

文章编号: 1672-2892(2010)04-0397-05

电子战装备一体化技术

梁百川

(西安电子科技大学 电子对抗研究所, 陕西 西安 710071)

摘要: 雷达、通信和电子战系统一体化是电子技术发展和现代战争需求的必然结果。电子战装备一体化, 是集中了现代材料学、光子学、微电子学、光电子技术、微机械技术, 尤其是计算机软硬件和软件无线电技术等各学科成就的高科技系统。本文分析了一体化电子战系统的主要特点、发展趋势及其关键技术。

关键词: 综合电子战; 雷达与电子战一体化; 发展趋势; 关键技术

中图分类号: TN97

文献标识码: A

Integration technology of electronic warfare equipment

LIANG Bai-chuan

(ECM Research Institute of Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071, China)

Abstract: The integration of the radar/communication and EW system is the inevitable result of electronic technology development and modern war requirement. The integration of electronic warfare equipment is high-tech system connect ideas for modern material science, photon science, microelectronics, photoelectron technique, micro-machinery technique, especially computer hardware and software, as well as software radio-technology, etc. This paper analyses the main features, development trend and some key technologies for accomplishing the integration of radar-electronic warfare.

Key words: integrated electronic warfare; integration of radar-electronic warfare; development trend; key technologies

电子战装备的发展日趋一体化和通用化。信息化条件下的局部战争中, 战场上的电磁环境日益复杂, 以往那种彼此分立、功能单一的电子战装备已远不能适应作战需求, 一体化和通用化已成为当前电子战装备发展的重点和未来电子战装备总的发展方向。

一体化和通用化是谋求电子装备最佳化的一种系统工程方法。所谓一体化电子战系统, 即通过计算机和数字技术, 集告警、侦测与干扰于一身, 集有源、无源干扰, 雷达、导航、通信对抗, 雷达、光电对抗, 乃至软硬武器于一体, 达成一机多用, 共享资源, 以最低的成本实现系统的最佳整合。甚至可通过采用多平台、多传感器的信息融合, 以实现对战场态势的了解和控制, 提高联合作战的整体效能。一体化电子战系统能同时执行雷达、电子战和通信功能, 具有超视距目标探测、识别与截获能力, 丰富的电子对抗措施, 低截获特性, 有效的抗反辐射性能等; 在硬件和软件功能上真正实现了电子战与目标探测、雷达、通信等功能的一体化、综合化^[1-2]。

1 一体化电子战系统特点

1.1 采用宽带共用孔径天线技术

雷达与电子战一体化系统中, 宽带共用孔径天线技术是最关键的技术之一, 是把雷达与电子战及其他电磁功能集成到一个硬件设备上的重要技术基础, 它利用宽带多波束技术将多个天线的功能结合到一个孔径中。

1.1.1 宽带全数字相控阵天线技术

这种体制雷达不需要宽带移相器, 发射时通过直接数字频率合成器控制发射波束扫描, 接收时采用数字波束形成。这种体制由于可同时产生收发多波束(如果需要, 接收时可以同时多波束全空域覆盖), 工作模式灵活, 对雷达、电子战和通信集成在一起时显得非常重要。

采用上千个 T/R 组件构成的有源相控阵,可同时产生多组波束,分别用于目标探测、电子干扰和信息传输,首次实现了雷达功能与电子情报侦察、电子对抗干扰、监视和通信等多种射频功能的综合。其前向视角为 120° ,与红外告警等其他系统配合使用,形成全空域、多波段的电子防护与电子进攻能力。

1.1.2 超宽带共孔径相控阵天线技术

由于超宽带天线可分为几个频段,使高功率环流器、带通滤波器、移相器的相对带宽大大减小,降低了器件的研制难度,但对于倍频程的高功率环流器、移相器的研制仍然是一个关键。虽然国外有相关产品的报道,但仍可以利用偶极子形式的多频段共享口径组阵方案,采用全数字阵列来实现宽频带的要求。

1.1.3 多频段宽带共孔径嵌套天线技术

为了实现大角度扫描,使布阵成为可能,嵌套天线波段应相差倍频程以上,比如低 X 波段和高 Ku 波段。基本单元有正交偶极子单元、锥削槽天线单元、锥累圆盘单元、背腔圆盘单元、平行板波导等,可以根据不同要求进行组合。

1.2 多功能综合,实现低可探测性和远距离目标探测

雷达与电子战一体化系统采用了有源相控阵、多传感器信息融合、集成核心处理器(Common Integrated Processor, CIP)等许多新技术。在执行雷达功能时,采用猝发工作模式,其发射信号频率和波形皆可在脉间伪随机捷变,在某一频率上发射的脉冲有波形,但下一个脉冲不但波形变了,而且频率、波束指向也发生变化,这就使之看上去像不同的雷达在不同的频率上发射,从而避免被敌方发现,使该系统具有低可探测性能。同时,靠自身先进的相控阵天线孔径性能,采用有源探测与无源侦测相结合,可实现远距离目标探测和雷达信号侦收、识别。其有源目标探测距离和无源侦测距离比现有作战飞机的探测距离大大提高,真正实现了“先敌发现”功能。

1.3 一体化设计,实现多目标对抗

通过一体化设计^[3],采用先进的有源相控阵以及功能强大的信号处理和计算机控制管理系统,在保证雷达探测功能难以被探测、干扰的同时,可具备卓越的电子对抗性能。灵活阵面控制和波束形成,干扰信号样式、指向、带宽的灵活设置,真正意义上的功率管理,这些使该系统在具备典型的速度波门拖引、距离波门拖引等欺骗干扰能力的同时,具备了多目标对抗和智能干扰能力。实现一种干扰机可以干扰多种体制的雷达,可以干扰工作在同一频段的通信和导航设备。

1.4 雷达/电子战一体化,有效对抗反辐射武器

反辐射武器采用“驾驭波束”方式实现对辐射源的攻击与摧毁,对现代雷达系统构成了严重威胁,促使人们研究并开发了诱骗干扰等对抗反辐射武器的手段。但诱骗干扰所需辐射功率较大,其成本较高,而且仅适用于对固定辐射源的保护。系统以有源相控阵为基础,实现了雷达与电子战一体化,具备灵活的波束控制、实时频率与波形捷变等能力,难以被反辐射武器锁定和跟踪。雷达/电子战一体化,还可在必要时实施干扰,破坏反辐射武器对辐射源的锁定与跟踪回路。因此,雷达与电子战一体化具有较高的抗反辐射性能,是作战飞机、舰船等运动武器平台对抗反辐射武器进攻的有效手段。

2 一体化电子战系统发展趋势

发展一体化电子战系统应遵循从简到繁、从易到难、从单平台到多平台的发展思路,其体现形式或发展趋势主要有以下几个方面^[4-5]。

2.1 单平台级电子对抗设备一体化

单平台级电子对抗装备一体化是一体化电子战系统的初级形式,主要用以提高单个作战平台自身的电子对抗总体性能。它是模块化结构、先进的数字技术与计算机控制管理技术为基础,把侦察告警、目标探测、有源干扰与无源干扰以及反辐射武器等多种电子战装备有机地集成到一起,构成一个多功能互补、资源共享的综合系统,用以对付各种复杂威胁环境。其基本形式包括不同侦察手段的综合,电子侦测与电子干扰的综合,有源干扰与无源干扰的综合,软杀伤与硬杀伤的综合以及雷达对抗、通信对抗和光电对抗设备的综合等。目前,单平台级的综合已有一定基础和发展,最具有代表性的是美军隐身先进战斗机(ATF 计划的飞机)F22ATF 的 APG277 多功能射频系统,EA26B“徘徊者”电子干扰飞机以及正在研制的舰载先进综合电子战系统,陆军直升机载综合射频对抗系统,综合防御电子对抗系统等。这些系统具有的重要特性是多传感器资源共享与信息融合、现场编程与软件重

组、智能化的功率与系统控制等。

2.2 单平台级电子设备完全一体化

将平台上的电子对抗、雷达、通信以及导航、敌我识别、武器系统等全部综合设计在一起，构成全频谱、多手段、自适应的单平台综合电子信息系统，达到平台资源共享和空间的最充分利用。这种综合特别适合于作战飞机、战舰及自行武器系统等运动平台，如 F222AFT 飞机中的电子战与 ICNIA(通信、导航、敌我识别)的综合，美军自 1988 年开始研制的 RAIDS 舰载快速综合防御系统中的有源与无源、软杀伤与硬杀伤等多种功能的综合。

电子设备的完全综合将引入许多新的概念，产生许多新理论、新技术。可以预言，将来的综合电子战系统设备中，从天线、接收机前端、发射机到处理机、显示终端将达到最大限度的资源公用与共享，将很难区分哪块电路板是电子战接收机，哪一块电路板是雷达接收机。

2.3 多平台系统的一体化

现代化战争将是多兵种协同作战，仅靠单平台的综合电子系统已很难满足系统对抗、体系对抗的作战需要，必须将多种平台的电子战系统和各种电子战作战手段综合成为一个陆、海、空、天、电一体化，远、中、近程和高、中、低空相结合，多种电子对抗手段相结合，软杀伤与硬杀伤相结合，以攻为主，三军一体，合力制敌，具备电子侦察、电子进攻与电子防御功能的，适用于战区或区域作战的综合电子战系统，使多平台电子战兵器协同工作，联合作战，充分发挥电子战的整体作战效能。多平台综合是综合电子战系统发展的最高目标，也是电子战技术发展的必然结果，代表了电子战技术和装备发展的主流趋势。美、英等军事大国非常重视并积极开展了多平台综合电子战系统的研究与开发，如英国正在研究开发的多平台电子战作战指挥控制系统，该系统根据

来自侦察平台情报、卫星情报、战术侦察情报、雷达/通信传感器情报，在各种数据库的支援下，对威胁目标进行检测、分析、识别、显示、数据融合、威胁分析评估，并采取正确的协同对抗策略，所包括的电子战兵器有干扰机系统、雷达假目标、箔条弹、反辐射武器及抗反辐射诱饵等，如图 1 所示。

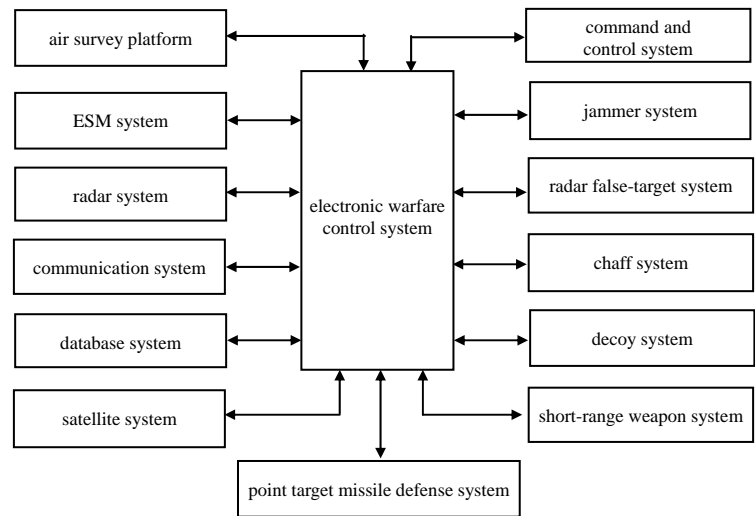


Fig.1 Multi-platform-based integrated command and control system for electronic warfare

图 1 多平台一体化电子战作战指挥控制系统

3 雷达、通信与电子战一体化关键技术

3.1 数据融合技术

数据融合技术是一门新的数据处理技术，又称为多传感器数据融合技术或多传感器信息融合技术，它可对多种类、多信息源和多平台传感器所获取的信息自动进行检测、相关、估计、分析，以便快速、准确、连续、全面地提供战场态势信息。随着海、陆、空、天、电一体化作战体系的出现，数据融合技术将朝多平台、多传感器、智能化方向发展。雷达、通信与电子战之所以要一体化，就是为了适应现代战争环境需要，将各种有源和无源传感器有机结合，以扩展在日趋复杂的电磁环境下获取信息的数量和质量，提高对威胁目标识别的可信度，为进攻和防御提供所需的精确信息。因此，数据融合技术是现代军事领域的重要技术之一，是实现雷达与电子战一体化的重要保障和核心技术。

3.2 共享孔径技术

共享孔径技术^[4-5]是一种新的相控阵天线技术，目前已存在几种可共享系统间孔径的方法：一种是减少孔径时间的多重使用，用一个通用的孔径来实现几种功能，在现代多功能雷达系统中已经采用了这种方法；另一种方法是将一个大的孔径分成多个子孔径，每个子孔径执行一项特定的功能。在共用孔径技术研究中，使用单个孔径同时完成多个功能的方法最具吸引力，最理想，但技术难度也最大，如功能间的协调、隔离和控制等问题。当然，

随着共享孔径的一些关键技术问题的突破,共享孔径技术将得到广泛应用。比较典型的有美国的共享孔径计划、美国应用物理实验室的共享孔径技术及休斯公司的共享天线技术。

3.3 CIP 技术

随着计算机技术的发展,处理器在军事电子中的作用日益重要。虽然硬件改进可使同功能硬件变得更小,但处理能力的提高将会使子系统真正实现一体化而非联合,因此,在电子装备一体化研究中,对处理器的研究是最重要的内容。CIP 是实现一体化的核心部件,它是多种先进技术的汇集地,很多计算、处理、控制和管理功能都是在 CIP 中完成。在技术上,核心处理系统充分利用共用模块、并行处理系统和分布实时操作系统的结构特性,以共享核心处理资源,改善性能和可靠性,比较典型的是美国 F-22 中的 CIP。

3.4 有源相控阵技术

有源相控阵技术应用于多目标和强干扰情况下有其突出优点,变化的脉冲方向图和捷变频率发射可用于对抗敌方的 ECM 和建立详细的警戒区域方向图,先进的波束形成技术实现多波束接收。此外,有源相控阵能完成多项功能,可实现模块化、电扫,提高可靠性,降低雷达横截面积,自动在干扰源位置方向形成零点来同时消除多个干扰源。因此,有源相控阵雷达是实现雷达与电子战一体化的基础。

3.5 射频微机电系统技术

微机电系统(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS)技术^[6-7]是 20 世纪 80 年代末发展起来的一项新兴技术,它集微机械与微电子功能于一体,主要包括传感器、执行器、信号处理与控制电路,是系统集成芯片的一个主要发展方向。MEMS 技术有许多潜在的军事应用,在射频(RF)领域的应用就是其中之一。RF MEMS 技术的出现和芯片级无源元器件的开发成功,使得它们可与其他集成电路芯片封装在一起组成多芯片模块,或者将它们与功能电路集成在一个芯片上,形成新的微小型集成化射频系统,应用于相控阵雷达、通信等领域。RF MEMS 组件用于微波收发机,可在提高性能的同时,降低体积和成本。将 RF MEMS 技术应用于天线,主要是采用 RF MEMS 开关改变天线的频率和波束特性,简化相控阵天线结构,用一个天线实现多个功能。

3.6 多平台组网技术

在“网络中心战”的空战环境中,很难界定单平台定位和多平台定位的区别。利用网络技术和数据融合技术,将多平台上的传感器组网后,每个平台就是网络中的一个节点,每架飞机都具有“野鼬鼠”系统的功能,例如,美空军研究实验室/国防高级研究计划局资助的先进战术瞄准技术(AT3)计划,美国空军机载一体化告警系统无源定位与识别计划,美国海军联合辐射源瞄准系统等。在网络的支持下,每架战机除了能单站定位外,还能在远离目标的地方寻找目标,并对 GPS 制导的弹药进行瞄准性引导。为了使定位精密度达到真正的目标瞄准要求,这些系统一般都和机上其他传感器结合使用,如 F22AFT 上 APG277 雷达提供精确的目标距离,ALR294 无源探测系统提供 AOA(Angle of Arrival)信息,“全球鹰”上的 EW 系统与成像系统结合使用,海湾战争中 RC2135 飞机上的 Rivet Joint 系统则采用高分辨力前视红外传感器结合成像情报/电子情报来跟踪、瞄准目标。

3.7 其他一些关键技术

实现雷达、通信与电子战一体化涉及多方面的关键技术,其他一些技术同样是实现一体化的核心。

3.7.1 系统软件技术

系统软件是构成一体化系统的重要环节,只有通过系统软件的管理、调度和控制,各设备和模块才得以构成一个真正协调的统一整体。

3.7.2 数据传输总线技术

数据传输总线是一体化系统的信息传递枢纽,是信息充分利用和融合的必要条件。

3.7.3 模块化技术

模块化是一体化的物理基础,模块包括硬件模块和软件模块,它是重构、共享、故障定位及外场可更换的最小单位。

3.7.4 雷达接收机与电子战、通信接收机一体化技术

随着雷达和电子战一体化技术的发展,宽带和超宽带接收机也成为雷达接收机研究的课题(共用接收信道模块,共用信号处理模块,多频段数字频率源,智能化技术^[8]研究)。

(下转第 440 页)