \in Y_k^m; \\ z \in Z_k^m \quad (3.12)$$

$$L'_{imv} \leq CL \quad \forall m \in M; \quad (3.13) \\ v \in V; \\ i \in I$$

$$L'_{jmv} \leq L'_{imv} + \left(1 - \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} w_{ijm}^{vt}\right) \cdot L \quad \forall m \in M; \quad (3.14) \\ v \in V; \\ i, j \in I$$

$$L'_{jmv} \leq x \cdot \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt} + \left(1 - \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} u_{xyz}^{ikmvt}\right) \quad \forall m \in M; v \in V; \\ i, j \in I; x \in X_k^m; \\ y \in Y_k^m; z \in Z_k^m \\ \cdot L + \left(1 - \sum_{t \in T \setminus \{n+1\}} w_{ijm}^{vt}\right) \cdot L \quad (3.15)$$

$$w_{ijm}^{vt} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M; v \in V; \\ t \in T; \\ i, j \in I \cup D \quad (3.16)$$

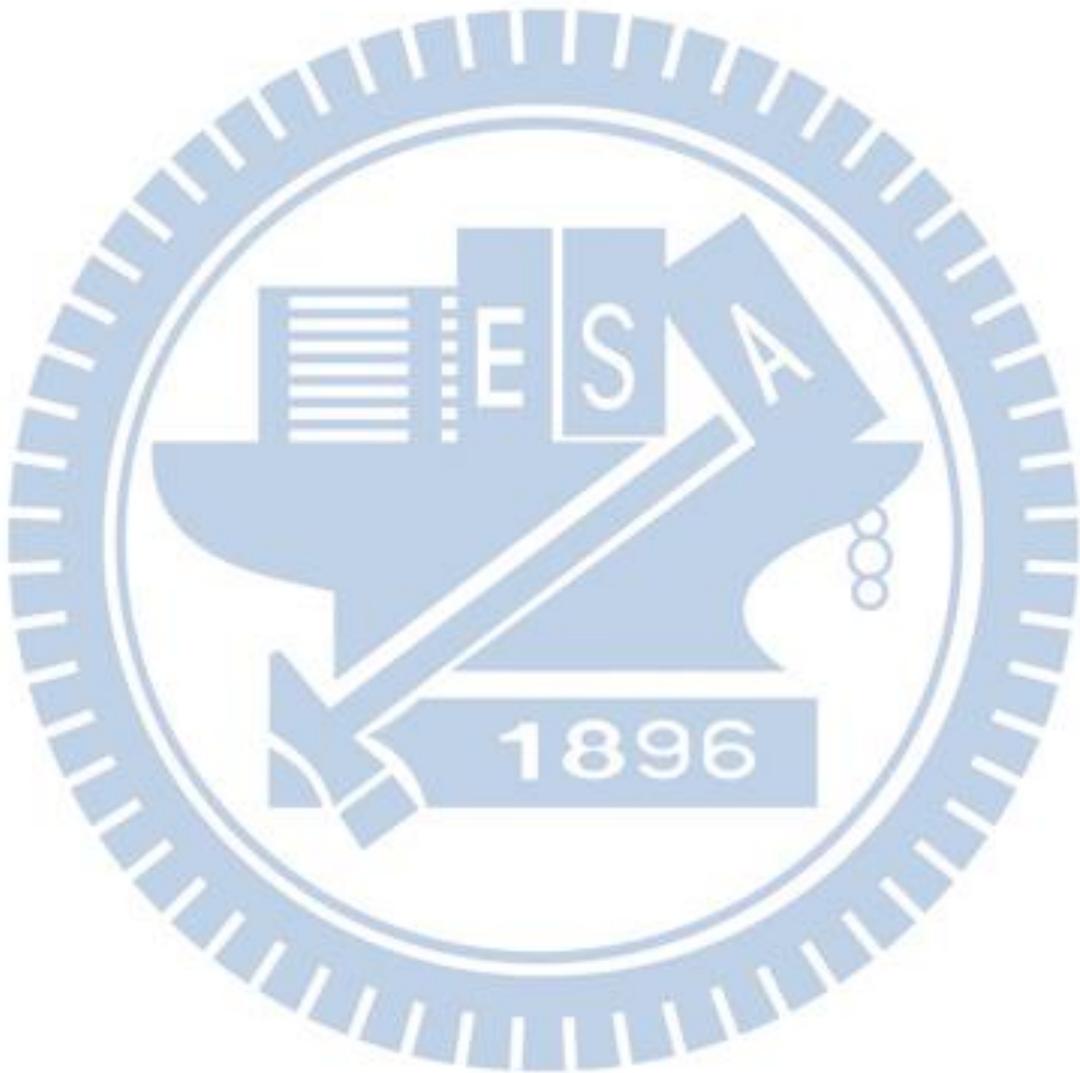
$$u_{xyz}^{ikmvt} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M; v \in V; \\ t \in T \setminus \{n+1\}; \\ i \in I; k \in B; \\ x \in X_k^m; \\ y \in Y_k^m; \\ z \in Z_k^m$$

(3.17)

$L'_{imv} \in \mathbb{R}^+$

$\forall m \in M; v \in V;$   
 $i \in I$

(3.18)



## 四、本研究所提之基因演算法

第四章將介紹本研究針對欲解決「考量重疊服務區域之最佳服務區域劃分整合車輛路徑與貨物裝載問題」所提出之基因演算法(Genetic Algorithm, GA)，旨在最小化物流公司之配送總成本(TC)。基因演算法由 Holland(1975)所提出，其演算法核心概念源於達爾文演化論「適者生存」之精神，藉由淘汰表現不佳之染色體即成本值較高之染色體(可行解)並經由交配和突變機制，除了保存母代中具優勢的特質外，也有可能因基因改變而產生表現更佳之子代。此方法已被廣泛應用於各類領域，包含對於貨櫃裝載問題(Container loading problem)、旅行員推銷問題(Traveling salesman problem)、車輛路徑問題(Vehicle routing problem)、生產排程問題(Production scheduling problem)、設施選址問題(Facility location problem)等方面之最佳化問題，皆具有突出之求解表現。其搜索可行解之方式採用多點搜尋，相對單點搜尋法而言，較不容易陷入區域最佳解(local optimum)，有較高機會獲得全域最佳解(global optimum)。基因演算法透過染色體編碼呈現可行解之方式，可以直觀現有之問題情境，如本研究應用之客戶點服務與貨物裝載之現況，並且容易地調整成現有解以產生新的可行解。故本研究選擇基因演算法當作求解方法之主體，並使用子空間法演算法進行貨物之裝載方式，透過將染色體解碼，給定各貨物其裝入順序及擺放之方向，進而產生裝載計畫以及車輛之路徑規劃，最終計算出營運總成本之目標值（見第 3.3 節）。

本研究所提出之基因演算法流程架構如圖 4.1 所示。基因演算法之第一部分為產生初始母體，其中染色體由三段編碼所組成分別為(1)重疊服務區域段、(2)貨物裝載順序段，與(3)貨物之擺放方向求解。對於染色體的解碼方式為整合三段染色體的資訊及透過子空間法產生貨物裝載計畫，運用貨物裝載計畫為基礎，再產生車輛路徑及求算車輛使用數量，再依此計算染色體對應之營運總成本作為染色體適應度值估算的基準。在基因演算法尚未達到終止條件之前，透過選擇法由目前的世代挑選染色體進入下一世代，進行交配和突變。基因演算法中之染色體是由三段代表編碼所組成，且各段資料結構均為不同，故本研究在對於產生下一世代之交配與突變階段，對於三段染色體分別獨立進行，強化

其平行搜尋之能力。

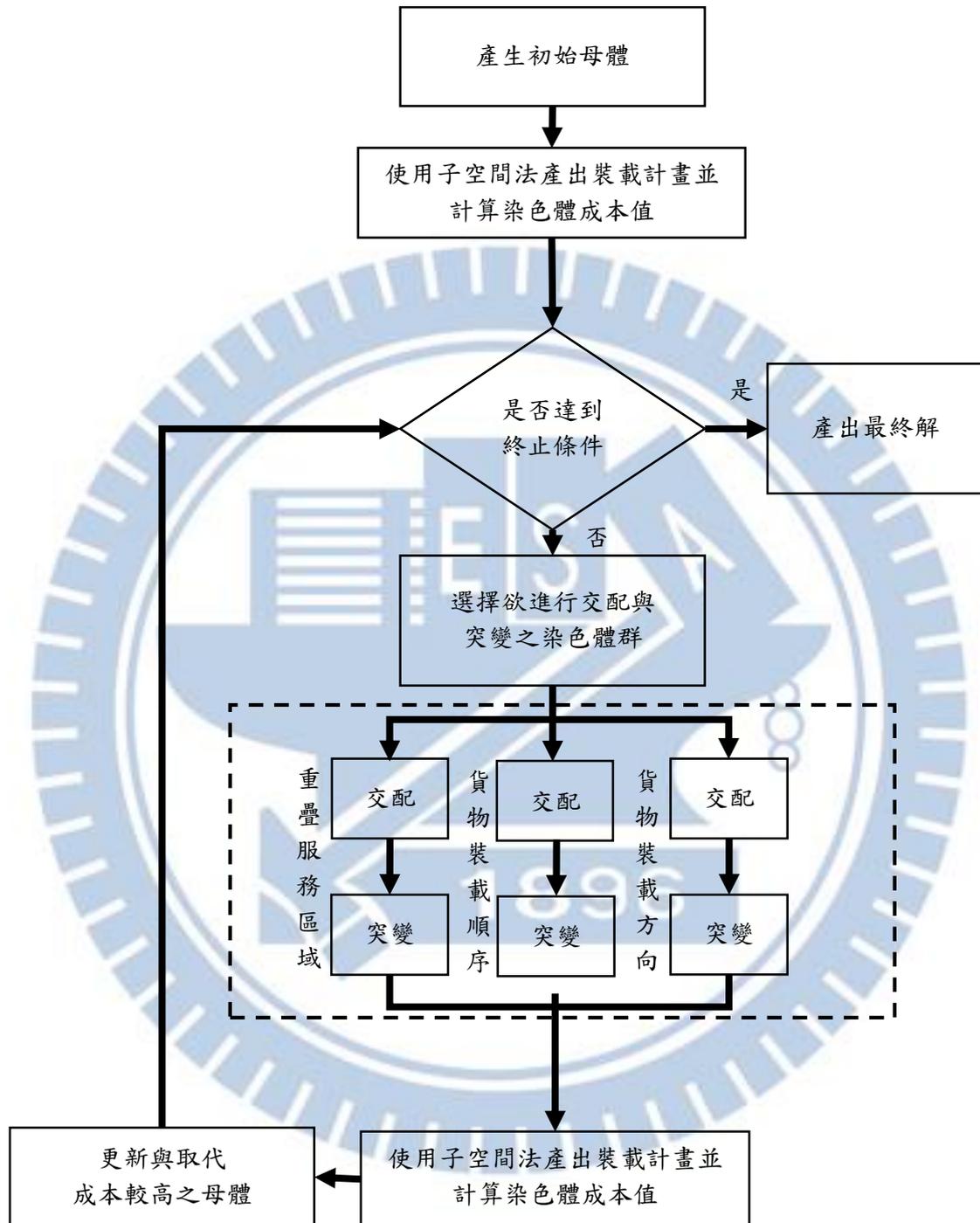


圖 4.1 基因演算法架構圖

本研究基因演算法相關之編碼方式將於 4.1 節中描述，另 4.2 節主要介紹解碼之程序與步驟，而有關基因演算法運算子之細節將於 4.3 節中詳述，最後 4.4 節說明本研究

針對此基因演算法所使用之終止條件。本章將沿用圖 3.4 之範例以 14 個客戶點( $n = 14$ )與 3 個分區( $|M| = 3$ )進行說明，並將假設各客戶點之需求如表 4.1 所示。由表 4.1 可知客戶 1 有 1 件規格 2 及 1 件規格 3 包裝盒，客戶 7 有 2 件規格 1 包裝盒的配送需求；其他的客戶可以此類推。

表 4.1 圖 3.4 範例中客戶點之配送需求

客戶 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
貨物需求 (個別以包裝盒 規格種類表示)	規格 2	規格 2	規格 1	規格 2	規格 3	規格 2	規格 1	規格 2	規格 3	規格 2	規格 1	規格 2	規格 1	規格 2
	規格 3						規格 1			規格 1				

圖 3.4 範例中客戶點所對應的可行指派區域如表 4.2 所示，其中客戶 1 的可行指派服務區域有 (區域 1 及區域 3)，客戶 5 和客戶 10 的可行指派服務區域分別為 (區域 1、區域 2 及區域 3) 和 (區域 1 及區域 2)。在本章的內容中，我們將沿用此範例，說明基因演算法相關之細節。

表 4.2 範例客戶點可行指派服務區域參數表

客戶 $i$		1 重疊	2	3	4	5 重疊	6	7	8	9	10 重疊	11	12	13	14
可行 指派 服務 區域	#1	區域 1	區域 3	區域 3	區域 3	區域 1	區域 2	區域 2	區域 2	區域 2	區域 1	區域 1	區域 1	區域 1	區域 1
	#2	區域 3				區域 2					區域 2				
	#3					區域 3									

#### 4.1 編碼

本研究將基因演算法之染色體分為三個部分，第一部份代表位於重疊服務區域之客戶，其貨物被指派至哪一服務區域之卡車進行服務；第二部分代表貨物之裝載優先順序；第三部分代表貨物之擺放方向。以下將分別詳細說明。

染色體上之基因針對單一貨物進行決策，又先按照貨物編號排序所示。染色體第一部分為重疊服務區域段，由於位於重疊服務區域之客戶可被多個服務區域擇一進行服務，故此段為針對位於重疊服務區域之客戶/貨物之服務指派情況進行編碼，將運用其基因所對應之 10 進位數值，計算其對應的可行指派服務區域。而落於非重疊服務區域之客戶，因為僅有所屬唯一之可行指派服務區域，故不須參與此部分之編碼。另由於在此問題中以客戶為基本配送單位，故同一客戶之所有貨物，必須皆指派至由相同的服務區域進行配送服務。

第二部分為裝載順序段，此段基因值編碼設定乃賦予每一貨物不重複之(正整數)數值，其範圍為 1 到問題中配送需求之總貨物數量(以  $N$  表示)。每個(正整數)數值代表貨

物裝入貨櫃之參考序列，對應客戶接受配送服務之順序(但執行配送時，仍需以同一客戶之所有必須由同一部車輛一起完成配送)。又因此問題情境中配送路線為未知，故先進行「貨物裝載計畫」，在考慮車輛三維裝載堆疊方式及有限的車輛使用空間下，再產出「車輛路徑」之規劃結果；以上相關之細節將於 4.2 節進行更完整之討論。

第三部分為貨物之擺放方向段，針對單一貨物而言其最多共有六種可能之擺放方向。編碼的資料結構中將運用一組 5 維的二元變數之陣列  $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ ，在將陣列解碼維 10 進位的正整數後，對應其中一種可行裝載方向之放置方式。

由表 4.1 之資料，可得該範例之貨物編號、貨物之包裝盒種類及貨主之對應關係如表 4.3 所示。而表 4.4 為範例在本研究之基因演算法中對應的染色體編碼。在此劃分 3 個服務區域之範例中，共有 17 件貨物分屬於 14 位客戶；對應之編碼如下：

1. 第一部分的編碼即「重疊服務區域」編碼：由圖 3.4 和表 4.4 可知，此範例中客戶 1、5 及 10 落於重疊服務區域，故此段染色體僅針對此 3 客戶之貨物進行編碼。此段基因值編碼之範圍與該客戶可行服務區域數量相關，以客戶 1 為例，其有兩個區域選項(#1, #2)可供選擇，因此編碼範圍為(1 至 2)；客戶 5 有三個區域選項(#1, #2, #3)可供選擇，因此編碼範圍為(1 至 3)，客戶 10 依此類推。
2. 第二部分的編碼為「貨物裝載順序」編碼：因此一範例共有 17 件貨物，此段編碼範圍為 1 至 17 之正整數，代表此 17 項貨物之裝載參考序列。
3. 第三部分的編碼為「貨物裝載方向」編碼：在此範例中，每件貨物運用一組 5 維的二元變數之陣列  $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ ，對應該件貨物之裝載方向。

表 4.3 貨物編號、包裝盒種類及貨主之關係範例表

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物型號	2	3	2	1	2	3	2	1	1	2	3	2	1	1	2	1	2
所屬貨主 (客戶 $i$ )	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14

表 4.4 基因算法染色體形成範例示意表

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
重疊服務區域	2	2				3						1	1					
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	12	15	8	4	13	10	9	7	5	2	
貨物裝載方向	$a_1$	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
	$a_2$	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
	$a_3$	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	$a_4$	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1

## 4.2 解碼

本節將介紹染色體之解碼，意即透過對於每條染色體之基因進行解碼計算，轉換對應之決策。而對應 4.1 節中所介紹基因演算法染色體之三段編碼，將在本節分三個部份(對應 4.2.1、4.2.2 與 4.2.3 三小節)說明其解碼之方式。在 4.2.4 小節則詳述進行貨物堆疊之解碼所運用的「子空間堆疊法」，4.2.5 小節將對如何依染色體解碼後之結果，決定車輛使用方式與解讀車輛路徑之決策，最後 4.2.6 小節說明該條染色體之適應度值(Fitness)之計算方式。

### 4.2.1 重疊服務區域段染色體解碼

為解釋位於重疊服務區域之客戶/貨物服務指派之解碼，運用表 4.2 範例中客戶點可

行指派區域範例參數表及其染色體中編碼，所得結果如表 4.5 所示。此段基因值代表針對各個位於重疊服務區域之客戶/貨物，其被指派到對應的可行服務區域，由該區之車輛進行配送服務。

以客戶 1 為例，其位於重疊服務區域(服務區域 1 及 3)，即代表該客戶之貨物可由此兩個服務區域之卡車擇一進行配送。假設目前將其所屬貨物 1 及 2 指派給第二個可行服務區域 #2，則代表其由服務區域 3 (請參照對應表 4.2) 之車輛進行配送服務。以客戶 5 為例，我們可以發現其位於重疊服務區域(服務區域 1、2 及 3)，即代表此貨物可由此三個服務區域之車輛擇一進行配送。假設目前將其所屬貨物 6 指派給第三個可行服務區域 #3，則代表其由服務區域 3 (請參照對應表 4.2) 之車輛進行配送服務。其餘位於重疊服務區域之客戶/貨物，皆以類似方式解碼出所指派之服務區域。

表 4.5 基因演算法染色體重疊服務區域段編碼與所指派之服務區域

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
客戶 $i$	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14
指派服務區域編號	#2	#2				#3						#1	#1				
重疊服務區域段編碼	2	2				3						1	1				
服務區域指派情況	區域 3	區域 2	區域 1														

#### 4.2.2 貨物裝載順序段染色體解碼

貨物裝載順序段之基因值由 1 至  $N$ (問題中配送需求之總貨物數量)不重複之(正整數)數值，其貨物裝載順序之解碼可分為四個階段:

1. 第一階段為將各客戶之貨物依照其被指派之服務區域由小到大排序。

2. 在第二階段再將各服務區域負責配送之貨物依照貨物裝載順序基因值由小到大排序，由此排序便可得知其裝載上車之原始參考順序。
3. 但由於貨物之配送以客戶為基本單位，故在第三階段時，若單一客戶具有多個貨物，則將該客戶之所有貨物移動，依序排列到貨物裝載順序基因值最小值之貨物後。此一動作之用意為：當進行貨物裝載時，同一客戶之所有貨物需全數裝載至同一車輛中(如果裝不下的話，則全數裝宰制下一部車輛)，始能裝載下一位客戶之貨物。
4. 在第四階段由左至右之貨物編號排列順序，即為各服務區域內貨物裝載之順序。

以圖 3.4 中之 14 個客戶點為例，說明貨物裝載順序解碼的四個階段。

第一階段：將 17 項貨物依照其被指派之服務區域由小到大排列，如圖 4.2 所示。

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
客戶 $i$	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14
服務區域指派	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	12	15	8	4	13	10	9	7	5	2

貨物編號	12	13	14	15	16	17	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6
客戶 $i$	10	10	11	12	13	14	6	7	7	8	9	1	1	2	3	4	5
服務區域指派	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
貨物裝載順序	13	10	9	7	5	2	14	12	15	8	4	17	16	11	6	3	1

圖 4.2 基因演算法染色體貨物裝載順序第一階段解碼示意圖

第二階段：將各服務區域負責配送之貨物依照裝載順序由小到大排序，如圖 4.3 所示

貨物編號	12	13	14	15	16	17	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6
客戶 $i$	10	10	11	12	13	14	6	7	7	8	9	1	1	2	3	4	5
服務區域指派	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
貨物裝載順序	13	10	9	7	5	2	14	12	15	8	4	17	16	11	6	3	1

↓

貨物編號	17	16	15	14	13	12	11	10	8	7	9	6	5	4	3	2	1
客戶 $i$	14	13	12	11	10	10	9	8	7	6	7	5	4	3	2	1	1
服務區域指派	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
貨物裝載順序	2	5	7	9	10	13	4	8	12	14	15	1	3	6	11	16	17

圖 4.3 基因演算法染色體貨物裝載順序第二階段解碼示意圖

第三階段：將同一客戶之所有貨物向前移至與該客戶之裝載順序最小的貨物一起排列，如圖 4.4 所示。例如：貨物 8 及 9 同屬於客戶 7，又因貨物 8 具有較小的裝載順序基因值，故需將貨物 9 向前移至貨物 8 後；其餘貨物皆以此方式調整排列位置。

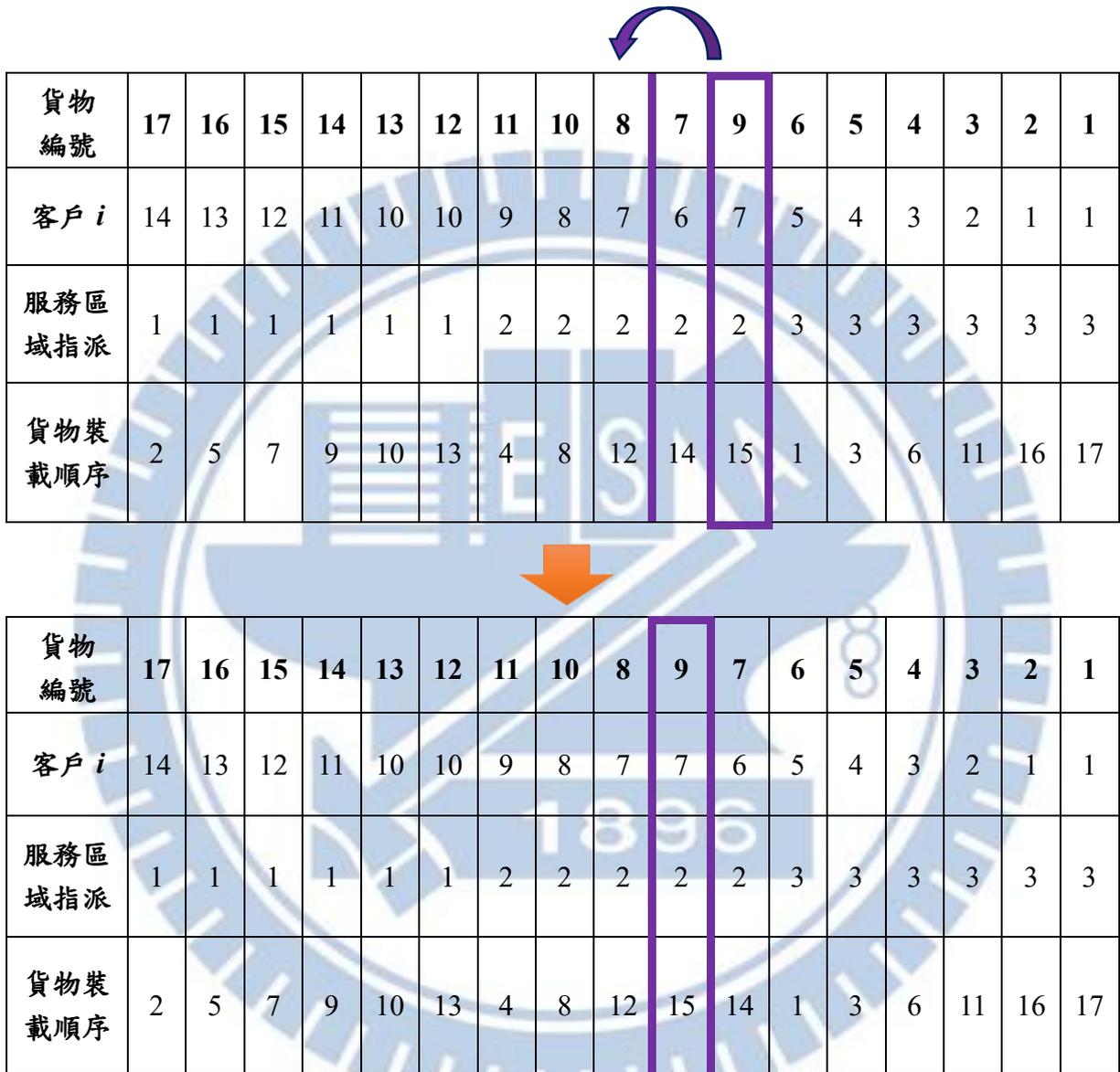


圖 4.4 基因演算法染色體貨物裝載順序第三階段解碼示意圖

第四階段：由左向右之貨物編號排列順序，即為各服務區域內之貨物裝載順序，如圖 4.5 所示。故服務區域 1 之車輛負責配送貨物 12、13、14、15、16 及 17，在參考解碼後的貨物排列順序，以由左至右之方向依序放入，即可得出服務區域 1 之貨物裝載順序(以貨物編號表示)依序為 17、16、15、14、13 及 12；意即客戶服務順序(以客戶編號表示)依序為 10、11、12、13 及 14。其餘服務區域之貨物均以此方式類推裝載順序及相對應之客戶服務順序。

貨物編號	17	16	15	14	13	12	11	10	8	9	7	6	5	4	3	2	1
客戶 $i$	14	13	12	11	10	10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	1	1
服務區域指派	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
貨物裝載順序	2	5	7	9	10	13	4	8	12	15	14	1	3	6	11	16	17

◆ 服務區域 1	貨物裝載順序(以貨物編號表示): 17 → 16 → 15 → 14 → 13 → 12 貨物裝載順序(以客戶編號表示): 14 → 13 → 12 → 11 → 10
◆ 服務區域 2	貨物裝載順序(以貨物編號表示): 11 → 10 → 8 → 9 → 7 貨物裝載順序(以客戶編號表示): 9 → 8 → 7 → 6
◆ 服務區域 3	貨物裝載順序(以貨物編號表示): 6 → 5 → 4 → 3 → 2 → 1 貨物裝載順序(以客戶編號表示): 5 → 4 → 3 → 2 → 1

圖 4.5 基因演算法染色體貨物裝載順序第四階段解碼示意圖

#### 4.2.3 擺放方向段之染色體解碼

在得出重疊服務區域指派情況及貨物之裝載順序後，因必須先確定貨物擺放方向之決策，再整合此三項資訊，透過子空間法決定貨物被擺放於貨櫃中的位置。貨物擺放方向段基因值為一組 5 維的二元變數之陣列 $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ ，解碼程序的步驟如下：

1. 運用以下的算式計算貨物  $i$  所對應陣列的 10 進位（介於 0 到 31）之正整數數值，

$$p[i] = a_1 \cdot 2^4 + a_2 \cdot 2^3 + a_3 \cdot 2^2 + a_4 \cdot 2^1 + a_5 \cdot 2^0。$$

2. 對此一貨物  $i$ ，確認其可行之擺放方向數為正整數  $f[i]$  ( $1 \leq f[i] \leq 6$ )。
3. 則此貨物  $i$  之貨物擺放方向為採用第  $s[i]$  種可行擺放方向，其中  $s[i] = (p[i] \bmod f[i] + 1)$ ；即運用現行貨物擺放方向段解碼得到之十進位整數  $p[i]$ ，除以  $f[i]$  (可行方向數) 後所得餘數再加 1，以其值表示將對應採用之可行擺放方向種類序別，作為該貨物擺放方向之選擇。

以表 4.6 進行貨物擺放方向段解碼之範例說明，因篇幅有限，僅列出 7 個貨物進行說明。以貨物 6 為例，解碼程序的第 1 步驟為計算 5 維二元變數陣列  $(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$  之十進位整數，得  $p[6] = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 23$ 。第 2 步驟確認貨物 6 之可行擺放方向共有 6 種 (即  $f[6] = 6$ )。再運用第 3 步驟先計算  $s[6] = (23 \bmod 6) + 1 = 5 + 1 = 6$ ，故貨物 6 採取第  $(s[6] = 6)$  種可行貨物擺放方向，即以「 $(h, l, w)$  之方向」擺放貨物 6；其餘貨物皆以此方法類推其擺放方向。

表 4.6 基因演算法染色體貨物擺放方向段之解碼

貨物編號		1	2	3	4	5	6	7
貨物擺放方向編碼值	$a_1$	0	0	1	0	1	1	1
	$a_2$	0	1	1	1	0	0	1
	$a_3$	1	0	1	1	1	1	0
	$a_4$	1	0	1	1	1	1	1
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0
貨物擺放方向十進位值 $p[i]$		5	9	31	15	23	23	26
貨物可行擺放方向		(w, l, h) (l, w, h) (w, h, l) (l, h, w) (h, w, l) (h, l, w)	(h, w, l) (h, l, w)	(w, l, h) (l, w, h) (w, h, l) (l, h, w) (h, l, w)	(w, l, h) (l, w, h) (w, h, l)	(w, l, h) (l, w, h) (w, h, l) (l, h, w) (h, w, l) (h, l, w)	(w, l, h) (l, w, h) (w, h, l) (l, h, w) (h, w, l) (h, l, w)	(l, w, h) (w, h, l) (l, h, w) (h, w, l) (h, l, w)
貨物可行擺放方向數 $f[i]$		6	2	5	3	6	6	5
擺放方向編號 $s[i]$		6	2	2	1	6	6	2
貨物實際擺放方向		(h, l, w)	(h, l, w)	(l, w, h)	(w, l, h)	(h, l, w)	(h, l, w)	(w, h, l)

#### 4.2.4 子空間堆疊法

本研究將運用 Jin et al. (2004)提出之「子空間法」(Subvolume Approach)作為解碼之方法，並以劉庭好(2017)提出針對多貨櫃裝載問題之決策方法為基礎。在解碼流程上透過子空間法之方式堆疊貨物並產出裝載計畫，再進而得出路徑規劃及車輛使用情況，此部分將於 4.2.5 小節進行說明。使用子空間法之優點在於能確保貨物堆疊完成後之穩定性(Abdou & Elmasry, 1999)。一條染色體提供之資訊包含了裝進各貨櫃之貨物的裝載順序及擺放方向。將各服務區域負責之貨物裝載順序及擺放方向資訊作為子空間法的已知

參數，進行貨物堆疊，完成後即可得到貨物之裝載計畫，即各貨物於貨櫃中之擺放位置。以下將說明子空間法中兩個重要步驟「產生子空間」及「子空間之更新」之操作方式。

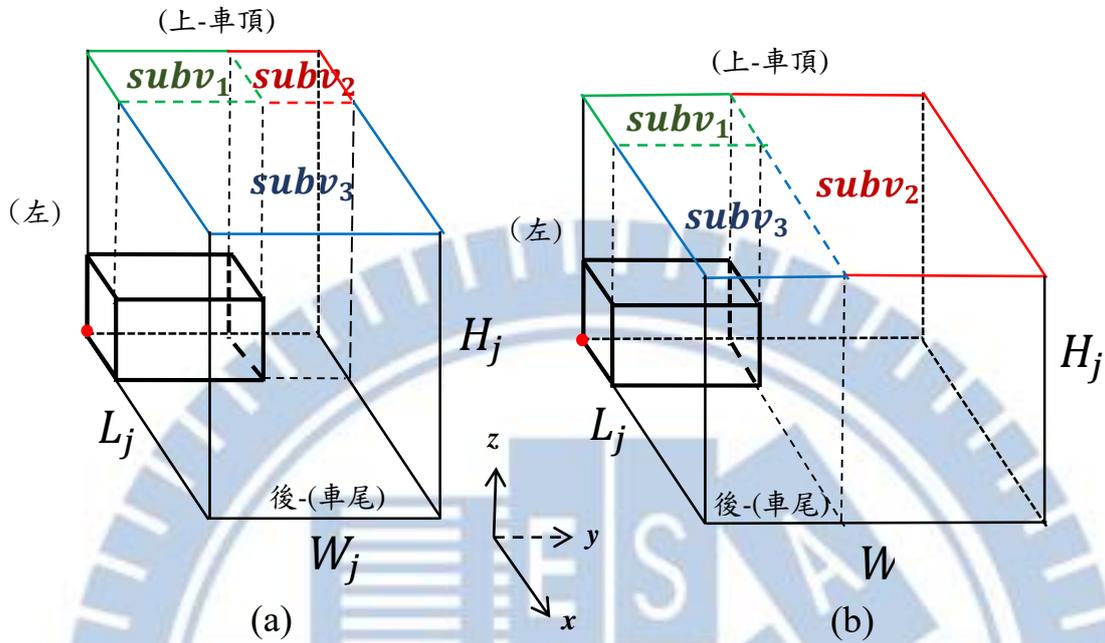
#### 4.2.4.1 產生子空間

最初貨櫃之左前下之頂點定義為貨櫃之原點，而後產生子空間之原點即為最靠近貨櫃原點之頂點。子空間位於貨物之上方及旁側，而各子空間之高度為貨櫃之高度減去其原點之高度。依此空間定義之原則，一個子空間 $j$ 可以表示為 $subv_j(x_j, y_j, z_j, L_j, W_j, H_j)$ ，其中 $(x_j, y_j, z_j)$ 為其原點座標(左前下角為頂點)， $(L_j, W_j, H_j)$ 則代表子空間之長、寬、高。若最初未放入任何貨物時，子空間 $j$ 即為貨櫃本身，可表示為 $subv_j(0, 0, 0, L, W, H)$ 。

當有一個新的貨物放入子空間 $j$ 時，便會依序產生三個新的子空間： $subv_1, sub$ 及 $subv_3$ ，分別代表由貨物之上方、旁側及後側產生最大體積之空間，如圖 4.6(a)所示。當下一件貨物放入其中一個子空間時，則又會產生另外三個新的子空間。貨物放入子空間之方式為將貨物之原點(左前下角為頂點)放置於子空間之原點。子空間之清單  $SubV$  於貨物堆疊過程中將不斷地更新；而子空間以根據其原點座標方示記錄於清單中，並按照  $(x, y, z)$ -字典排序原則進行排序。當放入一新的貨物時，便選擇排序第一之子空間進行擺放，若無法擺放再依序選擇另外之子空間直到將此貨物放置完成。又因貨物之配送以客戶為基本單位，故若屬於同一客戶之貨物無法完全擺放置同一貨櫃中，則需再開啟一個新的貨櫃進行貨物放置，依序選擇貨物置入直到全部貨物皆擺放完成。其中貨物上方僅有一種產生子空間之方式，但依照貨物旁側及後側產生子空間之方式，根據貨櫃之長寬度不同，會有兩種產生子空間之方式，即將由貨櫃長及寬兩邊長中，選擇較短者來生成新的子空間；如圖 4.6(a)顯示貨櫃之長度大於寬度時，子

空間之生成方式；圖 4.6(b)則為貨櫃之寬度大於長度時，生成子空間之方式。

圖 4.6 子空間之示意圖 (a)  $L_j > w_j$  (b)  $L_j < w_j$



#### 4.2.4.2 子空間之更新

以下將介紹對於子空間之兩項更新操作，分別為(a)合併及(b)重新分區(combining and re-partitioning operations)：

- (a) 將兩個相鄰且具有長或寬其中一項相同及同樣高度之子空間  $subv_{j1}$  及  $subv_{j2}$  ( $j1 < j2$ ) 進行合併，以  $U(subv_{j1}, subv_{j2})$  來表示。如圖 4.7 將  $subv_{j1}$  及  $subv_{j2}$  在完成合併後，會形成一新之子空間  $subv'_{j1}$ 。此操作之目的為避免累積過多的小型子空間，透過合併小型子空間產生一較大空間，能增加容納貨物的可能性，並使貨物有較佳之堆疊穩定性(Carpenter and Dowsland, 1985; Abdou and Yang, 1994)。

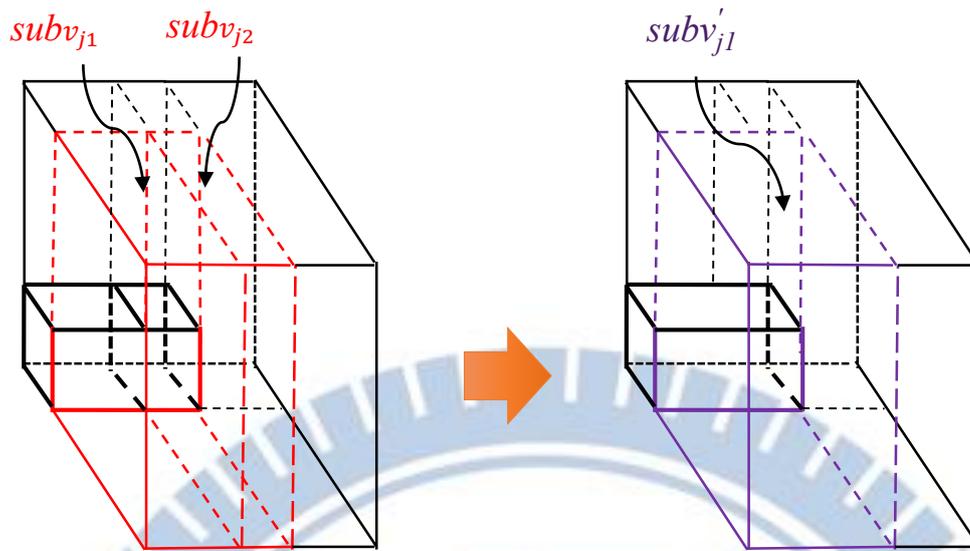


圖 4.7 子空間之合併操作示意圖

- (b) 將兩個相鄰且具有同樣高度的子空間重新切割以形成兩個子空間，以  $D(\text{subv}_{j1}, \text{subv}_{j2})$  來表示。如圖 4.8  $\text{subv}_{j1}$  及  $\text{subv}_{j2}$  兩個子空間透過重新分區後產生兩個新之子空間  $\text{subv}'_{j1}$  及  $\text{subv}'_{j2}$ 。此操作透過改變兩子空間之配置，可以達到貨物之間彼此互鎖(interlocking)的效果(Beasley, 1985)。

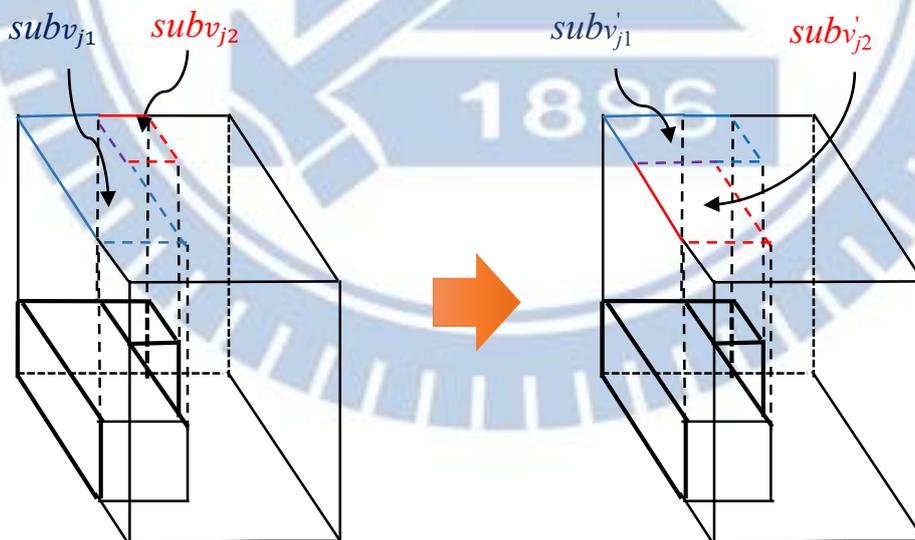


圖 4.8 子空間之重新分區操作示意圖

每進行一件貨物之放置後，即進行以上兩項操作更新。更新後，子空間集合 $SubV$ 將會變更如下：

$$U(subv_{j1}, subv_{j2}) \rightarrow subv'_{j1}, \quad subv_{|SubV|} = \emptyset,$$

$$subv_k = subv_{k+1}, \quad k=j2, \dots, |SubV|-1,$$

and

$$D(subv_{j1}, subv_{j2}) \rightarrow subv'_{j1} \text{ and } subv'_{j2}.$$

#### 4.2.5 車輛使用方式與解讀車輛路徑

在將染色體三段之基因值進行解碼後，可以得出各服務區域貨物之裝載方式。在本小節將介紹如何依照各服務區域之貨物裝載方式，進而得出車輛使用方式與車輛路徑。先說明車輛使用之決策，再介紹車輛路徑之解讀方式。

##### 4.2.5.1 車輛使用方式

在染色體解碼完成後可獲得各服務區域貨物及客戶之服務優先順序，由於配送時需滿足車輛貨櫃之體積限制，因此透過子空間法進行貨物裝載時，若貨物無法再繼續裝載在同一車輛貨櫃中，則需啟用令一新車輛繼續裝載。完成所有貨物裝載後，將可同時得知所需要車輛數量、使用車輛之決策及各別車輛貨櫃中所裝載的貨物及貨物裝載方式；以下將以圖 4.9 之範例進行說明。

如圖 4.9 所示，以服務區域 1 為例，在利用子空間法進行貨物堆疊時，依序為貨物 17、16、15、14、13、12。假設在裝載至貨物 16 (客戶 13 之貨物)後，貨櫃剩餘子空間以無法繼續裝載貨物 15，則將啟用第二部車輛繼續裝載貨物。若剩餘之貨物 15、14、13、12 皆能裝入第二部車輛的貨櫃中，則此服務區域共需兩部車輛(載運貨櫃之載具)進行配送，其他服務區域之貨物皆依此方式類推。故從圖 4.9 可明顯看出在此範例中服務區域 1 需要 2 輛卡車、服務區域 2 需要 1 輛、服務區域 3 需要 2 輛。

關於使用車輛之決策方面，將依序採取 3.1 節中所提出之三種車輛使用方式：(1) 使用該服務區域之公司自有車輛，(2) 調度其他服務區域之公司空閒自有車輛，及(3)租用車輛。接續圖 3.4 之範例，倘若服務區域 1 與 3 各配置公司自有車輛 1 輛，服務區域 2 擁有公司自有車輛 2 輛，則依據圖 4.9 以看出服務區域 1、3 皆不足 1 輛車，而區域 2

剩餘 1 輛空閒車輛，因此將調派服務區域 2 之一輛車至服務區域 1 進行配送服務。此時所有公司自有車輛已用罄，故在自有車輛不敷使用之情況下，將以租用方式取得一輛車進行服務區域 3 之配送服務。

**貨物裝載順序方向**

貨物編號	17	16	15	14	13	12	11	10	8	9	7	6	5	4	3	2	1
客戶 $i$	14	13	12	11	10	10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	1	1
服務區域指派	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
貨物裝載順序	2	5	7	9	10	13	4	8	12	15	14	1	3	6	11	16	17
貨物擺放方向	5	2	1	6	4	3	2	4	5	1	5	4	4	3	6	2	1

- ◆ 服務區域 1
  - (1)卡車 1-1  
貨物裝載順序(以貨物編號表示): 17→ 16
  - (2)卡車 1-2  
貨物裝載順序(以貨物編號表示): 15 → 14 → 13→ 12
- ◆ 服務區域 2
  - (1)卡車 2-1  
貨物裝載順序(以貨物編號表示): 11 → 10 → 8 → 9 → 7
- ◆ 服務區域 3
  - (1)卡車 3-1  
貨物裝載順序(以貨物編號表示): 6 → 5 → 4
  - (2)卡車 3-2  
貨物裝載順序(以貨物編號表示): 3 → 2 → 1

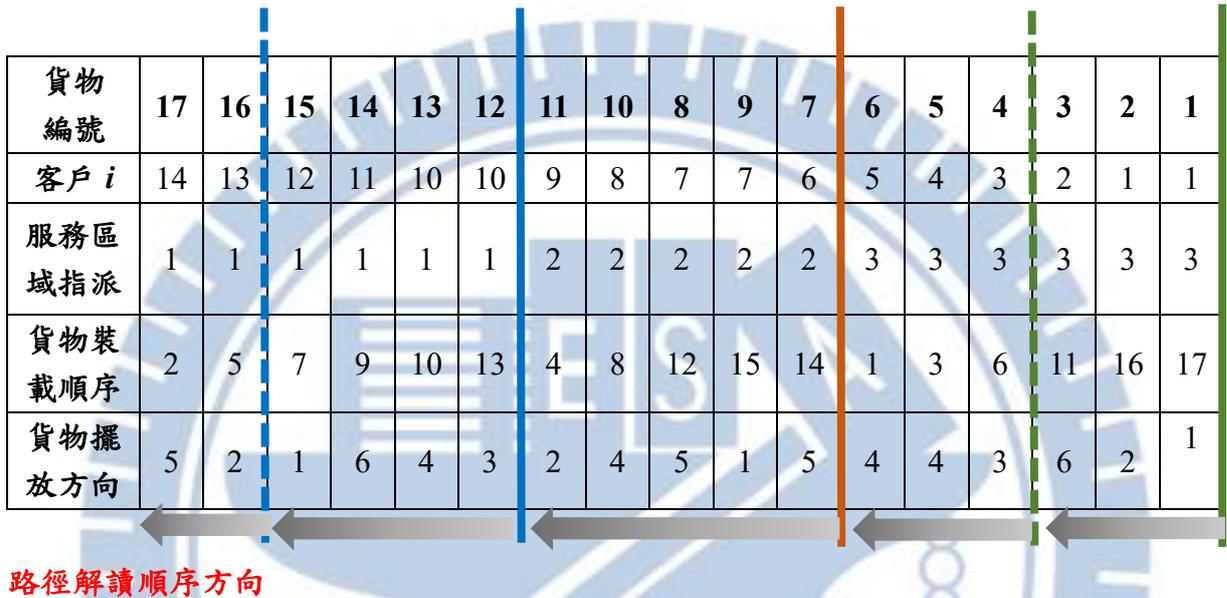
圖 4.9 車輛使用數量之解碼示意圖

4.2.5.2 解讀車輛路徑

又因貨物裝載與配送路徑必須運用「先出後進」之原則，故必須依照裝載之相反順序並以客戶為單位解讀車輛路徑；以下將以圖 4.10 之範例輔助說明。

以服務區域 1 為例，根據子空間法進行貨物堆疊後，可發現共需兩部車輛進行裝載：

卡車 1-1 依序裝載貨物 17 及 16，其屬客戶 14 及 13 所有；卡車 1-2 依序裝載貨物 15、14、13 及 12 其屬客戶 12、11 及 10 所有。由於解讀車輛路徑時需貨物裝載之相反順序並以客戶為單位進行解讀，故裝載卡車 1-1 之卡車將依序拜訪客戶 16 再到客戶 17；裝載卡車 1-2 之卡車將依序拜訪客戶 10 再到客戶 11，最後拜訪客戶 12。其餘服務區域之車輛路徑皆以此類推。



- ◆ 服務區域 1
  - (1)卡車 1-1 車輛路徑(以客戶編號表示): 場站 D → 13 → 14 → 場站 D
  - (2)卡車 1-2 車輛路徑(以客戶編號表示): 場站 D → 10 → 11 → 12 → 場站 D
- ◆ 服務區域 2
  - 卡車 2-1 車輛路徑(以客戶編號表示): 場站 D → 6 → 7 → 8 → 9 → 場站 D
- ◆ 服務區域 3
  - (1)卡車 3-1 車輛路徑(以客戶編號表示): 場站 D → 3 → 4 → 5 → 場站 D
  - (2)卡車 3-2 車輛路徑(以客戶編號表示): 場站 D → 1 → 2 → 場站 D

圖 4.10 車輛路徑解讀之解碼示意圖

#### 4.2.6 計算染色體之適應值

在已知車輛使用方式及所有車輛運行路徑後，最後步驟即為量化染色體之表現以衡量其優劣性，意即計算在染色體所代表之車輛使用模式與車輛運行路徑下營運總成本，因本研究問題為成本最小化問題，故適應值為營運總成本之倒數( $1/TC$ )，適應值越大意即染色體在演化過程中具有較優異表現。本研究使用 3.5 節數學模式中所定義之目標式

公式(3.1)作為染色體成本值之計算公式。因目標為最小化營運總成本，故成本值越低則代表染色體有越佳的表現，其中營運總成本( $TC$ )包含：(1)自有車輛固定成本及調度成本 (2) 租用車輛成本與 (3)車輛路徑成本三個部分。

以上述範例而言，三項成本的計算如下：

- (1) 自有車輛固定成本及調度成本：因為範例中總共使用 5 輛卡車進行配送，故車輛固定成本 ( $C^F$ ) 以 5 輛車計算。又因計算各服務區域之車輛實際使用數與原指派數量之差額，可發現共增加 2 輛車(服務區域 1 及 3 各增加 1 輛)進行支援，故需再加上車輛調度成本 ( $C^B$ ) 以 2 輛車計算。
- (2) 租用車輛成本：因為另外新增的 2 輛車中，其中使用租用方式取得 1 輛卡車，故必須再加上租用車輛成本與車輛固定成本加調度成本之差額，以 1 輛車  $\{C^R - (C^F + C^B)\}$  的差額計算。
- (3) 車輛路徑成本：參照圖 4.10 中 5 輛卡車的車輛路徑，計算車輛路徑成本。

上述三項成本加總後，可所得營運總成本。而營運總成本之倒數，即為本研究所定義染色體之適應值。

### 4.3 運算子

本節中的三個小節將介紹本研究基因演算法所使用之三種運算子，包含：選擇、交配與突變。基因演算法使用三種運算子乃意圖變動染色體之基因，發揮在可行解空間(feasible solution space)中「探索」(exploration)及「開發」(exploitation)的能力，藉此產生具有多樣性及優越性的新可行子代(可行解)，以尋求表現較佳之解，直至滿足終止條件為止。此節繼續運用圖 3.4 之範例進行說明。

#### 4.3.1 選擇

運算子選擇之主要目的為在母體中選取所需之染色體數，以進入交配與突變之程序，而本研究針對主基因演算法所採用之選擇法為「菁英競爭選擇法」(Tournament Selection with Elite Group)，為結合「菁英競爭選擇法」(Tournament Selection)與「菁英群組」(Elite

Group)之選擇方式。

競爭式選擇法(Tournament Selection) (Miller et al, 1995)之核心概念為以兩兩比較之方式擇優晉級，其操作程序相對直觀且簡單。以  $p$  條染色體為例，每次隨機選取其中 2 條染色體進行比較，擇其表現較優者進行保留，反覆執行  $p$  次將可得到新  $p$  條染色體，以提高提高染色體群之整體表現。

菁英群組(Elite Group) (Murata et al, 1996)為演算法中一種保存機制，透過將截至目前搜尋所獲得之優良解進行紀錄，並與其他選擇法做結合。以確保在每次執行選擇程序時，菁英群組內之染色體擁有 100 % 之機率持續被保留下來以進入交配程序之階段。

圖 4.11 為進行菁英競爭選擇法執行方式之範例說明。其中，假設種群規模(Population size)為 20 條染色體，並且菁英群組之比例為 0.1；意即菁英群組將紀錄截至目前所獲得前 2 名最優良的可行解。故執行選擇法前，必須先將此兩條菁英染色體放入其中。然後再使用競爭式選擇法，在此 20 條染色體中隨機選擇 2 條進行比較，並保留表現較優者。重複此步驟 18 次，直到產生一由 20 條染色體所組成之新種群，再而進入運算子之交配與突變之程序。

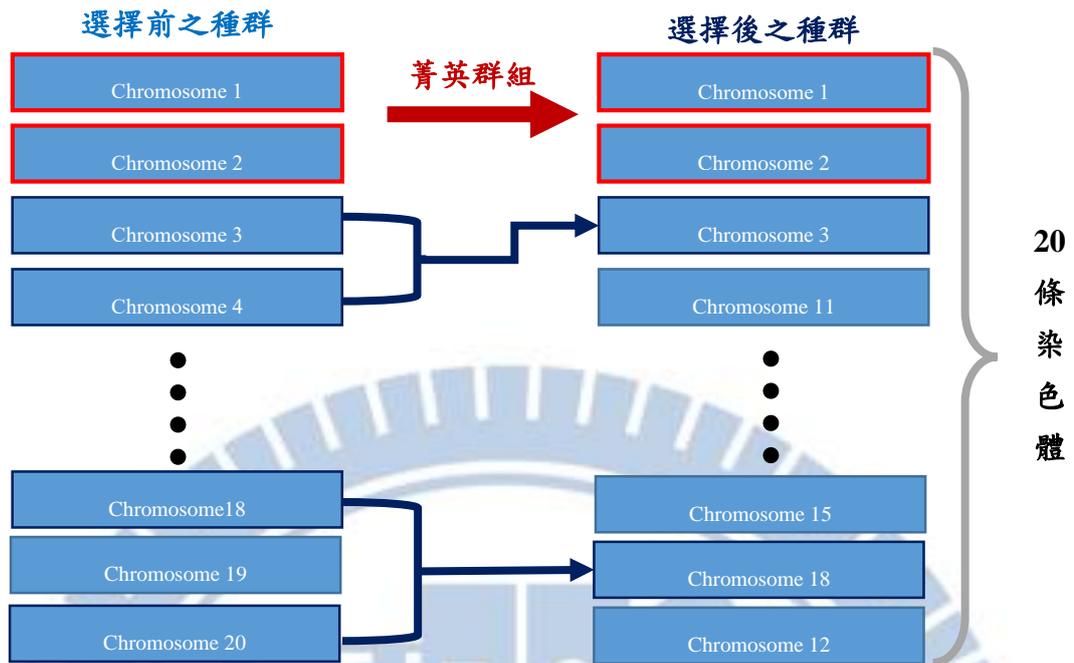


圖 4.11 菁英競爭選擇法範例示意圖

#### 4.3.2 交配

本研究所提出之基因演算法染色體交配之方式採用「單點交配」(Single-point Crossover)。但由於所提出之基因演算法染色體中三段基因值編碼之資料結構均為不同，因此三段基因值的交配將分別操作。因為決策情境中乃是以同一客戶為的貨物必須由同一車輛配送，故切斷點(cut point)僅可選擇其只能在不同客戶包裝盒之交界點。以圖 4.12 中的範例，由於客戶 1、7 及 10 皆有複數之貨物，故可行之切斷點不能在同一客戶所屬貨物之間，故進行交配時，只能在紅色箭號所指示之 13 個可行切斷點隨機擇一進行，以避免產生不可行解。

可行切斷點



貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
客戶 $i$	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	14
重疊服務區域	2	2				3						1	1				
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	12	15	8	4	13	10	9	7	5	2

圖 4.12 基因演算法染色體交配程序之可行切斷點

首先為第一部分「重疊服務區域段」之交配程序，在單點交配之架構下於染色體上隨機選取一可行切斷點，並交換兩染色體於此一切斷點之後之基因字串，如圖 4.13 所示。此段染色體針對位於重疊服務區域內之客戶/包裝盒，藉由交換兩條不同染色體之貨物指派情況，則有機會改由其他服務區域之車輛進行服務，例如母代 1 之貨物 12 及 13 本由第一個可行服務區域(#1)即服務區域 1，在經過交配後改為由第二個可行服務區域(#2)即服務區域 2 之車輛進行配送，以此體現廣義型重疊服務區域之實際意含。

母代 1

貨物 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
重疊服務 區域	2	2				3						1	1				

母代 2

貨物 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
重疊服務 區域	1	1				3						2	2				

子代 1

貨物 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
重疊服務 區域	2	2				3						2	2				

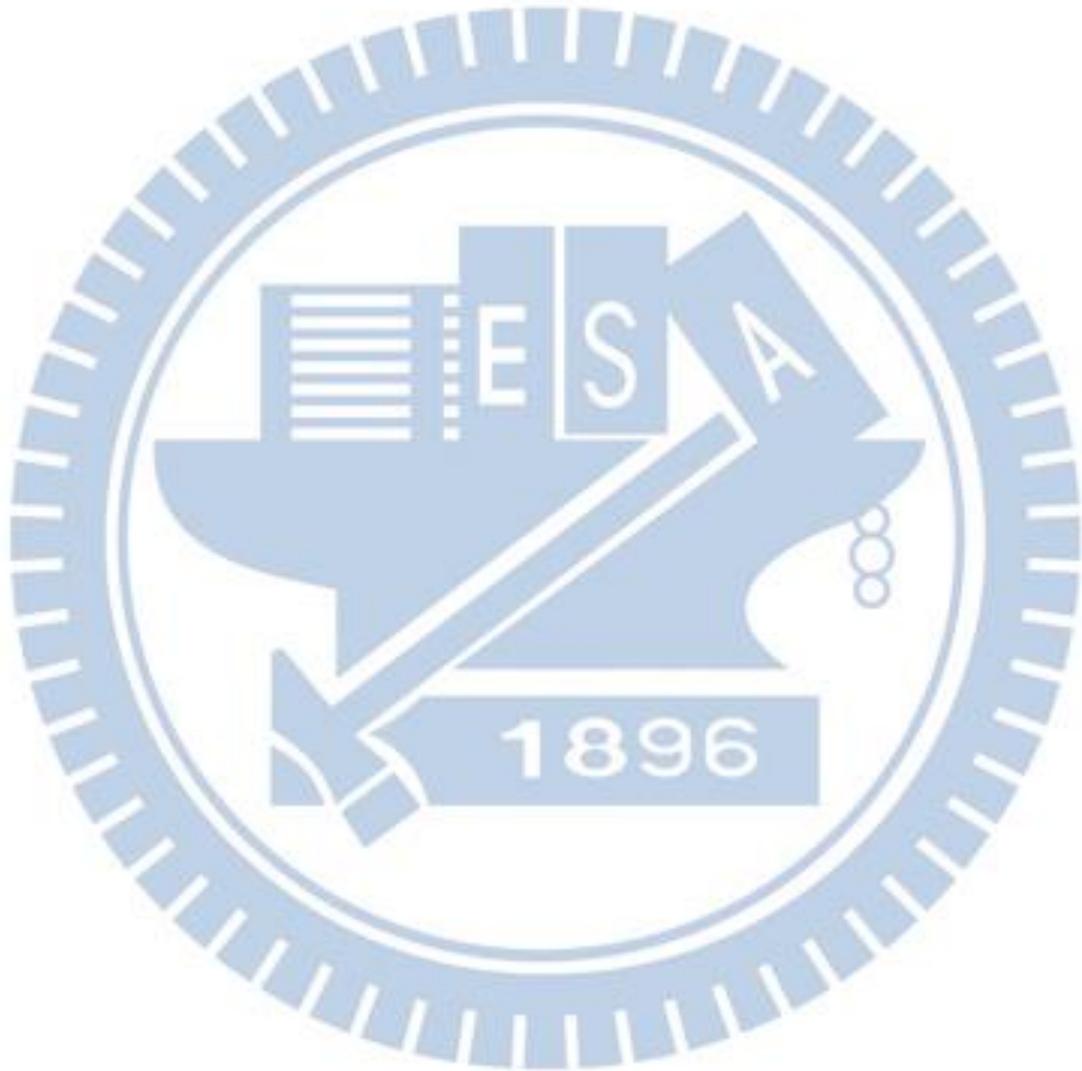
子代 2

貨物 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
重疊服務 區域	1	1				3						1	1				

圖 4.13 基因演算法染色體重疊服務區域段交配示意圖

接續進行染色體「貨物裝載順序段」之交配程序，同樣於染色體上隨機選取一可行切斷點，並交換兩染色體於此一切斷點之後之基因字串。但由於此段染色體之基因值具有不可重複之特性(1 到  $N$  共  $N$  個正整數)，因此為避免直接進行子染色體片段交換而產生不可行解之情況，將採用 Gen & Lin (2005)所提出的「權重對映交配法」(Weight Mapping Crossover; WMX)進行此段染色體之交配程序。WMX 交配運算子乃是考量另一染色體之基因字串，將原染色體之基因字串重新變動位置。其操作程序為：在兩交換切斷點間之子染色體片段，依據其基因值分別由小至大排列，可得兩組子染色體之基因相互對應之值，如圖 4.14 所示。其中，母代 1 之 2(最小值)對應於母代 2 之 5(最小值)，母代 1 之 4(次小值)對應於母代 2 之 10(次小值)，其於依此類推。接著再依對應之數值位置進行交

配，以母代 1 之 2 為例，其原為貨物 17 之裝載順序值，而母代 2 之 5 為貨物 15 之裝載順序值。故針對子代 1 之 2 而言，將其給定其為貨物 15 之裝載順序值(參照母代 2 之 1 為貨物 15 之裝載順序值)；針對子代 2 之 5 而言，將其給定其為貨物 17 之裝載順序值(參照母代 1 之 2 為貨物 17 之裝載順序值)。其餘對應數值之替換方式皆依此類推，而經由權重對映交配法交配後所得之結果，如圖 4.14 中之兩條子代所示。

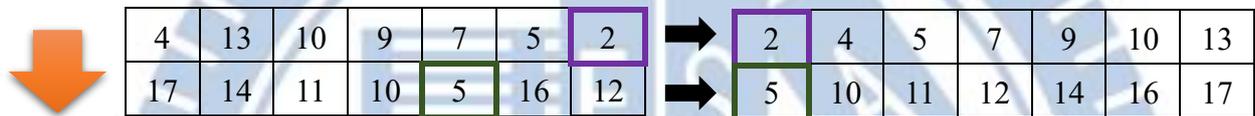


母代 1

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	12	15	8	4	13	10	9	7	5	2

母代 2

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載順序	7	6	3	13	2	4	15	9	8	1	17	14	11	10	5	16	12



子代 1

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	12	15	8	13	9	5	4	2	10	7

子代 2

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載順序	7	6	3	13	2	4	15	9	8	1	10	17	16	14	12	11	5

圖 4.14 基因演算法染色體貨物裝載順序段交配示意圖

最後介紹染色體中「貨物裝載方向段」之交配程序。此程序中將  $5 \times N$  的矩陣視為 1 個單維陣列(single-dimension array)，然後同樣於染色體上隨機選取一切斷點，並交換兩染色體於此一切斷點之後之基因字串，如圖 4.15 所示。

母代 1

貨物編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載方向	$a_1$	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
	$a_2$	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
	$a_3$	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	$a_4$	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1

母代 2

貨物編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載方向	$a_1$	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	$a_2$	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
	$a_3$	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0
	$a_4$	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1

子代 1

貨物編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載方向	$a_1$	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
	$a_2$	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
	$a_3$	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0
	$a_4$	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1

子代 2

貨物編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載方向	$a_1$	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	$a_2$	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
	$a_3$	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	$a_4$	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1

圖 4.15 基因演算法染色體貨物裝載方向段交配示意圖

### 4.3.3 突變

本研究所採用之基因演算法突變程序亦依照染色體中的三段編碼分別執行。第一段「重疊服務區域段」編碼部分之突變，乃針對位於重疊服務區域之客戶重新進行服務區域之指派。其操作是首先隨機選取位於重疊服務區域之一位客戶其所有貨物，對應至該客戶點之可行指派服務區域（如表 4.2），再於該客戶之可行指派服務區域選項中，隨機選取一個與原指派服務區域不同者作為突變後子代之指派服務區域。在圖 4.16 中的範例，先隨機選取其中一個位於重疊服務區域之母代客戶點(客戶 1、5 或 10)，假設目前需對客戶點 1(其所屬貨物為貨物 1 及 2)進行突變。對應至表 4.2，客戶點 1 之可行指派區域選項有「服務區域 1」或「服務區域 3」，因客戶點 1 原指派服務區域為「服務區域 3」，則選擇改由「服務區域 1」即第 1 個可行服務區域之車輛進行配送服務，亦將包裝盒 1 及 2 之重疊服務區域段基因值設為 1，如圖 4.16 中子代所示。

母代	客戶 1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物編號	1	2															
重疊服務區域	2	2				3						1	1				



客戶 i	1 重疊	2	3	4	5 重疊	6	7	8	9	10 重疊	11	12	13	14
可行指派服務區域	#1	1	3	3	3	1	2	2	2	2	1	1	1	1
	#2	3				2					2			
	#3					3								



子代	客戶 1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物編號	1	2															
重疊服務區域	1	1				3						1	1				

圖 4.16 基因演算法染色體重疊服務區域段突變示意圖

第二段「貨物裝載順序」編碼之突變程序採用交換突變法。其作法為隨機選取染色體上兩包裝盒，將其裝載順序值交換即完成突變。以圖 4.17 中的範例所示，假設隨機選取貨物 8 及貨物 9，則將其貨物裝載順序值相互交換，故貨物 8 之裝載順序將由 12 更新為 15；貨物 9 之裝載順序將由 15 更新為 12。而透過交換兩包裝盒貨物裝載順序值之方式，有機會可以帶來以下 3 種變化結果：(1) 同一客戶之兩貨物裝載順序改變，(2) 同一服務區域內之客戶服務順序改變，或 (3) 多服務區域內之客戶服務順序發生改變。

母代

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	12	15	8	4	13	10	9	7	5	2

子代

貨物編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
貨物裝載順序	17	16	11	6	3	1	14	15	12	8	4	13	10	9	7	5	2

圖 4.17 基因演算法染色體貨物裝載順序段突變示意圖

第三部分「貨物裝載方向」編碼之突變方式採用「單點突變法」。即給定染色體中每一基因位置，皆有一相同機率進行突變。突變之操作方式為若該基因值為 0，則令其突變為 1；反之亦然。如圖 4.18 之範例所示，假設包裝盒 8 之  $a_3$  欲進行突變，若該基因值原為“0”，則令其數值突變後更新為“1”。

貨物 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
貨物裝載 方向	$a_1$	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	
	$a_2$	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
	$a_3$	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	$a_4$	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1



貨物 編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
貨物裝載 方向	$a_1$	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	
	$a_2$	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
	$a_3$	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	$a_4$	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
	$a_5$	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1

圖 4.18 基因演算法染色體貨物裝載方向段突變示意圖

#### 4.4 終止條件

母代在經過選擇、交配及突變等運算子程序後，會產生出新的子代(可行解)，而將子代視為新的母代並再重新進行運算，則又可繼續產生新的子代。藉由基因演算法，不斷產生可行解並持續進行「優勝劣敗」的演化過程，藉此找到能使營運總成本最小化之可行解作為最好的決策。針對基因演算法之搜索終止條件，為「在給定連續迭代次數內，沒有更新基因演算法目前找到最好的解」即終止；例如：連續 200 次迭代沒有更新目前最好的解，此時可認為已收斂到（或非常接近）最佳目標值，故可以停止基因演算法之演化過程。

## 五、實驗測試與結果

本章將第四章所提出之基因演算法採 Visual Studio 2017 C++編寫程式後，再運用個人電腦（CPU：AMD Ryzen 5 1500X Quad-Core Processor, 3500 Mhz, RAM：8.00 GB）進行實驗數據的分析與比較，以驗證基因演算法求解「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」之效能。本章的內容共有三個部分：第 5.1 節介紹本研究數據實驗設計的相關細節，第二部分（第 5.2 節）運用一個「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」的例題，展示求解基因演算法的求解，最後的第 5.3 節是對於數據實驗的設定進行敏感度分析實驗。

### 5.1 數據實驗設計

由於文獻中並無完全契合本研究所提「考量廣義型重疊服務區域之聯合三維卡車裝載與車輛路徑問題」決策情境之標竿題庫，故本研究提出運用以下兩個原則產生數據實驗的例題：

1. 針對具廣義型重疊區域的服務區域劃分方式：參考自謝宗桓(2018)的設定方式，其以 Augerat et al. (1995)所整理之車輛路徑問題標竿題庫生成方式為設計之基礎。令場站與所有客戶點皆座落於 $100 \cdot 100$ 之座標圖中，並計算各顧客點間之距離。在服務區域劃分之架構中，以四個象限之概念針對此一 $100 \cdot 100$ 之整體服務範圍進行區域劃分，如圖 5.1 所示。將整體服務範圍以每 $50 \cdot 50$ 之區塊劃分為一服務區域，共可將此一座標圖分為 4 個服務區域( $|M| = 4$ )。而考量廣義型重疊服務區域之服務區域劃分架構則如圖 5.2 所示。操作方式為將服務區域 1、服務區域 2 與服務區域 3 之服務區域範圍放大為  $60 \cdot 60$ ，而服務區域 4 維持  $50 \cdot 50$ ，藉此產生具有兩個服務區域互相重疊、三個服務區域互相重疊及四個服務區域重疊之部分，用以呈現廣義型重疊服務區域之概念意涵。

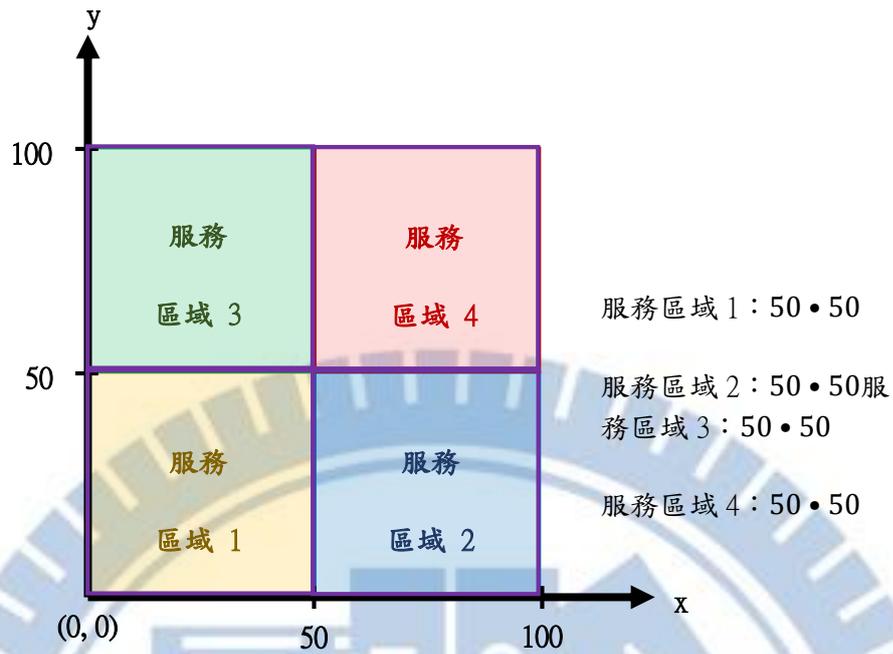


圖 5.1 無重疊服務區域之區域劃分方法示意圖

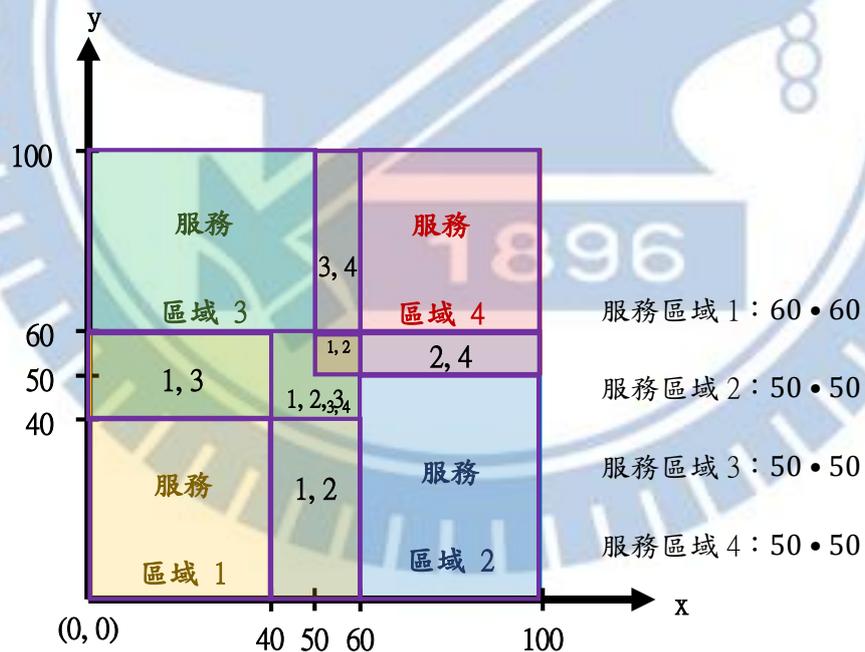


圖 5.2 具廣義型重疊服務區域之區域劃分方法示意圖

- 關於貨物裝載之參數部分：本研究參考自 Gendreau et al.(2006)所提出考量三維卡車裝載容量之車輛路徑問題標竿題庫，將卡車貨櫃之長、寬及高訂定為 60, 25 及 30，

而物流業者共提供 12 種規格包裝盒，為依據 3 種長度(0.2CL、0.3 CL 以及 0.4 CL)、2 種寬度(0.2CW 及 0.4C W)及 2 種高度(0.2CH 及 0.4 CH)之組合選項，並隨機給定各別規格種類之包裝盒 1 到 6 個貨物可行擺放方向。在需求方面給定單一客戶介於 1 到 3 件之貨物需求。

本研究中所提出之基因演算法所運用之最佳參數組合，相關細節呈現於附錄 A。附錄 A 推薦的基因演算法最佳參數設定如下：設定終止條件為連續 100 個迭代數無更新最佳解，種群數量採用 200 條染色體、交配率為 0.7、重疊服務區域段與貨物裝載順序段染色體突變率為 0.7、貨物裝載方向段基因突變率為 0.05 與菁英群組比例為 0.3。

## 5.2 一個「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題的求解

本研究運用一個「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」之範例進行求解說明，各客戶點之分布如圖 5.3 所示，其中 D 代表物流中心場站。本範例中給定指派服務區域 1 有 2 部自有車輛，服務區域 2、3 及 4 則各有 1 部自有車輛，同時假設自有車輛之每輛使用費用為 100 ( $C^F = 100$ )、調度自有車輛之成本為每輛 50 ( $C^B = 100$ )以及租用 1 部車輛之價格為 200 ( $C^B = 200$ )。而客戶點間距離與其需要配運之 75 件貨物需求（共有 12 種規格種類之包裝盒），並給定規格種類編號 1 至 12 之包裝盒其各有 6、6、6、6、6、6、6、4、2、4、2 及 2 種貨物擺放可行方向，如表 5.1 與表 5.2 所示。

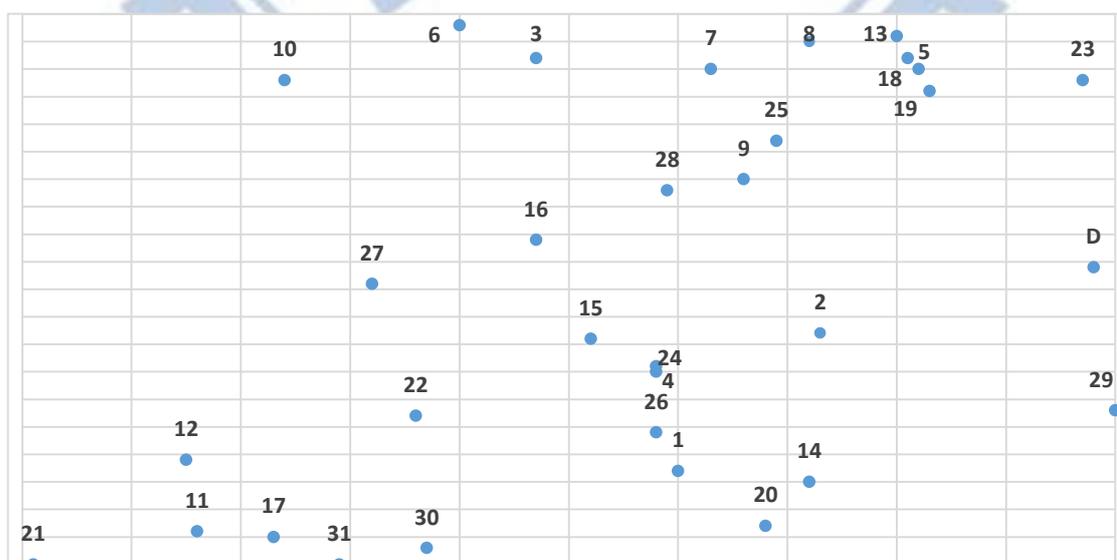


圖 5.3 「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題之客戶分布

表 5.1 「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題之各點距離

	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
D	0	53	27	63	44	41	72	50	48	35	81	95	90	45	46	47	51	89	39	35	55	111	67	34	43	37	50	66	41	26	79	87
1	53	0	28	76	18	77	83	73	78	53	79	45	45	81	12	25	43	38	76	72	12	61	26	80	19	60	7	44	51	41	26	35
2	27	28	0	56	16	50	65	49	53	28	67	67	62	54	27	21	31	62	48	45	35	83	39	51	16	35	23	41	29	30	53	60
3	63	76	56	0	58	34	9	16	25	29	23	91	79	33	80	51	33	90	35	36	87	102	65	50	57	26	68	43	26	83	89	93
4	44	18	16	58	0	61	65	55	61	35	62	51	45	64	24	8	26	46	60	56	29	66	23	65	1	43	11	30	33	42	38	45
5	41	77	50	34	61	0	41	18	9	26	57	107	98	4	77	58	47	104	2	6	85	121	79	16	60	19	71	63	32	66	99	105
6	72	83	65	9	65	41	0	24	32	38	18	95	82	40	88	58	39	94	42	44	95	105	71	57	64	35	76	47	35	92	95	98
7	50	73	49	16	55	18	24	0	10	20	39	96	85	18	75	50	34	93	19	20	83	109	68	34	54	14	66	49	22	72	90	96
8	48	78	53	25	61	9	32	10	0	25	48	105	95	8	80	57	43	102	11	14	88	118	76	25	60	18	72	59	29	72	98	104
9	35	53	28	29	35	26	38	20	25	0	45	81	72	29	55	32	21	77	25	23	63	95	52	35	34	7	46	38	7	54	73	79
10	81	79	67	23	62	57	18	39	48	45	0	82	69	56	87	54	37	83	58	59	92	90	62	73	62	46	72	37	40	96	85	88
11	95	45	67	91	51	107	95	96	105	81	82	0	13	110	56	50	61	7	106	104	52	16	29	115	51	88	45	47	75	86	21	14
12	90	45	62	79	45	98	82	85	95	72	69	13	0	100	57	43	51	16	97	95	54	23	22	107	46	79	43	36	65	85	27	23
13	45	81	54	33	64	4	40	18	8	29	56	110	100	0	81	61	49	107	6	10	89	124	81	18	63	21	75	65	35	70	102	108
14	46	12	27	80	24	77	88	75	80	55	87	56	57	81	0	32	50	50	75	71	8	72	37	77	25	62	16	53	54	30	37	45
15	47	25	21	51	8	58	58	50	57	32	54	50	43	61	32	0	18	46	57	54	37	65	21	65	7	39	18	22	27	49	40	47
16	51	43	31	33	26	47	39	34	43	21	37	61	51	49	50	18	0	59	46	45	56	74	33	57	25	28	36	17	15	61	56	61
17	89	38	62	90	46	104	94	93	102	77	83	7	16	107	50	46	59	0	103	100	45	22	25	111	46	85	39	46	72	80	14	7
18	39	76	48	35	60	2	42	19	11	25	58	106	97	6	75	57	46	103	0	4	84	121	78	15	59	18	70	63	31	64	97	104
19	35	72	45	36	56	6	44	20	14	23	59	104	95	10	71	54	45	100	4	0	80	118	75	14	55	16	66	61	30	60	94	101
20	55	12	35	87	29	85	95	83	88	63	92	52	54	89	8	37	56	45	84	80	0	67	37	86	30	70	19	56	61	38	31	39
21	111	61	83	102	66	121	105	109	118	95	90	16	23	124	72	65	74	22	121	118	67	0	44	130	67	102	61	59	89	102	36	28
22	67	26	39	65	23	79	71	68	76	52	62	29	22	81	37	21	33	25	78	75	37	44	0	86	23	59	22	24	47	64	24	27
23	34	80	51	50	65	16	57	34	25	35	73	115	107	18	77	65	57	111	15	14	86	130	86	0	65	30	74	74	42	60	104	111
24	43	19	16	57	1	60	64	54	60	34	62	51	46	63	25	7	25	46	59	55	30	67	23	65	0	42	12	30	32	42	39	46
25	37	60	35	26	43	19	35	14	18	7	46	88	79	21	62	39	28	85	18	16	70	102	59	30	42	0	54	45	13	57	80	86
26	50	7	23	68	11	71	76	66	72	46	72	45	43	75	16	18	36	39	70	66	19	61	22	74	12	54	0	37	44	42	29	37
27	66	44	41	43	30	63	47	49	59	38	37	47	36	65	53	22	17	46	63	61	56	59	24	74	30	45	37	0	31	71	48	51
28	41	51	29	26	33	32	35	22	29	7	40	75	65	35	54	27	15	72	31	30	61	89	47	42	32	13	44	31	0	57	68	74
29	26	41	30	83	42	66	92	72	72	54	96	86	85	70	30	49	61	80	64	60	38	102	64	60	42	57	42	71	57	0	67	76
30	79	26	53	89	38	99	95	90	98	73	85	21	27	102	37	40	56	14	97	94	31	36	24	104	39	80	29	48	68	67	0	8
31	87	35	60	93	45	105	98	96	104	79	88	14	23	108	45	47	61	7	104	101	39	28	27	111	46	86	37	51	74	76	8	0

表 5.2 「4 個重疊服務區域及 31 個客戶」例題之貨物需求資訊

貨物 編號	貨主	貨物 類型									
1	1	9	20	10	10	39	17	11	58	25	5
2	2	6	21	10	11	40	18	12	59	25	10
3	2	8	22	10	12	41	18	7	60	26	12
4	3	8	23	11	4	42	18	2	61	26	7
5	3	11	24	11	6	43	19	12	62	27	6
6	4	11	25	11	8	44	19	9	63	27	6
7	4	6	26	12	3	45	20	11	64	27	2
8	5	4	27	12	9	46	20	12	65	28	8
9	5	4	28	13	12	47	20	12	66	28	10
10	5	10	29	13	9	48	21	2	67	28	4
11	6	9	30	13	9	49	21	4	68	29	3
12	6	11	31	14	5	50	22	3	69	29	4
13	6	12	32	14	12	51	22	8	70	29	6
14	7	7	33	14	2	52	23	7	71	30	12
15	7	6	34	15	10	53	23	3	72	30	8
16	7	6	35	16	12	54	23	11	73	31	8
17	8	4	36	16	8	55	24	8	74	31	3
18	9	4	37	17	2	56	24	8	75	31	7
19	9	5	38	17	10	57	25	6			

若將此例題使用第四章所提之基因演算法進行求解，則令其染色體為一  $5 \cdot 75$  之矩陣結構，其中包含  $1 \cdot 75$  之重疊服務區域段、 $1 \cdot 75$  之貨物裝載順序段以及  $3 \cdot 75$  之貨物裝載方向段等資訊。而透過運算子進行演算求解後，可得出在考量廣義型重疊服務區域架構(參見圖 5.1)下，車輛之路徑決策如圖 5.4 所示。可觀察其共需 5 部車輛進行配送，其中服務區域 1、2 及 3 各需 1 部車輛，服務區域 4 則需 2 部車輛。而服務區域 4 需增加 1 部額外車輛進行配送，又因服務區域有 1 部空閒車輛，故將其調派至服務區域 4 進行服務。可得營運總成本為車輛使用成本( $5 \cdot \$100 + 1 \cdot \$50 = \$550$ )與車輛路徑成本(801)之和即為 \$1,351。

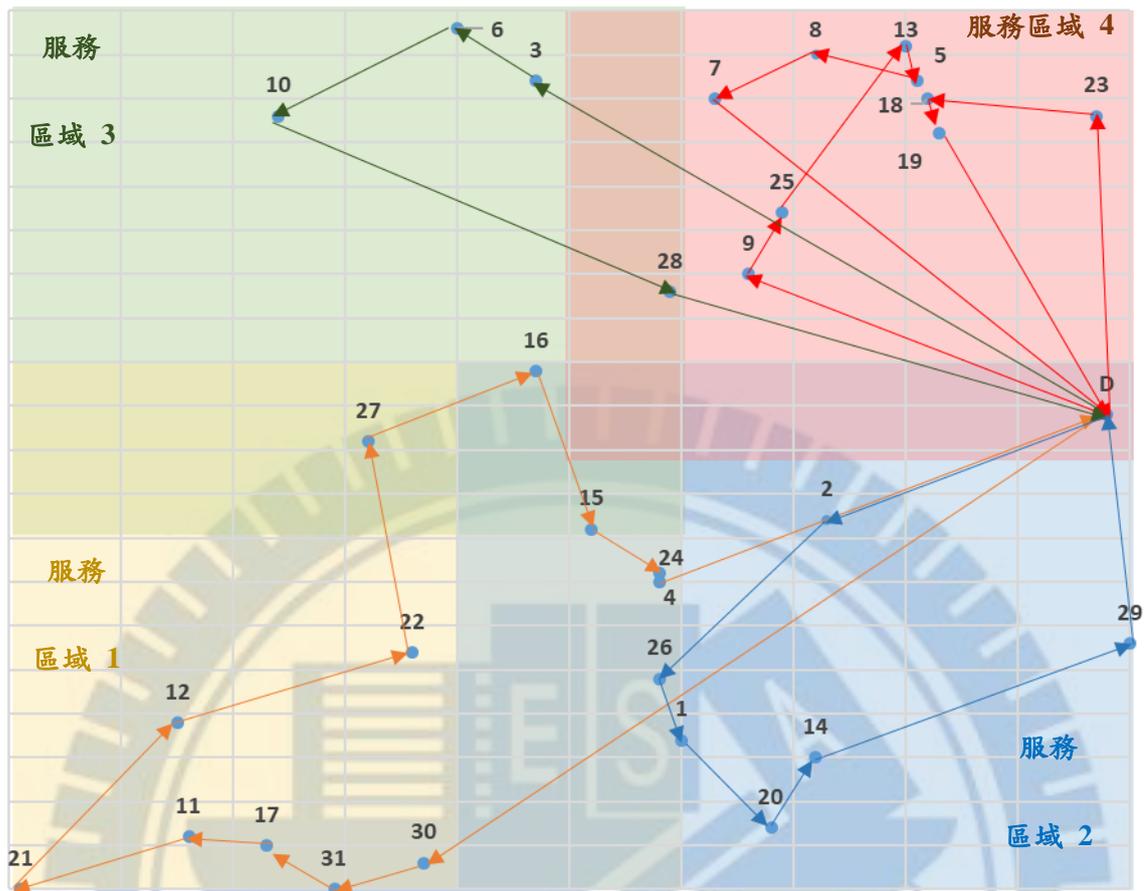


圖 5.4 考量廣義型重疊服務區架構下例題之車輛路徑決策

而在未考量廣義型重疊服務區域架構(參見圖 5.2)下，車輛之路徑決策如圖 5.5 所示。可觀察其同樣共需 5 部車輛進行配送，其中服務區域 1、2 及 3 各需 1 部車輛，服務區域 4 需 2 部車輛。而服務區域 4 需增加 1 部額外車輛進行配送，又因服務區域有 1 部空閒車輛，故將其調派至服務區域 4 進行服務。可得營運總成本為車輛使用成本( $5 \cdot \$100 + 1 \cdot \$50 = \$550$ )與車輛路徑成本( $\$831$ )之和即為 $\$1,381$ 。可發現考量廣義型重疊服務區域的情境(營運總成本為 $\$1,351$ )相較未考量廣義型重疊服務區域營運總成本，共節省 $\$30$ (約為 2.22%)，故確實可以達到提高車輛路徑安排彈性及降低營運總成本之效益。

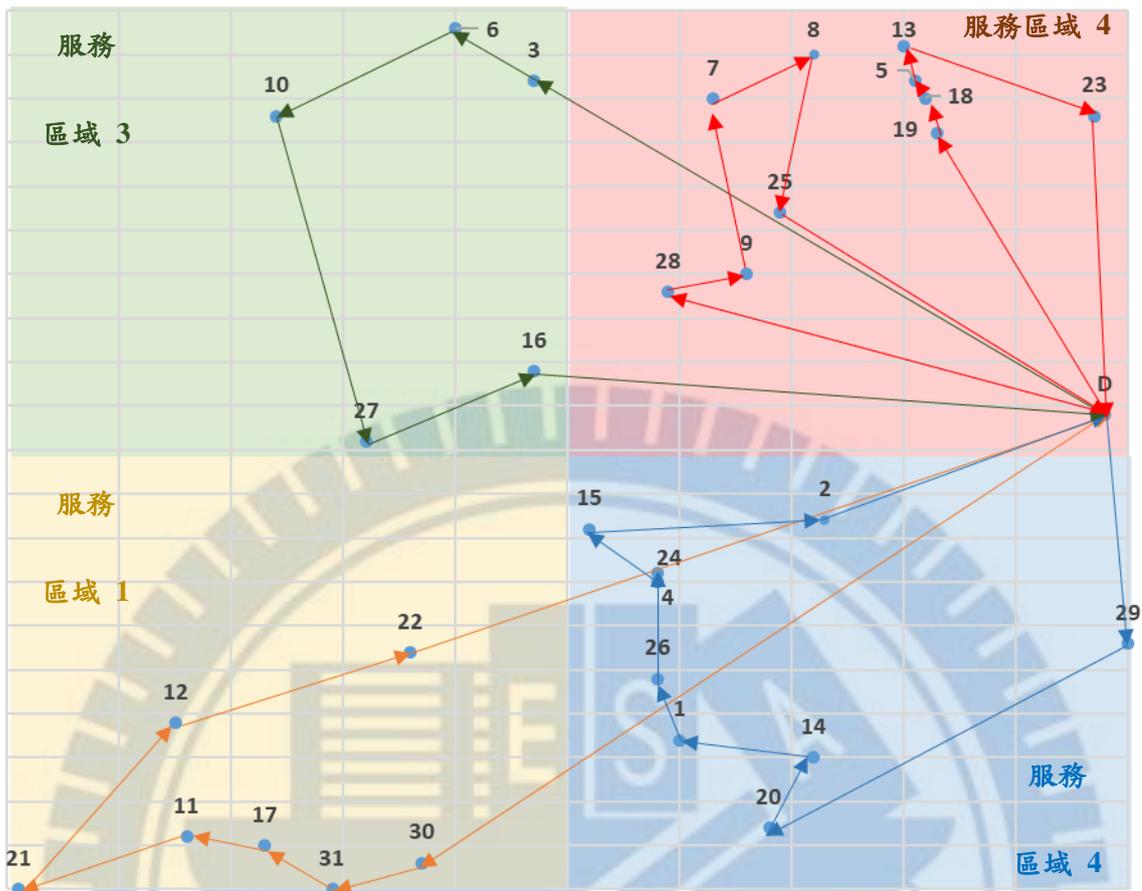


圖 5.5 未考量廣義型重疊服務區架構下例題之車輛使用及路徑決策

### 5.3 敏感度分析

本節對於數據實驗設定的環境進行兩種類別的敏感度分析實驗：

1. 有無運用廣義型重疊服務區域之比較分析
2. 包裝盒規格類型之比較分析

#### 5.3.1 有無運用廣義型重疊服務區域之比較

因為本論文之研究主題定義為「考量重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」，因此本節運用第 5.1 節的數據實驗設定及圖 5.1 與圖 5.2 之分區方式，進行有無運用廣義型重疊服務區域之比較分析。為推論考量廣義型重疊服務區域是否具有降低營運成本之效益，在 95% 之信心水準下，本研究運用「成對 t 檢定」檢定在各個客戶數水

準下的數據，其檢定數據結果如表 5.2 所示。在各客戶數水準之實驗組別中，其單尾檢定 p-value 皆小於 0.05，意即(無重疊服務區域 vs. 有重疊服務區域)之成對比較數據，於 95%之信心水準下，考量有重疊服務區域之營運總成本「皆顯著低於」無考慮重疊服務區域之營運總成本。故由此部分的比較分析確認「使用廣義型重疊服務區域之概念可以明顯降低營運總成本」。

本研究再繼續探討「客戶數量對於運用廣義型重疊服務區域進行營運的影響」。本研究四種客戶數量水準( $n = 31$ 、 $n = 37$ 、 $n = 43$ 與 $n = 49$ )，各別進行數據實驗的詳細數據請參見附錄 C，彙整如表 5.3 所示。由表 5.2 可發現在 $n = 31$ 、 $n = 37$ 、 $n = 43$ 與 $n = 49$ 客戶數量水準下，對於降低營運總成本分別有 7.51%、5.96%、3.24%及 2.11%之改善幅度。對於有 31 位客戶的例題，運用廣義型重疊服務區域可有將近 8%之改善，而客戶數較多有 49 位客戶的例題，仍有約 2%之改善效能，故可再次確認考量廣義型重疊服務區域能有效降低物流公司之營運總成本。

而同時再對於表 5.3 中 4 種客戶數服務水準之數據結果進行比較，可發現在相同之服務區域劃分架構下，客戶點數量較少時，運用廣義型重疊服務區域對於營運總成本節省之效益會越明顯。本研究的結果也印證謝宗桓(2018)依照廣義型服務區域之特性，在客戶點數量較大時，每個服務區域內之客戶點數量與密度皆較高，因此有更多之組合求解車輛路徑，同時也提高各服務區域內每輛卡車之裝載率以節省剩餘空間；反之客戶點數量較少時，各服務區域內之卡車剩餘空間較大，此時利用廣義型重疊服務區域之概念，將可靈活運用各服務區域之卡車剩餘空間，具有較為明顯降低營運總成本之效果。

表 5.2 在各客戶數水準下有無考量重疊服務區域下成對 t 檢定之結果

客戶數水準		(無考慮重疊服務區域 vs. 有考慮重疊服務區域) 單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
1	客戶數 31	0.0002	有顯著
2	客戶數 37	0.0012	有顯著
3	客戶數 43	0.0117	有顯著
4	客戶數 49	0.0004	有顯著

表 5.3 在各客戶數水準下考量重疊服務區域下營運總成本平均改善幅度之比較

客戶數水準		無考慮 廣義型重疊服務區域 5 組數據平均成本值	有考慮 廣義型重疊服務區域 5 組數據平均成本值	成本值平均 改善幅度
1	客戶數 31	1151	1064	7.51%
2	客戶數 37	1240.2	1165.8	5.96%
3	客戶數 43	1247	1206.2	3.24%
4	客戶數 49	1361.4	1332.8	2.11%

### 5.3.2 不同包裝盒規格類型數之比較

因為本研究必須考量三維卡車裝載的最佳化，而包裝盒規格類型較多時，在三維裝載最佳化也將更為複雜，故本節將測試不同之包裝盒規格類型數量下對營運總成本之影響。數據實驗的設計為在客戶數 31 之水準下，本研究考量包裝盒規格類型共分 4 種水準，分別設定有 1、5、9 及 12 種類型之包裝盒，以隨機方式產生 5 個例題進行測試，其數據結果彙整如圖 5.6 與表 5.4 所示。

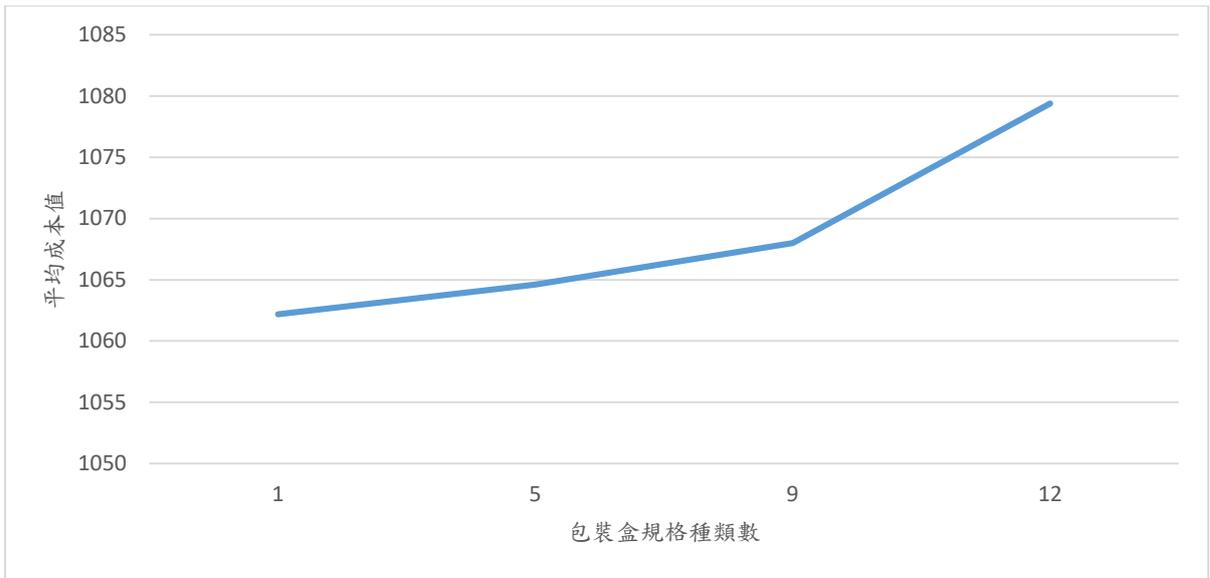


圖 5.6 各包裝盒規格類型水準所測得之平均成本折線圖

可依據表 5.4 中的數據結果觀察，當物流業者提供的包裝盒規格類型越少時，其營運總成本越低。本研究推論認為因貨物間之異質性越低，越容易整齊堆疊擺放，不易產生畸零空間，因此有較多種可行之貨物擺放組合。而當包裝盒規格類型越多時，造成貨物堆疊時會有較大的複雜度，因此可能會造成物流業者更高之營運總成本。

表 5.4 各包裝盒規格類型數水準之數據結果

包裝盒規格類型數水準															
類型數 1			類型數 5			類型數 9			類型數 12						
例題	車輛使用成本	車輛路徑成本	營運總成本	例題	車輛使用成本	車輛路徑成本	營運總成本	例題	車輛使用成本	車輛路徑成本	營運總成本	例題	車輛使用成本	車輛路徑成本	營運總成本
1	400	571	971	1	400	575	975	1	400	584	984	1	400	587	987
2	400	630	1030	2	400	630	1030	2	400	636	1036	2	400	643	1043
3	400	795	1195	3	400	805	1205	3	400	802	1202	3	400	833	1233
4	400	641	1041	4	400	639	1039	4	400	641	1041	4	400	657	1057
5	400	674	1074	5	400	674	1074	5	400	677	1077	5	400	677	1077
平均	400	662.2	1062.2	平均	400	664.6	1064.6	平均	400	668	1068	平均	400	679.4	1079.4
增加比例	0		0.2%			0.5%			1.6%						

## 六、 結論與建議

本章將於 6.1 節中針對前述之研究進行總結，6.2 節則針對未來研究方向提出建議，以更貼近物流業之實務情境與面臨之問題。

### 6.1 結論

本研究考量「廣義型重疊服務區域(General Overlapping Service Regions)」，且將其應用於聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題中，提出「考量義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」之研究。透過考量廣義型重疊服務區域分區之架構中，以增加車輛路徑安排之彈性，用以降低物流公司運總成本，提供物流業者一短期營運配送之決策模式。

針對「考量義型重疊服務區域之聯合三維貨櫃裝載與車輛路徑問題」之決策情境，本研究建立其數學模型數學模型主要用於此問題情境之描述，並提出基因演算法求解「車輛路徑安排」、「三維貨櫃裝載」與「車輛使用模式」三部分之決策。其中，前兩者可藉由基因演算法所得最佳解之染色體解碼獲得，而車輛使用模式則主要依據貨物裝載之結果，決定決策如何運用自有車輛、跨區挪用或租用車輛。由本研究之數據實驗之驗證，可觀察整合「廣義型重疊服務區域」與三維貨櫃裝載及車輛路徑的決策，相較於無運用「廣義型重疊服務區域」，可以達到 7.5% 以上之成本節省，確實可以有效降低物流公司營運總成本。另外，由數據實驗也觀察到，在規劃區域內客戶點數量較少時，各服務區域內之卡車剩餘空間較大，此時利用「廣義型重疊服務區域」之彈性，將可靈活運用各服務區域之卡車剩餘空間，具有較為明顯降低營運總成本之效果。

## 6.2 未來研究方向與建議

本研究於定義問題時設定些許假設，因此將未來研究方向建議如下，期望能更貼近物流業之現實層面：

- (1) 本研究在求解裝載決策時無考慮脆弱物品之堆疊限制，故在未來研究上可將此限制納入考量。
- (2) 本研究之情境為在已知場站位置之前提下，進行車輛路徑安排。未來研究可納入物流場站選址問題，並與廣義型重疊服務區域概念結合，提供物流公司場站之設站規劃。
- (3) 本研究為在給定分區架構下進行探討，因此建議未來可將服務區域劃分設計議題與本研究做結合，進行長期營運設定之決策；即求解具廣義型重疊服務區域之服務區域分區設計問題。

## 參考文獻

- [1] Augerat, P., Belenguer, J. M., Benavent, E., Corberán, A., Naddef, D., & Rinaldi, G. (1995). Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. *Technical Report 949-M, Université Joseph Fourier*.
- [2] Bard, J. F., & Jarrah, A. I. (2009). "Large-scale constrained clustering for rationalizing pickup and delivery operations." *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(5), 542-561.
- [3] Bischoff, E. E., & Marriott, M. D. (1990). "A comparative evaluation of heuristics for container loading." *European Journal of Operational Research*, 44(2), 267-276.
- [4] Bischoff, E. E., & Ratcliff, M. S. W. (1995). "Issues in the development of approaches to container loading." *Omega*, 23(4), 377-390.
- [5] Bischoff, E. E. (2006). "Three-dimensional packing of items with limited load bearing strength." *European Journal of Operational Research* 168(3): 952-966.
- [6] Bortfeldt, A., Gehring, H. and Mack, D. (2003). "A parallel tabu search algorithm for solving the container loading problem." *Parallel Computing* 29(5): 641-662.
- [7] Bortfeldt, A. (2012). "A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints." *Computers & Operations Research* 39(9): 2248-2257.
- [8] Bortfeldt, A., & Homberger, J. (2013). "Packing first, routing second—a heuristic for the vehicle routing and loading problem." *Computers & Operations Research*, 40(3), 873-885.
- [9] Bortfeldt, A., & Wäscher, G. (2013). "Constraints in container loading—A state-of-the-art review." *European Journal of Operational Research*, 229(1), 1-20.
- [10] Bozkaya, B., Erkut, E., & Laporte, G. (2003). "A tabu search heuristic and adaptive memory procedure for political districting." *European Journal of Operational Research*, 144(1), 12-26.
- [11] Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016). "The vehicle routing problem: State of the art classification and review." *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.

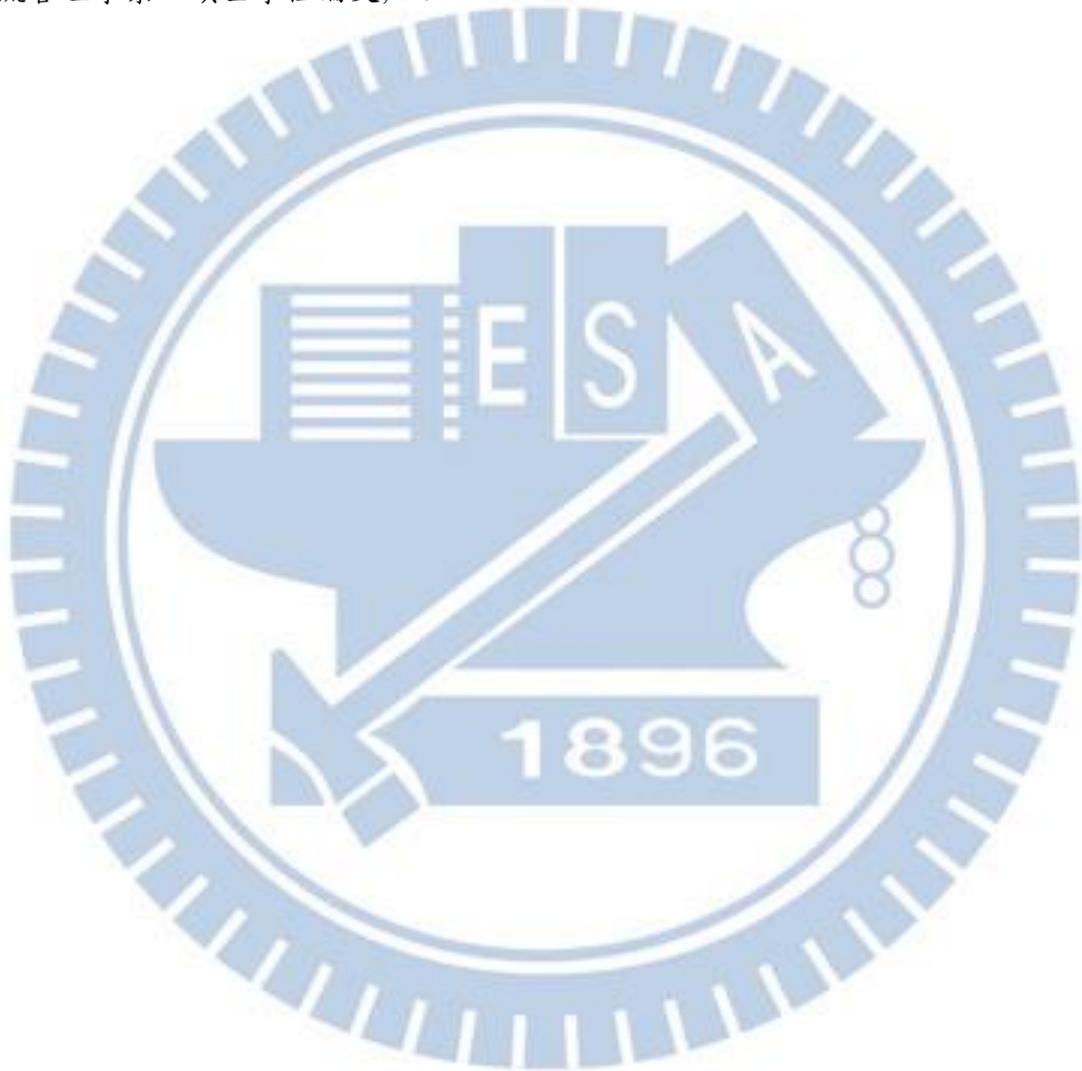
- [12] Camacho-Collados, M., Liberatore, F., & Angulo, J. M. (2015). "A multi-criteria police districting problem for the efficient and effective design of patrol sector." *European Journal of Operational Research*, 246(2), 674-684.
- [13] Ceschia, S., & Schaerf, A. (2013). "Local search for a multi-drop multi-container loading problem." *Journal of Heuristics*, 1-20.
- [14] Ceschia, S., Schaerf, A., & Stützle, T. (2013). "Local search techniques for a routing-packing problem." *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 1138-1149.
- [15] Côté, J. F., Guastaroba, G., & Speranza, M. G. (2017). "The value of integrating loading and routing." *European Journal of Operational Research*, 257(1), 89-105.
- [16] Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). "The truck dispatching problem." *Management Science*, 6(1), 80-91.
- [17] Fuellerer G, Doerner K, Hartl R, Iori M (2009). "Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem." *Computers & Operations Research*, 36:655–673.
- [18] Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Iori, M. (2010). "Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints." *European Journal of Operational Research*, 201(3), 751-759.
- [19] Gehring, H., Menschner, K., & Meyer, M. (1990). "A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers." *European Journal of Operational Research*, 44(2), 277-288.
- [20] Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G. and Martello, S. (2006). "A tabu search algorithm for a routing and container loading problem." *Transportation Science*, 40(3): 342-350.
- [21] Gendreau M., Iori, M., Laporte G, Martello, S. (2007b). "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints." *Networks*, 51:4–18
- [22] George, J. A., & Robinson, D. F. (1980). "A heuristic for packing boxes into a container." *Computers & Operations Research*, 7(3), 147-156.
- [23] Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. (2012). "A parallel multi-population biased random-key genetic algorithm for a container loading problem." *Computers & Operations Research*, 39(2), 179-190.
- [24] González-Ramírez, R. G., Smith, N. R., Askin, R. G., Miranda, P. A., & Sánchez, J. M. (2011). "A hybrid metaheuristic approach to optimize the districting design of a parcel company." *Journal of Applied Research and Technology*, 9(1), 19-35.

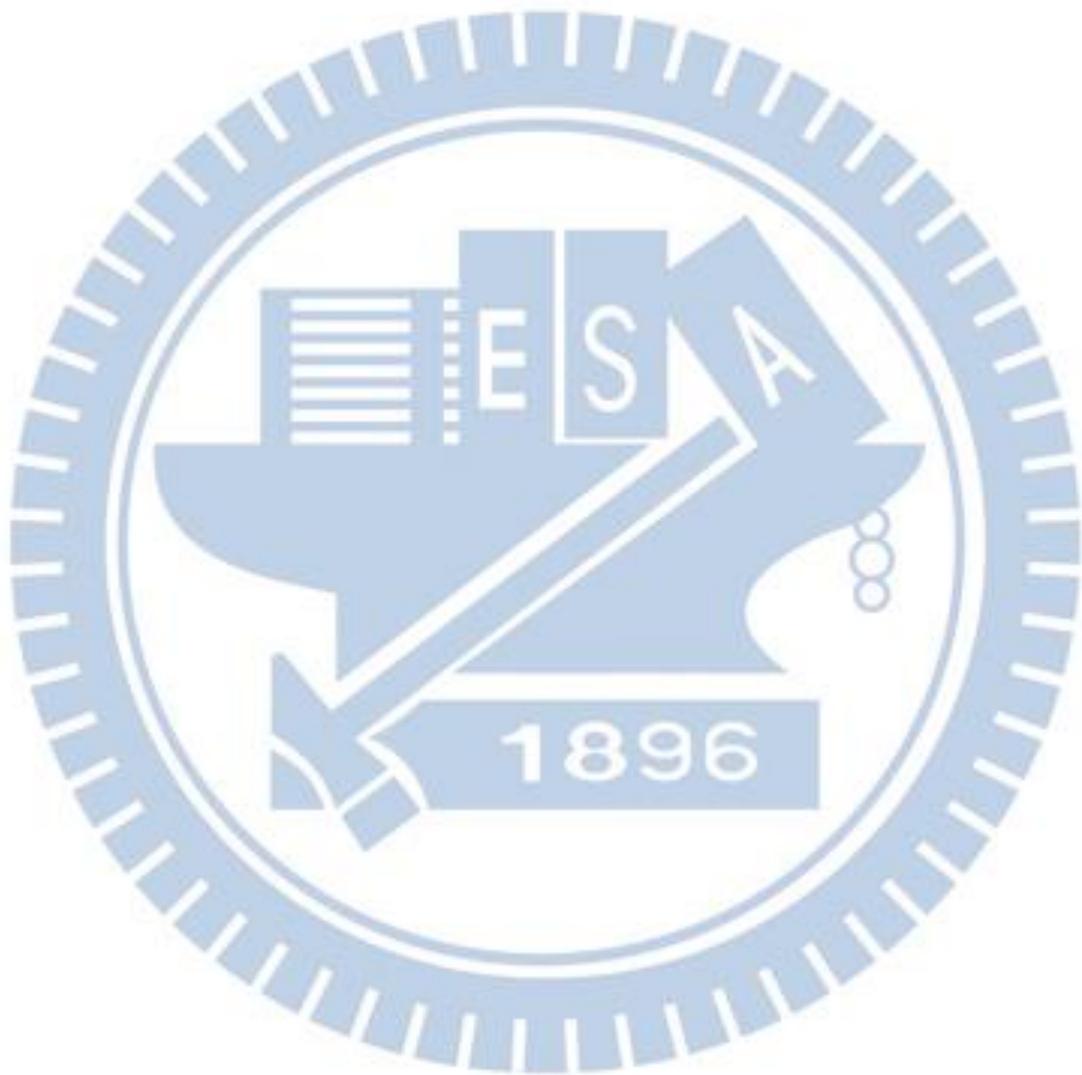
- [25] González-Ramírez, R. G., Smith, N. R., Askin, R. G., Camacho-Vallejo, J. F., & González-Velarde, J. L. (2017). "A GRASP-tabu heuristic approach to territory design for pickup and delivery operations for large-scale instances." *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2017.
- [26] Haugland, D., Ho, S. C., & Laporte, G. (2007). "Designing delivery districts for the vehicle routing problem with stochastic demands." *European Journal of Operational Research*, 180(3), 997-1010
- [27] Hemminki, J. 1994. Container loading with variable strategies in each layer. Presentation, ESI-X, July 2–15, EURO Summer Institute, Jouy-en-Josas, France.
- [28] Huang, W., & He, K. (2009). "A caving degree approach for the single container loading problem." *European Journal of Operational Research*, 196(1), 93-101.
- [29] Huang, Y. H., Hwang, F. J., & Lu, H. C. (2016). "An effective placement method for the single container loading problem." *Computers & Industrial Engineering*, 97, 212-221.
- [30] Iori, M., & Martello, S. (2010). "Routing problems with loading constraints." *Top*, 18(1), 4-27.
- [31] Ivancic, N. J., Mathur, K., & Mohanty, B. B. (1989). "An integer programming based heuristic approach to the three-dimensional packing problem." *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, 268-298.
- [32] Jin, Z., Ohno, K., & Du, J. (2004). "An efficient approach for the three-dimensional container packing problem with practical constraints." *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 21(03), 279-295.
- [33] Junqueira, L., Morabito, R., & Yamashita, D. S. (2012). "Three-dimensional container loading models with cargo stability and load bearing constraints." *Computers & Operations Research*, 39(1), 74-85.
- [34] Junqueira, L. and Morabito, R. (2015). "Heuristic algorithms for a three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem in a carrier." *Computers & Industrial Engineering*, 88: 110-130.
- [35] Koloch, G. and Kaminski, B. (2010). "Nested vs. Joint optimization of vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints." *Engineering Letters*, 18(2): 193-198.

- [36]Lacomme, P., Toussaint, H., & Duhamel, C. (2013). "A GRASP× ELS for the vehicle routing problem with basic three-dimensional loading constraints." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(8), 1795-1810.
- [37]Lai, K. K., Xue, J. and Xu, B. (1998). "Container packing in a multi-customer delivering operation." *Computers & Industrial Engineering* 35(1): 323-326.
- [38]Lenstra, J. K., & Kan, A. R. (1981). "Complexity of vehicle routing and scheduling problems." *Networks*, 11(2), 221-227.
- [39]Leung, S. C., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., & Lim, M. K. (2013). "A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints." *European Journal of Operational Research*, 225(2), 199-210.
- [40]Liu, W. Y., Lin, C. C. and Yu, C. S. (2011). "On the three-dimensional container packing problem under home delivery service." *Asia-Pacific Journal of Operational Research* 28(5), 601-621.
- [41]Männel, D. and Bortfeldt, A. (2016). "A hybrid algorithm for the vehicle routing problem with pickup and delivery and three-dimensional loading constraints." *European Journal of Operational Research* 254(3): 840-858.
- [42]Miao, L., Ruan, Q., Woghiren, K., & Ruo, Q. (2012). "A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints." *RAIRO-Operations Research*, 46(1), 63-82.
- [43]Miller, B. L., & Goldberg, D. E. (1995). "Genetic algorithms, tournament selection, and the effects of noise." *Complex Systems*, 9(3), 193-212.
- [44]Murata, T., Ishibuchi, H., & Tanaka, H. (1996). "Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling." *Computers & Industrial Engineering*, 30(4), 957-968.
- [45]Muyldermans, L., Cattrysse, D., & Oudheusden, D. V. (2003). "District design for arc-routing applications." *Journal of the Operational Research Society*, 54(11), 1209-1221.
- [46]Parreño, F., Alvarez-Valdés, R., Oliveira, J. F., & Tamarit, J. M. (2010). "Neighborhood structures for the container loading problem: a VNS implementation." *Journal of Heuristics*, 16(1), 1-22.
- [47]Pisinger, D. (2002). "Heuristics for the container loading problem." *European Journal of Operational Research*, 141(2), 382-392.

- [48] Prischink, M., Kloimüller, C., Biesinger, B., & Raidl, G. R. (2016, June). "Districting and routing for security control." *In International Workshop on Hybrid Metaheuristics* (pp. 87-103). Springer, Cham.
- [49] Sahin, B., Yilmaz, H., Ust, Y., Guneri, A. F., & Gulsun, B. (2009). "An approach for analysing transportation costs and a case study." *European Journal of Operational Research*, 193(1), 1-11.
- [50] Schneider, M., Stenger, A., Schwahn, F., & Vigo, D. (2014). "Territory-based vehicle routing in the presence of time-window constraints." *Transportation Science*, 49(4), 732-751.
- [51] Shen, Y., & Murata, T. (2012). "Pick-up Scheduling of Two-dimensional Loading in Vehicle Routing Problem by using GA." *In Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists, IMECS* (Vol. 2, pp. 1532-1537).
- [52] Steiner, M. T. A., Datta, D., Neto, P. J. S., Scarpin, C. T., & Figueira, J. R. (2015). "Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil." *Omega*, 52, 53-64.
- [53] Tao, Y., & Wang, F. (2015). "An effective tabu search approach with improved loading algorithms for the 3L-CVRP." *Computers & Operations Research*, 55, 127-140.
- [54] Tarantilis, C. D., Zachariadis, E. E., & Kiranoudis, C. T. (2009). "A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 10(2), 255-271.
- [55] Wei, L., Zhang, D., & Chen, Q. (2009). "A least wasted first heuristic algorithm for the rectangular packing problem." *Computers & Operations Research*, 36(5), 1608-1614.
- [56] Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Leung, S. C. (2017). "A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints." *European Journal of Operational Research*, 265(3), 843-859.
- [57] Williams Jr, J. C. (1995). "Political redistricting: a review." *Papers in Regional Science*, 74(1), 13-40.
- [58] Zhang, Z., Wei, L. and Lim, A. (2015). "An evolutionary local search for the capacitated vehicle routing problem minimizing fuel consumption under three-dimensional loading constraints." *Transportation Research Part B: Methodological*, 82: 20-35.

- [59]Zhu, W., Huang, W., & Lim, A. (2012)." A prototype column generation strategy for the multiple container loading problem." *European Journal of Operational Research*, 223(1), 27-39.
- [60]劉庭妤.(2017). 有重疊服務區域之多貨櫃裝載問題. 交通大學運輸與物流管理學系，碩士學位論文, 1-76.
- [61]謝宗桓.(2018). 考量重疊服務區域與容量限制之車輛路徑問題. 交通大學運輸與物流管理學系，碩士學位論文, 1-92.





## 附錄 A. 基因演算法最佳參數設定

針對本研究於第四章所提出之基因演算法，本節運用數據實驗以確認其所運用的最佳參數。基因演算法中必須設定以下五項參數：(1)終止條件中指定之迭代數、(2)染色體種群數量、(3)交配率、(4)突變率與(5)菁英群組之比例。本節之數據實驗乃是運用第 5.1 節之例題生成方式（即是以 4 個重疊服務區域、31 個客戶、每位客戶 1-3 件貨物、12 種規格包裝盒及 1-6 個可行堆疊方向等的方式），隨機生成 10 個例題，然後每個例題紀錄基因演算法求解 20 次之結果。

### A.1 迭代數

本研究所提出之基因演算法的終止條件為「在給定連續迭代次數(no. of generations)內，沒有更新基因演算法目前找到最好的解」。因為與基因演算法的求解時間與效能密切相關，故此一參數（迭代數）之設定非常重要。迭代數設定過高將使演算法耗費更多的運算時間，但是可能對於求解品質提升的邊際效益不顯著；然而迭代數設定過低則基因演算法的演化過程尚未收斂即停止搜索，通常導致求解品質較差。故針對基因演算法之終止條件（迭代數），本研究共測試 6 種迭代數水準(20, 40, 60, 80, 100, 120)目，以目標函數「平均成本值」作為比較之基準；實驗結果彙整於圖 A.1 及圖 A.2。

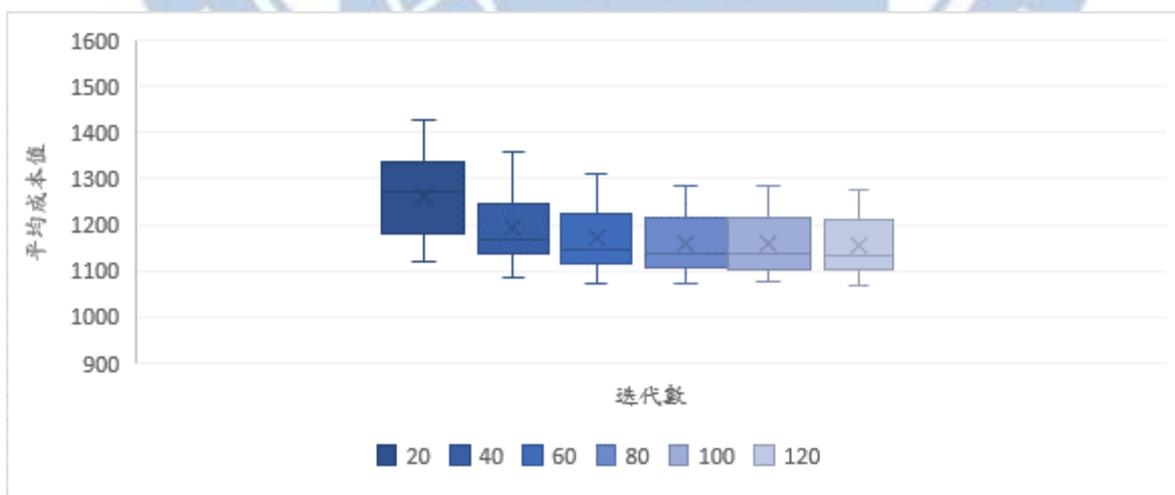


圖 A.1 基因演算法各迭代數所測得之 10 組數據分布盒鬚圖

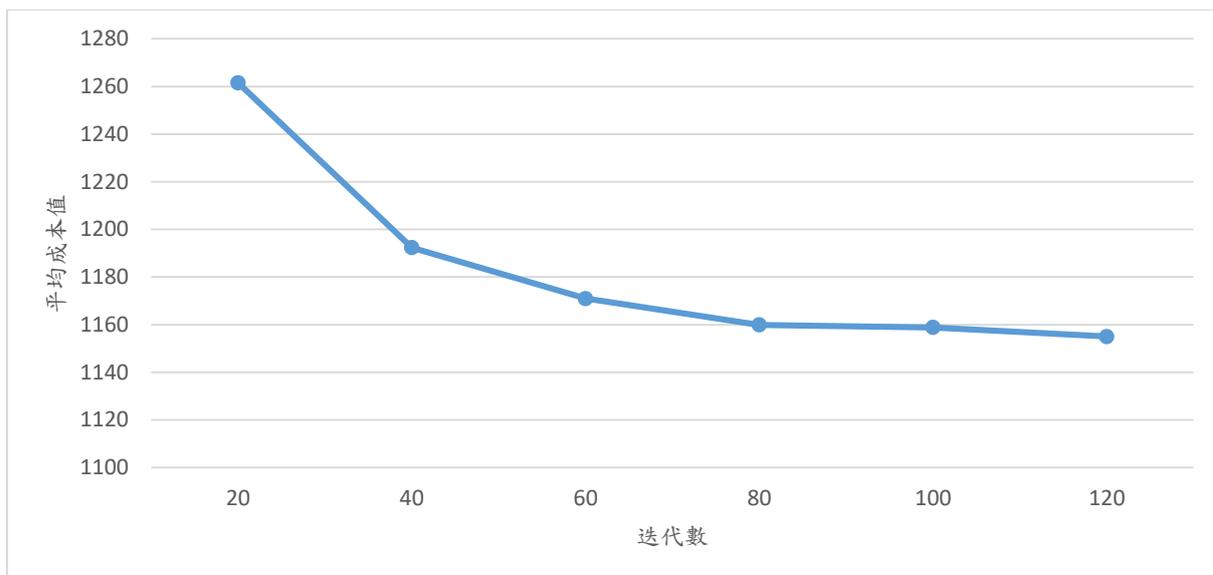


圖 A.2 基因演算法各迭代數所測得之平均成本折線圖

由圖 A.1 與圖 A.2 中可發現各迭代數水準所得之「平均成本值」，在 80 代以上的各個水準的差異性不大。針對此 6 種迭代數水準進行「成對 t 檢定」，以兩個鄰近迭代數水準為一組之方式，比較兩迭代數水準之間，迭代數較大者是否有顯著差異優於迭代數較小者，其檢定結果如表 A.1 所示。統計檢定的數據顯示，僅(20 vs. 40)、(40 vs. 60)、(60 vs. 80)及(80 vs. 120)四對組之單尾 p-value 小於 0.05；意即在 95%之信心水準下，拒絕虛無假設，表示「兩者之間有顯著差異」。可發現迭代數水準在 100 代以上，對求解品質無顯著差異，故本研究將主基因演算法之迭代數水準設定為 100 代。

表 A.1 基因演算法迭代數之成對 t 檢定結果

迭代數對組	單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
20 vs. 40	0.0000	有顯著
40 vs. 60	0.0000	有顯著
60 vs. 80	0.0000	有顯著
80 vs. 100	0.2838	不顯著
100 vs. 120	0.0740	不顯著
80 vs. 100	0.0020	有顯著

## A.2 染色體種群數量與交配率

染色體種群數量(population size)與交配率(crossover rate)之設定皆會影響基因演算

法之求解效能。種群數量如同 A.1 節之迭代數，較大之種群數量可運用較多之染色體進行平行搜尋(parallel search)，可以有較高之機率搜尋到解空間的全域最佳解，但必須付出耗費更多運算時間的代價。然而如果種群數量過少時，則基因演算法有較高之機率收斂於區域最佳解，或稱「過早收斂」(premature convergence)，所以可能會影響求解品質。另外，交配率之設定亦影響基因演算法之求解效能。較高的交配率可使基因演算法對於解空間的充分「探勘」(exploration)，但是在解空間廣泛搜索的同時，是沒有機會對於較好的解附近進行仔細的搜尋、難以收斂而使得效能降低；反之，較低的交配率則可能使基因演算法無法展開對於解空間的「探勘」。為使基因演算法有良好的求解效能，種群數量與交配率之設定必須謹慎。

本研究針對基因演算法之種群數量與交配率兩種參數進行交互配對測試。其中種群數量共有 6 種水準 100、120、140、160、180 及 200 條，而交配率則共有 5 種水準則有 0.5、0.6、0.7、0.8 及 0.9。數據實驗分析在各交配率水準下，其分別對應其中一個種群數量，則會有較佳之參數組合。以交配率 0.5 為例，其數據實驗之結果如圖 A.3 與圖 A.4 所示。

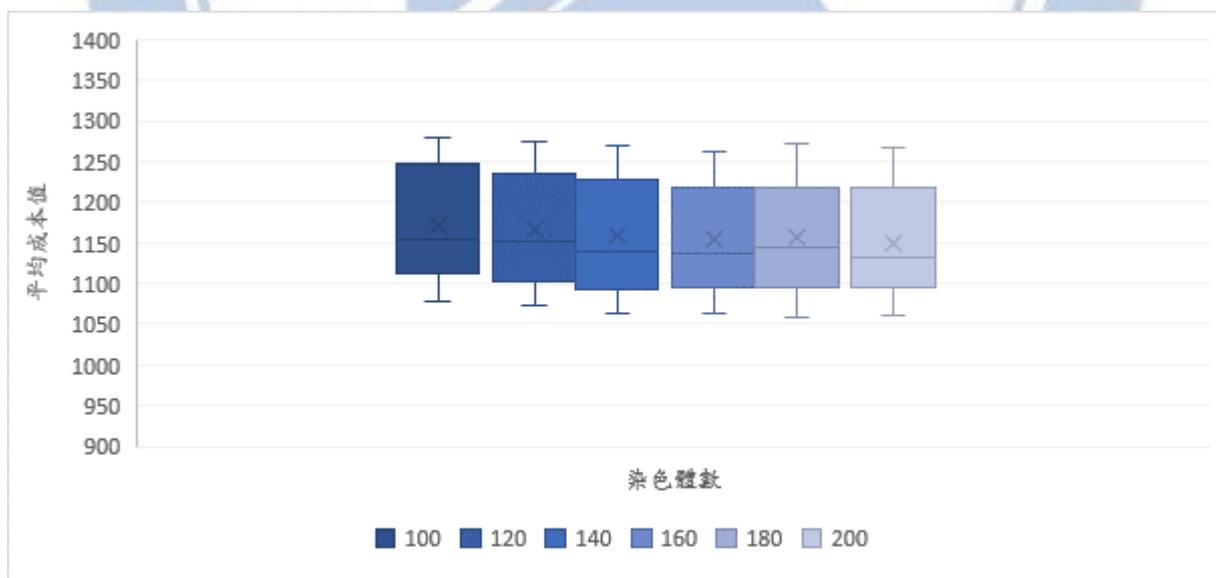


圖 A.3 在交配率 0.5 水準下各種群數量水準之 10 組數據分布盒鬚圖

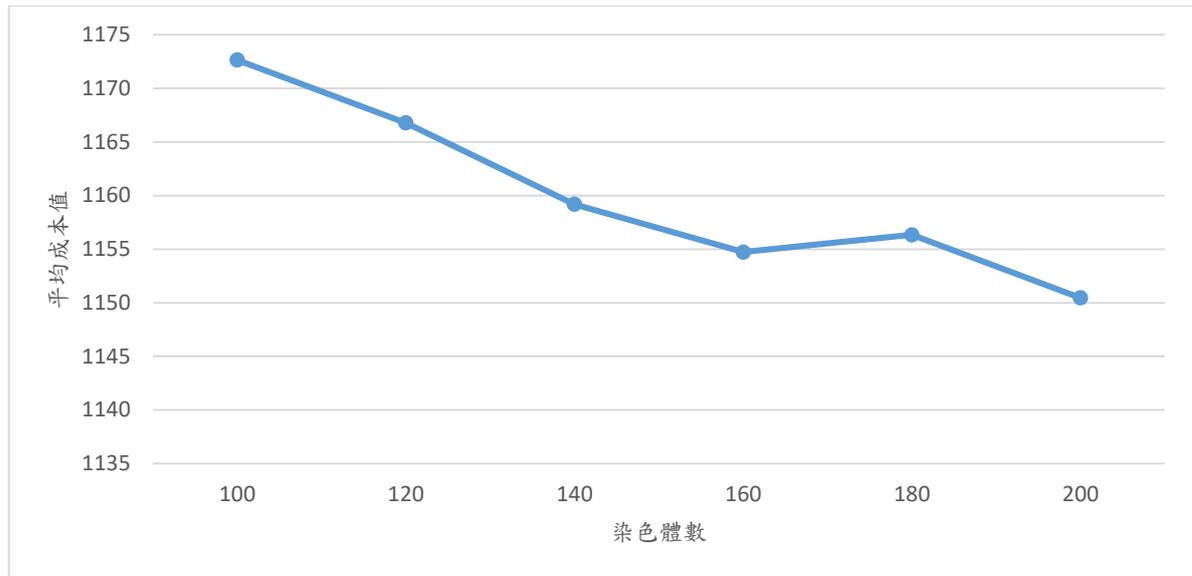


圖 A.4 在交配率 0.5 水準下各種群數量水準之平均成本折線圖

本研究首先針對圖 A.3 中 6 種種群數量水準進行 ANOVA 分析，測定其中各種水準是否具有顯著差異，所獲得之 p-value 為 0.9863，表示 6 種種群數量水準並無顯著之差異。因此本研究另針對鄰近種群數量水準進行「成對 t 檢定」，以分析鄰近水準之間是否具有顯著差異，其結果如表 A.2 所示。觀察表 5.2 可發現僅(100 vs. 120)、(120 vs. 140)及(180 vs. 200)三對鄰近種群數量水準組別之單尾 p-value 小於 0.05，意即在「95%之信心水準下，拒絕虛無假設」，表示兩者之間有顯著差異。因此在交配率 0.5 水準下，基因演算法選定種群數量為 160 條。

表 A.2 在交配率 0.5 水準下各鄰近種群數量水準組別之成對 t 檢定結果

染色體數對組	單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
100 vs. 120	0.0362	有顯著
120 vs. 140	0.0002	有顯著
140 vs. 160	0.0892	不顯著
160 vs. 180	0.2838	不顯著
180 vs. 200	0.0386	有顯著
160 vs. 200	0.1107	不顯著

另外交配率在 0.6、0.7、0.8 與 0.9 等水準下，亦使用上述之方式進行數據測試。首先針對各種群數量下之 5 組數據分別執行 ANOVA 分析，檢定其中數據之差異，然而在交配率 0.6、0.7、0.8 與 0.9 等水準下，ANOVA 分析之 p-value 分別為 0.9816、0.9872、

0.9876 與 0.9834，顯示在各交配率水準下，其中之數據皆無顯著差異。因此本研究另針對交配率 0.6、0.7、0.8 與 0.9 四種水準分別進行「成對 t 檢定」，探討其中交配率與種群數量之最佳配對水準的組合；詳細數據內容請參見於附錄 B。而各個交配率水準之測試結果最佳的組合分別為：(交配率 0.6—種群數量 200)、(交配率 0.7—種群數量 180)、(交配率 0.8—種群數量 180)與(交配率 0.9—種群數量 200)。

最後，再將(交配率 0.5—種群數量 160)與上述 4 種最佳組合中，挑選出具有最佳求解效益者作為此基因演算法之參數組合設定，這五種組合之比較如圖 A.5 與圖 A.6 所示。

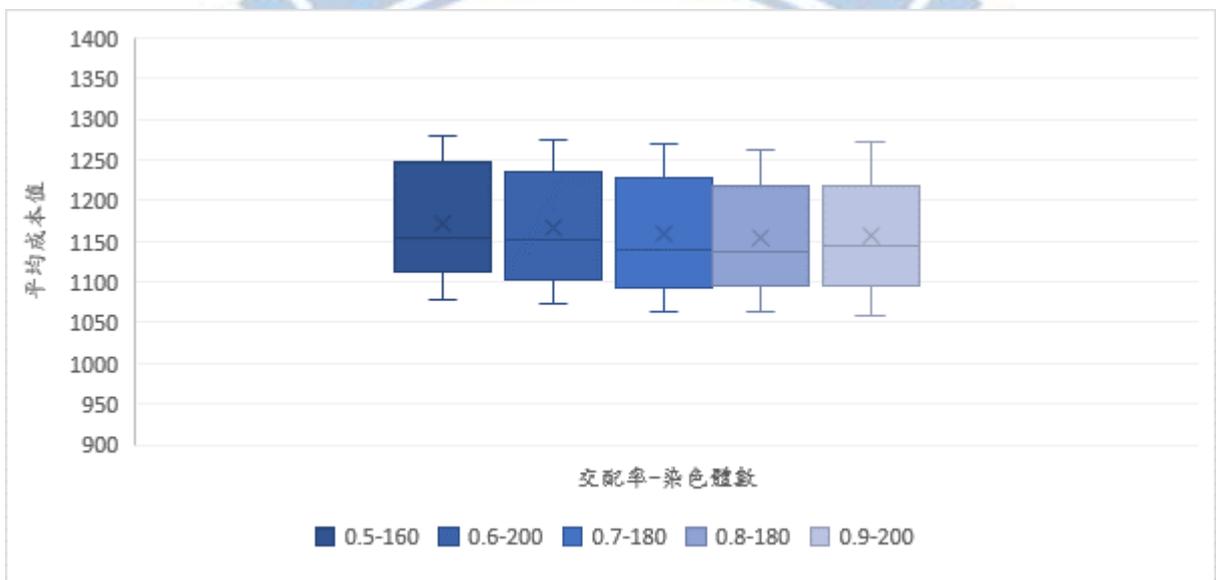


圖 A.5 五種交配率-種群數量組合所測得之 10 組數據分布盒鬚圖

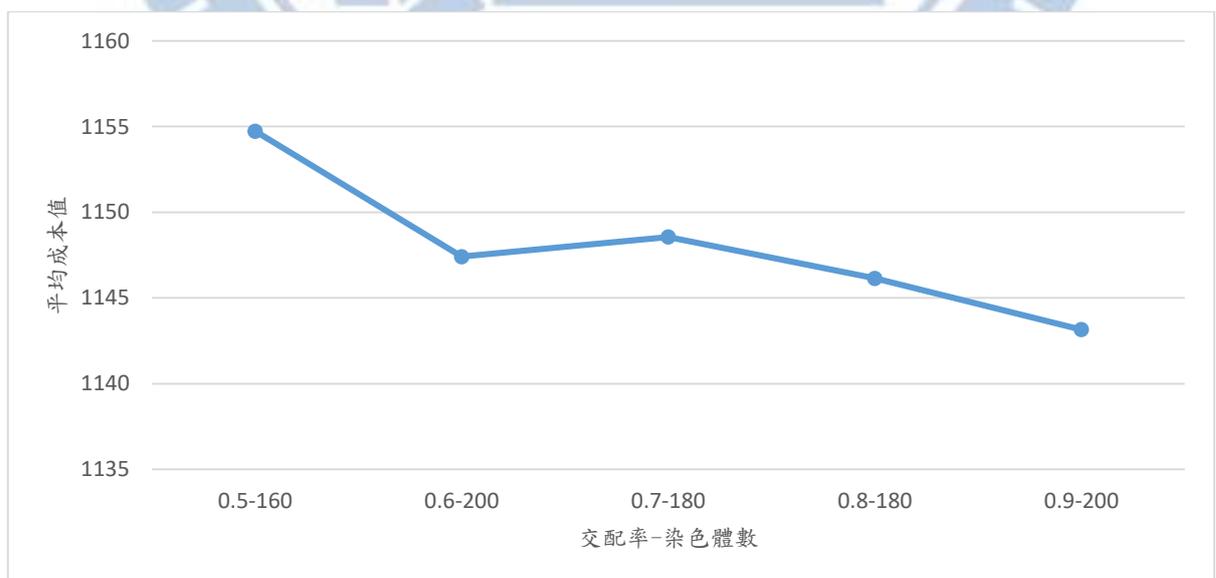


圖 A.6 五種交配率-種群數量組合所測得之平均成本折線圖

針對五種交配率-種群數量組合先以 ANOVA 測定，其 p-value 為 0.9964，顯示五種組合並無顯著差異。然後再將其相互配對進行「成對 t 檢定」之測試，以確認是否無顯著之差異，其測試結果如表 A.3 所示。由表 A.3 觀察可知成對比較中僅(0.5-160 vs. 0.6-200)對組之雙尾 p-value 小於 0.05，有顯著之差異，表示(交配率 0.6—染色體數量 200)、(交配率 0.7—染色體數量 180)、(交配率 0.8—染色體數量 180)與(交配率 0.9—染色體數量 200)此 4 種組合，對於基因演算法求解能力皆具接近效力的影響，故本研究以圖 A.6 中平均成本值最低之組合，作為基因演算法之參數組合，意即本研究將交配率及種群數量的水準設定為 0.9 及 200。

表 A.3 基因演算法交配率-染色體數較佳組合成對 t 檢定結果

交配率-染色體數組合	雙尾檢定 p-value	95%信心水準結果
0.5-160 vs. 0.6-200	0.0153	有顯著
0.6-200 vs. 0.7-180	0.6709	不顯著
0.7-180 vs. 0.8-180	0.3197	不顯著
0.8-180 vs. 0.9-200	0.4087	不顯著

### A.3 突變率

突變為賦予基因演算法跳脫陷入解空間局部區域之機制，例如發生基因演算法經過選擇與交配運算後，如果所得之子代可行解與母代相比仍然沒有顯著改變的時候。且因本研究所制定之染色體編碼中兩個部分分別進行突變的運算：

#### 1. 重疊服務區域段與貨物裝載順序段

此部分的突變運算須針對一條染色體為單位進行。本研究對於 5 種突變率水準進行測試：0.1、0.3、0.5、0.7 與 0.9，所得之數據分布與平均成本如圖 A.7 與圖 A.8 所示。

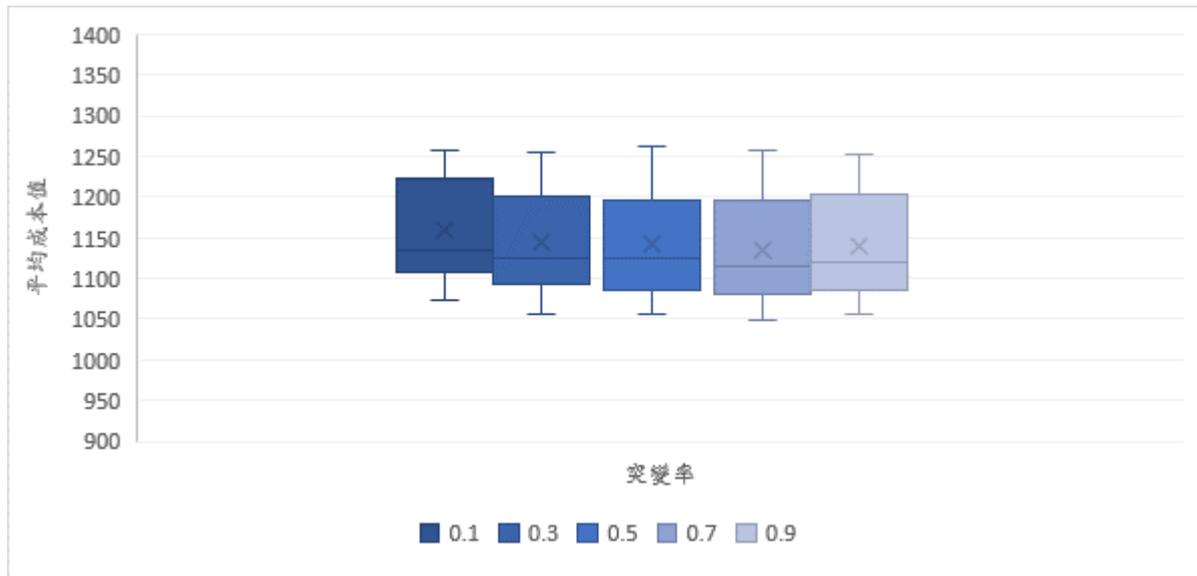


圖 A.7 疊服務區域段與貨物裝載順序段 5 種突變率之 10 組數據分布盒鬚圖

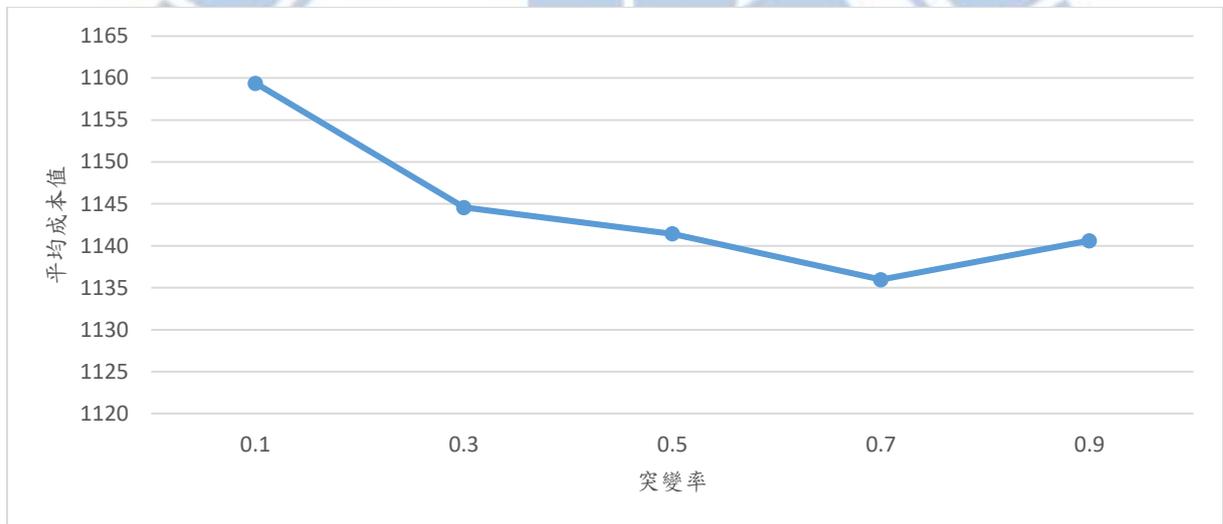


圖 A.8 重疊服務區域段與貨物裝載順序段 5 種突變率所得之平均成本折線圖

本研究首先針對圖 A.7 中 5 種突變率水準的數據進行 ANOVA 分析，測定其中之數據是否具有顯著差異，然測定結果之 p-value 為 0.9525，顯示 5 種突變率水準的數據中並無顯著之差異。因此本研究另針對鄰近突變率水準的數據進行「成對 t 檢定」之測試，以推論各組數據之間是否具有顯著差異，其測定結果如表 A.4 所示。由表 A.4 的數據顯示，僅(0.1 vs. 0.3)與(0.5 vs. 0.7)兩對組之雙尾 p-value 小於 0.05，意即「在 95%之信心水準下，拒絕虛無假設」；表示兩種突變率水準間之數據有顯著之差異，故本研究將基因演算法之重疊服務區域段與貨物裝載順序段突變率的參數設定為 0.7。

表 A.4 重疊服務區域段與貨物裝載順序段突變率成對 t 檢定結果

重疊服務區域段與貨物裝載順序段突變率成對比較	雙尾檢定 p-value	95%信心水準結果
0.1 vs. 0.3	0.0007	有顯著
0.3 vs. 0.5	0.1240	不顯著
0.5 vs. 0.7	0.0074	有顯著
0.7 vs. 0.9	0.1204	不顯著

## 2. 貨物裝載方向段

貨物裝載方向段部分的突變運算為針對染色體中各別之基因進行設定。本研究對於 5 種突變率水準進行測試：0.01、0.02、0.03、0.04 與 0.05，其中所得之數據分布與平均成本如圖 A.9 與圖 A.10 所示。

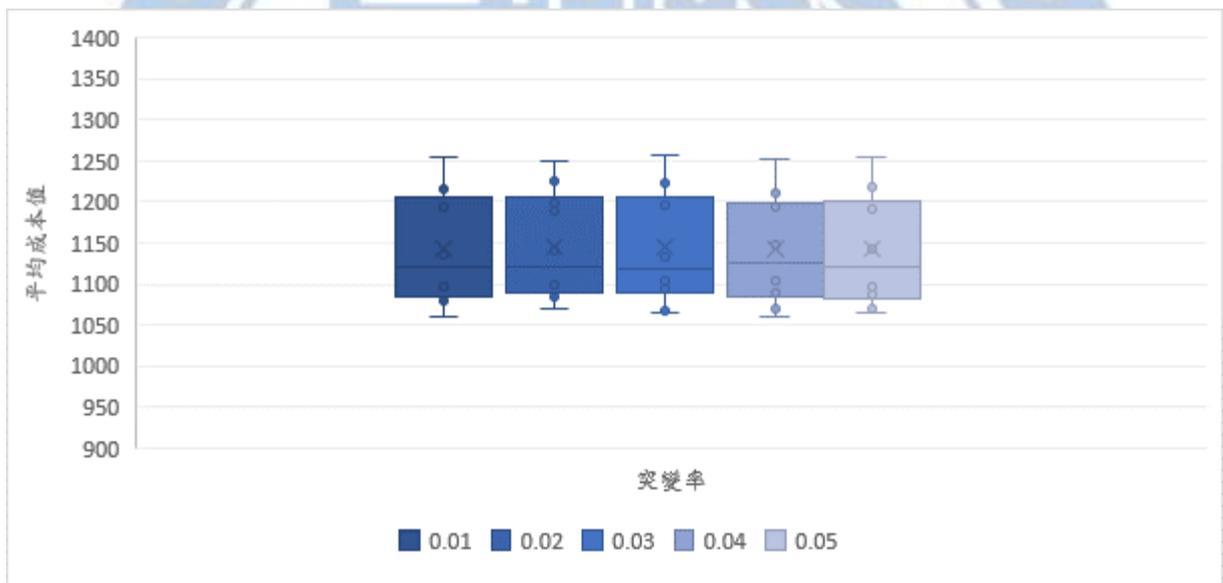


圖 A.9 貨物裝載方向段 5 種突變率所測得之 10 組數據分布盒鬚圖

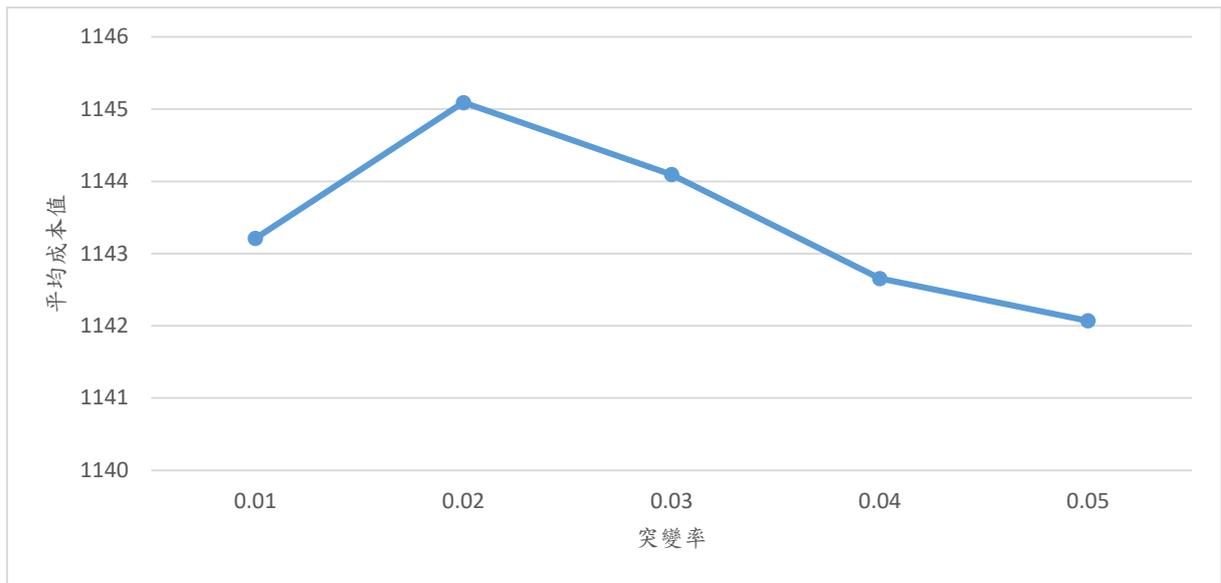


圖 A.10 貨物裝載方向段 5 種突變率所測得之平均成本折線圖

首先針對圖 A.9 中 5 個突變率水準進行 ANOVA 分析，檢測其中之數據是否具有顯著差異，所得測定結果之 p-value 為 0.9999，顯示 5 個突變率的數據並無顯著之差異。因此再針對上述 5 個突變率水準以鄰近兩水準一組之方式執行「成對 t 檢定」，探討各鄰近組別的兩水準間是否確實無顯著差異，然測定結果顯示各鄰近組別之 p-value 皆大於 0.05，意即「在 95% 之信心水準下，各鄰近組別間之兩水準數據，皆無顯著之差異」。因此本研究選擇圖 A.10 中平均成本值最低的突變率水準（即 0.05），設定為貨物裝載方向段基因突變率。

#### A.4 菁英群組比例

基因演算法運用菁英群組強化在解空間中有優良解的附近，可以賦予更多進行搜尋的機會。「菁英群組比例」是在種群數量中所保有菁英染色體個數的比例，這個參數的設定影響基因演算法投注在優良解附近搜尋之時間。菁英群組比例較大時，種群數量中必須保留更多菁英染色體，有機會對於運用菁英染色體進行深度搜尋，但也因為持續保留菁英染色體同時也限制基因演算法在解空間搜尋之範圍與廣度。但是，菁英群組比例較小時，雖然增加了解空間搜尋之範圍與廣度，但同時失去藉由菁英群組產生更優質解的機會，有可能降低了基因演算法的求解品質。本研究針對菁英群組比例設定 5 種水準

(0.1、0.2、0.3、0.4 與 0.5) 分別進行測試，紀錄所得之數據分布與平均成本如圖 A.11 與圖 A.12 所示。

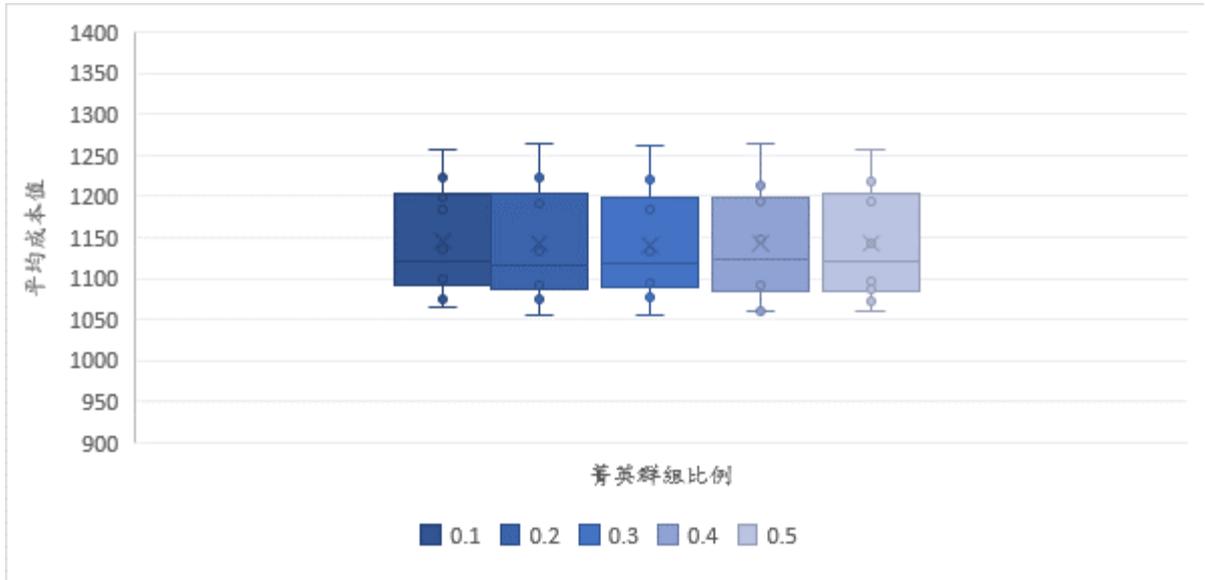


圖 A.11 菁英群組比例 5 種水準所測得之 10 組數據分布盒鬚圖

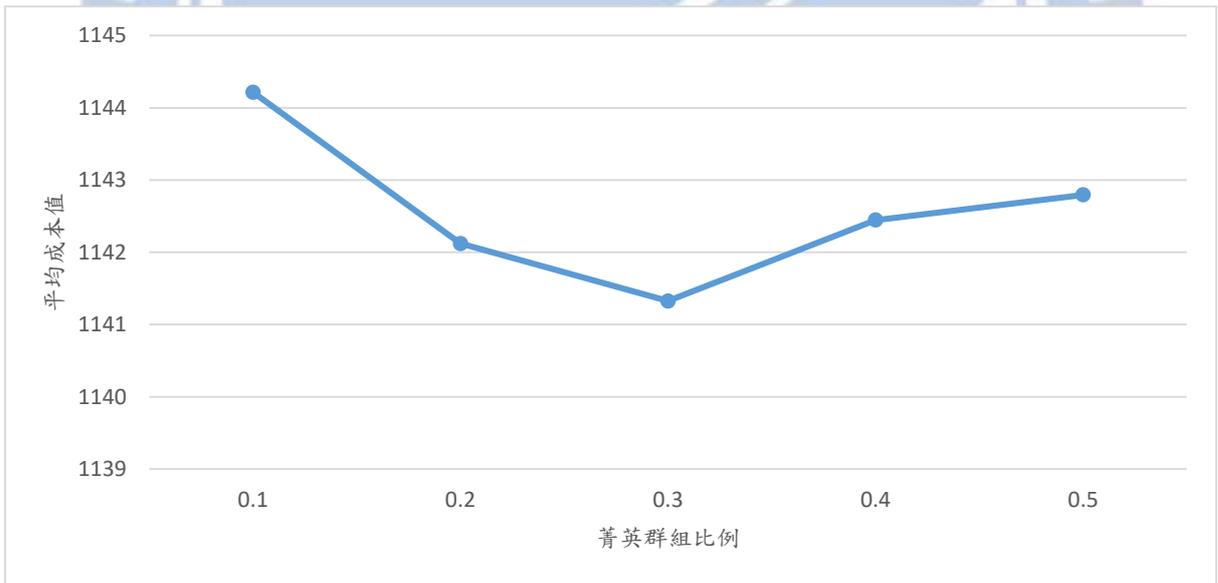
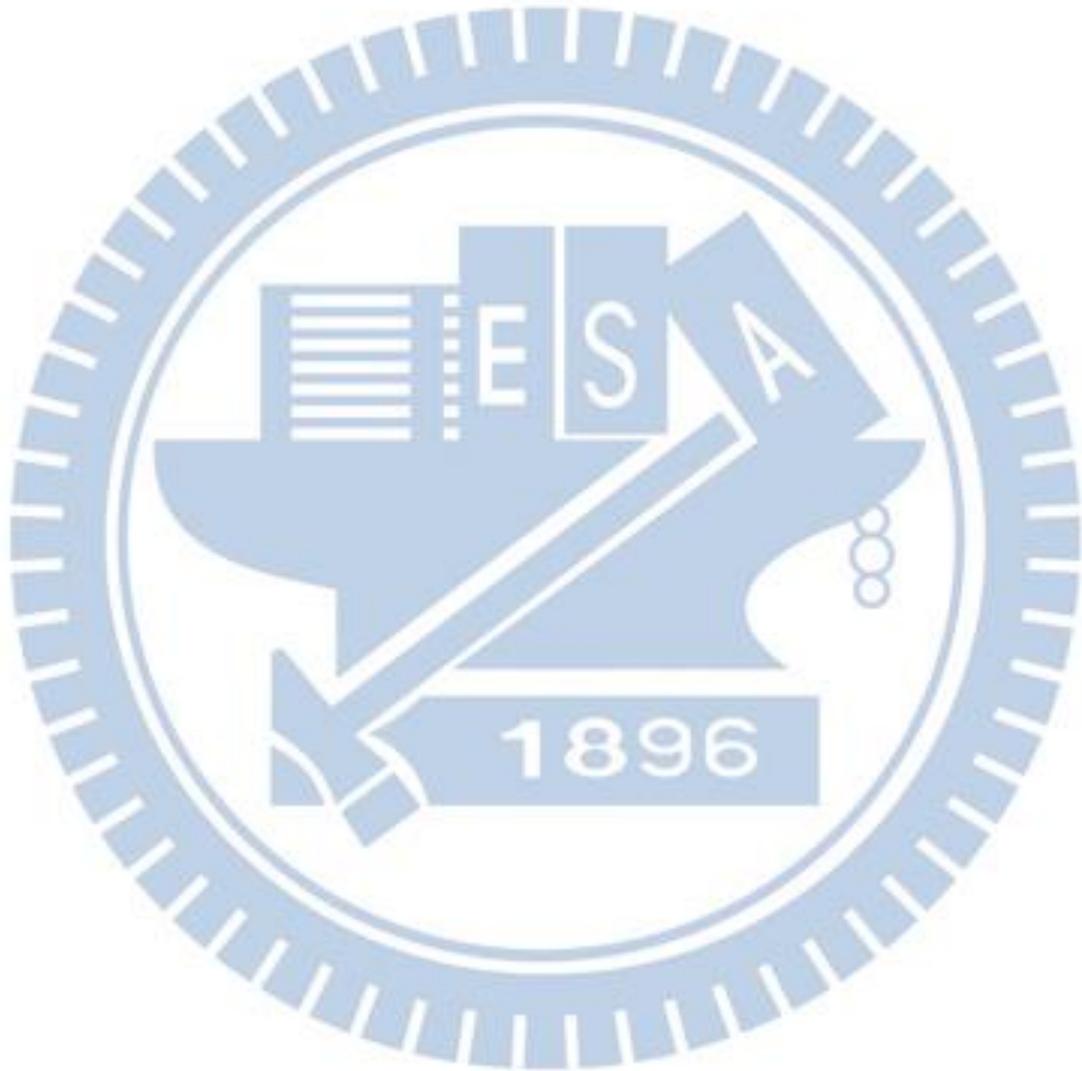


圖 A.12 菁英群組比例 5 種水準所測得之平均成本折線圖

本研究首先針對圖 A.11 中 5 個水準進行 ANOVA 分析，測定其中之數據是否具有顯著差異，然測定結果之 p-value 為 0.9999，顯示 5 組菁英比例數據並無顯著之差異。因此本研究再針對上述 5 個數據水準以兩兩鄰近水準之進行「成對 t 檢定」，探討各組數據間是否確實無顯著差異，測試的數據顯示鄰近水準組別之 p-value 皆大於 0.05，意即

「在 95%之信心水準下，對組間之兩組數據皆無顯著之差異」。

依照上述分析與檢定，5 個菁英群組比例水準之間皆不存在顯著之差異，因此本研究選擇圖 A.12 中平均成本值最低者，即菁英群組比例設定為 0.3。



## 附錄 B、交配率與染色體數量參數測定數據

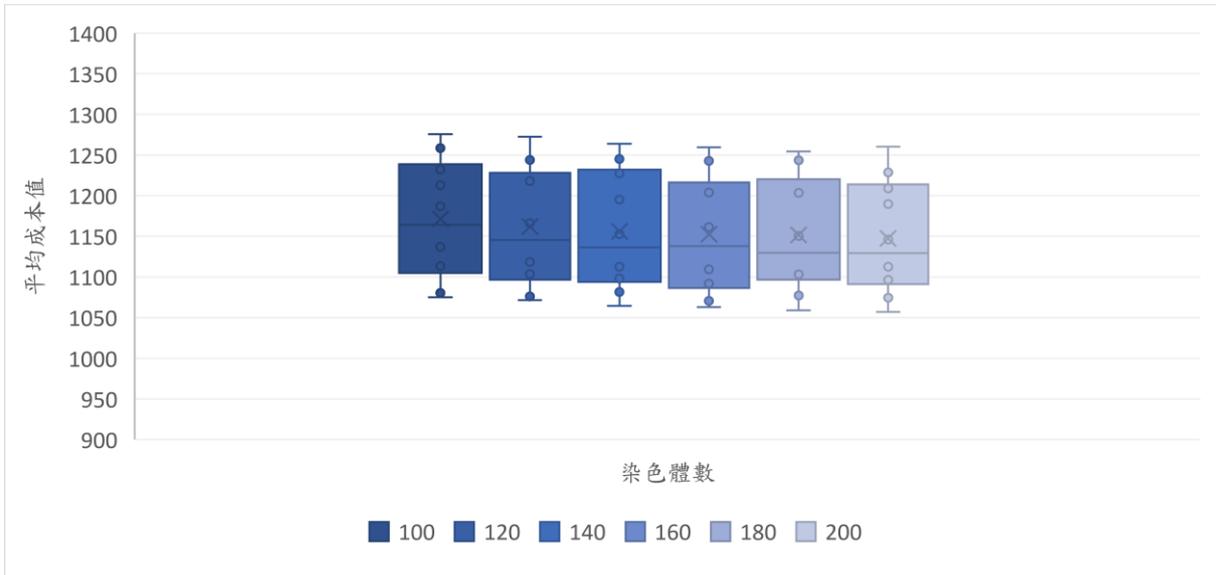


圖 B.1 基因演算法交配率 0.6 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖

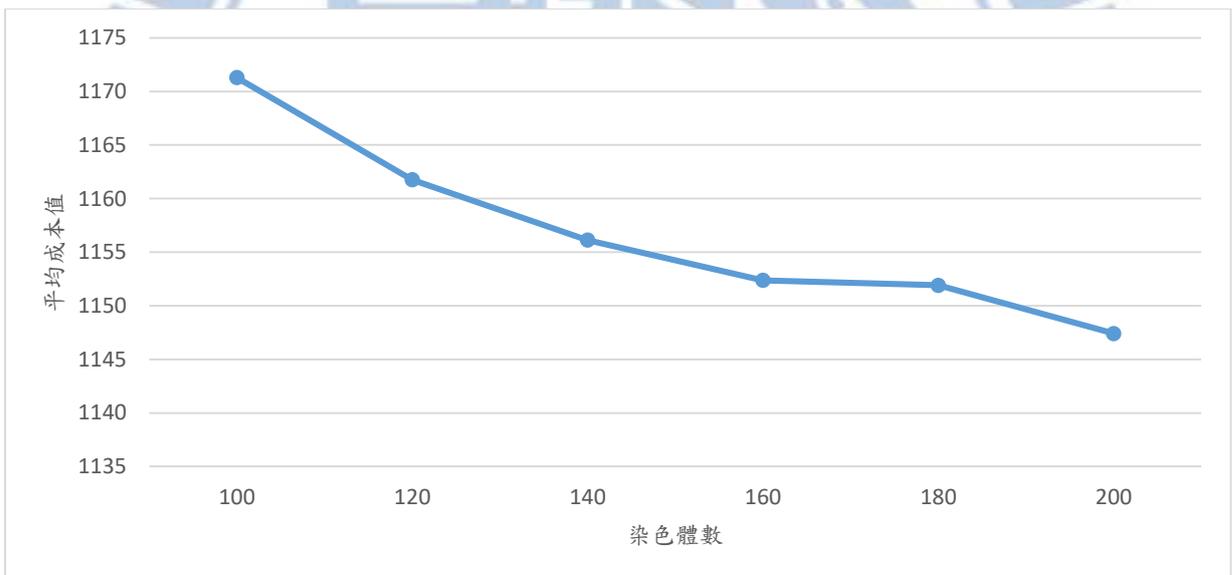


圖 B.2 基因演算法交配率 0.6 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖

表 B.1 基因演算法交配率 0.6 下各染色體數量之成對 t 檢定結果

染色體數對組	單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
100 vs. 120	0.0025	有顯著
120 vs. 140	0.0323	有顯著
140 vs. 160	0.1093	不顯著
160 vs. 180	0.4292	不顯著
180 vs. 200	0.0320	有顯著

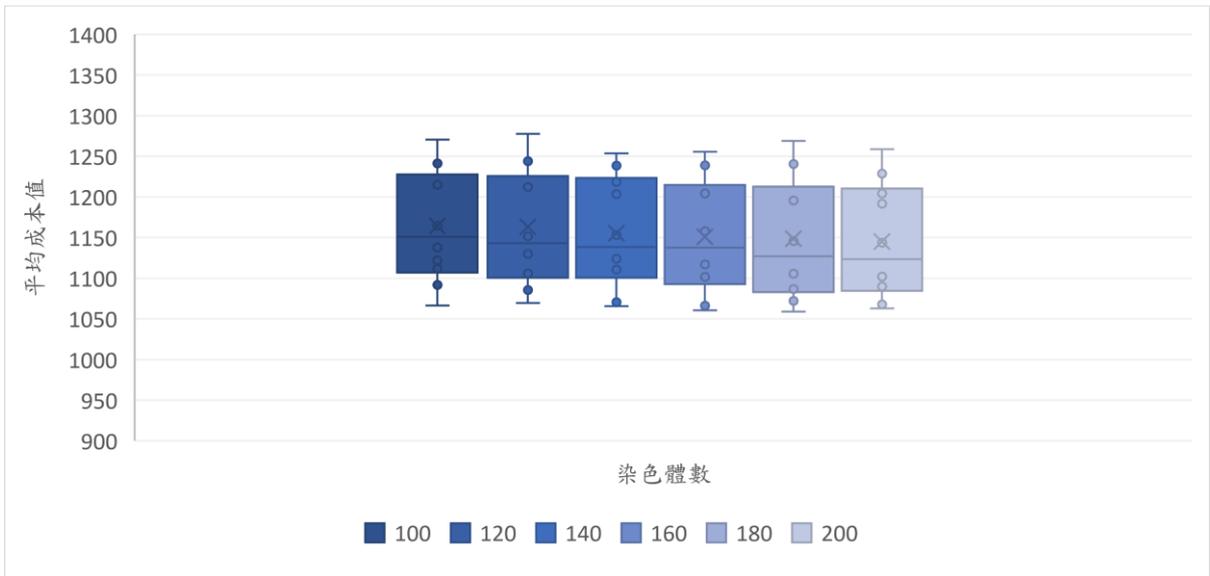


圖 B.3 基因演算法交配率 0.7 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖

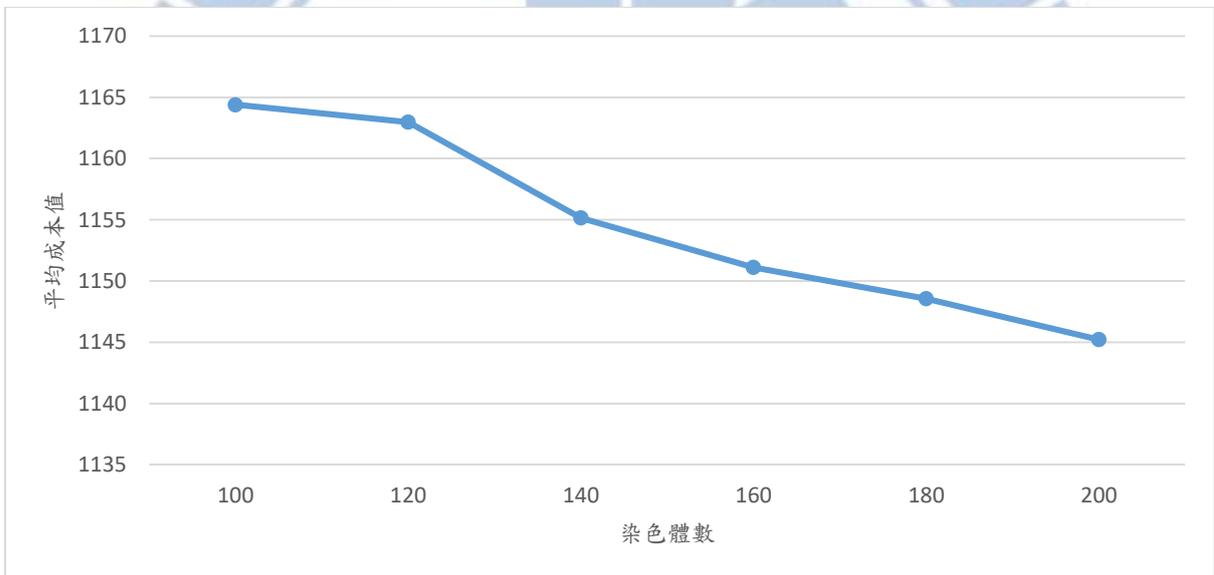


圖 B.4 基因演算法交配率 0.7 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖

表 B.2 基因演算法交配率 0.7 下各染色體數量之成對 t 檢定結果

染色體數對組	單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
100 vs. 120	0.2547	不顯著
120 vs. 140	0.0221	有顯著
140 vs. 160	0.0251	有顯著
160 vs. 180	0.1990	不顯著
180 vs. 200	0.0849	不顯著
160 vs. 200	0.0169	有顯著

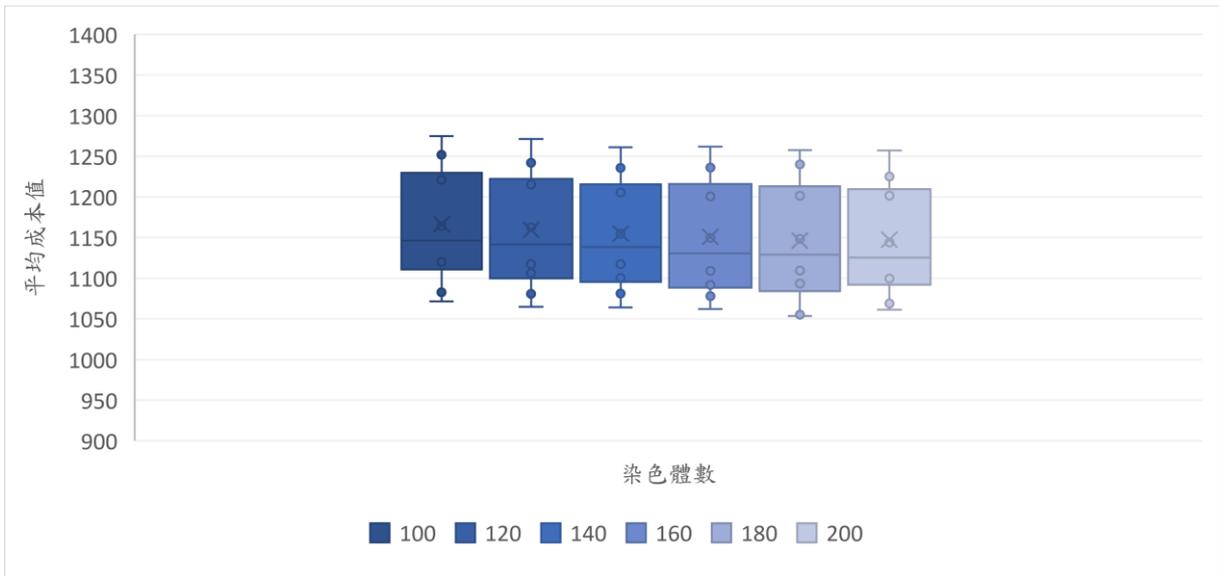


圖 B.5 基因演算法交配率 0.8 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖

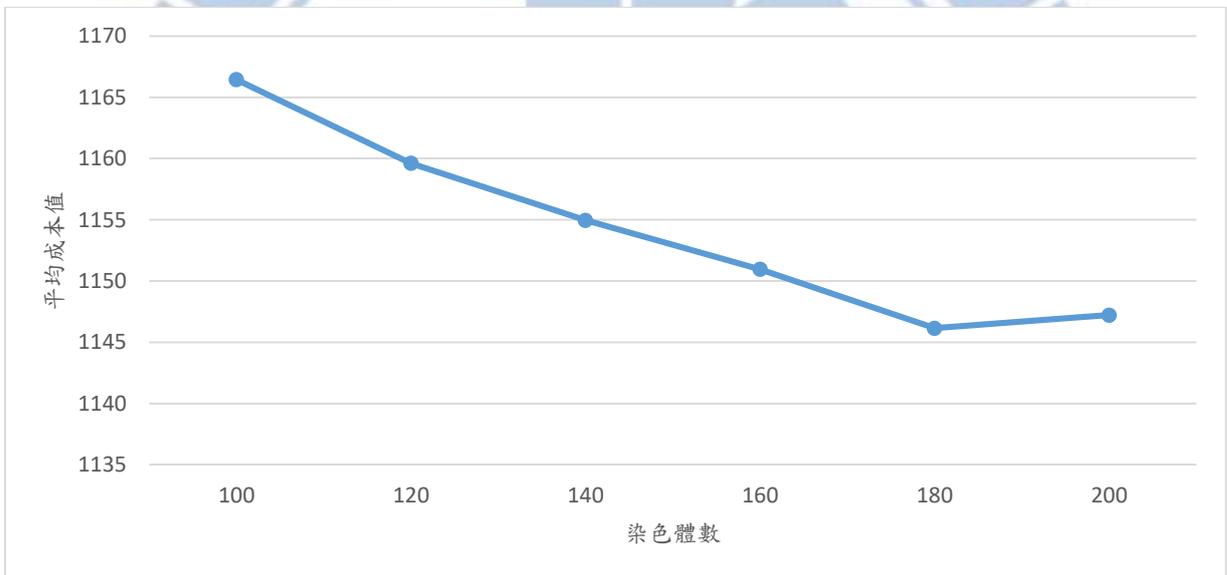


圖 B.6 基因演算法交配率 0.8 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖

表 B.3 基因演算法交配率 0.8 下各染色體數量之成對 t 檢定結果

染色體數對組	單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
100 vs. 120	0.0002	有顯著
120 vs. 140	0.0004	有顯著
140 vs. 160	0.0159	有顯著
160 vs. 180	0.0510	不顯著
180 vs. 200	0.3382	不顯著
160 vs. 200	0.0287	有顯著

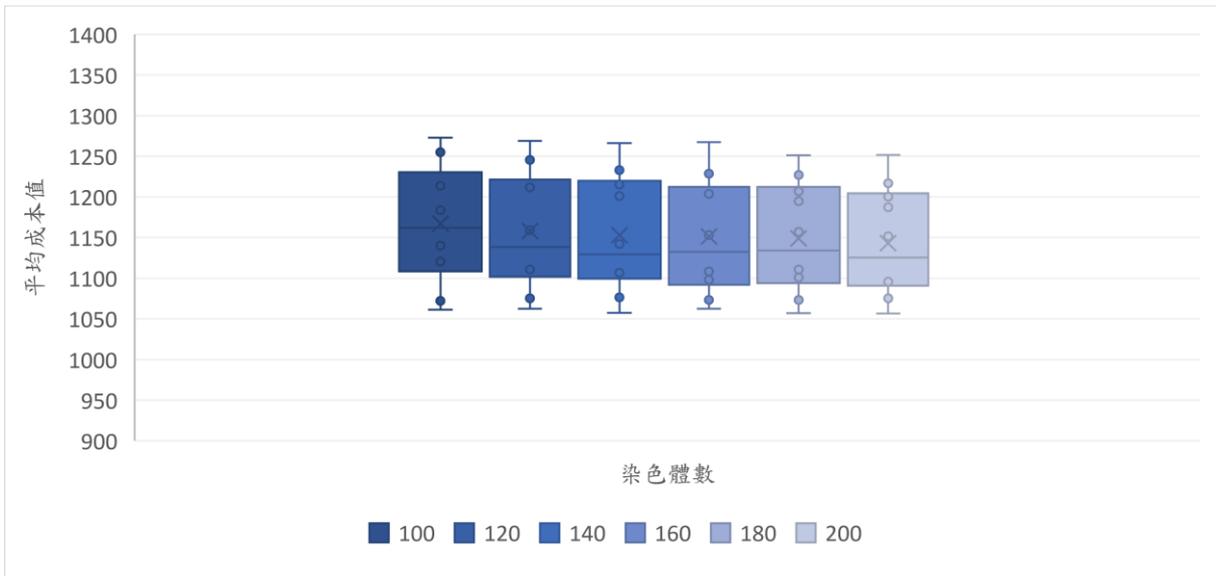


圖 B.7 基因演算法交配率 0.9 下各染色體數量所測得之 10 組數據盒鬚圖

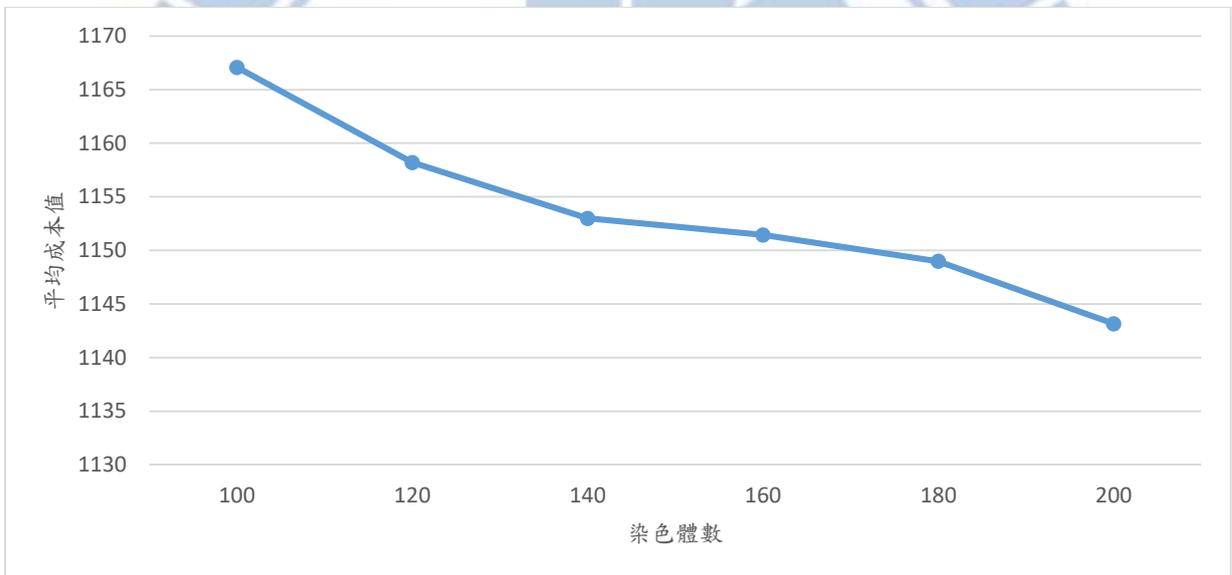


圖 B.8 基因演算法交配率 0.9 下各染色體數量所測得之平均成本折線圖

表 B.4 基因演算法交配率 0.9 下各染色體數量之成對 t 檢定結果

染色體數對組	單尾檢定 p-value	95%信心水準結果
100 vs. 120	0.0140	有顯著
120 vs. 140	0.0134	有顯著
140 vs. 160	0.2761	不顯著
160 vs. 180	0.1207	不顯著
180 vs. 200	0.0034	有顯著

## 附錄 C、有無考量重疊服務區域之數據

表 C.1 有無考量重疊服務區域之數據 (n = 31)

	無重疊 成本值	有重疊 成本值	改善幅度
1	1162	1051	9.55%
2	1257	1159	7.80%
3	1199	1110	7.42%
4	1034	972	6.00%
5	1103	1028	6.80%
平均	1151	1064	7.51%

表 C.2 有無考量重疊服務區域之數據 (n = 37)

	無重疊 成本值	有重疊 成本值	改善幅度
1	1290	1188	7.91%
2	1230	1138	7.48%
3	1205	1161	3.65%
4	1286	1208	6.07%
5	1190	1134	4.71%
平均	1240.2	1165.8	5.96%

表 C.3 有無考量重疊服務區域之數據 (n = 43)

	無重疊 成本值	有重疊 成本值	改善幅度
1	1201	1144	4.75%
2	1192	1168	2.01%
3	1225	1221	0.33%
4	1299	1237	4.77%
5	1318	1261	4.32%
平均	1247	1206.2	3.24%

表 C.4 有無考量重疊服務區域之數據 (n = 49)

	無重疊 成本值	有重疊 成本值	改善幅度
1	1348	1301	3.49%
2	1335	1307	2.10%
3	1316	1290	1.98%
4	1401	1390	0.79%
5	1407	1376	2.20%
平均	1361.4	1332.8	2.11%

