

文章编号: 1674-8190(2024)02-142-10

面向机载综合监视系统的 ADS-B 技术综述

王飞, 于超鹏, 熊伟

(中国航空工业集团有限公司 雷华电子技术研究所, 无锡 214063)

摘要: 广播式自动相关监视(ADS-B)作为机载综合监视系统(ISS)的新增重要组成部分,在保证飞机飞行安全的前提下,在监视成本和效率方面展现出优势,引领了未来监视技术的发展。本文首先介绍了 ADS-B 系统功能与优劣势,梳理了国内外技术和产品现状;然后从保障飞行安全和高效的角度出发,分析和综述了机载 ISS 中 ADS-B 的关键技术,并详细阐述了技术内涵及难点;最后结合下一代空域运行理念,探讨和展望了技术发展趋势,提出了 4 个 ADS-B 技术的未来发展方向,为推动 ADS-B 技术在实际运行与理论研究方面的发展提供参考。

关键词: 综合监视系统; ADS-B; 飞行安全; 机载监视应用

中图分类号: V243.2

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2024.02.16

ADS-B technology overview for the airborne integrated surveillance system

WANG Fei, YU Chaopeng, XIONG Wei

(Leihua Electronic Technology Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Wuxi 214063, China)

Abstract: As an important new part of airborne integrated surveillance system (ISS), the automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) system shows the advantages in surveillance and efficiency under the premise of ensuring flight safety, which leads to the development of future surveillance technology. Firstly, the system function and advantages and disadvantages of ADS-B system are introduced, and the technologies and products at home and abroad are organized. Then, from the perspective of ensuring flight safety and efficiency, the key technologies of ADS-B system are analyzed and summarized, and the technology connotation and difficulties are described in detail. Finally, the development trend of the technology is discussed and prospected in combination with the concept of next generation airspace operation, and four future development directions of ADS-B technology are proposed, which can provide the development direction for the development of ADS-B technology of airborne ISS, and promote the development of ADS-B technology in practical operation and theoretical research.

Key words: integrated surveillance system; automatic dependent surveillance-broadcast; air safety; airborne surveillance applications

收稿日期: 2023-06-20; 修回日期: 2023-12-21

通信作者: 王飞(1987-), 男, 硕士, 工程师。E-mail: wangf013@avic.com

引用格式: 王飞, 于超鹏, 熊伟. 面向机载综合监视系统的 ADS-B 技术综述[J]. 航空工程进展, 2024, 15(2): 142-151.

WANG Fei, YU Chaopeng, XIONG Wei. ADS-B technology overview for the airborne integrated surveillance system[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2024, 15(2): 142-151. (in Chinese)

0 引言

虽然航空业飞速发展,但是高安全和高经济仍是民用飞机领域追求的首要目标^[1]。机载综合监视系统(Integrated Surveillance System,简称ISS)作为目前国际上最先进的飞行环境安全监视整体解决方案,为民用飞机在起飞、巡航和着陆等全飞行过程中,提供恶劣气象、临近飞机、突变地形、低空障碍物等威胁监视能力,保障全航程飞行安全。机载ISS将传统分立式的气象雷达(Weather Radar,简称WXR)、空中交通告警与防撞系统(Traffic Alert and Collision Avoidance System,简称TCAS)、S模式应答机(Transponder,简称XPDR)、地形感知和告警系统(Terrain Awareness and Warning Systems,简称TAWS)及广播式自动相关监视(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast,简称ADS-B)系统集成在一起,共享软硬件资源,实现各分立飞机环境监视设备的信息综合、数据综合、功能综合和物理综合等综合能力。

作为ISS的重要组成部分,ADS-B是基于全球卫星导航定位系统(Global Navigation Satellite System,简称GNSS)和空/空、地/空数据链通信的航空器运行监视系统。

ADS-B技术日趋成熟,是当前空管监视、导航和通信领域中最活跃的技术,该技术的应用推广已成为世界各国新航行系统建设的重要内容。目前,国际权威机构已发布几十个技术标准,引领机载电子和空管方式发生变革^[2]。

在局方发布的TSO(Technical Standard Order)中,将DO-260作为ADS-B应符合的最低性能标准,该标准也成为系统设计的基础^[3]。当前,工业标准部门已陆续发布了四版DO-260标准,分别对应0、1、2和3版本^[4-7]。中国民用航空局下发了《关于ADS-B机载设备加装改装相关工作要求的

通知》,通知要求,在2019年7月1日前,安装满足0版本或后续版本并经相关适航批准的ADS-B设备,在2022年12月31前,安装满足2版本并经相关适航批准的ADS-B设备^[8]。

本文首先研究机载综合监视系统ADS-B的功能和优劣势;然后梳理国内外机载ADS-B产品的现状,依据机载综合监视的需求,提出和分析关键技术和技术难点;最后面向下一代空域运行体系需求,指出机载综合监视系统ADS-B的发展趋势和方向。

1 机载ISS ADS-B的功能与优劣势

1.1 ADS-B功能

机载综合监视系统(ISS)是航空电子领域的重要系统,支持飞机安全、高效、舒适、可靠、经济运营。

ADS-B作为综合监视系统的新增重要子系统,承接综合监视系统的交通监视与防撞需求,基于XPDR硬件实现OUT功能;共享空中交通告警与防撞系统的硬件资源实现1 090 MHz扩展电文(1090ES, 1 090 MHz Extended Squitter)的接收和处理,为综合监视系统带来了监视效率、资源和信息共享方面的极大提升,因此也被视为综合监视系统的关键子系统。

在ISS中,ADS-B接收航空器的导航源等数据,并以一定周期向外广播电文,主要包括识别信息、PVT(位置、速度和时间)信息、飞行状态信息及意图信息等内容。机载接收子系统接收他机ADS-B、地面发送的广播式交通信息服务(Traffic Information Services-Broadcast,简称TIS-B)和复播式自动相关监视(ADS-B Rebroadcast,简称ADS-R)消息。

面向新航行系统的ADS-B架构图如图1所示,根据ADS-B广播消息的发射与接收,其功能分为ADS-B OUT和ADS-B IN^[9]。

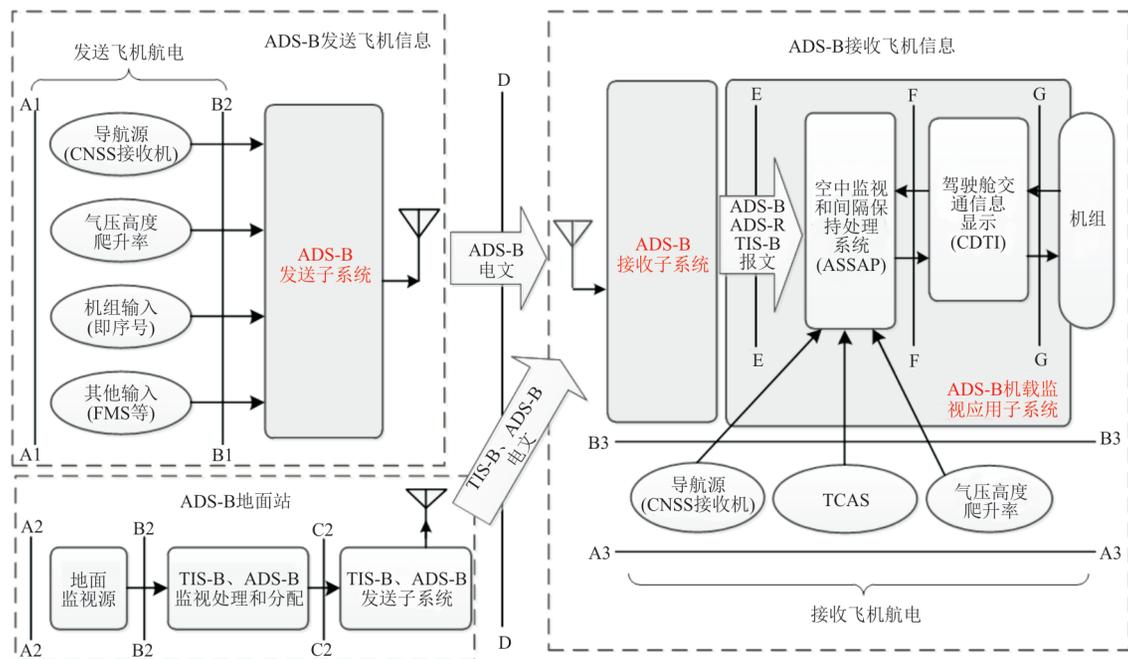


图1 面向新航行系统的ADS-B架构图^[9]

Fig. 1 ADS-B architecture diagram for the new navigation system^[9]

1.1.1 ADS-B OUT

ADS-B OUT 技术是ISS ADS-B 中一项基本功能,基于XPDR 发射通道向外广播飞机的识别信息、位置、速度、方向、爬升率、意图等信息,如图2所示。DO-260 规定禁止将独立OUT 设备安装在具备S 模式应答机的飞机上。ISS 中的ADS-B 必须基于XPDR 实现OUT 功能,可与应答机共享寄存器内容,并且有利于他机TCAS 利用混合监视校验和处理ADS-B 数据^[6]。

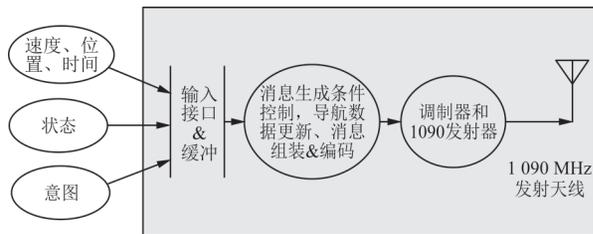


图2 ADS-B 发送子系统架构图

Fig. 2 ADS-B transmitting subsystem architecture

1.1.2 ADS-B IN

ADS-B IN 是指本机接收并综合利用空管地面站发送TIS-B 和他机OUT 信息,并融合TCAS 航迹,感知周边空域交通态势,使得机组防止空中冲突能力由被动变为主动。ADS-B IN 与TCAS 共享接收通道和处理机资源,将航迹提供至TCAS 可实现混合监视功能,提升TCAS 跟踪监视能力,

也是下一代ACAS-X (Airborne Collision Avoidance System-X) 的关键组成,形成了新的空中防撞形态。ADS-B IN 也可以利用TCAS 航迹进行航迹相关和数据融合,实现多类型的综合目标监视,提供高集成度和置信度的监视信息。

依据DO-317B 标准,ISS 中ADS-B IN 的应用功能主要包括以下4种基本型状态感知应用^[8]:

1) 空中态势感知,是指综合ADS-B 信息与ISS 中TCAS 等系统的交通信息,在机载交通信息显示设备(Cockpit Display of Traffic Information, 简称CDTI)融合显示,使得机组人员获得窗外和目视范围以外的交通信息,降低航路交通风险。

2) 目视间隔进近 (Visual Separation on Approach, 简称VSA),通过引入ADS-B 信息,整合窗外和CDTI 显示信息以确认前方飞机,增强了机组人员目视获取进近过程中周围飞机的能力,使机组人员在能见条件恶化的情况下依然保持目视间隔完成进近程序。

3) 高度层变更程序 (In-Trail Procedure, 简称ITP),实现本机与其他飞机在保持安全间隔的同时达到最佳高度层飞行,使得在远洋和偏远等程序管制空域上也可以更频繁地改变飞行层。

4) 机场场面态势感知,适用于滑行、起飞、进近、着陆及机库停机等场面运行阶段,通过图形将

交通显示在机场地图,帮助机组掌握滑行道、跑道中的信息,避免跑道入侵和滑行道冲突发生。

此外,标准还包含CDTI辅助目视进近(CDTI Assisted Visual Separation,简称CAVS)、ADS-B交通咨询系统(ADS-B Traffic Advisory System,简称ATAS)等。

1.2 ADS-B优劣势分析

ADS-B作为一种“类雷达”技术,不仅提供了地对空的监视手段,也使飞机间可以互相监视,极大提高了空中交通管制系统的监视能力,使得航行安全得到了提高。ADS-B监视范围更大,消息更新率更快,从而提高监视精度、共享间隔服务、增强空中情景意识和场面监视能力等,因此ADS-B在监视效率、安全性和经济性方面带来了极大提升^[10]。

针对日益密集的空域交通环境,ADS-B的干扰和链路容量不足的问题愈发突出,由于ADS-B与二次雷达、TCAS和多点定位等多个系统共用1090ES链路,该频段极其拥挤,容易受到同频干扰;同时,ADS-B消息需要承担气象、载机状态、空域状况等信息,因此信道资源存在较大问题。

2 国内外机载ADS-B技术现状分析

2.1 ADS-B国外技术现状

国际上,民航飞机的机载ADS-B产品基本被L3/ACSS、Honeywell和Rockwell Collins所垄断,其产品也代表了当前的先进技术。波音和空客的部分机型已经装备了ADS-B系统,并具备完整的OUT和IN功能。国外龙头企业作为RTCA的工业方代表和重点参与单位,在技术标准制定和发布方面掌握极高的话语权,引领ADS-B技术发展。

2.1.1 ACSS/L3公司SafeRoute产品简介

ACSS/L3公司致力于成为商用和军用航空领域ADS-B系统开发和验证的领导者。其研制的SafeRoute是已获得适航认证和运行批准的ADS-B系统系列,已在A320、A330等飞机上安装和使用,能够带来更安全和更高效的飞行体验。

基于机载交通信息显示设备,SafeRoute提供监视应用相关的信息显示,包括以下独有应用

功能:

1) SMM:在机场终端、滑行道和跑道区域,提供基于场面移动地图的本机和交通运行显示,兼容ADS-B和TIS-B数据链。该功能能够显著降低跑道入侵和错误跑道进入等事件。

2) ITP:利用ADS-B提高机组在远洋和非雷达覆盖区域的交通情景意识,并帮助飞机实现更频繁的高度层变更。

3) CAVS:允许机组在低能见度等临界目视气象条件下,基于CDTI提供的前机地速、高度和接近率等信息,维持最优目标间隔完成进近程序。U-CDTI由ACSS与美国宇航公司联合开发,可提供二级、三级电子飞行包或独立显示器等安装方式,具备场面移动地图显示功能,能够显示ADS-B交通信息,也具有控制命令/信息的输入功能^[11]。

SafeRoute可驻留在ACSS的交通计算机中,如3000SP™或T3CAS®设备中。2020年,ACSS/L3又发布了增强型的SafeRoute+™解决方案,增加了如间隔管理、ADS-B引导显示等新型监视功能。但该系统集中解决了空中交通态势问题,缺失混合监视、间隔管理方面的应用。

2.1.2 Honeywell公司SmartTraffic产品简介

SmartTraffic产品包含TCAS和ADS-B两个系统功能,目的是提升能力和减少环境影响,让飞行变的更安全。除标准TCAS功能外,增加了ADS-B IN功能,新功能的加入不仅提高了机组的态势感知能力,也拓展了交通计算机能力,实现由单一高安全性到通过优化航路减少拥堵、加快交通流和节省燃油等多优势并发的方向演变。

ADS-B功能主要包括以下内容。AIRB/VSA,增强空中态势感知能力和实现目标间隔进近;SURF,提高机场场面的态势感知能力;ITP,远洋高度层变更程序^[12];扩大TCAS主动监视距离(达到120 n mile,其中1 n mile=1 852 m);满足DO-317A要求的ADS-B IN功能,监视距离达到250 n mile;满足DO-300的混合监视功能。由于设备已预留了升级空间,ADS-B IN的新功能可以通过软件升级进行更新。

SmartTraffic可驻留在TPA-100 TCAS谱系的处理机中,如TPA-100A/B/C。上述设备已安装在包括空客、波音和Embraer等一系列民航运输

机上,也在公务机(Dassault, Gulfstream)和直升机(Agusta Westland, Eurocopter)平台上应用,但上述产品不包含机场场面监视应用。

2.1.3 Rockwell Collins 公司机载 ADS-B 产品简介

面向 TTR-2100、TTR-4100 和 ISS-2100 等设备, Rockwell Collins 也开发了诸多的 ADS-B 应用功能,具备足够的处理机硬件和软件升级潜力,支持拓展下一代空中运输系统(Next Generation Air Transportation System, 简称 NGATS)要求的监视能力,这些能力主要以 ADS-B 功能为主。

机载 ADS-B 系统功能主要包括以下内容。CDTI,提升机组对运行环境的态势感知能力;进近间距,缩小进近间隔和提高进场效率;远洋高度层变更程序;跑道入侵感知;平行跑道进近,实现小间隔的平行跑道同时进近功能;空中冲突管理,基于混合监视实现冲突提取预测与告警;TIS-B 数据链兼容,实现地面 TIS-B 消息的接收和目标跟踪。

相比其他两家产品, Rockwell Collins 的产品基本覆盖了空中和场面的监视应用,但在多传感器融合和信道扩容方面还没有推出相应的技术。

通过对国际领先企业的典型机载 ADS-B 产品对比分析发现,各厂商发展理念是一致的,集中体现在空中态势感知、地面态势感知和间隔管理方面的应用,但在混合监视、多传感器融合、信道扩容方面还在持续推动技术突破。

但是,随着 ADS-B 新技术的不断发展,与 ADS-B 设备对应的飞机设备也需要不断升级。而国外各厂商产品之间的兼容性差,一定程度上推迟了 ADS-B 新技术的实际运行,不利于 ADS-B 新技术的发展。

2.2 ADS-B 国内技术现状

国内主要从事 ADS-B 相关技术研究和产品研制的科研院所主要有:四川九洲空管科技有限责任公司(下称九洲空管)、中国民航局第二研究所、中国电子科技集团公司第三十八研究所、中国航空无线电电子研究所和中航雷达与电子设备研究院等,产品主要涵盖地面站和机载设备两个方面。当前研究涉及的高校主要有:电子科技大学、

中国民航大学、中国民用航空飞行学院、上海交通大学等^[13-22]。国内关于 ADS-B 领域的相关技术研究,在 ADS-B 数据传输技术、数据链技术、机载监视应用技术、增强接收解码和信道扩容等方面均取得了一定成果。

当前国内的 ADS-B 产品主要集中在地面设备,其中九洲空管、四川信能科技发展有限公司、中国电子科技集团公司第二十研究所、广州海格通信集团股份有限公司均已获得了民航局颁布的“1 090 MHz 扩展电文广播自动相关监视地面站(接收)设备”使用许可证^[23]。在机载设备研制方面,九洲空管、中国航空无线电电子研究所和中航雷达与电子设备研究院都在推出 ADS-B 产品,鉴于当前国内相关技术标准规定还未发布,已取证产品主要集中在 OUT 方面,在 IN 产品方面还均未取证^[24]。其中典型产品如九洲空管公司推出的 YDK-2C 型 S 模式空管应答机,具备 A/C 模式、S 模式、OUT 和二级应答机能力。但是国内的机载 ADS-B 设备,主要集中在通航领域,在民航运输领域国内的机载 ADS-B 设备较为缺乏。

通过对国内外技术和产品现状的研究可知, ADS-B 技术发展还存在基于 ADS-B 监视应用的持续完善,信息安全及应用安全问题,以及 ADS-B 信息安全及信道拥挤等问题。

当前对于 ADS-B 监视应用技术研究主要处于理论研究和软件仿真阶段。在产品集成方面,只有 AIRB 等少数监视应用有相应的成果。同时现有的 ADS-B 监视应用技术虽然覆盖了整个飞行阶段,但是依旧存在很大的探索空间,因此拓展监视应用技术也是当下 ADS-B 技术的研究热点之一。与 ADS-B 监视应用相对应的运行安全性评估技术随着相应监视应用的发展需要进行相应的研究,确保 ADS-B 监视应用技术的安全可靠。

ADS-B 信息安全技术对飞机运行安全十分重要,因为基于已有的 ADS-B 产品无法保证从其他飞机获取的状态和意图数据准确无误。在 ADS-B 信息安全方面, ADS-B 数据为基于机器学习的 ADS-B 异常检测提供了良好的基础,但是现有的方案通常只以 ADS-B 时序数据为依据来识别 ADS-B 异常目标,因此能够为检测模型提供的特征源单一。为了解决此问题,目前的研究主要通

过增加源数据,如飞行计划数据、气象数据等来识别 ADS-B 数据的异常目标,虽然一定程度上缓解了数据准确性问题,但 ADS-B 数据的准确性还需要进行进一步提高,而机载 ADS-B 系统获取更多的数据源信息也需要研究出相应的方案。

ADS-B 信道扩容技术在不影响现有 ADS-B 系统安全运行的情况下,增大数据链的信息承载容量,目前研究提出了 3 种方案:1) 增加 ADS-B 信号的广播频率;2) 使用多频段传输 ADS-B 信号;3) 对现有信号进行相位调制,使载波相位携带扩容信息。同时,ADS-B 信道扩容技术使得 ADS-B 消息中的信息更加丰富,一定程度上促进了 ADS-B 的气象服务技术的发展。

3 机载 ISS 的 ADS-B 关键技术

作为机载 ISS 的新增重要功能,ADS-B 属于新一代的监视手段。本文针对 ISS 的系统监视需求,通过分析技术优劣势,总结国内外产品现状,以提升 ISS 功能完整性为目标,从飞机安全性和运行效率等角度出发,识别并总结以下 4 项关键技术。

3.1 基于 ADS-B 监视应用技术

ADS-B 技术是新航行系统中非常重要的通信和监视技术,把冲突探测、冲突避免、冲突解脱和空管一致性监视以及 CDTI 综合显示有机结合起来,增强了机载 ISS 并扩展了非常丰富的功能,同时也带来了潜在的经济效益和社会效益^[25]。

ADS-B 报告是能被系统其他模块和应用直接使用的数据,从 1 090 MHz 接收到 ADS-B 消息后,重新汇总、封装成的数据。如何从 ADS-B 报告中获取监视信息,基于飞行任务和场景开发不同应用技术成为研究核心。同时在受到信号干扰,报告失效、丢失时,综合利用 ISS 的 WXR、TCAS、XPDR 和 TAWS 等提供的信息,完成 ADS-B 数据的校验与确认,进而实现 ADS-B 的监视应用,也是研究重点。

当前基于 ADS-B 的机载监视应用主要分为基本型交通状态感知、增强型交通状态感知、间距与间隔等几类应用^[26-28],具体的应用划分如图 3 所示。

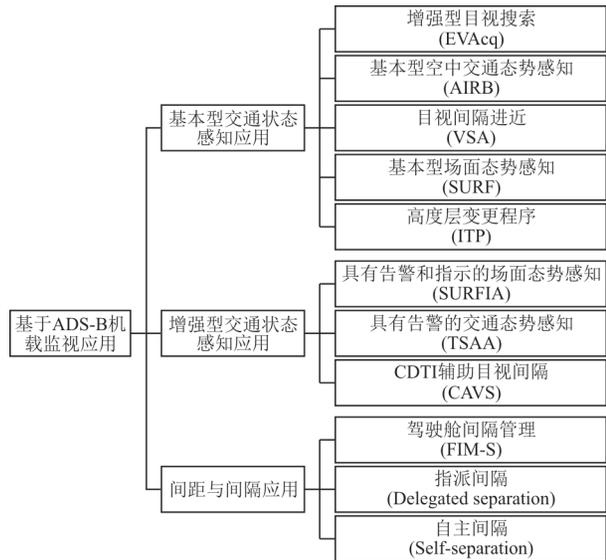


图 3 基于 ADS-B 机载监视应用分类

Fig. 3 Airborne surveillance application based on ADS-B classification

机载 ISS ADS-B 在推广过程中,新型机载监视应用也在不断涌现,如何最大限度挖掘 ADS-B 的技术潜能,开发安全、高效、经济的应用是机载 ISS 的 ADS-B 关键技术之一。

3.2 运行安全性评估技术

基于 ADS-B 的监视应用必须通过运行安全性评估 (Operational Safety Assessment, 简称 OSA) 识别应用风险,确定安全性假设,获取安全性需求,验证其是否满足安全期望,表明运行操作满足安全性的要求。

不同于传统的系统安全性评估技术,运行安全性评估技术更加关注于应用层面的人员操作、设备安全性和通信链路等对机载监视应用的影响分析^[29]。该技术目标是确定应用程序的安全要求与假设,保证在非标准操作条件下,OSA 在安全可接受的范围内。OSA 能分配最低安全目标和要求,并应用于空中和地面域。OSA 识别非标准操作条件下的应用风险,定义安全目标,建立故障树,定义安全假设和要求,表明只要应用满足安全假设和要求,监视应用就能达到安全目标。

OSA 评估过程应遵循“领结”模型,如图 4 所示,包括两个主要过程:操作危险评估 (Operational Hazard Assessment, 简称 OHA)、安全目标和要求分配 (Allocation of Safety Objectives and Requirements, 简称 ASOR)^[30]。

方式,信号同步方法,与现有ADS-B系统的兼容性评估等^[31-33]。

本文识别的出干扰抑制、信道扩容和数据质量分析与评估等技术,是保证ADS-B OUT消息的安全性与完整性的关键技术,也是发展机载ISS ADS-B技术需要重点考虑的关键技术之一。

4 机载ISS ADS-B发展趋势

ADS-B是NextGen和SESAR的基石,本文结合国内外ADS-B技术的发展现状,指出未来机载ADS-B发展方向^[34-38]主要涉及到4个方面。

4.1 基于多传感器融合的综合监视技术

为了避免因干扰等因素引起的ADS-B功能丧失风险,综合利用机载传感器信息,基于混合监视、主被动监视和ACAS-X等技术,ADS-B系统可与TCAS等其他系统实现信息共享、数据综合和功能互补,有效保障飞机在起飞、巡航和着陆等全飞行过程中的飞行安全。为进一步优化空域资源,提高空域资源利用率,提高飞机着陆和起飞过程中对机场跑道和滑行道资源的利用率,多源监视信息深度综合化和智能化是未来飞行环境监视系统的重要发展趋势之一^[35]。

4.2 拓展型监视应用技术

随着技术开发的不断深入,ADS-B应用功能也将由基本的交通情景意识应用向具有告警和指引功能的方向拓展,如具备告警和指引的场面态势感知应用、基于ADS-B驾驶舱间隔管理技术、指派间隔和自主间隔管理等应用。监视应用层的新型技术潜力仍待挖掘,面向未来复杂高密度的空域运行环境,围绕高安全和经济的主机诉求,一方面纵向挖潜监视技术内涵,另一方面横向拓展监视技术应用范畴^[36]。上述应用技术将为飞机运行带来显著的经济性和高效率,也将成为机载ISS ADS-B发展的重要方向之一。

4.3 基于北斗卫星导航系统的ADS-B应用技术

当前机载ADS-B系统的PVT来源都依赖于美国的GPS,一旦发生GPS故障或关闭,或者因干

扰等因素引起导航信息丢失,ADS-B的功能将完全丧失。GPS一直存在选择可用性、延迟大和完好性低等问题,解决上述问题需利用地基或星基增强系统,这将严重增加ADS-B监视运行成本和不可控性。而我国自主研发的北斗卫星导航系统具有安全、可靠、稳定的特点,通过以北斗卫星导航系统作为ADS-B位置输入源,利用ADS-B作为监视信息传输链路,并以北斗卫星导航系统作为卫星链路,能够有效解决上述问题,同时较好弥补了ADS-B广域监视不足的问题^[37]。ADS-B与北斗卫星导航系统结合技术已逐步形成一个比较庞大的体系,并在快速发展中。

4.4 基于大数据与深度学习的监视应用技术

随着ADS-B接收机接收的数据规模不断增大,为了保障ADS-B数据的安全性,迫切需要强大的技术进行快速异常检测。由于深度学习在处理大规模数据方面,具备较强的鲁棒性,因此采用深度学习方法对ADS-B数据进行异常检测技术的研究已成为当前研究热点。深度学习可利用监督、半监督或无监督的训练方法自动学习一种深层非线性网络结构,通过将ADS-B历史数据样本集的数据转化为更高阶、更抽象化的数据集本质特征,对ADS-B数据进行快速异常检测,从而提高接收ADS-B数据的安全性。因此基于深度学习的ADS-B技术也将成为保障ADS-B数据安全性的有效途径。

5 结束语

作为ISS的重要组成,ADS-B不仅为航空器提供交通监视信息,可传送位置、速度和意图等飞行信息,提高机组情景意识,保障飞行安全;同时,ADS-B可以在冲突预测和解脱、间隔保持和管理、跑道入侵监视等方面开发出多种应用,未来将在飞行环境监视系统中发挥重要作用。本文面向机载ISS,围绕ADS-B技术的发展现状,分析了系统功能与优劣势,凝练了机载ISS的ADS-B重点关键技术,提出了未来的4个研究方向,对机载ISS中ADS-B技术的发展具有参考价值。

参考文献

- [1] 张召悦, 杜海龙, 高春燕. 基于基本飞行模型的 ADS-B 航迹修正研究[J]. 中国民航大学学报, 2013, 31(5): 1-4.
ZHANG Zhaoyue, DU Hailong, GAO Chunyan. Research on correction of ADS-B trajectory based on basic flight models [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2013, 31(5): 1-4. (in Chinese)
- [2] 张贺. 基于 ADS-B 的低空飞行监视系统研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2018.
ZHANG He. Researched design of low-altitude airspace surveillance system based on ADS-B [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2018. (in Chinese)
- [3] FAA. Extended squitter automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) and traffic information service-broadcast (TIS-B) equipment operating on the radio frequency of 1 090 megahertz (MHz): TSO-166b[S]. Washington DC: FAA, 2009.
- [4] RTCA. Minimum operational performance standards for 1 090 MHz automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B): DO-260[S]. Washington DC: RTCA, 2000.
- [5] RTCA. Minimum operational performance standards for 1 090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) and traffic information service-broadcast (TIS-B): DO-260A[S]. Washington DC: RTCA, 2003.
- [6] RTCA. Minimum operational performance standards for 1 090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) and traffic information service-broadcast (TIS-B): DO-260B[S]. Washington DC: RTCA, 2009.
- [7] RTCA. Minimum operational performance standards for 1 090 MHz extended squitter automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) and traffic information service-broadcast (TIS-B): DO-260C[S]. Washington DC: RTCA, 2020.
- [8] Boeing. Air accident report: AAR1/2014[R]. US: Boeing, 2008.
- [9] RTCA. Minimum operational performance standards (MOPS) for aircraft surveillance applications (ASA) system: DO-317B[S]. Washington DC: RTCA, 2014.
- [10] 唐鹏. 基于 ADS-B 数据监视性能评估技术研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2015.
TANG Peng. Research on evaluation techniques of surveillance performance based on ADS-B data [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2015. (in Chinese)
- [11] FAA. CDTI-assisted visual separation (CAVS) [EB/OL]. [2023-06-20]. <https://www.faa.gov/nextgen/programs>.
- [12] FAA. In trail procedures (ITP) [EB/OL]. [2023-06-20]. <https://www.faa.gov/nextgen/programs>.
- [13] 陈侯. 基于 ADS-B IN 的机场面情景感知及冲突检测算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2021.
CHEN Yu. Research on airport scene awareness and conflict detection algorithm based on ADS-B IN [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2021. (in Chinese)
- [14] 蔡昌雷. 基于数字多波束的 ADS-B IN 综合集成设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.
CAI Changlei. Integrated design and implementation of ADS-B IN based on digital multi-beam [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2019. (in Chinese)
- [15] 刘飞. 基于北斗 RDSS 的 ADS-B 数据传输技术研究与应用[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2020.
LIU Fei. The research and implementation of ADS-B data transmission technology based on Beidou RDSS [D]. Guanghan: Civil Aviation Flight University of China, 2020. (in Chinese)
- [16] 金练练. 基于多数据源的航班监控系统实现与应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2020.
JIN Lianlian. The implementation and application of flight monitoring system based on ACARS and ADS-B [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2020. (in Chinese)
- [17] 毕子文. ADS-B 抗干扰接收机系统增强的设计与实现[D]. 天津: 中国民航大学, 2021.
BI Zhiwen. Design and implementation of ADS-B anti-jamming receiver system enhancement [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2021. (in Chinese)
- [18] WALTER T N. ADS-B 信号的增强接收技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2021.
WALTER T N. Enhanced reception technique of ADS-B signal [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2021. (in Chinese)
- [19] 王文益, 钟仁伟. 基于交替方向乘子法的单天线 ADS-B 信号分离[J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45(5): 1286-1296.
WANG Wenyi, ZHONG Renwei. Single antenna ADS-B signal separation based on alternating direction multiplier method [J]. Systems Engineering and Electronics, 2023, 45(5): 1286-1296. (in Chinese)
- [20] 郑瀚. 基于机器学习的 ADS-B 数据攻击检测方法[D]. 天津: 中国民航大学, 2022.
ZHENG Han. ADS-B data attack detection method based on machine learning [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2022. (in Chinese)
- [21] 李传俊. 星基 ADS-B 系统业务分布特性研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2022.
LI Chuanjun. The service distribution characteristics of satellite-based ADS-B system [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2022. (in Chinese)
- [22] 王靖涛, 林琳, 焦毅. ADS-B 干扰检测技术的综述[J]. 电

- 子技术, 2023, 52(3): 54-55.
- WANG Jingtao, LIN Lin, JIAO Yi. Overview of ADS-B interference detection technology [J]. Computer Engineering, 2023, 52(3): 54-55. (in Chinese)
- [23] 空管行业管理办公室. 民用航空空中交通通信导航监视设备使用许可目录[EB/OL]. [2023-06-20]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZFGW/201602/t20160224_29107.html.
- Air Traffic Control Industry Management Office. Catalogue of licenses for the use of civil aviation air traffic communication, navigation and surveillance equipment [EB/OL]. [2023-06-20]. http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZFGW/201602/t20160224_29107.html. (in Chinese)
- [24] 张保存. 基于ADS-B IN的飞行间隔管理(FIM)的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2022.
- ZHANG Baocun. Research and implementation of flight interval management (FIM) based on ADS-B IN[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2022. (in Chinese)
- [25] 郭勤昊, 魏光兴. ADS-B对中国民航飞行训练的影响[J]. 中国民用航空, 2011(1): 61-63.
- GUO Qin hao, WEI Guangxing. The influence of ADS-B on flight training in China civil aviation[J]. China Civil Aviation, 2011(1): 61-63. (in Chinese)
- [26] FAA. Avionics supporting automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) aircraft surveillance applications (ASA): TSO-C195b[S]. Washington DC: FAA, 2014.
- [27] 王洪. 飞机监视应用系统、航迹融合与 ADS-B In 应用[J]. 电讯技术, 2019, 59(12): 1488-1494.
- WANG Hong. Aircraft surveillance applications systems, track fusion and ADS-B In applications[J]. Telecommunication Engineering, 2019, 59(12): 1488-1494. (in Chinese)
- [28] RTCA. Minimum aviation system performance standards for aircraft surveillance applications (ASA): DO-289[S]. Washington DC: RTCA, 2003.
- [29] 赵子璇. 基于ADS-B的航空气象信息反演[D]. 天津: 中国民航大学, 2022.
- ZHAO Zixuan. Inversion of aeronautical meteorological information based on ADS-B [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2022. (in Chinese)
- [30] RTCA. Safety, performance and interoperability requirements document for enhanced traffic situational awareness during flight operations (ATSA-AIRB): DO-319[S]. Washington DC: RTCA, 2010.
- [31] 吴仁彪, 吴琛琛, 王文益. 基于累加分类的ADS-B交织信号处理方法[J]. 信号处理, 2017, 33(4): 572-576.
- WU Renbiao, WU Chenchen, WANG Wenyi. A method of overlapped ADS-B signal processing based on accumulation and classification[J]. Journal of Signal Processing, 2017, 33(4): 572-576. (in Chinese)
- [32] 黄清, 王洪, 王飞, 等. 基于软件无线电平台的1090ES扩容信号收发处理[J]. 电讯技术, 2020, 60(3): 298-302.
- HUANG Qing, WANG Hong, WANG Fei, et al. Implementation of transceiver for increasing 1090ES capacity based on software radio platform [J]. Telecommunication Engineering, 2020, 60(3): 298-302. (in Chinese)
- [33] 宋妍. 基于相位调制的1090ES扩容技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- SONG Yan. A research of 1090ES capacity extending technology based on phase modulation[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016. (in Chinese)
- [34] 邓晓波, 王飞, 杨光曜. 机载ADS-B技术现状与发展趋势[J]. 航空工程进展, 2021, 12(1): 121-128.
- DENG Xiaobo, WANG Fei, YANG Guangyao. A survey on airborne ADS-B technology and its development trend [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(1): 121-128. (in Chinese)
- [35] ZHANG Jun, LIU Wei, ZHU Yanbo. Study of ADS-B data evaluation[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2011, 24: 461-466.
- [36] KUCHAR J K, DRUMM A C. The traffic alert and collision avoidance system[J]. LINC Lab, 2007, 16(2): 277-295.
- [37] 王洪全, 刘天华, 欧阳承曦, 等. 基于星基的ADS-B系统现状及发展建议[J]. 通信技术, 2017, 50(11): 2483-2489.
- WANG Hongquan, LIU Tianhua, OUYANG Chengxi, et al. Situation and development of satellite-based ADS-B system[J]. Communications Technology, 2017, 50(11): 2483-2489. (in Chinese)
- [38] 暴佳伟, 田小平, 刘宇娜, 等. ADS-B安全问题研究综述[J]. 现代防御技术, 2022, 50(5): 28-35.
- BAO Jiawei, TIAN Xiaoping, LIU Yuna, et al. Summary of research on security issues of ADS-B protocol[J]. Modern Defence Technology, 2022, 50(5): 28-35. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)