

机载火控雷达发展趋势探究



曹兰英,董晔,郭维娜

中国航空工业集团公司雷华电子技术研究所,江苏 无锡 214063

摘 要:机载火控雷达作为战斗机平台获取目标、环境信息的核心传感器,系统体制已经历了脉冲雷达、脉冲多普勒雷达、相控阵雷达、数字阵列雷达的发展历程。目标、环境、任务以及新兴技术,是促成机载火控雷达系统体制、理论和技术不断发展演变的重要外部因素。通过深入研究机载火控雷达发展现状,总结有源相控阵雷达、数字阵列雷达技术发展优势,分析机载火控雷达面临隐身目标全向探测、宽频段隐身、射频隐身、抗干扰等发展新需求,展望了智能蒙皮、分布式孔径、射频综合一体化、智能化信号处理等技术将是机载火控雷达发展新热点,探究了机载火控雷达未来发展趋势,可为机载火控雷达技术研究提供参考与借鉴。

关键词:机载火控雷达;智能蒙皮;分布式孔径;射频综合一体化;智能化信号处理

中图分类号:V243.2

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2021.06.001

机载雷达诞生于第二次世界大战,迄今为止,已经走过了近80年的发展历程。机载雷达是机载平台获取目标与环境信息的重要传感器之一,主要用于控制和制导武器、实施空中警戒、战场侦察、保障准确飞行和飞行安全等。根据机载雷达功能任务的不同,机载雷达大致可分为火控雷达、预警雷达、战场侦察雷达和飞行安全保障雷达等。

科学技术的进步不断促进并推动着机载雷达技术不断向前发展,尤其在机载火控雷达领域,技术换代更新速度非常迅猛,新体制、新技术不断涌现。机载火控雷达系统体制经历了脉冲雷达、脉冲多普勒雷达、无源相控阵雷、有源相控阵雷达、数字阵列雷达的发展历程^[1-5]。当前,机载火控雷达面临新目标、新环境、新任务,以及新兴技术的不断发展、成熟,共同推动着机载火控雷达技术的高速发展和演变,衍生出许多新的概念、体制和技术^[6-10]。

在机载火控雷达探测目标方面,随着F-22、F-35等第四代(美国称第五代)隐身战斗机的服役以及第五代战斗机的研究,目标雷达截面积(RCS)不断减小。在机载火控雷达探测环境方面,电子战技术蓬勃发展,电子支援设备(ESM)接收机灵敏度越来越高,电子对抗设备(ECM)干扰功率越来越强,干扰样式越来越灵巧。在机载火控雷达作战任务方面,机载火控雷达正由单纯的雷达功能向雷达、电子战、通信综合一体化方向发展。在新兴技术方面,智能蒙

皮、人工智能、分布式孔径、分布式协同探测等新技术日趋成熟,在机载火控雷达领域正逐步走向工程应用。

本文通过深入研究现役机载火控雷达体制与技术发展现状,综合分析机载火控雷达在未来作战体系下面临的目标、环境、任务等发展新需求,结合智能蒙皮、人工智能、分布式孔径、分布式协同探测等新兴技术,探究机载火控雷达未来发展新趋势。

1 机载火控雷达发展现状

目前,在机载火控雷达领域,机载有源相控阵和数字阵列雷达技术已渐趋成熟,F-22、F-35、F-18等众多战斗机已普遍列装有源相控阵雷达,子阵级数字阵列火控雷达正在开展系统研制。

1.1 有源相控阵雷达

21世纪初,有源相控阵火控雷达APG-77的研制成功,标志着机载火控雷达新时代的到来。随着有源相控阵雷达技术的发展和成熟,美国F-22、F-18、F-15等战斗机均已配装有源相控阵火控雷达,法国、英国、以色列、俄罗斯等国家均已研制有源相控阵火控雷达。配装F-22的AN/APG-77有源相控阵雷达如图1所示^[11-12]。

随着有源相控阵雷达系统的列装,战斗机探测距离、跟踪能力和隐身能力等方面性能均获得了大幅提升。相较于

收稿日期: 2021-03-08; 退修日期: 2021-04-25; 录用日期: 2021-05-05

引用格式: Cao Lanying, Dong Ye, Guo Weina. Development trend analysis of airborne fire-control radars [J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(06): 1-8. 曹兰英,董晔,郭维娜. 机载火控雷达发展趋势探究[J]. 航空科学技术, 2021, 32(06): 1-8.

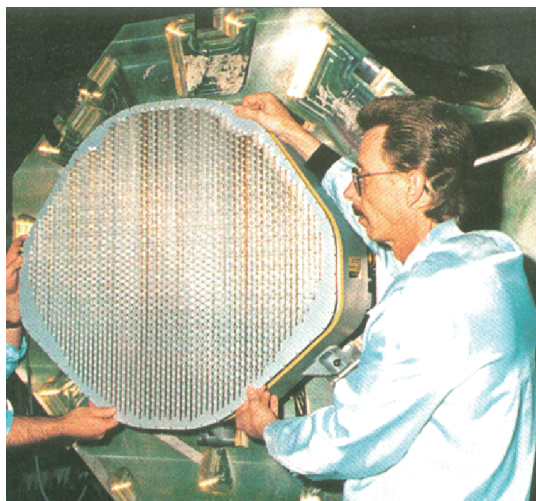


图1 AN/APG-77雷达
Fig.1 AN/APG-77 radar

传统机扫脉冲多普勒雷达,有源相控阵雷达具有以下技术特点和优势。

(1) 作用距离成倍增加

传统脉冲多普勒雷达通常采用机械扫描天线与集中式发射机。集中式发射机产生的射频功率经馈线网络送到天线阵面辐射出去,收、发双向产生的射频损耗一般要5dB以上。

有源相控阵天线雷达采用分布式收发(T/R)组件,T/R组件紧挨着天线辐射单元,T/R组件中的功率放大器和天线辐射单元间的损耗可以忽略不计。同时,有源相控阵雷达收发组件中低噪声放大器的前置将有效降低雷达接收系统的噪声系数。因此,有源相控阵雷达与机械扫描雷达相比,不仅提升了发射平均功率,而且降低了接收损耗,带来探测作用距离的成倍增加。

(2) 多目标跟踪能力提高

现代战争中,来袭目标常常大纵深、全方位、多批次、全高度,对雷达系统的多目标跟踪能力提出了更高的要求。

有源相控阵雷达波束指向灵活可控,可以根据雷达系统的需要确定射频能量在观察空域中的分配,通过资源调度自适应控制信号波形、驻留时间、数据率等参数来改善多目标跟踪性能。与机械扫描雷达相比,有源相控阵雷达能将雷达资源管理与滤波器技术相结合,大幅改善雷达系统多目标跟踪性能,同时能够完成机械扫描雷达难以实现的功能和灵活跟踪方式(如搜索加跟踪(TAS)等)。

(3) 天线隐身性能

隐身能力是决定战斗机取得空战优势的重要因素,而

雷达天线是战斗机迎头方向的主要散射源之一,天线隐身性能对战斗机隐身能力至关重要。

机扫天线与天线座是很大的RCS反射体,也难以降低,在扫描过程中,天线阵面周期性与敌方雷达入射波形成正交,产生较强的反射波,限制了飞机隐身性能的改善。有源相控阵天线用电扫描代替了传统的机械扫描,在波束扫描过程中,天线阵面固定不动,敌方雷达入射波与天线阵面形成正交的概率小,反射电磁波多半将不能从原路径返回而被敌方雷达截获,可有效降低雷达RCS。

1.2 数字阵列雷达

数字阵列雷达是一种采用数字波束形成技术的全数字阵列扫描雷达,其波束形成不是在射频模拟信号域进行,而是在数字域进行,因而具备较好的数字处理灵活性,拥有传统有源相控阵雷达不可比拟的优良性能。数字阵列雷达根据其系统架构又可以分为阵元级数字阵列雷达和子阵级数字阵列雷达。

阵元级数字阵列雷达架构的特点在于天线阵元通道直接数字化,采用阵元级数字阵列信号处理,通常适用于天线单元数较少的低频段雷达系统。阵元级数字阵列雷达的典型代表是配装E-2D预警机的AN/APY-9雷达,如图2所示。



图2 AN/APY-9雷达
Fig.2 AN/APY-9 radar

AN/APY-9雷达工作于UHF波段,基于阵元级数字阵列雷达架构,集中采用了自适应数字波束形成(ADBFC)、空时自适应处理(STAP)等一系列先进的阵列信号处理技术,显著提高了机载雷达系统在复杂干扰和杂波环境下的目标探测能力。

子阵级数字阵列雷达系统架构特点在于天线阵面划分子阵、子阵微波合成后数字化,采用子阵级数字阵列信号处

理,通常适用于天线阵元数较多的高频段雷达系统。采用子阵级数字阵列雷达架构的典型雷达系统是欧洲联合研制的机载多功能固态有源阵列雷达(AMSAR),如图3所示。



图3 AMSAR雷达
Fig.3 AMSAR radar

AMSAR 雷达工作于X波段,基于子阵级数字阵列雷达架构,使用约1000个T/R组件,划分为8个子阵,子阵级实现数字化,采用了子阵级自适应波束形成和空时自适应处理技术。

数字阵列雷达相对于有源相控阵雷达,主要具有以下技术优势^[13-14]。

(1) 更大的动态范围

大动态范围是强杂波下小目标检测所必需的。数字阵列雷达天线划分为多个接收子天线并且对应多个接收下变频通道,通过降低单通道雷达接收杂波干扰的天线增益,降低单个接收支路杂波的强度,同时采用分布式的多个模数转换器对接收回波信号进行量化,可以提高雷达接收机的动态范围,从而提高对低可观测目标的探测能力。

(2) 更大的瞬时信号带宽

由于采用数字算法的“真延时”技术代替了相控阵天线的移相器,数字阵列雷达可以发射和接收具有更大带宽的瞬时宽带信号,更大的瞬时信号带宽意味着更好的低截获性能和更强的抗干扰能力。

(3) 易于实现同时多波束

为了满足高精度和高搜索、跟踪的数据率,通常需要采用同时多波束的工作方式。常规相控阵雷达采用模拟方式形成多波束较为复杂,数字阵列雷达在数字域利用宽波束发射和多波束接收技术提高波束扫描的速度,同时又不降低雷达的探测性能,进而实现目标的快速搜索与截获。

(4) 低损耗、超低副瓣

常规相控阵雷达通常使用数字移相器控制波束指向,形成指定方向的波束方向图。由于数字移相器位数受到限制,移相精度很难得到保证,另外移相器和衰减器的精度和量化误差影响了副瓣电平。数字阵列雷达在数字域进行波束形成,具备较高的幅相控制精度,能够对阵列误差、各单元幅相不一致和互耦效应等进行精确校正,因此能获得更高的天线性能。

(5) 弱小目标检测能力提升

常规相控阵雷达采用模拟方式形成波束,通常同一时间在指定方向形成单个探测波束,波束驻留时间受限。数字阵列雷达采用数字波束形成技术,能够同一时间内形成多个指定方向的波束。数字阵列雷达多波束增加了波束驻留时间,因此可以通过长时间相参积累来改善多普勒滤波器,从而改善雷达的杂波和干扰抑制性能,提高对地面弱小目标的检测能力和过主杂波凹口的空中目标检测能力。

(6) 系统任务可靠性高,维护性好

相较于常规相控阵雷达,数字阵列雷达通常采用射频或者中频数字化,数字化程度大幅提升。当数字阵列雷达有限个接收通道失效时,系统通过更改波束形成系数可减弱失效通道的影响。另外,由于采用了模块化的数字阵列模块设计,系统的维修性非常好。

2 机载火控雷达发展新需求

随着F-22、F-35等隐身战斗机的服役、新型电子战装备的列装、未来新型战斗机的研制,机载火控雷达的作战目标、环境、任务发生了质的演变。机载火控雷达在作战目标、环境、任务等诸多方面面临着新的发展需求。

(1) 隐身目标全向探测需求

隐身技术是现代军事技术发展的一次重大革命。以隐身、超声速巡航、超视距打击、高机动为基本特征的F-22等第四代战斗机,已成为以美国为首的西方国家未来20年的主战飞机。F-22战斗机在保持高水平飞行性能的基础上大幅提升了隐身性能,其RCS水平达到了 0.01m^2 的量级。美国空军下一代战略轰炸机B-21、下一代制空型战斗机均已确定隐身设计方案。此外,美俄还在大力发展极度隐身、高超声速、智能蒙皮的第五代(美国称第六代)战斗机。未来隐身作战飞机将具有更优异的隐身性能,预计其RCS将再下降一个数量级,达到 0.001m^2 水平。根据雷达方程可知,雷达探测距离与目标RCS的4次方根成正比,目标RCS水平下降一个数量级,则雷达探测距离相应降低为原来的

56%。因此,隐身、极度隐身目标的出现,对机载火控雷达探测能力提出了更高的挑战。

隐身目标全向探测将是未来战斗机态势感知的迫切需求。目前,无论是传统机扫脉冲多普勒雷达,还是有源相控阵雷达,机载火控雷达天线通常安装于机头锥处,探测空域一般为机头方向方位、俯仰 $\pm 60^\circ$,无法满足未来战斗机全向态势感知的发展需求。

(2) 宽频段隐身需求

未来战斗机除采用前向隐身设计外,同时注重侧向与后向隐身设计,而且采用更为先进的宽频隐身吸波涂层,力图实现宽频全向隐身效果。

机载火控雷达天线作为载机平台的强散射源之一,其对载机平台总雷达截面积贡献很大。对于隐身战斗机而言,通常要求雷达天线 RCS 为载机平台总雷达截面积的 1/10 以下。

机载火控雷达作为未来战斗机的核心传感器。未来战斗机宽频全向隐身能力提升一个数量级,必将对机载火控雷达天线宽频段隐身性能提出更为严苛的设计要求。

(3) 射频隐身、抗干扰需求

现代战争是信息化战争,信息获取、信息传输、信息处理与信息应用日益依赖于电磁频谱,电磁频谱的利用与控制已成为信息化战争的核心要素。

机载火控雷达作为电磁频谱战的主要作战对象,面临的电磁作战环境日趋复杂。机载火控雷达探测空间充满种类繁多的敌方干扰、友邻干扰、杂波干扰等各种电磁干扰,特别是来自敌方的综合电子干扰,其频率范围不断扩大、功率越来越强、样式越来越多,对机载火控雷达构成了严重的威胁。

机载火控雷达为应对未来空地海一体、高度网络化智能化的协同交战环境,必须充分利用低截获探测技术手段提升射频隐身性能以减小被敌方截获的可能性,同时采用先进信号处理技术进一步提升机载火控雷达系统抗干扰能力。

(4) 智能化探测需求

复杂多变战场环境中,机载火控雷达不仅面临着日益复杂的电磁环境,还面临着山地、海洋、气象等多种时变、非均匀杂波环境。面对复杂多变的战场环境,如何提升机载火控雷达探测性能是机载火控雷达技术发展的永恒需求。

传统机载火控雷达被动式抗干扰、抗杂波设计理念和信号处理架构已无法适应未来战场日益复杂的电磁环境、杂波环境。随着智能化技术的兴起,迫切需要将智能化探

测技术引入机载火控雷达系统,从而实现机载火控雷达“环境自感知、处理自适应、能力自提高”。

(5) 功能任务综合化需求

未来战斗机为了显著降低航电系统重量(质量)、体积、功耗、成本,将采用兼具态势感知、ECM、通信、导航、识别等多功能一体化综合化射频架构,要求机载射频传感器能够在完备的物理空间和电磁空间内完成探测、对抗、通信等诸多功能。

传统机载火控雷达工作频段较窄,主要完成雷达主动探测功能,兼具工作频段内的辅助电子战功能,其任务功能综合化程度较低。

随着超宽带天线、超宽带 T/R 组件、共形天线、智能蒙皮等技术的日趋成熟,机载火控雷达将高度集成 ESM、ECM、高速数据链通信等功能,实现任务功能的深度综合化,成为机载火控雷达技术发展的迫切需求。

(6) 协同化探测需求

从体系化作战概念的演进来看,现代战争作战模式将是空、天、地、海体系化协同作战,其主要特点是利用协同化作战网络,实现陆、海、空、天多维作战平台的数据高度共享,极大地提高整个作战体系的效能。

机载火控雷达作为整个协同化作战网络中的重要传感器节点,不仅需要拥有出色的单雷达综合探测性能,而且需要具备云协同探测能力,以提升网络化协同作战效能。

3 机载火控雷达系统发展趋势

作战目标、环境、任务等诸多方面的快速演变,智能蒙皮、分布式相参、人工智能等新兴技术的迅猛发展,共同促进并推动着机载火控雷达系统不断向前发展。

3.1 集中式孔径走向分布式孔径

传统的机载火控雷达天线一般采用集中式孔径安装于机头锥处,受限于孔径安装方式与安装空间,机载火控雷达探测空域、天线增益、功率孔径均受到限制。

为了满足未来战斗机隐身目标全向探测需求,进一步拓宽机载火控雷达探测空域、提升天线增益、增加功率孔径积、推远隐身目标探测距离,机载火控雷达天线孔径安装方式将由集中式孔径走向分布式孔径。机载分布式孔径雷达示意图如图 4 所示,全机采用基于智能蒙皮的分布式孔径布局,实现 4π 空间全向探测^[15-19]。

3.2 射频功能向深度综合化、软件化发展

目前,机载火控雷达已实现工作频段内天线共孔径、雷达与电子战功能的简单综合化,射频功能综合化程度较低。

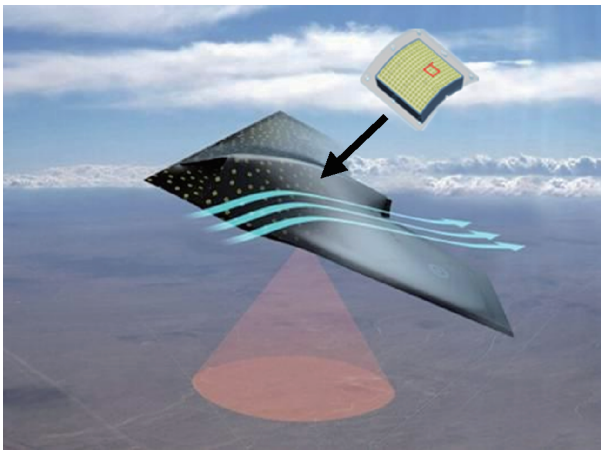


图4 机载分布式孔径雷达
Fig.4 Airborne distributed aperture radar

针对未来战斗机航电架构的深度综合化、一体化发展需求,不断推动着机载射频孔径向宽频段、数字化,射频功能向综合化、软件化方向发展。射频功能综合化、软件化示意图如图5所示。

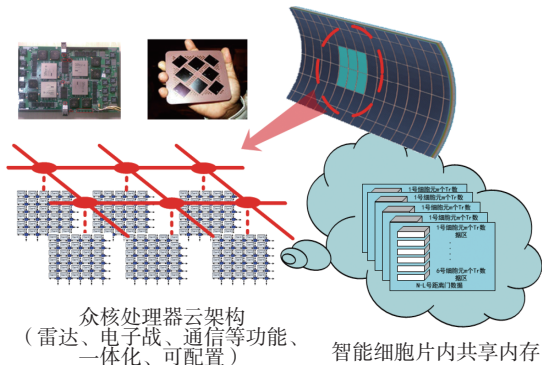


图5 射频功能综合化
Fig.5 Integrated sensor system

3.3 共形天线、智能蒙皮成为新核心

有源相控阵雷达的核心器件是T/R组件,目前,新材料、新器件、新工艺、新集成技术的广泛应用,有源相控阵雷达T/R组件已实现由“砖块式”向“瓦片”式超薄T/R的转变。随着射频微系统技术、高密度三维集成技术的日趋成熟,机载火控雷达天线、射频前端将进一步朝着超宽带化、微小型化、高效化、数字化等方向发展,共形天线、智能蒙皮将成为未来机载火控雷达系统的核心器件。

共形天线、智能蒙皮技术的飞速发展不仅能为机载火控雷达分布式孔径布局奠定硬件基础,也能够在不影响载机平台气动性能的前提下提升未来机载平台的全向隐身能力。共形天线示意图如图6所示,主要由辐射器、微波放大

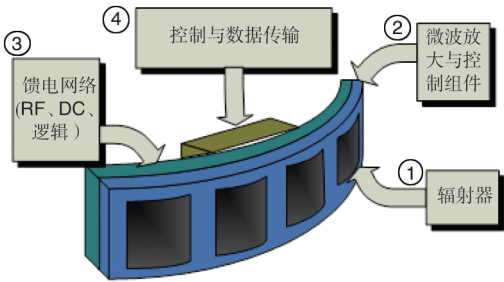


图6 共形天线
Fig.6 Conformal antenna

与控制组件、馈电网络、控制与数据传输等组成。

3.4 低可观测、低截获技术并重

机载火控雷达作为机载平台主动探测的核心射频传感器,对敌方雷达隐身(低可观测(LO))和对敌方电子战射频隐身(低截获(LPI))同样重要。

未来战斗机更为严苛的宽频段全向隐身性能要求,对雷达天线隐身设计提出了更高的要求。雷达天线低可观测技术将是未来雷达发展的重点方向。针对智能蒙皮天线的隐身设计有别于传统集中式孔径隐身天线设计,重点关注超宽带共形隐身结构设计、超宽带二维散射抑制表面、超材料等隐身技术,频选柔性超材料示意图如图7所示。同时,机载火控雷达面临未来日趋严峻的电磁频谱战,射频隐身能力的重要性日益凸显。机载火控雷达低截获技术也将是未来技术发展重点,需要重点关注超低副瓣天线、低截获波形、空时频极化能量自适应管理等技术。

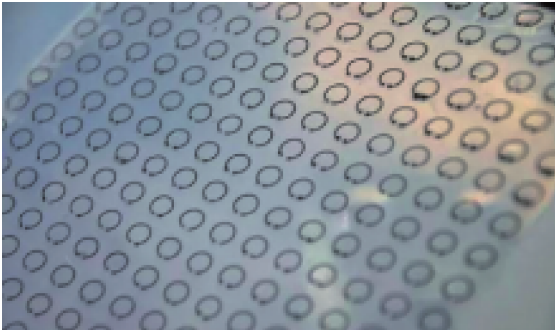


图7 频选柔性超材料
Fig.7 Frequency selective flexible metamaterials

3.5 智能化信号处理、综合化目标识别技术是热点

机载火控雷达面临的作战环境越来越复杂多变。如何在复杂多变的干扰杂波环境中实现目标精确检测、跟踪、识别,将是未来机载火控雷达发展迫切需要解决的技

术难题。人工智能、大数据在各领域的深入研究,为改善机载火控雷达复杂战场环境下的目标检测性能提出了新的思路和解决方法。机载火控雷达智能化信号处理示意图如图8所示。

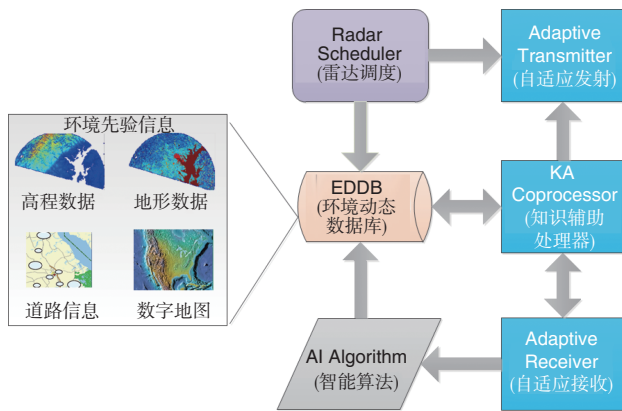


图8 智能化信号处理示意图

Fig.8 Intelligent signal processing

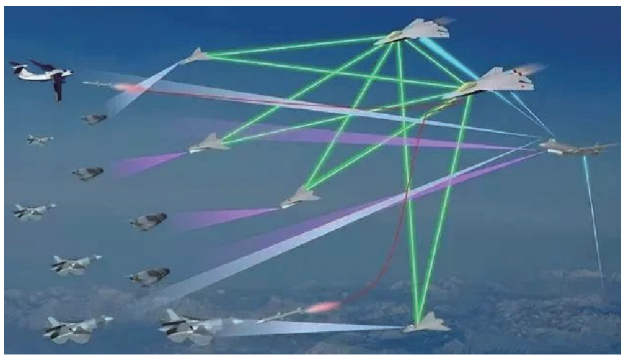


图9 云协同探测示意图

Fig.9 Cloud cooperative detection

智能化信号处理,采用环境匹配自适应波形并与探测环境匹配的智能化信号处理、综合化目标识别技术将成为机载火控雷达技术研究热点^[20-30]。

3.6 云协同、云融合、云控制将是未来发展趋势

作战云作为未来作战体系的崭新形态,通过云技术高度共享陆、海、空、天多维作战数据,使各种作战要素汇集成云,增强情报信息共享,促进作战效能提升。云协同探测示意图如图9所示。

机载火控雷达作为云协同探测传感器节点,既向云端提供信息,也从云端获取信息,目标探测跟踪数据在云端实时共享,融合成火控级的目标航迹。未来机载火控雷达将采用开放式系统架构,动态接入作战云,充分共享机载系统信息与资源,实现云协同、云融合、云控制。

4 结束语

军事需求、装备发展以及技术进步,促进了机载火控雷达技术高速发展。机载火控雷达有源相控阵技术、数字阵列雷达技术已逐步走向成熟,并得到了广泛应用。目标、环境、任务以及新兴技术,是促成机载火控雷达体制、理论和技术不断发展演变的四大外部因素。

随着第四代隐身战斗机的服役、第五代战斗机的研制,以及作战环境的日益复杂,机载火控雷达面临隐身目标全向探测、宽频段超隐身、射频隐身、抗干扰等新的发展需求。智能蒙皮、分布式、射频综合一体化、智能化信号处理、云协同等技术将是未来机载火控雷达技术发展研究的热点。

AST

参考文献

- [1] Guy M, Linda H. Airborne pulsed doppler radar[M]. Artech House, INC., 1996.
- [2] David K B, Sergey A L. Radar technology encyclopedia [M]. Artech House, 1998.
- [3] Philippe L. Air and spaceborne radar systems: an introduction [M]. William Andrew Publishing, LLC, 2001.
- [4] Robert M, O'Donnell. Introduction to radar systems[R]. MIT Lincoln Laboratory, 2002.
- [5] Robert M, O'Donnell. Radar systems engineering lecture 14: airborne pulse doppler radar[R]. Radar Systems Course, IEEE AES Society, 2010.
- [6] 杨建宇. 雷达技术发展规律和宏观趋势分析[J]. 雷达学报, 2012(1):19-27.
Yang Jianyu. Development laws and macro trends analysis of radar technology [J]. Journal of Radars, 2012(1): 19-27. (in Chinese)
- [7] 曹晨. 机载预警雷达七十年发展回顾与展望[J]. 现代雷达, 2015, 37(12):6-11.
Cao Chen. Review and prospect of airborne early warning radar development[J]. Modern Radar, 2015, 37(12): 6-11. (in Chinese)
- [8] 刘波, 沈齐. 空基预警探测系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
Liu Bo, Shen Qi. Airborne early warning system[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012. (in Chinese)
- [9] 袁赛柏, 金胜. MIMO 雷达技术发展综述[J]. 现代雷达, 2017, 39(8):5-9.

- Yuan Saibo, Jin Sheng. The development review of mimo radar technology[J]. Modern Radar, 2017,39(8): 5-9.(in Chinese)
- [10] 张明友,汪学刚. 雷达系统[M].4版.北京:电子工业出版社, 2013.
- Zhang Mingyou, Wang Xuegang. Radar systems[M]. 4th Edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013.(in Chinese)
- [11] 航空工业雷达与电子设备研究院. 机载雷达手册[M].4版.北京:国防工业出版社, 2013.
- AVIC Leihua Electronic Technology Research Institute. Aribrone radar handbook[M]. 4th Edition. Beijing: National Defense Industry Press, 2013.(in Chinese)
- [12] John A M. F-22 Radar development[R]. United States Air Force F-22 System Program Office, Aeronautical Systems Center, Wright Patterson AFB, Ohio, 1997.
- [13] 罗钉. 机载有源相控阵火控雷达技术[M]. 北京:航空工业出版社, 2018.
- Luo Ding. Airborne AESA fire-control radar[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2018.(in Chinese)
- [14] Guerci J R. Space-time adaptive processing for radar[M]. Artech House, 2003.
- [15] 鲁耀兵,张履谦. 分布式阵列相参合成雷达技术研究[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(8): 1657-1662.
- Lu YaoBing, Zhang Lvqian. Study on distributed aperture coherence-synthetic radar technology[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(8): 1657-1662.(in Chinese)
- [16] Ahlgreen G W. Next generation radar concept definition team final report[R]. MIT Lincoln Laboratory, 2003.
- [17] Robey F C, Belcher M, Budge M, et al. Next generation radar study results[R]. MIT Lincoln Laboratory, 2003.
- [18] McHarg J C, Cuomo K M, Coutts S D, et al. Wideband aperture coherence processing for next generation radar[R]. MIT Lincoln Laboratory, 2004.
- [19] 曹哲,柴振海. 分布式阵列相参合成雷达技术与试验[J]. 现代防御, 2012, 40(4): 1-11.
- Cao Zhe, Chai Zhenhai. Technology and tests on distributed aperture coherence-synthesizing radar[J]. Modern Defence Technology, 2012, 40(4): 1-11.(in Chinese)
- [20] 金林. 智能化认知雷达综述[J]. 现代雷达, 2013, 35(11): 6-11.
- Jin Lin. Overview of cognitive radar with intelligence[J]. Modern Radar, 2013, 35(11): 6-11. (in Chinese)
- [21] 孟自强,韩晓东,李晓明. 直升机机载新体制成像探测技术研究[J]. 航空科学技术, 2018, 29(5): 74-78.
- Meng Ziqiang, Han Xiaodong, Li Xiaoming. Study on imaging technology for new helicopter-borne synthetic aperture radar [J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(5): 74-78. (in Chinese)
- [22] 宋婷,贺丰收,程宇峰. 深度学习技术在雷达目标检测中的研究进展[J]. 航空科学技术, 2020, 31(10): 12-20.
- Song Ting, He Fengshou, Cheng Yufeng. Research progress of deep learning technology in radar target detection[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(10): 12-20.(in Chinese)
- [23] Guerci J R, Goldstein J S. Optimal and adaptive reduced-rank STAP[M]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 2000, 36(2): 647-663.
- [24] Ren S, He K, Girshick R, et al. Faster R-CNN: towards realtime object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149.
- [25] Fulvio G, Muralidhar R. Knowledge based radar detection, tracking and classification[M]. Hoboken: Wiley Interscience Publication, 2008.
- [26] Melvin W L, Guerci J R. Knowledge-aided signal processing: a new paradigm for radar and other advanced sensors[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2006, 43(3): 983-996.
- [27] 翟东奇,江朝抒,邓晓波,等. 基于非线性自适应滤波器的海杂波抑制技术[J]. 航空科学技术, 2018, 29(6): 73-78.
- Zhai Dongqi, Jiang Chaoshu, Deng Xiaobo, et al. Sea clutter suppression technique based on nonlinear adaptive filter[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(6): 73-78.(in Chinese)
- [28] Haykin S. Cognitive radar: a way of the future[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(1): 30-40.
- [29] Wicks M C, Rangaswamy M, Adve R, et al. Space-time adaptive processing: knowledge-based perspective for airborne radar[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(1): 51-65.
- [30] 赵国宏. 作战云体系架构研究[J]. 指挥与控制学报, 2015, 1

(3): 292-295.

Command and Control, 2015, 1(3): 292-295.(in Chinese)

Zhao Guohong. Architecture of combat clouds[J]. Journal of

(责任编辑 皮卫东)

Development Trend Analysis of Airborne Fire-Control Radars

Cao Lanying, Dong Ye, Guo Weina

AVIC Leihua Electronic Technology Research Institute, Wuxi 214063, China

Abstract: Airborne radars serve as the core sensors of the airborne platforms to obtain target and environmental information. Airborne radar systems have gone through the development history of pulse radar, pulse Doppler radar, phased array radar and digital array radar. Targets, environment, missions and emerging technologies are important external factors that contribute to the continuous development and evolution of airborne radar systems theories and technologies. Through in-depth research on the development status of airborne radars, we summarize the development advantages of active phased radar and digital array radar, analyze the new development needs of airborne radars such as omnidirectional detection of stealth targets, wide-band super stealth, RF stealth and anti-jamming. Technologies such as smart skinning, distributed aperture coherence, integrated sensor system and intelligent signal processing will be new hot spots in the development of airborne fire-control radars. The future development trend of airborne fire control radar is explored that can provide reference for the research of airborne fire control radar technology.

Key Words: airborne fire-control radars; smart skinning; distributed aperture; integrated sensor system; intelligent signal processing