

Trí tuệ nhân tạo ứng dụng

Một Tạp chí Quốc tế

ISSN: (Bản in) (Trực tuyến) Trang chủ tạp chí:www.tandfonline.com/journals/uaai20

Tối ưu hóa việc phân bổ cần cầu bền cảng khi xem xét các yếu tố kinh tế bằng cách sử dụng SSA lượng tử hỗn loạn

Xia Cao, Zhong-Yi Yang, Wei-Chiang Hong, Rui-Zhe Xu & Yu-Tian Wang

Để trích dẫn bài viết này: Xia Cao, Zhong-Yi Yang, Wei-Chiang Hong, Rui-Zhe Xu & Yu-Tian Wang (2022) Tối ưu hóa phân bổ cần cầu bền cảng khi xem xét các yếu tố kinh tế bằng cách sử dụng SSA lượng tử hỗn loạn, *Trí tuệ nhân tạo ứng dụng*, 36:1, 2073719, DOI: [10.1080/08839514.2022.2073719](https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2073719)



© 2022 Tác giả. Được xuất bản với giấy phép bởi Taylor & Francis Group, LLC.



Xuất bản trực tuyến: Ngày 18 tháng 5 năm 2022.



Gửi bài viết của bạn tới tạp chí này



Lượt xem bài viết: 2041



Xem các bài viết liên quan



Xem dữ liệu Crossmark



Trích dẫn bài viết: 6 Xem trích dẫn bài viết

Tối ưu hóa việc phân bổ cần cẩu bến cảng khi xem xét các yếu tố kinh tế bằng cách sử dụng SSA lượng tử hỗn loạn

Hạ Thảo^{Mở}, Trung Nhất Dương^{Mở}, Ngụy Tưởng Hồng^{ID}, Rui-Zhe Xu^c và Vương Vũ Thiên^c

^aKhoa Kinh tế và Quản lý, Đại học Kỹ thuật Cáp Nhĩ Tân, Cáp Nhĩ Tân, Hắc Long Giang, Trung Quốc;
^bKhoa Quản lý thông tin, Đại học Khoa học và Công nghệ Đông Á, Đài Bắc, Đài Loan;^cKhoa Kỹ thuật đóng tàu, Đại học Kỹ thuật Cáp Nhĩ Tân, Cáp Nhĩ Tân, Hắc Long Giang, Trung Quốc

TÓM TẮT

Với sự phát triển đều đặn của dịch bệnh toàn cầu, nguồn cung vận chuyển cảng toàn cầu đang trở nên eo hẹp. Vấn đề tắc nghẽn cảng, giá cước tăng cao và không gian container khó tìm đã xuất hiện. Bài báo này đề xuất một mô hình phân bổ cần cẩu bến cảng chung mới, cụ thể là EB&QC, bằng cách lấy thời gian tối thiểu trong cảng của tàu, chi phí cho khoảng cách vận chuyển bổ sung cho xe tải thu gom trong khu vực đất liền của cảng và chi phí cho thời gian chờ đợi bổ sung của tàu. Sau đó, những thiếu sót của thuật toán tìm kiếm chim sẻ (SSA) được xem xét khi giải mô hình EB&QC và SSA được cải thiện dựa trên lý thuyết điện toán lượng tử và ánh xạ hỗn loạn Cat ba chiều. Thuật toán tìm kiếm chim sẻ lượng tử hỗn loạn (CQSSA) được đề xuất, các quy tắc mã hóa cá thể của quần thể được xây dựng, thuật toán giải mô hình EB&QC cũng được thiết lập. Cuối cùng, một phương pháp tối ưu hóa phân bổ cần cẩu bến cảng mới, cụ thể là EB&QC-CQSSA, được đề xuất. Sau đó, tính khả thi và tính ưu việt của mô hình phân bổ và thuật toán giải pháp được đề xuất được kiểm tra theo dữ liệu thực tế của một cảng sông nhỏ ở phía Nam và một cảng sông vừa ở phía Bắc. Các ví dụ mô phỏng cho thấy mô hình EB&QC có thể phát triển các giải pháp chất lượng cao khác nhau cho các cảng container trong các điều kiện làm việc khác nhau và tình hình thực tế của cảng càng phức tạp thì hiệu ứng tối ưu hóa càng đáng kể. CQSSA được đề xuất cho mô hình EB&QC có thể thu được giải pháp tốt hơn.

LỊCH SỬ BÀI VIẾT

Nhận ngày 22 tháng 1 năm 2022 Sửa đổi ngày 15 tháng 4 năm 2022 Chấp nhận ngày 29 tháng 4 năm 2022

TỪ KHÓA

Phân phối mối nối cầu trực bến tàu; Mô hình tối ưu hóa; Lợi ích kinh tế; Thuật toán Sparrow; Thuyết lượng tử; Hỗn loạn lý thuyết

Giới thiệu

Với sự phát triển của nền kinh tế, nhu cầu về hậu cần và vận chuyển cảng container đã tăng dần. Khi các hoạt động xử lý cảng container được liên kết nhiều hơn, quy trình phức tạp hơn, cảng container cần được nghiên cứu tích hợp. Làm thế nào để giảm chi phí cảng container và nâng cao hiệu quả thu gom và phân phối cảng container đã trở thành trọng tâm của nghiên cứu. Khoảng cách giữa bến tàu và bãi container ảnh hưởng đến khoảng cách của xe tải container

LIÊN HỆ Wei-Chiang Hong  samuelsonhong@gmail.com  Khoa Quản lý thông tin, Châu Á

Đại học Khoa học và Công nghệ Đông phương, 58, Sec. 2, Sichuan Rd. Panchiao, 220, New Taipei, Đài Loan

Bài viết này đã được đăng lại với một số thay đổi nhỏ. Sự thay đổi này không ảnh hưởng đến nội dung học thuật của bài viết.

© 2022 Tác giả. Được xuất bản với giấy phép bởi Taylor & Francis Group, LLC.

Đây là một bài viết Truy cập mở được phân phối theo các điều khoản của Giấy phép Ghi công Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), cho phép sử dụng, phân phối và sao chép không hạn chế trên mọi phương tiện, miễn là trích dẫn đúng tác phẩm gốc.



vận chuyển. Việc phân bổ hợp lý các bến tàu không chỉ có thể giảm thời gian chờ của tàu mà còn giảm chi phí hoạt động của cảng. Ngoài ra, việc phân bổ hợp lý cần cầu cảng có thể cải thiện hiệu quả của các hoạt động xếp dỡ tàu, đồng thời giảm thời gian của các hoạt động xếp dỡ. Do đó, việc lập lịch trình cần cầu cảng chung có thể cải thiện hiệu quả của các hoạt động xử lý cảng container, giảm tổng chi phí hoạt động của các cảng container và cải thiện sự hài lòng của khách hàng và người quản lý cảng (Liu, Wang và Shahbazzade 2019). Việc tàu khởi hành chậm trễ cũng có thể dẫn đến thời gian chờ tàu bổ sung cho tàu và cảng container. Chi phí cho thời gian chờ tàu bổ sung được giảm xuống, có thể đạt được mục đích giảm thời gian tàu ở cảng và cải thiện hiệu quả hoạt động xử lý cảng container (Yang et al. 2016).

Bài báo này nghiên cứu các vấn đề nóng về phương án phân bổ và điều phối cảng container. Bài báo này đặc biệt xem xét tác động của các yếu tố kinh tế đến cảng container, phân tích sự cân bằng giữa lợi ích kinh tế và hiệu quả hoạt động và hướng đến mục tiêu giảm thời gian tàu ở cảng, chi phí vận chuyển bằng xe tải và chi phí dịch vụ cảng, để có được phương án điều phối chung cần cầu bến cảng container chất lượng cao hơn.

Phần còn lại của bài báo này được tổ chức như sau: Mục 2 giới thiệu tình hình nghiên cứu của các mô hình và thuật toán nghiên cứu; Mục 3 giới thiệu mô hình EB&QC được thiết lập trong bài báo này; Mục 4 mô tả thuật toán đề xuất của CQSSA áp dụng cho mô hình EB&QC và cung cấp phương pháp giải cho mô hình tối ưu hóa phân bổ cầu trực bến; Mục 5 trình bày nghiên cứu mô phỏng thử nghiệm dữ liệu của mô hình này và phân tích hiệu suất của mô hình đề xuất cũng như thuật toán trong bài báo này; Mục 6 rút ra kết luận.

Tổng quan tài liệu

Vấn đề phân công và điều phối chung cần cầu bến cảng (B&QAC)

Trong những năm gần đây, các học giả đã tiến hành nghiên cứu về vấn đề phân bổ cần cầu bến tàu. Danh sách tài liệu về B&QAC có thể được xem trong [Bảng 1](#). Karam và Eltawil (2016) đã đề xuất một mô hình tối ưu hóa mới cho bài toán tối ưu hóa lịch trình cần cầu berthquay, được xác minh là khả thi và vượt trội thông qua các phép tính số và phân tích lý thuyết. Đối với bài toán lập lịch trình tài nguyên không hợp lý của các bến container, Yang et al. (2016) đã thiết lập một mô hình tối ưu hóa cần cầu bến tàu với mục tiêu là giảm thiểu tổng chi phí dịch vụ tàu thuyền theo tình hình thực tế của các bến cảng. Li et al. (2017) đề xuất một mô hình phân bổ cần cầu bến-cầu rời rạc đa mục tiêu để cải thiện hiệu quả và hiệu suất tối ưu hóa của việc phân bổ cần cầu bến-cầu tại các cảng container với mục tiêu tối ưu hóa là giảm thiểu khoảng cách xe tải container và

**Bảng 1.**Danh mục tài liệu tham khảo cho B&QAC.

Văn học	Sự đóng góp
Karam và Eltawil (2016)	Một kế hoạch lập lịch trình tối ưu cho mỗi nối cần cầu bến tàu mới để cung cấp giải pháp cho đề xuất phân bổ chung cần cầu bến cảng
Yang và cộng sự (2016) Li và cộng sự (2017)	Một kế hoạch lập lịch trình tối ưu để giảm thiểu tổng chi phí dịch vụ tàu được đề xuất Một kế hoạch lập lịch trình tối ưu dựa trên thuật toán bầy hạt lượng tử hỗn loạn để xuất giảm thiểu khoảng cách xe tải và thời gian tàu ở cảng
Thanos và cộng sự (2021) Rodrigues và Agra (2021)	Một kế hoạch điều phối liên hợp cần cầu bến tàu mới dựa trên bến tàu liên tục được đề xuất. Một kế hoạch lập lịch liên hợp cần cầu bến tàu dựa trên thuật toán heuristic lăn được đề xuất.
Vrakas, Chan và Thái (2021)	Một kế hoạch lập lịch cảng nhằm cải thiện hiệu suất cảng container được đề xuất
Ngô và Chu (2021)	Một mô hình tối ưu hóa việc điều động cần cầu bến cảng trong điều kiện các yếu tố không chắc chắn là đề xuất
Cho, Park và Lee (2020)	Một mô hình tối ưu hóa lịch trình cần cầu bến tàu dựa trên một phương pháp tham lam mới phương pháp tìm kiếm thích ứng ngẫu nhiên được đề xuất

thời gian tàu ở cảng. Và thuật toán bầy hạt đám mây hỗn loạn được sử dụng để giải quyết mô hình phân công cần cầu bến cảng, một mô-đun xử lý tích hợp khả thi của hạt được phát triển và nhúng vào quá trình phát triển của thuật toán bầy hạt đám mây hỗn loạn, các quy tắc mã hóa hạt được xây dựng, các phương pháp tính toán cực trị lịch sử hạt và cực trị toàn cục của các hàm đa mục tiêu được thiết kế và một phương pháp mới dựa trên thuật toán tối ưu hóa bầy hạt đám mây hỗn loạn được đề xuất để giải quyết mô hình phân công cần cầu bến cảng rời rạc đa mục tiêu và các kết quả tính toán số chứng minh tính khả thi và tính thực tiễn của mô hình và thuật toán được đề xuất. Thanos et al. (2021) đã tạo ra một mô hình toán học mới cho bài toán phân bổ bến liên tục tại các cảng container có bài toán vận hành nâng cầu cảng cụ thể, và dựa trên đó, đề xuất một công thức toán học để giải bài toán này bằng thuật toán heuristic, và phân tích nó khi so sánh với các phương pháp truyền thống trong bối cảnh tình hình thực tế của các cảng container. Đối với bài toán phân bổ cần cầu bến cảng chung và lập lịch trình tối ưu, dựa trên thuật toán heuristic lăn, Rodrigues và Agra (2021) đã cung cấp một giải pháp chất lượng cho vấn đề phân bổ cần cầu bến cảng chung. Vrakas, Chan và Thai (2021) đã nâng cao lý thuyết RBV để cải thiện hiệu suất hoạt động của cảng container và thực hiện nghiên cứu dựa trên ví dụ về Patrick Terminal ở Úc để cung cấp giải pháp hiệu quả hơn cho việc quản lý cảng container. Đối với vấn đề lập lịch trình tích hợp của các bến cảng container tự động và cần cầu cảng trong điều kiện không chắc chắn, Wu và Zhu (2021) đã đề xuất một khuôn khổ quyết định kết hợp các chiến lược lập lịch chủ động và phản hồi, xây dựng một mô hình lập trình số nguyên hỗn hợp tối thiểu hóa chi phí mục tiêu phục hồi và đề xuất một thuật toán di truyền thích ứng được cải tiến để giải quyết mô hình. Cho, Park và Lee (2020) đề xuất một phương pháp tìm kiếm mới



Phương pháp tìm kiếm thích ứng ngẫu nhiên tham lam cho bài toán phân bổ bến cảng container và cần cẩu cầu cảng chung, đã được xác minh tính khả thi và ưu việt của nó bằng một bến container thực tế tại Busan, Hàn Quốc.

Trong nghiên cứu trên, thời gian hoạt động của tàu container và tuyến vận chuyển xe tải được tối ưu hóa để nâng cao hiệu quả sử dụng bến cảng container và cần cẩu cầu cảng. Dựa trên nghiên cứu này, bài báo này xem xét ảnh hưởng của thời gian tàu ở cảng và khoảng cách vận chuyển xe tải đến việc phân bổ cần cẩu cầu cảng tại các cảng container và ngoài ra còn xem xét các yếu tố kinh tế để xây dựng mô hình tối ưu hóa nhằm có được chương trình phân bổ cần cẩu cầu cảng tốt hơn.

Dựa trên các vấn đề trên, bài báo này tiến hành nghiên cứu xây dựng mô hình phân bổ điều độ liên hợp cần cẩu bến-cầu cảng mới. Trong bài báo này, bài toán tối ưu hóa phân bổ cần cẩu bến-cầu cảng được xem xét theo góc độ hiệu quả kinh tế của các cảng container, xét đến thời gian tàu ở cảng, chi phí quãng đường vận chuyển tăng thêm cho xe gom hàng trong khu vực đất liền của cảng và chi phí thời gian chờ tăng thêm của tàu. Ngoài ra, bài báo này thiết lập hệ số trọng số ưu tiên để đáp ứng các nhu cầu khác nhau của các cảng container trong các điều kiện làm việc khác nhau. Do đó, bài báo này xây dựng một mô hình tối ưu hóa cần cẩu bến-cầu cảng (EB&QC) mới có tính đến các yếu tố kinh tế, bằng cách lấy thời gian tàu ở cảng là tối thiểu, chi phí quãng đường vận chuyển tăng thêm cho xe gom hàng trong khu vực đất liền của cảng và chi phí thời gian chờ tăng thêm của tàu làm mục tiêu tối ưu hóa.

Thuật toán tìm kiếm Sparrow (SSA)

Nghiên cứu cho thấy độ chính xác của việc giải mô hình lập lịch cầu cảng-cầu trực chung quyết định liệu có thể có được giải pháp chất lượng tốt hơn cho nhà ga container hay không. Để giải mô hình lập lịch cầu cảng-cầu chung, nhiều học giả đã sử dụng các phương pháp khác nhau để giải quyết. Thuật toán tìm kiếm Sparrow (SSA) (Xue J, Shen và Xue 2020) là một phương pháp tối ưu hóa nhóm mới lạ lấy cảm hứng từ trí thông minh, hành vi kiếm ăn và chống săn mồi của các nhóm chim sẻ. Sau khi kiểm tra so sánh 19 hàm cơ bản và các thuật toán tối ưu hóa thông minh truyền thống (Xue J, Shen và Xue 2020), SSA có hiệu suất tuyệt vời hơn về độ chính xác, tốc độ hội tụ, độ ổn định và độ mạnh mẽ, vì vậy bài báo này cố gắng sử dụng SSA để giải quyết mô hình EB&QC. Tuy nhiên, giống như các thuật toán tối ưu hóa trí thông minh bầy đàn truyền thống, SSA giai đoạn cuối tiến hóa gấp phải những nhược điểm là dễ rơi vào trạng thái tối ưu cục bộ, khả năng tìm kiếm toàn cục kém và hội tụ chậm. Để ứng phó với những nhược điểm của SSA, các học giả đã tiến hành nghiên cứu để cải thiện nó. Danh sách tài liệu về SSA có thể được xem trong [Bảng 2](#). Song W và cộng sự (2020) sử dụng các phương pháp hỗn loạn với

**Bảng 2.**Danh mục tài liệu tham khảo về SSA.

Văn học	Sự đóng góp
Song W và cộng sự (2020)	Các phương pháp hỗn loạn được sử dụng với bản đồ lều nghiêng để cải thiện SSA
Liu và Vương (2021) Yang và cộng sự (2021) Yuan và cộng sự (2021)	Bản đồ hỗn loạn hình tròn và biến thể phân phối T để cải thiện SSA được giới thiệu Tối ưu hóa bầy hat với SSA được kết hợp
Liu và cộng sự (2021)	Một cơ chế học ngược barycentric được sử dụng để cập nhật dân số đã khởi tạo vị trí và các toán tử biến thiên được sử dụng để tinh chỉnh vị trí dân số Cơ chế hỗn loạn, Trọng số quán tính thích ứng và Chiến lược biến thiên Cauchy-Gaussian được sử dụng để cải thiện SSA
Vương, Trương và Dương (2021)	Một SSA dựa trên bản đồ hỗn loạn Bernoulli, trọng số thích ứng động, đột biến Cauchy, và học ngược được đề xuất
Âu Âu Dương, Chu và Qiu (2021)	Một thuật toán tìm kiếm chim sẻ học bắn (LLSSA) được đề xuất

bản đồ lều nghiêng để tạo ra các quần thể khởi tạo nhằm cải thiện chất lượng quần thể, đưa ra các trọng số giảm phi tuyến tính để cải thiện các bản cập nhật vị trí và tăng hiệu quả tìm kiếm, hơn nữa, họ đưa ra các chiến lược biến thể và tìm kiếm hỗn loạn để tăng tính đa dạng của quần thể. Liu và Wang (2021) đã giới thiệu Bản đồ hỗn loạn Circle trong việc tạo ra các quần thể để cải thiện khả năng tìm kiếm toàn cầu của nó khi bắt đầu các lần lặp lại. Đồng thời, biến thể phân phối T đã được giới thiệu để ảnh hưởng đến quy tắc cập nhật vị trí quần thể chim sẻ cho các chu kỳ lặp lại khác nhau. Cuối cùng, một "hàm tương tự" được xây dựng để đo "sự phân tán" của quần thể chim sẻ và một quy tắc tìm kiếm cho quần thể chim sẻ theo "sự phân tán" khác nhau được phát triển. Yang et al. (2021) kết hợp thuật toán bầy hat và SSA để các cá thể SSA hội tụ nhanh hơn trước khi cập nhật và xây dựng hàm thể lực dựa trên ước tính độ chính xác tối đa của các tham số để khởi tạo các tham số. Yuan et al. (2021) đã sử dụng cơ chế học ngược trọng tâm để khởi tạo bản cập nhật vị trí dân số, đưa hệ số học vào phần cập nhật vị trí của trình khám phá để tăng khả năng tìm kiếm toàn cục của nó và cũng sử dụng các toán tử biến phân để cải thiện vị trí của các dân số khác nhằm tránh chúng rơi vào trạng thái tối ưu cục bộ. Liu et al. (2021) đã giới thiệu một chiến lược hỗn loạn trong SSA để tăng cường tính đa dạng của quần thể thuật toán và sử dụng trọng số quán tính thích ứng để cân bằng tốc độ hội tụ và khả năng khám phá của thuật toán. Cuối cùng, chiến lược biến thiên Cauchy-Gaussian được sử dụng để tăng cường khả năng của thuật toán để thoát khỏi tình trạng trì trệ. Wang, Zhang và Yang (2021) đã giải quyết vấn đề về sự đa dạng của quần thể trong thuật toán tìm kiếm chim sẻ cơ bản sẽ dần mất đi trong các giai đoạn tiến hóa sau này, điều này làm giảm và dễ rơi vào các cực trị cục bộ trong các lần lặp lại sau của thuật toán tìm kiếm chim sẻ cơ bản, đã đề xuất một thuật toán tìm kiếm chim sẻ hỗn loạn dựa trên ánh xạ hỗn loạn Bernoulli, Trọng số thích ứng động, Đột biến Cauchy và học ngược, đã được thử nghiệm và chờ đợi tốc độ hội tụ tốt hơn cũng như độ chính xác tính toán. OuOuyang, Zhu và Qiu (2021)



đề xuất thuật toán tìm kiếm chim sẻ học ống kính (LLSSA), thuật toán đưa ra chiến lược học ngược dựa trên nguyên lý ống kính để cải thiện phạm vi tìm kiếm của từng con chim sẻ, sau đó đề xuất chiến lược tìm kiếm xoắn ốc biến đổi để tìm kiếm của những con chim theo sau chi tiết và linh hoạt hơn, và cuối cùng kết hợp thuật toán ủ mô phỏng để đánh giá và thu được giải pháp tối ưu.

Nghiên cứu hiện tại về SSA đã cải thiện hiệu suất tối ưu hóa của thuật toán, nhưng vẫn còn nhiều chỗ để cải thiện khả năng tìm kiếm toàn cục và thoát khỏi giải pháp tối ưu cục bộ của SSA. Trong bài báo này, để cải thiện khả năng tìm kiếm toàn cục của SSA để tránh rơi vào các giải pháp tối ưu cục bộ ở giai đoạn cuối của thuật toán, để tăng khả năng nhiễu loạn toàn cục và để đảm bảo độ chính xác và tính kịp thời của việc giải mô hình EB&QC, bài báo này cải thiện SSA và đề xuất một thuật toán tìm kiếm chim sẻ lượng tử hỗn loạn dựa trên điện toán lượng tử và ánh xạ hỗn loạn 3D. Thuật toán sử dụng nguyên lý của điện toán lượng tử để cải thiện công thức cập nhật vị trí của phần khám phá của quần thể chim sẻ để tăng cường hiệu quả khả năng tìm kiếm toàn cục; nó giới thiệu một ánh xạ Cat ba chiều để nhiễu loạn các cá thể quần thể rơi vào tối ưu cục bộ ở giai đoạn tiến hóa muộn để tăng tính đa dạng của quần thể ở giai đoạn tiến hóa muộn của thuật toán. Cuối cùng, phương pháp tối ưu hóa lập lịch cẩu cầu cảng dựa trên CQSSA giải quyết mô hình EB&QC, cụ thể là EB&QC-CQSSA, đã được thiết lập. Để kiểm tra tính khả thi của mô hình và thuật toán đề xuất, các thí nghiệm mô phỏng được tiến hành dựa trên dữ liệu hoạt động thực tế của cảng.

Thành lập mô hình EB&QC

Bài báo này tập trung vào việc xây dựng mô hình tối ưu hóa EB&QC theo góc độ tổng chi phí của khu vực cảng container. Trong quá trình tối ưu hóa lịch trình cần cẩu bến cảng container, bờ cảng container liên tục được chia thành nhiều bến độc lập, tức là các bến rời rạc. Trong quá trình tàu cập cảng, theo tình hình thực tế, tàu chỉ được phép cập cảng một lần và không được phép cập cảng ngang qua các bến. Trong quá trình mô hình, tàu bị giới hạn chỉ thực hiện một quy trình hoạt động xếp dỡ hoàn chỉnh một lần. Ngoài ra, trong quá trình xếp dỡ của cần cẩu bến, chỉ được phép có một tàu thực hiện các hoạt động xếp dỡ cùng một lúc. Trình tự tàu cập cảng, phân bổ bến và phân bổ cần cẩu phải giảm thiểu thời gian tàu ở cảng, chi phí quãng đường vận chuyển tăng thêm cho xe tải trong khu vực đất liền của cảng và chi phí thời gian chờ đợi tăng thêm của tàu.



Giả định và ký hiệu

Khi xây dựng mô hình EB&QC, 10 giả định sau đây được xây dựng theo quan điểm cầu cảng và cần cẩu cầu cảng theo quy trình tối ưu hóa phân bổ cần cẩu cầu cảng:

- (1) Thời gian tàu đến đã biết;
- (2) Mỗi tàu có một bến đỗ được xác định trước và khi tàu neo đậu tại bến đỗ được xác định trước thì khoảng cách vận chuyển của xe thu gom là ngắn nhất;
- (3) Vị trí neo đậu tàu thuyền đều đáp ứng các yêu cầu về điều kiện vật lý như độ sâu của nước và chiều dài tàu;
- (4) Mỗi tàu chỉ có một và chỉ một cơ hội cập bến;
- (5) Số lượng cần cẩu bờ phục vụ cho việc xếp dỡ hàng hóa của tàu không đổi trong quá trình xếp dỡ hàng hóa của tàu;
- (6) Hoạt động xếp dỡ tàu đáp ứng yêu cầu về số lượng cần cẩu bến tàu tối đa và tối thiểu được phân bổ;
- (7) Thời gian di chuyển của cần cẩu cầu cảng trong quá trình xếp dỡ hàng hóa không được tính đến;
- (8) Hoạt động của cần cẩu cầu cảng không được phép di chuyển qua các cần cẩu cầu cảng khác;
- (9) Cần cẩu cầu cảng không được dừng giữa chừng cho đến khi kết thúc công việc xếp dỡ;
- (10) Hiệu suất làm việc của tất cả cần cẩu cầu cảng đều như nhau. Không xét đến tác động của việc bảo dưỡng cần cẩu cầu cảng, những người công nhân còn lại và các yếu tố khác về thời gian.

Ký hiệu của mô hình EB&QC được sử dụng trong bài báo này được tóm tắt như sau:

V Mô tả tàu đến ($V = \{1, 2, \dots, V\}$)

B thật ($B = \{1, 2, \dots, b\}$) Cần cẩu (C)

$C = \{1, 2, \dots, c\}$)

α Chi phí theo đơn vị thời gian chờ đợi tàu cập cảng sau khi đến Chi phí

γ theo đơn vị thời gian chờ đợi tàu khởi hành chậm;

Tiếng nói Thiết lập trình tự neo đậu tàu;

VB Thiết lập bến tàu;

VON Số lượng cần cẩu cầu cảng phục vụ cho hoạt động của

Tiếng nói tàu; Tàu T_0 trình tự neo đậu; Tàu T_0 bến tàu;

VB_{T_0}

VON_{T_0} Số lượng cần cẩu cầu cảng được phân bổ theo tàu T_0 kế hoạch;

TAI SAO T_0 Thời gian tàu đến T_0 ; Tàu thủy T_0 thời gian cập bến;

Bến lao



$TS_{Tôi}$	Tàu thủy $Tô$ thời gian bắt đầu hoạt động bốc xếp
$TÀI CHÍNH_{Tôi}$	Thời gian khởi hành của tàu $Tô$;
$T_{ĐTôi}$	Khoảng cách giữa bến tàu thực tế $Tô$ và được ưa chuộng bến tàu;
$TQ_{Tôi}$	Thời gian khởi hành dự kiến của tàu $Tô$;
$Phó chủ tịch_{Tôi}$	Bến tàu được ưa thích của tàu $Tô$
$V_1 THẾ GIỚI_{Tôi}$	Khối lượng container xếp dỡ của tàu $Tô$; Hiệu suất bốc xếp của cần cẩu bến đơn; Số lượng cần cẩu bến tối thiểu có thể chấp nhận để vận chuyển
$Tiêu chuẩn_{Tôi}$	$Tô$ /Số lượng cần cẩu bến cảng tối đa có thể chấp nhận để vận chuyển $Tô$;
$VCM_{Tôi}$	Thuyền trưởng an toàn của tàu $Tô$ (bao gồm khoảng cách dự trữ an toàn bên) Độ sâu nước an toàn của tàu $Tô$ (bao gồm dự trữ an toàn theo chiều dọc)
$VL_{Tôi}$	khoảng cách);
BL_j	Chiều dài của bến;
BD_j	Độ sâu của nước trước bến;
$Xtôi không$	Và q_{TRONG} là các biến được xác định theo cách sau:

$Xtôi không \neq$ 1 nếu tàu $Tô$ được phục vụ theo trình tự $tô$ tại bến tàu
0 khác

$q_{TRONG} \neq$ 1 nếu cần cẩu cầu cảng / phục vụ cho tàu $Tô$
0 khác

Trong số các biến được đề cập ở trên, VO , VB , VC , VO_i , VB_i , Và VC_i là các biến quyết định của mô hình EB&QC, trong khi TBi , TSi , TEi , $xijk$, Và qin , là các biến phụ thuộc của mô hình EB&QC.

Xác định hàm mục tiêu

Để giảm thiểu tổng chi phí diện tích cảng container và cải thiện hiệu quả kinh tế của cảng container, bài báo này xây dựng mô hình tối ưu hóa EB&QC, bằng cách lấy thời gian tối thiểu trong cảng của tàu, chi phí quãng đường vận chuyển bổ sung cho xe thu gom trong khu vực đất liền của cảng và chi phí thời gian chờ bổ sung cho tàu làm mục tiêu tối ưu hóa. Xem xét các nhu cầu khác nhau của cảng container trong các điều kiện làm việc khác nhau, hệ số trọng số ưu tiên ω_1 , ω_2 , ω_3 được thiết kế sao cho mô hình EB&QC có thể phát triển các sơ đồ phân bổ cần cẩu cầu cảng khác nhau thông qua sự can thiệp của con người. Theo quan điểm thứ tự độ lớn, hệ số trọng lượng cân bằng λ_1 , λ_2 , λ_3 được thiết kế để đảm bảo rằng mỗi yếu tố ảnh hưởng đều có độ lớn nhất quán và $\lambda_1 = 0,0001$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_3 = 0,1$ được xác định. Hàm mục tiêu của mô hình EB&QC được xác định là Công thức (1),

$$F_1 \lambda_1 F_1 \beta \omega_2 \lambda_2 F_2 \beta \omega_3 \lambda_3 F_3 \quad (1)$$

Ở đây $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ là hệ số trọng lượng cân bằng, F_1, F_2, F_3 là ba hàm phụ mục tiêu của mô hình EB&QC, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ là hệ số trọng số ưu tiên, cũng như các điều kiện sau đây được đáp ứng Phương trình (2).

$$\omega_1 \beta \omega_2 \beta \omega_3 \lambda_1 \quad (2)$$

Xác định hàm mục tiêu F1

Trong quá trình xếp dỡ hàng hóa, việc rút ngắn thời gian tàu ở cảng có thể nâng cao hiệu quả hoạt động của cảng container và tăng lợi ích của hoạt động cảng container, đồng thời nâng cao sự hài lòng của chủ tàu. Do đó, mục tiêu cuối cùng của bài báo này là nâng cao hiệu quả hoạt động của cảng container và rút ngắn thời gian hoạt động của tàu ở cảng, ngoài việc đảm bảo không chỉ chi phí hoạt động của cảng mà còn tối đa hóa sự hài lòng của chủ tàu. Điều quan trọng nhất cần xem xét trong trường hợp hoạt động của cảng container thông thường là lợi ích giữa cảng container và chủ tàu, do đó việc giảm thiểu thời gian tàu ở cảng được coi là chức năng phụ mục tiêu đầu tiên F_1 . Chức năng phụ này phản ánh lợi ích chung của cảng và chủ tàu. F_1 có thể được xác định bằng cách sử dụng phương trình sau (3),

$$F_1 = \frac{1}{V} \cdot \frac{X^v}{\delta_{TAI\ CHINH} t_{TAI\ SAO}} \quad (3)$$

Ở đây $TAI\ CHINH$ là thời gian khởi hành thực tế của tàu; $TAI\ SAO$ là thời gian đến thực tế của tàu.

Xác định hàm mục tiêu F2

Nhân viên cảng container trong quá trình vận hành thực tế sẽ dựa trên thông tin về tàu, một kế hoạch neo đậu tàu được xác định trước để giảm thiểu khoảng cách giữa bến và bãi container mục tiêu. Bến theo lịch trình được gọi là bến ưu tiên. Tuy nhiên, do sự không chắc chắn của đại dương, tàu thường không đến đúng giờ, khiến không thể cập bến tại bến ưu tiên, dẫn đến khoảng cách xe container tăng thêm và làm tăng chi phí vận chuyển tại cảng. Do đó, việc giảm khoảng cách giữa bến thực tế của một cảng container và bến ưu tiên có thể làm giảm chi phí vận chuyển của cảng. Xem xét nhu cầu kiểm soát chi phí vận hành cảng container trong trường hợp mùa cao điểm hoạt động của cảng container, bài báo này lấy việc giảm thiểu khoảng cách trung bình giữa bến thực tế của cảng container và bến ưu tiên làm hàm mục tiêu phụ thứ hai F_2 . Hàm mục tiêu phụ này phản ánh

chi phí cho quãng đường di chuyển bổ sung của những người thu gom trên đất liền trong khu vực cảng và phản ánh lợi ích cho cảng. F_2 có thể được xác định bằng cách sử dụng Công thức (4) sau đây,

$$F_2 \frac{1}{4} \text{phút}^{\frac{1}{2}} - \frac{1X^v}{V} \quad \begin{matrix} \text{VÌ THẾ} \\ \text{TÔI} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{ĐÃ} \\ \text{ĐÃ} \end{matrix} \quad (4)$$

Tô141

Ở đâu V là thể tích xếp dỡ của tàu $Tôi$; TD là khoảng cách giữa bến tàu thực tế $Tôi$ và bến tàu được ưa thích.

Xác định hàm mục tiêu F_3

Do sự không chắc chắn trên biển, hoạt động xếp dỡ tàu không thể cập cảng theo lịch trình và cần phải chờ neo đậu và trì hoãn việc khởi hành khỏi cảng. Giảm thời gian chờ neo đậu và thời gian khởi hành chậm trễ của tàu có thể làm tăng sự hài lòng của chủ tàu. Do đó, xét đến nhu cầu cải thiện lợi ích của chủ tàu trong mùa kinh doanh chậm của các hoạt động cảng container, bài báo này sử dụng việc giảm thiểu tổng chi phí dịch vụ đầu cuối phát sinh từ thời gian chờ neo đậu của tàu và việc khởi hành chậm trễ làm chức năng phụ thứ ba. Hàm mục tiêu thứ ba được tính như Công thức (5),

$$F_3 \frac{1}{4} \text{phút}^{\frac{1}{2}} \quad \begin{matrix} X^v \\ \frac{1}{2} \text{a} \delta \text{Bệnh lao} TôI \text{ TAI SAO} \delta \text{B} \text{y} \delta \text{TÀI CHÍNH} TôI \text{ TQ} \end{matrix} \quad (5)$$

Tô141

Ở đâu δ là chi phí thời gian đơn vị chờ tàu cập cảng sau khi đến nơi; $Bệnh lao$ là con tàu $Tôi$ thời gian cập bến; $TAI SAO$ là thời gian tàu đến $Tôi$; δ là chi phí đơn vị thời gian của việc tàu khởi hành chậm trễ; $TÀI CHÍNH$ là thời gian khởi hành của tàu $Tôi$; TQ là thời gian khởi hành dự kiến của tàu $Tôi$

Hạn chế

Để đảm bảo mô hình EB&QC đáp ứng được hoạt động xếp dỡ thực tế của cảng container và đáp ứng được các yêu cầu thực tế, các ràng buộc được thiết lập như Ràng buộc (6) đến (22),

$$Bệnh lao TôI \quad "TôI \text{ } 2V \quad (6)$$

$$TS TôI \quad Bệnh lao TôI \quad "TôI \text{ } 2V \quad (7)$$

$$Bệnh lao TôI \quad TÀI CHÍNH TôI \quad "TôI \text{ } 2V \quad (8)$$

$$0 \quad X^v \quad q \text{TRONG } 1, "N2C \quad (9)$$

Tô141

X

Xtôi không♦1;"JB," tôi2 Tiếng nói

(10)

Tôi2 V

Xc

qTRONG½VNÔNtôi; "TôI2V

N21

(11)

Xc

VCMtôi♦ qTRONG♦ VCMtôi;" "TôI2V

N21

(12)

VCMtôi♦ VÔNtôi♦ VCMtôi;" "TôI2V

(13)

Xv Xc

qTRONG♦ c

TôI41 N41

(14)

TÀI CHÍNHtôi TSrồi½VÌ THẾ GIỚItôi=điều chuẩn♦ VÔNtôi; " "TôI2V

(15)

TÀI SAOtôi♦ Bệnh laoTôi;" TôI2V

(16)

XX

đXtôi không♦ BD♦ VdTôi;" "TôI2V

j4BK2 Tiếng nói

(17)

XX

đXtôi không♦ BL♦ VLtôi;" "TôI2V

j4BK2 Tiếng nói

(18)

XX

Xtôi không½1;" "TôI2V

j4BK2 Tiếng nói

(19)

TStôi TÀI SAOtôi♦ TỔNG THẾtôi;" TôI2V

(20)

8
<1*qTôôN1þþ qTôôôNþ1þ qTRONG½ : 0;" TôI2V; số'* 1;không; khôngþ12C1
1

(21)

qTRONG2 tháng0,1g; TôI2V; số2C

(22)

Ràng buộc (6) có nghĩa là thời gian tàu vào luồng chậm hơn thời gian tàu đến; Ràng buộc (7) có nghĩa là tàu bắt đầu xếp dỡ hàng vào thời điểm chậm hơn thời gian tàu cập cảng. Ràng buộc (8) có nghĩa là thời gian tàu cập cảng chậm hơn thời gian tàu trước đó rời cảng; Ràng buộc (9) có nghĩa là mỗi cần cẩu cảng phục vụ tối đa một tàu; Ràng buộc (10) có nghĩa là chỉ có một tàu có thể cập cảng cùng một lúc



bến cùng lúc; Ràng buộc (11) có nghĩa là mối quan hệ giữa số lượng cần cẩu cẩu cảng được phân bổ cho một con tàu và q_{TRONG} ; Ràng buộc (12) và (13) có nghĩa là trong quá trình xếp dỡ thực tế và khi phân bổ nguồn lực cần cẩu cẩu cảng, số lượng cần cẩu cẩu cảng được phân bổ cho một tàu phải nhiều hơn số lượng cần cẩu cẩu cảng tối thiểu $VCmT_0$ và ít hơn số lượng cần cẩu cẩu cảng tối đa VCm_T ; Ràng buộc (14) có nghĩa là số lượng cần cẩu bờ hoạt động phải nhỏ hơn hoặc bằng tổng số cần cẩu bờ; Ràng buộc (15) có nghĩa là thời gian hoạt động xếp dỡ tàu tại cảng bằng tỷ lệ giữa khối lượng xếp dỡ tàu với tích số lượng cần cẩu bờ được phân bổ và hiệu quả xếp dỡ cần cẩu bờ; Ràng buộc (16) có nghĩa là tàu được đảm bảo đến nơi trước khi được phục vụ; Ràng buộc (17) và (18) có nghĩa là độ sâu và chiều dài của nước tại bến được phân bổ cho tàu phải đáp ứng các yêu cầu; Ràng buộc (19) có nghĩa là tàu T_0 bến tàu ở bến tàu và được phục vụ theo thứ tự phục vụ t_0 một và chỉ một lần; Ràng buộc (20) có nghĩa là thời gian chờ của tàu phải nhỏ hơn hoặc bằng thời gian chờ tối đa được chấp nhận của tàu; Ràng buộc (21) có nghĩa là cần trục cẩu cảng chỉ được di chuyển trên cùng một đường ray trong quá trình phục vụ và không được cắt ngang, hơn nữa, trong quá trình phục vụ, cần trục cẩu cảng chỉ được phép di chuyển trên cùng một đường ray, do đó, cần trục cẩu cảng phục vụ phải liên tục và không được cắt ngang các cần trục cẩu cảng khác để xếp dỡ cùng một tàu, khi xếp dỡ máy móc của tàu T_0 , cần cẩu cẩu cảng liền kề nên được chọn làm máy móc xếp dỡ của tàu T_0 ; Ràng buộc (22) tuyên bố rằng các biến quyết định x_{ij} và c_{im} là các biến 0-1.

Tính toán các biến phụ thuộc

Trong mô hình EB&QC được đề xuất, các biến phụ thuộc bao gồm thời gian neo đậu B_{laoT_0} của tàu T_0 , bắt đầu hoạt động bốc xếp hàng hóa của tàu T_0 và sự khởi đầu của tàu T_0 từ kênh TAI_{T_0} . Theo các ràng buộc được mô tả trong Mục 3.3, bài báo này xây dựng quy trình xác định các biến phụ thuộc dựa trên các quy trình hoạt động neo đậu và bốc dỡ của các cảng container. Trong bài báo này, cơ sở dữ liệu MySQL và Python3.9 được sử dụng để xác định các biến phụ thuộc trên. Quy trình xác định các biến phụ thuộc như sau:

Bước 1 Thiết lập $T_0 = 1$ và tiến hành Bước 2.

Bước 2 Phù hợp với trình tự neo đậu $Tiếng nói_{T_0}$, lấy số giường VB_{T_0} của T_0 tàu và số lượng cẩu được giao cho T_0 lần lượt gửi hàng và sau đó tiến hành Bước 3.

Bước 3 Trong cơ sở dữ liệu truy vấn xem tàu T_0 bến tàu VB_{T_0} có sẵn, nếu VB_{T_0} là một bến đỗ khả dụng, hãy chuyển đến Bước 4, nếu không, hãy chuyển đến Bước 5

Bước 4 Khi tàu T_0 cập bến, cập nhật tình trạng cập bến VB_{T_0} trong cơ sở dữ liệu và ghi lại thời gian cập bến B_{laoT_0} trong cơ sở dữ liệu, sau đó tiến hành Bước 5.



Bước 5 Tàu T_0 chờ neo cho đến khi cập bến VB_{T_0} là miễn phí, sau đó tàu T_0 bến tàu ở bến VB_{T_0} , cập nhật bến tàu VB_{T_0} tình trạng sử dụng trong cơ sở dữ liệu và ghi lại thời gian neo đậu của tàu $Bệnh lao_{T_0}$, sau đó tiến hành Bước 6.

Bước 6 Truy vấn từ cơ sở dữ liệu số lượng cần cẩu rảnh liên tiếp tại bến VB_{T_0} . Nếu số lượng đáp ứng được số lượng xe cẩu xếp dỡ theo kế hoạch $VỐN_{T_0}$, chuyển đến Bước 7, nếu không, hãy chuyển đến Bước 8

Bước 7 Tàu T_0 bắt đầu dịch vụ bốc xếp theo kế hoạch đã định, ghi lại thời gian bắt đầu TS_{T_0} trong cơ sở dữ liệu và tính toán thời gian tải và dỡ hàng $VÌ THẾ GIỚI_{T_0}/VC_{T_0}$ * *Tiêu chuẩn* theo hiệu suất tải và dỡ hàng *Tiêu chuẩn*, khối lượng tải và dỡ hàng $VÌ THẾ GIỚI_{T_0}$ của tàu T_0 và số lượng cần cẩu bến cảng $VỐN_{T_0}$ trong dịch vụ, ghi lại thời gian khởi hành của tàu $TÀI CHÍNH_{T_0}$ và cập nhật việc sử dụng bến tàu VB_{T_0} và cần cẩu bến cảng $VỐN_{T_0}$ sau khi tàu rời cảng. trạng thái sau khi tàu rời cảng và tiến hành Bước 9.

Bước 8 Tàu T_0 bến tàu và chờ đợi cho đến khi số lượng cần cẩu bến tàu tại bến tàu VB_{T_0} đáp ứng yêu cầu của $VỐN_{T_0}$, sau đó tàu T_0 bắt đầu dịch vụ hoạt động xếp dỡ theo kế hoạch đã định, ghi lại thời gian bắt đầu xếp dỡ TS_{T_0} trong cơ sở dữ liệu và tính toán thời gian hoạt động tải và dỡ hàng $VÌ THẾ GIỚI_{T_0}/VC_{T_0}$ * *Ceo* theo hiệu quả hoạt động bốc xếp *Tiêu chuẩn*, khối lượng tải và dỡ hàng $VÌ THẾ GIỚI_{T_0}$ của tàu T_0 và số lượng cần cẩu bến tàu đang hoạt động $VỐN_{T_0}$ và ghi lại thời gian khởi hành của tàu $TÀI CHÍNH_{T_0}$. Và cập nhật tình trạng sử dụng của bến VB_{T_0} và cần cẩu bến cảng $VỐN_{T_0}$ sau khi tàu rời cảng và tiến hành Bước 9.

Bước 9 Nếu $T_0 \geq v$, sau đó chuyển đến Bước 11, nếu không, hãy chuyển đến Bước 10

Bước 10 $t_0 = t_0 + 1$, sau đó quay lại Bước 2

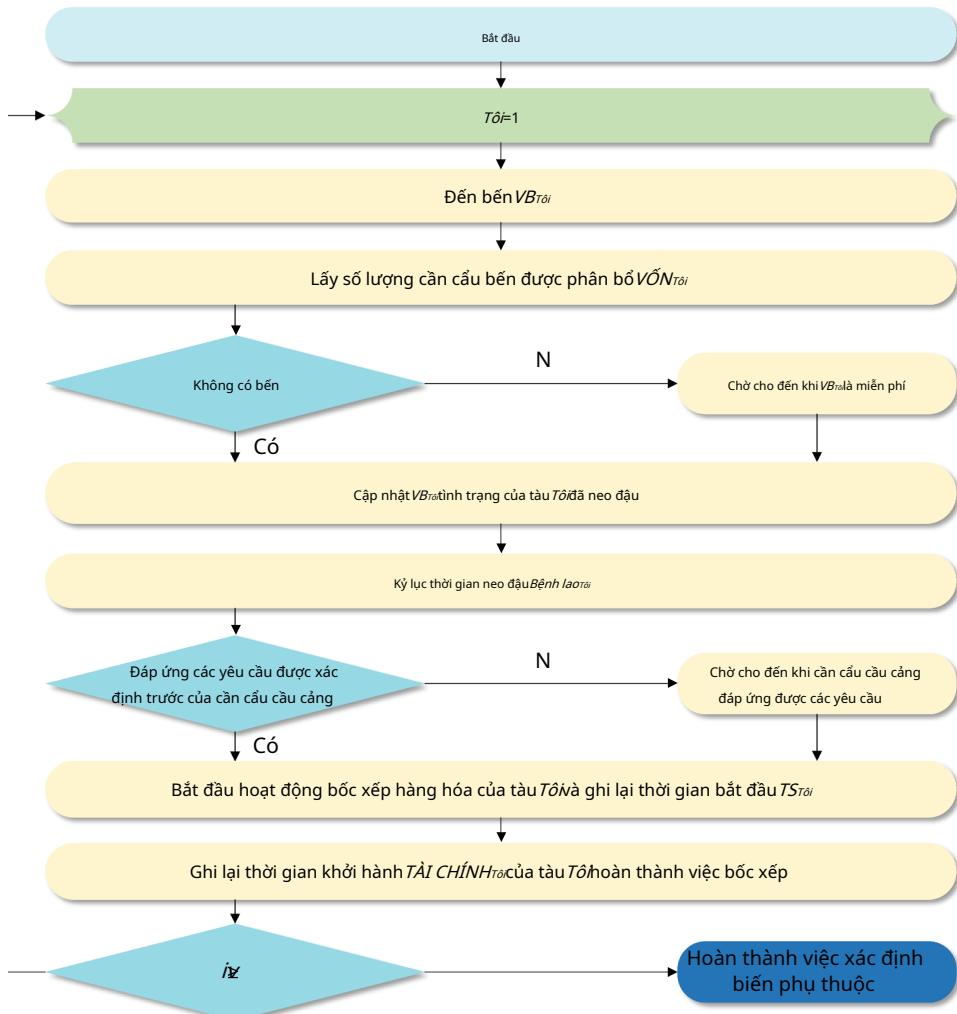
Bước 11: Hoàn tất việc xác định tất cả các biến phụ thuộc.

Quá trình xác định biến phụ thuộc có thể được thể hiện trong [Hình 1](#): Trong các nghiên cứu trước đây, vấn đề tối ưu hóa phân bổ cần cẩu bến tàu có thể được giải quyết bằng phương pháp lập trình tuyến tính (Tian và Meng [2018](#)), thuật toán heuristic ([Jiao et al. 2018](#)), và thuật toán tối ưu hóa thông minh ([Cai et al., 2020](#)). Xem xét rằng thuật toán tối ưu thông minh trong các bài toán tối ưu phi tuyến tính bị ràng buộc có hiệu suất tốt trong quá trình giải quyết, do đó bài báo này cố gắng sử dụng thuật toán tối ưu thông minh để giải quyết mô hình EB&QC.

Thuật toán tìm kiếm chim sẻ lượng tử hỗn loạn (CQSSA) và giải pháp mô hình EB&QC

Giới thiệu về thuật toán tìm kiếm Sparrow

Thuật toán tìm kiếm Sparrow (SSA) là một thuật toán tối ưu hóa thông minh theo phương pháp heuristic mới nổi được đề xuất bởi [Xue J, Shen và Xue \(2020\)](#) vào năm 2020 lấy cảm hứng từ hoạt động kiếm ăn của chim sẻ và chống săn mồi. SSA đã được



Hình 1.Sơ đồ xác định biến phụ thuộc.

được áp dụng thành công trong lĩnh vực năng lượng (Liu và Wang 2021; Song W và cộng sự. 2020; Yang và cộng sự 2021; Yuan và cộng sự 2021), y tế (Liu et al.2021; Âu Dương, Chu và Thu 2021; Vương, Trương và Dương 2021), vận chuyển (Nepomuceno et al.2019; Sang, Vương và Yan 2001; Trương và Định 2021), máy tính (Mao và Chen 2005), và nền kinh tế (Kocarev và cộng sự. 1998; Mao, Trần và Liên 2004) do khả năng tìm kiếm cục bộ mạnh mẽ, hội tụ nhanh, ít tham số điều khiển và cấu trúc đơn giản để dễ dàng triển khai (Xue J, Shen và Xue 2020). Xem xét hiệu suất tốt của SSA trong việc giải quyết các vấn đề tối ưu hóa, bài báo này cố gắng sử dụng SSA để giải quyết mô hình EB&QC.

SSA mô phỏng hành vi kiếm ăn của chim sẻ trong tự nhiên và chia quần thể chim sẻ thành chim tìm thấy và chim nhập cuộc, trong đó chim tìm thấy có giá trị thể lực tốt hơn và cung cấp hướng kiếm ăn và khu vực kiếm ăn cho quần thể, trong khi chim nhập cuộc sử dụng các điều kiện do chim tìm thấy cung cấp để kiếm thức ăn. Ngoài ra, có những chim trinh sát ngẫu nhiên trong quần thể và khi chúng nhận thức được mối nguy hiểm, chúng sẽ phát tín hiệu nguy hiểm kịp thời và toàn bộ quần thể sẽ ngay lập tức tham gia vào hành vi chống lại động vật ăn thịt. Trong trường hợp này, danh tính của chim tìm thấy và chim nhập cuộc có thể được hoán đổi bất kỳ lúc nào với lần lặp lại của thuật toán, nhưng tỷ lệ của cả hai vẫn không đổi. Khung SSA cơ bản bao gồm ba phần..

(1) Cập nhật vị trí Finders

Trong SSA cơ bản, mỗi con chim sẻ đại diện cho một giải pháp cho vấn đề với ma trận riêng lẻ sau, như thể hiện trong Công thức (23),

$$\begin{array}{ccccc}
 & 2 & & & 3 \\
 & x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,d} \\
 & 6x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,d} & 6 \\
 & 4 & \cdots & \cdots & \cdots & 5 \\
 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\
 & X_{k,1} & X_{k,2} & \cdots & X_{k,h} & \text{not} \\
 \end{array} \quad (23)$$

Ở đâu ~~biểu thị~~ số lượng quần thể chim sẻ và ~~ngày~~ biểu thị chiều của không qian cần tìm kiếm.

Những người tìm kiếm có giá trị thể lực tốt hơn trong SSA có thể được tìm thấy ưu tiên theo hiện vật. So với những người tham gia, những người tìm kiếm có trách nhiệm tìm kiếm thức ăn và hướng dẫn toàn bộ quá trình di chuyển của quần thể, do đó những người tìm kiếm sau đó có thể tìm kiếm một khu vực rộng hơn. Vị trí của người tìm kiếm được cập nhật như Eq. (24),

$$X_{\frac{t_0}{T_0} \cdot \frac{1}{4}} \left(X_{\frac{t_0 + kinh nghiệm}{T_0} \cdot T_0} ; R_2 < ST \right) ; R_2 \neq ST$$

$$X_{\frac{t_0 + kinh nghiệm}{T_0} \cdot L} ; R_2 \neq ST \quad (24)$$

Ở đâu t biểu thị số lần lặp lại; $T_0 = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, n_{\text{ngày}}$, x_{tj} biểu thị vị trí của T_0 i chìm sẽ cá thể trong k kích thước; số ngẫu nhiên của $\alpha \in (0, 1)$; $T_{\text{tối đa}}$ biểu thị số lần lặp tối đa được thiết lập bởi thuật toán; $R_2 \in (0, 1)$ biểu thị giá trị cảnh báo; $S T \in (0, 0.5, 1)$ biểu thị ngưỡng an toàn; ma trận của $L = [1, 1, \dots, 1]_{1 \times n_{\text{ngày}}}$; Q biểu thị một số ngẫu nhiên tuân theo $N(0, 1)$ phân phối; nếu $R_2 < ST$, biểu thị rằng môi trường kiểm ăn an toàn, người tìm thấy có thể tiếp tục tìm kiếm các vật thể vật lý; nếu $R_2 \geq ST$, biểu thị rằng một số người tìm thấy đã bị tấn công và dân số cần phải được di chuyển nhanh chóng đến khu vực an toàn.

(2) Cập nhật vị trí của người tham gia



70–85% quần thể chim sẻ bao gồm những con chim nhập cuộc, chúng cập nhật vị trí của mình theo vị trí của những con chim tìm thấy. Khi những con chim tìm thấy thức ăn, những con chim nhập cuộc sẽ rời khỏi vị trí hiện tại và bay về phía khu vực tìm thấy thức ăn. Vị trí của những con chim nhập cuộc được cập nhật như Công thức (25),

$$(25) \quad X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} = \begin{cases} X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} & \text{Hồi kinh nghiệm} \\ \frac{X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1}}{\alpha T+1} & \text{tốt nhất} \end{cases}; \quad T+1 \leq \frac{n}{2}$$

$$X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} = \frac{X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} + M \cdot L}{T+1} \quad T+1 > \frac{n}{2}$$

Ở đâu X_{t+1}^{t+1} biểu thị vị trí của cá thể có giá trị thể lực tốt nhất trong quần thể hiện tại, X_{t+1}^{t+1} biểu thị vị trí của cá thể có giá trị thể lực kém nhất trong quần thể hiện tại và $M \cdot L$ biểu thị một $d \times d$ ma trận, mỗi phần tử của nó được gán ngẫu nhiên là 1 hoặc -1. Khi $T+1 \leq n/2$, nó chỉ ra rằng KHÔNG. $T+1$ người tham gia đã kiểm ăn gần vị trí tối ưu và khi $T+1 > n/2$, điều này chỉ ra rằng những cá thể có vị trí địa lý kém cần phải đến một địa điểm khác để kiểm ăn.

(3) Phát hiện và phán đoán cảnh báo sớm

Trong toàn bộ quần thể chim sẻ, 15%–30% chim sẻ có khả năng phát hiện và cảnh báo, được gọi là chim trinh sát. Chim trinh sát có thể nhận biết được sự hiện diện của động vật ăn thịt, mô hình toán học của loại chim trinh sát này được thể hiện dưới dạng Công thức (26),

$$(26) \quad X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} = \begin{cases} X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} & \text{neu } T+1 > n \\ X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} & \text{tốt nhất} \\ X_{t+1}^{t+1} \frac{1}{T+1} & \text{tốt nhất} \end{cases}$$

Ở đây β tuân theo phân phối chuẩn với phương sai là 1 và trung bình là 0. Nó được gọi là hệ số kiểm soát bước ngẫu nhiên; $K = [-1, 1]$ là một số ngẫu nhiên; n là số lượng cá thể; n là giá trị sức khỏe của từng con chim sẻ; n là giá trị tối ưu của dân số hiện tại; n là giá trị thấp nhất của dân số hiện tại; là biểu thị giá trị tối thiểu để tránh lỗi chia bằng không. Khi $n > n$, điều này có nghĩa là con chim sẻ riêng lẻ nằm ở rìa quần thể và dễ bị động vật săn mồi tấn công, đòi hỏi phải có hoạt động thu hẹp; Khi $n = n$, chứng tỏ rằng chim trinh sát đã nhận thức được mối đe dọa từ động vật săn mồi và cần bay đến những cá thể khác gần nơi an toàn hơn.

Do cơ chế cập nhật tốc độ trong giai đoạn tiến hóa muộn của SSA liên quan đến tốc độ lịch sử, nó dẫn đến khả năng tìm kiếm cục bộ kém của thuật toán và sự giảm đáng kể về tính đa dạng của quần thể. Hơn nữa, SSA thiếu cơ chế đột biến, do đó nó đặc biệt dễ rơi vào trạng thái tối ưu cục bộ, tạo ra vấn đề không hội tụ đến một giải pháp tối ưu hoặc thậm chí không tạo ra được kết quả hợp lệ. Do đó, việc cải thiện SSA tập trung vào việc tăng cường hiệu quả tính đa dạng của quần thể và cải thiện đáng kể khả năng của thuật toán để nhảy ra khỏi mức tối ưu cục bộ, do đó cho phép quần thể duy trì quá trình tối ưu liên tục của nó trong quá trình lặp lại.



Xét đến hiệu suất tuyệt vời của điện toán lượng tử và lập bản đồ hỗn loạn để cải thiện thuật toán trí tuệ bầy đàn, bài báo này cố gắng cải thiện SSA dựa trên chiến lược điện toán lượng tử và lập bản đồ hỗn loạn để cải thiện khả năng giải của SSA nhằm giải nhanh và chính xác mô hình EB&QC.

Đầu tiên, cơ chế tính toán lượng tử (QCM) được sử dụng để cải thiện vị trí tìm kiếm của SSA nhằm cải thiện sự hội tụ toàn cục của thuật toán. Thứ hai, nhiễu loạn hỗn loạn được thực hiện bằng cơ chế lập bản đồ 3D-cat cho các cá thể thích nghi kém để tăng tính đa dạng của quần thể và do đó làm cho SSA nhảy ra khỏi mức tối ưu cục bộ. Cuối cùng, một thuật toán tối ưu hóa lai mới có tên là CQSSA được đề xuất để giải mô hình EB&QC.

Thiết kế của thuật toán tìm kiếm Quantum Sparrow (QSSA)

Xem xét vấn đề hội tụ toàn cục kém của SSA, bài báo này cải thiện SSA dựa trên QCM và giới thiệu một chiến lược tính toán lượng tử. Để cải thiện SSA, chiến lược lượng tử được sử dụng để làm cho hành vi kiểm ăn của mỗi con chim sẻ có ý nghĩa của xác suất lượng tử và cải thiện sự hội tụ toàn cục của thuật toán.

Trong không gian lượng tử, vận tốc và vị trí của một hạt không thể xác định được được khai thác đồng thời. Do đó, hàm sóng $\beta^{1/4}$ tối đa $P_{\text{tối đa}} = 0.5$ là được sử dụng để mô tả trạng thái của hạt, và hàm mật độ xác suất của hạt tại một điểm trong không gian thu được bằng cách giải phương trình Schrödinger. Sau đó, vị trí của hạt thu được bằng mô phỏng Monte Carlo theo Phương trình (27) như sau,

$$\chi_{\text{đang}} = \frac{L}{2} \quad (27)$$

Ở đây b là một số ngẫu nhiên thay đổi trong phạm vi $[0,1]$; P được xác định bởi Công thức (28),

$$P = \frac{1}{4} \varphi_1 + P_{\text{ngày}} \varphi_2 \quad (28)$$

Ở đây φ_1 là kích thước của hạt; φ_2 là những con số ngẫu nhiên thay đổi trong phạm vi; $P_{\text{ngày}}$ là vị trí tốt nhất hiện tại của hạt t ; p_t là tốt nhất trong lịch sử vị trí của hạt t .

Ở đây L là phạm vi hạn chế việc tìm kiếm riêng lẻ của chim sẻ và được định nghĩa là Công thức (29),

$$L = \frac{1}{2} \sqrt{2 - \beta^2} \quad (29)$$

Ở đây t là vị trí tối ưu trung bình, được sử dụng để biểu diễn giải pháp tối ưu trung bình hiện tại của tất cả các hạt, như được định nghĩa trong Phương trình (30),



$$\begin{array}{cccc}
 X_{\text{tối}} & X_{\text{tối}} & X_{\text{tối}} & X_{\text{tối}} \\
 \text{tốt nhất}^{\frac{1}{4}} & P_{\text{tối}} = T^{\frac{1}{4}} & P_{\text{tối}} = M; & P_{\text{tối}} = M; \dots; \\
 T_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} & T_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} & T_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} & T_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} \\
 \end{array} \quad (30)$$

Ở đây $\beta^{\frac{1}{4}}$ tối đa $tối$ là 0.5 là hệ số co ngót và giãn nở; T là số lượng hạt; tối $đang$ là số lần lặp lại tối đa.

Cuối cùng, vị trí của hạt được đưa ra bởi Công thức (31),

$$\begin{array}{ccc}
 X_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} & P_{\text{tối}} \beta^{\frac{1}{4}} & X_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} \\
 nhén deng^{\frac{1}{4}} & tốt nhất & nhén deng^{\frac{1}{4}} \text{ trong } \text{tối} = banbrand^{\frac{1}{4}} 0.5 \\
 P \beta^{\frac{1}{4}} & tốt nhất & X_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} \text{ nhén deng}^{\frac{1}{4}} \text{ trong } \text{tối} = banbrand^{\frac{1}{4}} 0.5
 \end{array} \quad (31)$$

Xét mỗi công cụ tìm kiếm trong SSA như mỗi hạt trong chiến lược tính toán lượng tử, phương trình cải tiến để cập nhật công cụ tìm kiếm trong QSSA được thể hiện trong Phương trình (32) bên dưới,

$$\begin{array}{ccc}
 X_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} & P_{\text{tối}} \beta^{\frac{1}{4}} & X_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} \\
 nhén deng^{\frac{1}{4}} & tốt nhất & nhén deng^{\frac{1}{4}} \text{ trong } \text{tối} = banbrand^{\frac{1}{4}} ST \\
 t & X_{\text{tối}}^{\frac{1}{4}} \text{ nhén deng}^{\frac{1}{4}} \text{ trong } \text{tối} = banbrand^{\frac{1}{4}} ST & ; R_2 \text{ ST}
 \end{array} \quad (32)$$

Quá trình QSSA được mô tả như sau:

Bước 1 Đặt các giá trị ban đầu. Dân số chim sẻ được khởi tạo thành N . Các vị trí của chim sẻ T trong dân số ban đầu là X_0 $nhén deng$; khởi tạo số của những người tìm thấy, người tham gia và người trinh sát. Đặt kích thước mục tiêu, v.v.

Bước 2 Tính giá trị thể lực của từng cá thể (I). Tính giá trị thể lực của từng con chim sẻ bằng hàm mục tiêu và cập nhật vị trí tốt nhất và tệ nhất, cập nhật giá trị thể lực tốt nhất và tệ nhất.

Bước 3 Cập nhật vị trí của người tìm kiếm (I). Dân số được xếp hạng theo mức độ vượt trội của giá trị thể lực và người tìm kiếm ở vị trí tốt hơn được chọn và vị trí được cập nhật bằng Công thức (32).

Bước 4 Cập nhật vị trí của người tham gia (I). Người tham gia được chọn theo tỷ lệ được đặt trong quá trình khởi tạo và vị trí được cập nhật bằng Công thức (25).

Bước 5 Tính giá trị thể lực (II). Tính giá trị thể lực, cập nhật vị trí tốt nhất và tệ nhất, và cập nhật giá trị thể lực tốt nhất và tệ nhất.

Bước 6 Cập nhật vị trí trinh sát (II). Giá trị thể lực của trinh sát được đánh giá liên quan đến quần thể tối ưu và vị trí trinh sát được cập nhật bằng cách sử dụng Công thức (26).

Bước 7: Dừng kiểm tra trạng thái. Nếu đã đạt đến số lần lặp, hãy tiếp tục đến bước 8; nếu không, hãy quay lại Bước 2.

Bước 8: Giai đoạn cuối cùng. Khi kết thúc thuật toán, dữ liệu thử nghiệm được xuất, phân tích và xử lý.

Mã giả của CSSA được hiển thị trong [Hình 2](#).



Mã giả của QSSA

Đầu vào: $D_{tối\ đa}$ (số lần lặp lại tối đa), PD (số lượng nhà sản xuất), SD (số lượng chim sẻ nhận thấy nguy hiểm), R_2 (giá trị báo động), n (số lượng chim sẻ), khởi tạo quần thể n chim sẻ và xác định quần thể có liên quan,

Đầu ra: $X_{tốt\ nhất}, F_g$

- 1: Trong khi($t < D_{max}$)
 - 2: Xếp hạng các giá trị thể lực và tìm ra cá thể tốt nhất hiện tại và cá thể tệ nhất hiện tại;
 - 3: $R_2 = \text{rand}(1);$
 - 4: với $i=1:PD$
 - 5: Sử dụng phương trình cập nhật vị trí lượng tử (27) để cập nhật vị trí của người tìm thấy; kết thúc;
 - 7: với $i=(PD+1):n$
 - 8: Sử dụng phương trình (28) để cập nhật vị trí của người tham gia;
 - 9: kết thúc;
 - 10: nếu $\text{fit}(fb) \leq \text{fit}(fi)$
 - 11: đổi với $I=1:SD$
 - 12: Sử dụng phương trình (29) để cập nhật vị trí của người trinh sát;
 - 13: kết thúc;
 - 14: Nhận vị trí mới hiện tại;
 - 15: nếu vị trí mới tốt hơn vị trí trước;
 - 16: cập nhật nó;
 - 17: $t=t+1;$
 - 18: kết thúc trong khi;
 - 19: trả về $X_{best} F_g;$
-

Hình 2.Mã giả của QSSA.

Thiết kế của thuật toán tìm kiếm Chaotic Sparrow (CSSA)

Phân phôi hỗn loạn có tính chất ngẫu nhiên tương tự nhưng khác biệt so với phân phôi đồng đều và phân phôi Gauss (Kocarev và cộng sự.[1998](#); Li và Zheng[2002](#); Mao và Trần[2005](#); Mao, Trần và Liên[2004](#)) và do đó có thể thể hiện hành vi ngẫu nhiên mà không có bất kỳ yếu tố ngẫu nhiên nào. Nhiều tính chất của sự hỗn loạn có thể được áp dụng để cải thiện các phép tính tối ưu hóa. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng bản chất ngẫu nhiên của sự hỗn loạn có thể khiến tìm kiếm nhảy ra khỏi điểm tối ưu hiện tại và do đó ngăn chặn tìm kiếm lặp lại rơi vào điểm tối ưu cục bộ (Li et al.[2017](#)). Đặc biệt, khi các tham số của hỗn loạn được chọn bởi một số lượng lớn các phép đo, bản chất ergodic của hỗn loạn làm cho giải pháp cuối cùng của nó xấp xỉ giải pháp tối ưu thực sự ở độ chính xác tùy ý. Mặc dù các số ngẫu nhiên được tạo ra bởi nhiều loạn hỗn loạn không thể hỗ trợ thuật toán để hoàn thành tìm kiếm ergodic trong không gian các biến liên tục, các biến hỗn loạn là khả thi trong phạm vi độ chính xác mà máy tính có thể biểu diễn. Hỗn loạn thường được sử dụng trong các máy phát số ngẫu nhiên (Nepomuceno et al.[2019](#); Sang, Vương và Yan[2001](#)). Song W và cộng sự ([2020](#)) đầu tiên đưa sự hỗn loạn vào SSA để tối ưu hóa trạng thái ban đầu của



dân số và tăng sự đa dạng của dân số bằng cách nhảy ra khỏi điểm tối ưu cục bộ ở giai đoạn cuối của quá trình tiến hóa. Zhang và Ding (2021) đã đề xuất một mạng cấu hình ngẫu nhiên tối ưu CSSA-SCN dựa trên thuật toán tìm kiếm chim sẻ hỗn loạn bằng cách đưa ánh xạ logistic, siêu tham số thích ứng và toán tử biến phân vào SSA để cải thiện khả năng tìm kiếm toàn cục của thuật toán.

Hiện nay, các hàm ánh xạ Logistic, Tent, An và Cat thường được sử dụng làm trình tạo chuỗi hỗn loạn. Li, Hong và Kang (2013) đã phân tích các tính chất hỗn loạn của bốn hàm ánh xạ này. Kết quả cho thấy sự phân bố của các hàm ánh xạ Cat tương đối đồng đều trong quá trình lặp lại và không có hiện tượng tuần hoàn. Các giá trị chuỗi hỗn loạn của hàm ánh xạ Cat có thể được lấy là 0 và 1. Do đó, hàm ánh xạ Cat có các tính chất phân bố hỗn loạn tốt hơn và có thể cải thiện tính đa dạng của quần thể. Do đó, một hàm ánh xạ Cat cải tiến để cải thiện số mũ Lyapunov được sử dụng và đưa vào SSA để đạt được hiệu suất thỏa đáng.

Dạng lặp lại của hàm ánh xạ Cat hai chiều chuẩn (dựa trên hai chiều) được xác định bởi Phương trình (33),

$$\begin{matrix} \text{?} \\ x_{np1}^{1/4} \end{matrix} \xrightarrow{\text{và}} \begin{matrix} \text{?} \\ x_{np2}^{1/4} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{bản mod1} \\ \text{bản mod1} \end{matrix} \quad (33)$$

Phương trình (33) thường được biểu thị dưới dạng ma trận là Phương trình (34),

$$\begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ x_{np1}^{1/4} & & & & 1 & 1 & x_n \text{ bản 1} \\ & & & & 1 & 2 & v_{np1} \end{matrix} \quad (34)$$

trong đó phép toán “mod 1” lấy phần phân số của một số thực. Các giá trị riêng của ma trận hệ số của hàm ánh xạ Cat là $\sigma_1 = 2,618 > 1$ và $\sigma_2 = 0,382 < 1$. Do đó, số mũ Lyapunov tối đa thu được của hàm ánh xạ Cat là $\lambda_1 = \ln 2,618 > 0$. Số mũ Lyapunov dương càng lớn thì sự tách quỹ đạo càng nhanh và do đó hàm ánh xạ cat 3D càng phức tạp thì hiệu suất hỗn loạn càng tốt. Tuy nhiên, sau một số lần lặp hữu hạn, hàm ánh xạ cat rời rạc thể hiện hiện tượng phục hồi Poincare. Để giải quyết vấn đề này hiệu quả hơn, Li, Hong và Kang (2013) mở rộng hàm ánh xạ mèo hai chiều thành hàm ánh xạ mèo ba chiều. Ý tưởng chính là giới thiệu hai tham số, Một và b, vào hàm ánh xạ mèo hai chiều, như thể hiện trong Phương trình (35).

$$\begin{matrix} \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ x_{np1}^{1/4} & & & 1 & Mật & \text{?} & \text{?} & \text{?} \\ & & & b & bp1 & & & \\ & & & & & x_n \text{ bản 1} & & \\ & & & & & & & v_{np1} \end{matrix} \quad (35)$$

Trên cơ sở, thiết lập x_N, y_N, z_N là hàng số; Sau đó, định nghĩa của hàm ánh xạ cat 3D có thể thu được bằng cách triển khai hàm ánh xạ cat 2D trên ba mặt phẳng tương tác (yz, xz, xy) và kết nối ba phương trình liên quan, như thể hiện trong Phương trình (36),

$$\begin{matrix} 2 & 3 & 2 & 3 \\ XNp1 & & & XN \\ 4v\lambda p1 & 5\frac{1}{4}M\hat{O}T4 & \text{và} & 5\text{bản 1} \\ ZNp1 & & & ZN \end{matrix} \quad (36)$$

Ở đây $M\hat{O}T$ là tích của các ma trận hệ số từ ba mặt phẳng khi phép ánh xạ cat hoàn tất.

Theo phương trình (36), không gian pha của x_N, y_N, z_N bị giới hạn ở khối lập phương đơn vị, có dạng trong lần lặp cuối cùng được đưa ra bởi Phương trình (37)

$$\begin{matrix} 2 & 3 & 2 & & & 32 & 3 \\ XNp1 & & & 1\frac{1}{4}M\hat{O}t:M\hat{O}t:bv\lambda & & XN \\ 4v\lambda p1 & 5\frac{1}{4}4b\frac{1}{2}M\hat{O}t:bv\lambda & M\hat{O}t:xM\hat{O}t:bv\lambda & M\hat{O}t:z & & 5\text{bản 1} \\ & M\hat{O}t:b\frac{1}{2}1 & & M\hat{O}t:b\frac{1}{2}1 & & ZN \\ & M\hat{O}t:b\lambda b\lambda \frac{1}{2}b\lambda & & b_x & & \\ & & & & M\hat{O}t:b\lambda b\lambda b\lambda \frac{1}{2}b\lambda & \end{matrix} \quad (37)$$

Ma trận các hệ số được thể hiện như Công thức (38),

$$\begin{matrix} 2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 \\ M\hat{O}T\%43 & 2 & 55 \\ 2 & 1 & 4 \end{matrix} \quad (38)$$

Bằng cách tính toán ba giá trị riêng, $\sigma_1 = 7,1842 > 1, \sigma_2 = 0,2430 < 1$, và $\sigma_3 = 0,5728 < 1$, các chỉ số Lyapunov tương ứng thu được: $\lambda_1 = \ln 2,618 > 0, \lambda_2 = \ln 0,243 < 0, \lambda_3 = \ln 0,5728 < 0$.

Kết quả tính toán cho thấy giá trị riêng cực đại của hàm ánh xạ cat 3D vượt quá giá trị riêng cực đại của hàm ánh xạ cat 2D và số mũ Lyapunov cực đại tương ứng của nó cũng vượt quá số mũ Lyapunov cực đại của hàm ánh xạ cat 2D.

Quy trình của CSSA được mô tả như sau:

Bước 1 Đặt các giá trị ban đầu. Dân số chim sẻ được khởi tạo như N ; các vị trí của chim sẻ T trong dân số ban đầu là X_0 *nhận dạng*; khởi tạo số của người tìm kiếm, người tham gia và người trinh sát; đặt chiều mục tiêu X , tỷ lệ tạo nhiễu Q , tỷ lệ trộn R và số lần lặp D_{max} , v.v.

Bước 2 Tính giá trị thể lực của từng cá thể (I). Tính giá trị thể lực của từng con chim sẻ bằng hàm mục tiêu, cập nhật vị trí tối ưu và tệ nhất, cập nhật giá trị thể lực tối ưu và tệ nhất.

Bước 3 Cập nhật vị trí của những người tìm kiếm. Các quần thể được xếp hạng theo mức độ vượt trội của các giá trị thể lực và những người tìm kiếm có vị trí tốt hơn được chọn và các vị trí được cập nhật bằng cách sử dụng Công thức (24).

Bước 4 Cập nhật vị trí của người tham gia. Người tham gia được chọn theo tỷ lệ được đặt trong quá trình khởi tạo và vị trí được cập nhật bằng Công thức (25).



Mã giả của CSSA

Đầu vào: D(tối đa(số lần lặp lại tối đa), PD (số lượng nhà sản xuất), SD (số lượng chim sẻ nhận thấy nguy hiểm), R2(giá trị báo động), n (số lượng chim sẻ), khởi tạo quần thể n chim sẻ và xác định Q (phần trăm nhiễu loạn hỗn loạn) có liên quan của nó

Đầu ra: X(tốt nhất, Fg)

- 1: Trong khi($t < Dmax$)
 - 2: Xếp hạng các giá trị thể lực và tìm ra cá thể tốt nhất hiện tại và cá thể tệ nhất hiện tại cá nhân;
 - 3: $R2 = rand(1);$
 - 4: với $i=1:PD$
 - 5: Sử dụng phương trình cập nhật vị trí (24) để cập nhật vị trí của người tìm thấy; kết thúc
 - 6: cho;
 - 7: với $i=(PD+1):n$
 - 8: Sử dụng phương trình (25) để cập nhật vị trí của người tham gia;
 - 9: kết thúc;
 - 10: nếu $fit(fb) \leq fit(fi)$
 - 11: đổi với $I=1:SD$
 - 12: Sử dụng phương trình (26) để cập nhật vị trí của người trinh sát;
 - 13: kết thúc;
 - 14: nếu $t=Dmax*Q$
 - 15: đổi với $I=1:PD$
 - 16: Sử dụng phương trình nhiễu loạn hỗn loạn toàn cầu bão đồ 3D Cat (30) cập nhật chim sẻ vị trí;
 - 17: kết thúc cho;
 - 18: Nhận vị trí mới hiện tại;
 - 19: nếu vị trí mới tốt hơn vị trí trước;
 - 20: cập nhật nó;
 - 21: $t=t+1;$
 - 22: kết thúc trong khi;
 - 23: trả về $Xbest Fg;$
-

Hình 3. Mã giả của CSSA.

Bước 5 Tính giá trị thể lực (II). Tính giá trị thể lực, cập nhật vị trí tốt nhất và tệ nhất, và cập nhật giá trị thể lực tốt nhất và tệ nhất.

Bước 6 Cập nhật vị trí trinh sát. Giá trị thể lực của trinh sát được đánh giá liên quan đến quần thể tối ưu và vị trí trinh sát được cập nhật bằng cách sử dụng Công thức (26).

Bước 7 Xác định số lần lặp lại. Nếu đã đạt đến số lần lặp lại $Dmax*Q$, tiếp tục đến bước 8; Nếu không, quay lại bước 9.

Bước 8 Biến động dân số. Các giá trị thể lực hiện tại của dân số được xếp hạng và các cá thể tệ hơn với các giá trị thể lực ở $R\%$ dưới cùng được chọn và vị trí hiện tại của chúng được biến động bằng cách sử dụng Công thức (37).

Bước 9: Kiểm tra trạng thái dừng. Nếu đạt đến số lần lặp tối đa, hãy tiến hành Bước 10; nếu không, hãy quay lại Bước 2.



Bước 10 Giai đoạn cuối cùng. Vào cuối thuật toán, dữ liệu thử nghiệm được xuất, phân tích và xử lý

Mã giả của CSSA được hiển thị trong [Hình 3](#).

Công thức của các quy tắc mã hóa cho từng con chim sẻ cho mô hình EB&QC

Dựa trên các biến tối ưu hóa của mô hình EB&QC, các quy tắc mã hóa áp dụng cho mô hình EB&QC và CQSSA được phát triển. Trong bài báo này, quy định rằng một cá thể cổ phiếu là một ma trận độc lập, số hàng của ma trận được xác định bởi thứ tự neo đậu của tàu, vị trí neo đậu của tàu và số lượng cần cẩu cầu cảng được chỉ định cho tàu, là ba hàng của ma trận mã hóa và số lượng cột của ma trận được xác định bởi số lượng tàu đến cảng. Vì thứ tự neo đậu, vị trí neo đậu và số lượng cần cẩu cầu cảng được chỉ định đều là số tự nhiên, nên mỗi mục trong ma trận được mã hóa thành một số tự nhiên. [Bảng 3](#) đưa ra một ví dụ về phương pháp mã hóa cho các cá thể trong quần thể, và cột đầu tiên được sử dụng làm ví dụ để giới thiệu phương pháp mã hóa: con tàu đầu tiên, thứ tự cập bến (*Tiếng nói*) là 3, số vị trí neo đậu (*VB*) là 1 và số lượng cầu được chỉ định (*VỐM*) là 3.

Thiết kế thuật toán xử lý số nguyên khả thi Sparrow (SF-IPA)

Mục tiêu tối ưu hóa là các số tự nhiên trong quá trình tối ưu hóa cần cẩu bến cảng thực tế, nhưng các biến tối ưu hóa là các số thực trong quá trình tiến hóa của thuật toán chim sẻ. Do đó, thuật toán xử lý số nguyên khả thi chim sẻ (SF-IPA) được thiết kế để thực hiện một số nguyên khả thi của các giá trị của ma trận mã hóa cá thể của quần thể. Trong quá trình giải mô hình EB&QC dựa trên CQSSA, ma trận mã hóa thu được bằng quá trình tiến hóa là một ma trận số thực và dựa trên SF-IPA, ma trận mã hóa được tích hợp để thu được ma trận số tự nhiên. SF-IPA được thiết kế như sau.

Bước 1: Cho phép $tô i=1$; tiến hành Bước 2.

(1) Mô-đun xử lý số nguyên khả thi cho lệnh tàu *chim sẻ[tô i, 1, :]* của chim sẻ *tô i*

Bảng 3. Ví dụ về ma trận mã chim sẻ.

ID of arriving ships V	1	2	3	4	5	
First row: Berthing sequence <i>VO</i>	3	5	4	2	1	<i>Sparrow [m, 1, n]</i>
Second row: Berthing position <i>VB</i>	1	3	2	4	3	<i>Sparrow [m, 2, n]</i>
Third row: Quantity of allocated <i>VC</i>	3	3	2	1	5	<i>Sparrow [m, 3, n]</i>



Bước 2: Sắp xếp $tô hàng$ đầu tiên của $chim s_é[t_ôi,1,:]$ của chim $s_é$ từ nhỏ nhất đến lớn nhất để có được $chim s_é[t_ôi,1,:]$. Nếu các giá trị trong $chim s_é[t_ôi,1,:]$ bằng nhau, chuyển sang Bước 3, nếu không, chuyển sang Bước 4.

Bước 3: Đặt hàng $chim s_é[t_ôi,1,:]$ theo kích thước của tàu tương ứng với giá trị, thứ tự sắp xếp theo thứ tự neo đậu của từng tàu $chim s_é[t_ôi,1,:]$, do đó $chim s_é_m_ới[t_ôi,1,:]$ = $chim s_é[t_ôi,1,:]$, tiến hành Bước 5;

Bước 4: Đổi với các tàu có giá trị bằng nhau $chim s_é[t_ôi,1,:]$, xác định thứ tự neo đậu của tàu $chim s_é[t_ôi,1,:]$ trong cá thể đã tiến hóa bằng cách tham chiếu đến lần lặp lại cuối cùng của thứ tự neo đậu tàu để $chim s_é_m_ới[t_ôi,1,:]$ = $chim s_é[t_ôi,1,:]$, và chuyển sang Bước 5.

(2) Lệnh tàu $sparrow[m,2,:]$ của $sparrow m$ xử lý số nguyên khả thi mô-đun

Bước 5: Để $N=1$, tiến hành Bước 6;

Bước 6: Làm tròn giá trị của bến neo $chim s_é[t_ôi,2,N]$ của tàu N trong $chim s_é$ để có được $chim s_é[t_ôi,2,N]$, nếu hạn chế neo đậu của tàu N được thỏa mãn, làm $chim s_é_m_ới[t_ôi,2,N]$ = $chim s_é[t_ôi,2,N]$, nếu không, dưới sự ràng buộc của tàu N , chọn ngẫu nhiên bến đỡ $chim s_é[t_ôi,2,N]$, để có thể $chim s_é_m_ới[t_ôi,2,N]$ = $chim s_é[t_ôi,2,N]$, và tiến hành Bước 7;

Bước 7: Nếu $N \geq v$, tiến hành đến Bước 9, nếu không thì tiến hành đến

Bước 8; Bước 8: Hãy $N=N+1$, tiến hành Bước 6;

(3) Số lượng cần cầu cầu cảng được phân bổ cho tàu $chim s_é[m,3,:]$ của chim $s_é$ mô-đun xử lý số nguyên khả thi

Bước 9: Thực hiện $N=1$, tiến hành Bước 10.

Bước 10: Làm tròn giá trị của $chim s_é[t_ôi,3,N]$, số lượng cần cầu cầu cảng được phân bổ cho tàu N trong chim $s_é$, để có được $chim s_é[t_ôi,3,N]$, thì nếu $chim s_é[t_ôi,3,N]$ đáp ứng được sự hạn chế của cần cầu cầu cảng của tàu N , làm $chim s_é_m_ới[t_ôi,3,N]$ = $chim s_é[t_ôi,3,N]$, nếu không, hình thành ngẫu nhiên $chim s_é[t_ôi,3,N]$ dưới sự hạn chế của số lượng cần cầu cầu cảng của tàu N , để có thể $chim s_é_m_ới[t_ôi,3,N]$ = $chim s_é[t_ôi,3,N]$, tiến hành Bước 11.

Bước 11: Nếu $N \geq v$, tiến hành đến Bước 13, nếu không thì tiến hành đến Bước

12; Bước 12: Hãy $N=N+1$, tiến hành Bước 10;

(4) Mô-đun xử lý khả thi chậm trễ của tàu Sparrow $t_ôi$

Bước 13: Tính toán các biến phụ thuộc còn lại theo sơ đồ phân bổ tương ứng với chim $s_é$. Nếu độ trễ của mỗi tàu thỏa mãn ràng buộc độ trễ của nó (18), chuyển sang Bước 15, nếu không thì tiến hành Bước 14.

Bước 14: Nếu số lượng tàu chậm trễ khả thi xử lý chim $s_é$ ít hơn số lượng tối đa các phương pháp xử lý khả thi chậm trễ, sau đó chỉ định ngẫu nhiên việc neo đậu $chim s_é_m_ới[t_ôi,2,:]$ và cần cầu cầu cảng $chim s_é_m_ới[t_ôi,3,:]$ khi các ràng buộc về bên tàu và ràng buộc về cần cầu cầu cảng được đáp ứng, nếu không, hãy chọn ngẫu nhiên các cá thể quần thể khả thi hiện có làm sơ đồ phân bổ cho lần lặp lại này của chim $s_é$ sơ đồ phân bổ cho Bước 13.

Bước 15: Nếu $t_ôi \geq chim s_é_m_ới$, chuyển đến Bước 17, nếu không chuyển đến Bước 16;

Bước 16 Hãy $t_ôi=t_ôi+1$, tiến hành Bước 2;



Bước 17: Hoàn thành quá trình số nguyên khả thi cho chim sẻ có quy mô quần thể *kích thước chim sẻ*.

Biểu đồ dòng của mô-đun số nguyên khả thi được hiển thị trong [Hình 4](#).

Thiết kế quy trình giải quyết mô hình EB&QC dựa trên CQSSA

Kết hợp với mô hình EB&QC được đề xuất trong bài báo này và CQSSA cải tiến, bài báo này cung cấp một phương pháp giải pháp mới cho mô hình EB&QC dựa trên CQSSA, mang lại giải pháp tốt hơn cho việc lập lịch trình cần cẩu tại cảng container.

Mã giả của quy trình giải mô hình EB&QC dựa trên CQSSA được hiển thị trong [Hình 5](#).

Biểu đồ được hiển thị trong [Hình 6](#)

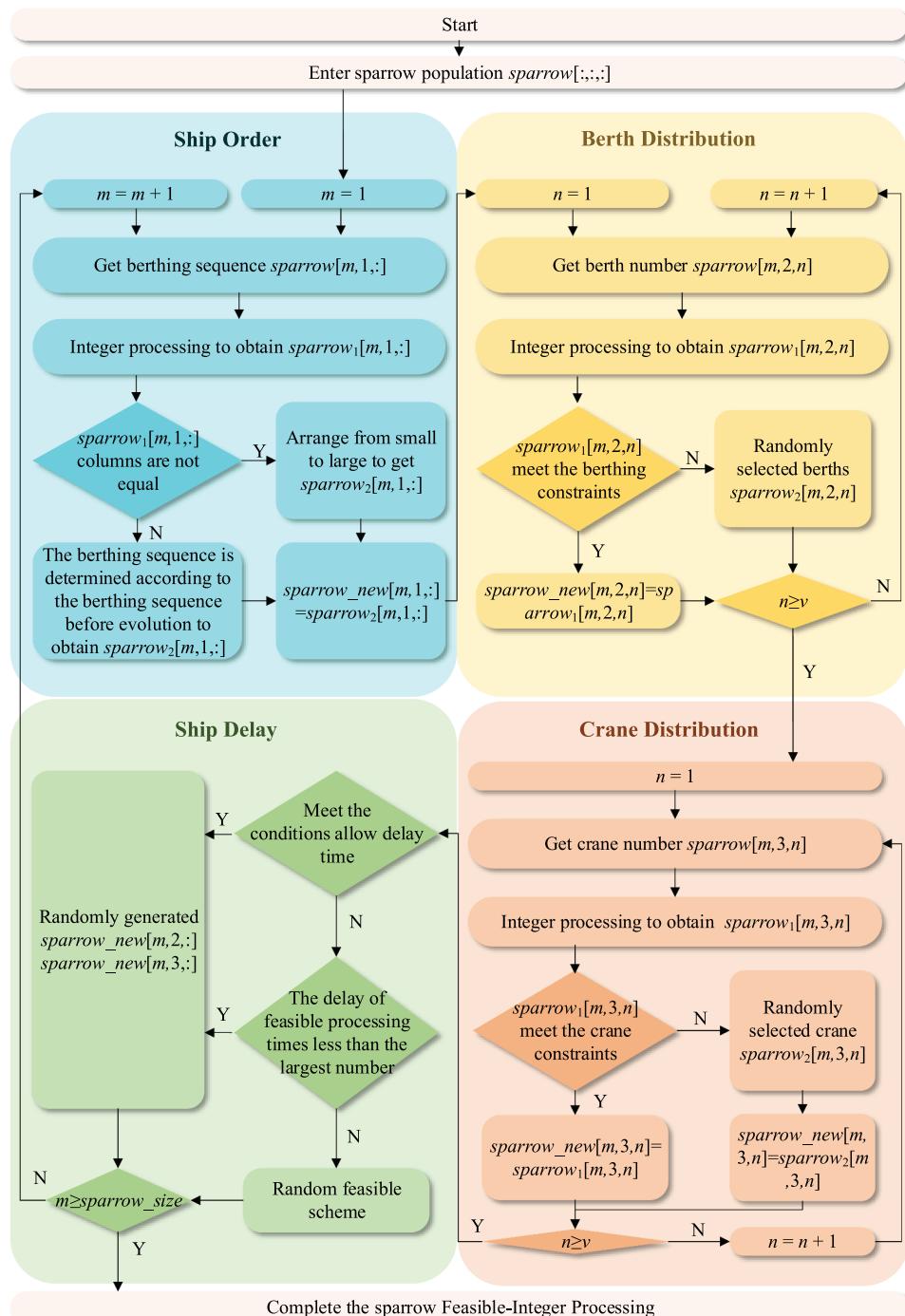
Cơ chế tối ưu hóa lăn

Để áp dụng tốt hơn phương pháp giải pháp EB&QC-CQSSA được đề xuất trong bài báo này vào cảng container thực tế, bài báo này đề xuất một sơ đồ tối ưu hóa lập lịch lại phù hợp với phương pháp giải pháp EB&QC-CQSSA để đáp ứng các yêu cầu lập lịch. Do các yếu tố khí tượng và thủy triều phức tạp trên biển, tàu có thể không đến cảng vào thời gian đã định. Dựa trên nguyên tắc “phân công khi đến”, mô hình EB&QC phát triển một cơ chế tối ưu hóa lăn để tối ưu hóa cần cẩu bến cho các tàu đến. Khi một nhóm tàu đến cảng, chúng sẽ vào chuỗi tối ưu hóa cần cẩu bến. Sau khi nhóm tàu tiếp theo đến cảng, chúng sẽ vào chuỗi tối ưu hóa cần cẩu bến mới và đối với các tàu không vào cảng trong vòng trước, chúng sẽ tham gia chuỗi tiếp theo và tiếp tục phân bổ tối ưu hóa. Theo quy trình này, quy trình tối ưu hóa cần cẩu bến cho tất cả các tàu được hoàn tất.

Thí nghiệm số và phân tích kết quả

Nghiên cứu mô phỏng

Một cảng sông nhỏ ở miền Nam Trung Quốc và một cảng sông cỡ trung bình ở miền Bắc Trung Quốc được sử dụng làm ví dụ để kiểm tra tính khả thi và tính ưu việt của phương pháp phân bổ cần cẩu bến tàu được thiết lập trong bài báo này. Đối với một cảng sông nhỏ ở miền Nam, bài báo này tiến hành nghiên cứu mô phỏng với 5 tàu đến theo đội hình. Trong số đó, có ba tàu cỡ nhỏ và vừa và hai tàu cỡ lớn. Số lượng bến tàu cập cảng là 4, bến 1-3 dài 300 m với mớn nước 15 m, bến 4 dài 300 m với mớn nước 20 m và số lượng cần cẩu bến tàu là 10. Do hạn chế về chiều dài tàu và độ sâu mớn nước nên chỉ có bến 4



Hình 4.Sơ đồ khối của thuật toán xử lý số nguyên khả thi Sparrow (SF-IPA).

có sẵn để neo đậu các tàu lớn, trong khi tất cả các bến có thể neo đậu các tàu vừa và nhỏ. Có thể vận hành đồng thời tối đa hai cần cẩu xếp dỡ cho các tàu vừa và nhỏ, và tối đa ba



Mã giả của CQSSA

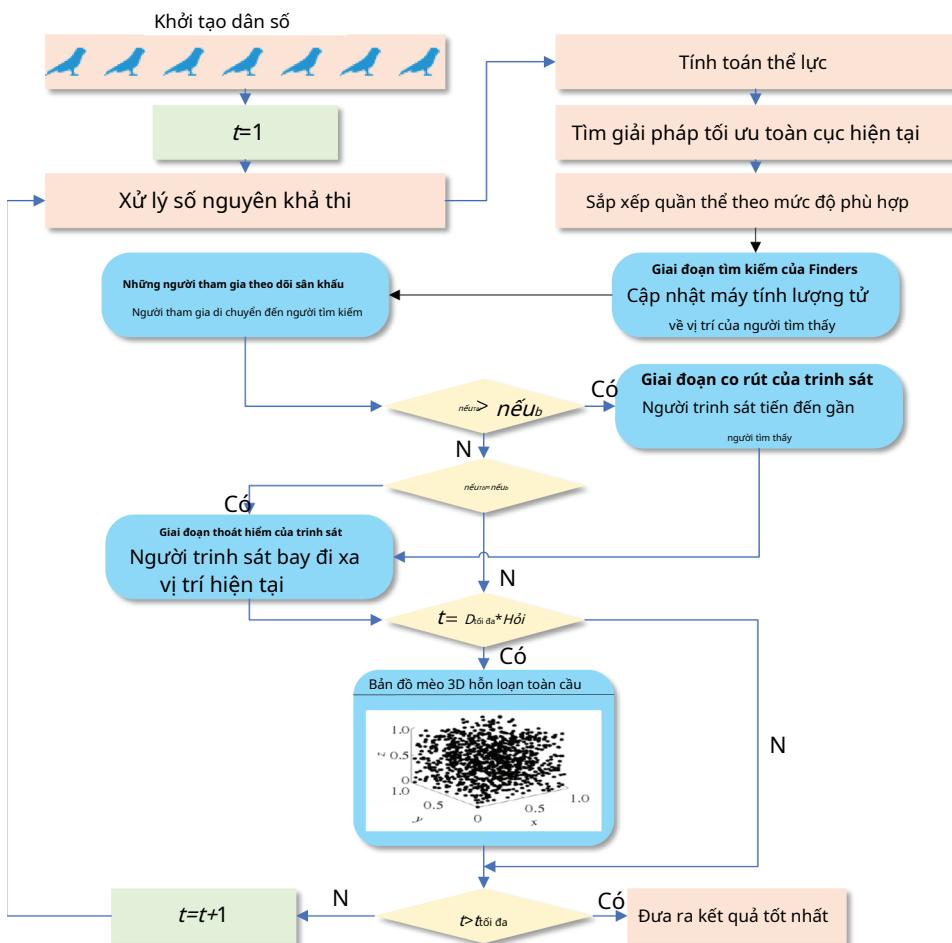
Đầu vào: D_{tối đa}(số lần lặp lại tối đa), PD (số lượng nhà sản xuất), SD (số lượng chim sẻ nhận thấy nguy hiểm), R₂(giá trị báo động), n (số lượng chim sẻ), khởi tạo quần thể n chim sẻ và xác định Q (phần trăm nhiễu loạn hỗn loạn) có liên quan của nó

Đầu ra: X_{best}, F_g

- 1: Trong khi(t<Dmax)
 - 2: Xếp hạng các giá trị thể lực và tìm ra cá thể tốt nhất hiện tại và cá thể tệ nhất hiện tại;
 - 3: R2=rand(1);
 - 4: với i=1:PD
 - 5: Sử dụng phương trình cập nhật vị trí lượng tử (27) để cập nhật vị trí của người tìm thấy; kết thúc;
 - 7: với i=(PD+1):n
 - 8: Sử dụng phương trình (28) để cập nhật vị trí của người tham gia;
 - 9: kết thúc;
 - 10: nếu fit(fb)<=fit(fi)
 - 11: đổi với I=1:SD
 - 12: Sử dụng phương trình (29) để cập nhật vị trí của người trinh sát;
 - 13: kết thúc;
 - 14: nếu t=Dmax*Q
 - 15: đổi với I=1:PD
 - 16: Sử dụng phương trình nhiễu loạn hỗn loạn toàn cục của bản đồ Cat 3D (30) để cập nhật vị trí của chim sẻ; kết thúc;
 - 18: Nhận vị trí mới hiện tại;
 - 19: nếu vị trí mới tốt hơn vị trí trước;
 - 20: cập nhật nó;
 - 21: t=t+1;
 - 22: kết thúc trong khi;
 - 23: trả về X_{best} F_g;
-

Hình 5.Mã giả của quy trình giải mô hình EB&QC dựa trên CQSSA.

Cần cẩu xếp dỡ có thể được vận hành đồng thời cho các tàu lớn. Hiệu suất hoạt động xếp dỡ của cần cẩu cảng là 35 TEU/(unit·h), và thời gian chờ tối đa có thể chấp nhận được cho tàu là 6 giờ. Đối với một cảng sông có quy mô vừa ở phía bắc, bài báo này tiến hành một nghiên cứu mô phỏng với 15 tàu đến theo đội hình. Trong số đó, 11 tàu là tàu vừa và nhỏ và 4 tàu là tàu lớn. Số lượng bến trong cảng là 8. Bến 1, 2, 3, 5, 6 và 7 có chiều dài 350 m và mớn nước 25 m, trong khi bến 4 và 8 có chiều dài 400 m và mớn nước 30 m, và số lượng cần cẩu là 20. Do hạn chế về chiều dài và mớn nước của tàu, chỉ có bến 4 và 8 có thể neo đậu các tàu lớn, trong khi tất cả các bến đều có thể neo đậu các tàu vừa và nhỏ. Các tàu vừa và nhỏ có thể có tới 2 cần cẩu xếp dỡ hoạt động cùng lúc, còn các tàu lớn



Hình 6. Biểu đồ luồng của CQSSA để giải quyết mô hình EB&QC.

có thể có tối đa 3 cần cẩu xếp dỡ cùng hoạt động. Hiệu suất xếp dỡ của cần cẩu là 35 TEU/(unit·h), và thời gian chờ tối đa có thể chấp nhận được đối với tàu là 8 giờ.

Bài báo này tạo ra một cơ sở dữ liệu động bằng MySQL và sử dụng Python 3.9 để lập trình. Môi trường chạy là CPU Inter(R) Core(TM) i7-7700 @ 3,60 GHz, 3,60 GHz, RAM 8,00GB PC, HĐH: Windows 10.

Phân tích hiệu suất mô hình theo các yêu cầu khác nhau

Trong bài báo này, mô hình EB&QC được thiết lập để cải thiện bài toán tối ưu hóa cần cẩu bến cảng container chủ yếu từ góc độ kinh tế. Mục đích của việc thiết lập động các hệ số trọng số ưu tiên là để có thể cải thiện hiệu suất tổng quát của mô hình theo tình hình thực tế của hoạt động cảng container. Trong

mô hình EB&QC, các hàm mục tiêu được xem xét từ ba khía cạnh sau: chi phí của chủ tàu và cảng, chi phí kinh tế và môi trường của hoạt động cảng, và thời gian và chi phí kinh tế của chủ tàu. Theo dữ liệu đo được của một cảng nhỏ ở miền Nam Trung Quốc và một cảng vừa ở miền Bắc Trung Quốc, ba điều kiện làm việc khác nhau được thiết kế và đồng thời, mô hình phân bổ EB&QC được áp dụng cho hai quy mô cảng khác nhau bằng cách đặt các hệ số trọng số ưu tiên khác nhau và tiến hành các thử nghiệm mô phỏng để có được các sơ đồ khác nhau để kiểm tra xem sơ đồ phân bổ theo các nhu cầu khác nhau có thể đạt được hay không bằng cách điều chỉnh các trọng số ưu tiên. Để kiểm tra ảnh hưởng của hệ số trọng số trong mô hình EB&QC đến sơ đồ lập lịch, bài báo này lấy ba điều kiện làm việc phổ biến làm ví dụ để tiến hành các thí nghiệm mô phỏng. Khi áp dụng mô hình EB&QC, giá trị của hệ số trọng số phải được xác định theo nhu cầu thực tế của cảng. Ba điều kiện phổ biến như sau:

Tình huống ứng dụng 1: Trong trường hợp hoạt động cảng container thường xuyên, cần xem xét đến lợi ích của chủ tàu và cảng

Trong trường hợp hoạt động cảng container thường xuyên, lợi ích giữa cảng container và chủ tàu cần được xem xét một cách toàn diện. Lúc này, việc xây dựng kế hoạch phải dựa trên nguyên tắc nâng cao hiệu quả hoạt động xử lý cảng container và giảm thời gian tàu ở cảng, có thể đạt được bằng cách tăng giá trị trọng lượng w_1 để cải thiện lợi ích của tàu và cảng cùng một lúc.

Kịch bản ứng dụng 2: Vào mùa cao điểm của các cảng container, cần giảm chi phí cho quãng đường vận chuyển bổ sung cho xe container đường bộ trong khu vực cảng và nâng cao lợi ích của các cảng container.

Trong mùa cao điểm khai thác cảng container, chi phí khai thác cảng container cần được kiểm soát để có được nhiều lợi ích hơn. Lúc này, việc xây dựng kế hoạch phải dựa trên nguyên tắc giảm chi phí vận chuyển thêm của xe container trong diện tích đất của cảng và tăng lợi ích của cảng container, có thể đạt được bằng cách tăng giá trị trọng lượng w_2 để tăng lợi ích của cảng container.

Tình huống ứng dụng 3: Vào mùa thấp điểm của các cảng container, cần cải thiện quyền lợi của chủ tàu và thu hút thêm nhiều tàu vào khai thác tại cảng.

Trong mùa thấp điểm khai thác cảng container, cần cải thiện quyền lợi của chủ tàu và thu hút thêm nhiều tàu khác vào khai thác tại cảng. Lúc này, việc phát triển chương trình phải dựa trên nguyên tắc giảm thời gian chờ đợi thêm của tàu tại cảng container, mục đích cải thiện quyền lợi của chủ tàu có thể đạt được bằng cách tăng giá trị trọng tải w_3 .

**Bảng 4.**Bảng giá trị trọng số cho mô hình EB&QC.

	ω_1	ω_2	ω_3
Kịch bản ứng dụng 1: Tập trung vào việc giảm thời gian hoạt động của tàu tại cảng	0,5	0,25	0,25
Kịch bản ứng dụng 2: Tập trung vào việc giảm chi phí vận chuyển bổ sung cho xe tải trên đất liền trong khu vực cảng	0,25	0,5	0,25
Kịch bản ứng dụng 3: Tập trung vào việc giảm chi phí thời gian chờ đợi thêm của tàu	0,25	0,25	0,5

Theo các tình huống ứng dụng, bài báo này thiết lập một bảng hệ số trọng số lấy các giá trị như trong **Bảng 4**, với mục đích kiểm tra xem các giải pháp phù hợp cho các tình huống khác nhau có thể thu được bằng cách điều chỉnh trọng số hay không ω_1, ω_2 , và ω_3 .

Tính toán mô phỏng áp dụng cho các cảng nhỏ

Trong bài báo này, nghiên cứu tính toán mô phỏng được thực hiện tại một cảng sông nhỏ ở miền Nam Trung Quốc như một ví dụ. Sơ đồ lập lịch trình theo ba kịch bản được thể hiện trong **Bảng 4** và các giá trị hàm mục tiêu tương ứng được hiển thị trong **Bảng 5**.

Từ **Bảng 5 và 6**, có thể thấy rằng để tăng giá trị của ω_1 , thời gian tàu ở cảng trong trường hợp đầu tiên giảm 0,36 giờ hoặc 4,65% tại các cảng container nhỏ so với trường hợp ứng dụng thứ hai. So với trường hợp ứng dụng thứ ba, thời gian vận chuyển ở cảng trong kịch bản thứ hai giảm 0,18 giờ hoặc 2,38%. Từ các kết quả trên, có thể minh họa rằng sơ đồ phân bổ thu được bằng cách tăng giá trị của một cách thích hợp ω_1 có thể giảm chi phí thời gian hoạt động tại cảng cho các cảng nhỏ và tối đa hóa lợi ích cho các cảng container và chủ tàu cùng một lúc.

Bảng 5.Sắp xếp lịch trình cho ba kịch bản tại một cảng sông nhỏ ở miền nam Trung Quốc.

Số sê-ri tàu	1	2	3	4	5
Kịch bản ứng dụng 1	Đơn hàng đến	1	3	5	4
	Vị trí neo đậu	3	2	1	4
	Số lượng cần cẩu cầu cảng	2	2	3	3
Kịch bản ứng dụng 2	Đặt hàng đến	1	5	4	3
	Vị trí neo đậu	2	3	1	4
	Số lượng cần cẩu cầu cảng	2	1	3	3
Kịch bản ứng dụng 3	Đặt hàng đến	1	2	4	5
	Vị trí neo đậu	1	2	3	4
	Số lượng cần cẩu bến	3	2	2	3

Bảng 6.Giá trị hàm mục tiêu cho ba kịch bản của một cảng sông nhỏ ở miền nam Trung Quốc.

	Tàu thuyền hoạt động thời gian ở cảng/ F_1	Chi phí vận chuyển bổ sung cho đất liền xe tải thu gom ở khu vực cảng/ F_2	Chờ đợi thêm chi phí thời gian cho tàu/ F_3
Ứng dụng Kịch bản 1	7.39	1000	11.37
Ứng dụng Kịch bản 2	7,75	0	11,57
Ứng dụng Kịch bản 3	7,57	800	11.10



Bảng 7.Sắp xếp lịch trình tàu số 1-8 cho ba kịch bản tại một cảng sông cỡ trung ở miền bắc Trung Quốc.

Số sê-ri tàu		1	2	3	4	5	6	7	8
Kịch bản ứng dụng 1	Chuỗi vào	1	2	15	5	10	8	7	3
	Vị trí neo đậu	3	3	1	7	6	6	6	2
	Số lượng cần cẩu cầu	1	3	3	3	2	3	2	1
Kịch bản ứng dụng 2	cảng Chuỗi vào	4	3	14	10	2	15	11	6
	Vị trí neo đậu	2	3	3	7	6	6	7	2
	Số lượng cần cẩu cầu	2	1	1	1	1	1	2	3
Kịch bản ứng dụng 3	cảng Chuỗi vào	3	4	8	5	15	1	9	10
	Vị trí neo đậu	3	4	2	7	6	6	7	2
	Số lượng cần cẩu bến	2	3	2	2	3	3	3	1

Trong trường hợp tăng giá trị của ω_2 , tại các cảng container nhỏ, so với trường hợp ứng dụng đầu tiên, khoảng cách vận chuyển bổ sung của xe tải container trong trường hợp thứ hai giảm 1000 m, từ 1000 m xuống 0 m. So với trường hợp ứng dụng thứ ba, khoảng cách vận chuyển bổ sung của xe tải thu gom trong trường hợp đầu tiên giảm 800 m, từ 800 m xuống 0 m. Từ dữ liệu trên, có thể minh họa rằng sơ đồ phân bổ thu được bằng cách tăng giá trị của một cách thích hợp ω_2 có thể giảm chi phí vận chuyển bằng xe tải container và rút ngắn khoảng cách vận chuyển bằng xe tải container đến cảng container tại các cảng nhỏ, từ đó giảm chi phí vận chuyển bổ sung của xe tải container trong diện tích đất liền của cảng container.

Trong trường hợp tăng giá trị của ω_3 , chi phí thời gian chờ tàu bổ sung giảm 2,37%, từ 11,37 xuống 11,10 tại các cảng container nhỏ so với trường hợp áp dụng đầu tiên và giảm 4,06%, từ 11,57 xuống 11,10 so với trường hợp thứ hai. Từ dữ liệu trên, có thể thấy rằng sơ đồ phân bổ thu được bằng cách tăng giá trị của một cách thích hợp ω_3 có thể giảm chi phí thời gian chờ đợi thêm cho các tàu cảng nhỏ, tối đa hóa lợi ích của chủ tàu và cải thiện sự hài lòng của khách hàng.

Tính toán mô phỏng áp dụng cho các cảng cỡ trung bình

Trong bài báo này, một cảng sông cỡ trung bình ở miền bắc Trung Quốc được sử dụng làm ví dụ để thực hiện nghiên cứu tính toán mô phỏng. Các sơ đồ lập lịch trình cho ba kịch bản được thể hiện trong [Bảng 7](#) và [8](#) và các hàm mục tiêu tương ứng lấy các giá trị được hiển thị trong [Bảng 9](#).

Như có thể thấy từ [Bảng 7-9](#), trong trường hợp tăng giá trị của ω_1 , thời gian tàu ở cảng trong trường hợp đầu tiên giảm 3,22 giờ, hay 29,90%, so với trường hợp ứng dụng thứ hai, tại các cảng container cỡ trung bình. So với kịch bản ứng dụng thứ ba, thời gian vận chuyển ở cảng trong kịch bản thứ hai giảm 1,53 giờ, hay 16,85%, điều này cho thấy sơ đồ phân bổ tăng giá trị ω_1 tại các cảng có quy mô vừa có thể giảm thời gian vận chuyển tại cảng container.

Bảng 8.Sắp xếp lịch trình tàu số 9–15 cho ba kịch bản tại một cảng sông cỡ trung ở miền bắc Trung Quốc.

Số sê-ri tàu		9	10	11	12	13	14	15
Kịch bản ứng dụng 1	Chuỗi vào	13	6	9	11	4	14	12
	Vị trí neo đậu	2	1	1	4	4	3	3
	Số lượng cần cẩu cầu	2	2	2	2	2	2	1
Kịch bản ứng dụng 2	cảng Chuỗi vào	5	9	12	13	8	6	1
	Vị trí neo đậu	1	1	2	4	3	4	3
	Số lượng cần cẩu cầu	3	1	1	1	3	1	2
Kịch bản ứng dụng 3	cảng Chuỗi vào	7	6	13	11	14	2	12
	Vị trí neo đậu	1	2	1	4	2	4	4
	Số lượng cần cẩu bến	1	2	2	1	1	2	1

Bảng 9.Giá trị hàm mục tiêu cho ba kịch bản của một cảng sông cỡ trung ở miền bắc Trung Quốc.

	Tàu thuyền hoạt động thời gian ở cảng F_1	Chi phí vận chuyển bổ sung cho đất liền xe tải thu gom ở khu vực cảng F_2	Chờ đợi thêm chi phí thời gian cho tàu F_3
Ứng dụng Kịch bản 1	7,55	93333.33	1934.06
Ứng dụng Kịch bản 2	10,77	91666.67	1994.62
Ứng dụng Kịch bản 3	9.08	95666,67	1851.06

Trong trường hợp tăng giá trị của ω_2 , khoảng cách vận chuyển bổ sung của xe tải container trong trường hợp thứ hai được giảm từ 93.333,33 m xuống 91.666,67 m, hay 1.666,66 m, so với trường hợp ứng dụng đầu tiên, tại các cảng container cỡ trung bình. So với kịch bản ứng dụng thứ ba, khoảng cách vận chuyển bổ sung cho xe tải trong kịch bản đầu tiên được giảm từ 95.666,67 m xuống 91.666,67 m, giảm 4.000 m. Có thể minh họa rằng khoảng cách vận chuyển cho xe tải tại các cảng cỡ trung bình có thể được giảm bằng cách tăng sơ đồ phân phối cho giá trị ω_2 .

Trong trường hợp tăng giá trị của ω_3 , chi phí thời gian chờ tàu bổ sung giảm 4,29% từ 1.934,06 xuống 1.851,06 tại cảng container cỡ trung so với trường hợp nộp đơn đầu tiên và giảm 7,20% từ 1.994,62 xuống 1.851,06 so với trường hợp thứ hai. Từ phân tích so sánh trên, có thể thấy rằng sơ đồ phân bổ tăng giá trị ω_3 tại các cảng có quy mô vừa có thể giảm chi phí thời gian chờ đợi thêm của tàu.

Phân tích so sánh các tính toán mô phỏng cho các cảng vừa và nhỏ

Kết quả tính toán mô phỏng của các cảng vừa và cảng nhỏ được so sánh và phân tích, kết quả so sánh được thể hiện như sau.

Nó có thể được nhìn thấy từ **Bảng 10** rằng mô hình EB&QC có thể giảm thời gian hoạt động của tàu tại cảng xuống 4,65% khi áp dụng cho các cảng nhỏ và xuống 29,90% khi áp dụng cho các cảng vừa khi so sánh với trường hợp thứ hai bằng cách tăng giá trị của ω_1 . So với trường hợp thứ ba, mô hình EB&QC áp dụng cho các cảng nhỏ có thể giảm thời gian hoạt động của tàu trong cảng bằng cách



Bảng 10. Phân tích so sánh kết quả tính toán mô phỏng cho các cảng vừa và nhỏ.

	Kịch bản ứng dụng 1		Kịch bản ứng dụng 2		Kịch bản ứng dụng 3	
	So sánh với Kịch bản với Kịch bản 2	So sánh với Kịch bản với Kịch bản 3	So sánh với Kịch bản với Kịch bản 1	So sánh với Kịch bản với Kịch bản 3	So sánh với Kịch bản với Kịch bản 1	So sánh với Kịch bản với Kịch bản 2
	Giảm bớt 4,65%	Giảm bớt 2,38%	Giảm bớt 1000 mét	Giảm bớt 800 mét	Giảm bớt 2,37%	Giảm bớt 4,06%
Cảng nhỏ	Giảm bớt 4,65%	Giảm bớt 2,38%	Giảm bớt 1000 mét	Giảm bớt 800 mét	Giảm bớt 2,37%	Giảm bớt 4,06%
Trung bình- có kích thước cảng	Giảm bớt 29,90%	Giảm bớt 16,85%	Giảm bớt 1666,66 mét	Giảm bớt 4000 mét	Giảm bớt 4,29%	Giảm bớt 7,20%

2,38%, trong khi áp dụng cho các cảng trung bình có thể giảm thời gian hoạt động của tàu tại cảng là 16,85%. Trong trường hợp tăng giá trị ω_2 , so với trường hợp đầu tiên, mô hình EB&QC áp dụng cho một cảng nhỏ chỉ có thể giảm khoảng cách bổ sung mà một xe container di chuyển được 1000 m, trong khi áp dụng cho một cảng vừa có thể giảm khoảng cách bổ sung mà một xe container di chuyển được trong diện tích đất của cảng là 1.666,66 m. So với trường hợp thứ ba, mô hình EB&QC áp dụng cho một cảng nhỏ chỉ có thể giảm chi phí cho khoảng cách bổ sung mà một xe container di chuyển được 800 m, trong khi áp dụng cho một cảng vừa có thể giảm chi phí cho khoảng cách bổ sung mà một xe container di chuyển được 4.000 m. Trong trường hợp tăng giá trị của ω_3 , mô hình EB&QC, khi so sánh với trường hợp đầu tiên, chỉ có thể giảm chi phí thời gian chờ tàu bổ sung 2,37% khi áp dụng cho các cảng nhỏ và 4,29% khi áp dụng cho các cảng vừa. So sánh với trường hợp thứ hai, mô hình EB&QC áp dụng cho các cảng nhỏ chỉ có thể giảm chi phí thời gian chờ tàu bổ sung 4,06%, trong khi áp dụng cho các cảng vừa có thể giảm chi phí thời gian chờ tàu bổ sung 7,20%.

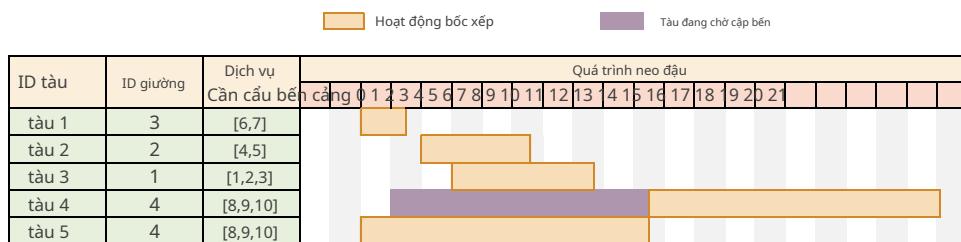
Từ phân tích so sánh trên, có thể minh họa rằng: quy mô cảng container càng lớn, quy trình hoạt động xếp dỡ càng phức tạp thì hiệu quả của việc áp dụng mô hình EB&QC để tối ưu hóa hậu cần cho cảng container càng rõ ràng và có thể thu được giải pháp chất lượng cao hơn.

Tuy nhiên, trong quá trình tính toán, nó cho thấy hạn chế của phương pháp lập lịch. Khi quy mô cảng nhỏ, phương pháp lập lịch liên hợp cần trực bến tàu được đề xuất trong bài báo này có thể hoàn thành tính toán tối ưu hóa và cung cấp giải pháp chất lượng tương đối cao cho các cảng container trong thời gian tối ưu hóa hạn chế. Với sự gia tăng dần dần của quy mô cảng, số lượng tàu cần được tối ưu hóa cũng tăng dần. Trong quá trình tính toán tối ưu hóa, chiều tối ưu hóa tăng lên, dẫn đến tăng thời gian của quá trình lặp lại cập nhật toán, do đó làm giảm tốc độ tính toán. Tuy nhiên, thông qua tính toán thực tế của các cảng container có quy mô trung bình, thời gian tăng thêm là có thể chấp nhận được so với việc có được giải pháp tốt hơn.

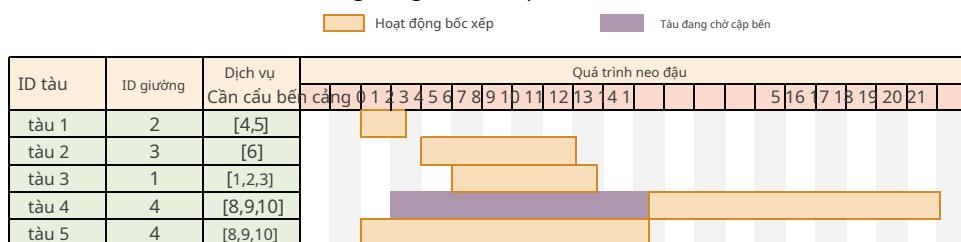
Ví dụ về sơ đồ lập lịch chi tiết

Xét đến việc hiển thị rõ ràng sơ đồ lập lịch, bài báo lấy một cảng container nhỏ làm ví dụ, vẽ biểu đồ Gantt cho sơ đồ lập lịch của cảng container và cung cấp sơ đồ lập lịch chi tiết hơn, để thể hiện rõ hơn sự khác biệt của sơ đồ lập lịch khi giá trị của là khác nhau. **Hình 7**lấy sơ đồ lập lịch trình trong **Bảng 5**như một ví dụ, và vẽ ba biểu đồ Gantt như sau:

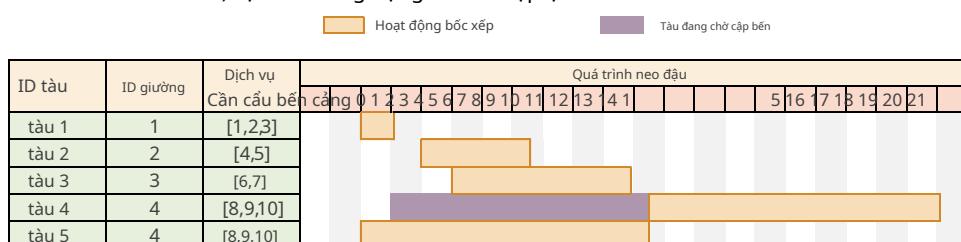
Biểu đồ Gantt cho thấy sơ đồ so sánh của ba kịch bản ứng dụng. Phía bên trái của hình cho thấy số bến và số cần cẩu dịch vụ của tàu neo đậu tương ứng. Phía bên phải của hình cho thấy quá trình khởi hành bắt đầu từ một thời điểm nhất định là số không, thời gian hoạt động bốc xếp của tàu, thời gian chờ neo đậu và hoạt động bốc xếp của tàu. Trong số đó, màu cam biểu thị thời gian hoạt động bốc xếp và màu tím biểu thị thời gian chờ neo đậu. Để dễ hiểu, bài báo này lấy Tàu 4 trong Kịch bản ứng dụng 1 làm



a) Kịch bản ứng dụng 1 Sơ đồ lập lịch Biểu đồ Gantt



b) Kịch bản ứng dụng 2 Sơ đồ lập lịch Biểu đồ Gantt



c) Kịch bản ứng dụng 3 Sơ đồ lập lịch Biểu đồ Gantt

Hình 7.Kế hoạch lập lịch trình De ed g kiến Biểu đồ a) Kịch bản ứng dụng 1 sơ đồ lập lịch Biểu đồ Gantt b) Kịch bản ứng dụng 2 Sơ đồ lập lịch Biểu đồ Gantt c) Kịch bản ứng dụng 3 Scheduling. Nhìn ta và già ch. Một



một ví dụ để minh họa: Bến của Tàu 4 là Bến số 4, các cần cẩu cầu cảng số 8, số 9 và số 10 thực hiện các hoạt động xếp dỡ. Tàu vào cảng tại thời điểm 3, chờ tại nơi neo đậu trong 8,54 giờ, bắt đầu các hoạt động xếp dỡ tại thời điểm 11,54 và rời cảng container tại thời điểm 21,02.

Nó có thể được nhìn thấy từ [Hình 7](#) rằng ba trường hợp trên có được các giải pháp khác nhau do các giá trị khác nhau của ω và sau đó thu được các sắp xếp lịch trình khác nhau và thu được các giá trị khác nhau của hàm mục tiêu.

Phân tích hiệu suất cho CQSSA

Để kiểm tra tính khả thi và tính ưu việt của CQSSA được đề xuất trong bài báo này trong việc giải quyết mô hình EB&QC, GA ([Jiao et al.2020](#)), PSO ([Li và cộng sự. 2017](#)), SSA ([Xue J, Shen và Xue2020](#)), CSSA và QSSA được chọn làm thuật toán so sánh để tiến hành nghiên cứu so sánh mô hình.

Tối ưu hóa Phân tích Hiệu suất

Trong bài báo này, một nghiên cứu so sánh về hiệu suất giải pháp được thực hiện bằng cách sử dụng dữ liệu đo được của một cảng nhỏ làm ví dụ. Xem xét rằng việc lựa chọn các tham số của mỗi thuật toán ảnh hưởng đến hiệu suất ưu tiên của mỗi thuật toán, bài báo này xác định các tham số của thuật toán được chọn bằng tính toán thử nghiệm và các giá trị của mỗi tham số thuật toán được hiển thị trong [Bảng 11](#).

Trong bài báo này, sáu thuật toán trên đã được sử dụng để giải mô hình 10 lần ngẫu nhiên và giá trị trung bình của giải pháp tối ưu của mô hình đã thu được như thể hiện trong [Bảng 12 và 13](#) và giá trị trung bình của hàm mục tiêu được hiển thị trong [Bảng 14](#).

Từ [Bảng 14](#), SSA có thể giảm thời gian tàu ở cảng 0,39 giờ hoặc 4,81% cho sơ đồ lập lịch so với GA. Chi phí cho quãng đường di chuyển bổ sung của xe tải trong khu vực đất liền của cảng giảm 4800 m; chi phí cho thời gian chờ tàu bổ sung giảm 0,97 hoặc 6,73% và hàm mục tiêu giảm 7,54%. So với PSO, SSA tạo ra mô hình tàu EB&QC trong

Bảng 11.Bảng lựa chọn tham số cho từng thuật toán.

Tên của thuật toán	Dân số kích cỡ	Số lượng tối đa lặp lại	Các thông số bổ sung khác
GA (Jiao và cộng sự.2020)	50	100	Xác suất chéo $P_c = 0,18$
PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen và Xue 2020)	50	100	$\alpha = 2,0$
CSSA	50	100	-
QSA	50	100	-
CQSA	50	100	-

**Bảng 12.**Kết quả so sánh giá trị trung bình của 1-5 giải pháp tối ưu của sáu thuật toán.

Thí nghiệm (100 thế hệ tiến hóa)		1	2	3	4	5
Thời gian tàu ở cảng $F(\text{giờ})$	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	8,15 8,01 7,96 7,69 7,47 7,47	8,58 7,98 7,78 7,75 7,47 7,75	7,87 8,21 7,47 7,75 7,69 7,47	8,34 8,19 7,47 7,47 7,47 7,47	7,87 8,31 7,75 7,47 7,47 14000
Chi phí khoảng cách vận chuyển bổ sung cho xe tải sưu tầm $F_2(\text{nam})$	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	0 14000 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	17000 20000 0 0 0 0	0 0 0 0 0 6000	0 0 0 0 0 0
Chi phí thời gian chờ đợi bổ sung cho tàu F_3	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	12,57 12,98 11,95 11,68 11,21 11,21	13,11 12,12 11,74 11,57 11,57 11,57	12,21 11,76 11,21 11,39 11,39 11,39	12,81 11,98 11,57 11,21 11,21 11,21	12,21 12,38 11,39 11,21 11,21 11,21
Hàm mục tiêu F	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	4,74 4,68 4,28 4,14 4,02 4,02	4,62 4,29 4,18 4,16 4,02 4,16	4,24 4,90 4,02 4,16 4,02 4,02	4,92 4,39 4,26 4,16 4,02 4,02	4,24 4,46 4,31 4,02 4,13 4,02

Bảng 13.Kết quả so sánh giá trị trung bình của 6-10 giải pháp tối ưu của sáu thuật toán.

Thí nghiệm (100 thế hệ tiến hóa)		6	7	8	9	10
Thời gian tàu ở cảng $F(\text{giờ})$	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	7,87 7,76 7,75 7,47 7,47 7,47	8,15 8,02 7,47 7,95 7,95 7,95	7,87 7,95 7,96 7,95 7,95 7,95	8,15 7,95 7,96 7,95 7,95 7,95	8,15 7,92 7,47 7,47 7,47 7,47
Chi phí khoảng cách vận chuyển bổ sung cho xe tải sưu tầm $F_2(\text{nam})$	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	20000 17000 0 6000 0 0	0 0 8000 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 9000 0 6000 0 0	0 0 0 0 0 0
Chi phí thời gian chờ đợi bổ sung cho tàu F_3	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	11,37 11,78 11,21 11,21 11,21 11,21	12,57 11,34 11,39 11,39 11,39 11,39	12,21 11,98 11,47 11,47 11,47 11,47	12,57 12,01 11,21 11,21 11,21 11,21	12,57 12,05 11,21 11,39 11,47 11,47
Hàm mục tiêu F	GA (Jiao và cộng sự.2020) PSO (Li và cộng sự.2017) SSA (Xue J, Shen, và Xue 2020) CSSA QSA CQSA	4,72 4,60 4,16 4,17 4,02 4,02	4,39 4,29 4,39 4,16 4,26 4,26	4,44 4,27 4,39 4,28 4,26 4,26	4,39 4,50 4,02 4,02 4,02 4,02	4,39 4,26 4,03 4,02 4,02 4,02

Bảng 14.Giá trị trung bình của các hàm mục tiêu của sáu thuật toán.

Thí nghiệm (100 thế hệ tiến hóa)	GA (Jiao và cộng sự ^[2020])	PSO (Li et và cộng sự ^[2017])	SSA (Xue J, Shen, và Xue ^[2020])	CSSA	QSA	CQSA
Thời gian tàu ở cảng $F_1(h)$ Chi phí khoảng cách vận chuyển bổ sung	8.10 5900	8.03 6000	7.71 1100	7,67 1200	7,64 0	7,57
cho xe tải lưu tâm $F_2(m)$ Chi phí thời gian chờ đợi bổ sung cho tàu	12,42	12.04	11,45	11,42	11,43	11.37
Hàm mục tiêu F	4,51	4,47	4.17	4.15	4.10	4.07

thời gian cảng giảm 0,32 giờ hoặc 3,99%; chi phí khoảng cách vận chuyển bổ sung của bộ thu thập diện tích đất trong khu vực cảng giảm 4900 m; trong thời gian chờ bổ sung, chi phí của tàu giảm 0,59 hoặc 4,90% và hàm mục tiêu của nó giảm 6,71%. So với SSA, CSSA có thể cung cấp một sơ đồ phân công cần cầu bến-cầu hợp lý hơn, do đó giảm hàm mục tiêu 0,48%. Thông qua nhiễu loạn hỗn loạn, khả năng nhiễu loạn toàn cục của thuật toán có thể được tăng lên và sau đó có thể thu được giải pháp chất lượng tốt hơn cho mô hình EB&QC. So với SSA, QSSA dẫn đến giảm 1,68% hàm mục tiêu thông qua gia tốc lượng tử, cho thấy gia tốc lượng tử dẫn đến giải pháp chất lượng tốt hơn cho mô hình EB&QC. So với CSSA và QSSA, CQSSA làm giảm hàm mục tiêu F lần lượt là 1,93% và 0,73%, cho thấy việc bổ sung cả nhiễu loạn hỗn loạn và gia tốc lượng tử có thể cải thiện hiệu suất tối ưu hóa của thuật toán.

Tóm lại, so với thuật toán so sánh được chọn trong bài báo này, CQSSA được cải tiến bởi CSSA và QSSA có thể thu được giải pháp khả thi hơn, hiệu quả hơn và chất lượng cao hơn trong việc giải mô hình EB&QC.

Phân tích độ ổn định

Tính ổn định của thuật toán giải pháp rất quan trọng đối với độ tin cậy của các ứng dụng thực tế và vì lý do này, độ tin cậy của CQSSA được đề xuất áp dụng trong giải mô hình được kiểm tra trong bài báo này. Trong bài báo này, bằng cách phân tích hàm mục tiêu F TRONG [Bảng 12](#) VÀ [Bảng 13](#), thống kê cực đại, trung bình, cực tiểu và phương sai của giải pháp tối ưu, tức là kết quả phân tích độ ổn định của thuật toán, được thu được như thể hiện trong [Bảng 15](#).

Bảng 15.Kết quả phân tích tính ổn định của sáu thuật toán.

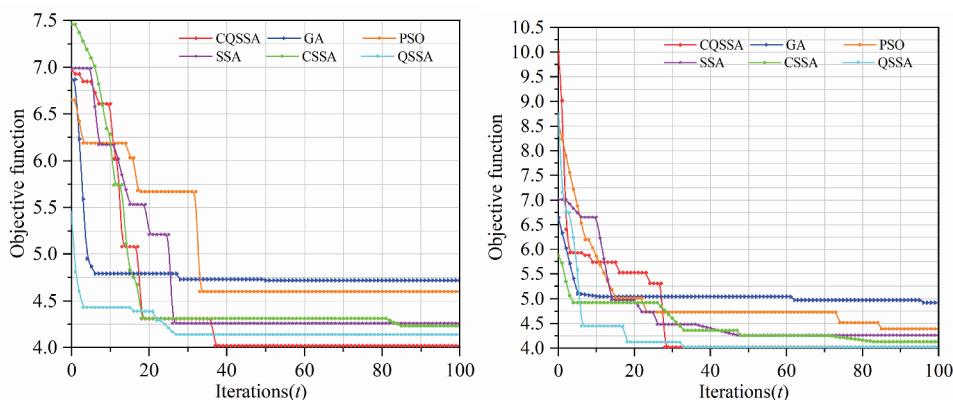
Thí nghiệm (100 các thế hệ tiến hóa)	GA (Jiao và cộng sự. 2020)	PSO (Li và cộng sự. 2017)	SSA (Xue J, Shen và Xue ^[2020])	CSSA	QSA	CQSA
Khách quan chức năng F	Tối đa Tối thiểu	4,92 4.24	4,90 4.27	4,39 4.02	4,28 4.02	4,26 4.02
Trung bình	4,51	4,47	4.17	4,15	4,10	4,07
Phương sai	0,0466	0,0395	0,0180	0,0066	0,0089	0,0067

Từ [Bảng 15](#), có thể thấy rằng SSA có lợi thế đáng kể so với GA về các giá trị cực đại, cực tiểu và trung bình, và SSA có phương sai ít hơn 61,37% và hiệu suất tổng thể của SSA tốt hơn. So với PSO, các giá trị cực đại, cực tiểu và trung bình của SSA nhỏ hơn PSO, hơn nữa, phương sai của nó giảm 54,43% so với PSO và tính ổn định của SSA cao hơn PSO. So với SSA, giá trị cực đại, giá trị cực tiểu và giá trị trung bình của CSSA đều giảm và phương sai của nó giảm 63,33% so với SSA, điều này cải thiện hiệu suất của thuật toán thông qua nhiễu loạn hỗn loạn một cách hiệu quả. So với SSA, phương sai của QSSA giảm 50,56%, cho thấy rằng việc ánh xạ hỗn loạn và cải thiện hệ số hội tụ có thể cải thiện thêm hiệu suất hoạt động và tính ổn định của thuật toán. So với CSSA, sự khác biệt về phương sai giữa CQSSA và CSSA là nhỏ, nhưng giá trị cực đại, giá trị cực tiểu và giá trị trung bình của CQSSA là nhỏ nhất và gia tốc lượng tử làm cho kết quả tính toán thuật toán ổn định hơn. So với QSSA, phương sai của CQSSA giảm 24,72%, cho thấy nhiễu loạn hỗn loạn có thể làm tăng tính ổn định của thuật toán.

Do đó, kết quả thu được bằng cách giải mô hình EB&QC đã thiết lập dựa trên CQSSA là ổn định so với các thuật toán so sánh khác được chọn trong bài báo này.

Phân tích hội tụ

Tốc độ hội tụ của thuật toán tối ưu hóa quyết định liệu một giải pháp khả thi có thể được tính toán nhanh chóng hay không. Trong bài báo này, phân tích hội tụ của đường cong hội tụ trung bình của 10 kết quả tối ưu hóa cho mỗi thuật toán được chọn có thể thu được như thể hiện trong [Hình 8](#).



[Hình 8](#).Kiểm tra đường cong hội tụ.

Như có thể thấy từ [Hình 8](#), so với GA và PSO, GA và PSO hội tụ nhanh hơn trong khoảng 10 thế hệ đầu tiên, nhưng sau 10 thế hệ, CQSSA vẫn tiếp tục hội tụ, trong khi GA và PSO hội tụ chậm hơn đáng kể và rơi vào các giải pháp tối ưu cục bộ không thể nhảy ra ngoài. So với SSA, CSSA hội tụ nhanh hơn so với QSSA và hiệu ứng hội tụ là rõ ràng trong khoảng 10 thế hệ đầu tiên. So với CSSA và QSSA, tốc độ hội tụ của CQSSA không khác nhiều so với cả hai, nhưng nó có thể tiếp tục hội tụ trong giai đoạn sau của thuật toán và tính toán để có được giải pháp chất lượng tốt hơn. Do đó, hiệu suất hội tụ của CQSSA tốt hơn và việc giải mô hình EB&QC dựa trên CQSSA hiệu quả hơn và dẫn đến giải pháp chất lượng tốt hơn.

Phần kết luận

Một sơ đồ phân bổ cần cẩu bến tàu hiệu quả rất quan trọng và thiết thực để giải quyết các vấn đề tắc nghẽn cảng, giá cước tăng cao và không gian container khó tìm do dịch bệnh bình thường hóa. Trong bài báo này, một phương pháp phân bổ cần cẩu bến tàu chung mới (EB&QC-CQSSA) được thiết lập dựa trên nhiễu loạn hỗn loạn, điện toán lượng tử và SSA có tính đến chi phí kinh tế. Kết quả nghiên cứu thử nghiệm mô phỏng với dữ liệu cảng thực tế cho thấy: mô hình EB&QC được thiết lập trong bài báo này có thể cung cấp các sơ đồ phân bổ cần cẩu bến tàu khác nhau cho các cảng trong các điều kiện làm việc khác nhau bằng cách điều chỉnh hệ số trọng lượng để đáp ứng nhu cầu của các cảng container tại các thời điểm khác nhau. Cảng container càng lớn và quy trình vận hành xếp dỡ càng phức tạp thì hiệu quả của việc áp dụng mô hình EB&QC để tối ưu hóa hậu cần của cảng container càng rõ ràng. Thuật toán giải CQSSA được đề xuất trong bài báo này giải quyết những thiếu sót của SSA, dựa trên bản đồ hỗn loạn và lý thuyết lượng tử, và thiết lập CQSSA để bù đắp cho những thiếu sót của SSA, và áp dụng nó để giải quyết mô hình EB&QC đã thiết lập, và so sánh kết quả mô phỏng với các phương pháp truyền thống khác cho thấy thuật toán giải được thiết lập trong bài báo này có được một sơ đồ phân bổ tốt hơn. Nó làm cho quá trình giải quyết chính xác hơn, ổn định hơn và hiệu quả hơn.

Tóm lại, bài báo này đề xuất một phương pháp khả thi, dựa trên mô hình EB&QC đã giải quyết được CQSSA cho lịch trình cảng. Đặc biệt khi quy mô cảng tăng lên, phương pháp này có thể đạt được giải pháp lập lịch trình tốt hơn.

Tuy nhiên, phương pháp tối ưu hóa cầu trực bến được đề xuất trong bài báo này có hai nhược điểm sau: thứ nhất, hệ số chi phí thời gian chờ đợi thêm của tàu trong mô hình EB&QC vẫn chưa chính xác và cần được nghiên cứu thêm; thứ hai, các yếu tố khí tượng như thủy triều cũng có thể tác động đến chi phí vận hành cảng container, điều này vẫn chưa được xem xét trong bài báo này.

Tuyên bố tiết lộ

Tác giả không báo cáo bất kỳ xung đột lợi ích tiềm ẩn nào.

Tài trợ

Công trình này được hỗ trợ bởi Quỹ Khoa học Xã hội Quốc gia Trung Quốc (21BGL064); Quỹ Khoa học Xã hội Hắc Long Giang (20JYB042); Chương trình Nghiên cứu và Phát triển Trọng điểm Quốc gia Trung Quốc (2019YFB1504403); Quỹ Khoa học Tự nhiên Quốc gia Trung Quốc (Số 51509056); và Bộ Khoa học và Công nghệ Đài Loan (MOST 110-2410-H-161-001).

ORCID

Wei-Chiang Hong  <http://orcid.org/0000-0002-3001-2921>

Tuyên bố về tính khả dụng của dữ liệu

Tất cả dữ liệu được sử dụng sẽ được cung cấp theo yêu cầu hợp lý.<http://gkhy.jiujiang.gov.cn/>

Tài liệu tham khảo

- Cai, Y., P. Liu và H. Xiong.2020. Lập lịch nối bến dựa trên lai ghép di truyền lượng tử thuật toán. *Tạp chí ứng dụng máy tính*40 (3):897–901. doi:[10.11772/j.1001-9081.2019071242](https://doi.org/10.11772/j.1001-9081.2019071242).
- Cho, SW, HJ Park và C. Lee.2020. Một phương pháp tích hợp để phân bổ bến và cầu cảng phân công cần cầu để có thể phân công lại tàu đến các bến khác. *Kinh tế Hàng hải & Logistics*23 (1):123–53. doi:[10.1057/s41278-020-00173-4](https://doi.org/10.1057/s41278-020-00173-4).
- Jiao, X., F. Zheng, M. Liu và Y. Xu.2018. Phân bổ bến tích hợp và cầu cảng thay đổi theo thời gian lịch trình cầu theo tác động của thủy triều trong kênh tiếp cận. *Động lực học rời rạc trong tự nhiên và xã hội*90907047. doi:[10.1155/2018/90907047](https://doi.org/10.1155/2018/90907047).
- Jiao, X., F. Zheng, Y. Xu và M. Liu.2020. Mô phỏng tối ưu hóa hai mục tiêu của tích hợp lập lịch trình cho cầu cảng và cần cầu cầu cảng có tính đến ảnh hưởng của thủy triều tại cảng container. *Mô phỏng máy tính*37 (2):403–10. doi:[10.3969/j.1006-9348.2020.02.082](https://doi.org/10.3969/j.1006-9348.2020.02.082).
- Karam, A. và AB Eltawil.2016. Phương pháp tích hợp chức năng cho việc phân bổ bến tàu, phân công cần cầu cầu cảng và các vấn đề phân công cần cầu cầu cảng cụ thể. *Máy tính & Kỹ thuật công nghiệp*102:458–66. doi:[10.1016/j.cie.2016.04.006](https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.04.006).
- Kocarev, L., G. Jakimoski, T. Stojanovski và U. Parlitz.1998. Từ bản đồ hỗn loạn đến mã hóa sơ đồ tion. Biên bản báo cáo Hội nghị quốc tế IEEE về mạch điện và hệ thống năm 1998, Monterey, CA, Hoa Kỳ, từ ngày 3 tháng 5 đến ngày 31 tháng 6. số bài viết: 6021236. [10.1109/ISCAS.1998.698968](https://doi.org/10.1109/ISCAS.1998.698968)
- Li, MW, WC Hong, J. Geng và J. Wang.2017. Cầu cảng và cần cầu cầu cảng được phối hợp lập lịch sử dụng thuật toán tối ưu hóa bầy hạt đám mây hỗn loạn đa mục tiêu. *Máy tính thắn kinh & Ứng dung*28 (11):3163–82. doi:[10.1007/s00521-016-2226-7](https://doi.org/10.1007/s00521-016-2226-7). Li, MW, WC Hong và HG Kang.2013. Dự báo lưu lượng giao thông đô thị bằng Gauss–SVR với thuật toán lập bản đồ mèo, mô hình đám mây và thuật toán lai PSO. *Điện toán thắn kinh*99:230–40. doi:[10.1016/j.neucom.2012.08.002](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.08.002).



- Li, S. và X. Zheng.[2002](#). Phân tích mật mã của một phương pháp mã hóa hình ảnh hỗn loạn. Tiến trình của Hội nghị quốc tế IEEE năm 2002 về mạch điện và hệ thống, Phoenix-Scottsdale, AZ, Hoa Kỳ, 26–29. Tháng 5. số bài viết: 7439462.[10.1109/ISCAS.2002.1011451](#)
- Liu, G., C. Shu, Z. Liang, B. Peng và L. Cheng.[2021](#). Một thuật toán tìm kiếm chim sẻ đã được sửa đổi với ứng dụng trong lập kế hoạch lộ trình 3D cho UAV. *Cảm biến*21 (4):1224. doi:[10.3390/s21041224](#).
- Liu, J. và Z. Wang.[2021](#). Một thuật toán tìm kiếm chim sẻ lai dựa trên việc xây dựng sự tương đồng. *Truy cập IEEE*:117581–95. doi:[10.1109/TRUY CẬP.2021.3106269](#).
- Liu, Y., J. Wang và S. Shahbazzade.[2019](#). Thuật toán AFSA cải tiến cho bến tàu Vấn đề phân bổ và chỉ định cần cẩu cầu cảng. *Máy tính cụm*22 (S2):3665–72. doi:[10.1007/s10586-018-2216-x](#).
- Mao, Y. và G. Chen.[2005](#). Mã hóa hình ảnh dựa trên sự hỗn loạn. Trong *Sổ tay hình học Máy tính*, biên tập, EB Corrochano, 231–65. Berlin, Heidelberg: Springer. doi:[10.1007/3-540-28247-5_8](#).
- Mao, Y., G. Chen và S. Lian.[2004](#). Một chương trình mã hóa hình ảnh nhanh mới dựa trên 3D hỗn loạn bản đồ của thợ làm bánh. *Tạp chí quốc tế về sự phân nhánh và hỗn loạn*14 (10):3613–24. doi:[10.1142/S021812740401151X](#).
- Nepomuceno, EG, AM Lima, J. Arias-García, M. Perc và R. Repnik.[2019](#). Kỹ thuật số tối thiểu hệ thống hỗn loạn. *Hỗn loạn, Soliton và Fractal*120:62–66. doi:[10.1016/j.chaos.2019.01.019](#). Âu Dương, C., D. Zhu và Y. Qiu.[2021](#). Thuật toán tìm kiếm chim sẻ học ống kính[J]. *Các vấn đề toán học trong kỹ thuật*9935090. doi:[10.1155/2021/9935090](#).
- Rodrigues, F. và A. Agra.[2021](#). Một cách tiếp cận mạnh mẽ chính xác cho việc phân bổ bến tàu tích hợp và vấn đề lập lịch trình cho cần cẩu cầu cảng trong điều kiện thời gian đến không chắc chắn. *Tạp chí nghiên cứu hoạt động Châu Âu*295 (2):499–516. doi:[10.1016/j.ejor.2021.03.016](#).
- Sang, T., R. Wang và Y. Yan.[2001](#). Tạo chuỗi Bernoulli nhị phân dựa trên một lớp bản đồ hỗn loạn đối xứng đều. *Giao dịch IEEE về Truyền thông*49 (4):620–23. doi:[10.1109/26.917768](#).
- Song W, S. Liu, X. Wang và W. Wu.[2020](#). Một thuật toán tìm kiếm chim sẻ được cải tiến. Biên bản Hội nghị quốc tế IEEE năm 2020 về Xử lý song song và phân tán với các ứng dụng, Dữ liệu lớn và điện toán đám mây, Điện toán và truyền thông bền vững, Điện toán xã hội và mạng, Exeter, Vương quốc Anh, 17–19 tháng 12 năm 2020, Số bài báo, 20800453. doi:[10.1109/ISPA-BDCloud-SocialCom-SustainCom51426.2020.00093](#)
- Thanos, E., T. Toffolo, HG Santos, W. Vancroonenburg và GV Berghe.[2021](#). Chiến thuật vấn đề phân bổ bến tàu với các nhiệm vụ cần cẩu cầu cảng cụ thể theo thời gian. *Máy tính & Kỹ thuật công nghiệp*155:107168. doi:[10.1016/j.cie.2021.107168](#).
- Tian, X. và Q. Meng.[2018](#). Nghiên cứu về việc lập lịch trình phối hợp của bến tàu, cần cẩu cầu cảng và xe tải đỗ tại các bến container. *Công nghệ hậu cần*37:32–36. doi:[10.3969/j.1005-152X.2018.03.008](#).
- Vrakas, G., C. Chan và VV Thai.[2021](#). Tác động của quá trình và công nghệ cảng đang phát triển tối ưu hóa hiệu suất hoạt động: nghiên cứu điển hình về một nhà khai thác cảng container của Úc. *Tạp chí Vận tải và Hậu cần Châu Á*37 (4):281–90. doi:[10.1016/j.ajsl.2020.04.001](#).
- Wang, P., Y. Zhang và H. Yang.[2021](#). Nghiên cứu tối ưu hóa kinh tế lưới điện vi mô cụm dựa trên thuật toán tìm kiếm chim sẻ hỗn loạn. *Trí thông minh tính toán và khoa học thền kinh*2021:5556780. doi:[10.1155/2021/5556780](#).
- Wu, E. và J. Zhu.[2021](#). Lập lịch tích hợp cho cầu cảng và cần cẩu cầu cảng trong tự động cảng container theo phương pháp chủ động-phản ứng. *Tạp chí Kỹ thuật cốt lõi quốc tế*7:60–70. doi:[10.6919/ICJE.202108_7\(8\).0010](#).



- Xue J., B. Shen và J. Xue.[2020](#). Một cách tiếp cận tối ưu hóa trí thông minh bầy đàn mới là: Sparrow thuật toán tìm kiếm.*Khoa học hệ thống & Kỹ thuật điều khiển* Một tạp chí truy cập mở8 (1):22–34. doi:[10.1080/21642583.2019.1708830](https://doi.org/10.1080/21642583.2019.1708830).
- Yang, J., H. Gao, T. Liu và W. Liu.[2016](#). Lập lịch cầu cảng và cần cầu tích hợp dựa trên về thuật toán di truyền được cải tiến.*Tạp chí ứng dụng máy tính*36:3136–40. doi:[10.11772/j.1001-9081.2016.11.3136](https://doi.org/10.11772/j.1001-9081.2016.11.3136).
- Yang, L., Z. Li, D. Wang, H. Miao và Z. Wang.[2021](#). Dự đoán lỗi phần mềm dựa trên thuật toán tối ưu hóa bầy hạt lai và tìm kiếm chim sẻ.*Truy cập IEEE9*:60865–79. doi: [10.1109/TRUY CẬP.2021.3072993](https://doi.org/10.1109/TRUY CẬP.2021.3072993).
- Yuan, J., Z. Zhao, Y. Liu, B. He, L. Wang, B. Xie và Y. Gao.[2021](#). Kiểm soát DMPPT của lưới điện siêu nhỏ dựa trên thuật toán tìm kiếm chim sẻ cải tiến.*Truy cập IEEE9*:16623–29. doi:[10.1109/TRUY CẬP.2021.3052960](https://doi.org/10.1109/TRUY CẬP.2021.3052960).
- Zhang, C. và S. Ding.[2021](#). Một mạng cấu hình ngẫu nhiên dựa trên chim sẻ hỗn loạn thuật toán tìm kiếm.*Hệ thống dựa trên kiến thức*220 (10):106924. doi:[10.1016/j.knosys.2021.106924](https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106924).