

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.07.026

引用格式:邢通,李非凡,李春,等.星载 AIS 消息碰撞的 MATLAB 仿真[J].电讯技术,2014,54(7):1006-1010. [XING Tong, LI Fei-fan, LI Chun, et al. MATLAB Simulation of Message Collision for Space-borne AIS[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(7):1006-1010.]

星载 AIS 消息碰撞的 MATLAB 仿真*

邢 通**,李非凡,李 春,王 涛

(深圳航天东方红海特卫星有限公司,广东 深圳 518000)

摘 要:通过接收船舶自识别系统(AIS)广播消息,AIS 卫星星座能够实现覆盖全球的船舶监视,但广播消息的时域碰撞将极大影响其性能指标。使用 MATLAB 模拟海上船只状态,对船舶自识别系统通信协议进行高度还原,研究星载 AIS 消息碰撞情况。仿真结果表明,在不同任务、不同条件下,星载 AIS 接收机天线均存在最优覆盖范围。仿真分析结果可为 AIS 微小卫星设计提供参考。

关键词:星载 AIS;自组织时分多址;消息碰撞;MATLAB 仿真;微小卫星

中图分类号:TN914.52 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)07-1006-05

MATLAB Simulation of Message Collision for Space-borne AIS

XING Tong, LI Fei-fan, LI Chun, WANG Tao

(Aerospace Dongfanghong Development Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Automatic Identification System(AIS) satellite constellation is able to monitor ships all around the world through receiving AIS message, but its performance is affected by message collision. This paper analyzes the message collision of AIS by simulating maritime AIS communication with MATLAB software. The result shows that under different requirements and conditions, there always exists optimal antenna coverage of space-borne AIS receiver. The simulation and analysis provide reference for microsatellite design.

Key words: space-borne AIS; SOTDMA; message collision; MATLAB simulation; microsatellite

1 引 言

AIS 是船舶自识别系统(Automatic Identification System)的简称,该系统结合全球定位系统可使船舶获得附近水域其他船只的动态信息,从而达到提高航海安全、掌控海事信息的目的。根据海上人命安全国际公约(SOLAS)的要求,对于从事国际航行超过300 t的船舶,以及从事国内航行超过500 t的船舶均强制安装 AIS 设备^[1]。

AIS 通过甚高频段(VHF)向附近水域及岸台广播本船船名、船位、航速等信息,同时接收其他船只的广播信息获取对方信息。系统采用自组织时分多址(Self Organized Time Division Multiple Access, SOTDMA)技术,可有效避免通信范围内的时序冲

突,保障海上安全。但受地球曲率的影响,甚高频无线电波的传输范围仅为几十海里,岸基 AIS 仅可获得海岸附近的船舶分布信息,无法对大面积的远海进行探测。

星载 AIS 指在近地轨道上使用一颗或多颗卫星接收船舶 AIS 信息,从而获得更大的覆盖面积,满足目前远海船舶探测和跟踪需求。多星组网后,星载 AIS 能够构筑全球高效立体舰船监视网,可获得明显的情报优势。星载 AIS 在军事、海事、商业等领域均存在广阔的应用前景^[2-3]。

但由于星载 AIS 的覆盖范围远远大于海上 AIS 的通信范围,卫星所接收到的船舶广播信息存在时域冲突,从而影响星载 AIS 的接收性能,在船舶密度

* 收稿日期:2013-12-23;修回日期:2014-04-23 Received date:2013-12-23;Revised date:2014-04-23

** 通讯作者:xingtonghit@gmail.com Corresponding author:xingtonghit@gmail.com

大、通信频繁的场所这一现象尤为明显^[4]。因此,建立仿真模型,根据不同的任务需求进行研究,确定最优的星载 AIS 天线覆盖范围具有重大的实际意义。而现有针对星载 AIS 的研究较少,仅部分学者采用概率统计,人为划分子网区域,船只在各子网内互相通信,子网间无关联的方式进行了初步的研究。该方法与实际 AIS 通信情况拟合度较低且结论并不全面。本文正是在这一背景下,开展了星载 AIS 消息碰撞的仿真研究。本文的创新点在于子网的选取,仿真建模不进行固定子网的划分,通过计算获得每只舰船的近邻船舶,每只舰船均与自身的近邻船舶按实际通信协议互相通信,使得海上真实情景得到了高度还原。

2 理论分析

2.1 船舶间 AIS 通信协议

AIS 采用自组织时分多址技术避免通信冲突,使用双信道分担通信压力,消息在信道 1 (161.975 MHz)与信道 2(162.025 MHz)轮流传输。通信协议规定每分钟为一帧,每帧被分为2 250个时隙用于发送广播消息。船只在当前时隙发送消息的同时,通过消息内容预约下一帧或下次广播将使用的时隙,并实时监听信道的占用、预约情况,从而避免消息冲突。AIS 通信过程共分为初始化阶段、接入网络阶段、第一帧阶段和第二帧阶段共四个阶段,在此不再详述。

2.2 约束条件分析

(1)轨道高度:为减小 AIS 信号在传播路径上的损耗,AIS 卫星多采用高度 600 ~ 800 km 的 LEO 轨道,本文选取轨道高度600 km展开相关研究。

(2)星下点速度:根据轨道高度600 km计算,星下点速度约为6.6 km/s(400 km/min)^[5]。

(3)多普勒效应:AIS 两信道所能容忍的频率偏移为±25 kHz,根据 $f' = \left(\frac{v+v_0}{v}\right)f^{[6]}$,求得卫星与星下最远位置的相对速度应小于46.3 km/s。而600 km轨道卫星的对地速度约为7.5 km/s,远远满足要求,因此多普勒效应可忽略不计。

(4)延时保护:为防止因传播距离差导致的相邻时隙 AIS 信息交叠,AIS 标准将广播信息中增添了 12 b 的距离延时缓存位,保护距离为 202 n mile (约370 km)。如图 1 所示,由余弦定理求得角 α 约为 47.7°,进而求得 r 约为740 km。即当卫星天线覆

盖角小于 47.7°、覆盖半径小于740 km时,星载 AIS 不会因时序混乱而产生消息冲突。本文以此为条件,在覆盖半径740 km内展开相关研究。

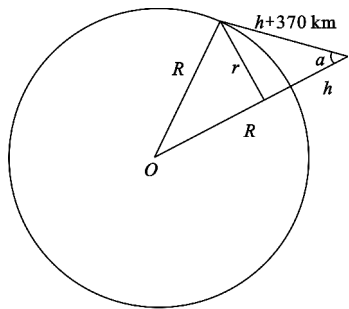


图 1 延时保护对覆盖半径的约束
Fig. 1 Restriction of distance delay

(5)海上 AIS 通信范围:受地球表面曲率影响,甚高频通信的传播范围为 20 ~ 30 n mile。本文取覆盖半径37 km,各船只按通信协议实时与其37 km范围内的船只进行通信。

(6)输入输出变量:根据以上限定条件,本文基于 MATLAB 设计了星载 AIS 消息碰撞仿真程序。输入参数为船舶总数、天线覆盖范围半径、发送消息频率,输出变量为接收消息总数、探测到船只数和船只识别率。

3 仿真建模

本文基于 MATLAB 设计了星载 AIS 消息碰撞仿真程序,高度模拟了海上 AIS 通信的真实情景,多输入变量可调,通过对不同情况的 AIS 消息碰撞分析,可为 AIS 卫星天线参数的选择提供依据。仿真程序共分为船只建模、通信协议仿真、消息碰撞统计三部分。

3.1 船只建模

模块名称:crtSHIPS_insea;
输入变量:覆盖区域半径、区域内船只数量、各船发报速率所占比例;
输出:船舶信息数据结构。船舶信息包括船只位置、发报速率、接入时间、近邻船只编号。
本文假定卫星覆盖范围固定,区域内船只位置随机分布,船速根据设定比例随机选取,船只接入时间随机。仿真过程中船只位置固定不变,船速仅决定本船发报速率。图 2 为船只建模效果图。以船只 A 为例,根据第 2.2 节所述,船舶通信半径取37 km。A 船的邻近船只为船 B、C、D,通信过程中,A 船根据

B、C、D 船只的时隙占用情况选择发送时隙。此建模方式的优点为,链路通信在各子网内交错进行,通信状态接近真实情况。并且,后续可将实际海域船舶分布及船速信息导入模型,使模型进一步接近真实状态。

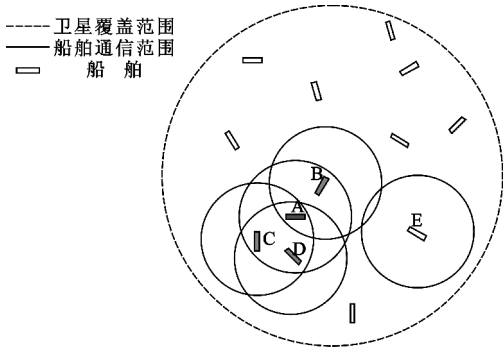


图2 船只建模效果图
Fig.2 Ship modelling

3.2 通信协议仿真

模块名称:simulate;
输入:船舶信息数据结构;
输出:自动将时隙占用目录和输入条件保存为 LIST. mat 文件,以供后续分析。
本模块使用全局变量 LIST,作为时隙占用目录供自组织时分多址算法使用,并在仿真后作为输出以分析消息冲突情况,仿真算法与实际通信协议高度一致。

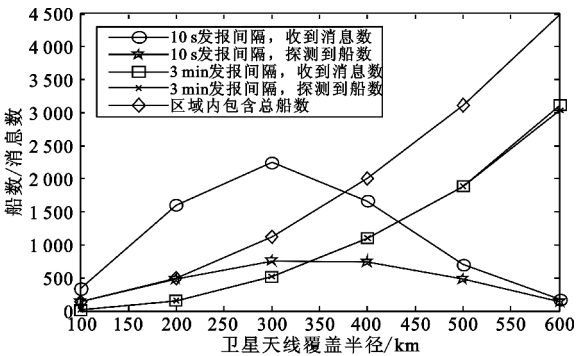
3.3 消息碰撞统计

模块名称:showRSLT;
输入:包含时隙占用目录 LIST、船舶信息数据结构的 mat 文件、卫星扫描时间;
输出:收到 AIS 消息数量、探测到船只数量、区域内的船只探测率。
本模块的作用是在卫星覆盖时间内对星下区域内的总目录的时隙占用情况进行统计,得到相应结果。若某时隙被多艘船只同时占用,则认为此时隙发生消息碰撞,卫星无法获取船舶信息;若某时隙仅被一艘船只占用,则认为卫星可获得 AIS 消息,对应船只可被探测到。覆盖时间近似取 $T=2\times R/v$ 。其中, R 为星下覆盖半径,星下点运动速度 v 为 6.6 km/s(400 km/min)。

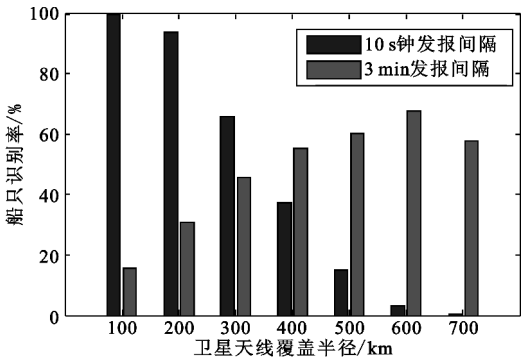
4 仿真结果与分析

本文选取了若干天线覆盖半径、船舶密度、船舶

发报速率,使用上文所述算法对星载 AIS 消息碰撞情况进行了多次仿真,结果如图 3 所示。



(a) 消息数及探测船只数结果



(b) 船只探测率结果

图3 0.004 艘/km²条件下仿真结果
Fig.3 Result under the situation of 0.004 ships per square kilometer

如图 3(a)所示,在 0.004 艘/km²条件下(与我国天津港船舶密度近似),不同发报速率所得结果趋势存在差异,同一发报频率所得的消息数与探测船只数变化趋势基本一致。在上文的约束条件下,10 s 发报间隔的消息数与探测船只数均随覆盖半径的增大先增大后减小,且在半径 300 km 左右存在峰值。分析其原因为:半径小于 300 km 时,星下船只数量少,时隙未发生饱和,半径增大导致的卫星接收时间增加起主要作用,使得卫星效率提高;半径大于 300 km 时,时隙发生饱和,消息碰撞起主要作用,导致所得两结果均发生下降。3 min 发报间隔所得的消息数与探测船只数均随覆盖半径的增大而增大,其原因为:半径较小时,发报间隔大于卫星过境时间,部分船只无法被探测。在时隙未饱和的情况下,接收消息时间越长,卫星的效率越高。

如图 3(b)所示,在 0.004 艘/km²条件下,不同发报速率所得船只识别率不同。10 s 发报间隔情况下,由于消息碰撞问题,覆盖半径越大,船只识别率

越低。3 min 发报间隔情况下,船只识别率随覆盖半径的增大先上升后下降,峰值位置约为600 km。

根据以上分析可知:

(1)在 0.004 艘/km²、高船速(高发报率)条件下,若期望提高卫星利用率,要求接收到消息数或发现船只数最多,应选择300 km左右覆盖半径;若期望保证特定区域的船只识别率,应选择尽量小的覆盖半径;

(2)在 0.004 艘/km²、低船速(低发报率)条件下,若期望提高卫星利用率,要求接收到消息数或发现船只数最多,应选择较大的覆盖半径;若期望保证特定区域的船只识别率,应选择600 km左右覆盖半径。

图 4 为在 0.002 艘/km²条件(与海上船舶密度近似)下所得结果。可见,各结果变化趋势与 0.004 艘/km²条件下基本一致,但峰值点发生了漂移。因此,针对不同区域、不同任务需求,进行消息碰撞仿真从而确定最佳天线覆盖半径是十分必要的。

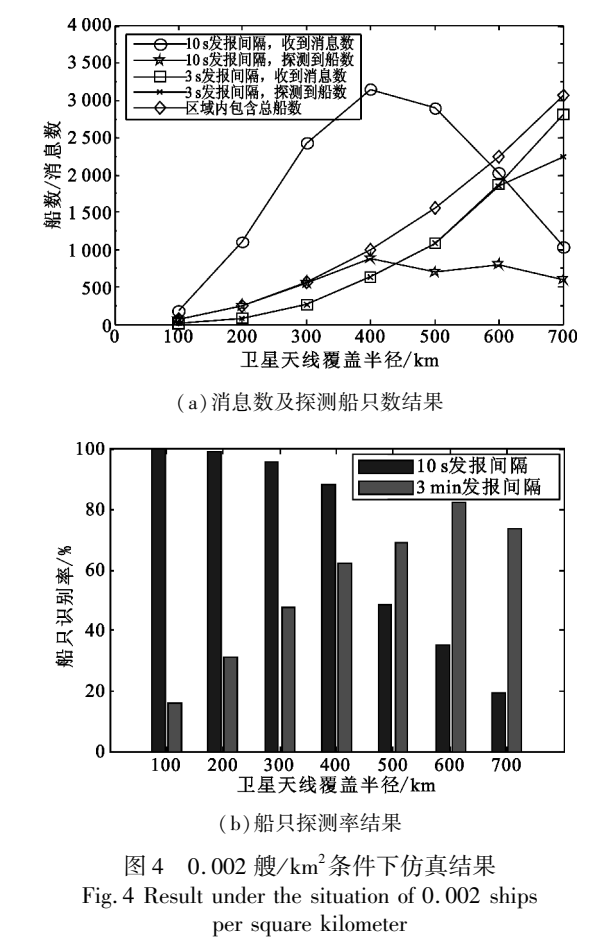


图 4 0.002 艘/km²条件下仿真结果
Fig. 4 Result under the situation of 0.002 ships per square kilometer

上文分析及仿真结果表明,在卫星覆盖面积较大时,船舶 AIS 消息极易发生碰撞,从而影响探测效果。并且在不同覆盖半径下,同时实现船只高发现

率与高探测数是相矛盾的。为解决以上星载 AIS 的缺点,国际电信联盟对海上 AIS 建议书进行了重新修订,确定未来增加156.775 MHz和156.825 MHz两个频道,消息每3 min在两信道上轮流发送^[8]。本文对修订后的船只探测情况进行了仿真,所得结果如图 5 所示。

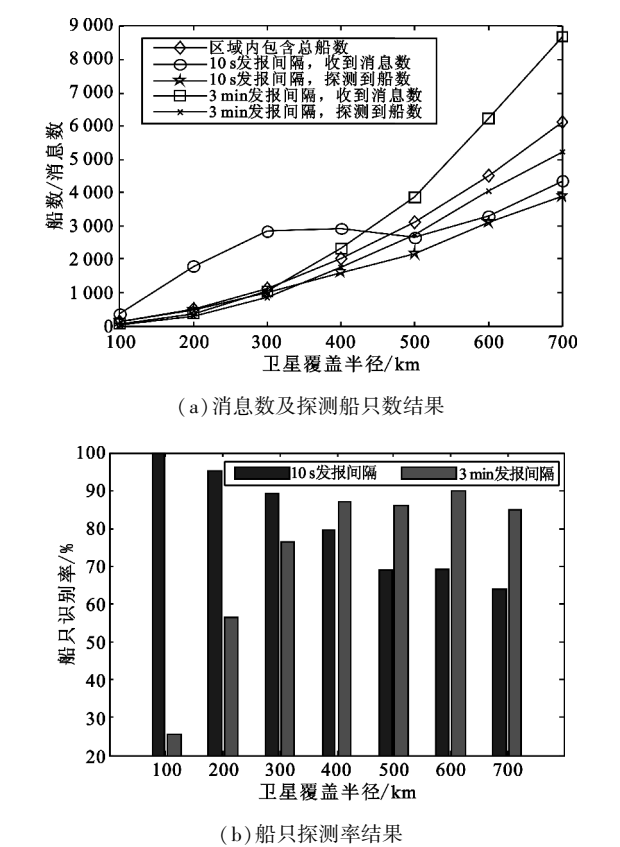


图 5 增加频道后 0.0125 艘/km² 条件下仿真结果
Fig. 5 Result under the situation of 0.0125 ships per square kilometer after adding new channels

对比图 3 可知,在大覆盖半径时,由于增加了新的频道,在保持较高船只探测率的同时,系统接收消息数及探测到船只数均得到了显著提高。经修订后的星载 AIS 可以有效避免消息碰撞所产生的冲突。但该建议的实施是一个漫长的过程,目前星载 AIS 同时实现船只高发现率与高探测数还是相矛盾的。根据上文所述特点,现阶段使用多个小覆盖半径天线构成天线阵列有助于避免这一矛盾,实现海上船只的高效探测。因此,多天线阵列可成为 AIS 卫星设计的进一步研究方向。

5 结 论

星载 AIS 是海域船舶监测的一种新兴手段,现有针对星载 AIS 的研究较少,仅部分学者采用概率

统计,人为划分子网区域,各子网间无关联的方式进行初步的研究,与实际情况拟合度较低。本文深入研究了海上 AIS 通信协议,编写了基于 MATLAB 的星载 AIS 消息碰撞仿真系统,高度模拟了海上 AIS 通信情景。仿真结果表明:未来,经改进后的星载 AIS 可对海上船舶进行高效的探测。现阶段,由于大量的消息碰撞,卫星探测效果与天线覆盖半径、海上船舶密度、船只发报频率高度相关。根据具体海上情景及任务需求,应用本仿真系统均可得到理论上最优的天线覆盖半径,对 AIS 卫星设计具有重要的参考价值。并且根据以上分析,目前星载 AIS 同时实现船只高发现率与高探测数还是相矛盾的,因此多天线阵列可成为 AIS 卫星设计的进一步研究方向。

参考文献:

- [1] 杜英军. AIS 及其关键技术的研究[D]. 上海:上海海运学院,2001.
DU Ying-jun. Research on AIS and its key technology[D]. Shanghai:Shanghai Maritime University,2001. (in Chinese)
- [2] 计科峰,赵和鹏,邢相薇,等. 小卫星载 AIS 海洋监视技术研究进展[J]. 雷达科学与技术,2013,11(1):9-15,20.
JI Ke-feng,ZHAO He-peng,XING Xiang-wei,et al. Review and Assessment Review and Assessment of Maritime Surveillance Based on Small Satellite-Based AIS[J]. Radar Science and Technology,2013,11(1):9-15,20. (in Chinese)
- [3] 丁峰. 卫星 AIS 探测技术与应用[J]. 天津航海,2012(3):36-38.
DING Feng. Technology and Application of Satellite AIS detection[J]. Tianjin Marine,2012(3):36-38. (in Chinese)
- [4] 钟杰,王怀胜,郑力. 星载 AIS 接收冲突分析及仿真[J]. 电讯技术,2010,50(10):6-11.
ZHONG Jie, WANG Huai-sheng, ZHENG Li. Analysis and Simulation of Ship Detection Probability of Space-based AIS[J]. Telecommunication Engineering,2010,50(10):6-11. (in Chinese)
- [5] 郝晓宁,王威,高玉东. 近地航天器轨道基础[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2003.
XI Xiao-ning, WANG Wei, GAO Yu-dong. Fundamentals of near earth spacecraft orbit[M]. Changsha:National University of Defense Technology Press,2003. (in Chinese)
- [6] 梁静. 移动通信中多普勒效应的研究及仿真[J]. 电脑知识与技术,2009,5(8):6147-6148.
LIANG Jing. Study and Simulation of Doppler Effect in Mobile Communications [J]. Computer Knowledge and Technology,2009,5(8):6147-6148. (in Chinese)
- [7] 胡菠. 船舶自动识别系统技术特性的新要求[J]. 航海技术,2010(6):37-39.
HU Bo. New Requirements of Automatic Identification System Technical Characteristics[J]. Marine Technology,2010(6):37-39. (in Chinese)

作者简介:



邢 通(1989—),男,黑龙江林甸人,2013 年于哈尔滨工业大学获硕士学位,现为深圳航天东方红海特有限公司载荷主管设计师。

XING Tong was born in Lindian, Heilongjiang Province, in 1989. He received the M. S. degree from Harbin Institute of Technology in 2013. He is now a payload designer of the Shenzhen Aerospace Dongfanghong Hit Satellite Ltd.

Email:xingtonghit@gmail.com