

文章编号: 2095-4980(2019)04-0594-05

网络化作战机载射频传感器综合

刘海宁

(沈阳飞机设计研究所, 辽宁 沈阳 110035)

摘 要: 从近年来新型作战概念牵引、机载平台限制、架构发展及技术推动 4 个层面阐述了网络化作战环境中射频综合的必要性, 基于未来作战样式对于射频综合系统的能力特征需求进行耦合分析; 对分立式的异构传感器进行综合设计, 提出射频综合的基本架构方案, 从机载总体角度对射频综合总体、共形孔径、射频管理等关键技术进行分析, 为系统综合设计提供支撑。

关键词: 网络化; 分布式; 射频综合; 架构; 射频管理

中图分类号: TN92

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201904.0594

Airborne integrated radio frequency sensor of network centric warfare

LIU Haining

(Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Liaoning Shenyang 110035, China)

Abstract: This paper expounds the necessity of integrated Radio Frequency(RF) sensors in network centric warfare from the concept of operations, the restrictions of airborne platform, the development of architecture and the promotion of technology in recent years. The integrated radio frequency system characteristics are analyzed based on the ability of future combat pattern, and the basic architecture of radio frequency integrated solutions is proposed based on a comprehensive design of discrete heterogeneous sensors. Finally, the key technologies of integrated RF system, conformal aperture and RF management are analyzed from the perspective of airborne integrated system, which provides support for design of integrated RF sensors.

Keywords: network; distributed; integrated Radio Frequency sensors; architecture; Radio Frequency management

美军近几年先后提出了“网络中心战”“分布式作战”等作战概念, 未来的作战模式也在不断地探索研究, 作战样式层出不穷, 以网络为中心通过分布式协同来实现整体作战效能, 空战观察-定位-决策-行动(Observe-Orient-Decide-Act, OODA)打击链的快速闭环时间进一步缩短; 相比过去以平台为中心的系统设计, 要求系统具有更高的灵活适应性。射频综合系统设计是对新型作战概念的支撑, 传感器系统的综合化程度直接影响对目标的探测定位、融合识别、制导打击各环节乃至系统整体效能。此外综合一体化设计可以降低系统质量、体积、功耗, 减少对平台的能源、热耗需求, 同时射频系统在频谱调度、时间管理、孔径复用、态势感知、同时多任务能力上具有更高的灵活性, 支撑单机或是协同模式下的作战能力生成, 利用全局的动态调配管理实现效能最大化。

1 网络化作战机载射频传感器综合需求分析

现代飞机平台生存能力直接依赖于传感器, 传感器综合性能的优劣直接影响到航电系统乃至平台的整体综合任务效能。随着作战概念的不断更新, 对于作战样式的理解及单机平台的任务能力需求也提出了不同的要求, 下面从作战层、平台层、系统层和元器件几个方面概述机载射频系统综合的必然性。

1.1 新型作战概念牵引

2015 年 6 月, 美军组建“分布式杀伤”工作组, 重点研究分布式概念如何改变未来作战模式^[1]。分布式空中

作战^[2](见图 1)概念的核心思想是不再由当前的高价值多用途平台独立完成作战任务,而是将能力分散部署到多种平台上,由多个平台联合形成作战体系共同完成任务,基于该作战样式,为减少异构平台质量,传感器系统应能够支撑在雷达、电子战之间的动态实时切换,保证系统的同一性和传感器效能的最大化,利用不同软件对孔径进行不同的功能调度,充分发挥载机资源能力。

1.2 单平台的资源限制

作战环境复杂性及不确定性的增加推动着机载航电系统功能样式和性能的提升,新的作战模式对于生存能力、低可探测性、快速OODA 闭环等要求都是简单传感器组合不能达到的。此外,作为探测通信杀伤防护主要支撑基础的射频传感器对作战平台的资源要求也与日俱增,虽然各分系统如雷达、电子对抗设备的综合化、小型化程度在不断推进,但依然是航电系统中质量、体积、电耗、热耗大户。

由于雷达和电子战系统的天线、信号处理等功能模块存在高度相似性,结合软件无线电和微电子技术的发展,对雷达、电子战分系统进行硬件上综合设计、软件上统一调控是充分发挥飞机平台有限资源效能的可行途径。

1.3 多功能综合射频的发展

射频系统由于其特点所在,数据量、传输时延等要求较高,在平台上的实现直接和航电系统处理架构相关,航电系统从分布式到联合式直至综合积木式的演变也主要是从系统的网络构架及射频集成等方面开展。

见图 2^[3], 20 世纪 80 年代,以 F22 为代表的“宝石柱”计划,采用通用、标准的外场可更换模块取代传统的外场可更换单元,实现了传感器的信息融合与综合管理,采用高速数据总线实现系统互连并向网络化方向发展。基于“宝石台”项目的 F35 飞机航电系统架构,相对于“宝石柱”,综合化程度进一步提升,其“多功能综合射频系统”(Multi-functional Integrated Radio Frequency System, MIFRS)中,雷达、电子战及通导识别系统的射频前端部分中频接收机、预处理器等部件共用,共享天线孔径,天线数量由 F22 的 64 副减少至 21 副,将“综合”推进到天线及射频前端,采用宽带射频模块对各个分系统进行集成,大幅降低系统质量。

在软件架构上,2010 年美国提出了“未来机载环境能力”(Future Airborne Capability Environment, FACE)软件架构标准^[4],旨在为军用飞机建立一个开放式架构航电环境,FACE 的理念是将处理过程更加类似于智能手机应用,立足于装备体系的通用性,使符合标准的软件模块能在各种不同航电武器之间复用,有力地破解“软件密集型”装备软件开发难,成本高,互相难以通用,模块难以复用的难题。美军下一代装备将全面采用该标准,而且现役军机升级改造也在全面采用该标准。在先进技术研究方面,美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)结合机载平台对多功能射频系统的作战需求,以及对抗性的电磁环境中作战的需要,提出了“射频任务操作中融合的合作式单元”项目^[5],目的是开发统一的射频系统,能够在通信、雷达和电子战模式之间自适应和灵活切换。

1.4 元器件技术推动

微电子技术是提高军事装备性能和作战效能的核心技术,20 世纪 90 年代以来有源相控阵雷达成为主流,其 T/R 组件的研制发展就是不断应用新器件和新工艺技术的过程,以氮化镓(GaN)为代表的第 3 代半导体具有禁带宽度大,击穿场强高,热传导率高,抗辐射能力强,热稳定性好等特点,具有更低的功率需求,更高的效率和更高的传输功率。目前基于 GaN 技术的 AN/TPS-80 地-空雷达已经开始生产,空中平台在未来几年中也将逐步应用。随着雷达搭载平台逐渐有着共形、隐身、轻型化等需求,T/R 组件则需要朝着小型化、轻薄化等方向发展^[6]。超摩尔定律概念的提出,面向异质集成的片上系统(System On Chip, SOC)和系统封装(System In Package, SIP)微型化封装有力地驱动了宽频带小型化智能蒙皮的工程化。此外高、低频段的 TR 组件频段范围均不断地双向扩展,功率和效率提升也促使了功能界限的模糊化。

System of Systems(SoS) Integration Technology and Experimentation(SoSITE)

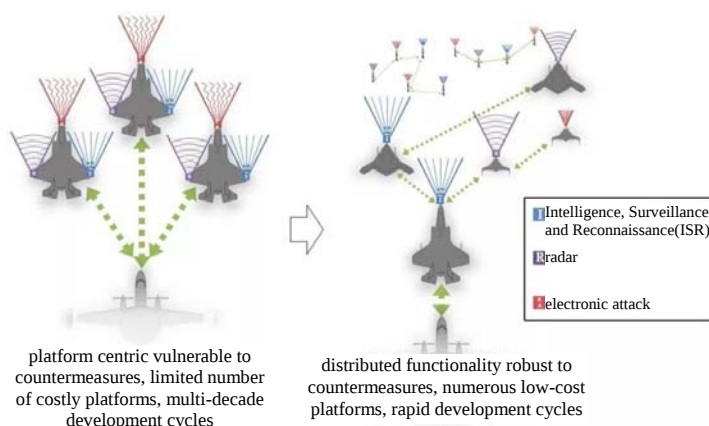


Fig.1 Distributed operations

图 1 空中分布式作战

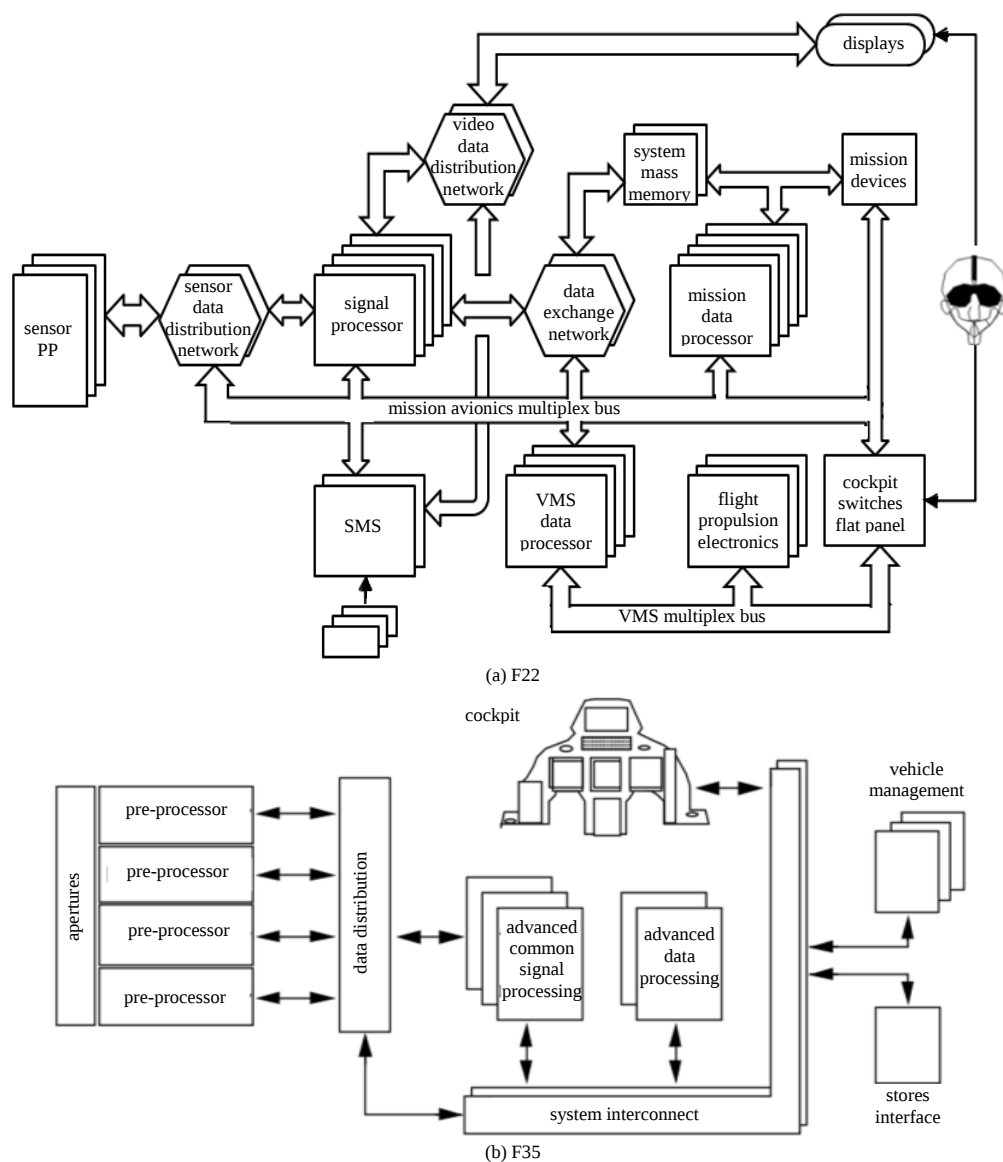


Fig.2 Avionics architecture of F22 and F35
图 2 F22 和 F35 航电系统结构

2 多功能射频综合架构

综上分析, 无论从顶层概念需求、平台层需求还是到架构设计、元器件技术的发展, 都推动着各种传感器向综合化、小型化方向发展, 传感器前端进一步综合通用, 各分系统如雷达、传感器的界限逐步淡化。面向未来的网络化分布式作战特点, 机载射频传感器必须能够在完备的物理空间和电磁空间完成探测、通信、协同及对抗等诸多功能。典型的特征需求主要包括: a) 功能的灵活适配性; b) 射频资源虚拟化; c) 射频前端通用化及标准化。基本架构见图 3。

综合孔径部分实现扩频带孔径共享, 在统一射频管理下, 按照不同任务阶段、功能需求、性能需求进行分配, 实现功能性能的灵活适配; 在理想软件无线电实现之前, 对于高频段信号进行下变频, 低频段进行射频直采, 利用共用综合射频处理资源实现 SWaP-C 的降低, 通过资源的虚拟化技术提供信号级协同探测的处理资源及领域支撑。

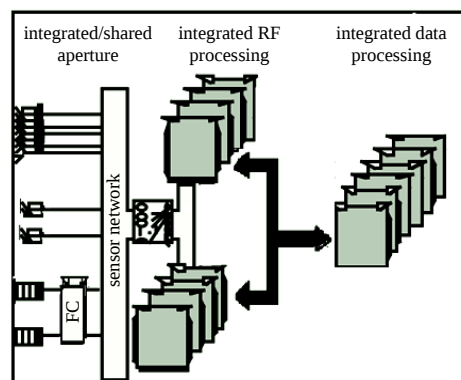


Fig.3 RF integration architecture
图 3 射频综合架构

3 机载射频综合关键技术

3.1 射频综合总体

从几代架构的特征来看,射频传感器的发展是航电系统更新换代的主要推动力之一,面向未来的机载任务系统,射频传感器的综合程度直接影响着下一代平台的能力特征。近期,波音公司公布了六代机的概念方案,但是对于其机载系统并未有相关报道。为缩短国内外系统设计差距,必须对航电系统总体架构包括射频综合技术进行攻关。射频综合技术采用标准化设计方法,依据传感器各项功能的处理需求,结构上将射频前端、信号处理、数据处理通用化,组成具有资源共享、可重构的通用系统^[7],提高系统的综合态势感知能力。

3.2 宽频带共形天线研究

机载宽频带孔径综合的发展,以雷达、通导识别、电子战等系统所需天线为背景,不仅需要研究天线阵列的宽频带一体化设计^[8],而且需要充分考虑飞机平台的适配性,对机载平台的任务需求、天线布局、性能要求及使用环境等方面进行关联分析。

作战飞机上天线孔径的安装位置主要包括了机头、前缘襟翼、后缘襟翼、上下蒙皮和垂尾,在 200 MHz 到 40 GHz 频段内,均有不同需求的天线阵列,为了最大限度地提高孔径利用率,减少空间数量,满足体积、质量、功耗及隐身的要求,势必要对飞机各个区域的天线阵列进行宽频带设计,争取以最少数量的天线阵列覆盖所有传感器功能需求。由于系统频率覆盖范围宽,很多功能的实现集中于某一频段,在该频段内射频传感器的综合化程度越高,孔径的利用率越高,可以通过统一调度管理实现多个射频传感器对同一天线与射频模块的复用,减少天线孔径种类,提高利用率。为能够实现天线在区域、频段及功能上的集中分配,满足一体化、宽频带需求,需要根据飞机外形特征结合天线性能、覆盖范围、隐身要求等进行不同区域、不同频段以及不同功能的数字化仿真,确定天线的布阵形式,对阵列的副瓣抑制、波束赋形、增益控制等方面进行研究。

3.3 射频管理技术

针对作战空间有源、无源干扰等复杂对抗环境,面向任务效能的最大化,从全局视角对孔径资源、数据处理资源、频谱资源、供电/冷却资源进行动态统一调配。根据传感器性能、任务能力需求、射频隐身需求对各传感器工作方式在时域、频域、空域、能量域进行管理,对系统软、硬件资源进行动态地分配。构建作战单元上所有射频设备的频率范围、使用时机、空间位置、信号特征和功率等信息的参数特征库,利用认知无线电进行感知和重构,开展使用策略研究。同时动态监测空闲频谱资源,在不同飞行阶段、不同任务进行传感器优先级及频谱配置,实现射频兼容工作,是按传感器辐射时机、探测区域、多传感器协同探测的综合管理。

4 结论

射频综合系统设计是对新型作战概念的支撑,网络化的空战要求 OODA 打击链的快速闭环时间尽可能缩短,传感器系统的综合化程度及系统的整体效果直接影响对目标的探测定位、融合识别、制导打击,对射频传感器系统进行综合一体化设计,在顶层进行统一调度管理,有效地完成任务能力构建,支撑单机或是协同模式下的作战能力生成。射频传感器的综合一体化设计可以降低系统质量、体积、功耗,减少对平台的能源、热耗需求,同时射频系统在频谱调度、时间管理、孔径复用、态势感知、同时多任务能力上具有更高的灵活性。

本文从作战概念牵引、机载平台限制、架构发展及技术推动方面阐述了网络化作战环境中射频综合的必要性,分析了射频综合实现的关键技术。对分立式的众多传感器进行综合设计,将使飞机的作战效能、可靠性和可维护性得到极大改进,设备体积、质量、冷却需求以及采购费用均将有大幅度降低,但要实现这样的目标不仅要突破很多关键技术,还要在生产关系和管理机制上有相应的突破。

参考文献:

- [1] 李东兵,申超,蒋琪. SoSITE 等项目推动美军分布式空战体系建设和发展[J]. 飞航导弹, 2016(9):65-70. (LI Dongbing, SHEN Chao, JIANG Qi. SoSITE project promoting the construction and development of the US distributed combat system[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2016(9):65-70.)
- [2] 蒋琪,葛悦涛,张冬青. “动态”与“分布”——空中力量建设的“新”方向[J]. 航天电子对抗, 2016,32(1):4-7. (JIANG Qi, GE Yuetao, ZHANG Dongqing. “Dynamic” and “distributing” —a new direction of the development of air-surface warfare[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2016,32(1):4-7.)

- [3] 车颖秋. 航空电子传感器的综合化[J]. 电讯技术, 2002(2):145-151. (CHE Yingqiu. An overview of avionic integrated sensor[J]. Telecommunication Engineering, 2002(2):145-151.)
- [4] ARTHUR K Cebrowski. Future airborne capability environment(FACE™)[M]. 2.1 ed. Burlington:The Open Group, 2014.
- [5] DARPA. Breakthrough technologies for national security[EB/OL]. (2016-08-13)[2016-10-07]. <https://www.rand.org/multimedia/audio/2014/05/08/next-breakthrough-technologies-national-security.html>.
- [6] 万涛,王耀召. 小型化层叠式三维 T/R 组件[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2016,14(5):758-762. (WAN Tao,WANG Yaoshao. Miniaturization and multilayer for 3-D T/R module[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016,14(5):758-762.)
- [7] 关中锋. 基于软件无线电的多功能射频综合一体化设计[J]. 通信技术, 2014,47(11):1333-1337. (GUAN Zhongfeng. Integrated design of multifunction RF system based on software defined radio[J]. Communications Technology, 2014, 47(11):1333-1337.)
- [8] 朱晓飞,黄永葵,胡旻. 综合射频传感器系统技术及标准体系研究[J]. 航空电子技术, 2013,44(3):47-51. (ZHU Xiaofei, HUANG Yongkui,HU Min. Research of technique and standards system for IRFS[J]. Avionics Technology, 2013,44(3): 47-51.)

作者简介:



刘海宁(1986-), 男, 沈阳市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为航电系统设计.email:elang0214@163.com.

(上接第 582 页)

- [13] SEN S,LEE J,KIM K H,et al. Avoiding multipath to revive inbuilding WiFi localization[C]// Proceeding of the International Conference on Mobile Systems. Taipei,Taiwan,China:[s.n.], 2013:249-262.
- [14] 张小飞,汪飞,徐大专. 阵列信号处理的理论和应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2010. (ZHANG Xiaofei,WANG Fei,XU Dazhuan. Theory and application of array signal processing[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2010.)
- [15] ZHANG X,LYU W,SHI Y,et al. A novel DOA estimation algorithm based on eigen space[C]// International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and Emc Technologies for Wireless Communications. Hangzhou,China:[s.n.], 2007:551-554.
- [16] 周志华. 机器学习[M]. 北京:清华大学出版社, 2016. (ZHOU Zhihua. Machine learning[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2016.)
- [17] LIU H,DARABI H,BANERJEE P,et al. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems[J]. IEEE Transactions on Systems,Man,and Cybernetics—Part C(Applications and Reviews), 2007,37(6):1067-1080.

作者简介:



陈章(1982-), 男, 安徽省安庆市人, 在读博士研究生, 工程师, 主要研究方向为无线定位技术和信号处理技术.email:dcarp@126.com.

施伟(1978-), 男, 湖北省宜昌市人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为天线技术.

刘斌(1976-), 男, 江苏省盐城市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为通信测量.

周强(1980-), 男, 重庆市人, 高级工程师, 主要研究方向为数字射频及高性能射频功放技术.