

SỬ DỤNG THUẬT TOÁN DI TRUYỀN GIẢI BÀI TOÁN ĐỊNH TUYẾN XE VỚI RÀNG BUỘC THỜI GIAN

Hybrid Genetic Search for the Vehicle Routing
Problem with Time Windows:
a High-Performance Implementation

Wouter Kool

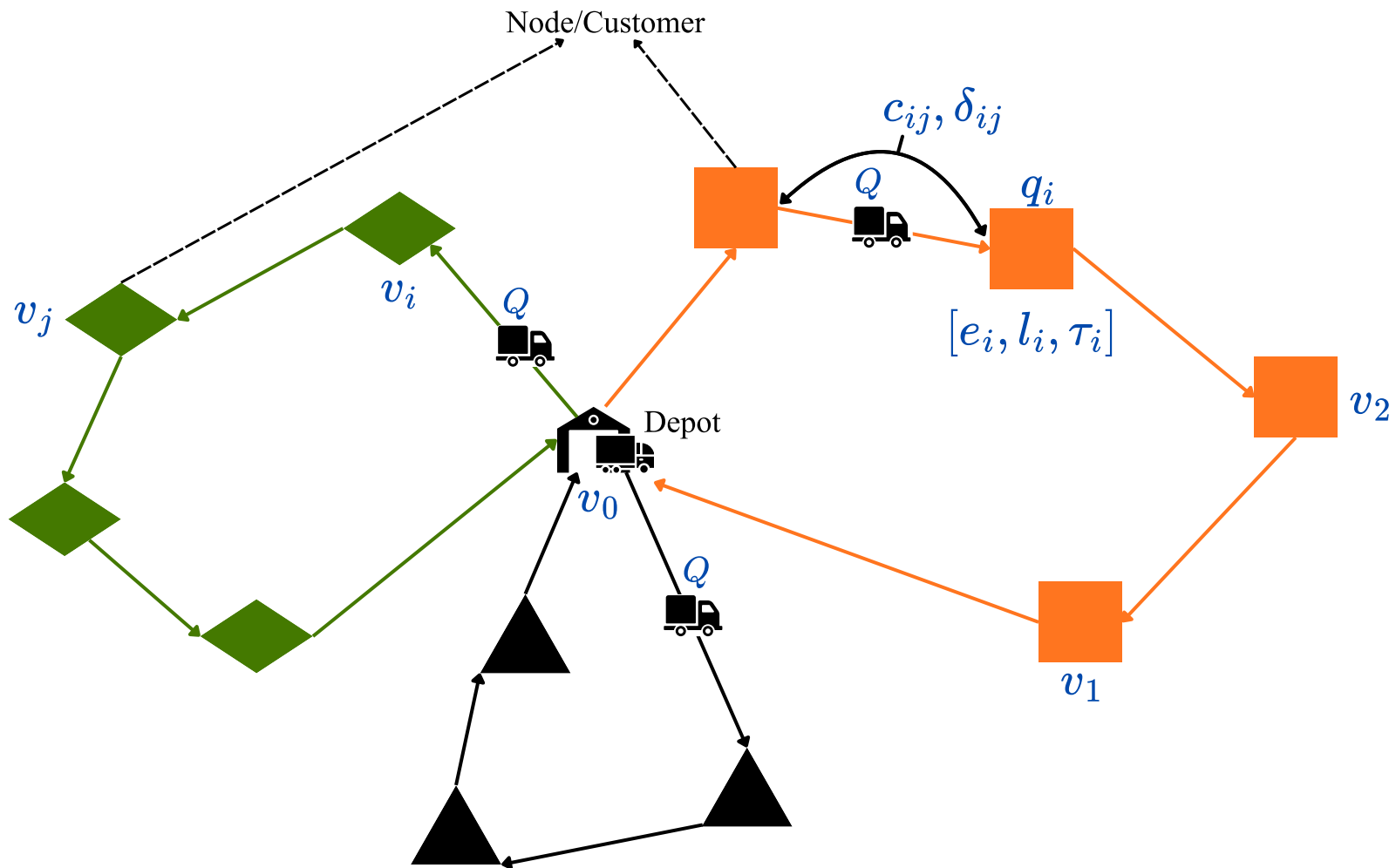
1. Giới thiệu
2. Thuật toán
3. Kết quả

1. Giới thiệu

2. Thuật toán

3. Kết quả

Bài toán



Các nghiên cứu liên quan

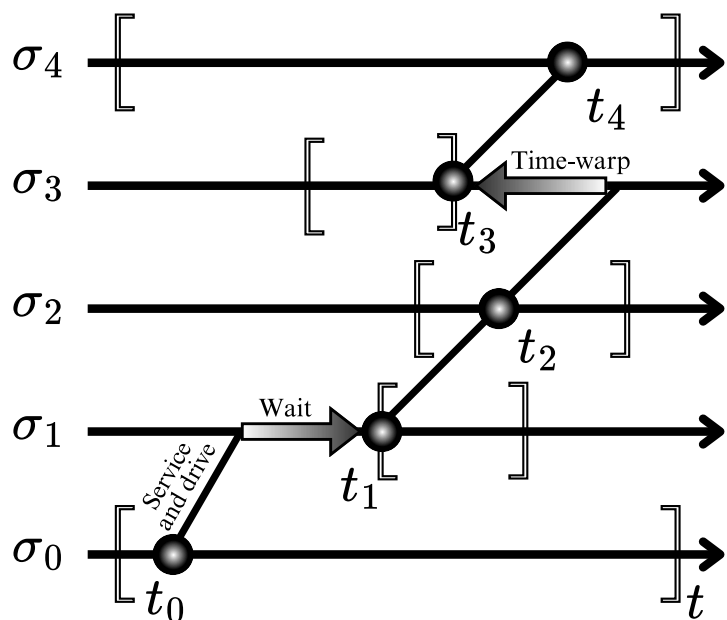
Table 1. VRPs of previous studies (source: current study)

| Study | Objective | | | | Problem description | | | | | | Mathematical model and algorithm |
|---|-----------|------|---------------|----------|-----------------------------------|-------------|------------------|------------------|------------|---------|---|
| | | | | | network configuration (N – nodes) | Constraint | | | Data | | |
| | cost | time | no of vehicle | distance | | time window | vehicle capacity | kind of products | experience | reality | |
| Qi, Hu (2020) | ✓ | | ✓ | | 13 N | | | | ✓ | | MIP, heuristic |
| Kantawong, Pravesjit (2020) | ✓ | | | ✓ | 100 N | ✓ | | | ✓ | | MIP, artificial bee colony |
| Londoño <i>et al.</i> (2021) | ✓ | | | ✓ | 51 N | | | | ✓ | | MILP, local search |
| Aggarwal, Kumar (2019) | ✓ | | ✓ | | 60 N | ✓ | | | ✓ | | MIP |
| Pérez-Rodríguez, Hernández-Aguirre (2019) | | | | ✓ | 6 N | ✓ | | | | ✓ | an estimation of distribution |
| Tasar <i>et al.</i> (2019) | ✓ | | ✓ | | 100 N | | | | ✓ | | MIP, heuristic |
| Zhu, Hu (2019) | ✓ | | | | 200 N | | ✓ | | ✓ | | MILP, response surface method |
| Ruiz <i>et al.</i> (2019) | ✓ | | | | 14 N | | ✓ | | | ✓ | MIP, biased random – key genetic |
| Zhang <i>et al.</i> (2017) | ✓ | | | | 27 N | ✓ | | | ✓ | | tabu search, the artificial bee colony |
| Birim (2016) | ✓ | | | | 10 N | | ✓ | | ✓ | | MILP, simulated annealing |
| Afifi <i>et al.</i> (2016) | | ✓ | | | 30 N | ✓ | | | ✓ | | MIP, simulated annealing |
| Spliet, Desaulniers (2015) | ✓ | | | | 60 N | ✓ | ✓ | | ✓ | | MIP, exact branch – price – cut algorithm |
| Current study | ✓ | | ✓ | | 39 N | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | MIP, clustering algorithm |

Mục lục

1. Giới thiệu
- 2. Thuật toán**
3. Kết quả

Hàm mục tiêu

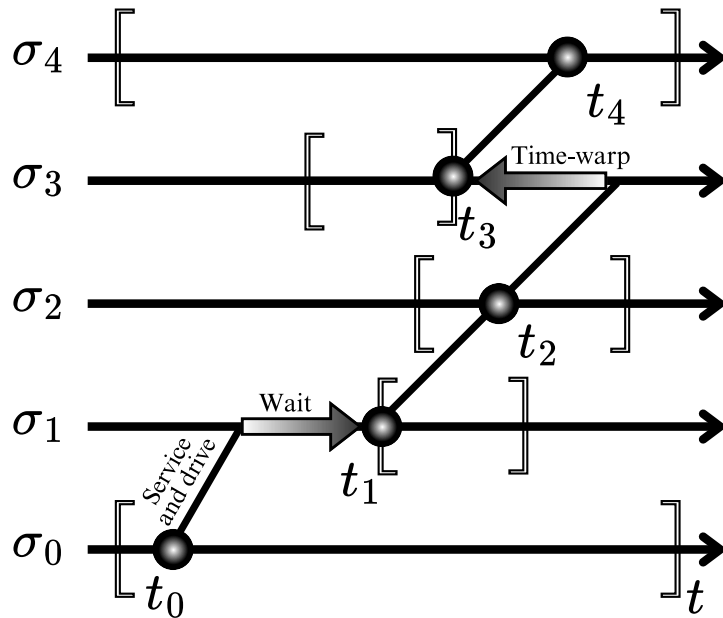


$$r = (\sigma_0^r, \sigma_1^r, \dots, \sigma_n^r, \sigma_{n_r+1}^r)$$

$$\mathbf{t}^r = (t_0^r, \dots, t_{n_r+1}^r)$$

$$\text{tw}_{i,i+1} = \max(t_i^r + \tau_{\sigma_i^r} + \delta_{\sigma_i^r \sigma_{i+1}^r} - t_{i+1}^r, 0)$$

Hàm mục tiêu



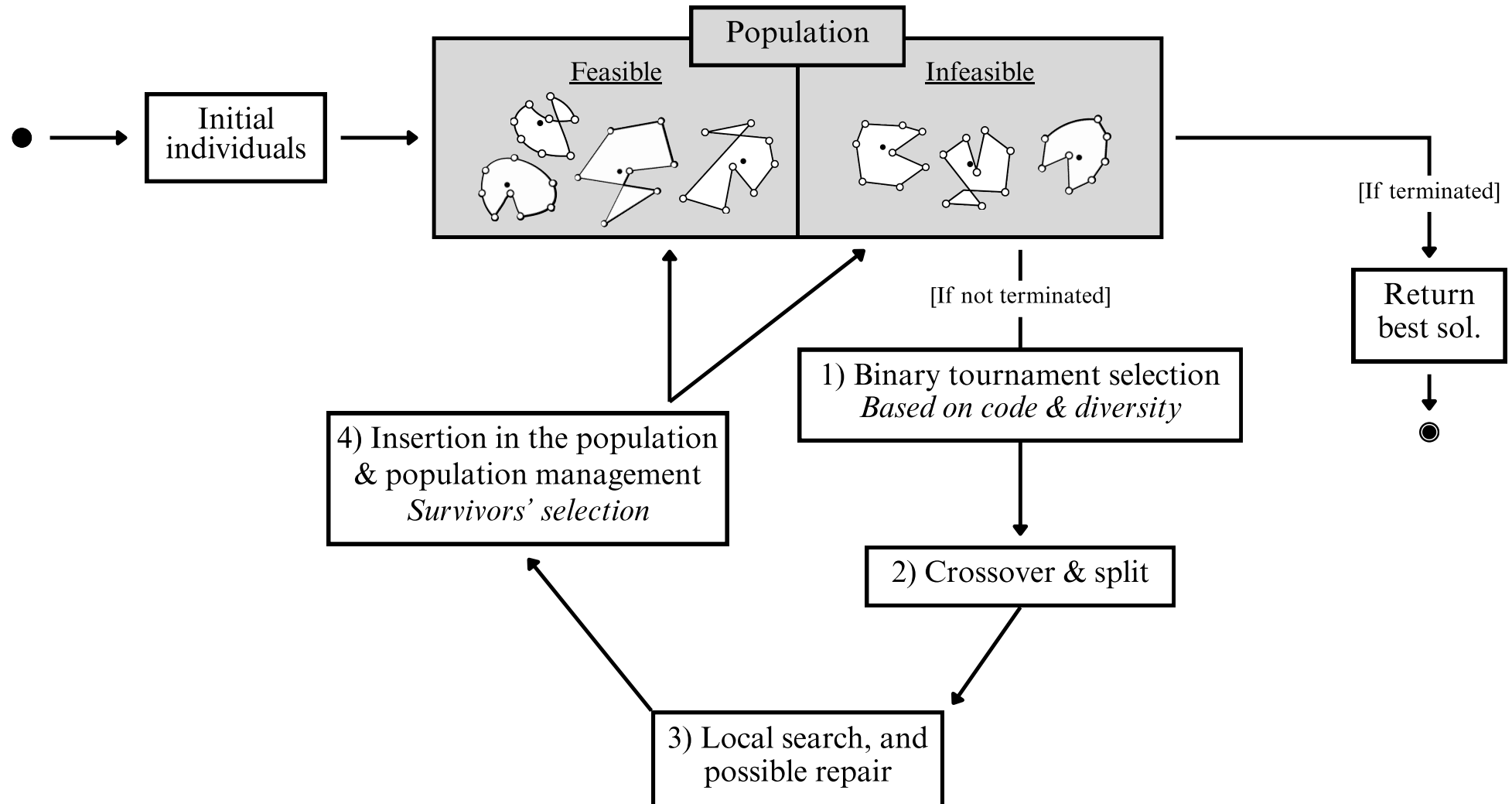
$$q(r) = \sum_{i=1}^{n_r} q_{\sigma_i^r}$$

$$c(r) = \sum_{i=0}^{n_r} c_{\sigma_i^r \sigma_{i+1}^r}$$

$$\text{tw}(r) = \sum_{i=0}^{n_r} \text{tw}_{i,i+1}$$

$$\varphi(r) = c_r + \omega^Q \max(0, q(r) - Q) + \omega^{\text{TW}} \text{tw}(r)$$

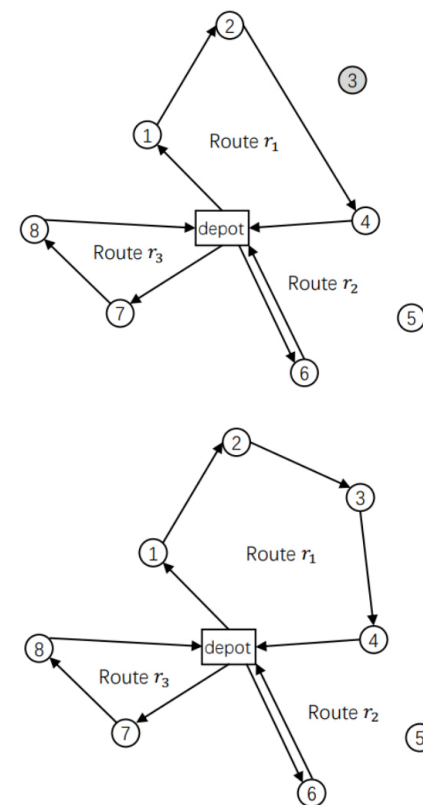
Tổng quan



Heuristic kiến trúc

Algorithm 1: Nearest/farthest algorithm

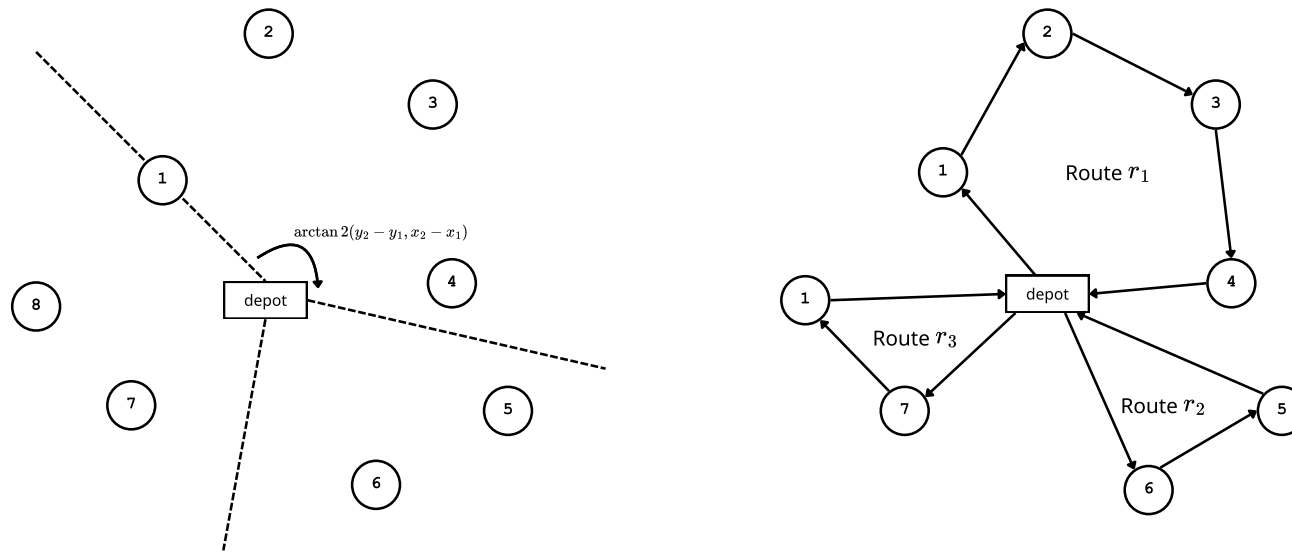
```
1  $S = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ 
2 solutions  $\leftarrow []$ 
3 for  $t = 1$  to  $m$ :
4   if  $S$  is empty:
5      $\perp$  break
6    $i \leftarrow$  nearest/farthest customers from depot  $\in S$ 
7   customers  $\leftarrow [i]$ 
8   remove  $i$  from  $S$ 
9   while  $S$  is not empty:
10     $j, p \leftarrow$  a customer  $\in S$  that can be add to customers
11    at  $p$  and causes least detour distance
12    if  $j$  not exists:
13       $\perp$  break
14    insert  $j$  into customers at  $p$ 
15    remove  $j$  from  $S$ 
16  append customers to solutions
```



Hình 1: Minh họa
thuật toán chèn

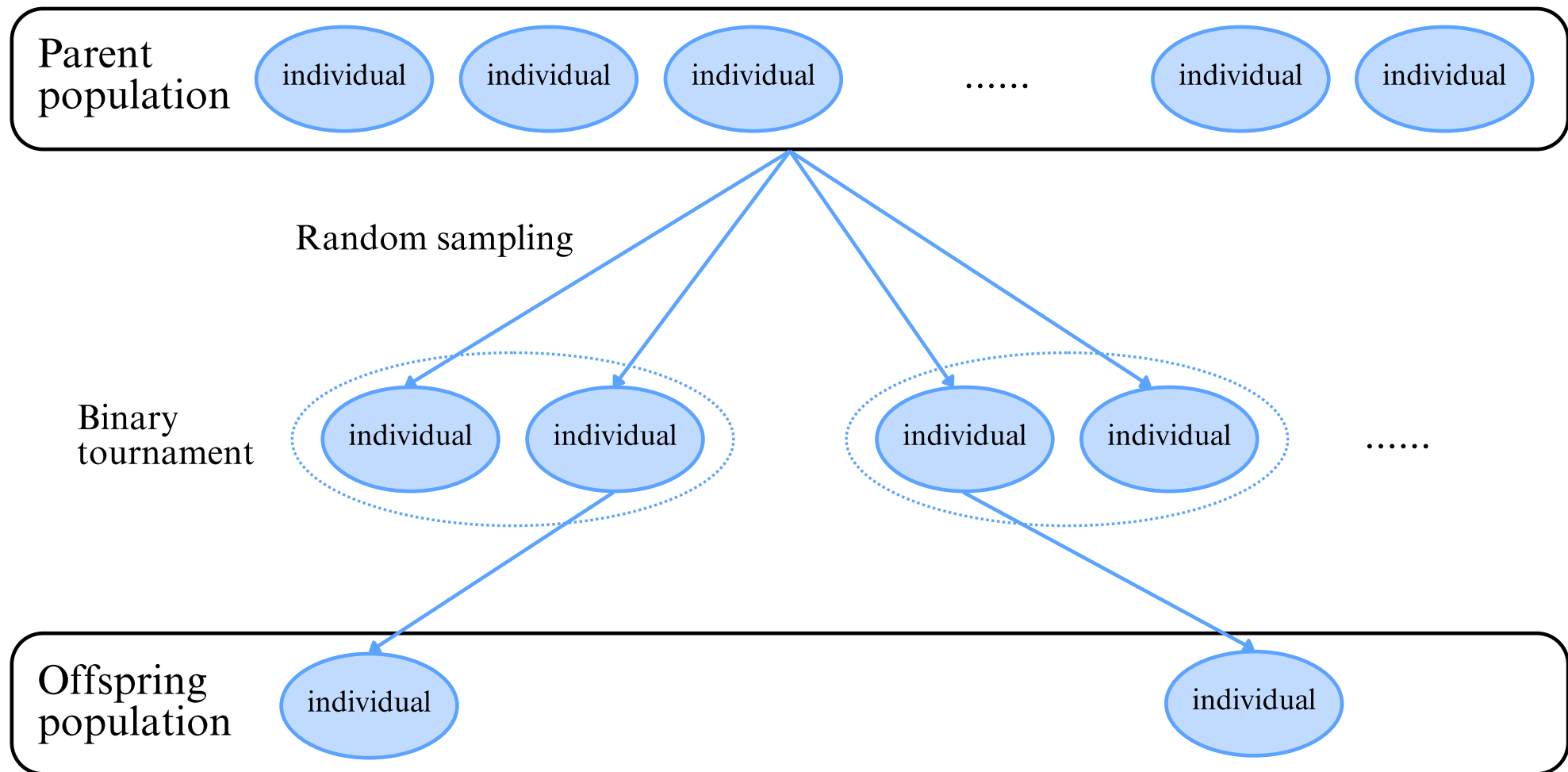
Sweep

- Sắp xếp các khách hàng theo góc giữa nó và điểm xuất phát.
- Thêm các khách hàng cho đến khi quá trọng tải.
- Với mỗi chuyến đi:
 - Sắp xếp các khách hàng có time window ngắn ($< 50\%$) tăng dần theo l_i
 - Chèn lại các khách hàng có time window dài sao cho khoảng cách tăng là ít nhất.



Hình 2: Minh họa thuật toán Sweep

Lai tạo



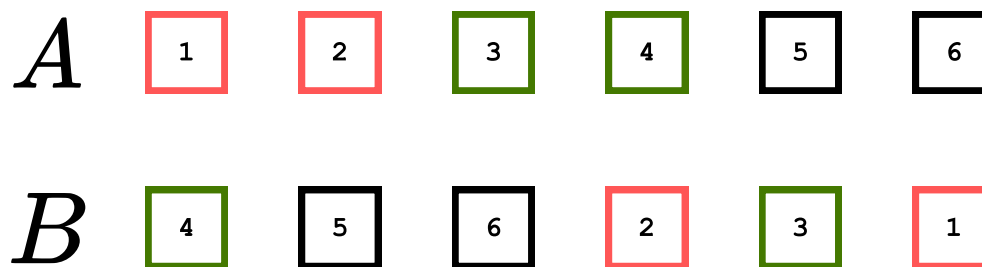
$$f_P(S) = f_P^{\mathcal{L}}(S) + \left(1 - \frac{n^{\text{ELITE}}}{|P|}\right) f_P^{\text{DIV}}(S)$$

- $f_P^{\mathcal{L}}(S)$ là hạng của lời giải S , sắp xếp theo chất lượng lời giải.

Đánh giá độ phù hợp

$$f_P(S) = f_P^{\varphi}(S) + \left(1 - \frac{n^{\text{ELITE}}}{|P|}\right) f_P^{\text{DIV}}(S)$$

- $f_P^{\text{DIV}}(S)$ là hạng của lời giải S , khi xét khả năng mở rộng
- $\Delta(S) = \frac{1}{n^{\text{CLOSEST}}} \sum_{S_2} d(S, S_2)$

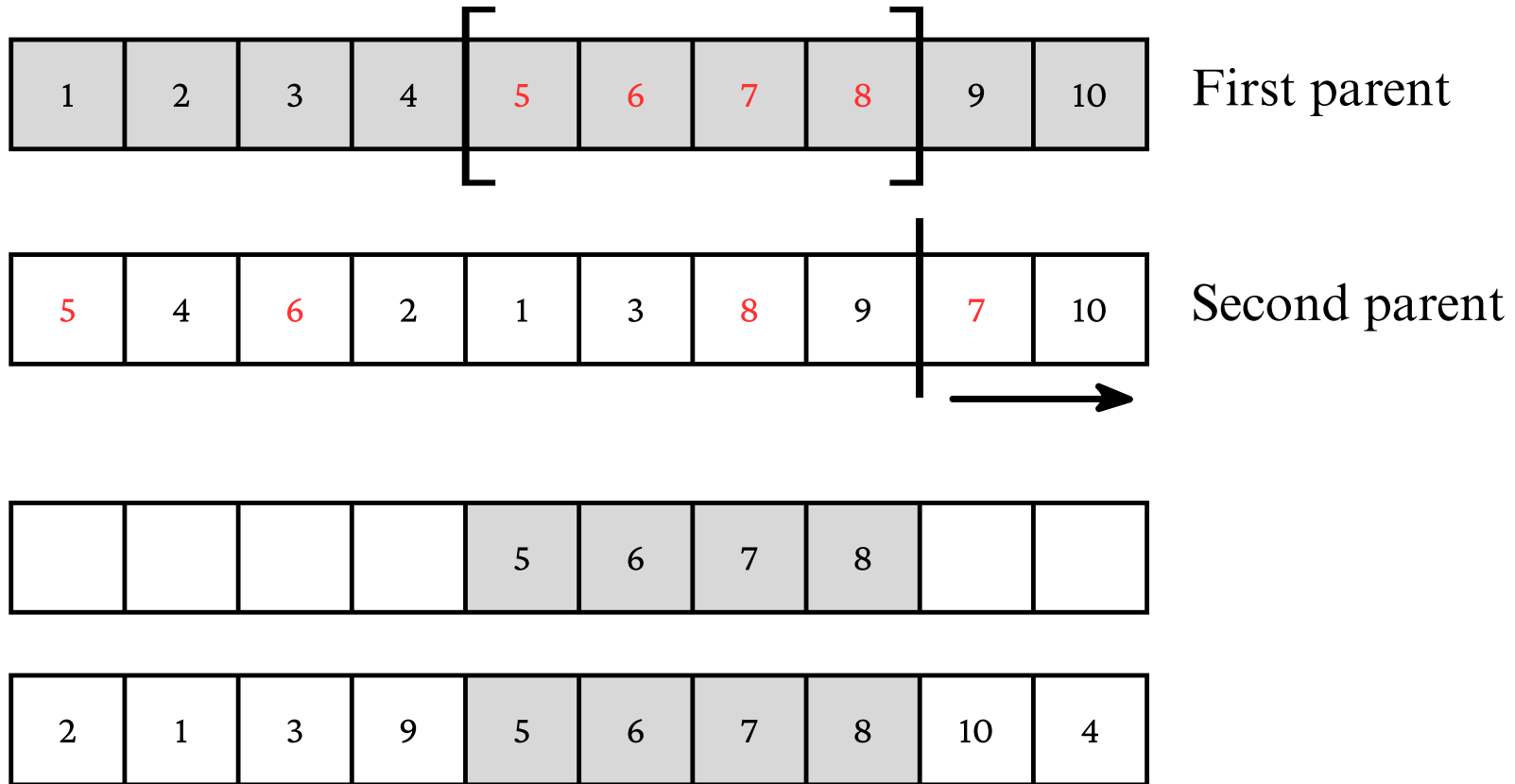


$$d(A, B) = 2$$

$$f_P(S) = f_P^{\varphi}(S) + \left(1 - \frac{n^{\text{ELITE}}}{|P|}\right) f_P^{\text{DIV}}(S)$$

- Hệ số $\left(1 - \frac{n^{\text{ELITE}}}{|P|}\right)$ được sử dụng để đảm bảo ta vẫn giữ lại được n^{ELITE} lời giải chất lượng tốt nhất trong suốt quá trình tìm kiếm

Crossover operator



Algorithm 2: Classical Split Algorithm: Fleet limited to m vehicles

```
1 for  $k \leftarrow 1$  to  $m$  do
2   for  $t \leftarrow 1$  to  $n$  do
3      $f[k][t] \leftarrow \infty$ ;
4  $f[0][0] \leftarrow 0$ 
5 for  $k \leftarrow 1$  to  $m$  do
6   for  $i \leftarrow 0$  to  $n$  do
7      $j \leftarrow i + 1$ ;
8     while  $j \leq n$  and canAdd( $j$ ) do
9       if  $f[k][j] > f[k-1][i] + \text{cost}(i+1, j)$  then
10         $f[k][j] \leftarrow f[k-1][i] + \text{cost}(i+1, j)$ ;
11         $\text{pred}[k][j] \leftarrow i$ 
12       $j \leftarrow j + 1$ ;
```

Thuật toán SPLIT

$$\text{dominates}(i, j) \equiv \begin{cases} p[i] + d_{0,i+1} - D[i+1] + \alpha \times (Q[j] - Q[i]) \leq p[j] + d_{0,j+1} - D[j+1] & \text{if } i < j \\ p[i] + d_{0,i+1} - D[i+1] \leq p[j] + d_{0,j+1} - D[j+1] & \text{if } i > j \end{cases}$$

Trong đó: • $c(i, j) = d_{0,i+1} + D[j] - D[i+1] + d_{j,0} + \alpha \times \max\{Q[j] - Q[i] - Q, 0\}$

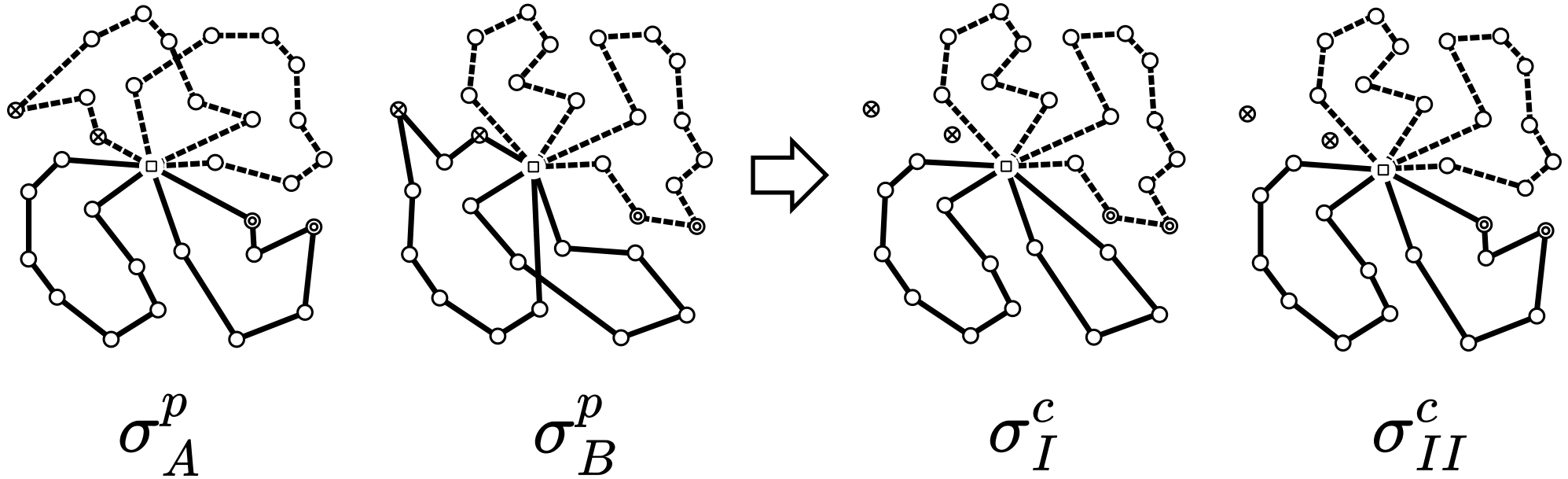
- $D[i] = \sum_{k=1}^{i-1} d_{k,k+1}$

- $Q[i] = \sum_{k=1}^i q_k$

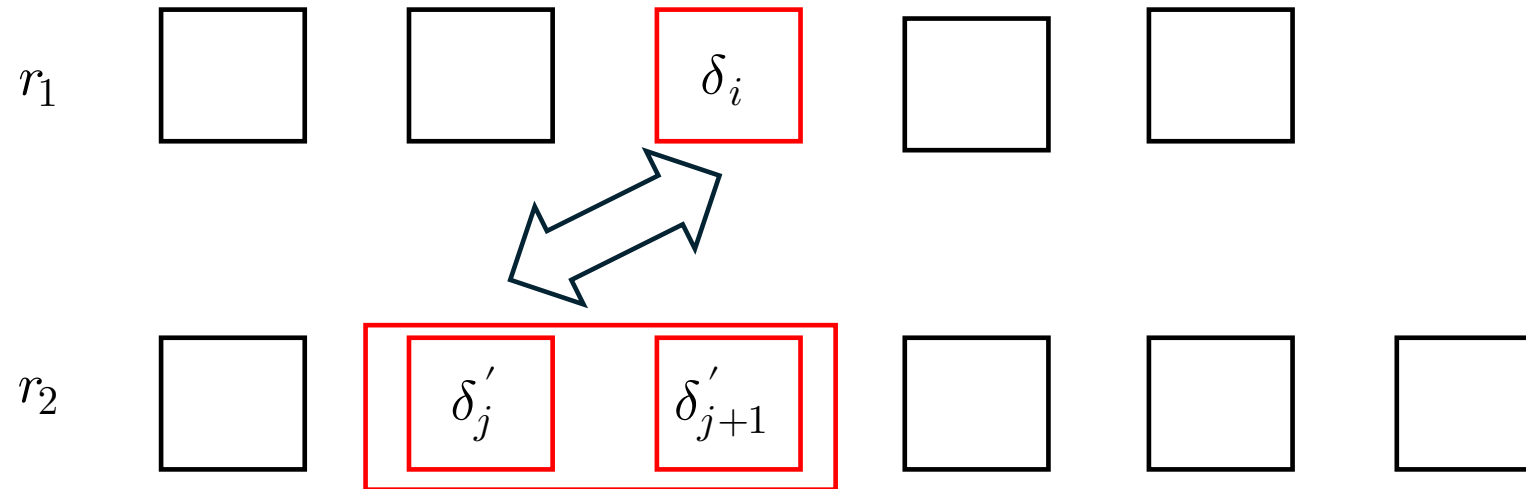
Algorithm 3: Linear Split

```
1  $p[0] \leftarrow 0$ 
2  $S \leftarrow (0)$ 
3 for  $t \leftarrow 0$  to  $n$  do
4    $p[t] \leftarrow p[\text{front}] + f(\text{front}, t)$ 
5    $\text{pred}[t] \leftarrow \text{front}$ 
6   if  $t < n$  then
7     if not  $\text{dominates}(\text{back}, t)$  then
8       while  $|S| > 0$  and  $\text{dominates}(t, \text{back})$  do
9          $\text{popBack}()$ 
10       $\text{pushBack}(t)$ 
11      while  $|S| > 1$  and  $p[\text{front}] + f(\text{front}, t+1) \geq p[\text{front2}] + f(\text{front2}, t+1)$ 
12       $\text{popFront}()$ 
```

Selective Route Exchange (SREX)

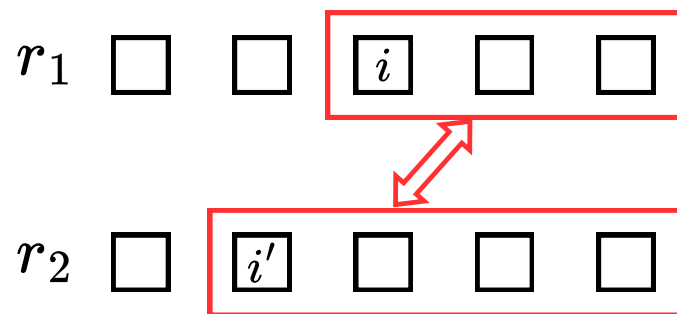


Local Search

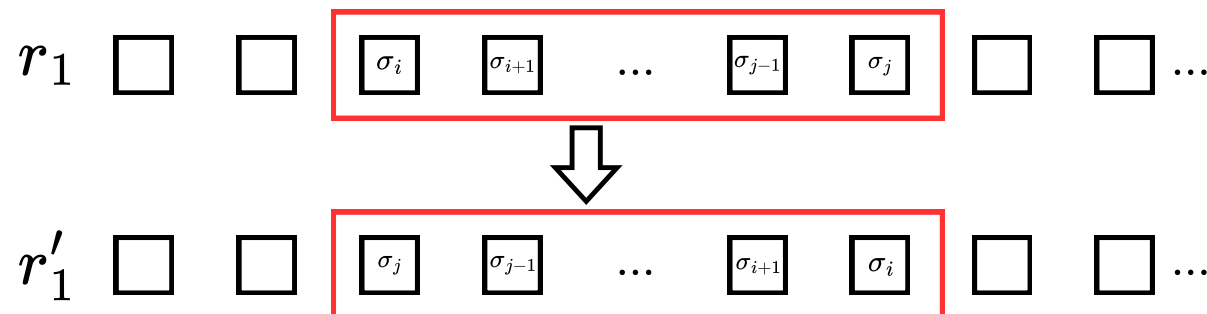


Swap and relocate

Local Search

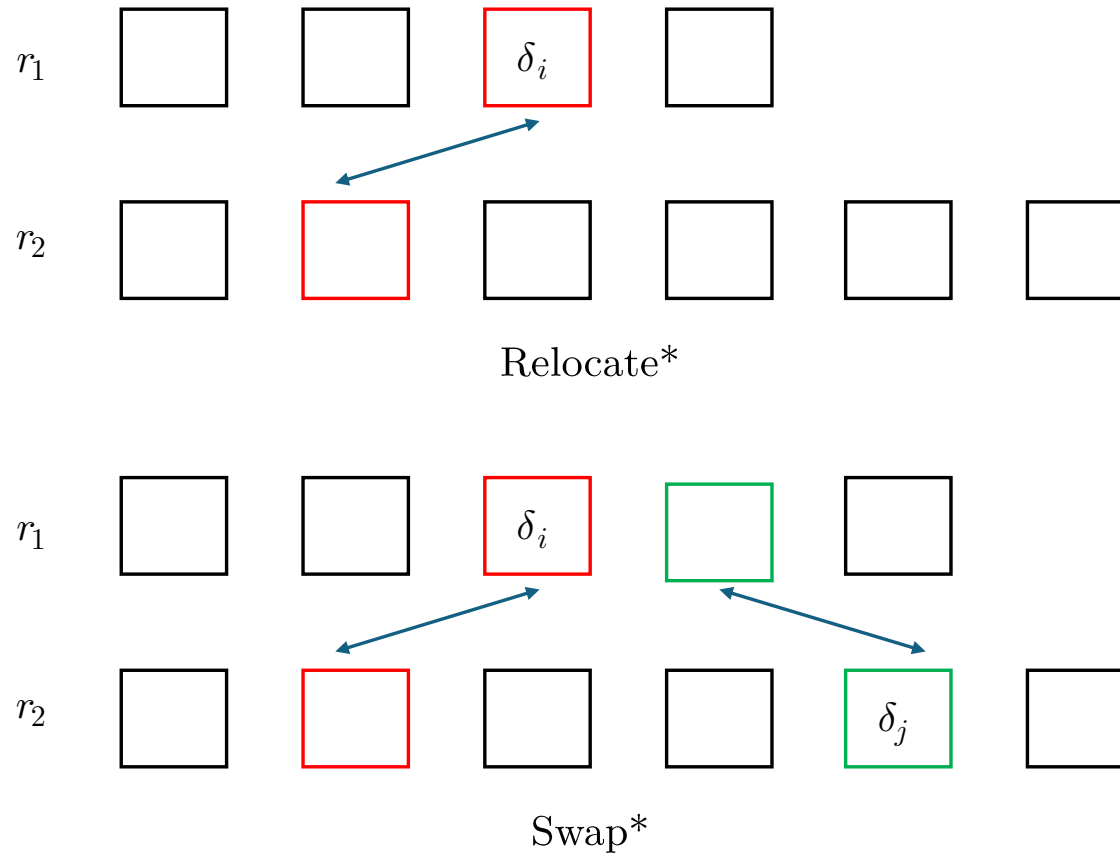


$2 - opt^*$



$2 - opt$

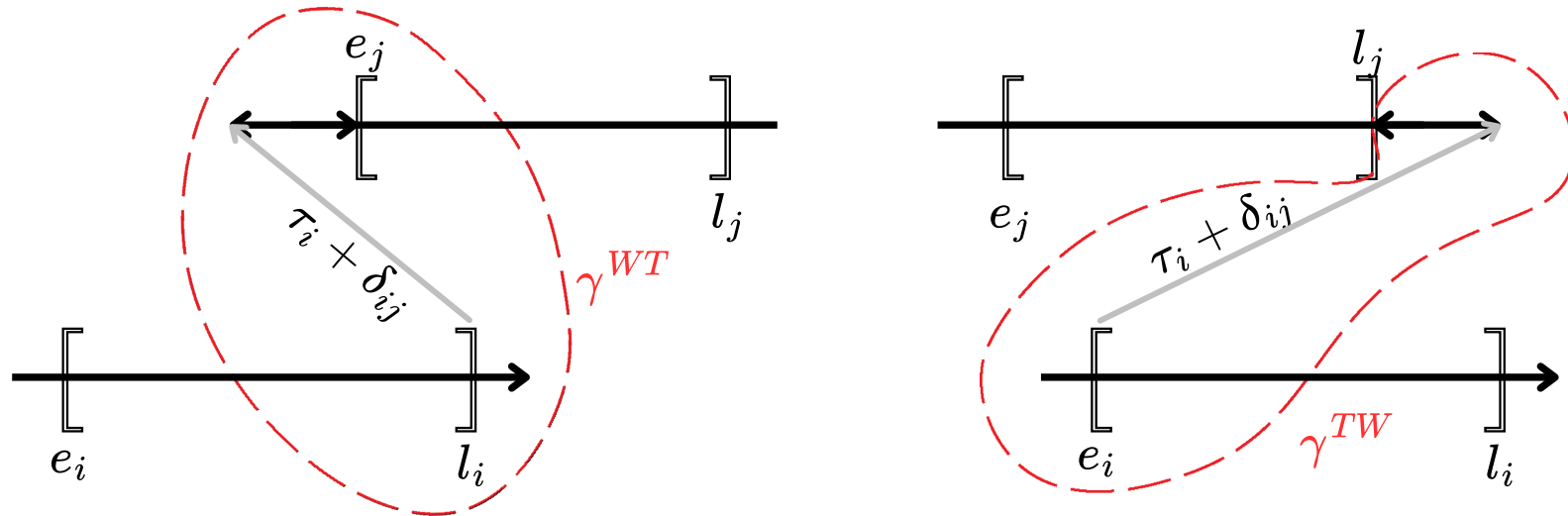
Local Search



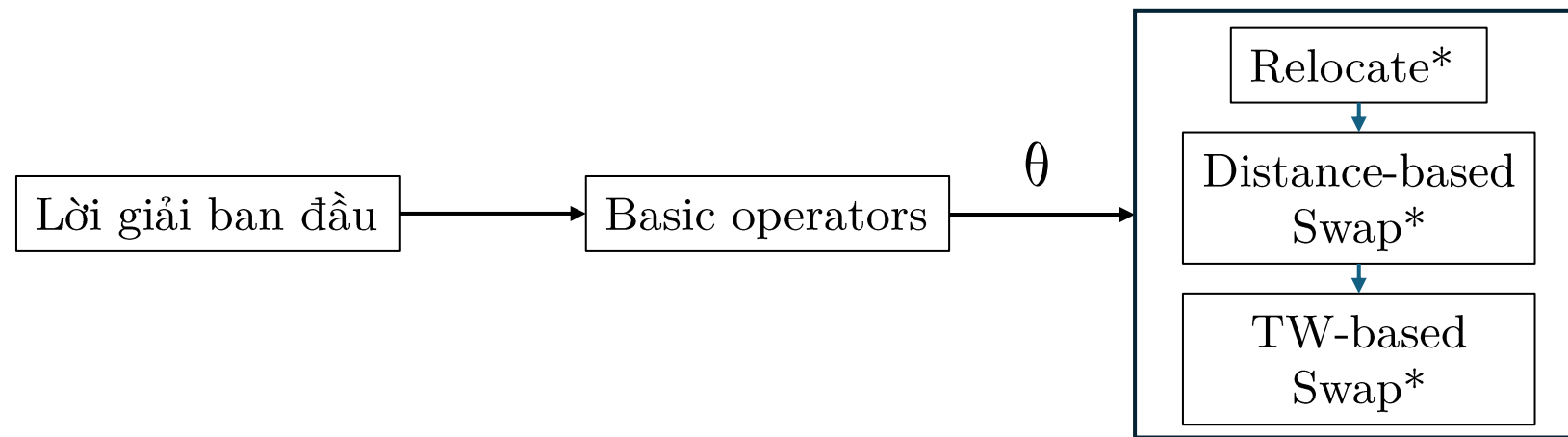
Local Search

Với mỗi khách hàng i , ta định nghĩa một tập $\Gamma(i)$ gồm Γ khách hàng gần i nhất theo độ đo tương quan dưới đây:

$$\gamma(i, j) = c_{ij} + \gamma^{\text{WT}} \max(e_j - \tau_i - \delta_{ij} - l_i, 0) + \gamma^{\text{TW}} \max(e_i + \tau_i + \delta_{ij} - l_j, 0)$$



Local Search



Lựa chọn tham số

$$\text{Ban đầu: } \begin{cases} \omega^Q \leftarrow 1 \\ \omega^{\text{TW}} \leftarrow 1 \end{cases}$$

Sau 100 lần lặp: $\omega^Q, \omega^{\text{TW}}$ sẽ $\begin{cases} \text{tăng 20\% nếu } < 15\% \text{ lời giải hợp lệ} \\ \text{giảm 15\% nếu } > 25\% \text{ lời giải hợp lệ} \\ \text{tăng lên 100\% nếu không tìm được lời giải hợp lệ} \end{cases}$

Lựa chọn tham số

Các hằng số cố định: $n^{\text{ELITE}} = 4$, $n^{\text{CLOSEST}} = 5$, $\lambda = 40$.

| Có hành trình dài (> 25 khách) | Có khách hàng với ràng buộc thời gian rộng ($> 70\%$) | Hành động |
|--------------------------------------|--|---|
| ✓ | | $\theta = 15\%$, $\mu = 25$, $\Gamma = 40$, tăng μ và Γ lên 5 sau 10000 lần lặp |
| X | X | $\theta = 100\%$, $\mu = 25$, $\Gamma = 40$, tăng μ lên 5 sau 10000 lần lặp |
| X | ✓ | $\theta = 100\%$, $\mu = 25$, $\Gamma = 20$, tăng μ lên 5 sau 20000 lần lặp |

Sau 10000 lần lặp mà không có cải tiến nào, ta reset lại quần thể và vẫn giữ nguyên tham số cũ.

Lược đồ thuật toán

```
1 Initialize population;
2 while number of iterations without improvement  $< It_{NI}$  and time  $< T_{MAX}$  do
3   Select parent solutions  $P_1$  and  $P_2$ ;
4   Apply crossover operators on  $P_1$  and  $P_2$  to generate an offspring  $C$ ;
5   Educate offspring  $C$  by local search;
6   Insert  $C$  into respective subpopulation;
7   if  $C$  is infeasible then
8     With 50% probability, repair  $C$  (local search) and insert it into respective
      subpopulation;
9   if maximum subpopulation size reached then
10     Select survivors;
11   Adjust penalty coefficients for infeasibility;
12 Return best feasible solution;
```

Mục lục

1. Giới thiệu
2. Thuật toán
- 3. Kết quả**

Kết quả

Thuật toán được tác giả chạy thử nghiệm trên bộ dữ liệu của Solomon và Homberger¹, và cho ra kết quả như sau:

| Dataset | C1 | C2 | R1 | R2 | RC1 | RC2 | Mean |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Solomon | 0,000% | 0,000% | -0,003% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% |
| GH200 | 0,000% | 0,004% | 0,001% | 0,009% | 0,016% | 0,026% | 0,009% |
| GH400 | 0,000% | 0,000% | -0,009% | 0,028% | -0,030% | -0,050% | -0,010% |
| GH600 | -0,014% | 0,022% | 0,047% | -0,022% | -0,012% | -0,123% | -0,017% |
| GH800 | 0,030% | -0,018% | 0,147% | 0,090% | 0,112% | -0,222% | 0,023% |
| GH1000 | 0,123% | -0,013% | 0,174% | -0,090% | 0,094% | -0,158% | 0,022% |
| Mean | 0,023% | -0,001% | 0,060% | 0,002% | 0,030% | -0,088% | 0,004% |

(a) Gap to reference solution

| Dataset | C1 | C2 | R1 | R2 | RC1 | RC2 | Mean |
|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
| Solomon | 0,000% | 0,000% | -0,001% | 0,002% | 0,002% | 0,001% | 0,001% |
| GH200 | 0,001% | 0,006% | 0,014% | 0,016% | 0,025% | 0,033% | 0,016% |
| GH400 | 0,011% | 0,014% | 0,051% | 0,065% | 0,026% | -0,017% | 0,025% |
| GH600 | 0,037% | 0,060% | 0,252% | 0,128% | 0,181% | 0,010% | 0,111% |
| GH800 | 0,082% | 0,028% | 0,424% | 0,286% | 0,312% | 0,037% | 0,195% |
| GH1000 | 0,207% | 0,020% | 0,479% | 0,188% | 0,319% | 0,048% | 0,210% |
| Mean | 0,056% | 0,021% | 0,203% | 0,114% | 0,144% | 0,019% | 0,093% |

(b) Primal Integral (PI)

¹<https://www.sintef.no/projectweb/top/vrptw/>

Experiments

