



Thuật toán tìm kiếm tabu được cải tiến cho bài toán định tuyến phương tiện mở với khoảng thời gian mềm và tỷ lệ hài lòng

Dương Côn Hạ1 • Trác Phúc1

Đã nhận: ngày 11 tháng 11 năm 2017 / Sửa đổi: ngày 23 tháng 1 năm 2018 / Đã chấp nhận: ngày 31 tháng 1 năm 2018
Springer Science+Business Media, LLC, một phần của Springer Nature 2018

trừu tượng

Bài toán định tuyến phương tiện mở (OVRP) có nhiều ứng dụng trong lĩnh vực phân phối hậu cần. Một mô hình OVRP với khung thời gian linh hoạt và tỷ lệ hài lòng được phân tích ở đây nhằm giảm chi phí phân phối hậu cần. Việc giảm thiểu số lượng phương tiện cần thiết được coi là mục tiêu chính, trong khi việc giảm thiểu chi phí khoảng cách di chuyển và chi phí sai lệch của các khoảng thời gian được sử dụng làm mục tiêu phụ. Một mô hình toán học tương ứng với quy hoạch hai mục tiêu được thiết lập cho bài toán. Dựa trên các quy tắc mã hóa số tự nhiên, một số chiến lược như cơ chế phạt thích ứng, cấu trúc đa lân cận và quy tắc khởi tạo lại được nhúng vào thuật toán tìm kiếm tabu (TSA), dẫn đến TSA (ITSA) được cải thiện. Các kết quả tính toán được cung cấp và được so sánh với các phương pháp khác trong tài liệu, chứng minh tính hiệu quả của ITSA.

Từ khóa Bài toán định tuyến xe mở (OVRP) Thuật toán tìm kiếm Tabu (TSA) Lập trình hai mục tiêu
Cơ chế phạt thích ứng Phân phối hậu cần Khoảng thời gian mềm Tỷ lệ hài lòng

1. Giới thiệu

Bài toán định tuyến xe (VRP) thuộc loại bài toán NP-khó [1]. Kể từ khi được Dantzig đề xuất vào năm 1959, nó đã thu hút được sự chú ý rộng rãi trong các lĩnh vực tối ưu hóa tổ hợp và vận chuyển. Nghiên cứu VRP sớm nhất liên quan đến các tuyến đường lái xe gần và được gọi là VRP gần [2]. VRP mở [3] (OVRP) là một loại VRP khác; Sự khác biệt chính giữa OVRP và VRP đóng nằm ở chỗ các tuyến đường lái xe trước đây là mở, tức là xe không cần quay lại điểm xuất phát ban đầu sau khi hoàn thành nhiệm vụ giao hàng. OVRP ít được chú ý cho đến năm 2000, khi các nghiên cứu thực tế được bắt đầu do nhu cầu phân phối hậu cần thực tế [4]. So với VRP gần gũi, OVRP có thể giảm chi phí di chuyển, nghĩa là nó có nhiều ứng dụng trong nhiều lĩnh vực và đặc biệt là trong lĩnh vực phân phối hậu cần [3-9].

OVRP thuộc loại bài toán NP-khó [4]; rất khó để giải quyết các vấn đề thực tế quy mô lớn bằng các thuật toán chính xác và cần có các thuật toán heuristic để tìm ra giải pháp. Về mặt thuật toán heuristic cổ điển và thuật toán metaheuristic giải quyết lớp cơ bản của OVRP, Sariklis [3] đã đề xuất một thuật toán tiết kiệm hai giai đoạn cải tiến. Fu và cộng sự. [4] đã thiết kế một thuật toán tìm kiếm tabu (TSA) với bốn toán tử lân cận và Tarantilis et al. [5] đã thiết kế một hệ thống hỗ trợ quyết định với chức năng bộ nhớ thích ứng. OVRP với các cửa sổ thời gian (OVRPTW) bổ sung các ràng buộc về cửa sổ thời gian cho OVRP cơ bản và giải pháp của nó phức tạp hơn so với OVRP cơ bản. Nói một cách tương đối, đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến VRP đóng với cửa sổ thời gian (VRPTW) và ít nghiên cứu hơn về OVRPTW [1-25].

Tùy theo việc các ràng buộc về thời gian có phải được đáp ứng nghiêm ngặt hay không hoặc có được phép sai lệch hay không, OVRPTW có thể được phân loại thành OVRP với các cửa sổ thời gian cứng (OVRPHTW) và OVRP với các cửa sổ thời gian mềm (OVRPSTW). Hiện tại, OVRPHTW chiếm ưu thế trong các thuật toán metaheuristic trong việc giải OVRPTW. Trong [6], thuật toán tham lam chuyển tiếp (thuật toán Repoussis) được thiết kế để giải OVRPHTW. Trong [7], TSA đa khởi động ngẫu nhiên (MS-TSA) được thiết kế để giải quyết vấn đề này.

& Yangkun Xia
jiaochoyk166@163.com

¹ Trường Kỹ thuật Giao thông Vận tải, Miền Trung
Đại học Nam, Trường Sa 410075, Trung Quốc

vấn đề. Trong [8], một toán tử chéo mới đã được thêm vào thuật toán di truyền (GA) để giải OVRTSTW, được thiết kế để giới thiệu một cách thích ứng các phép toán chéo và đột biến. Trong [9], một thuật toán di truyền cải tiến (IGA) đã được đề xuất để giải OVRPSTW; điều này đã chấp nhận một số chiến lược giải pháp không khả thi để tạo ra các giải pháp khả thi có chất lượng cao hơn. So với các thuật toán hiện có trong các nghiên cứu VRP [10-17], TSA có ưu điểm là tính đơn giản, khả năng thích ứng và khả năng hoạt động và là thuật toán hiệu quả cao để giải VRP. Kết hợp các phân tích trên, OVRPSTW được nghiên cứu trong bài viết này trong bối cảnh phân phối hậu cần, một mô hình hai mục tiêu tương ứng được xây dựng và TSA cải tiến (ITSA) được thiết kế để giải quyết vấn đề này.

2 Phân tích vấn đề và xây dựng mô hình

Trong OVRTHTW, các giải pháp không đáp ứng được các ràng buộc về thời gian là không khả thi. Mặc dù các khoảng thời gian khó khăn có lợi cho việc duy trì sự hài lòng của khách hàng đối với các doanh nghiệp logistics, nhưng chúng có thể gây ra tỷ lệ xếp hàng thấp, vận chuyển vòng vèo, v.v., dẫn đến tăng số lượng phương tiện cần thiết và khoảng cách di chuyển, mức tiêu thụ nhiên liệu và chi phí ô nhiễm môi trường. Kết quả là các doanh nghiệp logistics có tổng chi phí quá cao, mất đi sức sống của sự phát triển bền vững. Do đó, các khoảng thời gian mềm có lợi hơn và có lợi hơn cho việc phân phối linh hoạt và tiết kiệm chi phí.

Trong OVRPSTW, do khoảng thời gian mà khách hàng mong đợi khác nhau nên điều này đương nhiên tạo ra những chi phí cơ hội nhất định cho khách hàng; Các doanh nghiệp logistics cần bồi thường về mặt tài chính cho khách hàng, tương đương với một khoản chi phí phạt nhất định cho mỗi khoảng thời gian sai lệch so với khía cạnh của các doanh nghiệp logistics. Mặc dù OVRPSTW cho phép phạt đối với sai lệch khung thời gian, nhưng những khung thời gian này không được quá mềm; Đối với một số khách hàng quan trọng nhất định, nên sử dụng các ràng buộc về khoảng thời gian khó khăn để cải thiện sự hài lòng của khách hàng. Hơn nữa, nếu cửa sổ thời gian quá mềm, sẽ không có sự khác biệt giữa phương pháp này và OVRP cơ bản, và ý nghĩa của OVRPSTW sẽ bị mất. Vì vậy, trong nghiên cứu này, tỷ lệ hài lòng được định nghĩa là tỷ lệ hài lòng của khách hàng về thời gian xe đến

trong khoảng thời gian dự kiến; điều này được đưa vào OVRPSTW như một ràng buộc, dẫn đến một mô hình OVRP với khung thời gian linh hoạt và tỷ lệ hài lòng (OVRPSTWSR).

Kết hợp các nghiên cứu liên quan đến VRRPTW trước đây [10-17], OVRPSTWSR trong nghiên cứu này liên quan đến việc xác định lộ trình phương tiện cho một loạt khách hàng có nhu cầu đã biết và khoảng thời gian dự kiến cũ ng như cùng loại phương tiện; tất cả các phương tiện đều xuất phát từ cùng một kho và phục vụ từng khách hàng theo trình tự mà không quay lại điểm xuất phát

đỉnh, sao cho tổng chi phí giao hàng được giảm thiểu dưới các ràng buộc về khả năng tải của xe, thời gian làm việc trên tuyến, khoảng thời gian mềm và tỷ lệ hài lòng về khoảng thời gian. Tổng kho được đánh số là 0, khách hàng được đánh số thứ tự là 1; 2; ...; N, với các ký hiệu liên quan được ký hiệu như sau.

- Q Khả năng chịu tải của xe;
- K Số lượng xe cần giao hàng;
- L Thời gian làm việc cho từng tuyến; di
- Nhu cầu của khách hàng i; tij
- Thời gian di chuyển của các phương tiện giữa khách hàng i và khách hàng j;
- Ưij Nếu xe k đi thẳng từ khách hàng i đến khách hàng j thì giá trị là 1, ngược lại là 0;
- ai Thời gian sớm nhất trong khoảng thời gian dự kiến của khách hàng i;
- bi Thời gian muộn nhất trong khoảng thời gian dự kiến của khách hàng i;
- p Chi phí phạt cho một đơn vị thời gian phục vụ trước thời điểm ai đối với khách hàng tôi;
- h Chi phí phạt cho đơn vị thời gian phục vụ sau thời gian bi đối với khách hàng
- tôi; g Số lượng khách hàng được phục vụ trước; l Số lượng khách hàng trễ dịch vụ; b Tỷ lệ hài lòng, tức là tỷ lệ hài lòng của khách hàng về thời gian xe đến trong khoảng thời gian dự kiến;
- c Giới hạn dưới về số lượng khách hàng trong phạm vi cửa sổ thời gian dự kiến; Thời gian đến ngay tại khách hàng i;
- ti si Thời gian phục vụ khách hàng
- i; tij Thời gian di chuyển giữa khách hàng i và khách hàng j

Trong nghiên cứu này, chúng tôi giả định rằng tốc độ của các phương tiện là không đổi và thời gian di chuyển của các phương tiện được sử dụng để thay thế chi phí thời gian di chuyển. Nếu một chiếc xe phục vụ khách hàng liền kề j ngay sau khi phục vụ khách hàng i, $t_{ij} = t_{ji}$. Chúng tôi thêm kho ảo và giả định rằng các phương tiện sẽ quay trở lại kho ảo (khách hàng 0) sau khi giao hàng. Cho $t_{i0} = 0$ ($i = 1, 2, \dots, N$), tức là không phát sinh chi phí khi về kho ảo. Điều này tương đương với điều kiện không cần phải quay lại kho.

Trong OVRP quy mô lớn, các phương tiện cỡ lớn đắt tiền thường được sử dụng và việc bổ sung thêm một phương tiện thường tương đối tốn kém khi trả tiền cho người lái xe và các chi phí bổ sung khác. Người ta thường cho rằng chi phí tiết kiệm được từ việc sử dụng ít một phương tiện sẽ lớn hơn chi phí về thời gian di chuyển và độ lệch khung thời gian tăng lên [4]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, việc giảm thiểu tổng chi phí phân phối có hai mục tiêu. Mục tiêu đầu tiên là giảm thiểu số lượng phương tiện cần thiết, trong khi

Điện toán cụm

thứ hai là giảm thiểu chi phí về thời gian di chuyển và độ lệch khung thời gian; mục tiêu đầu tiên có mức độ ưu tiên tuyệt đối.

Dựa trên các cuộc thảo luận ở trên, OVRPSTWSR có thể được mô tả bằng mô hình lập trình toán học hai mục tiêu sau:

phút K	đ1p
$\begin{matrix} & N & N & K & & N \\ \text{tối thiểu } z & \frac{1}{4} \times X & X & \text{đtj } y_k & i_j & p & p & X & \text{maxđai } t_i; & 0p \\ & \text{tối } \frac{1}{4} \times 0 & j & \frac{1}{4} \times 1 & k & \frac{1}{4} \times 1 & & \text{tối } \frac{1}{4} \times 1 & & \\ & & & N & & & & & & \\ & p & h & X & \text{maxđti } b_i; & 0p & & & & \end{matrix}$	đ2p
$\begin{matrix} & N & N \\ \text{s:t:} X & X & \frac{1}{2} \text{đtj } p & \text{si } p & y_k & i_j & 6 & L; & k = 1; 2; \dots; K \\ & \text{tối } \frac{1}{4} \times 0 & j & \frac{1}{4} \times 1 & & & & & \end{matrix}$	đ3p
$\begin{matrix} & N & N \\ \text{XX } \text{đdi } y_k & i_j & p & 6 & Q; & k = 1; 2; \dots; & K \\ & \text{tối } \frac{1}{4} \times 0 & j & \frac{1}{4} \times 1 & & & \end{matrix}$	đ4p
$\begin{matrix} & N & K \\ \text{XX } y_k & i_j & \frac{1}{4} \times 1; & j & \frac{1}{4} \times 1; 2; \dots; & N \\ & \text{tối } \frac{1}{4} \times 0 & k & \frac{1}{4} \times 1 & & \end{matrix}$	đ5p
$\begin{matrix} & N & N \\ X & y_k & \text{tức là } \frac{1}{4} \times X & y_k e_j; & e = 1; 2; \dots; N; & k = 1; 2; \dots; K \\ & \text{tối } \frac{1}{4} \times 0 & j & \frac{1}{4} \times 0 & & \end{matrix}$	đ6p
$\begin{matrix} & K & N \\ X & X & y_k & 0_j^{\frac{1}{4} \times K} \\ & k & \frac{1}{4} \times 1 & j & \frac{1}{4} \times 1 & \end{matrix}$	đ7p
$\begin{matrix} & K & N \\ X & X & y_k & i_0^{\frac{1}{4} \times K} \\ & k & \frac{1}{4} \times 1 & \text{tối } \frac{1}{4} \times 1 & \end{matrix}$	đ8p
$\begin{matrix} X & & \text{đg} & \text{giới sáng} & & 1; n = 1; 2; \dots; N; k = 1; \dots; K \\ \text{tôi}; j & 2n & & & & \end{matrix}$	đ9p
$\begin{matrix} & N \\ K > K_{\min} & \frac{1}{4} \times X \\ & \text{di} = Q & \$ & \% p1 \end{matrix}$	đ10p
$\begin{matrix} \text{đ} & i_j & 2 & f_0; 1g; & \text{Tôi}; & j & \frac{1}{4} \times 0; 1; \dots; N; & k = 1; \dots; K \end{matrix}$	đ11p
$b^{\frac{1}{4} \times 1} & 1 & \text{đgpl} = N > c$	đ12p

- Công thức (1) là mục tiêu đầu tiên, tức là giảm thiểu số lượng phương tiện cần thiết;
- Công thức (2) là mục tiêu thứ hai, tức là giảm thiểu tổng chi phí đi lại và chênh lệch thời gian, trong đó việc phục vụ sớm và muộn đều bị phạt và hệ số phạt là $p \frac{1}{4} 0:1$ và $h \frac{1}{4} 0:1$;
- Công thức (3) là giới hạn thời gian làm việc cho mỗi tuyến đường;
- Công thức (4) là tải trọng giới hạn cho mỗi xe;

- Công thức (5) đảm bảo rằng mỗi khách hàng chỉ được phục vụ một lần;
- Công thức (6)–(8) đảm bảo số lượng xe vào và ra của mỗi khách hàng trung gian bằng nhau và tất cả các xe đều xuất phát từ kho và cuối cùng quay trở lại kho ảo;
- Công thức (9) loại bỏ các vòng lặp phụ;
- Công thức (10) ước tính giới hạn dưới về số lượng phương tiện cần thiết;
- Công thức (11) là ràng buộc của số nguyên 0 và 1;
- Công thức (12) đảm bảo tỷ lệ hài lòng b không nhỏ hơn hệ số c đã cho và c có thể được thiết lập theo tình huống thực tế. Chúng tôi đặt $c \frac{1}{4} 85\%$ trong nghiên cứu này.

3 thiết kế ITSA

OVRPSTWSR thuộc lớp bài toán NP-khó [5], và cần có các thuật toán metaheuristic để giải các bài toán thực tế quy mô lớn. TSA là một loại thuật toán tối ưu hóa toàn cầu mô phỏng tư duy thông minh của con người [3] và thuộc nhóm thuật toán siêu hình. Bản chất của TSA nằm ở việc sử dụng các phép toán tabu. Một TSA tốt thường sử dụng danh sách tabu để tạo ra chức năng bộ nhớ ngắn hạn nhằm tránh các giải pháp tìm kiếm lặp lại và thiết lập các chức năng phá vỡ tabu để tránh bỏ sót các giải pháp tốt hơn. TSA thêm các hoạt động tabu vào quá trình tìm kiếm vùng lân cận, điều này rất hữu ích trong việc ngăn chặn việc tìm kiếm lặp lại. Một TSA tốt thường chứa nhiều phép toán lân cận và các chiến lược chuyển đổi lân cận thường được thêm vào quá trình tìm kiếm, cải thiện khả năng tối ưu hóa toàn cục của thuật toán. ITSA đề xuất được thiết kế như sau.

3.1 Xây dựng giải pháp ban đầu

Dựa trên quy tắc mã hóa số tự nhiên, hoán vị của kho, đỉnh 0 (chỉ đỉnh này mới xuất hiện nhiều lần) và khách hàng iới $\frac{1}{4} 1; 2; \dots; N$ hình thành một giải pháp cho vấn đề, trong đó 0 và các số khác 0 theo sau nó tạo thành một tuyến đường. Ví dụ: đối với giải pháp $S \frac{1}{4} \text{đ0139024056870} \dots p$, ba tuyến đường đầu tiên lần lượt là đ0139p , đ024p và đ05687p . Một TSA tốt phải có độ bền cao [4]. Trong nghiên cứu này, các giải pháp ban đầu được tạo ra một cách ngẫu nhiên. Khi xây dựng các giải pháp ban đầu trong ITSA, yêu cầu không được vi phạm các ràng buộc về tải trọng của phương tiện Q và thời gian làm việc L; tuy nhiên, các ràng buộc về khoảng thời gian dự kiến đối với khách hàng có thể bị vi phạm. Các bước liên quan như sau:

Bước 1: Tạo hoán vị ngẫu nhiên của khách hàng 1-N

Bước 2: Dựa vào hoán vị ở Bước 1, khách hàng được thêm vào các tuyến xe theo thứ tự.

Nếu các ràng buộc Q và L bị vi phạm khi thêm khách hàng thứ i, một tuyến xe mới sẽ được tạo và khách hàng thứ i là khách hàng đầu tiên của tuyến tiếp theo.

Lặp lại bước này cho đến khi tất cả khách hàng được thêm vào lộ trình xe

Bước 3: Chèn số 0 trước mỗi tuyến đường của xe. Dựa vào trình tự xây dựng các tuyến đường, chúng được sắp xếp thành một hàng để tạo thành giải pháp ban đầu (Sinitial)

Bước 4: Kết thúc

3.2 Thiết kế tìm kiếm đa vùng lân cận

Cấu trúc nhiều vùng lân cận được thiết kế cho ITSA và chiến lược lựa chọn vùng lân cận ngẫu nhiên đã được áp dụng để thuật toán có thể nhận ra nhiều quyền truy cập vùng lân cận trong một vài bước tìm kiếm; điều này đã giúp đẩy nhanh quá trình tối ưu hóa thuật toán và làm phong phú thêm các giải pháp ứng viên (Scandi). Tại mỗi lần lặp, số lượng Scandi được tạo ra là Nu3 và Nu3¼100pN. ITSA chọn ngẫu nhiên một loại vùng lân cận để chuyển đổi giải pháp hiện tại (Snow) và thực hiện thao tác thống nhất cho khách hàng trong một tuyến đường và giữa các tuyến đường. Chi tiết

các bước như sau. Hai khách hàng khác nhau được chọn ngẫu nhiên mỗi lần (ngoại trừ kho 0) và các tuyến đường tương ứng R1 và R2 của họ được xác định. Theo một quy tắc nhất định, mỗi lần một toán tử được chọn từ năm toán tử lân cận sau. Ví dụ: trong giải pháp S ¼ 0013902405687p, vị trí gạch chân là vị trí của hai khách hàng được chọn ngẫu nhiên j1 và j2 và kết quả chuyển đổi chi tiết như sau.

- (1) Trao đổi Vertex: Trao đổi khách hàng j1 và j2, S0 ¼ 0018902405637p. —
- (2) Chèn chuyển tiếp đỉnh: Chèn khách hàng j1 trước khách hàng j2, S0 ¼ 0019024056387p. —
- (3) Chèn ngược đỉnh: Chèn khách hàng j1 sau khách hàng j2, S0 ¼ 0019024056837p. —
- (4) Đảo ngược đỉnh: Đảo ngược hoán vị giữa khách hàng j1 và j2 (điều này chỉ đề cập đến hoán vị của khách hàng ở R1 và R2; vị trí tương đối của khách hàng trên các tuyến khác không thay đổi), S0 ¼ 0018650024937p, S00 ¼ 001865024937p. — — — —
- (5) Trao đổi đuôi: Tất cả các đỉnh theo sau khách hàng j1 và j2 đều được hoán đổi (điều này chỉ đề cập đến hoán vị của khách hàng trong R1 và R2; vị trí tương đối của khách hàng trên các tuyến khác không thay đổi), S0 ¼ 0018702405639p. — —

Khi các tuyến R1 và R2 giống nhau (tức là chuyển đổi trong một tuyến), một toán tử được chọn từ bốn toán tử lân cận đầu tiên. Khi các tuyến đường R1 và R2 là

khác nhau (tức là chuyển đổi giữa các tuyến đường khác nhau), một toán tử được chọn từ tất cả năm toán tử lân cận.

Sau mỗi phép toán lân cận, nếu nhiều số 0 xuất hiện cùng nhau thì chỉ số 0 đầu tiên được giữ lại và các ràng buộc liên quan sẽ được kiểm tra.

3.3 Đánh giá các giải pháp

Sau mỗi lần lặp, ITSA cần lựa chọn giải pháp tốt nhất (Sbest) và giải pháp hiện tại (Snow) cho lần lặp tiếp theo.

Trong quá trình tối ưu hóa lặp, Sbest phải là một giải pháp khả thi (Sfeasible), còn Snow có thể là một giải pháp không khả thi vi phạm một phần các ràng buộc Q và L.

Tuy nhiên, giá trị K của Snow phải thỏa mãn công thức (10). Trong nghiên cứu này, các hàm Đánh giá của các giải pháp cho OVRTSTWSR được xác định là G ¼ P1 K p P2 F và F ¼ Z p s H, trong đó F tương ứng với chi phí đi lại và P1 và P2 là các khái niệm định tính đại diện cho mức độ ưu tiên P1 [[P2. Nói cách khác, mục tiêu giảm thiểu số lượng phương tiện cần thiết được ưu tiên tuyệt đối. Trong quá trình tối ưu hóa lặp lại, việc so sánh các giải pháp ngày candi đạt được bằng tính toán phân cấp. Các giải pháp có giá trị K nhỏ hơn được xem xét trước tiên và sau đó là các giải pháp có giá trị F nhỏ hơn. Để nâng cao khả năng tối ưu hóa toàn cục của ITSA, thuật toán chấp nhận biến đổi tạo ra giải pháp không khả thi, nhằm chuyển từ giải pháp không khả thi sang tìm kiếm giải pháp khả thi tốt hơn.

các giải pháp. H đại diện cho số lượng tuyến đường không khả thi vi phạm khả năng chịu tải của phương tiện hoặc hạn chế về thời gian làm việc.

ITSA được đề xuất ở đây có khả năng thích ứng. s là hệ số phạt thích ứng, có phạm vi thay đổi s 2 ½20; 2200 và giá trị ban đầu s¼1200. Nếu năm lần lặp liên tiếp tạo ra các giải pháp không khả thi thì s được nhân với hai; tuy nhiên, nếu năm lần lặp liên tiếp tạo ra các giải pháp khả thi thì nó sẽ được chia cho hai. Việc thiết lập hệ số phạt thích ứng cho phép khai thác đầy đủ khả năng tối ưu hóa thông minh của ITSA, đồng thời tạo điều kiện cho việc tìm kiếm thích ứng và lặp lại giữa các giải pháp khả thi và không khả thi, dẫn đến thuật toán tìm kiếm trong vùng lân cận của các giải pháp khả thi.

3.4 Thiết kế danh sách tabu

Trong nghiên cứu này, một danh sách tabu ma trận NN được thiết kế, trong đó các đối tượng tabu là các cặp đỉnh 0j1; j2p trong các hoạt động lân cận và độ dài tabu được lưu trong danh sách tabu. Để tăng tính đa dạng ngẫu nhiên của thuật toán, độ dài tabu trong ITSA được đặt thành số nguyên ngẫu nhiên trong khoảng từ 5 đến 16.

Khi có nghiệm ứng viên (Scandi) tương ứng với cặp đỉnh 0j1; j2p của hoạt động vùng lân cận được chọn làm giải pháp hiện tại (Snow), tabu có liên quan

tình huống được nhập vào phần tử ma trận $\delta_{j1}; j2p$. điều cấm kỵ độ dài được giảm dần sau mỗi lần lặp cho đến khi nó bằng 0. Nếu a Scandi khả thi tốt hơn Sbest, nó được đặt làm Sbest mới và Tuyệt; mặt khác, Scandi tốt nhất không tabu (thỏa mãn $K > Kmin$) được chọn làm Tuyệt mới. Nếu tất cả Scandi đều là tabu, Scandi tốt nhất (thỏa mãn $K > Kmin$) được chọn và đặt nó làm Tuyệt mới. Để tránh quá nhiều điều cấm kỵ, chiến lược khởi tạo lại danh sách điều cấm kỵ được thiết kế trong đó các phần tử của danh sách tabu được đặt thành 0 sau mỗi m lần lặp, trong đó $m = 50$ in nghiên cứu này.

3.5 Tiêu chí dừng

Dựa trên tài liệu OVRP có liên quan [4], có hai điểm dừng tiêu chí được đặt ra trong nghiên cứu này và quá trình lặp lại kết thúc nếu một trong hai điều này được thỏa mãn. Đầu tiên trong số này là khi tổng số lần lặp đạt đến giới hạn trên Nu1 đặt trước, và bộ còn lại giải pháp tốt nhất hiện tại không thay đổi đối với giới hạn trên được đặt trước của các lần lặp Nu2. Để thực hiện TSA thích nghi tốt với các quy mô vấn đề khác nhau, Nu1 và Nu2 được đặt thành các hàm tuyến tính của thang bài toán N với độ lệch nhất định, tức là $Nu1 \approx 4000 \cdot p \cdot 40 \cdot N$ và $Nu2 \approx 2000 \cdot p \cdot 10 \cdot N$.

3.6 Chi tiết thuật toán

ITSA được thiết kế trong khuôn khổ TSA, và thuật toán có thể được mô tả như sau.

- Bước 1: Khởi tạo
- Bước 2: Đọc các thông số và dữ liệu liên quan
- Bước 3: Tạo ngẫu nhiên giải pháp ban đầu (Sinitia), và đặt nó làm giải pháp hiện tại (Snow)
- Bước 4: Trong khi tiêu chí dừng không được đáp ứng, hãy thực hiện
- Bước 5: Trong khi đặt trước số lượng giải pháp ứng viên chưa đạt được, làm

- Bước 6: Theo quy tắc định trước, chọn toán tử từ năm toán tử lân cận cho phép biến đổi
- Bước 7: Thực hiện phép biến đổi vùng lân cận cho Tuyệt, và đặt các giải pháp vùng lân cận mới được tạo là các giải pháp ứng cử viên (Scandi)
- Bước 8: Kết thúc
- Bước 9: Kết hợp các phương pháp trên, đánh giá từng phương pháp Scandi và cập nhật Snow and Sbest theo một quy luật nhất định
- Bước 10: Cập nhật danh sách tabu;
- Bước 11: Kết thúc

4 Kiểm tra thuật toán

4.1 Mô tả và thử nghiệm ví dụ số môi trường

Để xác minh tính hiệu quả của ITSA, các ví dụ bằng số về điểm chuẩn solomon của các lớp C1 và C2 (chứa tổng cộng 17 ví dụ số của C101-C109 và C201-C208) được sử dụng để thử nghiệm, với mỗi ví dụ số bao gồm dữ liệu của một tổng kho và 100 khách hàng. Theo về đặc điểm của các ví dụ số, Khoảng cách Euclide được sử dụng để biểu thị thời gian di chuyển giữa các đỉnh. Trong nghiên cứu này, Matlab 2014a được sử dụng để lập trình và ITSA đã được triển khai trên một Máy tính xách tay LENOVOV3000, với CPU AMD tốc độ 2,40 GHz, Bộ nhớ 4GB. Mỗi ví dụ số đã được kiểm tra mười lần và kết quả tốt nhất đã được ghi lại.

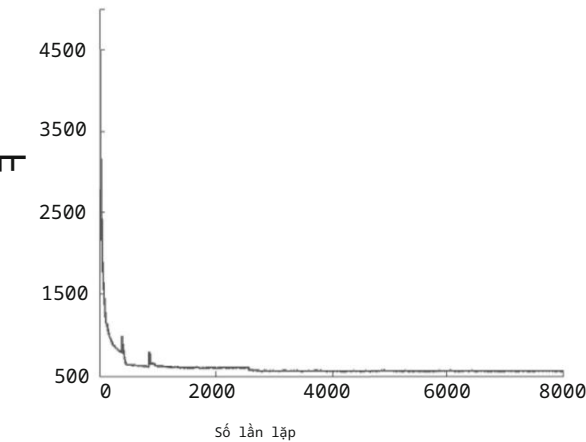
4.2 Phân tích kết quả

Kết quả tính toán cho thấy 17 mẫu được thử nghiệm ví dụ số có độ hội tụ tốt. Trong số đó, có 15 ví dụ (trừ C201 và C203) thỏa mãn $b \approx 100\%$. Lấy C104 làm ví dụ thì chỉ cần 10

Bảng 1 Sơ đồ phân phối cho C104

Số tuyến đường	Đường đi du lịch	Độ dài tuyến đường	Đang tải trọng lượng	Tốc độ tải (%)
1	0-43-42-41-40-44-45-46-48-51-50-52-49-47	46,78	160	80,00
2	0-11-9-6-4-2-1-75	43,81	180	90,00
3	0-16-14-12	57,81	190	95,00
4	0-30-28-26-23-22-21	40,61	170	85,00
5	0-93-97-100-99	62,40	190	95,00
6	0-84-85-88-89-91	53,71	170	85,00
7	0-38-37-35-31	64,45	200	100,00
...	0-73-77-79-80	75,82	150	75,00
9	0-58-60-59	66,83	200	100,00
10	0-72-61-64-68-66-69	43,59	200	100,00

xe có sơ đồ phân phối như trong Bảng 1. chiều dài tuyến nằm trong khoảng 40,61-75,82 và tốc độ tải là trong vòng 75-100%. Sự thay đổi của giá trị F đối với số lần lặp được hiển thị trong Hình 1. Rõ ràng trong Hình 1 rằng đường cong giá trị F giảm nhanh chóng trong 1000 bước đầu tiên của lặp đi lặp lại và trở nên trơn tru ở giai đoạn giữa và có xu hướng ổn định ở giai đoạn muộn, chứng tỏ sự hội tụ của ITSA tương đối tốt.



Hình 1 Giá trị thay đổi của F với số lần lặp của C104

4.3 Phân tích so sánh OVRPSTWSR và OVRPTW

Tài liệu tham khảo [8, 9] sử dụng các ví dụ số tương tự như thế này nghiên cứu để kiểm tra OVRPSTW, và [6, 7] cũ ng nghiên cứu OVRPHTW, có thể được sử dụng để so sánh gián tiếp với OVRPSTWSR. Trong [6-9], kẻ tiến tới tham lam thuật toán (thuật toán Repoussis), tabu đa khởi động ngẫu nhiên thuật toán tìm kiếm (MS-TS), thuật toán di truyền (GA) và thuật toán di truyền cải tiến (IGA) đã được áp dụng tương ứng. Chi tiết về các thuật toán này có thể được tìm thấy trong các tài liệu liên quan và kết quả so sánh các tài liệu này các thuật toán được đưa ra trong Bảng 2.

Rõ ràng từ Bảng 2 rằng ITSA có sức ảnh hưởng tương đối mạnh khả năng tối ưu hóa. Về số lượng phương tiện trong từng ví dụ bằng số trong tài liệu tham khảo [7-9], ITSA đã giảm bớt số lượng xe nhiều nhất, cần ít hơn ba xe hơn trong [6]. Về khoảng cách di chuyển, kết quả của 17 ví dụ cho ITSA tốt hơn những ví dụ trong [6-8]. Ở đó là 14 ví dụ có kết quả tốt hơn hoặc bằng kết quả trong [9]. Tỷ lệ tiết kiệm cự ly trung bình của C1, C2 các lớp lần lượt là 16,59-52,60% và 3,04-60,64%. Chi tiết về những điều này được thể hiện trong Bảng 3. Về mặt khoảng thời gian của khách hàng, hiệu quả hoạt động của ITSA là thấp hơn một chút so với [9], nhưng cao hơn [8]; chỉ có một sự hy sinh nhỏ được thực hiện cho những khoảng thời gian trong C201 (97%) và C203 (99%), nhưng tiết kiệm chi phí khoảng cách tương đối lớn và điều này góp phần giảm

Bảng 2 So sánh các kết quả của ITSA cho OVRPTW với những người khác trong văn học

Pr.	NỎ LÀ MỘT OVRPSTWSR	Cộng hòa [6] OVRPHTW	MS-TSA [7] OVRPHTW	GA [8] OVRPSTW	IGA [9] OVRPSTW
C101	10/556,18/100%	10/709.71	10/698.35	10/556,38/83%	10/556,18/100%
C102	10/556,18/100%	1/10 036,98	10/953.62	10/607,79/88%	10/933,63/100%
C103	10/556,18/100%	1/10 146,89	1/10 004,57	10/647,32/87%	10/789,74/100%
C104	10/555,80/100%	10/907.08	10/871.72	10/717,67/93%	10/775,20/100%
C105	10/556,18/100%	10/695.08	10/695.08	10/708.3/75%	10/556,18/100%
C106	10/556,18/100%	10/871.81	10/728.54	10/613,36/76%	10/556,18/100%
C107	10/556,18/100%	10/679.76	10/705.32	10/625,96/84%	10/556,18/100%
C108	10/555,80/100%	10/843.74	10/735.86	10/671,15/86%	10/555,80/100%
C109	10/555,80/100%	10/745.95	10/730,65	10/697,66/83%	10/555,80/100%
C201	3/549,39/97%	3/670.63	3/664.21	3/690,95/83%	3/606,14/100%
C202	3/551,27/100%	4/971.00	3/849.92	3/706,09/87%	3/614.04/100%
C203	3/553,73/99%	1/4 281,73	1/3 098,57	3/811,40/85%	3/571,57/100%
C204	3/558,35/100%	1/4 245,54	3/768.25	3/594,75/92%	3/564.13/100%
C205	3/545,83/100%	3/694.44	3/697.37	3/694.3/81%	3/545,83/100%
C206	3/549,76/100%	3/796.02	3/723.41	3/614,39/86%	3/545,83/100%
C207	3/546,43/100%	3/725.29	3/715.37	3/724.30/83%	3/545,83/100%
C208	3/550.05/100%	3/691.40	3/678.67	3/676,18/86%	3/545,45/100%

Các kết quả của OVRPSTW được sắp xếp theo số xe/độ dài đường đi/tỷ lệ hài lòng, trong khi hai thuật ngữ đầu tiên được sử dụng cho OVRPHTW

Điện toán cụm

Bảng 3 Độ dài định tuyến so sánh được phân loại theo C1 và C2 cho ITSA và các loại khác thuật toán

Pr.	NÓ LÀ MỘT OVRPSTWSR	Cộng hòa [6] OVRPHTW	MS-TSA [7] OVRPHTW	GA [8] OVRPSTW	IGA [9] OVRPSTW
Khoảng cách trung bình C1 556,05		848,56	791,52	649,51	648,32
Tỷ lệ tiết kiệm C1		52,60%	42,35%	16,81%	16,59%
Khoảng cách trung bình C2 550,60		884,51	774,47	689.05	567,35
Tỷ lệ tiết kiệm C2		60,64%	40,66%	25,14%	3,04%
Tỷ lệ tiết kiệm = (kết quả cho thuật toán so sánh - kết quả cho ITSA)/kết quả cho ITSA					

Bảng 4 Kết quả so sánh OVRPSTWSR và VRPHTW

Pr.	ITSA OVRPSTWSR		HGA [10] VRPHTW				Tất cả các thuật toán [11] P.best của VRPHTW			
	ka	b Ttravel	Kc	tối Kd	Ttravel	Tôi Ttravele K	tối yếu	Ttravel	tối_đi du lịch	
C101	10	556,18	10:70	7,00%	828,94	49,04%	10	0,00%	828,94	49,04%
C102	10	556,18	10:80	8,00%	828,94	49,04%	10	0,00%	828,94	49,04%
C103	10	556,18	10:90	9,00%	831,36	49,48%	10	0,00%	828.06	48,88%
C104	10	555,80	11 giờ 00	10,00%	829,63	49,27%	10	0,00%	824,78	48,40%
C105	10	556,18	11 giờ 20	12,00%	828,94	49,04%	10	0,00%	828,94	49,04%
C106	10	556,18	10:70	7,00%	828,94	49,04%	10	0,00%	828,94	49,04%
C107	10	556,18	11.10	11,00%	828,94	49,04%	10	0,00%	828,94	49,04%
C108	10	555,80	11.10	11,00%	828,94	49,14%	10	0,00%	828,94	49,14%
C109	10	555,80	11 giờ 50	15,00%	830,91	49,50%	10	0,00%	828,94	49,14%

^a K đại diện cho số lượng phương tiện cần thiết
^b Ttravel đại diện cho khoảng cách di chuyển
^c K đại diện cho số lượng xe trung bình được yêu cầu bởi nhiều lần kiểm tra
^d IK đại diện cho tỷ lệ tiết kiệm của K
^e I_Ttravel thể hiện tỷ lệ tiết kiệm của Ttravel
^f IK đại diện cho tỷ lệ tiết kiệm của K

tổng chi phí phân phối. Nhìn chung, ITSA vượt trội hơn các thuật toán khác được sử dụng để so sánh.

4.4 Phân tích so sánh OVRPSTWSR và VRPTW

Trong nghiên cứu về vấn đề định tuyến chăm sóc sức khỏe tại nhà, Shi et al. [10] đã thiết kế một thuật toán di truyền lai (HGA) để kiểm tra VRPHTW cổ điển. Fu và cộng sự. [11] xây dựng một hệ thống thống nhất thuật toán tìm kiếm tabu (UTSA) để giải VRPSTW và so sánh nó với giải pháp tốt nhất đã được công bố của giải pháp cổ điển VRPHTW trong văn học. Trong [11], chiến lược phạt của Loại cửa sổ thời gian mềm thứ hai dành cho VRPSTW (Loại 2 của VRPSTW) cũ ng giống như trong bài viết này. Trong [22], Fu et al. đã sử dụng TSA để giải quyết VRPSTW với việc phân phối theo đơn đặt hàng (VRPSTWSDO). Tài liệu tham khảo [10, 11, 22] đã kiểm tra lớp C1 của bài toán chuẩn solomon (SBP) [17], và tất cả các kết quả tính toán đều thuộc loại C1 của SBP thỏa mãn b ¼ 100%. Vì vậy, kết quả của các tài liệu tham khảo này

[10, 11, 22] có thể gián tiếp so sánh với bài viết này. Kết quả so sánh được thể hiện trong Bảng 4 và 5. Như chúng ta có thể thấy từ Bảng 4 và Bảng 5, mặc dù OVRPTW là vấn đề thư giãn của việc đóng cửa VRPTW, rất khó để có được một giải pháp tốt cho vấn đề này. OVRPSTW từ giải pháp tối ưu toàn cầu của việc đóng VRPSTW bằng cách loại bỏ cạnh quay trở lại kho [23]. So với VRPSTW gần gũi i, OVRPSTW có thể tiết kiệm được rất nhiều chi phí đi lại. Trong thực tiễn của phân phối hậu cần, nếu chúng ta có thể áp dụng chiến lược phân phối tiền thuê xe và cho phép chiếc xe không quay trở lại kho sẽ giúp doanh nghiệp logistics tiết kiệm được nhiều chi phí vận chuyển. Khoảng cách di chuyển giữa OVRPTW và VRPTW rất khác nhau, nhưng sự khác biệt giữa số lượng phương tiện được sử dụng bởi hai là ít. Điều này cho thấy, so với mức đóng cửa VRPSTW, tác dụng của OVRPSTW đối với việc cải thiện tốc độ tải của xe là không rõ ràng.

Bảng 5 Kết quả so sánh của OVRPSTWSR và VRPSTW

Pr.	ITSA OVRPSTWSR ITSA [11]		VRPSTW		TSA [22]		VRPSTWSDO	
	K	Ttravel	KIK	Ttravel	Tôi	Ttravel	KIK	Ttravel
C101	10	556,18	10	0,00% 828,94 49,04%	10	0,00% 828,94 49,04%		
C102	10	556,18	10	0,00% 828,94 49,04%	10	0,00% 828,94 49,04%		
C103	10	556,18	10	0,00% 918,08 65,07%	10	0,00% 828,94 49,04%		
C104	10	555,80	10	0,00% 899,00 61,75%	10	0,00% 858,47 54,46%		
C105	10	556,18	10	0,00% 828,94 49,04%	10	0,00% 828,94 49,04%		
C106	10	556,18	10	0,00% 828,94 49,04%	10	0,00% 828,94 49,04%		
C107	10	556,18	10	0,00% 828,94 49,04%	10	0,00% 828,94 49,04%		
C108	10	555,80	10	0,00% 828,94 49,14%				
C109	10	555,80	10	0,00% 828,94 49,14%				

Bảng 6 So sánh thời gian giải quyết giữa ITSA và TSA

Pr.	ITSAa	TSA [22] ^b	lần
C101	692,47	949,26	1,37
C102	597,57	1034,92	1,73
C103	680,91	2117,89	3.11
C104	526,98	2713,62	5,15
C105	574.01	532,56	0,93
C106	634,70	2094,34	3h30
C107	495,69	2107,46	4,25
trung bình	600,33	1650.01	2,75

^aNền tảng điện toán của ITSA: LENOVO V3000, CUP 2.40 GHz, Matlab2014a

^bNền tảng điện toán của TSA: Core(TM) i3, CPU-2.40 GHz, Matlab7.11.0

OVRPSTW là một vấn đề thư giãn của việc đóng cửa VRPSTW nhưng độ khó của lời giải không hề giảm đi. Trong [6-11, 22], nền tảng điện toán của TSA [22] là gần nhất với chúng ta và thời gian giải quyết của nó (thời gian CPU trong giây) có thể được so sánh gián tiếp với ITSA của chúng tôi. Các thời gian giải quyết trung bình của TSA gấp 2,75 lần ITSA. Vì vậy, tốc độ tính toán tổng thể của ITSA nhanh hơn của TSA. Kết quả so sánh chi tiết được thể hiện ở Bảng 6.

5. Kết Luận

OVRPSTW linh hoạt hơn OVRPHTW và tăng tính linh hoạt của phân phối. OVRPSTWSR Thuộc loại bài toán NP-khó và có phạm vi rộng phạm vi ứng dụng trong lĩnh vực phân phối hậu cần thực tế. Trong nghiên cứu này, một mô hình lập trình toán học hai mục tiêu đã được xây dựng và ITSA được thiết kế cho giải pháp của nó. So sánh các phương pháp được chứng minh rằng ITSA được đề xuất có sức mạnh cạnh tranh mạnh mẽ và có thể giảm số lượng phương tiện cần thiết, rút ngắn

khoảng cách di chuyển và giảm chi phí phân phối hậu cần; điều này có lợi cho sự phát triển của các thuật toán thông minh. Trong ITSA, nhiều cấu trúc lân cận được được thiết kế và chế độ lân cận được ngẫu nhiên được lựa chọn bằng cách sử dụng cơ chế phạt thích ứng và chiến lược khởi tạo lại, giúp cải thiện khả năng tối ưu hóa toàn cầu của thuật toán.

Lời cảm ơn Các tác giả xin cảm ơn Hiệp hội các nhà nghiên cứu Trung Quốc Hậu cần (Cấp: 2016CSLKT3-077), Nghiên cứu cơ bản Kinh phí hỗ trợ các trường Đại học Miền Trung thuộc Đại học Trung Nam (Tài trợ: 2017zzts198).

Người giới thiệu

1. Barkaoui, M., Berger, J., Boukhtouta, A.: Sự hài lòng của khách hàng trong vấn đề định tuyến xe động với cửa sổ thời gian. Ứng dụng. Máy tính mềm. 35, 423-432 (2015)
2. Lai, M., Tong, X.: Một phương pháp siêu hình định tuyến phương tiện vấn đề dựa trên việc tối ưu hóa đàn kiến được cải thiện và Tabu tìm kiếm. J. Ind. Quản lý. Tối ưu. 8(2), 469-484 (2017)
3. Sariklis, D., Powell, S.: Một phương pháp phỏng đoán cho phương tiện mở vấn đề định tuyến. J. Điều hành. Res. Sốc. 51(5), 564-573 (2000)
4. Fu, Z., Eglese, R., Li, LY0: Một phương pháp tìm kiếm tabu mới cho vấn đề định tuyến xe mở. J. Điều hành. Res. Sốc. 56(3), 267-274 (2005)
5. Tarantilis, C., Diakoulaki, D., Kiranoudis, CT: Sự kết hợp của hệ thống thông tin địa lý và thuật toán định tuyến hiệu quả cho các hoạt động phân phối thực tế cuộc sống. Euro. J. Điều hành. Res. 152(2), 437-453 (2004)
6. Repoussis, PP, Tarantilis, CD, Ioannou, G.: Phương tiện mở vấn đề định tuyến với cửa sổ thời gian. J. Điều hành. Res. Sốc. 58(3), 355-367 (2007)
7. Li, SB, Wang, LM: Thuật toán tìm kiếm tabu nhiều lần khởi động cho giải quyết OVRPTW. Máy tính. Anh. 37(6), 187-189 (2011). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3428.2011.06.064>
8. Xiao, TG, Fu, Z.: Thuật toán di truyền cho phương tiện mở vấn đề định tuyến với các cửa sổ thời gian mềm. J. Đường sắt. Khoa học. Anh. 5(2), 79-83 (2008)
9. Duan, FH: OVRPSTW và thuật toán di truyền cải tiến của nó. Công nghệ tiên tiến trong giảng dạy: Kỳ yếu lần 3 năm 2009 Hội nghị quốc tế về giảng dạy và khoa học tính toán (WTCS 2009), Springer Berlin Heidelberg, 117, 249-255 (2012)

10. Shi, Y., Boudouh, T., Grunder, O.: Một thuật toán di truyền lai cho bài toán định tuyến chăm sóc sức khỏe tại nhà với khoảng thời gian và nhu cầu mờ. Hệ thống chuyên gia ứng dụng. 72, 160-176 (2017)

11. Fu, Z., Eglese, R., Li, LY: Thuật toán tìm kiếm tabu thống nhất cho các bài toán định tuyến xe với khoảng thời gian mềm. J. Điều hành. Res. Soc. 59(5), 663-673 (2008)

12. Belfiore, P., Yoshizaki, HTY: Các phương pháp suy nghiệm cho quy mô đội xe và vấn đề định tuyến kết hợp phương tiện với các khoảng thời gian và phân phối giao hàng. Máy tính. Ấn Độ Anh. 64(2), 589-601 (2013)

13. Xia, YK, Fu, Z., Xie, JY: Lập kế hoạch lộ trình phân phối nguyên liệu cho nhiều phương tiện được dẫn hướng tự động với việc giao hàng chia nhỏ theo đơn đặt hàng. Máy tính. Tích phân. Sản xuất. Hệ thống. 23(7), 1520-1528 (2017). <https://doi.org/10.13196/j.cims.2017.07.017>

14. Nishi, T., Izuno, T.: Phương pháp phỏng đoán tạo cột cho các vấn đề về định tuyến và lập kế hoạch vận chuyển đầu thô với các chuyển giao hàng chia nhỏ. Máy tính. Chem. Anh. 60(2), 329-338 (2014)

15. Lai, M., Battarra, M., Francesco, MD, và những người khác: Siêu kinh nghiệm hướng dẫn thích ứng cho vấn đề định tuyến phương tiện có phân tách và truyền ngược theo cụm. J. Điều hành. Res. Soc. 66(7), 1222-1236 (2015)

16. Ghannadpour, SF, Noori, S., Tavakkoli-Moghaddam, R.: Bài toán định tuyến phương tiện động đa mục tiêu với thời gian di chuyển mờ và sự hài lòng của khách hàng trong quản lý chuỗi cung ứng. IEEE Trans. Anh. Quản lý. 60(4), 777-790 (2013)

17. Solomon, MM: Các thuật toán cho bài toán định tuyến phương tiện và bài toán lập kế hoạch với các ràng buộc về khoảng thời gian. Hoạt động. Res. 35(2), 254-265 (1987)

18. Accorsi, R., Gallo, A., Manzini, R.: Mô hình hỗ trợ quyết định dựa trên khi hậu để phân phối các sản phẩm dễ hỏng. J. Sạch sẽ. Sản phẩm. 165, 917-929 (2017)

19. Brito, J., Martinez, FJ, Moreno, JA, và các cộng sự: Một siêu dữ liệu lai ACO cho các bài toán định tuyến phương tiện đóng mở với các khoảng thời gian và ràng buộc mờ. Ứng dụng. Máy tính mềm. 32, 154-163 (2015)

20. Quintero-Araujo, CL, Caballero-Villalobos, JP, Juan, AA, và những người khác: Một siêu dữ liệu sai lệch-ngẫu nhiên cho bài toán định tuyến vị trí có điện dung. Int. Dịch. Hoạt động. Res. 24(5), 1079-1098 (2017)

21. Bae, J., Chung, W.: Một phương pháp phỏng đoán cho bài toán định tuyến phương tiện được hướng dẫn tự động không đồng nhất. Int. J. Chính xác. Anh. Sản xuất. 18(6), 795-801 (2017)

22. Fu, Z., Liu, W., Qiu, M.: Thuật toán tìm kiếm tabu cho bài toán định tuyến phương tiện với các khoảng thời gian mềm và phân chia việc giao hàng theo đơn hàng. Cái cầm. J. Quản lý. Khoa học. 25(5), 78-86 (2017). <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2017.05.010>

23. Syslo, M., Deo, N., Kowalski, J.: Thuật toán tối ưu hóa rời rạc với chương trình Pascal. Hội trường Prentice, New York (1983)

24. Wang, JY, Xu, HC: Tối ưu hóa tuyến đường vận chuyển với đối tượng chi phí ở Trung Quốc. Cụm. Máy tính. 19(3), 1489-1501 (2016)

25. Wei, M., Sun, B.: Mô hình lập trình hai cấp độ cho lịch trình xe buýt khu vực đa phương thức và điều phối phương tiện với thời gian di chuyển ngẫu nhiên. Cụm. Máy tính. 20(1), 401-411 (2017)



Yangkun Xia lần lượt nhận được bằng Cử nhân và Thạc sĩ của Đại học Lâm nghiệp và Công nghệ Trung Nam vào năm 2013 và 2015. Bây giờ anh ấy là tiến sĩ. ứng viên vào Đại học Trung Nam. Mối quan tâm nghiên cứu chính của ông bao gồm tối ưu hóa hệ thống logistic, lập kế hoạch vận chuyển, nghiên cứu hoạt động và thông minh.

tin học.



Zhuo Fu Nhận bằng Cử nhân năm 1982 tại Đại học Đường sắt Trường Sa, nhận bằng Tiến sĩ. tốt nghiệp năm 2003 tại Đại học Trung Nam. Bây giờ ông là giáo sư và tiến sĩ. giảng viên tại trường Đại học Trung Nam. Mối quan tâm nghiên cứu chính của ông bao gồm tối ưu hóa hệ thống hậu cần, lập kế hoạch vận tải, nghiên cứu hoạt động và thuật toán tối ưu hóa.