

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 電腦與資訊學科
探究精神獎

052512

物流宅配業之裝箱策略評價與分析

學校名稱： 國立羅東高級中學

作者： 高二 郭恩輔 高二 陳可昕	指導老師： 邱柏翰
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 物流、裝箱策略、量化分析

作品名稱

物流宅配業之裝箱策略評價與分析

摘要

本項研究透過程式模擬宅配業貨車司機的裝貨與下貨過程，提出比傳統垂直擺放策略更具彈性且方便下貨的貨物放置策略—分層擺放策略。本研究所提出的分層擺放策略不僅提升了裝貨的靈活性，還能確保貨物結構便於移動與下貨。同時，程式計算擺放方式所需時間，相較於人工計算，更能有效減少時間成本。期待本研究成果能夠為未來的物流業者提供參考。

壹、前言

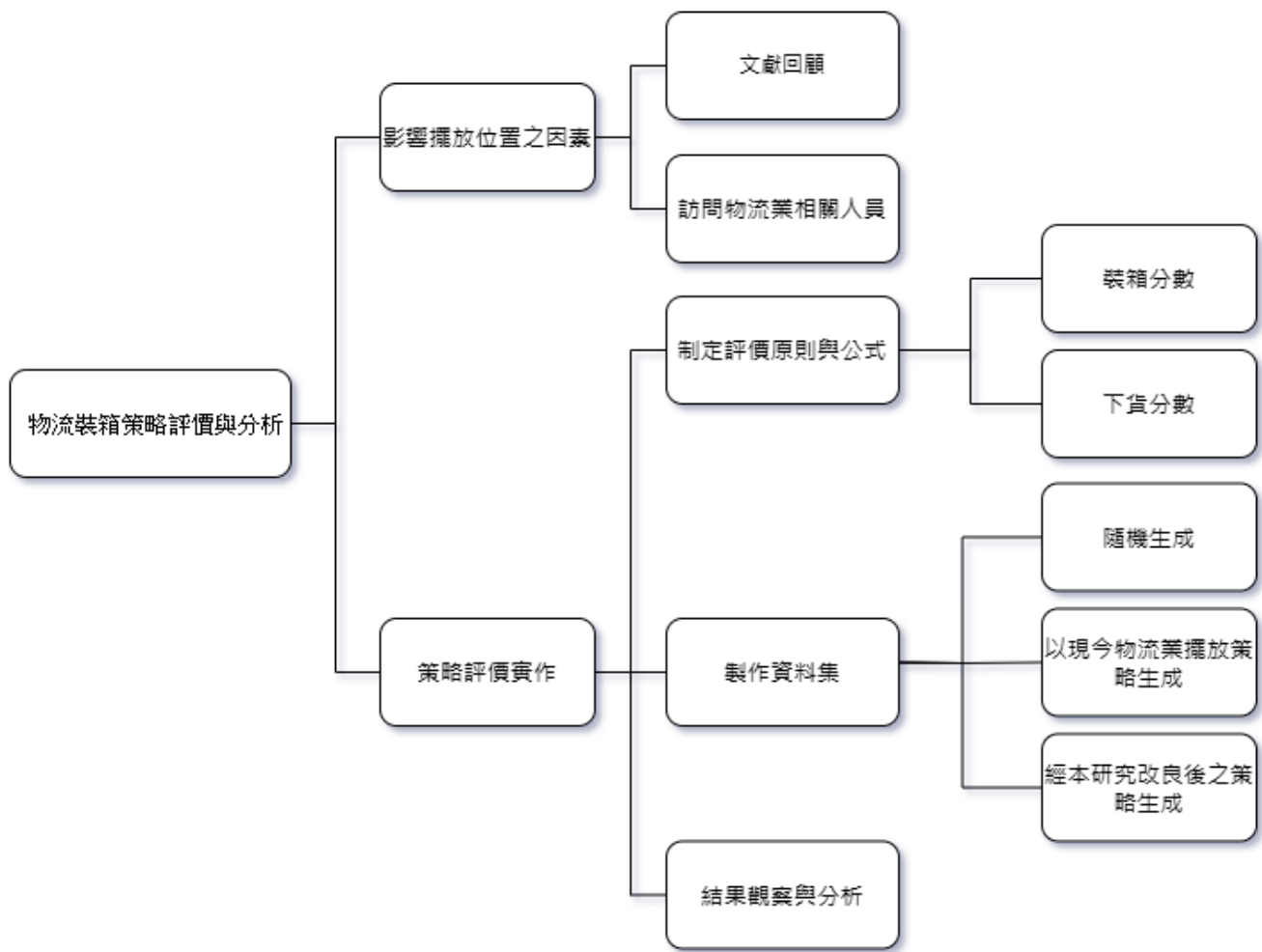
一、研究動機

隨著網際網路的迅速發展，電子商物已經成為生活的一部分，不論在何處，想要的東西幾乎皆可透過網路訂購送達，在某一次的網購經驗中，我發現宅配貨車司機總是能夠快速地找到需要下貨的紙箱，因此開始好奇，物流業在擺放貨物時是否有什麼策略呢？詢問了業界相關人員後，發現物流業在分配貨物與將貨物裝箱時也有許多巧思與策略，以此為題，本研究欲探討哪些因素將影響擺放策略，並探討物品在以不同策略放入空間時會造成哪些影響，以進一步延伸討論現今物流業之擺放策略是否有可改良空間。

二、研究目的

- （一）探討各因素對於裝箱策略之影響
- （二）探討以不同策略為基礎之裝箱模式如何影響送貨效益
- （三）分析現今物流業擺放模式並提出可能之優化方案

三、研究架構圖



圖(一)：研究架構圖

(圖片說明：本研究所用圖片若無特別註明皆為作者自製，僅供本研究使用)

四、文獻回顧

(一) 付費裝箱軟體現況

現今市面上已存在許多版本之裝箱軟體供各國大企業使用，以下列點說明當今市面付費裝箱軟體之主要功能：

1. 優化計算一容器（貨櫃、廂式貨車、托盤等）最多能裝多少貨物，同時避免超重。
2. 支援用戶定義各種屬性，例如裝櫃擺放要求、承重能力、容器尺寸、最大載重量等。
3. 裝箱結果可制作成裝箱單格式並展示裝箱步驟，可用於指導現場裝箱人員裝箱。

總結來說，現今存在之裝箱軟體功能可謂完整，顯示目前之裝箱策略已成熟至可開發為

功能完全之付費軟體。不過由於現今裝箱軟件之客群多為大企業，軟體使用時機多為點到點大量貨物之運送，因此目前現有之軟體皆將重心放置於如何在空間中最大效益的擺入貨物，與目前宅配業需一家一戶下貨之性質較不同（加入下貨順序的條件），因此本研究將參考現有之裝箱軟件，以貼近物流業運作模式之角度探討擺放策略與其成本之關聯。

（二）物流宅配業現況與其擺放策略

為了更貼合物流宅配之運作模式，我們實際訪問了物流公司之員工，進而整理出宅配業運作現況與其擺放策略：

1. 運作現況

- (1) 為確保司機權益，每日出車數固定
- (2) 每位司機有固定送貨之區域與送貨路線
- (3) 每日可送貨之時長固定，例如早上送貨下午收貨
- (4) 若某條路線貨量特別大，司機無法再指定時間內送完貨，其他路線的司機將進行支援

2. 擺放策略

- (1) 後下貨之貨物擺在裡面
- (2) 體積大與重量重之貨物優先放下層

（三）貪心策略（Greedy Strategy）

貪心策略是一種局部最優解策略，在求解問題時，每一步都選擇當前狀態下最有利的選擇，而不考慮後續可能產生的影響。此方法的目標是希望透過一系列局部最優選擇，達成全局最優解。

貳、研究設備及器材

一、硬體設備

- （一）筆記型電腦：Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz
12th Gen Intel(R) Core(TM) i5-1235U 1.30 GHz

二、軟體

- （一）程式語言：C++、Python

(二) 程式整合開發環境：Visual Studio Code、Dev-C++

(三) 資料分析：Google sheet

參、研究過程或方法

一、名詞定義

(一) 貨車空間

貨車空間即為宅配貨車中可裝載貨物之空間，本研究將此空間簡化為一長方體，並將下貨面側左下角（由貨車內往下貨面方向看）頂點設為三維直角座標之原點且使貨車空間內所有點皆處於第一卦限，並以數對來表示空間之 x, y, z 範圍。例如： $(100, 200, 300)$ 即代表此貨車空間為長(x)100單位，寬(y)200單位，高(z)300單位之長方體。

(二) 貨物

為簡化計算，本研究將所有貨物視為邊長不一之正立方體，並以數組 $n(l, w, x, y, z)$ 依序表示貨物 n 之邊長、重量、中心點 x, y, z 座標。例如：若有貨物 $A(10, 8, 5, 5, 5)$ ，則表示貨物A重量8單位重、佔滿了由 $0 \leq x \leq 10, 0 \leq y \leq 10, 0 \leq z \leq 10$ 所構成之空間。

(三) 下貨面

在一貨車空間中，定義 yz 平面為下貨面，也就是貨車後門，司機拿取貨物之開口。

(四) 下貨

宅配司機到達某一定點時，須將顧客訂購之貨物取出，意即將貨物移動至下貨面之過程稱為下貨

(五) 可下貨狀態

若一貨物上方無任何貨物且存在至少一條到達下貨面之路徑上無其他貨物，即稱此貨物為可下貨狀態，唯有處於可下貨狀態之貨物可被下貨。

(六) 目標貨物

宅配司機到達定點後被下貨之貨物稱為目標貨物，即當下須達成可下貨狀態之貨物。並以下貨順序在前面加上數字。例如：若貨物 B 為貨車中第二個要被下貨的貨物，則稱貨物 B 為第2目標貨物。

（七）障礙物

若是目標貨物因其他貨物阻擋而尚未達成可下貨狀態，則稱阻擋目標貨物的貨物為障礙物。並根據當時之下貨貨物之順序命名。例如：若貨物C為第三目標貨物之障礙物，則稱貨物C為第3障礙物。

（八）剩餘空間

指將貨物放置於貨車中時剩下的空間，專指無任何貨物下貨前之狀態，意即僅有所有貨物皆上車且尚未有貨物進行下貨動作時之剩餘空間。

（九）空間填充率

即為貨物總體積佔空間體積之比例。

（十）裝箱分數

裝箱分數為評斷在裝箱階段時是否有效率的利用貨車空間之指標，對於是否有效率的應用，則定義剩餘空間越接近正立方體越有效率。原因為：根據現今物流業的運行機制，每位司機皆有固定的送貨路線，但當貨物量較大時，可能需要其他地區之司機支援，換句話說，除了本身負責地區之貨物以外，可能需要額外擺放其餘地區之貨物，而此時若剩餘空間形狀越接近正立方體，則在擺放多的貨物時就越容易利用空間，讓多台車輛運輸整體更有彈性。

（十一）下貨分數

下貨分數為評斷司機在送貨過程中拿取與移動貨物之方便程度指標，透過搬運重量、搬運貨物數、貨物搬運距離等指標計算司機於下貨時之方便拿取程度。

研究方法

本研究採**量化評估**之方式判斷貨物擺放位置之優劣，透過宅配業配送過程中的種種行為作為量化標準之基礎，期望找出較佳之貨物擺放位置並歸納出合適之策略。而經本研究分析與討論後，決定將判斷標準分為兩部分，分別對應至宅配司機將貨物擺入空間時之優劣（裝箱分數）與司機將貨物依序下貨之優劣（下貨分數）。以下分述：

（一）裝箱分數實作

前文提到，裝貨優劣的評斷透過5種範圍在0~100之變量來判斷此種擺放方式是否為有效率

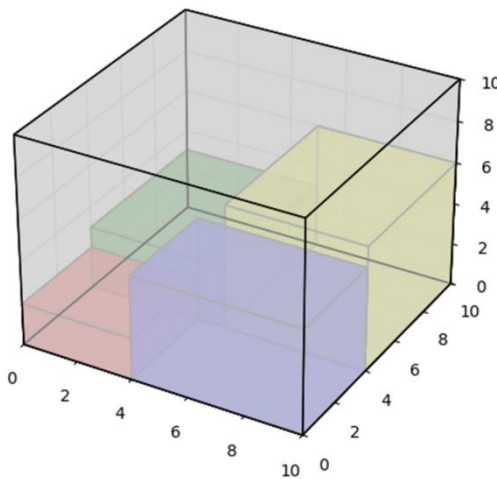
的空間利用方式，以下針對5個量化指標一一說明：

1. 空間形狀

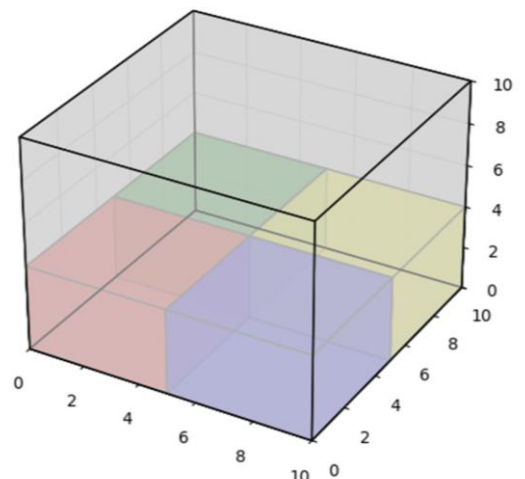
空間形狀分數指剩餘空間三維之對稱程度，公式為：

$$\text{空間形狀分數} = \frac{100}{1 + \frac{\sigma_D}{D}}$$

其中，D集合中有三個元素，分別為能包含剩餘空間之最小長方體的長、寬、高。上述公式中 $\frac{\sigma_D}{D}$ 為變異係數，變異係數越小表示三邊長越相近，空間形狀分數越高。如圖(二)、圖(三)所示，圖(二)即為剩餘空間形狀在三個維度中較不對稱的情況，圖(三)則為較佳的情況。



圖(二)：空間形狀分數較低之情形



圖(三)：空間形狀分數較高之情形

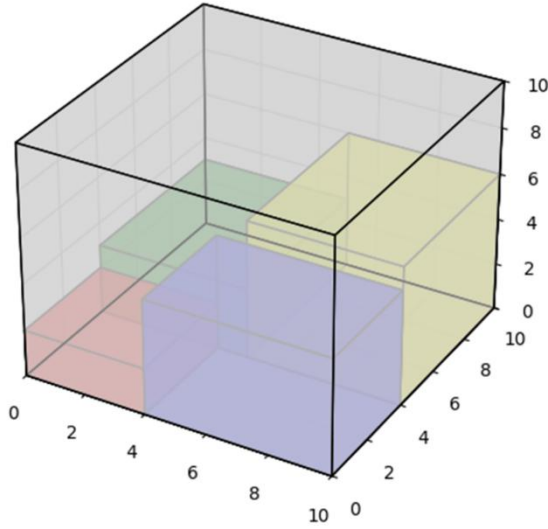
(圖片為作者自製)

2. 表面平整度

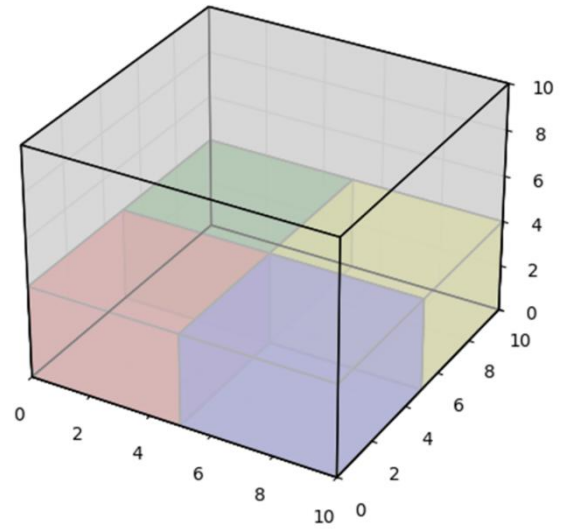
表面平整度為判斷剩餘空間之表面是否凹凸不平之指標，定義如下：找一個與剩餘空間最相近之長方體，由於剩餘空間並非長方體，因此剩餘空間的某部分表面必定會在長方體內部或者長方體外（與長方體表面不契合）。因此，定義表面平整度為：

$$\text{表面平整度} = \frac{100}{1 + \frac{\text{剩餘空間表面與長方體表面不契合之體積}}{\text{長方體體積}}}$$

如圖(四)、圖(五)所示，兩者對比可看出圖(四)為平整度較低之情形，圖(五)則為平整度高之情形。



圖(四)：表面平整度較低之情形



圖(五)：表面平整度較高之情形

(圖片為作者自製)

3. 垂直方向的一致性

垂直方向的一致性為判斷垂直方向上的連貫性與均勻性之指標，公式如下：

$$\text{一致性分數} = \frac{\sum_{i=0}^n (\min(\frac{C_i}{C_{i+1}}, \frac{C_{i+1}}{C_i}))^{1.5}}{n-1} \times 100$$

其中，定義一單位長等同於一層，意即 $z = 0$ 之平面, $z = 1$ 之平面, $z = 2$ 之平面皆為一層。而 n 值即為貨物之層數。並且定義層均勻性與層密度

在每一層的平面中，平面上的每個點的狀態可能是有貨物或者沒貨物兩種，定義

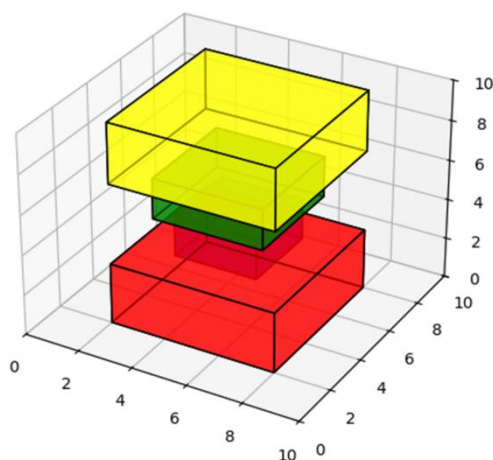
$$\text{層均勻度} = \frac{\text{平面上有貨物之面積}}{\text{平面面積}}$$

$$\text{層密度} = \frac{1}{1 + \text{此層包含貨物數}}$$

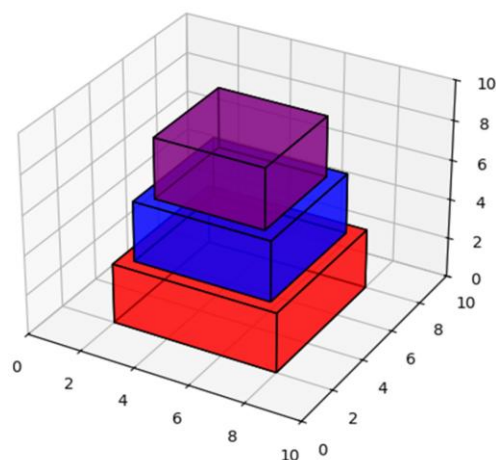
最後定義 $C_i = 0.8 \times \text{層均勻度} + 0.2 \times \text{層密度}$ ，將結果帶入一致性分數公式即可得到所求。

如圖(六)、圖(七)所示，由下兩張圖比較可知，圖(六)為垂直方向一致性較低的狀況，圖

(七)則為垂直方向一致性較高的情況。



圖(六)：垂直方向一致性較低之情形



圖(七)：垂直方向一致性較高之情形

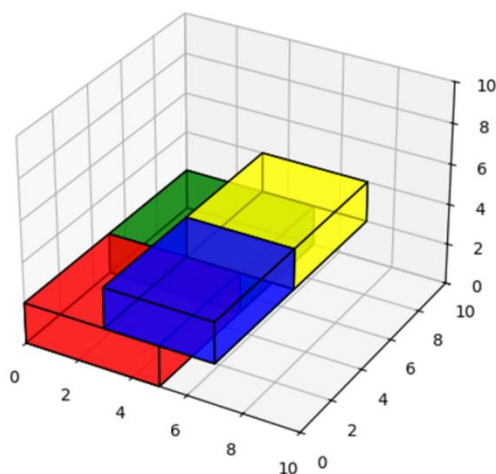
(圖片為作者自製)

4. 貨物支撐情況

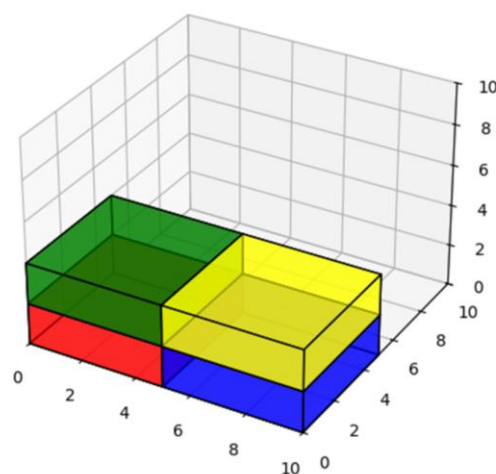
支撐分數為判斷貨物擺放結構是否穩定合理的標準，公式如下：

$$\text{支撐分數} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \times 20$$

其中， n 為非底層貨物數量， C_i 則為1~5的數字，根據底面中心點、底面四個頂點有無貨物支撐，若是五個點皆有支撐，則 $C = 5$ 。如圖(八)、圖(九)所示，以以下兩圖做對比可知，圖(八)為較差之貨物支撐情況、圖(九)則為貨物支撐情況較佳之狀況。



圖(八)：垂直方向一致性較低之情形



圖(九)：垂直方向一致性較高之情形

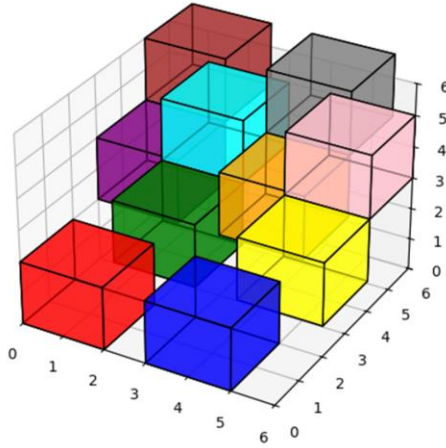
(圖片為作者自製)

5. 貨物聚集程度

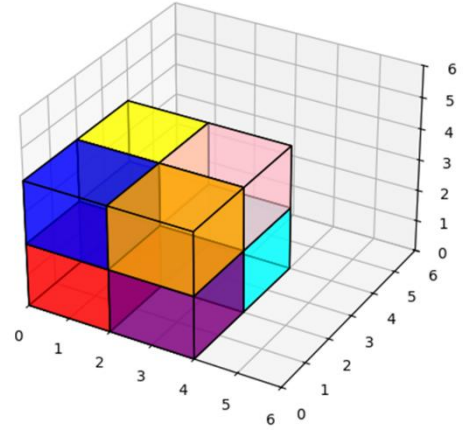
判斷貨物的緊密程度，定義為：

$$\text{貨物聚集程度} = \frac{\text{與其餘貨物有相連之面數}}{\text{貨物個數} \times 6} \times 100$$

將以上5點標準相加後平均即為裝箱分數，後續將根據裝箱分數分析不同策略對此分數的影響。如圖(十)、圖(十一)所示，由兩圖對比可知



圖(十)：貨物聚集程度較低之情形



圖(十一)：貨物聚集程度較高之情形

(圖片為作者自製)

(二) 下貨分數實作

前文提到，下貨分數為量化司機在送貨過程拿取貨物時方便程度之指標。我們以三個因素做為方便程度之考量：司機在下貨過程需移除（搬運）之障礙物重量、個數、距離。

每一種貨物擺放方式，都會有一個貨物下貨分數，貨物下貨分數定義如下：

$$\text{貨物下貨分數} = 100 \times \left[1 - \left(\frac{\text{第}n\text{障礙物總重}}{\text{貨車內貨物總重} - w_n} + \frac{\text{第}n\text{障礙物個數}}{\text{貨車內貨物個數} - 1} + \frac{\text{第}n\text{障礙物}x\text{座標總和}}{\text{貨車內所有貨物}x\text{座標總和}} \right) \div 3 \right]$$

換言之，下貨分數即為障礙物數量、重量、移動距離在貨車內剩餘所有貨物之佔比。並且仿

造宅配業發送貨物之過程，我們將下貨分數之評分過程定義如下：

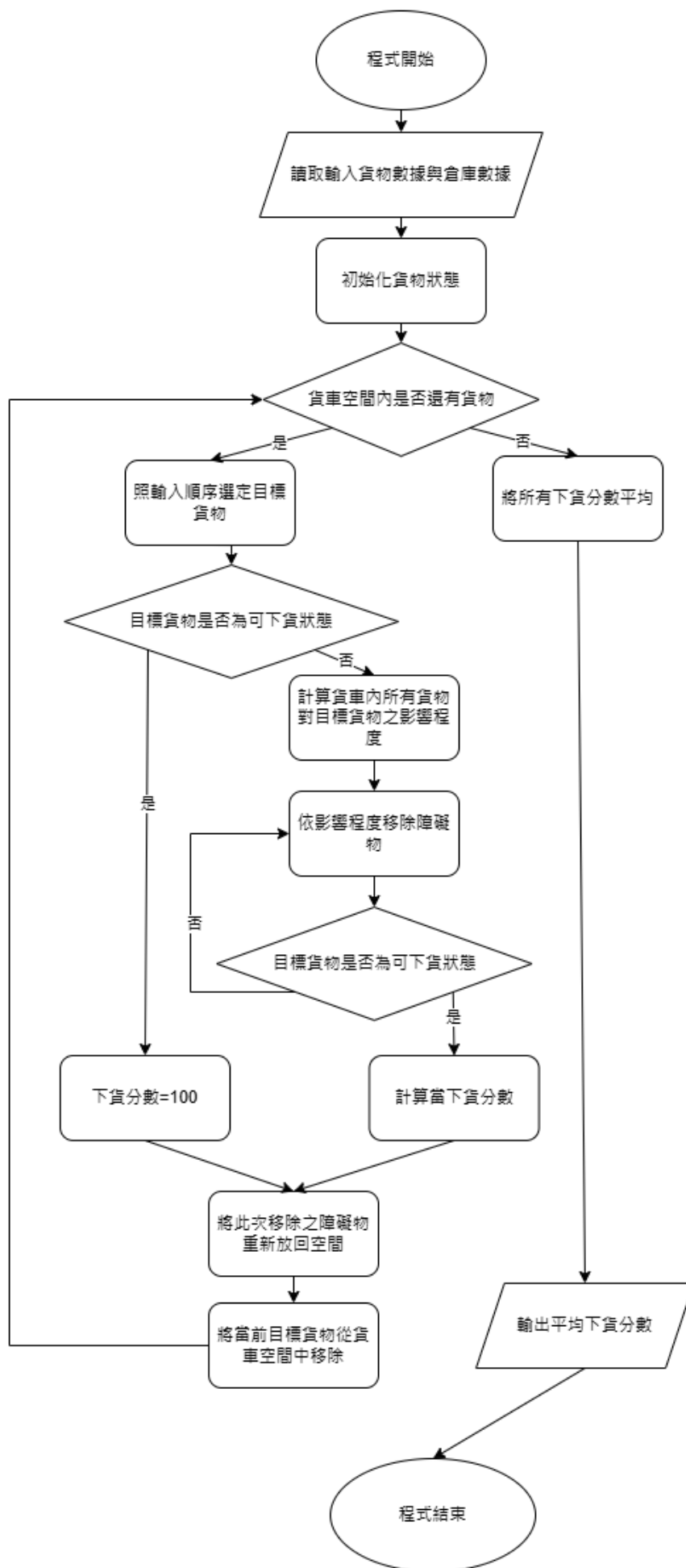
1. 讀取貨車空間與貨物資料
2. 建立物件
3. 將目標貨物卸貨
 - (1) 判斷目標貨物是否可下貨
 - (2) 若因障礙物而不可下貨，利用暴力法遞迴找到最佳障礙物移除組合並移除使目標貨物可下貨
 - (3) 將目標貨物下貨
 - (4) 重新將障礙物根據下一個目標貨物作為標準放回貨車空間
 - (5) 計算下貨分數
4. 重複步驟3.直到全部貨物都被下貨
5. 計算平均下貨分數

其中，在每一部份之時間複雜度如下：

步驟	說明	最差時間複雜度
讀取貨車空間與貨物數量	讀取 k 個箱子，並存入vector<Box>	$O(k)$
建立物件	將 k 個箱子依序初始化 l, w, x, y, z 等參數並計算邊界	$O(k)$
判斷目標貨物是否可下貨	對於 k 個箱子，皆須檢查其餘所有箱子是否為障礙物	$O(k^2)$
找到最佳障礙物移除組合並移除	若以遞迴回溯法尋找最佳移除組合，則須嘗試 2^k 種組合，並且每次遞迴需遍歷 k^2 來檢查是否可行	$O(2^k * k^2)$
重新將障礙物放回貨車空間	對每個擋住的箱子，嘗試 k 個位置，並檢查碰撞，最差情況下 需要測試 k^2 個可能的擺放方式	$O(k^3)$
計算下貨分數	遍歷 k 個箱子計算移除的箱子數量和重量比並加總	$O(k)$
總計		$O(2^k * k^2)$

表(一)：程式最差時間複雜度說明（作者自製）

由上表可知，若使用遞迴遍歷所有解，時間複雜度為 $O(2^k * k^2)$ 。當問題規模增大時，計算所需時間呈現指數級增長。由於硬體資源有限，當 n 較大時，程式無法在可接受的時間範圍內完成運算。因此，我們採用貪心策略（Greedy Strategy），在每一步皆按照影響程度越大者，選擇最適合移除之障礙物。而在此，我們定義影響重量越重、體積越大、離目標貨物越近之障礙物影響程度越大。以上述變因作為指標，仿造貪心策略的概念，依序移除影響程度大之貨物直到目標貨物可下貨。儘管此方法未必能保證全局最優解，但能大幅減少計算時間。整理過後，程式架構圖如下：



圖(十二)：下貨分數評分流程圖（作者自製）

（三） 資料分析方法

定義完如何量化擺放策略之優劣後，說明本研究如何分析不同策略之優劣。我們依照不同的空間填充率生成邊長不等的數個貨物，並分別以不同策略放置貨物，觀察在不同空間填充率下三種策略獲得的擺放分數變化與趨勢。

其中，擺放位置皆須符合三個基本條件，讓擺放方式符合現實：

- 1.貨物懸空部分不超過25%（底面上的點未接觸到地面或者其他貨物稱為懸空）
- 2.貨物不可重疊，意即空間中的任意一個點僅能包含一個貨物
- 3.貨物擺放範圍不可超出貨車空間

在符合三個基本條件之狀況下，我們將所有擺放策略分為3組：隨機擺放貨物、以現今物流業之擺放策略擺放貨物、已經本研究改良後之策略生成。以下分述：

1. 隨機擺放貨物：

隨機位置選擇：使用均勻分佈的隨機數生成器，在空間的範圍內隨機選擇一個 (x, y, z) 位置作為貨物中心座標

放置貨物：如果滿足基本條件，則將貨物放置在該位置。

2. 現今物流業之擺放策略：

現今物流業者的擺放策略可以概括為”後下貨之貨物放在越下面、越裡面”故程式策略為。

位置選擇：對於每個貨物，依下貨順序最後者，從空間的後方（空間範圍之最大 x 值）開始擺放，亦即優先往最裡面塞。

從底部開始：從空間的最低層開始擺放貨物，在當前層無法放置貨物時，逐步向上移動裝載貨物。

3. 經本研究改良後之生成策略：

本研究提出名為分層擺放之策略，此策略將空間分為多個層，並在優先在現有層中放置貨物。步驟如下：

層的定義：層為平行貨車地面（ xy 座標系）之平面。每層的高度由已放置的貨物決定。當一個貨物被放置時，若此高度還為創建層，那麼此貨物將創建一個新的層

位置選擇：在每層中，優先選擇與已放置貨物相鄰的位置，以最大化空間利用率。

具體步驟如下：

1. 遍歷已放置的貨物，尋找與其邊緣對齊的位置。
2. 檢查這些位置是否可以放置當前貨物。
3. 如果找到合適的位置，則放置貨物並更新層的狀態。
4. 向下找尋：在當前層無法放下貨物時優先向下方已經建立的層尋找，避免下方空間浪費。
5. 層的擴展：如果當前層以及下方層無法放置貨物，則創建一個新的層，並在新的層中重複上述過程。

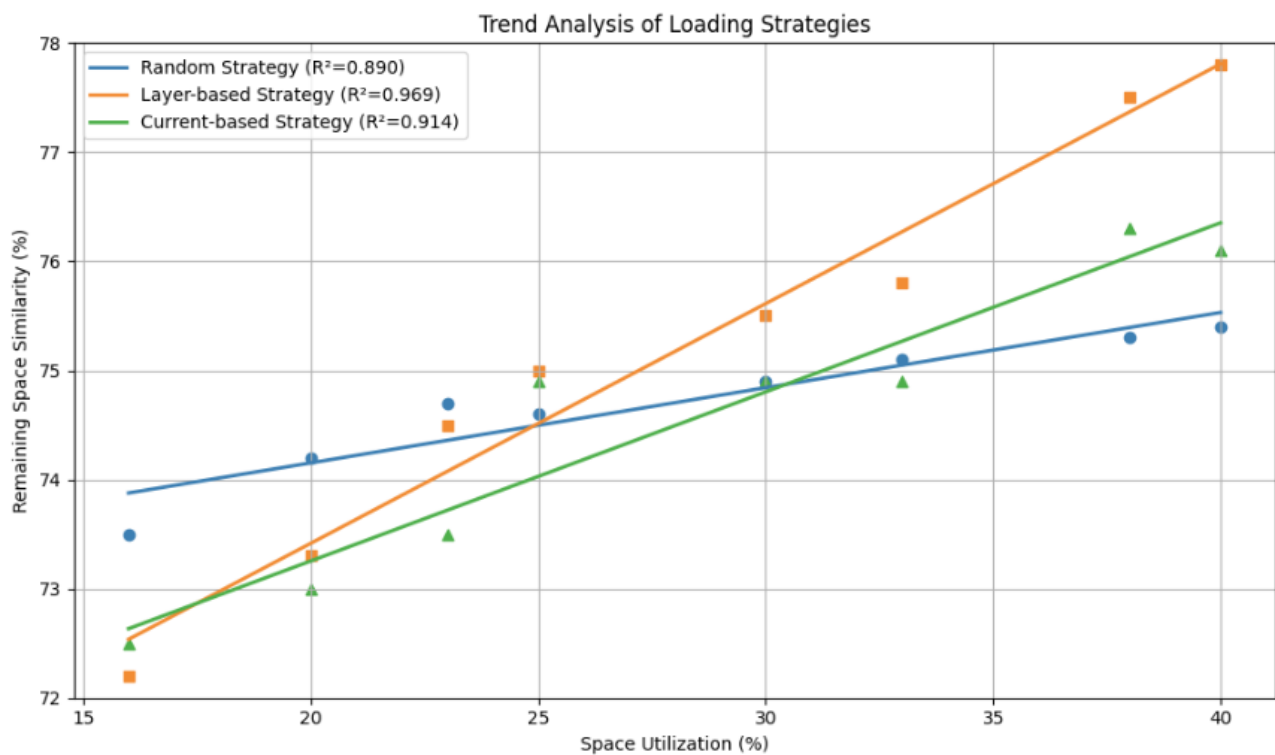
分層策略重視每一層的一致性及每一層的利用程度，我們認為此策略可以有效減少空間的碎片化使剩餘空間最接近正立方體，同時在向下搜索放置的過程中也可以避免結構不穩，確保放置方法在現實中可實行。

肆、研究結果

一、不同策略下裝箱分數差異比較

不同策略之分數 \ 填充率			16.15%	23.14%	25.65%	30.12%	33.46%	38.26%	40.82%
裝箱分數	隨機擺放	第一次	72.714	74.737	73.496	74.998	75.156	75.093	75.165
		第二次	73.458	75.077	74.663	74.753	74.987	75.341	75.124
		第三次	71.988	74.992	74.843	74.922	75.274	75.223	75.683
		第四次	74.748	74.849	74.706	74.912	75.193	75.386	75.355
		第五次	74.743	74.746	74.655	74.895	75.309	75.327	75.639
		第六次	74.471	74.979	74.651	75.389	75.280	74.866	75.621
		第七次	72.292	74.971	74.934	74.795	75.240	74.957	75.563
		第八次	72.583	74.767	74.940	75.298	74.816	75.419	75.119
		第九次	73.294	74.172	74.771	74.958	75.092	75.434	75.170
		第十次	75.009	74.459	74.613	75.105	75.098	75.779	75.610
		平均	73.530	74.775	74.627	75.002	75.144	75.283	75.405
	依現今物流業之擺放策略擺放		72.430	73.520	74.960	75.380	74.870	76.330	76.100
	本研究改良後策略擺放		72.150	74.710	75.020	74.590	75.820	77.580	77.850
變異數		0.532	0.499	0.045	0.156	0.239	1.323	1.587	
變異係數		0.010	0.010	0.003	0.005	0.006	0.015	0.016	

表(二)：不同填充率與裝箱策略之裝箱分數表（作者自製）



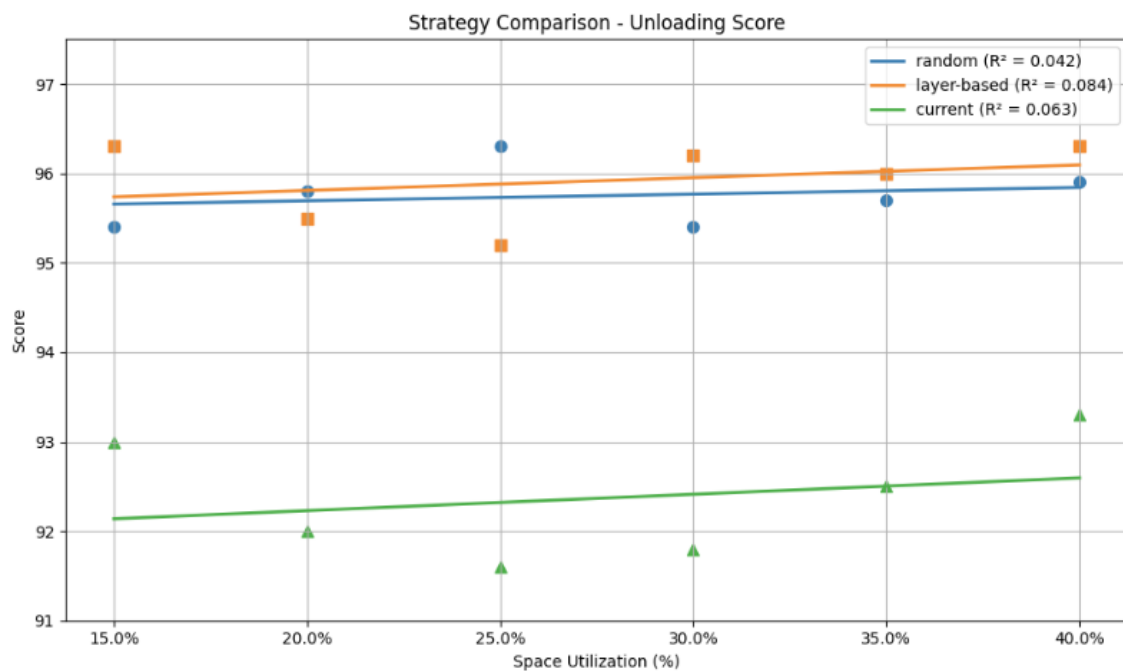
圖(十三)：不同填充率與裝箱策略與裝箱分數趨勢圖（作者自製）

結果說明：根據上圖中可觀察到，裝箱分數與填充率大致呈現高度正相關，斜率以本研究提出之策略最大，隨機擺放之斜率最小。並且在填充率小時，裝箱分數以本研究提出之策略分數最低，隨機擺放之分數最高，但填充率增加後，結果卻相反。可能原因將在後續討論。

二、不同策略下下貨分數差異比較

不同策略之分數 \ 填充率			0.1615	0.2314	25.65%	30.12%	33.46%	38.26%	40.82%
下貨分數	隨機擺放	第一次	95.19	95.56	95.47	95.350	95.39	95.77	96.06
		第二次	92.97	95.74	95.64	95.88	95.63	95.66	95.91
		第三次	96.43	96.01	96.08	95.71	95.84	94.88	95.65
		第四次	96.16	95.62	96.22	94.93	95.41	95.63	96.18
		第五次	95.91	95.67	96.24	95.79	95.72	95.12	95.74
		第六次	95.94	95.72	96.91	96.01	96.03	94.67	95.83
		第七次	96.11	96.1	96.21	95.47	96.19	95.26	95.97
		第八次	94.93	95.93	96.91	95.92	95.62	95.72	95.64
		第九次	95.48	96.07	96.77	95.33	95.96	94.97	95.71
		第十次	96.18	96.19	96.13	95.5	94.81	95.57	95.69
		平均	95.53	95.861	96.258	95.589	95.66	95.325	95.838
	依現今物流業之擺放策略擺放		92.97	91.64	93.63	91.38	92.49	92.10	93.33
	本研究改良後策略擺放		96.18	95.25	96.69	96.23	96.51	96.16	96.32
變異數		0.931	0.456	0.217	0.198	0.156	0.169	0.036	
變異係數		0.018	0.024	0.017	0.028	0.022	0.023	0.017	

表(三)：不同填充率與裝箱策略之下貨分數表（作者自製）



圖(十四)：不同填充率與裝箱策略與下貨分數趨勢圖（作者自製）

結果說明：由上表可知，由於本研究提出之策略分數大致為最高，隨機擺放為其次，現今物流業之擺放策略之結果則為最低，但變異數依舊不高。可能原因下文將繼續討論

伍、討論

一、討論

(一) 不同策略之擺放方式在兩項分數的變異數皆不大，且變異係數並無太大差異

推測可能原因：

1. 公式定義本身敏感度不足，使變化不夠明顯，例如在下貨分數的定義下，需移除之障礙物與貨車內貨物總數差異過大，導致比值過小，後續可透過平方或者將結果更高次方，讓差異更加明顯。
2. 即使策略不同，但在擺放時題目訂定了許多限制原則（例如貨物不可重疊或者懸空等）可能使得大部分策略的有效解相似度過高，導致最終影響分數的因素都差不多。
3. 在下貨分數的計算中，使用了貪心策略，忽略了一部分的解，因此某些狀況下可能會錯過一些更佳的解，讓不同策略最終都得到相似的結果。
4. 本研究使用之樣本數並不多，可能缺乏某些極端情況未被考慮，或者樣本少考慮某些情境，因此結果過於相近。

(二) 填充率提高導致隨機擺放之裝貨得分降低

推測可能原因：

隨機擺放沒有考慮貨物的聚集性，排列較鬆散，因此在填充率較低時零散的貨物對整體空間形狀影響較小，故分數較其他兩組來的高，但隨著填充率提高，隨機擺放造成的空間碎片化程度會比其他兩組更嚴重，並且因在結構上不穩固導致分數最低。

(三) 優化策略之裝貨得分與填充率有較強正相關

推測可能原因：

為當填充率較低時，優化策略的貨物會導致擺放較為集中，對整體空間的影響比隨機擺放更大，且以層為基礎慢慢往上填的趨勢會導致其對單個維度的長度影響程度比優先往最內部塞，填滿垂直截面的物流業擺放策略更大，故分

數最低，但是隨著空間填充率的提高，優化策略的貨物集中程度會比隨機擺放高得多，且由於貨物結構更接近一層一層疊上去的結構，僅造成頂部表面的不平滑，較不容易形成物流業策略造成的不規則梯形貨物結構，在空間形狀上分數比物流業策略更高。

(四) 下貨分數為本研究提出之策略為最佳、物流業現今之擺放策略最差

推測可能原因：

1. 本研究提出之策略導致貨物大多為水平阻擋關係，故下貨時有多種組合可找到最佳解，且將貨物擺放回貨車時亦更容易找到不影響下一個目標貨物的位置。
2. 物流業現今的擺放方式會導致貨物有更多垂直阻擋關係，故要移除下層貨物則上層的貨物必須全部一起移出，導致移除較底部貨物時成本較高。

二、未來展望

- (一) 新增更多考量因素，例如將個別紙箱承重、重心、貨物翻轉加入考量，增加研究可信度與應用空間
- (二) 優化當前分數計算方式，例如加入模擬退火策略避免程式陷入局部最佳解
- (三) 探討路徑對於物流成本之影響
- (四) 將結果可視化，如開發軟體讓放貨順序與位置更清晰，使研究得以應用於實際生活中

陸、結論

- 一、本研究透過優化貨物裝箱方式使貨車剩餘空間規則，有助於讓物流商家裝貨配送整體更有彈性
- 二、下貨分數為本研究提出之策略為最佳、物流業現今之擺放策略最差，顯示現今物流業之擺放策略仍有改善空間
- 三、本研究提出的優化方案在確保結構可行的情況下使下貨更具便利性

柒、參考文獻資料

- 李佳竹、袁媛（2018）。不同幾何思考層次的國中生判別正立方體透視圖邊長關係之研究。《臺灣數學教育期刊》，5(2)，19-38。
[https://doi.org/10.6278/tjme.201810_5\(2\).002](https://doi.org/10.6278/tjme.201810_5(2).002)
- 張碧芝、吳昭容（2009）。影響六年級學生立方體計數表現的因素—空間定位與視覺化的角色。《教育心理學報》，41(1)，125-146。

<https://toaj.stpi.narl.org.tw/file/article/download/4b1141f989c932a90189ce20ec890129>

- 薛朝光、李雨築、陳淑玲（2011）。應用模擬退火演算法求解貨物配櫃利用率之研究。《*航運季刊*》，20(3)，61-88。

https://www.mq.org.tw/upload/journal/prog/1eb9ba2b_20121220.pdf

- 潘彥碩（2024）。貪婪演算法在高維度模型上的理論、方法及應用（博士論文）。國立清華大學。 <https://hdl.handle.net/11296/39arv3>

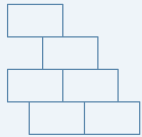
【評語】 052512

此作品提出送貨員在裝貨、下貨較佳的策略研究。此主題發自生活上所觀察到的問題，進而思考「優化」的可能性，探討一個與社會連結且生活化的問題。此作品結合數學建模、運算複雜度分析與產業訪談，具有高度的學術與實務整合，值得肯定。

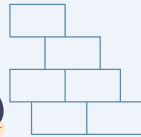
未來發展的建議：

1. 可納入地圖與配送路線資訊，結合裝箱策略與動態路徑規劃形成整合型物流平台。
2. 實驗所得的效能提昇似乎並沒有顯著性的差異，如此無法凸顯所提的方法/策略的優勢。
3. 評分公式似乎有考慮欠周全的問題，應再檢視確認無誤或可再改進。

作品海報



物流宅配業之裝箱策略 評價與分析



摘要

本項研究透過程式模擬宅配業貨車司機的裝貨與下貨過程，提出比傳統垂直擺放策略更具彈性且方便下貨的貨物放置策略－分層擺放策略。本研究所提出的分層擺放策略不僅提升了裝貨的靈活性，還能確保貨物結構便於移動與下貨。同時，程式計算擺放方式所需時間，相較於人工計算，更能有效減少時間成本。期待本研究成果能夠為未來的物流業者提供參考。

研究動機

隨著網際網路的迅速發展，電子商物已經成為生活的一部分，在某一次的網購經驗中，我發現宅配貨車司機總是能夠快速地找到需要下貨的紙箱，因此開始好奇，物流業在擺放貨物時是否有什麼策略呢？詢問了業界相關人員後，發現物流業在分配貨物與將貨物裝箱時也有許多巧思與策略，以此為題，本研究欲探討哪些因素將影響擺放策略，並探討物品在以不同策略放入空間時會造成哪些影響，以進一步延伸討論現今物流業之擺放策略是否有可改良空間。

研究目的

- 一. 探討各因素對於裝箱策略之影響
- 二. 探討以不同策略為基礎之裝箱模式如何影響送貨效益
- 三. 分析現今物流業擺放模式並提出可能之優化方案

文獻回顧

付費裝箱軟體現況

- 一. 優化計算一容器（貨櫃、廂式貨車、托盤等）最多能裝多少貨物，同時避免超重。
- 二. 支援用戶定義各種屬性，例如裝櫃擺放要求、承重能力、容器尺寸、最大載重量等。
- 三. 裝箱結果可制作成裝箱單格式並展示裝箱步驟，可用於指導現場裝箱人員裝箱。

物流宅配業現況與其擺放策略

- 一. 為確保司機權益，每日出車數固定
- 二. 每位司機有固定送貨之區域與送貨路線
- 三. 每日可送貨之時長固定，例如早上送貨下午收貨
- 四. 若某條路線貨量特別大，司機無法再指定時間內送完貨，其他路線的司機將進行支援

研究過程與方法

裝貨分數實作說明

$$\text{空間形狀分數} = \frac{100}{1 + \frac{\sigma_D}{D}}$$

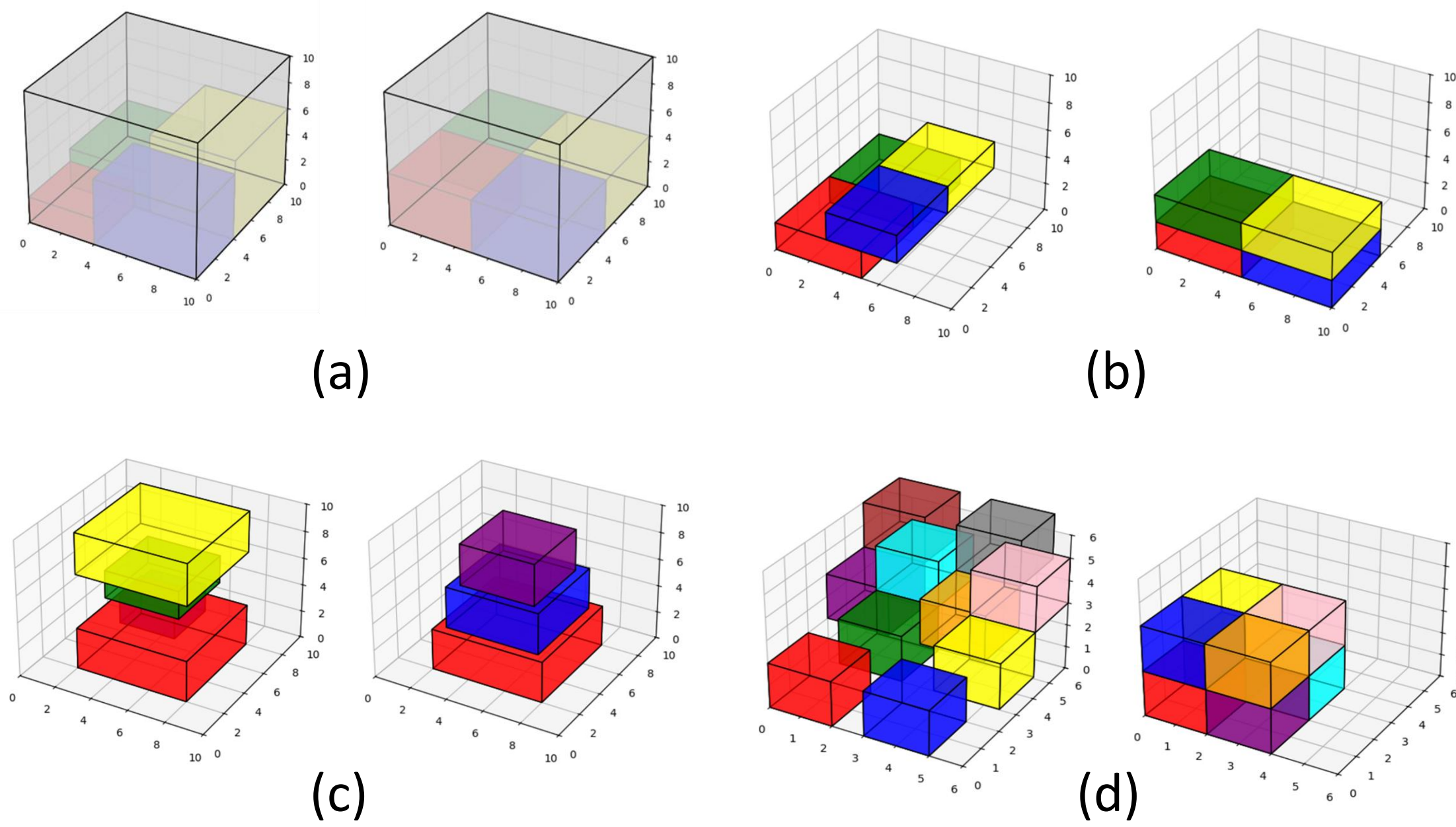
$$\text{表面平整度} = \frac{100}{1 + \frac{\text{剩餘空間表面與長方體表面不契合之體積}}{\text{長方體體積}}}$$

$$\text{一致性分數} = \frac{\sum_{i=0}^n (\min(\frac{C_i}{C_{i+1}}, \frac{C_{i+1}}{C_i}))^{1.5}}{n - 1} \times 100$$

（ $C_i = 0.8 \times \text{層均勻度} + 0.2 \times \text{層密度}$ ）

$$\text{支撐分數} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \times 20$$

$$\text{貨物聚集程度} = \frac{\text{與其餘貨物有相連之面數}}{\text{貨物個數} \times 6} \times 100$$

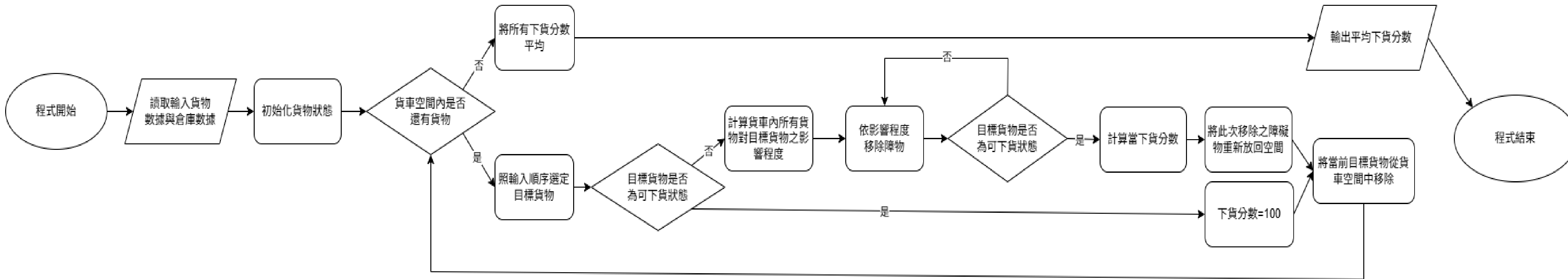


圖一：裝貨分數高低對比圖

註：本研究所用之圖片若無額外標註皆為作者自製

下貨分數實作說明

$$\text{貨物下貨分數} = 100 \times \frac{1}{3} \times [1 - (\frac{\text{第}n\text{障礙物總重}}{\text{貨車內貨物總重} - w_n} + \frac{\text{第}n\text{障礙物個數}}{\text{貨車內貨物個數} - 1} + \frac{\text{第}n\text{障礙物}x\text{座標總和}}{\text{貨車內所有貨物}x\text{座標總和}})]$$



圖二：下貨分數流程圖

基本原則

- 1.貨物懸空部分不超過25%
- 2.貨物不可重疊
- 3.貨物擺放範圍不可超出貨車空間

隨機策略說明

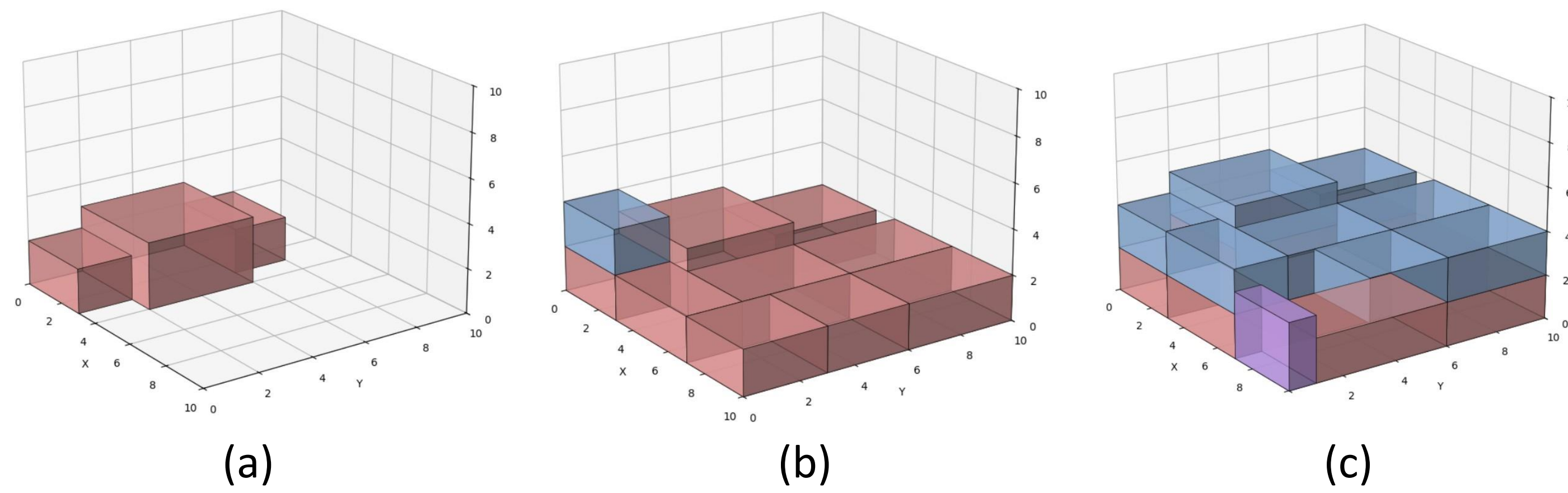
使用均勻分佈的隨機數生成器選擇一個滿足基本條件的貨物中心座標依序放置貨物

現行擺放策略說明

依下貨順序最後者，從空間的後方，開始擺放，亦即優先往最裡面塞，並從底部開始開始擺放貨物，直到當前層無法放置貨物時，逐步向上移動裝載貨物。

本研究改良策略說明

- 1.遍歷已放置的貨物，尋找與其邊緣對齊的位置。
- 2.檢查這些位置是否可以放置當前貨物。
- 3.如果找到合適的位置，則放置貨物並更新層的狀態。
- 4.向下找尋：在當前層放下貨物前優先向下方已經建立的層尋找，避免下方空間浪費。
- 5.層的擴展：如果當前層以及下方層無法放置貨物，則創建一個新的層，並在新的層中重複上述過程。

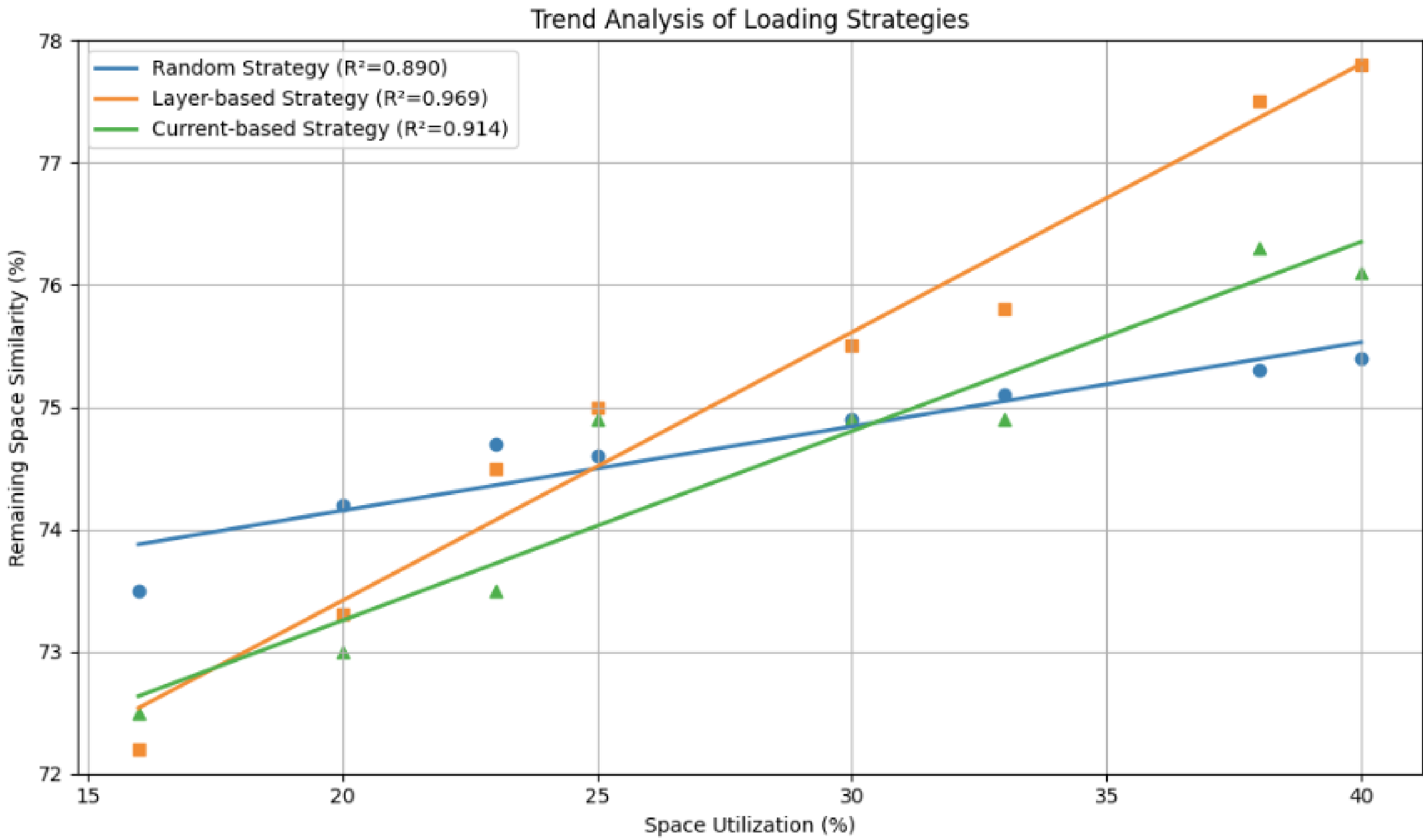


圖三：裝貨策略示意圖

研究結果

不同策略之分數 \ 填充率			16.15%	23.14%	25.65%	30.12%	33.46%	38.26%	40.82%
裝箱分數	隨機擺放	第一次	72.714	74.737	73.496	74.998	75.156	75.093	75.165
		第二次	73.458	75.077	74.663	74.753	74.987	75.341	75.124
		第三次	71.988	74.992	74.843	74.922	75.274	75.223	75.683
		第四次	74.748	74.849	74.706	74.912	75.193	75.386	75.355
		第五次	74.743	74.746	74.655	74.895	75.309	75.327	75.639
		第六次	74.471	74.979	74.651	75.389	75.280	74.866	75.621
		第七次	72.292	74.971	74.934	74.795	75.240	74.957	75.563
		第八次	72.583	74.767	74.940	75.298	74.816	75.419	75.119
		第九次	73.294	74.172	74.771	74.958	75.092	75.434	75.170
		第十次	75.009	74.459	74.613	75.105	75.098	75.779	75.610
	平均	73.530	74.775	74.627	75.002	75.144	75.283	75.405	
	依現今物流業之擺放策略擺放	72.430	73.520	74.960	75.380	74.870	76.330	76.100	
		本研究改良後策略擺放	72.150	74.710	75.020	74.590	75.820	77.580	77.850
變異數			0.532	0.499	0.045	0.156	0.239	1.323	1.587
變異係數			0.010	0.010	0.003	0.005	0.006	0.015	0.016

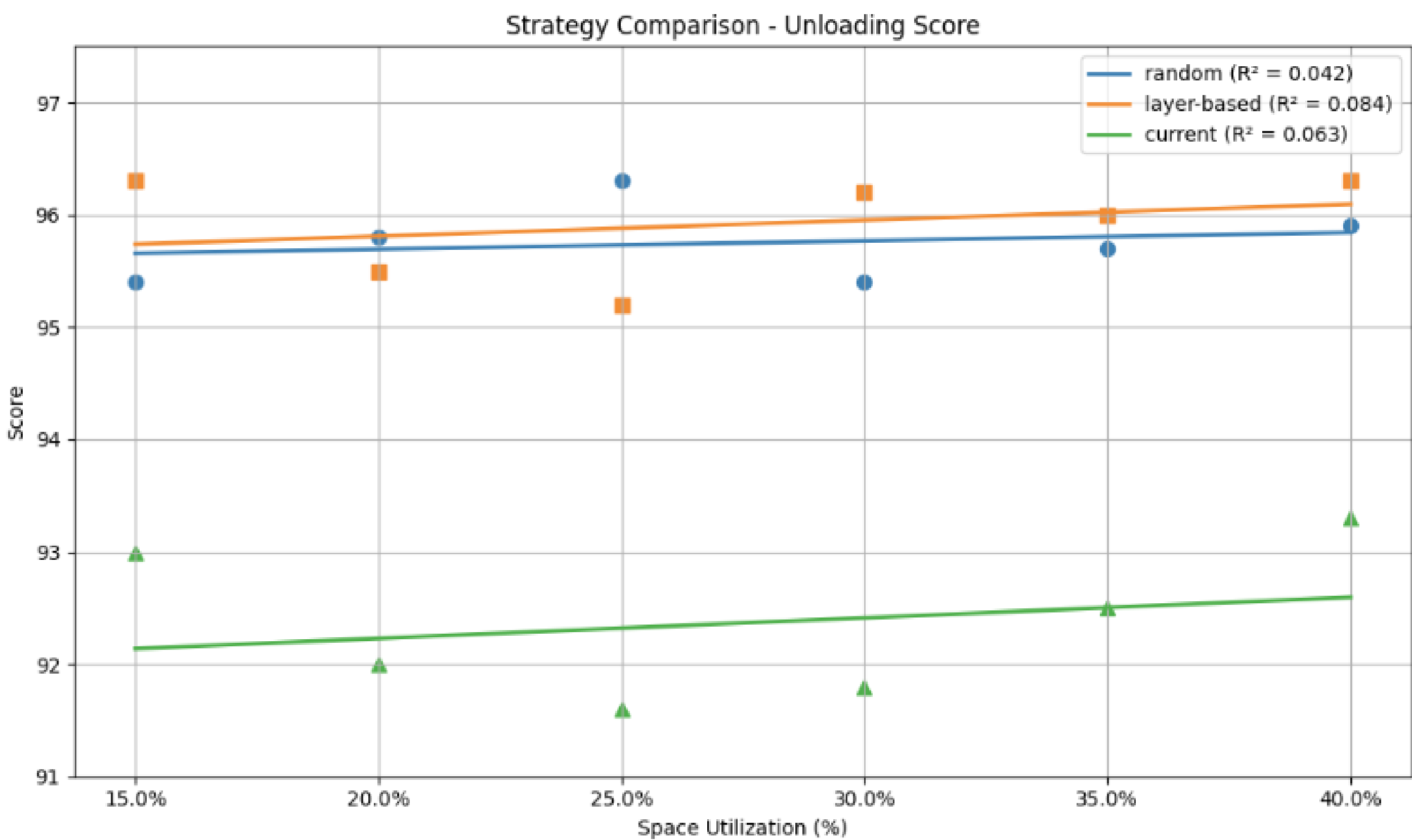
表一：不同填充率與裝箱策略之裝貨分數表



圖四：不同填充率與裝箱策略與裝箱分數趨勢圖

不同策略之分數 \ 填充率			0.1615	0.2314	25.65%	30.12%	33.46%	38.26%	40.82%
下貨分數	隨機擺放	第一次	95.19	95.56	95.47	95.350	95.39	95.77	96.06
		第二次	92.97	95.74	95.64	95.88	95.63	95.66	95.91
		第三次	96.43	96.01	96.08	95.71	95.84	94.88	95.65
		第四次	96.16	95.62	96.22	94.93	95.41	95.63	96.18
		第五次	95.91	95.67	96.24	95.79	95.72	95.12	95.74
		第六次	95.94	95.72	96.91	96.01	96.03	94.67	95.83
		第七次	96.11	96.1	96.21	95.47	96.19	95.26	95.97
		第八次	94.93	95.93	96.91	95.92	95.62	95.72	95.64
		第九次	95.48	96.07	96.77	95.33	95.96	94.97	95.71
		第十次	96.18	96.19	96.13	95.5	94.81	95.57	95.69
	平均	95.53	95.861	96.258	95.589	95.66	95.325	95.838	
	依現今物流業之擺放策略擺放		92.97	91.64	93.63	91.38	92.49	92.10	93.33
	本研究改良後策略擺放		96.18	95.25	96.69	96.23	96.51	96.16	96.32
變異數		0.931	0.456	0.217	0.198	0.156	0.169	0.036	
變異係數		0.018	0.024	0.017	0.028	0.022	0.023	0.017	

表二：不同填充率與裝箱策略之下貨分數表



圖五：不同填充率與裝箱策略與下貨分數趨勢圖

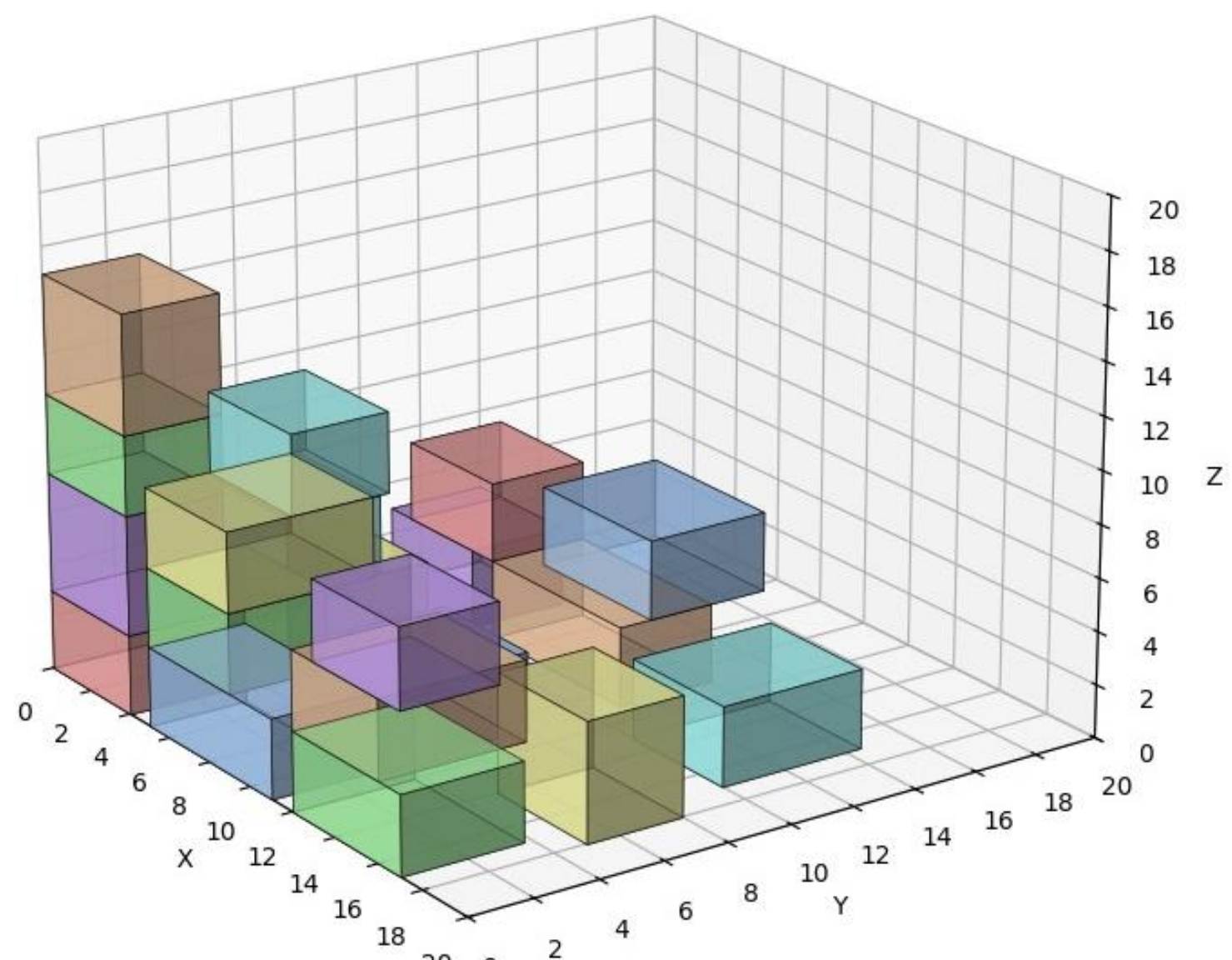
討論

一、不同策略之擺放方式在兩項分數的變異數皆不大，且變異係數並無太大差異

- 公式定義本身敏感度不足。
- 擺放時題目訂定過多限制原則，使得大部分策略的有效解相似度過高。
- 下貨分數的計算中，使用貪心策略，忽略了一部分的解，可能錯過一些更佳的解，讓不同策略最終都得到相似的結果。
- 使用樣本數過少，某些極端情況可能未被考慮，或者樣本少考慮某些情境，使結果過於相近。

二、填充率提高導致隨機擺放之裝貨得分降低

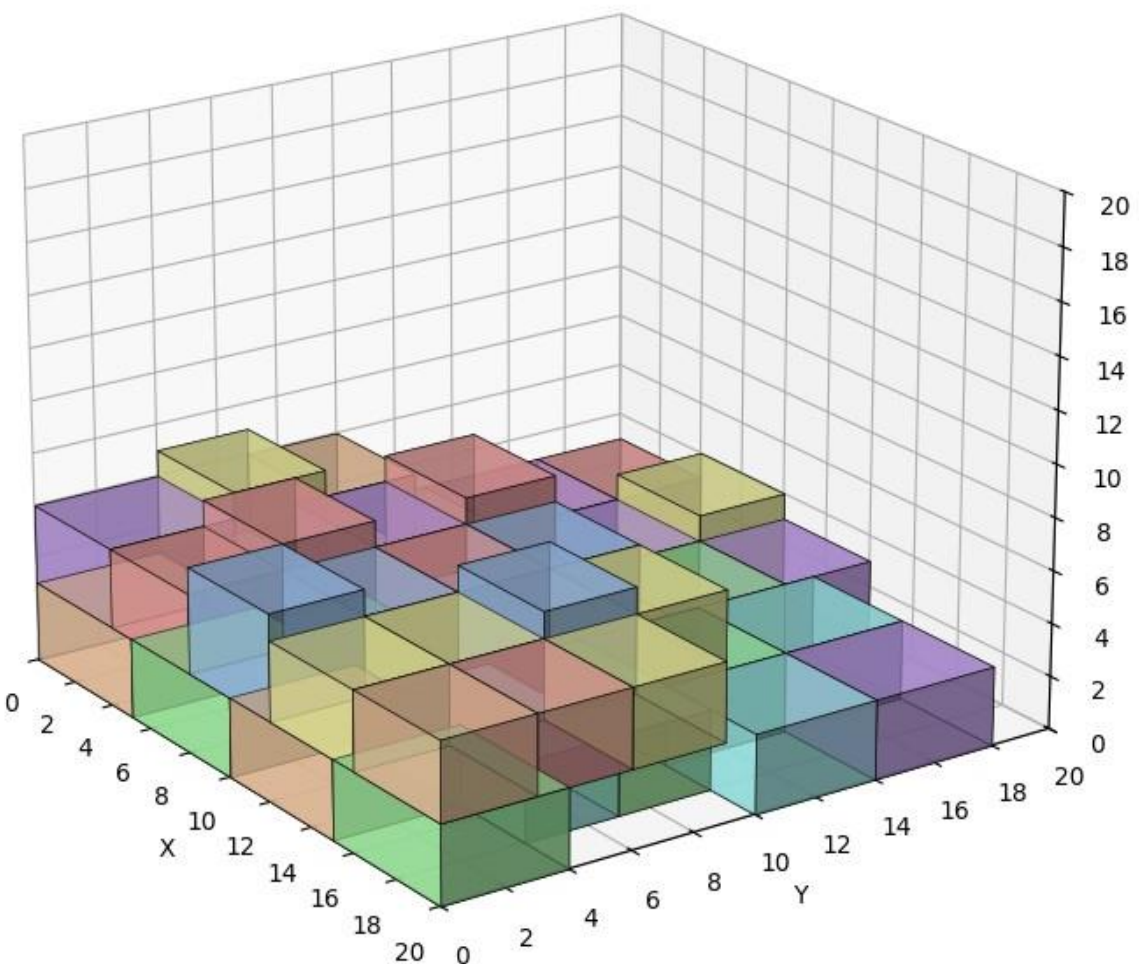
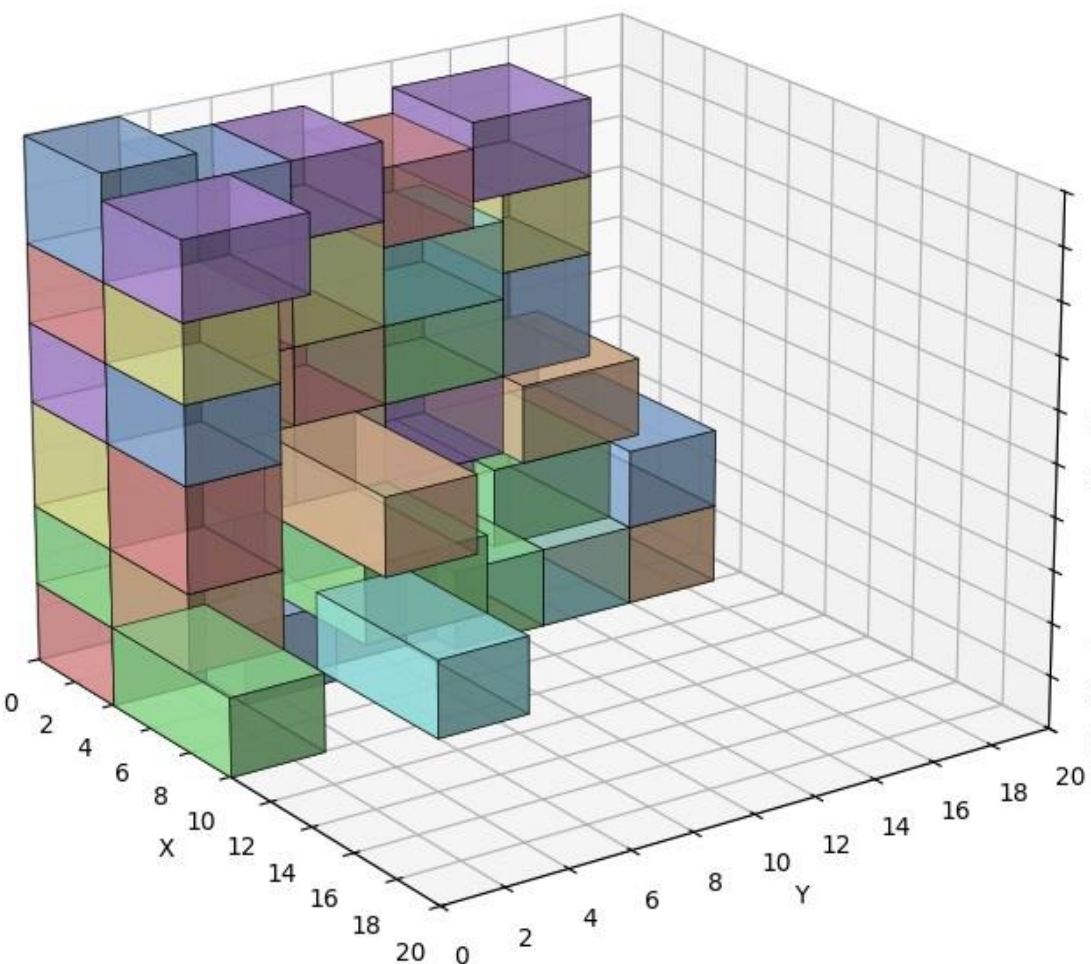
推測原因為：隨機擺放沒有考慮貨物的聚集性，排列較鬆散，故在填充率較低時零散的貨物對整體空間形狀影響較小，使分數較其他兩組高，但隨著填充率增加，隨機擺放造成的空間碎片化程度比其他兩組更嚴重，並因在結構上不穩固導致分數最低。



圖六：隨機擺放示意圖

三、優化策略之裝貨得分與填充率有較強正相關

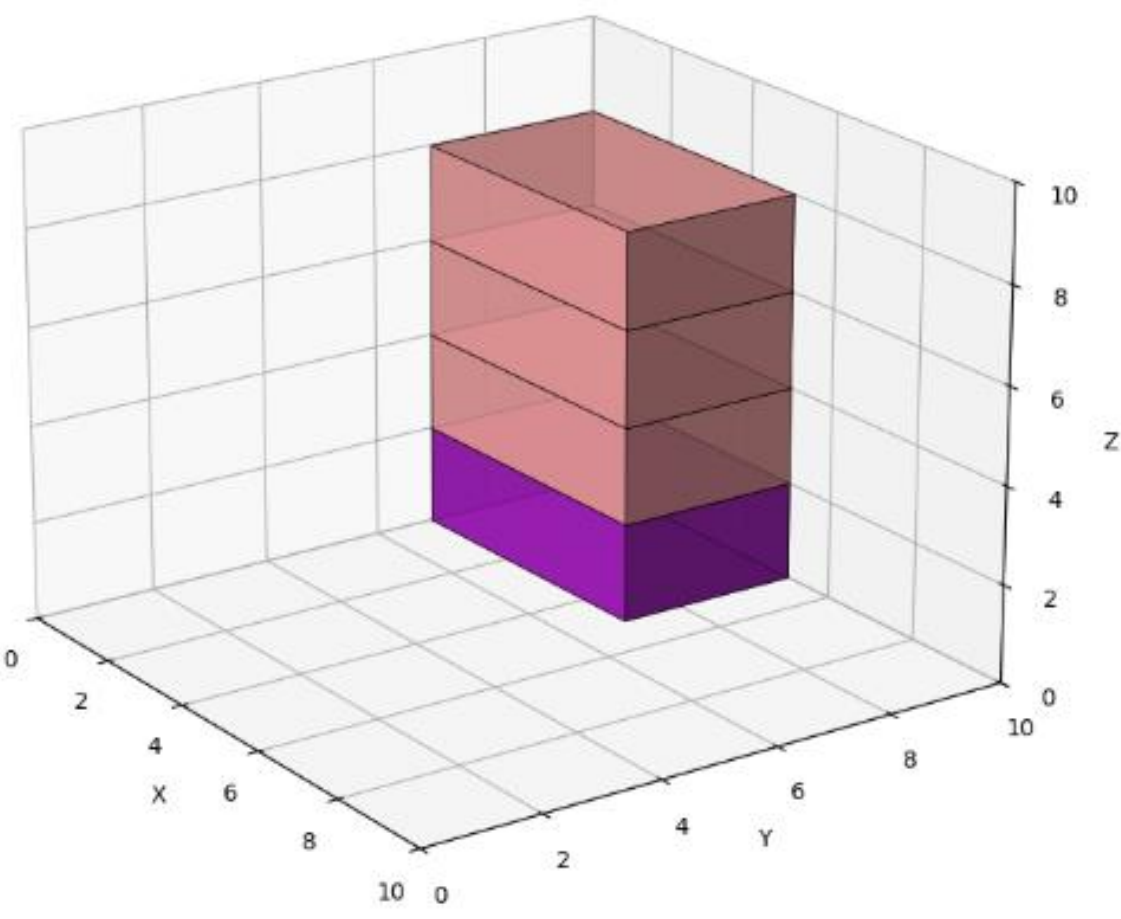
推測原因為：為當填充率較低時，優化策略的貨物會導致擺放較集中，對整體空間的影響比隨機擺放更大，且以層為基礎慢慢往上填的趨勢會導致其對單個維度的長度影響程度比優先往最內部塞，填滿垂直截面的物流業擺放策略更大，故分數最低，但是隨著空間填充率的提高，優化策略的貨物集中程度會比隨機擺放高得多，且由於貨物結構更接近一層一層疊上去的結構，僅造成頂部表面的不平滑，較不容易形成物流業策略造成的不規則梯形貨物結構，在空間形狀上分數比物流業策略更高。



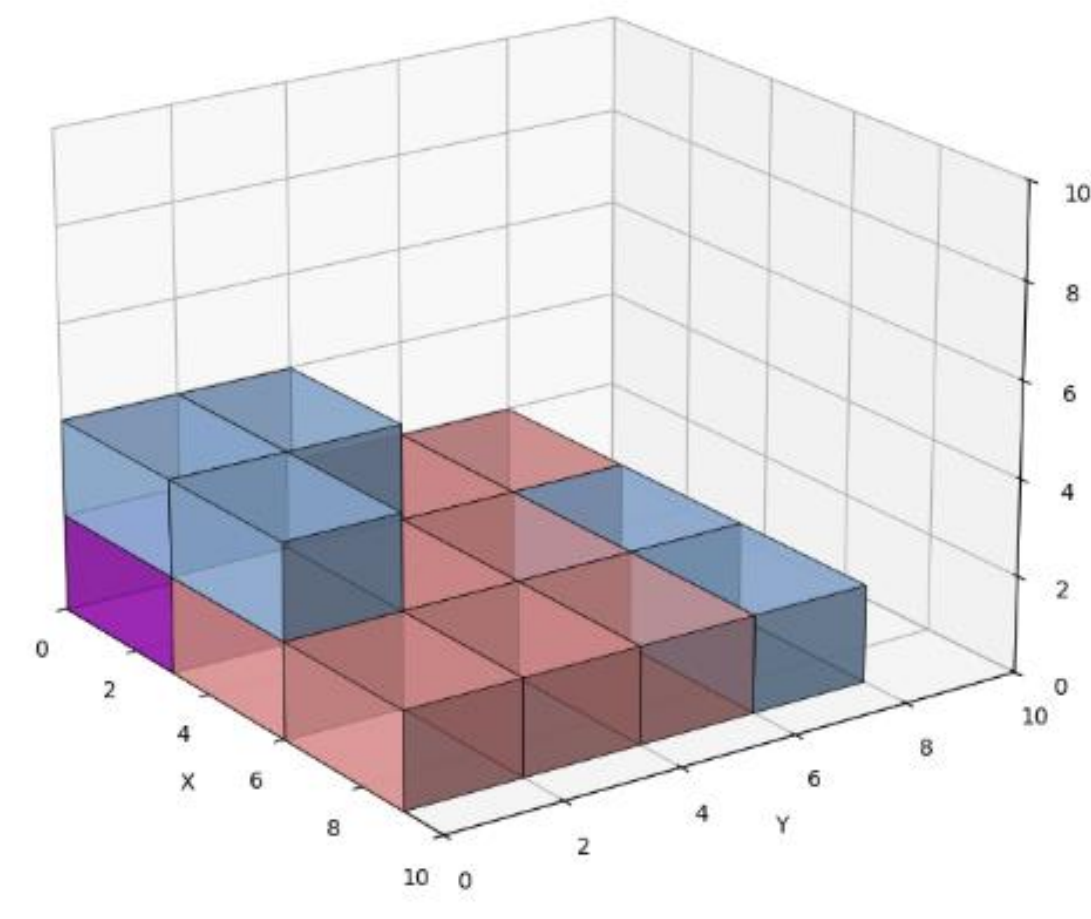
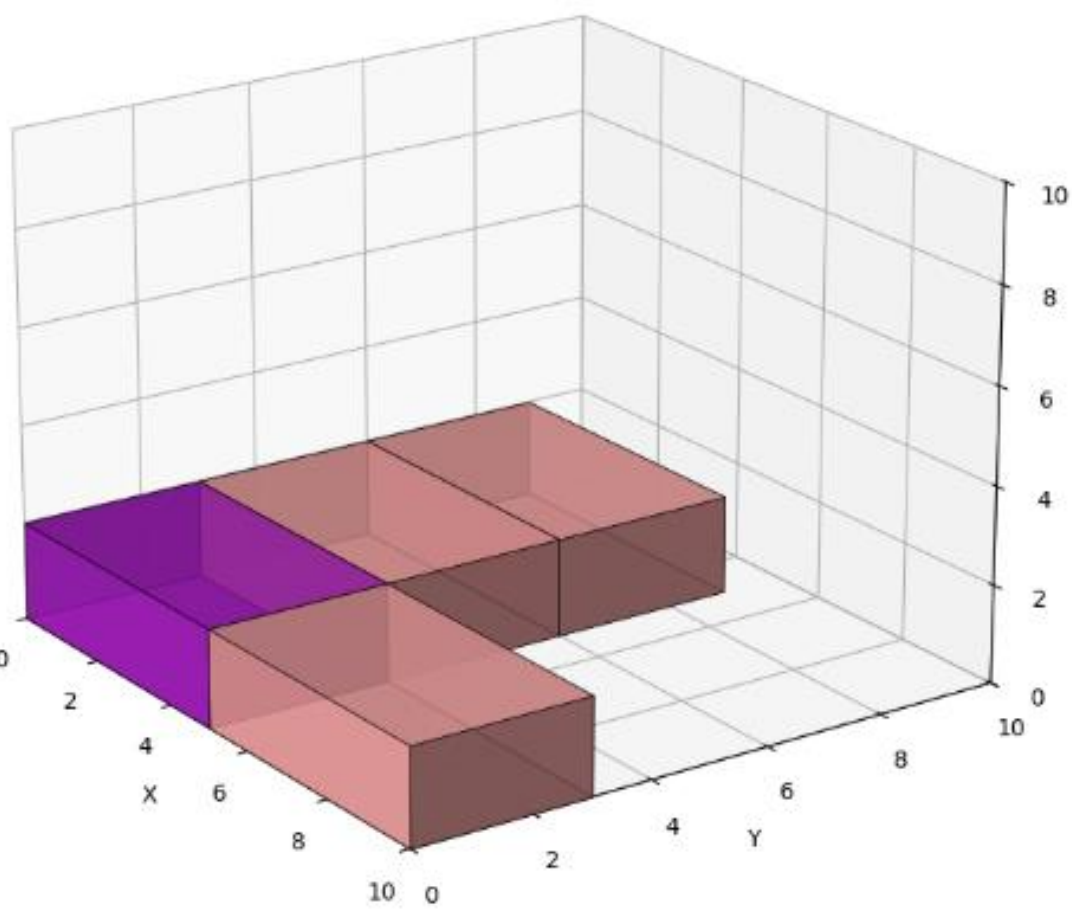
圖七：不同策略之裝貨情形對比圖

四、下貨分數為本研究提出之策略為最佳、物流業現今之擺放策略最差

- 本研究提出之策略導致貨物大多為水平阻擋關係，故下貨時有多種組合可找到最佳解，且將貨物擺放回貨車時亦更容易找到不影響下一個目標貨物的位置。
- 物流業現今的擺放方式會導致貨物有更多垂直阻擋關係，故要移除下層貨物則上層的貨物必須全部一起移出，導致移除較底部貨物時成本較高。



(a)



(b)

圖八：不同策略之下貨情形對比圖

結論

未來展望

- 本研究透過優化貨物裝箱方式使貨車剩餘空間規則，有助於讓物流商家裝貨配送整體更有彈性
- 下貨分數為本研究提出之策略為最佳、物流業現今之擺放策略最差，顯示現今物流業之擺放策略仍有改善空間
- 本研究提出的優化方案在確保結構可行的情況下使下貨更具便利性
- 新增更多考量因素，例如將個別紙箱承重、重心、貨物翻轉加入考量，增加研究可信度與應用空間
- 優化當前分數計算方式，例如加入模擬退火策略避免程式陷入局部最佳解
- 探討路徑對於物流成本之影響
- 將結果可視化，如開發軟體讓放貨順序與位置更清晰，使研究得以應用於實際生活中

參考文獻資料

●李佳竹、袁媛（2018）。不同幾何思考層次的國中生判別正立方體透視圖邊長關係之研究。 *臺灣數學教育期刊*，5(2)，19-38。
[https://doi.org/10.6278/tjme.201810_5\(2\).002](https://doi.org/10.6278/tjme.201810_5(2).002)

●張碧芝、吳昭容（2009）。影響六年級學生立方體計數表現的因素—空間定位與視覺化的角色。 *教育心理學報*，41(1)，125-146。
<https://toaj.stpi.narl.org.tw/file/article/download/4b1141f989c932a90189ce20ec890129>

●薛朝光、李雨築、陳淑玲（2011）。應用模擬退火演算法求解貨物配櫃利用率之研究。 *航運季刊*，20(3)，61-88。
https://www.mq.org.tw/upload/journal/prog/1eb9ba2b_20121220.pdf

●潘彥碩（2024）。貪婪演算法在高維度模型上的理論、方法及應用（博士論文）。國立清華大學。
<https://hdl.handle.net/11296/39arv3>