

應用 NSGA-II 於貨物配送最適組合規劃的研究

邱聖雅

政治大學資訊管理學系

107306079@nccu.edu.tw

杜雨儒

政治大學資訊管理學系

tuyuju@nccu.edu.tw

邱昭彰

元智大學資訊管理學系

imchiu@saturn.yzu.edu.tw

摘要

物流在供應鏈中扮演不可或缺的角色，尤其是全球疫情爆發後，急遽提升的物流需求更形成嚴峻的挑戰。本研究從托運者立場探討如何將貨品以組合的方式委託給不同計費方式的第三方物流供應商(3PL)。由於規劃一項合適的貨品運送委託給不同的 3PL 供應商以獲致最適之運輸成本與運送時間是一個重要的業務問題，本研究以多目標演算法 NSGA-II 建立研究模型，並透過個別企業案例作為實驗對象。實驗結果顯示相對於人工隨機規劃方式，本研究模型可以在兼顧成本與時效上獲得顯著效益。

關鍵詞：組合最佳化、NSGA-II、第三方物流

壹、導論

供應鏈管理描述了自供應者至消費者中產品的原料、生產，以及遞送的優化原則。而物流網路屬於供應鏈管理中最重要之議題之一，它在降低成本以及提升服務品質皆具有相當大的潛力 (Gen, 2006)。因此，有效的物流管理已成為對企業經營有舉足輕重的影響力之一。此外，物流運輸的業務除了在現今的每個產業中都佔有一定的比例，物流業務的規模也日趨成長。近 11 年來，台灣運輸業的生產毛額成長了 60% (MOEA of R.O.C., 2020)。此外，在疫情之下，零售業的線上訂購也提升了 74%，物流需求也隨之上升 (Kohan, 2020)。由此可知物流運輸已成為企業經營不可或缺的重要環節，而如何使用有效的決策分析技術更多提升物流的效率，則是許多研究者和實務界在乎的重要議題。

隨著時間推進，人們對於物流的需求增加，各家物流廠商也應運而生。在現今物流業務非常發達的時代，一個企業將物流活動委外至第三方物流 (Third-party logistics, 3PL)，可以讓該企業更專注在核心技術的開發，進而提升其競爭優勢 (Wong, 2012)。

一般而言，企業每日會有許多貨品需要被運送，並且不同的貨品可能具備不同的運送需求。當企業選擇將物流委外至第三方物流時，往往需要在數個第三方物流的提供者中做出有利於本身或客戶考量下的選擇。由於每件貨品的運送需求具差異，而各個物流服務提供者的接單條件也不同，例如計價方式、服務品質、倉儲地點、風險等，因此託運者必須精確瞭解自身的需求才能做出最有利的選擇。

若將物流服務委外於第三方物流，其目標便是希望有效率地運用時間以及金錢成本將貨物送至各個目的地。然而，最低的配送天數與運送成本最小化為兩個互相衝突的目標，在多數情況下，無法令所有目標同時達到的最佳解。擁有多目標的問題之最佳解通常會由數個可行解組成，這樣的集合稱為柏拉圖前緣 (Pareto front)，屬於柏拉圖前緣的可行解皆為最佳解，並且解和解之間彼此不互相支配。傳統上將多目標問題分解為多個單目標問題，分開尋找各個目標的最佳解，透過多次的計算得出柏拉圖前緣 (Deb, 2002)。相較之下，多目標啟發式演算法 (multi-objective evolutionary algorithms, MOEA) 則僅需透過一次的模擬計算即可找出柏拉圖前緣。過去有數個 MOEA 被提出，例如 NSGA, MOGA, NSGA-II，根據研究比較，由 Deb (2002) 所提出的 NSGA-II 具有超群的時間效率和計算準確率 (Murugan, 2009)。由於 NSGA-II 中使用菁英挑選的方式，顯著的將演算法加速同時減少好的解被遺失的機率，並且在迭代的過程中計算擁擠距離，得以保存更多樣化的子代。

本研究以擁有大批貨品托運需求業者的角度出發，對貨品條件以及第三方物流提供者的條件進行多目標最佳化演算法，將每個貨品分散委託給最適合的物流服務提供者。本研究提出將多項商品以不同組合方式，委託給不同計費方式的運輸業者送達的決策輔助系統，以多目標啟發式演算法 NSGA-II 演算法求解，找出運送成本最小化以及時效最佳化之組合。在假設各個第三方物流廠商的運輸安全與可靠度均等同的前提下，本研究針對託運者的需求出發，考量運輸成本以及時間長短作為組合依據，找出最佳解。最佳解包含兩個目標，運輸成本以及時間長短。

基於上述考量，本研究以 NSGA-II 作為方法，在編碼方式上調整為符合本研究中資料特性的基因編碼以進行貨品與第三方物流提供者的組合最佳化。最佳可行解將包含運

輸成本最低以及運送天數最短的組合。

貳、文獻探討

物流管理在供應鏈管理中具有重大的影響，從物料的流動、控制至紀錄的資訊都涵括在其中 (Mentzer, 2011)。如果一個企業在尋找提升競爭優勢的方法，將非核心的技術外包給在該領域專精的廠商便是一個有效的方式 (Embleton, 1998)。其中，將物流需求委託於第三方物流是研究者們感到興趣的主題，並且有許多關於物流管理的文獻專注於開發協助企業選擇最合適的第三方物流提供者的決策支援系統。

企業在選擇在選擇第三方物流的服務提供者時，需考量自身的處境以及服務提供者的條件，這樣的決策包含了數個因素，是一個非常複雜的過程。有許多的研究專注在提供決策者在評估物流服務供應商時會需要的精準資訊，至於有關供應商評估分析模型則包含從簡單的加權評分模型 (Weight grade method) 到複雜的數學和程式方法。多準則決策 (Multiple criteria decision making, MCDM) 是一個常用來選擇第三方物流提供者的方法，近來有一些研究將 MCDM 結合其他技術作為選擇方法。Yayla (2015) 建立了第三方運輸服務供應商的評估方法，該研究首先訂出了決定供應商優劣的條件與準則，包含與物流公司間的可持續性關係、服務品質以及硬體的持續進步，後以層級分析法 (Analytic hierarchy process) 逐步評定各個準則的權重，便得以在數個第三方物流供應者中作出排序和選擇。另外，也有研究以不同第三方物流服務供應者間倉儲的所在位置、服務計價、貨品遺失風險、企業社會責任以及企業的資訊化程度，作為企業選擇最適合的第三方物流時的依據，這樣的方式可以系統化具備經驗的專家做決策的模式，降低日後因為時間久遠或者人為失誤造成的損失 (Jovčić, 2019)。

除了透過專家經驗和權重模型來進行物流的管理之外，使用數學演算法來尋找符合目標的最佳解也被使用於物流管理。Rajamony (2011) 建立了結合基因演算法 (Genetic algorithm) 和粒子群演算法 (Particle swarm optimization) 的方式，在企業將物流業務委外給第三方物流的過程中，透過平衡分配，提升了供應鏈整體的效能。Cheshmehgaz (2011) 以 NSGA-II 同時考量成本和時間，提出了物流網路的設計。此外，還有數個研究也應用了粒子群演算法、蟻群演算法 (Ant colony optimization) 等方式，作為尋找物流管理中滿足經濟目標、環境目標和社會責任的物流模式 (Zhang, 2015)。

在過去有許多的研究透過不同方式在眾多的篩選準則中找出最適合作為評估第三方物流供應者的方法，幫助企業進行排序評量，進而選擇出單個最適合的服務供應者。此外，也有以單目標的演算法對多個第三方物流供應者進行服務的分配，以及使用多目標演算法去設計物流的網路路線。然而，這其中少有針對大量物流貨品中每個物件的不同條件，在數個第三方物流供應者中以組合的方式，找出最能夠提升效能的物流外包選擇，進行組合最佳化。本研究提出使用多目標演算法 NSGA-II 作為方法，同時考量運送抵達時間和運輸總成本，將配送貨品分配給數個第三方物流供應者來進行運送，這樣的方法不僅能降低成本也可兼顧更好的服務品質。

參、研究方法

本段落將介紹本研究採用作為貨物組合配送求解的演算方法。我們針對某案例公司(以下稱 A 公司)在貨物配送的需求，建立演算模型。首先我們將貨物的數據轉換成 NSGA-II 的基因編碼模式，輸入與 A 公司配合的第三方物流公司其各不同的運送條件及計價方式，後進行迭代演算。在限制條件下，我們運算所得之柏拉圖前緣即為最佳解之解集合。本研究假設各家第三方物流的服務品質與遺失風險皆一致。本研究之研究方法可提供將物流業務的部分或全部委外予第三方物流之企業作為決策參考，決策者可以彈性地根據情況選擇柏拉圖前緣中最適合的方案。

一、案例企業介紹

A 公司的物流部因為集團的政策改變導致貨物運送量大幅提升，其中集團的產品供應鏈包括研發設計、原料取得、設備、生產、運輸等。將原料與產品使用最有效率的方式及最低的成本送達目的地，是供應鏈中一個重要的環節。由於設置一個專屬的物流車隊相對於與既有的貨運公司合作不划算，故物流的業務由派車人員參考當天欲出貨的貨品資料，以人工的方式管理貨物配送。首先將當天的出貨資料提供調度人員參考，而內部並沒有適當資訊系統，調度人員會將出貨資料以地區分類，並以急件優先，將貨品分派給當日方便的车。這樣的管理方式實際上並未達到最低成本，本研究試圖改善過往以人工方式控管貨物配送方式，針對貨物數量大並且有諸多貨物限制時，改採以電腦運算最佳派送組合，達到能減少時間及成本的最佳的派送組合。

表 1 所示為出貨貨品的資料範例，包含訂單編號、客戶資料、運送地區代碼、樓層、淨重以及急件與否。表 2 所示為合作的第三方物流計價方式範例，表中分為各個物流服務提供者對應各個地區所使用的計價方式，其中倉儲基地所在的不同造成了地區價位的差異。另外，當一車次承載的重量超過一定重量，則必需以跳級的方式計價（例如：超過 0.5 噸，以 1.5 噸計價方式計算）。

二、演算執行方法

(一) 實驗架構

本研究開發貨物組合最佳化模型系統，同時考量被托運物的條件和物流服務提供者的條件。在執行時，首先需輸入當日之派送物件清單、合作物流廠商未來三日內的可行運車輛和運送服務的計價方式，後由 NSGA-II 經過數次的迭代運算，得到以所需運送天數以及最低運費所組成之柏拉圖前緣。柏拉圖前緣包含兩個目標的非支配解，分別為總運送成本以及所需運送天數。物流配送每日的載運量有一定限制且具波動性，如表 3 所示為三家第三方物流在未來 3 日所能提供的可行運車輛數目範例。

表 1：出貨貨品資料範例

訂單編號	客戶編號	地區代碼	樓層	重量	急件
1	23	9	0	45	y
2	5	6	0	34	y
3	10	4	3	50	n
4	10	4	6	25	n
5	38	1	0	25	y

表 2：物流服務計價範例

地區代碼	地區	第三方物流 1		第三方物流 2		第三方物流 3	
		0.5t	1.5t	0.5t	1.5t	0.5t	1.5t
1	A	700	1200	1000	1300	700	1200
2	B	900	1500	1000	1300	900	1400
3	C	1200	1800	1300	1700	1100	1400
4	D	900	1500	1000	1300	1000	1600
5	E	1300	2100	1700	2500	1300	1600
6	F	1800	2300	1700	2500	2000	2500
7	G	1800	2300	2000	2800	1900	2300
8	H	2200	3200	2500	3500	2000	2500
9	I	2200	3200	2500	3500	2800	4000
10	J	3600	4200	3500	5000	2800	4000

表 3：可行運車輛表

天數	第三方物流 1	第三方物流 2	第三方物流 3
1	10	7	15
2	8	3	6
3	13	8	17

是故本研究定義可行解的範圍包含 (1)當日即能將所有出貨貨品處理完畢 (2)當日欲出貨貨品超過當日載運量，部分貨品延至第二日進行配送處理 (3)欲出貨貨品超過第一日以及第二日載運量，部分貨品延至第三日進行配送處理 (4)欲出貨貨品超過前三日總載運量，部分貨品延至第三日之後進行配送處理。基於每日載運量的限制，本研所得柏拉圖前緣將會只由最多四個的最佳解組成，分別為所有物件在當日 (1 日)、2 日、3 日，以及超過 3 日送畢所需的最低運輸費用。通常，運送天數越長，所需運費就低，這是因為最符合貨品條件的物流廠商存在每日可行運車輛的限制，所以除了當日就能送完所有物件的情況外，其他的天數下會有物件被分散到各個天數中的情形。為了適當的分配被延遲到送出的貨品，2 日、3 日，和超過 3 日所代表的最佳解會被輸入至本研究所建立的延遲決定模型。延遲決定模型將

會優先檢視物件是否為急件，後依照訂單日期先後作為分配延遲物件清單的根據。要被延遲的物件會被併入下一次（隔日）的當日之派送物件清單進行一次新的貨物組合分派，其他的物件則被保留並輸出為最佳解。圖 1 所示為本研究之模型系統流程。

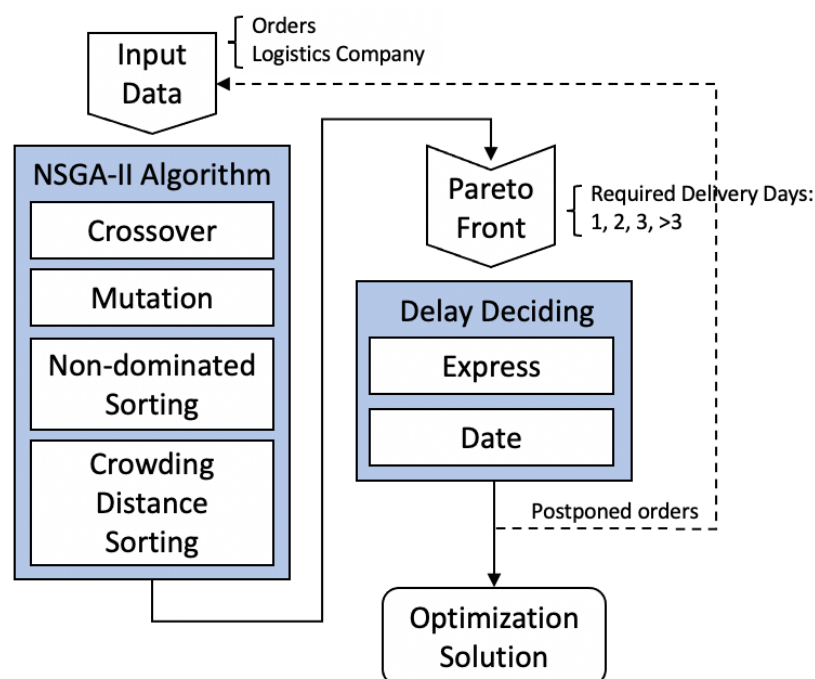


圖 1：研究系統流程

(二) 目標與限制條件

本研究在演算過程中有二目標，公式(1)所示為最低總運費的目標函數，輸入系統設定種群規模 (population size) 數量之基因解，其中 i 為訂單編號， n 為當日訂單總數量， F 為該貨品重量， j 為該訂單對應之第三方物流廠商， k 為合作第三方物流服務廠商總數量， C 為基因解中所指派之運費計價。求得所有基因解中總運輸費用的最小值。另一目標為最短配送天數，基於前述資料特性，我們將天數分成四類：1 日、2 日、3 日以及超過 3 日送畢。在迭代演算中，當一解的天數低於所有目前的可行解時，即納入柏拉圖前緣；當一解的天數與部分可行解相同，在比對後將具有最低總運費的解納入；當柏拉圖前緣中一解的天數與最低總運費皆高於柏拉圖前緣中的其他解，該解將自柏拉圖前緣中被移除。在演算過程中，限制條件將包含(1)單日載貨量不能超過貨運廠商所提供的運送量 (2)當同趟派車所裝載重量超過 0.5 噸，即以 1.5 噸之單位計費計算，如不滿 0.5 噸則以 0.5 噸之單位計費計算 (3)急件須優先處理。

$$f_1(gene) = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k F_i C_j \quad (1)$$

(三) 編碼與計算

在執行 NSGA-II 時需先將物件本身參數轉換成編碼模式，經過編碼後才依照問題組成染色體，演算法即可根據染色體來評斷適應性。常見的編碼方式為二進位和

實數編碼，由於本研究計畫以組合方式尋找可行解，故使用實數編碼。圖 2 所示為本研究使用的編碼方式，染色體的組成為一個 $1 \times n$ (n 為托運物之數量) 的陣列，每一欄中為一家物流公司代碼，代碼順序即代表訂單順序。例如[B, A, C, B...]代表訂單編號 1 將交由 B 公司負責運送，訂單 2 交由 A 公司，以此類推。

在目標、限制，和編碼完成後，即可開始進行後續演算。迭代過程包含交配、突變、非支配排序以及壅擠距離篩選。為了確保所得解有相同優秀表現但又具備足夠差異性，演算過程會在欲產生之新族群所剩名額不足夠使位於同一柏拉圖前緣內所有之染色體皆被選取時，將該等級前緣染色體適用公式(2)，以尋找同等級但卻擁有較大的群聚距離 (crowding distance) 之染色體 (Deb, 2002)。其中 m 代表第 m 個目標、 n 代表第 n 個解、 d 代表該解之群聚距離、 S 代表該解在第 m 個目標上所具備之價值、 O_{max} 代表所有染色體中該目標之最高價值 (min 則反之)。在完成排序和群聚距離的篩選後，即產生新一代的染色體。

$$d_m^n = \frac{S_m^{n+1} - S_m^{n-1}}{O_m^{max} - O_m^{min}} \quad (2)$$

經由 NSGA-II 我們獲得不同天數的貨品組合，所需運送天數超過一日的組合將經過額外運算。額外運算的目的是將組合內的所有貨品分為兩部分，分別是當日被運送貨品和會被延遲運送的貨品。分配的依據會優先依照急件與否，而後以訂單成立日期作為先後排序。要被延遲的物件會被併入下一次 (隔日) 的當日之派送物件清單進行一次新的貨物組合分派，其他的物件則被保留並輸出為最佳解。經由 NSGA-II 及延遲運送計算所得之最佳解集合便將提供予決策者作為參考。

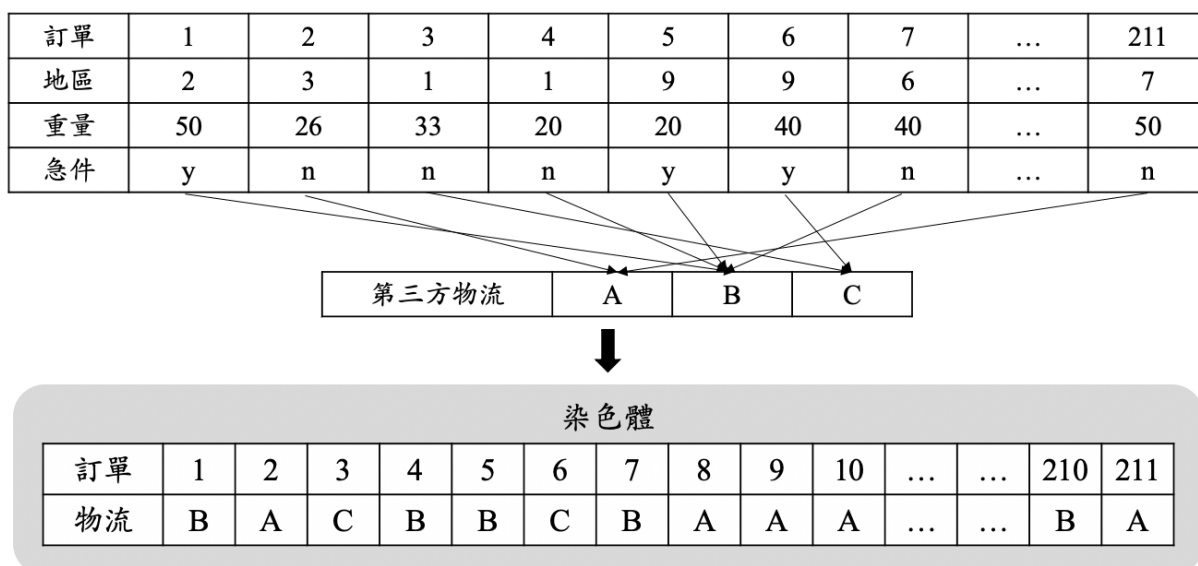


圖 2：編碼方式

肆、研究結果

一、實驗資料

我們使用五個測試例題來評估研究方法的有效性，表 4 中記錄了每個測試例題的參

數組成及範圍。例題的複雜度將逐步上升，由三個第三方物流提供者上升至十個，地區數量和出貨貨品的數量也隨之上升，分別由五至二十，以及三十至四百。例題中使用的數據為根據 A 公司的貨品特性及歷年來與第三方物流合作的紀錄來進行設定，在範圍內以隨機方式生成。測試例題之最佳解一併於表 4 中紀錄。基於篇幅考量，我們在表 5 中僅呈現測試例題 1 中所用使用的詳細數據，其中共有三十項出貨貨品，其他欄位分別紀錄了淨重、目的地代碼、訂單成立日期以及急件與否。此外，例題 1 中使用的三個第三方物流供應商對於不同地區的計價與未來三日可行運車輛也紀錄於表 5 中。

表 4：測試例題參數

測試 例題	第三 方物 流	地區	訂單	重量	計價	限制條件				最佳解
						可行運 車輛 第一日	可行運 車輛 第二日	可行運 車輛 第三日	載運量	
1	3	5	30	[10-50]	[1-5]	[0-30]	[1-30]	[10-30]	5000	[1, 2378]
2	5	10	200	[10-50]	[1-5]	[0-30]	[1-30]	[10-30]	5000	[1, 31402] [2, 25974]
3	7	15	200	[10-50]	[1-5]	[0-30]	[1-30]	[10-30]	5000	[1, 7532]
4	9	15	400	[10-50]	[1-5]	[0-30]	[1-30]	[10-30]	5000	[1, 14839]
5	10	20	400	[10-50]	[1-5]	[0-30]	[1-30]	[10-30]	5000	[1, 21687] [2, 18847]

二、成效評量

本段落對研究開發的方法進行成效評量，並且對比 null model 作為評估比較的一環。對於 NSGA-II，我們根據過去相關研究廣泛的實驗經驗設置了以下參數：crossover rate = 0.92, mutation rate = 0.7 (Li, 2016)。Null model 中使用隨機生成的方式產生貨物配送組合，並且取 3 次生成解中的最佳成績。在每個測試例題中會皆會進行 4 種不同的蝶代數及種群數量的參數組合，並且以 3 次的運算執行平均數值作為紀錄，演算之終止條件設定為迭代數。所有編程均使用 Python 語言進行編碼，並在 2.3GHz Intel® Core™ i9 處理器以及 16 GB RAM 上運算。

有許多研究以 Hypervolume 評量多目標演算法的成效，該方法計算柏拉圖前緣中的所有可行解的變異程度以及收斂程度。Hypervolume 的數值越高，代表解與解之間的變異程度越高，也就代表該柏拉圖前緣較優秀 (Gutjahr, 2010)。而本研究的針對問題特性所使用的編碼方式與以往其他使用多目標演算法的問題不同，我們在演算後所得之柏拉圖前緣由總運費成本和天數組成，而天數最多僅由 1 日、2 日、3 日以及超過 3 日組成，故我們將評量各方法在例題與不同參數組合之下，柏拉圖前緣中 4 個天數下費用分別的差異，例如 [1, 5000] 代表 1 個配送天數，總配送成本為 5000 元。

表 5：測試例題 1 詳細數據

序號	訂單				序號	第三方物流 1	
	重量	地區	日期	急件		計費	可行運車輛
1	29	2	20200120	n	1	3	1
2	22	4	20200119	n	2	4	17
3	15	1	20200120	n	3	2	9
4	26	3	20200119	n	4	5	
5	37	4	20200119	y	5	5	
6	12	2	20200119	n			
7	33	3	20200119	y	序號	第三方物流 2	
8	50	1	20200119	n		計費	可行運車輛
9	47	2	20200119	n	1	2	6
10	38	2	20200120	n	2	4	7
11	37	4	20200120	y	3	3	3
12	28	0	20200121	n	4	5	
13	38	4	20200121	n	5	3	
14	30	1	20200121	n			
15	29	3	20200120	n	序號	第三方物流 3	
16	27	0	20200120	n		計費	可行運車輛
17	41	0	20200121	n	1	2	4
18	34	3	20200120	y	2	4	24
19	29	1	20200121	n	3	3	25
20	14	4	20200120	y	4	5	
21	38	1	20200120	y	5	3	
22	14	4	20200120	n			
23	14	2	20200121	n			
24	34	2	20200121	n			
25	47	1	20200121	n			
26	13	4	20200121	n			
27	29	4	20200120	n			
28	37	0	20200119	n			
29	30	2	20200121	n			
30	32	2	20200121	n			

本研究中，柏拉圖前緣將由最少 1 個，最多 4 個的最佳解所組成。當貨品配送的每日載運量到達上限，或是最適配之組合第三方物流供應商的當日可行運車輛到達上限時，便會出現更高天數搭配較低的配送成本的組合。在多數的情況下，天數越高，配送總成本便越低。因此，在柏拉圖前緣中，不會存在天數較高但總成本也較高的解，造成了解集

合中會有最少 1 個，最多 4 個的情況。故本研究進行成效評估之方式為比較實驗方法、null model 以及測試例題最佳解之柏拉圖前緣中各解之效能提升率。

表 6 紀錄了 NSGA-II 與 Null model 分別在五個測試例題上的計算結果，以及每個例題的最佳解。對於每一個測試例題，我們分別進行了四個不同的種群大小搭配不同的迭代數。其中，例題 1、3、4 之柏拉圖前緣由一個解所組成，而例題 2 與例題 5 的柏拉圖前緣則包含了兩個解。對於複雜度較高的例題，我們給予較大的迭代數進行計算。

表 6：測試例題演算結果

測試 例題	參數		Null Model	NSGA-II	最佳解
	種群數量	迭代數			
1	100	10	[1, 3026]	[1, 2500]	[1, 2378]
1	100	50	[1, 3026]	[1, 2378]	[1, 2378]
1	100	200	[1, 3026]	[1, 2378]	[1, 2378]
1	200	200	[1, 3026]	[1, 2378]	[1, 2378]
2	100	50	[1, x] [2, 67594]	[1, 55048] [2, 42170]	[1, 31402] [2, 25974]
2	100	200	[1, x] [2, 67594]	[1, 50778] [2, 42059]	[1, 31402] [2, 25974]
2	200	200	[1, x] [2, 67594]	[1, 50527] [2, 38243]	[1, 31402] [2, 25974]
2	200	1000	[1, x] [2, 67594]	[1, 50435] [2, 38153]	[1, 31402] [2, 25974]
3	100	50	[1, 18164]	[1, 9540]	[1, 7532]
3	100	200	[1, 18164]	[1, 8186]	[1, 7532]
3	200	200	[1, 18164]	[1, 7607]	[1, 7532]
3	200	1000	[1, 18164]	[1, 7673]	[1, 7532]
4	100	50	[1, 38030]	[1, 24543]	[1, 14839]
4	100	200	[1, 38030]	[1, 18771]	[1, 14839]
4	200	200	[1, 38030]	[1, 16301]	[1, 14839]
4	200	1000	[1, 38030]	[1, 16424]	[1, 14839]
5	100	50	[1, 46388] [2, x]	[1, 34052] [2, 30536]	[1, 21687] [2, 18847]
5	100	200	[1, 46388] [2, x]	[1, 28416] [2, 23457]	[1, 21687] [2, 18847]
5	200	200	[1, 46388] [2, x]	[1, 24224] [2, 21224]	[1, 21687] [2, 18847]
5	200	1000	[1, 46388] [2, x]	[1, 30662] [2, 21106]	[1, 21687] [2, 18847]

在測試例題 1 中，NSGA-II 在低的迭代數之下後便達到正解，在問題複雜度較高的例題 2 至 5 中，NSGA-II 並未在最高 200 個種群大小與 1000 次迭代中達到正解。不同的種群大小和迭代數對於 NSGA-II 均造成了影響，在迭代數量低時，種群數量和迭代數的加大皆對生成之解造成的影響，在迭代數量高時，種群大小對於 NSGA-II 之影響較顯著。表 7 中呈現了 NSGA-II 與 Null model 相比所提升之效能，隨著測試例題的複雜度增大，NSGA-II 的效能提升比例也成正比。其中值得注意的是 NSGA-II 在例題 1、3、4（柏拉圖前緣解集合數量：一）中經過 1000 次的迭代，有精確的演算表現，具有平均 96.1% 的目標達成率，在例題 2、5（柏拉圖前緣解集合數量：二）則有平均 67.3% 的目標達成率。我們可以看到透過本研究提出之貨物配送組合方法，對於複雜的組合能夠實質上降低資源成本。

表 7：效能評估表

演算方法	例題 1	例題 2	例題 3	例題 4	例題 5
Null Model	[1, 3026]	[1, x] [2, 67594]	[1, 18164]	[1, 38030]	[1, 46388] [2, x]
NSGA-II	[1, 2378]	[1, 50435] [2, 38153]	[1, 7607]	[1, 16301]	[1, 24224] [2, 21106]
效能提升	21.4%	43.5%	58.1%	57.1%	47.7%
最佳解	[1, 2378]	[1, 31402] [2, 25974]	[1, 7532]	[1, 14839]	[1, 21687] [2, 18847]
目標達成率	100%	39.5% 53.2%	98.1%	90.2%	88.4% 88.1%

實驗結果顯示我們提出之方法能夠提升貨品配送組合的效能，而在研究過程中，我們發現對於 NSGA-II，較高的種群大小相較迭代數具備更為顯著的效能影響。此外，本研究中所採用第三方物流的服務計價方式為重量計價，然而傳統上還有數種其他的計價方式，例如以件數計價。我們認為在未來可以加入其他方式的計價方式，進而得到更完整的比較。對於研究中的限制條件以及目標的計算準則，針對各不同領域之企業，在未來可以加入更多自身的考量

伍、結論與未來研究

為解決派送龐大數量之貨品選擇合適之第三方物流供應商，本研究提出一個可快速且節省成本之組合規劃的多目標最佳化方法，計算貨物與數個第三方物流供應商之間的最適組合，為企業將物流業務委託予第三方物流時提供決策參考。研究結果顯示，我們提出的方法得以在問題複雜度低時快速且準確的提供最佳解，幫助托運者在兼顧運時送效下能獲致最低運送成本支出。本研究提出之方法相較隨機分配提升了平均 45.6% 的效能，並得以在 1000 個迭代內達到平均 79.6% 之目標達成率。

本研究提出以 NSGA-II 針對配送貨品進行第三方物流供應商之最適組合計算，為創新之應用，在成效評估中對於越複雜的問題具有越佳的效能。未來可進一步將本研究提出之方法與其他相關之多目標演算法進行成效比較，以及結合其他演算法為提升搜尋解空間之效率。在本研究所使用的限制條件以及第三方物流服務計價之規則上，預計使用更多元且彈性的方法，更加貼近企業實際運作之模式。未來我們也期待能將此技術擴大為雲端服務，且邀請優質第三方物流加入服務行列，並對外提供廣大托運業主一個便利、可靠，且經濟實惠的物流服務網絡，使民間資源有效整合發揮最大效應。

致謝：

本研究計畫感謝科技部 109 年度大專學生研究計畫經費補助，計畫編號 MOST 109-2813-C-004-060-H。

陸、參考文獻

1. Department of Statistics, Ministry of Economic Affairs (MOEA), R.O.C. "Simple query of statistical indicators," December 2020 (available online at <https://dmz26.moea.gov.tw/GMWeb/common/CommonQuery.aspx>).
2. Kohan, S. E. "Walmart's Online Sales Have Surged 74% During The Pandemic," Forbes, May 2020 (available online at <https://www.forbes.com/sites/shelleykohan/2020/05/19/walmart-revenue-up-86-e-commerce-up-74/?sh=1b8e1a2e66cc>).
3. Cheshmehgaz, H., Desa, M., and Wibowo, A. 2011. "A flexible three-level logistic network design considering cost and time criteria with a multi-objective evolutionary algorithm," *Journal of Intelligent Manufacturing* (24), pp 1-17.
4. Deb, K. Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. 2002. "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* (6:2), pp 182-197.
5. Embleton, P. R., and Wright, P. C. 1998. "A practical guide to successful outsourcing," *Empowerment in Organizations* (6:3), pp 94-106.
6. Gen, M., Altiparmak, F., and Lin, L. 2006. "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding," *OR Spectrum* (28), pp 337-354.
7. Gutjahr, W. J., Katzensteiner, S., Reiter, P., Stummer, C., and Denk, M. 2010. "Multi-objective decision analysis for competence-oriented project portfolio selection," *European Journal of Operational Research* (205:3), pp 670-679.
8. Jovčić, S., Průša, P., Dobrodolac, M., and Švadlenka. 2019. "A Proposal for a Decision-Making Tool in Third-Party Logistics (3PL) Provider Selection Based on Multi-Criteria Analysis and the Fuzzy Approach," *Sustainability* (11), pp 4236.
9. Li, S., Wang, N., Jia, T., He, Z., and Liang, H. 2016. "Multiobjective Optimization for Multiperiod Reverse Logistics Network Design," *IEEE Transactions on Engineering Management* (63:2), pp 223-236.
10. Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., and Zacharia, Z. G. 2011. "Defining Supply Chain Management," *Journal of Business Logistics* (22:2), pp 1-25.
11. Murugan, P., Kannan, S., and Baskar, S. 2009. "NSGA-II algorithm for multi-objective generation expansion planning problem," *Electric Power Systems Research* (79:4), pp 622-628.
12. Rajamony, R., Pugazhendhi, S., and Ganesh, K. 2011. "Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Solving Balanced Allocation Problem of Third Party Logistics

- Providers," *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management* (4:1), pp 24-44.
13. Wong, J. T. 2012. "DSS for 3PL provider selection in global supply chain: combining the multi-objective optimization model with experts' opinions," *Journal of Intelligent Manufacturing* (23), pp 599–614.
 14. Yayla, A. Y., Oztekin, A., Gumus, A. T., and Gunasekaran, A. 2015. "A hybrid data analytic methodology for 3PL transportation provider evaluation using fuzzy multi-criteria decision making," *International Journal of Production Research* (53:20), pp 6097-6113.
 15. Zhang, S., Lee, C. K. M., Chan, H. K., Choy, K. L., and Wu, Z. 2015. "Swarm intelligence applied in green logistics: A literature review," *Engineering Applications of Artificial Intelligence* (37), pp 154-169.

An Effective Multi-Optimization Approach for Managing Products Portfolios and Logistics Based on NSGA-II

Sheng-Ya Chiu

Department of Management Information Systems
National Chengchi University
107306079@nccu.edu.tw

Yu-Ju Tu

Department of Management Information System
National Chengchi University
tuyuju@nccu.edu.tw

Chaochang Chiu

Department of Information Management
Yuan Ze University
imchiu@saturn.yzu.edu.tw

Abstract

During the current pandemic time, the goal of constructing suitable portfolios of products and deciding the third-party logistics service providers (3PL) that can best handle such portfolios has become particularly critical in supply chain management worldwide. For achieving this goal, this paper presents a multi-optimization approach based on an evolutionary genetic algorithm (NSGA-II). The pilot results show that the approach is able to provide superior solutions in scenarios with lower transport cost and delivery time.

Keywords: Combinatorial Optimization, NSGA-II, Third-Party Logistics