

基于天基网络的全球航班追踪系统设计及实现

罗 斌, 陈俊杰, 崔 凯

(中电科航空电子有限公司, 四川 成都 611731)

摘 要: 基于对天基网络全球航班追踪应用场景及需求的分析, 针对卫星网络在民用航空领域的应用特点, 开展系统总体及分系统初步设计、关键技术分析、业务重点及难点分析, 完成全球航班追踪原型系统搭建及测试验证。结果表明, 该系统稳定可靠、飞行航迹完整, 满足航班追踪定位4D/15的要求, 未来在行业的应用对健全航空安全保障体系、保障民航信息数据安全, 具有巨大的推动作用。

关键词: 全球航班追踪; 天地一体化信息网络; 北斗; 通信导航监视

中图分类号: TN927

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.20200218

Design and Implementation of Global Flight Tracking System Based on Space-Based Network

LUO Bin, CHEN Junjie, CUI Kai

China Electronics Technology Group Avionics Co. Ltd., Chengdu 611731, China

Abstract: Based on the analysis of the application scenarios and requirements of the global flight tracking of space-based network, aim at the application characteristics of the satellite network in the field of civil aviation, the overall system and subsystem preliminary design, key technology analysis, business focus and difficulty analysis were carried out, the global flight tracking prototype system construction and test verification was completed. The results showed that the system is stable and reliable, the flight path is complete, and meets the requirements of 4D/15 flight tracking and surveillance. The future application in the industry will play an important role in improving the aviation security system, and ensuring the information and data security of civil aviation.

Keywords: global flight tracking, space-integrated-ground information networks, Beidou, communication navigation surveillance

1 引言

随着我国民用航空运输业迅速发展, 航空安全形势日益严峻, 航空安全保障压力凸显, 对复杂空域内各类航空器的空中交通管理、全球范围内航空器自主可控的监控追踪提出了新的需求, 提升对各类航空器的航空安全监控能力、技术装备支撑能力和应急响应处置能力显得尤为迫切。

2 应用场景及需求分析

(1) 航班追踪应用场景

民用飞机航班追踪应用场景主要分两类: 第一类是基于陆基航线的飞机航班; 第二类是在偏远地区及越洋航线运营的飞机航班^[1]。目前, 对于陆基航线的航班主要采用陆基的航空器追踪手段, 例如一次雷达、二次雷达、陆基ADS-B、基于VHF链路的数据链ADS-C等; 对

收稿日期: 2020-11-01; 修回日期: 2020-12-01

基金项目: 四川省重大科技专项“国产民机航电系统及设备国产化配套”(2018GZDZX0021)

Foundation Item: Major Science and Technology Project of Sichuan Province "domestic civil aircraft avionics system and equipment localization matching"(2018GZDZX0021)

于偏远地区及越洋航线,主要依靠海事卫星、铱星等国外天基网络实现航空器航班追踪。其中,偏远地区及越洋航线的航班追踪是实现航班自主追踪的重点,基于天基网络的全球航班追踪应用场景如图1所示。

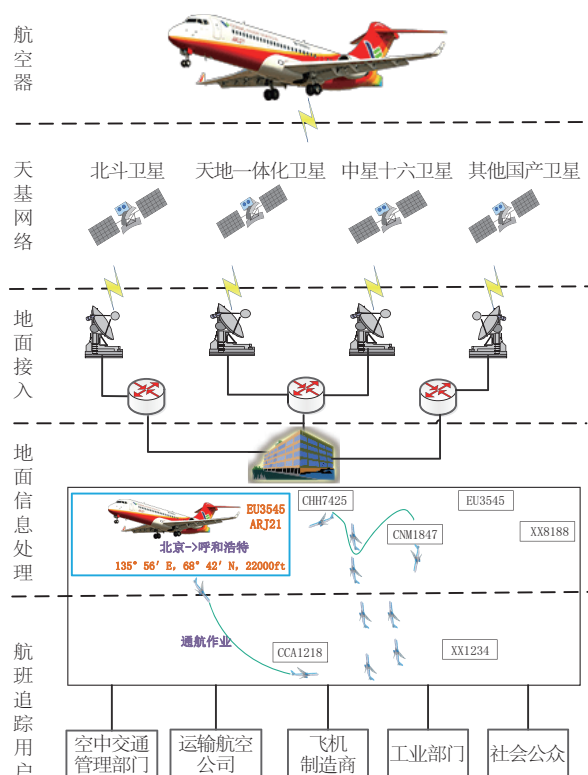


图1 基于天基网络的全球航班追踪应用场景

全球航班追踪应用场景要素包括航空器（民航运输类飞机）、天基网络、地面接入、地面信息处理、航班追踪用户等。航空器（民航运输类飞机）指现役飞机及在研的国产飞机。天基网络指目前我国在建的卫星网络，如天地一体化信息网络、北斗^[2]、中星十六号卫星等网络。地面接入实现上述卫星数据的接入及与地面信息处理的数据交互。地面信息处理实现来自各个链路及用户的航空器全球追踪数据汇聚、处理和分发，为各用户提供基于模型算法的大数据处理服务。航班追踪用户包括空中交通管理部门、运输航空公司、飞机制造商、工业部门、社会公众等，可以根据需要定制全球航班追踪应用。

(2) 航班追踪应用需求

全球航班追踪需满足下述几个方面的应用需求^[3]。

1) 正常状态航班追踪需求：对于正常运行的航空器通过自动位置报告实现例行航班追踪。国际民航组织于2015年11月对《国际民航公约》附件6第I部分第3.2节进行修订，强制要求航空承运人在2018年11月8日前实现对其

海洋区域运行至少每15分钟通过自动报告对航空器位置进行追踪（4D/15追踪）。中国民用航空局于2016年6月22日发布了《航空承运人航空器追踪监控实施指南》，要求航空承运人以15分钟或更短周期实施航空器追踪。

2) 遇险状态航班追踪需求：对于遇险状态的航空器，要求通过自动启动或人工触发的位置报告实现航班追踪。国际民航组织于2016年3月2日对《国际民航公约》附件6第I部分第6.18节进行修订，修订内容包括对遇险飞机位置追踪有关的标准和建议措施，落实了全球航空遇险安全系统（GADSS）自主遇险跟踪（ADT）的概念，要求至少每60秒传输一次飞机位置以实现6海里半径的定位。该标准于2016年7月11日生效，并将于2021年1月1日起实施。

3) 建立空地通信需求：中国民用航空局《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》（CCAR-121部）第97条规定“每架飞机与签派室之间的通信应当是空中交通管制通信系统之外的独立系统，能够满足在正常运行条件下，在4分钟内建立迅速可靠语音通信联系”^[4]。

4) 运行监控需求：2019年5月，中国民用航空局针对航空公司发布咨询通告《航空承运人运行监控实施指南》，要求航空承运人（航空公司）实施位置监控、航迹监控、高度监控、油量监控、气象监控、飞行动态、异常机动、应答机编码、故障监控、信息延迟等航迹信息追踪^[5]。

(3) 对天基网络的需求分析

基于应用分析，天基网络需满足下述几个方面的需求^[6]。

1) 网络覆盖：天基网络需覆盖民航航线，满足全球航线覆盖、重点区域加强、按需资源调度等需求，对重要的国际航线、机场及热点地区实现重点覆盖。

2) 用户容量：截至2019年年底，民航全行业运输飞机在册架数为3 818架，其中宽体机457架（占比12%），总航线5 521条，其中国际航线953条（17%）；预计到2039年（根据波音公司预测），中国民航业将新增8 600架客机交付，因此，天基网络近期需支持约3 900架飞机的接入，远期需支持约12 500架飞机的接入。

3) 星基ADS-B载荷需求：目前国内星基ADS-B网络还在建设中，根据团队对星基ADS-B系统的调研，建议载荷接收机动态范围不低于70 dB，单星可监视目标不小于5 000个，4重交叠的正确解码率大于90%，数据更新率不低于60 s，数据输出带宽不低于1 Mbit/s。

3 系统总体设计

基于天基网络的全球航班追踪系统主要由机载分系统、天基网络、地面接入分系统、地面信息处理分系统及地面用户终端分系统5部分组成。系统组成如图2所示。

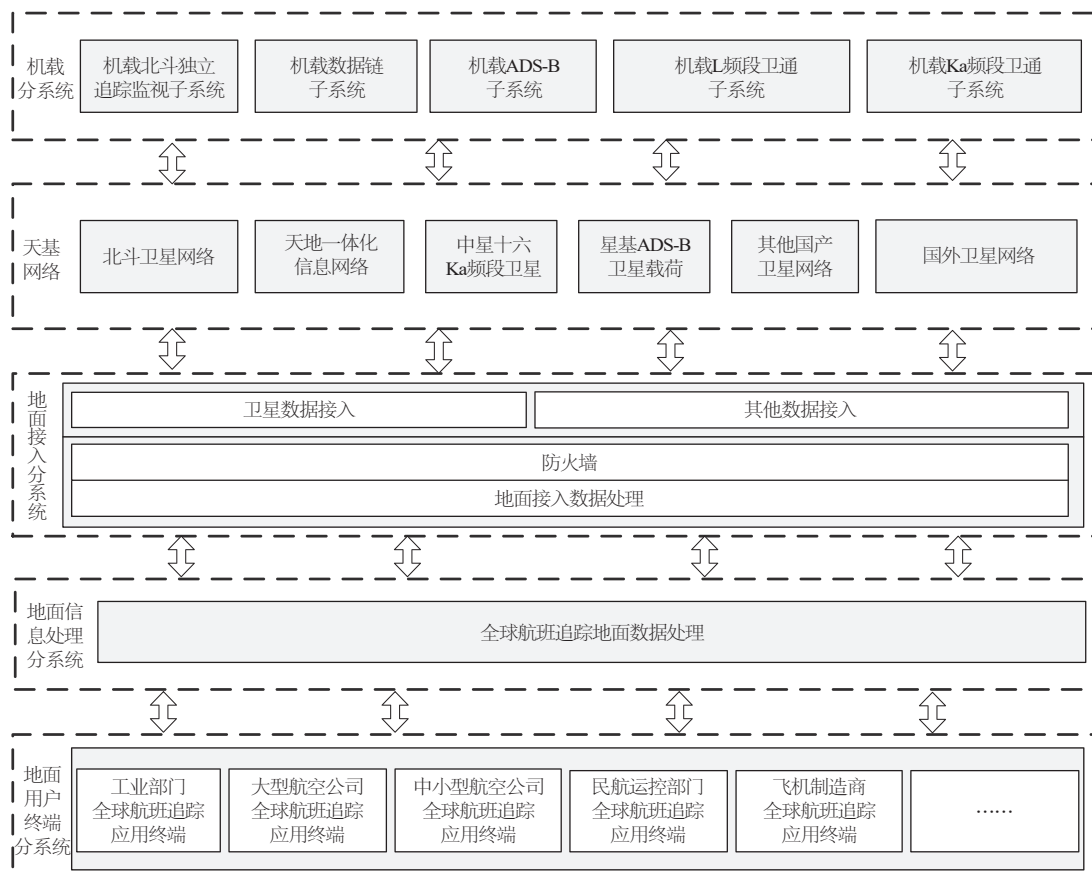


图2 基于天基网络的全球航班追踪系统组成

示。本文主要对机载部分和地面部分进行设计。

4 分系统设计

(1) 机载分系统

基于天基网络的全球航班追踪机载分系统，用于提供空地之间的航班追踪相关信息，是全球航班追踪的信息源头、机上信息处理中心和空地信息网络传输的空中节点。机载系统将航班追踪相关信息通过L频段卫通、Ka频段卫通、北斗短报文、ADS-B、数据链等链路下传。基于天基网络的全球航班追踪机载分系统的系统组成（不相关部分已略）如图3所示。

基于不同的航班信息传输手段和链路，机载航班追踪相关子系统包括：机载L频段卫通子系统、机载Ka频段卫通子系统、机载北斗独立追踪监视子系统、机载数据链子系统、机载ADS-B子系统，其功能和设计考虑如下。

1) 机载L频段卫通子系统主要由卫星数据处理单元SBU、高或中增益卫星天线、功放/低噪声放大器/双工器单元HLD、卫星数据处理单元配置模块SCM等组成，可以实现基于卫通链路的高安全级别数据链位置报告、

语音位置报告以及普通IP位置报告、空地4分钟内建立迅速可靠语音通信等功能，主要用于越洋航班及运行于偏远地区的航班追踪。

2) 机载Ka频段卫通子系统由MODMAN、供电与网络转换单元KPSU、宽带卫通天线等组成，实现基于Ka频段宽带卫星系统的空地高通量数据传输，可为飞机提供高带宽的卫星网络传输通道，实现基于宽带卫通链路的语音位置报告、IP位置报告以及满足空地4分钟内建立迅速可靠语音通信需求。另外其可满足飞机平台状态数据、实时健康管理、安防与实时监控视频、乘客上网等大数据实时通信需求。

3) 机载北斗独立追踪监视子系统由北斗通信设备机载端机及天线组成，作为民航飞机的独立构型，可自成系统，不与机载航电系统交联，集成RNSS定位与授时、RDSS通信功能，可通过RDSS短报文周期性播报飞行器自身位置/状态信息，接收外界RDSS服务信息，应急通信与定位功能，支持发送周期为60秒/次的位置报告，可用于强化飞行器安全保障、补充航空管制的覆盖能力。

4) 机载数据链子系统由数据链协议栈及数据链应用

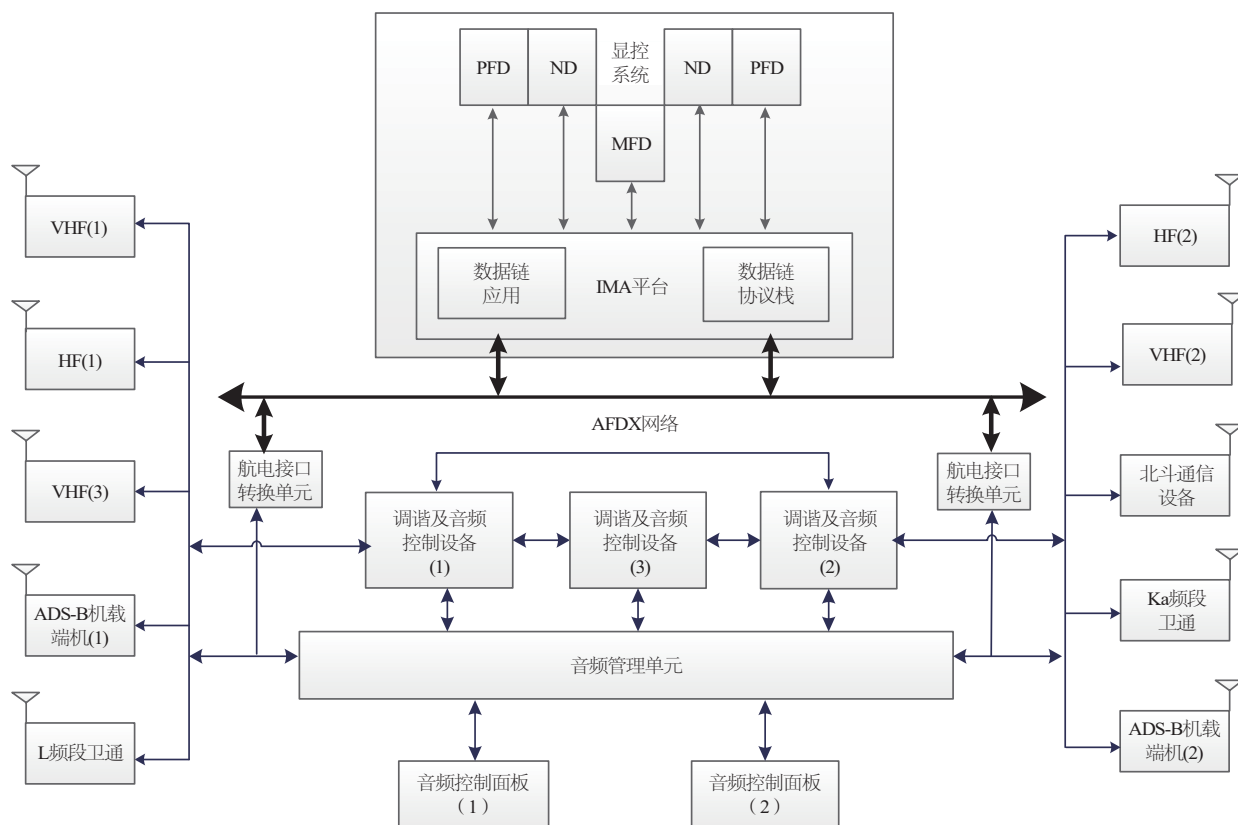


图3 基于天基网络的全球航班追踪机载分系统的系统组成

组成,可以实现4D/15追踪自动位置报告,其通信链路包括VHF/卫通/HF,基于卫通链路的数据链主要用于越洋航班及运行于偏远地区的航班追踪,可以实现两种方式的位置报告:基于数据链应用ADS-C的航空器自动位置报告的能力;基于数据链协议ACARS报文的航空器自动或人工航路点报告。

5) 机载ADS-B子系统主要由S模式应答机模块、交通告警与防撞系统TCAS模块、ADS-B应用软件、TCAS/ATC应答复用天线、ADS-B驾驶舱交通信息显示器CDTI、导航卫星接收机等部分组成,实现以广播模式自动发出或者接收诸如标识、位置和其他应用数据等功能,目前是民航航班追踪最常用的手段,可以基于陆基或星基进行收发,星基ADS-B相对陆基ADS-B有一定的优势,如:提供全球近实时飞机监视能力;提高态势意识能力,以及冲突检测与反应、处理能力;飞机在紧急情况下将有更高的灵活性;更加完整和精准地报告航空事故,能够更好地管理安全风险,更好地支持安全管理系统。

(2) 地面系统

基于天基网络的全球航班追踪地面系统包括地面接

入分系统、地面信息处理分系统以及地面终端应用分系统,本文主要对实验室地面原型系统展开描述和设计,详细的地面设计方案不在本文描述。基于天基网络的全球航班追踪地面原型系统组成如图4所示。

如图4所示,地面接入分系统、地面信息处理分系统以及地面终端应用分系统功能及设计考虑如下。

1) 地面接入分系统通过对接天地一体化L/Ka频段卫星、北斗运营中心、中星十六Ka频段卫星、海事L频段卫星、ADCC、航空公司、气象局等卫星网络以及民航专网、互联网等地面网络,同时建设北斗地面指挥机、ADS-B地面接收机等数据通道,实现多链路数据接入和对比测试,实现航空信息多源异构数据引接,数据预处理(协议转换、整理),数据分发,与地面信息处理系统及其他系统进行数据交互。

2) 地面信息处理分系统主要负责接收地面接入分系统实时的航班追踪多源异构数据,并对数据进行分类,支持不同类型的时空数据接入与管理,支持不同来源、不同规范数据的标准化转换、入库,实现数据的增删查改,数据关联分析,去冗余处理,根据数据使用情况,对外提供统一的航班追踪服务查询访问接口,根据



图4 基于天基网络的全球航班追踪地面原型系统组成

需求实现航班追踪数据分发到用户单位。其主要功能包括：地面航班追踪数据的发布和负载均衡；航班追踪数据引接、数据处理、缓存、文件服务、数据备份、持久化存储、数据出入队列、GIS地理信息服务；对地面信息处理分系统、地面接入分系统和地面终端信息的运行监控应用；各用户单位的航班追踪定制化设计应用。

3) 地面终端应用分系统包括面向航空公司、工业部门、飞机制造公司、民航运控部门、社会公众等多用户的地面应用终端，根据各个单位的用户规模不同，终端功能可以进行定制化开发和推送。其主要实现包括航班追踪用户服务、基础信息管理、航班追踪监视、空域管理、短报文管理、应急救援、统计管理、日志管理、4D信号模拟等功能。航班追踪终端软件采用微服务分布式架构，包括展示层、代理层、发布层、应用层、传输层、数据集成层，通过Web向用户展示。

5 关键技术分析

(1) 机载关键技术分析

全球航班追踪机载系统关键技术主要体现在3个方面：一是系统层面，如航班追踪不同安全等级链路机载信息空地传输，满足不同等级民航应用要求的网络安全技术，航班追踪所涉及的多数据源、多安全级别、多传输链路、多应用场景的有线/无线传输时的一体化协同高可靠传输技术^[7]；二是设备研制方面，机载北斗设备需满足CTSO-2C604的技术要求、解决与GPS、铱星共存干扰问题，机载L频段卫通解决高安全级别语音及数据链通

信相关问题，机载Ka频段卫通需突破高低轨联合组网下的民机机载高动态波束切换及核心协议等关键技术，保障空地传输链路的稳定性和可靠性以及设备研制的自主性，满足民航应用对通信速率、时延、吞吐率等方面的性能要求^[9]；三是装机及适航方面，需解决卫通设备装机及适航的问题，完成制造符合性检查并进行适航性挂签，重点解决基于天线布局分析的全机电磁兼容问题，避免影响飞行效果甚至飞行安全。

(2) 地面关键技术分析

全球航班追踪地面系统主要解决两个方面的关键技术：一是系统架构方面，如基于分布式集群的一体化系统架构，大容量全球航班追踪数据存储与快速检索、系统数据字典、系统时钟同步、系统坐标归一化处理、多任务部署/调度/管理、系统健康管理监控等关键技术；二是大数据方面，包括多信源航迹数据处理融合、基于用户行为习惯的大数据挖掘及分析等关键技术。另外，对于地面应用终端还需实现满足多用户需求、定制化、多种访问方式的人机交互技术，实现面向不同用户群的推送和应用。

6 业务重点及难点分析

目前，国内北斗三号已完成组网，国内航司完成了部分机型、少量架次的基于北斗的航班追踪示范运营。但要实现基于天基网络的全球航班追踪系统在国内民用航空的应用、示范以及后续全机队的推广应用，还有较多的难点需要解决，主要业务重点及难点如下。

(1) 应用需求与场景分析

基于天基网络的全球航班追踪应用涉及的卫星资源、飞机平台种类、地面接入源及相关单位较多,需对全球航班追踪的应用需求、交互流程、人机界面、地面大数据处理等进行梳理并开展理论研究;结合理论研究结果,针对后续大量应用后的系统应用场景,开展系统应用仿真建模;搭建实验室环境,开展基于天基网络的全球航班追踪系统应用需求与应用场景的实验室测试验证;最后,在民航运控中心或航空公司搭建试运行环境,并开展应用需求与应用场景测试验证。

(2) 关键技术突破

机载系统需重点突破不同安全等级链路机载信息空地传输,满足不同等级民航应用要求的网络安保技术,北斗机载设备与GPS及铱星共存干扰,机载L频段卫通高安全级别语音及数据链通信,机载Ka频段卫通高低轨联合组网下的民用机机载高动态波束切换及核心协议等关键技术;地面系统需重点突破基于分布式集群的一体化系统架构,大容量全球航班追踪数据存储与快速检索,多信源航迹数据处理融合,基于用户行为习惯的大数据挖掘及分析等关键技术。

(3) 设备研制及适航

基于天基网络的全球航班追踪系统包括机载设备(含软件)及地面软件的研制,机载设备及软件包括机载L频段卫通设备、机载Ka频段卫通设备、机载北斗独立追踪监视设备、机载数据链软件、机载ADS-B设备等,相关设备需根据适航研制流程研制及取证;地面需按照民航相关标准规范要求,完成地面接入软件、地面信息处理软件、地面终端应用软件的研制。另外,为了后期的示范运行及全机队推广,需研究并制定基于天基网络的航班位置追踪顶层政策法规、标准、规范文件,主要包括相关CTSO标准、咨询通告、审定指南、运行规范等;研究并制定基于天基网络的航班位置追踪系统的产品规范、行业标准,主要包括最低性能标准、接口标准、应用标准、通信数据安保标准、入网许可标准等。

(4) 电磁兼容分析

民用飞机加装基于天基网络的机载卫星通信、导航设备,必须要完成装机设备与全机的无线电设备电磁兼容分析,例如加装北斗位置追踪设备需开展与GPS及铱星等全机电磁兼容分析,完成包括装机设备与全机电磁兼容的建模与仿真分析,搭建实验室测试环境并开展干扰场景实验室测试,开展装机设备与干扰设备之间兼容性机上地面试验和机上飞行试验等工作。

(5) 空地系统集成

重点完成空地系统集成测试验证环境的搭建、集成测试及验证,包括基于天基网络的全球航班追踪系统

架构,以及机载L频段卫通子系统、机载Ka频段卫通子系统、机载北斗独立追踪监视子系统、机载数据链子系统、机载ADS-B子系统、地面接入分系统、地面信息处理分系统、地面终端应用分系统以及完整全球航班追踪系统的测试及验证需求,搭建集成测试验证环境,为全球航班追踪系统、设备及软件提供集成测试验证保障和平台,满足其电源供电及过电保护、固定安装、信号激励、综合显示、数据交互及处理、系统及设备间互联互通、测试点设置、数据/音频的采集及监控、故障注入等测试需求;基于系统集成测试验证环境,开展机载设备及软件、地面软件以及完整全球航班追踪系统的集成测试验证,开展基于天基网络的全球航班追踪系统在不同应用场景下的系统、设备及软件需求验证。

7 测试及验证分析

基于全球航班追踪机载数据激励器,项目团队开展了基于天基网络的全球航班追踪原型系统研制,并搭建了实验室原型系统,其地面部分可进行分布式席位和一体化便携式席位部署,整个原型系统支持对运输类飞机、通用飞机、物流无人机3类飞机的航迹追踪,支持天地一体化信息网络L频段卫星、Ka频段卫星、北斗卫星、中星十六卫星、ADS-B星基、数据链等链路的接入,实现飞行计划处理,航迹信息处理、存储、显示、分发以及数据增值应用。

项目团队分别对ADS-B数据和北斗数据进行了全球航班模拟追踪的模拟测试和验证,系统分别模拟10架飞机,每架飞机在模拟航路飞行时通过机载数据激励系统分别发送10 000次ADS-B数据和北斗数据,原型系统对数据进行处理并进行航迹显示。其全球航班模拟追踪情况见表1。

测试时,北斗数据发送间隔为60 s,ADS-B数据发送间隔为2 s,全球航班追踪原型系统测试接收成功率都

表1 ADS-B和北斗全球航班模拟追踪情况

飞机序号	ADS-B数据模拟			北斗数据模拟		
	发送数量/ 次	接收数量/ 次	接收 成功率	发送数量/ 次	接收数量/ 次	接收 成功率
1	10 000	9 977	99.77%	10 000	9 996	99.96%
2	10 000	9 964	99.64%	10 000	9 997	99.97%
3	10 000	9 995	99.95%	10 000	9 987	99.87%
4	10 000	9 944	99.44%	10 000	9 923	99.23%
5	10 000	9 946	99.46%	10 000	9 995	99.95%
6	10 000	9 954	99.54%	10 000	9 954	99.54%
7	10 000	9 959	99.59%	10 000	9 944	99.44%
8	10 000	9 936	99.36%	10 000	9 939	99.39%
9	10 000	9 978	99.78%	10 000	9 998	99.98%
10	10 000	9 988	99.88%	10 000	9 999	99.99%

在99%以上（由于在发送北斗数据时系统负载较小，接收成功率相对较高），飞行航迹稳定、完整。测试结果表明，原型系统满足航班追踪定位4D/15的要求以及每60 s传输一次飞机位置以实现6海里半径的定位需求。

8 结束语

本文研究成果对后期天基网络在民航领域的应用具有一定的示范作用，特别对各类航空器的航迹追踪应用的全系统设计提供了方案及思路借鉴。

参考文献：

- [1] 中国民用航空局. 中国民航航空器追踪监控体系建设实施路线图[Z]. 2017.
Civil Aviation Administration of China. Roadmap for the building and implementation of a civil aircraft tracking and surveillance system[Z]. 2017.
- [2] 中国民用航空局. 中国民航北斗卫星导航系统应用实施路线图[Z]. 2019.
Civil Aviation Administration of China. Roadmap for application of BeiDou navigation satellite system (BDS) in China's civil aviation[Z]. 2019.
- [3] ICAO. International commercial air transport - aero planes eleventh edition: Annex 6 to the convention on international civil aviation, Part I[Z]. 2018.
- [4] 中国民用航空局. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则：CCAR-121-R5 [Z]. 2017.
Civil Aviation Administration of China. Rules on the Certification of Public Air Carriers of Large Aircraft: CCAR-121-R5[Z]. 2017.
- [5] 中国民用航空局. 咨询通告:航空承运人运行监控实施指南(AC-121-FS-2019-133)[Z]. 2019.
Civil Aviation Administration of China. Advisory Circular: Guide for air carrier operation and surveillance(AC-121-FS-2019-133)[Z].2019.
- [6] 刘天华, 王洪全. 天地一体化信息网络在我国民航领域的应用设想[J]. 电讯技术, 2018,58(6):738-744.
LIU T H, WANG H Q. Thought on application of space-ground integrated information network in domestic civil aviation[J]. Telecommunication Engineering, 2018, 58(6):738-744.
- [7] ARINC. Cockpitdisplay system interfaces touser systems: ARINC specification 661-3[Z]. 2007.
- [8] ARINC. Character-oriented air traffic service(ATS) applications: ARINC specification 623-3[Z]. 2005.

【作者简介】



罗斌（1979—），男，硕士，中电科航空电子有限公司工程师，主要研究方向为广域航空信息网络、通信导航监视。



陈俊杰（1983—），男，硕士，中电科航空电子有限公司高级工程师，主要研究方向为民航空管。



崔凯（1985—），男，硕士，中电科航空电子有限公司工程师，主要研究方向为广域航空信息网络、通信导航监视。