

# 基于 AIS 信息的船舶进出港航速控制模型

肖潇<sup>1</sup>, 邵哲平<sup>1</sup>, 纪贤标<sup>1,2</sup>, 陈玲玲<sup>1</sup>

(1. 集美大学 航海学院 福建 厦门 361021; 2. 厦门大学 信息科学与技术学院 福建 厦门 361011)

**摘要:** 为提升近港航道效率及船舶安全, 从船舶自动识别系统 (Automatic Identification System, AIS) 集合的大量的海上交通特征信息中获取能够反映船舶进出港规律的、有效的、潜在的信息, 建立船舶进出港航速控制模型. 根据海上交通工程理论和数据挖掘技术, 将实时采集的港口水域的 AIS 信息存放在数据库中, 再通过 ETL (Extract Transform Load) 进行处理. 该数据库具备统计分析船舶进出港各阶段航速分布的功能. 以厦门嵩屿港集装箱码头为例, 构建相应的数据库, 对 12 万吨级集装箱船舶进出港的航速进行统计, 获得此类船舶在进出港过程中的航速分布规律, 并根据航速的概率分布特点给出建议航速, 为船舶自动进出港、引航员引导船舶及港口主管部门更好地监管通航环境提供理论依据.

**关键词:** 自动识别系统 (AIS); 数据挖掘; 航速分布; 集装箱船舶

中图分类号: U697

文献标志码: A

## Speed control model of ships entering and leaving ports based on AIS data

XIAO Xiao<sup>1</sup>, SHAO Zheping<sup>1</sup>, JI Xianbiao<sup>1,2</sup>, CHEN Lingling<sup>1</sup>

(1. Navigation College, Jimei Univ., Xiamen 361021, Fujian, China;

2. School of Information Science and Technology, Xiamen Univ., Xiamen 361011, Fujian, China)

**Abstract:** To improve near-port channel efficiency and ship safety, a speed control model of ships entering and leaving ports is built based on the regular, efficient and potential information on ships entering and leaving ports from a great deal of marine traffic characteristic information collected by Automatic Identification System (AIS). According to the marine traffic engineering theory and data mining technology, AIS real-time data collected in port waters is stored into a database, and then the database is processed by ETL (Extract Transform Load). The database is of the function of statistical analysis on every stage speed distribution of ships entering and leaving ports. A container terminal of Songyu Port in Xiamen is taken for example, and a corresponding database is built. The statistics on the speed of 120 000 t container carrier entering and leaving ports is made to obtain the speed distribution. Then, some suggestions are given according to the probability distribution characteristics of the speed. It provides a theoretical basis for ships to automatically enter and leave ports, pilots to pilot ships, and port authority depart-

收稿日期: 2013-11-20 修回日期: 2014-04-14

基金项目: 福建省教育厅科技计划项目 (JB11103); 浙江省交通厅科技项目 (2012W14)

作者简介: 肖潇 (1988—), 男, 福建三明人, 硕士研究生, 研究方向为交通信息工程及控制 (E-mail) xiaoxiao@jmei@163.com;

邵哲平 (1964—), 男, 福建福州人, 船长, 教授, 博士, 研究方向为交通信息工程及控制、航海技术 (E-mail) zpshao@jmu.edu.cn

<http://www.smujournal.cn>

ments to better supervise navigation environment.

**Key words:** Automatic Identification System (AIS); data mining; speed distribution; container carrier

## 0 引言

传统的海上交通调查手段复杂且耗时费力,船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)不仅能提高船舶航行效率与安全,而且能提供大量的海上交通特征。<sup>[1-9]</sup> AIS 的信息采集系统<sup>[4-5]</sup>能实时地接收各港口 AIS 接收点采集到的船载 AIS 数据。这些数据具有实时性强、数量大、内容丰富等特点,可以供基于电子海图的船舶监控系统使用,也可以作为历史数据对海上交通特征进行分析。

船舶在港口航道(以下简称“航道”)中航行,需要选择合适的航速。若航速过低,则舵效较差,很难有效地控制船首向和船位。若航速过高,则船体的下沉量较大,船体水下的富余水深随之减少,致使船舶所受的阻力增大,舵效变差。由于船舶惯性较大,航速较高时,减速所需距离较大,不利于在避让或紧急情况下采取有效措施。因此,船舶进出港时的航速受

到诸多约束,同时也呈现出一定的规律。

大型船舶具有惯性大、余速消除慢等特点,控制船舶进出港航速是保证船舶安全的一种重要方法。本文通过构建 AIS 信息数据库,经统计分析得到船舶进出港各阶段的航速分布,从而提出航速控制建议,为船舶自动进出港提供理论支撑,为新引航员及船长提供航速参考,有效指导船舶交通管理(Vessel Traffic Services, VTS)部门对速度异常的船舶进行监视,提高 VTS 的主动服务效率。

## 1 船舶进出港各阶段航速统计实现

### 1.1 船舶进出港航速统计总体流程

船舶进出港各阶段航速统计流程见图 1。图 1 中:ETL(Extract Transform Load)为数据的提取、转换和加载技术;OLAP(On-Line Analytical Processing)为在线联机分析处理技术。

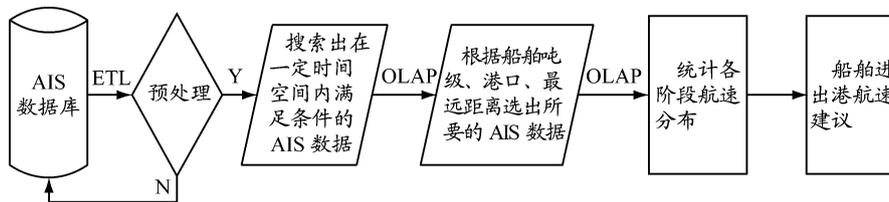


图 1 基于 AIS 信息的船舶进出港各阶段航速统计流程

### 1.2 主要计算公式

利用所采集的有效 AIS 信息,只需输入船舶在码头的起算点经纬度,即可利用式(1)求得该时刻船舶与码头间距离为船长的几倍,此距离所对应的航速即为 AIS 信息中该时刻船舶的航速。

$$D_L = \frac{1}{L} \frac{852.25D((\varphi_{\text{start}}, \lambda_{\text{start}}), (\varphi_{\text{end}}, \lambda_{\text{end}}))}{L} \quad (1)$$

式中: $D_L$ 为船舶与码头间距离所等效的船长倍数; $D$ 为海图上两经纬度之间的距离,m; $L$ 为船长,m; $(\varphi_{\text{start}}, \lambda_{\text{start}})$ 表示码头起算点的纬度和经度; $(\varphi_{\text{end}}, \lambda_{\text{end}})$ 表示该时刻船舶的纬度和经度。

### 1.3 船舶进出港航速统计具体步骤

**步骤 1** AIS 信息采集与预处理。通过定时地从 AIS 数据接收服务器中取出所需 AIS 消息报文文件,运用 AIS 信息解码模块实现解码和数据入库,并在数据库中预处理使用前的无效数据,使得到的 AIS 信息基本表更加有效。预处理的主要工作有:删除动态信息表中 MMSI 为 0 的记录;删除明显错误

的 AIS 数据,如速度、经纬度超过合理值(如出现负值速度或速度  $> 100$  kn,或经度  $> 180^\circ$ ,或纬度  $> 90^\circ$ 等);根据 AIS\_NAME 表删除超出研究水域范围的记录等。基于导入的原始数据,建立数据库<sup>[10]</sup>,围绕主题进行数据建模和统计分析。

**步骤 2** 定量划分各阶段。船舶操纵运动不但与船舶运动控制有关,还与船型参数等有关。不同排水量、不同船型参数的船舶的运动性能也不尽相同。根据参考文献[11]中“利用距离码头几倍船长控制船舶速度区间范围,进而完成对船舶系泊操纵”的论述,本文同样采用几倍船长定量划分船舶航行的各个阶段,进而统计得出各阶段船舶航速分布。

**步骤 3** 船舶最远距离的确定。①船舶进港过程为减速操纵,船舵控制航向的能力随着船速的降低而减弱;反之,出港过程为加速操纵,船舵控制航向的能力随着船速的提高而增强。相比较而言,船舶出港操纵相对较容易,故在此以船舶进港操纵过程确定研究距离。②在船舶由沿海水域驶入港口水域

并向停泊位置接近的过程中,由于港内航行需要频繁改变船速,船舶应处于备车航行状态,是否降速取决于距离停泊位置的距离、船舶吨位、操纵性、通航环境以及船型等因素.如大型集装箱船,由于其操纵性能较好,一般在 10 n mile 左右时进行备车<sup>[11]</sup>,此时距离泊位大约为 50L.

步骤 4 统计各阶段航速. ①确定所需研究的船舶吨级和港口,确定划分阶段最远距离; ②进行 AIS 数据预处理,根据①在数据库中搜索出在一定时间空间内满足条件的船舶 AIS 动态表数据,存入临时表 A 中; ③对临时表 A 按 MMSI 分组查询,每组按时间先后顺序排序,计算前后船舶 AIS 记录的时间差、经度差、纬度差,选择这些差值小于其设置的最大阈值、航速小于其设置的最大阈值的数据,存入临时表 B 中; ④根据数学模型,计算表 B 中实时船舶位置距离码头起算点距离,换算成船长倍数(根据历史船舶交通流,选取船舶主要靠泊位置的点中心为船舶距离泊位的起算点),并将进港船舶数据存入表 C 中,出港船舶数据存入表 D 中; ⑤根据研究需要,对表 C 和 D 进行相应的深入分析.

步骤 5 获取拟合曲线. 通过上述步骤可以得到该类船舶进出港航速概率点分布(各阶段的航速都处在一定的范围区间内).为得到最佳的拟合曲线,采用最小二乘法对数据进行回归拟合.因为接收到的船舶 AIS 信息已经考虑风流综合影响,所以在实际的船舶操纵过程中应保持船舶对地航速服从最佳拟合曲线分布.

## 2 实例研究

### 2.1 数据选取及统计分析结果

厦门港是我国综合运输体系的重要枢纽、集装箱运输干线港、东南国际航运中心和对台航运主要口岸,位居世界集装箱港口前 20 强,主要船型为 1 万 TEU 左右(12 万吨级)的集装箱船舶.嵩屿港集装箱码头在厦门所有集装箱码头中最靠近主航道,为便于研究船舶进出港各阶段航速,选择嵩屿港集装箱码头船型 1 万 TEU 左右的集装箱船舶为研究对象.选取 2013 年 1 月 4 月 6—10 月的 AIS 数据.

根据条件滤除错误数据,从数据库中得出符合上述条件的有效船舶的 AIS 数据,共计船舶 44 艘

次,其中:进港船舶 24 艘次;出港船舶 20 艘次.船舶进港和出港速度分布及其最佳拟合曲线见图 2.

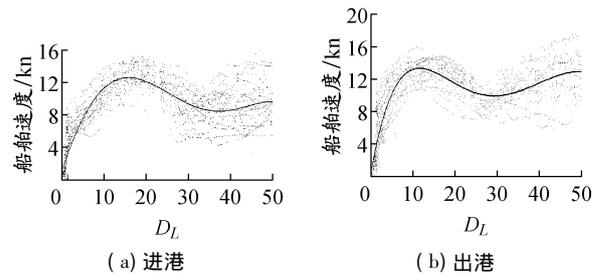


图 2 12 万吨级集装箱船舶进港和出港速度分布及其最佳拟合曲线

### 2.2 数据分析

图 3 为厦门港主航道中 12 万吨级集装箱船舶航迹分布和距离嵩屿港码头约 30L 处的门限,其中: A 为厦门港主航道, B 为距离嵩屿港码头约 30L 处的门限.

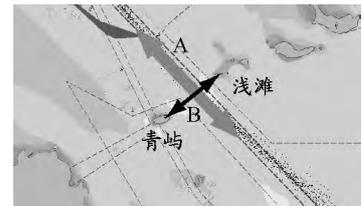


图 3 厦门港主航道 12 万吨级集装箱船舶航迹分布和门限

由图 2 可知,当  $D_L < 15$  时,船舶进出港航速的变化服从对数分布,但当  $D_L \approx 30$  时,由于厦门港主航道两侧青屿和浅滩的影响,船舶需采取安全航速<sup>[12]</sup>通过此门限,船舶最终航速服从多项式分布.

为进一步分析航速的分布特征,通过获取的最佳拟合曲线,分别得到 12 万吨级集装箱船舶进港和出港时的速度分布,即

$$Y_1 = -0.7D_L^5 - 0.5D_L^4 - 0.0005D_L^3 - 0.056D_L^2 + 1.6009D_L \quad (2)$$

$$Y_2 = -0.7D_L^5 - 0.4D_L^4 + 0.007D_L^3 - 0.2217D_L^2 + 2.8579D_L \quad (3)$$

式中:  $Y_1$  和  $Y_2$  分别为进港和出港船舶速度分布.

综合本航道的特点,提出对该吨级船舶进出港速度控制的建议,见表 1 和 2. 从表 1 可知:对于进港船舶,当  $D_L \in [30, 40]$  时,由于门限两侧青屿和浅滩的影响,船舶减速并将速度控制在 7~8 kn,在通过门限后,为保证进港时的效率,可适度加车进港;当  $D_L \in [10, 20]$  时,速度达到最大值,控制在 12~13 kn,之后开始减速.从表 2 可知,对于出港船舶,

表 1 12 万吨级集装箱船舶进港建议速度

$D_L$	[40, 50]	[30, 40]	[20, 30]	[10, 20]	[8, 10]	[6, 8]	[4, 6]	3	2	1
船舶速度/kn	9~10	7~8	9~11	12~13	10~11	8~9	6~8	5	3~4	2

表 2 12 万吨级集装箱船舶出港建议速度

$D_L$	[40, 50)	[30, 40)	[20, 30)	[10, 20)	[8, 10)	[6, 8)	[4, 6)	3	2	1
船舶速度/kn	12~13	10~12	10~11	12~13	12~13	11~12	8~11	5~7	3~4	2

当  $D_L \in [20, 30)$  时, 由于门限两侧青屿和浅滩的影响, 船舶减速并将速度控制在 10~11 kn.

### 2.3 结果验证

为验证上述数据的准确性, 请具有丰富海上实践经验、持有船长适任证书的人员在大型船舶操纵模拟器上按上述建议航速进行进出港模拟. 模拟平台为大连海事大学航海技术研究所研制的大型船舶操纵模拟器. 该模拟器已取得中国海事局和 IMO 认证, 满足本次模拟的各项要求. 模拟结果表明, 按照该建议航速操纵船舶进出港, 能够获得较好的效果.

功能, 进而求得船舶进出港的速度分布. 对厦门嵩屿港集装箱码头 12 万吨级集装箱船舶进出港各阶段的航速分布进行统计分析, 并根据速度的概率分布, 给出该类船舶进出厦门嵩屿港集装箱码头的建议航速. 该研究可以为引航员有效引导船舶进出港提供参考, 为船舶自动进出港航速提供新思路, 并为港口主管部门更好地监管通航环境提供理论依据. 此外, 本文只对船舶航速规律进行统计, 如何将此与进出港各阶段航向分布相结合, 以提高船舶进出港的效率和安全性, 将是下一步的主要研究方向.

## 3 结束语

基于 AIS 数据, 通过运用数据库的统计和分析

### 参考文献:

- [1] 吴兆麟, 朱军. 海上交通工程[M]. 2 版. 大连: 大连海事大学出版社, 2004: 10-11.
- [2] 孙方力, 孙文强. 船载自动识别系统[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2004: 1-10.
- [3] 国际海事组织. 通用船载自动识别系统国际标准汇编[G]. 袁安存, 张淑芳, 编译. 大连: 大连海事大学出版社, 2005: 1-10.
- [4] 邵哲平, 孙腾达, 潘家财, 等. 基于 ECDIS 和 AIS 的船舶综合信息服务系统的开发[J]. 中国航海, 2007, 30(2): 30-33.
- [5] 纪贤标, 邵哲平, 潘家财, 等. AIS 信息分布式采集系统的开发及关键技术[J]. 上海海事大学学报, 2007, 28(3): 28-31.
- [6] SHAO Zheping, SUN Tengda, PAN Jiakai, et al. Vessel information service system based on ECDIS and AIS[C]//Proc Int Conf Transportation Eng, American Society of Civil Engineers (ASCE), 2007: 1678-1683.
- [7] 潘家财, 邵哲平, 姜青山. 数据挖掘在海上交通特征分析中的应用研究[J]. 中国航海, 2010, 33(2): 60-62.
- [8] 纪贤标, 邵哲平, 潘家财, 等. AIS 信息网络共享平台[J]. 上海海事大学学报, 2010, 31(2): 33-34.
- [9] 郑滨, 陈锦标, 夏少生, 等. 基于数据挖掘的海上交通流数据特征分析[J]. 中国航海, 2009, 32(1): 60-61.
- [10] 李於洪. 数据仓库与数据挖掘导论[M]. 北京: 经济科学出版社, 2012: 181-185.
- [11] 洪碧光. 船舶操纵[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2008: 131-133.
- [12] 赵劲松, 王逢辰. 船舶避碰学原理[M]. 大连: 大连海事大学出版社, 1998: 64-72.

(编辑 赵勉)