

陈琴, 安强, 李家蓬, 等. 一种单通道 ADS-B 地面站的防欺骗综合解决方法[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(10): 141-144. DOI:10.20169/j.issn.2095-2163.251021

一种单通道 ADS-B 地面站的防欺骗综合解决方法

陈 琴, 安 强, 李家蓬, 黄 泉, 马俊成

(四川九洲空管科技有限责任公司, 四川 绵阳 621000)

摘 要: 随着 ADS-B 系统在航空领域的广泛应用, 其安全性和防欺骗能力备受关注。然而, ADS-B 系统易受到错误信息和人为干扰的影响, 可能导致虚假目标的出现, 从而给航空安全方面带来潜在威胁。为解决这一问题, 本研究提出了一种基于单通道 ADS-B 地面站的防欺骗综合解决方案。该方案通过采用 ADS-B 广播时序模式特征验证、幅度-距离验证、几何相符等验证以及多点定位验证等技术手段, 从不同角度对 ADS-B 信号进行交叉验证, 以提高目标验证的可靠性。通过实验验证和结果分析, 表明本方案能够有效地排除虚假目标, 提高真实目标的可靠性, 进而有助于提高航空系统的安全性和可靠性。

关键词: 单通道 ADS-B 系统; 防欺骗; 虚假目标

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)10-0141-04

A comprehensive solution to anti-deception for single channel ADS-B ground station

CHEN Qin, AN Qiang, LI Jiapeng, HUANG Xiao, MA Juncheng

(Sichuan Jiuzhou Air Traffic Control Technology Co., Ltd., Mianyang 621000, Sichuan, China)

Abstract: With the widespread application of ADS-B systems in the aviation industry, the security and anti-spoofing capabilities have attracted much attention. However, ADS-B systems are susceptible to erroneous information and human interference, which may lead to the emergence of false targets and pose potential threats to aviation safety. To address this issue, this study proposes a comprehensive anti-spoofing solution based on a single channel ADS-B ground station. This scheme uses techniques such as ADS-B broadcast timing pattern feature verification, amplitude distance verification, geometric matching verification, and multi-point positioning verification to realize cross validation of ADS-B signals from different perspectives, in order to improve the reliability of target verification. Through experimental verification and result analysis, it is demonstrated that this scheme can effectively eliminate false targets, improve the reliability of real targets, and thus contribute to improving the safety and reliability of aviation systems.

Key words: single channel ADS-B system; anti-deception; false targets

0 引 言

随着航空领域迅速发展, 航空系统的安全性和可靠性已成为至关重要的课题研究内容。广播式自动相关监视系统(Automatic Dependent Surveillance Broadcast, ADS-B)作为先进的航空监视技术, 具备定位准、更新率快、覆盖广、成本低等优势, 但同频干扰和欺骗的挑战仍可能导致真实目标信息被监测和重放, 对航空安全构成潜在威胁^[1]。同时在地处偏远地区, ADS-B 地面站布站稀少, 站点间通信困难, 难以形成多点定位进行防欺骗处理^[2]。为解决这

些问题, 本研究提出一种基于单通道 ADS-B 地面站的综合防欺骗方法, 旨在有效提升 ADS-B 系统的安全性和抗欺骗能力, 从而增强航空系统的监视水平, 提高航空安全性。

1 ADS-B 系统

1.1 ADS-B 系统原理和特点

ADS-B 广泛应用于航空领域的监视和通信方向, 实时提供飞行信息并促进飞机间以及飞机与地面间的自动交流^[3-4]。该系统使飞机能够自动依赖导航数据广播位置、速度、高度和其他相关信息, 如

作者简介: 安 强(1984—), 男, 学士, 高级工程师, 主要研究方向: 空管监视; 李家蓬(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 空管监视; 黄 泉(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 空管监视; 马俊成(1995—), 男, 硕士, 主要研究方向: 空管监视。

通信作者: 陈 琴(1995—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 空管监视。Email: 2632546914@qq.com。

收稿日期: 2024-01-15

哈尔滨工业大学主办 ◆ 系统开发与应用

图1所示。

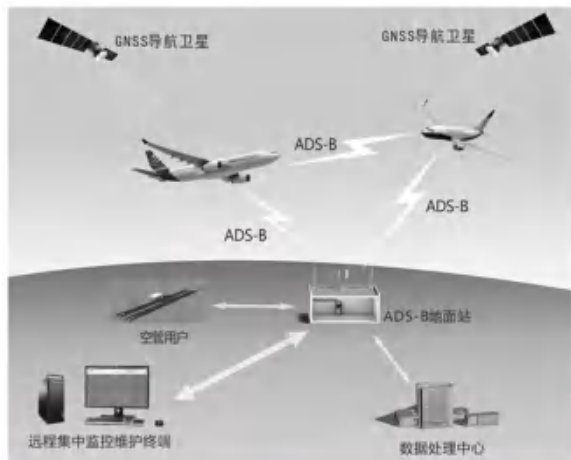


图1 ADS-B系统工作示意图

Fig. 1 Schematic diagram of ADS-B system operation

1.2 ADS-B系统的安全性挑战和存在的干扰问题

ADS-B系统尽管优点众多,但也面临安全性挑战。首先,公开的1 090 MHz频点容易受到同频干扰,导致真实目标信息被监测和重放^[5-6]。其次,采用全向天线发射^[7]和单通道地面站接收导致难以在空间域上区分目标信号和干扰信号。此外,广播性质使得飞机位置易受攻击,且地处偏远地区地面站布站稀少,站点间通信困难,不能基于多站形成多点定位。综合对策为应对这些问题,则需在系统设计层面实施来确保系统的安全性和可靠性。

1.3 现有ADS-B防欺骗技术的研究进展和局限性

目前,ADS-B防欺骗技术包括联合二次雷达数据融合验证、射频特征识别、信号到达时间差分析以及ADS-B空地数据链加密等相关方法^[8-10]。然而,现有技术仍存在局限。联合二次雷达数据验证仅适用于地面雷达覆盖区域。射频特征识别需预先建立目标特征库,且只能识别有限的目标^[10]。信号到达时间差分析需要多站联合解算,而单一站点无法进行虚假目标识别^[11]。ADS-B空地数据链加密会影响其通信和计算性能,破坏系统开放性。因此,建立一套基于单通道ADS-B地面站的综合防欺骗解决方案,可提升ADS-B的安全性和抗干扰攻击能力。

2 单通道ADS-B地面站的防欺骗综合方法设计

2.1 技术方案概述

本研究采用了ADS-B广播时序模式特征验证、几何相符与意图相符、幅度-距离验证分别从信号的信源特征、数据一致性、信号发射距离、信号的发

射具体位置验证等方面进行多层验证,提出了基于单台单通道ADS-B标准地面站防欺骗信息处理流程,如图2所示。在此基础上,多个单通道ADS-B标准地面站若能形成多点定位^[12-13],又提出了在单站防欺骗处理之后,再综合各个单站时间差信息进行目标位置定位,接下来进一步运行目标真假判定的多站防欺骗信息处理流程,从而形成一套完整的单通道ADS-B地面站防欺骗综合处理方案,极大提高了ADS-B信息的可靠性。

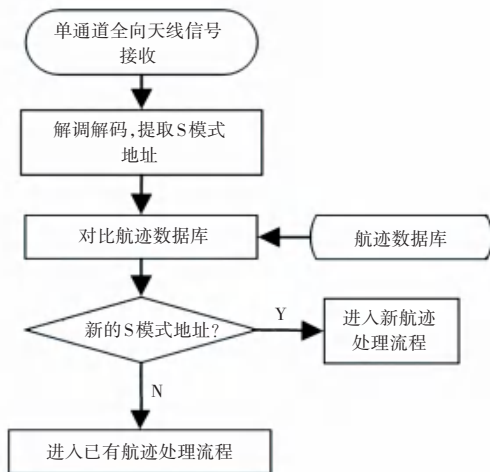


图2 单台单通道ADS-B抗干扰防欺骗地面站原型总体流程

Fig. 2 Overall process of single channel ADS-B anti-interference and anti-deception ground station prototype

2.2 ADS-B广播时序模式特征验证方法

该方式是在链路层对广播报文在时序上的特征进行提取和分类。ADS-B消息广播时,通过k-均值聚类算法^[14-15]将报文按照不同时间划为不同类,建立并存储飞机广播时序模式特征库。通过接收真实飞机报文,并对报文打时戳,统计来自同一架飞机之间的报文排序规律,包括同类型报文时间间隔、报文时间间隔变化值,并与特征库中数据对比。当误差超过设定门限时,判定为校验不通过,反之通过。

2.3 幅度-距离验证方法

该方式是从信号发射距离角度对目标进行验证。根据ADS-B设备的天线和馈线系统确定,不同距离的飞机信号强度不一致。利用信号强度的绝对值,初步确定目标的距离范围,并与飞机广播的位置计算出的距离进行比对,判定是否通过验证。

2.4 几何位置相符与数据一致性验证方法

从飞机的航迹变化信息中提取计划航线和航迹变化点。随后,根据飞机广播的实际位置与ADS-B航迹变化报告中的预定位置是否满足导航性能约束条件,进行几何相符验证。

在航空领域,所需导航性能技术(RNP)是全球卫星导航系统和机载导航设备对航空器进行路线指导的新技术^[16-17]。其类型不同,要求航空器最大偏移的位置也不相同。在航空器飞行过程中,其航空器飞行的范围由 RNP 决定^[18],若不符合该范围,则认为该目标为虚假目标。

3 实验结果与分析

由于文章篇幅限制,在单通道 ADS-B 地面站的防欺骗综合解决方法的实验中,选择飞机几何位置相符性来验证设计分析及方案的可行性。

3.1 飞行轨迹和速度仿真

模拟航空器从(150 m, 150 m, 1 500 m)位置开始,初始速度设定为(110 m/s, 110 m/s, 0 m/s),加速度设定为(4 m/s², 4 m/s², 0 m/s²),保持 60 s 匀加速直线运动。在图像采集时,采样间隔为 1 s,系统的状态噪声、运行速度噪声、位置观测噪声标准差分别设定为 5 m/s²、10 m/s、100 m。航空器的飞行速度的计划航线、观测航线、加入卡尔曼滤波算法^[19-20]的估计航向局部图如图 3 所示。

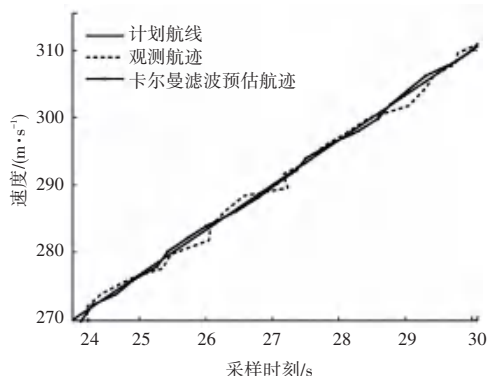


图 3 飞行速度局部图

Fig. 3 Local figure of flight speed

为了确保实验结果的可靠性,进行 1 200 次独立重复实验,速度的均方根误差如图 4 所示。从图 4 可以看出采用卡尔曼滤波的均方根误差比普通均方根误差更小,这说明卡尔曼滤波能在一定程度上让航空器几何位置估计值更精确。

3.2 飞机几何位置一致性验证仿真

干扰机以(200 m/s, 0 m/s, 0 m/s)的速度从初始位置(0 m, 3 000 m, 5 000 m)位置开始匀速直线运动。实验设置 RNP-1 为 RNP 类型,则虚假目标位置为计划航线 1 海里外的空域。目标机和实验 3.1 节初始位置、初始速度、加速度、采样时间、位置观测噪声标准差、速度观测噪声标准差等保持一致。

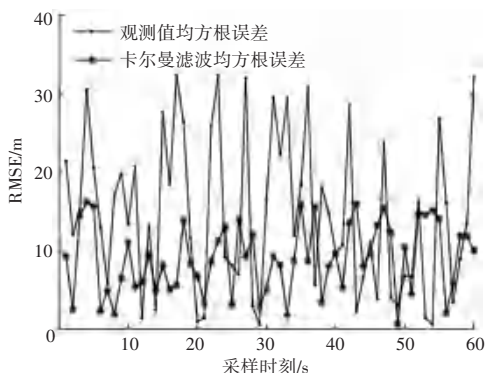


图 4 飞行速度估计均方根误差

Fig. 4 Root Mean Square Error of flight speed estimation

当干扰机发射 ADS-B 欺骗信号,那么 ADS-B 导航系统就会接收 2 组不同的航迹,1 组欺骗信号、1 组真实的航迹,为了观测值更准确,融入卡尔曼滤波方法,因此得到航空器轨迹如图 5 所示。

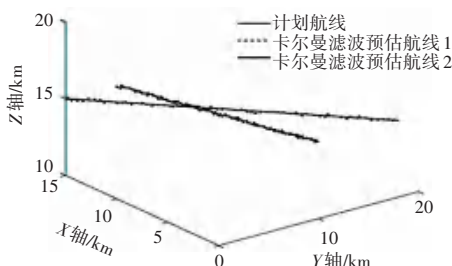


图 5 航空器飞行航迹

Fig. 5 Flight path of the aircraft

飞机的几何位置相关的局部函数 $L(n)$ 定义公式如下:

$$L(n) = \begin{cases} 1, & \text{飞机位于从 A 到 B 所设定的航迹的 RNP}_H \text{ 和 RNP}_V \text{ 范围内} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

N 个采样时刻几何位置相关的全局函数如下:

$$\rho(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L(i) \quad (2)$$

因此针对航迹 1,几何位置全局相关函数为 1,这意味着在 60 s 内,航迹 1 满足了飞机几何位置的一致性要求;针对航迹 2,几何位置全局相关函数为 0,表明航迹 2 不满足飞机几何位置的一致性要求。因此根据目标真实性判断准则,航迹 1 为真实目标,航迹 2 为虚假目标,如图 6 所示。

综上所述,使用卡尔曼滤波技术对飞机的 ADS-B 报文中的运动状态进行滤波,能够提高对飞机运动状态的估计精度。在此基础上,根据 RNP 对飞机运动状态的要求,进行飞机的几何位置一致性的验证,从而鉴别真实的飞机运动状态。

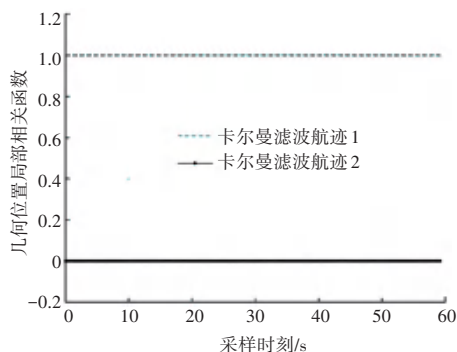


图6 航空器几何位置局部相关函数

Fig. 6 Geometric position local correlation function of the aircraft

在实验中,相较于使用 ADS-B 报文中的飞机运动状态观测值,加入卡尔曼滤波对飞机运动状态观测值进行处理,可以提升 ADS-B 导航系统飞机运动状态的估计精度。通过飞机几何位置一致性的验证,能够区分出不满足 RNP 几何位置要求的航迹,进而鉴别出飞机的真实或虚假目标。这种综合方法对于确保飞行数据的准确性和飞行安全具有重要意义。

4 结束语

本文提出了基于单通道 ADS-B 地面站的防欺骗综合解决方法,通过综合应用多种技术手段实现对 ADS-B 信号的验证。以飞机几何位置一致性验证的有效性和可靠性来开展深入分析与研发。今后的研究可以结合多方面来完善综合验证方案,进一步提高系统的安全性和目标真实性的验证准确性。然而,该方法在一些复杂的环境条件下仍存在一定的局限性。

随着 ADS-B 技术的广泛应用,对其安全性和抗干扰能力的要求将越来越高。未来的研究可以进一步深化对 ADS-B 信号的分析 and 验证方法,提出更加高效和可靠的防欺骗技术,为航空安全领域提供更为有效的解决方案。这样的研究将有助于满足不断增长的航空交通需求,并确保航空系统在快速发展的背景下保持高水平的安全性和可靠性。

参考文献

- [1] JHENG S L, JAN S S. Implementation of wide area multilateration using a 1090 MHz ADS-B signal[J]. Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, 2021(1):53.
- [2] 付磊,安强,李家蓬. ADS-B 防欺骗技术研究[J]. 电子世界, 2020(5):94-96.
- [3] 吕宗平,倪育德,陈君,等. 基于 GNSS 完好性的 ADS-B 防欺骗[J]. 雷达科学与技术, 2018, 16(4):359-365.
- [4] 陈嘉铭. ADS-B 测试系统航迹模拟研究与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2022.
- [5] 赵永恩. 1090 MHz 信道监测功能验证模块设计与实现[D]. 天津:中国民航大学, 2020.
- [6] JHENG S L, JAN S S, CHEN H Y, et al. 1090 MHz ADS-B based wide area multilateration system for alternative positioning navigation and timing[J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 20(16):9490-9501.
- [7] 卢宇锋. 高性能宽带全向天线研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2022.
- [8] 杨志强,刘爱森. 基于单站 ADS-B 测向技术的防欺骗系统研究[J]. 舰船电子对抗, 2022, 45(1):28-32.
- [9] 刘逸. ADS-B 导航信号源及自主式防欺骗技术研究[D]. 天津:中国民航大学, 2015.
- [10] 龙易. ADS-B 导航抗欺骗性干扰技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2015.
- [11] 梁韬. 基于 TDOA 与 TSOA 的 ADS-B 防欺骗技术研究及实现[D]. 成都:电子科技大学, 2018.
- [12] 尹进. 基于 ADS-B 技术的多点定位方法研究[D]. 石家庄:河北科技大学, 2018.
- [13] 赵东旭. 混合 TDOA 和 AOA 的 ADS-B/MLAT 航路定位系统[D]. 南京:南京邮电大学, 2021.
- [14] 陈湘中,万烂军,李泓洋,等. 基于蚁群优化 K 均值聚类算法的滚轴故障预测[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(11):3218-3223.
- [15] 汤深伟,贾瑞玉. 基于改进粒子群算法的 k 均值聚类算法[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(18):140-145.
- [16] 王伟. RNP 运行中的实际导航性能评估技术研究[J]. 信息通信, 2019(5):168-170.
- [17] 屈重君,祖肇梓,祁鸣东. 基于多传感器的 RNP 水平导航仿真研究[J]. 计算机仿真, 2022, 39(3):35-39.
- [18] 郭婧,薛广月,王嫣然. RNP 运行中的实际导航性能评估技术研究[J]. 民航学报, 2018, 2(3):29-33.
- [19] 董静,宋洁文,王贝贝. 基于改进卡尔曼滤波的卫星导航定位精度优化[J]. 北京测绘, 2023, 37(9):1291-1295.
- [20] 郭继峰,李忠志,张国强,等. 基于深度置信网络的卡尔曼滤波算法改进[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(6):248-253.