

第3章 航空集群作战任务 决策理论及应用

由第2章分析可得,在体系化、分布式、开放架构的作战发展趋势下,航空集群可以看作一个由诸多泛在节点有机构成的力量整体,作战运用以一体化多功能簇的形式体现出来,通过运用互为主体进行任务决策,实现集群资源的灵活聚合和解聚、泛在节点间的深度协同以及作战角色的选择和转换。因此,航空集群作战可以突破传统作战样式的限制,作为一个具有多种硬件资源、软件资源和关联资源的一体化系统,并发遂行侦察、干扰、探测、通信、攻击、管理和评估等多项任务,达到任务层面和系统层面的一体化运用效果。

因此,本章在第2章的基础上,首先,针对航空集群作战典型任务展开研究,对任务时序及典型战术进行分析,给出典型任务作战场景,并提出航空集群作战远景目标;其次,针对主体重构方法进行研究,划分主体重构的类型,归纳主体重构的触发机制,提出主体重构的原则和目标,从而增强航空集群主体选择与转换的灵活性和鲁棒性;然后给出互为主体在航空集群典型任务中的三种运用方式,分别为同层、跨层和混合任务决策;最后,提出航空集群作战互为主体任务决策流程。

3.1 航空集群作战典型任务

航空集群作战任务包括侦察、干扰、探测、通信、攻击、管理和评估等多项任务,在实际运用中更为复杂和具体,是无法穷举的。因此,有必要首先对航空集群作战典型任务展开研究。本节对作战任务时序及典型战术进行分析,对典型任务作战场景进行描述,从而提出航空集群作战远景目标,建立起对航空集群作战的宏观认识。

3.1.1 航空集群任务时序及典型战术分析

依据航空集群典型作战任务,可以将航空集群作战过程按照时序先后划分为战前准备与起飞、集群集结与前出、集群协同感知、集群协同电子对抗、集群协同打击以及退出返航6个阶段。

1. T0：战前准备与起飞

如图 3.1 所示,根据航空集群任务与战术目标,确定集群规模,在进行传感器/武器载荷、燃油/电池挂载、任务规划与行动计划加载、地形/任务数据注入、平台检查等准备步骤后,进入起飞待命状态,在收到命令后按序起飞。

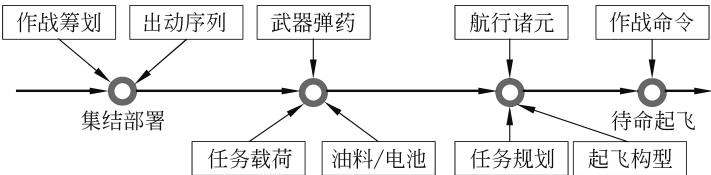


图 3.1 集群临战准备阶段任务时序

2. T1：集群集结与前出

如图 3.2 所示,航空集群平台起飞后,通常需要在预先确定的区域进行集结,从而确保集群平台运动状态的相对“一致性”。集结的方式可以是执行任务的平台全部集结在一个空域,也可以按照划分子群的方式集结在不同的空域。在抵达集结空域后,各个子群根据子任务的不同,生成不同的战术构型,按照航路规划结果前出至任务空域。

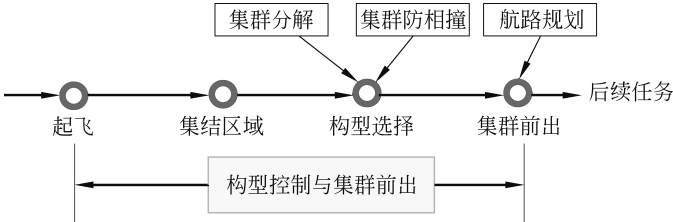


图 3.2 编队前出飞行任务时序

3. T2：集群协同感知

航空集群协同感知是获取战场信息的关键手段,其主要目的是利用航空集群分布式和高机动性特点,一方面快速获取战场上敌方目标数量、类型、分布以及动向等信息,生成战场态势图;另一方面通过当前战场态势为我方行动提供信息与决策支撑,明确目标分配方案与行动计划。

航空集群协同感知主要包括集群侦察与集群探测。如图 3.3 所示,从作战时序上,通常采取先集群侦察后探测的方式。集群侦察多利用无源定位、光学测量等方式实现对陆/海/空目标实施隐蔽侦察,其作用是尽可能借助无源的手段,对目标的电磁信号、光学信号进行侦收处理,进而对目标进行定位与识别,以较低的代价实现对目标多方位、多源信息的获取。当敌方目标进入电磁静默或光学伪装时,我

方集群也可以采取有源探测的方式,该方式摆脱了对目标自身电磁辐射的依赖,且精度较高。在实际作战中对侦察与探测手段进行综合灵活运用,基于任务决策机制进行集群构型优化和传感器管理,可以进一步扩大集群感知范围,增强感知效果,为后续作战行动提供战场态势关键支撑。

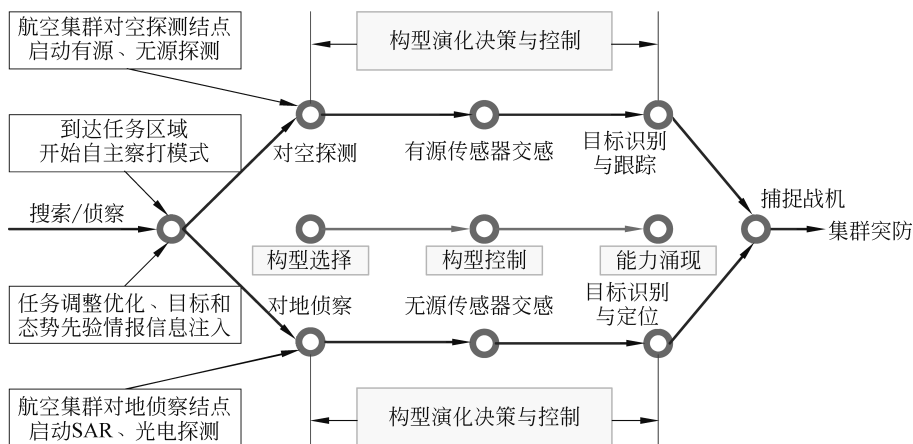


图 3.3 集群协同感知阶段任务时序

4. T3: 集群协同电子对抗

航空集群协同电子对抗具有电子侦察能力强、电子干扰能力强、动态自愈能力好的优势,是作战中夺取制电磁权的有力方式。如图 3.4 所示,在集群感知的基础上,航空集群结合电子侦察对任务区域内的空中、海面以及地面辐射源进行目标识别与威胁等级排序,结合目标位置情况,对集群平台进行任务规划与构型选择,确定相应的欺骗、压制等干扰策略,并综合考虑目标特性,自适应生成对抗策略。

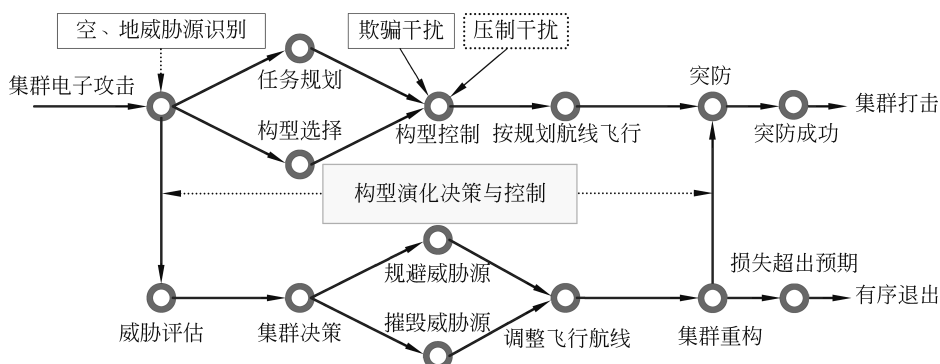


图 3.4 集群协同电子对抗阶段任务时序

5. T4：集群协同打击

航空集群协同打击是集群作战任务的核心环节。集群打击效果直接反映出该作战任务的成败,在运用中可以采取集群饱和打击、消耗打击以及协同增效打击等形式。如图 3.5 所示,航空集群一方面按照既定打击目标清单,进行目标分配、航迹规划、打击武器选择与打击构型控制,按照计划展开打击,另一方面在尽可能短的时间内实现目标毁伤效果评估,为补充攻击提供信息支撑。在打击过程中,面对战场可能的突发威胁,集群需要对该威胁进行快速识别,在线决策与平台重构,调整攻击计划,再次评估打击效果并有序退出。

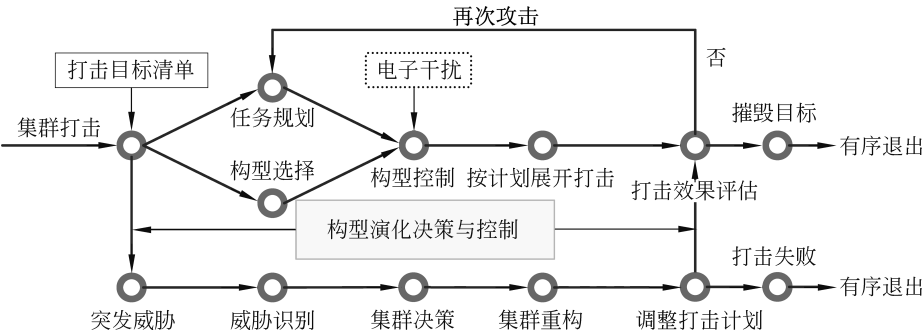


图 3.5 集群协同打击任务时序

6. T5：退出返航

航空集群在完成既定任务或者出现飞行故障、传感器失效、武器弹药耗尽、平台损失超出预期等情况时,进行有序返航,如图 3.6 所示。

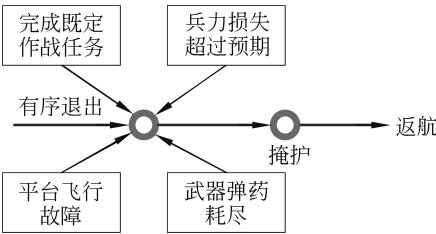


图 3.6 集群退出返航任务时序

3.1.2 集群作战典型任务作战场景简介

航空集群一体化作战是指在空中作战体系顶层一体化设计要求下,将航空集群资源进行面向能力的聚合和集成,以完成特定的作战任务。作战任务包括目标搜索、定位、欺骗干扰等,通过地面滑跑/弹射起飞或空中运载机抛撒投放等方式,可以迅速部署大规模航空集群节点平台,不同平台可搭载不同的任务载荷和传感器,从而满足

集群整体的搜索、定位、干扰等多种任务一体化遂行的需求,集群节点之间通过交感网进行信息交互。在抵达任务区域后,集群节点间通过深度协同完成各项任务。首先根据战术任务进行目标搜索,在发现目标和获得的目标信息后,由搭载了相应传感器的节点以最优空间构型对目标进行定位和跟踪,然后通过协同干扰对敌方进行干扰,同时基于我方态势感知信息,集结位于最优攻击阵位的节点对目标进行火力打击。在一体化任务遂行过程中,通过航空集群节点间的自主协同和灵活的任务决策机制,完成对敌方高价值群目标和零散目标等的侦察和精确打击。

航空集群在作战运用上能够发挥出多任务一体化的效果,是契合分布式空战的典型应用,如图 3.7 所示。

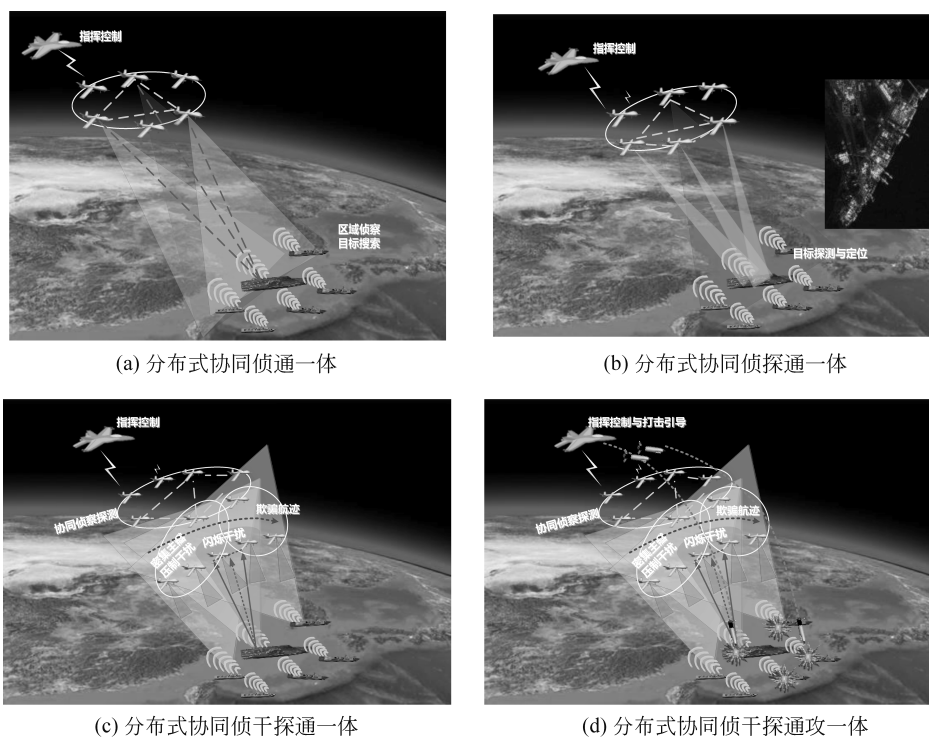


图 3.7 典型一体化作战场景

1. 侦通一体

航空集群执行侦察通信一体化任务,可以通过多节点自主协同提供高精度的侦察定位信息,利用分布式节点的动态性与灵活性进行空间构型优化与演进,增大侦察距离,进一步提升定位效果。

2. 侦探通一体

航空集群执行侦探通一体化任务,可以通过多节点自主协同获得侦察定位信

息和主动探测信息,充分利用节点的机动性能与空间大范围协同,实现对敌目标的发现、定位、跟踪乃至锁定。

3. 侦干探通一体

航空集群执行侦干探通一体化任务,可以通过节点拓扑构型、航迹优化以及对电磁载荷的协同控制,实现对组网雷达的欺骗干扰,形成连续的虚假航迹,也可控制部分节点抵近敌方关键目标进行压制干扰。

4. 侦干探通攻一体

航空集群执行侦干探通攻一体化任务,可以基于多节点协同作战模式和高精度定位识别结果,对反辐射攻击或其他火力打击武器平台提供实时目标指示与攻击引导,提高打击精度,同时有效对抗敌方辐射源静默、设置诱骗点等保护措施。

综上所述,航空集群正是契合分布式空战发展趋势的新型作战力量,通过集群内部节点的深度协同,能够实现多种任务一体化的运用效果。

3.1.3 航空集群作战远景目标发展

在上述典型任务场景、任务时序和战术分析的基础上,分析一体化任务能力需求,本节提出航空集群作战远景目标,如图 3.8 所示。

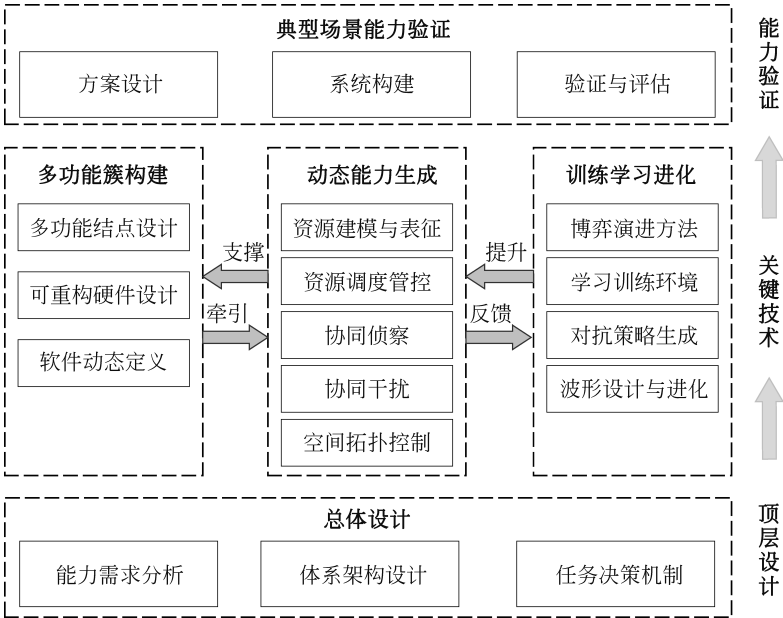


图 3.8 航空集群一体化作战远景目标

1. 远景目标

基于航空集群的技术和运用特征,通过典型作战场景描绘任务决策机制远期目标图像,分析航空集群一体化作战的整体能力需求,开展基于互为主体的任务决策机制研究,牵引关键技术研究,支撑系统构建与能力验证。

2. 集群多功能节点构建

面向一体化任务需求,基于标准化核心单元能力,研究面向不同任务和应用的 multifunctional node 标准化、模块化、可重构的设计方法,实现集群内多功能节点的构建以及节点间的高效协同互联。

3. 基于“任务-能力-资源”解聚聚合的集群能力动态生成

研究航空集群系统资源虚拟化建模与统一表征,突破分布式侦通一体、侦探通一体、侦干探通一体等能力动态生成与一体化应用等技术,实现系统资源运用的即时聚优,能力按需生成。

4. 集群能力进化

开展集群能力学习训练进化机制、认知进化技术和深度强化学习对抗技术等方面研究,构建虚拟博弈对抗环境,迭代提升集群能力。

5. 集群一体化作战能力验证

结合典型应用与战场想定,设计系统能力实验验证方案,构建开放式的实验验证系统,在仿真环境、半实物环境和实际对抗环境下验证系统能力,评估系统的作战效能。

3.2 主体的重构方法

互为主体任务决策的核心环节就是主体的选择与转换,主体转换和更新的过程称为主体重构。当主体工作状态正常时,通过主体重构优化主体的选择与更新,实现对作战任务的最佳响应;当主体损坏或遭受攻击时,通过主体重构实现作战能力的快速恢复,提高集群整体的抗毁性。

3.2.1 主体重构的类型

主体重构旨在突显主体的灵活扩展性、鲁棒性、可控性等,提高在战场对抗环境中主体的选择与转换、增强系统的鲁棒性和遭受攻击时的自修复性,从而提升作战系统的生存能力和任务执行能力^[238]。本节按照主体重构的不同对象,将主体

重构分为以下三类。

(1) 物理重构。

主体需要引入新的平台或从系统中移出已有平台,或用一个平台替换另一个平台等涉及平台物理变换的系统重构,称为物理重构。

(2) 逻辑重构。

保持已有系统结构不变而改变组合方法、联接方式等的主体重构,称为逻辑重构。

(3) 算法重构。

根据当前任务特性,在算法库中重新选择可执行的、效能最优的算法运行,称为算法重构。

物理重构、逻辑重构和算法重构是主体最基本的重构形式。同时,根据主体所处的激励形式可分为执行预设战场任务的主动重构和遭受敌方攻击时所及时进行的应激重构。

(1) 主动重构。

当执行预设战场任务时,如侦察、攻击、电子战、协同制导、协同搜索时,为实现各级主体对战场任务的最佳响应,在综合考虑重构代价和重构效能的情况下,对主体进行功能重新组合、联接方式改变等一系列的重构动作称为主动重构。

(2) 应激重构。

当主体遭受攻击时,主体受到一定程度的损毁,为保证系统关键能力和最大化修复相关性能,此种情况下对系统进行的一系列重构动作称为应激重构。

3.2.2 主体重构的触发条件

主体重构的触发机制以执行预设任务和攻击激励响应为两条研究主线,分别从触发行为和触发事件两个层面进行研究^[239]。

触发行为包括任务指令触发和战场态势触发,指令触发主要是依据上级作战意图及战场指令;战场态势触发则是根据战场态势变化、具体作战模式产生的适应性触发行为。一般而言,预设战场任务属指令触发行为,遭受攻击属战场态势触发行为。

确定触发行为后,即进入相应的触发事件判断,对于战场预设任务的指令触发行为,主要依据任务属性分析(包括任务类型、规模、难度等)和能力需求分析(需要的能力类型、具体能力性能等)确定主体的响应规模(全系统、部分子系统或单个子系统响应等),而后判断相应的系统是否处于最佳组合状态,即是否需重构,若需要则进行重构代价评估,而后依据评估结果进入系统或子系统的主动重构,即面向任务执行的主体重构的触发事件。

对于遭受攻击的战场态势触发行为,首先从系统被毁伤规模、能力缺失分析、性能衰减分析、能力和性能的重要度分析等方面进行系统毁伤评估,并重构代价评估,进而确定主体的响应规模,之后进行系统或子系统的应激重构,即面向敌方攻

击的主体重构的触发事件。

3.2.3 主体重构的基本原则

1. 松耦合原则

可重构系统中任务和系统能力关系是松耦合,系统构建与重构不再依据特定任务需求提供系统结构,而是依据重构后涌现出的能力来执行相应任务。

2. 兼容融合原则

可重构系统体现了多功能平台、多种交感通信机制、多种行为方式相互融合的发展趋势,其目标是实现各种开放、异构资源支持下的能力融合、子系统互连和优势互补。

3. 可扩展性原则

在兼顾了现有系统体系结构的基础上对未知系统也具有较强的可扩展性,对于传统集群系统中的信息传播途径和标志节点进行相应的改造,将其中各能力单元进行组合并预留扩展通道。

4. 隔离原则

为了防止对不同任务或遭受敌方攻击时,系统重构产生的能力单元交叉干涉,应在重构中选用适宜的技术、方法和机制来分隔各能力单元,尽量保证将不同能力单元的功能、适应执行的任务从逻辑上进行分离,从实现上做到解耦。

5. 不断积累重构经验

通过预设不同属性的战场任务和不同攻击情况下的主体重构仿真,不断积累系统重构经验,以提升战场适应和生存能力。

6. 涌现出强适应性的系统能力

基于系统重构经验,进而可促进系统对战场任务和敌方攻击的快速响应,触发更具适应性的能力涌现。

3.3 互为主体在航空集群典型任务中的运用模式及内涵

在 2.1.2 节中,将主体划分成了不同层级,因此根据互为主体理论在运用时涉及的主体层级情况,可以分为三种运用方式,分别为同层任务决策、跨层任务决策和混合任务决策。其中,同层任务决策指的是仅 R^k 内部、 I^k 内部、 F^k 内部、 M^k 内

部、 P^k 元素内部的互为主体运用;跨层任务决策运用指的是 R^k 、 I^k 、 F^k 、 M^k 、 P^k 之间的互为主体运用;混合任务决策指的是同时具有同层和跨层互为主体运用。本节分别对同层任务决策、跨层任务决策和混合任务决策展开研究。

3.3.1 同层任务决策模式

同层任务决策是最基础的互为主体运用方式,指在执行单个任务时,对航空集群内部平台、功能或资源中某一个层级内部元素的调度和协同,举例如下。

1. 功能之间的同层决策

航空集群平台所搭载的载荷不同,可能同时具有多种功能,例如,信号接收和信号发射,则需要根据当前时刻的具体情况进行选择 and 转换。在航空集群协同定位中,随着定位体制的变化、航空集群平台与目标之间相对位置或战术意图的变化,同一个平台往往需要进行信号接收和信号发射功能的同层决策。

2. 平台之间的同层决策

航空集群平台作为执行作战任务的实体单元,平台之间的同层决策是最为常见和广泛的。例如,平台空间位置构成的空间构型往往会影响到侦察效率、定位精度、电子干扰和火力打击效果,因此对平台空间构型的优化就是平台间同层决策的典型运用。

3. 任务之间的同层决策

典型的航空集群任务转换关系^[240]如图 3.9 所示。

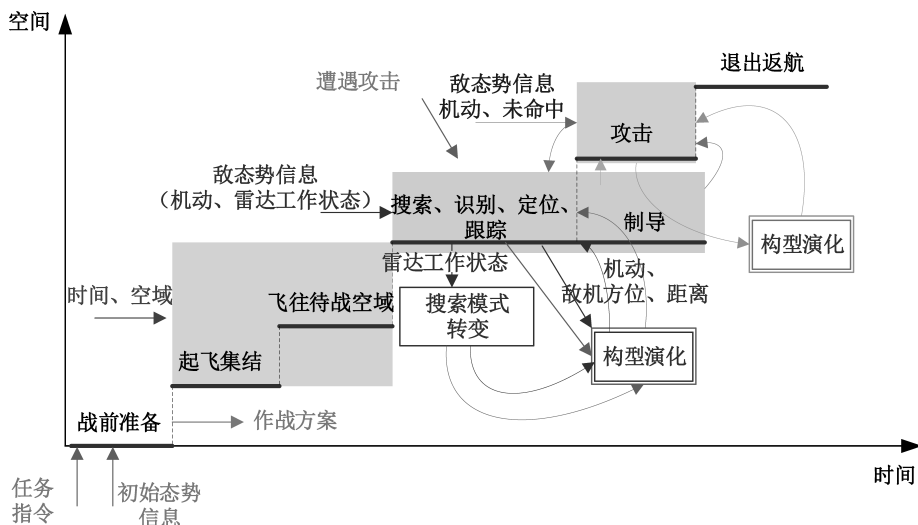


图 3.9 航空集群任务转换关系图

当集群抵达待战区域后,首先进行目标搜索与探测任务,一旦发现目标即对该目标进行定位跟踪。当定位跟踪精度满足需要时,可以依据战术需要进行干扰或者攻击;如果目标丢失,则重新进行搜索与探测^[241]。任务级互为主体应用贯穿于整个集群作战侦察、干扰、探测、通信、攻击、管理和评估的任务转换之间,依据每个时刻的战场态势,集群不断进行着作战任务和对抗措施的决策和转换。例如,在侦察探测阶段,我方集群主要对敌方目标进行协同搜索和定位跟踪;当集群感知到敌方雷达开机,对我方平台处于跟踪乃至锁定模式时,我方战机的生存受到较大威胁,此时我方平台应立即采取自卫干扰等措施,集群任务就发生了转换^[242]。

3.3.2 跨层任务决策模式

跨层任务决策比同层任务决策在复杂性上更进一步,指在执行单个任务时,对航空集群内部平台、功能、资源的调度和协同,举例如下。

1. 有源定位跟踪

在执行定位跟踪任务时,为获得更优观测,可以发挥集群分布式平台的优势,通过对定位构型和发射波束进行联合优化,提高定位跟踪的精度^[95],如图 3.10 所示。

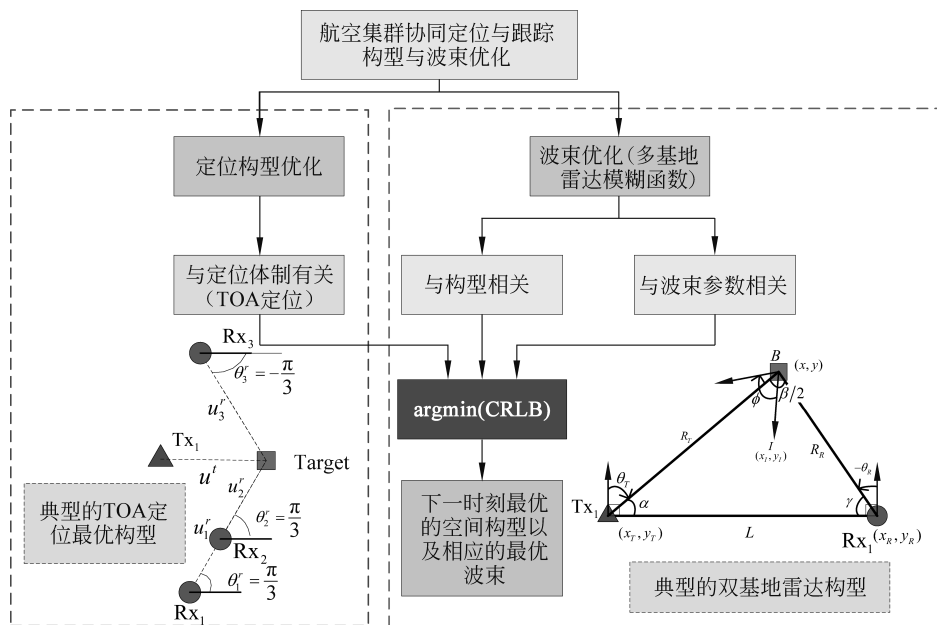


图 3.10 航空集群定位构型与波束联合优化

其中,在功能级层面,可以基于互为主体思想来确定每个时刻平台的功能是发射波束还是接收目标回波;在信息级层面,波束的优化既涉及定位构型又涉及波束参数,需要异质信息的联合处理;在资源级层面,软件资源要实时处理以最小化克拉美罗界(CRLB)为优化准则的最优构型和波束参数的计算更新,硬件资源要实时根据软件资源的处理结果进行构型调整和波束发射,关联资源和泛在节点也在这样的迭代更新中不断地进行分配调度,以达到航空集群定位构型与波束的联合优化,从而大幅度提升集群整体的态势感知能力和作战效能。

2. 闪烁探测

运用航空集群对目标进行闪烁探测是一种既提高定位精度又保护自身安全的探测方法,在每个时刻选择哪部机载雷达开机工作、如何有效处理和融合各部雷达的数据、如何根据布站的几何关系进行波形选择和优化、如何分配每部雷达所探测跟踪的辐射源等都是需要考虑的问题。从互为主体角度出发,可以为上述问题的解决提供思路。

航空集群机载雷达在空中可以形成分布式雷达组网,采取一发多收的闪烁探测形式,每部雷达可以工作在主动/被动工作模式,如图 3.11 所示。

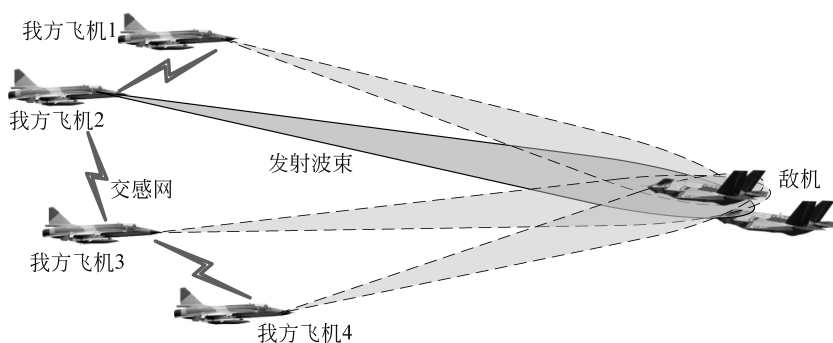


图 3.11 闪烁定位示意图

在进行闪烁探测时,由发射机与接收机平台共同组成,角色分工不同:发射机作为发射主体通常位于战场的后方,处于较安全范围,起到主动发射、数据处理与指挥控制中心的作用;多个接收机平台作为接收主体处于战场前方,与发射机保持一定距离,主要负责接收从目标反射的回波信息,接收机不主动发射电磁波,隐蔽性好,从而保证平台的安全性。闪烁探测在性能上优势互补,分工协作,充分发挥各自能力,进一步扩大空中的纵深探测范围,延伸作战半径。同时各个平台之间通过交感网达到信号/信息实时共享能力,为闪烁探测提供基础支撑。

在实际的闪烁探测过程中,不同时刻雷达与目标之间的构型、发射机与发射

波束的选择不同,则直接影响到对目标的跟踪精度。因此在闪烁探测的过程中,为了提高探测精度,需要从三方面进行优化:在功能层面,需要对发射机和接收机进行选择,即发射主体和接收主体,是实现闪烁探测的关键;在资源层面,发射机根据目标环境的感知,对发射波束进行优化选择;在平台层面,需要优化发射机、接收机和目标之间的空间构型,从而进一步提升探测精度。以上三方面分别对应不同层面主体的选择与转换,闪烁探测就是功能、资源和平台级跨层任务决策的过程。

3.3.3 混合任务决策模式

混合任务决策是指涉及两项或两项以上作战任务时,既有同层任务决策,又有跨层任务决策的运用方式。此时任务之间存在选择与转换关系,航空集群执行每项任务时又对集群内部平台、功能、资源进行选择与转换,既有任务的合作与竞争,又有平台、功能与资源的合作与竞争,是互为主体在航空集群任务决策中的综合运用。

美军小精灵和忠诚僚机等作战构想中,未来无人机集群可搭载在运输平台上,从高空直接抛撒至作战区域上空执行任务。对地面高价值目标的定位和干扰是集群作战的主要任务之一。如图 3.12 所示,是协同侦察与干扰过程中的作战事件示意图。该实例涉及多个层面的互为主体运用,具体如下。

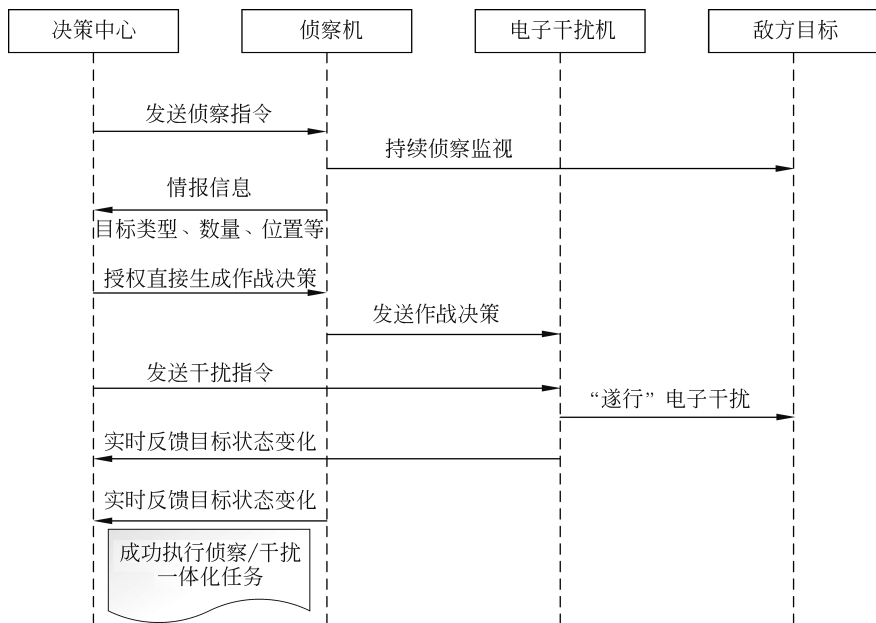


图 3.12 航空集群协同侦察/干扰任务作战事件示意图

(1) 在资源层面,软件资源涉及信号分选、参数估计、波形优化等算法和软件;硬件资源如 DRFM、发射机、接收机、干扰机等相关硬件;关联资源如计算资源;泛在节点如搭载了不同载荷的多种无人机平台。

(2) 在功能层面:涉及波束发射、信号延时转发、信号接收、信号参数估计等多种功能。

(3) 在信息层面:涉及无人机间通信、目标定位、电子干扰信息等。

(4) 在任务层面:涉及目标定位任务和电子干扰任务的转换,其中,电子干扰任务又可以分为压制干扰任务和欺骗干扰任务。

认知电子战是建立在具备自主学习能力与智能处理能力的电子战装备基础上,具有认知能力的电子战新形态。相比传统电子战,认知电子战的新特点主要在于“认知”能力贯穿于作战全过程全要素,其本质可看作人工智能与电子战的应用结合,装备对电磁环境的实时感知能力、应对干扰的快速反应能力大幅提升,关键技术和主要优势主要可以归纳为以下几点。

1. 认知侦察和判断

能够进行对战场电磁环境的自主学习和训练,建立持续更新的雷达情报知识库,自动存储和智能化判定目标的状态信息,有效感知和识别未知辐射源信息和状态,为后续的威胁等级排序、对抗措施制定、干扰资源分配和作战效能评估提供先验信息和数据支撑。

2. 认知决策和资源调度

不同于传统电子战事先加载对抗策略和资源调度方案的固化模式,认知电子战具备自主制定和生成对抗措施的能力,合理分配和调度电子资源,系统自身不断学习和进化,最大化作战效能。

3. 认知评估

根据目标状态的转换等信息,实现自主作战效能评估,形成实时更新的闭环反馈,指导系统在作战过程中的不断完善和进化。

为了对抗雷达组网,电子战也从单一平台转向多平台协同工作模式。侦察是电子战的前端环节,也是为后续态势感知、资源管控、干扰策略制定、干扰效果评估等环节提供情报支持、先验知识和数据支撑的基础和关键。相比单一平台侦察,多平台协同侦察能够获得时域、频域、空域上更为全面的目标信息,特征更为完备,并且在增强系统容错能力和生存能力的同时降低信息获取的时间代价。为获得较好的侦察效果,需要根据目标位置、状态等情况动态调整侦察平台的空间构型,指定不同时刻的平台作为发射机或接收机,选择发射信号波形,制定平台间信息融合规

则等,即侦察平台间在信息级的互为主体,如图 3.13 所示。

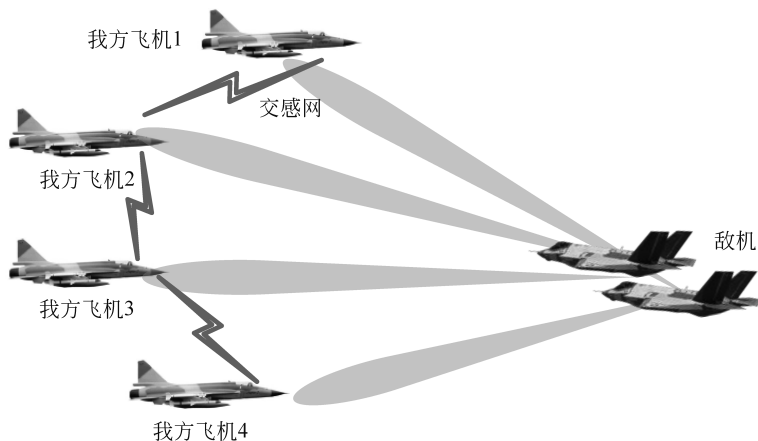


图 3.13 协同侦察示意图

雷达和电子战技术自诞生以来就是动态博弈的“矛”与“盾”,在相互对抗中促进双方的作战技术发展。从非合作双方来讲,雷达和电子战是处于对立的两方,但是对于航空集群和一体化电子战而言,在作战一方中的雷达和电子战是有机整体,根据敌我态势进行动态调整。在这种情况下,雷达和电子战共享电子资源,在不同任务阶段和作战平台间互为主体。如何处理好共享孔径功能间的协调、隔离和控制,并在适当的时机选择合理的共享波形,是重点和难点问题。互为主体的思想可以为解决该问题提供思路和指导。根据不同任务的优先级和需求特点,对现有的电子资源进行合理调度。

雷达和电子战结合,可以充分发挥各自的优势,互相弥补不足,大幅提升作战效能。电子对抗设备的目标探测距离远大于雷达,目标识别能力更强,可对目标进行跟踪识别、威胁告警并引导雷达的探测方向,使雷达以最短时间工作,并能在雷达受到干扰的情况下对目标探测和跟踪。雷达能够主动探测目标,准确测定距离和方位并进行跟踪,但是一旦开机很容易暴露自己进而遭受打击。在雷达-电子战一体化中,侦察干扰一体化是目前的研究热点,其中,在硬件上实现模块和孔径共享、在信号层面实现波形共享是两大关键技术,能够大幅度节省软件和硬件资源。

如图 3.14 所示,随着空战任务阶段的变化,依据对敌方的态势感知,我方战机不断进行着雷达和电子对抗措施之间的转换,即任务级的互为主体。例如,在远距搜索和探测阶段,我方进行闪烁定位和协同探测;敌方雷达处于跟踪或锁定模式时,对我方战机构成了较大威胁,我方采取自卫干扰措施。

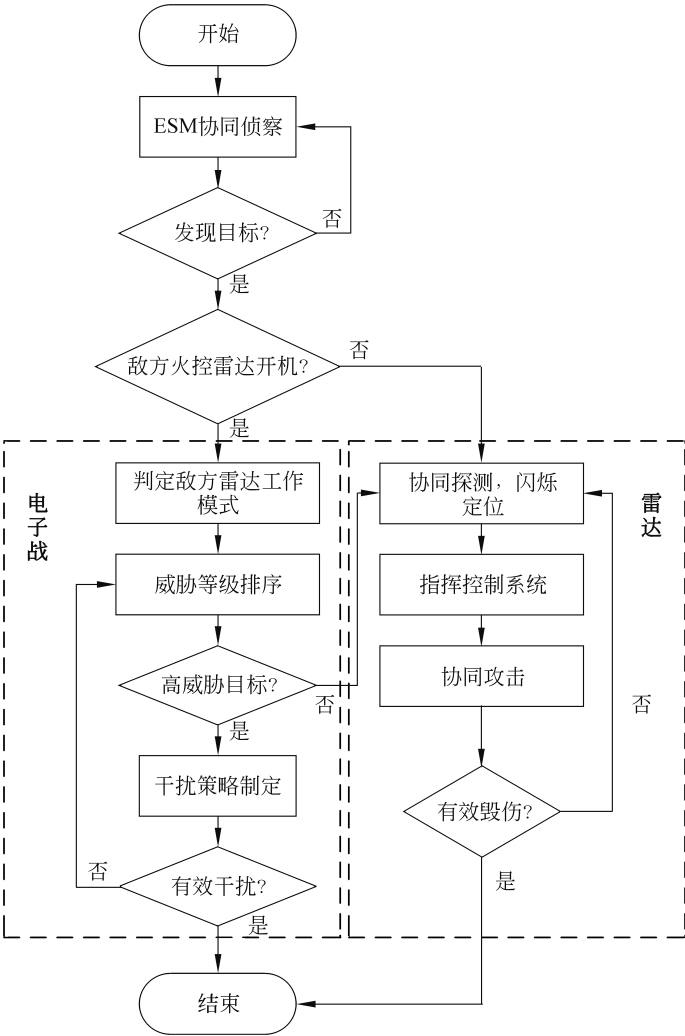


图 3.14 雷达与电子战互为主体示意图

3.4 航空集群作战互为主体任务决策流程详解

如图 3.15 所示是航空集群一体化任务过程的互为主体实现流程。任务级层面需要根据集群当前的任务活动以及作战目标,基于互为主体思想分析并提取下一时刻任务对集群节点的任务需求,形成任务列表,该列表可以是预先规划的,也可以是根据战场态势实时调整的。对于需要多节点协同才能完成的任务,基于互为主体思想选择出每个时刻的任务主体,从资源层面、信息层面和功能层面以最大化作战效能为原则,在集群总体资源的约束下,进行任务决策和资源调度。当集群

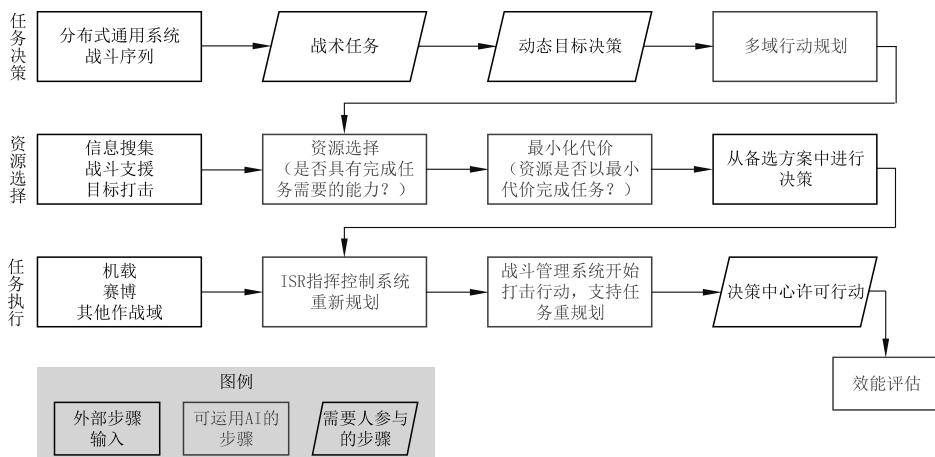


图 3.16 现代化指挥与控制系统用于多领域压制敌方防空

法的运用也可以进一步加强这种特点。综上所述,本书所提出的基于互为主体思想的任务决策方法在发展方向和问题认知上与前沿理念基本一致,能够进行对照分析和研究。

如图 3.17 所示,是主体转换与运用的总体流程。在收到作战任务或目标信息时,首先分析任务需求对应的集群能力和资源,建立任务-资源-能力匹配池,这也是实现集群作战运用中资源的灵活聚合解聚、即时聚优的基础。

集群内各个节点收到任务需求后,从匹配池中选出具备相应能力或资源的节点,成为主体候选人,其余不具备节点则保持原状态不变,其节点资源或能力用于其他任务。其次,综合考虑节点能力、空间构型、控制难度等多种因素,从主体候选人中选择出最优匹配,最适合该时刻执行该任务的节点和相应资源,赋予其领导权成为执行任务的主体,注意这里的主体含义包括资源级、信息级、功能级、任务级等多个层级。然后,主体遂行任务,并通过战场态势感知判断是否产生态势变化或任务状态变化,若无则继续遂行任务,若产生变化则重新发布任务需求和目标信息,重新进行能力匹配和主体选择。除了任务主体之外的其他集群节点和资源服从任务主体的领导,领受任务并进行全局资源调度。若资源能够继续满足任务需求则正常遂行任务,若不能则进行信息报告和反馈,促使集群进行调整。

假设 k 时刻当前的主体为 $S^k = \{R^k, I^k, F^k, M^k, P^k\}$, 对应的主体构建与重构准则为 $f(\cdot)$, 环境约束集为 $C^k = \{R^k, I^k, F^k, M^k, P^k\}$, 可以得到 $k+1$ 时刻主体选择通用结果为

$$\begin{cases} S^{k+1} = \text{optimize } f(S^k) \\ \text{s.t. } C^k = \{R^k, I^k, F^k, M^k, P^k\} \end{cases} \quad (3.1)$$

因此,本书重点针对不同层级主体选择、主体构建与重构准则、决策流程等方面进行研究。如图 3.18 所示,基于互为主体的决策机制实现步骤如下。

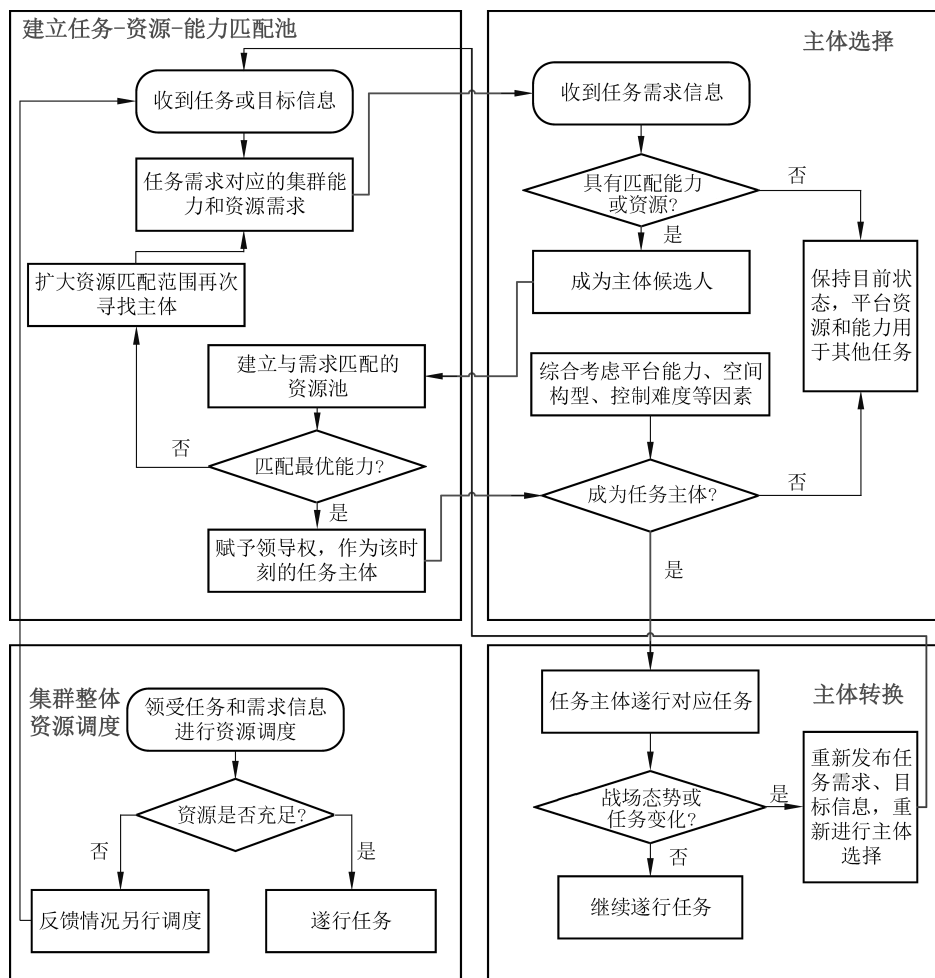


图 3.17 集群任务决策中的主体选择和转换

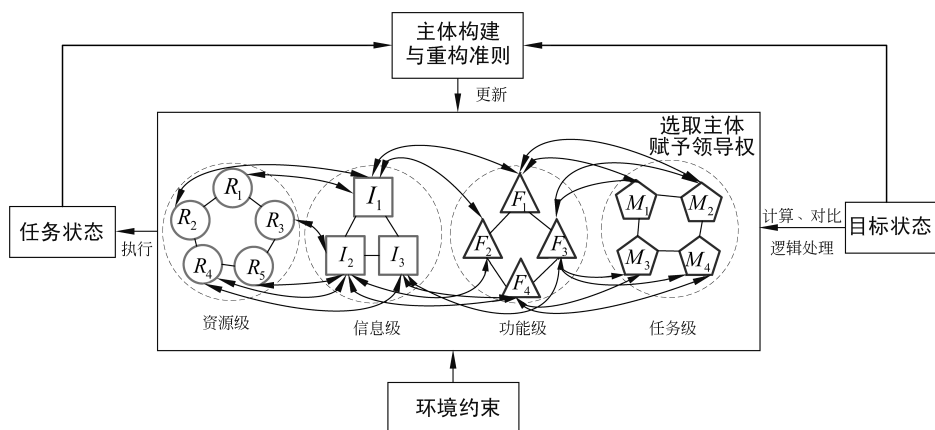


图 3.18 互为主体的决策机制

步骤1: 按照任务、环境、目标的多项约束,根据系统论、信息论、控制论等相关理论知识,以最大化系统效能为目标,通过计算、对比和逻辑处理,选取 k 时刻在资源层、信息层、功能层和任务层等不同层级中的初始主体。

步骤2: 赋予初始主体在 k 时刻的领导权,选取 k 时刻的算法主体,执行在 k 时刻环境和目标约束下的任务,得到 $k+1$ 时刻任务的新状态。

步骤3: 将 $k+1$ 时刻的任务新状态与目标状态进行比较,根据状态差异的变化,重新选取 $k+1$ 时刻的各层级新主体,新主体可能与 k 时刻相同也可能不同,这时领导权可能产生变化,但不变的是主体选取原则,即最大化系统效能。

步骤4: 按照上述流程迭代计算,任务过程中每个时刻都选取最适合当前任务和目标状态的主体赋予领导权并遂行任务,直至解决问题。

综上所述,归纳出互为主体决策机制的优势在于以下几方面。

(1) 形成一种新的决策权力分配方式,系统自主规划和治理,领导权因时因地而变。

(2) 弥补单一平台在观测时间、位置、数据等方面的不足,使获取的信息更为完备,互为补充,并且当其中某个节点受到打击和毁伤时,整个系统仍能继续工作。

(3) 弥补单一平台与对方单个平台或集群的能力差距,通过互为主体的运行机制实现能力涌现。

小结

本章首先针对航空集群作战典型任务,分析了任务时序、典型战术和作战场景,提出了航空集群作战远景目标;其次针对主体的重构方法,划分了重构类型和触发机制,提出了主体重构的原则和目标;然后给出互为主体在航空集群典型任务中的三种运用方式,分别为同层、跨层和混合任务决策;最后提出航空集群作战互为主体任务决策流程,为运用互为主体决策机制解决具体问题提供理论和机制支撑。