

# 基于船舶大数据的港口装卸效率值计算方法

廖诗管<sup>1a</sup>, 杨冬<sup>\*2</sup>, 白茜文<sup>3</sup>, 翁金贤<sup>1a, 1b</sup>

(1. 上海海事大学, a. 海洋科学与工程学院, b. 交通运输学院, 上海 201306; 2. 香港理工大学, 物流及航运学系, 香港 999077; 3. 清华大学, 工业工程系, 北京 100084)

**摘要:** 集装箱港口的装卸效率是衡量港口竞争力和吸引船公司前来挂靠的关键指标之一。为准确估计港口的装卸效率值, 基于船舶自动识别系统(AIS)数据, 利用 Greatmaps(GMap)可视化技术, 提出一种计算港口装卸效率值的方法。利用该方法估算上海港、新加坡港、深圳港和宁波-舟山港的月度装卸效率值, 4个港口2017年上半年的装卸效率月度均值分别为2.85、1.87、2.17和2.10。基于上半年估计的装卸效率值, 对4个港口下半年的月度吞吐量进行估计, 估算误差均值分别为2.77%、2.06%、2.93%和2.46%。结果表明, 该方法能够较为准确地反映港口的装卸效率, 可应用于推断和实时监控港口的吞吐量, 为港口提高绩效和船公司选择港口策略提供理论参考, 提升港口数字化管理水平。

**关键词:** 水路运输; 港口装卸效率; GMap可视化技术; 集装箱港口; AIS数据

## Estimation Method of Port Handling Efficiency Value Based on Ship Big Data

LIAO Shi-guan<sup>1a</sup>, YANG Dong<sup>\*2</sup>, BAI Xi-wen<sup>3</sup>, WENG Jin-xian<sup>1a, 1b</sup>

(1a. College of Ocean Science and Engineering, 1b. College of Transport and Communication, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. Department of Logistics and Maritime Studies, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong 999077, China; 3. Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The handling efficiency of container port is one of the key indicators that reflects the port's competitiveness and attracts shipping companies to call. To accurately estimate the port's handling efficiency value, this paper proposes a method with Greatmaps (GMap) visualization technology to calculate the port's handling efficiency value based on the data of the Automatic Identification System (AIS). Empirically, this method was applied to estimate the monthly handling efficiency values of Shanghai Port, Singapore Port, Shenzhen Port and Ningbo-Zhoushan Port, the average monthly handling efficiency values of the four ports in the first half of 2017 were respectively 2.85, 1.87, 2.17 and 2.10. Based on the obtained values in the first half of the year, the study managed to estimate the monthly throughput for the above four ports in the second half of the year, with the average estimation error being respectively 2.77%, 2.06%, 2.93% and 2.46%. The results show that the method can generate the ports' handling efficiency value with good accuracy and can be used to infer and monitor the port's throughput in real time. Further, results calculated by the method could provide a theoretical reference for the port to improve the performance and help the shipping company to choose the port strategy, and ultimately improve the port's digital management level.

**Keywords:** waterway transportation; port handling efficiency; GMap visualization technology; container port; AIS data

## 0 引言

港口装卸效率是港口竞争力的重要指标, 对于缩短船舶在港停泊时间、加快船舶周转、降低运输

成本起着至关重要的作用, 直接影响着船公司对航线挂靠港的选择<sup>[1]</sup>。评估港口的装卸效率需要考虑许多因素的影响, 包含可获取因素(岸吊数量等)、难

收稿日期: 2020-12-11

修回日期: 2021-01-16

录用日期: 2021-01-27

基金项目: 国家自然科学基金/National Natural Science Foundation of China(71971185, 52072237)。

作者简介: 廖诗管(1994-), 男, 福建福鼎人, 博士生。

\*通信作者: dong.yang@polyu.edu.hk

以获取因素(港口的操作和管理水平等)和随机因素(天气和岸吊机械故障等)。难以获取因素和随机因素为评估港口实际装卸效率带来巨大挑战,使港口间的效率衡量及比较没有唯一的方法可遵循。为准确估计港口的装卸效率值,比较不同港口装卸效率的差异,亟需提出一种标准化的港口装卸效率值估计方法,以更客观地评估和比较复杂多因素下的港口装卸效率,为港口提升管理水平和船公司决策提供参考。

较为典型的港口效率评估方法是 Charnes 等<sup>[2]</sup>率先提出的数据包络分析法(DEA),该方法得到了广泛的运用与发展。例如:李丹等<sup>[3]</sup>采用改进的三阶段DEA模型对我国沿海集装箱码头2008-2012年的运营效率进行测度分析;Cheon等<sup>[4]</sup>构建了基于DEA模型的Malmquist生产力指数(MPI)模型,用以评估世界集装箱港口效率变化情况;Wu等<sup>[5]</sup>应用DEA技术估算了集装箱港口效率,他们认为难以观测的非有形因素会影响集装箱港口的效率。DEA更多的是考虑宏观指标(资本、劳动和土地等)对港口效率变化的影响,对微观运作指标(港口的装卸设备和运营条件等)缺乏考虑。陈龙彪等<sup>[6]</sup>估算了反映港口生产力的指标,利用了岸吊设备对码头作业效率进行评估。Zhong等<sup>[7]</sup>使用海事大数据,提出一种识别船舶装卸作业事件的算法,估算了石油港口的装卸效率、吞吐量等5个港口性能指标。虞哲人<sup>[8]</sup>分析了新型岸吊设备对提高码头作业效率的作用,并预测其应用前景。此类方法虽然考虑了港口的微观运作数据,但依赖较为详细的码头装卸设备的数据资料,故在应用扩展性上有局限。

AIS提供全球船舶实时动态信息,被广泛认为是未来改变航运业运营模式的大数据来源。近年来,基于AIS利用大数据技术发展出来的实际应用越来越广,评估港口竞争力指标被认为是其未来的发展方向之一<sup>[9]</sup>。本文利用GMap可视化技术和港口的历史装卸数据,提出一种基于船舶大数据的港口装卸效率值的估计方法,以评估多因素和微观运作数据不足的复杂条件下的港口绩效指标。该指标所具备的实用价值,可为港口管理提供标准,同时用于估算和实时监控港口的吞吐量,最终提升港口数字化管理水平。本文以2017年全球集装箱吞吐量前四的港口作为算例,证明该方法的有效性。

## 1 港口装卸效率值计算模型

### 1.1 港口装卸效率值计算公式

《海港总体设计规范》<sup>[10]</sup>(简称《规范》)是我国根

据近十多年来沿海港口总体设计经验及专家知识制定而成。《规范》的主要内容包括港址选择、设计基础条件、装卸工艺等。其中,装卸工艺所在章节中提出了港口装卸效率值的估计方法。

根据《规范》,集装箱船设计船时效率  $p_i$  表示为船舶  $i$  停靠港口时,单位时间内的装卸量,即

$$p_i = E_{\text{port}} n_i q_i k_i (1 - r_i) \quad (1)$$

式中:  $E_{\text{port}}$  为港口的装卸效率值;  $n_i$  为满足船舶  $i$  装卸所需配备的岸吊台数;  $q_i$  为船舶  $i$  所配备的岸吊台时效率基准值( $\text{TEU} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $k_i$  为船舶  $i$  所配备的岸吊同时作业率;  $r_i$  为船舶  $i$  的作业倒箱率。

《规范》中给定的港口装卸效率值  $E_{\text{port}}$  定义为两个因素的乘积,即集装箱标准箱折算系数和新型装卸设备(可吊双箱的集装箱岸吊等)对装卸效率的提升系数,单位为无量纲。在实际生产过程中,不确定因素也可能影响港口的装卸效率(不良天气,设备故障等)。因此,《规范》中也仅给出装卸效率值的经验取值范围,并没有具体的计算方法。

理论上,港口实际吞吐量是所有靠港船舶的设计船时效率与靠泊时长的乘积,即

$$Q_a = E_{\text{port}} \sum_i n_i q_i k_i (1 - r_i) t_i \quad (2)$$

式中:  $Q_a$  为港口实际吞吐量( $\text{TEU}$ );  $t_i$  为船舶  $i$  的靠泊时长( $\text{h}$ );  $I$  为所有靠港船舶的集合。

船舶自动识别系统(AIS)实时采集船舶在港口中的位置信息<sup>[6]</sup>。港口操作的随机因素和难以观测因素可通过历史吞吐量与靠泊时间长短观测而得。AIS提供了一个提取靠泊时间的平台,可通过设计算法识别船舶靠离泊时刻,估计靠泊时长(详见第1.2节)。根据《规范》提供的  $n_i, q_i, k_i, r_i$  的取值范围,本文提出其唯一的取值方法(详见第2.3节),从而估计港口的装卸效率值,即

$$E_{\text{port}} = \frac{Q_a}{\sum_i n_i q_i k_i (1 - r_i) t_i} \quad (3)$$

本文提出的港口装卸效率值估计方法,弥补了现有文献对不可知或不确定因素考虑不足的情形,把《规范》中效率的范围取值进一步估算为确切的港口装卸效率,从而使实时大规模港口吞吐量的估计和监控成为可能。

### 1.2 靠泊时长估计方法

船舶靠泊时长一般可理解为船舶离泊时刻与船舶靠泊时刻的时间差,准确地识别船舶靠离泊时刻是估计港口装卸效率值的关键。本文通过两个

步骤估计船舶的靠泊时长:步骤1,根据卫星地图和专业网站实时地图信息,识别港口泊位位置以确定船舶靠泊区域;步骤2,输入AIS数据中船舶位置信息,利用GMap可视化技术确定船舶是否进入泊位区域以确定靠离泊时刻。图1为船舶靠泊时长估计方法的框架。

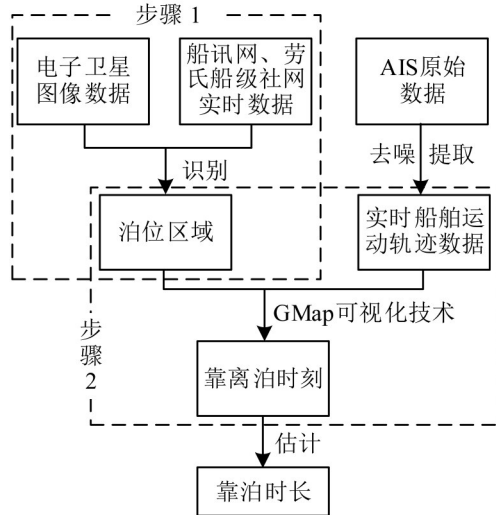


图1 船舶靠泊时长估计方法框架

Fig. 1 Methodology framework for ship berthing time estimation

如图2所示,由于集装箱码头分布着大量岸吊及堆场,从卫星图像中能够明显地观察到这些特征,初步识别泊位区域。船讯网、劳氏船级社等专业网站提供了实时船舶位置信息,通过观察是否有船舶停靠在初步识别的泊位区域,可校正所识别泊位区域的准确性。本文定义的泊位区域宽度以泊位线沿水域方向100 m划分<sup>[11]</sup>。

图3为将原始AIS数据去噪后提取的实时船舶运动轨迹。通过GMap可视化技术,将标定的泊位区域与实时船舶运动轨迹结合,确定船舶靠离泊时刻。例如图3中的船舶MMSI编号为477335600,在2017年8月26日12:56:56识别为靠泊时刻,在

2017年8月26日20:05:43识别为离泊时刻,靠泊时长约为7 h。

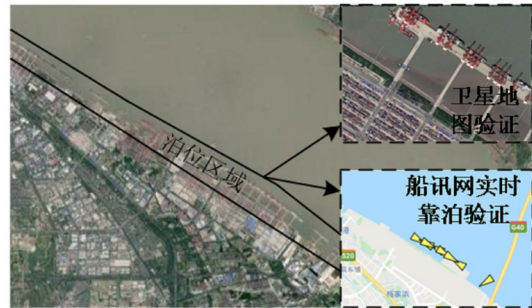


图2 泊位区域确定方法

Fig. 2 Method for berth area identification



图3 基于GMap可视化技术的船舶靠离泊时刻识别

Fig. 3 Method for GMap-visualization-technology-based ship berthing and unberthing time identification

## 2 数据收集与分析

### 2.1 集装箱吞吐量统计数据

规模以上(例如年吞吐量达到200万TEU)港口统计集装箱吞吐量一般以月度数据为主,本文基于中国交通运输部和新加坡海事及港务管理局官方统计数据,梳理出2017年全球集装箱吞吐量排名前四的港口:上海港、新加坡港、深圳港和宁波-舟山港的月度集装箱吞吐量数据,即 $Q_a$ 的值,结果如表1所示。

表1 2017年4个港口集装箱吞吐量月度数据

Table 1 Monthly container throughput data of four ports in 2017

时间	上海港/万TEU	新加坡港/万TEU	深圳港/万TEU	宁波-舟山港/万TEU
1月	328.00	262.33	216.39	213.98
2月	262.00	229.72	135.99	175.60
3月	340.00	269.16	192.41	200.24
4月	323.00	272.44	201.60	201.87
5月	350.00	299.09	215.53	227.25
6月	340.00	282.24	208.89	213.57
7月	350.00	287.70	234.77	218.46
8月	345.00	294.74	228.48	216.14
9月	338.00	280.00	245.69	199.64
10月	340.00	295.71	214.57	199.69
11月	355.00	297.71	210.28	202.70
12月	352.00	295.81	216.40	194.86
总计	4023.00	3366.65	2521.00	2464.00



### 2.2 AIS数据

基于2017年全球AIS数据,时间频率为10~15 s,共计超2 TB的数据容量。收集的数据具有较高的数据精度,为识别船舶的靠离泊时刻提供可靠的数据保障,也能够保证计算和验证所提出方法的有效性。

共收集到全球6320艘有MMSI(船舶编码)的集装箱船数据,经匹配AIS数据获得4787艘船舶运动轨迹数据,每月数据规模达到约5 GB。匹配结果少于总集装箱船数量,可能原因为:

- (1) 某些船舶已经报废;
- (2) 部分船舶经改造成非集装箱船,造成MMSI改变;
- (3) 部分集装箱船在一段时间内并不进行运输作业;
- (4) 2017年之后新造的船舶。

### 2.3 计算参数取值

依据《规范》,  $n_i, q_i, k_i, r_i$  的取值范围仅与船舶吨级 ( $G_{DWT}$ ) 或载箱量 ( $C_{TEU}$ ) 有关,如表2和表3所示。其中,  $n_i$  和  $q_i$  的取值为整数,  $k_i$  的取值随载箱量的增大而减小,  $r_i$  的取值随船舶载箱量的增大而增大。

表2 不同吨级的集装箱船岸吊配备数量  
Table 2 Number of quay cranes for container ships by different tonnages

集装箱船吨级/t	岸吊配备台数 $n_i$ /台
[4500, 27500)	[1, 2]
[27500, 45000)	[2, 3]
[45000, 65000)	[3, 4]
[65000, 85000)	[3, 4]
[85000, 115000)	[4, 5]
$\geq 115000$	5

注:数据来源于《规范》。

表3 不同载箱量的集装箱船岸吊台时效率、同时作业率及倒箱率  
Table 3 Loading and unloading efficiency of quay cranes, simultaneous operation rate and turnover rate of container ships with different TEU capacity

集装箱船载箱量/TEU	(200, 1900]	(1900, 5650]	(5650, 9500]	>9500
台时效率 $q_i / (\text{TEU} \cdot \text{h}^{-1})$	[20, 25]	[25, 30]	[30, 35]	$\geq 35$
同时作业率 $k_i$ *	[0.95, 0.85]	[0.90, 0.80]	[0.90, 0.75]	[0.90, 0.70]
倒箱率 $r_i$	[0, 0.05]	[0, 0.07]	[0, 0.07]	[0, 0.08]

注:\*取值随载箱量增大而减小;数据来源于《规范》。

进一步确定4个参数唯一取值的方法,即

$$n_i = \begin{cases} 1, G_{DWT} \in (0, 16000) \\ 2, G_{DWT} \in [16000, 36250) \\ 3, G_{DWT} \in [36250, 55000) \cup (65000, 75000) \\ 4, G_{DWT} \in [55000, 65000) \cup [75000, 100000) \\ 5, G_{DWT} \in (100000, +\infty) \end{cases} \quad (4)$$

$$q_i = \begin{cases} 20, & C_{TEU} \in (0, 200] \\ \lfloor 20 + \frac{6(C_{TEU} - 201)}{1900 - 200} \rfloor, & C_{TEU} \in (200, 1900] \\ \lfloor 25 + \frac{6(C_{TEU} - 1901)}{5650 - 1900} \rfloor, & C_{TEU} \in (1900, 5650] \\ \lfloor 30 + \frac{6(C_{TEU} - 5651)}{9500 - 5650} \rfloor, & C_{TEU} \in (5650, 9500] \\ \lfloor 35 + \frac{6(C_{TEU} - 9501)}{9500 - 5650} \rfloor, & C_{TEU} \in (9500, +\infty) \end{cases} \quad (5)$$

$$k_i = \begin{cases} 1, & C_{TEU} \in (0, 200] \\ -0.00006C_{TEU} + 0.9618, & C_{TEU} \in (200, 1900] \\ -0.00003C_{TEU} + 0.9507, & C_{TEU} \in (1900, 5650] \\ -0.00004C_{TEU} + 1.1202, & C_{TEU} \in (5650, 9500] \\ 0.7, & C_{TEU} \in (9500, +\infty) \end{cases} \quad (6)$$

$$r_i = \begin{cases} 0.000, & C_{TEU} \in (0, 200] \\ 0.025, & C_{TEU} \in (200, 1900] \\ 0.035, & C_{TEU} \in (1900, 9500] \\ 0.040, & C_{TEU} \in (9500, +\infty) \end{cases} \quad (7)$$

例如:依据表2,当船舶吨级在[27500, 45000)时,  $n_i$  的取值按船舶吨级范围的中值分为两组,即  $n_i = 2, G_{DWT} \in (27500, 36250); n_i = 3, G_{DWT} \in [36250, 45000)$ 。依据表3,当船舶载箱量在(1900, 5650]时,  $q_i$  的取值根据船舶载箱量范围按组距等量分为6组,即  $q_i = \lfloor 25 + \frac{6(C_{TEU} - 1901)}{5650 - 1900} \rfloor, C_{TEU} \in (1900, 5650]$ , 其中  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整符号;对应  $k_i$  的取值采用两点之间的一次方程确定唯一取值,即  $k_i = -0.00003C_{TEU} + 0.9507, C_{TEU} \in (1900, 5650]$ ;  $r_i$  的取值按给定范围的均值做近似估计,即  $r_i = 0.035, C_{TEU} \in (1900, 9500]$ 。

## 3 计算结果分析

### 3.1 集装箱船靠泊时长计算

根据1.2节提出的方法和所匹配的4787艘AIS

数据,估计2017年上海港、新加坡港、深圳港和宁波-舟山港集装箱船靠泊时长的月度数据,利用@RISK软件对1月的单船靠泊时长进行统计分析,结果如图4所示。上海港单船靠泊时长呈Person分布,平均靠泊时长为14.56 h;新加坡港单船靠泊时长呈LogLogistic分布,平均靠泊时长为15.58 h;

深圳港单船靠泊时长呈LogLogistic分布,平均靠泊时长为13.89 h;宁波-舟山港单船靠泊时长呈InvGauss分布,平均靠泊时长为17.25 h。本文关于船舶靠泊时间分布规律与现有文献<sup>[11]</sup>研究结果相似。

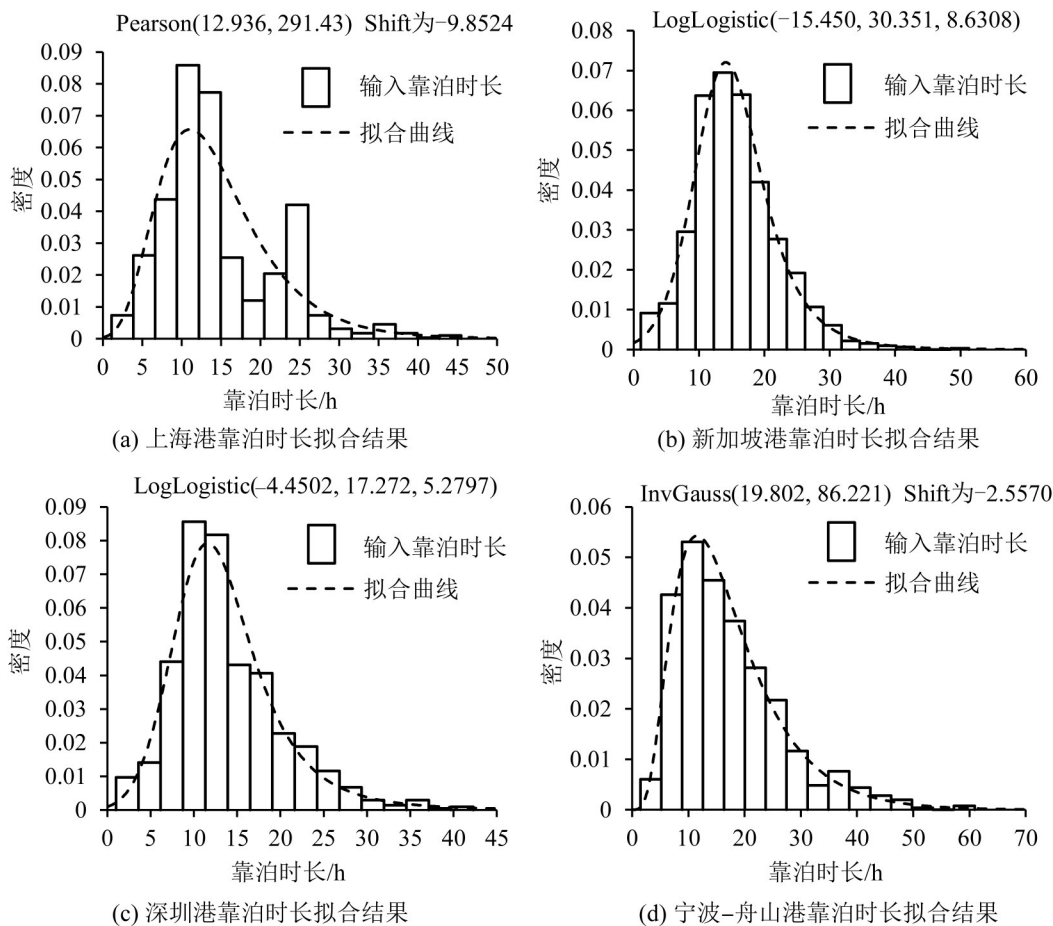


图4 1月的靠泊时长分布结果  
Fig. 4 Distribution of calculated berthing time in January

表4为4个港口1月靠泊船舶的大小分布。结果表明,上海港和新加坡港靠泊船舶大小分布类似;深圳港和宁波-舟山港相对来说大型船舶靠泊

比例较高。一般地,大型船舶的单位集装箱操作时间较长。

表4 1月份靠泊船舶的大小分布  
Table 4 Size distribution of ships berthing in January

船舶吨级/t	上海港/%	新加坡港/%	深圳港/%	宁波-舟山港/%
[45 00, 27500)	47.87	37.10	27.43	29.33
[27500,45000)	8.63	14.65	9.35	9.04
[45000, 65000)	12.03	19.80	14.84	18.07
[65000, 85000)	9.10	9.07	11.22	13.93
[85000, 115000)	10.62	9.65	16.71	12.59
≥115000	11.75	9.73	20.45	17.04

### 3.2 港口装卸效率值计算

根据式(3)和第2.3节给出的参数取值方法,在

求得船舶靠泊时长的情况下,对4个港口2017年上半年的装卸效率值进行计算,结果如图5所示。

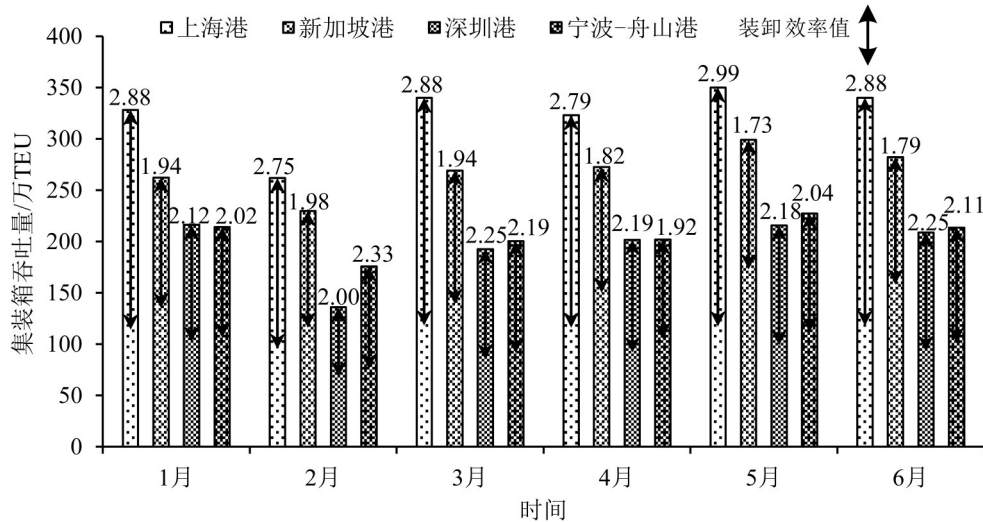


图5 2017年上半年港口装卸效率值估计结果

Fig. 5 Estimated handling efficiency of ports in first half of 2017

研究结果表明:

(1) 2017年上半年,上海港、新加坡港、深圳港和宁波-舟山港的装卸效率月度均值分别为2.86、1.87、2.17和2.10。在靠泊船舶的大小分布相似的情况下,上海港的装卸效率高于新加坡港,深圳港的装卸效率高于宁波-舟山港。根据2015年ITF/OECD报告结果,新加坡港每船每小时平均集装箱移动量仅为66 TEU,而上海港为167TEU,深圳港为133 TEU<sup>[12]</sup>。本文研究结论与该结果一致。

(2) 各港口月度装卸效率值起伏变化不明显,说明港口装卸效率在一定时间内不会有较大变化。一般地,港口引进新型设备或智能化技术能够明显提高港口装卸效率<sup>[8]</sup>。因此,有理由认为港口装卸效率

在一段时间内相对稳定,较少出现突变特征。

### 3.3 算例验证

为验证所提出方法的准确性,利用所估计的上半年装卸效率值对4个港口下半年的吞吐量进行估计。根据式(2),港口吞吐量的估计值 $\bar{Q}_a$ 可表示为

$$\bar{Q}_a = \bar{E}_{port} \sum_i n_i q_i k_i (1 - r_i) t_i \quad (8)$$

式中: $\bar{E}_{port}$ 为估计的港口装卸效率值。假设港口下半年装卸效率值维持上半年月度均值水平,估计下半年港口吞吐量与实际吞吐量的误差,结果如图6所示。其中,误差百分比为正数表示估计吞吐量大于实际吞吐量,反之亦然。

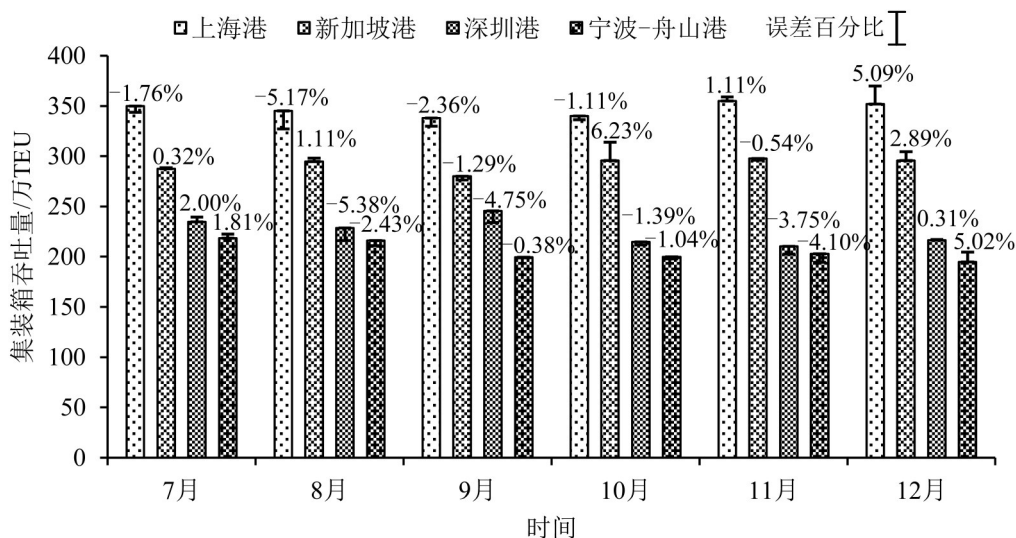


图6 2017年下半年港口的估计吞吐量与实际吞吐量误差结果

Fig. 6 Estimation error of ports in second half of year of 2017

研究结果表明:

(1) 上海港、新加坡港、深圳港和宁波-舟山港下半年月度吞吐量估计误差绝对值的均值分别为2.77%、2.06%、2.93%和2.46%。

(2) 4个港口月度吞吐量的估计均值准确率在97%以上,故认为本文所提出的估计港口装卸效率值的方法具有较高的准确性,能够在一定程度上反映港口确切的装卸效率。

(3) 基于AIS实时数据,利用该方法可对全球集装箱港口吞吐量进行实时测算和监控。

## 4 结论

本文基于高频AIS船舶大数据,提出一种基于图像技术的港口装卸效率值的计算方法,用于评估多因素和微观运作数据不足的复杂条件下的港口实际装卸效率。通过对2017年全球集装箱吞吐量排名前四的港口装卸效率值进行估算发现,上海港的装卸效率高于新加坡港,深圳港的装卸效率高于宁波-舟山港,利用估算的效率值估算4个港口的吞吐量,准确率可达到97%以上,这表明此方法能够准确地对不同港口间装卸效率进行估算和比较。本文提出的效率参数计算方法,可用于估算全球集装箱港口或码头的实时吞吐量,极大的减少了人工统计产生的成本和误差,使市场数据变得透明,不仅为港口提升管理水平和船公司选择挂靠港口的决策提供理论参考,也有助于提升航运港口业数字化的科研和发展。

## 参考文献

- [1] 于旭会,唐国磊,郭子坚,等. 基于多智能体仿真的集装箱港口作业效率研究[J]. 水运工程, 2017(9): 83-87, 93. [YU X H, TANG G L, GUO Z J, et al. Container terminal operational performance based on multi-agent system simulation[J]. Port and Waterway Engineering, 2017(9): 83-87, 93.]
- [2] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [3] 李丹, 栾维新, 片峰. 航运企业投资对码头运营效率的影响研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 15(1): 43-48. [LI D, LUAN W X, PIAN F, Assessing the influence of shipping company investment for efficiency of terminal[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014, 15(1): 43-48.]
- [4] CHEON S H, DOWALL D E, SONG D W. Evaluating impacts of institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor productivity changes of world container ports[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010, 46(4): 546-561.
- [5] WU Y C J, GOH M. Container port efficiency in emerging and more advanced markets[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2010, 46(6): 1030-1042.
- [6] 陈龙彪, 张大庆, 李石坚, 等. 基于海事大数据的港口感知计算[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(11): 1485-1493. [CHEN L B, ZHANG D Q, LI S J, et al. Port sensing computation based on maritime big data[J]. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(11): 1485-1493.]
- [7] ZHONG H, LIN Y, YIP T L, et al. A novel oil port risk and efficiency performance measured by using AIS data and maritime open data: The case of Guangzhou, China [J]. Ocean Engineering, 2020, 216: 107859.
- [8] 虞哲人. 集装箱岸桥新型组合武吊具上架的技术与应用介绍[J]. 港口科技, 2014(5): 26-30. [YU Z R, Technology and application of combined headlock of container crane[J]. Port Science and Technology, 2014(5): 26-30.]
- [9] YANG D, WU L X, WANG S A, et al. How big data enriches maritime research: A critical review of automatic identification system (AIS) data applications [J]. Transport Reviews, 2019, 39(6): 755-773.
- [10] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 《海港总体设计规范》[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014. [China Communications Construction Company Water Transportation Planning and Design Institute Co Ltd, China Communications Construction Company First Harbor Consultants Co, Ltd. Design code of general layout for sea ports[S]. Beijing: China Communication Press, 2014.]
- [11] FENG M X, SHAW S L, PENG G J, et al. Time efficiency assessment of ship movements in maritime ports: A case study of two ports based on AIS data[J]. Journal of Transport Geography, 2020, 86: 102741.
- [12] INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. ITF transport outlook 2015[J/OL]. International Transport Forum and OECD, (2015-01-27) [2020-12-11]. <https://doi.org/10.1787/9789282107782-en>.