

Ứng dụng thuật toán di truyền trong bài toán tối ưu vùng phủ sóng của trạm thu phát sóng.

Nguyễn Thành Đạo - 22028113

Trần Ánh Dương - 22028334

Đại học Công Nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội

1. Giới thiệu

Với sự phát triển nhanh chóng của các dịch vụ mạng viễn thông, việc xây dựng các trạm thu phát sóng là việc vô cùng cần thiết. Trong quá trình xây dựng này, các kỹ sư cần giải quyết được vấn đề tối ưu hoá khả năng hoạt động của các trạm thu phát sóng. Trong báo cáo này, chúng tôi sẽ giải quyết bài toán tối ưu vùng phủ sóng của trạm thu phát sóng viễn thông trong một khu vực dân cư. Phương pháp được sử dụng là tối ưu di truyền được ứng dụng trong bài toán tối ưu liên tục.

2. Bài toán tối ưu hoá vùng phủ sóng

2.1 Phát biểu bài toán tổng quát

Trong một phạm vi địa lý cho trước (đặt trong hệ trục toạ độ Oxy), cho các toạ độ (x_i, y_i) của các hộ gia đình s_i ($i = 1, \dots, n$) có trong khu vực. Phạm vi được xét là một hình vuông được giới hạn bởi $0 \leq x \leq a$ và $0 \leq y \leq a$. Cho biết phạm vi phủ sóng của trạm thu phát sóng được giới hạn bởi hình tròn bán kính r có tâm là điểm phát sóng. Hãy tìm vị trí đặt trạm để tổng số hộ dân cư bắt được sóng trong khu vực là lớn nhất.

2.2 Thiết lập bài toán

Gọi (x, y) là toạ độ của trạm thu phát trong hệ toạ độ Oxy. Tìm (x, y) sao cho:

$$E = \sum_{i=1}^n c_i \rightarrow \max$$

$$\text{với } \begin{cases} c_i = 1 \text{ nếu } (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 \leq r^2 \\ c_i = 0 \text{ nếu } (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 > r^2 \end{cases}$$

$$\text{và } \begin{cases} 0 \leq x \leq a \\ 0 \leq y \leq a \end{cases}$$

3. Phương pháp giải

3.1 Mô tả thủ tục thuật toán

Bước 1: Lựa chọn phương pháp thích hợp biểu diễn các lời giải dưới dạng nhiễm sắc thể (còn gọi là cá thể).

Bước 2: Xây dựng thủ tục đánh giá độ thích nghi của các cá thể (độ tốt của các lời giải).

Bước 3: Khởi tạo quần thể ban đầu (tập các lời giải tiềm năng ban đầu).

Bước 4: Thực hiện lặp cho đến khi dừng quá trình chọn lọc và tái tạo tập hợp này bằng các toán tử biến dị và tương giao chéo (đảm bảo tính tăng cường và tính khám phá/đa dạng).

3.2 Biểu diễn lời giải tiềm năng

Với mỗi một toạ độ thoả mãn điều kiện xác định của trạm phát sóng, ta gọi đó là một lời giải tiềm năng. Lời giải này được coi là một nhiễm sắc thể được biểu diễn qua một vector $(x, y) \in R^2$ thể hiện toạ độ của trạm trên trục toạ độ.

3.3 Khởi tạo tập lời giải ban đầu

Ta sẽ lấy ngẫu nhiên N trường hợp lời giải tiềm năng để tạo lập tập lời giải ban đầu.

3.4 Chọn hàm đánh giá mức độ tốt của lời giải

Độ tốt $eval(z)$ của cá thể z được tính bằng biểu thức E đã đề cập ở mục 2.2 thiết lập bài toán.

3.5 Thủ tục chọn lọc: bánh xe xổ số

Với mỗi tập $P(t-1)$ gồm N cá thể: $P(t-1) = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$ ta xây dựng bánh xe xổ số để thực hiện quá trình chọn lọc ra tập $Q(t)$ làm nguồn tái tạo quần thể.

Bước 1: Đánh giá độ phù hợp toàn phần:

$$F = \sum_{i=1}^N eval(v_i)$$

Bước 2: Tính các xác suất chọn p_i của nhiễm sắc thể v_i : $p_i = eval(v_i)/F$

Bước 2.5: Sắp xếp các cá thể trong $P(t-1)$ sao cho p_i tăng dần khi i tăng.

Bước 3: Tính xác suất tích lũy q_i của v_i : $q_i = \sum_{j=1}^i p_j$

Bước 4: Thực hiện chọn lọc:

Đối với mỗi số tự nhiên $k \in \{1, 2, \dots, N/2\}$ ta tạo một số ngẫu nhiên $r_k = [0,1]$. Nếu $q_i \geq r_k \geq q_{i-1}$ thì chọn v_i thuộc $Q(t)$.

Đối với mỗi số tự nhiên $k \in \{N/2 + 1, \dots, N\}$ ta chọn vào tập $Q(t)$.

3.6 Quá trình tái tạo

3.6.1 Toán tử tương giao chéo

Trong báo cáo này, chúng tôi sử dụng toán tử *tương giao số học toàn cục*. Nếu tương giao hai vector:

$$S_1 = (x_1, y_1)$$

$$S_2 = (x_2, y_2) \text{ thì được:}$$

$$S_1' = \alpha S_1 + (1 - \alpha) S_2 = (\alpha x_1 + (1 - \alpha)x_2, \alpha y_1 + (1 - \alpha)y_2)$$

$$S_2' = (1 - \alpha) S_1 + \alpha S_2 = ((1 - \alpha)x_1 + \alpha x_2, (1 - \alpha)y_1 + \alpha y_2)$$

Với α là số ngẫu nhiên $\in (0, 1)$.

Ở đây, S_1' và S_2' hoàn toàn thoả mãn điều kiện xác định. Thật vậy:

Do $0 \leq x_1 \leq a$ và $0 \leq x_2 \leq a$, suy ra:

$$\begin{aligned} \alpha 0 + (1 - \alpha)0 &\leq \alpha x_1 + (1 - \alpha)x_2 \leq \alpha a + (1 - \alpha)a \\ &\Leftrightarrow 0 \leq \alpha x_1 + (1 - \alpha)x_2 \leq a \end{aligned}$$

Tương tự, ta chứng minh được $\alpha y_1 + (1 - \alpha)y_2, (1 - \alpha)x_1 + \alpha x_2, (1 - \alpha)y_1 + \alpha y_2$ đều thuộc $[0, a]$.

3.6.2 Toán tử biến dị

Trong báo cáo này, chúng tôi sử dụng toán tử *biến dị đều*. Nếu cho cá thể $A(a_1, a_2)$ biến dị ở gen a_1 thành a_1' thì ta cho a_1' là số ngẫu nhiên trên miền chấp nhận được $[0, a]$.

3.6.3 Thủ tục tái tạo

Bước 1: Các phần tử thuộc $Q(t)$ được chia thành từng cặp, với mỗi cặp ta tạo một số ngẫu nhiên $r \in [0, 1]$. Nếu $r < p_c$ (xác suất tương giao chéo) thì ta cho hai phần tử trong cặp tương giao nhau. Kết quả thu được tập $Q(t)'$.

Bước 2: Với mỗi gen trong mỗi cá thể thuộc $Q(t)$, tạo một số ngẫu nhiên $r \in [0, 1]$. Nếu $r < p_m$ (xác suất biến dị) thì gen này được biến dị. Kết quả thu được tập $P(t)$ (thế hệ quần thể tiếp theo sau $P(t-1)$).

=> Sau 3 bước thực hiện, từ tập $Q(t)$ ta được tập $P(t)$ là thế hệ mới, tiếp tục quá trình chọn lọc cho đến khi dừng.

3.7 Xác định các tham số liên quan

Xác suất tương giao chéo: $p_c = 0,7$.

Xác suất biến dị: $p_m = 0,1$.

Điều kiện dừng: Khi số lượt di truyền đạt đến 20 lượt (lời giải tối ưu hội tụ).

4. Thực hành trên tập dữ liệu.

Trong báo cáo này, chúng tôi sẽ thử nghiệm 2 trường hợp:

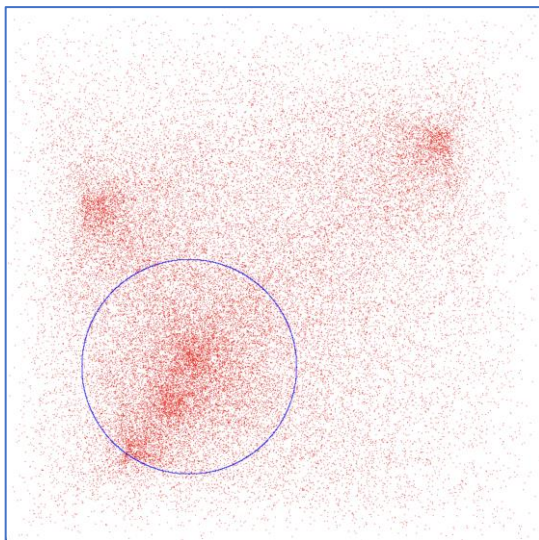
Khu vực	Bán kính phủ sóng*	Phạm vi xét**	Mật độ dân cư ^{[1][2]}	Mật độ hộ dân***	Tổng số hộ dân trong khu vực được xét
Nông thôn (Ba Vì)	3 km (300 dam)	225 km ²	660 người/km ²	194 hộ/km ²	43650 hộ
Đô thị (Cầu Giấy)	400m (40 dam)	4 km ²	23.516 người/km ²	6916 hộ/km ²	27664 hộ

* Bán kính phủ sóng của một trạm BTS thường không cố định, phụ thuộc vào địa hình khu vực phát sóng. Các số liệu về bán kính phủ sóng trong ví dụ được chọn trong khoảng phù hợp với khu vực dân cư được xét^[3]

** Tự chọn tùy ý

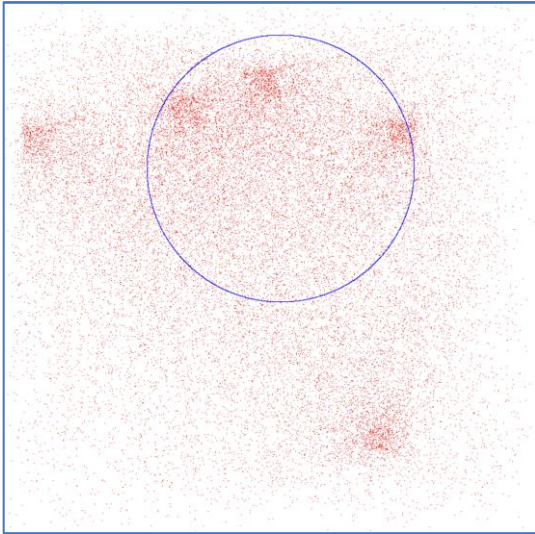
*** Chọn trung bình 3,4 người/hộ (Theo số liệu thống kê từ nhiều nguồn, trung bình một hộ dân ở Việt Nam khoảng 3,3 - 3,6 người/hộ)

4.1 Trường hợp 1: Khu vực nông thôn (Ba Vì)



Hình 4.1. Cá thể tốt nhất trong tất cả các thế hệ di truyền của trường hợp 1 (Độ tốt = 16320)

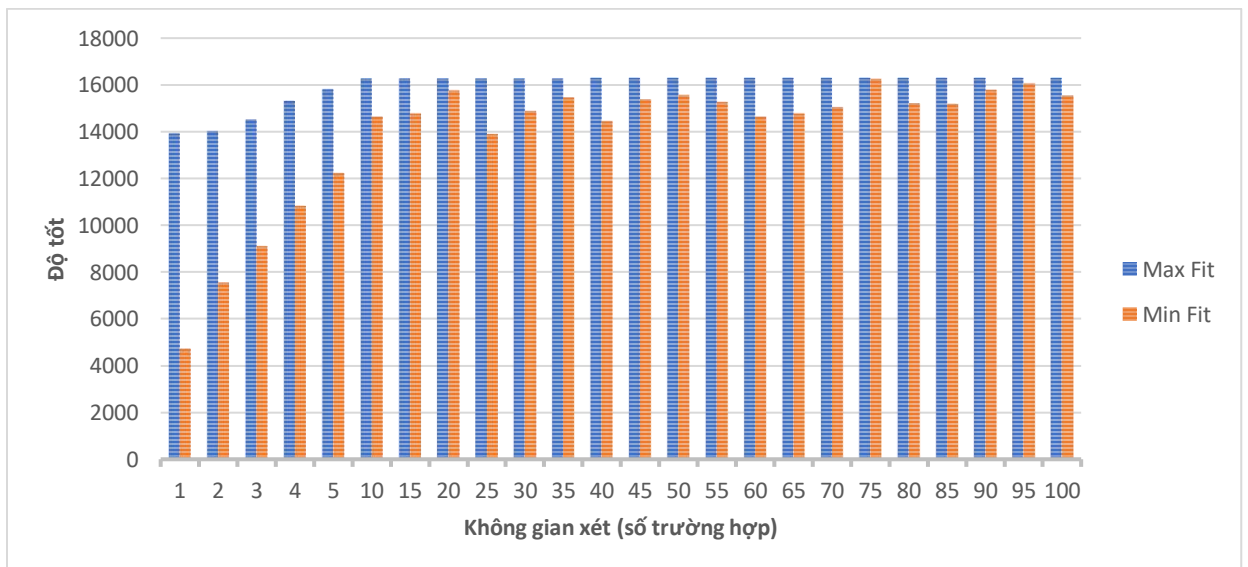
4.2 Trường hợp 2: Khu vực đô thị (Cầu Giấy)



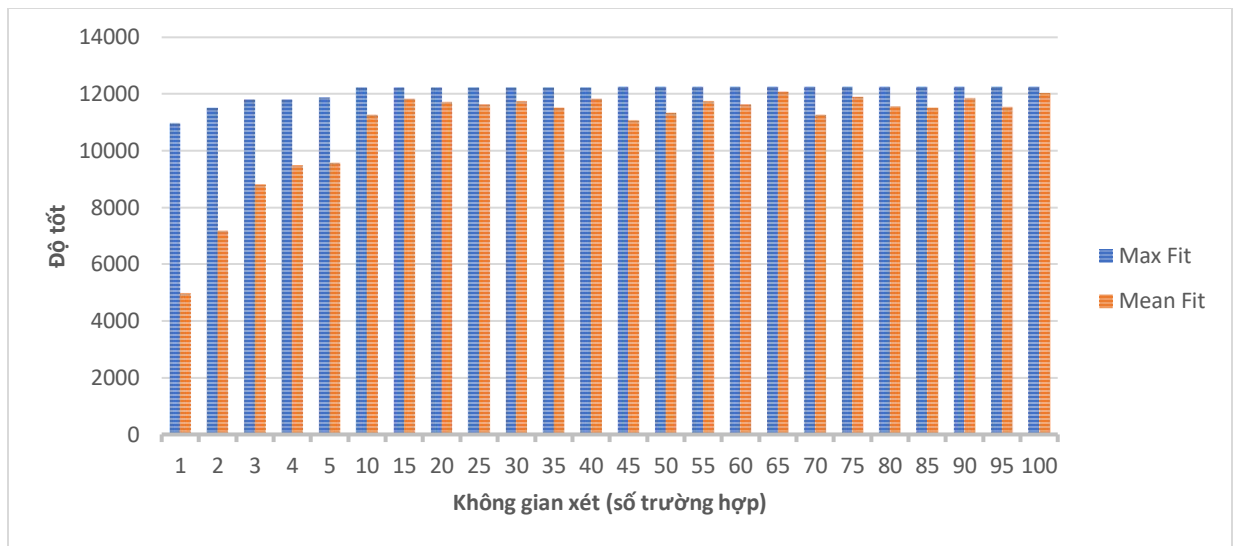
Hình 4.2. Cá thể tốt nhất trong tất cả các thể hệ di truyền của trường hợp 2 (Độ tốt = 12259)

5. Thảo luận

5.1 Đánh giá độ hội tụ của lời giải qua các thế hệ



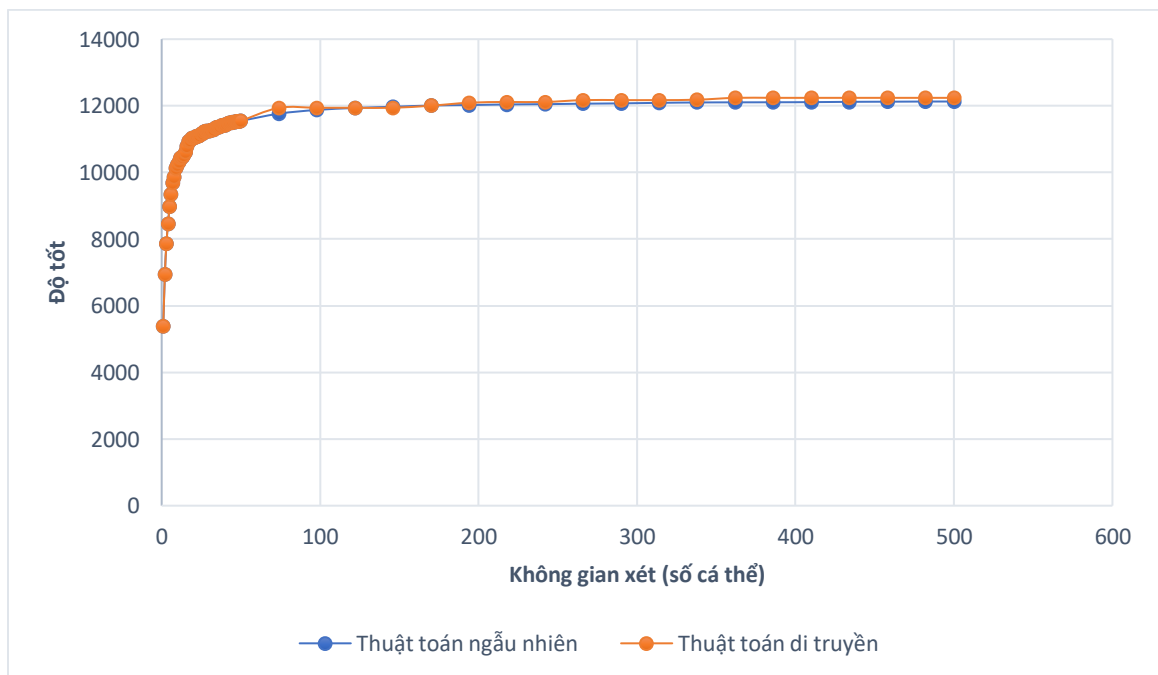
Biểu đồ 1. Độ hội tụ về độ tốt của lời giải tốt nhất và kém nhất qua các thế hệ (Nông thôn)



Biểu đồ 2. Độ hội tụ về độ tốt của lời giải tốt nhất và kém nhất qua các thế hệ (Đô thị)

Nhận xét: Khi các thế hệ tăng dần, chất lượng của quần thể tăng dần. Độ tốt của cá thể tốt nhất và độ tốt trung bình của quần thể cùng hội tụ cho thấy chất lượng quần thể đang tăng lên. Quá trình hội tụ sẽ rõ rệt hơn khi tăng số lượt di truyền, giảm xác suất biến dị.

5.2 So sánh với thuật toán ngẫu nhiên



Biểu đồ 3. Sự phát triển của lời giải khi tăng dần số trường hợp xét (Đô thị)

Nhận xét: Khi so sánh với thuật toán ngẫu nhiên, chất lượng của thuật toán di truyền không mấy khác biệt trong bài toán này. Tuy nhiên, theo số liệu thống kê, thuật toán di truyền vẫn có chất lượng tốt hơn một chút so với thuật toán ngẫu nhiên khi không gian xét tăng lên. Ví dụ, trong trường hợp Đô thị khi xét tới cá thể thứ 500, độ tốt trung bình của thuật toán ngẫu nhiên là 12129 còn độ tốt trung bình của GA là 12239.

5.3 Ứng dụng kết quả bài toán

Kết quả của bài toán này không chỉ áp dụng cho việc giải quyết vấn đề lắp đặt trạm thu phát sóng (BTS) ở các địa phương chưa được phủ sóng. Một số khu vực tuy đã có sóng di động nhưng tín hiệu kém, ta vẫn có thể lựa chọn địa điểm đặt thêm trạm BTS sao cho chất lượng tổng thể của dịch vụ mạng được tăng lên. Thuật ngữ “bán kính phủ sóng” dùng trong báo cáo này không chỉ có nghĩa là phạm vi mà một thiết bị di động bắt được sóng. Nó có thể hiểu là phạm vi mà trong đó sóng có chất lượng tốt (tùy theo định nghĩa của người đưa ra bài toán).

5.4 Hạn chế

Các điều kiện được xét đến trong bài toán tổng quát còn rất đơn giản, lý tưởng nếu so với thực tế. Ví dụ như chất lượng sóng không thể đều nhau theo khoảng cách hay lan tỏa theo một hình cầu, mà có nhiều sự thay đổi do thiết kế máy phát và ảnh hưởng của địa hình. Ngoài ra, vị trí đặt trạm cũng có thể có nhiều hạn chế, ví dụ như không thể đặt trạm ở khu vực sông suối hay địa hình hiểm trở khó tiếp cận.

6 Liên kết

[1] https://vi.wikipedia.org/wiki/C%E1%BA%A7u_Gi%E1%BA%A5y

[2] https://vi.wikipedia.org/wiki/Ba_V%C3%AC

[3] <https://dgtlinfra.com/cell-tower-range-how-far-reach/#:~:text=On%20average%2C%20the%20maximum%20usable,to%20another%20nearby%20cell%20site.>