

Tái điều độ cần cầu bãi trong khi có sự cố đột xuất

Yard Crane Rescheduling in Uncertain Situations

Nguyễn Văn Hùng¹, Nguyễn Vũ Anh Duy², Nguyễn Hữu Thọ², Nguyễn Lê Thái²,
Nguyễn Thanh Tân³

¹ Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm, 140 Lê Trọng Tấn, Quận Tân Phú, Thành phố Hồ Chí Minh, 700000, Việt Nam

² Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, 300A Nguyễn Tất Thành, Quận 4, Thành phố Hồ Chí Minh, 700000, Việt Nam

³ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, số 1, Võ Văn Ngân, Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, 700000, Việt Nam

Tác giả liên hệ: Nguyễn Vũ Anh Duy, E-mail: nvaduy@gmail.com

Tóm tắt: Việc vận tải hàng hóa tại các cảng container là một thành phần quan trọng trong việc vận tải hàng hóa toàn cầu. Bài báo này sẽ nghiên cứu việc điều độ và tái điều độ cần cầu bãi trong cảng container. Cần cầu bãi là một thiết bị quan trọng mang tính quyết định trong hiệu suất hoạt động của cảng. Vấn đề điều độ và tái điều độ trong nghiên cứu này nhằm cực tiểu thời gian hoàn thành tất cả công việc cần thực hiện của các cần cầu. Việc tái điều độ được tiến hành khi có sự cố đột xuất xảy ra đối với cần cầu. Hai chiến lược tái điều độ được đưa ra và đánh giá thông qua thực nghiệm số. Kết quả tính toán được so sánh với cận dưới của bài toán.

Từ khóa: Cần cầu bãi; điều độ; tái điều độ; giải thuật kinh nghiệm; thực nghiệm số; thời gian hoàn thành.

Abstract: The container transportation is the most important mode of transportation around the world. This paper considers the scheduling and rescheduling of yard cranes. These cranes are the most important equipment in the container terminals. They influent the terminal's throughput efficiency. The makespan is the criteria for validation of solutions. Two rescheduling strategies were considered and demonstrated through numerical examples. A lower bound is used to compare the results.

Keywords: Yard Crane; scheduling; rescheduling; heuristic; numerical examples; makespan.

1. Giới thiệu

Đối với việc vận tải hàng hóa, các cảng biển hay sông là một thành phần quan trọng. Cảng được bố trí thành nhiều khu vực, cầu cảng, kho lưu trữ hàng hóa, cổng ra – vào của các đội vận chuyển... Tại mỗi khu vực đều có các vấn đề vận hành riêng. Bài báo này sẽ tập trung xử lý vấn đề vận hành tại bãi

lưu trữ. Vì khu vực này là nơi rất nhiều hoạt động được tiến hành. Cải tiến năng suất hoạt động của khu vực này sẽ trực tiếp hoặc gián tiếp ảnh hưởng đến hiệu quả hoạt động của toàn cảng, tăng doanh thu, giảm chi phí và tăng dịch vụ khách hàng. Hoạt động chính của khu vực bãi sẽ bao gồm các hoạt động xếp dỡ hàng hóa trong bãi bằng các thiết bị xếp dỡ như cổng trục, reach stackers, forklifts,

straddle carriers... Các thiết bị này sẽ nhận các đơn hàng điều độ từ trung tâm điều phối của cảng để tiến hành xếp dỡ hàng hóa trong bãi.

Việc tái điều độ và điều độ đã được nghiên cứu nhiều trên thế giới. Nghiên cứu [2] giải quyết vấn đề tái điều độ cho Straddle Carriers (SC) trong một cảng container tự động. Hai quy luật tái điều độ được đưa ra và khảo sát với hai giải thuật, giải thuật tìm lời giải tối ưu là Branch and Bound với bài toán kích thước nhỏ và giải thuật gần đúng với kích thước bài toán lớn. Bài báo [1] nghiên cứu việc điều độ đồng thời cầu cảng và cần cầu bờ trong trường hợp lịch trình của tàu thay đổi. Mục tiêu của bài báo là giảm chi phí bị phạt và tổng thời gian trì hoãn của tàu. Giải thuật kinh nghiệm rolling – horizon được sử dụng để tìm kiếm lời giải gần đúng cho bài toán. Trong bài báo [4], nhóm tác giả đã nghiên cứu việc tái điều độ cho cảng container tự động. Tác giả đã nghiên cứu cả việc vận hành hiệu quả về mặt thời gian và tối ưu cho việc sử dụng năng lượng hiệu quả. Kết quả thực nghiệm thông qua mô phỏng đã cho thấy việc sử dụng phương án tái điều độ đã giảm được thời gian chờ đợi cho cả hai mục tiêu trên. Bên cạnh đó, nghiên cứu [7] đã giải quyết vấn đề điều độ bài toán job-shop linh hoạt với giải thuật lai giữa hệ thống đa tác tử (multi-agent system, MAS) và giải thuật tối ưu đàn kiến (Ant Colony Optimization, ACO). Và giải thuật đã chứng tỏ được hiệu quả trong việc giải quyết bài toán với chiến lược tái điều độ một phần và tái điều độ

toàn bộ. Ngoài ra, nhiều nghiên cứu đã nghiên cứu về vấn đề điều độ các hoạt động trong cảng như nghiên cứu [3], [5] và [8] quan tâm đến việc điều độ cần cầu bờ tại cảng container. Nghiên cứu [6] quan tâm và giải quyết vấn đề đảo chuyển container trong bãi trước để chuẩn bị trước khi tàu đến (remarshalling).

Trong bài báo này, việc điều độ cần cầu cũng như tái điều độ cần cầu khi có sự cố đột xuất xảy ra. Và sự cố ở đây có thể được hiểu là cần cầu bị hỏng hóc đột xuất, không thể tiếp tục làm việc được. Từ đó, công việc của cần cầu phải được đảm nhận bởi các cần cầu khác trong bãi. Nhiều chiến lược được đưa ra để so sánh và tìm phương án xử lý hợp lý nhất.

Bài báo này được bố cục như sau: phần kế tiếp sẽ mô tả chi tiết vấn đề điều độ và tái điều độ cần cầu trong bãi. Mục 3 sẽ đưa ra các phương pháp tiếp cận và giải quyết vấn đề. Phần thực nghiệm số tiếp theo dùng để đánh giá hiệu quả của giải thuật. Cuối cùng là các kết luận của vấn đề.

2. Mô tả vấn đề

Bài báo nghiên cứu vấn đề điều độ và tái điều độ cần cầu bãi trong cảng container. Bài toán được mô tả bao gồm nhiều công việc xếp dỡ container trong bãi, các công việc này sẽ được nhiều cần cầu đảm nhiệm. Trong thực tế hoạt động, đôi khi cần cầu bị hư hỏng dẫn đến công việc không thể hoàn thành. Bài báo này sẽ đưa ra 2 chiến lược để chuyển công việc từ cần cầu bị hư sang các cần cầu khác vẫn có thể hoạt động.

Để đánh giá hiệu quả của quá trình xếp dỡ, thời gian hoàn thành của công việc cuối cùng (makespan) được dùng làm mục tiêu của bài toán.

Hàm mục tiêu

$$\text{Min } \text{Max}(C_k), \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

Trong đó: C_k là thời gian hoàn thành công việc của cần cầu k với $k = 1, 2, \dots, m$,

m là số cần cầu cần phải điều độ.

Bài toán được giải quyết với các giả thuyết sau:

- Khi công việc được bắt đầu nó phải được hoàn thành bởi chỉ 1 cần cầu (non preemptable)
- Tất cả công việc phải sẵn sàng trước thời gian điều độ.
- Khi cần cầu hư thì cần cầu phải nghỉ từ thời điểm hư đến hết ca làm việc (không phục hồi trong thời gian làm việc)

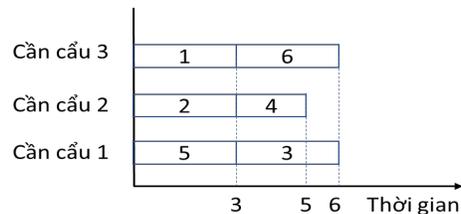
Bảng 1. Ví dụ về các công việc

Công việc	Cần cầu		
	1	2	3
1	4	3	3
2	4	3	4
3	3	1	2
4	3	2	3
5	3	4	3
6	4	3	3

Công việc được định nghĩa bao gồm thời gian để hoàn thành công việc. Các

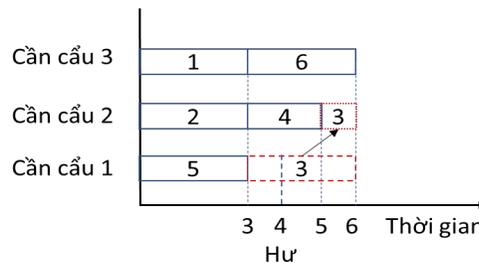
công việc này sẽ được tiến hành với thời gian khác nhau đối với nhưng cần cầu khác nhau. Bảng 1 thể hiện một ví dụ về các công việc được tiến hành điều độ và tái điều độ

Điều độ công việc trong bài báo này sẽ quan tâm đến 2 vấn đề, gán công việc cho cần cầu và trình tự thực hiện các công việc đó. Hình 1 là biểu đồ Gantt về việc điều độ 6 công việc trong bảng 1 cho 3 cần cầu. Con số trong các hình chữ nhật là công việc. Trục hoành thể hiện thời gian hoàn thành của các công việc. Với trình tự sắp xếp trong hình 1 thì giá trị hàm mục tiêu, thời gian hoàn thành công việc cuối cùng, là 6.



Hình 1. Biểu đồ Gantt điều độ 6 công việc trong bảng 1 cho 3 cần cầu bãi

Giả sử tại thời điểm 4 cần cầu 1 gặp sự cố không thể tiếp tục công việc. Công việc 3 sẽ chuyển cho cần cầu 2. Đây là quá trình tái điều độ công việc. Kết quả của việc tái điều độ công việc thì giá trị hàm mục tiêu vẫn là 6. Hình 2 thể hiện quá trình tái điều độ công việc trên.



Hình 2. Tái điều độ công việc khi cần cầu 1 hư tại thời điểm 4

Để tiến hành công việc tái điều độ bài báo này sẽ trình bày chi tiết về giải thuật ở phần tiếp theo.

3. Giải thuật

3.1. Điều độ

Để giải quyết bài toán tái điều độ, giải thuật điều độ được sử dụng để tạo ra lịch trình làm việc của các cần cầu trước khi sự cố xảy ra dẫn đến một cần cầu phải dừng hoạt động.

Với mục tiêu là thời gian hoàn thành công việc cuối cùng nhỏ nhất, bài toán điều độ nhiều cần cầu với thời gian tiến hành phụ thuộc vào cần cầu là một bài toán NP-hard. Không có một phương pháp giải xác định nào có thể đưa ra được trình tự làm việc đồng thời giao việc cho cần cầu để có thời gian làm việc tối ưu. Do đó trong bài báo này, một giải thuật dựa trên các thuật toán kinh nghiệm (Heuristics) được đề xuất để đưa ra lời giải cho bài toán điều độ đồng thời nhiều cần cầu. Giải thuật được miêu tả sau đây:

Giải thuật 1:

Bước 1: tất cả công việc được liệt kê trong tập hợp A, tập hợp B bao gồm các công việc đã được sắp xếp cho các cần cầu được để rỗng.

Bước 2: Sắp xếp các công việc trong A theo thứ tự giảm dần thời gian tiến hành nhỏ nhất.

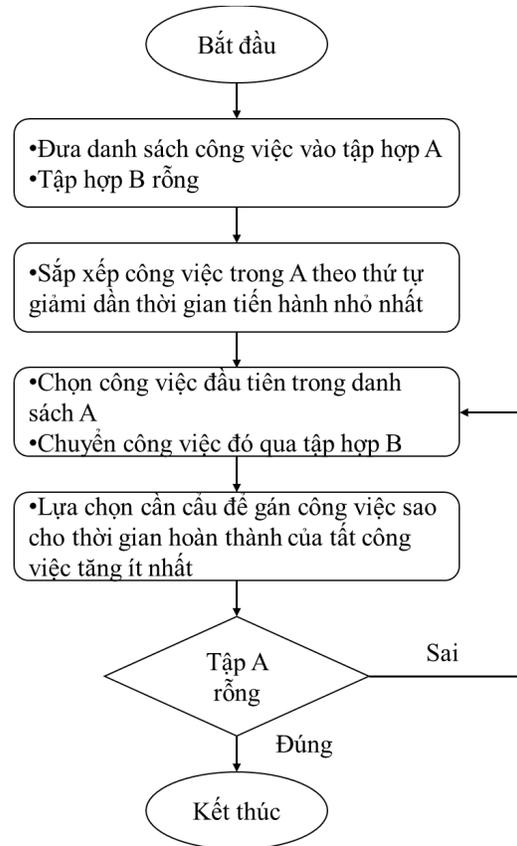
Bước 3: Lấy công việc đầu tiên trong tập hợp A, và chuyển sang tập hợp B.

Bước 4: Lựa chọn cần cầu sao cho thời gian hoàn thành công việc khi gán

công việc ở bước 3 vào để có thời gian hoàn thành sớm nhất.

Bước 5: Nếu tập hợp A rỗng, giải thuật ngừng lại và trả kết quả, nếu không tiến hành lại bước 3.

Giải thuật 1 được hình thành bằng cách kết hợp hai quá trình LPT (Longest processing time) thời gian tiến hành công việc dài nhất và điều độ theo danh sách (list scheduling) gần nhất. Hình 3 thể hiện lược đồ của giải thuật 1.



Hình 3. Giải thuật 1

3.2. Tái điều độ

Trong quá trình cần cầu tiến hành các công việc được giao, sự cố có thể xảy ra làm cần cầu ngưng hoạt động. Khi đó để

tái điều độ hoạt động, bài báo đề xuất 2 phương án tái điều độ:

Phương án 1: khi cần cầu bị sự cố, toàn bộ công việc của cần cầu đó sẽ được đưa vào giải thuật 1 để điều độ tiếp theo cho các cần cầu còn lại.

Phương án 2: khi cần cầu bị sự cố, toàn bộ công việc của tất cả các cần cầu được điều độ lại cho các cần cầu có thể hoạt động bằng giải thuật 1.

4. Thực nghiệm số

Đối với việc thực hiện điều độ cần cầu với thời gian làm việc phụ thuộc vào cần cầu, giả sử cho phép một công việc được chia ra để hoàn thành bởi nhiều hơn một cần cầu thì thời gian hoàn thành tối thiểu có thể được tính như sau:

$$LB_{makespan} = \frac{\sum_i \min_j(p_{ij})}{m} \quad (2)$$

Trong đó: $LB_{makespan}$: cận dưới của thời gian hoàn thành công việc trên tất cả công việc,

p_{ij} : là thời gian để hoàn thành công việc i bằng cần cầu j ,

m : tổng số cần cầu cần điều độ.

Bảng 2 thể hiện thời gian hoàn thành công việc của tất cả các cần cầu. Trong đó, cột (a) thể hiện số lượng cần cầu bãi được điều độ, cột (b) là tổng số lượng công việc được xem xét, cột (c) thể hiện thời gian hoàn thành công việc của tất cả công việc do giải thuật điều độ được trình bày trong mục III đề xuất. Cột (d) thể hiện cận dưới của bài toán. So sánh

cột c và d ta thấy sai số giữa lời giải gần đúng và cận dưới không quá lớn.

Bảng 2: Điều độ hoạt động cần cầu bãi

STT	Số cần cầu	Số công việc	Điều độ	Cận dưới
	(a)	(b)	(c)	(d)
1	2	40	49	24
2	4	40	23	12
3	6	40	14	8
4	2	60	69	35
5	4	60	31	17
6	6	60	19	11
7	8	60	15	8
8	10	60	11	7
9	2	80	94	47
10	4	80	43	23
11	6	80	28	15
12	8	80	19	11
13	10	80	15	9
14	2	100	117	58
15	4	100	51	29
16	6	100	32	19
17	8	100	23	14
18	10	100	16	11

Bảng 3 thể hiện việc tái điều độ các cần cầu trong các trường hợp tương ứng với bảng 2. Các cột (1) thể hiện biện pháp tái điều độ một phần, các cột (2) thể hiện tái điều độ toàn phần. Việc tái điều độ được thực hiện tại các thời điểm khác nhau trong thời gian làm việc 25%, 50% và 75%. Các thời điểm đó là thời điểm cần cầu bị hư, khi đó việc tái điều độ được tiến hành. Hai phương án tái điều độ đã được đưa ra, ta thấy đa số các

trường hợp phương án 1, tái điều độ một phần cho kết quả tốt hơn với giải thuật điều độ theo danh sách kết hợp với chiến lược thời gian tiến hành dài nhất.

Bảng 3: Tái điều độ hoạt động cần cầu bãi khi có một cần cầu hư tại các thời điểm khác nhau

STT	Tái điều độ (25%)		Tái điều độ (50%)		Tái điều độ (75%)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
1	99	99	79	79	64	64
2	28	27	25	25	24	25
3	18	17	16	16	16	16
4	142	142	123	123	101	101
5	41	45	38	40	34	35
6	24	24	22	24	21	22
7	18	17	17	16	17	17
8	12	13	11	12	11	12
9	194	194	168	168	126	126
10	53	56	50	55	45	49
11	32	31	30	30	29	29
12	22	21	22	22	21	21

13	16	18	16	16	15	16
14	231	231	204	204	156	156
15	71	70	64	66	59	61
16	39	40	36	37	34	35
17	27	27	25	27	25	25
18	19	22	19	21	19	20

5. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu vấn đề điều độ và tái điều độ cần cầu bãi trong cảng container. Trong bài nghiên cứu này kết quả do giải thuật đưa ra được so sánh với cận dưới của bài toán. Thông qua thực nghiệm số, các trường hợp khác nhau về số lượng công việc cần điều độ, số lượng cần cầu hoạt động và thời gian cần cầu xảy ra hư hỏng, hai phương án tái điều độ là tái điều độ một phần và tái điều độ toàn phần đã được xem xét. Bài toán NP – hard được nghiên cứu trong bài báo đã được giải trong thời gian tính toán dưới 1 giây bằng máy tính xách tay cá nhân thông thường thông qua ngôn ngữ lập trình Java trên nền hệ điều hành Windows 10. Kết quả điều độ nhỏ hơn 2 lần so với cận dưới và phương án tái điều độ một phần cho kết quả tốt hơn trong đa số trường hợp.

Tài liệu tham khảo

[1] A. Kim, H. J. Park, J. H. Park, S. W. Cho; "Rescheduling Strategy for Berth Planning in Container Terminals: An Empirical Study from Korea". Journal of Marine Science and Engineering. 2021;

9(5): 527. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse9050527>

[2] B. Cai, S. Huang, D. Liu, G. Dissanayake; "Rescheduling policies for large-scale task allocation of autonomous straddle carriers under

- uncertainty at automated container terminals". *Robotics and Autonomous Systems*. 2014; 62(4): 506-514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.12.007>
- [3] J. H. Chen, D. H. Lee, M. Goh; "An effective mathematical formulation for the unidirectional cluster-based quay crane scheduling problem". *European Journal of Operational Research*. 2014; 232(1): 198-208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.051>
- [4] J. Xin, R. R. Negenborn, G. Lodewijks; "Rescheduling of interacting machines in automated container terminals". *IFAC Proceedings Volumes*. 2014; 47(3): 1698-1704. DOI: <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.01305>
- [5] K. H. Kim, Y. M. Park; "A crane scheduling method for port container terminals". *European Journal of Operational Research*. 2004; 156(3): 752-768. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00133-4)
- [6] R. Choe, T. S. Kim, T. Kim, K. R. Ryu; "Crane scheduling for opportunistic remarking of containers in an automated stacking yard". *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2015; 27(2): 331-349. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10696-013-9186-3>
- [7] S. Zhang, T. N. Wong; "Flexible job-shop scheduling/rescheduling in dynamic environment: a hybrid MAS/ACO approach". *International Journal of Production Research*. 2017; 55(11): 3173-3196. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1267414>
- [8] S. L. Chao, Y. J. Lin; Evaluating advanced quay cranes in container terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2011; 47(4): 432-445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.12.002>.

Ngày nhận bài: 19/5/2022

Ngày hoàn thành sửa bài: 22/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2022