

C J - } - } Aê .

基于 Q 学习算法的集装箱堆场翻箱落位优选

Reshuffle Optimization in Container Terminal based on
Q Learning Algorithm

OE 65 = Ö _____
0; N¶ Ö _____ ð
- ' Ö _____ 31706200
7 , ‰ 8 Ö _____
¼ @ O Ö _____ 2019 6 8

大连理工大学

Dalian University of Technology

WF *6 W -- }Aê .) K W >

作者郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用内容和致谢的地方外，本论文不包含其他个人或集体已经发表的研究成果，也不包含其他已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文题目：_____

作者签名：_____ 日期：_____年____月____日

摘 要

33327

77777

77777

17777777

77

777777

\-J,)Lö>õ1á 6 j, '6+1áL NÈ ÈOÆ x pF 1á6+1á Ã * 1á6+1á ¼ 0+1á &6+1á 9
/ý õ á) 6 j6+1áL NÈF >| 62« 6 À È 'f> p µG 3P Ã FG 3P >| = Ç 3P1y
é A 6 À6+1á x+O Ĩ È * p 6 j1Ñ*6 éM'L} ~ 6 j6+1áGÿ, 'é# È 0 > .ž Ê \-, '
.D0!)B' jF 1á È.D0!F 1á, '6+1á:m } HF9 L} ~ 6 j 6+1á)· Ä
6 jCM }6+1áL NÈ 0 ? FCM }, '¼!Q ú ¼!Q :6+1á)· j H F- 7 È CM }Lö>õ1á
6 ^ (æ 1 ¼ Ò g 1áNª ç ". j } È ž!" 6 À Q » * \ wAî ' & È) Q » GÿF >| ÿ
F È * 'Lö>õ1á 6 jF 1á6+1á:m } HF9 L NÈ, ' Markov ã1†E÷0; Q » Ä
j ¶"r@ 6+1á:m } HF9 Q » ÈAîAÑ ¶ ε - greedy Q- •1Ç# Ä i ž 6 j 4 3P)6+
1á)· j ý0; Ö ÈF9 £K^ 3P) Q - • 1Ç#, ' J 5\$(æ 10ªL\$F >|>~F ÈÎ & ý P3+5 Ø
1 Äž Ê Ø ŒLö 8 ¼ † f Ö È 06+1á Œ J ¼ @ > ÈFJE÷0û £ Œ ýO, B Ø Œ, ' H Ó Ä
FJE÷*6Aê 6 À.ž Ê1Ç# - • € Ä È " € ¼ Ò3R €Lç - • ... , ' FC» ĩ ÈAîAÑ Ø
Œ, ' Ò3R1†+• È £>'1Ç#, ' f < W ¼ ▯ f 0 H W Ä
0 >AîAÑ = <?ô QCM } õ å, '1Ç » ÈP¼Añε - greedy Q- •1Ç# "r@ F 1á6+ 1á:m
} HF9L NÈ, ' W7- ÈÎP¼5 ì>~ > Ö 1 ÅQ - •1Ç# "r@ 5 ì-(" Kim 6+1áGÿ `AÑ œ ? È
H F)· X 40% : x 2 Å-(" ò631Ç# OH 1Ç# ¼IH 1Ç# ÈQ - • 1Ç# X"r@ W?ô QL
NÈ & È ¼!Q6+1áGÿ £ w H F)· 6 [X 50%¼ 10% : x 3 Å = <?ô QCM } ... Z1Ç », ' Q
- • 1Ç# "r@ 5 ì-() OH ÄIH 1Ç# iF 0c Ê È 100 Z1Ç »] 0 J 9 0 Z1Ç » "r@ 5 ì
Ó ¾OH x 0 J 9 Z1Ç » Ó ¾ IH Ä

关键词：集装箱运输；堆场翻箱落位优选；堆场翻箱率；Q 学习算法；Markov 决策过程模型

Reshuffle Optimization in Container Terminal based on Q Learning Algorithm

Abstract

Port is the most important water and land transportation hub in the integrated transportation network, and the largest collection center in the logistics supply chain. With the deepening of goods containerization, the container throughput has increased in the terminal, the storage pressure of container yard is increasing, the yard resources have become tense. In order to improve the quality of customer service and enhance the comprehensive competitiveness of the port, it is essential to optimize the scheduling management within the container terminal. The reshuffle ratio of the yard is one of the most important indicators of container terminal scheduling management. The reshuffle optimization during the picking process can effectively reduce the relocation probability.

For the problem of reshuffle in container yard firstly, the classification analysis is carried out from three cases: import container reshuffle, export container reshuffle and reshuffle when containers are moved. Then the paper analyzes the reasons for the reshuffle from three aspects: internal factors, external factors and other resistible factors, propose some methods for reducing the amount of reshuffle from the aspect of yard management. Finally, it is determined that the research object of this paper is the import containers and it is preferable to study the reshuffle optimization of the import containers to reduce the reshuffle ratio of the yard.

The optimization goals of the reshuffle problem in the yard is to minimize the reshuffle number of a bay, and the prerequisite is that the storage status of the containers in a bay and the customers' extraction order of the containers are known. Based on this, the basic assumptions of the model are analyzed, the model variables are described, and the Markov decision process model for reshuffle optimization problem of the import containers in the container yard is constructed.

In order to solve the reshuffle optimization model, a ϵ -greedy Q learning algorithm is designed. According to the influence degree of each factor in the yard reshuffle ratio, the key factors are selected to describe the multidimensional state space of the Q learning algorithm to reflect the system dynamics in real time. Determine the action set and reward and punishment system after a certain relocation operation is completed, through the immediate return feedback of the pros and cons of the action. Through theoretical analysis, determining

the change trend of learning factor, discount factor and exploration factor with the number of learning scenes, and designing the exploration strategy of action in order to balance the convergence and overall result optimality of the algorithm.

Finally, the examples of container bays with different scales is designed to verify the performance of the ϵ -greedy Q learning algorithm which is to solve the problem of reshuffle optimization of the import containers. The experimental results show that: 1) compared with the estimation formula of the number of rehandles from Kim, the optimization rate of the Q learning algorithm is more than 40%; 2) Compared with the reference algorithm OH algorithm and IH algorithm, when the learning algorithm solves large scale problems, the average optimization rate of the second reshuffle is 50% and 10% respectively; 3) The solution result of Q learning algorithm of a single case with different scales is improved stability compared with the OH and IH algorithms. At most one of the 100 examples, the result is inferior to OH; at most four examples are inferior to IH.

Key Words Container Transportation; Reshuffle Optimization; Yard Reshuffle Ratio; Q Learning Algorithm; Markov decision process model

目 录

□ ?±.....	I.
Abstract.....	II
1 5 Aê.....	1.
1.1 .D0!L NÈ, '6ü Ÿ > ? y	1
1.1.1 .D0!L NÈ6ü Ÿ.....	1
1.1.2 .D0!L NÈ ? y	2
1.2 - μ F.D0!)à(æ5,F	3
1.3 Aê .D0! é#	4
1.4 Aê .D0! μ é ú K à&é	5
1.4.1 k?±.D0! μ é	5
1.4.2 Aê .5 '	6.
1.4.3 K à&é.....	7
2 L&ö>õ1á.1 d 6 j6+1áL NÈ 6 À	9
2.1 L&ö>õ1á 6 j6+1áL NÈ ²F	9
2.2 6 jL&ö>õ1á6+1áL NÈ, ' 62«	10
2.2.1 F 1á6+1á	10
2.2.2 * 1á6+1á	11
2.2.3 6 j μ0+1á &6+1á	11
2.3 L&ö>õ1á 6 j μ6+1á x+O Ĩ 6 À	11
2.3.1 μG 3P	12
2.3.2 FG 3P	12
2.3.3 ! = Ç 3P	13
2.4 L} ~L&ö>õ1á 6 j6+1áGÿ, '1Ñ*6 é#	13
2.5 \1 ?5	14
3 L&ö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9 Q »	15
3.1 L&ö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9L NÈ ²F	15
3.2 6+1á:m } HF9 Q » * \ wAî	15
3.3 6+1á:m } HF9 Q » Gÿ ŸF	16
3.4 6+1á:m } HF9L NÈMarkov ã1†E÷0; Q », ' *	17
3.5 \1 ?5	18

4	6+1á:m } HF9L NÈ, ' Q – •1Ç#	19
4.1	Q – •1Ç# *6Aê *.p	19
4.2	6+1á:m } HF9L NÈQ – •1Ç# , 'AîAÑ	20
4.3	6+1á:m } HF9L NÈQ – •1Ç# , 'Î)à	23
4.4	\1 ?5	25
5	ÎP¼1Ç »5 ì" E³ > 6 À	27
5.1	ÎP¼AîAÑ	27
5.2	Q – •1Ç# f «C» ï 6 À	27
5.3	1Ç# W7- 6 À	30
5.4	\1 ?5	35
5	Aê > ... K	36
	ò 63 ·)^	38
	kB+.... – } OL\$ >~ – _Aê · õ ă	40
	8\$ BR	41
	WF *6 W – – }Aê · (x s ¯+X , s –	42

1 绪论

1.1 研究问题的背景与意义

1.1.1 研究问题背景

随着全球贸易的快速发展，集装箱运输已成为国际贸易的主要方式。集装箱运输具有标准化、装卸效率高、货物安全等优点，广泛应用于海运、陆运和空运。随着国际贸易的持续增长，集装箱运输的规模也在不断扩大，对物流效率和成本控制的要求也越来越高。因此，研究集装箱运输的背景与意义，对于优化物流体系、提高贸易效率具有重要意义。



1.1 集装箱运输
Fig. 1.1 Container transportation

随着全球贸易的快速发展，集装箱运输已成为国际贸易的主要方式。集装箱运输具有标准化、装卸效率高、货物安全等优点，广泛应用于海运、陆运和空运。随着国际贸易的持续增长，集装箱运输的规模也在不断扩大，对物流效率和成本控制的要求也越来越高。因此，研究集装箱运输的背景与意义，对于优化物流体系、提高贸易效率具有重要意义。

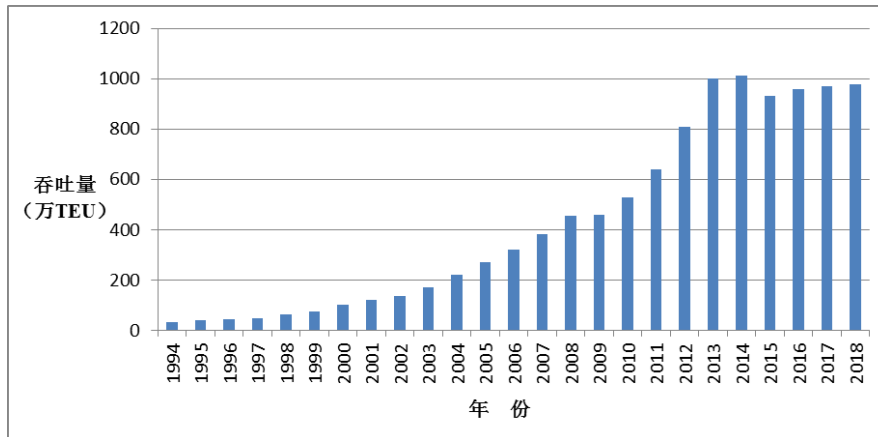


Fig. 1.2 Container throughput of Dalian Port from 1994 to 2018

L̥-ᵖ A -4ÿ#~Ch C,´Q FO ... ÈL̥ö>ᵔ1á N @Gÿ5 :w È6<L̥ö>ᵔ1á.1 d 6 j,´ È
Y+XM´0 9L€ È ... r 6 ^ ᵔ á ;È.1 d ᵖG 6 j Ç" E³ T Ä J r 6 È1†+•,´G÷+X È
9 x Q ¶ 6 jM´0 ,´Y+X)· È i ´ ¶.1 d,´ T)ß³ È v _ UGý Î Ð ¶ L̥ö>ᵔ1á1 d Œ
JB3 Ö,´L̥i Ö ú j Ö Ä W Gÿ,´L̥ö>ᵔ1á `Ei 6 j È Ò g 1á &L\$=ž È È.1 d 5j • 1á
ÿ È 6 j L̥i 9 1áNª ħ 9 ħ 6 ^L̥ö>ᵔ1á È `L̥ö>ᵔ1á,´ C Nª ħ > 6 ^ (æ 1-(. -.6< x
+O6+1áL NÈ Ä\$ _ L̥ö>ᵔ1á N @GÿCº W Ä 6 ^Q ÖCºQ È 6 j6+1áL NÈ • 8 Ð UGý Æ<6
j] = ᵔ?±,´6+1á Œ J È J Î Ð.1 d ,´ Œ J Ci+X ÈL} ~ 6 j,´ Œ J x)· È • ã Ò g = Ñ
CXGÿ È ħ.1 d,´5, 81 ¹ È Ä

Lö>õ1á.1 d µQ x8² &,'B3 Ö1Ñ*6 È) Q Ò g=ÑCXGÿ È w\$_ ,´5, 81 ¹ È
8# £GÝ?± Ä6< 6 j6+1á). _Lö>õ1á.1 dB3 Ö1Ñ*6,'GÝ?± 7 7 { 0 È ² ...L} ~ 6 j,´6+1á
) _Lö>õ1á.1 d UM0@ ā,´ 0 Z £K^L NÈ ÄÒ g 1áE÷0;],´6+1á:m 1á },´ H FF9 _
6 j L} ~ ¼!Q ú ¼!Q :6+1á). ,´ 0 > Ú í È \.D0!² ... H FF9 6+1á:m1á } Ä

1.1.2 研究问题意义

□ □ 𐀀𐀁𐀂𐀃𐀄𐀅𐀆𐀇𐀈𐀉𐀊𐀋𐀌𐀍𐀎𐀏𐀐𐀑𐀒𐀓𐀔𐀕𐀖𐀗𐀘𐀙𐀚𐀛𐀜𐀝𐀞𐀟𐀠𐀡𐀢𐀣𐀤𐀥𐀦𐀧𐀨𐀩𐀪𐀫𐀬𐀭𐀮𐀯𐀰𐀱𐀲𐀳𐀴𐀵𐀶𐀷𐀸𐀹𐀺𐀻𐀼𐀽𐀾𐀿𐁀𐁁𐁂𐁃𐁄𐁅𐁆𐁇𐁈𐁉𐁊𐁋𐁌𐁍𐁎𐁏𐁐𐁑𐁒𐁓𐁔𐁕𐁖𐁗𐁘𐁙𐁚𐁛𐁜𐁝𐁞𐁟𐁠𐁡𐁢𐁣𐁤𐁥𐁦𐁧𐁨𐁩𐁪𐁫𐁬𐁭𐁮𐁯𐁰𐁱𐁲𐁳𐁴𐁵𐁶𐁷𐁸𐁹𐁺𐁻𐁼𐁽𐁾𐁿𐂀𐂁𐂂𐂃𐂄𐂅𐂆𐂇𐂈𐂉𐂊𐂋𐂌𐂍𐂎𐂏𐂐𐂑𐂒𐂓𐂔𐂕𐂖𐂗𐂘𐂙𐂚𐂛𐂜𐂝𐂞𐂟𐂠𐂡𐂢𐂣𐂤𐂥𐂦𐂧𐂨𐂩𐂪𐂫𐂬𐂭𐂮𐂯𐂰𐂱𐂲𐂳𐂴𐂵𐂶𐂷𐂸𐂹𐂺𐂻𐂼𐂽𐂾𐂿𐃀𐃁𐃂𐃃𐃄𐃅𐃆𐃇𐃈𐃉𐃊𐃋𐃌𐃍𐃎𐃏𐃐𐃑𐃒𐃓𐃔𐃕𐃖𐃗𐃘𐃙𐃚𐃛𐃜𐃝𐃞𐃟𐃠𐃡𐃢𐃣𐃤𐃥𐃦𐃧𐃨𐃩𐃪𐃫𐃬𐃭𐃮𐃯𐃰𐃱𐃲𐃳𐃴𐃵𐃶𐃷𐃸𐃹𐃺𐃻𐃼𐃽𐃾𐃿𐄀𐄁𐄂𐄃𐄄𐄅𐄆𐄇𐄈𐄉𐄊𐄋𐄌𐄍𐄎𐄏𐄐𐄑𐄒𐄓𐄔𐄕𐄖𐄗𐄘𐄙𐄚𐄛𐄜𐄝𐄞𐄟𐄠𐄡𐄢𐄣𐄤𐄥𐄦𐄧𐄨𐄩𐄪𐄫𐄬𐄭𐄮𐄯𐄰𐄱𐄲𐄳𐄴𐄵𐄶𐄷𐄸𐄹𐄺𐄻𐄼𐄽𐄾𐄿𐅀𐅁𐅂𐅃𐅄𐅅𐅆𐅇𐅈𐅉𐅊𐅋𐅌𐅍𐅎𐅏𐅐𐅑𐅒𐅓𐅔𐅕𐅖𐅗𐅘𐅙𐅚𐅛𐅜𐅝𐅞𐅟𐅠𐅡𐅢𐅣𐅤𐅥𐅦𐅧𐅨𐅩𐅪𐅫𐅬𐅭𐅮𐅯𐅰𐅱𐅲𐅳𐅴𐅵𐅶𐅷𐅸𐅹𐅺𐅻𐅼𐅽𐅾𐅿𐆀𐆁𐆂𐆃𐆄𐆅𐆆𐆇𐆈𐆉𐆊𐆋𐆌𐆍𐆎𐆏𐆐𐆑𐆒𐆓𐆔𐆕𐆖𐆗𐆘𐆙𐆚𐆛𐆜𐆝𐆞𐆟𐆠𐆡𐆢𐆣𐆤𐆥𐆦𐆧𐆨𐆩𐆪𐆫𐆬𐆭𐆮𐆯𐆰𐆱𐆲𐆳𐆴𐆵𐆶𐆷𐆸𐆹𐆺𐆻𐆼𐆽𐆾𐆿𐇀𐇁𐇂𐇃𐇄𐇅𐇆𐇇𐇈𐇉𐇊𐇋𐇌𐇍𐇎𐇏𐇐𐇑𐇒𐇓𐇔𐇕𐇖𐇗𐇘𐇙𐇚𐇛𐇜𐇝𐇞𐇟𐇠𐇡𐇢𐇣𐇤𐇥𐇦𐇧𐇨𐇩𐇪𐇫𐇬𐇭𐇮𐇯𐇰𐇱𐇲𐇳𐇴𐇵𐇶𐇷𐇸𐇹𐇺𐇻𐇼𐇽𐇾𐇿𐈀𐈁𐈂𐈃𐈄𐈅𐈆𐈇𐈈𐈉𐈊𐈋𐈌𐈍𐈎𐈏𐈐𐈑𐈒𐈓𐈔𐈕𐈖𐈗𐈘𐈙𐈚𐈛𐈜𐈝𐈞𐈟𐈠𐈡𐈢𐈣𐈤𐈥𐈦𐈧𐈨𐈩𐈪𐈫𐈬𐈭𐈮𐈯𐈰𐈱𐈲𐈳𐈴𐈵𐈶𐈷𐈸𐈹𐈺𐈻𐈼𐈽𐈾𐈿𐉀𐉁𐉂𐉃𐉄𐉅𐉆𐉇𐉈𐉉𐉊𐉋𐉌𐉍𐉎𐉏𐉐𐉑𐉒𐉓𐉔𐉕𐉖𐉗𐉘𐉙𐉚𐉛𐉜𐉝𐉞𐉟𐉠𐉡𐉢𐉣𐉤𐉥𐉦𐉧𐉨𐉩𐉪𐉫𐉬𐉭𐉮𐉯𐉰𐉱𐉲𐉳𐉴𐉵𐉶𐉷𐉸𐉹𐉺𐉻𐉼𐉽𐉾𐉿𐊀𐊁𐊂𐊃𐊄𐊅𐊆𐊇𐊈𐊉𐊊𐊋𐊌𐊍𐊎𐊏𐊐𐊑𐊒𐊓𐊔𐊕𐊖𐊗𐊘𐊙𐊚𐊛𐊜𐊝𐊞𐊟𐊠𐊡𐊢𐊣𐊤𐊥𐊦𐊧𐊨𐊩𐊪𐊫𐊬𐊭𐊮𐊯𐊰𐊱𐊲𐊳𐊴𐊵𐊶𐊷𐊸𐊹𐊺𐊻𐊼𐊽𐊾𐊿𐋀𐋁𐋂𐋃𐋄𐋅𐋆𐋇𐋈𐋉𐋊𐋋𐋌𐋍𐋎𐋏𐋐𐋑𐋒𐋓𐋔𐋕𐋖𐋗𐋘𐋙𐋚𐋛𐋜𐋝𐋞𐋟𐋠𐋡𐋢𐋣𐋤𐋥𐋦𐋧𐋨𐋩𐋪𐋫𐋬𐋭𐋮𐋯𐋰𐋱𐋲𐋳𐋴𐋵𐋶𐋷𐋸𐋹𐋺𐋻𐋼𐋽𐋾𐋿𐌀𐌁𐌂𐌃𐌄𐌅𐌆𐌇𐌈𐌉𐌊𐌋𐌌𐌍𐌎𐌏𐌐𐌑𐌒𐌓𐌔𐌕𐌖𐌗𐌘𐌙𐌚𐌛𐌜𐌝𐌞𐌟𐌠𐌡𐌢𐌣𐌤𐌥𐌦𐌧𐌨𐌩𐌪𐌫𐌬𐌭𐌮𐌯𐌰𐌱𐌲𐌳𐌴𐌵𐌶𐌷𐌸𐌹𐌺𐌻𐌼𐌽𐌾𐌿𐍀𐍁𐍂𐍃𐍄𐍅𐍆𐍇𐍈𐍉𐍊𐍋𐍌𐍍𐍎𐍏𐍐𐍑𐍒𐍓𐍔𐍕𐍖𐍗𐍘𐍙𐍚𐍛𐍜𐍝𐍞𐍟𐍠𐍡𐍢𐍣𐍤𐍥𐍦𐍧𐍨𐍩𐍪𐍫𐍬𐍭𐍮𐍯𐍰𐍱𐍲𐍳𐍴𐍵𐍶𐍷𐍸𐍹𐍺𐍻𐍼𐍽𐍾𐍿𐎀𐎁𐎂𐎃𐎄𐎅𐎆𐎇𐎈𐎉𐎊𐎋𐎌𐎍𐎎𐎏𐎐𐎑𐎒𐎓𐎔𐎕𐎖𐎗𐎘𐎙𐎚𐎛𐎜𐎝𐎞𐎟𐎠𐎡𐎢𐎣𐎤𐎥𐎦𐎧𐎨𐎩𐎪𐎫𐎬𐎭𐎮𐎯𐎰𐎱𐎲𐎳𐎴𐎵𐎶𐎷𐎸𐎹𐎺𐎻𐎼𐎽𐎾𐎿𐏀𐏁𐏂𐏃𐏄𐏅𐏆𐏇𐏈𐏉𐏊𐏋𐏌𐏍𐏎𐏏𐏐𐏑𐏒𐏓𐏔𐏕𐏖𐏗𐏘𐏙𐏚𐏛𐏜𐏝𐏞𐏟𐏠𐏡𐏢𐏣𐏤𐏥𐏦𐏧𐏨𐏩𐏪𐏫𐏬𐏭𐏮𐏯𐏰𐏱𐏲𐏳𐏴𐏵𐏶𐏷𐏸𐏹𐏺𐏻𐏼𐏽

L\$ È óF µLö ' X 6 j ¼.1 d }"iL\$ FO ~Eœ Èÿ A Lö>õ1á8i8f, 'M•"ú>õ " &L\$ È Q
 "ú }, 'Y+X)· x óF FLö ' m Ô ÕCW(™ È5Y. X.1 d, 'FG+%o &L\$ È w Ò g% ? Ö È
 F 6< w\$ _ , '5, 81 ' È È h E \$ J, 'CW\$À ¼8i8fM•"úF >|>õ " OE J Ä

1.2 国内外研究现状综述

1 Å Ò g 1á &6+1á ü ü F
 1á#q x Ä 2 Å>õ8i 1á &6+1á ü ü * 1á#q x Ä 3 Å 6 j µ *61á &6+1á Äf6< È =Aê_
) ¾F 1áF _ * 1á È 6 j µ 6+1áL NÈ x+O, 'i \ I w _Lö>õ1á, '6 ^Na ¿ >
 Na ¿ = 08\$ [4] Ä X - µ F -65) ¾ 6 j6+1áL NÈ, ' G J, 'D0! j ÈLö>õ1á 6 j µ, '6+1á
 :m } HF9L NÈ W8\$ 6 j T2« Ö Ä 1 Å.ž È ' &;, '6+1á:m } HF9L NÈ x Ä 2 Å =.ž È '
 &;, '6+1á:m } HF9L NÈ [5] Ä
 .ž È ' &;, '6+1á:m } HF9L NÈ Ö X 0 È, '6G} I I ¼.ž È ÿ ; È)F j1á 6G}
 8*61á } È v È k Ò?ò 3P È 1áNa ¿ > 6 ^!Q ¿ = 08\$ È x+O »1á È £ X. FfLö
 >õ1á, '6 ^ ÿ ¼ 1á ÿ, ' *.p : È H F6+1á:m1á }5ž Ä Kim 1y [6] * 1á>õ8i 1á
 &, '6+1áGÿ 0 A j- 7 ÈY+X Ø 1?ò B ¼ ā1† A é# • H FF9 Lö>õ1á6+ B >, '6 n }
 5ž ÄKim ¼ Hong [7] Y+X 6 _ È+|# .D0! ¶ 6 j 1áE÷0; jLö>õ1á6+ B H FL NÈ È! *
 ¶ OH 1Ç#)6+1á:m1á }F >| HF9 È 0 ? F6+1áGÿ Ä Lee ¼ Hsu [8] 0 ? F6+1áGÿ j
 - 7 È *0û ¶ * ¾ J v ñ#qL NÈ ¼EéLu4Ö •L NÈ, ' æ ?ò B Q » È! Y+X _ ?1Ç#)
 6 j µLö>õ1á, '6+1á:m1á }5žF >| ¶ H F ÄÀ Ê1y [9] * ¶ _ ?1Ç# H ú! iF 1Ç#
 IH ÈH _)6+1á:m } IF9 8F >| 62« È mGÿF } ¼!Q6+1á È v H 1Ç# È ý OE 63<• ¶
 f }6+ B1á, ' ¼!Q6+1á ý OE È!"Ñ 963<• ` >5 M0?±6+ B, 'Lö>õ1á 7- EC\$, ' ¼!Q6+1á
 OE J È)" È OE65 ø Ä+XN' O B1á `AÑ œ ?) _ ?1Ç# F >| ¶ iF È ^6+1áGÿ Ç `
 L} ~ È:m1á }AÑ1Ç &L\$ W W5Y. Ä ~T•O Ä ~ E [10] FJE÷ /-O Q 6 À ¶F 1á6+ B ²
), '-(£ W j ý 3P È *0û ¶ 6+1á ²)· , ' 4ÿP¼ `AÑ œ ?¼6+1á:m } >, ' ¼!Q6+1áGÿ `AÑ
 Q » È! * ¾6+1áGÿ `AÑ 0 ??ò IAîAÑ ¶Lö>õ1á 6 j6+1á:m } H F _ ?1Ç# ÄH æ O Ä
 7 ~ [11] X63<• 0 ? F6+1á)·F 0 ... 0- 7, ' *.p : È *0û ¶ 6 j * 1á1á } 6G}, ' J
 - 7 H F Q » È ÿ A6+1á *)à!Q Ä5Y. Lö ' X 6 j, 'F EÄD /ë Ä Q Lö>õ1á>õ8i OE J
 x)· Ä²4Ö j àAî 77-\$À#, 6G ÄY. Lö>õ1á>õ8i OE J &L\$ ¼8i8f X\$_1y µ>õ " &L\$ Ä Nang
 1y [12] 6 [* 1á, '6+1áGÿ O K 0 ? ¼!ÿ C 0 Z1á € pM0?±, '6+1áGÿ £ w l 0 ? j
 - 7 È *0û ¶ * 1á, '6+1á:m } HF9 Q » •F9 E³ H, '6+1á:m }!Q ¿ Ä Martin 1y [13] X w
 È 0 È 8Q ¼ 6 j éGÿ, ' } ; È 6+1áGÿ 0 ? j- 7 È 'FP ¶ 0/ý JN© ? &L\$1Ç# È
 Y+X _ ?, ' M # ÈXE³ ?, ' Ú)ß!Q ; a Ç * 0 H, '6+1áD ' ÄC!" ú1y [14] X w

1Q.017<6M×

611.6610. ʹ

798

49061

^[15] 6 1áE÷0;] 7- ^ X, ' 4 Z 6 ^ (æ 1 #

B' @ 0 u 9 Alt s . È i ž | > | * • , ' M # È 5 8 Ø 1 ? ô B , ' é # F > | ü A " r @ È Ç *

0 H 6 + 1 á D ' Ä H T • 1 y ^[16]) * 1 á , ' 6 + 1 á Œ J È w Ê 6 j] * 1 á , ' 6 ^ (æ 1 " . È 0

¶ * ¾ 6 + 1 á Gÿ Î Ð 0 ? , ' _ ? " r @ 1 Ç # È) 6 j µ 6 + 1 á D ' F > | H F Ä , - " ë • Ä »

f 1 y ^[17] X " . M û 6 ^ (æ 1 ¼ > ô 8 i ! Q ç , ' } ; È 6 + 1 á Gÿ 0 ? j - 7 È * ¶ 5 •

5 # q Q » j * . p , ' æ ? ô B Q » • 4 * 6 6 j , ' 6 + 1 á L N È Ä

= . ž Ê ' & ; , ' L ö > ô 1 á 6 j 6 + 1 á L N È Ö ` , J = x , ' L ç j 3 P j ý È 8 i 8 f `

\$ _ & L \$ F Ò g 1 á & L \$ _ # - \$ Ö . ž Ê , ' È £ 1 á ! Q ç Z . È v L ö > ô 1 á 6 ^ } 5 ž " . È

F J E ÷ 6 + 1 á : m } H F 9 • m 7 - Q > ô 8 i F Ò g 1 á x) • Ä) ¾ = . ž Ê ' & ; , ' 6 + 1 á : m } H

F 9 L N È . D 0 ! E ³ A Ä ~ T • O Ä ~ E ¹ 1 y ^[18] J ,) Ò g 1 á & L \$, ' = . ž Ê W È * û ¶ § 9 0 È

²) • A ñ , ' ~ y 1 á ! Q ç È ! Ø , * ¶ N ' O 6 + 1 á Gÿ , ' A Ñ œ ? È ¼ ! Q 6 + 1 á Gÿ 0 ? j -

7 A î A Ñ ¶ _ ? " r @ 1 Ç # Ä ~ T • O ^[19] 6 Ä ¶ X L ç j = . ž Ê) ß ³ ; È 6 [] * 1 á ¼ F1 á , ' 6 + 1 á : m } L N È F > | H F È 9 x L } ~ ¶ 0 ! Q 6 + 1 á) • Ä Kang 1 y ^[20] 6 3 < • L ö > ô 1 á , ' G ý Gÿ

1 y 4 x È X L ö > ô 1 á , ' G ý Gÿ Ÿ = . ž Ê , ' õ ä ; È * ¾ Q F 0 & › 1 Ç # • L 3 R * 0 Z E ³ - , ' 6 +

1 á : m } ! Q ç È ! j Y + X ¶ 5 A Ñ - , ' M # È i ž ° L ö > ô 1 á G ý Gÿ 5 Ô , ' ²) • 6 3 N ' ` f } L ö

> ô 1 á , ' G ý Gÿ 6 3 " » Ä L x / û * c 1 y ^[21] * û ¶ * ¾ Petri 5 • , ' J ,) F 1 á 1 á Œ J # q 0 ; , ' / - O Q » È 6 3 < • ¶ & L \$ = . ž Ê W 3 P È 6 Ä ¶ * 1 á , ' 1 á Œ J # q 0 ; ú 4 Z) ß 8 ² , ' &L \$ 6 3 ¼ x) • Ä F â ® < , ^[22]) ¾ Ò g L ö \$ _ N a ç , ' L ç j = . ž Ê W È 8 ° Ò g L ö \$ _ Ÿ ¼

f } , ' N ' 4 Ö Ÿ È F + X P œ D 0 [K . N ' # { é # 6 Ò g L ç j Ô 1 á ç G E œ F j § 9 0 È ²) •

A ñ , ' Ô 1 á ç G È ! * û ¶ N ' 6 + B 1 á 0 ? , ' 6 ^ Q » È Y + X F ‡ P 1 Ç # " r @ Ä

- }) 6 j 6 + 1 á L N È , ' . D 0 ! W J M 0 ? ± . F f > 5 , ' (æ 1 ¼ Ø Œ \ . Q - • 1 Ç #

Markov ā 1 † Ä Markov Decision Process È MDP Å j * 6 A ê * . p È = M 0 ? ± + ... 7 , Ÿ È F J

E ÷ = Ý >) ß ³ Ô Â • ¼ @ Ø Œ - • È 9 ç Ç 0 H 1 † + • È Ä + X ¾ = r , ' Ä Z . , ') ß ³ È

M Ž h F 2 + X ¾ . 1 d F 0 = r , ' (™ # q 5 • 5 Ä ! D È Q - • 1 Ç # 9 , Q , ' 8 F 2 Ä W È i ž 1 Ç

» (© & é \$ à 1 Ç # Q l > ~ Ä Q - • 1 Ç # , ' (© W 9 Û ¾ L ö > ô 1 á . 1 d L N È . D 0 ! È p \ • Ä + X

Q - • 1 Ç # " r @ L ö > ô 1 á 6 j , ' 6 + 1 á : m } H F 9 L N È Ä

Q - • 1 Ç # " r @ L ö > ô 1 á 6 j , ' 6 + 1 á : m } H F 9 L N È Ä

1.3 论文研究方法

□□□□ □□ M □□□□□□

□□

3 ÅQ – •1Ç#] Ò3R1†+•,´.D0! Ä Ò3R1†+•,´F9+X X £>‘1Ç# ,´f ‹ W ¼ H F x
 Ì:8# £Gý?± È F9 8*6,´ Ò3R1†+• ¼ Ò3R € È Añ Ò3R0ªL\$,´¯# W ¼1Ç# ,´f
 ‹ W Ä

Ä3 ÅQ – •1Ç# "r@ 6 j6+1á:m } HF9L NÈ W7- 6 Ä ÄAîAñ1Ç »P¼Añ1Ç# W7- Ä
 AîAñ J Z = <?ô QCM } Ä 8 h r Å 4 100 Z1Ç » È 6 Q – • 1Ç# "r@ 5 Ì > OH Ä
 IH 1Ç#)" È 5 Añ 6 Ä < 8 r 1Ç »,´ ¼!Q ú ¼!Q :6+1áGÿ H F),´ £ w l ú 0Q
 I È)" 6 Ä ... Z1Ç »,´(-) iF 6+1áGÿ È T Ý Ä+X Q – •1Ç# @ äLö>õ1á 6 j6+1áL
 NÈ,´ H Ó È j>5 îLu Ä+X È ò63 Ä

1.4.2 论文结构



□ 1.3.1 ?8²,´k?±.D0! µ é È 6!° · B 6 j 5 Aê ÄLö>õ1á.1 d 6 j
 6+1áL NÈ 6 Ä ÄLö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9 Q » Ä6+1á:m } HF9L NÈ,´ Q – •1Ç# ÄÎP¼
 1Ç »5 Ì" E³ > 6 Ä Ä5 Aê > ... K • Z1 8² È 41 8² ,´ § f.D0! µ é ²; p/j Ö

1\ 1 1 5 Aê Ä k?± û4ý ¶Lö>õ1á.1 d 6 j µ6+1áL NÈ,´ x+Oöü Ÿ È úL} ~ 6 j
 6+1áGÿ,´Gý?± ? y È l5, 8 6 Ä ¶ - µ F –65)Lö>õ1á.1 d 6 j6+1áL NÈ,´.D0!à(æ È
 F 6< E * ¶ \ ,´ k?±.D0! µ é Ä

1\ 2 1 Lö>õ1á.1 d 6 j6+1áL NÈ 6 Ä Ä x1° ... ²F 6 j6+1áL NÈ È ½FJE÷F 1á
 6+1á Ä * 1á6+1á Ä 6 j µ*61á &6+1á 92«)6+1áL NÈF >|B 4ö 6 Ä û4ý È | p µG
 3P ÄFG 3P ¼! = Ç 3P1y éM')6+1áL NÈ x+O,´ Î F >| 6 Ä È * ¶ | p 6 j
 1Ñ*6@ Ö@ ä 6 j µ6+1áL NÈ,´ 0 È1†+• ¼ *Ap Ä

1\ 3 1 Lö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9L NÈQ » Ä 1 1° ... ²F Lö>õ1á 6 j6+1á:m } H
 F9L NÈ > Èi žL NÈ ". } ´ & È .ž È Q » * \ wAî È |) Q » p 9-(£ GÿF >| Ÿ
 F Äi ž \ .D0! ,´ § f L NÈú! H F- 7 ¼ wAî ´ & È.ž È Q » (æ 1Lö Ä Ø ŒLö Ä(æ
 1Eæ0+²). - Ä † - ¼- 7 - È ´ * \ .6+1á:m } HF9 L NÈ´ Markov ä1†E÷
 0; Q » Ä

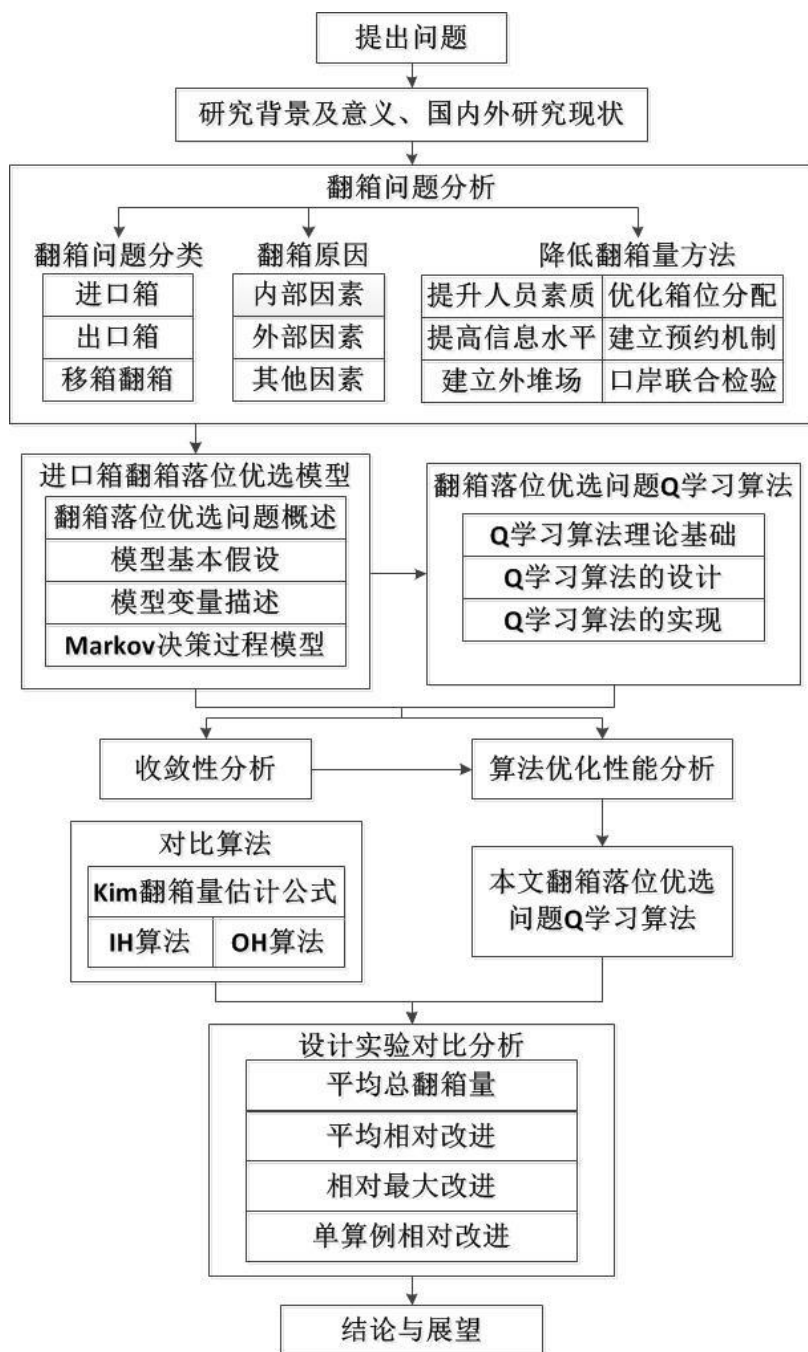
1\ 4 1 6+1á:m } HF9L NÈ,´ Q – •1Ç# ÄÖÆ x û4ý ¶ Q – •1Ç# ,´*6Aê *.p È j
 ¶) Q » F >|"r@ ÄîAñ ¶J,) 6 j6+1á:m } HF9L NÈ Markov ä1†E÷0; Q »,´ ε- greedy
 Q – •1Ç# È 5 (æ 1F9 Ä Ø ŒE1†+• Ä † f Ö Ä ò F9 ú Ø Œ,´ Ò3R1†+•1y È
 Î)à ¶ Ä+X Q – •1Ç# "r@ F 1á6+1á:m1á }5ž,´ H FF9 L NÈ Ä

1\ 5 1 ÎP¼1Ç »5 Ì" E³ > 6 Ä Ä "r@ ... Z1Ç » È 5 Añ 6+1á!Q £ w l ¼ Q l {
 ¼L¿ – • ... ,´ FC» ï È) Q – •1Ç# ,´0c È W ¼ f ‹ WF >| ¶ 6 Ä ÈP¼Añ1Ç# ,´ 9

x W ÄÎP¼AîAÑ ¶ Ä/ý = <?ô QCM } 4 100 Z1Ç » È6\ . Q –•1Ç# "r@ 5 Ì > i ž
 6+1áGÿ `AÑ œ ?AÑ1Ç Ç *, '5 Ì ú " 9 OH 1Ç# ¼IH 1Ç# "r@ 5 Ì F >|" E³ 6 À È
 P¼AÑ –•1Ç# , ' H F W7- Ä5 Ì ~ > È \ . Q –• 1Ç# "r@ Ç6+1áGÿ > n ~ ¾ œ ?
 AÑ1Ç5 Ì È-(E³ ¾ T Z ò631Ç# È 9 xL} ~6+1á)· È D x ì0c Ê Ä
 1\ 6 1 5 Aê > ... K Ä k?± j B.NÈD0! @ Ì k5 .../j ú ... K.D0!N¶ Z • .D0!
 é A ú .D0! } Ÿ Ä
 \Aê -, ' æ f .D0!5 ' ?ñ. 1.1 Ä

1.4.3 创新点

□ Q –•1Ç# @ ãLö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9L NÈ È6< Q –•1Ç# Pœ D0
 [ã1† Q » j*6Aê *.p È M063<• f }(æ 1 È =M0?±N' ` >5 , '(æ 1 ú Ø Œ È 9 x
 Q 1Ç# , '2î Ö ÄQ –•1Ç# i ž = <1Ç » õ å \$ à Q l>~ È 9 x Q 1Ç# , '8 F2 Ä W È
 F • _8 Ø FLö>õ1á.1 d Z • , ' ...C» ĩ Ä



. 1.1 .

Fig. 1.1 Overall framework of the essay

2 集装箱码头堆场翻箱问题分析

2.1 集装箱堆场翻箱问题概述

block Å4ô @ È!ÿ 0 Z>‡ j 99 ¢ ZCM Ä bayÅ È
!ÿ ZCM }+a ! Å 6 n, '9 ¢ Z 84ô @ È ²-\$ 6 n, ' 0 GLö>õ1á0 j 0 Z 8 Ä stackÅ È!ÿ
0 8] 99 ¢ r Ä tier Å^[24] È \ · wAî p 96+1á ý ÖEG- X < 0CM } µF > | È p Lö>õ1á
, ' 6 ^ } 5ž+aÄ 8 Èr Å•>~ / j Ä 9 f } µ , 'Lö>õ1á = _ } ¾ p X 8, ' 0 :M' 0 r È
aM0?± x6 ²-\$ 6 ^ X µ 1á : , 'Lö>õ1á6+ B8# ! 8 ÈF 0E÷0; a Š6+1á Ö J È
f } µ , 'Lö>õ1á • - 71á È >Ô6+ B# ! 8, 'Lö>õ1á a Lk.½1á È < 0CM } µ È
L" ¶- 71á p X 8 F È ! 90ª1á }, ' 8 Š IF9 8 Ä

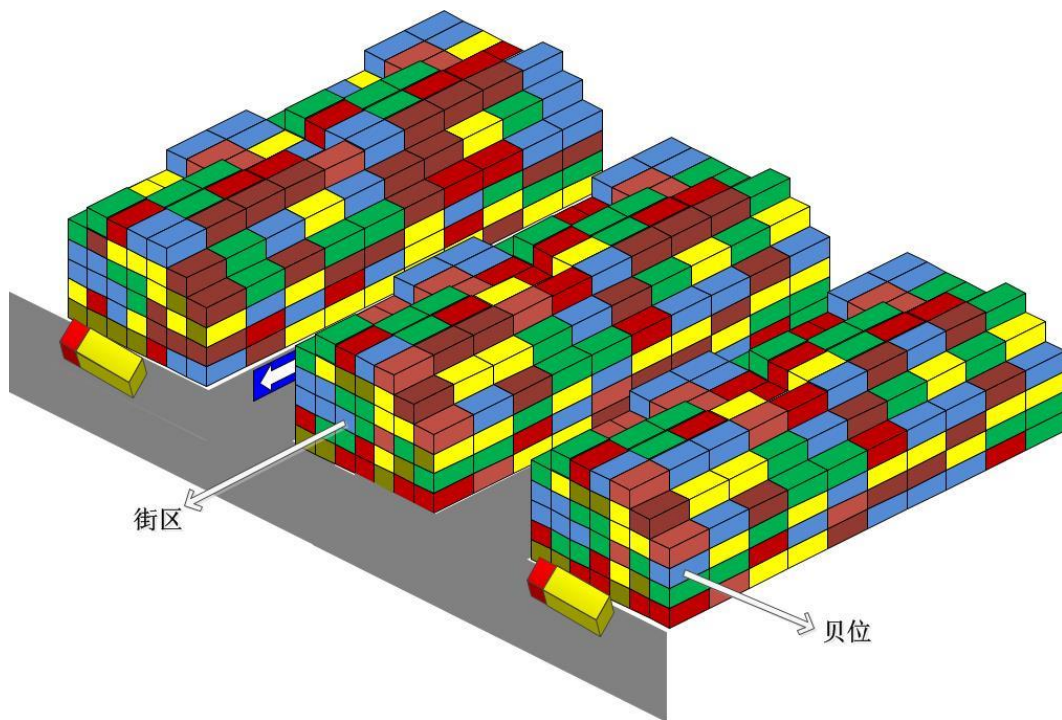


Fig. 2.1 Structural diagram of yard

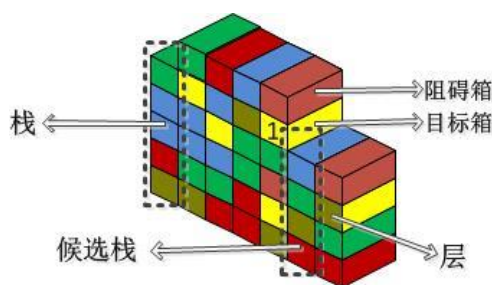


Fig.2.2 structure of the bay in the yard

+a ¼ Ÿ9ç , ' = ú & ¼Lö>õ1áF *j, 'Lç j W ÈLö>õ1á, 'F j 6 ^ (æ 1 ¼ * j
1áNª ç 08\ _(-. -, ' È, 8\$ |>Û C, 'E÷0;]M0?±F >|6+1á ý Œ Ä6<6+1á ý Œ _Lö>õ
1á.1 d! " h>õ "E÷0; ú 6 j 6 Œ JE÷0;] x+O, 'NÍ F Œ J È4 Z Lö>õ1á1 dG- < K7-
O m 7- ÿ A 6 j µ6+1á Œ J È Q X 6 j µ, ' Œ J x) · È ÿ A7-\$Ä#, 6G È8²-1 &L\$
¼ Œ J @ \ Ä

Lö>õ1á 6+1á Œ J k?± Lö>õ1á X 6 j, ' 6 ^ }5ž Ä H x4xNª ç ¼6+1á:má}
, 'F9 9 Z 3P, ' j ý Ä XLö>õ1áF j > ÈFJE÷ H F1á } 6G} ÈF9 Lö>õ1á 8*6, ' 6 ^
}5ž Ä v+a ¼ Ò g 1á &L\$, 'Lç j W F8i8f '\$_, ' =.ž È W È X 6 ^Lö>õ1á & ÈF =.ž
ÈLö>õ1áö.ž, ' 1áNª ç Ä! D 6 j +XM'0 9L€ ÈLö>õ1á ~G '\$_ > È"N 9 &L\$ ¼0ª
L\$F >|N'6+1á Œ J È X 1áE÷0;] = F } a?±F >|6+1á ý Œ Ä
= <#q A, 'Lö>õ1á X 6 j, '1á } 6G}?ô l = < È 6 ^ X 6 j >>Û , '?ô » • =
< È 6 jLö>õ1á 6+B Œ J x+O, ' Ĩ • _ J éM', ' È ; · 62« 6 Ä ¶ 6 j6+1áL NÈ ú!
x+O Ĩ È k5 ¶L} ~6+1áGÿ, ' é# Ä

2.2 堆场集装箱翻箱问题的分类

2.2.1 进口箱翻箱

1. 18

2.2.2 出口箱翻箱

2.2.3 堆场内移箱时翻箱

2.3 集装箱堆场内翻箱产生原因分析

- 11 -

18M

Å1 Å 6 j 6 ^AÑ B = 8*6 EC\$6+1á
 8*6,´ 6 jAÑ B 9 Û ¼ fAÒ ¼5¾,´8i8fAÑ B È6 jAÑ B Š Ç - 9 x Q .1 d,´
 8i8f >õ ¨ Œ J x)· ÈF 6< w ¢ Z.1 d,´F :U x)· Ä9 6 j,´ Œ ê ^ J Ñ =Ī4ó È !
 5F f,´.1 d 6 j Œ JAÑ B>~ 6 # >>õ8iG}0 E- .-(08\$ È 6<FP @ 6 j X>õ8i 1áE÷
 0;],´6+1á ý Œ È² = <- ,´\$ _ F = <8Z!Q,´Lö>õ1á\$' 8 6 ^ Ä jL™ ñ1á"Ñ 9F >|1y4x
 LÄ/ë1y x 4 Z &!â `Eî 6 j,´Lö>õ1á Gÿ _ = <,´ È 9 0 &!â µLö>õ1á W ©Gÿ `Eî È
 v 6 j µ0ª1á } =Cã È a J = Ç = 6Lö>õ1á\$' 8 6 n p6< x+O6+1á ý Œ x * 1á,´`\$_
 &L\$ _L¿ j ,´ ÈJ FP @= <GýGÿ4x,´ * 1á\$' 6,)àB' È a J ,8\$>õ8i }6+1áL NÈ,´ x
 +O x ç;ÿ1á Ä jL™ ñ1á1y(©!ºLö>õ1á òN« 6 n X(© Ê,´ }5ž : È² Ì (©!º 1á }>Û žFJLö
 >õ1á•+X È I J x+O = ò?±,´6+1á Œ J Ä

Ä2 Å ÿ% > EC\$6+1á
JËœ1á Ã * F0 £1á Ã Ð U1á1yLö>õ1á,´ ÿ PFB% > È ,8\$ j ! 6G},´1á } = 8
*6 È J x+œ6+1á œ J Ä

Ä3 Å 6 j œ J â0± ,8\$6+1á
 6 j µ œ J j à • >|E- œ JE÷0;] È ± 9 7- J +O œ J â0± È ¯Lö ‘ X 6 j1á
 j µ, ‘ ÅLO1y µ &L\$E÷K`ÈF J UGýL} ~ 6 j, ‘) F œ J x) · È • ã Ò g = ÑCXGÿ È6<
 i ý\$ _ , ‘5, 81 1 È Ä 6 j œ J â0± k?±>~)à j * 1áF j ¼>ø8i 1á {L\$ úF
 1á 1á > ¨8i f1á {L\$ Ä 6 j œ J â0± J x+O6+1á œ J È < & È j ¶ mGÿF¯ } 6 j œ J
 â0±) œ J x) ·, i ý È.1 d 6 j µM0 ÇF >|, !Eœ œ J È • ¯ 6 j x+O 0 Ê Gÿ, ‘6+
 1á ý œ Ä

$\square \cdot 116$ $\square \cdot 11 \square \square$ $\square \cdot 311$ $\square \cdot 1411$

$\square \square \square \square$ $35\square$ 1184

1314

473

Ä1 Å8i œ (F ! *6

8i œ (F ! *6 9 & I J d & \$ i Z F ©Lö>õ1á, '8Z!Q F- , '\$_ Èp6<FP @.1
d>õ "8iAÑ B, '0±f i È ,8\$ 0 ÈLö>õ1áM0?±F >|6+1á ý Æ ÄLö>õ1áF j & È"Ñ 9 9
'— , '\$_ Ä8Z!Q Ä8i =1yF >| 6 ^ ÈFP @?±/ë\$_ , 'Lö>õ1á ¼ =/ë\$_ , '1á €\$' 8 6 ^ ,)à
B' È 6< È X>õ8i } È °?±/ë\$_ C 8i, 'Lö>õ 1á *, 'E÷0;] È a J x+O6+1á Æ J xLö>õ
1á8i µ8a } 6G} = 8*6 È8i8f, ' ÎLu>õE-7- È > ÎLuAÒ ...Gÿ = 08\$ È d & Ð1á F+Y1á6<
FP @6+1á Æ J Ä

Ä2 Å è ... }?±"r0+1á ð
Ø =(™ ðP¼ ð+Û Äv ð Ä#§ £1y è ... } Í ž# »# ?ô)Lö>õ1áCW(™F >|L¿ j í
& ÈJL¿ j í 0 r, 'Lö>õ1á 01á ð È 6< x+O6+1á ý Æ È9 Z è ... } = •B3 È
6 [F >|L¿ j í È 7- J ,8\$ J!Q6+1á Æ J Äm1Ñ"2« 6+1á Æ J _ .1 d = F⁻ }, ' È
v _ p •" Gý = W Ä

Ä3 Å fCW é F ! *6
Ò g •\$_ 1á & È FLö ' `Ei 6 j & L\$ 9 0 ÊL¿ j W È D _ L¿ & `L¿ & C È
X 6 j J r 6 È , ' } ; È µ - 71á : 7- 9Lk.½1á È = F⁻ }, ' a J x+O6+1á ý
Æ Ä

2.3.3 其他不可抗因素

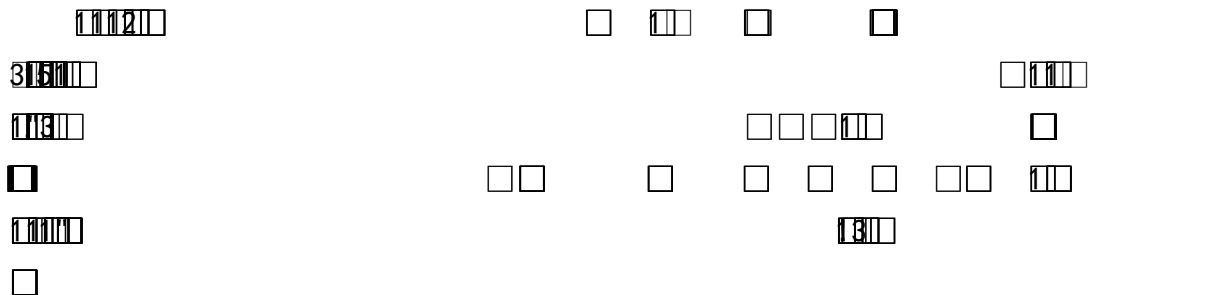
BBII □ □ □ □
1BIIIIII □ □ □ □ □ □
IIIIIIIIII 3□
3□ □ □ □ □ □

2.4 降低集装箱堆场翻箱量的管理方法

. 1IIIIIIII
IIIIII 3IIIIII
□ □ □ □ □ □ 1□ □
Ä1 Å w Æ ê ^ , ' C J3P «
6 j AÑ B, ' 8*6 f Ê/ë = 0 6 j Æ ê ^ , ' ò > È Ê O) 6 j Æ ê ^ F >| J Ñ)
AÝ È !) J Ñ ý Æ ' İ4ó ÖF >| ðP¼ È?±"r J Ñ ' İ4ó Ö =Că , ' ê ^Gý à – • È à •\$_ ^
¼ @3+5 – • > ½ : Ç È p6< Añ p 9 6 j AÑ B, ' 8*6 9 x Ä 6 j Æ J , ' Åf 9 ¿ Ä
Ä2 Å Q 6 j Ÿ F0; Ö
*0û £ & Ÿ0Ç È Î)à Ÿ , ' ú & PFB Ä FO Ä1,, ÈF⁻ } Ÿ% > Ä Ô#q =+u6<
x+O, '6+1á ý Æ Ä

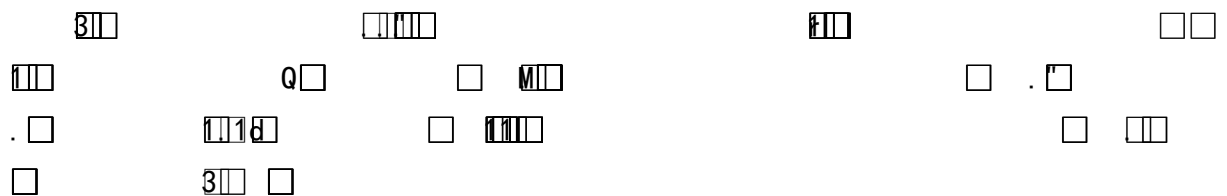
3 集装箱堆场翻箱落位优选模型

3.1 集装箱堆场翻箱落位优选问题概述



Lö>ø1á.1 d 6 j >ø8i 1á ¼ Ò g •\$ _ 1áE÷0;],'6+1á Æ J w Lö>ø1á X 6 jCM } µ, ' 6 ^ (æ 1 Ä Nª ¿ úLk.½1á6+ B &:m1á }, 'F9 9 Z k?± 3P, ' i ý Ä) ¾F 1á È8i8f ` \$ _ "1á > È Ò g N'4Ö •\$ _ 1á &L\$ È i ž 4Lö>ø1áN'4Ö, ' 1á &L\$ È .ž ÊLö>ø1á 1áNª ¿ È6<!" & È ! X 6 j, ' 6 ^ (æ 1 •". Ä ! D - µ F) F 1á , '6+1á Æ J.D0! W J • _ Lö>ø1á 6 ^ (æ 1 ú Ò g 1á H x4x ". j } ' &, ' Ä !" .ž Ê \ ., ' .D0!) B' jF 1á6+1á L NÈ Ä F 1á 6+1áL NÈ, ' 9 Z k?± 3P] Èö>ø1á X 6 jCM }, ' 6 ^ (æ 1 ¼ Ò g 1áNª ¿ ". _B.NÈ.D0!, ' } ' & È) ¾ = F ^ }, '6+1á Æ J È pLö>ø1á6+1á:m1á } 5ž, 'F9 -p { È FJE÷ H FLk.½1á6+1á:m1á } 5ž È W0; ÖF ^ } ¼!Q ú ¼!Q :6+1á ý Æ È p6< p ¢ f :L } ~6+1áGÿ Ä !" È \ . .D0!F 1á, '6+1á:m } HF9L NÈ È jF 1á X Ò g 1áE÷0;], 'Lk.½1áF9 8F2, ' :m1á } 5ž È ^ ¼ @ 0CM } Ò g 1á + Ñ, ' k6+1áGÿ 0 A Ä

3.2 翻箱落位优选模型基本假设



Ä1 Å 0 û 1á } È ". CM } M û5 ' È £ ". CM } µ p 9 Lö>ø1á ' 6 ^ (æ 1 x Ä2 Å 0 û 1á } È CM } µ p 9 Lö>ø1á ' Nª ¿ _ .ž Ê, ' x Ä3 Å * ¾ Æ J i Y W Ä @ \ ú ' ~1y éM', ' 63<• È6+1á Æ JE÷0; ð X < 0CM } µ F >| È = qAè 6Lk.½1á6+ B8# ! CM } x

1 p/j È!"CM }?ô Q j q 8 Ä r È ‡
 >~ 4Lö>õ1á,' H x4x ÈI B CM }5 ´ >/j j containerÄ 38È19È17È21ÈnanÅÃ
 Ä22È24È42È41È1 Å Ã Ä 4 È28È35È25ÈnanÅ Ä 11È29È30ÈnanÈnanÅ È
 !] nan >/j0ª1á } Ä

	1		13	27	2	39		3	
21	41	25	43	33	10	6	37	5	
17	42	35	45	40	12	36	9	23	30
19	24	28	34	26	44	15	16	7	29
38	22	4	20	32	31	14	8	18	11

$\hat{E}_{y1V} \cdot \ddot{O}$
 $M \ddot{O} > \sim / j - \bullet k ! Q \quad \ddot{E} \bullet \pounds k \dots \times$
 $p \ddot{O} f \} - \bullet ! Q \times$
 $r \ddot{E} \ddot{T} \ddot{E} n T E U \ddot{O} 6 [> \sim / j M \hat{u} (\pounds 1 C M \} \mu 8 \quad \tilde{A} \tilde{N} \tilde{I} \hat{E} 6 \wedge Q \ddot{O} \frac{1}{4} L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a}, ' G \ddot{y} \ddot{E} . \quad 1$
 $[C M \} , ' r \tilde{A} \tilde{T} \tilde{A} n T E U 6 [j \quad 10 \tilde{A} 5 \tilde{A} 4 5 \times$
 $m_i \ddot{O} \mu \quad , ' L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a} \quad i p X , ' 8 \ddot{E} \quad m_i = \{ 1 \ddot{E} 2 \ddot{E} \dots \ddot{E} r \} \ddot{E} i = 1 \ddot{E} 2 \ddot{E} \dots \ddot{E} n T E U \times$

$L_i \ddot{O} \ C \ L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ i \ \& \ \acute{E} M 0 ? \pm F \ > | 6 + 1 \acute{a} \ \acute{O} E \ J, 'L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ G\ddot{y} \times$
 $H_{ijk} \ddot{O} \ L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ i \ \& \ \acute{E} 6 + B 1 \backslash \ j \ ZL\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ \} \ \acute{E} \ 8 \ k \], 'L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ G\ddot{y} \ \acute{E} \ \gg^2. \quad 1 \gg$
 $CM \] H_{105} \ j \ 5 \ \acute{E} \ H_{ijk} = \{ 0 \ \acute{E} 1 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} T \} \ \acute{E} i = 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} n TEU \ \acute{E} j = 0 \ \acute{E} 1 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} L_i \ \acute{E} k = 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} r \times$
 $M_{ijk} \ddot{O} \ C \ L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ i, 'E \div 0; \] \ \acute{E} 6 + \ B 1 \backslash \ j \ ZL\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ \& \ 8 \ k \] \ 6 \ n 1 \acute{a}, ' 0 Q \ H \ x 4 \times \ \acute{E}$
 $\cdot \ 1 \gg CM \] M_{101} = 17 \ \acute{E} \ 9 \ 8 \ k \ j 0^a \ 8 \ \acute{E} \ \pounds \ H_{ijk} = 0 \ \acute{E} \ I \ M_{ijk} \ A \hat{i} \ j \ 100 \ \acute{E} \ M_{ijk} = \{ 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E}$
 $n TEU \ \acute{E} 100 \} \ \acute{E} \ i = 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} n TEU \ \acute{E} j = 0 \ \acute{E} 1 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} L_i \ \acute{E} k = 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} r \times$
 $n_{ij} \ddot{O} \ L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ i \ \& \ \acute{E} 6 + B, '1 \backslash \ j \ ZL\ddot{o}>\delta 1 \acute{a}, ' H \ x 4 \times \ \acute{E} \ n_{ij} = \{ 2 \ \acute{E} 3 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} n TEU \} \ \acute{E} i =$
 $1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} n TEU \ \acute{E} j = 0 \ \acute{E} 1 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} L_i \times$
 $a_{ijk} \ddot{O} \ L\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} \ i \ \& \ \acute{E} 6 6 + B, '1 \backslash \ j \ ZL\ddot{o}>\delta 1 \acute{a} 6 + 8 \# \ 8 k \ x + O, ' \ 1/4! Q 6 + 1 \acute{a} G\ddot{y} \ \acute{E}_{ijk} = \{ 0 \ \acute{E}$
 $1 \} \ \acute{E} i = 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} n TEU \ \acute{E} j = 0 \ \acute{E} 1 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} L_i \ \acute{E} k = 1 \ \acute{E} 2 \ \acute{E} \cdots \ \acute{E} T \times$
 $s_0 \ \tilde{A} s_t \ \tilde{A} s_i \ \ddot{O} \ 6 \ [> \sim / j \quad T + 25 \$ \ 4 \hat{o} \ ' \ ? \ ;, ' M \ \hat{u} (\ae \ 1 \ \tilde{A} 4 \emptyset !' (\ae \ 1 \ 1/4 \ f \ }) (\ae \ 1 \times$
 $k_0 \ \tilde{A} k_t \ \tilde{A} k_i \ \ddot{O} \ 6 \ [> \sim / j \ M \ \hat{u} (\ae \ 1 \ \tilde{A} 4 \emptyset !' (\ae \ 1 \ 1/4 \ f \ }) (\ae \ 1 \ ; \quad T + 25 \$ \ 4 \hat{o} (\ae \ 1 \) \ \tilde{A}, ' \dots$
 $; 7 \mid \tilde{A}$

3.4 翻箱落位优选问题 Markov 决策过程模型的构建

$\square \quad . \square \quad \square \square \quad \square \square \quad \square \square \square \square \quad \square$
 $1 \square \square \square \square \quad Markov \ \tilde{a} 1 \uparrow E \div 0; Q \gg k ? \pm + a \ \tilde{A} \ s 4 \hat{o} \tilde{A} \ S \ \tilde{E} \ \acute{E} \ P_{sa} \} \ \acute{E}$
 $\{ R_{sa} \} \ \acute{E} V \ \acute{A} 4 \hat{o} \ @^{[27]} \ \tilde{A} 5 \ 8 \ \backslash \cdot D 0!, ' \ \S \ f L \ N \acute{E} \ \acute{E}) \quad Markov \ \tilde{a} 1 \uparrow E \div 0; Q \gg], ' \ \tilde{A} \ s 4 \hat{o} F$
 $> | @ \ G \acute{u} \ \acute{E} \ \S \ f^2; \ \ddot{O}$
 $\tilde{A} 1 \ \acute{A} S \ j (\ae \ 1 L\ddot{o} \ \acute{E} \ 6 \ j 6 + 1 \acute{a} \ \acute{O} E \ J 3 + 5 \] \ 7 - \ *) \acute{a}, (\ae \ 1, ' L\ddot{o} \ 8 \quad \tilde{A} \ i \ \acute{z} \ 6 \ j 6 + 1 \acute{a} L$
 $N \acute{E}, ' k ? \pm \ ; \acute{y} \ 3 P \ \acute{E} \) (\ae \ 1 L\ddot{o} F \ > | \ \ddot{y} F, ' \ J 5 \$ (\ae \ 1 \ 6 G\ddot{y} \ 6 \ [\ j \ \mu 6 + 1 \acute{a} \ H \ x 4 \times \ \tilde{A} CM \] L\ddot{o} > \acute{o}$
 $1 \acute{a} \ 1/4 \ 8 \ H \ x 4 \times \ \{ \ 1/4 \ \tilde{A}$
 $\tilde{A} 2 \ \acute{A} A \ j \ \emptyset \ \acute{O} E L\ddot{o} \ \acute{E} \ \acute{E} \ j \ \bullet F 9 \ , ' \ \emptyset \ \acute{O} E, ' L\ddot{o} \ 8 \quad \tilde{A} \ \backslash \cdot H \ F \) B ' \ j L k. 1/2 \acute{a}, ' \ 8^* 6 : m$
 $1 \acute{a} \} \ \acute{E} \ ! " Q \gg, ' \ \emptyset \ \acute{O} E L\ddot{o} \ j \quad - \ 7 \ 8 \}, ' 2 \ll [\ \tilde{A}$
 $\tilde{A} 3 \ \acute{A} P_{sa} \ j \ (\ae \ 1 E \ae 0 + ^2) \cdot \ - \ \acute{E} \ X (\ae \ 1 \ s \ ; F 9 \ \emptyset \ \acute{O} E \ a, ' ^2) \cdot \ \tilde{A} \ X P \ae \ D 0 \ [\longrightarrow | \ \tilde{a}$
 $1 \uparrow E \div 0; \] \ \acute{E} \ X 3 + 5, ' \ f \} (\ae \ 1 \ s_i \ ; \ p \ \emptyset \ \acute{O} E L\ddot{o} \] F 9 \ 0 \ Z \ \emptyset \ \acute{O} E \ a \longrightarrow | \ \acute{E} 3 + 5 \ ^2) \cdot \ P_{sa} \ E \ae$
 $0 + 8 \# \ ; \ 0 (\ae \ 1 \ s_{i+1} \ \acute{E} G \acute{y} = \longrightarrow | : F \ E \div 0; \ \acute{E} - \$ \ ` 3 + 5 \ 4 \emptyset \ 1 \ \tilde{A}$
 $\tilde{A} 4 \ \acute{A} R_{sa} \ j \ \dagger \ - \ \acute{E} 3 + 5 \ X (\ae \ 1 \ s \ ; F 9 \ \emptyset \ \acute{O} E \ a, ' \dagger \mid \ \acute{E} \ ! \mid > 3 + 5 \ ; \ 0 (\ae$

161V0619

Ä5 ÅV j - 7 - È ý P 6 j6+1áL NÈ Markov Q »,´ H F- 7 Ö 0 ? F 6 j,´ ¼
!Q6+1áGÿ È º ? Ä 3.1 p/j Å

$$Min(\sum_{i=1}^{nTEU} \sum_{j=0}^{L_i} \sum_{k=1}^T a_{ijk}) \quad \text{Ä 3.1 Å}$$

3.5 本章小结



Markov ã1†E÷0; Q »,´ Ä s4ôF >|@ Gú È ´ *

Lö>õ1á 6 j F 1á6+1á:m } HF9L NÈ,´ Markov ã1†E÷0; Q » Ä

4 翻箱落位优选问题的 Q 学习算法

4.1 Q 学习算法理论基础

Q-learning algorithm [28] was proposed by C. Watkins in 1989. It is a type of reinforcement learning algorithm that learns the optimal action-value function, $Q(s, a)$, from delayed rewards. The algorithm is based on the Bellman optimality equation, which states that the optimal action-value function is the unique solution to the following equation:

$$Q(s, a) = \mathbb{E} \left[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') \mid s, a \right]$$

where s is the current state, a is the action taken, r is the reward received, s' is the next state, and γ is the discount factor. The algorithm updates the Q -value for a given state-action pair based on the observed reward and the maximum Q -value of the next state:

$$Q(s, a) \leftarrow (1 - \alpha) Q(s, a) + \alpha [r + \gamma \max_{a'} Q(s', a')]$$

where α is the learning rate. The algorithm iterates until the Q -values converge to the optimal values.

$$\pi^* = \arg \max_{a_t} Q(s_t, a_t) \quad (4.1)$$

where $Q(s_t, a_t)$ is the action-value function for state s_t and action a_t .

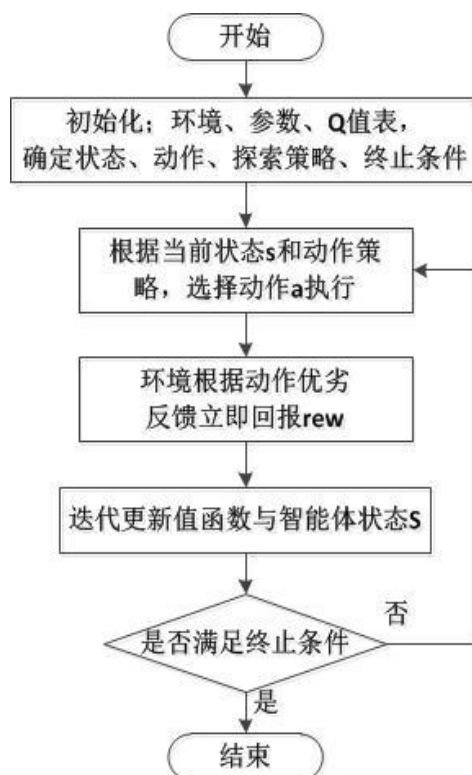
$$Q(s_t, a_t) = Q(s_t, a_t) + \alpha_t \times [rew(s_t, a_t) + \gamma \times \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') - Q(s_t, a_t)] \quad (4.2)$$

where $Q(s_t, a_t)$ is the action-value function for state s_t and action a_t , α is the learning rate, and γ is the discount factor. [29]



Fig. 4.1 Algorithm structure block

$Q = \{Q_s, \dots, Q_{s'}\}$; $p/j \ddot{O}$
 1. $M \hat{u} F \ddot{O} 5 \ 3+5 \} \beta^3 \tilde{A} 4 Z \ddot{O}$ $\acute{u} \ Q \ 1 \sim \acute{E} . \acute{z} \acute{E} 1 \ddot{Q} \# , '(\acute{a} 1 \tilde{A} \emptyset \acute{O} \acute{E} \tilde{A} \acute{O} 3 R$
 $1 \ddot{t} + \bullet \tilde{A} 4 \emptyset ! ' \& 1 y \ x$
 2. $? \ddot{O} \ ^{a7} - f f \} (\acute{a} 1 \ s_i \acute{E} i \acute{z} \emptyset \acute{O} \acute{E} F 9 \ 1 \ddot{t} + \bullet . \acute{z} \acute{E} \emptyset \acute{O} \acute{E} \ a_i \mid \longrightarrow \mid \acute{E} \beta^3 i \acute{z} \emptyset \acute{O} \acute{E} , '$
 $H \acute{O} \acute{y} O , 0 \hat{u} \acute{E} \ \acute{O} \text{ rew } x$
 3. $i \acute{z} F \ \$ \grave{a} \acute{a} \acute{e} ? \tilde{A} \ 4.2 \tilde{A} \acute{E}) f \} , ' \mid - \quad Q(s_i, a_i) F > \mid F \ \$ \grave{a} \acute{E} \mid \$ \grave{a} ^{a7} -$
 $f , ' f \} (\acute{a} 1 \times$
 4. $T \acute{Y} \ ^{a7} - f , ' f \} (\acute{a} 1 \ _ V \% C \tilde{a} 4 \emptyset ! ' \& \acute{E} _ \acute{E} \mid 1 \ddot{Q} \# 5 \bullet \times V \mid \quad ' 1 \setminus \frac{1}{4} ! \bullet \acute{E}$
 $G \acute{y} = \longrightarrow \mid 2 - 4 ! \bullet \tilde{A}$
 $Q = \{Q_s, \dots, Q_{s'}\} ; \# q 0 ; .^2 . \quad 4.2 \ p/j \tilde{A}$



4.2 $Q = \{Q_s, \dots, Q_{s'}\} ; \# q 0 ; .$

Fig. 4.2 The Q learning algorithm flow chart

4.2 翻箱落位优选问题 Q 学习算法的设计

$Q = \{Q_s, \dots, Q_{s'}\} ; \# q 0 ; . \quad \acute{E} \ Q = \{Q_s, \dots, Q_{s'}\} \ M 0 ? \pm = \acute{Y} > \} \beta^3 F > \mid \acute{O} \hat{A} \mid i F \emptyset \acute{O} \acute{E} 1 \ddot{t}$

1 7 ÄT+2 Å5\$ Ö >~1\ Ä2« IF9 8 Ä 8] 9 T-1 ZLö>ö1á Å 8 H x4x { ¼ x
 Ä4-7 5\$ I93 \$ Ö1- = ^ X!"2« IF9 8 x 2-8 Ö 8 H x4x { ¼ p X4ô È 8 H x4x {
 ¼C°? È 64ôC° öLö È 8 H x4x { ¼ C° WÈ 64ôC°00+¿ Å
 !ÿ2« IF9 8, 'F9 Ö 9 ^ X 8, ' 0Q H x4x ~ ¾ µ6+1á Ä ¼!Q6+1á ÄÈ XF 2« I
 F9 8] F9 8 0Q H x4xE³Q, ' 8 x ý { Ä 9 ¼!Q6+1á ÄÈF9 8 0Q H x4xE³ ~, ' 8 Ä
 2 Å Ø Æ ö 8
 \., ' H F)B' _Lö>ö1á 6 jCM } µ6+1á:m1á }5ž, 'F9 Èm1á }5ž, 'F9 -\$ Ö ;
 ý-pCM }, ' ¼!Q ú ¼!Q :6+1áGý È _ ã È0û £ Ö rew H Ó, ' £K^ 3P Äp \. Q
 -•1Ç#, ' Ø Æ Lö 8 j A 4 IF9 8F >|6+1á Æ J È Ø Æ I93 \$ Ö 1-T È6 () Ä ¾ A T
 2« IF9 8F >|6+1á Æ J Ä
 3 Å † f Ö
 X 0(æ 1 s ; È ¢7- f F9 Ø Æ a —>| > È3+5 5 *, '0û £ Ö È +Xrew>~|j È
 ý Ä * Ø ÆF9 , ' H Ó0; Ö Äò63 Lö>ö1áGý ÄÈ÷0, '0û £ Ö, 'Aî5ž È\ .0û £ Ö
 I?ô I² ? Ä 4.3

$$rew = \begin{cases} -1 \text{ÈMin}_{ijk} > n_{ij} & M \quad ! \quad 1 \\ -2 \text{Min}_{ijk} < n_{ij} & M \quad ! \quad 1 \\ +100M & p > 1 \end{cases} \quad \text{Ä4.3Å}$$

† IC° W È >~> F9 , ' Ø Æ-()C° H È ý { I = Y ¾ -•- 7, ' î)à È Ä m 7-F }

Gý =F9 = Y, ' Ø Æ Ä

4 Å1Ç# ò F9

i ž æ ? Ä4.3 Q -•1Ç#, 'F æ ? . È1Ç#, 'ò k?±5 -• € ¼ È
 “ € È! I93 \$ w j 0~1Ä -• € alp • £!•K, 'F9 j ý Q -• 1Ç#, ' -• x
). È alp C° ÖF 1 È1Ç#, '0ªL\$ L3RFO ÖC° È v # Añ1Ç#, 'f < W È ý { Èm1Ñ
 Añ1Ç# m f < È Ç, ' @ ¢ 7- _pG 0 H @ Ä alp I j h È • L¿ -•
 F 0; F È j £ > '1Ç#, 'f < W ¼ -• 5 ì 0 H W È alp I L¿ -• F 0; FB ý È -•

€ alp = 0.5h e $\frac{(1-p) \times 4}{M}$ È M û I j 0.5 È Añ ¯ #, ' L3R93 \$ x4ø I j 0.0092 È ý A L3R È
 óF f < Ä È “ € gam È f ! ÖF 0 & È1Ç# k?±63<• —>| 0 Ø Æ)3+5, '0û £ x
 ì x f ! ÖF 1 & È1Ç# \$ J ` 63<• —>| Ø Æ, ' >5 3_AÑ x ì [31] Ä \., ' - 7 _ 0 ? F
 6 jCM } k, '6+1áGý È63<•, ' _3+5, 'K F Y, ú È p F9 0 ZE³ W, ' È “ € ÈG÷+X
 I \$C»F ¾ 1 È È “ € I 0.9 Ä

5 Å Ò3R1†+•

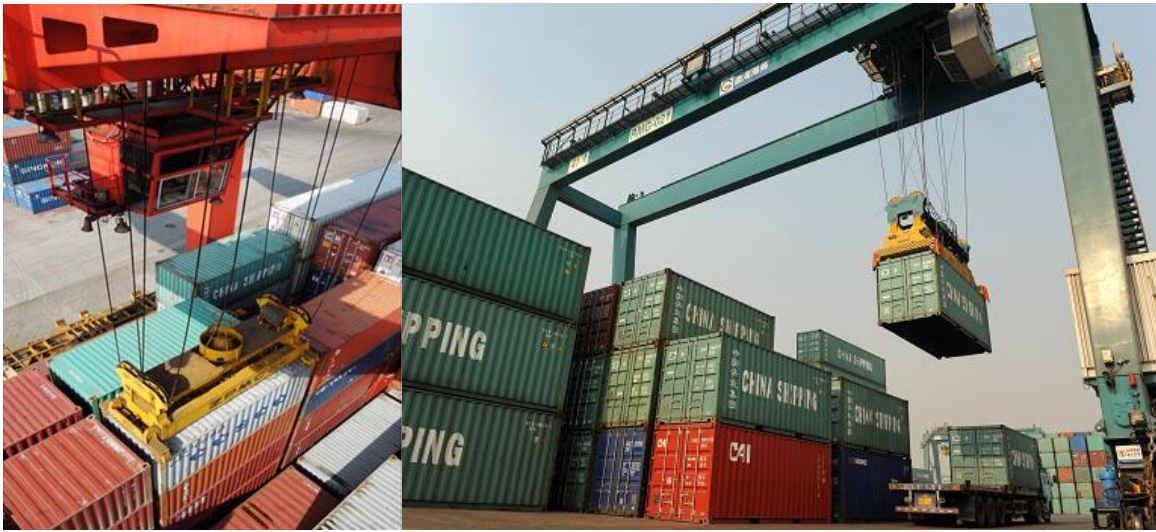
Ò3R1†+• i ý-p^{a7-} f, > | j ö l È _F} ¶ p 9 , ' (æ 1- Ø Æ) "r@ 0 H@ ÈF
 _pG L3R Èm f < Ä \.G÷+X ε-greedy Ò3R1†+•F > | Ø ÆF9 ÈOÆ x ÂL" = ^ X, '
 Ø Æ2« È ½G÷+X !CZ š1†+• È i ž Q l) IF9 Ø ÆF > |F9 Ö 0 Ê, ' ²). ε L¿ jF9
 Ø Æ È Añ Ò3R0ªL\$, ' ¯# W x 1-ε, ' ²)-F9 f} (æ 1) Ä Q l 0 W, ' Ø Æ Ä Ò
 3R € , 'F9 j ý1Ç# , ' f < W ¼ H F x l Èf Ò3R €E³ W & Èf <E³' FLî f < È
 Ò3R €E³ ? & È 7- JL§ ¾ pG 0 H@ È = Y ¾L NÈ, "r@ Ä j ¶ ¯ M û &ª7- f
 E³ W, ' ²)-L¿ jF9 Ø Æ ÄF } pG 0 H ÅÈL¿-pF !Q , ' Î Ð Èª7- f E³ W, ' ²
)-F9 Q l 0 W Ä3_AÑ-() 0 H Å, ' Ø Æ Ä óF f < ÅÈ ε, ' IL¿ - • ... , ' Î ÐFB

ÿ È Ò3R € ε = 0.3h e $\frac{(1-p) \times 4}{M}$ È M û l j 0.3È4ø l j 0.0055Ä Ø Æ, ' L¿ jF9 • í ž Q
 l>~ È 6 f }(æ 1, ' Q l W ?Eæ F j ²). È 9 ²)-L¿ jF9 Ä Ò3R1†+•² ? Ä4.4 Å p
 /j Ö

$$a = \begin{cases} \text{random } a, \hat{A} \hat{A} \hat{A} \text{ rand} \in (0, \varepsilon) \\ \arg \max_{a_t} Q(\xi_t, a_t), \text{ rand} \in \xi, 1) \end{cases} \quad \text{Ä4.4 Å}$$

4.3 翻箱落位优选问题 Q 学习算法的实现

□ □ □□ □□ □ □ □□□
 □□□ Q - • 1Ç#9ç Ç, ' 6+1á1†+•6+ BLk.½1á`
 F9 Ê:m1á } È6+1á!Q Ð 0 È 6 µ - 7 1á n8# F •Lö 'F * 6 j WL È². 4.3 p
 /j È j •1y µ Ò g, ' ; 0 E¶ 1áLö ' `Eî È jLk.½1á ½!QF9 8F2:m1á } È-\$`!"CM }
], ' p 9 Lö>õ1á>Û ¼" Ä
 i ž : - 6 j6+1á:m } HF9L NÈ Q - •1Ç# , ' AîAÑ Èú 1á Æ J#q0; È Q - •1Ç#
 >6+1á:m } HF9L NÈ, '=½ 8²; Öª7- f Agent i ž Ø Æ Ò3R1†+• Ø Æ ö 8 j F9 Ø
 Æa ÈCM }Lö>õ1á 6^(æ 1 s_i Í ž Ø Æ aF > | 6+1á Æ J +O i È i ž >5 Lö>õ1á 6
 ^ (æ 1 s_{i+1} T Ý Ø ÆF9 , ' H Ó È! 60û £ Õ l rew ýO,5ª7- f Agent È ž Ø Æ ¼ @
 >, 'CM }Lö>õ1á 6^(æ 1 s_{i+1}.ž Èª7- f, ' ; 0(æ 1 k_{i+1} È\$ à(æ 1 ¼ Q l>~ Ä ~6< = û È
 -\$` % Că1Ç# Aî5ž, '4ø!'?ô l Ä



. 4.3 Lö>ð1á 6 j 6+1á Æ J

Fig. 4.3 Container yard lift and dump operation

6 j6+1á :m } HF9L NÈ, ' Q - •1Ç# , ' k?± FkEÁ!•PÔ ; p/j Ö

1\ 1!•Ö /-O 0 û ÈÁî5ž 6 jCM })ß ³?ð Q Ä 4 ZLö>ð1á, ' 6 n }5ž ú Nª ĭ È

.ž È Q - •1Ç# , 'CŞ û(æ 1 s₀ Ä k₀ È4ø!'(æ 1 s_i Ä k_i x

1\ 2!•Ö ò M û F Ö 5 - • € alp Ä È " € gam Ä Ò3R € 1y ò Ä /-O

... M È M û F Q l>~ x

1\ 3!•Ö ò f }(æ 1 s_i Èž È >| Ø ÆLö 8 È ¢7- f i ž ε-greedy Ø ÆÒ3R†+• È

F9 Ø Æa È l .ž È) Ä IF9 8' ;

1\ 4!•Ö i ž F9 Ø Æ a F >|6+1á Æ J È?ð 6 jCM }Lö>ð1á ; 0 6 ^ (æ 1 s_{i+1} È

T Ý Ø Æ H Ó Èž È0û £ Ö ÈB ...6+1á!Q Ð 0 x

1\ 5!•Ö ® `(æ 1 s_{i+1}) Ä, '(æ 1 Ø Æ) l - , ' 0 W l max_aQ(s_{i+1}, a) È i ž Q -

•1Ç# j l - F \$ à æ ? Ä 4.5 Å) f }(æ 1 Ø Æ) , ' l - Q(s_i, a_i) F >|F \$

à x

1\ 6!•Ö i ž æ ?(4.6) ¼ æ ?(4.7) \$ à ¢7- f, ' f }(æ 1 s_i Ä k_i x

1\ 7!•Ö T Ý f }(æ 1 k_i _ V `Eî4ø!'(æ 1 k_i È9 _ È l 6 f }1†+• > : 0 0 H1†

+•" E³ È \$ à 0 H1†+• È - • ... Ð 1 È F >| 1\ 8!•x V l È `1\ 4!•x

1\ 8!•Ö T Ý M Z /-O ... _ V ¼ @ È9 _ È9ç Ç 0 H, '6+1á1†+• È `1\ 9!•x

V l È f }(æ 1 ` M û (æ 1 s_i ← s₀ Ä k_i ← k₀ È ` 1\ 4!•x

1\ 9!•Ö /-O5 • Ä

!] Q l>~ Ä £(æ 1 - Ø Œ) Äs,aÅ) Ä,´ l - ÅF \$ à œ ? j Ö

$$Q(s_i, a_i) \leftarrow Q(s_i, a_i) + alp \times [rew(s_i, a_i) + gam \times \max_{a'} Q(s_{i+1}, a') - Q(s_i, a_i)] \quad \text{Ä4.5 Å}$$

$$s_i \leftarrow s_{i+1} \quad \text{Ä4.6 Å}$$

$$k_i \leftarrow k_{i+1} \quad \text{Ä4.7 Å}$$

i ž : ·] 6 j6+1á:m } HF9L NÈ Q – •1Ç# k?± s3P,´AiAÑ ¼ Q – •1Ç# ,´ k
?±FkEÁ!•PÔ È Ä+X Matlab 0 1Ç# 0; ¿ È Î)à X Matlab 1Ç# £ : È Ä+X ε-greedy Q
– •1Ç# "r@ 6 jCM }6+1á:m } HF9L NÈ Ä

4.4 本章小结



□ ε-greedy Q – •1Ç# ÄOÆ x û4ý ¶ Q – •1Ç# ,´*6Aê *.p È 5 1Ç# ,´5 ´ Ä#q
0; ¼ £K^?±&é Äf > 6 À ¶ Q – •1Ç# X\$_ (™#q 3+5 Ä+X],´ 0 ÈLi&éL NÈ È) \ ·
Q – •1Ç# ,´ h ó?±3PF >|AiAÑ È ²(æ 1F9 Ä Ø ŒLö 8 Ä † f Ö Ä ò F9 ú Ø
Œ,´ Ò3R1†+•1y È 0 > È Ä+X Matlab 0 0; ¿ È Î)à Ä+X Q – •1Ç# "r@ F 1á6+1á
:m1á }5ž,´ H FF9 L NÈ Ä

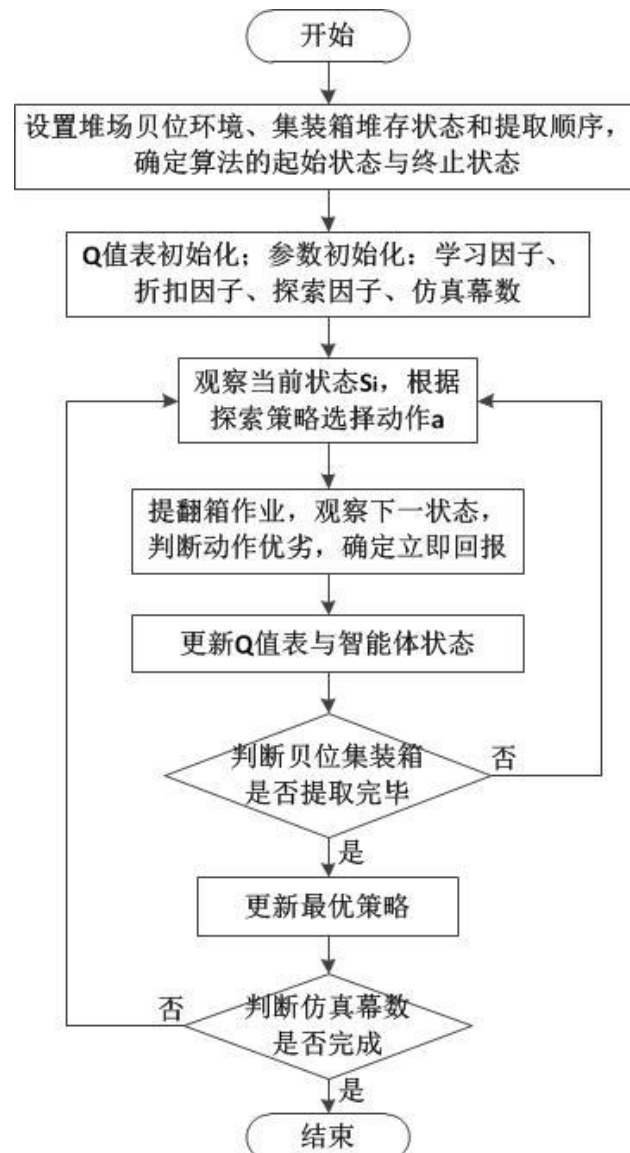


Fig. 4.2 The flow chart of Q learning algorithm for the reshuffle optimization problem

5 实验算例结果比较与分析

图 5-1 展示了 ϵ -greedy 算法在不同规模下的收敛趋势。图中横轴表示迭代次数，纵轴表示收敛率。可以看到，随着问题规模的增加，收敛率呈现出下降的趋势，这符合理论预期。

5.1 实验设计

实验设计部分详细描述了实验的变量设置和评估指标。我们设定了不同的问题规模，并记录了算法在达到指定精度所需的迭代次数。实验结果表明，算法在较小规模问题上收敛更快，而在较大规模问题上收敛速度有所减缓。

表 5.1 不同规模问题下的收敛率比较

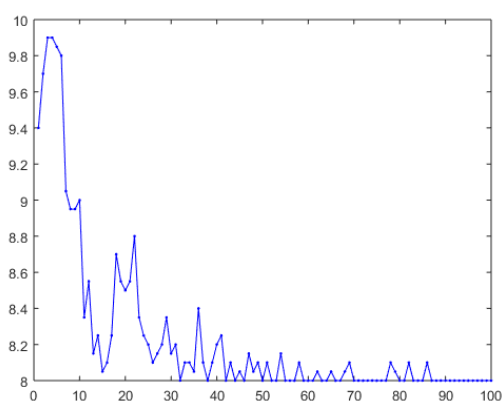
问题规模	收敛率 (%)	迭代次数	收敛速度 (次/秒)
1	95.2	100	0.001
2	88.5	200	0.002
3	82.1	300	0.003
4	76.8	400	0.004
5	71.5	500	0.005

图 5.2 展示了 Q 学习算法在不同问题规模下的收敛趋势。图中横轴表示迭代次数，纵轴表示收敛率。可以看到，随着问题规模的增加，收敛率呈现出下降的趋势，这符合理论预期。

5.2 Q 学习算法收敛趋势分析

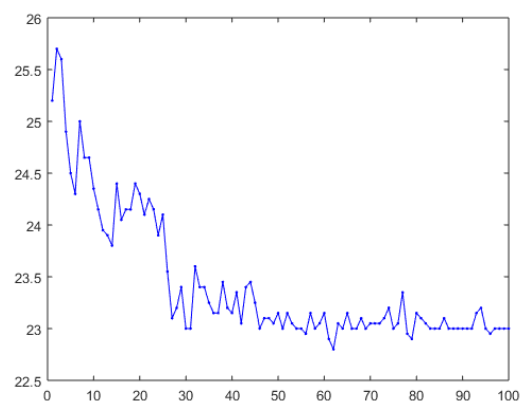
图 5.3 展示了 Q 学习算法在不同问题规模下的收敛趋势。图中横轴表示迭代次数，纵轴表示收敛率。可以看到，随着问题规模的增加，收敛率呈现出下降的趋势，这符合理论预期。

. 5.18# . 5.5 6 [5 * ¶ Ä/ý = <?ð QCM } ; È Q - •1Ç#) ... Z1Ç »"r@ p Ç
 ` , '6+1áGÿ £ w lL¿ - • ... F , 'C » i . È 6 /-O ... w 6 j 1004ð È !] Z € 7>~
 /j4ð ' È4å € 7>~ /j M/100 ...6+1áGÿ , ' w l Ä p .] - ; * ÈL¿-p - • ... , ' î Ð È
 1Ç » , '6+1áGÿ xF@\$@FB ÿ , 'C » i È ! 04ð0c È X 0 ?6+1áGÿ Ä



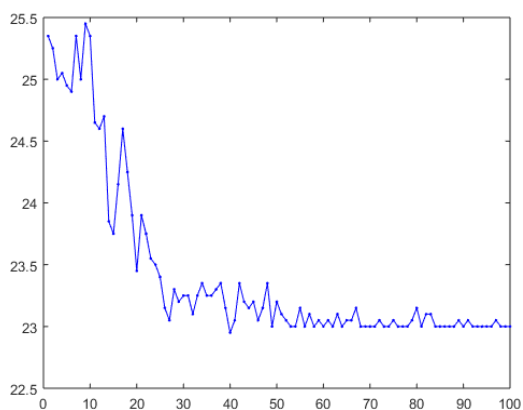
. 5.1 5h4 ?ð QCM } ;6+1á!Q C » i .

Fig. 5.1 Trend chart of the number of reshuffle under 5×4 scale bays



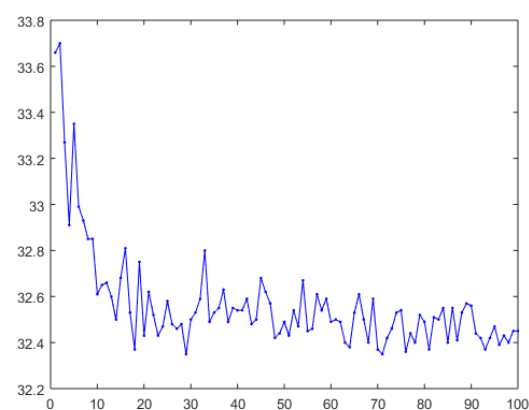
. 5.2 7h5 ?ð QCM } ;6+1á!Q C » i .

Fig. 5.2 Trend chart of the number of reshuffle under 7×5 scale bays



. 5.3 10h5 ?ð QCM } ;6+1á!Q C » i .

Fig. 5.3 Trend chart of the number of reshuffle under 10×5 scale bays



. 5.4 11h5 ?ð QCM } ;6+1á!Q C » i .

Fig. 5.4 Trend chart of the number of reshuffle under 11×5 scale bays

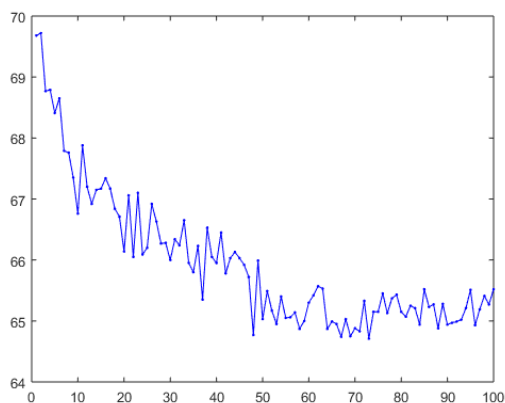


Fig. 5.5 Trend chart of the number of reshuffle under 13×6 scale bays

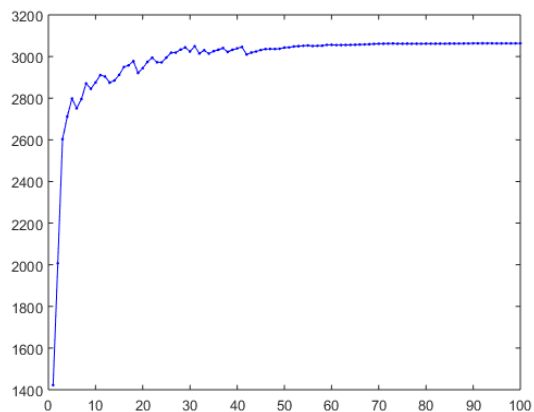


Fig. 5.6 Trend chart of the sum of Q values under 5×4 scale bays

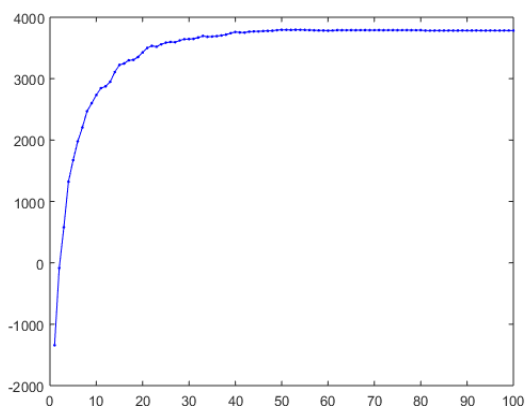


Fig. 5.7 Trend chart of the sum of Q values under 7×5 scale bays

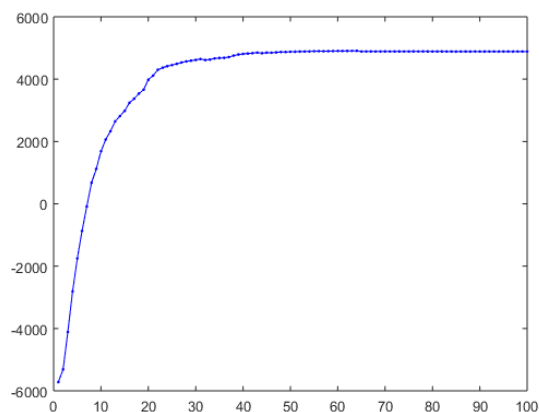


Fig. 5.8 Trend chart of the sum of Q values under 10×5 scale bays

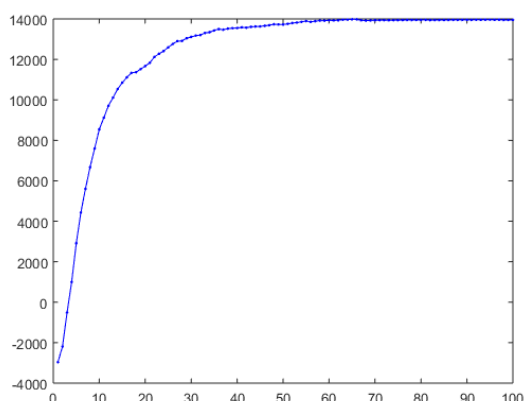


Fig. 5.9 Trend chart of the sum of Q values under 11x5 scale bays

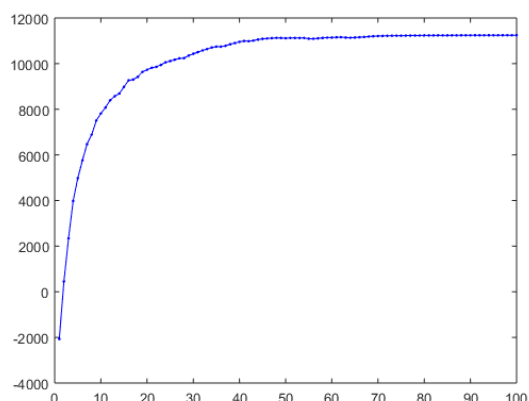


Fig. 5.10 Trend chart of the sum of Q values under 13x6 scale bays

5.68# 5.10 6 [5 * ¶ Äý = <?ô QCM } ; È Q - •1Ç#) ... Z1Ç »"r@ p Ç
 ` Q I k ¼L¿ - • ... F, 'C» i. È!] Z ∈ 7>~ /j ... Èÿ 0, @ ... 0 ... È4â € 7
 >~ /j 0 ... - • ¼ @ >, ' Q I k ¼ Äp.] -; * È M û - • Lf!â È Q I { ¼ UFO Î
 Ð È] L\$ Î FOF @\$@ 5C ' È 04øC» ¾ 00c È I ÈQ I { ¼ f < ÈCM } ?ô QC° W È Q I { ¼
 f < pM0, ' - • ... C° J Ä
 FJE ÷ : .] 6+1áGÿC» i 6 Ä ¼ Q I { ¼C» i 6 Ä . ÈL¿-p /-O - • F 0; Ð\$! È Q
 - •1Ç# , ' f < C» i > n È1Ç# , ' AîAÑ 8*6 9 x Ä

5.3 算法性能分析

□ Q - •1Ç# a7- f, '(æ 1 ÄØ OE Äû £ Ö ú1Ç# ò , ' M!•.D0!Aî
 5ž È 0 * Q - •1Ç# @ ã 6 j6+1á:m } HF9L NÈ Ä Y+X /-O0; ¿ È) \ . Q - •1Ç
 # ú .) ^ [7]] *, ' OH 1Ç# ¼ .) ^ [9]] *, ' IH 1Ç# H F W7-F > | ¶)" 6 Ä È0;
 ¿G÷+X Matlab 0 Ä
) Ä Z = <?ô Q, 'CM } 4ô 8 Ä 8 xNÍ È 6 ^Q Ö Å È 6 [+O @ N=100 Z1Ç » È)
 < 01Ç » 6 [G÷+X \ . Q - •1Ç# Ä OH ¼ IH 1Ç# F > | "r@ È !) CM } ?ô Q-(<, '1Ç
 »"r@ 5 ÌF > | " E³ Ä5 AÑ 6 Ä ÄAî f_i(X) j1\ i Z1Ç » Ä+X1Ç# X ÄX >~ \ . Q -
 •1Ç# Ä OH 1Ç# F IH 1Ç# Ä"r@ , ' k6+1áGÿ × g_i>~ /j1\ i Z1Ç » , ' 0!Q6+1áGÿ È)(©
 È, '1Ç » g_i - * È I Ä I = <?ô QCM } ; , ' £ w k6+1áGÿ j Ö

$$\bar{V}(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(X) \quad \text{Ä5.1 Å}$$

1\ i Z1Ç » Ä+X1Ç# X "r@ , ´ ¼!Q ú ¼!Q :6+1áGÿ j Ö

$$h_i(X) = f_i(X) - g_i \quad \text{Ä5.2 Å}$$

\ · Q – •1Ç# X , ´ £ w-() iF j Ö

$$R_{avg}^Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i(Y) - h_i(X)}{h_i(Y)} \right) \times 100\% \quad \text{Ä5.3 Å}$$

Q – •1Ç# X , ´ -() 0 W iF j Ö

$$R_{\max}^Y = \max \left\{ \frac{h_i(Y) - h_i(X)}{h_i(Y)} \times 100\% \mid i = 1, 2, \dots, N \right\} \quad \text{Ä5.4 Å}$$

·)^] È Kim * ¶6+1áGÿ `AÑ œ ? [32] È •AÑ1ÇN´ O6+1á kGÿ È !AÑ1Ç œ ? j Ö

$$\begin{aligned} V(a, c) &= \int_0^{ac} \left(\frac{c-1}{2ac} + \frac{c+2}{8a^2c} \right) x dx \\ &= ac(c-1)/4 + c(c+2)/16 \end{aligned} \quad \text{Ä5.5 Å}$$

!] È a > ~ / j 8 È c > ~ / j N Í Ê 6 ^ Q Ö Ä

> ~ 5.2 k6+1áGÿ £ w l > Kim 6+1áGÿ `AÑ l

Tab. 5.2 Average value of total reshuffle and Kim estimation value of rehandles

CM }?ô Q	Lö>ô1áGÿ	Q £ w k6+1áGÿ	Q 6+1áGÿ 0 W l	Kim 6+1áGÿ `AÑ œ ?	£ w iF
5 × 4	16	9.59	15	16.5	41.88%
7 × 5	30	20.1	27	37.2	45.97%
10 × 5	45	29.2	40	52.2	44.08%
11 × 5	50	33.4	44	57.2	41.63%
13 × 6	70	51.5	69	100.5	48.78%

> ~ 5.25 * ¶ Q – •1Ç# "r@ = <?ô QCM } 4 100 Z1Ç » Ç ` , ´ k6+1áGÿ , ´ £ w l Ä
0 W l ¼ Kim 6+1áGÿ `AÑ œ ? AÑ1Ç , ´ N´ O6+1á kGÿ ú ! £ w-() iF È > ~ 5.35 * ¶ =
<CM } 4ô 8 100 Z1Ç » , ´ 0!Q6+1áGÿ , ´ £ w l È ú Ä+X OH 1Ç# ÄIH 1Ç# ¼ \ · Q

1ř 100 Z1Ç »9ç Ç, ' k6+1áGÿ, ' £ w l È~ 5.45 * ¶\ . Q – •1Ç# AÑ1Ç
5 Ì) OH ¼IH 1Ç# "r@ 5 Ì, ' £ w-() iF ¼-() 0 W iF Ä

Tab. 5.3 100 Z1Ç », ' £ w 0!Q6+1áGÿ ¼ £ w k6+1áGÿ

Tab. 5.3 Average primary reshuffle and average total reshuffle of 100 examples

r × T	N	£ w 0!Q6+ 1áGÿ	£ w k6+1áGÿ		
			OH 1Ç#	IH 1Ç#	\ . Q – • 1Ç#
5 × 4	16	7.28	11.14	9.87	9.59
7 × 5	30	15.24	26.29	20.99	20.1
10 × 5	45	22.91	38.37	30.30	29.20
11 × 5	50	26.35	42.23	34.50	33.40
13 × 6	70	39.42	71.37	53.40	51.50

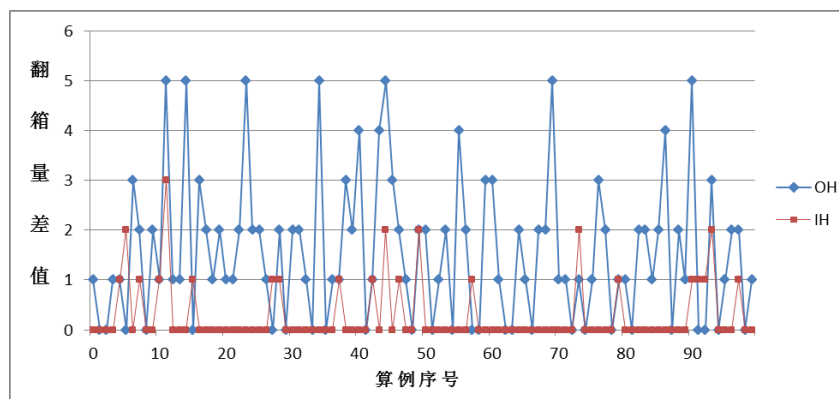
> 5.4 100 Z1Ç », ' £ w-() iF ¼-() 0 W iF

Tab. 5.4 Average relative improvement and relative maximum improvement of 100 examples

r × T	N	R_{avg}^{OH}	R_{max}^{OH}	R_{avg}^{IH}	R_{max}^{IH}
5 × 4	16	33.89%	100.0%	7.77%	100.0%
7 × 5	30	54.45%	90.00%	13.27%	60.00%
10 × 5	45	57.15%	88.24%	13.63%	85.71%
11 × 5	50	54.05%	90.00%	11.68%	62.50%
13 × 6	70	61.43%	82.61%	12.85%	46.15%

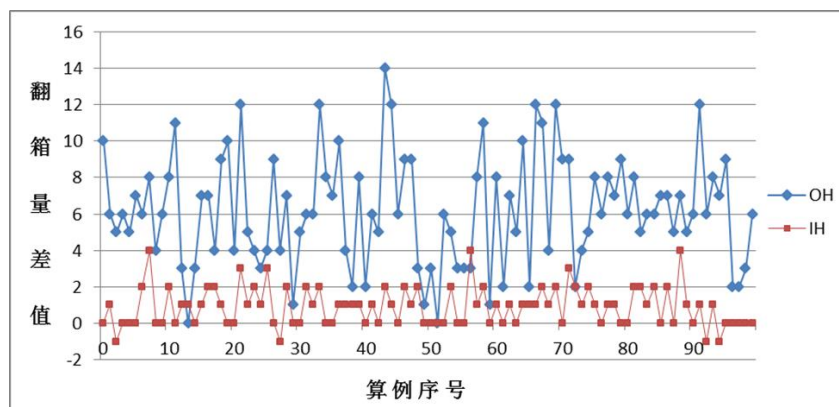
p> 5.2 -; * È Ä+X Q – •1Ç# "r@ Lö>õ1á 6 j, '6+1á:m } L NÈ È = <?ô QCM
{ ; "r Ç, ' k6+1áGÿ £ w iF F ~ ¾ Kim, '6+1áGÿ `AÑ œ ?AÑ1Ç Ç, 'N' O l È w i
F Gÿ X 40% : È 4?ô QCM } ; , '6+1áGÿ 0 W l • > n ~ ¾ `AÑ l Ä~ 5.3 ¼> 5.4]
, ' ž-\$?ò, ' ý P * ¶ 9/ý1Ç# X "r@ 6+1á:m } HF9L NÈ : , "r@ x Ì È X "r@ 5[×] 4⁴
??ô QL NÈ & ÈQ – •1Ç# -() OH ÄIH 1Ç#, ' £ w H F x ÌE³ a x v f1Ç », 'CM }?ô
Q™ W `7×5 Ä10×5 11×5 13×6 Q – •1Ç#, ' – • x Ì-(" OH ¼IH F@\$@ >
n x DCM }?ô QC° W ÈQ – •1Ç#, ' H F x ÌC° > n È-(" OH 1Ç# £ w-() iF X
50%-60%È-(" IH 1Ç# £ w-() iF X 10% : x ? ?ô QCM }1Ç », '-() iF 0 W
Eî ` 100%È> >!"1Ç »"Ñ 9 ¼!Q6+1á È iF x Ì " 0 H x W?ô QCM }1Ç », '-() iF
0 W Eî 80% : Ä p £ w ...1á6+1á!Q Ä 4?ô QCM } k6+1áGÿ £ w l /CM }] k1á Ä

•-; ÈL” ¶ OH 1Ç# "r@ 13×6 F 0 W?δ QCM }1Ç »,' £ w ...1á6+1á!Q X 1.02È W ¾
 1 F È! 1Ç# , "r@ 5 ì w X 0.7 # È 9 x` 8²-1 j •6+1á Æ J p x+O,' NÍ F
 Ci+X Ä



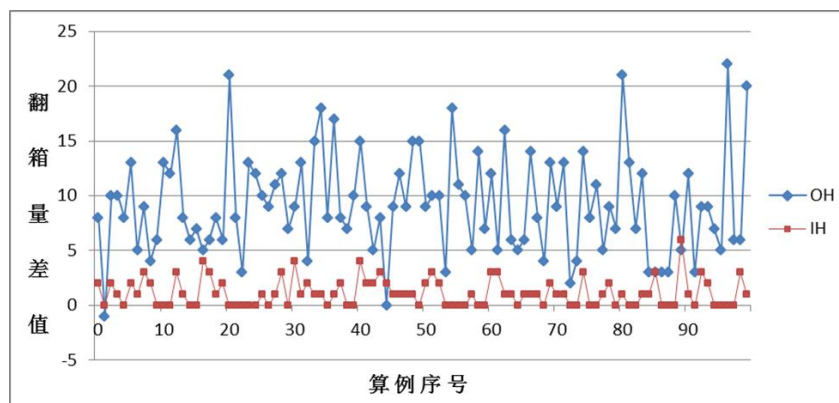
. 5.11 5×4 ?δ QCM } ; 41Ç »-() iF 6 3 .

Fig. 5.11 Relative improvement distribution of each case under 5 scale bays



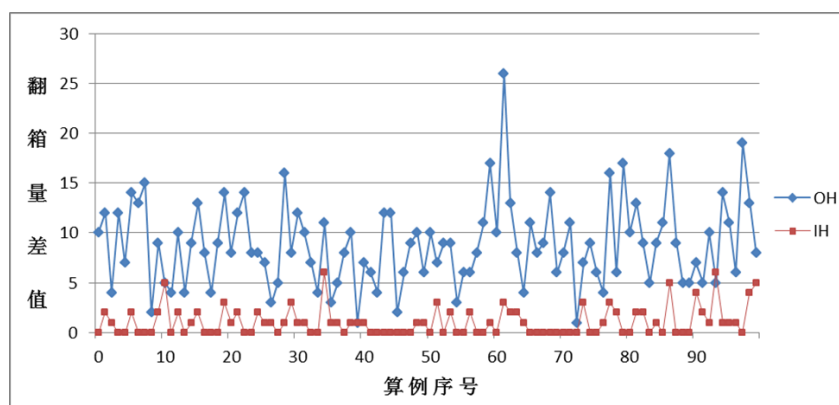
. 5.12 7×5 ?δ QCM } ; 41Ç »-() iF 6 3 .

Fig. 5.12 Relative improvement distribution of each case under 7 scale bays



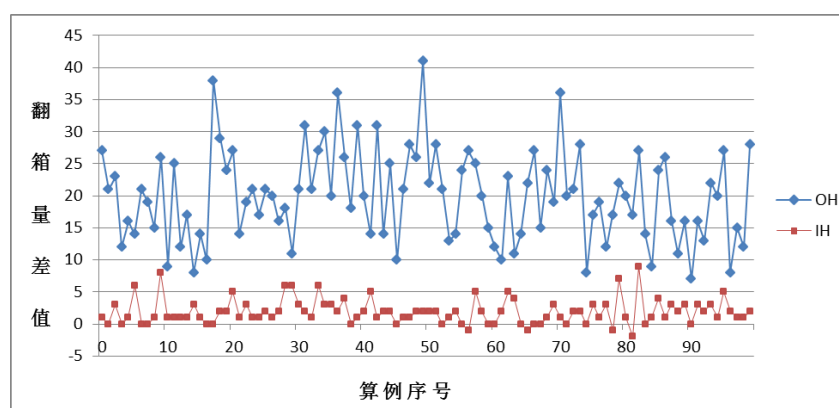
5.13 $10 \times 5 \delta QCM$; $41\zeta \gg (-) iF 63$.

Fig. 5.13 Relative improvement distribution of each case under 10×5 scale bays



5.14 $11 \times 5 \delta QCM$; $41\zeta \gg (-) iF 63$.

Fig. 5.14 Relative improvement distribution of each case under 11×5 scale bays



5.15 $13 \times 6 \delta QCM$; $41\zeta \gg (-) iF 63$.

Fig. 5.15 Relative improvement distribution of each case under 13×6 scale bays

. 5.118# . 5.15] 6 [5 * ¶ Ä/ý = < ?ô QCM } ; È \ . Q - • 1Ç#) 100 Z1Ç
 »"r@ p Ç , '6+1áGÿ > OH 1Ç# ú IH 1Ç# "r@ , '6+1áGÿ { , '6 3 . È !] Z € 7 j
 1Ç » ¿ ' È4å € 7 j OH 1Ç# ¼IH 1Ç# ; , '6+1áGÿ > Q - • 1Ç# "r@ Ç , '6+1áGÿ , '
 l Ä - ; * È < - f OH ¼IH 1Ç# ! D J" \ . Q - • 1Ç# H F x Ì - È 7×5 ?ô QCM
 } ; 6 [_ 0 ! Q ¼4 ! Q × 10×5 ?ô QCM } ; 6 [_ 1 ! Q ¼0 ! Q × 13×6 ?ô QCM } ; 6 [_
 0 ! Q ¼4 ! Q È v p k f • - ; È Q - • 1Ç# , ' H F x Ì ? ± > n" OH ¼IH 1Ç# - Ä

5.4 本章小结

□□□□ Q - • 1Ç# , ' f « C » ï ¼ H F W7-F > | 6 À ¼ P ¼ Añ Ä
 P ¼ 5 Ì > > Ö 1 Å Q - • 1Ç# "r@ 5 Ì - (" Kim 6+1áGÿ ` AÑ œ ? È H F) • X 40% : ×
 2 Å - (" ò 631Ç# OH 1Ç# ¼IH 1Ç# È Q - • 1Ç# X "r@ W ?ô Q L N È & È ¼ ! Q 6+1áGÿ £
 w H F) • 6 [X 50% ¼ 10% : × 3 Å = < ?ô QCM } ... Z1Ç » , ' Q - • 1Ç# "r@ 5 Ì - (
) OH Ä IH 1Ç# i F 0 c È È 100 Z1Ç »] 0 J 9 0 Z1Ç » "r@ 5 Ì Ó ¾ OH × 0 J 9
 Z1Ç » Ó ¾ IH Ä

结 论 与 展 望

1 A

$L_{\zeta-p} - \alpha_0 V_0 D \dots H + \bullet, ' * \dot{E}] - > "i4\ddot{i} - \alpha_4 \ddot{y} \# \sim 8 \text{OE} \$ \text{D} \ddot{o} 7 \dot{E} \text{Ch} C \dots$
 $\$ \text{D} 4 q 9 " \ddot{E} < \$ _ \text{OE} j \# \$: M 5 (\{ D , ' G \dot{y} ? \pm 8^2 \& \acute{e} \ddot{E} X - \alpha, ') F 0 n] U - p G \dot{y} ? \pm \text{OE} + X \ddot{A}$
 $\text{Ch} C, ' 4 q 9 " \dots V \text{O} \$ _ , ' L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a} N @ G \ddot{y} = \acute{Y} : w \ddot{E}). 1 d 6 j, ' B 3 \ddot{O} 1 \ddot{N}^* 6 * \P \grave{a}, '$
 $A H \ddot{A} 6 j 6 + 1 \acute{a}) \cdot _ L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a}. 1 d B 3 \ddot{O} 1 \ddot{N}^* 6, ' 0 Z G \dot{y} ? \pm 7 7 \ddot{E}^2 \dots 9 x L \} \sim 6 j, ' 6 + 1 \acute{a}) \cdot$
 $\pounds _ \backslash \cdot, ' . D 0 ! \mu \acute{e} \ddot{A}$
 $. 1 d 6 j, ' 6 + 1 \acute{a} \text{OE} J k ? \pm L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a} X C M \}, ' 6^{\wedge} N^a \grave{\text{z}} \ddot{A} N^a \grave{\text{z}} \frac{1}{4} L k. \frac{1}{2} 1 \acute{a} 6 + B \&$
 $: m 1 \acute{a} \} 5 \ddot{z}, ' F 9 9 Z 3 P, ' j \acute{y} \ddot{A} \ddot{F} J E \div) L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a} 6 j 6 + 1 \acute{a} L N \ddot{E}, ' 6 2 \ll \ddot{u} 4 \acute{y} \frac{1}{4} 6 + 1 \acute{a} x + O \ddot{I}$
 $6 \ddot{A} \ddot{E} * \P p 6 j 1 \ddot{N}^* 6 @ \ddot{O} L \} \sim 6 + 1 \acute{a}) \cdot, ' 0 \ddot{E} \acute{e} \# \frac{1}{4} 1 \dagger + \bullet \ddot{E} ! \cdot \ddot{z} \ddot{E} \backslash \cdot, ' . D 0 !) B'$
 $j F 1 \acute{a} \# q \ddot{E} \S f . D 0 ! \mu \acute{e} j C M \} L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a} 6 + 1 \acute{a} : m \} H F 9 L N \ddot{E} \ddot{E} 0 ? F 6 j C M \}, ' \frac{1}{4} ! Q$
 $\acute{u} \frac{1}{4} ! Q : 6 + 1 \acute{a} G \ddot{y} \ddot{E} A \hat{e} \cdot, ' k ? \pm \text{OE} > k 5^2 ; \ddot{O}$
 $\ddot{A} 1 \ddot{A} O \acute{A} E x) L \ddot{o} > \ddot{o} 1 \acute{a} 6 j F 1 \acute{a} 6 + 1 \acute{a} : m \} H F 9 L N \ddot{E} F > |^2 F \ddot{E} \cdot \ddot{z} \ddot{E} 6 + 1 \acute{a} : m \} H F 9 L$
 $N \ddot{E}, ' * \backslash w A \hat{i} ' \& \ddot{E}) L N \ddot{E} F > | 0 \ddot{E} 0 ; \ddot{O}, ' 1^{\circ} F \ddot{A} j \P \acute{e} \ddot{i} ' * Q \gg \ddot{E}) - (\pounds G \ddot{y} F > |$
 $1 V ' \ddot{E} y \ddot{A} 0 > i \ddot{z} w A \hat{i} ' \& \frac{1}{4} 0 ? F C M \} 6 + 1 \acute{a} G \ddot{y} F 0 H F - 7 \ddot{E}^* 0 \ddot{u} 6 + 1 \acute{a} : m \} H F 9 L$
 $N \ddot{E} Q \gg \ddot{A}$
 $\ddot{A} 2 \ddot{A}^* \frac{3}{4} 6 j C M \}, ' 6 + 1 \acute{a} : m \} H F 9 Q \gg \ddot{E} A \hat{i} A \ddot{N} \varepsilon - \text{greedy} Q - \bullet 1 \text{C} \# \hat{I}) \grave{a} Q \gg " r$
 $@ \ddot{E} B 1 \text{C} \#, ' ? \pm \& \acute{e} k ? \pm 5 ; Z \acute{e} M' \ddot{O} 1 \ddot{A} 8^* 6 A \hat{i} 5 \ddot{z} 1 \text{C} \#, ' J 5 \$ (\alpha 10^a L \$ \frac{1}{4} \text{O} \text{OE} L \ddot{o}$
 $8 \ddot{E} \hat{I} \& \acute{y} P 3 + 5 (\alpha 1 \times 2 \ddot{A} i \ddot{z} 1 \text{C} \#, ' H F - 7 8^* 6 A \hat{i} A \ddot{N} 1 \text{C} \#, ' - \bullet \in \frac{1}{4} \ddot{E} " \in \ddot{E}$
 $\times f 1 \text{C} \#, ' 0^a L \$ L 3 R F O \ddot{O} \times 3 \ddot{A} j \P \pounds >^1 \text{C} \#, ' 0^a L \$ L 3 R 9 3 \$ \frac{1}{4} f \backslash W \ddot{E}^* \ddot{O} 3 R 1 \dagger + \bullet$
 $! A \hat{i} A \ddot{N} \ddot{O} 3 R \in \ddot{A}$
 $\ddot{A} 3 \ddot{A} 0 > A \hat{i} A \ddot{N} \hat{I} P \frac{1}{4} \frac{1}{4} 1 \text{C} \gg P \frac{1}{4} A \hat{i} X \varepsilon - \text{greedy} Q - \bullet 1 \text{C} \# @ \grave{a} 6 j C M \} 6 + 1 \acute{a} : m \} H$
 $F 9 L N \ddot{E}, ' H F W 7 - \ddot{E} \hat{I} P \frac{1}{4} 5 \grave{\text{I}} \sim > \ddot{O} 1 \ddot{A} \backslash \cdot, ' Q - \bullet 1 \text{C} \# " r @ 5 \grave{\text{I}} - (" Kim, ' 6 + 1 \acute{a} G \ddot{y}$
 $\backslash A \ddot{N} \alpha ? \ddot{E} = < ? \hat{o} Q 1 \text{C} \gg, ' \pounds w H F) \cdot w X 40 \% : \times 2 \ddot{A} - (" \ddot{o} 6 3 1 \text{C} \# O H 1 \text{C} \# \frac{1}{4} I H$
 $1 \text{C} \# \ddot{E} - \bullet 1 \text{C} \# X " r @ W ? \hat{o} Q L N \ddot{E} \& \ddot{E} \frac{1}{4} ! Q 6 + 1 \acute{a} G \ddot{y} \pounds w H F) \cdot 6 [X 50 \% \frac{1}{4} 10 \% : \ddot{E}$
 $0 W - () i F 6 [X 80 \% \frac{1}{4} 40 \% : \ddot{E} Q - \bullet 1 \text{C} \# > n \$ H \times 3 \ddot{A} ? \hat{o} = < ? \hat{o} Q C M \};$
 $4 1 \text{C} \gg - () i F 6 3 \cdot \ddot{E} = < 4 \hat{o} 8 \ddot{A} r \times T \ddot{A} C M \}, ' \dots Z 1 \text{C} \gg, ' Q - \bullet 1 \text{C} \# " r @ 5 \grave{\text{I}} - ($
 $) O H \ddot{A} I H 1 \text{C} \# i F 0 c \ddot{E} \ddot{E} 100 Z 1 \text{C} \gg] 0 J 9 0 Z 1 \text{C} \gg " r @ 5 \grave{\text{I}} \acute{O} \frac{3}{4} O H \times 0 J 9$
 $Z 1 \text{C} \gg \acute{O} \frac{3}{4} I H 1 \text{C} \# " r @ 5 \grave{\text{I}} \ddot{A}$

2 K.

\ · Ä+X Q – •1Ç#)Lö>õ1á 6 j,´6+1á:m } HF9L NÈF >| ¶ 0 Ê,´.D0! È9ç Ç
 ¶" E³% ? ,´ H F x Ì Ä v _ \ · j ¶ ï ¾"r@ È)L NÈF >| ¶ 0 Ê0; Ö,´1° F 4*6 È
 "Ñ 963<• 6 j Œ J,´ =.ž Ê W 3P È8\$ \ ·,´ Q » ¼ Q – • 1Ç# X ÎLu 6 j Œ J] Ä
 +X W = j Ä v+a ¾.D0!,´ &L\$ ¼2î È 9L€ ÈLî p \$\$,´@ Ö)L NÈF >| \$ Ð4ö8\$,´.D
 0! Äk5 •Aâ È \ · * ¾ Q – •1Ç# ,´Lö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9L NÈF M0?± p ; T Z
 éM'F >| ¼ ´.D0! Ö

Ä1 Å \ ·.D0! Lö>õ1á X 6 jCM },´ Nª ç.ž Ê j } È v X ÎLuL NÈ] È+a
 ¾ ÔFJ e FE–E¶B3 Ö1yL NÈ È FLö ´ 7- Z 94Ö Ê &L\$ `Eî ÈLö>õ1á,´ Nª ç J
 +O F Ä X ú >,´.D0!] È 63<•Lö>õ1á,´ Nª ç = _ ¼ ~ .ž Ê,´ È² õ. Ff 4Lö
 >õ1á,´ Nª ç93 \$ ÄÄ+X Q – •1Ç# "r@ Lö>õ1á Nª ç Z. õ å ;,´6+1á:m } HF9
 L NÈ È1V 8 6 j,´ ÎLu Œ J õ å Ä

Ä2 Å- }1Ç# wAî ´ & = qAè à `Lö>õ1áF •!"CM } È > 6 j ÎLu õ å 9 0 Ê •
 È Lö>õ1á Z C ¼",´ õ å ; È f }CM } 7- 9 àLö>õ1á `Eî Ä>5 .D0! M0?±63<•+
 1áE÷0;] 9 0 Ê Gÿ,´ à `Lö>õ1áLç j `Eî 6 jCM } È ! i ž à `Lö>õ1á,´ H x4x
 j !F9 8F2,´:m1á }5ž Ä

参 考 文 献

- [1] d U(. A-\$_ X 0 V 0 D],' ... ú4ÿP¼ 6 Å [J]. G é4ÿCh 2018(08):223.
- [2] Phan M, Kim K H. Negotiating truck arrival times among trucking companies and a container terminal[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2015,73:132
- [3] HFh5Ô .TS. \$_ Lö>õ1á N @GÿN'#{ é# .D0! [J]. (™#q 0; >1Ñ*6, 2018,40(08):857.
- [4] Steenken D, Voss S, Stahlbock R. Container terminal operation and operations research classification and literature review[J]. OR Spectrum, 2004,26(4):3
- [5] ~ Á . * ¾<Š K.D , 'Lö>õ1á 6 j6+1á:m } HF9 Q » >1Ç# .D0! [D]. WF *6 W – , 2015.
- [6] Kim K H, Park Y M, Ryu K. Deriving decision rules to locate export containers in container yards[J]. European Journal of Operational Research, 2000,124(2):89
- [7] Kim K H, Hong G. A heuristic rule for relocating blocks[J]. Computers & Operations Research, 2006,33(4):940-954.
- [8] Lee Y, Hsu N. An optimization model for the container marshalling problem[J]. Computers & Operations Research, 2007,34(11):3295-33
- [9] À Ê. Lx/û ü U É. ú 1y. Lö>õ1á B 1á L N È , ' _ ? 1Ç# .D0! [J]. 3+5 /-O – Ô 2008,20(14):3663-3669, 3674.
- [10] ~T•O , ~ E ¹ . Lö>õ1á 6 jF 1á6+1á:m } /-O 6 À > _ ? HF91Ç# [J]. 3+5 0;*6Aê > ÎD% 2013,33(12):3143-3155.
- [11] H ¥ Q, 7 ~ . Lö>õ1á 6 j * 1á1á } 6G} J- 7 H F Q » [J]. WF *6 W – – Ô , 2015,55(06):585-596.
- [12] Nang L, Eleni H. Container assignment and yard crane deployment in a container terminal case study[J]. Maritime Economics & Logistics, 2008,10(2):90-107.
- [13] Martin O, Allan G. Average Case Analysis of Blocks Relocation Heuristics: 5th International Conference on Computational Logistics (ICCL), Pontif Catholic Univ Valparaiso, Valparaiso, CHILE, 2014[C].
- [14] C!“ ú, "•M% 7 ÷. 6 j L ö>õ1á 6+1á , PCNN H F x f 1 Ç# [J]. 8 Ø F – Ô 2011,37(02):242-244.
- [15] ~ ¼. * ¾ Ø 1?ô B, 'CM } µLö>õ1á6+1á H F [D]. WF: WF #§ » W – , 2011.
- [16] H T•, T ô 9 é U Q } µLö>õ1á6+1á ý Œ, ' _ ? H F [J]. :#§ #§ » W – – Ô , 2009,30(04):131-136.
- [17] ,-"ë"• ,)» f . Lö>õ1á6+1á H F é xAîAÑ [J]. "dF 0; , 2008(04):57-61.
- [18] ~T•O , ~ E ¹ . =.ž Ê ' & ; Lö>õ1á 6 j * 1á § f 1á } HF9 [J]. J 0; , 2013,16(01):2-30.
- [19] ~T•O . M' A =.ž Ê ß ³, 'Lö>õ1á.1 d H FB3 Ö.D0! [D]. WF: WF *6 W – , 2005.
- [20] Kang J, Ryu K R, Kim K H. Deriving stacking strategies for export containers with uncertain weight information[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2006,17(4):399.
- [21] Lx/û*c, ~ ÷+O, ~ ¼. * ¾ HTPN, 'Lö>õ1á.1 dF 1á Œ J#q0; * Q > /-O [J]. (™#q 0; >1Ñ *6, 2009,31(03):738-741.

-
- [22] Få ®<, =.ž Ê ' & ;, 'Lö>õ1á.1 d 6 j * 1á 6 ^ H F.D0! [D]. WF: WF #§ » W –, 2013.
- [23] ~ • ¼ . 8 Ø FLö>õ1á.1 d>õ8i Â1á * Q >1Ç# [D]. WF *6 W –, 2018.
- [24] H ¥ O, 7 ~ . Lö>õ1á 6 j * 1á1á } 6G} J- 7 H F Q » [J]. WF *6 W – – Õ , 2015,55(06):58596.
- [25] d:= . * ¼Lö ' `Ei 'Ÿ, 'F 1á6+1á1†+•.D0! [D]. WF #§ » W –, 2015.
- [26] C(. L} ~\$ _ .1 d 6 j6+1á)., '1†+• > *Aþ ü ü ADEI 6 j1Ñ*6 Q » X H\$ _ , 'Ä+X[J]. - 8Z #§ -L' – Õ , 2015,23(01):1418.
- [27] Tô&ã j. j F – • é# ú ! Ä+X.D0! [D]. :#§ : :#§ ÔFJ W –, 2007.
- [28] Watkins C J C H. Learning from delayed rewards[D]. University of Cambridge, 1989.
- [29] 93*À*À \$' 8 6 j8 Ø FLö>õ1á.1 d L-AGV B3Ö IM- ! -Q 1Ç# [D]. WF *6 W –, 2018.
- [30] HIRASHIMA Y, TAKEDA K, HARADA S, et al. A Q-Learning for GroupBased Plan of Container Transfer Scheduling[J]. JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, 2006,49(2):4739.
- [31] . ¶ @, ~ _ . Lö>õ1á.1 dLö 'B3 Ö Q » > Q – •1Ç# [J]. ø D% 0; W – – Õ , 2008(01):14.
- [32] Kim K H. Evaluation of the number of rehandles in container yard[J]. Computers & Industrial Engineering, 1997,32(4):70711.

攻读硕士学位期间发表学术论文情况

致 谢

??

??

??

OÆ x OBR A, ' , 8 ~T•O 61 8 È OBR Ø X A.D0!+O"r - {D :, 'B6B6 %o , Ä \Aê .
_ X ~61 8, ' 1 ó 7 , ; ¼ @, ' È 5 Aê -, 'F9NÈ È Q » æ ' Ã1Ç# 5F É ÃAê . v æ ¼
à É ú.D0! @ Ì, ' 04ø x)à Ä) ¾ A XB.NÈ.D0!E÷0;Fw ` , '+ÁLîL NÈ È61 8 k _ Ú Ú
'B! È È à, ' MD È = Ý ` ü ¼ ¼ ' A, 'Aê -.D0! @ Ì Ä T ¨ • È61 8!ÿ ~G- í * Í
Ce, ' &L\$4ô4÷B.NÈ4ôAØAê Ô#q È8² w F È p =L\$ Ý Ä ~61 8 ù, '0 .D2î/Ž ¼ UBX, '
"ë - 1 Ö _ A4ø+O - •, ' ì g Ä

OBR A, '(f!ý ¼ æ ê È OBR •) A & k, ' £ ó ¼ _ 1 È X+O #k :!—N® A È X
- • :UC á A È X2î/Ž : 1 A È j 9 • ' &, 'U U _ 1 ¼ /ñ y)^ È A }7- ó
ñPË, ' ¼ @ - J Ä ú > A J \$ Ð Ú È È =EìCO • , '!ç 7 O K Ä

OBR523 %o.D Ô, ' < - È j 9 • È }AÙ A, '0 .D+O#k J / J™ Ä OBR 8 t E
Ö ~ Ä ~ • ¼ Ä PM7 ¼ 8 93*Ä*Ä X0 .D :5 , A, ' 7 , È OBR <0ÇQ M XB.0; - •
:5 , A, ' ^ Ù È OBR 8 O { - *Ž Ä s ú TS ¼ 8 é H · 8Z V •, ' !R 1AB È OBR 523 W
æ Ý, ' !- ~J › Ä %o O y Ä P60#- Ä ~/ûEà Ä ZO O Ä0 £ @1y X+O#k :5 , A, ' *6@ ¼
5 é Ä OBR 523, ' p 9 < - ÈAÙ A XE« ® 9 Ö, ' "K \$] ÖE÷ ¶ A , ' .D0!+O+O#k Ä

OBR A, ' Ô û9p fMF Ä %o Ö Ä0;9" È X+O#k j) A Þ =8#, ' £ 0 È OBR a " ÄLx
'E Ä a ö Ä) NÆ ¼ A, ' Ô ûLš A ÖE÷ X W , ' 1\0 Z+O È.DFD j 9 • , 'Lš d =
O\$Y Æ Ä

OBR WF *6 W -) A, ')6â ¼ %o , È = ðAÙ A - ` ¶ C J, ' . Aö Ä Š ê, ' Ff*6 È
\$AÙ A, ' ê+O 9 ¶ \$Q , ' C\$&é È • Ø 3 q ~ ±+O € ½

0 > È OBR * j - }1,,EÜ, ' 4 }61 8 È OBR • *, ' ÍCe ??ñ ¼ *AÞ È61 8 EË
9 ¶ ½

大连理工大学学位论文版权使用授权书

本人完全了解学校有关学位论文知识产权的规定，在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于大连理工大学，允许论文被查阅和借阅。学校有权保留论文并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文题目：_____

作者签名：_____ 日期：_____年____月____日

导师签名：_____ 日期：_____年____月____日