

ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN TRONG XỬ LÝ BÀI TOÁN ĐỊNH TUYẾN XE

APPLICATION GENERATION ALGORITHM FOR SOLVER VEHICLE ROUTING PROBLEM

Cao Ngọc Ánh, Trần Bích Thảo

Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 19/04/2021, chấp nhận đăng ngày 17/05/2021

Tóm tắt: Mục tiêu chính của nghiên cứu này là tìm ra giải pháp cho vấn đề định tuyến xe bằng cách sử dụng các thuật toán di truyền. Bài toán định tuyến xe (Vehicle Routing Problem -VRP) là một bài toán tối ưu hóa tổ hợp phức tạp thuộc lớp NP - đầy đủ (nondeterministic polynomial - complete). Vehicle Routing Problem là một vấn đề toán học, và đề bài gốc của bài toán này gói gọn trong câu hỏi: “Làm thế nào để tạo ra một lộ trình tối ưu cho một đội xe giao hàng tới một lượng khách hàng có sẵn?”. Bài báo nghiên cứu thuật toán di truyền và kỹ thuật tìm kiếm để tìm ra giải pháp đúng hoặc gần đúng đến các vấn đề tối ưu hóa và tìm kiếm để giải bài toán định tuyến xe.

Từ khóa: Vehicle Routing Problem (VRP), Genetic Algorithm.

Abstract: The main objective of this research is to find a solution to the Vehicle Routing Problem using genetic algorithms. Vehicle Routing Problem (VRP) is a complex combinatorial optimization problem of class NP-complete. The Vehicle Routing Problem is a math problem, and the original problem of this problem is encapsulated in the question: “How to create an optimal route for a fleet of vehicles to deliver to an existing customer? “. The article studies genetic algorithms and search techniques to find the correct or approximate solutions to optimization and search problems to solve vehicle routing problems.

Keywords: Vehicle Routing Problem (VRP), Genetic Algorithm.

1. GIỚI THIỆU

Có thể phát biểu bài toán VRP cơ bản một cách đơn giản như sau: Có một tập hợp M xe giống nhau cùng xuất phát tại một kho hàng đi làm nhiệm vụ giao hàng cho N khách hàng, mỗi khách hàng đòi hỏi cung cấp một lượng hàng nhất định. Yêu cầu đặt ra của bài toán là tìm đường đi ngắn nhất cho M xe đáp ứng được tất cả các đòi hỏi của khách hàng [1].

Vehicle Routing Problem bắt nguồn từ năm 1959 khi George Dantzig và John Ramser [2][3] thiết lập công thức toán học và phương

pháp tiếp cận bằng thuật toán để giải quyết vấn đề cung cấp xăng dầu cho các trạm dịch vụ. Năm 1964, Clarke và Wright đã cải tiến cách giải của Dantzig và Ramser bằng cách sử dụng một cách tiếp cận khác, được gọi là thuật toán tiết kiệm. Từ đó thì sự quan tâm đến VRP đã được mở rộng từ một nhóm các nhà toán học sang phạm vi rộng các nhà nghiên cứu và các nhà thực hành, từ các ngành khác nhau, trong nhiều lĩnh vực

Các phương pháp giải chính xác đảm bảo lời giải tối ưu sẽ được tìm thấy trong một khoảng

thời gian hữu hạn. Tuy nhiên, thời gian chạy của nó trong trường hợp tồi nhất là rất lớn, do đó lớp thuật toán này chỉ giải được những bài toán có kích thước nhỏ hoặc vừa: thuật toán nhánh cận (*branch and bound*) [4], thuật toán sinh cột [5]...

Các phương pháp gần đúng gồm các giải thuật cho chất lượng lời giải gần với lời giải tối ưu như nhóm các giải thuật heuristic cổ điển, nhóm các giải thuật tìm kiếm cục bộ và nhóm các giải thuật metaheuristic [6, 7]. Một trong số chúng là giải thuật di truyền (GA), là phương pháp tìm kiếm tối ưu ngẫu nhiên bằng cách mô phỏng theo sự tiến hóa của con người hay của sinh vật. Tư tưởng của giải thuật di truyền là mô phỏng các hiện tượng tự nhiên, là kế thừa và đấu tranh sinh tồn.

Trong thuật toán này, mỗi cá thể trong một quần thể biểu diễn một lời giải cho bài toán cần giải. Ban đầu, một quần thể (*tức một tập hợp các lời giải*) được khởi tạo một cách ngẫu nhiên. Quần thể ban đầu này được gọi là thế hệ đầu tiên. Sau đó, quá trình tiến hóa quần thể này sẽ được thực hiện nhiều lần, mỗi lần một thế hệ mới hay một quần thể mới sẽ được sinh ra.

Thế hệ mới được tạo thành bằng cách như sau:

- Đầu tiên là quá trình chọn lọc (*selection*). Mỗi cá thể ở thế hệ cũ sẽ có một xác suất “sống sót” để có thể tiếp tục tồn tại ở thế hệ mới. Lời giải tương ứng với một cá thể có độ thích nghi càng cao, xác suất cá thể đó sống sót sang thế hệ kế tiếp là càng lớn.
- Tiếp đến là quá trình lai ghép chéo (*crossover*). Với mỗi một cá thể cần “sinh” ra cho thế hệ mới, một cặp cá thể sẽ được chọn ngẫu nhiên để làm “cha mẹ”. Cặp cá thể “cha mẹ” này sẽ được kết hợp với nhau, theo một quy tắc định nghĩa trước, để “sinh” ra được cá thể mới. Quy tắc “sinh” con cho các bài toán khác nhau thì khác nhau. Cách

“sinh con” cơ bản nhất là lấy một nửa thành phần của cá thể “cha” và một nửa thành phần của cá thể “mẹ” rồi “trộn” lại với nhau để tạo được cá thể “con”.

- Ở bước tiếp theo, mỗi cá thể của quần thể mới sẽ bị đột biến gen (*mutation*) theo một xác suất cho trước. Cũng như cách thức “sinh” con, cách thức đột biến ở các bài toán khác nhau thì khác nhau. Cách đột biến cơ bản nhất là thay đổi một thành phần của cá thể.

Sau đó, từ quần thể mới có, một quần thể mới hơn nữa lại được tạo ra theo quá trình nói trên. Quá trình này lặp đi lặp lại cho đến khi điều kiện dừng được thỏa mãn, như là chi phí tổng các tuyến đường là nhỏ nhất. Lời giải của bài toán chính là cá thể tốt nhất trong tất cả các quần thể đã được tạo ra.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC

Bài toán VRP được biểu diễn bởi một tập V các xe vận chuyển, một tập C các khách hàng và một đồ thị có hướng G . Đồ thị G có $|C|+2$ đỉnh, các khách hàng là các đỉnh từ $1, 2, \dots, n$; đỉnh 0 biểu thị kho xuất phát và đỉnh $n+1$ biểu diễn cho kho kết thúc. Tập A các cung đồ thị biểu diễn kết nối kho với khách hàng và giữa khách hàng với nhau. Mỗi cung (i, j) có giá trị chi phí c_{ij} . Mỗi khách hàng i có nhu cầu d_i . Một lộ trình bắt đầu từ kho xuất phát, đi qua một số khách hàng và kết thúc tại kho hàng kết thúc, mỗi khách hàng được một xe phục vụ. Mục tiêu của bài toán là tìm một phương án điều đội xe hợp lý để giao hàng tới tất cả các khách hàng sao cho tổng chi phí là nhỏ nhất.

Mô hình toán học của bài toán như sau, giả sử:

n : Tổng số khách hàng cần phục vụ;

K : Tổng số chuyến xe;

$N = \{0, 1, \dots, n+1\}$: Tập các đỉnh của đồ thị;

$V = \{0, 1, \dots, K\}$: Tập các xe vận chuyển;

$C = \{1, 2, \dots, n\}$: Tập các khách hàng;

c_{ij} : Chi phí đi từ i đến j ;

q : sức chứa của một xe;

d_i : nhu cầu tại nút i .

Khi đó ta có các biến trong mô hình

x_{ijk} : biểu diễn xem một xe k có đi từ khách hàng i đến khách hàng j không với

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{nếu xe thứ } k \text{ đi từ } i \text{ đến } j \\ 0 & \text{với các trường hợp còn lại} \end{cases}$$

trong đó $i, j \in N, k \in V$

y_{ik} : biểu diễn khách hàng i có được xe k phục vụ không với

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{nếu xe thứ } k \text{ đi đến } i \\ 0 & \text{với các trường hợp còn lại} \end{cases}$$

trong đó $i \in N, k \in V$

Hàm mục tiêu của bài toán:

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in V} c_{ij} x_{ijk}$$

Các ràng buộc của bài toán:

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} = y_{jk} \quad \forall j \in N, k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijk} - \sum_{i \in N} x_{ikj} = 0 \quad \forall j \in C, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} y_{jk} * d_j \leq q \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0k} = 0 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i(n+1)k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N} x_{(n+1)jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (8)$$

trong đó: (1) biểu diễn mối liên hệ giữa x và y . (2), (3): đảm bảo mỗi khách được một xe phục vụ. (4) đảm bảo sức chứa một xe. (5), (6), (7), (8) đảm bảo mọi lộ trình đều bắt đầu và kết thúc tại kho

Việc mô hình hóa bài toán VRP được nghiên cứu bởi nhiều tác giả và đã được trình bày chi tiết trong các bài báo [8-11].

3. THUẬT TOÁN DI TRUYỀN GIẢI BÀI TOÁN VRP

3.1. Biểu diễn lời giải

Lời giải (nhiệm sắc thể) được biểu diễn thành chuỗi các số nguyên có thể hoán vị. Mỗi số nguyên trong chuỗi là một số nguyên gán cho một khách hàng. Thứ tự gene trong nhiệm sắc thể là thứ tự thăm của các xe.

Ví dụ: Với 0 là kho, 10 là kho kết thúc

Lộ trình 1: $0 \rightarrow 1 \rightarrow 9 \rightarrow 10$

Lộ trình 2: $0 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 10$

Lộ trình 3: $0 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 10$

Chuỗi số trong nhiệm sắc thể ứng với lời giải như sau:

$1 \rightarrow 9 \rightarrow (-1) \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow (-2) \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 7 \rightarrow 5$

3.2. Khởi tạo quần thể ban đầu

Phương thức khởi tạo quần thể được mô tả như sau:

1. Thực hiện thuật toán K-Means chia các khách hàng thành k cụm (k = tổng số xe).
2. Với mỗi xe, khởi tạo ngẫu nhiên một lộ trình trên cụm khách hàng tương ứng.
3. Tổng hợp lộ trình các xe, ta có phương án tương ứng.
4. Lặp lại hai bước trên đến khi có đủ quần thể.

3.3. Lựa chọn hàm thích nghi

Hàm thích nghi của bài toán VRP có thể được định nghĩa như sau:

$$f_i = \frac{1}{d_i + c_i}$$

trong đó: f_i là độ thích nghi của cá thể thứ i , d_i là tổng độ dài quãng đường đi, c_i là tổng chi phí sử dụng các xe. Như vậy, lời giải được đánh giá là tốt hơn dựa vào hai yếu tố: tổng quãng đường đi, chi phí sử dụng xe là nhỏ nhất.

3.4. Các thao tác di truyền

3.4.1. Lựa chọn cá thể

Bài viết dùng phương pháp lấy mẫu Stochastic universal sampling – SUS) để tìm ra các cá thể cha mẹ tốt nhằm thực hiện tái tổ hợp.

Quy trình thực hiện SUS như sau:

1. Tính tổng các giá trị thích nghi của quần thể F .
2. Tính khoảng cách giữa các con trỏ $P = F/N$, với N là số cá thể được giữ lại.
3. Tính giá trị các con trỏ

$Pointers = [S + i * P]$ với $i \in [0, N - 1]$

4. Tính một giá trị ngẫu nhiên $S \in [0, P)$.

5. Với mỗi $P \in Pointers$, nếu i là nhỏ nhất mà tại đó tổng các giá trị thích nghi từ 0 đến $i \geq P$ thì cá thể i được lựa chọn.

3.4.2. Trao đổi chéo

Bài viết này dùng biến thể của phương pháp trao đổi chéo có thứ tự được gọi là trao đổi chéo không gói (Non-Wrapping Ordered Crossover – NWOX);

Ví dụ:

NST 1: HCB D | GFE | IJALK

NST 2: CAGE | BDF | LKIJH

Sử dụng NWOX ta thu được các con là:

NST con 1: HCGE | BDF | IJALK

NST con 2: CABD | GFE | LKIJH

3.4.3. Đột biến

Trong phạm vi bài báo này, phương pháp đột biến dạng đảo gene được áp dụng

3.4.4. Tạo thế hệ mới

Ở mỗi thế hệ, các cá thể tốt hơn được lựa chọn từ quần thể hiện tại để xây dựng thế hệ tiếp theo, các cá thể con mới sinh từ trao đổi chéo và đột biến sẽ được thêm vào quần thể

hiện tại. Các cá thể trong quần thể được sắp xếp giảm dần theo độ thích nghi. Quần thể mới sẽ được xây dựng sau khi loại bỏ các cá thể trùng lặp và các cá thể kém nhất.

Như vậy, thuật toán di truyền giải bài toán VRP được thể hiện như sau:

Bước 1: Tiến hành phân cụm khách hàng thành k -cụm (k là số xe chở hàng).

Bước 2: Khởi tạo quần thể ban đầu gồm N cá thể từ quá trình phân cụm.

Bước 3: Đánh giá tính thích nghi của các cá thể trong quần thể ban đầu.

Bước 4: Lặp lại từ bước 4.1 đến bước 4.4 đến khi vượt quá số thế hệ cho phép:

- Bước 4.1: Chọn các cá thể để tái tổ hợp bằng phương pháp SUS;
- Bước 4.2: Thực hiện trao đổi chéo bằng thuật toán NWOX;
- Bước 4.3: Thực hiện đột biến các cá thể;
- Bước 4.4: Đánh giá tính thích nghi của các cá thể trong quần thể hiện tại và xây dựng quần thể mới.

Bước 5: Trả về kết quả và kết thúc thuật toán.

4. CÀI ĐẶT THUẬT TOÁN

Dưới đây, thuật toán GA được cài đặt bằng ngôn ngữ lập trình R. Chương trình được viết và biên dịch trên Rstudio 1.4.1717 và chạy trên máy tính cá nhân Core i7-E7440 4600U 2.7GHz 8G RAM. Sau khi khởi động RStudio, chọn project là CVRP_NCKH. Để cài đặt thuật toán, ta xây dựng các hàm sau:

Hàm khởi tạo quần thể:

$giant_path <- function(distance, demand);$

Hàm tính độ thích nghi của cá thể trong quần thể:

$Fitness <- function(x, capacity, demand, distance);$

Hàm thực hiện phép toán lựa chọn 2 cá thể trong GA:

```
gaperm_rwSelection <- function(ga_route);
```

Hàm thực hiện phép toán lai ghép 2 cá thể trong GA:

```
gaperm_oxCrossover <- function(ga_route,
parent=suggestion_route);
```

Hàm thực hiện phép toán đột biến cá thể trong GA:

```
gaperm_swMutation <- function(ga_route,
parent= suggestion_route).
```

Hàm tạo quần thể:

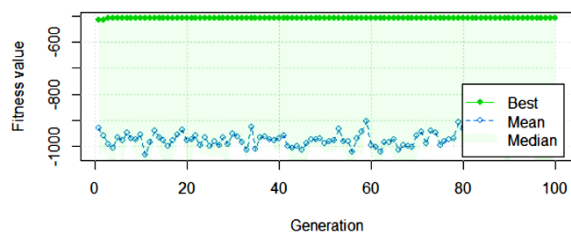
```
ga_route <- ga(type = "permutation", fitness =
fitness, capacity = 6000, demand =
route$Demand, distance = route_distance,
lower = 2, upper = max(route$i.Customer),
selection = gaperm_rwSelection, crossover =
gaperm_oxCrossover, pcrossover = 0.8,
mutation = gaperm_swMutation, pmutation =
0.1, popSize = 50, maxiter = 100, suggestions
= suggestion_route, keepBest = TRUE,
monitor = T).
```

5. THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ THUẬT TOÁN

Các thông số cấu hình cho thuật toán được thiết lập như sau:

- Số xe sử dụng 50 xe;
- Kích thước của quần thể: 250 cá thể;
- Số lượng thế hệ tối đa 2500 thế hệ;
- Xác suất trao đổi chéo là 0.75;
- Xác suất đột biến là 0.07;
- Chi phí sử dụng một xe là 200.

Kết quả thực nghiệm như hình 1:



Hình 1. Kết quả thực nghiệm của thuật toán GA trên tập dữ liệu

Hiệu quả của các thuật toán GA phụ thuộc vào khởi tạo quần thể *giant_path* và các phép toán di truyền trong GA. Kết quả có được khi so sánh thực nghiệm GA với số liệu tham khảo trên website <https://www.sintef.no/projectweb/top/vrptw/solomon-benchmark/100-customers/> [12], chi tiết được thể hiện trong bảng 1.

Trong bảng 1, cột đầu thể hiện 4 nhóm mẫu dữ liệu Với kết quả thực nghiệm, với dữ liệu khách hàng từ 25 khách hàng đến 1000 khách hàng, thuật toán GA cho kết quả tốt hơn.

Bảng 1. So sánh kết quả trung bình giữa các lần thực nghiệm

| Mẫu \ Phương pháp | Kết quả tốt nhất | Chương trình GA |
|-------------------|------------------|------------------|
| R1 | 12.00 1217.73 | 36.00 3070.24 |
| R2 | 2.73 967.75 | |
| C1 | 10.00 828.38 | |
| C2 | 3.00 589.68 | 16.78 1985.25 |

6. KẾT LUẬN

Các thuật toán di truyền cung cấp một cách tiếp cận rất thú vị để giải quyết các vấn đề không thể áp dụng một phương pháp chính xác. Bài báo đã trình bày rõ thêm các kiến thức cơ bản định tuyến xe, làm rõ thuật toán di truyền và tiến hành thực nghiệm với bộ dữ liệu được phân loại cụ thể.

Việc tăng các giải thuật heuristic và kết hợp các giải thuật tìm kiếm trong các quá trình đột biến, trao đổi chéo là hướng nghiên cứu tiếp theo của bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Fisher. Vehicle routing. Handbooks of Operations Research and Management Science, Chapter 1, 8:1-31,1995
- [2] Sergios Theodoridis, Konstantinos Kourtoumbas. Pattern Recognition Second Edition page 582
- [3] Dantzing, G., Ramster, R.: The truck dispatching problem. Management Science 6 (1959) 80-91
- [4] G.Laporte, Y.Nobert (1983), A branch and bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem, Operations Research Spektrum, pp 77-85.
- [5] F. Liberatore, G.Righini, M.Salani (2010), A column generation algorithm for the vehicle routing problem with soft time windows, 4OR quarterly journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies 9(1), pp 49-82.
- [6] M. Gendreau, J. Y. Potvin, O. Braysy, G. Hasle, A. Lokketangen (2007), Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and Its Extensions: A Categorized Bibliography, in B.Golden, S.Ragavan and E.Wasil (editors), The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp 143-169.
- [7] S.C.H. Leung, J.Zheng, D.Zhang, X.Zhou (2010) , Simulated annealing for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints, Flexible Services and Manufacturing Journal 22(1), pp 61-82.
- [8] Thangiah S.R. (1995), Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms, In L. Chambers, editor, Application handbook of genetic algorithms: New Frontiers vol. II. Boca Raton: CRC Press, 253-277.
- [9] Beatrice Ombuki, Brian J.Ross, Franklin Hanshar (2004), Multi-Objective Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows, Brock University, Canada.
- [10] Tan K.C., Lee L.H., Zhu K.Q., Ou K. (2001), Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows, Artificial Intelligence in Engineering, Volume 15, Issue 3, Pages 281-295.
- [11] Kallehauge B., Larsen J., Madsen O.B., Solomon M.M. (2005), Vehicle Routing Problem with Time Windows, In: Desaulniers G., Desrosiers J., Solomon M.M. (eds) Column Generation. Springer, Boston, MA
- [12] <https://www.sintef.no/projectweb/top/vrptw/solomon-benchmark/100-customers/>

Thông tin liên hệ: **Cao Ngọc Ánh**

Điện thoại: 0912 599 122 - Email: cnanh@uneti.edu.vn

Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

