

航空电子系统核心处理平台架构发展研究

严 龙, 朱国锋, 曲国远, 彭庆义

(中国航空无线电电子研究所, 上海 200241)

[摘要] 历数航电核心处理平台架构当前面临的问题, 总结演进历史, 针对新式场景需求, 同时结合领域技术发展趋势, 梳理相关架构标准规范, 论述了未来航电架构发展的关键特征, 提出了支撑新一代航电系统核心处理平台架构的关键技术, 为其后续发展方向与实施计划提供指导思路。

[关键词] 航空电子系统; 核心处理平台; 综合模块化航空电子; 开放式架构

[中图分类号] TP311.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1006-141X(2021)03-0023-07

Research on the Architecture Development of Avionics System Core Processing Platform

YAN Long, ZHU Guo-feng, QU Guo-yuan, PENG Qing-yi

(China National Aeronautical Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200241, China)

Abstract: Current problems of avionics core processing platform architecture are enumerated and its evolution history is summarized. According to the requirements of new scenarios and the trend of related technological development, the key characteristics of the future avionics architecture are summarized and the relevant architecture standards are sorted out. The key technologies of the core processing platform architecture are discussed, which provides a guidance of future development direction and implementation plan for the new generation avionics system.

Key words: avionics system; core processing platform; integrated modular avionics; open architecture

自莱特兄弟的“飞行者1号”试飞成功以来, 人类航空器已经历了百余年的快速发展, 从固定翼机到旋翼机, 从大型运输机到轻量无人机, 天空中已划过种类繁多形态各异的飞机。航空电子系统(简称“航电系统”)涉及显示、导航、通信、数据输入与控制、飞机状态与外感知等多个方面, 在当今数字化、信息化、智能化飞速发展的时代, 该系统在飞机组成中的作用也越发重要。

然而存在的问题和需要调和的矛盾也越发突显,

未来机载设备跨平台、多场景复用等需求也越发强烈; 机载系统一些细分领域资源整合度低, 互联互通和可复用能力不足; 系统内部耦合紧密, 外部交联缺乏统一规范; 组件可移植性较低、增量升级能力不足等。随着飞机复杂度不断提升, 其驻留功能种类和数量也在不断增加, 传统设备和技术难以满足新型功能和应用, 同时航空多领域亟需人工智能、微电子、计算机、网络等多领域的前沿技术与方法的使能加速。

收稿日期: 2021-05-25

引用格式: 严龙, 朱国锋, 曲国远, 彭庆义. 航空电子系统核心处理平台架构发展研究[J]. 航空电子技术, 2021, 52(3): 23-

1 历史演进

航空电子系统 (avionics) 是航空 (aviation) 与电子 (electronics) 的结合, 航电核心处理平台是在航电系统模块化、标准化与综合化发展趋势下逐渐形成的概念。波音公司的 B787 飞机航电系统定义的平台包含三个核心元素: 用于支持驻留应用的处理需求的处理模块; 用于支持系统模拟数字等信号采集的接口模块; 用于支持各模块和飞机其他子系统间信息传输的网络组件。航空无线电技术委员会 (RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics) 标准 “DO-297 综合模块化航空电子开发指南及认证考虑” 则对航电核心处理平台的定义作了进一步的细化和扩展: 它是一个或一组包含硬件资源与核心软件的模块, 通过设计和管理为驻留了应用提供计算、通信和接口能力^[1]。平台本身不提供飞机功能, 只是建立计算环境、支持服务以及健康监控和故障管理这类平台相关的能力。其中, 硬件资源包含应用所需的处理器、存储和通信等组件, 核心软件则包含为应用的执行提供资源管理和运行环境的操作系统和支持软件。简而言之, 航电核心处理平台包含航电系统多种功能实现的关键底层组件: 信息收集、处理、通信传输以及底层操作系统。

航电系统自 20 世纪 50 年代出现以来, 依托计算机、软件、通信、传感器、微电子等诸多领域技术发展的推动, 以及应用场景的变化和驻留功能的扩展与综合, 航电架构与内涵不断演进^[2]。与此同时, 核心处理平台的特征与关键技术也在不断发展变化。本文以航电系统发展为框架, 介绍不同阶段典型航电系统架构和所涉及的核心处理平台特征。

1.1 早期架构

1.1.1 分立式航电

20 世纪 40-60 年代, 航电架构采用分立式, 由多个控制系统组成, 每个均由一些独立的控制器点对点连接专用传感器和外围设备, 系统间缺少互联机制, 模拟器件比重大, 设备体积庞大且操作繁琐, 代表机型 F-100。

1.1.2 联合式航电

20 世纪 70-80 年代, 作为数字式航空电子信息系统 (DAIS: Digital Avionics Information System) 的研究成果, 联合式航电架构通过 1553 总线将航电各分系统交联起来, 提升了信息的交互能力, 使各

控制系统间具有了松散的耦合。不过系统综合程度仍旧较低, 系统容错和信息传输能力有限, 代表机型有 F-16 和 A320。

早期航电系统由于资源综合化、模块化程度较低, 同时受制于诸多技术限制, 航电核心处理平台初具雏形, MIL-STD-1750 A, MIL-STD-1589 B 和 MIL-STD-1553 B 便是代表早期平台的典型标准, 其中 1750 A 是计算机 16 位指令系统架构标准, 性能和编程水平都相对较低; 1589 B 是军用高级编程语言 Jovial 的标准; 1553 B 是数据总线传输标准, 由于各子系统间耦合较为松散, 从 429 到 1553 总线, 机载总线的传输能力较弱。

1.2 综合式航电

1.2.1 军机综合式与先进综合式航电

20 世纪 80 年代, 宝石柱 (PavePillar) 计划通过采用具有集成机架、外场可更换模块和液冷散热等技术的公共综合处理机, 提升了系统模块化程度; 通过高性能微处理器和超高速集成电路技术的应用, 提升了设备性能; 通过光纤数据总线提升了信息传输速率; 通过实时操作系统、可重用设计和工程管理等软件技术保证了复杂航空电子软件系统的运行; 传感器综合化、系统容错与重构等能力也有所提升。自此, 综合式航电架构登上空中舞台, 代表军用机型 F-22。

20 世纪 90 年代后, 由宝石台 (PavePace) 计划支撑的先进综合式航电架构在综合式航电架构的基础上作了进一步升级: 扩大了航电范围形成飞机管理系统的概念; 提升了各系统处理与传感器信号处理能力的综合程度; 采用了更加先进的统一网络技术; 引入人工智能相关的多项新技术; 具有更低的全生命周期成本和更高的开放性与可靠性, 代表军用机型 F-35。

为了促进 “宝石台” 计划的实用化, 联合先进攻击技术计划 (JAST: Joint Advanced Strike Technology) 及其后续联合攻击战斗机计划 (JSF: Joint Strike Fighter) 也先后被提出, 通过采用开放式系统结构和双拥货架产品来提升系统可靠性、维修性, 进一步统一了系统的互联接口, 并采用分区从操作系统实现单平台内的通用资源复用。此外, 联合标准航空电子系统结构委员会 (ASAAC: Allied Standard Avionics Architecture Council) 为了降低飞机全

生命周期成本, 改进任务性能和操作性能, 于 20 世纪末 21 世纪初提出了一系列航电标准体系架构, 包括软件、结构封装、通信网络、通用模块以及系统设计指导原则。

1.2.2 民机综合式模块化航电

与此同时, 民用飞机领域的综合式航电架构理念和标准规范也在不断发展。RTCA 于 2005 年批准的“DO-297 综合模块化航空电子开发指南及认证考虑”, 定义了综合模块化航空电子 (IMA: Integrated Modular Avionics) 是一组灵活的、可重用的、可互操作的共享硬件和资源, 当把这些资源综合在一起时, 可以构建一个平台, 该平台能提供各种服务来执行飞机功能的宿主应用, 而这些服务按一组确定的安全和性能需求进行设计和验证^[1]。代表机型包括 B777 和 A380, 其中波音公司 B777 的飞机信息管理系统机柜内包含有核心处理模块、输入输出模块、供电单元, 模块间通过 SAFEBus 互联, 外部系统通过 ARINC 629 和 ARINC 429 通信。空客公司的 A380 则进一步推出了基于域的 IMA 架构, 系统被分为不同的域 (子系统), 并通过基于 ARINC 664 的航空电子设备全双工交换以太网 (AFDX: Avionics Full Duplex Switched Ethernet) 网络进行连接, 同时远程数据集中器 (RDC: Remote Data Concentrator) 将中央机柜的核心处理单元与部分远端信号进行物理分离。该架构方案使得 A380 上的电子设备种类和总重减少近半, 在有效降低成本的同时提升了系统设备的可靠性^[3]。IMA 架构在实践中体现了明显的优势并带来了可观的收益, 但依旧有许多亟需解决的问题, 例如 A380 的 IMA 系统中模块的种类仍旧较多, 核心处理输入输出模块 (CPIOM: Core Processing Input/Output Module) 因未将计算资源和 I/O 接口资源彻底分离带来了一系列问题等。

2008 年, 欧盟扶持了 SCARLETT (SCAlable & Reconfigurable Electronics platforms and Tools) 计划, 该计划旨在将现有 IMA 形态进一步分布化, 并提出了分布式模块化电子单元 (DME: Distributed Modular Electronics), 具有可变规模、可移植、容错和重配置、支持全部航空电子功能、最少种类等特点^[4]。在具体机型的应用中, A350 的 CPIOM 种类进一步降到 2 种, RDC 也由专用型转为通用型。B787 则采用了基于通用核心系统的 IMA 架构方案,

整个 IMA 由通用核心系统、RDC、其他子系统通过 AFDX 网络连接起来, 其中央处理资源机柜将 I/O 从通用处理模块中全部分离, 此外还引入了远程电力控制器 (RPC: Remote Power Controller)。

在 SCARLETT 计划之后, 2013 年推出的 ASHLEY 计划 (Avionics Systems Hosted on a distributed modular electronics Large scale dEmonstrator for multiple tYpe of aircraft), 又作了进一步的推进和扩充: 将 DME 理念进行更大范围的应用, 在大型飞机平台验证并推进其适航认证; 开发系统集成工具链, 研究基于模型的系统架构评估和动态仿真技术; 开展多核处理器在安全关键领域的应用、高安全性确定性网络传播机制、电力线载波和光能驱动技术在机载环境的应用等研究。

伴随着航电系统综合化、模块化水平的提升, 理念的进步以及各支撑技术的飞速发展, 航电核心处理平台也不断演进^[5]。处理器架构从 16 位到 32 位再发展至 64 位, 以满足更高速度的处理需求, MIPS、PowerPC 和 Intel 等的高性能商用货架产品越来越多地应用于航空机载领域; 高级编程语言 Ada 由于透明度高、可读性好等优点在军民机种均有应用, 而具有广泛应用基础和健壮生态的 C 语言如今也成为了机载领域的主力; 操作系统方面, 核心处理平台由于其资源受限和任务的强实时性, 主要采用如 INTEGRITY RTOS 和 VxWorks 等操作系统; 机载网络方面, 具有良好抗电磁干扰能力和极高信息传输速率的机载光纤总线, 以及具有高确定低延时的 AFDX 网络已成为该阶段机型的主流选择。航电系统的应用代码执行能力已有了巨大的提升, 高性能处理资源和总线网络以及高安全操作系统是该时期核心处理平台的重要特征。

1.3 分布式综合模块化航电

纵观 IMA 的发展, 自第一代 IMA (IMA 1G) A380 推出, 再到以 SCARLETT 和 ASHLEY 计划为支撑的一代半 IMA (IMA 1.5G), 从发展情况而言, 无论是目标的完成情况、关键技术的成熟度以及新一代架构标准规范的制定等, 均有待进一步完善。伴随着航电架构综合化、模块化程度的不断加深, 分布式 IMA (DIMA: Distributed Integrated Modular Avionics) 渐渐走进视野^[5]。

相对于传统的集中式架构, 分布式架构的直观

差异首先体现在物理形态上,不同于ASAAC标准相关的大型集中式机架,分布式机箱形态从航空运输机无线电设备机箱(ATR: Air Transport Radio)到可更换标准设备(MCU: Modular Concept Unit),体积更小的同时综合模块化程度更高,分散安装需要的线缆更少,模块更靠近传感器/作动器,故障传播屏蔽能力和系统容错有所提升,配合平台的重构和容错机制,架构的适应性和规模可变能力增强。发展中的核心处理平台在物理层面更加分布,底层资源借助于网络和操作系统中间件进行共享管理,功能则进一步得到综合。越来越多的高性能异构计算资源的加入,提升了平台对不同应用的处理能力,互联互通互操作需求的增强也促进了统一网络的研发。在保证实时和安全的前提下,为了更好地利用多种资源,操作系统分区、虚拟化以及其他通用中间件技术也在积极地推广应用。同时,分布式对设备的环境适应性和通信响应延迟等也提出了更高的要求,分级分布处理的逻辑也对系统的高效性与可靠性带来了新的问题,此外还有前端射频综合化以及其他尚未解决的问题,对此,推出更加开放和敏捷的航电核心处理平台架构并形成相应关键技术的需求愈加迫切。

2 未来趋势与特征

架构主要包含元素、形式、关系/约束三大要素,是系统组织关系的抽象表达,它体现了系统组件之间的关系、组件与环境的关系以及系统设计与演进的基本原则^[7]。稳定优异的航电系统是确保飞机安全飞行和完成任务功能的重要前提,而高性能、高可靠、灵活高效的核心处理平台则是航电系统的重要支撑。伴随着政治、经济环境的发展与战略形势的变化,军用飞机面临着跨平台、分布式、有人/无人协同、智能空战等新型作战样式与场景的挑战,民用飞机也在不断挑战高完整、高可靠、复杂系统开发集成验证等课题,本章针对未来航电核心处理平台架构的一些典型特征作论述。

2.1 即插即用

飞机系统复杂性不断攀升的同时,面临着开发升级周期与成本需要进一步降低的问题,以及支持任务快速部署、规模灵活扩展、多场景复用等需求,即插即用将是航电核心处理平台架构的重要特征,

其内涵不仅体现于时间属性的敏捷,还涉及底层资源、配置升级、功能应用支持、协同组网等多个层面,主要具有分级分布、开放式、标准化、模块化、综合化等特性。

航电核心处理平台架构的演进,已逐渐朝向分级分布的形态发展,分级体现于架构纵向间的解耦,从底层硬件到核心软件再向上,同层横向整合形成平台,对外建立标准接口形成服务理念,在增强可移植性的同时提升资源整合与复用能力。分布则包含物理层面的空间分布,以及控制逻辑层面的分布式概念,借鉴云计算、分布式系统等技术和理念提升传统机载集中式处理的整体性能。开放式既包含架构及内部组件和外部接口的开放,又包含系统组合配置的开放,同时还有采办环节、供应商所构建生态的开放。设计层面的标准化包括硬件、核心软件、电气和机械模块及相关接口具有统一、标准的定义,它们是系统架构实现解耦、开放和综合等目标的前提。此外,整个平台设计、集成、验证等环节涉及到的方法和过程也同样需要标准化。作为综合化航空电子的基本特征,“综合化模块化”伴随着航电的发展也展现出了新的特性。模块、组件的标准化、通用化,促进了组合化和综合化,而结合开放式、高内聚低耦合等特点和未来应用场景,综合化还增添了底层资源综合、多维信息综合、平台整合等内涵。

具有上述特点的即插即用航电核心处理平台架构,能够有效缩减系统全生命周期研发时间和成本,提升可靠性、可维护性和研发效率,并具有良好的可扩展性与增量升级的能力,与智能化共同为体系化发展筑建坚实的基础。

2.2 智能化

新一波的人工智能浪潮正在席卷全球,随着深度学习 and 大数据等新兴技术在航空系统的应用,机载核心处理平台的性能要求也不断提升,借助于先进的系统封装(SIP: System In a Package)和芯粒(Chiplet)等技术可使其朝着高集成、高性能、低功耗、小封装的方向发展。而机载人工智能应用的快速部署和计算加速,也需要开放式异构智能处理架构来融合CPU、GPU、NPU、FPGA等多种计算资源。此外,随着系统分层解耦和面向服务理念的进一步深入,顶层应用可能面对的将是数量可观的服务包,而上层服务面对的可能将是海量的计算、存储和网

络等资源, 需要微服务、平台化、中间件等理念与技术支持灵活高效的智能管理与调度。

虚拟现实、增强现实等技术和智能辅助设备能够为座舱显控系统提供更为多元的交互与沉浸式体验, 智能增强显示、语音控制、体感交互等可有效提升信息感知和用户体验, 在减轻飞行员负荷的同时增强对人身安全的保护能力和飞机任务的执行能力, 面对未来空中环境的海量信息, 飞行员如何在有限的处理能力限制下提高决策效率和质量将显得尤为重要。

2.3 体系化

体系泛指一定范围内或同类事物按照一定的秩序和联系组合而成的整体, 而体系化可理解为将分散的不同个体对象有机的组织起来, 展现出个体层级所不具备的特性和优势。飞机作为复杂系统的典型代表, 其产品和技术的体系化非常重要。核心处理平台作为航电系统的核心处理资源、飞机任务的主要承载者, 在标准化、模块化、综合化的基础之上, 需在时间纵向维度和应用横向维度构建出有序的体系。同时对于军用领域, 体系化也有着重要的意义, 在互联网互通互操作的基础上, 分布式多机种间的任务协同、有人/无人集群协同、跨域协同将展现出传统单机、单平台所不具备的优势, 体现愈发关键的作用。

3 相关标准规范

当前国际上推出了一些针对机载领域的开放式架构标准规范, 涉及硬件资源、核心软件、传感器综合、模块封装和接口的标准化等方面, 与航电核心处理平台具有强相关性, 本章介绍其中几个主要标准规范, 作为未来航电核心处理平台开放式架构标准规范的参照。

传感器开放式系统架构 (SOSA: Sensor Open Systems Architecture) 于 2015 发布, 由 The Open Group 组织维护, 美国多军种和业界公司均参与其制定和应用。SOSA 旨在为跨平台环境的各种多功能平台任务开发一系列模块化开放式系统架构规范, 在保证任务需求快速响应和灵活配置的同时提升成本效益, 促进技术创新和行业参与度, 包含开放式、标准化、和谐、统一、成本效益和可适应性六大目标^[8]。基于 SOSA 标准建立的架构具备互操作性、

安全性、模块化、兼容性、可移植性、即插即用、可升级性、可扩展性、可适应性等特点。其对象涉及传感器, 物理元素 (包含背板、子卡、硬件和软件模块等), 物理平台 (涉及功能、散热、网络连接、信号接口、管理等)。

在系统管理方面, SOSA 主要包含发现、配置、控制、健康管理和安全管理, 具体分为基于网络的系统管理和带外管理。在硬件系统管理方面, SOSA 参考了 ANSI/VITA 46.11 标准, 对于每一个底座, 通过专门的智能平台管理总线 (IPMB: Intelligent Platform Management Bus) 将硬件设备驻留的智能平台管理控制器 (IPMC: Intelligent Platform Management Controller) 连接起来。

在硬件方面, SOSA 针对不同的传感器和平台定义了诸多下至子卡级的基础模块——具有标准的外部接口同时又保护内部知识产权的“灰盒”, 具体标准规范参照了硬件开放式系统技术 (HOST: Hardware Open Systems Technology), 以及 VITA42、46、48、57、62、65、67 等多个行业标准, 硬件形态上主要采用标准的 3U、6U 模块及标准扩展子卡, 传感器接口则参照 SAE AS 6169 等规范的定义。

在软件方面, SOSA 规定操作系统需满足 POSIX 和 ARINC 653 要求, 软件运行时环境接口参考未来机载能力环境 (FACE: Future Airborne Capability Environment), 一套同样由 the Open Group 维护的用于软件通用操作环境开发、提升软件产品标准化和可移植性的指导规范。FACE 架构将软件分为五段 (层), 分别是操作系统段、输入输出服务段、平台特定服务段、传输服务段和可移植组件段^[9], 借此将架构层次清晰化、系统化, 让硬件设备、通信和软件服务等模块松耦合, 提升各单元的独立程度和可移植与可复用性。此外, 针对不同安全等级的应用, FACE 也对相应的配置文件作了针对性的约束和要求。

除上述标准规范之外, 还有开放式任务系统 (OMS: OpenMission System), 通过创建关键抽象层、定义软件服务 API 和航电系统服务总线, 将主任务系统和载荷任务分立, 提升可移植、互操作和快速部署能力; 模块化开放式射频架构 (MORA: the Modular Open RF Architecture), 旨在通过分层

解耦射频系统、定义射频链标准化控制接口和规则，让其更加高效、灵活、可移植、可扩展。

纵观上述开放式架构相关标准规范，它们涉及传感器、硬件、软件、系统、任务、工程过程方法等多个领域，彼此之间都有着紧密联系^[10]。这也深刻地体现了“开放式”的理念，彼此按照既定的规则组织联系，既激励新技术理念的应用，同时也考虑现有产品的可持续升级；既注重自主知识产权的保护，又强调相互间的和谐与兼容；既降低系统研发周期和成本开销，又平衡多方利益促进生态繁荣。

4 关键技术

航电架构重要特征的体现，以及标准规范原则目标的执行与达成，需要通过一系列关键技术支撑进一步下沉到核心处理平台。

4.1 微系统技术

随着资源综合化、模块化的不断提升以及分布式的部署，需将多种资源高度集成，实现模块的小型化和通用化。微系统是以微米/纳米量级内的涉及和制造技术为基础，集成微电子、光电子/光子、微机电系统（MEMS: Micro-Electro-Mechanical System）/纳米机电系统（NEMS: Nano-Electro-Mechanical System）等多种器件，适合以低成本和大批量生产的微小型化系统，其技术涉及片上系统、微电子机械系统、光学微系统及系统封装等领域与技术。

基于微系统技术的新型架构，能够将多种先进技术高度集成，将具有信号处理、智能数据处理、存储等特定功能的模块化微芯片以类似“拼图”的方式组合，将传统各自独立的信息采集、处理、命令执行等功能在更微小的尺度下融为一体，为各项技术在航电领域的发挥提供舞台，在降低产品尺寸、种类与成本的同时加速系统性能的提升，推动航电组件小型化和分布式的发展。

4.2 统一网络技术

伴随着飞机航电系统的发展与架构的演进，机载网络技术也发展出了 ARINC 429、ARINC 629、1553、1394、FC-AE、ARINC 664 等多种网络标准协议及技术分支，面对未来综合化不断提升的需求，支持不同安全等级和时间关键特性等级的域间通信，支持流媒体、数据和控制业务混合传输，支持即插

即用、体系化异构互联，统一协议网络技术将在为不同功能业务领域提供不同带宽、时间与可靠性的通信传输中扮演重要角色。

4.3 虚拟化技术

对于如何实现系统架构的高内聚低耦合，虚拟化技术是一个重要手段。基于 Hypervisor 等虚拟化中间件的物理资源虚拟化技术可以有效实现物理资源、操作系统及应用软件三者的解耦，在负载均衡、冗余计算等技术的协助下满足不同任务应用的环境需求，在满足安全要求的前提下提升资源平台容错能力、资源利用率和可扩展性。

面对未来座舱显控沉浸式、智能化人机交互的趋势，机载显控也朝着多任务、虚拟化、多窗口显示等方向发展，基于虚拟化技术的显控架构，能够支持多模态交互、多虚拟机协同和高安全资源分配隔离。

此外，近年来基于容器的云计算技术的巨大发展推动了民用商业领域的新一波浪潮，其高效灵活的资源调度管理、应用部署、规模扩展和敏捷的开发运行维护模式，以及平台化、服务化理念，也可为机载领域的技术革新添砖加瓦。

4.4 数字化技术

早在“智能制造”、“工业 4.0”等概念提出时，“数字孪生”等相关词汇就已出现，如今伴随着实践应用的不断深入和诸多相关领域技术的发展，数字化技术也包含了更丰富的内涵。数字化工程是基于多领域信息和模型的、集成一系列数字化技术的、面向全生命周期的活动总和。从概念、设计、制造、测试、维护、交付到生命周期结束，涉及基于模型的系统工程、模型驱动的架构设计、系统资源配置评估工具链、基于模型的系统仿真分析、数字化测试验证、数字化产品线管理以及数字化生态系统建设等内容，它们是复杂系统的设计研发和产品制造的重要保证。

4.5 智能处理技术

智能化作为未来航电架构的重要特征，面对航空装备类型的多样化、应用复杂化以及人工智能的计算需求，在硬件层面，基于 CPU、GPU、NPU、FPGA、DSP 等多元异构计算平台、基于 FPGA 的专用领域智能计算加速单元及相应的资源配置优化与调度技术；在软件层面，支持机器学习、深度学习、

强化学习等智能算法的轻量高性能计算框架及相应的异构资源中间加速技术,以及面向分布式架构的智能计算系统,将让未来航电更富“智慧”。

此外,在信号处理及射频采集综合前端,各方向烟囱式发展、资源共享水平欠缺、性能不足等问题越发突显,随着系统模块化综合化的发展趋势,构建开放式通用化信号处理平台,通用与专用计算并举,横向资源综合、纵向分级解耦,降低模块种类、提升综合化水平。而物理封装作为功能逻辑的载体,支持 VITA 模块和子卡标准、兼容 COTS 货架产品、具备风冷、导冷和液冷等多种散热方式,形态的标准化、小型化和可组合化,是航电架构的综合化、模块化与开放式等特征的直观体现。

5 结束语

本文概述了航电系统的演进历史,针对当前面临的问题和需求,对其未来发展的趋势特征作了分析,同时介绍了开放式架构相关的标准规范,最后阐述了核心处理平台面向未来航电发展所需具备的关键技术。如何协调复杂度与周期、性能与成本、智能与安全等因素,实现齐头发展;如何将科技浪潮下的新兴技术应用到航电领域;如何借鉴商业界成功的技术与工程经验;如何构建开放、和谐、持久、繁荣的生态体系等将是未来航电系统架构发展研究方向。

参考文献

[1]RTCA. Integrated modular avionics (IMA) development guidance and certification considerations: DO-297[S]. Washington DC: Radio Technical Commission for Aeronautics, Inc. (RTCA), 2005.

[2]Shah G. Avionics modification research analysis: from

electromechanical to digital avionics and from digital to integrated modular avionics (IMA)[D]. Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.

[3]Itier, J.B. A380 integrated modular avionics[C]. Network of Excellence on Embedded Systems Design,2007:6-9.

[4]Fuchsen R. Preparing the next generation of IMA: A new technology for the scarlett program[C]. Digital Avionics Systems Conference, USA. IEEE, 2009.

[5]C.R. 斯比策. 数字航空电子技术 [M]. 谢文涛, 编译. 航空工业出版社, 2010.

[6]Annighfer, Bjrn . Model-based architecting and optimization of distributed integrated modular avionics[D]. Germany: Hamburg University of Technology, 2015.

[6]ISO/IEC/IEEE. ISO/IEC/IEEE. Systems and software 42010: Engineering —Architecture description[J]. IEEE, 2011.

[7]The Open GroupSOSA™ Consortium. Technical standard for SOSA™ reference architecture[M].The Open Group, 2020.

[8]Tokar J L. A comparison of avionics open system architectures[J]. ACM SIGAda Ada Letters, 2017, 36(2):22-26.

[9]Shepherd, Karl, Jeremy D. Wills. Avionics open systems architecture standardization[C]. the AHS International 74th Annual Forum & Technology Display, USA, 2018.