

文章编号:1001-893X(2012)07-1059-06

天基双通道 AIS 信号侦察系统方案设计与分析^{*}

朱银川,梅勇兵,周李春

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:天基 AIS 信号侦察系统可获取上千海里内船舶的 AIS 信号,形成国家周边海域乃至全球海域的 AIS 态势信息。通过分析国内外相关研究成果,提出独特的天基双通道 AIS 接收系统方案,并对关键参数进行论证比较,为研制通用性和平台适装性好的天基 AIS 侦收系统提供理论参考。

关键词:天基 AIS 系统;检测概率;卫星星座;时隙碰撞;信号分离

中图分类号:TN973.1 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.07.001

Scheme Design and Feasibility Analysis of Space-based Dual-channel AIS Signal Reconnaissance System

ZHU Yin-chuan, MEI Yong-bing, ZHOU Li-chun

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract:Space-based AIS(Automatic Identification System) signal reconnaissance system can intercept AIS signals of vessels around thousands of sea miles to form AIS situation information of national adjacent seas as well as global sea area. In this paper, a particular scheme of dual-channel space-based AIS receiver is presented after analysing the related research results around the world, and the key parameters are demonstrated and compared. The results provide theoretical reference for developing universal and applicable space-based AIS receiver system.
Key words:space-based AIS signal reconnaissance system; detection probability; constellation; slot collision; signal separation

1 引 言

船舶自动识别系统(Automatic Identification System, AIS)是国际海事组织(IMO)、国际航标协会(IALA)、国际电信联盟(ITU-R)于2000年共同强力推广的一个具有船舶自动识别、通信和导航功能的新型助航电子系统。安装了AIS系统的船台可向他船及基站自动播发本船动态信息、静态信息、航次信息和安全短消息等相关信息。

当前岸站AIS报文传输支持确定船舶的位置,但传输距离仅为30 nmile,不能提供全球海洋覆盖。而天基AIS信号侦察系统可收到几百海里乃至上千

海里内船舶的AIS信号,下传到地面站接收系统后,可形成国家周边海域乃至全球海域的船舶目标态势信息。借助天基AIS信号侦察系统还可扩充天基侦察平台探测手段,补充已有传感器的目标属性识别能力,快速获得海上关注目标状态,目前已经受到了各国高度关注。

2006年6月,挪威科技大学电子与电讯系的Ole Fredrik Haakonsen Dahl对天基AIS系统应用于沿海进行监视的可行性进行了较详细的分析^[1],提出了基于多普勒频差、天线阵的复杂信号处理方案。2010年,挪威防御组织(FFI)在欧空局的支持下,发送到国际空间站上(ISS,轨道340 km,倾角52°)的两个AIS接收机(NORAIS)于6月开始工作。

美国海军在建设战术卫星中,明确提出必须配备 AIS 侦察载荷与射频侦测、光学图像侦察结合,联合观测海洋目标,快速发现、跟踪海上目标。美国海岸警卫队 2006 年提出建设美国国家 AIS 系统,其中在第三阶段即是建立低轨道具备 AIS 侦收载荷的卫星系统,保障距离海岸线2000 nmile范围内的安全。

美国 ORBCOMM 公司致力于全球卫星数据通信,率先完成载有 AIS 接收机的卫星星座和空间数据商业化传输。另外,美国政府也在主导国际化合作的全球 AIS 及数据卫星星座,包括有英、法、德、日、加等 40 多个国家的政府实验室、大学、研究机构参与。该系统采用 5 个极地轨道面、轨道高度 550 km、由 30 颗纳米卫星组成的 AIS 星座,通过在地面配置大量接收终端实现对全球各大洋船舶目标观察。

2008 年加拿大空间技术峰会中提到由挪威政府资助的首颗低轨道纳米星 AISSat - 1 和加拿大自主研制的 AIS 微卫星(M3MSat),其中 AISSat - 1 计划于 2009 年后发射。

纵观各国的天基 AIS 信号侦察系统大都采用复杂星座和载荷信号处理技术,以及规模庞大的地面支持系统。若能研制一种卫星平台加装通用性好、地面支持系统也简单的天基 AIS 信号侦察系统则必能进一步推动天基 AIS 信号侦察技术的大范围应用。

2 天基 AIS 信号侦察系统组成

天基 AIS 信号侦察系统涉及卫星平台及星座系统、卫星有效载荷系统、地面 AIS 网络系统、星载 AIS 侦察信号的地面应用系统,如图 1 所示。

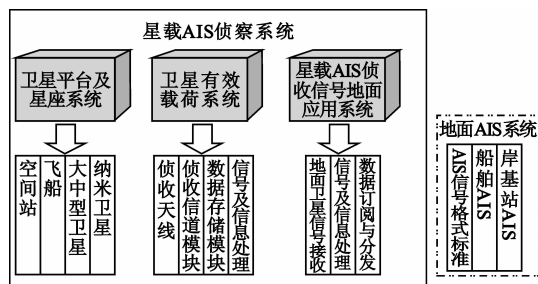


图 1 天基 AIS 信号侦察系统组成框图
Fig. 1 Block diagram of space-based AIS reconnaissance system

因涉及不同的承载卫星平台,如空间站、飞船、卫星等,将涉及星载 AIS 星座的构成要素,包括轨道参数的设计、侦收天线的安装、天地间的数据传输

等,影响单星对地船舶的单次过顶观测效果、重复观测周期等。同区域重复观测周期也是星载 AIS 侦察系统重要参数,直接与卫星星座的设计相关联,如卫星轨道高度、卫星轨道数及单轨道面的卫星分布等。由于星载 AIS 信号侦收机采用模块化设计,使其能适应多种卫星平台的安装,因此也可以根据实际情况搭载于多种不同的卫星上,并根据平台特点具体设计侦收天线,通过星座联合实现对重点关注地区的高强度重复观测。

卫星有效载荷系统的性能直接影响 AIS 信号侦收的效果、平台加装的适应性和通用性。由于在系统设计中追求全系统的低代价、高可靠性和实用性是所有从事航天任务设计人员的目标,所以星载 AIS 信号侦收载荷的设计最好能适应多种平台且载荷电路的复杂度最低、功耗最小。为此,所设计的有效载荷应采用模块化的拼装方案,涉及到模块化信道接收机设计、侦收天线形式及安装参数、侦收数据分析及大容量数据存储转发技术、大多普勒信号解码及解译技术等。

星载 AIS 侦收信号地面应用系统主要完成天基 AIS 侦收信号的转发数据接收和进一步分析,实现对时隙碰撞信号和虚假、欺骗信号的分离,并经过数据融合后按照订阅需求实时分发给相关的应用部门。地面 AIS 系统作为被侦收对象,对其信号标准格式、船舶 AIS 设备特点和全球船舶分布规律等掌握是设计最佳星载 AIS 信号侦收系统的前提条件。特别是 AIS 自组织网络特点、同频时分、信号发射周期决定了星载侦收机必定会遇到同频时隙冲突问题,而冲突的大小与星载侦收机灵敏度范围内所覆盖的地表船舶分布情况成直接影响关系。

3 系统关键参数分析计算

3.1 船舶检测概率

在设计星载 AIS 信号侦收系统时,必须考虑星载侦收机灵敏度信号的对地覆盖面积,在掌握基本的船舶分布规律情况下确定地面船舶总数和自组织网络数,按照随机过程,考虑进卫星轨道参数计算出相应的观测时间,分析计算时隙冲突情况和船舶检测概率。文献[1-3]均针对简单的星载全向侦收天线进行了研究,并给出了分析过程和结果。然而,随着全向天线大范围接收来自地面的 AIS 信号,其时隙冲突也会更加明显,造成星上信号处理软硬件复

杂度提高,不利于星上完成实时信号的解码解译。

对于采用星上处理、存储后定向转发的卫星系统,必须尽可能地降低存储数据量,所以星上完成 AIS 信号的解译,可以实时引导星上其他任务载荷,同时降低对卫星存储转发的技术压力,具备更好的卫星平台适应性。为此,针对中大型卫星平台,可采用空间分割方法,即卫星飞行径向前后分别加装侦收天线,在不降低对地观测时间的前提下,大幅度地减少时隙碰撞问题,提高船舶的检测概率。

假设地面 AIS 发射机功率为12.5 W,发射天线为全向0 dB。卫星轨道高度取600 km,侦收天线采用宽波束定向天线,卫星接收机接收灵敏度为-108 dBm,计算出卫星接收地面信号的功率,并绘制出单个天线的接收信号等功率曲线图,如图 2 所示。

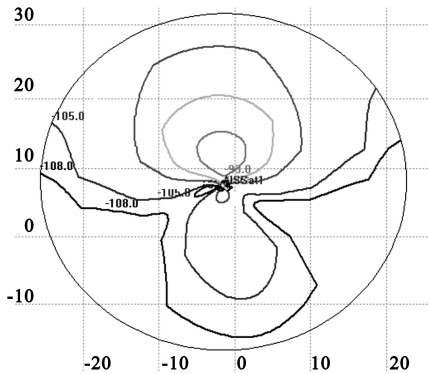


图 2 单个定向天线的接收信号等功率曲线图
Fig.2 Receiving equal-power contour of single antenna

外围圈表示卫星的最大覆盖范围,计算得最大斜距 $L_{\max} = 2\,830\text{ km}$,上半部分为天线主波束,下半部分为尾瓣带来的影响,通过针对具体的卫星平台调节天线的对地指向角度,可以进一步降低尾瓣接收信号的影响。

若卫星前后侧向各加装一副天线和一套侦收机,则相当于对同一个观测区进行了两次观测,相对于全向天线其观测时间并未减少,而且还减少了单个接收机的观测面积,减少了时隙碰撞机会。

相对于单天线(全向)的单目标检测概率

$$P = 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{k_1 N}{75 \cdot M \cdot \Delta T} \right)^{M-1} \right]^{\frac{T_{\text{obs}}}{\Delta T}} \quad (1)$$

式中, k_1 为单天线时的碰撞系数, M 为小区数, N 为总船数, T_{obs} 为观测时间, T 为船舶 AIS 信号平均发射周期。

双天线(定向)双通道的单目标检测概率可以按

下式考虑:

$$P = 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{k_2 \frac{N}{2}}{75 \cdot \frac{M}{2} \cdot \Delta T} \right)^{\frac{M}{2}-1} \right]^{\frac{T_{\text{obs}}}{\Delta T}} = 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{k_2 N}{75 \cdot M \cdot \Delta T} \right)^{\frac{M}{2}-1} \right]^{\frac{T_{\text{obs}}}{\Delta T}} \quad (2)$$

式中, k_2 为双天线时的碰撞系数。

双天线空间分隔覆盖的情况下,认为一天线覆盖下的舰船与另一天线覆盖下的舰船不会发生碰撞,然后,按照式(1)的推导过程可以得到式(2)。

在相同波束覆盖面积情况下,双天线(双天线空间分割覆盖)时的碰撞系数 k_2 小于单天线时的碰撞系数 k_1 ,由函数的单调关系知,碰撞系数变小,检测概率 P 增加。

另外,从公式中还可以看出,双天线时的单船检测概率计算公式中对应的幂指数也减少了,单船检测概率 P 增加。

经计算, $k_1 = 1.68$, $k_2 = 1.59$, 取 $N = 4\,000$, $M = 1\,088$, $T_{\text{obs}} = 354\text{ s}$, $T = 7\text{ s}$,计算出未采取其他碰撞信号分离手段时的船舶检测概率,如图 3 所示。

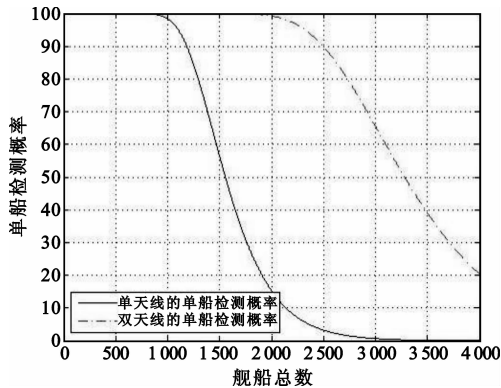


图 3 采用单、双天线时的船舶检测概率比较
Fig.3 Comparison of vessel detection probability between one antenna and two antennas

图 3 的曲线反应出,采用单天线方式一次过顶仅能在对全部船舶总数为1 300艘的观测区完成探测,而采用双天线双套接收机方式一次过顶却可以实现对全部船舶总数为2 500艘的观测区完成船舶探测。

可见在系统设计中,通过采用前后两幅天线和独立的接收机进行协同侦收的方案,有效减少了时隙碰撞的 AIS 信号接收,提高了单船检测概率。

3.2 卫星星座的设计

(1)轨道类型选择

太阳同步轨道的光照角在一年内变化较小,卫星下点在同一纬度的地方时相对固定。倾斜轨道的光照角变化比较剧烈且太阳位于轨道面两侧的情况都会出现,卫星访问地球上同一目标点的地方时会不断变化。

太阳同步轨道与倾斜轨道相比:全球覆盖性能相当;单颗卫星其遍历性能较差;对于组网卫星,不同轨道面具有不同的降交点地方时,组网卫星达到一定数量后其遍历性能与相同规模的倾斜轨道组网卫星相当。

对卫星平台设计而言,倾斜轨道卫星设计复杂,由于增加帆板驱动机构,经费较多,整星可靠性较低。因此,作为 AIS 信号侦收卫星组网时,采用太阳同步轨道是合理可行的。

(2)轨道高度选择

不同高度的卫星,同样的载荷视场角,其地面覆盖性能是不同的。轨道高度越高,覆盖范围越广,这对 AIS 信号的侦收反而不利,而且卫星轨道越高,侦察系统接收到的信号越弱,也不利于信号的接收解调。一般选择 500 ~ 900 km 的低轨轨道比较合适。

(3)星座的卫星数量选择

通过对不同轨道面数及单轨道面不同布置的卫星数,分析计算对地观测的平均重访周期、最大重访周期、平均响应时间和全球覆盖时间,仿真计算结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 每个轨道面布置 3 颗卫星的组网性能
Table 1 Networking performance(each orbit 3 satellites)

轨道面数	平均重访 周期/min	最大重访 周期/h	平均响应 时间/min	全球覆盖 时间
3	66.47	3.43	60.91	3h34min
4	49.46	2.67	35.42	2h11min
5	39.28	1.68	23.56	1h40min
6	32.45	1.26	17.23	1h10min

表 2 每个轨道面布置 6 颗卫星时的组网性能
Table 2 Networking performance(each orbit 6 satellites)

轨道面数	平均重访 周期/min	最大重访 周期/h	平均响应 时间/min	全球覆盖 时间
3	31.08	3.07	48.43	3h12min
4	22.77	2.02	23.68	2h13min
5	18.31	1.42	13.22	1h25min
6	14.92	0.99	8.43	55min

具体采用何种星座方式需要根据实际应用需要来选择决定。是普查船舶分布情况还是对海上目标

搜索,是配合电子侦察、雷达侦察还是光学成像侦察,需要针对不同侦察手段的地面覆盖范围来作选择。通常电子侦察地面探测区域半径可以达到 3 000 km,对于雷达侦察卫星,其辐照宽度通常为 100 ~ 300 km,而对于详查的宽覆盖成像侦察卫星,其地面覆盖范围只能达到 50 km × 50 km。

3.3 时隙碰撞信号分离处理

星载 AIS 侦收机的信号处理中利用同时隙信号电平差、相对于侦收天线不同信号来向角度的多普勒频差等信息,可以实现对时隙碰撞信号的进一步分离处理来大幅度提高船舶检测概率。

在实际卫星覆盖的范围内,由于距离的差异,信号的幅度不一样。当两个信号功率不等时,在解调过程中会出现大信号压制小信号的现象。因此,直接完成混合信号的解调将可能获得大信号的传输信息。现有技术条件下对于信号功率比超过 6 dB(信号幅度比为 3 dB)的信号解调已不困难。所以,通过这种处理方法,可以提高单目标检测概率。

考虑发射天线,接收天线和空间距离等因素,计算卫星覆盖范围内信号的功率变化情况。由于卫星天线波束宽度大于 110°,最大波束方向指向卫星运行方向,因此,覆盖角 η 范围为 66° ~ 34°,舰船观测卫星的仰角变化范围为 0° ~ 52.3°,卫星与目标的距离变化范围为 2 829 ~ 736 km,接收信号的变换功率范围为 -103.8 ~ -88.3 dBm,最大相差 15.5 dB。当两个同时到达的 AIS 信号电平相差较大,可以通过星上信号处理器进行能量判决,滤除较低电平的信号,将强信号分离出来,客观上又能进一步大大减小碰撞的影响,增大船舶检测概率。

若 $M - 1$ 个区域中仅有一个区域与目标区域碰撞时,还是能对目标区域正确检测,则在有且仅有一个区域与目标区域发生碰撞的概率为

$$P_{2_add} = C_{M-1}^1 \cdot P_1 \cdot (1 - P_1)^{M-2} \tag{3}$$

若还要考虑分离能力需要信号强度具备一定的差异,设差异大于一定强度的组合情况在所有两两组合的比例为 p ,则仅有一个信号与目标信号碰撞且两个信号强度差大于一定强度的概率为 $P_{2_add} \cdot p$,此时,AIS 系统的单目标检测概率为

$$P = 1 - [1 - (1 - \frac{kN}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-1} - p \cdot C_{M-1}^1 \cdot \frac{kN}{75 \cdot M \cdot \Delta T} \cdot (1 - \frac{kN}{75 \cdot M \cdot \Delta T})^{M-2}]^{\frac{T}{\Delta T}} \tag{4}$$

经过统计分析计算,在覆盖范围内同时出现两个

信号的情况下,采用双天线独立侦收则两两 AIS 信号碰撞差 6 dB 的信号占总碰撞数的 19%。可见,通过增加幅度差分离能力后会将船舶检测概率提升。

另一方面,通过多普勒频差也是分离两两重叠信号的有效办法。以 600 km 轨道高度为例计算得卫星周期为 96.7 min,卫星径向速度 7.56 km/s,则船舶移动轨迹点位于卫星轨道面时产生最大多普勒频移量达到 4 kHz。可见卫星侧向船舶发射的 AIS 信号相对于径向的 AIS 信号会存在最大达 4 kHz 的频率差,随着船的直射波夹角减小,两信号的频差逐渐趋于一致,参见文献[1]。

通过合理地设计星载接收机 A/D 采样频率和执行运算的 FFT 点数,运用快速 FFT 处理技术即可区分出具有多普勒频差的多个 AIS 碰撞信号^[4]。

3.4 虚假、欺骗信号分离

虚假、欺骗信号是某些特殊船舶平台为实现不可告人目的而人为地修改 AIS 发送信息,一般包括平台身份信息篡改、位置信息修改等。

对于粗糙的虚假、欺骗信号,通过校验位和比较能快速鉴别出来。对于采用非法技术手段的欺骗信号,则可以从以下思路实现鉴别。

(1) 报告的船舶位置和卫星的相对位置矛盾性

根据报告的船舶位置和卫星的位置就可确定信号的传播时延。将信号的到达时间(或者实际传播时延)与预计的到达时间(或者计算的传播时延)进行比较,如果这两个时延之差超过阈值或者太大,就将其标为可疑的目标并报告。

(2) 多目标信息的矛盾冲突性

类似 MMSI 码,是由管理部门统一分配的,是全球唯一的,如果同时出现多个目标有相同的 MMSI 码,可将这些目标列为可疑目标,再通过进一步处理确认它们的身份。

(3) 单目标自身属性信息的冲突性

类似 MMSI 码和 IMO 号,都与国家或地区信息相关,如果只修改了部分内容,则存在信息冲突性,可将该目标列为可疑目标,再通过进一步处理确认其身份。

(4) 属性信息的超实际性

类似舰船的航速、舰船的大小,都有一定的限度,可以结合舰船知识资料库的信息,辨识出可疑目标。

(5) 属性信息的不规范性

属性信息的填写必须遵守规范和标准的要求,如果是非法修改的,有可能由于不了解填写要求,出

现填写不规范现象。比如,在填写数字的地方出现了字母等,在填写“出发地”、“目的地”时,存在多余的空格等情况。

3.5 星载信号处理与数据存储转发

星载接收机的信号处理方案直接关联到数据存储器的容量和星地间的数据传输通道设计,因此好的信号处理方案将大大降低整星系统的设计难度。

各国现研制生产的 AIS 产品均执行国际化标准,主要相关技术指标如下: AIS 第一工作频点为 161.975 MHz; AIS 第二工作频点为 162.025 MHz; 信道带宽 25 kHz; 调制码速率 9.6 kbit/s; 调制特性 GM-SK NRZI; TDMA 时隙长度 26.7 ms, 共 256 bit。

分析上面技术指标可知,两工作频点相差 50 kHz,调制码速率仅有 9.6 kHz,时隙长度 26.7 ms。因此,只要采样录取数据长度大于 26.7 ms 即可完整解调、解译出单个时隙所包含的 AIS 信息。对于重叠信号的分离处理,则一次性取样数据长度应大于 53.4 ms。

如果接收信道通过变频后实现零中频,采用 4 倍率采样,则计算出覆盖 2 个工作频点信号至少采样频率大于 276.8 kHz,执行 FFT 运算点数大于 14 782 个,频率分辨率 18.7 Hz,满足前面对于碰撞信号的利用多普勒频差实现分离的条件。

使用 14 位 AD 器件,假如前后向两路独立信道连续接收,则计算出要求数据存储速率大于 29.563 Mbit/s。

参照前面计算的观测时间 354 s,接收机同时接收两个通道,计算出在单个扫描带上总的的数据量是 342.955 Mbyte。按照卫星轨道周期为 96.7 min,全轨道时间处于接收状态,则一圈的总采样数据量达 5.621 Gbyte。

取卫星 12 h 后能与地面接收站交换一次存储数据,则一次交换的存储数据量达到 41.853 Gbyte。按平均过顶时间约 10 min 可以计算出所要求的向地面进行数据传输的速率应大于 69.755 Mbit/s,加上采集 AIS 信息的时间标尺数据、卫星实际位置数据、数据包装订和纠检错码数据开销,则卫星对地面进行数据传输的速率应大于 100 Mbit/s。

由此可见,星上直接进行数据采集而不作进一步处理将极大地占用卫星的下行链路带宽,带来星地间数据传输的巨大压力。只有采用全球多点布设地面接收站才能减缓卫星下行链路带宽的压力,但同时也增大了卫星运控系统的复杂性和系统整体经

济成本。相反,若星上进行接收信号的解调、解译的话,则卫星的下行数据率将大幅度下降。根据 AIS 协议,AIS 广播信号在 1 min 周期内有 2 250 个时隙,时隙长度为 26.67 ms,每个时隙为 256 bit,其中包括用于传输 AIS 信息的数据。AIS 数据编码包括 64 bit 报头信息(8 bit 的训练位、24 bit 的位列、8 bit 的标志位、24 bit 的保护时间)、168 bit 的数据载荷、用于校验的 16 bit 帧校验序列(FCS)。其中在 168 bit 的数据位中已经包括有 AIS 信息,如船的航速、位置(经、纬度)、航向、识别跟踪数(如 MMSI 数)以及其他数据。因此,重点采集和处理的信息数据应该且仅需要这 168 bit 的数据。

取全球 AIS 设备处于开机状态的活动船舶总数为 40 000 艘,则对这些船舶进行一次观察的数据量为 2.52 Gbyte,每艘船舶仅记录 3 次,存储数据量将达到 7.56 Gbyte。按照同样的过顶时间可以计算出所要求的地面进行数据传输的速率应大于 12.6 Mbit/s,加上采集 AIS 信息的时间标尺数据、数据包装订和纠错检错码数据开销等,则卫星对地面进行数据传输的速率大于 20 Mbit/s 即可。

由此分析比较可见,采用星上完成对 AIS 侦收的信号解调、解译处理,相对于直采数据存储转发方式的下行链路 100 Mbit/s 数据速率下降了 5 倍,能大大地降低卫星下行链路的压力,提高星载 AIS 接收机通用性和对天基平台的适装性。

同时,星上完成 AIS 信号的解调解译也利于实时引导天基平台其他侦察手段对特殊目标的观测,提升载荷装备的使用效能。

4 结束语

本文介绍了国外星载 AIS 接收机的发展情况,提出天基 AIS 信号侦察系统构想,并对天基 AIS 信号侦察系统的主要关键技术和参数进行分析论证,提出可行性强、天基平台适装性较好的实现方案,供相关研究人员参考。

参考文献:

[1] Ole Fredrik Haakonsen Dahl. Space-Based AIS Receiver for

Maritime Traffic Monitoring Using Interference Cancellation [D]. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2006.

[2] 王海祝,席在杰,杨文静.星载 AIS 检测概率计算模型与算法分析[J].电讯技术,2011,51(11):42-46.

WANG Hai-yan, XI Zai-jie, YANG Wen-jing. Calculation model and algorithm analysis of detection probability of spaced-based AIS [J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(11): 42-46. (in Chinese)

[3] 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)

[4] 何民,许斌,钟杰.星载 AIS 接收链路设计与仿真[J].电讯技术,2010,50(9):114-118.

HE Min, XU Bin, ZHONG Jie. Design and Simulation of LEO Satellite-based AIS Receiver Link [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(9): 114-118. (in Chinese)

作者简介:

朱银川(1968—),男,福建厦门人,1990 年于成都信息工程学院获学士学位,现为高级工程师,主要从事综合性电子信息系统的总体论证工作;

ZHU Yin-chuan was born in Xiamen, Fujian Province, in 1968. He received the B.S. degree from Chengdu Institute of Information Technology in 1990. He is now a senior engineer. His research concerns demonstration of integrated electronic information system.

Email: zhuyinchuan@163.com

梅勇兵(1979—),男,湖北新洲人,2005 年于四川大学获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为信号处理与电子对抗;

MEI Yong-bing was born in Xinzhou, Hubei Province, in 1979. He received the M.S. degree from Sichuan University in 2005. He is now an engineer. His research concerns signal processing and electronic warfare.

Email: meiybmail@sina.com

周李春(1979—),男,四川仪陇人,2005 年于电子科技大学获硕士学位,现为工程师,主要从事电子侦察系统设计与工作。

ZHOU Li-chun was born in Yilong, Sichuan Province, in 1979. He received the M.S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2005. He is now an engineer. His research concerns system design of electronic reconnaissance.

Email: okzlc@163.com