

禁制搜尋法基礎

Foundations of Tabu Search

授課教師：陳士杰

國立聯合大學 資訊管理學系





■ 授課目標

- 認識禁制搜尋法(Tabu Search)。
- 了解禁制搜尋法處理問題的程序。
- 了解禁制搜尋法運算過程中所使用到的各種運算方法。
- 認識禁制搜尋法所處理的相關議題。





TABU SEARCH 基本概念

- **Tabu** (禁制、禁忌、塔布)
- **Glover** 於**1986** 年提出, 是一種**解決組合最佳化問題**的策略
 - 儘可能地跳脫局部最佳解, 得到全域最佳解。
- 是模仿人類“**利用對過去經驗的記憶進行日常生活決策**”的行為。
 - 如: 找出上學的最短路徑。每天嘗試不同的路徑, 藉以比較出最短的一條。曾經嚐試過的改變, 通常都會被記住(腦袋、名單), 以防止重複嚐試。但是, 若每一次的改變都被牢牢記住, 則可能在不久的未來什麼嚐試都不能做了!!。
 - 什麼樣的改變要被記錄在名單中?
 - 什麼時候可以將某改變從名單中刪除?
 - 什麼樣的改變可以視為例外?
 - 適性記憶機制 (**Adaptive Memory**)



- 以鄰域搜尋法為基礎，每個解都存在相對應的鄰近解
 - 「移步」(Move): 由目前解移至其中一個鄰近解的步驟
 - 已搜尋過的解，則會記錄在**禁忌名單 (Tabu List)**中
 - 不斷地重覆執行移步、更新、測試...等步驟，至滿足停止條件為止
- 關鍵：使用一彈性的**記憶體架構**，分為短期和長期記憶
 - **短期記憶結構 (Short-term Memory)**: 將**最近幾次搜尋過的解**加以記錄，避免重複之前的路徑以加快尋優過程。
 - **長期記憶結構 (Long-term Memory)**: 將短期記憶中的記錄加以**修正**，進而選出**較具吸引的搜尋方向**，以跳離局部解。



Table 1.1. Illustrative tabu search applications.**Scheduling**

Flow-Time Cell Manufacturing
Heterogeneous Processor Scheduling
Workforce Planning
Classroom Scheduling
Machine Scheduling
Flow Shop Scheduling
Job Shop Scheduling
Sequencing and Batching

Design

Computer-Aided Design
Fault Tolerant Networks
Transport Network Design
Architectural Space Planning
Diagram Coherency
Fixed Charge Network Design
Irregular Cutting Problems

Location and Allocation

Multicommodity Location/Allocation
Quadratic Assignment
Quadratic Semi-Assignment
Multilevel Generalized Assignment
Lay-Out Planning
Off-Shore Oil Exploration

Logic and Artificial Intelligence

Maximum Satisfiability
Probabilistic Logic
Clustering
Pattern Recognition/Classification
Data Integrity
Neural Network | Training and Design

Technology

Seismic Inversion
Electrical Power Distribution
Engineering Structural Design
Minimum Volume Ellipsoids
Space Station Construction
Circuit Cell Placement

Telecommunications

Call Routing
Bandwidth Packing
Hub Facility Location
Path Assignment
Network Design for Services
Customer Discount Planning
Failure Immune Architecture
Synchronous Optical Networks

Production, Inventory and Investment

Flexible Manufacturing
Just-in-Time Production
Capacitated MRP
Part Selection
Multi-item Inventory Planning
Volume Discount Acquisition
Fixed Mix Investment

Routing

Vehicle Routing
Capacitated Routing
Time Window Routing
Multi-Mode Routing
Mixed Fleet Routing
Traveling Salesman
Traveling Purchaser

Graph Optimization

Graph Partitioning
Graph Coloring
Clique Partitioning
Maximum Clique Problems
Maximum Planner Graphs
P-Median Problems

General Combinational Optimization

Zero-One Programming
Fixed Charge Optimization
Nonconvex Nonlinear Programming
All-or-None Networks
Bilevel Programming
General Mixed Integer Optimization



■ 重要名詞

- 移步(**Move**)
- 禁忌名單 (**Tabu List**)
- 禁忌期間 (**Tabu Tenure**)
- 破禁原則 (**Aspiration Criteria**)
- 候選名單 (**Candidate List**)
- 強化策略 (**Intensification Strategy**)
- 多樣化策略 (**Diversification Strategy**)

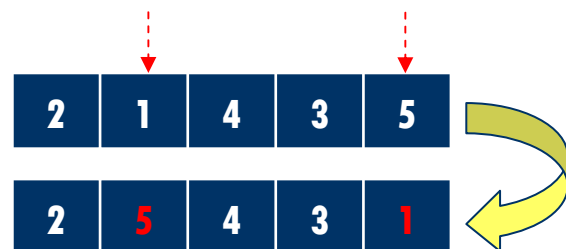


- 由目前解 (Current Solution) 移動到另一個解的過程

- 常見的移步方式有：

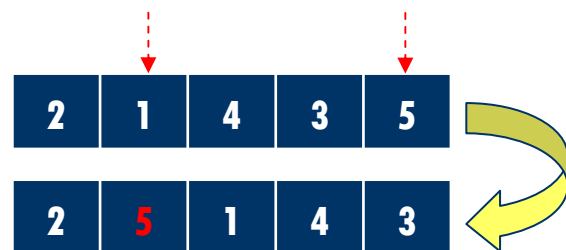
- 兩兩互換法 (Swap)

- 以隨機方式選定兩個節點互換，以形成一個新解。



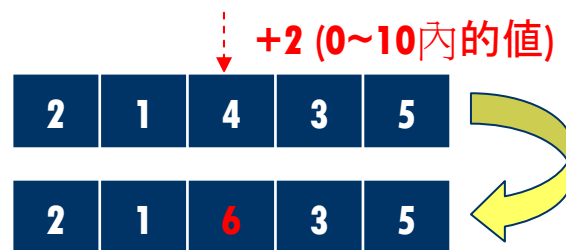
- 插入法 (Insert)

- 以隨機方式選定兩個節點，將其中一點插入到另一點的前/後位置，以形成一個新解。



- 增/刪法 (Add/Drop)

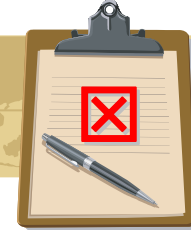
- 以隨機方式選定一、兩個節點，對該節點內的值增/減一個變化量，以形成一個新解。



- 視問題需求/特性來加以設計



禁忌名單 (TABU LIST)



- 用以記錄最近幾次移步過程中所獲得的解或是移步的屬性，作為提供禁忌限制的記憶結構，以避免重複搜尋造成的循環。
- 因為僅用於記錄“最近幾次”的移步結果，故也稱為**短期記憶結構**。
- 除非符合“**免禁原則 (Aspiration Criteria)**”，否則禁忌名單中的所有記錄，均不可以被選用於形成下一個可行解。
- 由於禁忌名單長度有限，通常是採用**先進先出 (FIFO)** 的方式，將名單中保存最久的記錄去除 (解禁)。
- 禁忌名單的長度設定，目前沒有一個固定的設定標準，需視問題的特性而定。若無過去文獻可以參考，則可試試“**7**”做為禁忌名單的長度 (Glover, 1990)。





禁忌期間 (TABU TENURE)

- 某移步記錄被列入禁忌名單中遭受禁制的時間。
- 若禁忌名單採用先進先出法，則禁忌名單愈長，移步記錄被禁制的期間就會愈長。
- 若移步記錄合乎**免禁原則 (Aspiration Criteria)**，則可以跳脫出禁忌期間。





免禁原則 (ASPIRATION CRITERIA)

又稱破禁原則、渴望原則

列在禁忌名單中的移步記錄之**解禁條件**。

免禁原則的種類有：

● 最小限制的免禁原則

■ 假設所有的可能移步均已被列入禁忌名單中，且沒有任何其它免禁原則可以讓禁忌破除，則可選擇具有「最小禁忌」的移步來做為下一移步。

■ **最小禁忌**：指**禁忌期間最短**者。

● 目標值改善的免禁原則

■ **整體性**：若某一禁忌移步可以求得比目前解更佳之解時，則接受此移步。

■ **局部性**：在**預設的區域範圍內** (User認定之最佳區域)，若某一禁忌移步可以求得比目前解更佳之解時，則接受此移步。

● 固定搜尋方向

■ 前題：**搜尋方向是固定的**

■ 若禁忌移步是與所設定的搜尋方向相同，則不會被列入禁忌名單中。



候選名單(CANDIDATE LIST)

- 由“所有可能的移步集合” – “禁忌名單中的移步集合” + “破禁原則中的移步集合” 所構成。
- 此份名單是由目前解附近的解 (即：鄰近解 Neighbor Solutions) 所構成。
- 此份名單主要目的為可以從中挑選出最佳者以形成下一個解。





鄰近區域結構 (NEIGHBORHOOD STRUCTURE)

- 透過移步將現行解轉移至另一解之所有可能解的集合稱為鄰近區域
- 為候選名單的宇集
- 移步是由從此名單中，找出一個符合移步機制的可能解





強化策略 (INTENSIFICATION STRATEGY)

- 為長期記憶機制之一。
- 從含有高品質的**菁英解名單** (Elite Candidate List) 中，執行全面性的搜尋。
 - 菁英解的認定：可由**預訂的門檻值**來作判斷。
- 將歷次重覆執行所搜尋到的解加以儲存，以形成一個菁英解名單。
- 以菁英解做為某次重覆執行時的起始解，將搜尋過程導引至具有高品質的解答空間中。





多樣化策略 (DIVERSIFICATION STRATEGY)

- 亦屬於長期記憶機制之一，常與強化策略一併配合運用。
- 將隨機元素的概念導入菁英解：
 - 將菁英解的變數值作些微改變 (採隨機方式)，再做為起始解，以避免強化策略落入局部解中。





TABU SEARCH 操作步驟

● 以簡單Tabu Search (即: 不含長期記憶機制) 為說明範例(以最小化問題為例):

- 設定起始狀態
- 移步
- 更新
- 測試停止條件





設定起始狀態

- 由先前研究或以其它方法，找到一個起始解 x_0 ，並令 x_0 為目前最佳解 x^*
- 目前最佳解的目標值為 $f(x^*)$
- 起始遞迴次數 $k = 0$
- 禁忌名單 $T = \emptyset$



- 若 \mathbf{x}^* 的鄰近解集合 $\mathbf{V}(\mathbf{x}^*)$ ，扣除禁忌名單 \mathbf{T} 之後為空集合 (即： $\mathbf{V}(\mathbf{x}^*) - \mathbf{T} = \emptyset$)，則執行步驟四
- 否則，令 $\mathbf{k} = \mathbf{k} + 1$ ，並從 $\mathbf{V}(\mathbf{x}^*)$ 中選取一個鄰近值 \mathbf{x}_k ，此鄰近值 \mathbf{x}_k 能使目標值 $f(\mathbf{x}_k)$ 最低



● 若目標值 $f(\mathbf{x}_k) < f(\mathbf{x}^*)$:

- 則令此解為目前最佳解, 即: $\mathbf{x}_k = \mathbf{x}^*$, 並將此解置入禁忌名單 \mathbf{T} 中
- 如果 $|\mathbf{T}|$ (即: \mathbf{T} 集合內的可行解個數) $>$ 禁忌名單長度, 則剔除 \mathbf{T} 集合中最舊的解 (FIFO)

● 若目標值 $f(\mathbf{x}_k) > f(\mathbf{x}^*)$:

- 則不變動目前最佳解, 但仍將此解置入禁忌名單 \mathbf{T} 中
- 如果 $|\mathbf{T}|$ (即: \mathbf{T} 集合內的可行解個數) $>$ 禁忌名單長度, 則剔除 \mathbf{T} 集合中最舊的解 (FIFO)





測試停止條件

- 測試停止條件是否成立。如是，則停止；否則回到步驟二
- 停止條件的設定方式可有：
 - ❖ 運算次數達到設定的遞迴次數
 - ❖ 無法優於目前最佳解之搜尋失敗次數達到設定次數
 - ❖ 運算的鄰近解集合扣掉違反禁忌搜尋規則的解集合為空集合
 - ❖ 達到預設的**CPU**執行時間



■ 實際範例

● 網路距離矩陣

| 節點 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 0 | 19 | 92 | 29 | 49 | 78 | 6 |
| 2 | 19 | 0 | 21 | 85 | 45 | 16 | 26 |
| 3 | 92 | 21 | 0 | 24 | 26 | 87 | 47 |
| 4 | 29 | 85 | 24 | 0 | 76 | 17 | 8 |
| 5 | 49 | 45 | 26 | 76 | 0 | 90 | 27 |
| 6 | 78 | 16 | 87 | 17 | 90 | 0 | 55 |
| 7 | 6 | 26 | 47 | 8 | 27 | 55 | 0 |



Step 1: 設定起始狀態

- ❖ 假設有一個起始解為 $x_0 = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]$, 即: 由節點1依序經2, 3, 4, 5, 6, 7等節點再回至節點1。此路徑總距離為291
- ❖ 令 $x^* = x_0$ 、 $f(x^*) = 291$ 、起始遞迴次數 $k = 0$ 、禁忌名單 $T = \emptyset$
- ❖ 禁忌名單長度設定為 3
- ❖ 破禁原則設定為若此移步所得之解優於目前最佳解 (整體性破解原則)
- ❖ 停止條件設定為遞迴次數 $k = 5$ 次



Step 2: 移步

- ❑ 利用TSP的2-opt的方法進行更新。故起始路徑 **[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]** 之鄰近解有 $C_2^7 = 21$ 組，如右表所示。
- ❑ 由右表得知，成本最低之鄰近解為第**19**組，即 **[1, 2, 3, 4, 6, 5, 7]**，其為節點**5**與節點**6**互換的結果。
- ❑ 遞迴次數 $k = k+1 = 1$

表 8.8 路線[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]之鄰近解集合 $V(x^*)$

| 編號 | 路線 | 成本 | 互換節點 |
|----|---------|------|------|
| 1 | 2134567 | 382 | 1 2 |
| 2 | 3214567 | 337 | 1 3 |
| 3 | 4231567 | 400 | 1 4 |
| 4 | 5234167 | 279 | 1 5 |
| 5 | 6234517 | 247 | 1 6 |
| 6 | 7234561 | 321 | 1 7 |
| 7 | 1324567 | 425 | 2 3 |
| 8 | 1432567 | 270 | 2 4 |
| 9 | 1534267 | 261 | 2 5 |
| 10 | 1634527 | 342 | 2 6 |
| 11 | 1734562 | 278 | 2 7 |
| 12 | 1243567 | 305 | 3 4 |
| 13 | 1254367 | 312 | 3 5 |
| 14 | 1264537 | 207 | 3 6 |
| 15 | 1274563 | 398 | 3 7 |
| 16 | 1235467 | 220 | 4 5 |
| 17 | 1236547 | 307 | 4 6 |
| 18 | 1237564 | 250 | 4 7 |
| 19 | 1234657 | 204* | 5 6 |
| 20 | 1234765 | 266 | 5 7 |
| 21 | 1234576 | 300 | 6 7 |



Step 3: 更新

- 由於 $204 < 291$ ，所以令此解為目前最佳解，即： $\mathbf{x}^* = [1, 2, 3, 4, 6, 5, 7]$ ， $f(\mathbf{x}^*) = 204$ 。
- 將此移步置入禁忌名單 \mathbf{T} 中，即：節點 **5**、**6** 之互換置於禁忌名單， $\mathbf{T} = \{[5 \ 6]\}$ 。

Step 4: 測試停止條件

- 由於目前 $k = 1$ ，小於所設定的遞迴次數 **5**，不符合停止條件，故回至 **Step 2**。



Step 2: 移步

- ❑ 利用TSP的2-opt的方法進行更新。故路徑 **[1, 2, 3, 4, 6, 5, 7]** 之鄰近解有 $C_2^7 = 21$ 組，如右表所示。
- ❑ 由右表得知，成本最低之鄰近解為第**13**組，即 **[1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]**，其為節點**3**與節點**6**互換的結果。
- ❑ 遞迴次數 $k = k+1 = 2$

表 8.9 路線[1, 2, 3, 4, 6, 5, 7]之鄰近解集合 $V(x^*)$

| 編號 | 路線 | 成本 | 互換節點 |
|----|---------|------|------|
| 1 | 2134657 | 295 | 1 2 |
| 2 | 3214657 | 250 | 1 3 |
| 3 | 4231657 | 401 | 1 4 |
| 4 | 6234157 | 221 | 1 6 |
| 5 | 5234617 | 218 | 1 5 |
| 6 | 7234651 | 233 | 1 7 |
| 7 | 1324657 | 338 | 2 3 |
| 8 | 1432657 | 213 | 2 4 |
| 9 | 1634257 | 352 | 2 6 |
| 10 | 1534627 | 164 | 2 5 |
| 11 | 1734652 | 248 | 2 7 |
| 12 | 1243657 | 338 | 3 4 |
| 13 | 1264357 | 135* | 3 6 |
| 14 | 1254637 | 297 | 3 5 |
| 15 | 1274653 | 278 | 3 7 |
| 16 | 1236457 | 253 | 4 6 |
| 17 | 1235647 | 187 | 4 5 |
| 18 | 1237654 | 337 | 4 7 |
| 19 | 1234567 | 291 | 6 5 |
| 20 | 1234756 | 267 | 6 7 |
| 21 | 1234675 | 212 | 5 7 |



Step 3: 更新

- 由於 $135 < 204$, 所以令此解為目前最佳解, 即: $\mathbf{x}^* = [1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]$, $f(\mathbf{x}^*) = 135$ 。
- 將此移步置入禁忌名單 \mathbf{T} 中, 即: 節點 **3**、**6** 之互換置於禁忌名單, $\mathbf{T} = \{[5 \ 6], [3, 6]\}$ 。

Step 4: 測試停止條件

- 由於目前 $k = 2$, 小於所設定的遞迴次數 **5**, 不符合停止條件, 故回至 **Step 2**。



Step 2: 移步

- ❑ 利用TSP的2-opt的方法進行更新。故路徑 **[1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]** 之鄰近解有 $C_2^7 = 21$ 組，如右表所示。
- ❑ 由右表得知，成本最低之鄰近解為第**8**組，即 **[1, 4, 6, 2, 3, 5, 7]**，其為節點**2**與節點**4**互換的結果。
- ❑ 遞迴次數 **$k = k+1 = 3$**

表 8.10 路線[1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]之鄰近解集合 $V(x^*)$

| 編號 | 路線 | 成本 | 互換節點 |
|----|---------|------|------|
| 1 | 2164357 | 217 | 1 2 |
| 2 | 6214357 | 196 | 1 6 |
| 3 | 4261357 | 332 | 1 4 |
| 4 | 3264157 | 206 | 1 3 |
| 5 | 5264317 | 227 | 1 5 |
| 6 | 7264351 | 164 | 1 7 |
| 7 | 1624357 | 262 | 2 6 |
| 8 | 1462357 | 142* | 2 4 |
| 9 | 1364257 | 359 | 2 3 |
| 10 | 1564327 | 233 | 2 5 |
| 11 | 1764352 | 192 | 2 7 |
| 12 | 1246357 | 267 | 6 4 |
| 13 | 1234657 | 204 | 6 3 |
| 14 | 1254367 | 312 | 6 5 |
| 15 | 1274356 | 271 | 6 7 |
| 16 | 1263457 | 255 | 4 3 |
| 17 | 1265347 | 189 | 4 5 |
| 18 | 1267354 | 268 | 4 7 |
| 19 | 1264537 | 207 | 3 5 |
| 20 | 1264753 | 205 | 3 7 |
| 21 | 1264375 | 199 | 5 7 |



Step 3: 更新

- 由於 $142 > 135$, 所以不改變目前最佳解, 即: $\mathbf{x}^* = [1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]$, $f(\mathbf{x}^*) = 135$ 。
- 但目前解是 $[1, 4, 6, 2, 3, 5, 7]$, 並將此移步置入禁忌名單 \mathbf{T} 中, 即: 節點 2、4 之互換置於禁忌名單, $\mathbf{T} = \{[5\ 6], [3, 6], [2, 4]\}$ 。

Step 4: 測試停止條件

- 由於目前 $k = 3$, 小於所設定的遞迴次數 5, 不符合停止條件, 故回至 Step 2。



Step 2: 移步

- 利用TSP的2-opt的方法進行更新。故路徑 $[1, 4, 6, 2, 3, 5, 7]$ 之鄰近解如右表所示。
- 成本最低之鄰近解為第8組，即 $[1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]$ ，其為節點4與節點2互換的結果。但由於移步 $[4, 2]$ 是在禁忌名單中 (即: $[2, 4]$)，故不接受此移步 (否則會不斷循環)。
- 故改採成本第二低之第6組，即 $[7, 4, 6, 2, 3, 5, 1]$ ，其為節點1與節點7互換的結果。
- 遞迴次數 $k = k+1 = 4$

表 8.11 路線 $[1, 4, 6, 2, 3, 5, 7]$ 之鄰近解集合 $V(x^*)$

| 編號 | 路線 | 成本 | 互換節點 |
|----|---------|-------|------|
| 1 | 4162357 | 205 | 1 4 |
| 2 | 6412357 | 194 | 1 6 |
| 3 | 2461357 | 351 | 1 2 |
| 4 | 3462157 | 199 | 1 3 |
| 5 | 5462317 | 255 | 1 5 |
| 6 | 7462351 | 143** | 1 7 |
| 7 | 1642357 | 260 | 4 6 |
| 8 | 1264357 | 135* | 4 2 |
| 9 | 1362457 | 389 | 4 3 |
| 10 | 1562347 | 214 | 4 5 |
| 11 | 1762354 | 229 | 4 7 |
| 12 | 1426357 | 276 | 6 2 |
| 13 | 1432657 | 213 | 6 3 |
| 14 | 1452367 | 319 | 6 5 |
| 15 | 1472356 | 278 | 6 7 |
| 16 | 1463257 | 232 | 2 3 |
| 17 | 1465327 | 215 | 2 5 |
| 18 | 1467352 | 238 | 2 7 |
| 19 | 1462537 | 186 | 3 5 |
| 20 | 1462753 | 233 | 3 7 |
| 21 | 1462375 | 206 | 5 7 |



Step 3: 更新

- ❖ 由於 $143 > 135$ ，所以不改變目前最佳解，即： $\mathbf{x}^* = [1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]$ ， $f(\mathbf{x}^*) = 135$ 。
- ❖ 但目前解是 $[7, 4, 6, 2, 3, 5, 1]$ ，並將此移步置入禁忌名單 \mathbf{T} 中，即：節點1、7之互換置於禁忌名單， $\mathbf{T} = \{[5, 6], [3, 6], [2, 4], [1, 7]\}$ 。
- ❖ 但由於禁忌名單超過長度3，故刪除最舊的一組(即： $[5, 6]$)，成為 $\mathbf{T} = \{[3, 6], [2, 4], [1, 7]\}$ 。

Step 4: 測試停止條件

- ❖ 由於目前 $k = 4$ ，小於所設定的遞迴次數 5，不符合停止條件，故回至Step 2。



Step 2: 移步

- 利用TSP的2-opt的方法進行更新。故路徑 **[7, 4, 6, 2, 3, 5, 1]** 之鄰近解如右表所示。
- 成本最低之鄰近解為第**6**組，即 **[1, 4, 6, 2, 3, 5, 7]**，其為節點**7**與節點**1**互換的結果。但由於移步**[7, 1]**是在禁忌名單中(即：**[1, 7]**)，故不接受此移步，但成本第二低之第**8**組，其移步為**[4, 2]**亦在禁忌名單中，故也不接受此移步。
- 故改採成本第三低之第**20**組，即 **[7, 4, 6, 2, 1, 5, 3]**，其為節點**3**與節點**1**互換的結果。
- 遞迴次數 **$k = k+1 = 5$**

表 8.12 路線[7, 4, 6, 2, 3, 5, 1]之鄰近解集合 $V(x^*)$

| 編號 | 路線 | 成本 | 互換節點 |
|----|---------|--------|------|
| 1 | 4762351 | 204 | 7 4 |
| 2 | 6472351 | 225 | 7 6 |
| 3 | 2467351 | 298 | 7 2 |
| 4 | 3462751 | 251 | 7 3 |
| 5 | 5462371 | 232 | 7 5 |
| 6 | 1462357 | 142* | 7 1 |
| 7 | 7642351 | 259 | 4 6 |
| 8 | 7264351 | 164** | 4 2 |
| 9 | 7362451 | 366 | 4 3 |
| 10 | 7562341 | 213 | 4 5 |
| 11 | 7162354 | 231 | 4 1 |
| 12 | 7426351 | 277 | 6 2 |
| 13 | 7432651 | 214 | 6 3 |
| 14 | 7452361 | 321 | 6 5 |
| 15 | 7412356 | 248 | 6 1 |
| 16 | 7463251 | 233 | 2 3 |
| 17 | 7465321 | 187 | 2 5 |
| 18 | 7461352 | 292 | 2 1 |
| 19 | 7462531 | 210 | 3 5 |
| 20 | 7462153 | 182*** | 3 1 |
| 21 | 7462315 | 230 | 5 1 |



Step 3: 更新

- ❖ 由於 $182 > 135$ ，所以不改變目前最佳解，即： $\mathbf{x}^* = [1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]$ ， $f(\mathbf{x}^*) = 135$ 。
- ❖ 但目前解是 $[7, 4, 6, 2, 1, 5, 3]$ ，並將此移步置入禁忌名單 \mathbf{T} 中，即：節點1、7之互換置於禁忌名單， $\mathbf{T} = \{[3, 6], [2, 4], [1, 7], [3, 1]\}$ 。
- ❖ 但由於禁忌名單超過長度3，故刪除最舊的一組(即： $[3, 6]$)，成為 $\mathbf{T} = \{[2, 4], [1, 7], [3, 1]\}$ 。

Step 4: 測試停止條件

- ❖ 由於目前 $k = 5$ ，等於所設定的遞迴次數 5，符合停止條件，故停止，最佳解為： $\mathbf{x}^* = [1, 2, 6, 4, 3, 5, 7]$ ， $f(\mathbf{x}^*) = 135$ 。



■ 基本特性

- **TS**是一種具有適應性記憶機制的鄰域搜尋法，透過短期記憶名單避免尋優過程落入循環。
- **僅具有短期記憶的TS稱為簡單TS**，其是搜尋目前解（僅有一個）鄰近的最佳可行解，再以此解尋找下一個解。所以，每次遞迴運作僅有一個可行解。
- 同時具有短期與長期記憶的**TS**可透過**強化及多樣化策略**，以尋優過程中所找到的解為起始解，平行地多點進行鄰近搜尋。所以，每次遞迴運作可同時有數個可行解。
- **TS**的鄰域搜尋法是利用**移步**方式完成，具有系統性，與**GA**的隨機性尋優不同。





■ 前提與限制

- **TS**使用短期及長期的記憶方式禁止或引導尋優的方向，因此，需要大量的電腦記憶體空間。
- 無法確保可覓得全域最佳解。

