

## Chương 6 Tiến hóa đa nhiệm

Huỳnh Thị Thanh Bình, Ban Hà Bằng, Phạm Quang Dũng,  
Nguyễn Khánh Phương, Đỗ Tuấn Anh

1

## Tổng quan

2

Giải thuật tiến hóa đa nhân tố (Multifactorial Evolutionary Algorithm - MFEA):

- Thuật toán tối ưu ngẫu nhiên dựa trên quần thể
- Thuộc lớp giải thuật tiến hóa
- Được giới thiệu bởi Yew-soon Ong vào năm 2016
- Giải quyết được nhiều bài toán tối ưu đồng thời
- Tận dụng được chuyển giao tri thức giữa các bài toán tối ưu

2

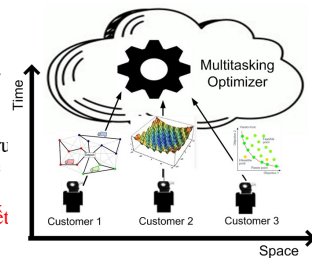
## Động lực của thuật toán

3

- Hệ thống tính toán đám mây:

- Có rất nhiều yêu cầu của các người dùng gửi lên ở cùng một thời điểm.
- Mỗi yêu cầu cũng có thể hiểu là một bài toán tối ưu và là một tác vụ cần thực hiện

=> Liệu có cơ chế giải quyết đồng thời nhiều bài toán cùng một lúc ?



3

## Động lực của thuật toán

4

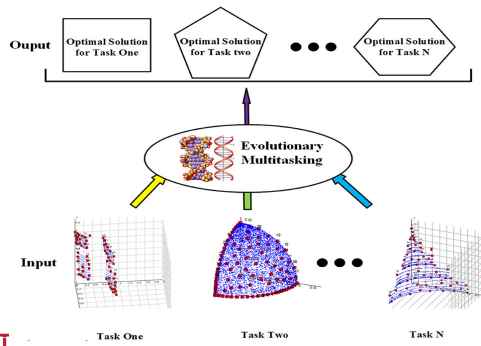
Trong thực tế, có thể giải các bài toán bằng cách **chuyển giao hoặc tái sử dụng các tri thức** trong các bài toán khác.



4

## Thuật toán tiến hóa đa nhân tố

5



5

## Một số định nghĩa

6

- K tác vụ (bài toán) cần giải quyết đồng thời
- Tác vụ thứ  $i$  có hàm mục tiêu  $f_i: X_i \rightarrow R$  cần tối thiểu
- Mục tiêu của MFEA: tìm ra K lời giải cho K bài toán đồng thời dựa trên cơ chế song song tiềm ẩn của thuật toán tiến hóa  
 $\{x_1, x_2, \dots, x_K\} = \text{argmin}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_K(x)\}$
- Mỗi  $f_i$  được coi như là một nhân tố (factor) của quá trình tiến hóa

6

## Một số định nghĩa

7

- Với mỗi cá thể  $p_i$  trong quần thể P, MFEA định nghĩa thêm các thuộc tính:
  - **Factorial cost**  $c_{ij}$ ,  $1 \leq j \leq K$ : chi phí của cá thể  $p_i$  trong tác vụ thứ  $j$
  - **Factorial rank**  $r_{ij}$ ,  $1 \leq j \leq K$ : thứ hạng của cá thể  $p_i$  trong tác vụ thứ  $j$
  - **Skill-factor**  $\tau_i$ : Cho biết cá thể có thứ hạng tốt nhất ở tác vụ nào,  $\tau_i = \text{argmin}_{1 \leq j \leq K} (r_{ij})$
  - **Scalar-fitness**  $\varpi_i = \frac{1}{\min_{1 \leq j \leq K} (r_{ij})}$

7

## Sơ đồ thuật toán MFEA

8

```

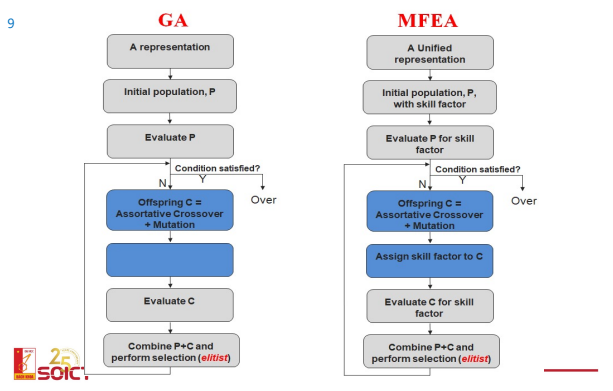
t ← 0;
Xây dựng không gian tìm kiếm chung cho K tác vụ (Unified Search Space- USS);
P(0) ← Khởi tạo một quần thể ban đầu với N cá thể trên USS;
Đánh giá cá thể trong P(0) theo tất cả các tác vụ;
Cập nhật skill-factor và scalar-fitness cho mỗi cá thể trong P(0);
while Điều kiện dừng chưa thỏa mãn do
  O(t) ← ∅;
  while |O(t)| < N do
     $p_a, p_b \leftarrow$  Chọn lọc hai cá thể cha mẹ;
    if  $p_a$  và  $p_b$  có cùng skill-factor hoặc  $\text{rand}(0,1) < \text{rmp}$  then
       $o_a, o_b \leftarrow$  Lai ghép( $p_a, p_b$ );
       $o_a, o_b$  lấy ngẫu nhiên skill-factor của  $p_a$  hoặc  $p_b$ ;
    else
       $o_a \leftarrow$  Đột biến ( $p_a$ );
       $o_b \leftarrow$  Đột biến ( $p_b$ );
       $o_a, o_b$  có cùng skill-factor với cha  $p_a$  và  $p_b$  tương ứng;
     $O(t) \leftarrow O(t) \cup \{o_a, o_b\}$ ;
  Đánh giá các cá thể trong O(t) theo tác vụ tương ứng với skill-factor;
  Cập nhật scalar-fitness cho ( $P(t) \cup O(t)$ );
   $P(t+1) \leftarrow$  Chọn N cá thể có scalar-fitness cao nhất trong ( $P(t) \cup O(t)$ );
  t ← t + 1;

```

8

## Khác nhau MFEA và GA

9



9

## Không gian tìm kiếm chung

10

- MFEA tạo môi trường chuyển giao tri thức giữa các bài toán tối ưu bằng cách xây dựng một không gian tìm kiếm chung
- Không gian tìm kiếm chung được xây dựng sao cho không gian của các bài toán chồng đè lên nhau
- Số chiều trong không gian chung (D) của K bài toán có thể xây dựng như sau:  

$$D = \max(D_1, D_2, \dots, D_K)$$
- Các toán tử tiến hóa (khởi tạo, lai ghép, đột biến) được thực hiện trên không gian tìm kiếm chung



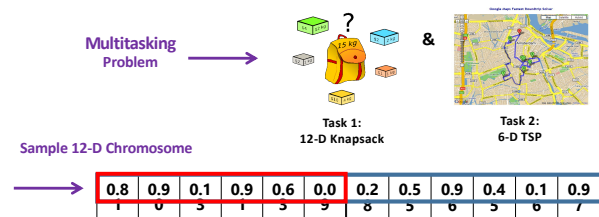
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

10

## Không gian tìm kiếm chung

11

- Ví dụ: Giải bài toán TSP và bài toán cái túi đồng thời



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

11

## Toán tử giải mã

12

- MFEA đánh giá các cá thể trong mỗi tác vụ
- Để đánh giá trong tác vụ k => Cần tìm biểu diễn của cá thể đó
- Giải mã là quá trình xây dựng biểu diễn cá thể trong không gian của từng tác vụ tương ứng từ biểu diễn trong không gian chung

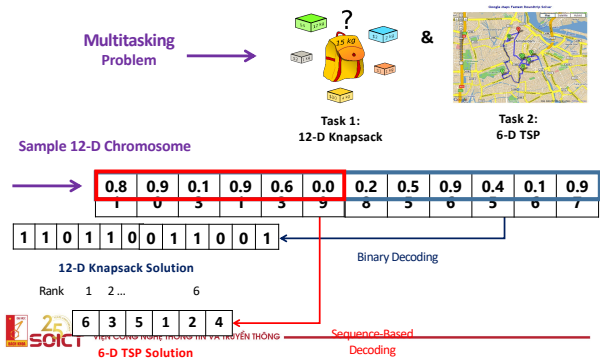


VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

12

## Toán tử giải mã – ví dụ

13

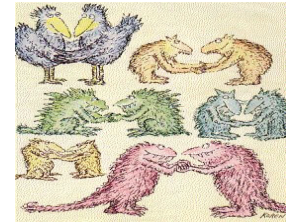


13

## Toán tử lai ghép

14

- Trong tự nhiên, các cá thể có xu hướng giao phối với các cá thể khác có kiểu hình tương tự (Assortative mating)



SOICT VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

14

## Toán tử lai ghép

15

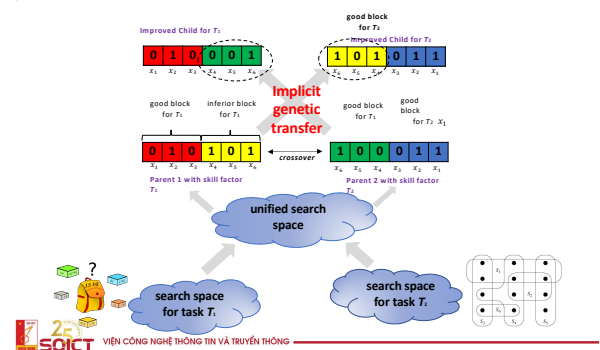
- Trong MFEA, các cá thể cũng có xu hướng lai ghép với các cá thể có cùng nhân tố kỹ năng (skill-factor).
- Lai ghép cá thể A và B có cùng skill-factor => lai ghép **cùng tác vụ** (Intra Crossover)
- Lai ghép giữa cá thể A và B khác skill-factor => lai ghép **liên tác vụ** (Inter Crossover)

SOICT VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

15

## Toán tử lai ghép – ví dụ

16



16

## Chuyển giao tri thức trong MFEA

17

- Quá trình chuyển giao tri thức giữa các tác vụ thông qua việc lai ghép liên tác vụ
- Các tri thức nhận được từ một tác vụ khác có thể:
  - Có hại (**chuyển giao âm** – negative tranfer)
  - Có lợi (**chuyển giao dương** – positive tranfer) cho tác vụ đó

17

## Chuyển giao tri thức trong MFEA

18

- Hiệu quả chuyển giao tri thức giữa các tác vụ đồng thời có thể hình dung qua các quan hệ sinh học trong tự nhiên:
  - Cộng sinh: Có lợi cho cả hai tác vụ
  - Kí sinh: Tác vụ 1 có lợi, tác vụ 2 có hại
  - Hội sinh : Tác vụ 1 có lợi, tác vụ 2 không có lợi cũng không có hại
  - Hợp tác: không có lợi, không hại
  - .....



18

## Chuyển giao tri thức trong MFEA

19

- Tỷ lệ chuyển giao tri thức giữa các tác vụ được điều chỉnh bằng tham số rmp
  - Rmp quá lớn => khả năng chuyển giao tri thức giữa các tác vụ cao
    - Hai tác vụ có khác biệt, không liên quan => xảy ra hiện tượng chuyển giao âm => **có hại** => **Điểm yếu MFEA**
    - Hai tác vụ tương đồng, có không gian tìm kiếm tương tự nhau => positive tranfer => **có lợi**
  - Rmp quá nhỏ => không tận dụng được tri thức khi giải quyết nhiều tác vụ đồng thời => Hiệu năng như giải quyết đơn tác vụ (đơn nhiệm)

19

## Phương pháp hạn chế chuyển giao âm trong MFEA

20

- Tự điều chỉnh rmp : MFEA-II
- Cố định rmp, chỉ chọn lai ghép các tác vụ có mức độ tương đồng cao? : MaTO, SBOGA, ....
- Các độ đo tương đồng giữa các tác vụ ?
  - Dựa trên phân phối giá trị thích nghi của các cá thể trong mỗi quần thể con
  - Dựa trên phân phối kiểu gene
  - Dựa trên xác suất các cá thể thu được từ lai ghép liên tác vụ tốt hơn bố mẹ trong quá khứ
  - Kết hợp

20

## Quá trình lan truyền văn hóa theo chiều dọc

21

- Quá trình truyền tải văn hóa theo chiều dọc thể hiện:
  - Các con sinh ra thường có xu hướng bắt chước bố mẹ, cùng nền tảng văn hóa
  - Các cá thể con có kỹ năng giống bố hoặc mẹ



21

## Quá trình lan truyền văn hóa theo chiều dọc

22

- Trong MFEA, quá trình lan truyền văn hóa theo chiều dọc thể hiện ở chỗ các cá thể con có cùng skill-factor với bố mẹ
  - Con sinh ra bởi lai ghép => Được gán skill-factor giống bố hoặc mẹ
  - Con sinh ra bởi đột biến => được gán skill-factor theo cá thể sinh ra nó



22

## Chọn lọc

23

- Việc chọn lọc các cá thể trong MFEA dựa trên giá trị scalar-fitness
- Cá thể có scalar-fitness càng cao thì mức độ quan trọng của nó trong tác vụ càng lớn
- Cá thể có scalar-fitness thì cơ hội lựa chọn sinh tồn trong thế hệ sau càng lớn

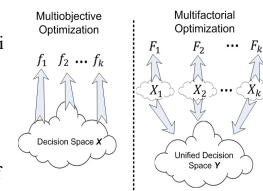


23

## Phân biệt MFO và MOO

24

- MFO:
  - Giải quyết K bài toán đồng thời,
  - Mỗi bài toán có không gian tìm kiếm và mục tiêu riêng
  - Khai thác quá trình chuyển giao tri thức khi giải quyết nhiều bài toán tối ưu đồng thời => thu được lời giải tốt hơn
- MOO:
  - Giải quyết một bài toán có K hàm mục tiêu
  - Các mục tiêu của bài toán treat off lẫn nhau
  - Giải quyết hiệu quả các xung đột của các mục tiêu



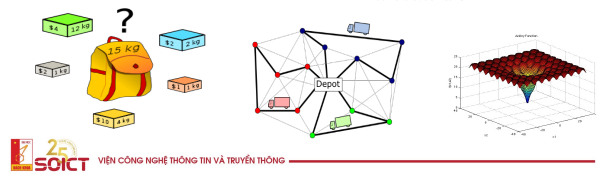
24

## Thực nghiệm MFEA

25

MFEA cho 3 tác vụ

- Bài toán cái túi (KP)
- Bài toán VRP
- Hàm Ackley



25

## Ví dụ minh họa áp dụng MFEA giải bài TSP

26 • Phát biểu bài toán TSP:

### ❖ Đầu vào:

- Đồ thị đầy đủ  $G = (V, E)$ , trong đó  $V$  là tập gồm  $n$  đỉnh tương ứng với  $n$  thành phố,  $E$  là tập cạnh các kết nối giữa các thành phố.
- Ma trận chi phí  $C_{n \times n}$ , trong đó  $C_{ij}$  là chi phí đi từ thành phố  $i$  tới thành phố  $j$  ( $i, j = 1, \dots, n$ ).

### ❖ Đầu ra:

Chu trình  $T$  có độ dài  $n + 1$ , là đường đi qua tất cả  $n$  thành phố và quay lại đỉnh xuất phát

### ❖ Ràng buộc:

Không có thành phố được đến thăm quá một lần trong một chu trình đường đi.

### ❖ Mục tiêu:

Tổng chi phí đi lại trên chu trình  $T$  là nhỏ nhất.



26

## Ví dụ minh họa áp dụng MFEA giải bài TSP

27

- Để dễ hình dung, thuật toán MFEA được áp dụng để giải đồng thời 2 bài toán TSP với số thành phố là 5 và 9.
- Bài toán TSP 5 thành phố:
  - Đồ thị đầy đủ  $G_1 = (V_1, E_1)$ ,  $V_1 = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
  - Ma trận chi phí  $C_{5 \times 5}^1$  (coi chỉ số ma trận bắt đầu từ 1).
  - Tìm chu trình  $T_1$  đi qua tất cả các thành phố sao cho chi phí đi lại là nhỏ nhất.

$$C_{5 \times 5}^1 = \begin{array}{ccccc} & 0 & 5 & 14 & 7 & 17 \\ \begin{array}{c} 13 \\ 19 \\ 4 \\ 25 \end{array} & \begin{array}{c} 0 \\ 21 \\ 3 \\ 12 \end{array} & \begin{array}{c} 5 \\ 0 \\ 18 \\ 4 \end{array} & \begin{array}{c} 14 \\ 24 \\ 0 \\ 4 \end{array} & \begin{array}{c} 7 \\ 7 \\ 14 \\ 3 \end{array} & \begin{array}{c} 17 \\ 25 \\ 21 \\ 0 \end{array} \end{array}$$


27

## Ví dụ minh họa áp dụng MFEA giải bài TSP

28

- Bài toán TSP 9 thành phố:

- Đồ thị đầy đủ  $G_2 = (V_2, E_2)$ ,  $V_2 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$
- Ma trận chi phí  $C_{9 \times 9}^2$  (coi chỉ số ma trận bắt đầu từ 1).
- Tìm chu trình  $T_2$  đi qua tất cả các thành phố sao cho chi phí đi lại là nhỏ nhất.

$$C_{9 \times 9}^2 = \begin{array}{ccccccccc} & 0 & 3 & 10 & 25 & 6 & 18 & 27 & 22 & 24 \\ \begin{array}{c} 18 \\ 9 \\ 10 \\ 28 \\ 13 \\ 4 \\ 18 \\ 18 \end{array} & \begin{array}{c} 0 \\ 19 \\ 13 \\ 28 \\ 9 \\ 25 \\ 11 \\ 24 \end{array} & \begin{array}{c} 3 \\ 0 \\ 15 \\ 27 \\ 7 \\ 25 \\ 9 \\ 13 \end{array} & \begin{array}{c} 10 \\ 8 \\ 0 \\ 9 \\ 11 \\ 5 \\ 29 \\ 13 \end{array} & \begin{array}{c} 25 \\ 27 \\ 24 \\ 9 \\ 16 \\ 29 \\ 15 \\ 29 \end{array} & \begin{array}{c} 6 \\ 12 \\ 7 \\ 0 \\ 14 \\ 8 \\ 15 \\ 23 \end{array} & \begin{array}{c} 18 \\ 24 \\ 11 \\ 9 \\ 0 \\ 29 \\ 16 \end{array} & \begin{array}{c} 27 \\ 13 \\ 9 \\ 15 \\ 29 \\ 6 \\ 23 \end{array} & \begin{array}{c} 22 \\ 24 \\ 17 \\ 10 \\ 29 \\ 6 \\ 0 \end{array} & \begin{array}{c} 24 \\ 18 \\ 16 \\ 21 \\ 30 \\ 17 \\ 19 \\ 0 \end{array} \end{array}$$

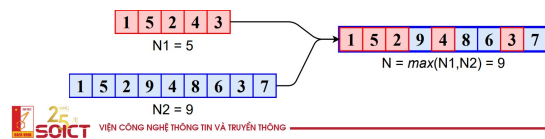

28

## Các toán tử di truyền

### Mã hóa cá thể

29

- Biểu diễn cá thể:
  - Biểu diễn hoán vị cho bài toán TSP 5 và 9 thành phố tương ứng có 5 và 9 phần tử.
  - Do vậy biểu diễn cá thể trong không gian chung là một hoán vị của 9 phần tử.
- Minh họa mã hóa cá thể trong không gian chung:



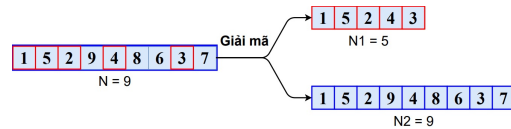
29

## Các toán tử di truyền

### Giải mã cá thể

30

- Quá trình giải mã cá thể từ không gian chung được minh họa như sau:



- Sau khi giải mã ra không gian riêng, việc giải mã từ cá thể ra lời giải cho bài toán tương tự như khi áp dụng thuật toán GA.

SOICT VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

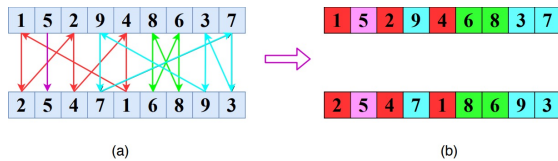
30

## Các toán tử di truyền

### Lai ghép

31

- Sử dụng phép lai ghép chu trình:



- Hình (a), có 4 chu trình được tìm ra từ 2 cá thể cha mẹ (màu đỏ, tím, xanh dương, xanh lá).
- Hình (b), 2 cá thể con được tạo ra từ việc sao chép nghịch đảo các chu trình từ cá thể cha mẹ.

SOICT VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

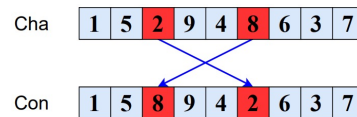
31

## Các toán tử di truyền

### Đột biến

32

- Sử dụng phép đột biến 2 điểm: Lựa chọn 2 vị trí bất kì trên cá thể cha, đổi chỗ 2 vị trí đó cho nhau, thu được cá thể con.
- Minh họa:



SOICT VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

32



## Các toán tử di truyền

### Chọn lọc

33

- Chọn lọc cha mẹ: sử dụng phương pháp chọn lọc *giao đầu*.
- Chọn lọc thế hệ: sử dụng phương pháp chọn lọc *elitism*.

33

## Tham số cài đặt thuật toán MFEA

34

- Kích thước quần thể:  $pop\_size = 10$
- Số thế hệ:  $generation = 100$
- Tham số  $rmp = 0.5$

34

## Các bước của thuật toán MFEA

35

- Bước 1: Khởi tạo quần thể ( $t = 0$ ):
  - Khởi tạo quần thể  $P_0$  gồm 10 cá thể theo biểu diễn hoán vị:

Cá thể $x_1$ :	[3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]
Cá thể $x_2$ :	[5, 7, 6, 1, 8, 9, 4, 2, 3]
Cá thể $x_3$ :	[4, 1, 3, 2, 5, 9, 6, 8, 7]
Cá thể $x_4$ :	[4, 6, 3, 5, 8, 7, 1, 2, 9]
Cá thể $x_5$ :	[1, 7, 3, 9, 2, 5, 4, 6, 8]
Cá thể $x_6$ :	[5, 7, 2, 3, 4, 9, 6, 1, 8]
Cá thể $x_7$ :	[8, 4, 1, 3, 9, 2, 7, 6, 5]
Cá thể $x_8$ :	[9, 6, 5, 8, 4, 3, 1, 7, 2]
Cá thể $x_9$ :	[3, 7, 2, 5, 6, 8, 1, 9, 4]
Cá thể $x_{10}$ :	[9, 2, 6, 8, 7, 1, 3, 5, 4]

35

## Các bước của thuật toán MFEA

36

- Bước 2: Đánh giá cá thể theo từng tác vụ
  - Giải mã cá thể  $x_i$  ra không gian riêng ứng với các tác vụ được  $x_i^k$  (với  $k$  là chỉ số của tác vụ):
    - Ví dụ:  $x_1 = [3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]$  giải mã ra 2 cá thể  $x_1^1 = [3, 1, 2, 5, 4]$  và  $x_1^2 = [3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]$ .
  - Với mỗi cá thể  $x_i^k$ , tính **factorial-cost** cho từng cá thể, theo công thức:

$$f_k(x_i) = cost(x_i^k)$$

Trong đó:  $cost(x_i^k)$  là chi phí đi lại của chu trình khi giải mã  $x_i^k$  ứng với tác vụ  $k$ .

- Khi đó: với  $x_1^1 = [3, 1, 2, 5, 4]$  giải mã thu được chu trình:  $3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 3$ .
- Chi phí  $cost(x_1^1) = C_{31}^1 + C_{12}^1 + C_{25}^1 + C_{54}^1 + C_{43}^1 = 19 + 5 + 25 + 3 + 18 = 70$
- $f_1(x_1) = cost(x_1^1) = 70$ . Tương tự có  $f_2(x_1) = 112$ .

36

### Các bước của thuật toán MFEA

37

- Tương tự, các cá thể trong quần thể  $P_0$  được đánh giá, và tính xếp hạng như sau:

Cá thể	Genes	f1	rank1	f2	rank2
x_1	[3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]	70.0	6	112.0	1
x_2	[5, 7, 6, 1, 8, 9, 4, 2, 3]	80.0	8	153.0	4
x_3	[4, 1, 3, 2, 5, 9, 6, 8, 7]	67.0	3	166.0	8
x_4	[4, 6, 3, 5, 8, 7, 1, 2, 9]	95.0	9	132.0	2
x_5	[1, 7, 3, 9, 2, 5, 4, 6, 8]	67.0	4	155.0	6
x_6	[5, 7, 2, 3, 4, 9, 6, 1, 8]	64.0	2	155.0	7
x_7	[8, 4, 1, 3, 9, 2, 7, 6, 5]	67.0	5	134.0	3
x_8	[9, 6, 5, 8, 4, 3, 1, 7, 2]	70.0	7	184.0	10
x_9	[3, 7, 2, 5, 6, 8, 1, 9, 4]	96.0	10	183.0	9
x_10	[9, 2, 6, 8, 7, 1, 3, 5, 4]	54.0	1	154.0	5

- Cập nhật skill-factor và scalar fitness cho từng cá thể:
  - Skill-factor của cá thể  $x_i$  là  $\tau_i = \operatorname{argmin}_k(r_{ik})$ , k là chỉ số của tác vụ,  $r_{ik}$  là hạng của cá thể  $x_i$  với tác vụ k.
  - Skill-fitness của cá thể  $x_i$  là  $\bar{\omega}_i = \frac{1}{\min(r_{ik})}$ .



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

37

### Các bước của thuật toán MFEA

38

- Khi đó, với  $x_1$ 
  - skill-factor  $\tau_1 = \operatorname{argmin}_{k=1,2}(r_{11}, r_{12}) = 2$  (do  $r_{11} = 7 > r_{12} = 1$ )
  - skill-fitness  $\bar{\omega}_1 = \frac{1}{\min_{k=1,2}(r_{11}, r_{12})} = \frac{1}{\min(7,1)} = \frac{1}{1} = 1$ .
- Tương tự, các cá thể trong quần thể  $P_0$  được cập nhật như sau:

Cá thể	Genes	skill-factor	scalar-fitness
x_1	[3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]	2	1.0
x_2	[5, 7, 6, 1, 8, 9, 4, 2, 3]	2	0.25
x_3	[4, 1, 3, 2, 5, 9, 6, 8, 7]	1	0.33
x_4	[4, 6, 3, 5, 8, 7, 1, 2, 9]	2	0.5
x_5	[1, 7, 3, 9, 2, 5, 4, 6, 8]	1	0.25
x_6	[5, 7, 2, 3, 4, 9, 6, 1, 8]	1	0.5
x_7	[8, 4, 1, 3, 9, 2, 7, 6, 5]	2	0.33
x_8	[9, 6, 5, 8, 4, 3, 1, 7, 2]	1	0.14
x_9	[3, 7, 2, 5, 6, 8, 1, 9, 4]	2	0.11
x_10	[9, 2, 6, 8, 7, 1, 3, 5, 4]	1	1.0



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

38

### Các bước của thuật toán MFEA

39

- Bước 3:  $t = t+1$ , Sinh quần thể con  $C_t$ 
  - Chọn cá thể cha mẹ từ  $P_t$ , theo hình thức giao đầu:
    - Chọn ngẫu nhiên 2 cặp cá thể ngẫu nhiên  $(x_3, x_5)$  và  $(x_7, x_{10})$ .
    - So sánh giá trị scalar-fitness:  $\omega_3 > \omega_5, \omega_7 < \omega_{10}$ .
    - Chọn ra 2 cá thể cha mẹ để sinh sản là  $x_3, x_{10}$ .
  - Sinh số ngẫu nhiên  $r \sim U(0,1), r \in [0,1]$ .
  - Lai ghép:
    - Nếu 2 cá thể cha mẹ cùng skill-factor hoặc  $r < rmp$ , lai ghép  $(x_5, x_7)$  tạo ra con cái là  $c_1, c_2$ .
    - Skill-factor của con cái  $c_1, c_2$  được gán ngẫu nhiên từ cá thể cha mẹ.



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

39

### Các bước của thuật toán MFEA

40

- Đột biến:
  - Ngược lại, nếu cha mẹ khác skill-factor hoặc  $r \geq rmp$ , đột biến  $(x_1)$ , đột biến  $(x_2)$ , tạo ra con cái tương ứng là  $c_3, c_4$ .
  - Skill-factor của  $c_3, c_4$  lần lượt bằng skill-factor của  $x_1, x_2$ .
- Nạp các cá thể mới vào quần thể con:
 
$$C_t = C_t \cup \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$$
- Lặp lại quá trình từ đầu bước 3 cho tới khi  $|C_t| \geq N$  thì dừng, thu được quần thể con  $C_t$ .



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

40

## Các bước của thuật toán MFEA

41

- Bước 4: Chọn lọc sinh tồn, theo cơ chế:  
 $P_{t+1} = \text{chọn lọc elitism}(P_t, C_t)$ 
  - Giả sử  $C_t$  gồm 10 cá thể được tạo ra như sau:

Cá thể	Genes	skill-factor
c_1	[6, 3, 8, 2, 9, 5, 4, 7, 1]	2
c_2	[2, 6, 7, 8, 4, 9, 1, 3, 5]	1
c_3	[8, 7, 9, 3, 5, 2, 4, 1, 6]	2
c_4	[7, 6, 1, 8, 3, 2, 4, 9, 5]	2
c_5	[2, 3, 6, 7, 1, 9, 5, 8, 4]	1
c_6	[1, 7, 9, 6, 2, 3, 8, 5, 4]	1
c_7	[2, 9, 4, 3, 5, 6, 1, 8, 7]	1
c_8	[3, 5, 8, 9, 6, 1, 2, 7, 4]	2
c_9	[7, 1, 6, 3, 5, 4, 8, 2, 9]	1
c_10	[1, 7, 5, 3, 6, 8, 4, 9, 2]	1



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

41

## Các bước của thuật toán MFEA

42

- Đánh giá các cá thể trong  $C_t$ , cập nhật *scalar-fitness* cho quần thể  $P_t \cup C_t$ , thu được như sau:

Cá thể	Genes	skill-factor	scalar-fitness	xếp hạng
x_1	[3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]	2	1.0	2
x_2	[5, 7, 6, 1, 8, 9, 4, 2, 3]	2	0.1	15
x_3	[4, 1, 3, 2, 5, 9, 6, 8, 7]	1	0.1	14
x_4	[4, 6, 3, 5, 8, 7, 1, 2, 9]	2	0.33	6
x_5	[1, 7, 3, 9, 2, 5, 4, 6, 8]	1	0.14	13
x_6	[5, 7, 2, 3, 4, 9, 6, 1, 8]	1	0.2	10
x_7	[8, 4, 1, 3, 9, 2, 7, 6, 5]	2	0.2	9
x_8	[9, 6, 5, 8, 4, 3, 1, 7, 2]	1	0.08	17
x_9	[3, 7, 2, 5, 6, 8, 1, 9, 4]	2	0.06	20
x_10	[9, 2, 6, 8, 7, 1, 3, 5, 4]	1	0.33	5
c_1	[6, 3, 8, 2, 9, 5, 4, 7, 1]	2	0.5	3
c_2	[2, 6, 7, 8, 4, 9, 1, 3, 5]	1	0.08	16
c_3	[8, 7, 9, 3, 5, 2, 4, 1, 6]	2	0.07	18
c_4	[7, 6, 1, 8, 3, 2, 4, 9, 5]	2	0.17	11
c_5	[2, 3, 6, 7, 1, 9, 5, 8, 4]	1	0.17	12
c_6	[1, 7, 9, 6, 2, 3, 8, 5, 4]	1	0.25	8
c_7	[2, 9, 4, 3, 5, 6, 1, 8, 7]	1	0.06	19
c_8	[3, 5, 8, 9, 6, 1, 2, 7, 4]	2	0.25	7
c_9	[7, 1, 6, 3, 5, 4, 8, 2, 9]	1	0.5	4
c_10	[1, 7, 5, 3, 6, 8, 4, 9, 2]	1	1.0	1



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

42

## Các bước của thuật toán MFEA

43

- Sử dụng phép chọn lọc *elitism* chọn ra 10 cá thể tốt nhất (khoanh đỏ) từ quần thể  $P_t \cup C_t$ , thu được quần thể  $P_{t+1}$  gồm 10 cá thể  $\{x_1, x_4, x_6, x_7, x_{10}, c_1, c_6, c_8, c_9, c_{10}\}$ .

Cá thể	Genes	skill-factor	scalar-fitness	xếp hạng
x_1	[3, 7, 1, 2, 6, 5, 4, 9, 8]	2	1.0	2
x_2	[5, 7, 6, 1, 8, 9, 4, 2, 3]	2	0.1	15
x_3	[4, 1, 3, 2, 5, 9, 6, 8, 7]	1	0.1	14
x_4	[4, 6, 3, 5, 8, 7, 1, 2, 9]	2	0.33	6
x_5	[1, 7, 3, 9, 2, 5, 4, 6, 8]	1	0.14	13
x_6	[5, 7, 2, 3, 4, 9, 6, 1, 8]	1	0.2	10
x_7	[8, 4, 1, 3, 9, 2, 7, 6, 5]	2	0.2	9
x_8	[9, 6, 5, 8, 4, 3, 1, 7, 2]	1	0.08	17
x_9	[3, 7, 2, 5, 6, 8, 1, 9, 4]	2	0.06	20
x_10	[9, 2, 6, 8, 7, 1, 3, 5, 4]	1	0.33	5
c_1	[6, 3, 8, 2, 9, 5, 4, 7, 1]	2	0.5	3
c_2	[2, 6, 7, 8, 4, 9, 1, 3, 5]	1	0.08	16
c_3	[8, 7, 9, 3, 5, 2, 4, 1, 6]	2	0.07	18
c_4	[7, 6, 1, 8, 3, 2, 4, 9, 5]	2	0.17	11
c_5	[2, 3, 6, 7, 1, 9, 5, 8, 4]	1	0.17	12
c_6	[1, 7, 9, 6, 2, 3, 8, 5, 4]	1	0.25	8
c_7	[2, 9, 4, 3, 5, 6, 1, 8, 7]	1	0.06	19
c_8	[3, 5, 8, 9, 6, 1, 2, 7, 4]	2	0.25	7
c_9	[7, 1, 6, 3, 5, 4, 8, 2, 9]	1	0.5	4
c_10	[1, 7, 5, 3, 6, 8, 4, 9, 2]	1	1.0	1



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

43

## Các bước của thuật toán MFEA

44

- Bước 5: Kiểm tra điều kiện dừng
  - Nếu thỏa mãn điều kiện dừng, trả về lời giải của bài toán là cá thể tốt nhất của quần thể cuối cùng.
  - Ngược lại, quay lại bước 3.

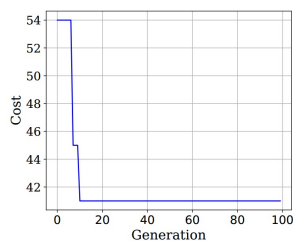


VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

44

## Kết quả

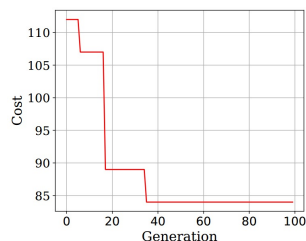
- <sup>45</sup> • Sau 100 thế hệ, lời giải thu được là cá thể tốt nhất tại quần thể  $P_{100}$ .



Hình: Xu hướng hội tụ của tác vụ TSP 5 thành phố.



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG



Hình: Xu hướng hội tụ của tác vụ TSP 9 thành phố.

## Nhận xét

<sup>46</sup>

- Từ hình vẽ xu hướng hội tụ, ta thấy:
  - Xu hướng hội tụ của tác vụ TSP 5 thành phố hội tụ khá sớm, khoảng ngoài thế hệ thứ 10.
  - Xu hướng hội tụ của tác vụ TSP 9 thành phố hội tụ khoảng gần thế hệ 40.
  - Nguyên nhân là do tác vụ TSP 5 thành phố có không gian tìm kiếm nhỏ hơn nhiều so với không gian tìm kiếm của tác vụ TSP 9 thành phố. Mặt khác do quá trình giải đồng thời 2 tác vụ, việc chuyển giao tri thức từ tác vụ 9 thành phố sang tác vụ 5 thành phố giúp cho quá trình hội tụ của tác vụ 5 thành phố diễn ra nhanh hơn.



VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

45

46