

# 面向互联飞机的空天地网络 一体化融合研究

任振东\* 杜稀晖

(中电科航空电子有限公司, 成都 611731)

**摘 要:** 随着数字化技术的发展,民用飞机会在飞行各阶段产生大量数据,这些数据的利用及处理将提升飞机运营的经济性、安全性与舒适性。为了适应未来互联飞机对海量数据交换与传输的迫切需求,满足民用飞机对无线通信服务质量(QoS)的要求,有必要充分利用并合理分配多种现有和未来的空天地无线通信链路资源。分析了互联飞机的概念、生态系统及其对空天地网络的网路需求,研究了地面异构移动互联网采用的紧耦合和松耦合两种融合方法,采用了网络体系融合、IP 网络和非 IP 网络融合及终端融合等多种融合手段,提出了适应于多种通信链路和网络体系特点的一体化空天地无线通信链路的融合架构,并对网络协议栈、网络安全以及集成验证提出了初步考虑。

**关键词:** 互联飞机;异构网络融合;ATN/IPS;分布式无线电

**中图分类号:** V243

**文献标识码:** A

**OSID:**



## 0 引言

随着移动通信技术的迅速发展和应用,互联已随处可见。人们无论在家、办公室,还是在户外、路上都可以通过蜂窝通信、WIFI、卫通和固定网络进行互联。而民用飞机也不再是“信息孤岛”,飞行机组、乘客、包括飞机本身可以与地面和其他飞机进行互联。传统的民用飞机借助先进的移动通信技术逐渐演进成为互联飞机,成为互联网络的一个移动空中节点。

## 1 互联飞机概念和生态系统

互联飞机是工业物联网(IIoT)在航空业的应用,利用数据采集、无线宽带通信、云计算、大数据和 AI 等新技术,采用一系列旨在革新现代飞行的解决方案,从而极大地改善了机队管理、飞行安全、乘客体验、飞机维护、飞行操作、飞机周转时间和成本。

互联飞机及航空公司通过对飞行实时信息的采集、交换和处理,可以为飞行相关方带来以下好处:

### 1) 对于航空公司

- (1) 通过优化飞机运营流程,显著提高飞机周转时间;
- (2) 通过预测维护,显著减少故障排除时间;
- (3) 提供对实时信息的访问,将飞机数据转化为可操作的指标,以提高效率和节约成本。

### 2) 对于飞行员和机组人员

- (1) 提供有关飞行环境的更多信息;
- (2) 协同所有的飞行部门一起工作,通过调度、飞行计划、跟踪和航后部门的数据共享,提高运营机动性;
- (3) 为飞行员提供实时和定制的风和温度信息,提供目的地机场的 3D 动画视图,增强飞行员的态势感知,让他们可以知晓并避免恶劣天气和晴空湍流,提前优化路线,减少飞行时间。

\* 通信作者. E-mail: renzd@cetca.net.cn

**引用格式:** 任振东,杜稀晖. 面向互联飞机的空天地网络一体化融合研究[J]. 民用飞机设计与研究,2022(2):137-143. REN Z D, DU X H. The convergence technology of air-space-ground networks for connected aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research,2022(2):137-143(in Chinese).

### 3) 对于地面和维护人员

(1) 保持最佳的工作效率和飞机的最佳状态,减少飞机在地面的时间和成本;

(2) 根据实时天气数据及飞行员决定对到达时间的影响分析,调整准备工作;

(3) 在飞机着陆前确定需要维修或更换的部件,并在需要时确保有备件可用;

(4) 通过预测维护,可将故障排除时间大幅减少。

### 4) 对于乘客

(1) 缩短航行时间,提高航班准确率,减少空中颠簸;

(2) 可以实时接入 Internet,丰富机上娱乐。

实现互联飞机的丰富功能和优点,需要空地多系统协同工作,利用多种空天地通信链路,增强空地应用服务,构建航空互联生态系统。互联飞机生态系统架构如图 1 所示。

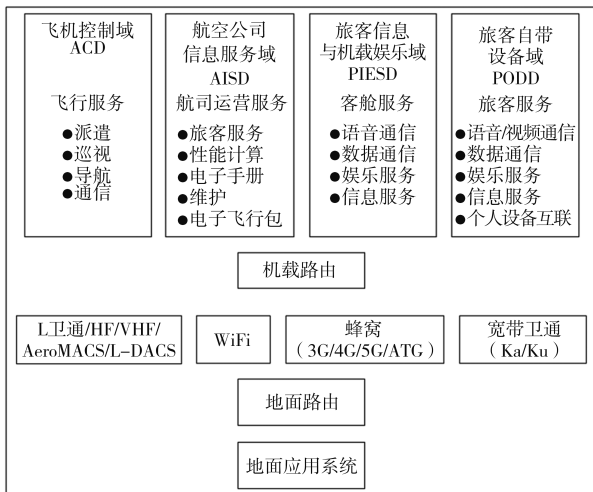


图 1 互联飞机生态系统

## 2 互联飞机对空天地网络需求

据 IATA 估计,目前每天有超过 10 万个航班起降,到 2035 年全球航空旅行人数可达 72 亿人次,是目前的两倍。每架飞机在飞行的不同阶段都会产生大量的数据。每个航班会产生几百 GB 的数据,飞机已经逐渐成为一个飞行的“数据中心”,而且未来新的机型会产生更多的数据。虽然现在不需要把所有数据都下载到地面,但是将机载数据下载到地面的需求正在持续增加。这些需求不仅对未来空域使用带来极大压力,同时也是对空地无线通信的极大

挑战。

以前民用飞机采用 VHF、HF 数据链进行空地数据交换,但是传输速率很低。之后 Inmarsat L 波段卫星通信 SBB 服务部署使用,速率最高可以达到 432 kbps。铱星系统也为民用飞机提供通信服务。近些年, Ka、Ku 波段卫星通信系统、ATG (Air to Ground) 通信系统也逐步投入使用,速率最高可以达到 30 Mbps ~ 50 Mbps。同时航空公司也利用地面 WIFI 系统、移动运营商的 3G\4G 网络为飞机提供通信服务。随着技术的发展,后续还有新型的空地通信系统(例如 L-DACS、AeroMACS、5G 网络等)可为飞机提供通信服务。因此为了满足全球民用飞机日益增加的数据传输需求,国际上主要空地通信服务商 SITA 和 ARINC 公司的解决方案是多链路通信生态系统(multilink communication ecosystem)。这种多链路的通信系统实际上就是利用航空专用通信网络和公用通信网络等多种异构无线通信网络,针对互联飞机的数据交换需求,融合构建一种空天地互联网络。

面向互联飞机的空天地网络的主要特征如下:

- 1) 平台开放,即提供易于扩展新型通信链路系统的通信平台;
- 2) 跨域互联,即实现多个机载系统信息顺畅交互;
- 3) 泛在通信,即实现飞机随时随地与地面无缝宽带互联;
- 4) 多链融合,即提供智能路由选择和高效传输服务;
- 5) 网络安全,即为飞机空地互联提供安全保障。

## 3 空天地一体化网络融合方案

### 3.1 异构移动互联网融合方式

异构移动互联网的融合方式包括网络体系的融合、组网的融合及终端的融合等。

异构移动互联网网络体系间的融合方式,最早是 ETSI 在其宽带无线接入网络(Broadband Radio Access Network, 简称 BRAN) 计划中针对 Hiper-LAN/2 提出来的,按照网络之间融合的紧密程度一般可以分为紧耦合和松耦合两种方式,如图 2 所示。虽然 ETSI 在最初的定义中只考虑了 UMTS 与 WLAN 这两种无线网络融合的情景,但其实现方法

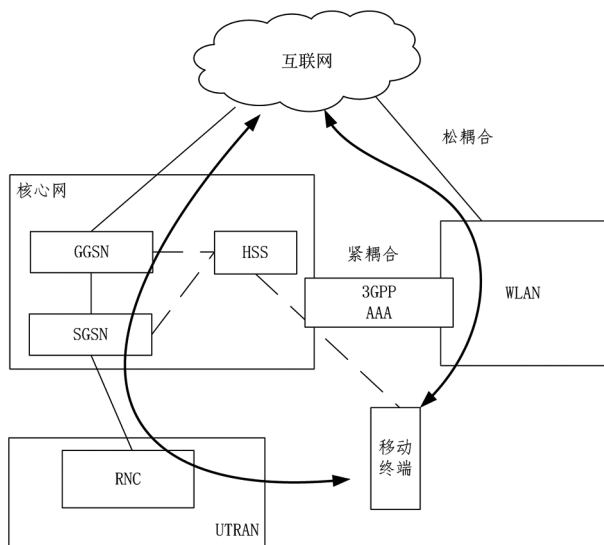


图 2 异构网络融合方式

同样适用于其他多种异构无线接入网络相互融合的场景。

### 3.1.1 紧耦合方式

紧耦合方式是指各异构无线接入网络一般会存在从属关系。例如在将 UMTS 系统与 WLAN 系统进行紧耦合时,考虑 UMTS 网络提供广域覆盖,WLAN 网络提供热点宽带接入,一般是采用 UMTS 作为主网络,而 WLAN 作为从属网络。WLAN 中的接入节点需要通过专用接入网关接入 UMTS 网络中。该专用接入网关需要实现所有符合 UMTS 系统无线接入相关的协议功能(如认证、授权、移动性管理等),所以 WLAN 系统可以看作是 UMTS 系统的一个无线接入子网。WLAN 网络与 UMTS 网络使用和共享 UMTS 网络信令协议及所提供的认证、授权和计费(AAA)功能,同时 UMTS 和 WLAN 多模终端在网络之间的垂直切换也由 UMTS 网络的移动性管理功能来实现。

### 3.1.2 松耦合方式

松耦合是指各无线接入网络关系对等、相互独立、不存在从属关系,接入控制方式、数据路由方式、移动性支持、计费方式和安全机制不同。松耦合方式尽可能地保持各种无线接入网络的独立性,减少各个网络之间的信息交互,可以方便地对不同的无线接入系统进行互联。

松耦合方式根据互联的实现方式可以分为以下三种:

1)各种无线接入网络都通过专用的网关与其

他无线接入网络互联。

2)由第三方建立和运营一个共用的核心网络,将各种异构无线接入网络都连接到该共用的核心网络中,从而实现各无线接入网络之间的互联。

3)建立共用的核心网络,与第二种方式的区别在于其利用 Internet 作为统一的核心网络,并采用 IP 协议作为各异构无线网络之间的互联协议。这种基于 IP 协议的异构无线网络融合方案特点是,各种无线接入技术是相互独立的,共用核心网络能够隔离各种无线接入网络的异构特性,并向上层应用提供统一的网络接口。这种松耦合方式充分利用了现有的 Internet 网络基础设施,构建基于云平台的核心网络,可以极大地降低网络融合的建设成本。

## 3.2 面向互联飞机的空天地一体化网络融合

提供空地通信服务的无线通信网络从不同角度可分为:公网(如 4G/5G 网络、L/Ka/Ku 卫通)和专网(如 VHF、HF、ATG、AeroMACS 等);基于 IP 的无线网络(如 Ka/Ku 卫通、ATG、AeroMACS 等)和非 IP 网络(如 ACARS);有为 ACD 域和 AISD 域安全业务服务的高安全通信链路(如 VHF、HF、L 卫通 Safety 服务、AeroMACS 和 L-DACS 等),这类通信链路的设计安全等级 DAL、网络安全及完整性符合安全业务传输要求;也有为其他域非安全业务服务的商业通信链路(如 ATG、Ka/Ku 卫通等)。

因此面向互联飞机的空天地一体化网络融合设计,需要考虑基于 IP 的异构网络融合,还要考虑非 IP 和 IP 异构网络融合,同时也要保障数据传输的安全性等。

### 3.2.1 网络体系的融合

前述对 ETSI 的融合方案分析,从空地无线网络技术差异比较和多个运营商的角度来看,松耦合方案较紧耦合具有更大优势。空天地一体化网络融合可以采用松耦合的方式进行设计,方案如图 3 所示。

总体而言,为互联飞机提供空地服务的大部分无线网络技术和架构差异较大,例如机场 WIFI、4G/5G、AeroMACS、卫通等,而且一般来说也是由不同的运营单位提供,因此可采用前述第一种松耦合的方案。不同网络之间可通过机载路由/网关或地面路由/网关进行互联。

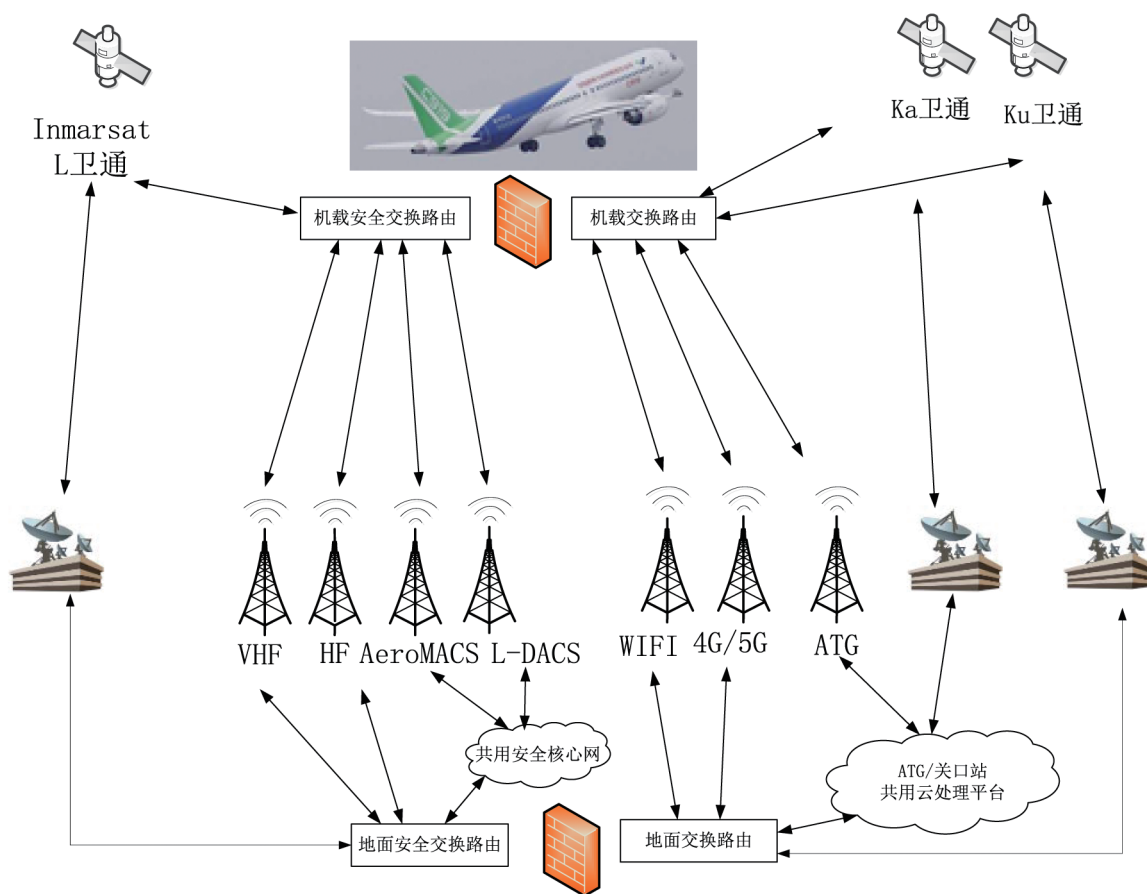


图3 面向互联飞机的空天地网络融合架构

而部分技术和架构相似的无线网络之间可以考虑采用前述第二或第三种松耦合方式,例如:同时采用LTE或5G主要网络架构的ATG和Ka卫通,或者是同时采用WIMAX或未来5G网络架构AeroMACS和L-DACS。而且这些无线网络可能会由同一运营商提供服务,便于统筹建设,但需要考虑安全链路和非安全链路接入的核心网络进行分离。

Inmarsat 公司为民机提供的空地宽带通信网络使用了ATG和Ka卫通两种网络,由于这两种网络都是基于4G/LTE架构,因此Inmarsat对两种网络进行了融合设计并共用了EPC核心网。

目前网络虚拟化成为5G系统的发展趋势,未来基于5G网络架构的Ka卫通和ATG网络可以共用同一个云平台实现核心网功能,从而协调彼此之间的服务提供、频谱配置、干扰管理、用户移动性管理等信息,实现地面ATG/5G网络与卫星网络协同融合为终端提供服务。

整个空天地一体化网络由多个机载网络、空地无线网络和地面网络构成,涉及多个网络之间协议的转换。图4是空天地一体化网络协议栈的初步考虑架构图。空天地网络考虑主要采用标准IP协议实现,其中涉及传统非IP协议ACARS传输通过协议转换方式实现。

多个异构链路融合的一个重要方面是链路切换功能。一体化网络链路切换考虑采用IEEE802.21 MIHF技术。MIHF功能驻留在机载/地面路由以及链路设备中,MIHF为网络管理和链路之间提供一个统一接口,并提供链路的最大吞吐量、误包率、数据排队状态和传输时延等重要信息供路由进行实时、动态决策。目前新一代航空无线通信链路都是基于IP协议设计,包括AeroMACS、L-DACS、Ka卫通及未来新的链路等,随着未来空地数据交换需求增加,利用MIHF或类似技术便于一体化网络扩展集成新的通信链路。

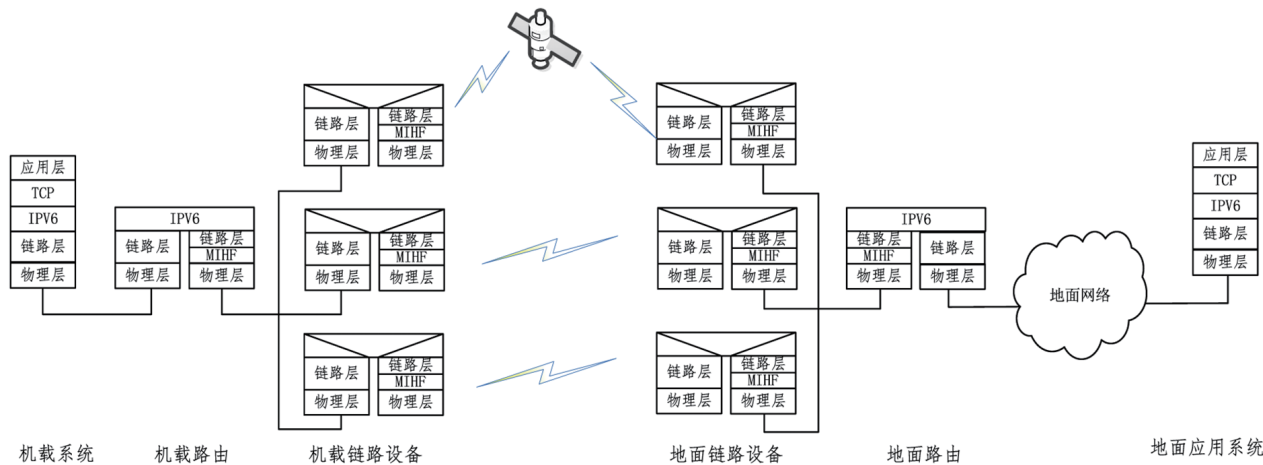


图 4  空天地一体化网络协议栈架构

3.2.2 IP 网络和非 IP 网络的融合

航空空地通信系统传统是采用 ACARS 和 ATN/OSI 等非 IP 协议,随着数据空地交换需求的迅速提升,原有的协议及网络已不能满足要求。ICAO、RTCA、ARINC 等组织及工业部门共同提出利用 IP 技术构建 ATN/IPS 协议,用于未来航空空地通信网络服务。同时,考虑到技术过渡和对传统空地网络的充分利用,需要对 IP 网络和非 IP 网络进行融合设计和兼容,融合考虑如图 5 所示。

1) ACD 域的传统 ATN/ACARS 应用,除可以使用 ATN/ACARS 协议及传统非 IP 链路,还可以通过 IPS 协议 Dialogue Service 服务进行协议转换并使用高安全 IP 链路。IPS 网络也可以通过 AV-LC (Aviation VHF Link Control) 转换使用传统非 IP 链路。

2) ACD 域的传统 ACARS 非安全应用还可以通过 ACARS over IP 的方式,使用 IP 链路 (Ka/Ku 卫通,蜂窝 4G/5G、ATG)。

3) AISD 域的 EFB、AOC、ACMS 等非安全应用,可直接利用 IP 协议和网络进行空地传输,还可使用传统 ACARS 网络和链路。

3.2.3 终端的融合

传统机载链路设备都是独立 LRU 形式,包括 VHF 电台、HF 电台、机载 L/Ku/Ka 卫通设备、机载 ATG、WIFI 和蜂窝通信终端等。随着大规模集成电路和基于软件无线电技术的迅速发展和日益成熟,可以采用通用的射频前端架构和共用的处理平台,对各种通信终端进行融合,降低相应设备成本,尺寸、重量、功耗 (SWaP),减少系统和飞机集成时间和复杂度。

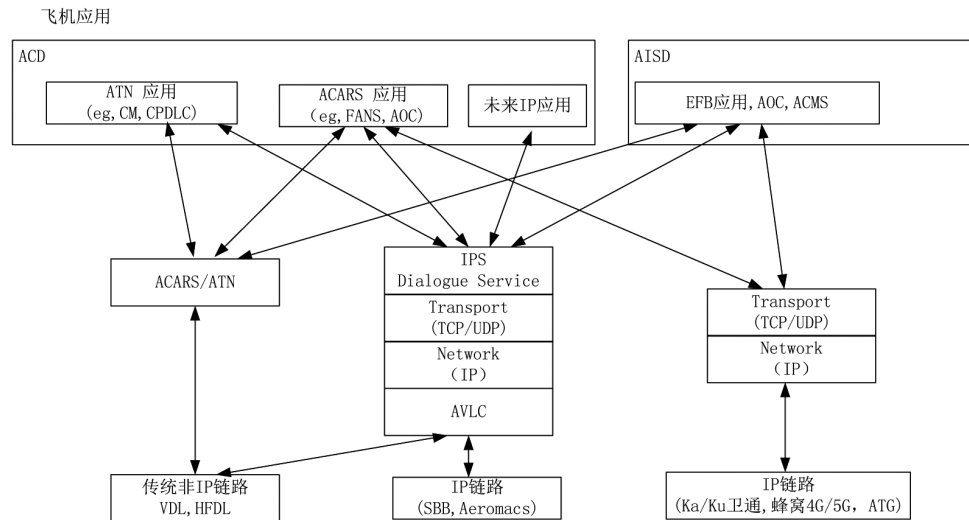


图 5  IP 网络和非 IP 网络融合

通用软件无线电架构可应用于民机通信、导航及监视系统中多种无线电设备。通用软件无线电架构如图 6 所示。射频前端主要包括:天线、HPA 和 DLNA 等部件;收发信机主要包括:射频电路、AD 和 DA 等部件;处理功能主要包括:FPGA、DSP、接口及编解码、协议栈及应用等部件和功能;基于通用的架构,可以实现 ARINC678 中建议的机载分布式无线电架构。机载多种无线通信终端融合架构如图 7 所示。

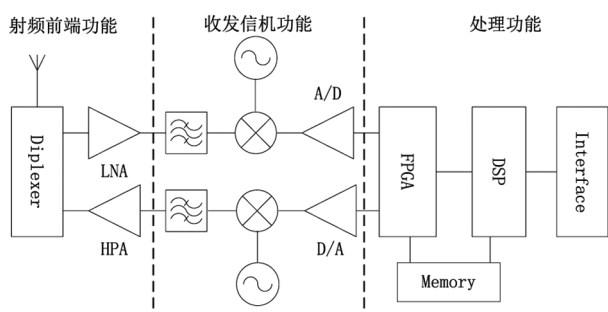


图 6 机载通用软件无线电架构

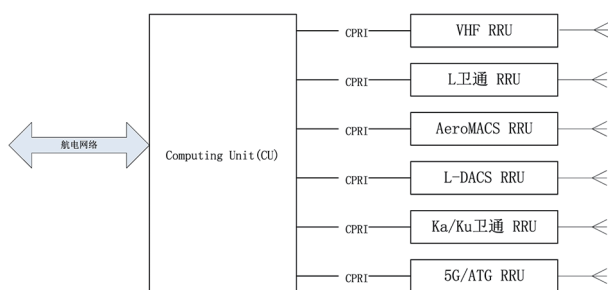


图 7 机载无线通信终端融合架构

基于通用软件无线电架构,可以考虑将部分无线电设备的信号处理、协议栈处理、应用等功能集中到 Computing Unit(CU)中进行处理。将射频前端及收发信机功能合成 RRU(Remote Radio Unit),尽量在靠近天线的位置进行安装。CU 和 RRU 之间通过 CPRI(common public radio interface)接口进行连接。

这种融合设计既可以充分利用 CU 的处理资源、减少构型,同时又可以减少射频信号损耗及缩短射频电缆重量等。

### 3.2.4 网络安全

空天地网络的融合带来的一个问题是网络安全问题。民机适航网络安全过程 Airworthiness Security Process(AWSP)定义网络安全(Security)是指当飞机受到非授权网络干扰或攻击时,能够保证飞机处

于安全运营状态。

按照 ARINC811 的划分,ATS 和 AOC 属于安全通信功能,AAC 和 APC 属于非安全通信功能。除承载 ATS、AOC、AAC 和 APC 功能的各网络域需要防火墙等措施作为边界保护,涉及安全通信功能的 ATS 和 AOC 功能需要受法律、规章管理和保护的频率及相应的链路进行传输,包括 VHF、HF、L 卫通 Safety 服务、AeroMACS 和 L-DACS 等高安全链路和服务。因此,网络安全架构中可能会包括两个路由,一个安全路由是为 ATS 和 AOC 管理安全无线链路并提供 QoS 服务,另一个是为 AAC 和 APC 提供服务。在具体网络系统设计时,应按照 RTCA DO-356A Airworthiness Security Methods and Considerations 的要求进行风险分析和评估,并设置相应的安保措施进行保护。

### 3.2.5 集成验证考虑

空天地一体化网络涉及多种空地链路、机载设备和地面网络,在具体实现前有必要通过分步仿真和实验室验证进行技术成熟度评估。

系统仿真主要是模拟大量飞机节点的场景下,仿真系统所涉及的网络协议和算法,评估系统的网络传输性能。

实验室和试飞验证主要是选择一架飞机节点和小规模机载及地面网络实物系统,主要目的是验证在真实环境下各链路切换的性能及对典型应用的影响。

## 4 结论

随着 Inmarsat Ka 卫通、中星十六 Ka 卫通、5G 公网等通信链路逐步建设和投入应用,AeroMACS 及 5G ATG 正在开展实验网络验证,L-DACS 正在开展研究,对于多种空天地网络的充分、有效融合利用势在必行。同时也必须重点考虑基于 IP 通信和融合带来的网络安全问题,将网络安全架构作为系统架构一个重要方面进行研究和设计。

### 参考文献:

- [1] 中国民用航空局. 2019 年民航行业发展统计公报[R]. 北京:中国民用航空局,2020.
- [2] BRIAN P. Air travel markets over the next two decades[R]. Genève:IATA,2016.
- [3] HONEYWELL INTERNATIONAL. Honeywell connected aircraft report[R]. Honeywell International Inc,2018.

- [ 4 ] 严林芳,马双云,叶军晖,等. 智能化民用飞机概述 [J]. 民用飞机设计与研究, 2017(3):130-134.
- [ 5 ] 曹全新. 机载信息系统的应用研究及发展趋势初探 [J]. 民用飞机设计与研究, 2014 (1):72-76.
- [ 6 ] 刘千里,魏子忠,陈量,等. 移动互联网异构接入与融合控制[M]. 北京:人民邮电出版社,2015.
- [ 7 ] 汪春霆. 卫星通信与地面 5G 的融合初探(一)[J]. 卫星与网络, 2018, (9):14-21.
- [ 8 ] 牛文生. 基于天地一体化信息网络的智能航空客运系统[J]. 航空学报, 2019, 40(1):522415-522415.
- [ 9 ] 陆晓刚. 民用航空空地通信应用和发展[J]. 中国新通信, 2016,18(5):22-23.
- [10] AEEC. INTERNET PROTOCOL SUITE (IPS) for aeronautical safety services roadmap document;ARINC report 658[S]. USA:SAE,2017.
- [11] AEEC. Guidance for distributed radio architectures; draft 4 of ARINC project paper 678 [S]. USA:SAE, 2021.
- [12] AEEC. Commercial aircraft information security concepts of operation and process framework;ARINC report 811 [S]. USA:SAE,2005.
- [13] RACT. Airworthiness security methods and considerations; RTCA DO-356A [S]. USA: Radio Technical Commission for Aeronautics, 2018.

#### 作者简介

**任振东** 男,本科,高级工程师。主要研究方向:民用飞机通信导航系统。E-mail: renzd@cetca.net.cn

**杜稀晖** 女,本科,工程师。主要研究方向:民用飞机客舱系统。E-mail: duxh@cetca.net.cn

## The convergence technology of air-space-ground networks for connected aircraft

REN Zhendong\* DU Xihui

(CETC Avionics Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

**Abstract:** With the development of digital technology, civil aircraft will generate a large amount of data at various stages of flight. The utilization and processing of these data will improve the economy, safety and comfort for aircraft operation. In order to meet the urgent requirements of future connected aircraft for massive data exchange and transmission, and to meet the Quality of Service (QoS) requirements of civil aircraft for wireless communication, it is necessary to make full use of and rationally allocate a variety of existing and future air-to-ground wireless communication link resources. This article analyzes the concept of connected aircraft, the ecosystem and its network requirements for the air-space-ground networks, researches the two convergence methods of tight coupling and loose coupling adopted by the ground heterogeneous mobile Internet, adopts a variety of integration methods such as the system integration, IP network and non-IP network integration, and terminal integration, proposes a convergence architecture of air-space-ground wireless communication links suitable for the characteristics of communication links and network systems, and the preliminary considerations for network protocol stack, network security, integration and verification were put forward.

**Keywords:** connected aircraft; heterogeneous networks convergence; ATN/IPS, distributed radio architectures

\* Corresponding author. E-mail: renzd@cetca.net.cn