

基于认知电子战的侦察技术

杨格, 刘欣, 张军周

中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100094

摘要 认知电子战是基于全球电子战领域的一个新兴发展方向。以研究认知电子战的侦察分系统相关技术为重点, 分析了目前复杂电磁环境的现状, 提出了未来侦察技术的发展需求; 以雷达侦察为主总结了传统电子侦察接收机和装备技术的发展现状, 结合传统侦察流程提出了能够分选识别已知或未知辐射源目标的认知侦察处理流程, 以及具备开放式、一体化、模块化特点的侦察分系统体系和软件架构。

关键词 认知电子战; 电子侦察技术; 侦察处理流程; 架构设计

2010年, 美国军队为对抗自适应调频装备, 开展了“行为学习认知电子战”技术研究, 目标是将自适应和机器学习算法应用于电子战, “认知电子战”的概念也因此被正式提出, 并掀起了“认知电子战”的研究热潮。

如何实现对复杂环境的快速感知/学习, 从而引导对威胁目标实施干扰是认知电子战相关研究中最重要关键技术之一。传统的电子侦察技术体制和信号处理能力难以在复杂密集、动态变换的电磁环境中, 快速分离各种威胁电磁辐射源、准确获取其参数和调制特征、生成完整准确战场电磁态势的作战使用需求。一旦发生冲突, 将难以及时准确地告警并引导干扰, 面临严重的战场生存威胁。重点以雷达侦察为例, 开展基于认知电子战的侦察技术研究。

1 侦察技术的需求分析

20世纪60、70年代, 因受电子技术条件的制约, 雷

达体制多数为脉冲调制样式, 且信号密度和数量都远小于目前水平, 电磁环境相对简单。随着宽带/超宽带相控阵技术、双/多基地雷达探测技术、低截获概率波形设计等技术的应用, 新体制的雷达不断出现, 信号也随之复杂, 甚至出现了具备认知能力的威胁对象——认知雷达, 其信号可以根据当前所处的电磁环境自主变化^[1]。面对日趋密集和复杂的电磁环境, 现有的电子侦察装备无法进行有效、快速地截获、分选和识别。因此, 认知电子战的侦察部分需要具备以下3方面的能力。

1) 复杂电磁环境感知能力。

随着新兴技术的应用, 大量新体制雷达不断发展、涌现, 例如: 脉冲低截获雷达、相控阵雷达、捷变频脉冲多普勒雷达、自适应雷达、认知雷达等, 但是带来的问题是侦察、发现“敌方”变得越来越困难; 同时民用领域波形不断发展带来了海量数据的频谱拥堵。军民领域的发展最终导致电磁信号环境日趋复杂。因此, 单传

收稿日期: 2018-10-29; 修回日期: 2018-12-03

基金项目: 中船集团联合基金项目

作者简介: 杨格, 工程师, 研究方向为电子对抗技术、认知电子战, 电子信箱: yang_ge001@163.com

引用格式: 杨格, 刘欣, 张军周. 基于认知电子战的侦察技术[J]. 科技导报, 2019, 37(4): 40-46; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.04.008

传感器和单平台的数据综合已不能满足现代作战或侦察时对电磁环境感知的需求。发展多传感器数据融合和多平台信息综合能力,最终实现在复杂密集、动态变换的电磁环境中,快速分离出各种威胁电磁辐射源,准确获取其参数和调制特征,生成完整准确战场电磁态势^[2]。

2) 开放式的宽带数字处理架构。

随着数字化侦察、干扰技术的迅猛发展,数字处理单元在装备中的比重越来越大。传统基于“点对点”和紧凑型总线(compact peripheral component interconnect, CPCI)的数据交互体制受可扩展性和传输带宽的限制,已经无法满足复杂电磁环境中与日俱增的高数据吞吐量。因此,应建立基于VPX分布式总线的开放式体系架构,扩展光纤、高速串行等数据接口,满足复杂电磁环境下大数据量高速传输、实时处理的要求;采用宽带数字接收、并行信号处理等先进技术,将接收处理核心进行数字化设计,大幅度增加信号接收处理资源,提高信号测量、信号分选、干扰信号生成的准确率和稳定性。

3) 智能化的学习与识别能力。

作战对象如雷达、通信等电子信息装备开始逐步向认知、智能化方向发展,使“敌方”具备了很强的自主学习、推理、决策与行动能力。传统电子战采用预先编程和加载数据库方式对“敌方”进行截获、侦察、识别。当面对新型未知信号形式的电子信息装备等构成的复杂电磁环境时,传统侦察装备和处理技术将无法识别此类型的目标,因此,需要将人工智能范畴的技术手段应用于传统的侦察技术中,对未知信号进行聚类分析和模糊训练,提取所需目标信号特征,检测并学习其射

频特性与行为,实现信号模型匹配并实时更新数据库,以提高侦察设备在高密集信号环境下的信号识别能力。

2 传统侦察技术及装备发展现状

2.1 传统电子侦察技术

“电子侦察”是利用无源/被动接收和处理的技术对周围电磁环境进行监测,对接收到的辐射源信号进行截获、测量和分析,并提取有用信息的过程。通过电子侦察手段获取到的信息通常与平台中其他传感器获取的信息进行融合,为指挥控制、作战响应提供信息支援。

典型的雷达侦察系统由侦察天线、信号检测与参数测量设备、信号处理设备、信号输出设备等组成,其中侦察天线由测频和测向两部分组成(图1)。信号进入侦察天线后经过混频和滤波,通过参数提取和测量对信号进行特征描述,具体包括:到达时间、到达方向、脉冲宽度、幅度及频率,这5个经典参数被称为“脉冲描述字(pulse description word, PDW)”。得到信号的PDW值后,根据预先装订的数据库对信号进行分选、识别,同时将识别结果与平台其他传感器数据融合,形成对当前电磁环境的态势描述,引导指挥决策或实施干扰。

2.2 侦察装备发展

雷达侦察接收机作为电子侦察手段的主要设备,其发展历史可以分为3个阶段:模拟阶段、模拟/数字混合阶段和数字阶段^[3-4]。

模拟阶段的典型代表是瞬时测频接收机,特征是

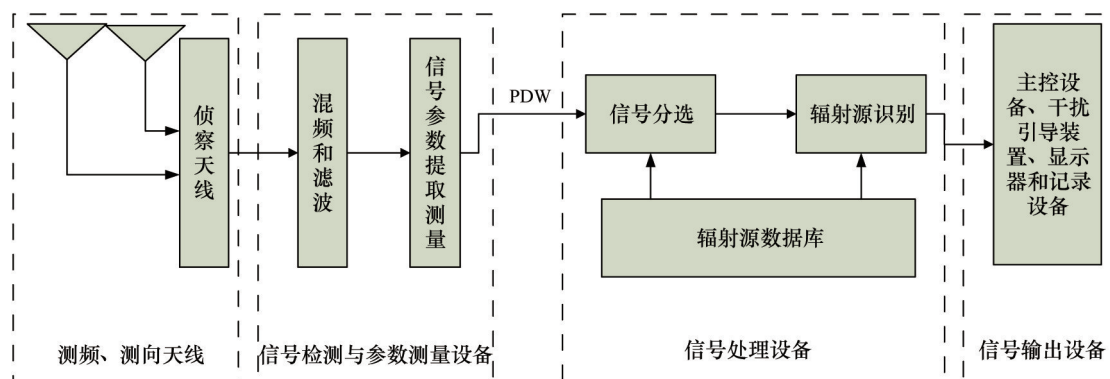


图1 典型的雷达侦察系统结构

Fig. 1 Typical radar detection system structure

通过模拟电路实现对信号的检测和分析,模拟接收机具有结构简单、快速测频、截获概率高等优点。同时由于模拟电子元器件具有灵敏度低、功能单一、设备体积重量功耗大等缺点,因此,在电磁环境复杂的现代战场中逐步退出了历史舞台。

模拟/数字混合阶段的典型代表是超外差接收机(图2),其特征是通过混频将接收信号转换到中频,在

中频进行 A/D 采样,再利用数字信号处理的技术对信号进行分析、处理,以获得信号参数特征。这种接收机的处理部分基本实现数字化,但中频的带宽窄、截获概率较低,对于宽带信号的处理上能力不足,因此目前主要作为宽带侦察接收机的补充手段,对特定或重点关注的窄带信号进行快速分析。

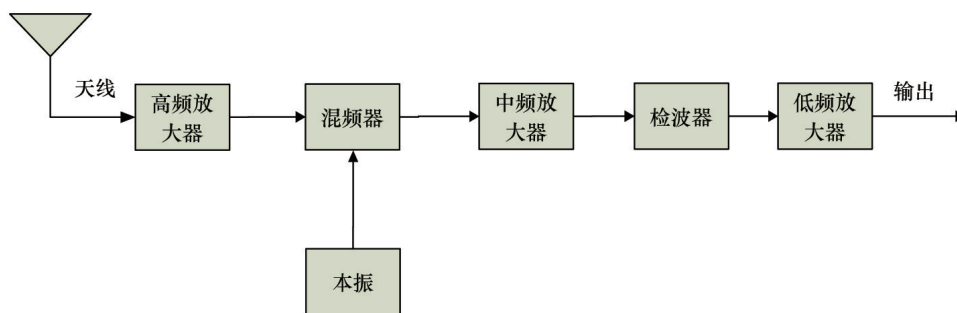


图2 超外差接收机原理

Fig. 2 Schematic diagram of super heterodyne receiver

数字阶段的典型代表是数字信道化接收机(图3)。理想的宽带数字化接收机成为未来发展主流方向。研究人员期望通过高速 A/D 采样和高速信号处理技术实现对宽带信号的快速、实时截获与分析。但是现有的数字信号处理器和 A/D 采样器能力并不匹配,即数字信号处理器无法直接处理采样频率在 GHz 量级的

高速率数据。通过数字信道化技术可以解决这一问题。数字信道化方法就是将时域信号($x[t]$)经过 A/D 采样后,转换为离散量($x[n]$),在频域完成均匀信道划分、抽取,最后对降速率后的信号进行测频等处理,提取有用信息(图4)^[5]。

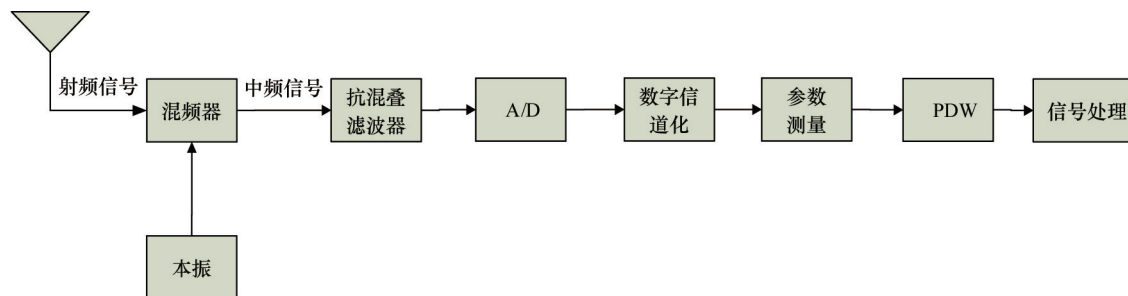


图3 数字信道化接收机的功能结构

Fig. 3 Functional structure of digital channelized receiver

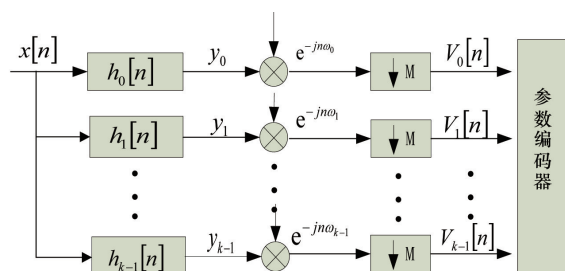


图4 数字信道化过程示意

Fig. 4 Schematic diagram of digital channelization process

3 基于认知电子战的侦察技术研究

3.1 认知电子战概述

随着美国军队“自适应电子战行为学习”“自适应雷达对抗”“认知干扰机”等项目的开展,“认知电子战”的概念得到了高度重视。结合国内外研究现状,对认知电子战的基本定义描述为:通过软件可重构技术、基于机器学习的认知侦察技术、基于干扰效果评估的智能电子攻击技术等,能够对抗传统目标和未知新兴目

标(如认知雷达等),具备现场可编程的能力和多功能综合对抗能力。

认知电子战系统在综合任务管理和显控终端的统一管控下,按照作战任务和作战平台进行资源配置和

任务分配(图5),系统工作原理步骤可分为战场态势监视与感知、综合情报处理、综合干扰实施、干扰预案调整和干扰进程监控与效果评估5大部分,形成侦察—控制—干扰—评估—一体化闭环控制系统。

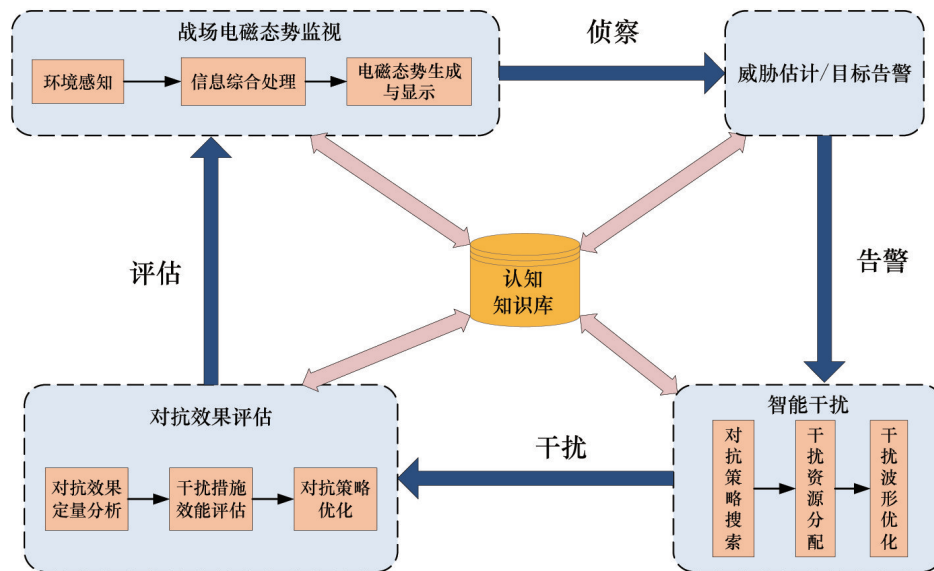


图5 认知电子战工作原理

Fig. 5 Schematic diagram of cognitive electronic warfare

3.2 侦察处理流程

杨小牛团队^[6-7]提出了认知电子战系统工作流程及侦察处理流程(图6)。可将认知侦察流程理解为传统侦察和认知侦察的统一。

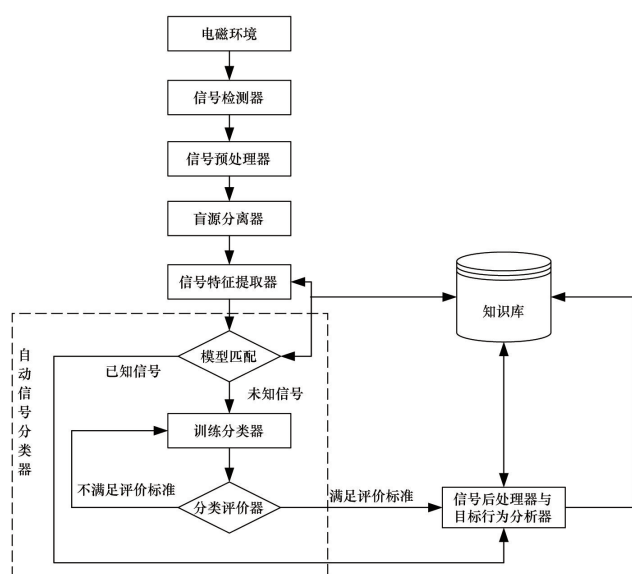


图6 侦察处理流程

Fig. 6 Investigation process

1) 传统侦察。传统侦察是指传统电子战系统、认知电子战系统都具备的工作环节,包括信号检测、盲源分离、参数估计和信号分选。

2) 认知侦察。认知侦察主要实现对信号的自动分类,包括模型特征提取、模型匹配、样本训练等3个环节。其侦察结果既可以为智能干扰模块和效能评估模块提供数据支撑,也可传给知识库作为样本积累。从认知侦察的处理流程可以看出,自动信号分类器是认知侦察处理流程的关键步骤,该步骤是将信号的基本特征与知识库的辐射源特征库进行匹配。当无法匹配时,将激活训练分类器通过信号聚类的算法,对未知信号不断进行训练,直到接近已知模型的信号,并将该信号模型写入知识库。经过信号分类后,信号将进入个体识别模块,对信号的行为特征进行详细分析,对辐射源进行高层特征、威胁等级等识别,为后续的干扰模块提供参考,并将多维特征进行整合后以一定的数据形式存入知识库,完成知识库的更新。

张万军等^[8]、祝正威^[9]对信号训练分类的算法,进行了研究,提出采用K-means聚类分选雷达信号;Cussons等^[10]结合人工智能、神经网络的技术提出了分类器模

型,但是这种模型在使用时需要大量样本学习和迭代训练,在实际作战对抗过程中,实时性无法满足要求。Guo等^[11]提出将统计学理论“支持向量机”的学习方法,并将其运用在分类器设计中;将“熵”作为对电磁信号环境的一种测度,有利于将电磁信号的复杂程度量化;利用“类型熵”对电磁信号环境进行宏观分析的能力,通过对聚类分选结果进行“类型熵”识别来辅助分选,自适应地调整聚类分选参数,从而形成一种新的雷达全脉冲信号分选体制。

3.3 侦察架构设计

目前,中国现役电子战系统的架构设计按既定作战任务需求单独配置,形成了从空间信号的收发到信息使用界面的烟囱型体系结构,具有功能和性能固定、升级成本高、周期长等特点。面对多极化、波形捷变、重频抖动、低截获概率波形等多种特征的新型威胁信号,现役的电子战系统无法快速从复杂的电磁环境中截获、分离、识别出目标,更不能灵活快速配置相应对抗手段,引导实施对抗,这足以被对方快速锁定和实施打击。因此,针对现有电子战系统无法适应当前快速

变化的电磁环境及作战任务的问题,重点对认知侦察部分的进行架构设计。

1) 体系架构设计。认知电子战侦察分系统是一体化、开放式体系架构。采用天线孔径综合利用、射频前端统一的标准化设计,处理资源可以共享,后端显控可以重构,组成和规模可以灵活拓展,具有良好的适装性和扩展性。打破了传统基于不同功能的烟囱式、独立式的结构,可以适应不同平台及任务。该系统体系架构上主要分为射频层、共用信息处理层和综合显控层,各功能层之间通过多业务综合交换网络进行互联和信息交互(图7)。

射频层主要包括综合宽带阵列天线、标准架构前端及预处理模块,实现了射频前端的综合集成,并利用高速A/D转换器和数字信号处理技术对辐射源目标信号进行实时采集。

综合显控层主要是由综合任务控制设备和系统辅助设备组成。综合任务控制设备主要用于人机交互、侦察信息显示、设备状态监视等功能,可自动或人工进行任务分配与资源调度,进行综合干扰决策与组织;可

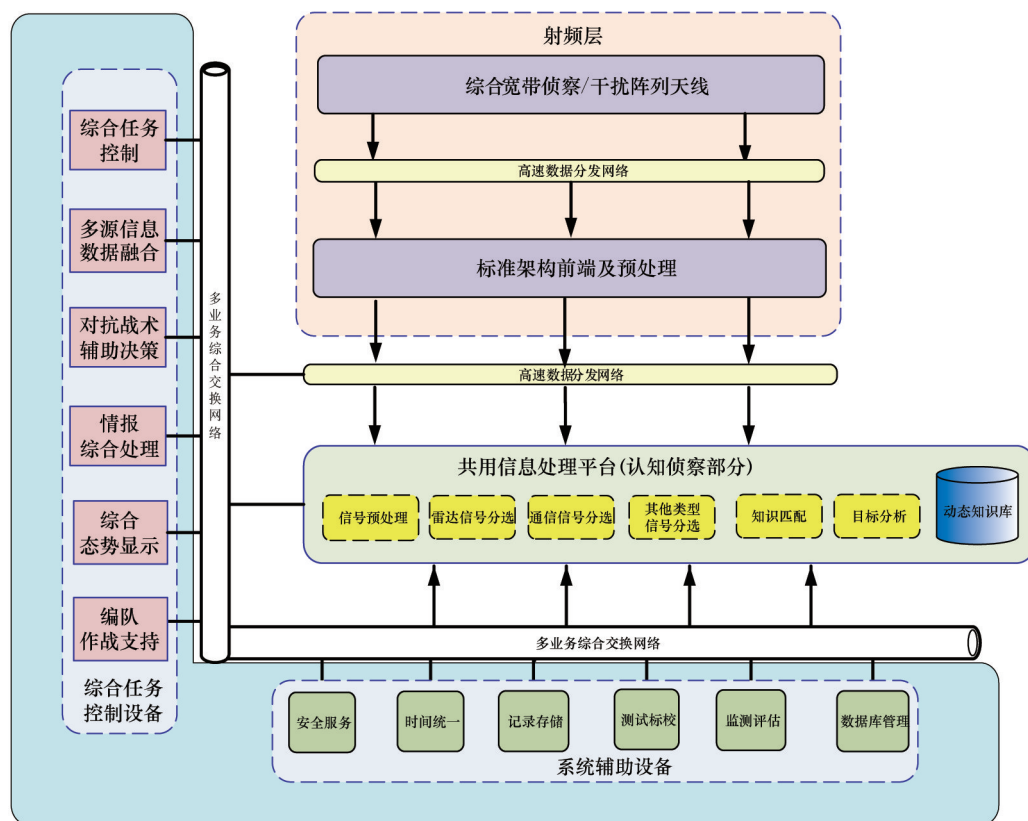


图7 体系架构设计

Fig. 7 Architecture design

接收共用信息处理平台生成的雷达全脉冲、通信基带码元等信号数据,结合平台其他侦察信息生成综合情报与电磁态势,并提供编队作战支持。系统辅助设备主要实现安全服务、时间统一、记录存储、测试标校、监测评估、数据库管理等功能。

共用信息处理平台是通过配置不同功能的通用处理模块,实现整个认知电子战系统的功能调度和重组,包括认知侦察、智能干扰决策、对抗效果评估等。因此,共用信息处理平台是整个认知电子战系统的核心。共用信号处理平台采用基于 Open VPX(ANSI/VI-TA65)的系统总线架构,满足宽带数字化接收、宽带数字化干扰所必需的大容量数字信号实时传输的需要,并使系统具备良好的开放性和扩展能力。在侦察部分,共用信息处理平台主要包括:信号预处理、不同类

型信号分选、知识匹配和目标分析以及知识库等模块,预留其他类型信号分选模块的接口。

2) 软件架构设计。应用基于集成框架技术和软件通信体系结构 (software communication architecture, SCA) 模型建立软件体系结构,分为基础平台层、支撑软件层、软件集成框架和应用构件层(图8)。基础平台层建在硬件设施之上,主要包括操作系统、设备驱动程序、数据库管理系统、硬件资源监控程序等系统软件;支撑软件层是在基础平台层之上的屏蔽层,用于屏蔽操作系统、硬件特性对应用的影响,为上层应用提供支撑;软件集成框架在支撑软件层之上,用于为各种软构件提供集成的运行开发环境,包括商用软件和核心类软件;应用构件层是针对具体功能开发的专业应用软件。

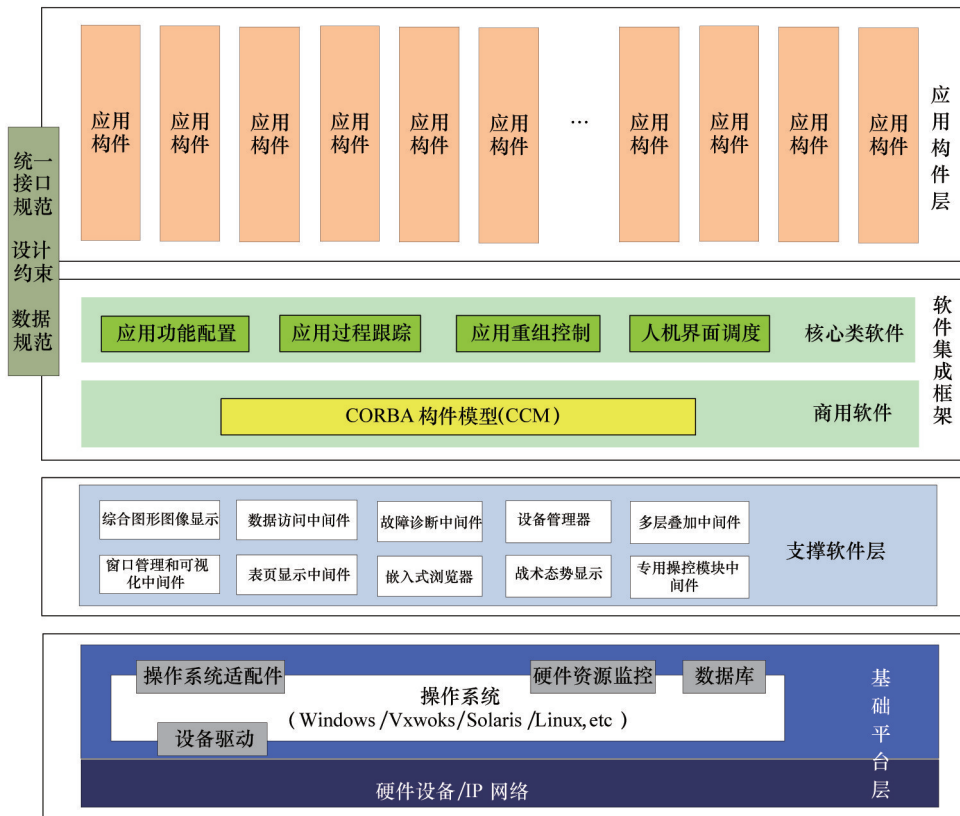


图8 软件架构设计

Fig. 8 Software architecture design

4 结论

目前,认知电子战是全球电子战领域的发展趋势。中国认知电子战研究尚处于起步阶段。重点研究

了现役电子侦察技术的发展需求和装备现状,结合传统侦察系统结构提出了认知侦察处理流程和体系架构、软件架构。随着新体制雷达技术研究和人工智能在军事领域的应用,电子侦察装备所要完成的信息处

理量和难度日益增加,宽带数字技术、模块化开放式架构、功能软件化、多功能可扩展射频模块、机器学习等技术的发展,推动着电子侦察系统向一体化、高集成、可重构等方向发展。

参考文献(References)

- [1] 罗勇江. 宽带数字侦察接收机若干关键技术研究及应用[D]. 西安:西安电子科技大学, 2011.
Luo Yongjiang. Research and application of several key technologies for wideband digital reconnaissance receiver[D]. Xi'an: Xidian University, 2011.
- [2] 赵培聪, 史雪辉. 现代海军雷达侦察技术发展分析[J]. 舰船电子对抗, 2011, 34(1): 17-21.
Zhao Peicong, Shi Xuehui. Analysis on the development of modern naval radar reconnaissance technologies[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2011, 34(1): 17-21.
- [3] Collins J H, Grant P M. A Review of current and future components for electronic warfare receivers[J]. IEEE Transactions on Sonics & Ultrasonics, 1981, 28(3):117-125.
- [4] 王旭东. 基于FPGA的雷达信号侦察数字接收机关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2007.
Wang Xudong. Key Technologies of radar signal reconnaissance digital receiver based on FPGA[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [5] 田芬芳. 宽带数字信道化接收机技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010.
Tian Fenfang. Research on bandwidth digital channelization receiver technology[D]. Xi'an: Xidian University, 2010.
- [6] 杨小牛. 从软件无线电到认知无线电, 走向终结无线电——无线通信发展展望[J]. 中国电子科学研究院学报, 2008, 3(1): 1-7.
Yang Xiaoniu. Software radio cognitive radio and ultimate radio: A prospect of wireless communication[J]. Journal of China A codemg of Electronics and Information Technology, 2008, 3(1): 1-7.
- [7] 张春磊, 杨小牛. 认知电子战初探[J]. 通信对抗, 2013, 32(2): 1-4.
Zhang Chunlei, Yang Xiaoniu. Elementary study on cognitive electronic warfare[J]. Communication Countermeasures, 2013, 32(2): 1-4.
- [8] 张万军, 樊甫华, 谭营. 聚类方法在雷达信号分选中的应用[J]. 雷达科学与技术, 2004, 2(4): 219-223.
Zhang Wangjun, Fan Fuhua, Tian Yin. Application of cluster method to radar signal sorting[J]. Radar Science and Technology, 2004, 2(4): 219-223.
- [9] 祝正威. 雷达信号的聚类分选方法[J]. 电子对抗, 2005, 6: 6-10.
Fu Zhengwei. Clustering sorting method of radar signals[J]. Electronic Warfare, 2005, 6: 6-10.
- [10] Cussons S, Roe J, Feltham A. Knowledge based signal processing for radar ESM system. ESM division[J]. Admiralty Research Establishment, doi: 10.1049/ip-f-2.1990.0045.
- [11] Guo Qiang, Zhang Xingzhou, Li Zheng. SVC&K-means and type-entropy based de-interleaving/recognition system of radar pulses[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Information Acquisition, 2006, 1: 742-747.

Reconnaissance technology based on cognitive electronic warfare

YANG Ge, LIU Xin, ZHANG Junzhou

Systems Engineering Research Institute, China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100094, China

Abstract Based on the emerging development of the global electronic warfare field—The cognitive electronic warfare, this paper focuses on the related technologies of the cognitive reconnaissance subsystem of the cognitive electronic warfare. Firstly, the current situation of the complex electromagnetic environment is analyzed, and the development directions of the future reconnaissance technology are suggested. Secondly, the radar reconnaissance is used to study the development of the traditional electronic reconnaissance receiver and equipment technology, combined with the traditional reconnaissance process The cognitive reconnaissance processing process is selected for identifying the known or unknown radiation source targets, and a reconnaissance subsystem system architecture and the software architecture with open, integrated and modular features are proposed.

Keywords cognitive electronic warfare; electronic reconnaissance technology; reconnaissance process; architecture design ●



(责任编辑 卫夏雯)