

· 信息技术 ·



AIS 虚拟航标的合理设置*

李维运¹, 刘畅², 李金浩², 纪晓妍²

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120; 2. 大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 针对如何合理设置 AIS 虚拟航标的问题, 以长江流域和上海港为例, 对 AIS 系统的信道容量及系统阻塞率进行仿真分析。结果表明: 1) AIS 虚拟航标的设置占用部分通信时隙使信道容量减小; 2) 系统内船舶数量越多, 系统阻塞率增加趋势越明显, AIS 虚拟航标的设置对系统通信影响就越大。基于此结论对不同水域条件下可设置 AIS 虚拟航标数量的阈值进行分析, 给出了合理设置 AIS 虚拟航标的建议, 可作为不同水域设置虚拟航标的参考。在确保对船舶通信影响较小的条件下, 对 AIS 虚拟航标进行合理设置, 能更好地发挥其助航预警功能、保障船舶航行安全。

关键词: AIS(船舶自动识别系统); 虚拟航标; 合理设置

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0165-06

Reasonable setting of AIS virtual aids to navigation

LI Wei-yun¹, LIU Chang², LI Jin-hao², JI Xiao-yan²

(1. Shanghai Waterway Survey and Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

2. School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In view of how to reasonably set up AIS virtual AtoN, this paper simulates and analyzes the channel capacity and system blocking rate of AIS system, taking the Yangtze River basin and Shanghai port as examples. The results show that: 1) The setting of AIS virtual AtoN occupies part of the communication time to reduce the channel capacity. 2) The more the number of ships in the system, the greater the increase of system blocking rate, and the more serious the impact of AIS virtual AtoN setting on system communication. Based on this conclusion, the threshold values of the number of AIS virtual AtoN that can be set in different water conditions are analyzed, and the suggestions for reasonable setting of AIS virtual AtoN are given, which can be used as a reference for setting virtual beacons in different waters. Under the condition of ensuring less influence on ship communication, the reasonable setting of AIS virtual AtoN can better play its navigational warning function and ensure the safety of ship navigation.

Keywords: AIS(automatic identification system); AtoN(virtual aids to navigation); reasonable setting

随着科学技术的快速发展, 传统航标与 AIS 技术、电子海图技术、计算机技术等现代高新技术相结合, 产生了虚拟航标这一新型航标。虚拟航标充分发挥了各技术的优势, 对航标的发展具有重要意义。

为了更好地应用和推广虚拟航标, 对虚拟航标的研究日益增多。刘三林等^[1]对航标的布设原

则及影响航标布设水深、航道宽度、间距等因素进行分析, 建立了一个关于虚拟航标布设的多目标优化模型, 是利用虚拟航标规划航道的一次有益探索。王岩等^[2-3]分析了虚拟航标标示长江深水航道、特殊水域、工程水域等应用实例, 从通信方式选择、AIS 信号场强与作用效果、AIS 网络结构与容量等方面, 提出了 AIS 基站的选址和布局

收稿日期: 2021-02-02

*基金项目: 国家自然科学基金项目(51679116)

作者简介: 李维运(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事导助航、智能航保相关工程设计和研究工作。

通讯作者: 刘畅(1976—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为海上移动通信系统、船舶导航雷达等。E-mail: liuchang@dlmu.edu.cn

方案；对 AIS 虚拟航标基站完好性监测的需求进行了分析，提出 AIS 基站完好性监测告警算法，建立了完好性监测系统，为虚拟航标应用的稳定性提供保障。邓良爱等^[4]针对虚拟航标在长江流域的应用，结合我国虚拟航标显示方法和长江电子航道图自身特征，提出一套适用于长江电子航道图的虚拟航标符号显示方案，为虚拟航标在长江流域的应用提供了科学理论支持。马甲林^[5]针对虚拟航标信号覆盖范围受限的问题，提出基于北斗短报文技术的虚拟北斗航标，有效提高信息播发的覆盖范围，增强虚拟航标的服务能力，具有实际的应用价值。

近年来，由于船舶数量以及水上业务的增多、AIS 报文数量明显增加，原有的信道资源已经使 AIS 通信网络的压力日渐增大。通常情况下，虚拟航标信息由岸台 AIS 基站进行周期性广播发送，会占用部分信道资源，势必增加 AIS 时隙争抢的概率。因此，在不同水域环境下如何合理设置 AIS 虚拟航标成为亟待解决的问题。

1 基于 AIS 的虚拟航标

虚拟航标是基于 AIS 技术的新型航标，是完全依靠 AIS 进行设置的无实体航标。携带有虚拟航标信息的报文通过附近 AIS 基站发送，在 AIS 信号覆盖范围内装有 AIS 设备的船舶可进行接收，并在电子海图显示和信息系统 (Ecdiselectronic Chart Display and Information System, ECDIS) 上显示虚拟航标符号。通过虚拟航标报文所携带的信息，可了解航道状况及特定位置情况，达到保障船舶航行安全的目的。

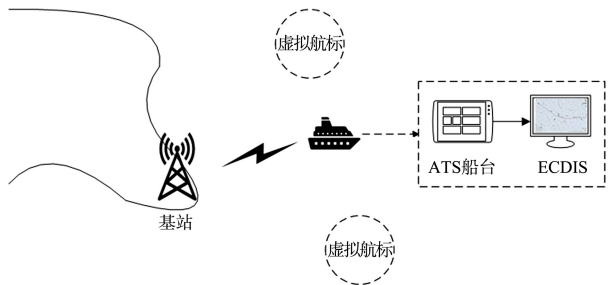


图 1 AIS 虚拟航标系统

与实体航标相比，虚拟航标的设置维护成本较低，受环境因素影响较小，且不会发生航标移位的现象。可用于标示航道、沉船、危险水域等，也可以携带水文气象信息，为船舶提供更多类型的助航服务^[6]。但由于虚拟航标对配套设备及数据链路的要求较高，因此在中也存在一定的局限性，如存在信息过载、电子欺骗等问题。为更好地发挥虚拟航标的优势，在解决相关问题的同时合理设置虚拟航标十分重要。

2 虚拟航标对 AIS 通信的影响

AIS 通信系统运行过程中，各 AIS 台站独立工作，遵循 SOTDMA (self-organized time division multiple access, 自组织时分多址接入) 协议进行信息传输。SOTDMA 协议将时间进行时隙分割，时间被分为若干帧，每帧又分为若干时隙。AIS 系统中每帧长度为 1 min，每帧被划分为 2 250 个时隙，时隙划分见图 2。

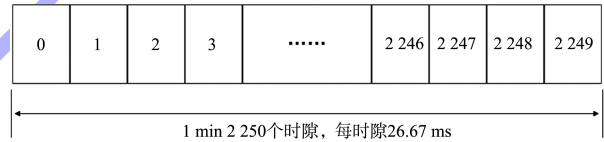


图 2 AIS 系统时隙划分

通过分析虚拟航标对 AIS 通信的影响判断虚拟航标设置的合理性。将系统容量和系统阻塞率作为 AIS 通信性能的评价指标，系统容量指的是系统内可容纳的船舶数量，系统阻塞率指的是某时间段内发生阻塞时隙数与总时隙数的比值。

2.1 信道容量

虚拟航标的设置实质为 AIS 基站发送携带有航标信息的报文，报文发送时隙会占用每帧的时隙资源，船舶可用时隙减少，信道容量也会相应减小。在船舶密度较高的地区，时隙负载率较大，虚拟航标的设置可能会加重时隙紧张的情况。此时，AIS 系统可根据时隙适当减少系统内船舶数量，使信道容量减小，保证距 AIS 基站最近的船舶能够正常通信。

ITU-R M. 1371-5 中规定 21 号报文为携带虚拟

航标信息的报文, 发送周期为 3 min, 每条报文占用 2 个时隙。设 AIS 基站信号覆盖范围内设置虚拟航标数量为 M , 则 M 个虚拟航标每帧占用的时隙数 L 为:

$$L=2\times\frac{M}{3}\tag{1}$$

由此可知, 在 AIS 基站信号覆盖范围内, 若需要设置 15 个虚拟航标, 虚拟航标信息将每帧占用 10 个时隙。系统内船舶可用时隙数减少, 也增加了时隙冲突发生的可能性。

2.2 系统阻塞率

根据概率论, 某时段内信道中报告时隙与空闲时隙的关系满足泊松分布, 由此可推算出系统阻塞率。假设每帧内可用时隙数为 N , 系统内共设置 M 个虚拟航标, 虚拟航标每帧占用 L 个时隙, 则每帧用户可用时隙为 $N-L$ 。某时间段内系统中有 m 艘船, 第 i 艘船的报告周期为 T_i , 系统发信成功率为 $k^{[7]}$ 。 t 为帧数, 则时隙报告成功后的释放概率 P_f 为:

$$P_f=\frac{1}{6}\sum_{i=3}^8\frac{1}{t}\tag{2}$$

每个发射时隙的随机超时为 $3\leq t\leq 8$, 计算得 $P_f=0.203$ 。

时间段 T 内空闲时隙数 N_n 为:

$$N_n=N-k\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}+P_fk\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}\tag{3}$$

时间段 T 内未报告成功的时隙数 N_m 为:

$$N_m=\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}-k\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}+P_fk\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}\tag{4}$$

则泊松分布常数 λ 为:

$$\lambda=\frac{N_m}{N_n}=\frac{\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}-k\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}+P_fk\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}}{N-k\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}+P_fk\sum_{i=1}^m\frac{T}{T_i}}\tag{5}$$

空闲时隙 N_n 中阻塞次数 N_b 为:

$$N_b=N_n[1-(1+\lambda)e^{-\lambda}]\tag{6}$$

系统阻塞率 P_b 为:

$$P_b=\frac{N_b}{N}\times100\%\tag{7}$$

3 仿真结果分析

3.1 仿真参数设置

AIS 系统中每帧被划分为 2 250 个时隙, 但考虑到系统本身限制和噪声环境的影响, 将有一部分时隙不能被船舶使用, 故每帧最大时隙容量不能达到 100%。同时, AIS 基站需在每帧中为基站位置报告消息、数据链路管理消息等信息预留发送时隙。

AIS 系统正常通信时, 发信成功率较高, 系统阻塞率较低, 可满足各 AIS 站间的信息传输。仿真参数设置为: 每帧大小 1 min, 每帧时隙数 2 250 个, 每帧最大时隙容量 80%, 发信成功率 96%, 基站预留时隙 30 个, 虚拟航标 0~100 个, 船舶 20~350 艘。在实际情况中, AIS 基站覆盖范围内的船舶具有不同的运动状态, 一般情况下, 各个航行状态船舶比例和数量见表 1。

表 1 船舶的不同航行状态

船舶运动状态	报告 间隔/s	每帧占用 时隙数/个	船舶数量 占比/%
锚泊或系泊且移动速度超过 3 kn	10	6	0.27
航行速度 0~14 kn	10	6	0.27
航行速度 0~14 kn 且改变航向	3 $\frac{1}{3}$	18	0.24
航行速度 14~23 kn	6	10	0.10
航行速度 14~23 kn 且改变航向	2	30	0.06
航行速度 >23 kn	2	30	0.03
航行速度 >23 kn 且改变航向	2	30	0.03

3.2 仿真结果分析

在该仿真条件下, 对未设置虚拟航标时不同数量船舶的系统阻塞率进行理论值仿真, 结果见图 3。

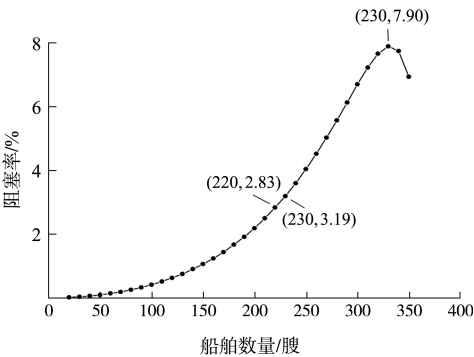
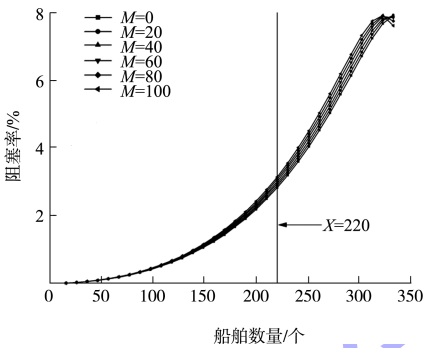


图 3 未设置虚拟航标系统阻塞率

在未设置虚拟航标的情况下，系统阻塞率随着系统中船舶数量的增加而逐渐增大，且增大速率越来越快。船舶数量达到 220 艘时，系统阻塞率为 2.835%，系统阻塞率低于 3% 可保证 AIS 系统内船舶的正常通信。在船舶数量达到 330 艘时，系统阻塞率达到了峰值 7.900%，此时 AIS 系统中大部分船舶仍可正常通信，但一部分船舶由于占用时隙冲突无法正常通信。船舶数量高于 330 艘后，系统阻塞率有所减小。这是因为系统中船舶数量过多，船舶通信占用时隙数接近可用时隙数，使空闲时隙数减少，从而空闲时隙中发生阻塞时隙数减少，导致系统阻塞率出现下降的情况。因此，可认为 330 艘为该仿真条件下的系统的最大容量。

对设置不同数量虚拟航标时的系统阻塞率进行了仿真对比，结果见图 4。



注：M 为虚拟航标数目。

图 4 设置不同数量虚拟航标

设置虚拟航标后，系统阻塞率较未设置时均有增加。系统中船舶数量在 220 艘以下时，系统阻塞率较未设置时变化不大。系统中船舶数量高于 220 艘后，随着虚拟航标数量增多，系统阻塞率增加趋势越来越明显。说明虚拟航标的设置在船舶数量较少的情况下对系统通信影响较小，船舶数量越多虚拟航标的设置对系统通信影响就越大。

在实际 AIS 系统通信中，发信成功率和每帧时隙可用率会受到设备状态及通信环境的一定影响，实体 AIS 航标信息、B 类 AIS 信息及特定的广播信息等会占用部分时隙资源。AIS 通信网络内船

舶还包括锚泊及系泊船舶，此类船舶以 1 次/ (6 min) 的频率发送静态信息，会占用小部分时隙资源，其数量根据不同水域情况也有所不同。故实际系统阻塞率会比理论值略高，虚拟航标设置对系统通信的影响程度也会比仿真结论略大。

以长江流域为例，分析虚拟航标设置对内河流域 AIS 系统通信的影响。表 2 为长江海事局最新公布的 2020 年 7 月辖区主要断面日交通流量^[8]。

表 2 2020 年 7 月长江流域主要断面日交通流量

断面名称	流量/(艘·d ⁻¹)	断面名称	流量/(艘·d ⁻¹)
宜宾李庄	49	城陵矶	213
泸州枣林桥	20	武汉大桥	203
江津大桥	42	阳逻大桥	287
朝天门	120	黄石大桥	72
万州二桥	181	九江大桥	330
巫山大桥	169	九江湖口	582
三峡大坝	198	安庆大桥	753
枝城大桥	69	铜陵大桥	810
荆州大桥	156	芜湖大桥	1 170

由表 2 可看出，位于长江上游的宜宾李庄、泸州枣林桥和江津大桥断面船舶日流量较少，均在 200 艘以下。而位于长江下游的安庆大桥、铜陵大桥和芜湖大桥断面船舶日流量较高，芜湖大桥的日流量达到了 1 170 艘。表 3 为 2017 年各月份芜湖大桥断面船舶日流量。

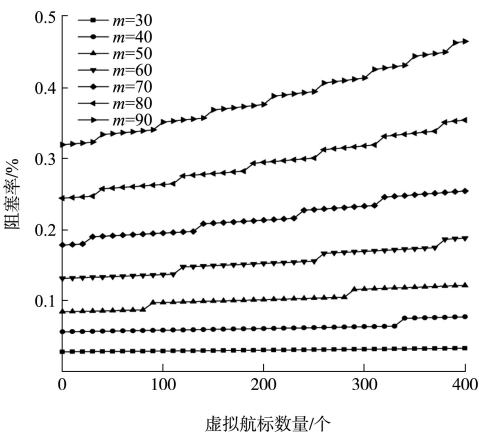
表 3 2017 年芜湖大桥断面日交通流量

月份	流量/(艘·d ⁻¹)	月份	流量/(艘·d ⁻¹)
1	1 323	7	1 580
2	1 352	8	1 625
3	1 256	9	1 566
4	1 001	10	1 575
5	1 257	11	1 605
6	1 432	12	1 472

由表 3 可看出，芜湖大桥区域 2017 年全年船舶日流量均在 1 000 艘/d 以上，8 月份高峰期船舶日流量达到了 1 625 艘/d。若以 24 h 为观察周期，对于船舶日流量较低的地区，全天船舶流量均低于 30 艘/h。而船舶日流量较高的区域，高峰期船舶流量可达到 90 艘/h，船舶流量在较低水平时约 50 艘/h。

为观察在同一区域内不同船舶流量下虚拟航

标对系统阻塞率的影响, 设置虚拟航标数量范围为 0~400 个, 对不同船舶流量下的系统阻塞率进行仿真对比。



注: m 为船舶数目。

图 5 内河流域条件下系统阻塞率仿真

如图 5 所示, 随着虚拟航标数量的增加, 不同船舶数量下的系统阻塞率均有增加。在船舶数量为 30 艘时, 系统阻塞率变化较小, 变化趋势较平稳; 而船舶数量高于 30 艘的各个曲线, 随着虚拟航标设置数量的增加, 系统阻塞率均出现了明显增长的节点; 船舶数量越多, 系统阻塞率第 1 个明显增长节点对应的虚拟航标数量越少。说明在虚拟航标数量高于一定阈值时, 其对系统阻塞率的影响程度会明显增大, 该阈值也会随着船舶数量的增加而减小。

系统阻塞率第 1 个明显增长节点对应的虚拟航标数量为第 1 阈值 L_1 , 第 2 个明显增长节点对应的虚拟航标数量为第 2 阈值 L_2 , 以此类推。统计不同船舶数量下第 1 阈值 L_1 和第 2 阈值 L_2 , 结果见表 4。

表 4 虚拟航标数量阈值		
船舶数量/艘	L_1 /个	L_2 /个
<40	>300	>300
40~70	98	271
70~90	32	113

由表 4 可知, 随着船舶数量的增加, 阈值也相应降低。阈值越小, 说明在保证系统阻塞率变化较小的前提下, 可设置的虚拟航标数量越少。

系统阻塞率在设置虚拟航标前后整体数值均低于 0.5%, AIS 系统内船舶仍可正常通信。考虑到第 1 阈值可能达不到当前流域所需设置虚拟航标的数量, 可考虑在不超出第 2 阈值的范围内, 适当增加虚拟航标个数。由于同一区域内不同时间的船舶数量也会有所变化, 为尽量减小虚拟航标设置对系统通信的影响, 设置虚拟航标数量的阈值应尽量小。由仿真结果可知: 船舶数量为 90 艘时, 第 1 阈值为 35 个, 第 2 阈值为 94 个。则内河流域设置虚拟航标的阈值可设置为 30 个。若不能满足助航要求, 可适当增加虚拟航标数量, 但尽量不高于 90 个。该阈值应根据不同流域船舶流量高峰期的船舶数量进行适当的调整, 以降低对船舶通信的影响。

以上海港为例, 分析虚拟航标设置对海港区域 AIS 系统通信的影响。表 5 为 2020 年 3 月上海海事局公布的 2019 年上海港船舶进出港数量^[9]。

表 5 2019 年上海港船舶进出港数量 万艘次		
上海港船舶进出 港总艘次	国际航行船舶进 出口岸查验	国内航行船舶 进出港报告
205.574 0	4.034 0	201.540 0

由表 5 可知, 2019 年上海港船舶进出港数量为 205.574 0 万艘次, 可推算出, 平均日船舶流量约为 2 816 艘/d, 平均每小时船舶流量约为 117 艘/h。在航运繁忙时期, 海港区域船舶流量可能会远高于平均船舶流量, 故将船舶数量设置在 200~300 艘进行仿真, 分析海港区域船舶流量高峰期虚拟航标对船舶通信的影响。

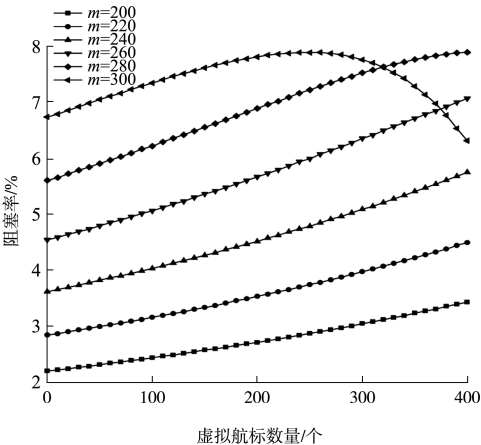


图 6 海港区域条件下系统阻塞率

如图 6 所示,随着虚拟航标数量的增加,系统阻塞率也呈增长趋势。船舶数量为 300 艘时,虚拟航标数量超过 250 个后系统阻塞率出现了下降趋势,说明此时时隙占用达到了饱和状态,系统不能再容纳更多的船舶进行通信。

各船舶数量对应的系统阻塞率曲线呈上升趋势且较平滑,没有出现阻塞率明显上升的节点,但船舶数量越高系统阻塞率上升跨度就越大。可通过给定系统阻塞率的增长上限,规定设置虚拟航标的数量的阈值,最大程度减小对船舶通信的影响。若认定系统阻塞率低于 3%时,对系统通信影响较小,由船舶数量为 220 艘时的系统阻塞率变化可得,虚拟航标数量约 50 个时系统阻塞率由未设置时的 2.852%变化为 3.002%。则可把系统阻塞率增长 0.15%作为虚拟航标数量阈值的设置条件。统计各船舶数量下系统阻塞率增长 0.15%时的虚拟航标数量,结果见表 6。

表 6 阻塞率增长 0.15%时的虚拟航标数量			
船舶数量/艘	虚拟航标数量/个	船舶数量/艘	虚拟航标数量/个
200	66	260	32
220	50	280	26
240	36	300	25

由表 6 可知,船舶数量高于 200 艘时,虚拟航标的数量阈值较船舶数量较低时明显降低;船舶数量在 300 艘时,虚拟航标数量达到 25 个使系统阻塞率上升了 0.15%。

由于海港区域船舶数量较多时系统本身阻塞率较高,所以系统内设置虚拟航标的数量应尽可能少。海港区域设置虚拟航标数量不应高于25 个,该阈值也应根据不同海域情况进行调整。

4 结语

1)虚拟航标的设置会占用部分通信时隙,使船舶可用时隙数减少、信道容量减小,同时增加了时隙占用冲突发生的可能性。设置虚拟航标后,系统阻塞率较未设置时均有增加。系统内船舶数量越多,系统阻塞率增加趋势越明显,虚拟航标的设置对系统通信影响就越大。

2)为了充分发挥虚拟航标的助航作用,对虚拟航标的设置提出以下建议:①通过仿真分析得

出,在内河流域船舶流量条件下,设置虚拟航标的数目阈值可设为 30 个,若不能满足助航要求,可适当增加虚拟航标数量,但尽量不高于 90 个。在海港区域船舶流量条件下,设置虚拟航标的数量应低于 25 个。②为满足船舶助航要求确保系统通信质量,虚拟航标的设置数量应根据当前通信条件和航道情况动态调整。③由于季节、潮汐等自然因素的影响,航道条件会不断变化,因此,虚拟航标的位置也应进行动态调整。④在标记孤立危险物时,可考虑虚实结合的航标应用模式,先发布虚拟航标向船舶快速发布警示信息,再设置实体航标对危险物位置进行标示。

3)在虚拟航标的实际应用中,应结合实际水域条件及 AIS 通信系统情况设置虚拟航标。在确保对船舶通信影响较小的条件下,合理设置虚拟航标才能更好地发挥其助航预警的功能。

参考文献:

[1] 刘三林,陈先桥,高原.针对桥区虚拟航标优化布设的方法研究[J].武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2015, 37(1): 47-50.

[2] 王岩,孙小军.长江镇江段 AIS 虚拟航标应用实例及基站选址分析[J].中国水运.航道科技, 2019(6): 18-23.

[3] 王岩,方向,李术元,等.AIS 虚拟航标基站完好性监测方案及实现方法[J].中国水运.航道科技, 2020(1): 22-27.

[4] 邓良爱,王当利,陈璐.长江电子航道图虚拟航标的类别与显示研究[J].中国水运, 2020(4): 58-61.

[5] 马甲林.北斗短报文技术在虚拟航标中的应用[J].珠江水运, 2019(12): 78-80.

[6] 赵家松.AIS 虚拟航标的应用和发展[J].中国水运, 2017(4): 20-21.

[7] 侯安健,马社祥. AIS 基站吞吐性能分析与仿真[G]//中国航海科技优秀论文集.北京:人民交通出版社, 2010.

[8] 长江海事局.2020 年 7 月辖区主要断面日交通流量统计[EB/OL].(2020-08-05) [2021-01-03]. https://cj.msa.gov.cn/xxgk/xxgkml/jcsj/xhsjsj/202008/t20200811_656352.shtml.

[9] 上海海事局.2019 年上海港船舶进出港艘次、辖区登记注册船舶统计表[EB/OL].(2020-03-23) [2021-01-03]. <https://www.sh.msa.gov.cn/hstjsj/75661.jhtml>.