

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.10.020

引用格式:曹晨,张鹏.新一代预警机通信系统的主要特征[J].电讯技术,2015,55(10):1182-1186. [CAO Chen,ZHANG Peng. Technology Characteristics of Communication System of the Next Generation Airborne Early Warning System[J]. Telecommunication Engineering,2015,55(10):1182-1186.]

新一代预警机通信系统的主要特征*

曹 晨**,张 鹏

(中国电子科学研究院,北京 100041)

摘 要:根据预警机 70 年的发展历史将其划分为三代产品,指出第一代预警机为雷达升空,第二代预警机为通信升空,第三代预警机应成为战场管理中心,具备高的发现能力、高的识别能力和高的时间响应能力,要求其通信系统具备强抗干扰、灵活自组、宽带接入和高互操作等四个功能特征,以及通(信)雷(达)一体、软件定义、智能天线和无线 IP 等四个技术特征。

关键词:预警机;通信系统;数据链;互操作;软件定义;智能天线

中图分类号:V243 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)10-1182-05

Technology Characteristics of Communication System of the Next Generation Airborne Early Warning System

CAO Chen,ZHANG Peng

(China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China)

Abstract: According to its 70 years development history, this paper classifies the Airborne Early Warning System(AEWS) into three generations and points out that the first generation AEWS is featured by onboard radar, the second generation is featured by onboard communication(COM) system and the third generation AEWS should be a battle management center. On functions characteristics, the COM system functions will be capable of enhanced anti-jamming capability, more flexible forms of self-organization, more broad-band accessibility and higher inter-operational capability. And on technology characteristics, the COM system of the next generation AEWS will be compatible with radar, software-definition, smart antenna and wireless IP.

Key words: AEW system; communication system; data link; inter-operatability; software-definition; smart antenna

1 引 言

自 1945 年 3 月世界上第一种预警机——TBM-3W 服役以来,预警机已经走过 70 年的发展历程^[1],可以认为形成了三代产品。20 世纪 40 年代中期到 70 年代初期是第一代,以美军 AD-3/4/5W 系列、EC-121 和 E-1B 等预警机为代表,其最重要的总体特点可以概括为“雷达升空”,通信系统尚为雏形,雷达情报通过莫尔斯电码和话音报告至地面指挥所。20 世纪 70 年代中后期到 21 世纪前 10 年的中期是第二代,以美国 E-2C、E-3A 和俄罗斯 A-50 等预警机为代表,其最重要的总体特点是“通信

升空”,预警机由此既是空中情报站,更是一个不依赖地面指挥设施、独立的、要素齐全的空中机动指挥所。通信系统从话音向数据链转换,主力预警机均装备了短波、超短波和 L 频段数据链,从而为预警机具备指挥控制功能提供了技术条件。

进入 21 世纪以来,作战环境发生了深刻变化。由于空中作战单元的增多,实现从单平台作战向建立基于信息系统的体系作战能力的转变,横向需要完成各单元的协同探测、识别或打击等专项战斗任务,纵向则需要利用各类单元形成“侦、控、打、评”的打击链,都需要利用通信系统来建立支撑体系的

* 收稿日期:2015-06-10;修回日期:2015-08-28 Received date:2015-06-10;Revised date:2015-08-28

** 通讯作者:caochen998@sina.com Corresponding author:caochen998@sina.com

链路和网络。特别是在需要国家军事力量具备前出作战能力的条件下,此时没有地面系统可以依赖,预警机应具备空中作战单元的全面管理能力^[2](即成为战场管理中心),为体系内各成员提供接入和交换手段,并提高健壮性,保障协同能力。

未来的空中威胁出现三个方面的复杂化,是作战环境发生深刻变化的具体体现。一是复杂的目标,包括隐(四代战机)、低(低空突防目标)、慢(慢速目标)、小(导弹等小目标)、高(临近空间目标)、快(高超声速目标);二是复杂的地理环境,包括远海、滨海、城市、山区等;三是复杂的电磁环境,包括越来越强烈的有意无意或民用军用干扰。第二代预警机已经不能适应未来作战环境,新一代预警机除了具备在复杂电磁环境下高的探测能力之外,还需要具备高的识别能力与高的时间响应能力。“三高”的能力要求均需要通信系统的支撑,通信系统在预警机中的作用将空前重要。为应对这一需求,美军最新型号的预警机——E-2D 配备了多元化的通信系统,主要体现在:配置基于联合战术无线电系统(Joint Tactical Radio System, JTRS)的多条通信链路,覆盖 HF、VHF/UHF、L、C 等多个频段,满足不同复杂环境下的稳健连接需要;配置协同交战能力(Cooperative Engagement Capability, CEC)系统、Link 16 等涉及情报、指控和武协等不同层次的数据链系统,以实现打击链“探测、识别、决策、打击、评估”等各个环节的业务覆盖;配置卫星通信系统、综合广播服务接收系统、宽带 IP 网络等手段,以实现空基网络与全球信息栅格(Global Information Grid, GIG)的可靠连接。

2 新一代预警机的能力特征

新一代预警机所具备的高探测能力以“反隐身”为核心任务。第二代预警机对隐身目标的探测能力相比常规目标缩减 50% 以上,而第三代预警机对隐身目标的探测能力应达到第二代预警机对常规目标的探测水平。预警机的反隐身能力需要在系统层面上实现,而不仅仅是雷达。在不断提高雷达自身功率孔径积、采用多频段工作和雷达组网等技术的同时,做好本机多元化传感器以及基于通信与网络系统的跨平台协同探测,也是提升复杂电磁环境下反隐身能力的主要途径。另外,由于反隐身手段的多样化,对于预警机而言,众多的传感器将进一步挤占本已设备量较大的通信和数据链系统,要求提高其综合化程度,降低装机代价。

高识别能力是实现“从传感器到射手”的必要

条件。第二代预警机以基于敌我识别器(Identification of Friend or Foe, IFF)的询问和应答为主要识别手段,保密性差,易被干扰,识别率较低。第三代预警机不再单纯依靠询问和应答的交互直接对目标属性作出判定,而是以作战体系内基于通信系统、数据链路和网络的多源情报综合为基础,构建自主、高可靠、多手段协同和机器到机器的自动目标识别系统,具备“非合作目标识别”和“网络认证”功能,即使是在更为复杂的电磁环境下,由敌我识别造成的误伤率也可以降低一个数量级。

高的时间响应能力是构建打击链的必然要求。如果说高的发现能力与识别能力重点解决第三代预警机的态势形成质量问题,高的时间响应能力则重点解决态势形成的速度问题。目前的通信和数据链路在三个方面的不足使之成为提高时间响应能力的重要瓶颈。一是目前主用通信系统对复杂电磁环境的适应性明显不足,抗干扰能力较差。由于体制限制,超短波和 Link 16 链路的抗干扰容限均不超过 20 dB,而以下一代先进干扰机所能达到的干扰电平,已能使现有预警机通信系统在 250 km 以外基本不具备正常通信能力,导致系统几乎无法响应。为使通信系统在强干扰条件下仍然具备通信能力,抗干扰容限应提升 30 dB。同时,现有数据链一般需要长时间的事先规划,对战场的动态响应能力不足,无法适应未来复杂电磁环境条件下可能多达 1000 个战斗单元的快速进入/退出网络。二是目前主用通信和数据链路自身的绝对带宽严重不足,数据交换速率不到 1 Mb/s 量级,只能传输语音和数据,不能支撑未来作战环境下跨平台协同探测、识别和打击对传输容量的需求。按照国外水平,情报网所需的传输速率可达 10 Mb/s,精确指挥控制所需的传输速率可达 (k ~ M) b/s,快速战斗协同所需的传输速率则在 2 Mb/s 左右。三是目前主用通信系统硬件种类太多,且彼此兼容性较差,短波、超短波和 L 频段以及更高频段的数据链间难以互通互操作,给使用造成严重不便,也限制了系统响应时间的提高。

3 新一代预警机机载通信系统的主要特征

3.1 主要功能特征

下一代预警机的“三高”要求,对通信系统提出了四个方面的能力要求,或者说,通信系统应具备如下四个功能特征。

3.1.1 强抗干扰

通信系统能够适应复杂电磁和地理环境,在强干扰条件下仍然能够完成任务。目前的军用通信系

统在未来强电子干扰条件下,要想维持现有300 km左右的空空通信水平,需要将干扰能力再提升约30 dB。为此,一是通信系统自身层面,在现役装备普遍采用扩频通信技术和编码调制技术的基础上,通过采用自适应天线和多人多出(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)技术,有望显著改善通信系统适应复杂环境的能力;二是利用预警机的多系统集成环境,加强综合化设计来实现单系统所难以具备的能力,其主要措施就是充分利用雷达的能量、孔径和时间资源,做好与雷达的一体化设计,将雷达约30 dB的天线增益提供给通信系统。此外,在预警机的集成环境下,电子侦察(Electronics Support Measures, ESM)或通信侦察(Communication Support Measures, CSM)有可能感知电磁频谱,从而引导通信系统以无干扰或弱干扰的频点或模式工作。

3.1.2 灵活自组

通信系统作为基础设施,是现代信息化战争形成体系对抗的主要支撑。虽然战争形态起始于早期的无网状态,发展至后来的有网状态,未来也可能回归至因强对抗条件而造成的无网状态和单兵作战,但构建强大的网络是信息化战争的必经阶段,因此,通信系统的抗毁性强应该是构建体系对抗、形成体系作战环境的基本要求。

体系作战条件下的强网要求,除了通信系统自身应具备较强的抗干扰能力外,主要是要求在强对抗环境中,节点在丧失工作条件或退出某种工作模式的情况下能够迅速重新进入或恢复,同时尽量减少对网络基础设施的依赖。为提升通信系统的灵活自组能力,移动自组网技术近年来得到了快速发展。移动自组织网络是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性自治系统,网络中的移动终端具有路由和转发功能,可以通过无线连接构成任意的网络拓扑结构。与传统的无线通信网络相比,自组织网络具有无中心、自组织、多跳路由和动态拓扑等特点,具备适应空基军事通信系统需要的潜力。事实上,美陆军的战术互联网已经成为迄今为止规模最大的移动无线多跳分组网络,美军方也已经研制出大量的无线自组网设备,在对伊拉克战争中发挥了重要作用。同时,美军通过多种途径投入大量经费研究未来环境下通信网络的灵活自组性问题。在美军的E-2D预警机中,配备了基于自组织网络技术的机舰联合任务规划系统(Joint Mission Planning System, JMPS)和多任务先进战术终端机(Multi-mission Advanced Tactical Terminal, MATT),以期提供更为灵活的未来网络。在灵活自组织的未来网络中,以分组交换和路由转发为核心的IP技术是重要

的支撑技术,此外,还涉及自适应编码、自适应调制和自适应功率控制等链路自适应或认知技术。

3.1.3 宽带接入

为了较好地解决预警机对新型目标的探测和识别问题,通过作战体系的单元组网来拓展探测距离、提高探测精度和改善识别能力,特别是对非合作目标的识别能力,是一个重要途径,由此带来探测源和识别源种类的增加和数量的增多,数据量空前增大,通信系统应该具备更快速的传输探测和识别信息的能力。为了解决大容量传输问题,在作战应用上更好地支持基于多源数据的协同探测和识别,通信系统有可能采用MIMO技术、IP技术甚至基于4G的民用技术。特别是通过将基于开放标准的民用宽带无线移动通信技术(如基于4G的移动通信和基于IEEE 802.16)转化为军事应用,可以极大节约军事项目的开发成本和时间,同时提供较高的系统互操作能力,是军用通信系统发展的重要方向。然而,从现有民用技术直接应用到预警机及其他机载平台,虽然有望获得更高的传输速率和更灵活的组网能力,但同时应努力解决系统的抗干扰、远距离和高移动问题。下一代预警机通信系统可以在传统抗干扰手段(跳频、扩频、跳时等)基础上采用认知无线电技术,结合ESM/CSM等传感器形成统一电磁频谱态势,并采用频率搬移和载波聚合等技术实现宽带动态频谱抗干扰能力。采用超宽带天线、超宽带功放以及软件无线电技术,构建自适应编码和调制的多波形库,扩展不同情况下的直通距离,同时引入自动多跳路由机制来解决远距离通信问题。此外,应重新设计帧结构以及频移估计算法来解决平台高移动带来多普勒频移问题。

3.1.4 高互操作

由于历史原因,数据链种类较多、多链并存,虽然每一种链都有着存在的合理性或使用优势,但也带来了集成不便和使用受限的问题,这些问题在预警机上尤为突出。在未来作战条件下,预警机可能执行远程远海作战任务,此时不能依赖地面指挥机构,预警机必须作为空中枢纽,具备连接各类作战单元的能力,因此在预警机上集成的数据链种类将非常繁多,必须解决不同链间的透明接入问题,显著提升预警机通信系统连接多种单元、适应多类任务和抗各种环境的性能,并减轻操作员的负担。

为提供预警机通信系统的高互操作能力,有两类技术途径:一是开发机载通信系统网关,为机载平台(如预警机、战斗机和无人机)提供多链接入、通信中继和桥接功能,例如美军于1998年就已提出的机载通信节点(Airborne Communications Node, CAN;

Battlefield Airborne Communications Node, BACN) 计划^[3]以及机载战术目标网关 (Objective Gateway, OG) 计划^[4],应用于包括 E-3 预警机在内的空中通信节点;二是大力研发新体制、多功能和共用化的数据链,特别是利用 IP 和软件定义等多种技术,实现由多种数据链并存逐渐向各领域以一种公用/共用数据链为主、少数专用数据链为辅的方向过渡,这也是可能的重要发展方向。

3.2 主要技术特征

3.2.1 通(信)雷(达)一体化

通信系统抗干扰的瓶颈问题,可能在系统综合的层面解决,雷达通信一体化是一个重要途径。通过雷达天线的定向和高增益特性,大大改善全向通信系统的抗干扰水平,同时兼顾提升传输距离和速度。雷达通信一体化将对通信系统的设计和使用带来显著影响。

在预警机上,雷达通信一体化有着良好的技术基础。预警雷达天线孔径相对较大,增益高,副瓣低。一般地,预警雷达天线单程增益在 35 dB 以上,再加上目前无线通信通过采用扩跳频等手段所获得的接近 20 dB 的抗干扰增益,其总抗干扰得益将达到 60 dB,接近有线传输所获得的高抗干扰特性,即使下一代干扰机在距离 250 km 处对预警机通信进行干扰,也难以获得理想的干扰效果。由于雷达天线高增益特性导致通信系统将由全向变为定向,而通信系统的对象本来仅为合作目标,但长期以来,通信系统无论 360° 方向上有无通信对象均需要辐射能量,这带来了能量的浪费,同时也降低了通信系统的抗截获能力。为了确定通信对象,预警机可以利用自身的多传感器,在发现目标并确定目标属性后进行通信。

雷达通信一体化有两种技术途径,一是时分工作,二是共用波形^[5],后者离工程实用化还有一定距离。在时分体制方面,由于宽带器件技术的进步以及反隐身的需要,预警雷达的工作频段可能从常用的 L、S 等频段向低端扩展,因此,在 P 频段和 L 频段的雷达可能兼容现有通信设备的工作频段,使得无需对现役电台硬件做大的改动的情况下,具有较好的时分工作性能,对雷达探测没有明显影响。而且,在预警机条件下,由于雷达天线常常有两个或多个天线阵面,在一个天线阵面用于雷达的情况下,另外一个阵面可以用于通信,几近等效于雷达通信同时工作,这是预警机中雷达通信一体化不同于战斗机及其他情况下设计和使用的一个显著优势。

3.2.2 软件定义

在第三代预警机中,以射频数字化为基础,首先

实现软件电台,并在此基础上进一步利用认知技术,提升通信系统的智能化水平,将是机载通信系统的重要特征。它首先通过数字化和射频综合设计,显著减少装机代价,改善设备适应平台的能力。其次,它利用认知无线电技术感知干扰环境并具备统一而灵活的各种波形实现电台的软件定义^[6],同时通过包括多入多出技术在内的智能天线技术合理分配能量,来提升适应复杂和未知电磁环境以及多种任务的能力。

软件定义技术在通信系统中持续发展,可能导致通信系统成为软件定义网络 (Software Defined Network, SDN),这意味着未来的预警机通信系统中,电台与数据链消失,通信系统是宽带的、软件的和智能的网络,它使得应用软件可以参与对网络的控制管理,满足上层业务需求,通过自动化业务部署和简化网络运维,这些特性使得它可能成为满足空基军事通信宽带、动态应用的理想架构。但是,软件定义网络的运算压力大、软件复杂度高、系统稳定性等问题会随着控制网元的数量增加而呈几何级数上升,控制器接口远未标准化,存在集中管理控制架构所带来的“单点失效”等固有问题。因此,一方面,软件定义网络的众多关键技术问题需要进一步研究突破,另一方面,阶段性实现软件定义功能,满足空基军事通信的现实应用需求是完全可能的。

3.2.3 智能天线

智能天线早期应用于雷达领域,后来被发现在信道扩容和提高通信质量等方面具备独特优势而被引入军事通信,又称自适应天线阵列、可变天线阵列或多天线。在雷达领域^[7],自适应天线阵列通过数字化波束和智能信号处理来判定信号的空间信息,跟踪或定位信号源,并进行空域滤波。在通信中,该技术在空域(可联合时域)对发送信号和接收信号进行最佳处理,实现多路数据的同时传送,支撑多节点组网,能在不增加带宽的情况下成倍提高通信系统的频谱利用率,并有效降低误码率,也是 4G/5G 应用的重要技术。在预警机应用领域,当前,雷达和电子战可以通过基于数字波束形成 (Digital Beam Forming, DBF) 的大阵列和同时多波束应用,更充分地利用空间和能量资源,在此基础上,通信系统通过一体化设计或孔径共用来获得多通道和高增益的优势,可能会是智能天线技术首先在预警机上的应用。另一方面,智能天线技术在军用通信系统中全面应用,尚需解决若干技术难题,如多径传播引起的频率选择性会增加信号处理的复杂性;在未来高速移动通信条件下,精确实时地跟踪信道状态变化将更为困难,这些都是正在深入研究的课题。

3.2.4 无线 IP

无线 IP 技术一直未能在军用通信中较早和普遍应用,凸显了军用通信领域与民用通信领域比较相对落后的一方面。目前无线 IP 的军事运用基础已经成熟,将在军用无线通信的多个方面作出贡献,带来空前的扩展性、灵活性和宽带特性。

美军在世界范围内较早地开始了 IP 技术的应用探索,其早期的典型代表是联合战术无线电系统(Joint Tactical Radio System, JTRS)和战术瞄准网络技术(Tactical Targeting Network Technology, TTNT),基于 IP 的、与空基通信系统有关的应用正在迅速扩大。通过 JTRS 项目,基于公共 IP 的组网概念以及 ad hoc 组网技术,美军开发宽带组网波形(Wideband Network Waveform, WNW)^[8],计划作为美军所有战术通信系统使用的通用波形。依托已在 E-3 预警机上开展试验的 TTNT 项目,同样采用结合 ad hoc 的 IP 技术,可提供 2~50 Mb/s 数据速率的数据业务和多媒体业务,并且特别适用于空中网络,使机载通信达到了空前水平。基于 IPv6,美军正在开发下一代高级战术互联网——指战员战术信息网(Warfighter Information Network-Tactical, WIN-T),同时大量采用基于 3G/4G 的民用通信技术以及 IEEE 802.16 标准,构建由传统视距、空基和天基通信系统构成的三层体系,实现全方位的移动能力,代表了军事通信基于民用技术发展的重要方向。

4 结束语

下一代预警机所具备的“三高”特征,将解决在复杂电磁环境下隐身目标、未知属性目标和时敏目标/高机动目标的打击支持问题,并使完成“发现、跟踪、识别、决策、打击和评估(或侦、控、打、评)”的打击链所需时间不断缩短,通信系统具备的强抗干扰、灵活自组、宽带接入和高互操作等四个功能特征以及通(信)雷(达)一体、软件定义、智能天线和无线 IP 等四个技术特征,实际上可能使传统的通信系统发生从全向定向应用的转变,以及从数据链向网络的转变,从而为新一代预警机在体系中发挥核心作用作出更大贡献。建议国内在新一代预警机研制或已有型号改进中进一步重视体系应用对通信系统提出的各种需求,以及在预警机系统集成环境下强化通信系统与其他射频系统的一体化设计以期解决通信系统自身所不能解决的问题,同时加强民用新技术在军用通信系统中的研发与技术储备。

参考文献:

[1] 曹晨. 预警机发展 70 年[J]. 中国电子科学研究院学

报,2015,10(2):1-6.

CAO Chen. Developments of AEW System for 70 years [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2015, 10(2): 1-6. (in Chinese)

[2] 范鹏,曹晨,葛怀宁. 预警机指挥控制功能的作战使用及其发展[J]. 现代电子技术,2014,37(8):22-25.

FAN Peng, CAO Chen, GE Huaining. The use in war and developments of command and control function of AEW system [J]. Modern Electronics Technology, 2014, 37(8): 22-25. (in Chinese)

[3] 陆军,邴能敬,曹晨,等. 预警机系统导论[M]. 2 版. 北京:国防工业出版社,2011.

LU Jun, LI Nengjing, CAO Chen, et al. Introduction to Airborne Early Warning System [M]. 2nd ed. Beijing: National Defense Industry Press, 2011. (in Chinese)

[4] Peterson M. Objective Gateway: Information to the Battlefield's Edge [M]//RUSI Defence Systems. Washington DC: [s. n.], 2007: 96-97.

[5] 刘志鹏. 雷达通信一体化波形分离算法研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2013,8(5):421-425.

LIU Zhipeng. Separation Algorithm Research of Radar-Communication Integrated waveform [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2013, 8(5): 421-425. (in Chinese)

[6] Fette B A. 认知无线电技术[M]. 赵知劲,郑仕链,尚俊娜,译. 北京:科学出版社,2008.

Fette B A. Cognitive Radio Technology [M]. Translated by ZHAO Zhijun, ZHENG Shilian, SHANG Junna. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)

[7] 周万幸. 军用电子信息技术发展综述 [J]. 现代雷达, 2010, (32)6: 1-6.

ZHOU Wanxing. Summarization of Military electronics information technology [J]. Modern Radar, 2010, (32)6: 1-6. (in Chinese)

[8] 张玲,敖佳,蒋秦芹. 一种宽带组网波形的 SDR 平台实现[J]. 通信技术,2012,45(1):131-134.

ZHANG Ling, AO Jia, JIANG Qinqin. A Wideband Networking Waveform based on SDR Platform [J]. Communications Technology, 2012, 45(1): 131-134. (in Chinese)

作者简介:



曹 晨(1974—),男,湖北当阳人,2001 年于北京理工大学获博士学位,现为研究员、博士生导师,主要研究方向为机载信息系统总体设计;

CAO Chen was born in Dangyang, Hubei Province, in 1974. He received the Ph. D. degree from Beijing Institute of Technology in 2001. He is now a senior engineer of professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns airborne information system design.

Email: caochen998@ sina. com

张 鹏(1978—),男,湖北襄樊人,2003 年于北京航空航天大学获硕士学位,现为高级工程师,主要从事机载航电系统总体设计工作。

ZHANG Peng was born in Xiangfan, Hubei Province, in 1978. He received the M. S. degree in 2003. He is now a senior engineer. His research concerns avionics system design.

Email: uesupdate@ sina. com