[Applied Soft Computing Journal 152 (2024) 111197](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.111197)

Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com/science/journal/15684946)

Applied Soft Computing

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/asoc](https://www.elsevier.com/locate/asoc)

Optimization approach of berth-quay crane-truck allocation by the tide, [](http://crossmark.crossref.org/dialog/?doi=10.1016/j.asoc.2023.111197&domain=pdf) environment and uncertainty factors based on chaos quantum adaptive

seagull optimization algorithm

|  |
| --- |
| Phương pháp tối ưu hóa phân bổ cần cẩu-xe tải bến tàu theo thủy triều, môi trường và các yếu tố không chắc chắn dựa trên thuật toán tối ưu hóa lượng tử hỗn loạn seagull. |

Ming-Wei Li [a,](#_bookmark0)b[, Rui-Zhe Xu](#_bookmark1) [a,](#_bookmark0)b[, Zhong-Yi Yang](#_bookmark1) c[, Wei-Chiang Hong](#_bookmark2) [d,](#_bookmark3)[e,](#_bookmark4)[\*, Xiao-Gang An](#_bookmark6) [a,](#_bookmark0)f[,](#_bookmark5)

Yi-Hsuan Yeh d

a *College of Shipbuilding Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China*

b *Nanhai Institute, Harbin Engineering University, Sanya 572024, Hainan, China*

c *School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China*

d *Department of Information Management, Asia Eastern University of Science and Technology, New Taipei 22046, Taiwan*

e *Department of Information Management, Yuan Ze University, Zhongli 320315, Taiwan*

f *China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100088, China*

H I G H L I G H T S

* TEU-BQCT model is proposed to optimize berth-quay crane-truck allocation.
* CQASOA is proposed to improve the global perturbation and convergence ability of the algorithm.
* This paper applies TEU-BQCT\_CQASOA approach to receive appropriate distribution plan of port size.

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

A R T I C L E I N F O

*Keywords:*

Berth-quay crane-truck joint scheduling Tidal factor

Uncertainty factor

Seagull optimization algorithm External penalty function method Quantum computing

Chaotic mapping

|  |
| --- |
| Lịch trình chung của xe tải-cần cẩu-bến tàu  Yếu tố thủy triều  Yếu tố bất định  Thuật toán tối ưu hóa Seagull  Phương pháp hàm phạt bên ngoài  Máy tính lượng tử hỗn loạn  mapping |

A B S T R A C T

The post-epidemic era has led to the accumulation of cargo, which has brought greater pressure to container ports. Since traditional methods cannot simultaneously consider the effect of tidal, uncertain, and environmental factors on the allocation plan. To relieve this pressure, firstly, considering tidal factors, formulating time window rules, thinking out uncertain factors, and determining constraints from three perspectives of vessel berthing process, quay crane and container truck operation, a new berth-quay crane-truck joint scheduling model is constructed by minimizing three aspects of vessels turnaround time, the carbon emissions of quay cranes and trucks, namely TEU-BQCT model. Then, aiming at obtaining a relatively high-quality solution, combining chaotic mapping and quantum entanglement, a new chaotic quantum adaptive seagull optimization algorithm is pro- posed, namely CQASOA, exclusive coding rules suitable for the TEU-BQCT model is formulated, a feasible integer algorithm is developed, the external penalty function is constructed to limit constraints, and a novel joint scheduling solution method of berth-quay crane-truck is proposed, namely TEU-BQCT\_CQASOA. Subsequently, two ports of different scales in South China are used to test the constructed solution method feasibility. The simulation results indicate that the constructed TEU-BQCT model can obtain a more suitable scheduling scheme. The proposed CQASOA has better performance than other comparison algorithms selected in this paper, which can obtain a better solution when solving the TEU-BQCT model.

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

# Introduction

The continuation of the new crown epidemic has seriously affected the global economy and trade, causing a great impact on the global supply and demand sides. As an important mode of transportation in

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

international trade, shipping has been more seriously affected [[1]](#_bookmark62). In 2021, the average waiting time of vessels at Los Angeles Port in the US, Felixstowe Port in the UK, Rotterdam Port in the Netherlands, and Piraeus Port in Greece will reach 16.5, 13.8, 8.8, and 9.1 days respec- tively. Compared with 2020, it is still rising in the same period, and the

|  |
| --- |
| thương mại quốc tế, vận chuyển đã bị ảnh hưởng nghiêm trọng hơn [1]. Năm 2021, thời gian chờ trung bình của tàu tại Cảng Los Angeles ở Hoa Kỳ, Cảng Felixstowe ở Anh, Cảng Rotterdam ở Hà Lan và Cảng Piraeus ở Hy Lạp sẽ lần lượt đạt 16,5, 13,8, 8,8 và 9,1 ngày. So với năm 2020, thời gian này vẫn đang tăng trong cùng kỳ và |

\* Corresponding author at: Department of Information Management, Asia Eastern University of Science and Technology, New Taipei 22046, Taiwan.

*E-mail address:* [samuelsonhong@gmail.com](mailto:samuelsonhong@gmail.com) (W.-C. Hong).

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

Received 17 April 2023; Received in revised form 4 November 2023; Accepted 17 December 2023

Available online 30 December 2023

1568-4946/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

congestion situation is still very serious [[2]](#_bookmark63). In addition, green and low carbon has become the theme of the era, and governments around the world are advocating to control port energy consumption in a green and clean way. Therefore, this paper focuses on providing port managers with a scheduling solution to solve the problem of congestion and car- bon emissions in the post-epidemic era of ports.

Container port logistics scheduling has the characteristics of multiple links and processes. In the scheduling process, there are more influ- encing factors. It is necessary to consider the influence of uncertainties such as tides, meteorology and man-made on port scheduling. Specif- ically, the main contributions of this article are as follows:

|  |
| --- |
| tình trạng tắc nghẽn vẫn rất nghiêm trọng [2]. Ngoài ra, xanh và carbon thấp đã trở thành chủ đề của thời đại, và các chính phủ trên toàn thế giới đang ủng hộ việc kiểm soát mức tiêu thụ năng lượng của cảng theo cách xanh và sạch. Do đó, bài báo này tập trung vào việc cung cấp cho các nhà quản lý cảng một giải pháp lập lịch để giải quyết vấn đề tắc nghẽn và phát thải carbon trong kỷ nguyên hậu dịch bệnh của các cảng.  Lập lịch hậu cần cảng container có đặc điểm là nhiều liên kết và quy trình. Trong quá trình lập lịch, có nhiều yếu tố ảnh hưởng hơn. Cần phải xem xét ảnh hưởng của các yếu tố không chắc chắn như thủy triều, khí tượng và nhân tạo đến việc lập lịch của cảng. Cụ thể, những đóng góp chính của bài viết này như sau: |

1. Considering tidal factors, formulating time window rules, thinking out uncertainties such as meteorological and man-made factors, and determining constraints from three perspectives of the vessel berthing process, quay crane and truck, a new optimal model for berth-quay crane-truck allocation, namely TEU-BQCT, is proposed, by taking the minimize three aspects of vessels turnaround time, the carbon emissions of quay cranes and trucks as the optimization objectives.

|  |
| --- |
| a) Xem xét các yếu tố thủy triều, xây dựng các quy tắc cửa sổ thời gian, nghĩ đến những điều không chắc chắn như các yếu tố khí tượng và nhân tạo, và xác định các ràng buộc từ ba góc độ của quá trình neo đậu tàu, cần cẩu cầu cảng và xe tải, một mô hình tối ưu mới cho việc phân bổ cầu cảng-cần cẩu-xe tải, cụ thể là TEU-BQCT, được đề xuất, bằng cách giảm thiểu ba khía cạnh của thời gian quay vòng tàu, lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng và xe tải làm mục tiêu tối ưu hóa. |

1. Given insufficient diversity and easy stuck in local optimum in the SOA evolution later stage, a novel chaotic quantum adaptive seagull optimization algorithm, namely CQASOA, is proposed, with a popula- tion initialization method based on chaotic mapping (CSOA) is estab- lished to increase the ergodicity of the initial population; A quantum revolving gate and quantum NOT gate using quantum computing (QSOA) is proposed to enhance the population convergence speed; An adaptive weight factor (ASOA) is introduced to enhance the global disturbance capability in the SOA early stage and the local search capability in the later stage.

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

1. This paper, based on the CQASOA and the TEU-BQCT model, formulates the individual coding rules, designs the feasible-integer processing algorithm (F-IP), constructs external penalty functions to limit constraints and establishes a novel berth-quay crane-truck alloca- tion approach, namely TEU-BQCT\_CQASOA, which can offer different distribution plan according to different operation requirements by adjusting the weight of sub-objective function and can get a more appropriate distribution plan with the growth of port size.

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

The rest of this article is organized as follows: The existing work and contributions are contained in [Section 2](#_bookmark7); [Section 3](#_bookmark9) describes the TEU- BQCT model; [Section 4](#_bookmark24) introduces the proposal of CQASOA and the establishment of the solution method of TEU-BQCT\_CQASOA; The data experiment and simulation research is present, and the performance of the model and algorithm proposed is analyzed in [Section 5](#_bookmark47); [Section 6](#_bookmark61) concludes this paper.

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

# Literature review

* 1. *Optimization of container port logistics joint scheduling*

Container port loading and unloading operations have many links and complex processes, and there are still some difficulties in providing a scheduling scheme that controls the whole port [[5]](#_bookmark66). To avoid too ideal scheduling results, more and more scholars have researched joint scheduling of container port loading and unloading operations [[6–11]](#_bookmark67). Liu et al. [[12]](#_bookmark68) constructed a new berth and quay crane joint scheduling in response to the unfair distribution of quay cranes. Ma et al. [[13]](#_bookmark69) aimed at improving the utilization rate and service quality of quay cranes and establishes a joint dispatch planning model which can minimize the vessel service cost during the planning period. Gao et al.

[[14]](#_bookmark70) established a mathematical model to improve the utilization rate of container port equipment and decrease the vessel working time in ports. Yu, et al. [[15]](#_bookmark71) considered the difference in ship services and proposed a cooperative mode of vessel speed optimization and joint berth-quay crane allocation. The simulation results reveal that the method can enhance customer satisfaction and decrease carbon emissions. Liu et al.

[[16]](#_bookmark72) investigated joint berth allocation and quay crane assignment problem considering uncertain arrival time of vessels and operation efficiency of quay cranes. The authors of this paper have also made research work in related fields. Li et al. [[17]](#_bookmark73) established a multi-objective joint allocation model which can reduce the trans- portation distance of the truck and decrease vessels’ turnaround time. Simulation examples show that this method can provide solutions for container ports. Cao et al. [[18]](#_bookmark74) constructed a joint allocation model considering economic factors and solved it with the improved sparrow algorithm. Simulation examples show that the scheduling method can reduce the cost of ports.

|  |
| --- |
| Hoạt động xếp dỡ tại cảng container có nhiều liên kết và quy trình phức tạp, và vẫn còn một số khó khăn trong việc cung cấp một sơ đồ lập lịch kiểm soát toàn bộ cảng [5]. Để tránh kết quả lập lịch quá lý tưởng, ngày càng nhiều học giả đã nghiên cứu lập lịch chung cho hoạt động xếp dỡ tại cảng container [6–11]. Liu và cộng sự [12] đã xây dựng một lịch chung cho cầu cảng và cần cẩu cầu cảng mới để ứng phó với sự phân bổ cầu cảng không công bằng. Ma và cộng sự [13] nhằm mục đích cải thiện tỷ lệ sử dụng và chất lượng dịch vụ của cần cẩu cầu cảng và thiết lập một mô hình lập kế hoạch điều động chung có thể giảm thiểu chi phí dịch vụ tàu trong giai đoạn lập kế hoạch. Gao và cộng sự  [14] đã thiết lập một mô hình toán học để cải thiện tỷ lệ sử dụng thiết bị cảng container và giảm thời gian làm việc của tàu tại cảng. Yu và cộng sự [15] đã xem xét sự khác biệt trong các dịch vụ tàu và đề xuất một chế độ hợp tác để tối ưu hóa tốc độ tàu và phân bổ cần cẩu cầu cảng-cầu cảng chung. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp này có thể nâng cao sự hài lòng của khách hàng và giảm lượng khí thải carbon. Liu và cộng sự  [16] đã nghiên cứu vấn đề phân bổ bến chung và phân bổ cần cẩu cầu cảng khi xem xét thời gian đến không chắc chắn của tàu và hiệu quả hoạt động của cần cẩu cầu cảng. Các tác giả của bài báo này cũng đã thực hiện công trình nghiên cứu trong các lĩnh vực liên quan. Li et al. [17] đã thiết lập một mô hình phân bổ chung đa mục tiêu có thể giảm khoảng cách vận chuyển của xe tải và giảm thời gian quay vòng của tàu. Các ví dụ mô phỏng cho thấy phương pháp này có thể cung cấp các giải pháp cho các cảng container. Cao et al. [18] đã xây dựng một mô hình phân bổ chung khi xem xét các yếu tố kinh tế và giải quyết nó bằng thuật toán sparrow cải tiến. Các ví dụ mô phỏng cho thấy phương pháp lập lịch trình có thể giảm chi phí của các cảng. |

**Table 1**

Existing work summary sheet.

Reference Objective Model Problem solved

Liu et al.[[12]](#_bookmark68) Min port time

Min system cost Min unfairness

A multi-objective scheduling model Solve the unfair distribution of berths and quay cranes

Ma et al.[[13]](#_bookmark69) Min the arriving vessel service

cost

A berths and quayside cranes scheduling model

Obtain berth and quayside crane resources method and enhance service quality

Gao et al.[[14]](#_bookmark70) Min total vessel time in port The mathematical optimization

model of BACAP

Cut down the vessel time in port and improve equipment utilization

Yu, et al.[[15]](#_bookmark71) Min vessel fuel costs

Min service delays of vessels Min vessel service delays

Liu et al.[[16]](#_bookmark72) Min the vessel delayed

departure time

Min the total berth deviation Min the total operation cost of quayside cranes

A bi-level multi-

objective optimization model

A joint dispatch model for berth-quay crane

Cut down fuel consumption costs of vessels, service delays, and improve customer satisfaction

Cope with complex situations of the quayside operation

Azab et al.[[19]](#_bookmark75) Min the number of relocations A container trucks relocation

scheduling model

Raise container relocation operations at terminal yards

Essghaier et al. [[20]](#_bookmark76)

Min the total delay

Min the sum of PI-containers traveled distances

A Multi-Objective Mixed-Integer Programming model

Generate a robust Pareto front that aligns with decision-makers’ attitudes towards risk

Duan et al.[[21]](#_bookmark77) Min the average waiting time

Min vessel departure delay

A joint dispatch model for berth-quay crane

Obtain a more green and reasonable solution for the berths and quayside cranes operation

Wang et al.[[22]](#_bookmark78) Min port carbon emissions A joint dispatch model for berth-quay

crane

Improve port handling efficiency and reduce carbon emissions

Kenan et al. [[23]](#_bookmark79)

This study

Min the berthing time of vessels Min port carbon emissions

Min time of vessels in port

Min truck carbon emissions

Min quay crane carbon emissions

A joint dispatch model for berth-quay crane

A novel berth-quay crane-truck joint scheduling model

Improve port handling efficiency and reduce carbon emissions

Consider tides, environment, and uncertainties, cut down the port’s carbon emission and meet the needs of the port during the epidemic

**Table 1**

Existing work summary sheet.

Reference Objective Model Problem solved

Liu et al.[[12]](#_bookmark68) Thời gian cổng tối thiểu

Chi phí hệ thống tối thiểu

Sự bất công tối thiểu

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

Ma et al.[[13]](#_bookmark69) Tối thiểu chi phí dịch vụ tàu đếnMô hình lập lịch cầu cảng và cần cẩu bến cảng

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

Gao et al.[[14]](#_bookmark70) Tổng thời gian tàu ở cảng tối thiểu Mô hình tối ưu hóa toán học

của BACAP

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

Yu, et al.[[15]](#_bookmark71) Chi phí nhiên liệu tàu tối thiểu

Sự chậm trễ dịch vụ tối thiểu của tàu

Sự chậm trễ dịch vụ tàu tối thiểu

Liu et al.[[16]](#_bookmark72) Tối thiểu thời gian tàu

khởi hành chậm trễ

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

Mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu hai cấp

Mô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

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

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

Azab et al.[[19]](#_bookmark75) Tối thiểu số lần di dời Mô hình lập lịch di dời xe tải container

Tăng cường hoạt động di dời container tại các bãi cảng

Essghaier et al. [[20]](#_bookmark76)

Giảm thiểu tổng độ trễ

Tối thiểu tổng số khoảng cách di chuyển của các thùng chứa PIMột mô hình lập trình số nguyên hỗn hợp đa mục tiêu

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

Duan et al.[[21]](#_bookmark77) Tối thiểu thời gian chờ trung bình

Độ trễ khởi hành của tàu tối thiểuMô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

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

Wang et al.[[22]](#_bookmark78) Lượng khí thải carbon tối thiểu Một mô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

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

Kenan et al. [[23]](#_bookmark79)

Tối thiểu thời gian neo đậu của tàu thuyền

Lượng khí thải carbon tối thiểuMô hình điều phối chung cho cần cẩu bến cảng

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

This study Thời gian tối thiểu của tàu trong cảng

Lượng khí thải carbon của xe tải tối thiểu

Lượng khí thải carbon của cần cẩu cầu cảng tối thiểu

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

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

Some good solutions for the berth-quay crane joint dispatch are provided by the above research work, which can decrease the container port cost and enhance the utilization rate of container ports. However, the components of port dispatch operations affect each other. The quay crane’s working efficiency is limited by the number of trucks and is also affected by the scheduling of trucks at the front of the terminal. Therefore, in the land operation scheduling process, it is still necessary to comprehensively consider the impact of trucks on the distribution of berths and quay cranes. Azab et al. [[19]](#_bookmark75) proposed two binary IP models to solve the new optimization problem and results show that the pro- posed approach can improve container relocation operations at terminal yards by coordinating with appointment scheduling. Essghaier et al.

[[20]](#_bookmark76) established a Multi-Objective Mixed-Integer Programming model (FMO-MIP) that incorporates fuzzy chance-constrained programming and ϵ-constraint to minimize both the total delay and the sum of PI-containers traveled distances, while considering the uncertainty on truck arrival times. However, there are still few joint dispatches of berths, quay cranes and trucks in the existing literature, whose modeling and solution methods still need to be further explored.

|  |
| --- |
| Một số giải pháp tốt cho việc điều phối chung cần cẩu bến-cầu cảng được cung cấp bởi công trình nghiên cứu trên, có thể làm giảm chi phí cảng container và tăng tỷ lệ sử dụng của các cảng container. Tuy nhiên, các thành phần của hoạt động điều phối cảng ảnh hưởng lẫn nhau. Hiệu quả làm việc của cần cẩu bến bị giới hạn bởi số lượng xe tải và cũng bị ảnh hưởng bởi lịch trình của xe tải ở phía trước nhà ga. Do đó, trong quá trình lập lịch hoạt động trên đất liền, vẫn cần phải xem xét toàn diện tác động của xe tải đến việc phân bổ bến và cần cẩu bến. Azab và cộng sự [19] đã đề xuất hai mô hình IP nhị phân để giải quyết vấn đề tối ưu hóa mới và kết quả cho thấy phương pháp tiếp cận được đề xuất có thể cải thiện hoạt động di dời container tại các bãi của nhà ga bằng cách phối hợp với lịch trình hẹn. Essghaier và cộng sự [20] đã thiết lập một mô hình Lập trình số nguyên hỗn hợp đa mục tiêu (FMO-MIP) kết hợp lập trình ràng buộc xác suất mờ và ràng buộc ϵ để giảm thiểu cả tổng độ trễ và tổng quãng đường di chuyển của các container PI, đồng thời xem xét sự không chắc chắn về thời gian đến của xe tải. Tuy nhiên, vẫn còn một số ít công trình chung về bến tàu, cần cẩu cầu cảng và xe tải trong các tài liệu hiện có, mà phương pháp mô hình hóa và giải pháp của chúng vẫn cần được khám phá thêm. |

The topic of environmental protection has attracted the attention of various countries to climate change, and the issue of carbon emissions in container ports has also become a current research hotspot. Duan et al.

[[21]](#_bookmark77) constructed a mathematical model for the rational utilization of container port resources and the reduction of carbon emissions. Taking Ningbo Port as an example, the author evaluated the impact of carbon emission cost changes on the berth and quay crane distribution scheme and proposed a solution. Wang et al. [[22]](#_bookmark78) established a planning model for the willingness of container ports to reduce carbon emissions under the new carbon tax policy, provided solutions, assessed the impact of carbon emissions tax on carbon emission reduction, and reduced the carbon emissions of container ports. Kenan et al. [[23]](#_bookmark79) established a mathematical model, integrated the allocation and scheduling of dock cranes, and considered the carbon regulatory policy, which can cut down the berthing time and carbon emissions from vessels. However, the existing models cannot adapt to the current post-epidemic era background, and the port machinery collaborative work needs further research, the above research work is summarized as shown in [Table 1](#_bookmark8). Therefore, in [Section 3](#_bookmark9), a novel berth-quay crane-truck joint scheduling model that considers the tide, environment, and uncertainty factors will be proposed to make a dispatching scheme more in line with the era background for port decision-makers.

|  |
| --- |
| Chủ đề bảo vệ môi trường đã thu hút sự chú ý của nhiều quốc gia đối với biến đổi khí hậu và vấn đề phát thải carbon tại các cảng container cũng đã trở thành điểm nóng nghiên cứu hiện nay. Duan et al.  [21] đã xây dựng một mô hình toán học để sử dụng hợp lý các nguồn lực của cảng container và giảm phát thải carbon. Lấy Cảng Ninh Ba làm ví dụ, tác giả đã đánh giá tác động của những thay đổi về chi phí phát thải carbon đối với kế hoạch phân bổ cầu cảng và cần cẩu cầu cảng và đề xuất một giải pháp. Wang et al. [22] đã thiết lập một mô hình lập kế hoạch về thiện chí của các cảng container trong việc giảm phát thải carbon theo chính sách thuế carbon mới, đưa ra các giải pháp, đánh giá tác động của thuế phát thải carbon đối với việc giảm phát thải carbon và giảm phát thải carbon của các cảng container. Kenan et al. [23] đã thiết lập một mô hình toán học, tích hợp việc phân bổ và lập lịch trình cho cần cẩu bến tàu và xem xét chính sách quản lý carbon, có thể cắt giảm thời gian neo đậu và phát thải carbon từ tàu thuyền. Tuy nhiên, các mô hình hiện tại không thể thích ứng với bối cảnh thời kỳ hậu đại dịch hiện tại và công tác phối hợp máy móc tại cảng cần được nghiên cứu thêm, công tác nghiên cứu trên được tóm tắt như thể hiện trong Bảng 1. Do đó, trong Phần 3, một mô hình lập lịch trình chung cho xe tải cần cẩu bến tàu mới có tính đến thủy triều, môi trường và các yếu tố không chắc chắn sẽ được đề xuất để đưa ra một kế hoạch điều phối phù hợp hơn với bối cảnh thời kỳ đối với những người ra quyết định tại cảng. |

* 1. *Algorithm for joint logistics scheduling planning model of container ports*

The solution problem of the joint scheduling planning model of container port logistics has the characteristics of multiple and nonlinear, and cannot be solved precisely. The usual method is to approach the extreme point through the solution algorithm. Tian et al. [[24]](#_bookmark80) built a mathematical model intending to cut down the total logistics operation cost and solved it by using the linear programming method and the commercial software ILOG CPLEX. Cheimanoff. et al. [[25]](#_bookmark81) proposed a new Mixed Integer Linear Formulation (MILP) and Variable Neighbor Search (VNS) method to solve the quay crane allocation model. In the wake of the increase in computing power, the intelligent optimization algorithm is also widely used and performs well in solving this type of optimization problem [[26–28]](#_bookmark82). Skaf et al. [[29]](#_bookmark83) established a planning model for the scheduling problem of multiple-yard trucks and a single quayside crane, using the genetic algorithm to solve the model. Chu et al. [[30]](#_bookmark84) proposed a comprehensive container liner route planning and speed scheduling method, which was solved based on the genetic algorithm.

|  |
| --- |
| Bài toán giải của mô hình lập lịch chung của logistics cảng container có đặc điểm là đa tuyến tính và phi tuyến tính, không thể giải chính xác. Phương pháp thông thường là tiếp cận điểm cực trị thông qua thuật toán giải. Tian et al. [24] đã xây dựng một mô hình toán học với mục đích cắt giảm tổng chi phí hoạt động logistics và giải quyết bằng phương pháp lập trình tuyến tính và phần mềm thương mại ILOG CPLEX. Cheimanoff. et al. [25] đề xuất phương pháp Công thức tuyến tính nguyên hỗn hợp (MILP) và Tìm kiếm lân cận biến (VNS) mới để giải mô hình phân bổ cần trục cầu cảng. Sau khi sức mạnh tính toán tăng lên, thuật toán tối ưu hóa thông minh cũng được sử dụng rộng rãi và hoạt động tốt trong việc giải quyết loại vấn đề tối ưu hóa này [26–28]. Skaf et al. [29] đã thiết lập một mô hình lập kế hoạch cho bài toán lập lịch của nhiều xe tải bãi và một cần trục cầu cảng duy nhất, sử dụng thuật toán di truyền để giải mô hình. Chu et al. [30] đề xuất phương pháp lập kế hoạch tuyến đường và lập lịch tốc độ tàu container toàn diện, được giải quyết dựa trên thuật toán di truyền. |

With the improvement of computer computing power, more and

more high-quality optimization algorithms have been proposed, which have been proved to be successful in various applications, such as experiment-based approach to teach optimization techniques [[31]](#_bookmark85), neural network-based control using actor-critic reinforcement learning and gray wolf optimizer with experimental servo system validation [[32]](#_bookmark86), marine predator inspired naked mole-rat algorithm for global optimi- zation [[33]](#_bookmark87). Considering the excellent performance of SOA algorithms in container port scheduling, SOA is tried to solve such models [[4]](#_bookmark65). How- ever, SOA has problems such as being easily stuck in local optimum and

slow convergence speed. Ewees et al. [[34]](#_bookmark88) use Le´vy flight and mutation

operators for SOA linear search spaces, improving the exploration-mining trade-off to quickly and accurately capture optimal solutions. Ma et al. [[35]](#_bookmark89) aimed at the shortcomings of SOA with low convergence accuracy, weak overall diversity, and tendency to local optimum, proposed CMSSOA, and the statistical calculation proved that the proposed algorithm has advantages. Xiao et al. [[36]](#_bookmark90) used opposition-based learning (OBL), Cauchy distribution, and inverse sig- moid functions to enhance SOA based on Dual-Hidden-Layer Extreme Learning Machine (TELM) with Hyperparameter Activation Functions, and the calculation results show well. Xu et al. [[37]](#_bookmark91) combined the mechanism of natural selection based on SOA and found the optimal solution by sorting the population using fitness values to replace the worst half with the best half.

|  |
| --- |
| Với sự cải thiện về sức mạnh tính toán của máy tính, ngày càng có nhiều thuật toán tối ưu hóa chất lượng cao được đề xuất, đã được chứng minh là thành công trong nhiều ứng dụng khác nhau, chẳng hạn như phương pháp tiếp cận dựa trên thử nghiệm để dạy các kỹ thuật tối ưu hóa [31], điều khiển dựa trên mạng nơ-ron sử dụng học tăng cường actor-critic và trình tối ưu hóa gray wolf với xác thực hệ thống servo thử nghiệm [32], thuật toán chuột chũi trụi lông lấy cảm hứng từ động vật ăn thịt biển để tối ưu hóa toàn cục [33]. Xem xét hiệu suất tuyệt vời của các thuật toán SOA trong lập lịch cảng container, SOA được thử nghiệm để giải quyết các mô hình như vậy [4]. Tuy nhiên, SOA có các vấn đề như dễ bị kẹt trong tối ưu cục bộ và tốc độ hội tụ chậm. Ewees et al. [34] sử dụng các toán tử đột biến và bay Le´vy cho không gian tìm kiếm tuyến tính SOA, cải thiện sự đánh đổi giữa thăm dò và khai thác để nắm bắt nhanh chóng và chính xác các giải pháp tối ưu. Ma et al. [35] nhắm vào những nhược điểm của SOA với độ chính xác hội tụ thấp, tính đa dạng tổng thể yếu và có xu hướng tối ưu cục bộ, CMSSOA được đề xuất và tính toán thống kê đã chứng minh rằng thuật toán được đề xuất có những ưu điểm. Xiao et al. [36] đã sử dụng học tập dựa trên sự đối lập (OBL), phân phối Cauchy và các hàm sig-moid ngược để tăng cường SOA dựa trên Máy học cực đại hai lớp ẩn (TELM) với các hàm kích hoạt siêu tham số và kết quả tính toán cho thấy tốt. Xu et al. [37] đã kết hợp cơ chế chọn lọc tự nhiên dựa trên SOA và tìm ra giải pháp tối ưu bằng cách sắp xếp quần thể bằng các giá trị thể lực để thay thế một nửa tệ nhất bằng một nửa tốt nhất. |

The study done in the existing method can improve the optimization performance of SOA, but when solving complex problems, it still exposes deficiencies in global perturbation capability and computing perfor- mance. The authors have tried to improve the intelligent optimization algorithm by chaotic disturbance and quantum entanglement, and proposed the novel chaotic bat algorithm [[38]](#_bookmark92), chaos adaptive genetic algorithm [[39]](#_bookmark93), cat mapping, cloud model and PSO hybrid algorithm [[40]](#_bookmark94), the chaotic cloud particle swarm optimization [[41]](#_bookmark95), chaos cloud quantum bat hybrid optimization algorithm [[42]](#_bookmark96), quantum butterfly optimization algorithm [[43]](#_bookmark97), hybrid genetic cloud whale optimization algorithm [[44]](#_bookmark98) to solve the problem of optimization. Experiments verified that the above-improved algorithms had achieved good results. The above improvement methods can provide a good reference for this article. Therefore, aiming at the defects of SOA, a new chaotic quantum adaptive seagull optimization algorithm is proposed by combining chaotic mapping and quantum computing, namely CQASOA, to enhance the optimization performance of the algorithm.

|  |
| --- |
| Nghiên cứu được thực hiện theo phương pháp hiện có có thể cải thiện hiệu suất tối ưu hóa của SOA, nhưng khi giải quyết các vấn đề phức tạp, nó vẫn bộc lộ những thiếu sót về khả năng nhiễu loạn toàn cục và hiệu suất tính toán. Các tác giả đã cố gắng cải thiện thuật toán tối ưu hóa thông minh bằng nhiễu loạn hỗn loạn và vướng víu lượng tử, và đề xuất thuật toán dơi hỗn loạn mới [38], thuật toán di truyền thích ứng hỗn loạn [39], lập bản đồ mèo, mô hình đám mây và thuật toán lai PSO [40], tối ưu hóa bầy hạt đám mây hỗn loạn [41], thuật toán tối ưu hóa lai dơi lượng tử đám mây hỗn loạn [42], thuật toán tối ưu hóa bướm lượng tử [43], thuật toán tối ưu hóa cá voi đám mây di truyền lai [44] để giải quyết vấn đề tối ưu hóa. Các thí nghiệm đã xác minh rằng các thuật toán được cải tiến ở trên đã đạt được kết quả tốt. Các phương pháp cải tiến trên có thể cung cấp một tài liệu tham khảo tốt cho bài viết này. Do đó, hướng đến các khiếm khuyết của SOA, một thuật toán tối ưu hóa mòng biển thích ứng lượng tử hỗn loạn mới được đề xuất bằng cách kết hợp ánh xạ hỗn loạn và điện toán lượng tử, cụ thể là CQASOA, để nâng cao hiệu suất tối ưu hóa của thuật toán. |

# Establishment of TEU-BQCT model

Considering that large vessels need to use the tidal water level to enter the port, the water level time window rules are formulated ac- cording to the draft depth and periodic timetable of large vessels. If the water level in a certain period meets the needs of large vessels entering the port, the water level in this period is the high water level time window. Conversely, it is the low water level time window. The periodic change of the tide makes the high and low water level time windows appear alternately. This paper assumes that the traversal times of the high and low water level time windows are approximately equal.

Considering the robustness of improving the construction model, this paper introduces uncertainty factors. When the vessel sails into the port, the expected arrival time of the container port will be provided. Due to climate and human factors, the actual vessel arrival time may change. The deviation time obeys the Erlang distribution law [[45]](#_bookmark99), which is determined based on the statistical law of the port. In addition, due to human factors, the deviation of the operating speed of the truck is considered to obey the normal distribution law which is determined according to the statistical law of container trucks.

In the scheduling optimization process, we divide the continuous shoreline into several discrete berths. Duplicate or cross-berth berthing is not allowed during the berthing process. Also, the vessel is only permitted to complete one operation. Each quayside crane can only serve one vessel at a time. The minimum vessel time in port and the carbon emissions from trucks and quay cranes should be the guideline to determine the order of berthing and the allocation of berths, quay cranes, and trucks.

|  |
| --- |
| Xét đến việc các tàu lớn cần sử dụng mực nước thủy triều để vào cảng, các quy tắc cửa sổ thời gian mực nước được xây dựng theo độ sâu mớn nước và lịch trình định kỳ của các tàu lớn. Nếu mực nước trong một khoảng thời gian nhất định đáp ứng nhu cầu của các tàu lớn vào cảng, thì mực nước trong khoảng thời gian này là cửa sổ thời gian mực nước cao. Ngược lại, đó là cửa sổ thời gian mực nước thấp. Sự thay đổi định kỳ của thủy triều làm cho các cửa sổ thời gian mực nước cao và mực nước thấp xuất hiện xen kẽ. Bài báo này giả định rằng thời gian đi qua của các cửa sổ thời gian mực nước cao và mực nước thấp gần bằng nhau.  Xét đến tính chắc chắn của việc cải thiện mô hình xây dựng, bài báo này giới thiệu các yếu tố không chắc chắn. Khi tàu vào cảng, thời gian dự kiến ​​đến cảng container sẽ được cung cấp. Do khí hậu và các yếu tố con người, thời gian đến thực tế của tàu có thể thay đổi. Thời gian lệch tuân theo định luật phân phối Erlang [45], được xác định dựa trên định luật thống kê của cảng. Ngoài ra, do các yếu tố con người, độ lệch tốc độ hoạt động của xe tải được coi là tuân theo luật phân phối chuẩn được xác định theo luật thống kê của xe tải container.  Trong quá trình tối ưu hóa lịch trình, chúng tôi chia đường bờ biển liên tục thành nhiều bến riêng biệt. Không được phép neo đậu trùng lặp hoặc neo đậu chéo trong quá trình neo đậu. Ngoài ra, tàu chỉ được phép hoàn thành một hoạt động. Mỗi cần cẩu tại bến chỉ có thể phục vụ một tàu tại một thời điểm. Thời gian tối thiểu của tàu tại cảng và lượng khí thải carbon từ xe tải và cần cẩu tại bến phải là hướng dẫn để xác định thứ tự neo đậu và phân bổ bến, cần cẩu tại bến và xe tải. |

* 1. *Assumptions and notations*

The assumptions of the TEU-BQCT model are established from three aspects: berths, quay cranes, and trucks. The details are as follows:

1. It is assumed that the vessel provides the estimated time for arriving at the port, but due to the environmental interference, the actual vessel arrival time has a deviation time which follows the Erlang distribution;.
2. Considering the influence of tidal factors on vessels entering and leaving the port, large vessels are only permitted to sail into the port at the tidal level, and the time for each vessel to enter and exit the channel is equal and a fixed constant;.
3. It is assumed that the length of each water level time window is equal;.
4. A continuous berth line is divided into discrete berths whose length, width, and water depth meet the requirements of the vessel;.
5. Each vessel is only allowed to berth once and the berth cannot be moved after berthing;.
6. After the vessel starts operations, the assigned quay crane work efficiency remains unchanged;.
7. The upper and lower limits of the quay crane allocation meet the requirements of vessel working restrictions;.
8. It is assumed that the quay crane can be moved to the adjacent berth when it is idle, but the quay crane is not permitted to step over other quay cranes;.
9. Considering that the driving speed of the truck is disturbed by artificial uncertain factors, it obeys the normal distribution law;.
10. It is assumed that the number of cranes in the container yard is sufficient and the loading and unloading efficiency remains unchanged. The TEU-BQCT model application parameters are categorized by Sets, Optimization variables, Input Parameters, Dependent Variables,

and 0–1 Decision Variables as follows:

|  |
| --- |
| Các giả định của mô hình TEU-BQCT được thiết lập từ ba khía cạnh: bến tàu, cần trục cầu cảng và xe tải. Chi tiết như sau:  (1) Giả định rằng tàu cung cấp thời gian ước tính để đến cảng, nhưng do sự can thiệp của môi trường, thời gian đến thực tế của tàu có thời gian lệch theo phân phối Erlang;.  (2) Xem xét ảnh hưởng của các yếu tố thủy triều đến tàu ra vào cảng, các tàu lớn chỉ được phép vào cảng ở mực nước thủy triều và thời gian để mỗi tàu ra vào luồng là bằng nhau và là hằng số cố định;.  (3) Giả định rằng độ dài của mỗi cửa sổ thời gian mực nước là bằng nhau;.  (4) Một tuyến bến liên tục được chia thành các bến riêng biệt có chiều dài, chiều rộng và độ sâu của nước đáp ứng các yêu cầu của tàu;.  (5) Mỗi ​​tàu chỉ được phép cập bến một lần và bến không thể di chuyển sau khi cập bến;.  (6) Sau khi tàu bắt đầu hoạt động, hiệu quả làm việc của cần trục cầu cảng được chỉ định vẫn không thay đổi;.  (7) Giới hạn trên và dưới của việc phân bổ cần cẩu cầu cảng đáp ứng các yêu cầu về hạn chế hoạt động của tàu;.  (8) Giả định rằng cần cẩu cầu cảng có thể được di chuyển đến bến liền kề khi nó không hoạt động, nhưng cần cẩu cầu cảng không được phép bước qua các cần cẩu cầu cảng khác;.  (9) Xem xét rằng tốc độ lái xe của xe tải bị nhiễu bởi các yếu tố không chắc chắn nhân tạo, nó tuân theo luật phân phối chuẩn;.  (10) Giả định rằng số lượng cần cẩu trong bãi container là đủ và hiệu quả xếp dỡ không đổi. Các tham số ứng dụng mô hình TEU-BQCT được phân loại theo Bộ, Biến tối ưu hóa, Tham số đầu vào, Biến phụ thuộc và Biến quyết định 0–1 như sau: |

# Sets:

***V***Vessel, ***V*** = [1, 2,…, *v*];.

***B***Berth, ***B*** = [1, 2,…, *b*];.

***C***Crane, ***C*** = [1, 2,…, *c*];.

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

***Y***Truck, ***Y*** = [1, 2, …, *y*];.

*W*The length of each high/low water level time window;.

*R*Sufficiently large integer;.

*M*Container ports have the total number of available collection trucks;.

*TOi*Vessel *i* estimated time of arrival;.

*TG*0The travel time required for a vessel to pass through the channel.

*CE*0The theoretical work efficiency of a single quayside crane;.

*CF*0The theoretical work efficiency of a single crane in the container yard;.

*TW*0 The maximum waiting time of vessels;.

*VLi*The length of vessel *i*;. *VDi*The draft of vessel *i*;.

*VEi*The number of containers carried by vessel *i*;. *BLj*The length of berth *j*;.

*BDj*The draft of berth *j*;.

*Dij*The distance between the vessel *i* docked at berth *j* and the target yard;.

*VCmi*The lower limit of quay cranes serving vessel *i*;. *VCMi*The upper limit of quay cranes serving vessel *i*;.

|  |
| --- |
| WĐộ dài của mỗi cửa sổ thời gian mực nước cao/thấp;.  RSố nguyên đủ lớn;.  MCảng container có tổng số xe tải thu gom có ​​sẵn;.  TOiThời gian ước tính đến của tàu i;.  TG0Thời gian di chuyển cần thiết để một tàu đi qua kênh.  CE0Hiệu suất làm việc lý thuyết của một cần cẩu bến cảng đơn lẻ;.  CF0Hiệu suất làm việc lý thuyết của một cần cẩu đơn lẻ trong bãi container;.  TW0Thời gian chờ tối đa của tàu;.  VLiChiều dài của tàu i;. VDiMớn nước của tàu i;.  VEiSố lượng container do tàu i chở;. BLjChiều dài của bến j;.  BDjMớn nước của bến j;.  DijKhoảng cách giữa tàu i neo đậu tại bến j và bãi mục tiêu;.  VCmiGiới hạn dưới của cần cẩu bến phục vụ tàu i;. VCMiGiới hạn trên của cần cẩu bến phục vụ tàu i;. |

**Dependent Variables:**

*TAi*The vessel *i* actual arrival time;.

*TBi*The start time of sailing into the channel for vessel *i*;. *TCi*The time when the vessel *i* entered the port;.

*TSi*Vessel *i* loading and unloading operation start time;.

*TDi*Vessel *i* loading and unloading operation end time;.

*TVi*The start time of the adjacent quay crane executing operation for the vessel *i*;.

*TEi*The start time of vessel *i* sailing out of the channel when leave the port;.

*TFi* The time for vessel *i* sailing out of the port;.

*THij*The time spent by vessel *i* at berth *j* for empty transport of trucks;.

*TLij*The time takes for vessel *i* to dock at the berth *j* for the heavy-load transportation of trucks;.

*VCit*The number of quay cranes serving vessel *i* at time *t*;. *CKnt*The number of trucks serving quay crane *n* at time *t*;. *CEn*The actual work efficiency of a single quayside crane;. *Dl*The total mileage of trucks under heavy load;.

*Dk*The total mileage of trucks with no load;.

*tη*The total idle time of trucks;.

*vh*The speed of the container truck when it is not loaded;.

*vl*The speed when the container truck is overloaded;.

|  |
| --- |
| Biến phụ thuộc:  TAiThời gian đến thực tế của tàu i;.  TBiThời gian bắt đầu đi thuyền vào luồng cho tàu i;. TCiThời gian tàu i vào cảng;.  TSiThời gian bắt đầu hoạt động xếp dỡ của tàu i;.  TDiThời gian kết thúc hoạt động xếp dỡ của tàu i;.  TViThời gian bắt đầu của cần cẩu cầu cảng liền kề thực hiện hoạt động cho tàu i;.  TEiThời gian bắt đầu của tàu i ra khỏi luồng khi rời cảng;.  TFi Thời gian tàu i ra khỏi cảng;.  THijThời gian tàu i ở bến j để vận chuyển xe tải rỗng;.  TLijThời gian tàu i cập bến j để vận chuyển xe tải chở hàng nặng;.  VCitSố lượng cần cẩu cầu cảng phục vụ tàu i tại thời điểm t;. CKntSố lượng xe tải phục vụ cần cẩu cầu cảng n tại thời điểm t;. CEnHiệu suất làm việc thực tế của một cần cẩu cầu cảng đơn lẻ;. DlTổng quãng đường xe tải chở hàng nặng;.  DkTổng quãng đường xe tải không chở hàng;.  tηTổng thời gian xe tải chạy không tải;.  vhTốc độ xe container khi không chở hàng;.  vlTốc độ xe container khi quá tải;. |

# 0–1 Decision Variables:

***VL***A set of large vessels arriving at the port;.

***VO***A set of the order of vessels sailing into the port;.

***VB***A set of the serial number of the berth to be parked;.

***VC*** A set of the serial number of allocated quayside cranes for vessel operations;.

***CK*** A set of the number of service quayside crane collection trucks;.

***VK***A set of the number of vessel operation trucks;.

# Optimization variables.

*VOi*Vessel *i* berthing sequence;.

|  |
| --- |
| VLA là tập hợp các tàu lớn cập cảng;.  VOA là tập hợp thứ tự các tàu ra vào cảng;.  VBA là tập hợp số sê-ri của bến tàu sẽ được neo đậu;.  VCA tập hợp số sê-ri của cần cẩu bến cảng được phân bổ cho hoạt động của tàu;.  CKA tập hợp số xe tải thu gom cần cẩu bến cảng dịch vụ;.  VKA tập hợp số xe tải vận hành tàu;.  Biến tối ưu hóa.  VOiChuỗi neo đậu tàu i;. |

*xijk* =

*qitn* =

1*if vessel i served according to sequence k at berth j*

0*else*

{

1*if quay crane n serves for vessel i within time t*

{

0*else*

|  |
| --- |
| *1 nếu tàu i phục vụ theo trình tự k tại bến j else 0*  *1 nếu cần cẩu n phục vụ cho tàu i trong thời gian t else 0* |

1*if vessel i sails into the channel in the u*\_*th high water time window*

*uiu* = {

0*else*

1*if vessel i sails out of the channel in the u*\_*th high water time window*

*viu* = {

0*else*

|  |
| --- |
| *1 nếu tàu i đi vào kênh trong cửa thời gian nước cao u\_th else 0*  *1 nếu tàu i ra khỏi kênh trong cửa thời gian nước cao u\_th else 0* |

*VBi*The berth of the vessel *i*;.

*VCi*The number of quay cranes serving vessels *i*.

*VKi*The number of trucks distributed for the operation of vessel *i*;.

|  |
| --- |
| VBi Cầu cảng của tàu i;.  VCi Số lượng cần cẩu cầu cảng phục vụ tàu i.  VKi Số lượng xe tải phân bổ cho hoạt động của tàu i;. |

# Input Parameters:

* 1. *Objective function F*

Aiming at achieving the best balance between port benefits, ship- owner interests, and environmental protection, the economic benefits

and environmental factors of container ports are considered compre- hensively, and the optimization model is constructed with the minimum vessels turnaround time, the minimum carbon emissions of trucks, and the minimum carbon emissions of quay cranes as objective functions. The objective function of the TEU-BQCT model can be expressed by [Eq.](#_bookmark18) [(1)](#_bookmark18),

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

where *F* is the objective function; *F*1, *F*2, *F*3 are three sub-objective functions; *ω*1, *ω*2, and *ω*3 are the weight adjustment factors; *k*1, *k*2, and *k*3 are the magnitude balance coefficients.

|  |
| --- |
| Nhằm đạt được sự cân bằng tốt nhất giữa lợi ích của cảng, lợi ích của chủ tàu và bảo vệ môi trường, lợi ích kinh tế và các yếu tố môi trường của cảng container được xem xét toàn diện và mô hình tối ưu hóa được xây dựng với thời gian quay vòng tàu tối thiểu, lượng khí thải carbon tối thiểu của xe tải và lượng khí thải carbon tối thiểu của cần cẩu cầu cảng là các hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu của mô hình TEU-BQCT có thể được biểu thị bằng Công thức (1),  trong đó F là hàm mục tiêu; F1, F2, F3 là ba hàm mục tiêu phụ; ω1, ω2 và ω3 là các hệ số điều chỉnh trọng số; k1, k2 và k3 là các hệ số cân bằng biên độ. |

ω1 + ω2 + ω3 = 1 (2)

In addition, the magnitude balance coefficients *k*1, *k*2, and *k*3 are introduced to ensure that the influence weights of each sub-objective function are equal. The magnitude balance coefficient can be deter- mined by the magnitude of the objective function value of a specific

calculation example. Recommended values are: *k*1 = 1000, *k*2 = 1 and *k*3

= 1.

|  |
| --- |
| Ngoài ra, các hệ số cân bằng độ lớn k1, k2 và k3 được đưa vào để đảm bảo rằng các trọng số ảnh hưởng của mỗi hàm mục tiêu phụ là bằng nhau. Hệ số cân bằng độ lớn có thể được xác định bằng độ lớn của giá trị hàm mục tiêu của một  ví dụ tính toán cụ thể. Các giá trị được đề xuất là: k1 = 1000, k2 = 1 và k3  = 1. |

* + 1. *Sub-objective function F1*

This paper considers the comprehensive benefits of shipowners and container ports and takes the minimum time of vessels in port as the first sub-objective function of the TEU-BQCT model to lessen the waiting time of shipowners in port and raise the work operation efficiency of the port. The sub-objective function *F*1 of the TEU-BQCT model is deter- mined as [Eq. (3)](#_bookmark13),



where F1 is the first sub-objective function(h); TFi is the departure time of vessel i; TAi is the actual arrival time of vessel i.

|  |
| --- |
| Bài báo này xem xét các lợi ích toàn diện của chủ tàu và cảng container và lấy thời gian tối thiểu của tàu trong cảng làm hàm mục tiêu phụ đầu tiên của mô hình TEU-BQCT để giảm thời gian chờ đợi của chủ tàu trong cảng và nâng cao hiệu quả hoạt động công việc của cảng. Hàm mục tiêu phụ F1 của mô hình TEU-BQCT được xác định là Công thức (3),  trong đó F1 là hàm mục tiêu phụ đầu tiên(h); TFi là thời gian khởi hành của tàu i; TAi là thời gian đến thực tế của tàu i. |

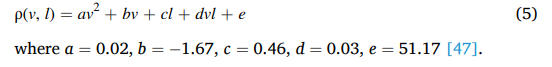
3.2.2. Sub-objective function F2

The operation of a container port should not only ensure economic benefits but also promise environmental friendliness. The minimum carbon emissions of trucks are identified as the second sub-objective function of the TEU-BQCT model to reduce the carbon emissions and the truck fuel consumption of container ports, indirectly controlling the cost of trucking operations. The sub-objective function F2 of the TEUBQCT model consists of three parts: the carbon emissions of trucks in no-load driving, the carbon emissions of trucks in heavy-duty driving, and the carbon emissions of trucks in idling speed, which can be defined by Eq. (4):



where F2 is the second sub-objective function (kg); E1 is the carbon emission coefficient of the truck (kg/L); Dl is the total mileage of the truck with no load (km); Dk is the total mileage of the truck with heavy load (km); tη is the total time of the truck idling fuel consumption (h); η is the idling fuel consumption rate (L/h); tη is the total time of the truck

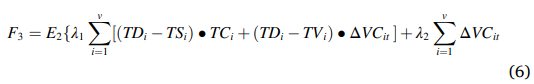
idling (h); ρl and ρk are the fuel consumption rate (L/km) of the truck with no load and full load, which are determined by the speed and the load [46], as shown in Eq. (5),



|  |
| --- |
| Hoạt động của một cảng container không chỉ đảm bảo lợi ích kinh tế mà còn hứa hẹn thân thiện với môi trường. Lượng khí thải carbon tối thiểu của xe tải được xác định là hàm mục tiêu phụ thứ hai của mô hình TEU-BQCT nhằm giảm lượng khí thải carbon và mức tiêu thụ nhiên liệu của xe tải tại các cảng container, gián tiếp kiểm soát chi phí hoạt động vận tải bằng xe tải. Hàm mục tiêu phụ F2 của mô hình TEUBQCT bao gồm ba phần: lượng khí thải carbon của xe tải khi lái không tải, lượng khí thải carbon của xe tải khi lái xe hạng nặng và lượng khí thải carbon của xe tải khi chạy không tải, có thể được xác định theo Công thức (4):  trong đó F2 là hàm mục tiêu phụ thứ hai (kg); E1 là hệ số phát thải carbon của xe tải (kg/L); Dl là tổng quãng đường xe tải đã đi khi không tải (km); Dk là tổng quãng đường xe tải đã đi khi có tải nặng (km); tη là tổng thời gian xe tải chạy không tải tiêu thụ nhiên liệu (h); η là tỷ lệ tiêu thụ nhiên liệu khi chạy không tải (L/h); tη là tổng thời gian xe tải  chạy không tải (h); ρl và ρk là mức tiêu thụ nhiên liệu (L/km) của xe tải không tải và đầy tải, được xác định bởi tốc độ và tải trọng [46], như thể hiện trong Công thức (5), |

*3.2.3. Sub-objective function F2*

In this paper, the minimum carbon emission of quay cranes is identified as the third sub-objective function to measure the pollution caused by quay crane work operations in the surrounding environment of the port. Since the carbon emissions generated by the quay crane operation are positively related to power consumption, the port cost can be saved while reducing the carbon emissions from the quay crane. The subobjective function F3 can be calculated by the working energy consumption of the quay crane during working operations and in moving operations, which can be determined by Eq. (6),



where *F*3 is the third objective function (kg); *E*2 is the grid reference emission factor (kg/kWh); *λ*1 is the working energy consumption of the quay crane (kWh/h); *λ*2 is the energy consumption of quay cranes in moving operation (kWh/time); *TDi* is that vessel *i* finishes working op- erations time; *TSi* is that vessel *i* starts working operations time; *VCi* is the number of quay cranes scheduled for working operations; *t* is the time point of the quay cranes assisting vessel *i* in working operations;

△*VCit* is the number of quay cranes that move from the near berth at time *t* to assist vessel *i* in operations; *TVi* is the start time of the adjacent quay crane carrying out an operation for the vessel *i*.

|  |
| --- |
| Trong bài báo này, lượng khí thải carbon tối thiểu của cần cẩu cầu cảng được xác định là hàm mục tiêu phụ thứ ba để đo mức ô nhiễm do hoạt động làm việc của cần cẩu cầu cảng gây ra trong môi trường xung quanh cảng. Vì lượng khí thải carbon do hoạt động của cần cẩu cầu cảng tạo ra có liên quan tích cực đến mức tiêu thụ điện năng, nên có thể tiết kiệm chi phí cảng trong khi giảm lượng khí thải carbon từ cần cẩu cầu cảng. Hàm mục tiêu phụ F3 có thể được tính bằng mức tiêu thụ năng lượng làm việc của cần cẩu cầu cảng trong quá trình làm việc và trong quá trình di chuyển, có thể được xác định theo Công thức (6),  trong đó F3 là hàm mục tiêu thứ ba (kg); E2 là hệ số phát thải tham chiếu lưới điện (kg/kWh); λ1 là mức tiêu thụ năng lượng làm việc của cần cẩu cầu cảng (kWh/h); λ2 là mức tiêu thụ năng lượng của cần cẩu cầu cảng trong quá trình di chuyển (kWh/thời gian); TDi là thời gian tàu i hoàn thành hoạt động làm việc; TSi là thời gian tàu i bắt đầu hoạt động làm việc; VCi là số lượng cần cẩu cầu cảng được lên lịch cho các hoạt động làm việc; t là thời điểm cần cẩu cầu cảng hỗ trợ tàu i trong các hoạt động làm việc;  △VCit là số lượng cần cẩu bến tàu di chuyển từ bến gần tại thời điểm t để hỗ trợ tàu i trong các hoạt động; TVi là thời gian bắt đầu của cần cẩu bến tàu liền kề thực hiện một hoạt động cho tàu i. |

* 1. *Determination of constraints*

In light of the actual situation of the container port, the constraints of the TEU-BQCT model are determined from three aspects: the vessel berthing process, the quayside crane, and the container truck.

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

* + 1. *Vessel berthing process constraints*

Following the vessel berthing process, the vessel berthing constraints are determined as follows:



Δ*TA* = *fErlang*(*kTA*, *μTA*) (8)

*TBi* ≥ *TAi*, ∀*i* ∈ *V* (9)

*TCi* = *TBi* + *TG*0, ∀*i* ∈ *V* (10)

*TSi* ≥ *TCi*, ∀*i* ∈ *V* (11)

*TSi* — *TAi* ≤ *TWi*, ∀*i* ∈ *V* (12)



*TEi* ≥ *TDi*, ∀*i* ∈ *V* (14)

*TFi* = *TEi* + *TG*0, ∀*i* ∈ *V* (15)

2(*u* — 1)*W* — *R*(1 — *μiu*) ≤ *TBi* ≤ (2*u* — 1)*W* — *TG*0 — *R*(1 — *μiu*), ∀*i* ∈ *V* (16)

2(*u* — 1)*W* — *R*(1 — *νiu*) ≤ *TEi* ≤ (2*u* — 1)*W* — *TG*0 — *R*(1 — *νiu*), ∀*i* ∈ *V*

(17)

∑*u*∈*T*

*μiu*

= 1, ∀*i* ∈ *VL* (18)

*i*; Constraints (28) means that the upper and lower limits of the quay

crane allocation meet the requirements of vessel working restrictions; Constraint (29) shows that the number of quayside cranes under

∑*u*∈*T*

*νiu* = 1, ∀*i* ∈ *VL* (19)

working operations in container ports is less than the total number of quayside cranes in container ports; [Eq. (30)](#_bookmark21) defines a method of calcu-

∑*j*=*B* ∑*k*∈*VO* (*xijk* × *BDj*) ≥ *VDi*, ∀*i* ∈ *V* (20)

∑*j*=*B* ∑*k*∈*VO* (*xijk* × *BLj*) ≥ *VLi*, ∀*i* ∈ *V* (21)

∑*i*∈*V xijk* ≤ 1, ∀*j* ∈ *B*, ∀*k* ∈ *VO* (22)

lating the number of quay cranes for mobile auxiliary operations; Constraint (31) means that the quay crane is not permitted to step over other quay cranes.

|  |
| --- |
| Ràng buộc (25) có nghĩa là mỗi cần cẩu bờ chỉ có thể phục vụ một  tàu cùng một lúc; Ràng buộc (26) chỉ ra rằng thời gian hoạt động của cần cẩu bờ trên tàu phải nằm trong thời gian xếp dỡ của tàu đó. Ràng buộc (27) biểu thị rằng số lượng cần cẩu bờ phục vụ tàu i bằng với việc phân bổ cho tàu i; Ràng buộc (28) có nghĩa là giới hạn trên và dưới của việc phân bổ cần cẩu bờ đáp ứng các yêu cầu về hạn chế hoạt động của tàu; Ràng buộc (29) cho thấy số lượng cần cẩu bờ đang hoạt động tại các cảng container ít hơn tổng số cần cẩu bờ tại các cảng container; Công thức (30) xác định phương pháp tính toán số lượng cần cẩu bờ cho các hoạt động phụ trợ di động; Ràng buộc (31) có nghĩa là cần cẩu bờ không được phép bước qua các cần cẩu bờ khác. |

* + 1. *Container truck constraints*

Following the situation of the truck collection operation, the con- straints of the truck collection operation are determined as follows:

∑

∑*j*=*B* ∑*k*∈*VOxijk* = 1, ∀*i* ∈ *V* (23)

*c n*=1

*CKnt* ≤ *M*

(32)

*x* × *TA* ≤ *x* ′ *TA* ′ , ∀*i*, *i*′ ∈ *V*, ∀*j* ∈ *B*, ∀*k* ∈ *VO* (24)

*ijk*

*ij*

*ij*

*h*

*i i j*(*k*+1) *i*

*TH* = *D* /*v* , ∀*i* ∈ *V*, ∀*j* ∈ *B* (33)

Constraint (7) means the calculation method of the vessel actual arrival time; Constraint (8) represents that the vessel arrival offset time should meet the Erlang distribution; Constraint (9) represents that when the vessel enters the port, the time for sailing into the channel ought to be later than the time for the vessel arriving at the port; Constraint (10) represents the calculation method of the vessel sailing out of the chan- nel; Constraint (11) shows that the working time of the vessel ought to be later than the time for the vessel sailing out of the channel; Constraint

(12) shows that the vessel waiting time should not be later than the waiting time threshold; Constraint (13) represents the calculation method of the actual loading and unloading operation time; Constraint

(14) represents that when the vessel leaves the container port, the time for sailing into the channel ought to be later than the time for leaving the berth; Constraint (15) represents the calculation method for the time when the vessel leaves the container port; Constraints (16)-(19) mean that vessels are affected by tidal factors, and large vessels are only allowed to enter the container port through the waterway at the tide level; Constraints (20)-(21) mean that the berth of the vessel should meet the requirements of the vessel draught and length; Constraint (22) means that only one vessel is permitted to load and unload at each berth at a time; Constraint (23) shows that the number of berths for the vessel

is only once. Constraint (24) shows that if vessels *i* and *i*′ are the *k-*th and

*TLij* = *Dij*/*vl*, ∀*i* ∈ *V*, ∀*j* ∈ *B* (34)

*vh* ∼ *N*(*vh*; *μvh*,*δ*2 ) (1)

*vh*

*vl* ∼ *N*(*vl*; *μvl*,*δ*2 ) (2)

*vl*

*CEn* = *CKnt* max(*THij* + *TLij* + 1 *CF*0, *CKnt CE*0), ∀*n* ∈ *C*, ∀*t* ∈ *T* (37) Constraint (32) means that the number of working trucks at time *t*

/ / /

should not surpass the total number of available trucks in the container port; Constraints (33)-(34) represent the empty container and heavy- load transportation time when vessel *i* is docked at berth *j*; Constraints (35)-(36) mean that the no-load and heavy-load speeds of the truck follow a normal distribution; [Eq. (37)](#_bookmark19) defines the calculation method of actual working efficiency of quay crane.

|  |
| --- |
| Theo tình hình hoạt động thu gom xe tải, các ràng buộc của hoạt động thu gom xe tải được xác định như sau  Ràng buộc (32) có nghĩa là số lượng xe tải đang hoạt động tại thời điểm t  không được vượt quá tổng số xe tải có sẵn tại cảng container; Các ràng buộc (33)-(34) biểu thị thời gian vận chuyển container rỗng và hàng nặng khi tàu i neo đậu tại bến j; Các ràng buộc (35)-(36) có nghĩa là tốc độ không tải và hàng nặng của xe tải tuân theo phân phối chuẩn; Công thức (37) xác định phương pháp tính hiệu suất làm việc thực tế của cần cẩu bến. |

* + 1. *Other constraints*

*xijk* ∈ {0, 1}, ∀*i* ∈ *V* (38)

*qin* ∈ {0, 1}, ∀*i* ∈ *V*, ∀*n* ∈ *C* (39)

(*k* + 1)-th to be served, then the service time of vessel *i* should be earlier than that of vessel *i*′.

|  |
| --- |
| Ràng buộc (7) có nghĩa là phương pháp tính toán thời gian tàu thực tế đến; Ràng buộc (8) biểu thị rằng thời gian bù trừ tàu đến phải đáp ứng phân phối Erlang; Ràng buộc (9) biểu thị rằng khi tàu vào cảng, thời gian đi vào kênh phải muộn hơn thời gian tàu đến cảng; Ràng buộc (10) biểu thị phương pháp tính toán tàu ra khỏi kênh; Ràng buộc (11) cho thấy thời gian làm việc của tàu phải muộn hơn thời gian tàu ra khỏi kênh; Ràng buộc  (12) cho thấy thời gian chờ của tàu không được muộn hơn ngưỡng thời gian chờ; Ràng buộc (13) biểu thị phương pháp tính toán thời gian hoạt động xếp dỡ thực tế; Ràng buộc  (14) biểu thị rằng khi tàu rời cảng container, thời gian đi vào kênh phải muộn hơn thời gian rời bến; Ràng buộc (15) biểu thị phương pháp tính toán thời gian tàu rời cảng container; Các ràng buộc (16)-(19) có nghĩa là các tàu chịu ảnh hưởng của các yếu tố thủy triều và các tàu lớn chỉ được phép vào cảng container qua tuyến đường thủy ở mức thủy triều; Các ràng buộc (20)-(21) có nghĩa là bến tàu phải đáp ứng các yêu cầu về độ mớn nước và chiều dài của tàu; Các ràng buộc (22) có nghĩa là chỉ một tàu được phép bốc xếp tại mỗi bến tại một thời điểm; Các ràng buộc (23) cho thấy số bến cho tàu  chỉ là một lần. Các ràng buộc (24) cho thấy nếu tàu i và i′ là tàu thứ k và (k + 1) được phục vụ, thì thời gian phục vụ của tàu i phải sớm hơn tàu i′. |

*μiu*

∈ {0, 1}, ∀*i* ∈ *V* (40)

* + 1. *Quay crane constraints*

By the quay crane loading and unloading process, the constraints of the quay crane operation are determined as follows:

*νiu* ∈ {0, 1}, ∀*i* ∈ *V* (40)

[Eq. (38)](#_bookmark20)-(41) define 0–1 variables.

*v i*=1

∑

*qitn* = 1, ∀*n* ∈ *C*, ∀*t* ∈ *T* (25)

* 1. *Determination of dependent variables*

∑*c q*

(*t* — *TS* )(*TD* — *t*) ≥ 0, ∀*i* ∈ *V*, ∀*t* ∈ *T* (26)

Based on the above constraints, the relationship between the

*n*=1 *itn i* *i*

dependent variable and the input variable is determined, and the

objective function value can be calculated. The specific process is

*v n*=1

∑

*qitn* = *VCit*, ∀*i* ∈ *V*, ∀*t* ∈ *T* (27)

determined as follows:

Step 1Data initialization. Let *i* = 1, go to Step2;.

*VCmi* ≤ ∑*n*∈*Cqitn* ≤ *VCMi*, ∀*i* ∈ *V* (28)

Step 2Retrieve data. According to the berthing sequence *VOi*, obtain the berthing berth *VBi* of the vessel whose berthing sequence is *i*, the

*v i*=1

∑

∑

*c n*=1

*qitn* ≤ *c*, ∀*t* ∈ *T* (29)

number of allocated quayside cranes *VCi*, and the number of allocated trucks *CK**n*, and then go to Step 3;.

Δ*VCit* = *VCit*, — *VCit*—1, ∀*i* ∈ *V*, ∀*t* ∈ *T* (30)

—1

⎧⎨

Step 3Determine the type of vessel. If vessel *i* is large, go to Step4, otherwise, skip to Step6;.

Step 4Determine the water level at this time. If the water level is

*qit*(*n*—1) + *qit*(*n*+1)—*qitn* =

0 , ∀*i* ∈ *V*, *n* ∈ *C*, ∀*t* ∈ *T* (31)

⎩ 1

high, skip to Step 6, if not, go to Step 5;.

Step 5Compute the time for the vessel sailing into the channel when the water level rises. Vessel *i* waits at the anchorage outside the port

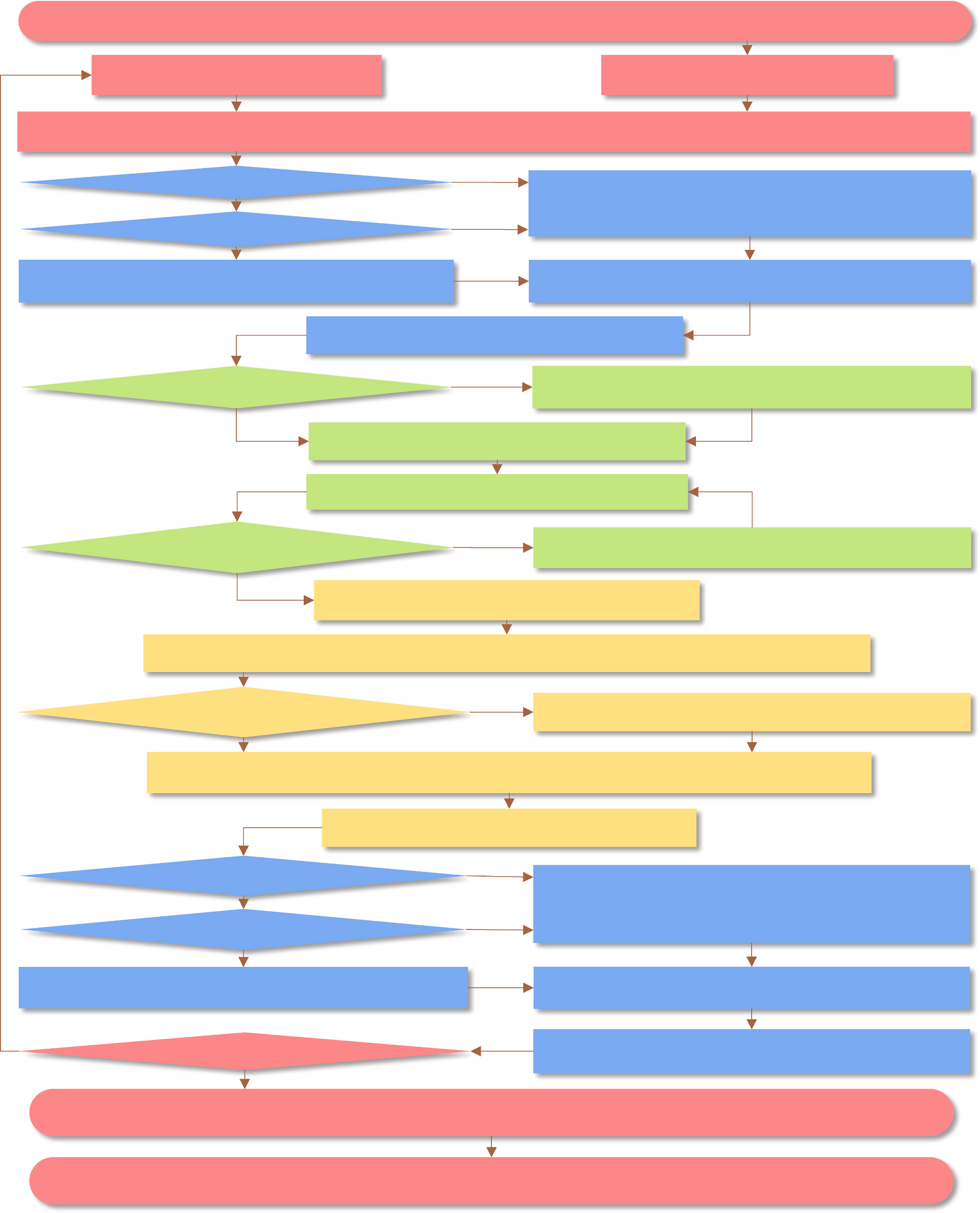
Constraint (25) means that each quayside crane can only serve one

vessel at the same time; Constraint (26) indicates that the quay crane operations time on the vessel should be within the loading and unloading period of that vessel. Constraint (27) represents that the number of quayside cranes serving vessel *i* is equal to allocating to vessel

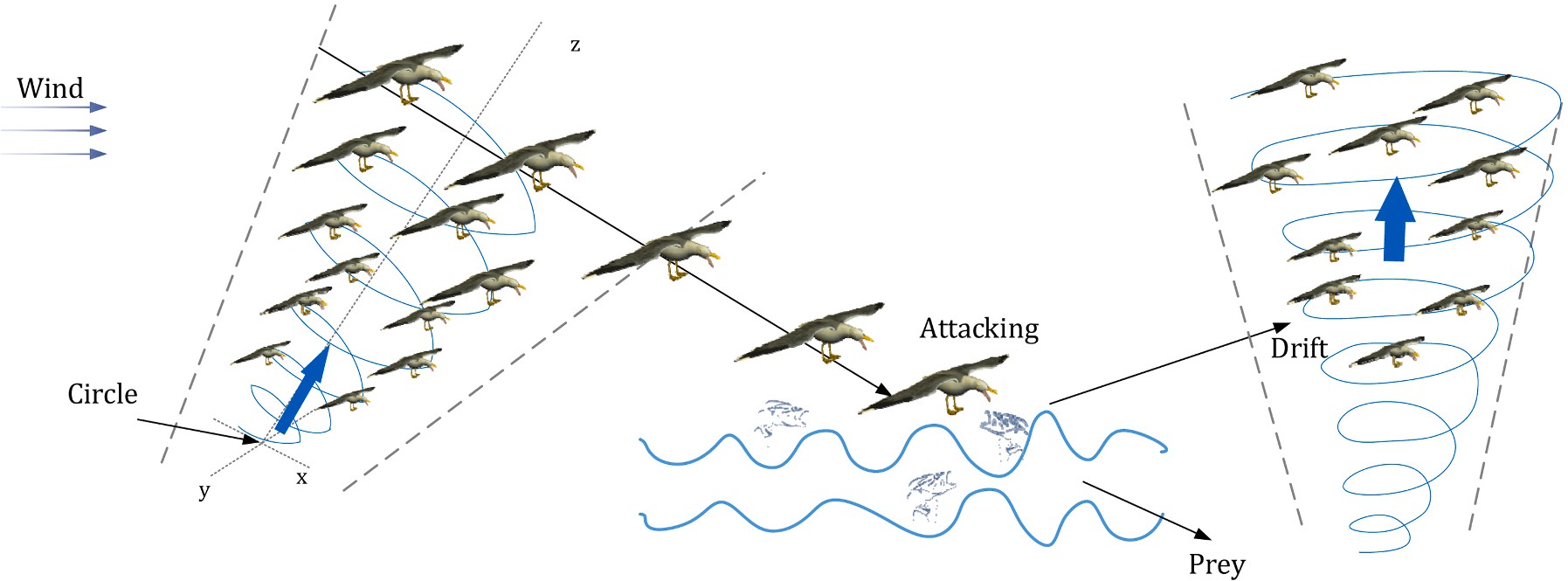
until the water level is high, then vessel *i* starts to enter the channel. Calculate the start time *TBi* for the vessel *i* sailing into the channel, and skip to Step 7;.

Step 6Compute the time when the vessel sails into the channel. Vessel *i* starts to enter the channel. Calculate the start time *TBi* for the

|  |
| --- |
| Dựa trên các ràng buộc trên, mối quan hệ giữa biến phụ thuộc và biến đầu vào được xác định và giá trị hàm mục tiêu có thể được tính toán. Quy trình cụ thể được xác định như sau:  Bước 1Khởi tạo dữ liệu. Cho i = 1, chuyển đến Bước 2;  Bước 2Truy xuất dữ liệu. Theo trình tự cập bến VOi, hãy lấy bến cập bến VBi của tàu có trình tự cập bến là i, số lượng cần cẩu bến cảng được phân bổ VCi và số lượng xe tải được phân bổ CKn, sau đó chuyển đến Bước 3;.  Bước 3Xác định loại tàu. Nếu tàu i lớn, chuyển đến Bước 4, nếu không, chuyển đến Bước 6;.  Bước 4Xác định mực nước tại thời điểm này. Nếu mực nước cao, chuyển đến Bước 6, nếu không, chuyển đến Bước 5;.  Bước 5Tính thời gian tàu đi vào kênh khi mực nước dâng cao. Tàu i đợi ở nơi neo đậu bên ngoài cảng  cho đến khi mực nước cao, sau đó tàu i bắt đầu đi vào kênh. Tính thời gian bắt đầu TBi cho tàu i đi vào kênh và chuyển sang Bước 7;.  Bước 6Tính thời gian tàu đi vào kênh. Tàu i bắt đầu đi vào kênh. Tính thời gian bắt đầu TBi cho |



**Fig. 1.** Determination of dependent variables flowchart.



**Fig. 2.** Migration and predation behavior of seagulls.

vessel *i* sailing into the channel, and go to Step7;.

Step 7Calculate the time for the vessel sailing out of the channel. Calculate and record the time *TCi* of vessel *i* entering the port according to [Eq. (10), and go](#_bookmark14) to Step 8;.

Step 8Determine the vacancy of the berth. If the berth *VBi* is idle, go to Step9; if not, skip to Step10;.

Step 9Calculate the time when the vessel starts working operations. When vessel *i* berths, update the usage status of berth *VBi*, record the berthing time *TSi* of berthing vessel *i*, and go to Step11;.

Step 10Calculate the time required for anchorage to wait for the vessel to start loading and unloading operations. Vessel *i* waits at anchorage in the port until berth *VBi* is free, and then berths. Update the usage status of berth *VBi*, record the berthing time *TSi* of vessel *i*, and transfer to Step11;.

Step 11Determine whether the quay crane meets the predetermined requirements. If the number of continuous free quayside cranes at the berth *VBi* of vessel *i* and its adjacent berths meet the requirements of *VCi*, go to Step 12, else skip to Step 13;.

Step 12Compute the time when the vessel finishes working opera- tions when the quayside cranes meet the predetermined requirements. Compute the quay crane’s actual working efficiency *CEn* according to the [Eq. (37)](#_bookmark19). Calculate and record the vessel working service completion time *TDi* following the [Eq. (13)](#_bookmark15), update the berth and quay crane idle time, and skip to Step 14;.

Step 13Compute the time for the vessel to end working operations when the quayside cranes do not meet the predetermined requirements.

[Eq. (15), and go](#_bookmark17) to Step 19;.

Step 19Judge whether the calculation of all arriving vessels is completed. If *i* ≥ *v*, go to Step21, otherwise, go to Step20;.

Step 20Do the next vessel calculation. Let *i* = *i* + 1, redirect to

Step2;.

Step 21Calculate the objective function value according to [Eq. (1)](#_bookmark18). Step 22Complete the determination of all dependent variables.

The flow chart of determining dependent variables is shown in [Fig. 1](#_bookmark22):

|  |
| --- |
|  |

# Chaos quantum adaptive seagull optimization algorithm (CQASOA) and TEU-BQCT model solving method

Aiming at the solution problem of the container port dispatching scale model, given the good performance of SOA in other similar fields [[48,49]](#_bookmark102), this paper attempts to adopt SOA to solve the TEU-BQCT model.

|  |
| --- |
|  |

* 1. *Standard Seagull optimization algorithm (SOA)*

SOA is divided into migration behavior and attack behavior[[3]](#_bookmark64). These two behaviors can be depicted by [Fig. 2](#_bookmark23). A brief description of the algorithm process is as follows:

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Migratory behavior*
       1. **Avoid collision:** The formula for updating the new position of the seagull is shown [Eq. (42)](#_bookmark25). Variable s determined as shown in [Eq.](#_bookmark26) [(43)](#_bookmark26),

Compute the actual working efficiency *CEn* according to the [Eq. (37)](#_bookmark19).

*Ct* = *A* × *Pt*

(42)

Record the number of quayside cranes that can be loaded and unloaded *s s*

at this time as *VCit*. After the adjacent quay cranes are idle, under the

where *Ct* means a new location that does not make a collision with

condition that the continuity constraints of the quay cranes are satisfied, *s t*

calculate and record the service completion time *TDi* of vessel loading and unloading operations according to the [Eq. (13)](#_bookmark15), and update berth and quay crane idle time, go to Step 14;.

Step 14Determine the type of vessel. If vessel *i* is a large vessel, go to Step 15, otherwise, go to Step 17;.

Step 15Determine the water level at this time. If the water level is high, go to Step17, otherwise, go to Step16;.

Step 16Calculate the time to wait for the vessel to enter the channel when the water level rises. Vessel *i* is at the anchorage in the port and

adjacent seagulls; *t* means the current number of iterations; *Ps* means the current position of the seagulls.

*A* = *fc* – [*t* × (*fc* / *T*max)] (43)

The value of variable A varies linearly with *fc*, take *fc* = 2. *T*max is the maximum number of iterations.

|  |
| --- |
|  |

* + - 1. **Best position direction:** To avoid collision between seagulls, the seagulls will move towards the best seagull location direction as [Eq.](#_bookmark27) [(44)](#_bookmark27),

waits until the water level is at a high water level, and then, starts to sail

*Mt* = *B* × (*Pt*

— *Pt* ) (44)

into the channel. Record the start time *TEi* sailing out of the channel, and *s*

*bs s*

skip to Step 18;.

where *Mt* represents the best seagull position direction; *Pt*

is the best

Step 17Compute the time when the vessel sails into the channel. *s bs*

Vessel *i* starts to sail into the channel. Record the start time *TEi* for vessel

*i* sailing into the channel, and transfer to Step 18;.

Step18Compute the departure time of the vessel. Vessel *i* sails out of the port. Calculate and record the departure time *TFi* according to the

seagull position; *B* is a random number, and its expression is determined as Eq. (45),

*B* = 2 × *A*2 × *rd* (45)

|  |
| --- |
|  |

**Table 2**

Cat chaotic map and random point distribution comparison table.

SOA population is improved, so that the generated initial population has better diversity. The chaotic maps commonly used in optimization al- gorithms are Logistic mapping [[50]](#_bookmark103), Tent mapping [[51]](#_bookmark104), An mapping [[52]](#_bookmark105), and so on. Compared with other chaotic mappings, Cat mapping has better distribution characteristics [[17]](#_bookmark73), so the initialization form of the Cat chaotic map sequence is proposed in the paper. The Cat mapping expression can be as [Eq. (50)](#_bookmark29),

*xn*+1 = (*xn* + *yn*)mod1 *yn*+1 = (*xn* + 2*yn*)mod1

{

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Interval | Random | Cat Map |
| [0, 0.1) | 5188 | 5049 |
| [0.1, 0.2) | 4995 | 4920 |
| [0.2, 0.3) | 5039 | 4975 |
| [0.3, 0.4) | 5068 | 5028 |
| [0.4, 0.5) | 4879 | 4981 |
| [0.5, 0.6) | 4867 | 5048 |
| [0.6, 0.7) | 5116 | 5058 |
| [0.7, 0.8) | 4860 | 4962 |
| [0.8, 0.9) | 5023 | 4999 |
| [0.9, 1) | 4965 | 4980 |
| Variance | 10,865.4 | 1808.4 |

(50)

where *rd* is a random number between [0,1].

* + - 1. **Approaching the optimal seagull position:** After the individual seagull reaches a location that does not conflict with other seagulls, the

where *x* mod 1 = *x* – [*x*] means that only the fractional part of *x* is taken; *xn*, *yn* are the values of the cat mapping parameter calculated for the *n*-th time.

|  |
| --- |
|  |

The two-dimensional Cat mapping matrix form expression is as [Eq.](#_bookmark30) [(51)](#_bookmark30),

[ *xn*+1 ] = [ 1 1 ][ *xn* ]mod1 = *C*[ *xn* ]mod1 (51)

seagull will update its position to make it closer to the optimal seagull position, as [Eq. (46)](#_bookmark31),

*yn*+1

1 2 *yn yn*

*Dt Ct Mt*

where *C* = [ 1 1 ] and |*C*| = 1.

*s* = | *s* + *s* | (46)

1 2

The Cat map and random point-point distribution were tested 50,000

where *Dt* is a new location for seagulls to migrate.

*s*

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Aggressive behavior*

When seagulls attack their prey, they need fly downward in a spiral, and continuously alter the direction and angle of the attack, which can be expressed as [Eq. (47)](#_bookmark32),

⎧⎪⎪

*X* = *r* × cos*θ*

⎨ *Y* = *r* × sin*θ*

times, and their distribution in the 0–1 interval was calculated as shown in [Table 2](#_bookmark28). By calculating the variance of the interval distribution case, it can be seen that the Cat map has a better distribution over the entire solution space.

In the process of population initialization, if the number of popula- tion samples is *n*, then the entire initialized population can be expressed as follows **x** = [*x*1, *x*2,., *xn*]. The population individuals *x*1 and auxiliary

parameter *y*1 are randomly generated within the population definition

*Z* = *r* × *θ*

⎪

⎩ *r* = *u* × *eθv*

(47)

domain, *x*2 and *y*2 are calculated according to [Eqs. (50) and (51)](#_bookmark29), and the other populations are calculated sequentially. The calculated **x** is the population.

|  |
| --- |
|  |

where *r* is the radius of the spiral flight when the seagull is attacking; *θ* is a random angle value in the interval [0, 2*π*]; *u* and *v* are constants; *e* is the base of the natural logarithm.

The seagull attack in a spiral can be expressed as [Eq. (48)](#_bookmark33),

* + 1. *Design of quantum seagull optimization algorithm (QSOA)*

Quantum computing is an emerging computing model based on quantum mechanics. Given the superposition principle of quantum

*Pt* = *Dt* • *X* • *Y* • *Z* — *Pt*

(48)

mechanics, computing efficiency is improved. In quantum computing,

*s s bs*

where *Pt* means the attack location of the seagull in the spiral motion. The SOA iteration formula can be obtained by the synthesis of [Eqs.](#_bookmark25)

*s*

[(42) to (48)](#_bookmark25),

the logical transformation function of qubits is usually realized through a series of unitary transformations. A quantum device that implements logical transformations within a certain time interval is called a quan- tum gate. Commonly used single-bit quantum gates include the phase gate, *π*/8 gate, Hadamard gate, quantum revolving gate, and so on. A

*Pt*+1 = *Pt*

+ |*B* • *Pt*

+ (*A* — *B*)*Pt* | • *X* • *Y* • *Z* (49)

quantum revolving gate can be represented as [Eq. (52)](#_bookmark35),

*s bs bs s*

|*φ*′〉 = *R*|*φ*〉 = [ cosΔ*φ* —sinΔ*φ* ][ cos*φ* ] = [ cos(*φ* + Δ*φ*) ] (52)

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *SOA existing problems and improvement methods*

Although SOA has the advantages of better optimization perfor-

sinΔ*φ* cosΔ*φ*

sin*φ*

sin(*φ* + Δ*φ*)

mance and faster calculation speed than traditional optimization algo- rithms, it still has the problem of weak global perturbation ability and easily falling into the local optimal solution. Therefore, based on the chaotic map, the population initialization method is improved to in- crease the global distribution of the SOA initial population; Based on the quantum revolving gate and the quantum NOT gate, the population iterative update process is made better to enhance the calculation speed; The nonlinear convergence factor is introduced to increase the global disturbance capability in the early stage and the local search capability in the later stage. Then, a novel chaotic quantum adaptive seagull

where |*φ*〉 is the phase before the quantum revolving door trans- formation; |*φ*′〉 is the phase after the quantum revolving door trans-

formation; Δ*φ* is the phase rotation radian of the quantum revolving door.

Due to the high efficiency of quantum computing, the computational performance and convergence speed of intelligent optimization algo- rithms can be improved through quantum revolving gates [[53]](#_bookmark106). The quantum revolving gate is tried to enhance the convergence speed and precision of SOA by combining [Eqs. (52) and (49)](#_bookmark35), and the following expression ([Eqs. (53) to (55)](#_bookmark36)) will be satisfied:

optimization algorithm is proposed, named CQASOA.

|  |
| --- |
|  |

* 1. *Design of chaos quantum adaptive seagull optimization algorithm (CQASOA)*

*φ* = *Pt*

*φ*′ = *Pt*+1

*s*

*bs*

(53)

(54)

Δ*φ* = |*B* • *Pt* + (*A* — *B*)*Pt* | • *X* • *Y* • *Z* (55)

*bs s*

* + 1. *Design of chaos seagull optimization algorithm (CSOA)*

Compared with random algorithms, chaotic maps are more ergodic. In this paper, based on the chaotic map, the initialization process of the

The direction of the corner Δ*φ* can be selected according to the following rules: When *R* ‡ 0, the direction is -sgn(*R*); When *R* = 0, the

|  |
| --- |
|  |



**Fig. 3.** CQASOA flowchart.

direction can be positive or negative.

In quantum computing, quantum phase transitions can be achieved through quantum NOT gates. In the intelligent optimization algorithm, the global traversal range of the algorithm can be increased according to the performance of the quantum NOT gate [[54]](#_bookmark107). For the problem of falling into the local optimal solution easily, this paper attempts to globally perturb the individual location of the population via the quantum NOT gate to escape from the local optimum and enhance the

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| global search ability of SOA. The quantum NOT gate expression can be | allocated *VC* | 3,:] |  | | | | | |
| determined as [Eq. (56)](#_bookmark38), | Fourth row: Quantity of allocated *VK* | *SEAGULL* [*p*, 4,:] | 11 | 8 | 14 | 9 | 10 | 13 |

[ 0 1 ][ cos*φ* ] = [ sin*φ* ] = [ cos(*π*/2 — *φ*) ] (56)

1 0

sin*φ*

cos*φ*

sin(*π*/2 — *φ*)

where *φ* is the transformation phase of the quantum NOT gate, which can be determined by [Eq. (53)](#_bookmark36).

In QSOA, the probability of the quantum phase passing through the quantum NOT gate is set to *pm*. After passing through the quantum revolving gate, a random number *p* is generated between [0,1]. If *p* < *pm*, it passes through the quantum NOT gate, otherwise it enters the next iterative process.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Design of adaptive parametric seagull optimization algorithm (ASOA)*

Considering that the SOA has the problems of weak disturbance ability in the early stage and insufficient local exploration ability in the later stage, adaptive parameters are introduced. In SOA, the values of parameters *A* and *B* affect the global perturbation ability and local exploration capability. And parameter *A* is related to *B*. Therefore, this paper attempts to improve the linear convergence parameter *A*. A nonlinear function is considered added to establish a functional rela- tionship between the number of iterations *t* and the convergence parameter *A*, to strengthen the early global disturbance capability and later local development capability. The specific expression is as [Eq. (57)](#_bookmark40),

**Table 3**

Coding Rule Matrix Numerical Example of individual *p*.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Vessel ID |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |  |
| First row: Berthing sequence | *SEAGULL* [*p*, | 3 | 5 | 4 | 2 | 1 |  | 6 |
| *VO* | 1,:] |  |  |  |  |  |  |  |
| Second row: Berthing | *SEAGULL* [*p*, | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 |  | 4 |
| position *VB* | 2,:] |  |  |  |  |  |  |  |
| Third row: Quantity of | *SEAGULL* [*p*, | 2 | 3 | 2 | 1 | 5 |  | 5 |

*A* = *fc*{cos[*π* • (*t*/*t*max) + 1]}/2 (57)

where variable *A* changes nonlinearly and adaptively with *fc*, take *fc* = 2, following the addition of the number of iterations, the variable *A* de- clines nonlinearly from 2 to 0; *t* is the current number of iterations; *T*max

is the maximum number of iterations.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Design of chaos quantum adaptive seagull optimization algorithm (CQASOA)*

Because the three algorithms CSOA, QSOA, and ASOA have their advantages, this paper attempts to integrate the above three improved methods to obtain CQASOA. The flowchart of CQASOA are shown in [Fig. 3](#_bookmark37):

* 1. *The design of the solution method for solving the TEU-BQCT model based on CQASOA*
     1. *Formulation of coding rules for TEU-BQCT model*

Aiming at facilitating the expression of optimization variables in the process of model solving, a natural number encoding matrix of berthing

order, assigned berth, assigned quay crane number, and assigned container truck number is constructed. The number of matrix columns is *v*, which depends on the total number of vessels sailing into the port; The number of rows in the matrix is four, the first row represents the order of vessels sailing into the port (***VO***), the second row means the serial number of the berth to be parked (***VB***), the third row represents the serial number of allocated quay cranes (***VC***), and the fourth row is the number of sets of trucks (***VK***). A simple numeric instance of the coding method is shown in [Table 3](#_bookmark39). The first column of the coding matrix is taken as an example: the vessel is numbered 1, the order of vessels sailing into the port is 3, the serial number of the berth to be parked is 3, the number of allocated quay cranes is 2, and the number of allocated trucks is 11.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Design of feasible-integration algorithm (F-IA) for TEU-BQCT model* According to the port operation process, *VOi*, *VBi*, *VCi*, and *VKi* are natural numbers, so the coding matrix is defined as a matrix of natural numbers. The iterative calculation result of CQASOA is a real number,

Step15If *q* ≥ *v*, go to Step17, else go to Step16;. Step16Let *q* = *q* + 1, go to Step14;.

Step17If *p* ≥ *seagull\_size*, go to Step19, otherwise go to Step18;. Step18Let *p* = *p* + 1, go to Step2;.

Step 19Complete feasible integration.

In F-IA, Steps 2 to 4 are feasible-integer processing for vessel berthing sequence; Steps 5 to 8 are feasible-integer processing for berthing berths; Steps 9 to 12 are feasible-integer processing for allocating the number of quay cranes; Steps 13 to 16 are the feasible-integer processing for allo- cating trucks.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Construction of external penalty function adapted to TEU-BQCT model*

Aiming at the vessel docking time constraint (12) and the number of truck operations (32), the external penalty method is tried used as solving the TEU-BQCT [[55]](#_bookmark108). Based on the model objective function construction method of [Eq. (1)](#_bookmark18), the external penalty function auxiliary function *F\_punish* is constructed as Eq. (58),

thus, a feasible-integration algorithm (F-IA) suitable for the TEU-BQCT model is designed to make the optimization variables of each update

*F\_punish* =ω1⋅*k*1⋅*F\_punish*1 + ω2⋅*k*2⋅*F\_punish*

2 + ω3⋅k*c*3⋅*F\_punish*3

(58)

iteration meet the requirements of natural numbers.

The algorithm is mainly divided into four parts, which respectively perform feasible integer processing for the four-row vectors of the encoding matrix. In this paper, the coding matrix is ***SEAGULL* [*p*,:,:]** individual *p* as an example (where *SEAGULL* [*p*, 1, *q*] represents the value corresponding to the *q*-th column of the first row; *seagull\_size* is the population size), and the design process is introduced as follows:

Step1Let *p* = 1, go to Step2;.

Step2If the variables in the first row ***SEAGULL* [*p*, 1,:]** are not equal, then go to Step3, otherwise go to Step4;.

where *F\_punish* is the auxiliary function of the objective function *F*; *F\_punish*1, *F\_punish*2, and *F\_punish*3 are the auxiliary functions of the sub- objective functions *F*1, *F*2, and *F*3; *ω*1, *ω*2, and *ω*3 are the weight adjustment factors; *k*1, *k*2, and *k*3 are the quantities level balance factor. (The weight adjustment factor and the magnitude balance coefficient both satisfy the condition of [Eq. (2)](#_bookmark12)).

The auxiliary functions *F\_punish*1, *F\_punish*2, and *F\_punish*3 can be determined as [Eqs. (59) to (61)](#_bookmark41),

*F*\_*punish* = *F* + *μ* ∑*v* max[(*TSi* — *TAi*) — *TW* , 0] (59)

1

1

1

*i*=1

0

Step3Sort ***SEAGULL* [*p*, 1,:]** by numerical size, and use the corre-

sponding numerical order as the vessel berthing order ***SEAGULL*1 [*p*,**

**1,:]**, let ***SEAGULL\_NEW* [*p*, 1,:]** = ***SEAGULL***

**1**

**[*p*, 1,:]**, go to Step5;.

*F*\_*punish* = *F* + *μ* ∑*T* [∑*c* max(*CK* — *M*, 0)] (60)

Step4Sort ***SEAGULL* [*p*, 1,:]** by numerical size, and use the corre- sponding numerical order as the vessel berthing order ***SEAGULL*1 [*p*, 1,:]**, where for vessels with equal values, the order is determined ac-

2

2

2

*t*

*n*=1

*nt*

cording to the berthing order before evolution, let ***SEAGULL\_NEW* [*p*, 1,:]** = ***SEAGULL*1 [*p*, 1,:]**, go to Step5;.

Step5Let *q* = 1, go to Step6;.

|  |
| --- |
|  |

Step6Round up the berth *SEAGULL* [*p*, 2, *q*] of the *q*-th vessel in individual *p* to obtain *SEAGULL*1 [*p*, 2, *q*], and judge whether *SEAGULL*1 [*p*, 2, *q*] satisfies the berthing constraints, if so, let *SEAGULL\_NEW* [*p*, 2,

*F*\_*punish*3 = *F*3 (61)

where *F*1, *F*2, and *F*3 are the sub-objective function values 1–3, which are determined by [Eqs. (3), (4), and (6)](#_bookmark13); *TSi* is the time when vessel *i* starts working operations; *TAi* is the actual arrival time of vessel *i*; *TW*0 is the vessel’s maximum allowable waiting time; *CKnt* is the number of trucks serving quayside crane *n* at time *t*; *M* is the total number of trucks that can be served by container ports; *μ*1 and *μ*2 are penalty factors, subject to [Eqs. (62) and (63)](#_bookmark42),

*q*] = *SEAGULL*1 [*p*, 2, *q*], if not the natural number *SEAGULL*2 [*p*, 2, *q*] is

randomly generated under the condition of satisfying the berthing constraint, and *SEAGULL\_NEW* [*p*, 2, *q*] = *SEAGULL*2 [*p*, 2, *q*], go to Step7;.

*μ*1 = exp(*T*max

*μ*2 = exp(*T*max

) (62)

) (63)

Step7If *q* ≥ *v*, go to Step9, otherwise go to Step8;. Step8Let *q* = *q* + 1, go to Step6;.

Step9Let *q* = 1, go to Step10;.

Step10Round off the number *SEAGULL* [*p*, 3, *q*] of the serial number of allocated quayside cranes to the *q*-th vessel in individual *p* to obtain *SEAGULL*1 [*p*, 3, *q*], and judge whether *SEAGULL*1 [*p*, 3, *q*] satisfies the constraints related to quay cranes, if so, let *SEAGULL\_NEW* [*p*, 3, *q*]

= *SEAGULL*1 [*p*, 3, *q*], else under the condition that the constraints are

met, the natural number *SEAGULL*2 [*p*, 3, *q*] is randomly generated, and

*SEAGULL\_NEW* [*p*, 3, *q*] = *SEAGULL*2 [*p*, 3, *q*], go to Step11;.

|  |
| --- |
|  |

Step11If *q* ≥ *v*, go to Step13, otherwise go to Step12;. Step12Let *q* = *q* + 1, go to Step10;.

Step13Let *q* = 1, go to Step14;.

Step14Round the number *SEAGULL* [*p*, 4, *q*] for the number of trucks allocated to the *q*-th vessel in individual *p* to get *SEAGULL*1 [*p*, 4, *q*], and

judge whether *SEAGULL*1 [*p*, 4, *q*] satisfies the truck constraints, if so, let *SEAGULL\_NEW* [*p*, 4, *q*] = *SEAGULL*1 [*p*, 4, *q*], else under the condition that the constraints are met, randomly generate the natural number *seagull*2 [*p*, 4, *q*], let *SEAGULL\_NEW* [*p*, 4, *q*] = *SEAGULL*2 [*p*, 4, *q*], enter

Step15;.

|  |
| --- |
|  |

During the CQASOA update iteration, the auxiliary function is replaced by the objective function for function value calculation. If the requirements of constraints (12) and (32) cannot be met, and the result

approaches + ∞, the result will be eliminated in the iterative process.

And then a solution meeting the constraints will be obtained.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Process design of solving TEU-BQCT model based on CQASOA*

CQASOA was proposed to solve the TEU-BQCT model, in order to optimize the scheduling scheme to obtain a vessel berthing sequence - berthing number - service quay cranes number - service trucks number scheduling scheme with the shortest berthing time and the lowest car- bon emission of the vessels. The process of solving the TEU-BQCT model is designed as follows:

Step1Let *t* = 1, go to Step2;.

Step2Set the population size *seagull\_size* and the number of iterations

*T*max;.

Step3Following the TEU-BQCT coding rules, the chaotic population is initialized according to the [Eqs. (50) and (51)](#_bookmark29).

Step4Feasible-integration of the initialized population based on F- IA;.

|  |
| --- |
|  |

**Table 4**

Basic information on large-scale port arrival vessels.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ID* | *VLi* | *VDi* | *VEi* | *VCmi* | *VCMi* | *Di*1 | *Di*2 | *Di*3 | *Di*4 |
| 1 | 100 | 5 | 100 | 1 | 3 | 1831 | 2290 | 2574 | 3031 |
| 2 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 | 2139 | 2566 |
| 3 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 | 2139 | 2566 |
| 4 | 250 | 15 | 500 | 1 | 4 | 3114 | 2535 | 2054 | 2922 |
| 5 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 | 2273 | 2015 |
| 6 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 | 2273 | 2015 |

**Table 5**

Basic information on small-scale port arrival vessels.

**Table 6**

Example value of weight adjustment factor and corresponding application.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ID* | *VLi* | *VDi* | *VEi* | *VCmi* | *VCMi* | *Di*1 | *Di*2 |  |  | *ω*1 | *ω*2 | *ω*3 |
| 1 | 100 | 5 | 100 | 1 | 3 | 1831 | 2290 |  | *Situation I*: Concentrate on cutting down the vessel time in | 0.5 | 0.25 | 0.25 |
| 2 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 |  | port |  |  |  |
| 3 | 200 | 8 | 250 | 1 | 3 | 2499 | 1934 |  | *Situation II*: Concentrate on cutting down truck carbon | 0.25 | 0.5 | 0.25 |
| 4 | 250 | 15 | 500 | 1 | 4 | 3114 | 2535 |  | emissions |  |  |  |
| 5 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 |  | *Situation III*: Concentrate on cutting down the carbon | 0.25 | 0.25 | 0.5 |
| 6 | 400 | 30 | 1000 | 1 | 5 | 3157 | 2861 |  | emissions of quay cranes |  |  |  |

Step5Compute the value of the auxiliary function *F\_punish* of population;.

**Table 7**

Calculation results of three groups of representative working conditions.

Step6Seek the global optimal solution and the optimal solution location;.

Step7Complete population iterative evolution based on [Eqs. (49) and](#_bookmark34) [(52)](#_bookmark34);.

Step8Randomly generate a 0–1 random number *p*, if *p* < *pm*, go to

Step9, otherwise go to Step10;.

Step9Enter the quantum NOT gate, perform quantum NOT gate transformation based on [Eq. (56)](#_bookmark38), and enter Step10;.

Step10If *t* ≤ *T*max, go to Step11, otherwise go to Step12;.

Time of vessels in port *F*1

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

Truck carbon emissions *F*2

Quay crane carbon emissions *F*3

Step11Let *t* = *t* + 1, go to Step4;.

Step 12Complete all iterative calculations and output the optimal result.

|  |
| --- |
|  |

* 1. *Rolling optimization mechanism*

Considering the problems of vessel renewal and equipment rescheduling in ports, a rolling optimization mechanism is designed to provide a practical application scheme of the TEU-BQCT\_CQASOA so- lution method for port managers in light of the characteristics of continuous working operations in ports. Based on the principle of "batches and times", this mechanism will process vessels in batches ac- cording to the estimated arrival time of vessels. When a batch of vessels sails into the port, if there are no vessels in the container port carrying out working operations, it will directly enter the optimization sequence, apply TEU-BQCT\_CQASOA to solve the scheduling scheme, and start the optimization process; If other batches of vessels are loading and unloading, the vessels go to next batch and wait for the optimization of the previous batch of vessels to start optimization.

|  |
| --- |
|  |

# Numerical experiments

* 1. *Experimental settings*

In this paper, two ports in South China are taken as examples to conduct numerical experiments. Large-scale ports have 4 berths, No.1–3 berths are 400 m in length and a draft of 20 m, No.4 berth length is 400 m and the draft is 30 m, and the total number of quay cranes is 12; Small-scale ports have 2 berths and No.1 berth has a length of 400 m, the draft is 20 m, the length of No.2 berth is 400 m, the draft is 30 m, and the total number of quay cranes is 6. The water level time window in the two ports is 6 h long. The deviation time for the arrival of vessels at the

port obeys the Erlang distribution, and the parameters are set as *kTA* = 6 and *μTA* = 0.03.

The theoretical loading and unloading efficiency of quay cranes is 2TEU/(unit⋅min). The upper limit for small, medium and large vessels to allow quay cranes to carry out working operations is 3, 4, and 5. The port is located in South China, the power grid benchmark emission factor is 0.8959, the grid work energy consumption of the quayside crane working operation is 120kWh/h and the mobile quay crane consumes 12kWh/time of electricity.

The no-load speed of the truck vh ~ *N* (*vh*; 35, 4), the unit is km/h, the truck heavy-load speed vl ~ *N* (*vl*; 25, 4), the unit is km/h. The self- weight of the truck is 4.5 tons, the idling fuel consumption rate is

2.14 L/h, the total number of trucks in the container port is 45, and the carbon emission coefficient of trucks is 2.65 kg/L. The container speci- fication is a 20-foot container, with a gross weight of 17.5 tons and a self- weight of 2.3 tons.

In this paper, 6 vessels arriving at the port are used as a group for simulation. The upper limit for vessel waiting time is set to 24 h. [Table 4](#_bookmark43) and [Table 5](#_bookmark44) show that the vessel length (*VLi*), the vessel draft (*VDi*), the deadweight (*VEi*), the preferred berth (*VPi*), the lower limit of quay cranes serving vessels (*VCmi*), the upper limit of quay cranes serving vessels (*VCMi*), and the distance between the vessel *i* docked at berth *j* and the target yard (*Dij*):

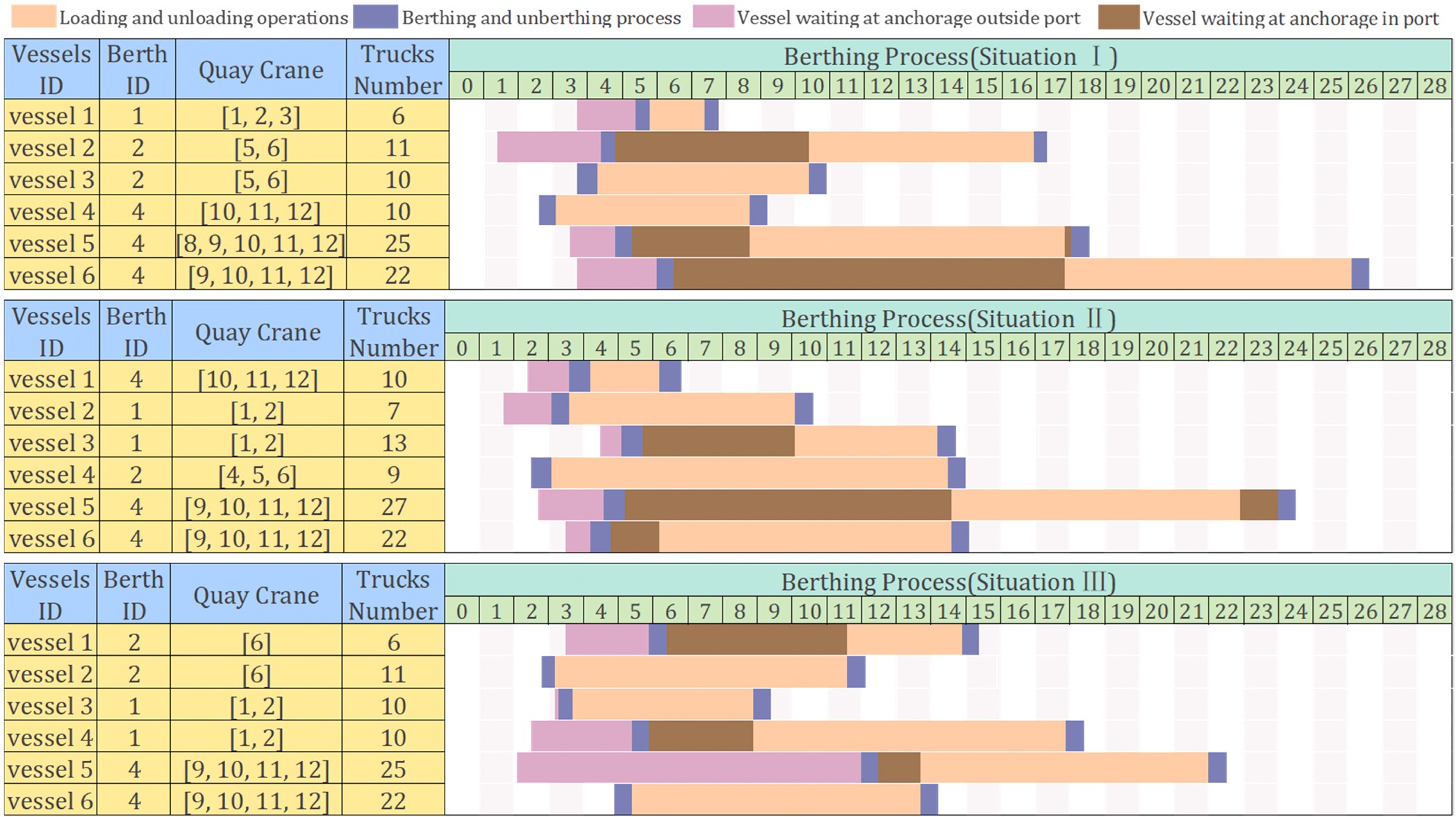
A dynamic database is completed given MySQL and the algorithm is programmed with python3.9 language. The operating environment is 7th Gen Intel(R) Core(TM) i7–7500 U, 1.99 GHz, 8.00 GB memory laptop, operating system: Windows11.

|  |
| --- |
|  |

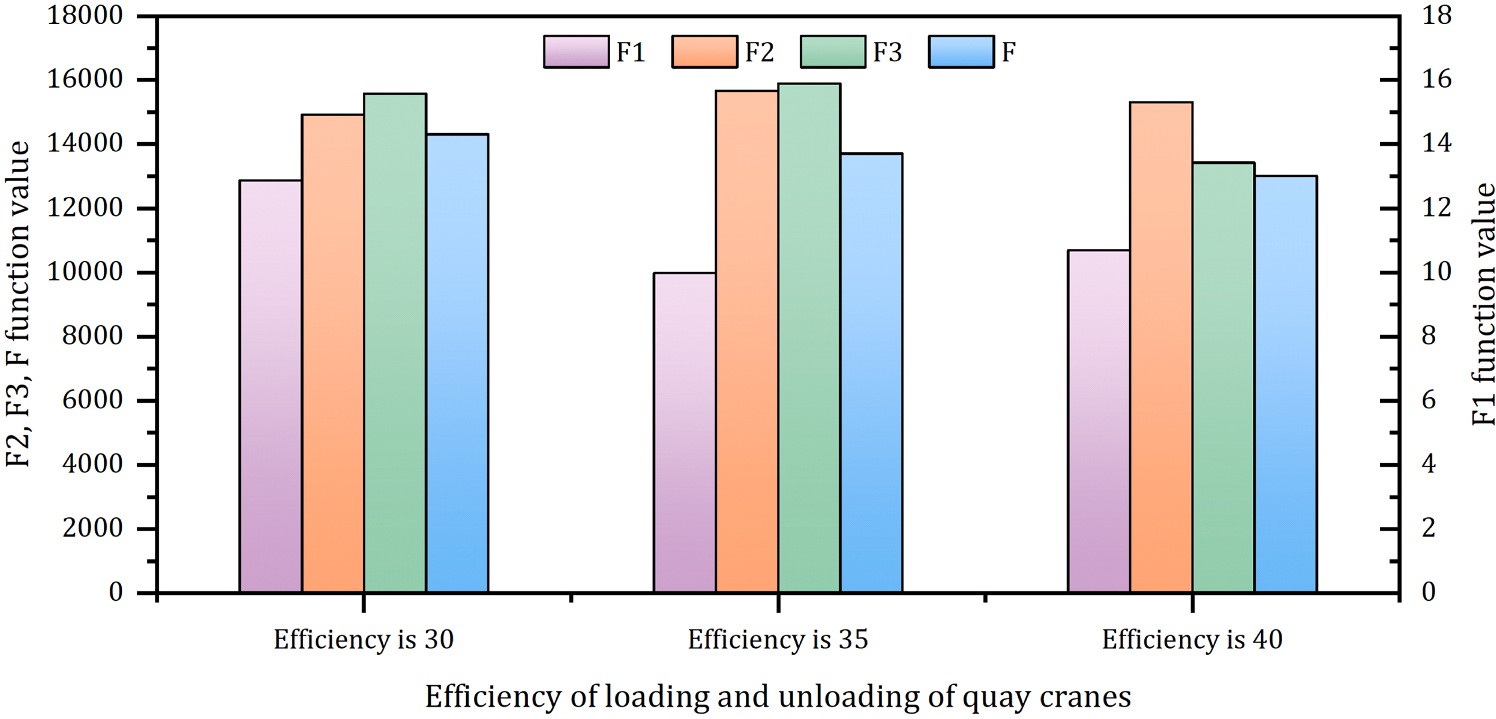
* 1. *Analysis of TEU-BQCT model performance*
     1. *Model performance analysis under different demands*

For meeting the scheduling requirements of ports in different pe- riods, the weight adjustment factors *ω*1, *ω*2, and *ω*3 are introduced into the TEU-BQCT model to realize the development of matching scheduling schemes for ports with different needs. Three groups of representative

|  |
| --- |
|  |



**Fig. 4.** Scheduling Allocation Schemes with Different Weight Coefficients.



**Fig. 5.** Effect of the working efficiency of quay cranes.

weight values and application situations are set for examining the effect of the weight adjustment factor on the TEU-BQCT model in this paper, as shown in [Table 6](#_bookmark45):

[Table 6](#_bookmark45) shows the weight coefficient values in different situations:

## Situation I:

When the container port is in the peak season and the number of vessels sailing into the port is large, which causes vessel congestion. It is necessary to cut down the time for vessels staying in the port and heighten the working operations efficiency of the container port. At this time, the value of the weight *ω*1 should be increased.

## Situation II:

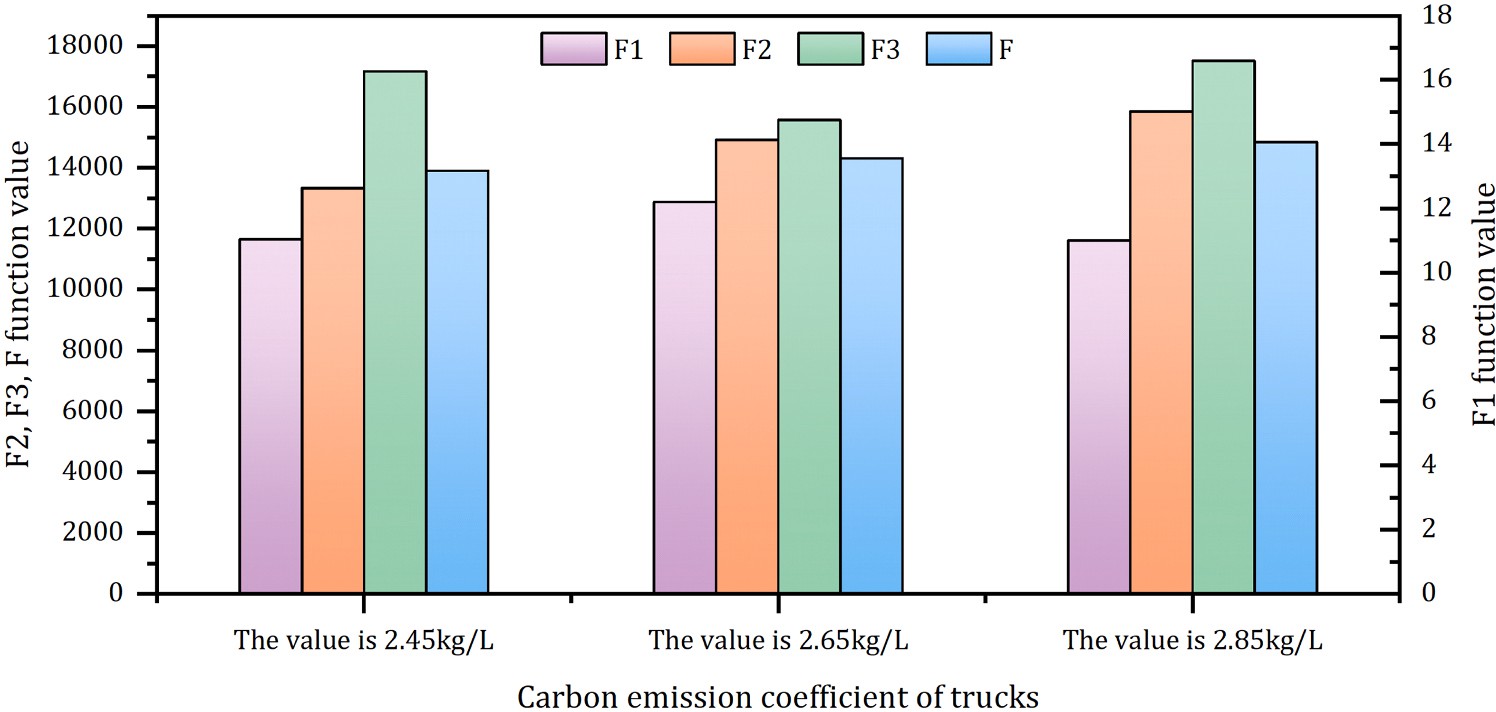
The fuel emission of trucks will reduce the environmental quality. To prevent the generation of haze, considering the environmental sensi- tivity, the value of the weight *ω*2 should be increased.

## Situation III:

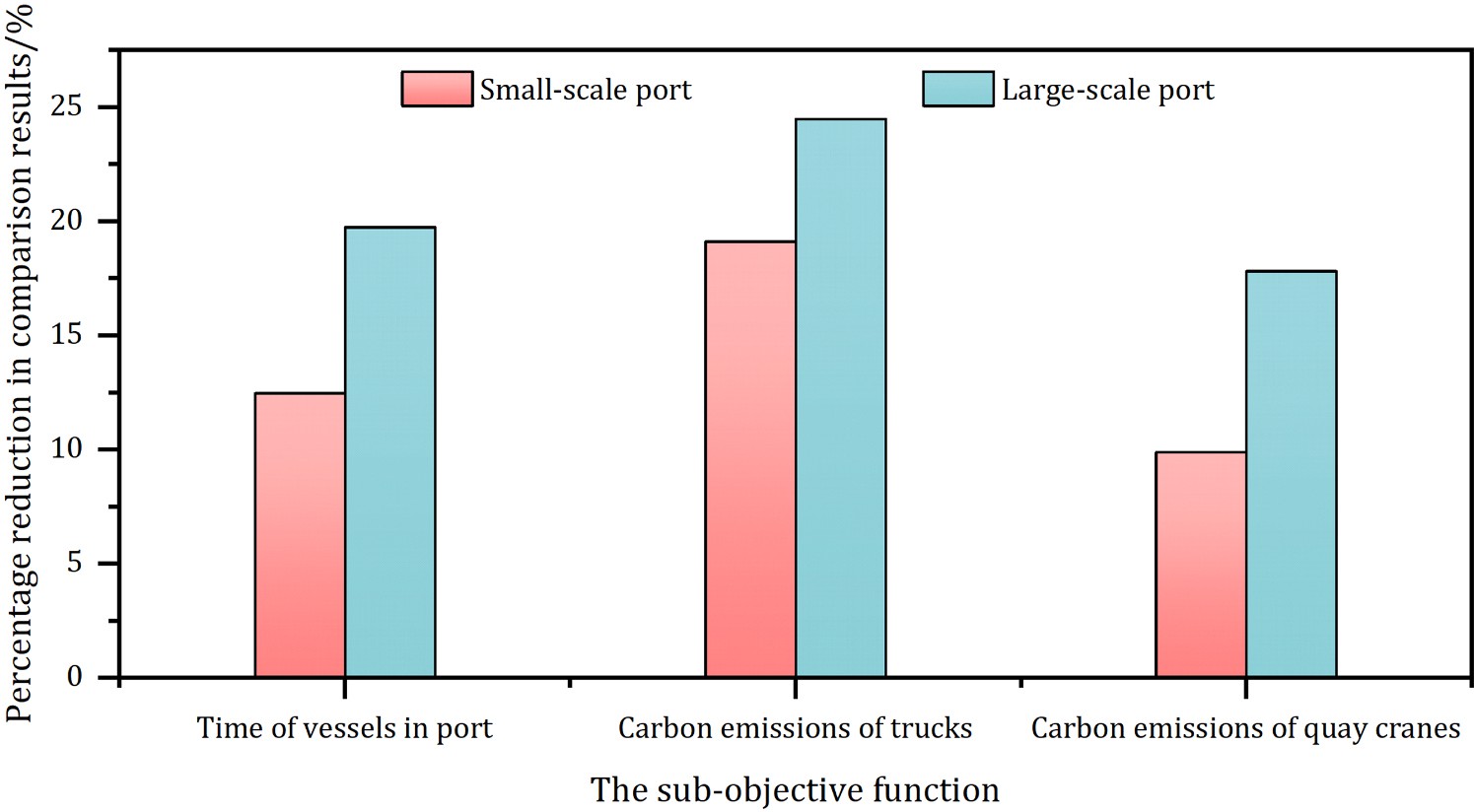
The quay crane operation will consume electric energy. If the power consumption of the port quay crane is too high, it will lead to increasing port carbon emissions. Considering the reduction of the work energy consumption generated by the quay crane operation, the value of the weight *ω*3 should be increased.

The simulation calculation is carried out according to the above three sets of weight coefficient values. Under the same conditions, the calculation results are exhibited in [Table 7](#_bookmark46), and the scheduling scheme is shown in [Fig. 4](#_bookmark49):

By comparing *Situation II* and *III* and *Situation I*, it is found that aiming at reducing the vessel turnaround time, the value of weight co- efficient *ω*1 can be increased, so that the vessels turnaround time of *Situation I* can be reduced by 5.35% and 13.15% respectively; In com- parison with *Situation I* and *III*, the truck carbon emissions of *Situation II* are decreased by 5.40% and 2.58%, which reveals that a dispatch plan



**Fig. 6.** Effect of the carbon emission coefficient of trucks.



**Fig. 7.** Effect of the port size.

can be generated for reducing the carbon emissions of the collectors by increasing the value of the weight coefficient *ω*2; Following increasing the weight coefficient *ω*3, the carbon emissions of *Situation III* quay

**Table 8**

Comparative analysis results of TEU-BQCT model and existing model.

cranes are reduced by 12.98% and 13.14% respectively, indicating that the weight coefficient *ω*3 can be used to generate a dispatch plan to

TEU- BQCT

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

TEU-BQCT vs E- B&QC[[18]](#_bookmark74)

lower the carbon emissions of quay cranes.

The above test shows that the TEU-BQCT model can achieve the

Time of vessels in port 12.87 12.07 6.66% increase

Truck carbon emissions 14,921.95 16,799.84 11.18% reduction

expected goal of meeting the different needs of the port in different periods, indicating that the attempt to introduce the weight coefficient is feasible.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Robustness analysis of the model performance*

Quay crane’s carbon emissions

Additional waiting time for the vessel

crane.

15,573.20 20,198.67 22.90% reduction

19.84 15.52 27.80% increase

1. Effect of the working efficiency of quay cranes.

First, to test the effect of changes in the quay crane handling effi- ciency on the TEU-BQCT model, we set three different quay crane handling efficiencies, 30TEU/h, 35TEU/h, and 40TEU/h. The test re- sults are shown in [Fig. 5](#_bookmark50). Compared with the case where the loading and unloading efficiency is 30TEU/h, the objective function *F* of the other two cases decreases by 4.38% and 9.99%.

In [Fig. 5](#_bookmark50), following the increase in loading and unloading efficiency, each sub-objective function fluctuates slightly but has little effect, and the objective function *F* shows a downward trend. The example simu- lation analysis results indicate that the optimization effect of the TEU- BQCT model is better by increasing the working efficiency of the quay

|  |
| --- |
|  |

1. Effect of the carbon emission coefficient of trucks.

Second, we set different carbon emission coefficients to test the effect of the change of the coefficient on the TEU-BQCT model. [Fig. 6](#_bookmark51) exhibits the experimental results. Compared with the carbon emission coefficient of 2.45 kg/L, the objective function *F* increased by 2.82% and 6.31% respectively in the case of the coefficient of 2.65 kg/L and 2.85 kg/L.

The experimental results show that following the improvement of the carbon emission coefficient, the sub-objective functions *F*1 and *F*3 have little overall change, and the sub-objective function *F*2 and the objective function *F* show a slight upward trend. All in all, the TEU-BQCT model can still guarantee its optimization effect when the carbon emission coefficient changes.

|  |
| --- |
|  |

**Table 9**

Comparison algorithm parameter selection.

Swarm intelligence optimization algorithm

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Algorithm name | Total group number | The maximum number of iterations | Other additional hyperparameters |  |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 50 | 100 | — — |  |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 50 | 100 | *fc pm*  = 2 = 0.10 |  |
|  | ASOA | 50 | 100 | *fc pm*  = 2 = 0.10 |  |
|  | CSOA | 50 | 100 | *fc pm*  = 2 = 0.10 |  |
|  | QSOA | 50 | 100 | *fc pm*  = 2 = 0.10 |  |
|  | CQASOA | 50 | 100 | *fc pm*  = 2 = 0.10 |  |

**Other optimization algorithms**

turnaround time, the carbon emissions of trucks, and the carbon emis- sions of quay cranes by 12.46%, 19.11%, and 9.88%).

The comparative analysis results show that the TEU-BQCT model can adapt to different ports and provide corresponding scheduling schemes. Also, the optimization effect is more obvious as the port scale increases.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Comparative analysis with existing models*

Aiming at testing the model performance, we selected the compar- ative model in the literature [[18]](#_bookmark74) for comparative analysis. The vessel’s turnaround time, the additional transport distance cost of the container trucks and the additional waiting time cost for vessels are defined as the objective functions of the E-B&QC model. Thus, according to the solu- tion results, we convert the extra truck transport cost into the carbon emission of the truck. The vessel turnaround time, the carbon emission from the container truck, the carbon emission from the quay crane, and

the extra waiting time of the vessel are defined as comparative analyses

Algorithm name

Algorithmic hyperparameters

of technical indicators. [Table 8](#_bookmark53) shows the calculation results.

|  |
| --- |
|  |

SASS[[56]](#_bookmark109) *N* = 100, *H* = 50

In [Table 8](#_bookmark53), the results have the same effect in lowering vessel turn-

COLSHADE [[57]](#_bookmark110)

*N*min = 4, *q*0 = 0.5, *MCR* = 0.5, *MF* = 0.5, *MCRL* = 0.5, *MFL* = 0.5

around time, with a difference of only 6.66% solved by applying the

TEU-BQCT model and the comparative model. Compared with the

sCMAgES[[58]](#_bookmark111) *Pσ* = 0, *Pc* = 0, *C*0 = 0, *FE*max = 100

1. Effect of the port size.

Finally, we test the effect of port size on the TEU-BQCT model based on data from two scale ports in [Section 5.1](#_bookmark48). [Fig. 7](#_bookmark52) exhibits the example simulation analysis results. In [Fig. 7](#_bookmark52), we can find that the effect achieved by the TEU-BQCT model when applied to large ports (reducing the vessel’s turnaround time, the carbon emissions of trucks, and the carbon emissions of quay cranes by 19.74%, 24.47%, and 17.80%) is better than that achieved when applied to small ports (reducing the vessels

comparative model, the dispatching scheme obtained by applying the TEU-BQCT model can be reduced by 11.18% and 22.90%, respectively, in terms of reducing carbon emissions from trucks and quayside cranes, which indicates that the port application of TEU-BQCT model can obtain a solution to reduce carbon emissions. The additional waiting time of the scheduling scheme is increased by 27.80% by applying the TEU-BQCT model. However, various factors such as berths, quay cranes, and trucks are thought over in the TEU-BQCT model which will inevitably increase the time. In contrast, the comparative model is too ideal, and the additional waiting time of vessels is used as the objective function, so a scheduling scheme with a lower additional waiting time of vessels will be obtained.

In conclusion, compared with the comparison model, the TEU-BQCT model established in this paper can better obtain a scheduling scheme to reduce the time of ship in port, port cost and carbon emissions.

|  |
| --- |
|  |

**Table 10**

Calculation results of 9 algorithms of the 1–5 times when solving the TEU-BQCT model.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 100 Iteration Experience |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Vessels turnaround time *F*1 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 11.83 | 11.27 | 11.93 | 10.28 | 11.26 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 12.37 | 13.87 | 14.57 | 10.96 | 10.15 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 14.28 | 14.03 | 13.93 | 13.73 | 12.83 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 10.73 | 10.67 | 12.93 | 15.03 | 10.97 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 11.85 | 13.16 | 13.78 | 12.96 | 12.69 |
|  | ASOA | 12.32 | 12.56 | 11.71 | 10.85 | 10.61 |
|  | CSOA | 13.65 | 10.74 | 10.29 | 11.08 | 11.43 |
|  | QSOA | 10.25 | 11.70 | 11.83 | 9.86 | 10.83 |
|  | CQASOA | 10.56 | 9.88 | 9.62 | 11.02 | 11.05 |
| Truck carbon emissions *F*2 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 14,601.61 | 14,763.29 | 14,729.28 | 15,107.35 | 14,609.79 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 14,829.28 | 13,972.27 | 14,829.29 | 14,527.29 | 14,827.29 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 14,672.28 | 14,820.12 | 14,682.38 | 15,032.28 | 14,892.37 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 14,829.38 | 14,729.28 | 15,272.27 | 14,682.28 | 14,872.27 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 14,436.56 | 14,534.22 | 14,373.51 | 15,288.95 | 14,581.79 |
|  | ASOA | 14,784.66 | 14,357.11 | 14,974.99 | 15,102.34 | 14,718.44 |
|  | CSOA | 15,451.96 | 15,760.95 | 14,432.79 | 14,823.97 | 14,376.70 |
|  | QSOA | 14,685.43 | 14,692.03 | 15,383.85 | 14,381.43 | 14,629.20 |
|  | CQASOA | 14,018.24 | 15,009.87 | 15,411.47 | 14,665.62 | 14,311.81 |
| Quay crane carbon emissions *F*3 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 17,624.27 | 17,682.39 | 16,293.29 | 17,654.57 | 16,982.28 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 17,362.28 | 18,272.28 | 16,829.29 | 16,928.38 | 16,293.27 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 17,292.39 | 17,928.22 | 18,273.29 | 17,928.38 | 18,392.47 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 16,832.35 | 18,272.37 | 18,682.27 | 20,834.27 | 21,829.38 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 16,300.83 | 17,671.85 | 17,453.81 | 17,024.90 | 16,907.91 |
|  | ASOA | 16,469.93 | 16,403.40 | 18,180.37 | 18,157.74 | 16,306.28 |
|  | CSOA | 17,968.48 | 19,161.64 | 17,802.03 | 17,313.07 | 17,447.88 |
|  | QSOA | 16,891.00 | 16,845.06 | 18,185.71 | 16,671.49 | 16,101.31 |
|  | CQASOA | 16,388.48 | 16,798.23 | 17,428.64 | 16,371.71 | 15,955.23 |
| Objective function *F* | SASS[[56]](#_bookmark109) | 13,971.07 | 13,747.76 | 13,719.78 | 13,331.94 | 13,528.02 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 14,234.84 | 14,997.55 | 15,201.11 | 13,345.87 | 12,852.99 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 15,132.27 | 15,201.23 | 15203.02 | 15,104.31 | 14,735.82 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 13,279.54 | 13,586.88 | 14,952.27 | 16,393.28 | 14,661.72 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 13,608.81 | 14,631.35 | 14,846.48 | 14,559.03 | 14,216.28 |
|  | ASOA | 13,971.52 | 13,969.73 | 14,146.05 | 13,740.34 | 14,485.24 |
|  | CSOA | 15,181.84 | 14,099.92 | 13,204.66 | 15,131.71 | 13,671.20 |
|  | QSOA | 13,021.23 | 13,733.74 | 14,307.77 | 12,691.92 | 13,100.09 |
|  | CQASOA | 12,880.85 | 12,891.85 | 13,021.25 | 13,267.17 | 13,091.09 |

**Table 11**

Calculation results of 9 algorithms of the 6–10 times when solving the TEU-BQCT model.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 100 Iteration Experience |  | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Vessels turnaround time *F*1 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 10.98 | 11.98 | 10.38 | 10.95 | 10.46 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 11.73 | 11.93 | 11.73 | 14.83 | 10.99 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 14.27 | 11.63 | 13.87 | 13.83 | 13.27 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 12.54 | 14.27 | 13.73 | 10.73 | 14.73 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 13.72 | 11.33 | 14.24 | 10.42 | 10.25 |
|  | ASOA | 11.60 | 11.30 | 12.53 | 10.42 | 10.76 |
|  | CSOA | 11.44 | 11.98 | 14.12 | 14.64 | 10.97 |
|  | QSOA | 15.34 | 10.81 | 10.55 | 11.13 | 11.29 |
|  | CQASOA | 10.18 | 9.47 | 11.45 | 10.04 | 9.99 |
| Truck carbon emissions *F*2 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 14,682.84 | 14,293.12 | 14,653.27 | 14,218.80 | 14,375.19 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 14,382.28 | 14,521.39 | 14,392.28 | 13,892.28 | 14,029.28 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 14,982.28 | 14,829.23 | 14,923.23 | 14,724.28 | 15,230.27 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 14,983.23 | 14,729.28 | 15,103.28 | 15,029.27 | 16,282.38 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 14,491.29 | 15,017.58 | 15,075.01 | 13,965.84 | 14,577.78 |
|  | ASOA | 15,100.94 | 15,053.74 | 15,306.29 | 14,625.89 | 15,274.26 |
|  | CSOA | 14,083.00 | 14,211.90 | 14,627.94 | 14,559.43 | 14,752.74 |
|  | QSOA | 14,453.58 | 14,941.44 | 14,576.72 | 14,534.35 | 14,714.88 |
|  | CQASOA | 14,331.86 | 14,361.52 | 14,670.70 | 14,987.24 | 14,859.47 |
| Quay crane carbon emissions *F*3 | SASS[[56]](#_bookmark109) | 17,679.90 | 17,839.28 | 18,273.28 | 19,372.48 | 19,272.28 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 16,938.22 | 18,262.39 | 17,282.38 | 18,262.28 | 17,292.38 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 17,292.29 | 19,837.28 | 18,273.29 | 19,273.27 | 19,212.49 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 20,182.38 | 19,234.28 | 19,823.28 | 20,321.28 | 20,372.28 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 21,301.37 | 15,751.42 | 22,958.85 | 17,345.66 | 16,388.61 |
|  | ASOA | 17,477.80 | 17,891.25 | 18,008.81 | 16,205.53 | 16,740.24 |
|  | CSOA | 16,416.62 | 17,041.45 | 16,999.76 | 21,609.60 | 17,019.97 |
|  | QSOA | 21,409.89 | 17,532.98 | 16,441.06 | 19,071.61 | 16,413.30 |
|  | CQASOA | 16,511.59 | 16,779.30 | 15,622.09 | 16,923.47 | 16,218.65 |
| Objective function *F* | SASS[[56]](#_bookmark109) | 13,578.52 | 14,025.50 | 13,423.10 | 13,872.82 | 13,640.48 |
|  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 13,694.27 | 14,160.31 | 13,783.32 | 15,453.28 | 13,323.62 |
|  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 15,205.10 | 14,480.77 | 15,235.59 | 15,414.03 | 15,247.11 |
|  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 15,060.09 | 15,627.31 | 15,595.79 | 14,202.24 | 16,527.78 |
|  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 15,805.80 | 13,356.30 | 16,629.36 | 14,769.01 | 14,402.04 |
|  | ASOA | 13,945.32 | 13,886.34 | 14,594.45 | 14,365.14 | 14,879.05 |
|  | CSOA | 13,347.38 | 13,801.00 | 14,966.89 | 16,362.88 | 13,428.76 |
|  | QSOA | 16,635.36 | 13,522.36 | 13,031.43 | 15,952.06 | 14,706.99 |
|  | CQASOA | 12,801.89 | 12,521.59 | 13,298.58 | 12,999.28 | 12,764.59 |

**Table 12**

The average result of the objective function in solving the TEU-BQCT model.

**Table 13**

Stability analysis table of 9 algorithms in solving the TEU-BQCT model.

100 Iteration

Vessels

Truck carbon

Quay crane

Objective

100 Iteration

Objective function *F*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Experience | turnaround time *F*1 | emissions *F*2 | carbon emissions *F*3 | function *F* |  | Experience | Maximum | Minimum | Average | Standard deviation |  |
| SASS[[56]](#_bookmark109) | 11.13 | 14,603.45 | 17,867.40 | 13,683.90 |  | SASS[[56]](#_bookmark109) | 14,025.50 | 13,331.94 | 13,683.90 | 216.66 |  |
| COLSHADE | 12.31 | 14,420.30 | 17,372.32 | 14,104.72 |  | COLSHADE[[57]](#_bookmark110) | 15,453.28 | 12,852.99 | 14,104.72 | 828.40 |  |
| [[57]](#_bookmark110) |  |  |  |  |  | sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 15,414.03 | 14,480.77 | 15,095.93 | 262.20 |  |
| sCMAgES[[58]](#_bookmark111) | 13.57 | 14,878.87 | 18,370.34 | 15,095.93 |  | HHO[[59]](#_bookmark112) | 16,527.78 | 13,279.54 | 14,988.69 | 1036.15 |  |
| HHO[[59]](#_bookmark112) | 12.63 | 15,051.29 | 19,638.42 | 14,988.69 |  | SOA[[3]](#_bookmark64) | 16,629.36 | 13,356.30 | 14,682.45 | 911.70 |  |
| SOA[[3]](#_bookmark64) | 12.44 | 14,634.25 | 17,910.52 | 14,682.45 |  | ASOA | 14,879.05 | 13,740.34 | 14,198.32 | 347.56 |  |
| ASOA | 11.47 | 14,929.87 | 17,184.14 | 14,198.32 |  | CSOA | 16,362.88 | 13,204.66 | 14,319.62 | 985.72 |  |
| CSOA | 12.03 | 14,708.14 | 17,878.05 | 14,319.62 |  | QSOA | 16,635.36 | 12,691.92 | 14,070.29 | 1265.58 |  |
| QSOA | 11.36 | 14,699.29 | 17,556.34 | 14,070.29 |  | CQASOA | 13,298.58 | 12,521.59 | 12,953.81 | 223.02 |  |
| CQASOA | 10.33 | 14662.78 | 16,499.74 | 12,953.81 |  |  |  |  |  |  |  |

* 1. *Performance analysis for the CQASOA*

Considering the good performance of SASS [[56]](#_bookmark109), COLSHADE [[57]](#_bookmark110), sCMAgES [[58]](#_bookmark111), and HHO [[59]](#_bookmark112) in solving the single objective constrained optimization problems, they are selected to test the capability of solving the TEU-BQCT model with regard to the proposed CQASOA. Also, SOA [[3]](#_bookmark64), ASOA, CSOA, and QSOA are selected to test the effectiveness of algorithm improvements. The idea of control variables is adopted to select and compare the algorithm parameters, to avoid different effects of different algorithm parameters on the optimization performance.

|  |
| --- |
|  |

[Table 9](#_bookmark54) exhibits the parameters of the selected optimization algorithm.

* + 1. *Optimize performance analysis*

The above algorithm is applied to solve the TEU-BQCT model 10 times in the case of large-scale ports. [Table 10](#_bookmark55) and [Table 11](#_bookmark56) show the calculation results:

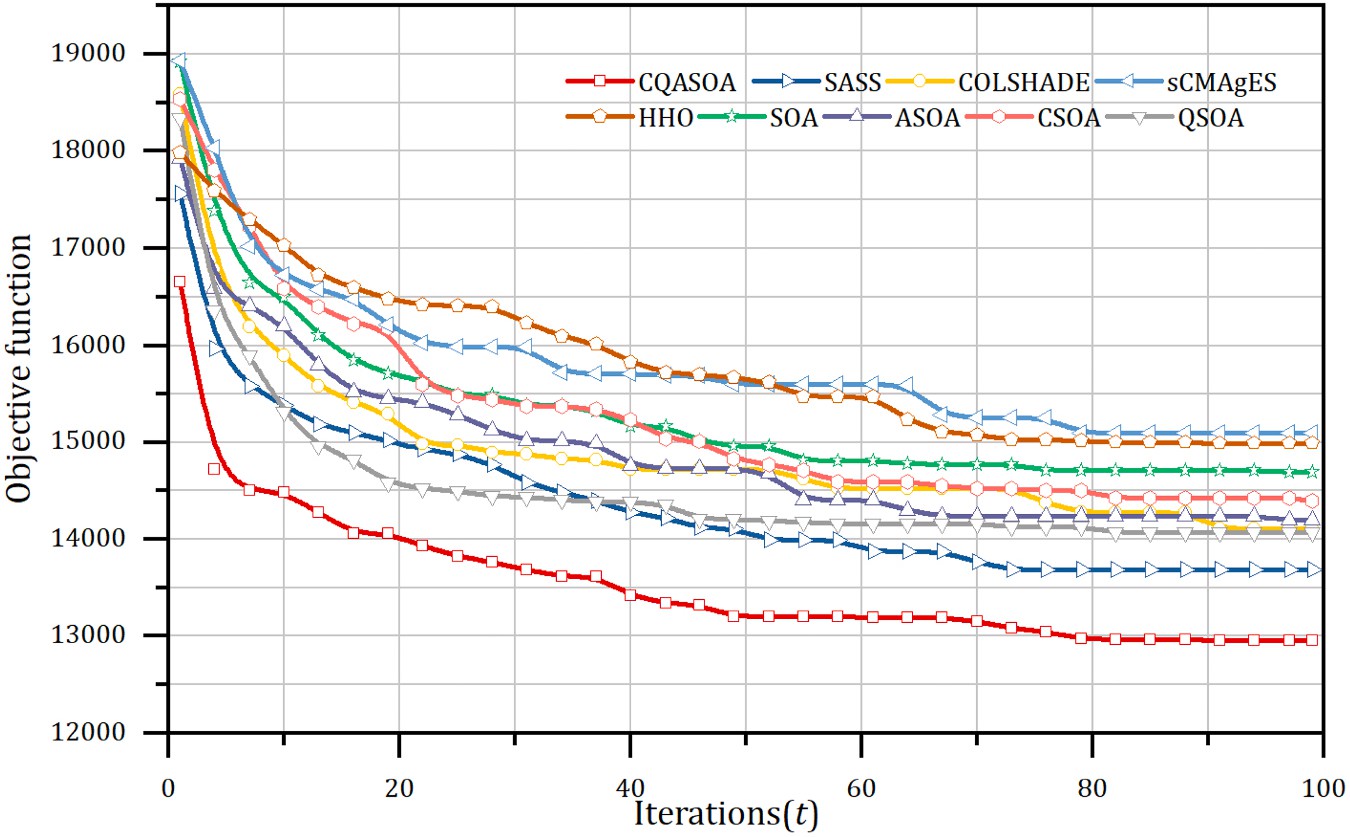
The data in [Table 10](#_bookmark55) and [Table 11](#_bookmark56) is arranged, and the average of the solution results is calculated as exhibited in [Table 12](#_bookmark57):

In [Table 12](#_bookmark57), compared with SASS, COLSHADE, sCMAgES, and HHO, the value of objective function *F* can be reduced by 5.53%, 8.16%, 14.19%, and 13.58% via applying CQASOA to solve, indicating that CQASOA has the advantage of iterative update of spiral search and quantum local exploration, thus, its performance is better than tradi- tional intelligent optimization algorithm when solving TEU-BQCT.

In comparison with SOA, the value of objective function *F* can be decreased by 3.30%, 2.47%, and 4.17% applying ASOA, CSOA, and



**Fig. 8.** Comparison chart of stability analysis of 9 algorithms for solving TEU-BQCT model.



**Fig. 9.** 9 algorithms 10 times to calculate the average convergence curve.

QSOA, which illustrates that the algorithm optimization performance can be enhanced by adding the nonlinear weight, adding chaos distur- bance and quantum computing; Contrasted to ASOA, CSOA, and QSOA, the objective function *F* can be cut down by 8.77%, 9.54%, and 7.94% through applying CQASOA to solve the problem, indicating that the CQASOA constructed by combining the three improved methods can get better results when solving the TEU-BQCT model.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Stability analysis*

In view of the above data, the algorithm stability test is carried out, which reflects the quality of the solution when the algorithm solves the optimization problem many times. The calculation data in [Table 10](#_bookmark55) and [Table 11](#_bookmark56) is organized, the stability analysis table is shown in [Table 13](#_bookmark58), and the stability analysis histogram is shown in [Fig. 8](#_bookmark59):

In [Table 13](#_bookmark58) and [Fig. 8](#_bookmark59), the standard deviation of the CQASOA is close to the SASS and sCMAgES when solving the TEU-BQCT model, which indicates that the CQASOA is comparable to SASS and sCMAgES in terms of stability. Whereas, COLSHADE and HHO have higher standard de- viations, whose stabilities are weaker than CQASOA.

The average solution value of ASOA is smaller than SOA, and the standard deviation is decreased by 61.88%, indicating that the expected purpose of improving the global disturbance ability in the early stage and increasing the local exploration ability in the later stage can be achieved by proposing the nonlinear convergence factor; There is little difference between applying SOA to solve variance and applying CSOA

to solve variance, but solving performance of CSOA is better than SOA, illustrating that the global exploration performance can be enhanced by adding chaotic disturbance in the initial stage of the population; Con- trasted to SOA, the performance of QSOA with quantum computing is better than that of SOA, although the standard deviation is slightly larger than that of SOA, it is still within an acceptable range. In com- parison with ASOA, CSOA, and QSOA, the mean is relatively optimal, and the standard deviation can be lowered by 35.83%, 77.37%, and 82.38% via using CQASOA to solve the TEU-BQCT model, showing that the fusion of the three improved methods is able to achieve the expected goal of raising the performance and stability of the algorithm.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Convergence analysis*

Aiming at testing the algorithm convergence properties, this paper calculates the data based on [Table 10](#_bookmark55) and [Table 11](#_bookmark56), and draws the average convergence curve as shown in [Fig. 9](#_bookmark60):

In [Fig. 9](#_bookmark60), SOA has better convergence performance than SASS, COLSHADE, sCMAgES, and HHO, and has a strong continuous conver- gence ability. In comparison with SOA, the convergence performance of CSOA and ASOA is slightly better than SOA, and the convergence speed of QSOA is significantly better than SOA in the first 20 generations, illustrating that quantum improvement can speed up the convergence speed of SOA; The convergence performance of CQASOA is better than ASOA and CSOA, and slightly better than QSOA, which shows that the algorithm convergence performance can be enhanced by the fusion

improvement of linear convergence factor, chaotic disturbance, and quantum computing.

|  |
| --- |
|  |

* 1. *Practical applications and management implications*

The purpose of constructing the TEU-BQCT\_CQASOA solution method is to provide an effective decision-making aid for the intelligent dispatch of ports. The application of this method in actual dispatch can improve the economic, social, and environmental benefits. Its applica- tion value and importance mainly include the following aspects:

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Trade-off*

The TEU-BQCT\_CQASOA solution method describes and solves the three conflicting objectives of the vessel time in port, the carbon emis- sions of trucks, and the carbon emissions of quay cranes. Port managers can weigh the advantages and disadvantages of each target according to the actual situation, adjust the weight adjustment coefficient of each target, and obtain a more suitable scheduling plan.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Shipowner and port interests*

The TEU-BQCT\_CQASOA solution method defines the vessel time in port as the objective function, which can raise the common interests of the vessel and the port. A good dispatch plan should ensure the eco- nomic benefits of the port as much as possible, and at the same time, it should improve the satisfaction of shipowners. Under the background of the post-epidemic era, it is even more necessary to apply the TEU- BQCT\_CQASOA solution method to alleviate port congestion and improve port operation efficiency.

|  |
| --- |
|  |

* + 1. *Green and low carbon*

The TEU-BQCT\_CQASOA solution method takes the carbon emis- sions of trucks and the carbon emissions of quay cranes as objective functions, which can provide port managers with a scheduling scheme to lower the carbon emissions of port working operations. In the context of the era of emphasis on reducing energy, smart ports need a solution that can not only ensure economic benefits but also ensure environmental benefits.

|  |
| --- |
|  |

# Conclusion

In response to the phenomenon of death congestion and slow oper- ation in ports around the world in the post-epidemic era, this paper comprehensively considers the factors of tide, environment, and un- certainties and uses basic theories such as chaotic mapping, quantum computing, external penalty function method, and combines SOA to construct a novel berth-quay crane-truck joint scheduling solution (TEU- BQCT\_CQASOA), which can supply an excellent scheduling scheme for container ports. The simulation examples of two container ports in South China show that the TEU-BQCT model can lessen vessels’ turnaround time, the carbon emissions of trucks, and the carbon emissions from quay cranes, and as the scale of the port increases, a better dispatch plan can be obtained; Also, the TEU-BQCT model can satisfy the distinct demands of the port in different periods through the weight adjustment factor. The TEU-BQCT model established is based on the proposed CQASOA solution. When solving the TEU-BQCT model, CQASOA ob- tains a better solution compared with the comparative algorithm selected in this paper, and the solution process is more stable, more efficient, and more reliable.

|  |
| --- |
|  |

However, the solution constructed in this paper still has inadequacy: many factors affect the scheduling of container ports, the model con- structed in this paper will inevitably have ideal problems, and solutions need to be given in subsequent research; With the increase of the scale of the solving port, the dimension of the coding matrix increases and the solving process is complicated, which may make the increase of the time during the model solving process. In future research, follow-up research work on the problem of fast model solving is still needed.

|  |
| --- |
|  |

# Funding

The work is supported by the following project grants, National Natural Science Foundation of China (No.52371315); Heilongjiang Excellent Youth Fund Project (YQ2021E015); Science and Technology special fund of Hainan Province (ZDYF2023GXJS017); and National Council of Science and Technology, Taiwan (MOST 111–2410-H- 161–001).

# CRediT authorship contribution statement

**Ming-Wei Li:** Investigation, Methodology, Validation. Funding acquisition, Supervision, Writing- Original draft preparation. **Rui-Zhe Xu**: Conceptualization, Investigation, Methodology, Software, Data curation, Formal analysis, Validation. **Zhong-Yi Yang**: Conceptualiza- tion, Investigation, Software, Data curation, Formal analysis. **Wei- Chiang Hong**: Investigation, Methodology, Funding acquisition, Su- pervision, Writing- Reviewing, and Editing. **Xiao-Gang An**: Investiga- tion, Methodology, Software, Data curation, Funding management. **Yi- Hsuan Yeh**: Software, Data curation, Formal analysis, Validation.

# Declaration of Competing Interest

All authors claim that there’s no financial/personal interest or belief that could affect their objectivity.

# Data availability

Data will be made available on request.

# References

1. G. Ye, J. Zhou, W. Yin, X. Feng, Are shore power and emission control area policies always effective together for pollutant emission reduction? – an analysis of their joint impacts at the post-pandemic era, Ocean Coast. Manag. 224 (2022) 106182, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106182>.
2. M.-M. Lu, Are ports still congested around the world? Pearl River Water Transport 4 (2022), 45–47. [In Chinese] https://doi.org/10.14125/j.cnki.zjsy.2022.04.013.
3. G. Dhiman, V. Kumar, Seagull optimization algorithm: theory and its applications for large-scale industrial engineering problems, Knowl. -Based Syst. 165 (2019) 169–196, <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.11.024>.
4. A. Subramanian, J. Raman, Modified seagull optimization algorithm based MPPT for augmented performance of photovoltaic solar energy systems, Automatika 63 (2022) (2022) 1–15, <https://doi.org/10.1080/00051144.2021.1997253>.
5. J. Rupp, N. Boysen, D. Briskorn, Optimizing consolidation processes in hubs: the hub-arrival-departure problem, Eur. J. Oper. Res. 298 (2022) 1051–1066, [https://](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.001) [doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.001](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.001).
6. C. Liang, X. Hu, L. Shi, H. Fu, D. Xu, Joint dispatch of shipment equipment considering underground container logistics, Comput. Ind. Eng. 165 (2022) 107874, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107874>.
7. [H. Li, J. Peng, X. Wang, J. Wan, Integrated resource assignment and scheduling](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6) [optimization with limited critical equipment constraints at an automated container](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6) [terminal, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 22 (2021) 7607–7618, https://doi.org/](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6) [0.1109/TITS.2020.3005854](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref6).
8. J. Li, J. Yang, B. Xu, Y. Yang, F. Wen, H. Song, Hybrid scheduling for multi- equipment at u-shape trafficked automated terminal based on chaos particle swarm optimization, J. Mar. Sci. Eng. 9 (2021) 1080, [https://doi.org/10.3390/](https://doi.org/10.3390/jmse9101080) [jmse9101080](https://doi.org/10.3390/jmse9101080).
9. H.-M. Fan, Z.-F. Guo, L.-J. Yue, M.-Z. Ma, Joint configuration and scheduling optimization of dual-trolley quay crane and AGV for container terminal with considering energy saving, Acta Autom. Sin. 47 (2021) 2412–2426, [https://doi.](https://doi.org/10.16383/j.ass.c190626) [org/10.16383/j.ass.c190626](https://doi.org/10.16383/j.ass.c190626).
10. C. Bierwirth, F. Meisel, A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals, Eur. J. Oper. Res. 202 (2010) 615–627, [https://](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.031) [doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.031](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.031).
11. C. Bierwirth, F. Meisel, A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals, Eur. J. Oper. Res. 244 (2015) 675–689, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.030>.
12. A. Liu, H. Liu, S.-B. Tsai, H. Lu, X. Zhang, J. Wang, Using a hybrid model on joint scheduling of berths and quay cranes-from a sustainable perspective, Sustainability 10 (2018) 1959, <https://doi.org/10.3390/su10061959>.
13. D. Ma, R. Zhang, X. Shao, 2018. Joint optimal scheduling of container terminal berths and quays based on improved cuckoo search, In: Proceedings of the 2018 International Conference on Computing and Data Engineering (ICCDE 2018), May 2018, pp. 103–109.https://doi.org/10.1145/3219788.3219807.
14. Z.-J. Gao, J.-X. Cao, Q.-Y. Zhao, Optimization research of berth allocation and quay crane assignment at container terminal based on the genetic algorithm, Appl. Mech. Mater. 505-506 (2014) 931–934, [https://doi.org/10.4028/www.scientific.](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.505-506.931) [net/AMM.505-506.931](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.505-506.931).
15. J. Yu, G. Tang, X. Song, Collaboration of vessel speed optimization with berth allocation and quay crane assignment considering vessel service differentiation, Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev. 160 (2022) 102651, [https://doi.org/](https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102651) [10.1016/j.tre.2022.102651](https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102651).
16. W. Liu, X. Zhu, L. Wang, S. Li, Rolling horizon based robust optimization method of quayside operations in maritime container ports, Ocean Eng. 256 (2022) 111505, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111505>.
17. M.-W. Li, W.-C. Hong, J. Geng, J. Wang, Berth and quay crane coordinated scheduling using multi-objective chaos cloud particle swarm optimization algorithm, Neural Comput. Appl. 28 (2017) 3163–3182, [https://doi.org/10.1007/](https://doi.org/10.1007/s00521-016-2226-7) [s00521-016-2226-7](https://doi.org/10.1007/s00521-016-2226-7).
18. X. Cao, Z.-Y. Yang, W.-C. Hong, R.-Z. Xu, Y.-T. Wang, Optimizing berth-quay crane allocation considering economic factors using chaotic quantum SSA, Appl. Artif. Intell. 36 (2022) 2073719, <https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2073719>.
19. A. Azab, H. Morita, The block relocation problem with appointment scheduling, Eur. J. Oper. Res. 297 (2022) 680–694, [https://doi.org/10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.007) [ejor.2021.06.007](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.007).
20. F. Essghaier, T. Chargui, T. Hsu, A. Bekrar, H. Allaoui, D. Trentesaux, G. Goncalves, Fuzzy multi-objective truck scheduling in multi-modal rail–road physical internet hubs, Comput. Ind. Eng. 182 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109404>.
21. J. Duan, Y. Liu, Q. Zhang, J. Qin, Combined configuration of container terminal berth and quay crane considering carbon cost, Math. Probl. Eng. 2021 (2021) 6043846, <https://doi.org/10.1155/2021/6043846>.
22. T. Wang, X. Wang, Q. Meng, Joint berth allocation and quay crane assignment under different carbon taxation policies, Transp. Res. Part B: Methodol. 117 (2018) 18–36, <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.08.012>.
23. N. Kenan, A. Jebali, A. Diabat, The integrated quay crane assignment and scheduling problems with carbon emissions considerations, Comput. Ind. Eng. 165 (2022) 107734, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107734>.
24. X. Tian, Q. Meng, Study on coordinated scheduling of berths, quay cranes and harbor trucks at container terminals, Logist. Technol. 37 (2018) 32–36, [https://](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-152X.2018.03.008) [doi.org/10.3969/j.issn.1005-152X.2018.03.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-152X.2018.03.008).
25. N. Cheimanoff, F. Fontane, M.N. Kitri, N. Tchernev, . Exact and heuristic methods for the integrated berth allocation and specific time-invariant quay crane assignment problems, Comput. Oper. Res. 141 (2022) (2022) 105695, [https://doi.](https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105695) [org/10.1016/j.cor.2022.105695](https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105695).
26. T. Jonker, M.B. Duinkerken, N. Yorke-Smith, A. de Waal, R.R. Negenborn, Coordinated optimization of equipment operations in a container terminal, Flex. Serv. Manuf. J. 33 (2021) 281–311, [https://doi.org/10.1007/s10696-019-09366-](https://doi.org/10.1007/s10696-019-09366-3)

[3](https://doi.org/10.1007/s10696-019-09366-3).

1. [X.-G. Jiao, F.-F. Zheng, Y.-F. Xu, M. Liu, Integrated continuous berth allocation and](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25) [time-variant quay crane assignment under berth dredging in container terminal,](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25) [Oper. Res. Manag. Sci. 29 (2021) 47–57 [In Chinese]. http://www.jorms.net/CN/](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25) [10.12005/orms.2020.0033](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref25).
2. L.P. Prencipe, M. Marinelli, A novel mathematical formulation for solving the dynamic and discrete berth allocation problem by using the bee colony optimisation algorithm, Appl. Intell. 51 (2021) 4127–4142, [https://doi.org/](https://doi.org/10.1007/s10489-020-02062-y) [10.1007/s10489-020-02062-y](https://doi.org/10.1007/s10489-020-02062-y).
3. A. Skaf, S. Lamrous, Z. Hammoudan, M.-A. Manier, Integrated quay crane and yard truck scheduling problem at port of Tripoli-Lebanon, Comput. Ind. Eng. 159 (2021) 107448, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107448>.
4. J.-H. Chu, J.-H. Li, C.-J. Wang, C. Chen, Integrated decision on route planning and speed scheduling of container liners considering emission control areas, J. Transp. Syst. Eng. Inf. Technol. 21 (2021) 230–238, [https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.04.028)

[6744.2021.04.028](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.04.028).

1. R.-E. Precup, E.-L. Hedrea, R.-C. Roman, E.M. Petriu, A.-I. Szedlak-Stinean, C.-

A. Bojan-Dragos, Experiment-based approach to teach optimization techniques, IEEE Trans. Educ. 64 (2) (2021), <https://doi.org/10.1109/TE.2020.3008878>.

1. I. Alexandru Zamfirache, R.-E. Precup, R.-C. Roman, E.M. Petriu, Neural Network- based control using Actor-Critic reinforcement learning and Grey Wolf optimizer with experimental servo system validation, Expert Syst. Appl. 225 (2023), [https://](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120112) [doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120112](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120112).
2. R. Salgotra, S. Singh, U. Singh, S. Mirjalili, A.H. Gandomi, Marine predator inspired naked mole-rat algorithm for global optimization, Expert Syst. Appl. 212 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118822>.
3. A.A. Ewees, R.R. Mostafa, R.M. Ghoniem, M.A. Gaheen, Improved seagull optimization algorithm using L´evy flight and mutation operator for feature selection, Neural Comput. Appl. 34 (2022) 7437–7472, [https://doi.org/10.1007/](https://doi.org/10.1007/s00521-021-06751-8) [s00521-021-06751-8](https://doi.org/10.1007/s00521-021-06751-8).
4. B. Ma, P.-M. Lu, Y.-G. Liu, Q. Zhou, Y.-T. Hu, Shared seagull optimization algorithm with mutation operators for global optimization, AIP Adv. 11 (2021) 125217, <https://doi.org/10.1063/5.0073335>.
5. D. Xiao, L. Wan, Remote sensing inversion of saline and alkaline land based on an improved seagull optimization algorithm and the two-hidden-layer extreme learning machine, Nat. Resour. Res. 30 (2021) 3795–3818, [https://doi.org/](https://doi.org/10.1007/s11053-021-09876-8) [10.1007/s11053-021-09876-8](https://doi.org/10.1007/s11053-021-09876-8).
6. L. Xu, Y. Mo, Y. Lu, J. Li, Improved seagull optimization algorithm combined with an unequal division method to solve dynamic optimization problems, Processes 9 (2021) 1037, <https://doi.org/10.3390/pr9061037>.
7. W.-C. Hong, M.-W. Li, J. Geng, Z. Yang, Novel chaotic bat algorithm for forecasting complex motion of floating platforms, Appl. Math. Model. 72 (2019) 425–443, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.03.031>.

1. [H.G. Kang, M.W. Li, P.F. Zhou, Z.H. Zhao, Prediction of passenger traffic volume](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [using ν-support vector regression optimized by chaos adaptive genetic algorithm,](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37)

[J. Dalian Univ. Technol. 52 (2012) 227–232, https://kns.cnki.net/kcms/detail/](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2012&filename=DLLG201202013&](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [uniplatform=NZKPT&v=E6a7CnqjIzGFujzuWcCOnt5GOHGj8bsD1](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37) [P6YNRXjl2NavWXeKogwyqPa7×6z3aVr](http://refhub.elsevier.com/S1568-4946(23)01215-2/sbref37).

1. M.-W. Li, W.-C. Hong, H.-G. Kang, Urban traffic flow forecasting using Gauss–SVR with cat mapping, cloud model and PSO hybrid algorithm, Neurocomputing 99 (2013) 230–240, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.08.002>.
2. M.-W. Li, J. Geng, W.-C. Hong, L.-D. Zhang, Periodogram estimation based on LSSVR-CCPSO compensation for forecasting ship motion, Nonlinear Dyn. 97 (2019) 2579–2594, <https://doi.org/10.1007/s11071-019-05149-5>.
3. M.-W. Li, Y.-T. Wang, J. Geng, W.-C. Hong, Chaos cloud quantum bat hybrid optimization algorithm, Nonlinear Dyn. 103 (2021) 1167–1193, [https://doi.org/](https://doi.org/10.1007/s11071-020-06111-6) [10.1007/s11071-020-06111-6](https://doi.org/10.1007/s11071-020-06111-6).
4. M.-W. Li, D.-Y. Xu, J. Geng, W.-C. Hong, A ship motion forecasting approach based on empirical mode decomposition method hybrid deep learning network and quantum butterfly optimization algorithm, Nonlinear Dyn. 107 (2022) 2447–2467, <https://doi.org/10.1007/s11071-021-07139-y>.
5. M.-W. Li, D.-Y. Xu, J. Geng, W.-C. Hong, A hybrid approach for forecasting ship motion using CNN–GRU–AM and GCWOA, Appl. Soft Comput. 114 (2022) 108084, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108084>.
6. Y. Song, N. Wang, Optimization of berthing plan of container terminal based on time uncertainty, J. Transp. Syst. Eng. Inf. 20 (2020) 224–230, [https://doi.org/](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2020.04.032) [10.16097/j.cnki.1009-6744.2020.04.032](https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2020.04.032).
7. Q. Qin, Z. Zhou, H. Lu, S. Wang, Y. Han, Route optimization of water-rail intermodal transport trucks considering carbon emission cost, China Water Transp. 10 (2021) 109–111, <https://doi.org/10.13646/j.cnki.42-1395/u.2021.10.039>.
8. G.-L. Tang, M. Qin, X.-Y. Zhao, Y. Qi, X. Li, Effects of container trucks scheduling modes on carbon emission in container terminal, Port. Waterw. Eng. 6 (2019) 46–51, <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-4972.2019.06.008>.
9. G. Li, C. Zheng, H. Yang, Carbon price combination prediction model based on improved variational mode decomposition, Energy Rep. 8 (2022) 1644–1664, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.270>.
10. R. Ghafari, N. Mansouri, An efficient task scheduling based on seagull optimization algorithm for heterogeneous cloud computing platforms, Int. J. Eng., Trans. B: Appl. 35 (2022) 433–450, <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.02b.20>.
11. S. Eldesouky, W. ElShafai, H.E.D.H. Ahmed, F.E.A. ElSamie, Cancelable electrocardiogram biometric system based on chaotic encryption using three- dimensional logistic map for biometric-based cloud services, Secur. Priv. 5 (2022) e198, <https://doi.org/10.1002/SPY2.198>.
12. P.L. Leonardo, M.J. Ricardo, R.C. Enrique, P.C. Michael, J.R. Omar, V.M. Rube´n,

Function composition from sine function and skew tent map and its application to pseudorandom number generators, Appl. Sci. 11 (2021) 5769, [https://doi.org/](https://doi.org/10.3390/APP11135769) [10.3390/APP11135769](https://doi.org/10.3390/APP11135769).

1. Y. Dong, H.-M. Guo, Adaptive chaos particle swarm optimization based on colony fitness varianc, Appl. Res. Comput. 28 (2011) 854–856, [https://doi.org/10.3969/j.](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2011.03.015) [issn.1001-3695.2011.03.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3695.2011.03.015).
2. S.-T. Xiang, D. Wang, Model interactive modification method based on improved quantum genetic algorithm, J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci. ) 56 (2022) 100–110, <https://doi.org/10.3785/j.issn.1008-973X.2022.01.011>.
3. D. Pizzocri, R. Genoni, F. Antonello, T. Barani, F. Cappia, 3D reconstruction of two- phase random heterogeneous material from 2D sections: An approach via genetic algorithms, Nucl. Eng. Technol. 53 (2021) 2968–2976, [https://doi.org/10.1016/J.](https://doi.org/10.1016/J.NET.2021.03.012) [NET.2021.03.012](https://doi.org/10.1016/J.NET.2021.03.012).
4. N.Ab Aziz, H. Midi, Penalty function optimization in dual response surfaces based on decision maker’s preference and its application to real data, Symmetry 14 (2022) 601, <https://doi.org/10.3390/sym14030601>.
5. Kumar A., Das S., Zelinka I. 2020a. A self-adaptive spherical search algorithm for real-world constrained optimization problems. In: GECCO 2020 Companion - Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, 13–14. https://doi.org/10.1145/3377929.3398186.
6. Gurrola-Ramos J., Hernandez-Aguirre A., Dalmau-Cedeno O., 2020, COLSHADE for Real-World Single-Objective Constrained optimization Problems. In: Proceedings of the 2020 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2020 - Conference Proceedings. https://doi.org/10.1109/CEC48606.2020.9185583.
7. Kumar A., Das S., Zelinka I., 2020b, A modified covariance matrix adaptation evolution strategy for real-world constrained optimization problems. GECCO 2020 Companion - Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, 11 - 12. https://doi.org/10.1145/3377929.3398185.
8. A.A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja, H. Chen, Harris hawks optimization: algorithm and applications, Future Gener. Comput. Syst. 97 (2019) 849–872, <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>.