

Điều độ hoạt động của cần cầu bờ cảng hàng hỗn hợp tại Việt Nam

Nguyễn Vũ Anh Duy, Phan Thị Mai Hà

Tóm tắt — Cần cầu bờ là thiết bị chất và dỡ hàng hóa từ tàu xuống xe tải của cảng và ngược lại. Năng suất của cầu bờ ảnh hưởng trực tiếp tới năng suất vận hành của cảng. Tại Việt Nam, do đặc thù các cảng của chúng ta, hàng hóa đến cảng không phải chỉ hàng hóa được đóng trong container như các cảng lớn trên thế giới, còn có những hàng hóa rời, hàng siêu trường siêu trọng được vận chuyển không đóng container. Nghiên cứu này tập trung vào vấn đề điều độ hoạt động của cần cầu bờ tại các cảng hàng hóa vừa được đóng trong container, vừa có hàng hóa không đóng trong container, hàng rời, hàng siêu trường siêu trọng, cảng hàng hóa hỗn hợp. Trong bài báo, mô hình toán của vấn đề điều độ cần cầu bờ sẽ được thành lập. Giải thuật meta-heuristic sẽ được áp dụng để tìm nghiệm của bài toán trong thời gian tính toán hợp lý. Và giải thuật sẽ được đánh giá thông qua thực nghiệm số.

Từ khóa - Điều độ, cần cầu bờ, cảng hàng hỗn hợp, meta-heuristic.

1 GIỚI THIỆU

Trong bài báo này chúng tôi sẽ nghiên cứu về việc điều độ hoạt động của cần cầu bờ tại cảng biển hoặc sông (hình 1). Với đặc thù của các cảng của nước ta, các tàu vận chuyển không chỉ mang theo toàn container, nhưng có nhiều hàng hóa khác nhau cùng vận chuyển trên một tàu. Các hàng hóa đó có thể có một phần được đóng gói trong container, một phần để riêng lẻ.

Trên thế giới việc nghiên cứu hoạt động điều độ của cần cầu bờ (Quay Crane Scheduling Problems)

Bài báo này được gửi vào ngày 20 tháng 07 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 20 tháng 09 năm 2017.

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T-CK-2017-01

Nguyễn Vũ Anh Duy, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM (Email: nvaduy@hcmut.edu.vn)

Phan Thị Mai Hà, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

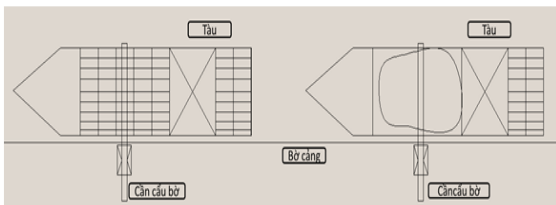
đã được nghiên cứu từ lâu. Công trình của Daganzo [1] là nghiên cứu đầu tiên về hoạt động điều độ của cần cầu bờ. Tác giả này đã đề xuất một giải thuật để xác định số lượng cần cầu bờ để làm việc ở các khoan của nhiều tàu cùng lúc. Trong nghiên cứu này tác giả đã giả sử mỗi một khoang tàu là một nhiệm vụ đối với cần cầu. Công trình [3] đã nghiên cứu hoạt động đồng thời của nhiều cần cầu bờ hoạt động chung với nhau với ràng buộc các cần cầu không được chồng lấn vùng làm việc với nhau. Trong nghiên cứu của Kim và Park một khoang tàu được chia làm nhiều nhiệm vụ. Nhóm tác giả đã dùng hai giải thuật để xác định trình tự làm việc cho các cần cầu bờ đó là Brach and Bound và giải thuật kinh nghiệm (GRASP, Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) với mục tiêu là cực tiểu thời gian phục vụ cho tàu vào cảng (makespan). Ràng buộc không chồng lấn vùng làm việc cũng được nghiên cứu ở những nghiên cứu khác như [5] và [8]. Trong nghiên cứu [5] vấn đề được mô hình hóa tương tự như vấn đề biểu đồ kết hợp song phương (bipartite graph matching problem). Trong đó mỗi nhiệm vụ của cần cầu được xem như một điểm và trọng số các cạnh kết nối của các điểm được xác định như là đại lượng đặc trưng cho khoảng cách từ cần cầu tới nhiệm vụ. Hơn nữa, vấn đề được diễn giải với những ràng buộc phức tạp hơn. Vấn đề được giải quyết thông qua giải thuật qui hoạch động (Dynamic programming) và giải thuật tabu search. Bởi vì mô hình được lập dựa trên giá trị lợi nhuận của các nhiệm vụ, vốn khó khăn trong việc áp dụng vào thực tế, nên việc ứng dụng nghiên cứu này vào đời thực không dễ dàng. Nghiên cứu [6] cải tiến mô hình của [3], nhờ đó tác giả đã giải được tối ưu cho các bài toán vừa và nhỏ. Nhóm tác giả đã phát triển giải thuật Branch and Cut để tìm lời giải tối ưu cho các bài toán lớn hơn. Bên cạnh đó một số nghiên cứu khác cố gắng cải tiến từ mô hình của [3] như [2], [4] và [7].

Tóm lại, trên thế giới vấn đề điều độ cần cầu bờ không phải là vấn đề mới, nó đã được nhiều tác giả quan tâm và nghiên cứu. Nhưng không có nghiên cứu nào đề cập đến vấn đề tương tự như tình hình thực tế các cảng ở nước ta. Khi một tàu đến cảng, một tàu có nhiều loại hàng hóa khác nhau cần phải dỡ tải và chất tải tại cảng. Những loại hàng hóa khác nhau lại đòi hỏi những thiết bị phục vụ khác nhau. Trong nước ta hiện nay vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về vấn đề này, nên việc nghiên cứu hoạt động ở bờ cảng là vô cùng cần thiết để nâng cao năng suất và giảm chi phí vận hành.

Thành phố Hồ Chí Minh có rất nhiều cảng, nhưng việc áp dụng kỹ thuật hậu cần, Logistic, ở đây vẫn chưa được phát triển nhiều. Việc xếp dỡ container lên và xuống tàu đa số phụ thuộc vào kinh nghiệm của công nhân lái cần cầu bờ. Với cách vận hành như vậy, năng suất của việc xếp dỡ container lên và xuống tàu không cao, thời gian chờ đợi giữa các lần nâng hạ lớn, phải dịch chuyển nhiều lần các container trong một chu kỳ làm việc (rehandling).

Việc xếp dỡ phụ thuộc vào kinh nghiệm của lái cầu, dẫn đến năng suất lao động phụ thuộc nhiều vào con người dẫn đến việc năng suất phục vụ tàu đến và ra khỏi cảng không ổn định, đôi khi làm trễ giờ khởi hành của tàu. Ngoài ra việc quản lý nhận sự và đào tạo cho nhân viên lái cầu cũng mất nhiều thời gian và chi phí hơn.

Bài báo được viết theo trình tự sau: phần 2 mô hình toán của vấn đề được thành lập, trong phần 3, giải thuật Simulated Annealing (SA) được đề xuất để giải bài toán, phần 4 đánh giá sự hiệu quả của giải thuật và phần 5 đưa ra kết luận của nghiên cứu



Hình 1. Cần cầu bờ

2 MÔ HÌNH TOÁN

Vấn đề điều độ cần cầu bờ trong cảng hàng hóa hỗn hợp tại Việt Nam được mô hình như sau.

Chú thích ký hiệu:

i, j	Chỉ số công việc
k	Chỉ số cần cầu, $k = 1, \dots, K$

p_i^k	Thời gian để cần cầu k thực hiện công việc i
r_k	Thời gian sẵn sàng của cần cầu k
t_{ij}^k	Thời gian cần cầu k di chuyển từ vị trí của công việc i tới công vị trí công việc j
l_i	Vị trí của công việc i
M	Số đủ lớn
Ω	Tập hợp tất cả công việc
Φ	Tập hợp những cặp công việc, (i, j) , có mối quan hệ trước sau
Ψ	Tập hợp những cặp công việc (i, j) , không được tiến hành cùng nhau
Biên quyết định	
X_{ij}^k	$= 1$, nếu công việc i được tiến hành ngay trước công việc j bởi cần cầu k $= 0$, những trường hợp khác
Y_k	Thời điểm hoàn thành công việc của cần cầu k
D_i	Thời điểm hoàn thành công việc i
Z_{ij}	$= 1$, nếu công việc j bắt đầu sau khi công việc i hoàn thành, $= 0$, những trường hợp khác
W	Thời điểm tất cả công việc hoàn thành

Hàm mục tiêu:

$$\text{Min} : \alpha_1 W + \alpha_2 \sum_{k=1}^K Y_k \tag{1}$$

Ràng buộc:

$$Y_k \leq W \quad \forall k = 1, \dots, K \tag{2}$$

$$M(X_{i\tau}^k - 1) + D_i + t_{i\tau}^k \leq Y_k \tag{3}$$

$$\forall i \in \Omega, k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{i \in \Omega} X_{0i}^k = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K \tag{4}$$

$$\sum_{i \in \Omega} X_{i\tau}^k = 1 \quad \forall k = 1, \dots, K \tag{5}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i \in \Omega \cup \{0\}} X_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \Omega \tag{6}$$

$$\sum_{i \in \Omega \cup \{0\}} X_{ij}^k - \sum_{i \in \Omega \cup \{T\}} X_{ji}^k = 0 \tag{7}$$

$$\forall k = 1, \dots, K, j \in \Omega$$

$$D_i + p_j^k + t_{ij}^k - D_j \leq (1 - X_{ij}^k)M \tag{8}$$

$$\forall k = 1, \dots, K, i, j \in \Omega$$

$$D_i + p_j^k - D_j \leq (1 - X_{ij}^k)M \tag{9}$$

$$\forall (i, j) \in \Phi$$

$$D_i - D_j + \sum_{k=1}^K \sum_{u \in \Omega} X_{uj}^k p_j^k \leq (1 - Z_{ij})M \tag{10}$$

$$\forall i, j \in \Omega$$

$$D_j - D_i - \sum_{k=1}^K \sum_{u \in \Omega} X_{uj}^k p_j^k - Z_{ij} M < 0 \quad (11)$$

$$\forall i, j \in \Omega$$

$$Z_{ij} + Z_{ji} = 1 \quad \forall (i, j) \in \Psi \quad (12)$$

$$\sum_{v=1}^k \sum_{u \in \Omega} X_{uj}^v - \sum_{v=1}^k \sum_{u \in \Omega} X_{ui}^v \leq (Z_{ij} + Z_{ji}) M \quad (13)$$

$$\forall i, j \in \Omega, l_i < l_j, k = 1, \dots, K$$

$$r_k - D_j + t_{0j}^k + p_j^k \leq (1 - X_{0j}^k) M \quad (14)$$

$$\forall k = 1, \dots, K, j \in \Omega$$

$$X_{ij}^k, Z_{ij} = 0 \text{ hoặc } 1$$

$$\forall i, j \in \Omega, k = 1, \dots, K \quad (15)$$

$$Y_k, D_i \geq 0 \quad \forall i \in \Omega, k = 1, \dots, K \quad (16)$$

Công thức (1) hàm mục tiêu của bài toán tối ưu, α_1 và α_2 là trọng số của thời gian hoàn thành tất cả công việc và tổng thời gian hoàn thành công việc của các cần cầu. Thông thường $\alpha_1 \gg \alpha_2$. Ở đây ta chọn $\alpha_1 = 10, \alpha_2 = 1$. (2) ràng buộc thể hiện mối quan hệ giữa thời gian hoàn thành tất cả công việc và thời gian hoàn thành công việc của từng cần cầu. (3) thể hiện giá trị của thời gian hoàn thành công việc của từng cần cầu, trong đó T thể hiện công việc cuối cùng được hoàn thành (4) và (5) thể hiện, chỉ có một công việc được tiếp nối sau công việc bắt đầu hoặc ngược lại chỉ có một công việc trước khi công việc kết thúc được tiến hành. 0 thể hiện công việc bắt đầu. Ràng buộc (7) là ràng buộc cân bằng dòng. Ràng buộc (8) thể hiện mối quan hệ về thời gian hoàn thành của hai công việc nối tiếp nhau trong hoạt động của một cần cầu. (9) thể hiện mối quan hệ trước sau đối với các cặp công việc có quan hệ trước sau. Ràng buộc (10) và (11) thể hiện giá trị của biến Z_{ij} . (12) thể hiện mối quan hệ của các cặp công việc không được tiến hành đồng thời. (13) ràng buộc tranh sự xung đột của các cần cầu trong quá trình làm việc. (14) xác định thời gian hoàn thành của công việc đầu tiên trong danh sách công việc của từng cần cầu. Và (15), (16) là các ràng buộc biên.

Bài toán trong bài báo này có thể giảm lược lại thành bài toán người giao hàng (TSP), mà đây là bài toán thuật toán bất định trong thời gian đa thức (NP), nên vấn đề điều độ cần cầu bờ ở nghiên cứu này cũng là bài toán NP. Không có phương pháp xác định nào có thể giải hiệu quả bài toán trên trong thời gian tính toán đa thức. Do đó một giả thuật

meta-heuristic (giải thuật SA) sẽ được đề xuất để giải bài toán này trong phần tiếp theo của bài báo.

3 GIẢI THUẬT SIMULATED ANNEALING (SA)

Trong nghiên cứu này, giải thuật SA được đề xuất để giải bài toán. SA là một giải thuật tìm kiếm tối ưu có thể quay lui khi lời giải hiện hành mắc kẹt tại một tối ưu cục bộ. Hình 2 thể hiện lưu đồ thuật toán SA., trong đó: $Q(*)$: giá trị hàm mục tiêu của lời giải (*), T, ε, π là các tham số của giải thuật. Lời giải ban đầu được tạo ra bằng quá trình sau:

3.1 Khởi tạo lời giải ban đầu

Bước 1: giữa các cần cầu, cần cầu có thời gian hoàn thành công việc trước được chọn, giả sử đó là cần cầu k

Bước 2: một tập hợp những công việc khả dụng (F) đối với cần cầu đó được tạo nên. Những công việc ở xa cần cầu được xóa đi khi thỏa bất phương trình sau:

$$\frac{1}{|l_k^c - l_j|} < r \cdot \max_{i \in F} \left\{ \frac{1}{|l_k^c - l_i|} \right\} \quad \forall j \in F \quad (17)$$

Trong đó, l_k^c : vị trí hiện hành của cần cầu k, hằng số nằm giữa 0 và 1.

Bước 3: dùng cò quay (roulette wheel) để lựa chọn một công việc trong F sau khi đã xóa những công việc thỏa (17), và gán vào danh sách các công việc cho cần cầu k.

Bước 4: Nếu tất cả các công việc đã được gán cho cần các cần cầu, dùng chương trình và trả lại lời giải ban đầu. Nếu không, quay lại bước 1.

3.2 Tạo lời giải lân cận:

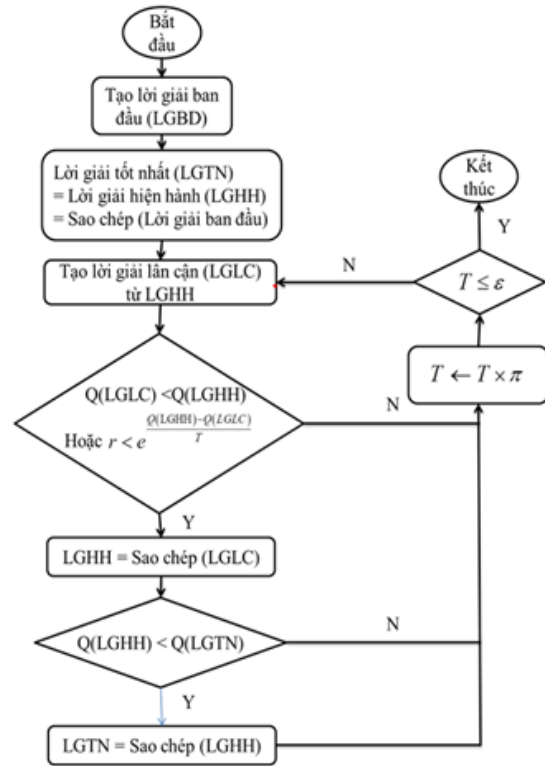
Trong bài báo này để tạo một lời giải lân cận hai công việc sẽ được lựa chọn ngẫu nhiên và hoán đổi trình tự lẫn nhau (trong trình tự làm việc của một cần cầu hay giữa các cần cầu).

Hơn nữa, khi thay đổi phải luôn kiểm tra tính khả dụng của lời giải vì sự thay đổi trình tự công việc có thể gây xung đột về vị trí làm việc của những cần cầu và quan hệ về trình tự của công việc. Nếu xung đột là không gian làm việc của cần cầu thì thời gian nhân rồi sẽ được tính thêm vào trước khi cần cần cầu gây xung đột thực hiện công việc. Nếu xung đột về thứ tự trước sau thì lời giải mới bị loại.

4 THỰC NGHIỆM SỐ

Trong bài nghiên cứu này giải thuật SA được đề xuất để giải bài toán. Phần thực nghiệm số này sẽ đánh giá tính hiệu quả của giải thuật được đề xuất. Giải thuật này sẽ được so sánh với giải thuật GRASP (greedy randomized adaptive search procedure) được đề xuất trong nghiên cứu [3]. Cả hai giải thuật được lập trình bằng ngôn ngữ Java 8, và chạy trên máy tính dùng hệ điều hành Windows 10, cấu hình máy tính như sau: CPU core I7, 8GB ram. Các vấn đề được sử dụng ở phần này được tạo ngẫu nhiên với số lượng cần cầu bờ cần điều độ từ 2 đến 4 cần cầu và số nhiệm vụ nằm trong khoảng từ 5 đến 20. Tham số của SA được chọn như sau: $T = 100$, $\pi = 0,999999$, và $\epsilon = 0,01$, hằng số $r = 0,7$. Kết quả so sánh được trình bày ở bảng 1.

Giải thuật cho kết quả gần tối ưu hơn so với giải thuật GRASP, tuy nhiên do sự linh hoạt để tạo ra lời giải mới hơn so với giải thuật GRASP nên SA có thời gian tính toán chậm hơn. Nhưng với thời gian tính toán nhỏ hơn 40 giây, người dùng có thể chờ đợi được khi lịch trình cho cần cầu bờ sẽ được lên lịch theo chu kỳ hàng tuần.



Hình 2. Lưu đồ thuật toán Simulated Annealing

Bảng 1 Bảng số liệu so sánh giữa GRASP và SA

STT	Số lượng công việc	Số cần cầu	GRASP		SA		$\frac{(A)-(B)}{(B)} \times 100$ (%)
			Giá trị hàm mục tiêu (A)	Thời gian tính toán (giây)	Giá trị hàm mục tiêu (B)	Thời gian tính toán (giây)	
1	5	2	9153,2		8008,4	84,19	12,51
2	7	2	8473,6	0,04	8051,0	10,88	4,99
3	9	2	9000,8	0,04	8893,6	11,56	1,19
4	11	2	15972,6	0,04	15922,8	12,80	0,31
5	13	3	15181,2	0,05	14050,8	26,62	7,45
6	15	3	22616,0	0,04	17457,8	30,10	22,81
7	17	3	21464,4	0,04	17121,2	26,69	20,23
8	18	3	21744,8	0,04	18417,0	28,84	15,30
9	19	3	22107,2	0,05	19459,2	37,78	11,98
10	20	3	22865,8	0,04	21983,4	31,53	3,86

5 KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu vấn đề điều độ cần cầu bờ tại các cảng hàng hỗn hợp ở Việt Nam. Bài toán đã được lập mô hình toán, nhưng đây là một bài toán NP nên không tồn tại một phương pháp giải xác định nào có thể giải bài toán trong thời gian tính

toán đa thức. Một giải thuật SA đã được đề xuất để giải bài toán. Giải thuật đã được chứng minh tính hiệu quả trong phần thực nghiệm số. Giải thuật có thể đưa ra kết quả gần tối ưu hơn so với giải thuật GRASP đã được nghiên cứu [3] đề xuất trước đó. Đề tài có thể được phát triển thêm khi kết hợp thêm mô hình thống kê để bài toán gần với thực tế hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Daganzo, Carlos F.. The crane scheduling problem. *Transportation Research Part B: Methodological* 1989; 23 (3):159-175.
- [2]. Kaveshgar, Narges, Nathan Huynh, and Saeed Khaleghi Rahimian. An efficient genetic algorithm for solving the quay crane scheduling problem. *Expert Systems with Applications* 2012; 39 (18):13108-13117.
- [3]. Kim, Kap Hwan, and Young-Man Park. A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research* 2004; 156 (3):752-768.
- [4]. Lee, Der-Horng, and Jiang Hang Chen. An improved approach for quay crane scheduling with non-crossing constraints. *Engineering Optimization* 2009; 42 (1):1-15.
- [5]. Lim, Andrew, Brian Rodrigues, Fei Xiao, and Yi Zhu. Crane scheduling with spatial constraints. *Naval Research Logistics* 2004; 51 (3):386-406.
- [6]. Moccia, Luigi, Jean-François Cordeau, Manlio Gaudioso, and Gilbert Laporte. A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal. *Naval Research Logistics* 2006; 53 (1):45-59.
- [7]. Sammarra, Marcello, Jean-François Cordeau, Gilbert Laporte, and M. Flavia Monaco. A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem. *Journal of Scheduling* 2007; 10 (4-5):327-336.
- [8]. Zhu, Yi, and Andrew Lim. 2004. *Crane Scheduling with Spatial Constraints: Mathematical Models and Solving Approaches*. AI&M 30-2004, eighth international symposium on artificial intelligence and mathematics, , Jan. 4–6, 2004, Fort Lauderdale



Hàn Quốc.

Hiện là Giảng viên, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM. Nghiên cứu hiện tại bao gồm nghiên cứu hoạt động và trí tuệ nhân tạo.



Phan Thị Mai Hà, nhận được B.E. (2000) bằng Kỹ sư Kỹ thuật Công nghiệp từ Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM, bằng Thạc sỹ về Kỹ thuật Công nghiệp tại Thái Lan (2001), bằng tiến sỹ về Kỹ thuật Công nghiệp của Đại học Quốc gia Pusan, Hàn Quốc (2015).

Hiện là Giảng viên, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM. Nghiên cứu hiện tại bao gồm nghiên cứu hoạt động và trí tuệ nhân tạo.

Quay cranes scheduling at mixed cargo ports in Viet Nam

Nguyen Vu Anh Duy, Phan Thi Mai Ha

Abstract - Quay cranes are used to discharge cargo from and load onto a vessel. The throughput of a port highly depends on the efficient operations of quay cranes. In Vietnam ports, the cargo ports not only receive containers, but also other kinds of cargo. This study focuses on the scheduling problem of the quay cranes in these ports. The mathematical model is developed, and a meta-heuristic algorithm is used to solve the problems in reasonable computation time. The numerical examples are used to validate the performance of the algorithm.

Index Terms - Scheduling, quay crane, mixed cargo port, meta-heuristic.