Tối ưu hóa biểu đồ chạy tàu trong mạng lưới đường sắt

TS. LÊ CÔNG THÀNH
Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bài báo đưa ra ví dụ tính toán tối ưu khi thiết lập biểu đồ chạy tàu trên đường sắt với mục tiêu giảm thiểu thời gian chiếm dụng khi tổ chức chạy tàu giữa các ga. Việc tiết kiệm thời gian trong việc tổ chức chạy tàu, trong nhiều trường hợp sẽ góp phần nâng cao năng lực thông qua trên các đoạn tuyến mà không cần phải tăng thêm kinh phí đầu tư.

TỪ KHÓA: Năng lực thông qua, đồ thị chạy tàu, biểu đồ chạy tàu

ABSTRACT: The article gives an example of optimal calculation when setting up a train chart on the railway with the goal of reducing the time spent when running trains between stations. Saving time in organizing the train operation, in many cases, will contribute to improving the capacity of passage on the sections without increasing the investment cost.

KEYWORDS: Throughput capacity, train graphs, train chart

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề lập kế hoạch giao thông đường sắt luôn được các chuyên gia trong Ngành quan tâm, đặc biệt là về biểu đồ chạy tàu bởi vì biểu đồ chạy tàu thể hiện giá trị không thể thay thế được trong việc quản lý và sắp xếp lịch trình của tàu. Trên thế giới, ở các nước có đường sắt phát triển cũng như ở Việt Nam điều này vẫn luôn đúng. Không khó để nghiên cứu hệ thống vận tải hàng hóa ở nước ta hiện nay và thấy rằng, các tuyến đường sắt cần phải được phát triển chiếm vai trò lớn hơn và chiếm tỉ trọng cao hơn trong tổng khối lượng vận chuyển hàng hóa của đất nước. Với mục tiêu sử dụng hết công suất các tuyến đường hiện có cần giải quyết nhiều vấn đề phát sinh trong phát triển mạng lưới đường sắt cũng như trong quá trình vận chuyển.

Việc nhiên cứu giải pháp tối ưu biểu đồ chạy tàu cho phép không chỉ tránh chi phí bổ sung mà còn đạt được lợi nhuận tối đa trong việc vận chuyển hàng hóa.

2. NỘI DUNG

Hệ thống đường sắt thể hiện như một mạng liên kết có cấu trúc không đồng nhất. Khi xem xét chi tiết về cấu trúc của toàn bộ mạng lưới đường sắt, có thể chia ra nhiều phần của mạng lưới, khác nhau về số lượng đường ray, cấu trúc kết nối với các ga lập tàu... Những vấn đề đó đòi hỏi cần các cách tiếp cận khác nhau. Do đó, có thể đưa ra phương thức hợp lý giải quyết các vấn đề này như sau:

- Nghiên cứu tất cả các tính năng và đặc điểm của mạng lưới đường sắt trên các đoạn của nó;
- Xác định các đoạn trên mạng lưới đường sắt có cấu trúc tương tự nhau;
- Chia tất cả các khu gian thành các nhóm nhất định;
- Đưa ra một mô tả rõ ràng và định dạng công thức toán học cho từng nhóm;
- Đề xuất các thuật toán để giải quyết các vấn đề.

Với cách phân loại trên của mạng lưới đường sắt sẽ có một số bài toán, được coi là đơn giản theo nghĩa là sẽ có một định dạng công thức toán học cụ thể tồn tại và giải được (trong một số trường hợp có thể là công thức gần đúng). Thoạt nhìn, dường như mỗi bài toán như vậy đều dễ dàng được giải quyết, nhưng thực tế trên đường sắt Việt Nam khi xem xét bài toán đơn giản nhất, chẳng hạn như bài toán lên đồ thị chạy tàu giữa hai ga được kết nối bằng tuyến đường sắt đơn, sẽ nảy sinh vấn đề.

Trong phần lớn các bài toán nhận được sẽ phát sinh các hàm mục tiêu: tăng khả năng thông qua của một đoạn đường sắt, tối đa hóa lợi nhuận khi vận chuyển các loại hàng hóa, giảm thiểu tiền phạt, giảm thiểu sự chậm trễ của tàu trên hành trình...

Để đạt được các mục tiêu cần phải ứng dụng các thuật toán mới cho phép tìm ra giải pháp tốt nhất. Các đoạn đường sắt có số đường hạn chế làm giảm khả năng thông qua, nhất là trong trường hợp chỉ có một đường như trên đường sắt quốc gia của Việt Nam. Các đoạn này của mạng lưới đường sắt thường làm giảm khả năng thông qua, do đó nó được gọi là một nút thắt cổ chai. Trong bài báo đề xuất thuật toán để tối ưu hóa chuyển động của các đoàn tàu trên một đoạn đường đơn của mạng lưới đường sắt, ứng dụng để giải quyết bài toán vận tải tại các nút thắt cổ chai.

2.1. Công thức toán học của bài toán thắt cổ chai trong mạng lưới đường sắt

Xem xét vấn đề hình thành biểu đồ chạy tàu giữa các ga được kết nối với nhau bằng đường đơn.

Giả sử rằng đã biết các tham số sau đây:

$N = N_1 \cup N_2$ - tập hợp các chuyến tàu;

$N_1 = \{1, 2, ...n\}$ - tập hợp các chuyến tàu đến nhà ga đầu tiên;

$N_2 = \{1, 2, ...m\}$ - tập hợp các chuyến tàu đến nhà ga thứ hai;

r_i^1 - thời gian chuyến tàu i ($i \in N_1$) đến nhà ga thứ nhất để gửi đến nhà ga thứ hai;

r_j^2 - thời gian chuyến tàu j ($j \in N_2$) đến nhà ga thứ hai để gửi đến nhà ga thứ nhất;

d_i^1 - thời hạn đến chỉ thị của tàu i từ ga thứ nhất đến ga thứ hai;

d_j^2 - thời hạn đến chỉ thị của tàu j từ nhà ga thứ hai đến nhà ga thứ nhất;

Giả sử rằng $d_i^s = r_i^s + p$, $s \in \{1, 2\}$, p - thời gian vận chuyển của tàu có tải hàng (giả sử rằng p - giá trị không đổi bằng tỷ lệ khoảng cách giữa hai ga với tốc đô chuyển động trung bình của đoàn tàu). Khi các đoàn tàu di chuyển cùng hướng giữa các đoàn tàu chạy nối tiếp theo cụm, cần tuân thủ điều kiện về khoảng giãn cách $\delta \geq 0$ đơn vị thời gian.

Cần phải sắp xếp thời gian biểu π biểu đồ chạy tàu giữa hai nhà ga, từ đó tính toán khoảng thời gian S_i^1, S_j^2 gửi chuyến tàu i từ nhà ga thứ nhất tới nhà ga thứ hai và tương ứng chuyến tàu j từ nhà ga thứ hai tới nhà ga thứ nhất.

Biểu thị qua công thức $C_i^1 = S_i^1 + p$, $C_j^2 = S_j^2 + p$ thời gian đến của chuyến tàu đến vị trí đón nhận tàu.

Cần phải tính toán khoảng thời gian khởi hành từ nhà ga 1 đến nhà ga 2 và ngược lại, từ đó hợp lý tổng thời gian chậm trễ nhỏ nhất của các chuyến tàu.

Lựa chọn hàm mục tiêu là tổng thời gian chậm trễ nhỏ nhất của các chuyến tàu.

Hàm tổng thời gian chậm trễ có liên quan đến các công ty đường sắt tham gia vân tải hàng hóa, vì trong trường hợp không đáp ứng được thời hạn giao hàng, công ty hoàn trả tiền phạt, phát sinh tổn thất.

** Giải bài toán*

Biểu đồ chay tàu được chấp nhân trước tiên sẽ được lưa chọn như sau. Ở bước đầu tiên, các chuyến tàu đến từ nhà ga thứ hai sẽ được gửi cùng một lúc vào thời điểm $S_1 = r_m^2$, đồng thời có đó trễ ban đầu của tất cả các tàu tại ga thứ hai $F_1^2(S_1)$, với:

$$F_1^2(t) = \sum_{j=1}^{m} (t - r_j^2)$$

Khi đó, các tàu của ga đầu tiên đi không chậm trễ nếu $r_i^1 \leq S_1 - p$ hoặc $r_i^1 \geq S_1 + p$. Mặt khác, tổng độ trễ của các tàu của ga đầu tiên sẽ bằng nhau $F_1^1(S_1)$, với:

$$F_1^1(t) = \sum_{i \in I(t)} p - (r_i - t)$$

$$I(t) = \{i : t - p < r_i < t + p\}$$

Tiếp theo, xét khoảng thời gian $t \in T$, $t \geq S_1$. Chon S_1^* khi đạt giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu $F_1(t) = F_1^1(t) + F_1^2(t)$. Với π_1 - lịch trình thu được trong trường hợp này.

Ở bước thứ hai, sửa thời gian khởi hành tàu m trong trang thái S_1^*, còn để cho m-1 chuyến còn lại đặt trong khoảng S_2^*, $r_{m-1}^2 \leq S_2 \leq S_1^*$, khi đạt được giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu.

Giả sử đã xác đinh các thời điểm $S_k^* \leq S_{k-1}^* \leq \ldots \leq S_2^* \leq S_1^*$ gửi chuyến tàu từ ga 2 (khi đó chuyến đầu tiên (m-k+1) được gửi trong khoảng thời gian S_k^*). Đăt $\tau_1^k \leq \tau_2^k \leq \ldots \leq \tau_{n-1}^k \leq \tau_n^k$ khoảng thời gian gửi chuyến tàu của ga đầu tiên, tương ứng với lich trình π_k, được sắp xếp ở bước k.

Ở bước k+1 chỉnh sửa thời gian gửi chuyến tàu $S_k^* \leq S_{k-1}^* \leq \ldots \leq S_2^*$, S_1^* của bến thứ hai và dành cho m-k giữ lại thời gian khởi hành, sắp xếp khoảng thời gian có thể $t \in T$, $r_{m-k}^2 \leq t \leq S_k^*$. Tổng độ trẻ của các tàu của ga thứ hai trong trường hợp này được tính theo công thức:

$$F_{k+1}^2(t) = \sum_{j=1}^{k} (S_j^* - r_{m-j+1}^2) + \sum_{j=1}^{m-k} (t - r_j^2)$$

Ở đây ta thấy được rằng, lich trình các chuyến tàu của nhà ga đầu tiên thay đổi như thế nào trong trường hợp này. Biểu thị bằng $J^{k+1}(t) = \{i : t - p \leq r_i^k \leq t + p\}$ bộ thời gian khởi hành cho các chuyến tàu của ga đầu tiên, phải thay đổi khi các chuyến tàu khởi hành từ ga thứ hai tại thời điểm t. Xác định lịch trình tàu mới cho ga đầu tiên như sau:

$$\tau_i^{k+1} = \begin{cases} \tau_i^k, khi\_i \notin J^k(t), \\ t + p, khi\_i \in J^k(t), S_1^* - t \geq 2p; \\ \tau_{q+1}^k, khi\_i \in J^k(t), S_1^* - t < 2p. \end{cases}$$

với $q = \max\{i : i \in J^k(t)\}$.

Tổng độ trể của các tàu của ga đầu tiên được tính theo công thức:

$$F_{k+1}^1(t) = \sum_{i=1}^{n} (\tau_i^{k+1}(t) - r_i^1)$$

Trong những khoảng thời điểm $t \in T$, $r_{m-k}^2 \leq t \leq S_k^*$ chọn môt giá tri, trong đó để đạt được độ trễ nhỏ nhất cho chuyến tàu $F_{k+1}(t) = F_{k+1}^1(t) + F_{k+1}^2(t)$. Kết quả là, chúng ta có được môt chuỗi các giá trị không tăng của hàm mục tiêu của bài toán $F_1 \geq F_2 \geq \ldots \geq F_{m-1} \geq F_m$, mỗi trong số đó tương ứng với một lich trình tối ưu.

2.2. Ví dụ tính toán

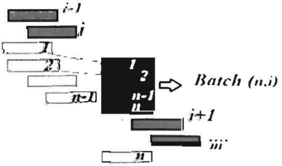
Xem xét một ví du minh hoa tiến trình của thuát toán. Trước hết, chúng tôi giới thiệu định nghĩa sau:

* Định nghĩa*:*

Batch(k,i) - tập hợp cụm xe chứa k chuyến tàu, khởi hành từ ga xác định (1 hoặc 2) trong cùng một khoảng thời gian S_k^i, với:

$$S_k^i = \max\{r_k^2, r_i^1 + p\}$$

Giả sử một tập hợp các yêu cầu đón tàu tại ga đầu tiên $N_1 = \{1, 2, \ldots n\}$ và tập hợp các yêu cầu đón tàu tai ga thứ hai $N_2 = \{1, 2, \ldots mn\}$. Chúng tôi sắp xếp tất cả các yêu cầu này theo các thời điểm nhận tăng dần r và biểu thi đầy đủ các yêu cầu đó trong *Hình 2.1*. Hình vẽ sẽ đại diên cho nhiều hình chữ nhật giống hệt nhau, vì thời gian tác nghiệp là tương đương nhau. Sự khác biệt giữa các hình chữ nhật là chúng thuộc về các ga khác nhau, do đó chúng có thể được phân biệt một cách có điều kiện bằng màu sắc.



Hình 2.1

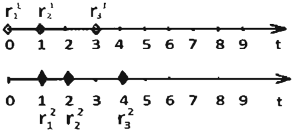
Hình 2.1 cho thấy rất nhiều yêu cầu 1,2,...,n đến ga 2 và nhiều yêu cầu i-1, i...,m, đến ga 1 và *Batch*(n,l) - cấu trúc, đó là một hình chữ nhật xếp lớp có n yêu cầu đến ga 2. Chỉ số đầu tiên trong định nghĩa cho biết số lượng tàu trong lô, chỉ số thứ hai cho biết vị trí tương đối của các tàu của ga đầu tiên i.

Ví dụ:

Giả sử các đặc điểm tàu sau đây có sẵn:

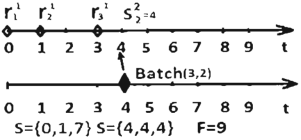
$r_0^1 = 0, r_2^1 = 1, r_3^1 = 3, r_1^2 = 1, r_2^2 = 2, r_3^2 = 4, p = 3$ *(Hình 2.2)*

Hình 2.2 cho thấy khoảng thời gian khi tàu đến ga. Hình trên mô tả các đoàn tàu của ga 1. Hình dưới - các đoàn tàu của ga 2.



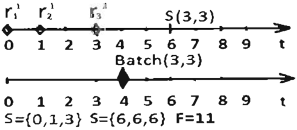
Hình 2.2

Bước đầu tiên cần tạo một *Batch*, bao gồm tất cả các tàu của ga thứ hai - *Batch* (3,2). Xác định thời điểm khởi hành S = 4. *Batch* này có chỉ số 3 và 2, đó là 3 tàu và nhận vị trí sau chuyến tàu thứ 2 của ga đầu tiên (với điều kiện p là 3 đơn vị thời gian). Hàm mục tiêu khi đó sẽ bằng 9.



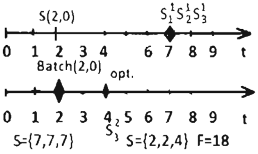
Hình 2.3

Ở bước thứ hai hình thành *Batch*, bao gồm tất cả các tàu ga thứ hai - *Batch* (3,3). Xác định thời điểm khởi hành của nó S = 6. *Batch* có chỉ số 3 và 3, đó là 3 tàu và nhận vị trí sau chuyến tàu thứ 3 của ga đầu tiên (với điều kiện p là 3 đơn vị thời gian). Hàm mục tiêu bằng 11.



Hình 2.4

Ở bước thứ ba, tiến hành từ các kết quả thu được bằng cách chọn giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu (giá trị 9). Do đó, sửa vị trí của chuyến tàu mới nhất từ tập hợp của nhà ga thứ hai ở vị trí có giá trị S = 4. Tiếp theo ta xem xét *Batch* tạo nên từ hai chuyến tàu của nhà ga thứ hai. Ta có được *Batch* (2,0). Batch có chỉ số 2 và 0, vì nó bao gồm 2 tàu và nhận vị trí sau chuyến tàu thứ 0 của ga đầu tiên (với điều kiện p là 3 đơn vị thời gian). Hàm mục tiêu khi đó có giá trị bằng 18.



Hình 2.5

Thực hiện thủ tục như vậy để đạt được *Batch* (1,0), ta sẽ tìm thấy tập hợp giá trị của hàm mục tiêu tương ứng với các vị trí khác nhau và các tàu cố định khác nhau. Bằng cách chọn nhỏ nhất trong tập hợp trên, ta chọn được ra lịch trình tối ưu nhất.

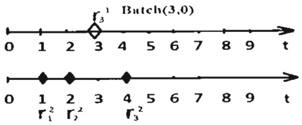
Tìm thấy lịch trình tối ưu:

$r_1^1 = 0, r_2^1 = 1, r_3^1 = 7, r_1^2 = 4, r_2^2 = 4, r_3^2 = 4, F = 9$

Thuật toán nghịch đảo:

Điều quan trọng cần lưu ý là quy trình được mô tả hoạt động với các tàu của ga thứ hai. Bây giờ, khi tạo ra các lô tàu, bao gồm các tàu của ga đầu tiên, ta sẽ vận hành với các tàu của ga đầu tiên, trong một số trường hợp, nhận được giá trị thấp hơn của hàm mục tiêu. Một bổ sung cần thiết như vậy sẽ được gọi là nghịch đảo của thuật toán.

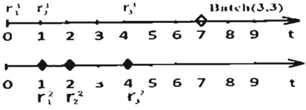
Vì vậy, trong ví dụ 1 trong bước đầu tiên chúng ta sẽ hình thành "*Batch*", bao gồm tất cả các tàu của ga đầu tiên - *Batch* (3,0). Xác định thời điểm khởi hành của nó S = 3. *Batch* có chỉ số 3 và 0, tương ứng với 3 tàu và nhận vị trí sau tàu thứ 0 của ga thứ hai (với điều kiện p là 3 đơn vị thời gian) *(Hình 2.6)*.



Hình 2.6

Ở bước thứ 2 ta hình thành *Batch*, bao gồm các tàu của nhà ga thứ hai - *Batch* (3,3). Xác định thời điểm khởi hành S = 7. *Batch* có các đối số 3 và 3, với 3 tàu nhận vị trí sau tàu thứ 3 của ga thứ hai (với điều kiện p là 3 đơn vị thời gian).

Số lượng *Batch* là n^2, vì vậy độ phức tạp của thuật toán là $0(n^2)$ hoạt động.



Hình 2.7: Thí nghiệm tính toán

Bảng 2.1 cho thấy kết quả của một thí nghiệm tính toán so sánh kết quả của thuật toán trực tiếp và nghịch đảo.

Bảng 2.1. So sánh các giá trị của hàm mục tiêu khi sử dụng phương pháp trực tiếp và nghịch đảo của thuật toán

Số chuyến tàu tới nhà ga thứ nhất	Số chuyến tàu tới nhà ga thứ hai	Giá trị của hàm mục tiêu khi "kết hợp" các chuyến tàu của nhà ga thứ hai	Giá trị của hàm mục tiêu khi "kết hợp" các chuyến tàu của nhà ga thứ nhất
5	5	**9**	11
10	10	44	**38**
15	15	**64**	65
20	20	**84**	88
25	25	110	**108**
30	30	134	**128**
50	50	**202**	218

3. KẾT LUẬN

Có thể dễ dàng nhận thấy từ bảng rằng các giá trị tối thiểu của hàm mục tiêu (giá trị số được in đậm) đạt được khi các tàu của ga thứ nhất và thứ hai được "kết hợp" với nhau. Hơn nữa, cần xem xét đồng thời cả hai hướng vào ga. Lưu ý rằng, trong mọi trường hợp đều có thể có được giải pháp tối ưu.

Tài liệu tham khảo

[1]. Lê Công Thành (2013), *Thiết kế ga đường sắt đô thị*, Bài giảng Đại học GTVT.

[2]. Nguyễn Ngọc Chương (2004), *Phân tích tính toán ga và đầu mối đường sắt*, Bài giảng Đại học GTVT.

Ngày nhận bài: 18/01/2020
Ngày chấp nhận đăng: 20/02/2020
Người phản biện: TS. Trương Trọng Vương
ThS. Nguyễn Mạnh Hùng