[Tạp chí điện toán mềm ứng dụng 152 (2024) 111197](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111197)

Danh sách nội dung có sẵn tạiKhoa [học trực tiếp](http://www.sciencedirect.com/science/journal/15684946)

Ứng dụng tính toán mềm

trang chủ tạp chí:[www.elsevier.com/locate/asoc](https://www.elsevier.com/locate/asoc)

[](http://crossmark.crossref.org/dialog/?doi=10.1016/j.asoc.2023.111197&domain=pdf)Phương pháp tối ưu hóa phân bổ cầu cảng-cần cẩu-xe tải theo thủy triều, môi trường và các yếu tố không chắc chắn dựa trên thuật toán tối ưu hóa Seagull thích ứng lượng tử hỗn loạn

Minh-Vỹ LýMột,b, Từ [Thụy TriếtMột,b,](#_bookmark1) Trung [Nghĩa Dươngc,](#_bookmark1) Wei-[Chiang Hongngày,và,\*,](#_bookmark2) Tiểu [Cương AnMột,nếu, Dịch](#_bookmark6) Hoành Dãngày

Một*Khoa Kỹ thuật đóng tàu, Đại học Kỹ thuật Cáp Nhĩ Tân, Cáp Nhĩ Tân 150001, Trung Quốc*

b*Viện Nam Hải, Đại học Kỹ thuật Cáp Nhĩ Tân, Tam Á 572024, Hải Nam, Trung Quốc*

c*Khoa Kinh tế và Quản lý, Đại học Kỹ thuật Cáp Nhĩ Tân, Cáp Nhĩ Tân 150001, Trung Quốc* ngày*Khoa Quản lý thông tin, Đại học Khoa học và Công nghệ Đông Á, Tân Bắc 22046, Đài Loan* và*Khoa Quản lý thông tin, Đại học Nguyên Trạch, Trung Lịch 320315, Đài Loan*

nếu*Viện nghiên cứu vận tải đường thủy Trung Quốc, Bắc Kinh 100088, Trung Quốc*

ĐIỂM NỔI BẬT

* Mô hình TEU-BQCT được đề xuất để tối ưu hóa việc phân bổ xe tải-cẩu-bến tàu.
* CQASOA được đề xuất để cải thiện khả năng hội tụ và nhiễu loạn toàn cục của thuật toán.
* Bài báo này áp dụng phương pháp TEU-BQCT\_CQASOA để nhận được kế hoạch phân phối phù hợp với quy mô cảng.

THÔNG TIN BÀI VIẾT TÓM TẮT

*Từ khóa:*

Lịch trình chung của xe tải-cần cẩu bến tàu Yếu tố thủy triều

Yếu tố bất định

Thuật toán tối ưu hóa Seagull Phương pháp hàm phạt ngoài Máy tính lượng tử

Bản đồ hỗn loạn

Kỷ nguyên hậu dịch bệnh đã dẫn đến tình trạng tích tụ hàng hóa, gây áp lực lớn hơn cho các cảng container. Vì các phương pháp truyền thống không thể đồng thời xem xét tác động của các yếu tố thủy triều, bất định và môi trường lên kế hoạch phân bổ. Để giảm bớt áp lực này, trước tiên, hãy xem xét các yếu tố thủy triều, xây dựng các quy tắc cửa sổ thời gian, suy nghĩ về các yếu tố bất định và xác định các ràng buộc từ ba góc độ của quy trình neo đậu tàu, cần cẩu cầu cảng và hoạt động của xe tải container, một mô hình lập lịch chung cầu cảng-cần cẩu-xe tải mới được xây dựng bằng cách giảm thiểu ba khía cạnh của thời gian quay vòng của tàu, lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng và xe tải, cụ thể là mô hình TEU-BQCT. Sau đó, nhằm mục đích đạt được một giải pháp chất lượng tương đối cao, kết hợp ánh xạ hỗn loạn và vướng víu lượng tử, một thuật toán tối ưu hóa chim mòng biển thích ứng lượng tử hỗn loạn mới được đề xuất, cụ thể là CQASOA, các quy tắc mã hóa độc quyền phù hợp với mô hình TEU-BQCT được xây dựng, một thuật toán số nguyên khả thi được phát triển, hàm phạt bên ngoài được xây dựng để hạn chế các ràng buộc và một phương pháp giải pháp lập lịch chung mới của cần cẩu-xe tải cầu cảng được đề xuất, cụ thể là TEU-BQCT\_CQASOA. Sau đó, hai cảng có quy mô khác nhau ở Nam Trung Quốc được sử dụng để kiểm tra tính khả thi của phương pháp giải pháp được xây dựng. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình TEU-BQCT được xây dựng có thể thu được sơ đồ lập lịch phù hợp hơn. CQASOA được đề xuất có hiệu suất tốt hơn các thuật toán so sánh khác được chọn trong bài báo này, có thể thu được giải pháp tốt hơn khi giải mô hình TEU-BQCT.

1. **Giới thiệu** thương mại quốc tế, vận chuyển đã bị ảnh hưởng nghiêm trọng [hơn](#_bookmark62)[1]. Năm 2021, thời gian chờ trung bình của tàu tại Cảng Los Angeles ở Hoa

Sự tiếp diễn của dịch bệnh vương miện mới đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến nền kinh tế và thương mại toàn cầu, gây ra tác động lớn đến cung và cầu toàn cầu. Là một phương thức vận tải quan trọng trong

Kỳ, Cảng Felixstowe ở Anh, Cảng Rotterdam ở Hà Lan và Cảng Piraeus ở Hy Lạp sẽ lần lượt đạt 16,5, 13,8, 8,8 và 9,1 ngày. So với năm 2020, thời gian chờ vẫn đang tăng trong cùng kỳ và



[Translated from English to Vietnamese - www.onlinedoctranslator.com](https://www.onlinedoctranslator.com/en/?utm_source=onlinedoctranslator&utm_medium=pdf&utm_campaign=attribution)

\* Tác giả liên hệ tại: Khoa Quản lý thông tin, Đại học Khoa học và Công nghệ Đông Á, Tân Bắc 22046, Đài Loan. *Địa chỉ* [*email:*samuelsonhong@gmail.com](mailto:samuelsonhong@gmail.com) (W.- C. Hong).

<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111197>

Nhận ngày 17 tháng 4 năm 2023; Nhận dưới dạng đã sửa đổi ngày 4 tháng 11 năm 2023; Chấp nhận ngày 17 tháng 12 năm 2023

Có sẵn trực tuyến ngày 30 tháng 12 năm 2023 1568-4946/© 2023 Elsevier BV Mọi quyền được bảo lưu.

tình trạng tắc nghẽn vẫn còn rất nghiêm trọng[[2].](#_bookmark63) Ngoài ra, xanh và ít carbon đã trở thành chủ đề của thời đại, và các chính phủ trên toàn thế giới đang ủng hộ việc kiểm soát mức tiêu thụ năng lượng của cảng theo cách xanh và sạch. Do đó, bài báo này tập trung vào việc cung cấp cho các nhà quản lý cảng một giải pháp lập lịch trình để giải quyết vấn đề tắc nghẽn và phát thải carbon trong thời đại hậu dịch bệnh của các cảng.

Lịch trình logistics cảng container có đặc điểm là nhiều liên kết và

quy trình. Trong quá trình lập lịch, có nhiều yếu tố ảnh hưởng hơn. Cần phải xem xét ảnh hưởng của các yếu tố không chắc chắn như thủy triều, khí tượng và nhân tạo đối với lịch trình cảng. Cụ thể, những đóng góp chính của bài viết này như sau:

1. Xem xét các yếu tố thủy triều, xây dựng các quy tắc cửa sổ thời gian, suy nghĩ

loại bỏ những yếu tố không chắc chắn như yếu tố khí tượng và nhân tạo, và xác định những hạn chế từ ba góc độ của quá trình neo đậu tàu, cần cẩu cầu cảng và xe tải, một mô hình tối ưu mới cho việc phân bổ cầu cảng-cần cẩu-xe tải, cụ thể là TEU-BQCT, được đề xuất, bằng cách giảm thiểu ba khía cạnh của thời gian quay vòng tàu, lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng và xe tải làm mục tiêu tối ưu hóa.

1. Do tính đa dạng không đủ và dễ bị kẹt ở trạng thái tối ưu cục bộ trong Giai đoạn sau của quá trình tiến hóa SOA, một thuật toán tối ưu hóa Seagull thích ứng lượng tử hỗn loạn mới, cụ thể là CQASOA, được đề xuất, với phương pháp khởi tạo quần thể dựa trên ánh xạ hỗn loạn (CSOA) được thiết lập để tăng tính ergodic của quần thể ban đầu; Một cổng quay lượng tử và cổng NOT lượng tử sử dụng điện toán lượng tử (QSOA) được đề xuất để tăng tốc độ hội tụ của quần thể; Một hệ số trọng số thích ứng (ASOA) được giới thiệu để tăng cường khả năng

nhiễu loạn toàn cục trong giai đoạn đầu của SOA và khả năng tìm kiếm cục bộ trong giai đoạn sau.

1. Bài báo này dựa trên mô hình CQASOA và TEU-BQCT,

xây dựng các quy tắc mã hóa riêng lẻ, thiết kế thuật toán xử lý số nguyên khả thi (F-IP), xây dựng các hàm phạt bên ngoài để hạn chế các ràng buộc và thiết lập một phương pháp phân bổ xe tải-cần cẩu-bến tàu mới, cụ thể là TEU-BQCT\_CQASOA, có thể cung cấp các kế hoạch phân phối khác nhau theo các yêu cầu vận hành khác nhau bằng cách điều chỉnh trọng số của hàm mục tiêu phụ và có thể có được một kế hoạch phân phối phù hợp hơn khi quy mô cảng tăng lên.

Phần còn lại của bài viết này được tổ chức như sau: Các công trình và đóng góp hiện có được chứa [trong](#_bookmark7)Phần [2;Mục 3](#_bookmark9)mô tả mô hình TEU- BQCT;Mục 4giới [thiệu đề](#_bookmark24) xuất của CQASOA và thiết lập phương pháp giải của TEU-BQCT\_CQASOA; Thực nghiệm dữ liệu và nghiên cứu mô phỏng có mặt, và hiệu suất của mô hình và thuật toán đề xuất được phân tích trongMục 5;Mục 6 kết thúc bài báo này.

## Tổng quan tài liệu

* 1. *Tối ưu hóa lịch trình chung logistics cảng container*

Hoạt động xếp dỡ tại cảng container có nhiều liên kết và quy trình phức tạp, vẫn còn một số khó khăn trong việc cung cấp một sơ đồ lập lịch trình kiểm soát toàn bộ cảng.[5]. Để tránh kết quả lập lịch quá lý tưởng, ngày càng nhiều học giả đã nghiên cứu lập lịch chung cho các hoạt động xếp dỡ tại cảng container[6–11]. Liu và cộng sự.[12]xây [dựng](#_bookmark67) một bến [tàu](#_bookmark68) mới và lịch trình kết hợp cần cẩu cầu cảng để ứng phó với sự phân bổ cần cẩu cầu cảng không công bằng. Ma et al.[13] nhằm [mục](#_bookmark69) đích cải thiện tỷ lệ sử dụng và chất lượng dịch vụ của cần cẩu cầu cảng và thiết lập một mô hình lập kế hoạch điều động chung có thể giảm thiểu chi phí dịch vụ tàu trong giai đoạn lập kế hoạch. Gao et al.

[[14]](#_bookmark70)đã thiết lập một mô hình toán học để cải thiện tỷ lệ sử dụng thiết bị cảng container và giảm thời gian làm việc của tàu tại cảng. Yu, et al.[15] xem xét sự khác biệt trong dịch vụ tàu và đề xuất một chế độ hợp tác để tối ưu hóa tốc độ tàu và phân bổ cần cẩu bến-cầu chung. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp này có thể nâng cao sự hài lòng của khách hàng và giảm lượng khí thải carbon. Liu et al.

[[16]](#_bookmark72)nghiên cứu vấn đề phân bổ bến chung và phân công cần cẩu cầu cảng khi xem xét thời gian đến không chắc chắn của tàu và hiệu quả hoạt động của cần cẩu cầu cảng. Các tác giả của bài báo này cũng đã thực hiện công trình nghiên cứu trong các lĩnh vực liên quan. Li et al.[17][đã](#_bookmark73) thiết lập một mô hình phân bổ chung đa mục tiêu có thể giảm khoảng cách vận chuyển của xe tải và giảm thời gian quay vòng của tàu. Các ví dụ mô phỏng cho thấy phương pháp này có thể cung cấp giải pháp cho các cảng container. Cao et al.[18]xây dựng một mô hình [phân](#_bookmark74) bổ chung

**Bảng 1**

Bảng tóm tắt công việc hiện tại.

Thẩm quyền giải quyết Khách quan Model Vấn đề đã được giải quyết

Liu và cộng sự[[12]](#_bookmark68) Thời gian cổng tối thiểu Chi phí hệ thống tối thiểu Sự bất công tối thiểu

Mô hình lập lịch đa mục tiêu Giải quyết tình trạng phân bổ bến tàu, cầu cảng không công bằng

Ma và cộng sự[[13]](#_bookmark69)

Gao và cộng sự[[14]](#_bookmark70)

Tối thiểu chi phí dịch vụ tàu

đến

Tổng thời gian tàu ở cảng tối thiểu

Mô hình lập lịch cầu cảng và

cần cẩu bến cảng

Mô hình tối ưu hóa toán học của BACAP

Phương pháp lấy nguồn tài nguyên cần cẩu bến tàu và cầu cảng và nâng cao chất lượng dịch vụ

Giảm thời gian tàu ở cảng và cải thiện việc sử dụng thiết bị

Yu và cộng sự[[15]](#_bookmark71) Chi phí nhiên liệu tàu tối thiểu Độ

trễ dịch vụ của tàu tối thiểu Độ trễ dịch vụ của tàu tối thiểu Độ trễ tàu

Một đa cấp hai cấp

mô hình tối ưu hóa mục tiêu

Giảm chi phí tiêu thụ nhiên liệu của tàu, giảm sự chậm trễ trong dịch vụ và nâng cao sự hài lòng của khách hàng

Liu và cộng sự[[16]](#_bookmark72)

Azab và cộng [sự[19]](#_bookmark75)

Essghaier và cộng sự

[[20]](#_bookmark76)

Duan và cộng [sự[21]](#_bookmark77)

Wang và cộng sự[[22]](#_bookmark78)

Kenan và cộng sự

[[23]](#_bookmark79)

Nghiên cứu này

tối thiểu

thời gian khởi hành

Tối thiểu tổng độ lệch bến Tối thiểu tổng chi phí vận hành của cần cẩu bến cảng

Tối thiểu số lần di dời

Giảm thiểu tổng độ trễ

Tối thiểu tổng số khoảng cách di chuyển của các thùng chứa PI

Tối thiểu thời gian chờ trung bình Tối thiểu thời gian trễ khởi hành của tàu Tối thiểu lượng khí thải carbon của cảng

Tối thiểu thời gian neo đậu của tàu Tối thiểu lượng khí thải carbon tại cảng Tối thiểu thời gian tàu ở cảng Tối thiểu lượng khí thải carbon của xe tải Tối thiểu lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng

phát thải

Mô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

Mô hình lập lịch di dời xe tải container

Một mô hình lập trình số nguyên hỗn hợp đa mục tiêu

Mô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

Mô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

Mô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

Một mô hình lập lịch trình chung cầu cảng- cần cẩu-xe tải mới

Đối phó với các tình huống phức tạp của hoạt động bến cảng

Tăng cường hoạt động di dời container tại các bãi cảng

Tạo ra mặt trận Pareto mạnh mẽ phù hợp với thái độ của người ra quyết định đối với rủi ro

Có được giải pháp xanh và hợp lý hơn cho hoạt động của bến tàu và cần cẩu cầu cảng

Cải thiện hiệu quả xử lý cảng và giảm phát thải carbon Cải thiện hiệu quả xử lý cảng và giảm phát thải carbon

Xem xét thủy triều, môi trường và sự không chắc chắn, cắt giảm lượng khí thải carbon của cảng và đáp ứng nhu cầu của cảng trong thời kỳ dịch bệnh

xem xét các yếu tố kinh tế và giải quyết bằng thuật toán chim sẻ cải tiến. Các ví dụ mô phỏng cho thấy phương pháp lập lịch có thể giảm chi phí của các cổng.

Một số giải pháp tốt cho việc điều phối chung cần cẩu bến tàu-cầu cảng được cung cấp bởi công trình nghiên cứu trên, có thể làm giảm chi phí cảng container và nâng cao tỷ lệ sử dụng của cảng container. Tuy nhiên, các thành phần của hoạt động điều phối cảng ảnh hưởng lẫn nhau. Hiệu quả làm việc của cần cẩu bến tàu bị giới hạn bởi số lượng xe tải và cũng bị ảnh hưởng bởi lịch trình của xe tải ở phía trước nhà ga. Do đó, trong quá trình lập lịch hoạt động trên bộ, vẫn cần phải xem xét toàn diện tác động của xe tải đến việc phân bổ bến tàu và cần cẩu bến tàu. Azab và cộng sự[19]đề [xuất](#_bookmark75) hai mô hình IP nhị phân để giải quyết vấn đề tối ưu hóa mới và kết quả cho thấy phương pháp đề xuất có thể cải thiện hoạt động di dời container tại các bãi cảng bằng cách phối hợp với lịch hẹn. Essghaier và cộng sự.

[[20]](#_bookmark76)đã thiết lập một mô hình Lập trình số nguyên hỗn hợp đa mục tiêu (FMO-MIP) kết hợp lập trình có ràng buộc xác suất mờ và ràng buộc ϵ để giảm thiểu cả tổng độ trễ và tổng quãng đường di chuyển của các container PI, đồng thời xem xét sự không chắc chắn về thời gian xe tải đến. Tuy nhiên, vẫn còn một số ít các chuyến tàu chung của bến, cần cẩu cầu cảng và xe tải

trong các tài liệu hiện có, mà các phương pháp mô hình hóa và giải pháp của chúng vẫn cần được khám phá thêm.

Chủ đề bảo vệ môi trường đã thu hút sự chú ý của nhiều quốc gia về vấn đề biến đổi khí hậu và vấn đề phát thải carbon tại các cảng container cũng đã trở thành điểm nóng nghiên cứu hiện nay. Duan et al.

[[21]](#_bookmark77)xây dựng mô hình toán học để sử dụng hợp lý tài nguyên cảng

container và giảm phát thải carbon. Lấy Cảng Ninh Ba làm ví dụ, tác giả đã đánh giá tác động của những thay đổi về chi phí phát thải carbon đối với kế hoạch phân phối cần cẩu bến và cầu cảng và đề xuất giải pháp. Wang và cộng sự.[22]thiết lập [mô](#_bookmark78) hình lập kế hoạch về thiện chí của các cảng container trong việc giảm phát thải carbon theo chính sách thuế carbon mới, đưa ra các giải pháp, đánh giá tác động của thuế phát thải carbon đối với việc giảm phát thải carbon và giảm phát thải carbon của các cảng container. Kenan và cộng sự.[23][thiết](#_bookmark79) lập mô hình toán học, tích hợp phân bổ và lập lịch cho cần cẩu bến tàu, và xem xét chính sách quản lý carbon, có thể cắt giảm thời gian neo đậu và lượng khí thải carbon từ tàu thuyền. Tuy nhiên, các mô hình hiện có không thể thích ứng với bối cảnh hậu dịch bệnh hiện tại và công tác hợp tác máy móc cảng cần được nghiên cứu thêm, công tác nghiên cứu trên được tóm tắt như trongBảng 1. Do đó, trongMục 3một mô hình [lập lịch](#_bookmark8) trình chung giữa [cầu](#_bookmark9) cảng-cần cẩu-xe tải mới có tính đến thủy triều, môi trường và các yếu tố không chắc chắn sẽ được đề xuất để tạo ra một kế hoạch điều phối phù hợp hơn với bối cảnh thời đại đối với những người ra quyết định về cảng.

* 1. *Thuật toán cho mô hình lập kế hoạch lịch trình logistics chung của các cảng container*

Bài toán giải quyết của mô hình lập kế hoạch lịch trình chung của logistics cảng container có đặc điểm là đa dạng và phi tuyến tính, không thể giải quyết chính xác. Phương pháp thông thường là tiếp cận điểm cực trị thông qua thuật toán giải quyết. Tian et al.[24]xây dựng một mô [hình](#_bookmark80) toán học nhằm mục đích cắt giảm tổng chi phí hoạt động hậu cần và giải quyết bằng phương pháp lập trình tuyến tính và phần mềm thương mại ILOG CPLEX. Cheimanoff. et al.[25]đề xuất một phương pháp Công thức tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP) và Tìm kiếm lân cận biến (VNS) mới để giải quyết mô hình phân bổ cần cẩu cầu cảng. Sau sự gia tăng về sức mạnh tính toán, thuật toán tối ưu hóa thông minh cũng được sử dụng rộng rãi và hoạt động tốt trong việc giải quyết loại vấn đề tối ưu hóa này[26–28]. Skaf và cộng sự.

[29]đã thiết lập một mô [hình lập](#_bookmark82) kế hoạch cho [vấn](#_bookmark83) đề lập lịch trình của nhiều xe tải và một cần cẩu bến cảng, sử dụng thuật toán di truyền để giải quyết mô hình. Chu et al.[30]đề xuất phương pháp lập kế hoạch tuyến đường vận chuyển container và lập lịch tốc độ toàn diện, được giải quyết dựa trên thuật toán di truyền.

Với sự cải thiện sức mạnh tính toán của máy tính, ngày càng nhiều

nhiều thuật toán tối ưu hóa chất lượng cao hơn đã được đề xuất, đã được chứng minh là thành công trong nhiều ứng dụng khác nhau, chẳng hạn như phương pháp dựa trên thử nghiệm để dạy các kỹ thuật tối ưu hóa[31], [điều](#_bookmark85) khiển dựa trên mạng nơ-ron sử dụng học tăng cường actor-critic và bộ tối ưu hóa gray wolf với xác thực hệ thống servo thử nghiệm[32], động vật [ăn](#_bookmark86) thịt biển lấy cảm hứng từ thuật toán chuột chũi trụi lông để tối ưu hóa toàn cầu[33][. Xem](#_bookmark87) xét hiệu suất tuyệt vời của các thuật toán SOA trong việc lập lịch cảng container, SOA được thử nghiệm để giải quyết các mô [hình](#_bookmark65) như vậy [4]. Tuy nhiên, SOA có những vấn đề như dễ bị kẹt ở mức tối ưu cục bộ và tốc độ hội tụ chậm. Ewees et al.[34]sử dụng [các](#_bookmark88) toán tử đột biến và bay Lévy cho không gian tìm kiếm tuyến tính SOA, cải thiện sự đánh đổi giữa khai thác và thăm dò để nắm bắt nhanh chóng và chính xác các giải pháp tối ưu. Ma et al.

[35]nhằm vào những [nhược](#_bookmark89) điểm của SOA với độ chính xác hội tụ thấp, tính đa dạng tổng thể yếu và có xu hướng tối ưu cục bộ, CMSSOA được đề xuất và tính toán thống kê đã chứng minh rằng thuật toán được đề xuất có những ưu điểm. Xiao et al.[36]đã sử dụng phương pháp học dựa [trên](#_bookmark90) đối lập (OBL), phân phối Cauchy và hàm sigmoid nghịch đảo để tăng cường SOA dựa trên Máy học cực đại hai lớp ẩn (TELM) với Hàm kích hoạt siêu tham số và kết quả tính toán cho thấy kết quả tốt. Xu et al.[37]kết hợp cơ chế chọn lọc tự nhiên dựa trên SOA và tìm ra giải pháp tối ưu bằng [cách](#_bookmark91) sắp xếp quần thể theo giá trị thể lực để thay thế một nửa tệ nhất bằng một nửa tốt nhất.

Nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp hiện tại có thể cải thiện hiệu suất tối ưu hóa của SOA, nhưng khi giải quyết các vấn đề phức tạp, nó vẫn bộc lộ những thiếu sót về khả năng nhiễu loạn toàn cục và hiệu suất tính toán. Các tác giả đã cố gắng cải thiện thuật toán tối ưu hóa thông minh bằng nhiễu loạn hỗn loạn và vướng víu lượng tử, và đề xuất thuật toán dơi hỗn loạn mới[38], thuật toán di truyền thích ứng hỗn loạn[39], lập bản đồ mèo, mô hình đám mây và thuật toán lai PSO

[[40],](#_bookmark94) tối ưu hóa bầy hạt đám mây hỗn loạn[41], thuật toán [tối](#_bookmark95) ưu hóa lai đám mây hỗn loạn lượng tử dơi[42], thuật toán tối ưu [hóa](#_bookmark96) bướm lượng tử[43], thuật toán tối ưu hóa đám [mây](#_bookmark97) di truyền lai cá voi[44]để giải quyết vấn đề tối ưu hóa. Các [thí](#_bookmark98) nghiệm đã xác minh rằng các thuật toán được cải tiến ở trên đã đạt được kết quả tốt. Các phương pháp cải tiến ở trên có thể cung cấp một tài liệu tham khảo tốt cho bài viết này. Do đó, hướng đến các khiếm khuyết của SOA, một thuật toán tối ưu hóa chim mòng biển thích ứng lượng tử hỗn loạn mới được đề xuất bằng cách kết hợp ánh xạ hỗn loạn và điện toán lượng tử, cụ thể là CQASOA, để nâng cao hiệu suất tối ưu hóa của thuật toán.

## Thiết lập mô hình TEU-BQCT

Xét đến việc các tàu lớn cần sử dụng mực nước thủy triều để vào cảng, các quy tắc cửa sổ thời gian mực nước được xây dựng theo độ sâu mớn nước và lịch trình định kỳ của các tàu lớn. Nếu mực nước trong một khoảng thời gian nhất định đáp ứng nhu cầu của các tàu lớn vào cảng, thì mực nước trong khoảng thời gian này là cửa sổ thời gian mực nước cao. Ngược lại, đó là cửa sổ thời gian mực nước thấp. Sự thay đổi định kỳ của thủy triều làm cho các cửa sổ thời gian mực nước cao và mực nước thấp xuất hiện xen kẽ. Bài báo này giả định rằng thời gian đi qua của các cửa sổ thời gian mực nước cao và mực nước thấp gần bằng nhau.

Xem xét tính vững chắc của việc cải thiện mô hình xây dựng, bài báo

này giới thiệu các yếu tố không chắc chắn. Khi tàu vào cảng, thời gian dự kiến đến cảng container sẽ được cung cấp. Do khí hậu và các yếu tố con người, thời gian đến thực tế của tàu có thể thay đổi. Thời gian lệch tuân theo luật phân phối Erlang[45], được xác định dựa [trên](#_bookmark99) luật thống kê của cảng. Ngoài ra, do yếu tố con người, độ lệch tốc độ hoạt động của xe tải được coi là tuân theo luật phân phối chuẩn được xác định theo luật thống kê của xe tải container.

Trong quá trình tối ưu hóa lịch trình, chúng tôi chia bờ biển liên tục thành nhiều bến riêng biệt. Không được phép neo đậu trùng lặp hoặc neo đậu chéo trong quá trình neo đậu. Ngoài ra, tàu chỉ được phép hoàn thành một hoạt động. Mỗi cần cẩu tại bến chỉ có thể phục vụ một tàu tại một thời điểm. Thời gian tối thiểu của tàu tại cảng và

Lượng khí thải carbon từ xe tải và cần cẩu bến tàu phải là hướng dẫn để xác định thứ tự cập cảng và phân bổ bến tàu, cần cẩu bến tàu và xe tải.

* 1. *Giả định và ký hiệu*

Các giả định của mô hình TEU-BQCT được thiết lập từ ba khía cạnh: bến tàu, cần cẩu cầu cảng và xe tải. Chi tiết như sau:

1. Giả sử rằng tàu cung cấp thời gian ước tính cho

đến cảng, nhưng do sự can thiệp của môi trường nên thời gian tàu đến thực tế có độ lệch thời gian theo phân phối Erlang;.

1. Xét đến ảnh hưởng của các yếu tố thủy triều lên tàu thuyền ra vào khi rời cảng, các tàu lớn chỉ được phép vào cảng khi thủy triều lên, thời gian mỗi tàu vào và ra khỏi luồng là bằng nhau và là một hằng số cố định;.
2. Giả sử rằng độ dài của mỗi cửa sổ thời gian mực nước là

bình đẳng;.

1. Một tuyến bến liên tục được chia thành các bến riêng biệt có chiều dài, chiều rộng và độ sâu của nước đáp ứng yêu cầu của tàu;.
2. Mỗi tàu chỉ được phép cập cảng một lần và không được phép cập cảng

di chuyển sau khi cập bến;.

1. Sau khi tàu bắt đầu hoạt động, cần cẩu cầu cảng được giao sẽ làm việc

hiệu quả vẫn không thay đổi;.

1. Giới hạn trên và dưới của việc phân bổ cần cẩu cầu cảng đáp ứng

yêu cầu hạn chế hoạt động của tàu;.

1. Giả sử cần cẩu cầu cảng có thể được di chuyển đến bên cạnh bến khi không hoạt động, nhưng cần cẩu bến không được phép bước qua các cần cẩu bến khác;.
2. Xét rằng tốc độ lái xe của xe tải bị nhiễu bởi

các yếu tố bất định nhân tạo, nó tuân theo luật phân phối chuẩn;.

1. Giả sử số lượng cần cẩu trong bãi container là đủ và hiệu quả bốc xếp vẫn không đổi.

Các tham số ứng dụng mô hình TEU-BQCT được phân loại theo Bộ, Biến tối ưu hóa, Tham số đầu vào, Biến phụ thuộc và Biến quyết định 0– 1 như sau:

**Bộ:**

***VVessel***,***V***= [1, 2,…,*v*];.

***B***Bếntàu,***B***= [1, 2,…,*b*];.

***C***Cầncẩu,***C***= [1, 2,…,*c*];.

***T***Thờigian,***T***= [1, 2,…,*t*];.

***Có***Xetải,***Có***= [1, 2,…,*và*];.

***VL*** 1 nhóm tàu lớn đang cập cảng;. ***VO 1*** tập hợp các thứ tự của tàu thuyền vào cảng;. ***VB*** 1 bộ số sê-ri của bến tàu sẽ được đỗ;.

***VC 1*** bộ số sê-ri của các cần cẩu bến cảng được phân bổ cho hoạt động

*W* Độ dài của mỗi cửa sổ thời gian mực nước cao/thấp;.

*R* Số nguyên đủ lớn;.

*M* Tổng số xe thu gom có sẵn tại các cảng container;

*TOi* Tàu thuyền*Tôi*thời gian dự kiến đến nơi;.

*TG*0Thời gian di chuyển cần thiết để một tàu thuyền đi qua kênh đào. *Tiêu CE*0Hiệu suất làm việc lý thuyết của một cần cẩu bến cảng đơn;.

*CF*0 Hiệu suất làm việc lý thuyết của một cần cẩu đơn trong bãi container;.

*TW*0Thời gian chờ tối đa của tàu thuyền;.

*VLi* Chiều dài của tàu *i*;.

*Vdi* Bản nháp của tàu *i*;.

*VEi* Số lượng container được tàu chở *i*;.

*BLj* Chiều dài của bến *j*;.

*BDj* Bản nháp của bến tàu *j*;.

*Dij* Khoảng cách giữa tàu *i* neo đậu tại bến *j* và sân mục tiêu;.

*VCmi* Giới hạn dưới của cần cẩu cầu cảng phục vụ tàu *i*

;. *VCMi* Giới hạn trên của cần cẩu cầu cảng phục vụ tàu *i*;.

**Biến phụ thuộc:**

*TAi* Con tàu *i* thời gian đến thực tế;.

*TBi* Thời gian bắt đầu đi thuyền vào kênh cho tàu thuyền *i*;.

*TCi* Thời điểm tàu *i* đã vào cảng;.

*TSi* Tàu thuyền *i* thời gian bắt đầu hoạt động bốc xếp;.

*TDi* Tàu thuyền *i* thời gian kết thúc hoạt động xếp dỡ;.

*TVi* Thời gian bắt đầu của cần cẩu cầu cảng liền kề thực hiện hoạt động cho tàu *i*;.

*TEi* Thời gian khởi hành của tàu *i* đi ra khỏi kênh khi rời cảng;.

*TFi* Thời gian cho tàu *i* ra khỏi cảng;.

*THij* Thời gian dành cho tàu thuyền *i* tại bến tàu *j* để vận chuyển xe tải rỗng;.

*TLij* Thời gian dành cho tàu *i* cập bến *j* để vận chuyển hàng hóa

nặng bằng xe tải;.

*VCit* Số lượng cần cẩu phục vụ tàu thuyền *i* vào thời điểm *t*;.

*CKnt* Số lượng xe tải phục vụ cẩu bến *n* vào thời điểm *t*;.

*CEn* Hiệu suất làm việc thực tế của một cần cẩu cầu cảng đơn lẻ;.

*Dl* Tổng số km xe tải chở hàng nặng đi được;.

*Dk* Tổng số km xe tải đi được khi không có hàng;.

*tη* Tổng thời gian nhàn rỗi của xe tải;.

*vh* Tốc độ của xe container khi không chở hàng;.

*vl* Tốc độ khi xe container quá tải;.

**0–1 Biến quyết định:**

{ 1 *nếu tàu i phục vụ theo trình tự k tại bến j else 0*

*Xijk* =

{ 1 *nếu cần cẩu cầu cảng n phục vụ cho tàu i trong thời gian t else 0*

của tàu;.

***CK 1*** tập hợp số lượng xe tải thu gom cần cẩu phục vụ tại bến cảng;. ***VK*** Một tập hợp số lượng xe tải vận hành tàu;.

**Biến tối ưu hóa**. *VOi* Tàu thuyền *i* trình tự neo đậu;.

*qitn* =

*Uiu*=

*viu*=

{ 1 *nếu tàu i đi vào kênh ở vị trí u*\_th *cửa sổ thời gian nước cao else 0*

{ 1*nếu tàu i đi ra khỏi kênh ở phía u*\_th *cửa sổ thời gian nước cao else 0*

*VBi* Bến tàu *i*;.

*VCi* Số lượng cần cẩu phục vụ tàu thuyền *i*.

*VKi* Số lượng xe tải phân bổ cho hoạt động của tàu *i*;.

**Tham số đầu vào:**

* 1. *Hàm mục tiêu F*

Nhằm đạt được sự cân bằng tốt nhất giữa lợi ích của cảng, lợi ích của chủ tàu và bảo vệ môi trường, lợi ích kinh tế

và các yếu tố môi trường của cảng container được xem xét toàn diện, và mô hình tối ưu hóa được xây dựng với thời gian quay vòng tàu tối thiểu, lượng khí thải carbon tối thiểu của xe tải và lượng khí thải carbon

chạy không tải (h);*ρtôi*Và*ρtôi*là mức tiêu thụ nhiên liệu (L/km) của xe tải khi không tải và khi đầy tải, được xác định bởi tốc độ và tải trọng[46], như thể hiện [trong](#_bookmark100)Phương trình [(5),](#_bookmark10)

tối thiểu của cần cẩu cầu cảng là các hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu của mô hình TEU-BQCT có thể được biểu thị bằngEq.(1),

ρ(*v*,*tôi*) =*av*2+*bv*+*làm*+*dvl*+*và*

Ở đâu*Một*=0,02,*b*= −1,67,*c*=0,46,*ngày*=0,03,*và*=51,17[47].

(5)

*F*=min(*ω*1⋅*k*1⋅*F*1+*ω*2⋅*k*2⋅*F*2+*ω*3⋅*k*3⋅*F*3) (1)

*3.2.3. Hàm mục tiêu phụ F3*

Khi *F* là hàm mục tiêu;*F*1,*F*2,*F*3 là ba hàm mục tiêu phụ;*ω*1,*ω*2, Và*ω*3là các yếu tố điều chỉnh trọng lượng;*k*1,*k*2, Và *k*3 là các hệ số cân bằng độ lớn.

Đây là trạng thái lý tưởng nhất khi thời gian quay vòng của tàu và lượng khí thải carbon của cảng phải được giảm thiểu cùng một lúc, nhưng có những ràng buộc lẫn nhau giữa các chỉ số khác nhau, và thậm chí có sự đánh đổi giữa chúng. Ví dụ, việc giảm thời gian chờ của tàu tại cảng đòi hỏi phải cải thiện hiệu quả hoạt động, điều này chắc chắn sẽ gây ra nhiều ô nhiễm môi trường hơn. Do đó, trong quá trình xây dựng kế hoạch lập lịch trình, cần đặc biệt chú ý đến một chỉ số nhất định theo nhu cầu khác nhau của các giai đoạn khác nhau. Do đó, bài báo này áp dụng phương pháp trọng số tuyến tính có thể giải quyết vấn đề tối ưu hóa đa mục tiêu. Sau đó, các yếu tố điều chỉnh trọng số*ω*1

,*ω*2, Và*ω*3được giới thiệu để đáp ứng các nhu cầu khác nhau của cảng

trong các giai đoạn khác nhau thông qua

sự can thiệp của con người như thể hiện trongPhương [trình (2),](#_bookmark11)

ω1+ ω2+ ω3= 1 (2)

Ngoài ra, các hệ số cân bằng độ lớn *k*1, *k*2, Và *k*3 được giới thiệu để đảm bảo rằng trọng số ảnh hưởng của mỗi hàm mục tiêu phụ là bằng nhau. Hệ số cân bằng độ lớn có thể được xác định bằng độ lớn của giá trị hàm mục tiêu của một ví dụ tính toán cụ thể. Các giá trị được khuyến nghị là:*k*1= 1000,*k*2= 1 và *k*3

# =1.

* + 1. *Hàm mục tiêu phụ F1*

Bài báo này xem xét những lợi ích toàn diện của chủ tàu và cảng container và lấy thời gian tối thiểu của tàu trong cảng làm chức năng phụ đầu tiên của mô hình TEU-BQCT để giảm thời gian chờ đợi của chủ tàu trong cảng và nâng cao hiệu quả hoạt động của cảng. Chức năng phụ*F*1của mô hình TEU-BQCT được xác định làPhương trình (3),

1∑ *v*

Trong bài báo này, lượng phát thải carbon tối thiểu của cần cẩu cầu cảng được xác định là hàm mục tiêu phụ thứ ba để đo lường mức độ ô nhiễm do hoạt động làm việc của cần cẩu cầu cảng gây ra trong môi trường xung quanh cảng. Vì lượng phát thải carbon do hoạt động của cần cẩu cầu cảng tạo ra có liên quan tích cực đến mức tiêu thụ điện năng, nên có thể tiết kiệm chi phí cảng trong khi giảm lượng phát thải carbon từ cần cẩu cầu cảng.

Hàm mục tiêu phụ*F*3có thể được tính toán bằng mức tiêu thụ năng lượng làm việc của cần cẩu cầu cảng trong quá trình làm việc và trong quá trình di chuyển, có thể được xác định bằngPhương [trình (6)](#_bookmark13),

∑*v* ∑*v*

*F*3=*E*2{*λ*1 [(*T.ĐTôi*−*TSTôi*) •*TCTôi*+ (*T.ĐTôi*−*TVTôi*) • Δ*VỐNNó*] +*λ*2 Δ*VỐNNó*

*Tôi*=1 *Tôi*=1

# (6)

Ở đâu*F*3là hàm mục tiêu thứ ba (kg);*E*2là hệ số phát thải tham chiếu lưới điện (kg/kWh);*λ*1là mức tiêu thụ năng lượng làm việc của cần cẩu cầu cảng (kWh/h);*λ*2là mức tiêu thụ năng lượng của cần cẩu bến cảng trong quá trình di chuyển (kWh/thời gian);*T.ĐTôi*đó là tàu*Tôi*kết thúc thời gian hoạt động;*TSTôi*đó là tàu*Tôi*bắt đầu thời gian hoạt động;*VỐNTôi*là số lượng cần cẩu bến tàu được lên lịch hoạt động;*t*là thời điểm cần cẩu cầu cảng hỗ trợ tàu*Tôi*trong hoạt động làm việc;

△ *VỐNNó*là số lượng cần cẩu bến tàu di chuyển từ bến gần nhất tại thời điểm*t*để hỗ trợ tàu*Tôi*trong hoạt động;*TVTôi*là thời gian bắt đầu của cần cẩu bến cảng liền kề thực hiện một hoạt động cho tàu*Tôi*.

* 1. *Xác định các ràng buộc*

Xét theo tình hình thực tế của cảng container, các hạn chế của mô hình TEU-BQCT được xác định từ ba khía cạnh: quy trình neo đậu tàu, cần cẩu bến cảng và xe tải chở container.

* + 1. *Những hạn chế trong quá trình neo đậu tàu*

Sau quá trình cập cảng, các hạn chế về cập cảng của tàu được xác định như sau:

*F*1= [ *v* (*TÀI CHÍNHTôi*− *TMTỘôi*]*T*)

(3)

*Tôi*=1 *TẠI SAOTôi*=*ĐẾNTôi*+Δ*TẠI SAOTôi,*∀*Tôi*∈*V* (7)

Ở đâu*F*1là hàm mục tiêu phụ đầu tiên(h);*TFi* là thời gian khởi hành của tàu *i*;*TAi* là thời gian thực tế tàu đến *i*.

*3.2.2. Hàm mục tiêu phụ F2*

Hoạt động của một cảng container không chỉ đảm bảo lợi ích kinh tế mà còn phải đảm bảo thân thiện với môi trường. Lượng khí thải carbon tối thiểu của xe tải được xác định là chức năng phụ thứ hai của mô hình TEU-BQCT nhằm giảm lượng khí thải carbon và mức tiêu thụ nhiên liệu của xe tải tại các cảng container, gián tiếp kiểm soát chi phí hoạt động vận tải bằng xe tải. Chức năng phụ*F*2của mô hình TEU-BQCT bao gồm

Δ*Trợ lý*=*nếuTiếng Việt:*(*tôiTẠI SAO, μTẠI SAO*)

*Bệnh laoTôi*≥*TẠI SAOTôi,*∀*Tôi*∈*V*

*TCTôi*=*Bệnh laoTôi*+*ĐẠI HỌC*0*,*∀*Tôi*∈*V*

*TSTôi*≥*TCTôi,*∀*Tôi*∈*V*

*TSTôi*− *TẠI SAOTôi*≤*TWTôi,*∀*Tôi*∈*V*

/ ∑

(8)

(9)

(10)

ba phần: lượng khí thải carbon của xe tải khi lái không tải, lượng khí thải carbon của xe tải khi lái xe hạng nặng và lượng khí thải carbon của xe tải khi chạy không tải, có thể được xác định bởiPhương trình (4):

*T.ĐTôi*− *TSTôi*=*VÌ THẾ GIỚITôi* (*Tiêu chuẩnN*× *t*∈*TVỐNNó*)*,*∀*Tôi*∈*V* (13)

*TẠITôi*≥*T.ĐTôi,*∀*Tôi*∈*V* (14)

*F*2=*E*1(ρ*tôi*•*Dtôi*+ ρ*tôi*•*Dtôi*+ η•*t*η) (4) *TÀI CHÍNHTôi*=*TẠITôi*+*ĐẠI HỌC*0*,*∀*Tôi*∈*V*

84Ở đâu*F*2là hàm mục tiêu phụ thứ hai (kg);*E*1là hệ số phát thải carbon

# (15)

của xe tải (kg/L);*Dtôi*là tổng quãng đường xe tải đi được khi không có hàng (km);*Dtôi*là tổng quãng đường xe tải chở hàng nặng đã đi (km);*tη*là tổng thời gian xe tải chạy không tải tiêu thụ nhiên liệu (h);*η*là mức tiêu thụ nhiên liệu khi chạy không tải (L/h);*tη*là tổng thời gian của xe tải

2(*bạn*− 1)*T*− *R*(1 − *μtôi*) ≤*Bệnh laoTôi*≤ (2*bạn*− 1)*T*− *ĐẠI HỌC*0− *R*(1 − *μtôi*)*,*∀*Tôi*∈*V*

2(*bạn*− 1)*T*− *R*(1 − *vtôi*) ≤*TẠITôi*≤ (2*bạn*− 1)*T*− *ĐẠI HỌC*0− *R*(1 − *vtôi*)*,*∀*Tôi*∈*V*

# (16)

(17)

∑

*μ*=1*,*∀*Tôi*∈*VL*

*tôi*

*bạn*∈*T*

∑

*vtôi*=1*,*∀*Tôi*∈*VL*

*bạn*∈*T*

∑ ∑

# (18)

(19)

*Tôi*; Ràng buộc (28) có nghĩa là giới hạn trên và giới hạn dưới của việc phân bổ cần cẩu cầu cảng đáp ứng các yêu cầu về hạn chế hoạt động của tàu; Ràng buộc (29) cho thấy số lượng cần cẩu cầu cảng đang hoạt động tại các cảng container ít hơn tổng số cần cẩu cầu cảng tại các cảng container;Phương trình (30)xác [định](#_bookmark21) phương pháp tính toán số

*j*=*B*

∑ ∑

*j*=*B*

*tôi*∈*Tiếng nói*

*tôi*∈*Tiếng nói*

(*xtôi không*×*BDj*) ≥*VdTôi,*∀*Tôi*∈*V* (20)

(*xtôi không*×*BLj*) ≥*VLTôi,*∀*Tôi*∈*V* (21)

lượng cần cẩu bến cảng cho các hoạt động phụ trợ di động;

Ràng buộc (31) có nghĩa là cần cẩu cầu cảng không được phép bước qua các cần cẩu cầu cảng khác.

∑ *3.3.3. Hạn chế xe container*

*Tôi*∈*V*

∑

*xtôi không*≤1*,*∀*j*∈*B,*∀*tôi*∈*Tiếng nói*

∑

# (22)

Theo tình hình hoạt động thu gom bằng xe tải, các ràng buộc của hoạt động thu gom bằng xe tải được xác định như sau: ∑*c*

*j*=*B*

*xtôi không*=1*,*∀*Tôi*∈*V* (23)

*tôi*∈*Tiếng nói CKkhông*≤*Tôi* (32)

*N*=1

*xtôi không*×*TẠI SAOTôi*≤*xTôi*′*j*(*tôi*+1)*TẠI SAOTôi*′*,*∀*tôi, tôi*′∈*V,*∀*j*∈*B,*∀*tôi*∈*Tiếng nói* (24)

Ràng buộc (7) có nghĩa là phương pháp tính toán thời gian đến thực

/

*THtôi*=*Dtôi vh,*∀*Tôi*∈*V,*∀*j*∈*B* (33)

/

tế của tàu; Ràng buộc (8) biểu thị rằng thời gian bù đến của tàu phải đáp ứng phân phối Erlang; Ràng buộc (9) biểu thị rằng khi tàu vào cảng, thời gian đi vào luồng phải muộn hơn thời gian tàu đến cảng; Ràng buộc (10) biểu thị phương pháp tính toán tàu ra khỏi luồng; Ràng buộc

(11) cho thấy thời gian làm việc của tàu phải muộn hơn thời gian tàu ra khỏi luồng; Ràng buộc (12) cho thấy thời gian chờ của tàu không được muộn hơn ngưỡng thời gian chờ; Ràng buộc (13) biểu thị phương pháp

tính toán thời gian hoạt động xếp dỡ thực tế; Ràng buộc (14) biểu thị

*TLtôi*=*Dtôivtôi,*∀*Tôi*∈*V,*∀*j*∈*B*

*vh*∼*N*(*vh*;*μvh,δ*2 *vh*)

*vtôi*∼*N*(*vtôi*;*μvl,δ*2*vl*)

/ / /

*Tiêu chuẩnN*=*CKkhông*tối đa(*THtôi*+*TLtôi*+1*CF*0*,CKkhông*

*Tiêu chuẩn*0)*,*∀*N*∈*C,*∀*t*∈*T*

(34)

(1)

(2)

(37)

rằng khi tàu rời cảng container, thời gian đi vào luồng phải muộn hơn thời gian rời bến; Ràng buộc (15) biểu thị phương pháp tính toán thời gian tàu rời cảng container; Các ràng buộc (16)-(19) có nghĩa là tàu thuyền chịu ảnh hưởng của các yếu tố thủy triều và các tàu thuyền lớn chỉ được phép vào cảng container qua tuyến đường thủy ở mức thủy triều; Các ràng buộc (20)-(21) có nghĩa là bến tàu phải đáp ứng các yêu cầu về độ mớn nước và chiều dài của tàu; Các ràng buộc (22) có nghĩa là chỉ một tàu thuyền được phép bốc xếp tại mỗi bến tại một thời điểm; Các ràng buộc (23) cho thấy số bến tàu chỉ có một lần. Các ràng buộc

(24) cho thấy rằng nếu tàu thuyền*Tôi*Và*Tôi*′là những*k-*th và (*tôi*+1)-thứ

được phục vụ, sau đó là thời gian phục vụ của tàu*Tôi*phải sớm hơn tàu

*Tôi*′.

Ràng buộc (32) có nghĩa là số lượng xe tải đang hoạt động tại thời điểm*t* không được vượt quá tổng số xe tải có sẵn trong cảng container; Các ràng buộc (33)-(34) biểu thị thời gian vận chuyển container rỗng và hàng nặng khi tàu*Tôi*được neo đậu tại bến*j*; Các ràng buộc (35)-(36) có nghĩa là tốc độ không tải và tải nặng của xe tải tuân theo phân phối chuẩn;Phương trình (37)xác [định](#_bookmark19) phương pháp tính hiệu suất làm việc thực tế của cần cẩu cầu cảng.

*3.3.4. Những ràng buộc khác*

*xtôi không*∈ {0*,*1}*,*∀*Tôi*∈*V* (38)

*qTRONG*∈ {0*,*1}*,*∀*Tôi*∈*V,*∀*N*∈*C* (39)

*μtôi*∈ {0*,*1}*,*∀*Tôi*∈*V* (40)

* + 1. *Hạn chế của cần cẩu cầu cảng*

Theo quy trình xếp dỡ của cần cẩu cầu cảng, các hạn chế của hoạt động cần cẩu cầu cảng được xác định như sau:

*vtôi*∈ {0*,*1}*,*∀*Tôi*∈*V*

[Phương](#_bookmark20) trình (38)-(41) định nghĩa các biến 0–1.

# (40)

∑*v*

*Tôi*=1

∑*c*

*qnó*=1*,*∀*N*∈*C,*∀*t*∈*T* (25)

*q*

* 1. *Xác định các biến phụ thuộc*

Dựa trên các ràng buộc trên, mối quan hệ giữa biến phụ thuộc và

*N*=1 *nó*(*t*−*TSTôi*)(*T.ĐTôi*−*t*) ≥0*,*∀*Tôi*∈*V,*∀*t*∈*T* (26)

∑*v*

biến đầu vào được xác định và giá trị hàm mục tiêu có thể được tính toán. Quy trình cụ thể được xác định như sau:

*N*=1*qnó*=*VỐNNó,*∀*Tôi*∈*V,*∀*t*∈*T*

∑

# (27)

Bước 1Khởi tạo dữ liệu. Hãy*Tôi*=1, chuyển đến Bước 2;.

*VCmTôi*≤ *N*∈*Cqnó*≤*VCMTôi,*∀*Tôi*∈*V* (28)

Bước 2: Lấy dữ liệu. Theo trình tự neo đậu*Tiếng nóiTôi*, có được bến

∑*v* ∑*c*

*Tôi*=1 *N*=1

đỗ*VBTôi*của tàu có trình tự neo đậu là*Tôi*, các

*qnó*≤*c,*∀*t*∈*T* (29) số lượng cần cẩu bến cảng được phân bổ*VỐNTôi*và số lượng xe tải được phân bổ*CK*

*N*, sau đó chuyển sang Bước 3;.

Δ*VỐNNó*=*VỐNNó,*− *VỐNNó*−1*,*∀*Tôi*∈*V,*∀*t*∈*T* (30)

⎧

# ⎨ −1

Bước 3Xác định loại tàu. Nếu tàu*Tôi*lớn, hãy chuyển đến Bước 4, nếu không, hãy chuyển đến Bước 6;.

Bước 4Xác định mức nước tại thời điểm này. Nếu mức nước cao, hãy chuyển sang

*qNó*(*N*−1)+*qNó*(*N*+1)−*qnó*= ⎩

0*,*∀*Tôi*∈*V, số*∈*C,*∀*t*∈*T* (31)

# 1

Bước 6, nếu không, hãy chuyển sang Bước 5;.

Bước 5: Tính thời gian tàu thuyền đi vào kênh khi mực nước dâng cao. Tàu thuyền*Tôi*chờ ở nơi neo đậu bên ngoài cảng cho đến khi mực

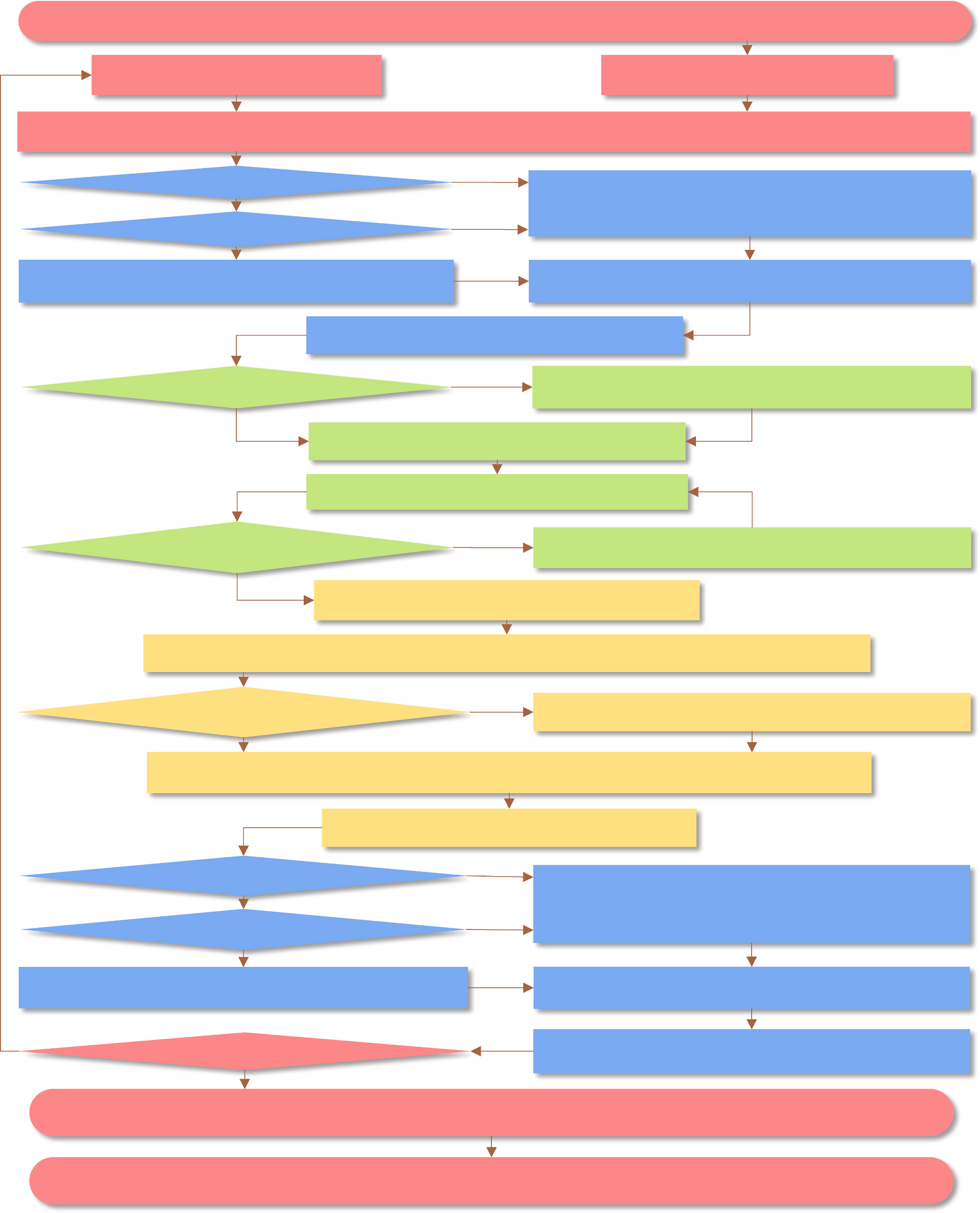
Ràng buộc (25) có nghĩa là mỗi cần cẩu bờ chỉ có thể phục vụ một

tàu cùng một lúc; Ràng buộc (26) chỉ ra rằng thời gian hoạt động của cần cẩu bờ trên tàu phải nằm trong thời gian xếp dỡ của tàu đó. Ràng buộc (27) biểu thị rằng số lượng cần cẩu bờ phục vụ tàu*Tôi*bằng với việc phân bổ cho tàu

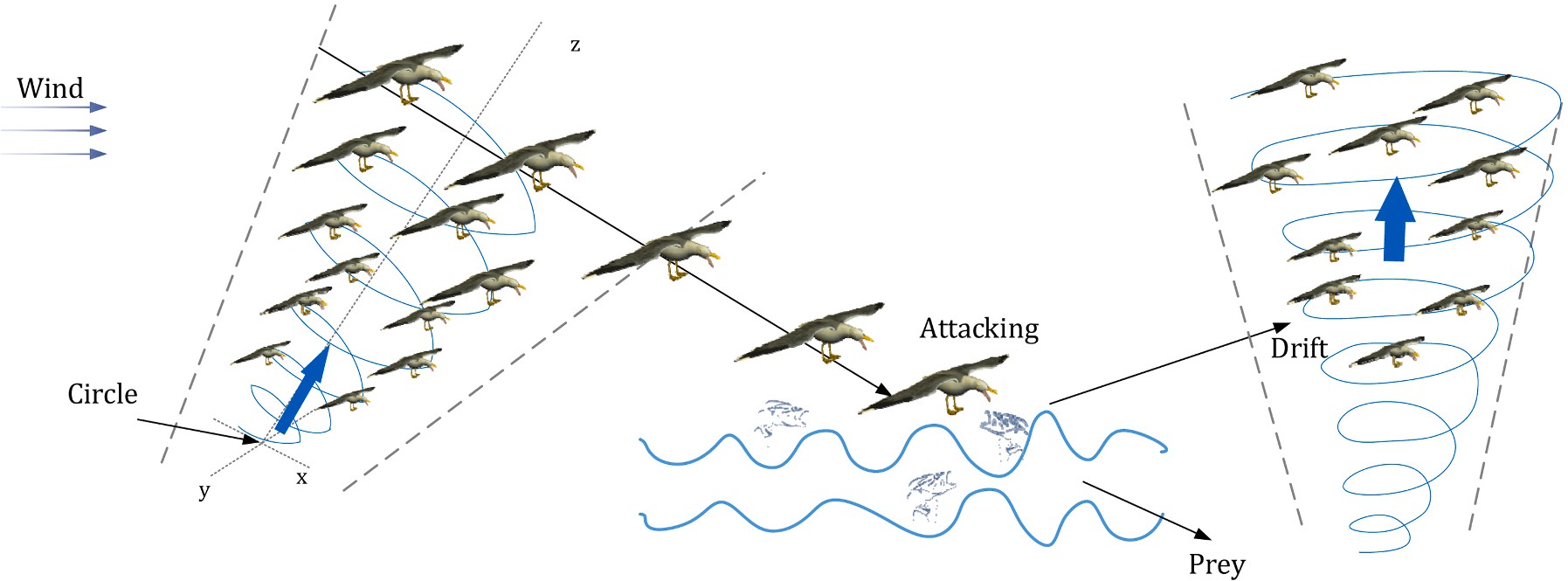
nước cao, sau đó tàu*Tôi*bắt đầu vào kênh. Tính toán thời gian bắt đầu

*Bệnh laoTôi*cho tàu*Tôi*đi thuyền vào kênh và chuyển đến Bước 7;.

Bước 6Tính thời gian tàu đi vào kênh. Tàu*Tôi*bắt đầu vào kênh. Tính toán thời gian bắt đầu*Bệnh laoTôi*cho



**Hình 1.**Biểu đồ xác định biến phụ thuộc.



**Hình 2.**Hành vi di cư và săn mồi của mòng biển.

tàu*Tôi*đi thuyền vào kênh và chuyển đến Bước 7;.

Bước 7Tính thời gian tàu thuyền ra khỏi kênh. Tính toán và ghi lại thời gian*TCTôi*của tàu*Tôi*vào cảng theoPhương trình (10), và điđến Bước 8;.

Bước 8Xác định vị trí trống của bến. Nếu bến*VBTôi*đang nhàn rỗi, hãy chuyển đến Bước 9; nếu

không, hãy chuyển đến Bước 10;.

Bước 9Tính toán thời gian khi tàu bắt đầu hoạt động. Khi tàu*Tôi*bến tàu, cập nhật tình trạng sử dụng của bến tàu*VBTôi*, ghi lại thời gian cập bến*TSTôi*của tàu neo đậu*Tôi*và chuyển đến Bước 11;.

Bước 10: Tính toán thời gian neo đậu cần thiết để chờ tàu bắt đầu hoạt động bốc xếp. Tàu*Tôi*chờ ở nơi neo đậu tại cảng cho đến khi cập bến*VBTôi*là miễn phí, và sau đó là bến. Cập nhật trạng thái sử dụng của bến*VBTôi*, ghi lại thời gian cập bến*TSTôi*của tàu*Tôi*và chuyển sang Bước 11;.

Bước 11Xác định xem cần cẩu cầu cảng có đáp ứng các yêu cầu đã định trước hay không. Nếu số lượng cần cẩu cầu cảng tự do liên tục tại bến*VBTôi*của tàu*Tôi*và các bến tàu liền kề của nó đáp ứng các yêu cầu của*VỐNTôi*, chuyển đến Bước 12, nếu không thì chuyển đến Bước 13;.

Bước 12Tính thời gian tàu hoàn thành các hoạt động làm việc khi cần cẩu

bờ đáp ứng các yêu cầu đã định trước. Tính hiệu suất làm việc thực tế của cần cẩu bờ*Tiêu chuẩnN*theo nhưPhương trình (37). Tính toán và ghi lại thời gian [hoàn](#_bookmark19) thành dịch vụ làm việc của tàu*T.ĐTôi*theo sauPhương trình (13), cập nhật thời gian nhàn rỗi [của](#_bookmark15) cầu cảng và cần cẩu cầu cảng, và chuyển đến Bước 14;.

Bước 13Tính thời gian tàu kết thúc hoạt động làm việc khi cần cẩu bến cảng không đáp ứng được các yêu cầu đã định trước. Tính hiệu

[Phương trình (15), và](#_bookmark17) điđến Bước 19;.

Bước 19Đánh giá xem việc tính toán tất cả các tàu đến đã hoàn tất chưa. Nếu

*Tôi*≥*v*, chuyển đến Bước 21, nếu không, chuyển đến Bước 20;.

Bước 20 Thực hiện phép tính mạch tiếp theo. Hãy*Tôi*=*Tôi*+1, chuyển hướng đến Bước 2;.

Bước 21Tính giá trị hàm mục tiêu theoPhương trình (1)Bước [22Hoàn](#_bookmark18)

tất việc xác định tất cả các biến phụ thuộc. Sơ đồ dòng xác định các biến phụ thuộc được thể hiện trongHình 1:

1. **Thuật toán tối ưu hóa Seagull thích ứng lượng tfi hỗn loạn (CQASOA) và phương pháp giải mô hình TEU-BQCT**

Hướng đến giải quyết vấn đề mô hình điều phối cảng container, xét đến hiệu suất tốt của SOA trong các lĩnh vực tương tự khác [48,49], bài [báo này](#_bookmark102) cố gắng áp dụng SOA để giải quyết mô hình TEU-BQCT.

* 1. *Thuật toán tối ưu hóa Seagull chuẩn (SOA)*

SOA được chia thành hành vi di chuyển và hành vi tấn công[3]. Hai hành vi này có thể được mô tả bằngHình [2.](#_bookmark23) Mô tả tóm tắt về quá trình thuật toán như sau:

* + 1. *Hành vi di cư*
       1. **Tránh va chạm:**Công thức cập nhật vị trí mới của

con mòng biển được hiển thịPhương [trình](#_bookmark25) (42). Biến s được xác định như thể hiện trongPhương trình [(43),](#_bookmark26)

suất làm việc thực tế*Tiêu chuẩnN*theo nhưPhương trình (37). Ghi [lại số](#_bookmark19) lượng cần cẩu bến cảng có thể được tải và dỡ hàng tại thời điểm này như*VỐNNó*. Sau khi các cần cẩu bờ liền kề không hoạt động, trong điều kiện các ràng buộc liên tục của cần cẩu bờ được đáp ứng, hãy tính toán và ghi lại thời gian hoàn thành dịch vụ*T.ĐTôi*của các hoạt động xếp dỡ tàu theoPhương trình (13)và cập nhật thời gian [nhàn](#_bookmark15) rỗi của cầu cảng

*CtS*=*MỘT*×*PtS*

Ở đâu*Ct S*có nghĩa là một vị trí mới không va chạm với những con mòng biển bên cạnh;*t*có nghĩa là số lần lặp hiện tại;*Pt* vị trí hiện tại của loài mòng biển.

# (42)

*S*có nghĩa là

và cần cẩu, chuyển đến Bước 14;.

Bước 14Xác định loại tàu. Nếu tàu*Tôi*là một tàu lớn, hãy chuyển đến Bước 15, nếu không, hãy chuyển đến Bước 17;.

Bước 15Xác định mức nước tại thời điểm này. Nếu mức nước cao, hãy chuyển sang Bước 17, nếu không, hãy chuyển sang Bước 16;.

Bước 16: Tính thời gian chờ tàu vào kênh khi mực nước dâng cao.

Tàu*Tôi*đang ở nơi neo đậu tại cảng và đợi cho đến khi mực nước ở mức cao, sau đó bắt đầu đi thuyền vào kênh. Ghi lại thời gian bắt đầu*TẠITôi*ra khỏi kênh và chuyển đến Bước 18;.

Bước 17: Tính thời gian tàu đi vào kênh. Tàu*Tôi*bắt đầu đi thuyền vào kênh. Ghi lại thời gian bắt đầu*TẠITôi*cho tàu *Tôi*đi vào kênh và chuyển sang Bước 18;.

Bước 18Tính thời gian khởi hành của tàu. Tàu*Tôi*ra khỏi cảng. Tính toán và ghi lại thời gian khởi hành*TÀI CHÍNHTôi*theo như

*MỘT*=*nếuc*– [*t*× (*nếuc*/*T*tối đa)] (43)

Giá trị của biến A thay đổi tuyến tính với*nếuc*, lấy*nếuc*=2.*T*tối đalà số lần lặp lại tối đa.

* + - 1. **Hướng vị trí tốt nhất:**Để tránh va chạm giữa các con mòng biển, mòng biển sẽ di chuyển về hướng có vị trí tốt nhất cho mòng biểnPhương trình [(44),](#_bookmark27)

*TôSi*=*t B*× (*Pt bs*−*Pt S*) (44)

Ở đâu*TôitS*biểu thị hướng vị trí tốt nhất của mòng biển;*Pt bs*là tốt nhất tư thế của mòng biển;*B*là một số ngẫu nhiên và biểu thức của nó được xác định như Công thức (45),

*B*=2×*MỘT*2×*rngày* (45)

**Bảng 2**

Bảng so sánh phân bố điểm ngẫu nhiên và bản đồ hỗn loạn của mèo.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Khoảng cách | Ngẫu nhiên | Bản đồ mèo |
| [0, 0,1) | 5188 | 5049 |
| [0,1, 0,2) | 4995 | 4920 |
| [0,2, 0,3) | 5039 | 4975 |
| [0,3, 0,4) | 5068 | 5028 |
| [0,4, 0,5) | 4879 | 4981 |
| [0,5, 0,6) | 4867 | 5048 |
| [0,6, 0,7) | 5116 | 5058 |
| [0,7, 0,8) | 4860 | 4962 |
| [0,8, 0,9) | 5023 | 4999 |
| [0,9, 1) | 4965 | 4980 |
| Phương sai | 10.865,4 | 1808.4 |

Dân số SOA được cải thiện, do đó dân số ban đầu được tạo ra có tính đa dạng tốt hơn. Các bản đồ hỗn loạn thường được sử dụng trong các thuật toán tối ưu hóa là Bản đồ logistic[50][,](#_bookmark103) Bản đồ lều[51], Một [bản](#_bookmark104) đồ

[[52],](#_bookmark105) v.v. So với các phép ánh xạ hỗn loạn khác, phép ánh xạ Cat có đặc

điểm phân phối tốt hơn[17], do đó, dạng khởi tạo của chuỗi bản đồ hỗn loạn Cat được đề xuất trong bài báo. Biểu thức bản đồ Cat có thể là Phương trình (50),

{

Ở đâu*rngày*là một số ngẫu nhiên giữa [0,1].

*xN*+1= (*xN*+*vàN*)bản sửa đổi1 (50)

*vàN*+1= (*xN*+2*vàN*)bản sửa đổi1

Ở đâu*x*mod 1 =*x*– [*x*] có nghĩa là chỉ có phần phân số của*x*được thực hiện; *xN*

,*vàN*là các giá trị của tham số ánh xạ mèo được tính toán cho*N*-lần thứ.

Biểu thức dạng ma trận ánh xạ Cat hai chiều là như sauPT [(51),](#_bookmark30)

* + - 1. **Tiếp cận vị trí tối ưu của mòng biển:**Sau khi cá nhân

mòng biển đến một vị trí không xung đột với các con mòng biển khác, mòng

[ ] [

*xN*+1 =

][ ] [ ]

*xN*mod1 =*C N*

1 *x*

*N*

biển sẽ cập nhật vị trí của mình để đến gần hơn với vị trí mòng biển tối ưu, vì Phương trình [(46),](#_bookmark31)

*DSt* = |*Ct S*+*TôitS*| (46)

*vàN*+1

Ở đâu*C*=

1 2

# [ 1 1 ]

1

1 2

*vàN*

và |*C*| = 1.

*và* bản mod1 (51)

Ở đâu*Dt S*là địa điểm di cư mới của loài mòng biển.

* + 1. *Hành vi hung hăng*

Khi những con mòng biển tấn công con mồi, chúng cần bay xuống theo hình xoắn ốc và liên tục thay đổi hướng và góc tấn công, điều này có thể được diễn tả như sauPhương trình [(47),](#_bookmark32)

⎧

⎪⎨*X*=*r*×cos*số*

⎪*Z Có*=*r*×tội lỗi*số* (47)

⎩ =*r*×*số*

*r*=*bạn*×*vàv*

Bản đồ Cat và phân phối điểm-điểm ngẫu nhiên đã được thử nghiệm 50.000 lần và phân phối của chúng trong khoảng 0–1 được tính toán như thể hiện trong Bảng [2.](#_bookmark28) Bằng cách tính toán phương sai của trường hợp phân phối khoảng, có thể thấy rằng bản đồ Cat có phân phối tốt hơn trên toàn bộ không gian giải pháp.

Trong quá trình khởi tạo dân số, nếu số lượng mẫu dân số là*N*, sau đó toàn bộ dân số được khởi tạo có thể được biểu thị như sau**x**= [*x*1,*x*2,., *xN*]. Dân số cá thể*x*1và tham số phụ trợ*và*1được tạo ra ngẫu nhiên trong phạm vi định nghĩa dân số,*x*2Và*và*2được tính toán theoCác phương trình (50) và (51)và các quần thể khác được tính [toán tuần tự.](#_bookmark29) Các tính toán**x**là dân số.

Ở đâu*r*là bán kính của đường bay xoắn ốc khi con mòng biển tấn công;*số*là

giá trị góc ngẫu nhiên trong khoảng [0, 2*số π*];*bạn*Và*v*là hằng số;*và*là *4.2.2. Thiết kế thuật toán tối ưu hóa lượng tử Seagull (QSOA)* Máy tính

cơ số của logarit tự nhiên.

Cuộc tấn công của con mòng biển theo hình xoắn ốc có thể được diễn tả như sauPhương trình [(48),](#_bookmark33)

lượng tử là một mô hình máy tính mới nổi dựa trên cơ học lượng tử.

Với nguyên lý chồng chập của cơ học lượng tử, hiệu quả tính toán được cải thiện. Trong máy tính lượng tử,

*PtS*=*Dt S*•*X*•*Có*•*Z*−*Pt bs* (48) hàm biến đổi logic của qubit thường được thực hiện thông qua một loạt các phép biến đổi đơn vị. Một thiết bị lượng tử thực hiện các phép biến đổi logic

Ở đâu*Pt S*có nghĩa là vị trí tấn công của mòng biển trong chuyển động xoắn ốc.

Công thức lặp SOA có thể thu được bằng cách tổng hợpCác phương trình

[(42) đến (48)](#_bookmark25),

trong một khoảng thời gian nhất định được gọi là cổng lượng tử. Các cổng lượng tử một bit thường được sử dụng bao gồm cổng pha,*số π*/8 cổng, cổng Hadamard, cổng xoay lượng tử, v.v. Cổng xoay lượng tử có thể được

*PtS*+1=*Pt*

*bs*+ |*B*•*Pt bs*+ (*MỘT*−*B*)*Pt S*| •*X*•*Có*•*Z* (49)

biểu diễn nhưPhương trình (52),

[ ][

=

] [ ]

* + 1. *Các vấn đề hiện tại của SOA và phương pháp cải tiến*

Mặc dù SOA có ưu điểm là hiệu suất tối ưu hóa tốt hơn và tốc độ

|*φ*′〉 =*R*|*φ*〉 =

cosΔ*φ* − sinΔ*φ* cos*φ*

sinΔ*φ* cosΔ*φ* tội lỗi*φ*

cos(*φ*+ Δ*φ*)

tội lỗi(*φ*+ Δ*φ*)

# (52)

tính toán nhanh hơn các thuật toán tối ưu hóa truyền thống, nhưng nó vẫn có vấn đề về khả năng nhiễu loạn toàn cục yếu và dễ rơi vào giải pháp tối ưu cục bộ. Do đó, dựa trên bản đồ hỗn loạn, phương pháp khởi tạo dân số được cải thiện để tăng phân phối toàn cục của dân số ban đầu SOA; Dựa trên cổng xoay lượng tử và cổng NOT lượng tử, quá trình cập nhật lặp lại dân số được thực hiện tốt hơn để tăng tốc độ tính toán; Hệ số hội tụ phi tuyến tính được đưa vào để tăng khả năng nhiễu loạn toàn cục trong giai đoạn đầu và khả năng tìm kiếm cục bộ trong giai đoạn sau. Sau đó, một thuật toán tối ưu hóa chim mòng biển thích ứng lượng tử hỗn loạn mới được đề xuất, có tên là CQASOA.

ở đâu |*φ*〉là giai đoạn trước khi cửa quay lượng tử chuyển dịch

sự hình thành; |*φ*′〉là pha sau phép biến đổi cửa quay lượng tử; Δ*φ*là radian quay pha của cửa quay lượng tử.

Do hiệu quả cao của điện toán lượng tử, hiệu suất tính toán và tốc độ hội tụ của các thuật toán tối ưu hóa thông minh có thể được cải thiện thông qua các cổng quay lượng tử[53]. Cổng quay lượng [tử](#_bookmark106) được thử nghiệm để tăng tốc độ hội tụ và độ chính xác của SOA bằng cách kết hợpCác phương trình (52) và [(49)và biểu thức](#_bookmark35) sau (Các phương trình

(53) đến (55)[) sẽ được thỏa](#_bookmark36) mãn:

*φ*=*Pt bs* (53)

* 1. *Thiết kế thuật toán tối ưu hóa Seagull thích ứng lượng tử hỗn loạn (CQASOA)*

*φ*′=*Pt*+1*S*

Δ*φ*= |*B*•*Pt bs*+ (*MỘT*− *B*)*PtS*| •*X*•*Có*•*Z*

# (54)

(55)

* + 1. *Thiết kế thuật toán tối ưu hóa Chaos Seagull (CSOA)* So với các thuật toán ngẫu nhiên, các bản đồ hỗn loạn có tính ergodic hơn. Trong bài báo

này, dựa trên bản đồ hỗn loạn, quá trình khởi tạo của

Hướng của góc Δ*φ*có thể được lựa chọn theo các quy tắc sau: Khi*R*‡ 0, hướng là -sgn(*R*); Khi*R*=0, các



**Hình 3.**Sơ đồ CQASOA.

# 0 1 cos*φ* =

tội lỗi*φ*

= cos(*π/*2 − *φ*)

# (56)

được phân bổ*VỐN*

3,:]

Ở đâu*φ*là sự biến đổi có thể đượtcrên pha của cổng NOT lượng tử,

h *MỘT*=*nếuc*{vì[*số π*• (*t/t*tối đa) +1]}*/*2 (57)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| hướng có thể là tích cực hoặc tiêu cực.  Trong điện toán lượng tử, các pha chuyển đổi lượng tử có thể đạt được thông qua các cổng NOT lượng tử. Trong thuật toán tối ưu hóa thông minh, phạm vi duyệt toàn cục của thuật toán có thể được tăng | **Bảng 3**  Ma trận quy tắc mã hóa Ví dụ số của cá nhân*P*.  Mã số tàu | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| lên theo hiệu suất của cổng NOT lượng tử[54][. Đối](#_bookmark107) với vấn đề dễ rơi vào | Hàng đầu tiên: Trình tự neo đậu *MÒ HEO*[*P*, | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 | 6 |
| giải pháp tối ưu cục bộ, bài báo này cố gắng làm nhiễu loạn toàn cục vị trí cá nhân của quần thể thông qua cổng NOT lượng tử để thoát khỏi tối ưu cục bộ và tăng cường khả năng tìm kiếm toàn cục của SOA. Biểu thức cổng NOT lượng tử có thể được xác định làPhương trình (56), | *Tiếng nói* 1,:]  Hàng thứ hai: Bến tàu *MÒ HEO*[*P*,  chức vụ*VB* 2,:]  Hàng thứ ba: Số lượng *MÒ HEO*[*P*, | 3  2 | 1  3 | 2  2 | 4  1 | 3  5 | 4  5 |
| [ ][ ] [ ] [ ]  1 0 tội lỗi*φ* cos*φ* tội lỗi(*π/*2 −*φ*) | Hàng thứ tư: Số lượng *MÒ HEO*[*P*,  được phân bổ*VK* 4,:] | 11 | 8 | 14 | 9 | 10 | 13 |

xác định bởiPhương trình [(5 3)](#_bookmark36).

Trong QSOA, xác suất pha lượng tử đi qua NO lượng tử

nơi biến đổi*MỘT*thay đổi phi tuyến tính và thích ứng với*nếuc*, lấy*nếuc*=2,

sau khi thêm số lần lặp lại, biến*MỘT*de-

Cổng T được thiết lập thành*Ptôi*. Sau khi đi qua lượng tử clines không tuyến tính từ 2 đến 0;*t*là số lần lặp hiện tại;*T*tối đa

cổng quay, một số ngẫu nhiên*P*được tạo ra giữa [0,1]. Nếu

*p < ptôi*, nó đi qua cổng NOT lượng tử, nếu không nó sẽ đi vào

là số lần lặp lại tối đa.

quá trình lặp lại tiếp theo. *4.2.4. Thiết kế thuật toán tối ưu hóa Seagull thích ứng lượng tử hỗn loạn* *(CQASOA)*

*4.2.3. Thiết kế pa thích ứng thuật toán tối ưu hóa rametric seagull*

*(ASOA)*

Xem xét rằng SOA có vấn đề về khả năng nhiễu yếu trong giai đoạn đầu và khả năng thăm dò cục bộ không đủ trong giai đoạn sau, tham

số thích ứng eters được giới thiệu. Trong SOA, các giá trị o nếu

tham số*MỘT*Và*B*ảnh hưởng khả năng nhiễu loạn toàn cầu và vị trí al

Bởi vì ba thuật toán CSOA, QSOA và ASOA có

lợi thế, bài báo này cố gắng tích hợp ba cải tiến trên

phương pháp để có được CQASOA. sơ đồ dòng chảy của CQASOA được hiển thị trong

[Hình 3](#_bookmark37):

sự khám phá khả năng. Và tham số*MỘT*có liên quan đến*B*. Do đó, điều này

giấy attem pts để cải thiện tham số hội tụ tuyến tính*MỘT*. MỘT

hàm phi tuyến tính được coi là được thêm vào để thiết lập mối quan hệ chức năng giữa số lần lặp*t*và sự hội tụ

tham số*MỘT*, để tăng cường khả năng nhiễu loạn toàn cầu ban đầu và khả năng phát triển cục bộ sau đó. Biểu thức cụ thể làPhương trình (57)[,](#_bookmark40)

* 1. *Các thiết kế phương pháp giải để giải mô hình TEU-BQCT*

*dựa trên CQASOA*

* + 1. *Xây dựng quy tắc mã hóa cho mô hình TEU-BQCT*

Nhằm mục đích tạo điều kiện thuận lợi cho việc thể hiện các biến tối ưu trong quá trình giải mô hình, một ma trận mã hóa số tự nhiên của neo đậu

thứ tự, bến được chỉ định, số cần cẩu cầu cảng được chỉ định và số xe container được chỉ định được xây dựng. Số cột ma trận là *v*, phụ thuộc vào tổng số tàu thuyền vào cảng; Số hàng trong ma trận là bốn, hàng đầu tiên biểu thị thứ tự các tàu thuyền vào cảng (***Tiếng nói***), hàng thứ hai có nghĩa là số sê-ri của bến tàu sẽ được đỗ (***VB***), hàng thứ ba biểu thị số sê-ri của cần cẩu cầu cảng được phân bổ (***VỐN***), và hàng thứ tư là số lượng bộ xe tải (***VK***). Một ví dụ số đơn giản về phương pháp mã hóa được thể hiện trongBảng 3. Cột đầu tiên của ma trận mã hóa được lấy làm ví dụ: tàu được đánh [số](#_bookmark39) 1, thứ tự tàu vào cảng là 3, số sê-ri của bến tàu sẽ đậu là 3, số cần cẩu bến được phân bổ là 2 và số xe tải được phân bổ là 11.

* + 1. *Thiết kế thuật toán tích hợp khả thi (F-IA) cho mô hình TEU-BQCT*

Theo quy trình hoạt động của cảng,*Tiếng nóiTôi*,*VBTôi*,*VỐNTôi*, Và*VKTôi* là số tự nhiên, do đó ma trận mã hóa được định nghĩa là ma trận số tự nhiên. Kết quả tính toán lặp lại của CQASOA là một số thực, do đó, một thuật toán tích hợp khả thi (F-IA) phù hợp với mô hình TEU-BQCT được thiết kế để làm cho các biến tối ưu hóa của mỗi lần lặp cập nhật đáp ứng các yêu cầu của số tự nhiên.

Thuật toán chủ yếu được chia thành bốn phần, tương ứng thực hiện xử lý số nguyên khả thi cho các vectơ bốn hàng của ma trận mã hóa.

Trong bài báo này, ma trận mã hóa là***MÒ HEO*[*P*,:,:]** cá nhân*P*như một ví dụ (nơi*MÒ HEO*[*P*, 1,*q*] biểu thị giá trị tương ứng với*q*- cột thứ của hàng đầu tiên;*kích thước mòng biển*là quy mô dân số) và quy trình thiết kế được giới thiệu như sau:

Bước 1Để*P*=1, chuyển đến Bước 2;.

Bước 2Nếu các biến ở hàng đầu tiên***MÒ HEO*[*P*, 1,:]**không bằng nhau thì chuyển sang Bước 3, nếu không thì chuyển sang Bước 4;.

Bước 3Sắp xếp***MÒ HEO*[*P*, 1,:]**theo kích thước số và sử dụng thứ tự

Bước 15Nếu*q*≥*v*, đi đến Bước 17, nếu không đi đến Bước 16;. Bước 16Hãy*q*=*q*+1, chuyển đến Bước 14;.

Bước 17Nếu*P*≥*kích thước mòng biển*, đi đến Bước 19, nếu không đi đến Bước 18;. Bước 18Hãy*P*=*P*+1, chuyển đến Bước 2;. Bước 19: Hoàn tất tích hợp khả thi.

Trong F-IA, Bước 2 đến 4 là xử lý số nguyên khả thi cho trình tự cập cảng của tàu; Bước 5 đến 8 là xử lý số nguyên khả thi cho các bến cập cảng; Bước 9 đến 12 là xử lý số nguyên khả thi để phân bổ số lượng cần cẩu bến; Bước 13 đến 16 là xử lý số nguyên khả thi để phân bổ xe tải.

* + 1. *Xây dựng hàm phạt ngoài áp dụng cho mô hình TEU-BQCT*

Nhằm vào ràng buộc thời gian cập cảng của tàu (12) và số lượng hoạt động của xe tải (32), phương pháp phạt bên ngoài được thử sử dụng để giải quyết TEU-[BQCT](#_bookmark108)[55]. Dựa trên phương pháp xây dựng hàm mục tiêu của mô hìnhPhương trình (1), hàm phạt bên ngoài hàm phụ trợ*F\_trừng phạt*được xây dựng như Eq. (58),

*F\_trừng phạt*=ω1⋅*tôi*1⋅*F\_trừng phạt*1+ ω2⋅*tôi*2⋅*F\_trừng phạt*2+ ω3⋅k*c*3⋅*F\_trừng phạt*3 (58)

Ở đâu*F\_trừng phạt*là hàm phụ của hàm mục tiêu*F*; *F\_trừng phạt*1, *F\_trừng phạt*2, Và*F\_trừng phạt*3là các hàm phụ của các hàm mục tiêu phụ*F*1,*F*2, Và*F*3;*ω*1,*ω*2, Và*ω*3là các yếu tố điều chỉnh trọng lượng;*tôi*1,*tôi*2, Và*tôi*3là hệ số cân bằng mức số lượng. (Hệ số điều chỉnh trọng số và hệ số cân bằng độ lớn đều thỏa mãn điều kiện củaPhương trình (2)).

Các chức năng phụ trợ*F\_trừng phạt*1,*F\_trừng phạt*2, Và*F\_trừng phạt*3có thể được xác định làCác phương [trình (59) đến (61),](#_bookmark41)

∑*v*

*F*\_*trừng phạt*1=*F*1+*μ*1 tối đa[(*TSTôi*−*TẠI SAOTôi*) − *TW*0*,*0] (59)

*Tôi*=1

∑*T*∑*c*

số tương ứng làm thứ tự neo đậu tàu***MÒ HEO*1[*P*, 1,:]**, cho phép

***SEAGULL\_MỚI*[*P*, 1,:]**=***MÒ HEO*1[*P*, 1,:]**, đi đến Bước 5;. Bước 4Sắp xếp ***MÒ HEO*[*P*, 1,:]**theo kích thước số và sử dụng thứ tự số tương ứng làm thứ tự neo đậu tàu***MÒ HEO*1[*P*, 1,:]**, trong đó đối với các tàu có giá

*F*\_*trừng phạt*2=*F*2+*μ*2

*F*\_*trừng phạt*3=*F*3

*t* [ *N*=1

tối đa(*CKkhông*− *Tôi,*0)] (60)

# (61)

trị bằng nhau, thứ tự được xác định theo thứ tự cập cảng trước khi tiến hóa, hãy***SEAGULL\_MỚI*[*P*, 1,:]**=***MÒ HEO*1[*P*, 1,:]**, đi đến Bước 5;. Bước 5Để*q*=1, chuyển đến Bước 6;.

Bước 6: Làm tròn bến tàu*MÒ HEO*[*P*, 2,*q*] của*q*-tàu thứ trong cá nhân*P*để có được*MÒ HEO*1[*P*, 2,*q*], và phán đoán xem*MÒ HEO*1

[*P*, 2,*q*] thỏa mãn các ràng buộc về bến tàu, nếu vậy, hãy*SEAGULL\_MỚI*[

*P*, 2, *q*] =*MÒ HEO*1[*P*, 2,*q*], nếu không phải là số tự nhiên*MÒ HEO*2[*P*, 2,*q*

] được tạo ngẫu nhiên theo điều kiện thỏa mãn ràng buộc neo đậu và

*SEAGULL\_MỚI*[*P*, 2,*q*] =*MÒ HEO*2[*P*, 2,*q*], chuyển đến Bước 7;.

Bước 7Nếu*q*≥*v*, đi đến Bước 9, nếu không đi đến Bước 8;. Bước 8Hãy*q*=*q*+1, đi đến Bước 6;. Bước 9Để*q*=1, chuyển đến Bước 10;.

Bước 10 Làm tròn số*MÒ HEO*[*P*, 3,*q*] của số sê-ri của cần cẩu bến

cảng được phân bổ cho*q*-tàu thứ trong cá nhân*P*để có được *MÒ HEO*1[*P*

, 3,*q*], và phán đoán xem*MÒ HEO*1[*P*, 3,*q*] đáp ứng các ràng buộc liên quan đến cần cẩu cầu cảng, nếu vậy, hãy*SEAGULL\_MỚI*[*P*, 3,*q*] =*MÒ HEO*1[*P*, 3,*q*], nếu không thì theo điều kiện các ràng buộc được đáp ứng, số tự nhiên*MÒ HEO*2[*P*, 3,*q*] được tạo ra ngẫu nhiên và *SEAGULL\_MỚI*[*P*

, 3,*q*] =*MÒ HEO*2[*P*, 3,*q*], chuyển đến Bước 11;.

Bước 11Nếu*q*≥*v*, đi đến Bước 13, nếu không đi đến Bước 12;. Bước 12Hãy*q*=*q*+1, đi đến Bước 10;. Bước 13Để*q*=1, chuyển đến Bước 14;.

Bước 14 Làm tròn số*MÒ HEO*[*P*, 4,*q*] đối với số lượng xe tải được phân bổ cho*q*-tàu thứ trong cá nhân*P*để có được*MÒ HEO*1[*P*, 4,*q*], và phán đoán xem *MÒ HEO*1[*P*, 4,*q*] thỏa mãn các ràng buộc của xe tải, nếu vậy, hãy *SEAGULL\_MỚI*[*P*, 4,*q*] =*MÒ HEO*1[*P*, 4,*q*], nếu không thì trong điều kiện các ràng buộc được đáp ứng, ngẫu nhiên tạo ra số tự nhiên *mòng biển*2[*P*, 4,*q*], cho phép*SEAGULL\_MỚI*[*P*, 4,*q*] =*MÒ HEO*2[*P*, 4,*q*], nhập Bước 15;.

Ở đâu*F*1,*F*2, Và*F*3là các giá trị hàm mục tiêu phụ 1–3, được xác định bởi Các phương trình [(3), (4) và (6);*TSTôi*](#_bookmark12)là thời điểm khi tàu*Tôi*bắt đầu hoạt động;*TẠI SAOTôi*là thời gian thực tế tàu đến*Tôi*;*TW*0là thời gian chờ tối đa cho phép của tàu;*CKkhông*là số lượng xe tải phục vụ cẩu bến cảng*N* vào thời điểm đó*t*;*Tôi*là tổng số xe tải có thể được phục vụ bởi các cảng container;*μ*1Và*μ*2là các yếu tố hình phạt, tùy thuộc vào Các phương [trình (62) và (63),](#_bookmark42)

*μ*1= biểu thức(*T*tối đa) (62)

*μ*2= biểu thức(*T*tối đa) (63)

Trong quá trình lặp lại cập nhật CQASOA, hàm phụ trợ được thay thế bằng hàm mục tiêu để tính giá trị hàm. Nếu các yêu cầu của ràng buộc (12) và (32) không thể được đáp ứng và kết quả tiếp cận +∞,kết quả sẽ bị loại bỏ trong quá trình lặp lại. Và sau đó sẽ thu được một giải pháp đáp ứng các ràng buộc.

* + 1. *Thiết kế quy trình giải mô hình TEU-BQCT dựa trên CQASOA*

CQASOA được đề xuất để giải mô hình TEU-BQCT, nhằm tối ưu hóa sơ đồ lập lịch để có được sơ đồ lập lịch trình trình tự cập cảng tàu - số bến - số cần cẩu cầu cảng dịch vụ - số xe tải dịch vụ với thời gian cập cảng ngắn nhất và lượng phát thải carbon của tàu thấp nhất. Quy trình giải mô hình TEU-BQCT được thiết kế như sau:

Bước 1Để*t*=1, chuyển đến Bước 2;.

Bước 2 Thiết lập quy mô dân số*kích thước mòng biển*và số lần lặp lại

*T*tối đa;.

Bước 3Theo các quy tắc mã hóa TEU-BQCT, dân số hỗn loạn được khởi tạo theoCác phương trình [(50) và (51).](#_bookmark29)

Bước 4: Tích hợp khả thi của quần thể được khởi tạo dựa trên F-

**Bảng 4**

Thông tin cơ bản về tàu cập cảng quy mô lớn.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *NHẬN DẠNG* | *VLTôi* | *VdTôi* | *VÌ THẾ GIỚITôi* | *VCmTôi* | *VCMTôi* | *DTôi*1 | *DTôi*2 | *DTôi*3 | *DTôi*4 |
| 1 | 100 | 5 | 100 | 1 | 3 | 1831 | 2290 | 2574 | 3031 |
| 2 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 | 2139 | 2566 |
| 3 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 | 2139 | 2566 |
| 4 | 250 | 15 | 500 | 1 | 4 | 3114 | 2535 | 2054 | 2922 |
| 5 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 | 2273 | 2015 |
| 6 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 | 2273 | 2015 |

**Bảng 5**

Thông tin cơ bản về tàu cập cảng quy mô nhỏ.

**Bảng 6**

Ví dụ về giá trị của hệ số điều chỉnh trọng lượng và ứng dụng tương ứng.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *NHẬN DẠNG* | *VLTôi* | *VdTôi* | *VÌ THẾ GIỚITôi* | *VCmTôi* | *VCMTôi* | *DTôi*1 | *DTôi*2 |  |  | *ω*1 | *ω*2 | *ω*3 |
| 1 | 100 | 5 | 100 | 1 | 3 | 1831 | 2290 |  | *Tình huống I*: Tập trung vào việc cắt giảm thời gian tàu trong | 0,5 | 0,25 | 0,25 |
| 2 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 |  | cảng |  |  |  |
| 3 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 |  | *Tình huống II*: Tập trung vào việc cắt giảm carbon của xe tải | 0,25 | 0,5 | 0,25 |
| 4 | 250 | 15 | 500 | 1 | 4 | 3114 | 2535 |  | phát thải |  |  |  |
| 5 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 |  | *Tình huống III*: Tập trung vào việc cắt giảm carbon | 0,25 | 0,25 | 0,5 |
| 6 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 |  | khí thải của cần cẩu cầu cảng |  |  |  |
| Tôi;. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Bước 5Tính giá trị của hàm phụ trợ*F\_trừng phạt*của dân số;.

**Bảng 7**

Kết quả tính toán của ba nhóm điều kiện làm việc tiêu biểu.

Bước 6: Tìm kiếm giải pháp tối ưu toàn cục và vị trí giải pháp tối ưu;.

Bước 7: Hoàn thành quá trình tiến hóa lặp lại của quần thể dựa trênCác phương trình [(49) và](#_bookmark34)

[(52)](#_bookmark34);.

Bước 8: Tạo ngẫu nhiên một số ngẫu nhiên 0–1*P*, nếu như*p < ptôi*, chuyển đến Bước 9, nếu không chuyển đến Bước 10;.

Bước 9Nhập cổng NOT lượng tử, thực hiện phép biến đổi cổng NOT

lượng tử dựa trênPhương [trình (56)](#_bookmark38)và nhập Bước 10;.

Bước 10Nếu*t*≤*T*tối đa, đi đến Bước 11, nếu không đi đến Bước 12;. Bước

Thời gian tàu thuyền ở cảng*F*1

Và*μTrợ lý*=0,03.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Tình huống I* | 10.82975589 | 15385.84584 | 18185.71205 |
| *Tình huống* | 11.44170212 | 14555.17091 | 18219.32922 |
| *II*  *Tình huống* | 12.46912124 | 14989.03284 | 15826.06306 |
| *III* |  |  |  |

Xe tải các-bon

phát thải*F*2

Cần cẩu bến cảng carbon

phát thải*F*3

11Hãy*t*=*t*+1, chuyển đến Bước 4;.

Bước 12: Hoàn tất tất cả các phép tính lặp lại và đưa ra kết quả tối ưu.

* 1. *Cơ chế tối ưu hóa lăn*

Xem xét các vấn đề về đổi mới tàu và sắp xếp lại thiết bị tại cảng, một cơ chế tối ưu hóa lăn được thiết kế để cung cấp một sơ đồ ứng dụng thực tế của phương pháp giải pháp TEU-BQCT\_CQASOA cho các nhà quản lý cảng theo đặc điểm của các hoạt động làm việc liên tục tại cảng. Dựa trên nguyên tắc "lô và thời gian", cơ chế này sẽ xử lý tàu theo lô theo thời gian đến ước tính của tàu. Khi một lô tàu vào cảng, nếu không có tàu nào trong cảng container đang thực hiện các hoạt động làm việc, nó sẽ trực tiếp vào trình tự tối ưu hóa, áp dụng TEU- BQCT\_CQASOA để giải quyết sơ đồ lập lịch và bắt đầu quá trình tối ưu hóa; Nếu các lô tàu khác đang xếp dỡ, các tàu sẽ chuyển sang lô tiếp theo và đợi quá trình tối ưu hóa của lô tàu trước đó để bắt đầu tối ưu hóa.

## Thí nghiệm số

* 1. *Thiết lập thử nghiệm*

Trong bài báo này, hai cảng ở Nam Trung Quốc được lấy làm ví dụ để tiến hành các thí nghiệm số. Các cảng quy mô lớn có 4 bến, bến số 1–3 dài 400 m và mớn nước 20 m, chiều dài bến số 4 là 400 m và mớn nước 30 m, tổng số cần cẩu cầu cảng là 12; Các cảng quy mô nhỏ có 2 bến và bến số 1 dài 400 m, mớn nước 20 m, chiều dài bến số 2 là 400 m, mớn nước 30 m, tổng số cần cẩu cầu cảng là 6. Cửa sổ thời gian mực nước ở hai cảng dài 6 giờ. Thời gian lệch cho tàu đến cảng tuân theo phân phối Erlang và các tham số được đặt là*tôiTrợ lý*=6

Hiệu suất tải và dỡ lý thuyết của cần cẩu bến là 2TEU/(đơn vị⋅Giới hạn trên đối với tàu nhỏ, vừa và lớn để cho phép cần cẩu bờ thực hiện các hoạt động làm việc là 3, 4 và 5. Cảng nằm ở Nam Trung Quốc, hệ số phát thải chuẩn của lưới điện là 0,8959, mức tiêu thụ năng lượng làm việc của lưới điện đối với hoạt động làm việc của cần cẩu bờ là 120kWh/ h và cần cẩu bờ di động tiêu thụ 12kWh/lần điện.

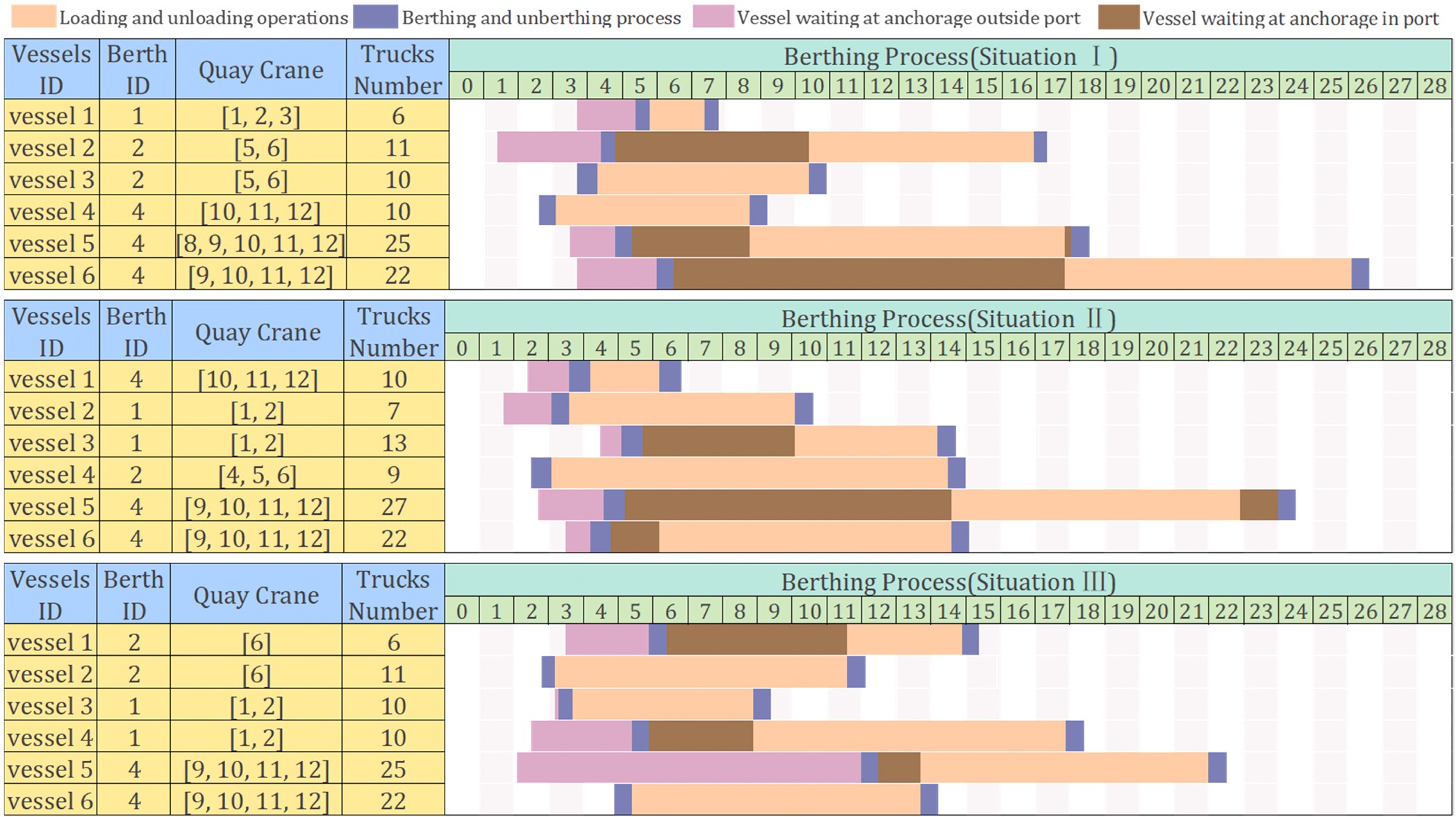
Tốc độ không tải của xe tải vh~*N*(*vh*; 35, 4), đơn vị là km/h, tốc độ xe tải chở hàng nặng vtôi~*N*(*vtôi*; 25, 4), đơn vị là km/h. Trọng lượng riêng của xe tải là 4,5 tấn, mức tiêu thụ nhiên liệu không tải là 2,14 L/h, tổng số xe tải trong cảng container là 45 và hệ số phát thải carbon của xe tải là 2,65 kg/L. Quy cách container là container 20 feet, tổng trọng lượng là 17,5 tấn và trọng lượng riêng là 2,3 tấn.

Trong bài báo này, 6 tàu cập cảng được sử dụng làm nhóm để mô phỏng. Giới hạn trên cho thời gian chờ của tàu được đặt là 24 giờ.Bảng [4 Và](#_bookmark43) Bảng [5cho](#_bookmark44) thấy chiều dài của tàu (*VLTôi*), mớn nước của tàu (*VdTôi*), trọng tải chết (*VÌ THẾ GIỚITôi*), bến tàu được ưa thích (*Phó chủ tịchTôi*), giới hạn dưới của cần cẩu cầu cảng phục vụ tàu thuyền (*VCmTôi*), giới hạn trên của cần cẩu cầu cảng phục vụ tàu thuyền (*VCMTôi*), và khoảng cách giữa tàu*Tôi*neo đậu tại bến*j* và sân mục tiêu (*Dtôi*):

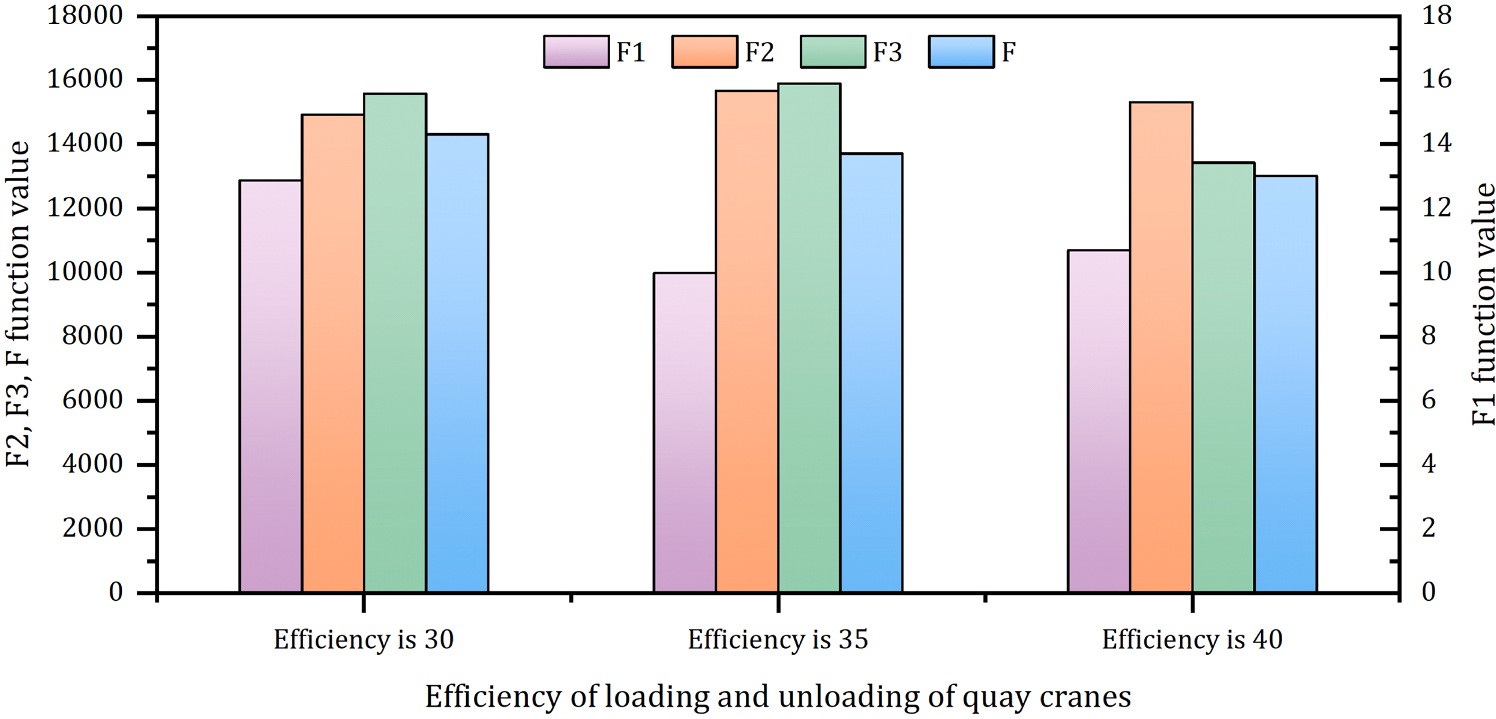
Một cơ sở dữ liệu động được hoàn thành với MySQL và thuật toán được lập trình bằng ngôn ngữ python3.9. Môi trường hoạt động là máy tính xách tay Intel(R) Core(TM) i7–7500 U thế hệ thứ 7, 1,99 GHz, bộ nhớ 8,00 GB, hệ điều hành: Windows11.

* 1. *Phân tích hiệu suất mô hình TEU-BQCT*
     1. *Phân tích hiệu suất mô hình theo các nhu cầu khác nhau*

Để đáp ứng các yêu cầu lập lịch trình của các cảng trong các thời kỳ khác nhau, các yếu tố điều chỉnh trọng lượng*ω*1,*ω*2, Và*ω*3được đưa vào mô hình TEU-BQCT để hiện thực hóa việc phát triển các chương trình lập lịch trình phù hợp cho các cảng có nhu cầu khác nhau. Ba nhóm đại diện



**Hình 4.**Lên lịch phân bổ theo hệ số trọng số khác nhau.



**Hình 5.**Ảnh hưởng của hiệu suất làm việc của cần cẩu cầu cảng.

giá trị trọng lượng và tình huống ứng dụng được thiết lập để kiểm tra tác động của hệ số điều chỉnh trọng lượng trên mô hình TEU-BQCT trong bài báo này, như thể hiện trong[Bảng](#_bookmark45) 6:

[Bảng 6](#_bookmark45)hiển thị các giá trị hệ số trọng số trong các tình huống khác nhau:

***Tình huống I*:**

Khi cảng container vào mùa cao điểm, số lượng tàu ra vào cảng lớn, gây ách tắc tàu thuyền. Cần phải rút ngắn thời gian tàu thuyền lưu lại cảng, nâng cao hiệu quả hoạt động của cảng container. Lúc này, giá trị trọng lượng*ω*1nên được tăng lên.

***Tình huống II*:**

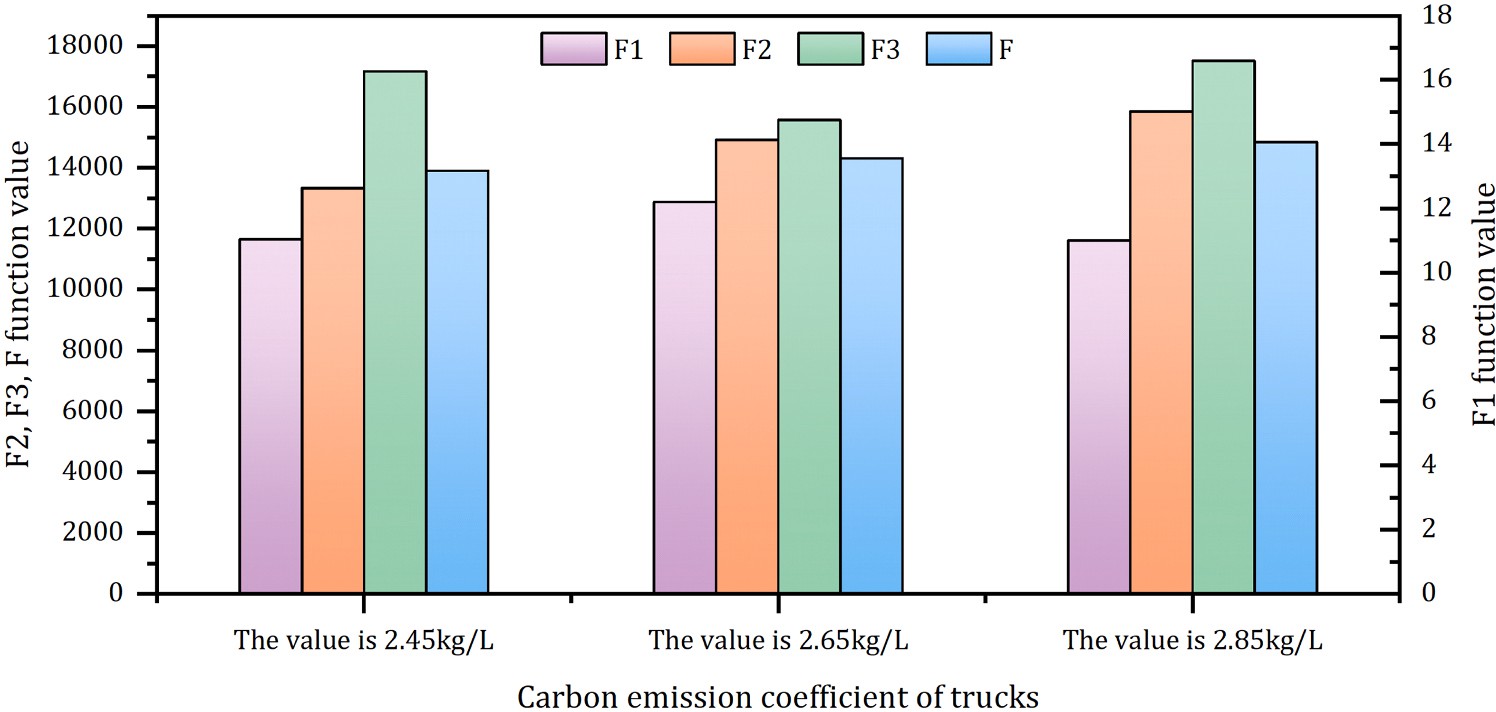
Lượng nhiên liệu thải ra từ xe tải sẽ làm giảm chất lượng môi trường. Để ngăn ngừa việc tạo ra khói mù, xét đến tính nhạy cảm của môi trường, giá trị của trọng lượng*ω*2nên được tăng lên.

***Tình huống III*:**

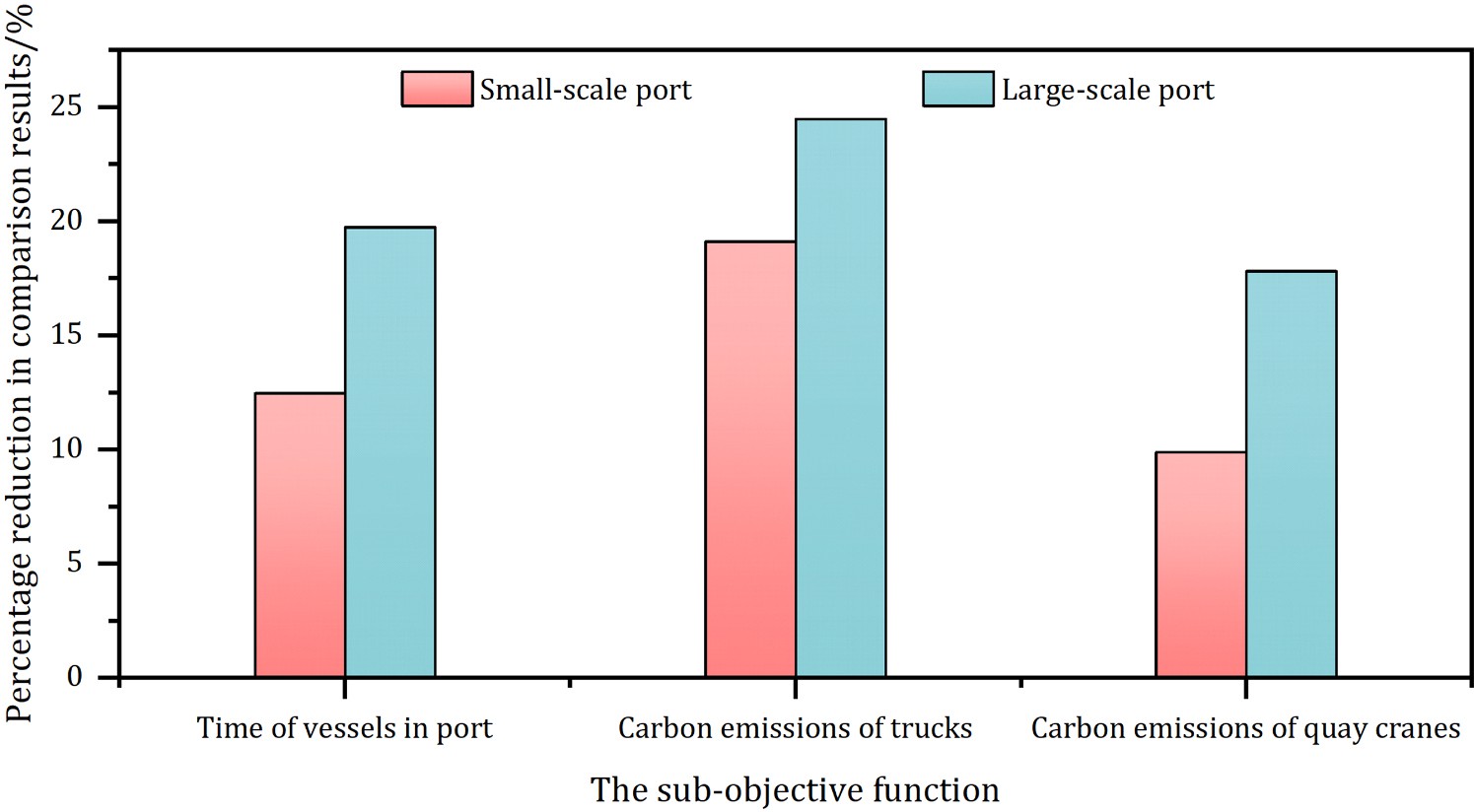
Hoạt động của cần cẩu cầu cảng sẽ tiêu thụ năng lượng điện. Nếu mức tiêu thụ điện của cần cẩu cầu cảng quá cao, nó sẽ dẫn đến tăng lượng khí thải carbon của cảng. Xem xét việc giảm mức tiêu thụ năng lượng lao động do hoạt động của cần cẩu cầu cảng tạo ra, giá trị của trọng lượng*ω*3nên được tăng lên.

Tính toán mô phỏng được thực hiện theo ba bộ giá trị hệ số trọng số trên. Trong cùng điều kiện, kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 7và sơ đồ lập lịch được hiển [thị trong](#_bookmark46)Hình 4:

Bằng cách so sánh*Tình huống II*Và*III*Và*Tình huống I*, người ta thấy rằng nhằm mục đích giảm thời gian quay vòng của tàu, giá trị của hệ số trọng lượng*ω*1có thể được tăng lên, do đó thời gian quay vòng của tàu *Tình huống I*có thể giảm lần lượt là 5,35% và 13,15%; So với*Tình huống I*Và*III*, lượng khí thải carbon của xe tải*Tình huống II* giảm 5,40% và 2,58%, điều này cho thấy một kế hoạch điều động



**Hình 6.**Ảnh hưởng của hệ số phát thải carbon của xe tải.



**Hình 7.**Ảnh hưởng của kích thước cổng.

có thể được tạo ra để giảm lượng khí thải carbon của người thu gom bằng cách tăng giá trị của hệ số trọng lượng*ω*2; Sau khi tăng hệ số trọng lượng*ω*3, lượng khí thải carbon của*Tình huống III*cần cẩu cầu

**Bảng 8**

Kết quả phân tích so sánh mô hình TEU-BQCT và mô hình hiện tại.

cảng giảm lần lượt 12,98% và 13,14%, cho thấy hệ số trọng lượng*ω*3có thể được sử dụng để tạo ra kế hoạch điều động nhằm giảm lượng khí thải carbon từ cần cẩu cầu cảng.

Thử nghiệm trên cho thấy mô hình TEU-BQCT có thể đạt được mục tiêu mong đợi là đáp ứng các nhu cầu khác nhau của cảng trong các

Thời gian tàu thuyền ở cảng Lượng khí thải carbon của xe tải Cẩu trục bằng carbon

phát thải

TEU- BQCT

12,87

14.921,95

15.573,20

EB&QC

[[18]](#_bookmark74)

12.07

16.799,84

20,198.67

TEU-BQCT so với E-

B&QC[[18]](#_bookmark74)

Tăng 6,66%

Giảm 11,18%

Giảm giá 22,90%

giai đoạn khác nhau, cho thấy nỗ lực đưa hệ số trọng số vào là khả thi.

Thời gian chờ đợi bổ sung cho

tàu

19,84 15,52 Tăng 27,80%

* + 1. *Phân tích độ tin cậy của hiệu suất mô hình*

1. Ảnh hưởng của hiệu suất làm việc của cần cẩu cầu cảng.

Đầu tiên, để kiểm tra tác động của những thay đổi trong hiệu quả xử lý cần cẩu cầu cảng đối với mô hình TEU-BQCT, chúng tôi thiết lập ba hiệu quả xử lý cần cẩu cầu cảng khác nhau, 30TEU/h, 35TEU/h và 40TEU/h. Kết quả [thử](#_bookmark50) nghiệm được hiển thị trongHình 5. So với trường hợp hiệu suất bốc xếp là 30TEU/h, hàm mục tiêu*F*trong hai trường hợp còn lại giảm lần lượt là 4,38% và 9,99%.

[TRONG](#_bookmark50)Hình 5, theo sự gia tăng hiệu quả tải và dỡ hàng, mỗi hàm mục tiêu phụ dao động nhẹ nhưng có ít tác động, và hàm mục tiêu*F*cho thấy xu hướng giảm. Kết quả phân tích mô phỏng ví dụ cho thấy hiệu quả tối ưu hóa của mô hình TEU-BQCT tốt hơn bằng cách tăng hiệu quả làm việc của cầu cảng

cần cẩu.

1. Ảnh hưởng của hệ số phát thải carbon của xe tải.

Thứ hai, chúng tôi thiết lập các hệ số phát thải carbon khác nhau để kiểm tra tác động của việc thay đổi hệ số đối với mô hình [TEU-](#_bookmark51)BQCT. Hình 6thể hiện kết quả thực nghiệm. So với hệ số phát thải carbon là 2,45 kg/L, hàm mục tiêu*F*tăng lần lượt 2,82% và 6,31% trong trường hợp hệ số là 2,65 kg/L và 2,85 kg/L.

Kết quả thực nghiệm cho thấy sau khi cải thiện hệ số phát thải carbon, các hàm mục tiêu phụ*F*1Và*F*3có ít thay đổi tổng thể và hàm mục tiêu phụ*F*2và hàm mục tiêu*F*cho thấy một xu hướng tăng nhẹ. Nhìn chung, mô hình TEU-BQCT vẫn có thể đảm bảo hiệu quả tối ưu hóa của nó khi lượng khí thải carbon

**Bảng 9**

Lựa chọn tham số của thuật toán so sánh.

Thuật toán tối ưu hóa trí thông minh bầy đàn

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Thuật toán  tên | Tổng số nhóm  con số | Số lần lặp lại tối đa | Các bổ sung khác  siêu tham số |  |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 50 | 100 | — — |  |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 50 | 100 | *nếuc Ptôi* |  |
|  |  |  |  | =2 =0,10 |  |
|  | ASOA | 50 | 100 | *nếuc Ptôi* |  |
|  |  |  |  | =2 =0,10 |  |
|  | CSOA | 50 | 100 | *nếuc Ptôi* |  |
|  |  |  |  | =2 =0,10 |  |
|  | QSOA | 50 | 100 | *nếuc Ptôi* |  |
|  |  |  |  | =2 =0,10 |  |
|  | CQASOA | 50 | 100 | *nếuc Ptôi* |  |
|  |  |  |  | =2 =0,10 |  |

**Các thuật toán tối ưu hóa khác**

thời gian quay vòng, lượng khí thải carbon của xe tải và lượng khí thải carbon của cần cẩu bến cảng lần lượt là 12,46%, 19,11% và 9,88%).

Kết quả phân tích so sánh cho thấy mô hình TEU-BQCT có thể thích

ứng với các cảng khác nhau và cung cấp các sơ đồ lập lịch tương ứng. Ngoài ra, hiệu quả tối ưu hóa rõ ràng hơn khi quy mô cảng tăng lên.

* + 1. *Phân tích so sánh với các mô hình hiện có*

Nhằm mục đích kiểm tra hiệu suất của mô hình, chúng tôi đã chọn mô hình so sánh trong tài liệu[[18]](#_bookmark74)để phân tích so sánh. Thời gian quay vòng của tàu, chi phí khoảng cách vận chuyển bổ sung của xe tải container và chi phí thời gian chờ bổ sung của tàu được xác định là các hàm mục tiêu của mô hình EB&QC. Do đó, theo kết quả giải pháp, chúng tôi chuyển đổi chi phí vận chuyển xe tải bổ sung thành lượng khí thải carbon của xe tải. Thời gian quay vòng của tàu, lượng khí thải carbon từ xe tải container, lượng khí thải carbon từ cần cẩu cầu cảng và thời gian chờ bổ sung của tàu được xác định là các phân tích so sánh

Thuật toán

tên SASS[[56]](#_bookmark109) BÓNG RÂM

[[57]](#_bookmark110)

sCMAGES[[58]](#_bookmark111)

thay đổi hệ số.

Siêu tham số thuật toán

*N*=100,*H*=50

*N*phút= 4,*q*0= 0,5,*TôiCR*=0,5,*TôiF*=0,5,*TôiCRL*=0,5,*TôiHoa Kỳ*=0,5

*Pσ*=0,*Pc*=0,*C*0= 0,*TỐT*tối đa= 100

các chỉ số kỹ thuật.Bảng [8hiển](#_bookmark53) thị kết quả tính toán.

TRONGBảng 8, kết quả có cùng tác dụng trong việc giảm thời gian quay vòng tàu, với sự khác biệt chỉ 6,66% được giải quyết bằng cách áp dụng mô hình TEU-BQCT và mô hình so sánh. So với mô hình so sánh, sơ đồ điều độ thu được bằng cách áp dụng mô hình TEU-BQCT có thể giảm lần lượt 11,18% và 22,90% về mặt giảm lượng khí thải carbon từ xe tải và cần cẩu bờ, điều này cho thấy việc áp dụng mô hình TEU-BQCT

1. Ảnh hưởng của kích thước cổng.

Cuối cùng, chúng tôi kiểm tra tác động của kích thước cổng lên mô hình TEU- BQCT dựa trên dữ liệu từ hai cổng quy [mô ởMục](#_bookmark48) 5.1[.Hình](#_bookmark52) 7thể hiện kết quả phân tích mô phỏng ví dụ. TrongHình 7, [chúng](#_bookmark52) ta có thể thấy rằng hiệu quả đạt được bởi mô hình TEU-BQCT khi áp dụng cho các cảng lớn (giảm thời gian quay vòng của tàu, lượng khí thải carbon của xe tải và lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng lần lượt là 19,74%, 24,47% và 17,80%) tốt hơn so với hiệu quả đạt được khi áp dụng cho các cảng nhỏ (giảm số lượng tàu

**Bảng 10**

Kết quả tính toán của 9 thuật toán từ 1–5 lần khi giải mô hình TEU-BQCT.

tại cảng có thể đạt được giải pháp giảm lượng khí thải carbon. Thời gian chờ bổ sung của sơ đồ lập lịch trình tăng 27,80% khi áp dụng mô hình TEU-BQCT. Tuy nhiên, nhiều yếu tố như bến tàu, cần cẩu bờ và xe tải được cân nhắc trong mô hình TEU-BQCT, điều này chắc chắn sẽ làm tăng thời gian. Ngược lại, mô hình so sánh quá lý tưởng và thời gian chờ bổ sung của tàu được sử dụng làm hàm mục tiêu, do đó, sơ đồ lập lịch trình với thời gian chờ bổ sung của tàu thấp hơn sẽ

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trải nghiệm lặp lại 100 lần |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Thời gian quay vòng của tàu*F*1 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 11,83 | 11.27 | 11,93 | 10.28 | 11.26 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 12.37 | 13,87 | 14,57 | 10,96 | 10.15 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 14.28 | 14.03 | 13,93 | 13,73 | 12,83 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 10,73 | 10,67 | 12,93 | 15.03 | 10,97 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 11,85 | 13.16 | 13,78 | 12,96 | 12,69 |
|  | ASOA | 12.32 | 12,56 | 11,71 | 10,85 | 10.61 |
|  | CSOA | 13,65 | 10,74 | 10.29 | 11.08 | 11.43 |
|  | QSOA | 10,25 | 11,70 | 11,83 | 9,86 | 10,83 |
|  | CQASOA | 10,56 | 9,88 | 9.62 | 11.02 | 11.05 |
| Lượng khí thải carbon của xe tải*F*2 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 14.601,61 | 14.763,29 | 14.729,28 | 15,107.35 | 14,609.79 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 14,829.28 | 13,972.27 | 14,829.29 | 14.527,29 | 14,827.29 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 14.672,28 | 14.820,12 | 14,682.38 | 15.032,28 | 14.892,37 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 14,829.38 | 14.729,28 | 15.272,27 | 14,682.28 | 14.872,27 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 14,436.56 | 14,534.22 | 14.373,51 | 15.288,95 | 14.581,79 |
|  | ASOA | 14.784,66 | 14.357,11 | 14.974,99 | 15,102.34 | 14.718,44 |
|  | CSOA | 15.451,96 | 15.760,95 | 14,432.79 | 14.823,97 | 14.376,70 |
|  | QSOA | 14,685.43 | 14,692.03 | 15.383,85 | 14.381,43 | 14,629.20 |
|  | CQASOA | 14.018,24 | 15.009,87 | 15,411.47 | 14.665,62 | 14.311,81 |
| Lượng khí thải carbon của cần cẩu bến cảng*F*3 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 17.624,27 | 17,682.39 | 16.293,29 | 17,654.57 | 16.982,28 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 17.362,28 | 18.272,28 | 16,829.29 | 16,928.38 | 16.293,27 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 17.292,39 | 17,928.22 | 18.273,29 | 17,928.38 | 18.392,47 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 16,832.35 | 18.272,37 | 18.682,27 | 20.834,27 | 21.829,38 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 16.300,83 | 17,671.85 | 17,453.81 | 17.024,90 | 16.907,91 |
|  | ASOA | 16.469,93 | 16,403.40 | 18.180,37 | 18,157.74 | 16.306,28 |
|  | CSOA | 17,968.48 | 19,161.64 | 17,802.03 | 17.313,07 | 17,447.88 |
|  | QSOA | 16.891,00 | 16.845,06 | 18,185.71 | 16.671,49 | 16,101.31 |
|  | CQASOA | 16.388,48 | 16.798,23 | 17,428.64 | 16.371,71 | 15,955.23 |
| Hàm mục tiêu*F* | SASS[[56]](#_bookmark109) | 13,971.07 | 13.747,76 | 13.719,78 | 13,331.94 | 13,528.02 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 14,234.84 | 14.997,55 | 15,201.11 | 13,345.87 | 12.852,99 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 15,132.27 | 15,201.23 | 15203.02 | 15,104.31 | 14.735,82 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 13,279.54 | 13,586.88 | 14,952.27 | 16.393,28 | 14.661,72 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 13,608.81 | 14,631.35 | 14,846.48 | 14,559.03 | 14,216.28 |
|  | ASOA | 13,971.52 | 13,969.73 | 14,146.05 | 13.740,34 | 14,485.24 |
|  | CSOA | 15,181.84 | 14.099,92 | 13,204.66 | 15,131.71 | 13,671.20 |
|  | QSOA | 13.021,23 | 13,733.74 | 14.307,77 | 12.691,92 | 13,100.09 |
|  | CQASOA | 12.880,85 | 12.891,85 | 13.021,25 | 13,267.17 | 13.091,09 |

**Bảng 11**

Kết quả tính toán của 9 thuật toán từ 6-10 lần khi giải mô hình TEU-BQCT.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Trải nghiệm lặp lại 100 lần |  | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Thời gian quay vòng của tàu*F*1 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 10,98 | 11,98 | 10,38 | 10,95 | 10,46 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 11,73 | 11,93 | 11,73 | 14,83 | 10,99 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 14.27 | 11.63 | 13,87 | 13,83 | 13.27 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 12,54 | 14.27 | 13,73 | 10,73 | 14,73 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 13,72 | 11.33 | 14.24 | 10,42 | 10,25 |
|  | ASOA | 11,60 | 11 giờ 30 | 12,53 | 10,42 | 10,76 |
|  | CSOA | 11,44 | 11,98 | 14.12 | 14,64 | 10,97 |
|  | QSOA | 15.34 | 10.81 | 10,55 | 11.13 | 11.29 |
|  | CQASOA | 10.18 | 9,47 | 11,45 | 10.04 | 9,99 |
| Lượng khí thải carbon của xe tải*F*2 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 14,682.84 | 14.293,12 | 14,653.27 | 14.218,80 | 14.375,19 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 14.382,28 | 14.521,39 | 14.392,28 | 13,892.28 | 14.029,28 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 14,982.28 | 14,829.23 | 14,923.23 | 14.724,28 | 15,230.27 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 14,983.23 | 14.729,28 | 15,103.28 | 15.029,27 | 16.282,38 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 14,491.29 | 15.017,58 | 15.075,01 | 13,965.84 | 14.577,78 |
|  | ASOA | 15,100.94 | 15.053,74 | 15,306.29 | 14,625.89 | 15.274,26 |
|  | CSOA | 14.083,00 | 14.211,90 | 14.627,94 | 14,559.43 | 14.752,74 |
|  | QSOA | 14,453.58 | 14,941.44 | 14.576,72 | 14.534,35 | 14.714,88 |
|  | CQASOA | 14.331,86 | 14.361,52 | 14.670,70 | 14,987.24 | 14,859.47 |
| Lượng khí thải carbon của cần cẩu bến cảng*F*3 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 17.679,90 | 17.839,28 | 18.273,28 | 19.372,48 | 19.272,28 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 16,938.22 | 18.262,39 | 17.282,38 | 18.262,28 | 17.292,38 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 17.292,29 | 19,837.28 | 18.273,29 | 19.273,27 | 19.212,49 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 20,182.38 | 19,234.28 | 19.823,28 | 20.321,28 | 20.372,28 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 21.301,37 | 15.751,42 | 22.958,85 | 17.345,66 | 16.388,61 |
|  | ASOA | 17,477.80 | 17.891,25 | 18.008,81 | 16,205.53 | 16.740,24 |
|  | CSOA | 16.416,62 | 17.041,45 | 16.999,76 | 21.609,60 | 17.019,97 |
|  | QSOA | 21.409,89 | 17.532,98 | 16.441,06 | 19.071,61 | 16.413,30 |
|  | CQASOA | 16.511,59 | 16.779,30 | 15.622,09 | 16,923.47 | 16.218,65 |
| Hàm mục tiêu*F* | SASS[[56]](#_bookmark109) | 13,578.52 | 14.025,50 | 13,423.10 | 13,872.82 | 13,640.48 |
|  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 13,694.27 | 14,160.31 | 13.783,32 | 15,453.28 | 13.323,62 |
|  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 15,205.10 | 14.480,77 | 15,235.59 | 15,414.03 | 15.247,11 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 15.060,09 | 15.627,31 | 15,595.79 | 14,202.24 | 16.527,78 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 15,805.80 | 13,356.30 | 16.629,36 | 14.769,01 | 14,402.04 |
|  | ASOA | 13,945.32 | 13,886.34 | 14.594,45 | 14.365,14 | 14.879,05 |
|  | CSOA | 13,347.38 | 13.801,00 | 14,966.89 | 16.362,88 | 13,428.76 |
|  | QSOA | 16,635.36 | 13,522.36 | 13,031.43 | 15.952,06 | 14.706,99 |
|  | CQASOA | 12,801.89 | 12.521,59 | 13,298.58 | 12.999,28 | 12.764,59 |

**Bảng 12**

Kết quả trung bình của hàm mục tiêu khi giải mô hình TEU-BQCT.

**Bảng 13**

Bảng phân tích tính ổn định của 9 thuật toán trong việc giải mô hình TEU-BQCT.

100 lần lặp lại

Tàu thuyền

Xe tải các-bon

Cần cẩu bến cảng

Khách quan

100 lần lặp lại

Hàm mục tiêu*F*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Kinh nghiệm | sự quay vòng  thời gian*F*1 | phát thải*F*2 | cacbon  phát thải*F*3 | chức năng*F* |  | Kinh nghiệm | Tối đa | Tối thiểu | Trung bình | Tiêu chuẩn  độ lệch |  |
| SASS[[56]](#_bookmark109) | 11.13 | 14,603.45 | 17,867.40 | 13,683.90 |  | SASS[[56]](#_bookmark109) | 14.025,50 | 13,331.94 | 13,683.90 | 216,66 |  |
| BÓNG RÂM | 12.31 | 14.420,30 | 17.372,32 | 14,104.72 |  | BÓNG RÂM[[57]](#_bookmark110) | 15,453.28 | 12.852,99 | 14,104.72 | 828,40 |  |
| [[57]](#_bookmark110) |  |  |  |  |  | sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 15,414.03 | 14.480,77 | 15.095,93 | 262,20 |  |
| sCMAGES[[58]](#_bookmark111) | 13,57 | 14,878.87 | 18.370,34 | 15.095,93 | HHO[[59]](#_bookmark112) | | 16.527,78 13.279,54 14.988,69 1036,15 | | | | |
| HHO[[59]](#_bookmark112) | 12,63 | 15.051,29 | 19,638.42 | 14,988.69 | SOA[[3]](#_bookmark64) | | 16.629,36 | 13,356.30 | 14,682.45 | 911,70 | |
| SOA[[3]](#_bookmark64) | 12,44 | 14,634.25 | 17.910,52 | 14,682.45 | ASOA | | 14.879,05 | 13.740,34 | 14,198.32 | 347,56 | |
| ASOA | 11.47 | 14.929,87 | 17,184.14 | 14,198.32 | CSOA | | 16.362,88 | 13,204.66 | 14.319,62 | 985,72 | |
| CSOA | 12.03 | 14.708,14 | 17.878,05 | 14.319,62 | QSOA | | 16.635,36 12.691,92 14.070,29 1265,58 | | | | |
| QSOA | 11.36 | 14,699.29 | 17,556.34 | 14.070,29 | CQASOA | | 13.298,58 12.521,59 12.953,81 223,02 | | | | |
| CQASOA | 10.33 | 14662.78 | 16.499,74 | 12,953.81 |  | |  | | | | |

có thể thu được.

Tóm lại, so với mô hình so sánh, mô hình TEU-BQCT được thiết lập trong bài báo này có thể có được một kế hoạch lập lịch trình tốt hơn để giảm thời gian tàu ở cảng, chi phí cảng và lượng khí thải carbon.

* 1. *Phân tích hiệu suất cho CQASOA*

Xem xét hiệu suất tốt của SASS[56], BÓNG RÂM[57], sCMAGES[58][và](#_bookmark110) HHO[59][trong](#_bookmark111) việc giải [quyết](#_bookmark112) các vấn đề tối ưu hóa bị ràng buộc mục tiêu đơn, chúng được chọn để kiểm tra khả năng giải quyết mô hình TEU-BQCT liên quan đến CQASOA được đề xuất. Ngoài ra, SOA

[[3],](#_bookmark64) ASOA, CSOA và QSOA được chọn để kiểm tra hiệu quả của các cải tiến thuật toán. Ý tưởng về các biến kiểm soát được áp dụng để lựa chọn và so sánh các tham số thuật toán, để tránh các hiệu ứng khác nhau của các tham số thuật toán khác nhau đối với hiệu suất tối ưu hóa.

[Bảng 9](#_bookmark54)thể hiện các tham số của thuật toán tối ưu hóa đã chọn.

* + 1. *Tối ưu hóa phân tích hiệu suất*

Thuật toán trên được áp dụng để giải mô hình TEU-BQCT 10 lần trong trường hợp các cảng có quy mô [lớn.Bảng](#_bookmark55) 10Và[Bảng 11](#_bookmark56)Hiển thị kết quả tính toán:

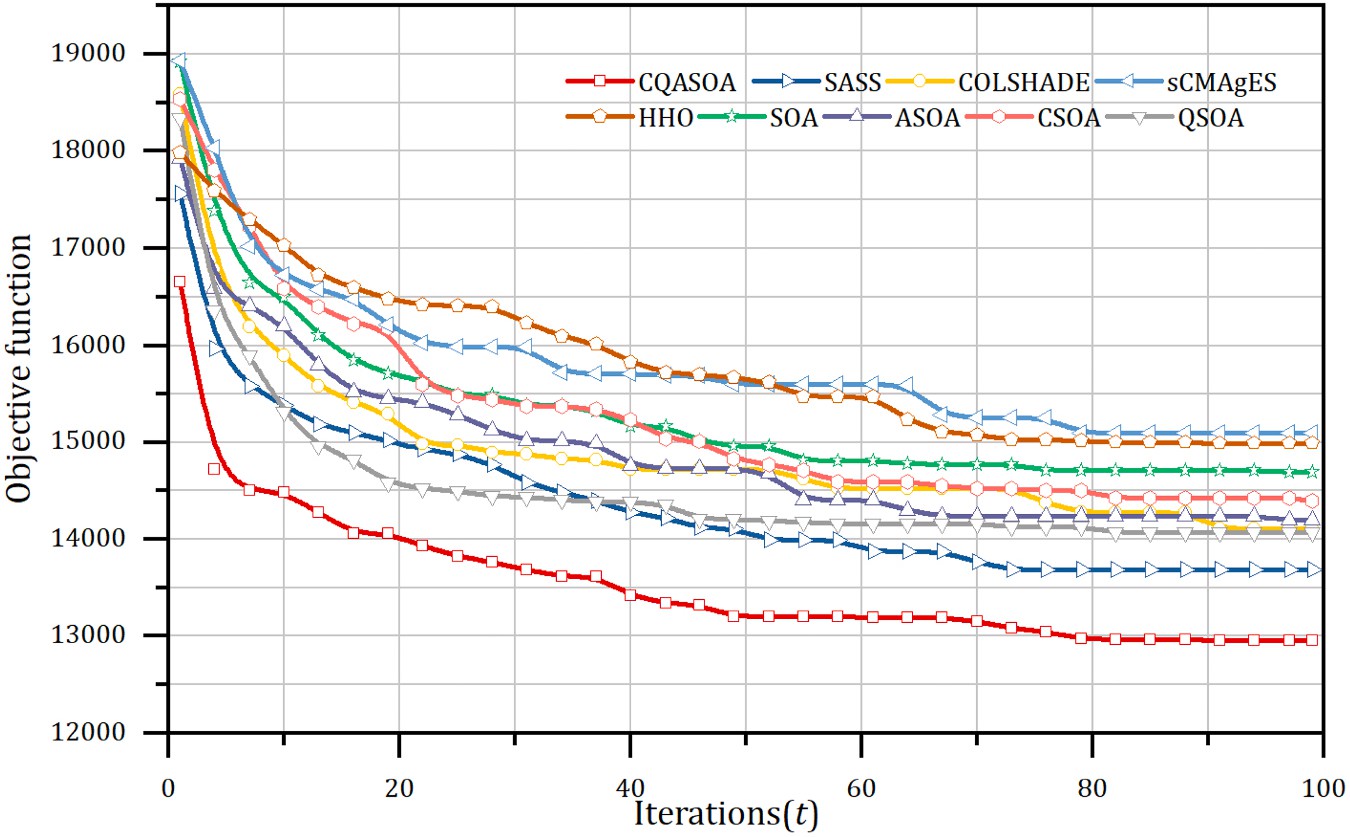
Dữ liệu trong[Bảng 10](#_bookmark55)VàBảng [11](#_bookmark56)được sắp xếp và giá trị trung bình của kết quả giải pháp được tính như thể hiện trong[Bảng 12:](#_bookmark57)

TRONG[Bảng](#_bookmark57) 12, so với SASS, COLSHADE, sCMAgES và HHO, giá trị của hàm mục tiêu*F*có thể giảm 5,53%, 8,16%, 14,19% và 13,58% thông qua việc áp dụng CQASOA để giải, cho thấy CQASOA có ưu điểm là cập nhật lặp lại tìm kiếm xoắn ốc và khám phá cục bộ lượng tử, do đó, hiệu suất của nó tốt hơn thuật toán tối ưu thông minh truyền thống khi giải TEU-BQCT.

So với SOA, giá trị của hàm mục tiêu*F*có thể giảm 3,30%, 2,47% và 4,17% khi áp dụng ASOA, CSOA và



**Hình 8.**Biểu đồ so sánh phân tích tính ổn định của 9 thuật toán giải mô hình TEU-BQCT.



**Hình 9.**9 thuật toán 10 lần để tính đường cong hội tụ trung bình.

QSOA, minh họa rằng hiệu suất tối ưu hóa thuật toán có thể được tăng cường bằng cách thêm trọng số phi tuyến tính, thêm nhiễu loạn hỗn loạn và điện toán lượng tử; Ngược lại với ASOA, CSOA và QSOA, hàm mục tiêu*F*có thể cắt giảm 8,77%, 9,54% và 7,94% thông qua việc áp dụng CQASOA để giải quyết vấn đề, cho thấy CQASOA được xây dựng bằng cách kết hợp ba phương pháp cải tiến có thể đạt được kết quả tốt hơn khi giải mô hình TEU-BQCT.

* + 1. *Phân tích độ ổn định*

Theo dữ liệu trên, tiến hành kiểm tra tính ổn định của thuật toán, phản ánh chất lượng giải pháp khi thuật toán giải quyết bài toán tối ưu nhiều lần. Dữ liệu tính toán trongBảng 10Và Bảng 11được [tổ chức,](#_bookmark55) [bảng](#_bookmark56) phân tích độ ổn định được hiển thị trongBảng 13và biểu [đồ phân](#_bookmark58) tích độ ổn định được hiển thị trongHình 8:

TRONGBảng 13[Và](#_bookmark59)Hình 8, độ lệch chuẩn của CQASOA gần với SASS và sCMAgES khi giải mô hình TEU-BQCT, điều này cho thấy CQASOA tương đương với SASS và sCMAgES về độ ổn định. Trong khi đó, COLSHADE và HHO có độ lệch chuẩn cao hơn, độ ổn định của chúng yếu hơn CQASOA.

Giá trị giải pháp trung bình của ASOA nhỏ hơn SOA và độ lệch chuẩn giảm 61,88%, cho thấy mục đích mong đợi là cải thiện khả năng nhiễu loạn toàn cục trong giai đoạn đầu và tăng khả năng khám phá cục bộ trong giai đoạn sau có thể đạt được bằng cách đề xuất hệ số hội tụ phi tuyến tính; Có rất ít sự khác biệt giữa việc áp dụng SOA để giải phương sai và áp dụng CSOA

để giải phương sai, nhưng hiệu suất giải của CSOA tốt hơn SOA, minh họa rằng hiệu suất khám phá toàn cầu có thể được tăng cường bằng cách thêm nhiễu loạn hỗn loạn vào giai đoạn đầu của quần thể; Ngược lại với SOA, hiệu suất của QSOA với điện toán lượng tử tốt hơn SOA, mặc dù độ lệch chuẩn lớn hơn một chút so với SOA, nhưng vẫn nằm trong phạm vi chấp nhận được. So với ASOA, CSOA và QSOA, giá trị trung bình tương đối tối ưu và độ lệch chuẩn có thể giảm 35,83%, 77,37% và 82,38% thông qua việc sử dụng CQASOA để giải mô hình TEU-BQCT, cho thấy sự hợp nhất của ba phương pháp cải tiến có thể đạt được mục tiêu mong đợi là nâng cao hiệu suất và tính ổn định của thuật toán.

* + 1. *Phân tích hội tụ*

Nhằm mục đích kiểm tra các tính chất hội tụ của thuật toán, bài báo này tính toán dữ liệu dựa trên[Bảng 10](#_bookmark55)VàBảng [11và vẽ](#_bookmark56) đường cong hội tụ trung bình như thể hiện trongHình 9:

TRONGHình 9, SOA có hiệu suất hội tụ tốt hơn SASS, COLSHADE, sCMAgES và HHO, và có khả năng hội tụ liên tục mạnh mẽ. So với SOA, hiệu suất hội tụ của CSOA và ASOA tốt hơn một chút so với SOA, và tốc độ hội tụ của QSOA tốt hơn đáng kể so với SOA trong 20 thế hệ đầu tiên, minh họa rằng cải tiến lượng tử có thể tăng tốc độ hội tụ của SOA; Hiệu suất hội tụ của CQASOA tốt hơn ASOA và CSOA, và tốt hơn một chút so với QSOA, điều này cho thấy hiệu suất hội tụ của thuật toán có thể được tăng cường bằng cách hợp nhất

cải thiện hệ số hội tụ tuyến tính, nhiễu loạn hỗn loạn và điện toán lượng tử.

* 1. *Ứng dụng thực tế và ý nghĩa quản lý*

Mục đích xây dựng phương pháp giải TEU-BQCT\_CQASOA là cung cấp một công cụ hỗ trợ ra quyết định hiệu quả cho việc điều phối thông minh các cảng. Việc áp dụng phương pháp này trong điều phối thực tế có thể cải thiện các lợi ích về kinh tế, xã hội và môi trường. Giá trị ứng dụng và tầm quan

## Tài trợ

Công trình này được hỗ trợ bởi các khoản tài trợ dự án sau đây, Quỹ khoa học tự nhiên quốc gia Trung Quốc (số 52371315); Dự án Quỹ thanh niên xuất sắc Hắc Long Giang (YQ2021E015); Quỹ đặc biệt về khoa học và công nghệ của tỉnh Hải Nam (ZDYF2023GXJS017); và Hội đồng khoa học và công nghệ quốc gia Đài Loan (MOST 111–2410-

H-161–001).

trọng của nó chủ yếu bao gồm các khía cạnh sau: **Tuyên bố đóng góp tác giả CRediT**

* + 1. *Sự đánh đổi*

Phương pháp giải pháp TEU-BQCT\_CQASOA mô tả và giải quyết ba mục tiêu xung đột về thời gian tàu ở cảng, lượng khí thải carbon của xe tải và lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng. Người quản lý cảng có thể cân nhắc ưu điểm và nhược điểm của từng mục tiêu theo tình hình thực tế, điều chỉnh hệ số điều chỉnh trọng lượng của từng mục tiêu và có được kế hoạch lập lịch trình phù hợp hơn.

* + 1. *Quyền lợi của chủ tàu và cảng*

Phương pháp giải TEU-BQCT\_CQASOA xác định thời gian tàu ở cảng là hàm mục tiêu, có thể nâng cao lợi ích chung của tàu và cảng. Một kế hoạch điều độ tốt phải đảm bảo lợi ích kinh tế của cảng càng nhiều càng tốt, đồng thời phải nâng cao sự hài lòng của chủ tàu. Trong bối cảnh thời kỳ hậu dịch bệnh, việc áp dụng phương pháp giải TEU- BQCT\_CQASOA để giảm bớt tình trạng tắc nghẽn cảng và nâng cao hiệu quả hoạt động của cảng càng cần thiết hơn.

* + 1. *Xanh và ít carbon*

Phương pháp giải pháp TEU-BQCT\_CQASOA lấy lượng khí thải carbon của xe tải và lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng làm hàm mục tiêu, có thể cung cấp cho các nhà quản lý cảng một sơ đồ lập lịch để giảm lượng khí thải carbon của hoạt động khai thác cảng. Trong bối cảnh kỷ nguyên nhấn mạnh vào việc giảm năng lượng, các cảng thông minh cần một giải pháp không chỉ đảm bảo lợi ích kinh tế mà còn đảm bảo lợi ích về môi trường.

## Kết luận

Để ứng phó với hiện tượng tắc nghẽn chết người và hoạt động chậm chạp tại các cảng trên thế giới trong thời kỳ hậu dịch bệnh, bài báo này xem xét toàn diện các yếu tố về thủy triều, môi trường và sự không chắc chắn và sử dụng các lý thuyết cơ bản như lập bản đồ hỗn loạn, điện toán lượng tử, phương pháp hàm phạt bên ngoài và kết hợp SOA để xây dựng một giải pháp lập lịch trình chung cầu cảng-cần cẩu-xe tải mới (TEU-BQCT\_CQASOA), có thể cung cấp một sơ đồ lập lịch trình tuyệt vời cho các cảng container. Các ví dụ mô phỏng của hai cảng container ở Nam Trung Quốc cho thấy mô hình TEU-BQCT có thể giảm thời gian quay vòng của tàu, lượng khí thải carbon của xe tải và lượng khí thải carbon từ cần cẩu cầu cảng và khi quy mô của cảng tăng lên, có thể có được một kế hoạch điều phối tốt hơn; Ngoài ra, mô hình TEU-BQCT có thể đáp ứng các nhu cầu riêng biệt của cảng trong các giai đoạn khác nhau thông qua hệ số điều chỉnh trọng lượng. Mô hình TEU- BQCT được thiết lập dựa trên giải pháp CQASOA được đề xuất. Khi giải mô hình TEU-BQCT, CQASOA thu được giải pháp tốt hơn so với thuật toán so sánh được chọn trong bài báo này và quá trình giải cũng ổn định hơn, hiệu quả hơn và đáng tin cậy hơn.

Tuy nhiên, giải pháp xây dựng trong bài báo này vẫn còn thiếu sót: nhiều yếu tố ảnh hưởng đến việc lập lịch trình của các cảng container, mô hình xây dựng trong bài báo này chắc chắn sẽ có những vấn đề lý tưởng và cần đưa ra các giải pháp trong các nghiên cứu tiếp theo; Khi quy mô của cảng giải quyết tăng lên, kích thước của ma trận mã hóa tăng lên và quá trình giải quyết trở nên phức tạp, điều này có thể làm tăng thời gian trong quá trình giải mô hình. Trong các nghiên cứu trong tương lai, vẫn cần có các công trình nghiên cứu tiếp theo về vấn đề giải mô hình nhanh.

**Lý Minh Vệ:**Điều tra, Phương pháp, Xác nhận. Thu thập tài trợ, Giám sát, Viết - Chuẩn bị bản thảo gốc.**Tfi Thụy Triết**: Khái niệm hóa, Điều tra, Phương pháp luận, Phần mềm, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Xác thực.**Trung Nghĩa Dương**: Khái niệm hóa, Điều tra, Phần mềm, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức.**Wei-Chiang Hong**: Điều tra, Phương pháp luận, Thu hút tài trợ, Giám sát, Viết - Xem xét và Biên tập. **Tiểu Cương An**: Điều tra, Phương pháp luận, Phần mềm, Quản lý dữ liệu, Quản lý tài trợ.**Yi-Hsuan Yeh**: Phần mềm, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Xác thực.

## Tuyên bố về lợi ích cạnh tranh

Tất cả tác giả đều khẳng định không có lợi ích tài chính/cá nhân hoặc niềm tin nào có thể ảnh hưởng đến tính khách quan của họ.

**Tính khả dụng của dữ liệu**

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

**Tài liệu tham khảo**

1. G. Ye, J. Zhou, W. Yin, X. Feng, Các chính sách về năng lượng bờ biển và khu vực kiểm soát khí thải luôn có hiệu quả khi kết hợp với nhau để giảm phát thải chất ô nhiễm? – phân tích tác động chung của chúng trong thời kỳ hậu đại dịch, Ocean Coast. Manag. 224 (2022) [106182, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106182](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106182).
2. M.-M. Lu, Các cảng trên thế giới vẫn còn tắc nghẽn không? Vận tải đường thủy Pearl River 4 (2022), 45–47. [Bằng tiếng Trung] https://doi.org/10.14125/j.cnki.zjsy.2022.04.013.
3. G. Dhiman, V. Kumar, Thuật toán tối ưu hóa Seagull: lý thuyết và ứng dụng của nó

cho các vấn đề kỹ thuật công nghiệp quy mô lớn, Knowl. -Based Syst. 165 (2019) 169–196,[https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.11.024.](https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.11.024)

1. A. Subramanian, J. Raman, Thuật toán tối ưu hóa mòng biển đã sửa đổi dựa trên MPPT để tăng cường hiệu suất của hệ thống năng lượng mặt trời quang điện, Automatika 63 (2022) (2022) 1–15,https://doi.org/[10.1080/00051144.2021.1997253.](https://doi.org/10.1080/00051144.2021.1997253)
2. J. Rupp, N. Boysen, D. Briskorn, Tối ưu hóa quy trình hợp nhất tại các trung tâm: vấn

đề trung tâm-đến-rời, Eur. J. Oper. Res. 298 (2022) 1051–1066,https://doi.org/ [10.1016/j.ejor.2021.07.001.](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.001)

1. C. Liang, X. Hu, L. Shi, H. Fu, D. Xu, Vận chuyển chung thiết bị vận chuyển có cân nhắc đến hậu cần container ngầm, Comput. Ind. Eng. 165 (2022) 107874, https://[doi.org/10.1016/j.cie.2021.107874.](https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107874)

[7]H. [Li, J. Peng, X. Wang, J. Wan, Phân bổ tài nguyên tích hợp và tối ưu hóa lịch trình](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6) với [các hạn chế về thiết bị quan trọng tại một nhà ga container tự động, IEEE Trans.](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6)

[Intell. Transp. Syst. 22 (2021) 7607–7618, https://doi.org/ 0.1109/](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6) [TITS.2020.3005854.](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6)

1. J. Li, J. Yang, B. Xu, Y. Yang, F. Wen, H. Song, Lập lịch lai cho nhiều thiết bị tại thiết bị đầu cuối tự động có lưu lượng hình chữ U dựa trên tối ưu hóa bầy hạt hỗn loạn, J. Mar. Sci. Eng. 9 (2021) 1080,https://doi.org/10.3390/ [jmse9101080.](https://doi.org/10.3390/jmse9101080)
2. H.-M. Fan, Z.-F. Guo, L.-J. Yue, M.-Z. Ma, Cấu hình chung và tối ưu hóa lịch trình của cần trục cầu cảng hai xe đẩy và AGV cho bến container có tính đến việc tiết kiệm năng lượng, Acta Autom. Sin. 47 (2021) 2412–2426,https://doi.org/10.16383/ [j.ass.c190626.](https://doi.org/10.16383/j.ass.c190626)
3. C. Bierwirth, F. Meisel, Khảo sát về phân bổ bến và các vấn đề lập lịch trình cần cẩu cầu cảng tại các bến container, Eur. J. Oper. Res. 202 (2010) 615–627,https:// [doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.031.](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.031)
4. C. Bierwirth, F. Meisel, Khảo sát tiếp theo về phân bổ bến và các vấn đề lập lịch trình cần cẩu cầu cảng tại các bến container, Eur. J. Oper. Res. 244 (2015) 675– 689,https://[doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.030.](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.030)
5. A. Liu, H. Liu, S.-B. Tsai, H. Lu, X. Zhang, J. Wang, Sử dụng mô hình kết hợp trong việc lập lịch trình chung cho các bến tàu và cần cẩu cầu cảng - theo quan điểm bền vững, Sustainability 10 (2018) 1959,https://[doi.org/10.3390/su10061959.](https://doi.org/10.3390/su10061959)
6. D. Ma, R. Zhang, X. Shao, 2018. Lập lịch trình tối ưu chung cho các bến cảng và cầu cảng container dựa trên tìm kiếm chim cu gáy được cải thiện, Trong: Biên bản Hội nghị quốc tế năm 2018 về máy tính và kỹ thuật dữ liệu (ICCDE 2018), tháng 5 năm 2018, trang 103– 109.https://doi.org/10.1145/3219788.3219807.
7. Z.-J. Gao, J.-X. Cao, Q.-Y. Zhao, Nghiên cứu tối ưu hóa việc phân bổ bến và phân bổ cần cẩu cầu cảng tại bến container dựa trên thuật toán di truyền, Appl.

Máy móc. Mẹ ơi. 505-506 (2014) 931–934,[https://doi.org/10.4028/](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.505-506.931) [www.scientific.net/](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.505-506.931)AMM.505-506.931.

1. J. Yu, G. Tang, X. Song, Hợp tác tối ưu hóa tốc độ tàu với phân bổ bến và phân bổ cần cẩu cầu cảng khi xem xét sự khác biệt về dịch vụ tàu, Transp. Res. Phần E: Logist. Transp. Rev. 160 (2022) 102651,https://doi.org/ 10.1016/[j.tre.2022.102651](https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102651).
2. W. Liu, X. Zhu, L. Wang, S. Li, Phương pháp tối ưu hóa mạnh mẽ dựa trên đường chân trời lăn của các hoạt động tại bến cảng container hàng hải, Ocean Eng. 256 (2022) 111505, [https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111505.](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111505)
3. M.-W. Li, W.-C. Hong, J. Geng, J. Wang, Lập lịch phối hợp cầu cảng và cần cẩu cầu

cảng bằng thuật toán tối ưu hóa bầy hạt đám mây hỗn loạn đa mục tiêu, Neural Comput. Appl. 28 (2017) 3163–3182,https://doi.org/10.1007/ [s00521-016-2226-7.](https://doi.org/10.1007/s00521-016-2226-7)

1. X. Cao, Z.-Y. Yang, W.-C. Hong, R.-Z. Xu, Y.-T. Wang, Tối ưu hóa phân bổ cần cẩu bến cảng khi xem xét các yếu tố kinh tế bằng cách sử dụng SSA lượng tử hỗn loạn, Appl. Artif.

Intell. 36 (2022) 2073719,https://[doi.org/10.1080/08839514.2022.2073719.](https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2073719)

1. A. Azab, H. Morita, Vấn đề di dời khối với lịch hẹn, Eur. J. Oper. Res. 297 (2022) 680– 694,https://doi.org/10.1016/j. ejor.2021.06.007[.](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.007)
2. F. Essghaier, T. Chargui, T. Hsu, A. Bekrar, H. Allaoui, D. Trentesaux, G. Goncalves, Lập lịch xe tải đa mục tiêu mờ trong các trung tâm internet vật lý đường sắt-đường bộ đa phương thức, Comput. Ind. Eng. 182 (2023),https://[doi.org/10.1016/j.cie.2023.109404.](https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109404)
3. J. Duan, Y. Liu, Q. Zhang, J. Qin, Cấu hình kết hợp của bến cảng container và cần cẩu

cầu cảng xét đến chi phí carbon, Math. Probl. Eng. 2021 (2021) 6043846,https:// doi.org/[10.1155/2021/6043846.](https://doi.org/10.1155/2021/6043846)

1. T. Wang, X. Wang, Q. Meng, Phân bổ bến tàu chung và phân bổ cần cẩu cầu cảng theo các chính sách đánh thuế carbon khác nhau, Transp. Res. Phần B: Methodol. 117 (2018) 18–36, https://[doi.org/10.1016/j.trb.2018.08.012.](https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.08.012)
2. N. Kenan, A. Jebali, A. Diabat, Các vấn đề về phân công và lập lịch trình cần cẩu cầu

cảng tích hợp với các cân nhắc về phát thải carbon, Comput. Ind. Eng. 165 (2022) 107734,https://[doi.org/10.1016/j.cie.2021.107734.](https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107734)

1. X. Tian, Q. Meng, Nghiên cứu về lịch trình phối hợp của bến tàu, cần cẩu cầu cảng và xe tải cảng tại các bến container, Logist. Technol. 37 (2018) 32–36,https:// [doi.org/10.3969/j.issn.1005-152X.2018.03.008.](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-152X.2018.03.008)
2. N. Cheimanoff, F. Fontane, MN Kitri, N. Tchernev, . Các phương pháp chính xác và phương pháp tìm kiếm để phân bổ bến tích hợp và các vấn đề phân bổ cần cẩu cầu cảng bất biến theo thời gian cụ thể, Comput. Oper. Res. 141 (2022) (2022) 105695,https://doi.org/ [10.1016/j.cor.2022.105695.](https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105695)
3. T. Jonker, MB Duinkerken, N. Yorke-Smith, A. de Waal, RR Negenborn, Tối ưu hóa

phối hợp các hoạt động thiết bị trong một nhà ga container, Flex. Serv. Manuf. J. 33 (2021) 281–311,https://doi.org/10.1007/[s10696-019-09366- 3.](https://doi.org/10.1007/s10696-019-09366-3)

[27]X.-[G. Jiao, F.-F. Zheng, Y.-F. Xu, M. Liu, Phân bổ bến liên tục tích hợp và phân bổ cần](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25) [cẩu cầu cảng theo thời gian khi nạo vét bến tại cảng container, Oper. Res. Manag.](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25) [Sci. 29 (2021) 47–57 [Bằng tiếng Trung]. http://www.jorms.net/CN/ 10.12005/](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25) [orms.2020.0033.](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25)

1. LP Prencipe, M. Marinelli, Một công thức toán học mới để giải quyết vấn đề phân bổ bến động và rời rạc bằng cách sử dụng thuật toán tối ưu hóa đàn ong, Appl. Intell. 51 (2021) 4127–4142,https://doi.org/ 10.1007/s10489-020-02062-[y.](https://doi.org/10.1007/s10489-020-02062-y)
2. A. Skaf, S. Lamrous, Z. Hammoudan, M.-A. Manier, Vấn đề lập lịch trình xe tải sân và cần cẩu cầu cảng tích hợp tại cảng Tripoli-Liban, Comput. Ind. Eng. 159 (2021) 107448,[https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107448.](https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107448)
3. J.-H. Chu, J.-H. Li, C.-J. Wang, C. Chen, Quyết định tích hợp về quy hoạch tuyến đường và lịch trình tốc độ của tàu container có tính đến các khu vực kiểm soát khí thải, J. Transp.

Kỹ thuật Hệ thống Công nghệ Thông tin 21 (2021) 230–[238,https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.04.028) [6744.2021.04.028.](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.04.028)

1. R.-E. Precup, E.-L. Hedrea, R.-C. La Mã, EM Petriu, A.-I. Szinglak-Stinean, C.-
   1. Bojan-Dragos, Phương pháp tiếp cận dựa trên thí nghiệm để dạy các kỹ thuật tối ưu hóa, IEEE Trans. Educ. 64 (2) (2021),https://[doi.org/10.1109/TE.2020.3008878.](https://doi.org/10.1109/TE.2020.3008878)
2. I. Alexandru Zamfirache, R.-E. Precup, R.-C. Roman, EM Petriu, Kiểm soát dựa trên

mạng nơ-ron sử dụng học tăng cường Actor-Critic và bộ tối ưu hóa Grey Wolf với xác thực hệ thống servo thử nghiệm, Expert Syst. Appl. 225 (2023),https://[doi.org/](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120112) [10.1016/j.eswa.2023.120112.](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120112)

1. R. Salgotra, S. Singh, U. Singh, S. Mirjalili, AH Gandomi, Thuật toán chuột chũi trụi lông lấy cảm hứng từ động vật ăn thịt biển để tối ưu hóa toàn cầu, Expert Syst. Appl. 212 (2023), [https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118822.](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118822)
2. AA Ewees, RR Mostafa, RM Ghoniem, MA Gaheen, Thuật toán tối ưu hóa mòng biển được cải tiến bằng cách sử dụng toán tử đột biến và bay Lévy để lựa chọn tính năng, Neural Comput. Appl. 34 (2022) 7437–7472,https://doi.org/10.1007/ [s00521-021-06751-8.](https://doi.org/10.1007/s00521-021-06751-8)
3. B. Ma, P.-M. Lu, Y.-G. Liu, Q. Zhou, Y.-T. Hu, Thuật toán tối ưu hóa mòng biển chung với các toán tử đột biến để tối ưu hóa toàn cục, AIP Adv. 11 (2021) 125217, https://[doi.org/10.1063/5.0073335.](https://doi.org/10.1063/5.0073335)
4. D. Xiao, L. Wan, Đảo ngược cảm biến từ xa của đất mặn và đất kiềm dựa trên thuật toán tối ưu hóa mòng biển cải tiến và máy học cực đại hai lớp ẩn, Nat. Resour. Res. 30 (2021) 3795–3818,https://doi.org/ 10.1007/s11053-021-09876-8[.](https://doi.org/10.1007/s11053-021-09876-8)
5. L. Xu, Y. Mo, Y. Lu, J. Li, Thuật toán tối ưu hóa mòng biển cải tiến kết hợp với phương pháp chia không đều để giải quyết các bài toán tối ưu động, Processes 9 (2021) 1037,https://[doi.org/10.3390/pr9061037.](https://doi.org/10.3390/pr9061037)
6. W.-C. Hong, M.-W. Li, J. Geng, Z. Yang, Thuật toán dơi hỗn loạn mới để dự báo chuyển động phức tạp của các nền tảng nổi, Appl. Math. Model. 72 (2019) 425–443, [https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.031.](https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.031)
7. HG [Kang, MW Li, PF Zhou, ZH Zhao, Dự đoán lưu lượng hành khách bằng hồi quy](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [vectơ hỗ trợ ν được tối ưu hóa bằng thuật toán di truyền thích ứng hỗn loạn,](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [Đại học J. Đại Liên. Technol. 52 (2012) 227–232, https://kns.cnki.net/kcms/detail/](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2012&filename=DLLG201202013&](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [uniplatform=NZKPT&v=E6a7CnqjIzGFujzuWcCOnt5GOHGj8bsD1](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [P6YNRXjl2NavWXeKogwyqPa7×6z3aVr.](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37)
8. M.-W. Li, W.-C. Hong, H.-G. Kang, Dự báo lưu lượng giao thông đô thị bằng Gauss– SVR với lập bản đồ cat, mô hình đám mây và thuật toán lai PSO, Neurocomputing 99 (2013) 230–240,[https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.08.002.](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.08.002)
9. M.-W. Li, J. Geng, W.-C. Hong, L.-D. Zhang, Ước tính chu kỳ dựa trên bù trừ LSSVR- CCPSO để dự báo chuyển động của tàu, Nonlinear Dyn. 97 (2019) 2579–2594, https://doi.org/10.1007/[s11071-019-05149-5.](https://doi.org/10.1007/s11071-019-05149-5)
10. M.-W. Li, Y.-T. Wang, J. Geng, W.-C. Hong, Thuật toán tối ưu hóa lai dơi lượng tử đám mây hỗn loạn, Nonlinear Dyn. 103 (2021) 1167–1193,https://[doi.org/ 10.1007/](https://doi.org/10.1007/s11071-020-06111-6) [s11071-020-06111-6.](https://doi.org/10.1007/s11071-020-06111-6)
11. M.-W. Li, D.-Y. Xu, J. Geng, W.-C. Hong, Một phương pháp dự báo chuyển động của tàu dựa trên phương pháp phân tích chế độ kinh nghiệm, mạng học sâu lai và thuật toán tối ưu hóa bướm lượng tử, Nonlinear Dyn. 107 (2022) 2447–2467, [https://doi.org/10.1007/s11071-021-07139-y.](https://doi.org/10.1007/s11071-021-07139-y)
12. M.-W. Li, D.-Y. Xu, J. Geng, W.-C. Hong, Một phương pháp tiếp cận kết hợp để dự báo chuyển động của tàu bằng cách sử dụng CNN–GRU–AM và GCWOA, Appl. Soft Comput. 114 (2022) 108084, https:// [doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108084.](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108084)
13. Y. Song, N. Wang, Tối ưu hóa kế hoạch neo đậu của bến container dựa trên sự không chắc

chắn về thời gian, J. Transp. Syst. Eng. Inf. 20 (2020) 224–230,https://doi.org/[10.16097/](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2020.04.032) [j.cnki.1009-6744.2020.04.032.](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2020.04.032)

1. Q. Qin, Z. Zhou, H. Lu, S. Wang, Y. Han, Tối ưu hóa tuyến đường của xe tải vận tải liên phương thức đường thủy-đường sắt có tính đến chi phí phát thải carbon, China Water Transp. 10 (2021) 109–[111,https://doi.org/10.13646/j.cnki.42-1395/u.2021.10.039.](https://doi.org/10.13646/j.cnki.42-1395/u.2021.10.039)
2. G.-L. Tang, M. Qin, X.-Y. Zhao, Y. Qi, X. Li, Tác động của chế độ lập lịch xe tải container đến lượng khí thải carbon tại bến container, Cảng. Kỹ thuật nước. 6 (2019) 46–51,[https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-4972.2019.06.008.](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-4972.2019.06.008)
3. G. Li, C. Zheng, H. Yang, Mô hình dự đoán kết hợp giá carbon dựa trên phân tích

chế độ biến thiên được cải thiện, Energy Rep. 8 (2022) 1644–1664, https:// [doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.270.](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.270)

1. R. Ghafari, N. Mansouri, Một lịch trình tác vụ hiệu quả dựa trên thuật toán tối ưu hóa seagull cho các nền tảng điện toán đám mây không đồng nhất, Int. J. Eng., Trans. B:

Phụ lục 35 (2022) 433–450,[https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.02b.20.](https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.02b.20)

1. S. Eldesouky, W. ElShafai, HEDH Ahmed, FEA ElSamie, Hệ thống sinh trắc học điện tâm đồ có thể hủy dựa trên mã hóa hỗn loạn sử dụng bản đồ logistic ba chiều cho các dịch vụ đám mây dựa trên sinh trắc học, Secur. Priv. 5 (2022) e198,https:// doi.org/[10.1002/SPY2.198.](https://doi.org/10.1002/SPY2.198)
2. PL Leonardo, MJ Ricardo, RC Enrique, PC Michael, JR Omar, VM Rubén, Thành phần hàm từ hàm sin và bản đồ lều xiên và ứng dụng của nó vào các máy phát số giả ngẫu nhiên, Appl. Sci. 11 (2021) 5769,https://doi.org/ 10.3390/[APP11135769.](https://doi.org/10.3390/APP11135769)
3. Y. Dong, H.-M. Guo, Tối ưu hóa bầy hạt hỗn loạn thích ứng dựa trên biến thể thể lực của bầy đàn, Appl. Res. Comput. 28 (2011) 854–856,https://[doi.org/10.3969/](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2011.03.015) [j.issn.1001-3695.2011.03.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2011.03.015).
4. S.-T. Xiang, D. Wang, Phương pháp sửa đổi tương tác mô hình dựa trên thuật toán di truyền lượng tử cải tiến, J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci. ) 56 (2022) 100–110, https:// [doi.org/10.3785/j.issn.1008-973X.2022.01.011.](https://doi.org/10.3785/j.issn.1008-973X.2022.01.011)
5. D. Pizzocri, R. Genoni, F. Antonello, T. Barani, F. Cappia, Tái tạo 3D vật liệu không đồng nhất ngẫu nhiên hai pha từ các phần 2D: Một cách tiếp cận thông qua thuật toán di truyền, Nucl. Eng. Technol. 53 (2021) 2968–2976,[https://doi.org/10.1016/](https://doi.org/10.1016/J.NET.2021.03.012) [J.NET.2021.03.012](https://doi.org/10.1016/J.NET.2021.03.012).
6. N.Ab Aziz, H. Midi, Tối ưu hóa hàm phạt trong bề mặt phản hồi kép dựa trên sở thích của người ra quyết định và ứng dụng của nó vào dữ liệu thực, Symmetry 14 (2022) 601,https://[doi.org/10.3390/sym14030601.](https://doi.org/10.3390/sym14030601)
7. Kumar A., Das S., Zelinka I. 2020a. Một thuật toán tìm kiếm hình cầu tự thích ứng cho các vấn đề tối ưu hóa bị ràng buộc trong thế giới thực. Trong: GECCO 2020 Companion - Biên bản Hội nghị tính toán di truyền và tiến hóa năm 2020 Companion, 13–14. https://doi.org/10.1145/3377929.3398186.
8. Gurrola-Ramos J., Hernandez-Aguirre A., Dalmau-Cedeno O., 2020, COLSHADE cho các vấn đề tối ưu hóa ràng buộc một mục tiêu trong thế giới thực. TRONG:

Biên bản báo cáo Hội nghị IEEE về tính toán tiến hóa năm 2020, CEC 2020 - Biên

bản báo cáo hội nghị. https://doi.org/10.1109/CEC48606.2020.9185583.

1. Kumar A., Das S., Zelinka I., 2020b, Một chiến lược tiến hóa thích ứng ma trận hiệp phương sai đã sửa đổi cho các vấn đề tối ưu hóa bị ràng buộc trong thế giới thực. GECCO 2020 Companion - Biên bản Hội nghị tính toán di truyền và tiến hóa năm 2020 Companion, 11 - 12. https://doi.org/10.1145/3377929.3398185.
2. AA Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja, H. Chen, Tối ưu hóa Harris Hawks: thuật toán và ứng dụng, Future Gener. Comput. Syst. 97 (2019) 849–872, https://doi.org/[10.1016/j.future.2019.02.028.](https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028)