

DOI: 10.3969/j.issn.1672-2337.2018.03.001

探测体系能力生成理论及方法

葛建军, 李春霞

(中国电子科技集团公司信息科学研究院, 北京 100081)

摘要: 针对分布在空、时、频多维空间的感知节点如何组织、协同、联合处理形成体系能力的问题, 从概念机理、基础理论和构建方法三个角度进行了探讨。在理论方面, 以信息论、控制论为基础, 建立基于任务要求配置探测要素及其控制处理关系的探测系统基础理论。在系统架构上, 提出以资源虚拟、语义互联和时敏化网络等为支撑, 以能力生成理论为核心, 动态构建探测系统的方法。

关键词: 探测体系; 能力生成; 系统架构; 信息论

中图分类号: TN951 文献标志码: A 文章编号: 1672-2337(2018)03-0237-05

Theory and Method for Capability Generation of Detection System

GE Jianjun, LI Chunxia

(Information Science Academy, China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100081, China)

Abstract: In view of the problem of how to organize, cooperate and jointly process the multi-dimensional distributed nodes in the space, time and frequency domains, this paper gives discussions from concept, mechanism, basic theory, and construction method. In theory, on the basis of information theory and cybernetics, the basic theories to dispose detection elements and control their processing relations are established aiming at task requirements. In terms of system architecture, a method of dynamically constructing detection system based on capability generation theory is put forward, which is supported by resource virtualization, semantic inter-connection and time sensitization network.

Key words: detection system; capability generation; system architecture; information theory

0 引言

分布式、网络化作战已经成为未来战争的基本形态。在不对称作战需求牵引和科学技术发展驱动下, 未来战争形态向无人、无边、无形进一步发展。无人是指装备运用向智能化和无人化方向发展, 自主决策和自主协同将在作战系统中起重要作用; 无边是指陆、海、空、天、电、网络等作战空间边界的消失及战场物理空间的时空压缩, 作战要素泛在互联及跨域协同是主要手段; 无形是指作战力量的运用没有固定的形态, 表现为大规模战场要素的动态组织、协同。

2010年发布的《2010—2030年美国空军技术展望》指出, 未来战争科学的演变将是从平台到能

力、从有人驾驶到遥控驾驶、从固定到灵活、从控制到自主、从集成到分离、从预定到组合、从单域到跨域、从许可到争夺、从传感器到信息、从打击到阻止/威慑、从赛博防御到赛博应变、从长系统寿命到快速更新。

近几年, 美军在作战体系理论建模、能力生成与试验验证等方面开展了一系列前瞻性的研究工作, 以支撑体系能力的不断提升。2013年, 美国空军提出“作战云”概念^[1], 旨在通过网络技术融合来自地面、海上、空中和太空的态势信息, 汇集成“作战云”, 在作战体系层面实现数据的实时“流动”。2014年, 美国国防部高级研究计划局(DARPA)的“体系集成技术与试验(SoSITE)”项目^[2]旨在开发并验证可将各种能力分布在有人和无人机

载平台上的体系级架构,解决多功能系统装备复杂度高、成本高、对抗能力弱和开发周期长等问题。2015年,DARPA的“复杂自适应系统组成和设计环境(CASCADE)”项目^[3]旨在探索新的数学方案,更深刻地理解复杂自适应系统组件之间的相互作用和系统行为,寻求从根本上改变系统的设计方法,助力实现在动态、不可预知环境下的实时灵活重构。2016年,DARPA的“拒止环境中的协同作战(CODE)”项目第二阶段^[4]计划通过两个真实的无人机系统并协同其他模拟飞行器,验证协同执行目标搜索、识别等复杂任务的性能。2017年,DARPA在寻求精确作战中用于多尺度模拟的创新概念中,提出寻求利用商业游戏技术,评估动态可组合的分布式作战概念在城市作战环境中装备联合和多域作战的效能,从而实现创新的任务组织和战术策略使用^[5]。

总体说起来,本文认为“全域机动、灵活组织、跨域协同、自主应变、能力演进”将是未来体系探测的典型特征。作战要素泛在互联、动态聚合、自主协同、联合处理是未来探测体系形成的关键。本文从探测体系概念构想、基本理论和构建方法三个角度全面提出了未来探测体系构建的体系架构、理论和方法,可为未来探测体系建设提供指导。

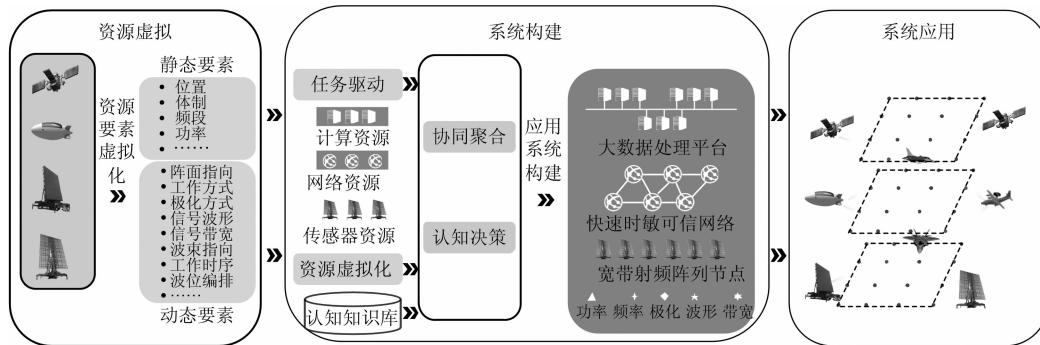


图 1 探测体系概念内涵示意图

从未来探测体系特征来看,具备多方面典型的能力,如图 2 所示,主要包括以下 5 个方面。1) 敏捷系统能力:根据作战任务的要求,在功能引擎的作用下统一资源调度与管理,任务驱动资源自组织,生成动态功能系统;2) 探测范围拓展能力:以最大化探测范围为目标充分激发各类目标的空、时、频回波信息,统一信号处理,使探测能力非线性增强;3) 精确目标定位能力:根据任务需求构

1 探测体系概念构想与能力特征

现代战争中,战场透彻、全面感知是打赢战争的前提。探测系统以战场获取信息的完备性、时效性和准确性为目标。

未来的探测系统从探测要素来看,探测要素的内部资源需向体系充分开放,以最大程度地利用和控制探测资源。从探测要素的信息交互来看,要最大程度地传递原始信息,提供全维感知战场的基础,要接近实时地实现各类探测要素的控制,从而实现不同要素的空、时协同。从探测要素的组织来看,需要根据作战任务的变化,动态组织各类资源,完成特定的探测任务。从探测能力生成来看,要在根据任务动态组织资源的前提下,在体系层面对获取的各类信息进行联合处理和信息挖掘。

围绕以上任务,定义未来探测体系的概念内涵如下:通过虚拟技术实现作战要素向体系开放;语义互联实现作战要素的描述及理解;功能引擎实现作战要素的动态协同工作;最终根据作战任务动态构建探测系统。该探测系统根据作战任务统一控制探测资源生成最优构型和协同模式,从空-时-频多维度提升目标和环境的信息增量。概念内涵的示意图如图 1 所示。

建精确定位所需的信号集,大区域统一口径,实现大空域范围坐标定位;4)准确目标识别能力:激发并收集各类目标的空、时、频响应信号,统一数据空间,实现目标的精准分类、识别;5)协同鲁棒能力:改变主要靠装备的战术应用及装备本身的对抗能力,探测体系将在更大范围内组织系统资源,利用体系的空、时自由度及空、时联合协同,在系统能力生成引擎的作用下实现统一形态自组织、

群博弈、群协同。



图 2 探测体系能力特征示意图

2 探测体系能力生成基本理论

互联网价值(能力)定律为梅特卡夫定律,即网络的价值与网络节点数的平方成正比。其背后的机理是网络的外部效应,即在互联网中,信息的消费过程同时就是新信息的生产过程,每个用户所提供的新贡献越多,网络的价值越大。

传统网络的演化(组织)具有自身的规律,如小世界网络、无尺度网络。小世界网络以高集聚系数和低平均路径为主要特征,大部分节点并不是彼此直接连接,但绝大部分节点之间经过几步即可到达。无尺度网络更加强调相对较少的节点具有更高的度(连接性),其自相似性的背后是网络的成长性和优先连通两种机制。然而,类比这些网络的能力特征和演化规律,在探测体系方面有无同样的规律?探测体系的目标是获取整个战场的完全信息,而战场中的任意一个目标可以采用多维度的信息表达。探测体系中广域分布的各传感器节点从不同维度观察目标,获取目标的空-时-频-极等多维度信息,是对目标信息的抽取。其示意图如图 3 所示。

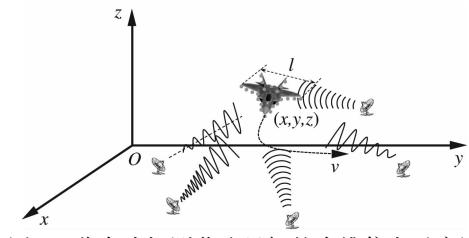


图 3 分布式探测获取目标的多维信息示意图

单节点提取的目标信息具备不完备性,这种不完备信息不能表现为显性化的体系能力。随着分布式节点的增加,获取目标的多维信息的抽样,而体系能力增量的产生是多节点不完备信息的重构。以体系的观点看待林肯实验室的“分布式阵

列相参合成雷达”工作,实质并不是验证“ N^3 得益”,其背后是采用分布式构型,以获得多目标更精细的差异化信息,对多目标进行分辨识别。关于蜂群作战,从远程探测的角度来看,当一群探测节点聚集在一起时,较单个节点相比,不能带来信息量的增加,反而增加了系统的复杂度。

探测体系能力与战场中各类感知要素的类型、性能、空间分布、协同模式、处理方式、探测环境等密切相关。寻求的是像雷达方程那样的基本工具。通过对探测体系能力生成理论探究,得到如下 3 个定理。

定理 1: 探测体系的全局熵小于探测体系的局部熵。

定理 2: 探测体系感知能力的熵小于探测节点感知能力熵的累加。

定理 3: 探测体系在要素确定的情况下,全局熵取决于拓扑结构及相互关系。

通过最优化组织多类探测资源要素参数及拓扑构型,将无序的探测要素进行最优化的配置,形成以最优化完成探测任务为目标的一个有序的探测体系,从而提升感知信息的精确性,最大化形成体系探测的信息增量。

3 探测体系构建总体思路

图 4 表示了探测体系构建框架,针对协同、跨域探测需求,适应未来探测体系演变,采用任务驱动、资源虚拟、能力聚合等方法,动态构建自主认知与智能决策的功能系统,生成体系化探测能力。

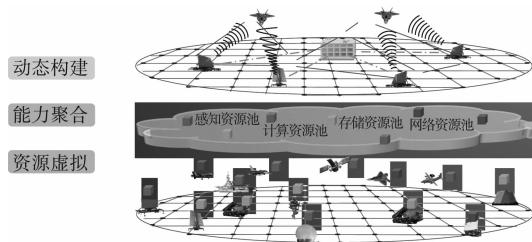


图 4 探测体系构建框架

在探测体系构建过程中,资源虚拟化是体系构建的前提,其基本概念示意如图 5 所示,面向探测体系对多粒度资源动态管控调度需求,基于标准化、模块化、软件化的开放式架构,将宽带天线、收发、信号处理等资源进行细粒度解聚,软件和硬

件解耦。从而,可以对外提供多类资源通用服务能力,灵活实现功能定义和资源配置。

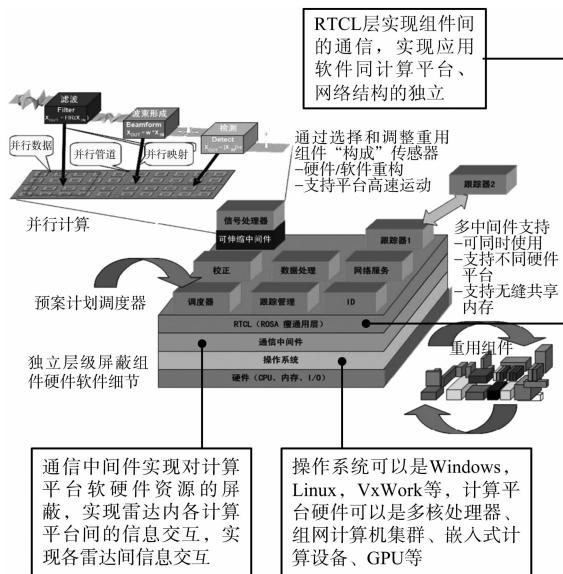


图 5 探测体系资源虚拟化概念示意图

战场感知资源的形态、功能、体制各不相同,应根据感知能力要求和可控程度进行分层次、多粒度的虚拟化,其基本架构如图 6 所示。



图 6 多层次多粒度感知资源虚拟化架构

多层次多粒度感知资源虚拟化架构包括物理资源层、物理映射层、虚拟模型层、虚拟资源管理层和应用服务层。其中,物理资源层包括天基、临近空间、海基、空基和陆基等感知资源实体,涉及光学、SAR、红外、高光谱、雷达等多种感知资源类型。

物理映射层则反映了将实体环境中的物理资源进行抽象,转换生成虚拟能力或功能模型的过程。在这个过程中,关键在于保持物理资源所提供能力定义的不变性和保留提供该能力所依赖元素与其他元素间的必要联系。因此需要构建一个严格的映射关系,以保证新生成的虚拟能力与其所应用的物理资源的能力具有一致性。感知资源可以从不同粒度或者面向不同场景虚拟化为不同的虚拟能力,因此,物理资源面向不同的能力定义可以存在不同的映射关系。按照资源可控程度,可将感知资源虚拟化的粒度分为 4 个层级:1)信息引接级,即通过虚拟映射后不能控制或改变感知资源的状态和参数,只对感知资源产生的信息和数据进行引接;2)功能可控级,即通过虚拟映射后可控制或改变感知资源部分易于操控的功能,如开关机、模式设定等;3)部分要素可控级,即通过虚拟映射后可控制感知资源细粒度的部分要素,如工作频率、工作波形、波位排布等;4)全要素可控级,即通过虚拟映射后可控制感知资源细粒度的全部要素,这是虚拟化的最高程度,需要底层物理资源的深度支持。

虚拟模型层将物理资源的功能面向不同粒度和在不同场景中表现出来的能力抽象为一种虚拟存在的能力,以便于其可以与上一层虚拟资源管理中虚拟功能系统构建的需求对接。这种虚拟能力将通过基本属性模型、功能模型、能力模型和行为模型来表达。

虚拟资源管理层以虚拟模型层中的虚拟模型为基础,从可实现和可操作的角度出发,实现虚拟资源的接入、封装、注册和发布,建立统一的虚拟资源管理平台,对虚拟资源的全生命周期进行管理,通过提供统一的管理和调用接口,实现虚拟资源的统一部署、集中管理和分布透明使用。同时,可根据上级应用系统下发的作战任务,动态组织虚拟资源,构建满足任务要求的功能系统,为上层的应用服务提供相应的情报数据服务。

应用服务层将虚拟功能系统产生的数据信息进行服务化,提供给相应的应用系统或用户使用,包括目标态势服务、物理环境态势服务和电磁态势服务等。

构建探测体系需要探测单元的实时、高效信息交互。语义互联网络是基于共同语义环境,实

现装备在虚拟环境中的注册、发现,以及探测要素间相互理解;从虚拟环境中的任务功能系统向物理实体系统映射,以及对探测单元精准控制。在采用语义互联实现对探测要素实时控制的基础上,探测体系海量数据的高速、宽带传输采用时敏网络技术,其架构如图7所示,时敏网络采用控制面与数据面分离的扁平化架构、端到端统一控制、光波长承载直达等方法,消减中间处理过程,降低处理和转发时延,支持对探测体系大带宽、低时延、高同步精度的信号级时间和任务级时序协同的需求。

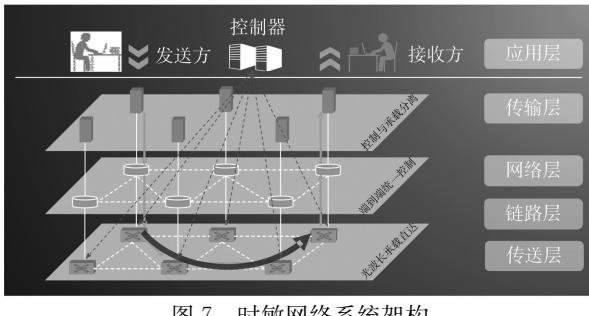


图7 时敏网络系统架构

在体系探测能力生成理论的支撑下,利用模型的方法及大数据驱动的人工智能方法,动态实

时地完成能力聚合。其中,基于模型的方法利用信息论^[6]建立与探测任务相关的信息理论模型,在任务能力指标的约束下,通过数学优化的方法实现体系构建以及资源的动态组织。按照探测要素间逻辑关系,知识辅助实时生成要素的时序关系和协同模式等。其概念示意图如图8所示。

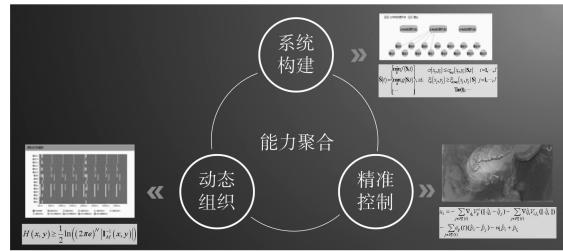


图8 基于模型的能力聚合概念示意图

图9表示了基于人工智能的体系能力演进,对于要素比较多、关系复杂的探测体系,很难进行数学建模并得到解析解。为此,探测体系利用领域知识,基于人工智能方法,通过持续地红蓝对抗博弈,自主学习、迭代优化我方探测资源协同运用、能力动态聚合等规则策略,完成体系能力演进,最优化实现体系探测资源的动态组织。

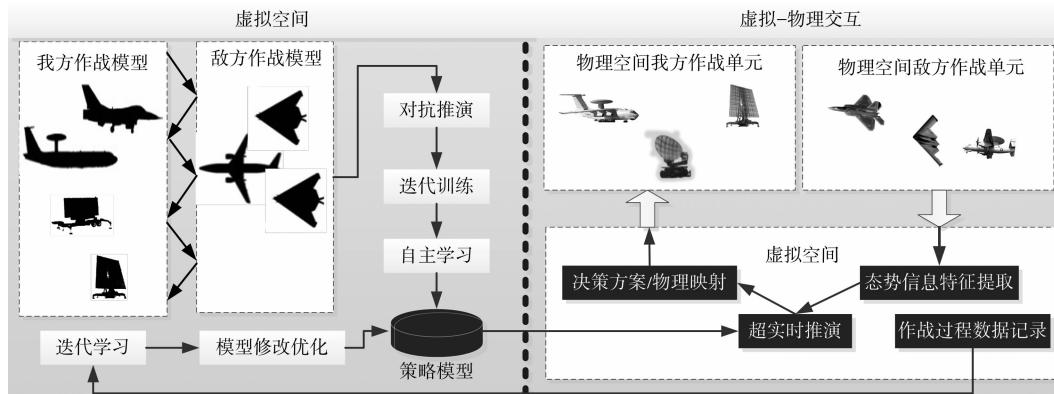


图9 基于人工智能的体系能力演进

4 结束语

本文系统性地给出了探测体系概念构想、能力生成理论与构建方法,为未来探测体系最优化构建提供了理论基础与方法。一方面,基于信息论原理,提出了探测体系能力生成的机理与机制,指导探测资源的有序组织,动态生成探测体系能力。另一方面,提出探测资源虚拟化、语义互联、时敏化网络、基于模型及智能处理的体系能力演

进方法,在此基础上实现探测体系的动态、高速、精准构建,完成目标检测、跟踪与识别等多样化任务。

参考文献:

- [1] LAIRD R. Why Air Force Needs Lots of F-35s: Gen. Hostage on the ‘Combat Cloud’[EB/OL]. [2018-03-26]. <https://breakingdefense.com/2013/01/why-the-air-force-needs-a-lot-of-f-35s-gen-hostage-on-the-com/>.

(下转第248页)