



以模擬退火演算法求解載重相依車輛途程問題

Solving the Load-Dependent Vehicle Routing Problem using Simulated Annealing Algorithm

指導老師：丁慶榮 學生：林晏仔、李昀庭

研究背景與動機

近年來宅配的風氣盛行，配送車輛在運送過程中會產生許多二氧化碳和廢氣，而聯合國宣布了「2030 永續發展目標」，本研究涵蓋 SDGs 部分：SDG9、SDG12、SDG13，因此物流車隊開始考量配送途程中所使用的能源或碳排放，其中物流車輛會隨著配送路徑的載重而影響相關成本，為了解決運輸時產生的排放汙染，希望藉由此研究規劃出省油耗的車輛途程路徑。

研究目的

目標為考量碳排放的情況下最小化運輸成本，利用環保署的碳足跡資料庫計算出碳排放量以規劃出最佳的配送路線，透過建構數學模式，並發展模擬退火演算法求解此 NP-hard 問題，最後收集實務資料進行驗證。

問題描述

物流公司給定資料：物流中心、一物流車隊、配送位置及需求量，在考量重量與距離的車輛途程問題，且不違反車容量限制的條件下，僅考慮單一車種，由物流中心出發並在完成所有顧客需求後返回物流中心，以最小化總碳排放量為目標。

數學模式

基本符號

- K ：車輛集合
- N ：節點集合={2,3,...,n}
- 0 為物流中心
- q_i ：顧客點 i 之貨運需求量
- Q_0 ：車輛空車重
- Q ：車輛裝載最大容量
- d_{ij} ：節點 i 至節點 j 之間的距離
- β ：碳排放轉換係數
- i, j ：節點, $i, j \in N$
- k ：服務之車輛, $k \in K$

決策變數

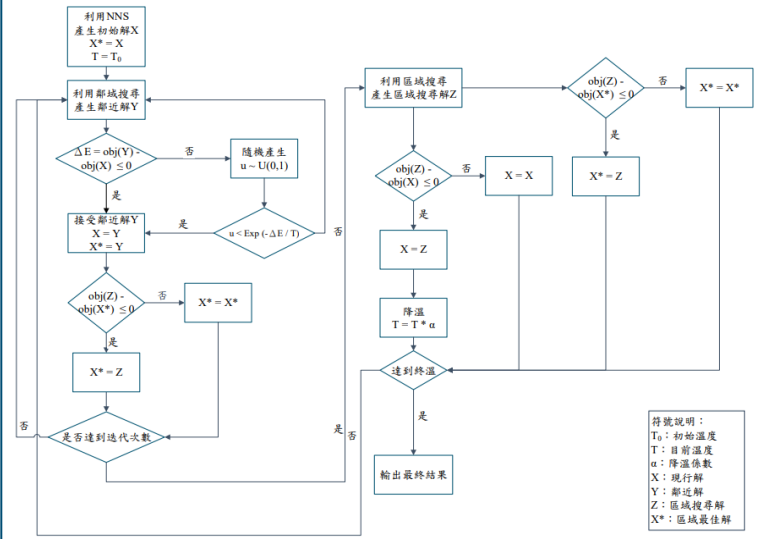
- $x_{ijk} \in \begin{cases} 1, & \text{車輛 } k \text{ 由顧客點 } i \text{ 往顧客點 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$
- U_{ijk} ：車輛 k 行駛在節點 (i, j) 間的車重

數學模型

$$\begin{aligned} \text{Min} & \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} U_{ijk} * d_{ij} * \beta & (1) & \sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{j \in N} U_{ijk} - \sum_{k \in K, j \in N} U_{ijk} = q_i \\ \text{s.t.} & & (2) & \forall i \in N, \forall k \in K \\ & \sum_{i \in N \setminus \{0\}} q_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q & & \\ & \sum_{i \in N} x_{ijk} - \sum_{i \in N} x_{jik} = 0 & (3) & \forall k \in K \\ & & & \forall j \in N \setminus \{0\} \\ & \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 & (4) & \forall i \in N \setminus \{0\} \\ & Q_0 \leq U_{ijk} \leq (Q_0 + Q - q_i) x_{ijk} & (5) & \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K \\ & x_{ijk} \in \{0, 1\} & (6) & \\ & & (7) & \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} x_{ijk} \leq |V| - 1 \\ & & (8) & \forall V \subset N, 2 \leq |V| \leq n - 1, \forall k \in K \\ & & (9) & \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K \end{aligned}$$

研究方法

模擬退火演算法架構



案例結果分析

目前使用的控制參數：初始溫度為 50°、降溫係數為 0.9、鄰域次數為 300 次，資料為某物流公司北部物流中心兩天的實務配送資料，每天有約 59-100 個需求點要配送，每一天都使用 SA 跑 10 次。下圖為其中一天的路徑，可看出模擬退火演算法能夠得到比現況更美好的路線規劃。

	現況		SA		改善%	
	距離 (公里)	碳排放 (kgCO ₂ e)	距離 (公里)	碳排放 (kgCO ₂ e)	距離	碳排放
Day1	329.18	2078.34	264.35	1613.18	20%	22%
Day2	758.36	5508.79	217.40	1427.12	71%	74%
Day3	397.78	2947.24	257.67	2041.35	43%	44%



結論

本研究以 C++ 撰寫程式，使用最鄰近法建構初始解、運用模擬退火演算法結合區域搜索提升全域最佳解，並將本研究開發之演算法與窮舉法之結果對比，以證明演算法之可行性，後續再進行敏感度分析，確定使用之參數，最後對某物流公司送貨路線分析，結果顯示本研究所開發之演算法能夠降低距離和碳排放量。