

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.04.004

韩朋, 廖鹏, 刘重威, 等. 内河航道服务区水域面积仿真分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 24-30. (HAN Peng, LIAO Peng, LIU Zhongwei, et al. Simulation analysis of water area in inland waterway service area[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(4): 24-30. (in Chinese))

内河航道服务区水域面积仿真分析

韩朋¹, 廖鹏², 刘重威², 倪兵¹

(1. 安徽省交通科学研究院, 安徽 合肥 230051; 2. 东南大学 交通学院 港航工程系, 江苏 南京 210096)

摘要: 内河航道服务区水域面积是内河航道服务区规划设计的关键问题。考虑到船舶进入服务区和服务时间的随机性, 提出了基于船舶交通流特性和服务特征的仿真模型, 并将其用于分析服务区水域面积。以长三角地区典型航道服务区为例, 基于 AnyLogic 平台进行仿真分析, 结果表明, 模型预测的服务区停泊船舶数量和水域面积与实际情况吻合。敏感性分析发现, 服务区停泊船舶数量与航段上船舶流量、服务特征参数的均值成线性正比关系, 与服务特征参数的概率分布类型关系很小。根据调查参数和回归分析, 可将服务区水域面积简化为航段上船舶流量和船舶平均吨位的连续函数, 有助于方便合理地估算服务区所需的水域面积。

关键词: 内河航道; 服务区; 水域面积; 仿真; AnyLogic

中图分类号: U641.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2019)04-0024-07

内河航道服务区是沿航道布置的通航辅助设施, 类似于高速公路服务区, 为过往船舶和船员提供锚泊和补给服务, 解决船舶靠泊难、过夜难、补给难等突出问题, 在保障航行安全和提升内河水运服务品质等方面发挥了重要作用^[1]。服务区建设规模是其规划设计的关键问题之一。为协调船舶的服务“需求”和服务区的服务“供给”, 需要合理确定航道服务区水域规模, 即能同时容纳接受服务的最大船舶数量或服务区水域面积^[2-3]。通常, 根据航道船舶流量、船舶服务需求概率(驶入率)、服务时间(泊位周转率)等, 可算出服务区所需水域面积或泊位数量^[4-5]。

由于航道上的船舶受到人、货、船等多种因素的影响, 服务区水域面积的计算参数均是随机变量, 经验公式中往往只能给出取值范围, 使得计算结果有较大不确定性。如根据经验公式^[4-5], 在同一船舶流量下, 因参数取值不同, 计算得到的泊位数量可相差 2~4 倍^[6]。若采用交通建模仿真方法来模拟船舶行为, 则能较好地描述并分析这类动态交通系统^[7-8]。常用的船舶交通建模方法有模拟随机过程的蒙特卡罗法^[9]、基于离散事件仿真平台的建模方法^[10], 将空间看作离散元胞按规则演化的元胞自动机方法^[11]、采用具有自我控制、环境反应和交互协作等特性的智能体方法^[12]等。其中, 基于 AnyLogic 的多智能体仿真可充分利用智能体间的自治、推理、通讯和协作机制, 模拟个体间相互独立又交互作用的现象^[13], 非常适合分析涉及众多随机因素的交通现象。因此, 本文基于 AnyLogic 仿真平台, 在文献[1]的基础上, 根据船舶交通流特征等建立内河航道服务区水域面积的仿真模型, 分析服务区水域面积的计算方法, 供相关规划和设计参考。

1 交通建模

交通建模就是模拟船舶到达并驶入服务区, 获得服务后驶出服务区的全过程, 通过记录相关数据以统

收稿日期: 2018-09-12

基金项目: 中央高校基本科研业务费项目(2242016K40109)

作者简介: 韩朋(1982—), 男, 安徽宿州人, 高级工程师, 主要从事港航工程设计工作。E-mail: 153453979@qq.com

通信作者: 廖鹏(E-mail: pliao@seu.edu.cn)

计分析服务区所需的最大泊位数或水域面积。该离散事件系统包含两个实体:服务区泊位和船舶。其中,船舶具有服务需求类别、尺寸、船员数量等属性,服从随机分布。该系统主要涉及3个变量:(1)船舶到达间隔 I ,即航道中两艘相邻船舶到达服务区的间隔时间;(2)服务概率 S_p ,即当船舶到达服务区后驶入服务区内接受服务的概率;(3)服务时间 S_t ,即船舶从驶入服务区到服务完成后驶离服务区的时间间隔。理想状况下,这3个变量决定了服务区内同时接受服务的船舶和船员数量,即同时停泊船舶的最大数量和人员聚集量。

统计分析时,首先由船舶停泊数量和适当的泊位保证率得到所需泊位数量;然后,由所需泊位数量与单船面积得到船舶总面积,并考虑与船舶停靠方式、掉头等有关的水域安全系数,即可得到所需的水域总面积。此外,根据服务区船员聚集量和单位设施面积,可进一步分析服务区陆上设施所需规模。需要指出的是,服务区船舶的实际交通情况很复杂,为分析服务区船舶停泊状况,考虑了如下简化:(1)服务区可以提供足够多的泊位,船舶到达服务区便能停泊接受服务;(2)服务时间是船舶在服务区内进行多项服务所花费的总时间,仅随服务事件不同而改变,不单独考虑船舶进出服务区耗费的时间;(3)不考虑锚泊水域停泊船舶之间的相互影响以及周边设施的影响。

1.1 模型参数

(1) 交通流特征。船舶到达间隔 I 与船舶流量相关。如低密度交通流时,船舶到达间隔服从负指数分布,对应的船舶流量服从泊松分布。船舶流量是在单位时间内通过航道某一断面的船舶数量,可用艘数、吨位、面积来表示。船舶流量随时间和空间而变化,其分布规律可根据实际调查确定。考虑到船舶日流量的随机性,实际情况下可根据航段的船舶日流量均值确定具有一定保证率的船舶流量设计值^[14-15],即

$$Q_d = q\beta_d \quad (1)$$

式中: Q_d 为具有 $d\%$ 保证率的船舶日流量; q 为船舶日流量均值; β_d 为保证率为 $d\%$ 的船舶日流量不均衡系数^[14-15]。

(2) 船舶特征。因到达船舶的属性(类型、吨位、总长、总宽等)差异很大,为简化问题,将复杂的船型进行统计分类,选取 m 类代表船舶(代表船型种类越多越接近实际情况)作为仿真模型的输入船舶^[10]。第 i 类船舶的特征向量 V_i 为:

$$V_i = [G_i, L_i, B_i, H_i, \phi_i], i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

式中: G_i 为船舶吨位; L_i 为船舶长度; B_i 为船舶宽度; H_i 为船员数量; ϕ_i 为船舶所占比例,且 $\sum \phi_i = 1$ 。代表船舶的尺度可根据统计或抽样资料分析确定。

(3) 服务特征。服务概率 S_p 和服务时间 S_t 主要与服务事件 n 相关。一般地,第 j 类服务的特征向量 S_j 为:

$$S_j = [S_{pj}, S_{tj}], j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

式中: S_{pj} 为第 j 类服务的服务概率,表示航道中驶入服务区接受服务的船舶百分比,又称驶入率; S_{tj} 为第 j 类服务的服务时间。服务特征可根据实地调研和问卷调查确定,亦可参考相关文献。例如,尽管船舶进入服务区可接受多种服务,根据服务时间可将一系列服务事件分为两类^[1-2]:①锚泊类事件,特点是服务时间较长,通常为几小时,甚至几天,在此期间可能使用其他服务;②补给类事件,特点是服务时间较短,通常在1~2 h内,以补给服务为主,如加油、加气、购物等。

1.2 结果统计

如前所述,通过设置仿真时长和仿真次数,可记录仿真得到的服务区停泊船舶数量 N 、总面积 S 和船员聚集量 M 等。显然, N, S, M 均为随机变量。以 N 为例,当得到的样本量 y 非常大时,根据中心极限定理,其服从正态分布,总体分布的均值 μ 和标准差 σ 可采用极大似然估计法通过样本均值和标准差进行估计。若采用极大似然估计法对 μ 和 σ^2 进行参数估计,总体 N 的概率密度:

$$f(N; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(N - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \sigma > 0 \quad (4)$$

于是似然函数为:

$$L(N_1, \dots, N_y; \mu, \sigma^2) = f(N_1; \mu, \sigma^2) \cdots f(N_y; \mu, \sigma^2) = (2\pi\sigma^2)^{-\frac{y}{2}} \exp\left(-\sum_{k=1}^y \frac{(N_k - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

$$\text{两边取对数得: } \frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = \sum_{k=1}^y \frac{N_k - \mu}{\sigma^2} = 0, \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \sigma^2} = -\frac{y}{2\sigma^2} + \frac{1}{2\sigma^4} \sum_{k=1}^y (N_k - \mu)^2 = 0 \quad (6)$$

即, μ 和 σ^2 的极大似然估计为样本均值 $\hat{\mu}$ 和样本方差 $\hat{\sigma}^2$ 。对于正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$, 当停泊船舶数量 N 分别等于 $\mu, \mu \pm \sigma$ 和 $\mu \pm 2\sigma$ 时, 相应的保证率分别为 50%, 84.13% (18.57%) 和 97.72% (2.28%) (括号前的数值对应“+”, 括号内的数值对应“-”)。

2 仿真试验

2.1 仿真设定

AnyLogic 是最早引入统一建模语言的系统建模和仿真工具, 支持多智能体、离散事件和系统动力学等多种建模方法。AnyLogic 拥有丰富的建模库件, 完全基于 Java 语言开发, 拥有强大的二次开发能力, 已广泛应用供应链物流、交通、公共管理等复杂系统的建模与仿真^[16]。图 1 给出了航道服务区交通仿真的 AnyLogic 仿真流程图, 包括服务区及上下游航段的水域, 考虑锚泊类、补给类两类服务事件, 船舶交通流特征和服务特征参数均在判断模块赋值, 仿真结果统计主要在接受服务模块。

设置仿真时长 30 d, 重复运行仿真 30 次, 每隔 1 min 分别记录服务区内的 N, S, M 值。总计可得到 129.6 万个样本。

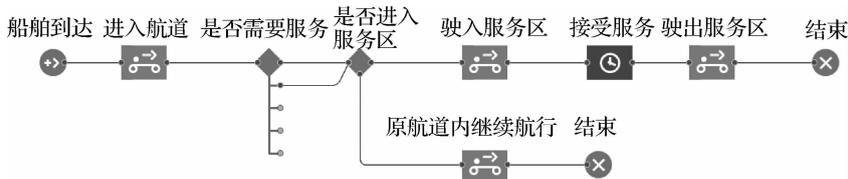


图 1 AnyLogic 仿真流程

Fig. 1 Flow chart of traffic simulation of IWSA based on AnyLogic

2.2 结果验证

以长三角地区京杭运河无锡新安水上服务区(以下简称新安服务区)、连申线盐城东台水上服务区(以下简称东台服务区)、芜申运河宜兴水上服务区(以下简称宜兴服务区)为例进行仿真试验。这 3 个服务区均属于综合服务区, 为船舶提供锚泊类和补给类服务, 基本情况见表 1, 其中平均泊船数根据 2013—2017 年多次谷歌卫星图片进行统计得到^[6]。

表 1 3 个服务区概况

Tab. 1 Basic information of three inland waterway service areas

服务区	位置	建成时间	建筑面积/m ²	岸线长度/m	水域面积/m ²	平均泊船数/艘	断面流量/(艘·d ⁻¹)
新安	京杭运河无锡新区段	2014-12	4 800	400	18 000	29.4	649.3
宜兴	芜申运河宜兴城西	2012-06	5 600	500	11 000	24.0	449.2
东台	泰东河与通榆河交汇处	2014-12	8 000	500	13 000	13.6	374.3

注: 水域面积和平均泊船数来自卫星图测量, 船舶流量根据设计资料分析所得。

船舶特征尺寸根据京杭运河标准船型确定,船舶吨位比例根据断面统计数据确定。船舶到达时间间隔根据船舶流量计算得到。根据上述3个服务区进行的问卷调查^[6],锚泊类和补给类两类服务事件的服务概率(驶入率)和服务时间的均值分别取为0.10和10 h,0.05和2 h。因未能具体统计分析服务概率和服务时间所遵循的统计规律,先假设均服从泊松分布。

表2给出了3个服务区所需水域规模的仿真统计结果。为验证该结果的合理性,将仿真平均船舶停泊数 N 与实际平均停泊数对比;将船舶总面积 S 乘以水域安全系数1.05作为仿真水域面积,与实际水域面积对比,如图2所示。图2中仿真结果中间长横线为均值 μ ,上下短横线为均值加减标准差 $\mu \pm \sigma$,即上、下短线代表的船舶数或水域面积分别具有

84.13%和15.87%的保证率。可以看出,实际船舶数和水域面积均位于仿真结果的 $\mu \pm \sigma$ 范围内,仿真结果与实际情况吻合,表明该仿真模型及其参数能较好地反映目前航道船舶流量条件下服务区的使用情况。

表2 仿真结果统计

Tab.2 Statistic values of traffic simulation of three inland waterway service areas

服务区名称	船舶停泊数/艘		船舶总面积/m ²		船员聚集量/人	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
新安	29.1	5.6	20 048	8 617	72	14
宜兴	20.6	4.8	13 617	6 678	51	12
东台	16.8	4.0	11 249	6 288	42	10

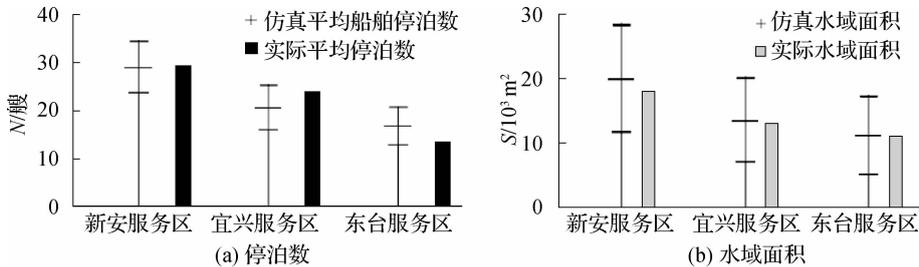


图2 仿真结果验证

Fig.2 Validation of traffic simulation results from three inland waterway service areas

3 讨论

3.1 参数分析

上文服务特征参数均假定为泊松分布,而其实际分布可能有所不同。根据概率理论^[17],多次独立伯努利试验成功次数所服从的分布称为二项分布。泊松分布是二项分布样本很大而概率很小时的一种极限形式,泊松过程的事件间隔分布为指数分布,指数分布是许多常见分布的特殊形式,如韦布分布、伽马分布、瑞利分布和贝塔分布等。因此,考虑服务概率和服务时间的多种概率分布情况(图3),仿真分析并对比结果见表3。可见,在分布均值相同情况下,服务特征参数的概率分布类型对仿真结果的影响很小。

需要特别指出的是,文中服务概率和服务时间的均值根据问卷调查获得,仅代表新安、宜兴和东台等3处服务区的情况,而实际情况下各服务区的服务特征可能不同。为讨论服务特征对仿真结果的影响,进一步改变服务概率和服务时间的均值,统计仿真结果如图4所示。图中短横线为仿真统计值的均值 μ ,短竖线上、下限值为 $\mu \pm \sigma$ (相应的保证率为

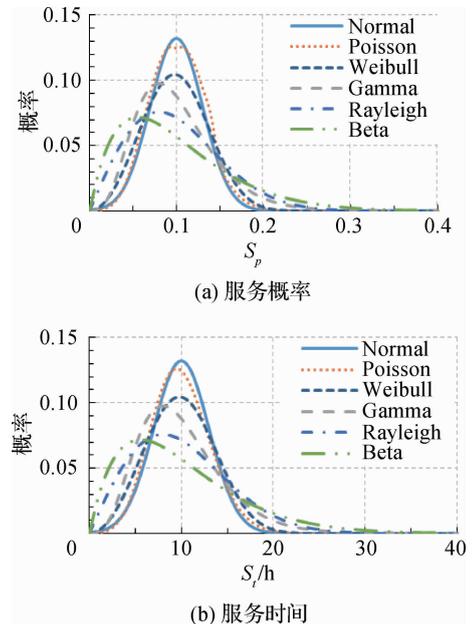


图3 服务特征参数的不同概率分布

Fig.3 Different probability distributions of service characteristic parameters

84.13% 和 15.87%);虚斜线为均值的线性回归,其斜率分别为 283.6 和 2.6(R^2 分别为 0.997 和 0.998)。可见,随着服务概率和服务时间的均值变大,服务区停泊船舶数量也将变大,二者接近线性关系。根据该计算条件下(同表 3)的计算结果,服务概率均值每增加 0.05,服务区内停泊的船舶数量增加 14.2 艘;服务时间均值每增加 1 h,船舶数量增加 2.6 艘,表明服务特征的均值对服务区水域规模是敏感的。可根据现场调查或类似服务区经验给定服务概率 S_p 和服务时间 S_t 的取值范围,如文献[4-5]中推荐 S_p 取值 0.04~0.12, S_t 取值 3~4 h。根据调研^[6]和文献[1],推荐锚泊类服务的 S_p 和 S_t 取值范围分别为 0.10~0.15, 8~12 h,补给类服务的 S_p 和 S_t 取值范围分别为 0.05~0.10, 2~4 h。

表 3 服务特征参数概率分布类型对停泊船舶数量的敏感性分析

Tab.3 Sensitivity analysis of different probability distributions of service characteristic parameters

分布类型	服务概率分布不变, 改变服务时间的分布类型		服务时间分布不变, 改变服务概率的分布类型	
	均值	标准差	均值	标准差
正态分布	29.4	5.7	29.3	5.8
泊松分布	29.1	5.6	29.1	5.6
韦布分布	29.5	5.7	28.7	5.7
伽马分布	29.6	5.6	29.6	5.6
瑞利分布	29.2	5.9	29.2	5.4
贝塔分布	29.5	5.9	29.5	5.7

注:平均流量 $q=649.3$ 艘/d;锚泊类事件和补给类事件的服务特征参数同前。

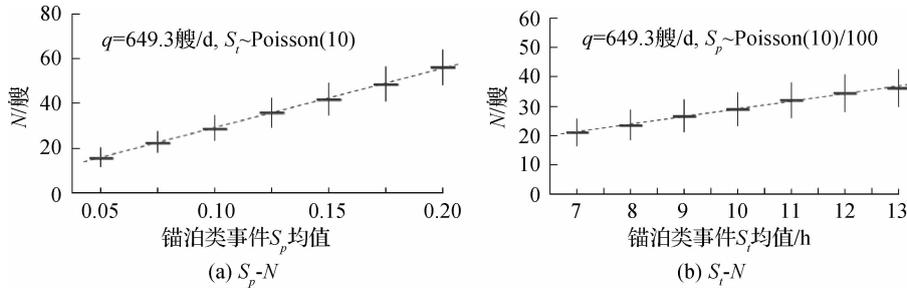


图 4 服务特征参数的均值对停泊船舶数量的敏感性分析

Fig.4 Sensitivity analysis of mean values of service characteristic parameters

3.2 实用表达式

为得到具有实用性的结果,考虑服务区所在航段上不同船舶流量下服务区停泊船舶数量。不妨取流量 Q_d 间隔为 50 艘/d,锚泊类事件和补给类事件的服务特征参数同前,即其服务概率(驶入率)和服务时间的均值分别取为 0.10 和 10 h,0.05 和 2 h,进行多次仿真,结果列于表 4。根据表 4 进行回归分析,可知综合服务区停泊船舶数量 N 与其所在航段上船舶流量近似线性相关:

$$N = (0.0448 \pm 0.0067) Q_d \quad (R^2 = 0.999) \quad (7)$$

式中:0.0448 为均值 μ 的回归系数,0.0067 为方差 σ 的回归系数;“+”,“-”分别表示保证率为 84.13% 和 15.87% 时的系数取值。

表 4 不同船舶流量下服务区停泊船舶数仿真结果

Tab.4 Simulated results of number of vessels berthing in IWSA at different traffic flow rates

$Q_d/(艘 \cdot d^{-1})$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
均值 μ	2.3	4.4	6.6	9.0	11.3	14.0	15.7	18.1	19.8	22.6	24.7	26.9
标准差 σ	1.5	2.0	2.6	3.1	3.5	3.9	4.0	4.7	4.6	4.8	5.2	5.2

由式(7)可知,尽管服务区水域面积与船舶驶入率、服务时间等复杂因素有关。通过大量仿真结果的统计分析,可将服务区停泊船舶数量简化为相应航道上船舶流量的连续函数。流量每变化100艘/d,泊位数量 N 取值上下限相差1~2个泊位。服务区水域面积还与航道等级以及航道上的实际船型有关,可进一步根据航段上的船舶平均吨位(与航道等级有关)以及船舶吨位与面积关系,将泊位数量转化为水域面积:

$$S^* = N \times A_v \times \eta \quad (8)$$

式中: S^* 为考虑水域安全系数 η 的服务区水域面积(m^2); A_v 为船舶平均面积(m^2),可根据航段上实际船型或标准船型通过线性或二次多项式回归分析得到^[15],如京杭运河标准船型的船舶吨位与面积关系可表示为 $A_v = 0.47g + 132$, g 为船舶平均吨位。这样,就可以将服务区水域面积简化为航段上船舶流量和船舶平均吨位的连续函数,有助于方便估算服务区所需的水域面积。

最后指出的是,式(7)或表4是基于特定航道服务区调研所得的服务特征参数给出的,且假设需要进服务区的船舶均能够进入服务区,是服务区所需水域面积的上限。但实际上受自然条件、营运管理等因素限制,如部分船舶将服务区作为长期锚地(停泊时间大于3d),挤占了服务区有限的水域资源,许多服务区的水域面积往往并不能满足全部有需求的船舶进入。下一步还可深入分析航道服务区的功能配置、服务区布局选址以及营运管理等问题对服务区建设规模的影响。

4 结 语

(1) 基于船舶交通流和服务特征,提出了基于交通建模仿真的航道服务区水域面积确定方法,并以新安、宜兴和东台3处服务区为例进行了验证。通过大量仿真和回归分析,可将服务区水域面积简化为航段上船舶流量和船舶平均吨位的连续函数,有助于方便合理地估算服务区所需水域面积。

(2) 仿真模型参数的敏感性分析表明,服务区停泊船舶数量与航段上船舶流量、服务特征参数的均值成线性正比关系,服务特征参数的概率分布类型对仿真结果影响很小。

(3) 本文提出的仿真模型仅针对单个服务区,多个服务区间的相互影响等因素尚未考虑,下一步可深入分析内河航道服务区的功能配置、布局选址、营运管理与建设规模等因素间的相互影响。

参 考 文 献:

- [1] 廖鹏,张玮,姜晔,等. 江苏干线航道服务区服务需求特征分析[J]. 水运工程, 2008(6): 122-126. (LIAO Peng, ZHANG Wei, JIANG Ye, et al. Analysis of characteristics of service demand on main inland waterway in Jiangsu province[J]. Port and Waterway Engineering, 2008(6): 122-126. (in Chinese))
- [2] LIAO P. Service demand forecast for an inland waterway service area: A case study on the Grand Canal, China [C]//Proceeding of the 5th International Conference on Transportation Engineering, September 26-27, 2015, Dalian, China. Reston: ASCE, 2015: 327-334.
- [3] KOO C, HONG T, KIM J. A decision support system for determining the optimal size of a new expressway service area: Focused on the profitability[J]. Decision Support Systems, 2014, 67: 9-20.
- [4] DB 33/T 845—2011 内河航道服务区总体设计规范[S]. (DB 33/T 845—2011 Code for master design of inland channel service area[S]. (in Chinese))
- [5] DB 32/T 2885—2016 内河水面上服务区总体设计规范[S]. (DB 32/T 2885—2016 Code for master design of inland waterway service area[S]. (in Chinese))
- [6] 安徽省交通科学研究院,东南大学. 安徽省内河水面上服务区(锚地)建设标准化研究[R]. 合肥:安徽省交通科学研究院, 2017. (Anhui Transportation Research Institute, Southeast University. Construction standardization research on inland waterway service area (anchorage) in Anhui Province [R]. Hefei: Anhui Transportation Research Institute, 2017. (in Chinese))
- [7] DAHAL K, GALLOWAY S, BURT G, et al. A port system simulation facility with an optimization capability[J]. International Journal of Computational Intelligence and Applications, 2003, 3(4): 395-410.

- [8] 徐武雄, 初秀民, 刘兴龙. 船舶交通流建模与仿真研究进展[J]. 水利水运工程学报, 2014(6): 91-99. (XU Wuxiong, CHU Xiumin, LIU Xinglong. Review of modeling and simulation of vessel traffic flow[J]. Hydro-Science and Engineering, 2014(6): 91-99. (in Chinese))
- [9] GOERLANDT F, KUJIALA P. Traffic simulation based ship collision probability modeling[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2011, 96(1): 91-107.
- [10] 孔庄, 廖鹏, 杨春红, 等. 船闸运行状态与通过能力仿真分析[J]. 水利水运工程学报, 2017(1): 73-79. (KONG Zhuang, LIAO Peng, YANG Chunhong, et al. Analysis of shiplock operation and throughput capacity based on traffic simulation model [J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(1): 73-79. (in Chinese))
- [11] QI L, ZHENG Z Y, GANG L H. A cellular automaton model for ship traffic flow in waterways[J]. Physica A, 2017, 471: 705-717.
- [12] XIAO F, LIGTERINGEN H, VAN GULIJK C, et al. Nautical traffic simulation with multi-agent system for safety[C] //16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), October 6-9, 2013. New York: IEEE, 2013: 1245-1252.
- [13] 姚海元, 房卓, 郝军, 等. 多智能体航道通航标准仿真技术[J]. 水运工程, 2016(5): 116-120. (YAO Haiyuan, FANG Zhuo, HAO Jun, et al. Simulation method of criteria for waterway navigation based on multi-agent technology[J]. Port and Waterway Engineering, 2016(5): 116-120. (in Chinese))
- [14] 廖鹏. 内河船舶交通流量的时空分布特征[J]. 水利水运工程学报, 2009(2): 33-38. (LIAO Peng. Temporal and spatial distribution of traffic flow in inland waterways[J]. Hydro-Science and Engineering, 2009(2): 33-38. (in Chinese))
- [15] LIAO P. Improved analytical model for estimating the capacity of a waterway lock[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 2018, 144(6): 04018021.
- [16] BORSHCHEV A. Multi-method modelling: AnyLogic[M] //BRAILSFORD S, CHURILOV L, DANGERFIELD B. Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making. West Sussex: John Wiley and Sons Ltd, 2014.
- [17] LEEMIS L M, MCQUESTON J T. Univariate distribution relationships[J]. American Statistician, 2008, 62(1): 45-53.

Simulation analysis of water area in inland waterway service area

HAN Peng¹, LIAO Peng², LIU Zhongwei², NI Bing¹

(1. Anhui Transportation Research Institute, Hefei 230051, China; 2. Department of Port, Waterway and Coastal Engineering, School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The inland waterway service area (IWSA) is an important auxiliary navigation facility along the inland waterway, which provides special services including berthing and replenishing of daily necessities for vessels and mariners during their voyages. The water area and maximum number of vessels that can be accommodated simultaneously are vital for the planning and designing of the IWSA, which is associated with the category of service, passing vessel flow rate, demand probability (driving-in rate) and service duration (turnover rate). Taking into account the randomness of the dynamic traffic system and the service duration, a simulation model using AnyLogic[®] for estimating the water area of the IWSA based on the characteristics of the inland vessel traffic and service functions is established in this paper. On the basis of the field data concerning three service areas on three different inland waterways in the Yangtze River delta, the water area of the service areas is simulated and analyzed. The simulated results show that the number of berthing vessels and water areas of the service areas predicted by the simulation model are in good agreement with the actual situation, compared to the empirical formulas. The sensitivity analysis is adopted to identify the impacts of different distributions and expected values of the driving-in rate and turnover rate in the water area of the IWSA. According to the simulation and regression analysis, the water area can be simplified to a continuous function of the flow rate and averaged tonnage of vessels on the corresponding inland waterway, which can be used conveniently and reasonably to estimate the water area needed for the inland waterway service area.

Key words: inland waterway; service area; water area; simulation; AnyLogic