

· 雷达系统与技术 ·

DOI: 10.16592/j.cnki.1004-7859.2021.02.001

基于 DoDAF 的电磁频谱作战指挥控制系统架构研究

康国钦, 陈正榕, 夏 权, 夏 雷

(国防科技大学 信息通信学院, 武汉 430010)

摘要: 文中设计了电磁频谱作战指挥控制系统架构的作战视图、系统视图和技术视图, 提出了电磁频谱域战管融合、人机一体的电磁频谱作战指挥控制系统架构开发方法。从作战活动模型、作战状态转移描述、逻辑数据模型、作战规则模型等角度建立作战行动模型。构想战场情况, 建立电磁频谱作战规则集。用需求映射的方法, 建立了电磁频谱作战指挥控制系统视图。通过心跳检测技术对系统接口双机热备份进行主备管理。利用射频数据链和激光数据链优势互补将指控信息传输到战场末端。系统特色功能包括电磁态势多源融合、电波模型高速匹配、边缘计算辅助在线决策、预置电磁情况处置策略等。该研究对优化电磁频谱作战指挥控制系统体系架构具有借鉴作用。

关键词: 国防部体系结构框架; 电磁频谱作战; 指挥控制系统; 体系架构

中图分类号: TN97 文献标志码: A 文章编号: 1004-7859(2021)02-0001-10

引用格式: 康国钦, 陈正榕, 夏 权, 等. 基于 DoDAF 的电磁频谱作战指挥控制系统架构研究[J]. 现代雷达, 2021, 43(2): 1-10.

KANG Guoqin, CHEN Zhengrong, XIA Quan, et al. A study on the architecture framework of command and control system of electromagnetic spectrum operation based on DoDAF[J]. Modern Radar, 2021, 43(2): 1-10.

A Study on the Architecture Framework of Command and Control System of Electromagnetic Spectrum Operation Based on DoDAF

KANG Guoqin, CHEN Zhengrong, XIA Quan, XIA Lei

(College of Information and Communication, National University of Defense Technology, Wuhan 430010, China)

Abstract: The combat view, system view and technical view of the electromagnetic spectrum combat command and control system architecture are designed. The development method of electromagnetic spectrum combat command and control system architecture integrating electromagnetic spectrum domain battle management and man-machine integration. The combat action models are established from the perspectives of combat activity models, combat state transition description, logical data model, and combat rule model. The battlefield situation is conceived and a set of rules for electromagnetic spectrum operations are established. Using the method of demand mapping, the electromagnetic spectrum combat command and control system graphic is established. The system interface dual-system hot backup is managed through the heartbeat detection technology. With the complementary advantages of the radio frequency data link and the laser data link, the accusation information is transmitted to the end of the battlefield. System features include multi-source fusion of electromagnetic situation, high-speed matching of radio wave models, edge computing assisting online decision-making, and preset electromagnetic situation handling strategies. This study can be used as a reference for optimizing the system architecture of the electromagnetic spectrum combat command and control system.

Key words: department of defense architecture framework; electromagnetic spectrum operation; command and control system; architecture framework

0 引言

随着电磁频谱技术的不断进步及其在军事领域的广泛应用, 电磁频谱在联合作战中的战略性日益凸显, 主动权之争日趋激烈, 电磁频谱独立逐渐成为作战域的共识。电磁频谱作战, 是电磁频谱域军事行动深度

融合的产物, 主要通过电磁侦察感知、电磁攻击、电磁防御、电磁管控的整体联动来夺取电磁频谱优势。电磁频谱作战指挥控制系统是以计算机为核心的技术设备对电磁频谱作战部队和电磁频谱作战装备实施指挥与控制、实现对电磁频谱域作战行动实时高效指挥的信息系统。体系架构直接决定了电磁频谱作战指挥控制系统的可靠性、有效性和抗毁性。研究电磁频谱作战指挥控制系统架构, 有利于促进电磁频谱作战指

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61771487)
通信作者: 康国钦 Email: 693440285@qq.com
收稿日期: 2020-10-24 修订日期: 2020-12-16

挥控制系统融入联合作战指挥信息系统,融入 C4ISR 体系;有利于提高电磁频谱作战指挥控制循环速度,获取电磁频谱作战决策优势和行动优势;有利于促进电子战、频谱管理、信号情报等电磁频谱作战资源的统管统用、优化调度和优势互补。目前,研究电磁频谱作战概念、电磁频谱管控系统、电子战装备的文献较多,但是研究电磁频谱作战指挥控制系统的文献较少。美国雷声公司为美国陆军开发了电子战计划和管理工具 EWPMT。EWPMT 是美国陆军电磁频谱作战指挥控制解决方案,使用开放式体系结构,被称为“同类产品的首创工具”,主要功能是规划、管理和控制电磁频谱中的传感器和系统。国内鲜有公开发表的电磁频谱作战指挥控制系统架构研究的相关文献。国内外军事体系架构,比较有影响的是美国国防部体系框架(DoDAF)和英国国防部体系结构框架(MoDAF),其中 DoDAF 的影响和应用最为广泛。DoDAF 支持复杂大系统的设计,支持业务流程改造,支持面向服务的解决方案,能够在逻辑上说清系统的构成,有助于复杂系统在物理上的实现。目前国内外公开发表的文献中,基于 DoDAF 的电磁频谱作战指挥控制系统架构的相关研究很少。由于 DoDAF 面向多种应用需求,产品种类繁多且有冗余,需要精简最能反映系统特点的作战视图、系统视图和技术视图等体系结构产品进行设计。文中设计了电磁频谱作战指挥控制系统的作战视图、系统视图和技术视图:作战视图明确了作战概念模型、作战节点连接图、作战信息交换矩阵、指挥组织机构和作战行动模型;系统视图明确了系统接口、系统通信、系统相关矩阵、系统功能等;技术视图明确了技术标准配置视图和技术标准预测视图。论文主要创新点包括:(1)构建了电磁频谱作战侦、攻、防、控行动体系,提出了电磁频谱域战管融合、人机一体的电磁频谱作战指挥控制系统架构开发方法。(2)采用层次结构图和过程图共同描述作战活动。从电磁频谱作战设计的角度分析明确电磁频谱作战状态转移条件;从使命-任务-行动逐渐细化电磁频谱作战数字化逻辑。从战场情况构想的角度建立电磁频谱作战规则集。(3)用需求映射的方法,建立了电磁频谱作战指挥控制系统视图。将系统接口分为通信接口层、数据应用层、人机接口层,并采取双机热备份模式,通过心跳检测技术进行主备管理。利用射频数据链和激光数据链的差异性和协同性将指控信息传输到战场末端电磁频谱作战装备。设计了敌方电磁目标态势、己方用频态势、

电磁环境态势融合、电波传播模型高速匹配、边缘计算辅助在线决策、实时电磁目标指示、预置电磁情况处置策略等特色功能。

1 作战视图

作战视图描述电磁频谱作战的任务需求、作战对象、作战行动、指挥体制、协同关系。它从作战需求和运用角度对电磁频谱作战指挥控制系统体系架构的作战对抗效果进行研究,目的是确定电磁频谱作战需求,廓清电磁频谱作战指挥控制体系架构内纵向指挥关系和横向协调关系。作战视图主要包括作战概念模型、作战节点连接图、作战信息交换矩阵、指挥组织结构以及作战行动模型等。

1.1 作战概念模型

电磁频谱作战概念模型是电磁频谱作战指挥员设计的电磁频谱作战力量运用模型,是电磁频谱作战指挥人员之间交流的工具。在电磁频谱作战中,指挥员利用电磁频谱作战情报部门提供的信息分析判断情况,确定电磁频谱作战力量布势,设计电磁频谱作战行动,制定电磁频谱作战方案和行动计划,控制电磁频谱作战行动,评估电磁频谱作战效能,如图 1 所示。电磁频谱作战时敏性极强,在电磁频谱作战指挥控制过程中,要发挥人的机动灵活优势和机器的运算存储优势,实现人机融合筹划设计和指挥控制;要利用脑机接口技术,将人的创造性和机器的快速性结合应用,夺取电磁频谱域的决策优势、行动优势。真正符合电磁频谱作战要求的指挥控制系统,必然是电磁频谱作战攻防防控集成化、人机一体化的系统。本文设计的电磁频谱作战概念模型的主要特色是将电子战部队、频谱管理部队、信号情报侦察部队统一指挥、统一筹划、统一应用,构建电磁频谱域战管融合、人机一体的电磁频谱作战指挥控制系统。与传统电子战的区别是将信号情报和电子支援融合,实现频谱监视和情报收集融合;将认知电子战技术与认知无线电、认知雷达技术融合运用,利用人工智能和机器学习方法实现自主态势感知、决策,自主确定电子攻击方式和自适应防护;将频谱管理部队、信号情报侦察部队也作为电磁频谱作战指挥控制的对象,实现与传统电子战部队行动相互协同、效果相互利用。电磁侦察感知是指电磁频谱域的侦察与感知行动,主要是综合运用电子战侦察、频谱监测、信号情报侦察等手段,获取敌、我、

战场环境的整体状态、目标参数、可用频谱资源等情况。电磁攻击是指在电磁频谱域、从电磁频谱域进击敌人的行动,主要是指运用电子干扰、电子欺骗、电磁摧毁等手段进击敌人的作战行动。电磁防御是指电磁频谱域的防御行动,主要包括反电子侦察、反电子干扰、抗电磁摧毁、防电磁频谱参数泄漏等行动。电磁频谱管控是指电磁频谱域的管理和控制行动,主要包括为作战配置电磁频谱资源、辅助指挥员部署用频装备设备和台站阵地,维护战场用频秩序。

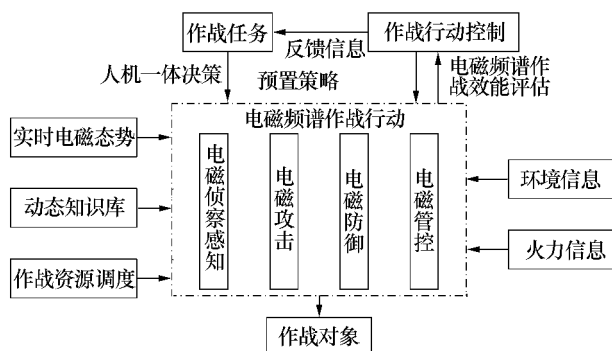


图1 电磁频谱作战概念模型

1.2 作战节点连接图

电磁频谱作战节点连接图将各电磁频谱作战行动按任务分配到不同作战节点,明确作战节点的作战任务和指挥协同关系,完成作战行动与作战节点的映射,在体系架构中将作战节点与其他节点间需要交换的信息转化为作战节点连接关系。作战节点之间的需求关系可用需求线来表示,同时注明需求内容。

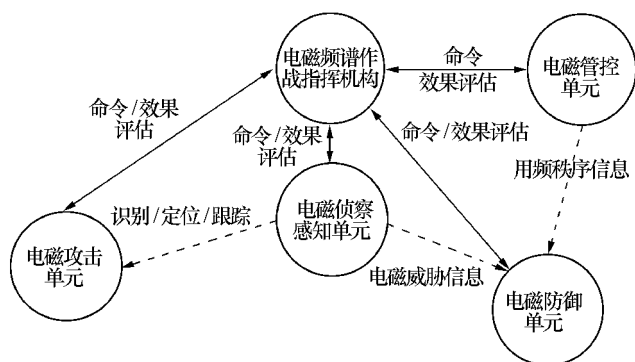


图2 电磁频谱作战连接图

电磁频谱作战连接图中,电磁频谱作战指挥机构下达侦察感知、攻击、防御、管控指令给电磁侦察感知单元、电磁攻击单元、电磁防御单元、电磁管控单元,这些单元将行动效果评估信息反馈给电磁频谱作战指挥机构。电磁侦察感知单元将侦察、识别、定位、跟踪信息传输给电磁攻击单元为其提供情报信息、态势信息和目标指示。电磁侦察感知单元将电磁威胁信息传输给电磁防御单元以针对威胁组织防御。电磁管控单元将用频秩序信息传输给电磁防御单元以按需组织无线电管制等行动。电磁频谱作战连接图形成了侦、攻、防、控、评的完整闭环。

电磁频谱作战节点的父节点为联合作战,所属的组织为电磁频谱作战指挥机构。

ON: = ON_EMSSO ,ON_EMSSO_Activities ,JointOperation ,EMSSO_commandsystem

电磁频谱作战节点活动的集合包括电磁侦察感知、电磁攻击、电磁防御、电磁管控。

EMSSO_Activities = [EMS_Reconnaissance , EMS_Attack , EMS_Defense , EMS_Management]

电磁频谱作战信息交换,起始节点是上级赋予的电磁频谱作战任务,终止节点是电磁频谱作战任务完成效果评估。电磁频谱作战节点信息交换关系如下:
NL: = NL_EMSSO ,EMSSO_Task , EMSSO_Task_Evaluation ,IERs

1.3 作战信息交换矩阵

电磁频谱作战信息交换矩阵就是将电磁频谱作战节点连接关系描述中的信息交互进行详细描述,细化信息需求交换的具体内容。电磁频谱作战信息交换矩阵明确了各电磁频谱作战节点间电磁频谱信息交互关系、交互媒体、信息属性以及互操作等级,并根据作战节点连接关系和作战活动模型,生成了电磁频谱信息交换矩阵表,明确了交互信息的属性、要求以及所支援的作战活动和任务,如表1所示。

表1 电磁频谱作战信息交换矩阵

| 需求线标识符 | 信息交换标识符 | 信息元素描述 | | | | 生产者 | | 使用者 | | 传输特性 | | |
|---------|----------|--------|--------------|------------|-------------|----------|-------------|------------|-------------|-------|------------------|-------|
| | | 信息元素名称 | 内容 | 范围 | 精确度 | 发送作战节点名称 | 发送作战活动名称和ID | 接收作战节点名称 | 接收作战活动名称和ID | 类型 | 触发事件 | 互操作等级 |
| 与指挥机构通信 | 电磁频谱信息收集 | 电磁目标信息 | 敌人位置和收集的感知数据 | 返回指挥机构所有信息 | 从系统到指挥机构的信息 | 友军电磁部队 | 处理信息 | 电磁频谱作战指挥机构 | 提供指控 | 数据或语音 | 用户希望传送给指挥机构的感知信息 | 点对点连接 |

电磁频谱作战信息交换矩阵如下:

IER: = IER_EMSSO ,NL ,EMSSO_Task ,Send_EMSSO ,
EMSSO_Task_Evaluation ,Receive_EMSSO ,Exchange_Pro-
formance

电磁侦察信息交换矩阵: 发射节点是电磁侦察感知节点,接收节点是电磁攻击节点。

IER: = IER_EMS_Reconnaissance ,NL ,EMS_Recon-
naissance ,EMS_Reconnaissance ,EMSSO_Reconnaissance
_Evaluation ,EMS_Attack ,Exchange_Proformance

1.4 指挥组织结构

电磁频谱作战指挥组织结构描述了体系架构中各级电磁频谱作战指挥员的指挥关系。以美军电磁频谱作战指挥组织机构为例,形成了联合部队指挥官-联合电磁频谱作战分队-军种电磁频谱作战分队-电磁频谱作战单元四级电磁频谱作战指挥组织结构,联合部队指挥官与联合电磁频谱作战分队指挥官形成了直接指挥关系,联合部队指挥官与军种电磁频谱作战分队形成了间接指挥关系,如图3所示。

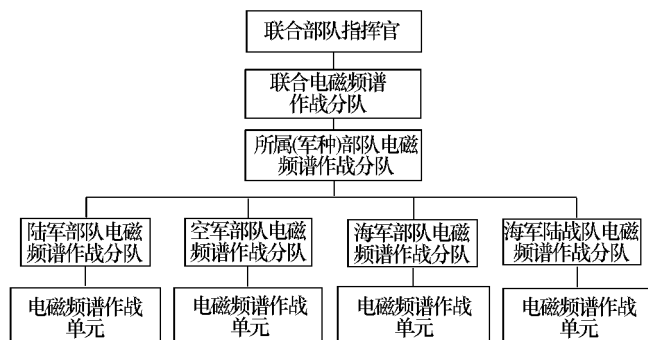


图3 电磁频谱作战指挥组织机构

1.5 作战行动模型

电磁频谱作战行动模型主要对遂行作战任务过程中与电磁频谱作战有关的作战行动、行动内部或行动之间各种关系进行数据或信息的量化分析。它主要描述电磁频谱作战行动的输入和输出信息、控制关系、交互信息等,便于指战员快速达成一致共识。对于特定的电磁频谱作战任务,作战行动模型逐步向下分解,最后达成作战目的。电磁频谱作战部队接受任务后,在作战命令的实时指挥控制下,根据电磁侦察感知、电磁攻击、电磁防御、电磁管控等不同作战行动,运用电磁频谱作战力量,做好不同作战行动间的协调,合理分配电磁频谱作战资源,高效地完成电磁频谱作战行动。

本文从作战活动模型、作战状态转移描述、逻辑数据模型、作战规则模型等四个角度建立作战行动模型。采用层次结构图和过程图共同描述作战活动。从电磁频谱作战设计的角度分析指出,四种情况促使了电磁频谱作战状态转移。按照使命-任务-行动的层次逐渐细化,通过数字化使机器能够更好理解电磁频谱作战逻辑。构想战场情况,建立包含六种规则的电磁频谱作战规则集。

1.5.1 作战活动模型

电磁频谱作战活动模型描述能力、作战活动、活动间的关系、输入和输出信息流等。电磁频谱作战活动模型可采用层次结构图和过程图共同描述。电磁频谱作战侦、攻、防、控子行动及相互关系如图4所示。

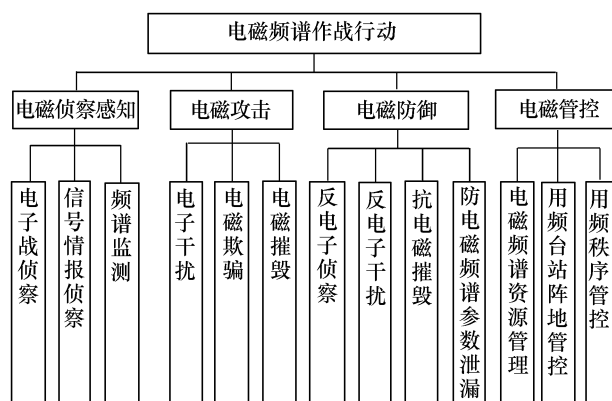


图4 电磁频谱作战活动分解模型

为表现电磁频谱作战活动之间的信息流关系,作战活动还可采用过程图模型描述。电磁频谱作战活动过程图设计可采用计算机辅助集成制造的功能建模方法(IDEF0方法)描述,如图5所示。

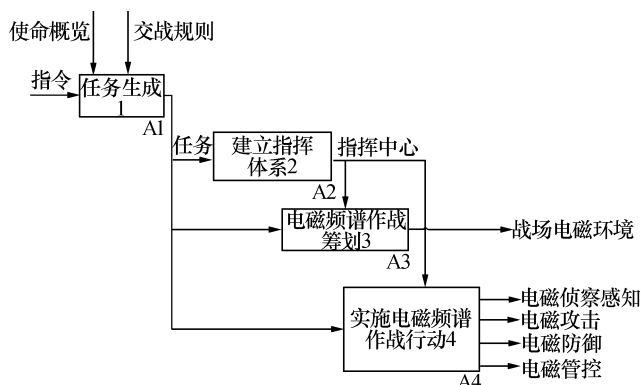


图5 电磁频谱作战指挥控制作战活动分解图

以电磁侦察活动为例,电磁侦察的父节点是电磁频谱作战 EMSO,完成电磁侦察的作战节点包括电子

战侦察节点 EWR、频谱监测节点 SMM、信号情报侦察节点 EIR。

EMS_Reconnaissance: = EMS_Reconnaissance ,EM-SO ,Perform_ONs_Reconnaissance

Perform_ONs_Reconnaissance = [EWR , SMM , EIR]

电磁侦察和电磁攻击之间的信息交换关系的属性:

IER: = IER_RtoA ,EMS_Reconnaissance , EMS_Attack

1.5.2 作战状态转移描述

电磁频谱作战状态转移描述主要描述作战节点对不同事件的响应和状态变化过程。电磁频谱作战状态的变化与电磁频谱作战部队位置、电磁态势、电磁事件和电磁活动有关。从电磁频谱作战设计的角度分析,电磁频谱作战任务变化、突发电磁干扰、新发现电磁目标、新出现电磁威胁等四种情况是引起节点状态变化的主要原因,节点从一个状态向另一个状态的转变过程中执行电磁侦察感知、电磁攻击、电磁防御、电磁管控等相关活动。电磁频谱作战状态转移描述如图 6 所示。

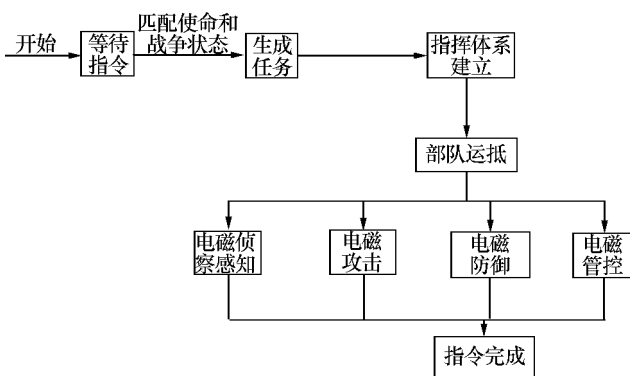


图 6 电磁频谱作战状态转移描述

1.5.3 逻辑数据模型

电磁频谱作战逻辑数据模型是作战视图的系统数据需求文件和结构化事务处理规则。电磁频谱作战逻辑数据模型包括电磁使命概览、电磁交战规则、电磁使命规则、电磁频谱作战指令、电磁频谱作战任务、电磁侦察感知、电磁攻击、电磁防御、电磁管控等。按照使命-任务-行动的层次逐渐细化,通过数字化使机器能够更好理解电磁频谱作战逻辑,如图 7 所示。

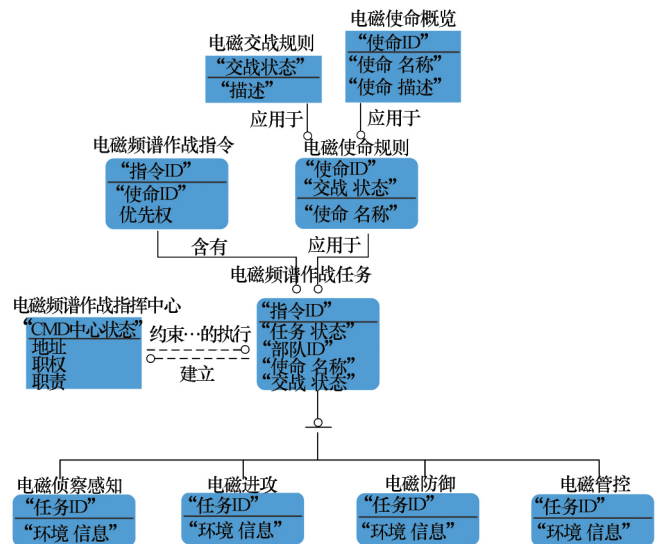


图 7 电磁频谱作战逻辑数据模型

1.5.4 作战规则模型

电磁频谱作战规则模型描述完成作战任务时应遵循的规则。从战场情况构想的角度,电磁频谱作战规则集包括电磁频谱作战指挥机构建立规则、电磁频谱作战部队机动规则、电磁侦察感知规则、电磁攻击规则、电磁防御规则、电磁管控规则等六种规则。

电磁频谱作战规则示例如下:

规则 1(建立电磁频谱作战指挥机构):

时间允许时逐级建立电磁频谱作战指挥机构;时间紧急时可上下级同步建立电磁频谱作战指挥机构。如果任务为建立电磁频谱作战指挥系统,则更新指挥系统的状态为已建立。

规则 2(电磁频谱作战部队机动):

紧急情况下,电磁频谱作战部队实施空中输送;其他情况下,根据交通条件,按照铁路输送、公路输送、水路输送的顺序选择输送方式。如果任务为投送电磁频谱作战部队当前部队具有类型为机动的资源,则将基地中的部队资源添加在部队。

规则 3(电磁侦察感知):

如果任务为电磁侦察感知且当前部队具有类型为电子战侦察、电磁频谱监测、信号情报侦察的资源,则更新任务名称为电磁侦察感知、任务状态为完成、任务部队代码为选用部队的代码。

规则 4(电磁攻击):

如果任务为电磁攻击且当前部队具有类型为电子干扰、电磁欺骗、电磁摧毁的资源,则更新任务名称为电磁攻击、任务状态为完成、任务部队代码为选用部队

的代码。

规则 5(电磁防御):

如果任务为电磁防御并且当前部队具有类型为反电子侦察、反电子干扰、抗电磁摧毁、防电磁频谱参数泄漏的资源,则更新任务名称为电磁防御、任务状态为完成任务,部队代码为选用部队的代码。

规则 6(电磁管控):

如果任务为电磁管控并且当前部队具有类型为电磁频谱资源管理、用频台站(阵地)管控、用频秩序管控的资源,则更新任务名称为电磁管控、任务状态为完成、任务部队代码为选用部队的代码。

2 系统视图

系统视图是在电磁频谱作战指挥控制系统功能、特征与作战需求相联系的基础上,对支持作战功能的单元及其相互联系的一种描述。它从体系架构总体方案设计和建设方面对电磁频谱作战指挥控制系统的功能和特征进行需求分析,将系统及其有关平台、功能和特性映射到作战视图中,在满足作战需求的前提下,使系统的接口、通信和功能能够协调一致。通过系统视图描述,使电磁频谱作战力量能够合理配置,各组成单元之间通信畅通,电磁频谱作战资源得到充分利用。电磁频谱作战指挥控制系统视图包括系统接口、系统通信、系统相关矩阵、系统功能、作战活动与系统功能跟踪矩阵等。本文用需求映射的方法建立电磁频谱作战指挥控制系统视图,细分了六种电磁频谱作战指挥控制功能,建立了电磁频谱作战活动与指挥控制系统功能的映射。将十种电磁频谱作战力量通过五种通信方式连接,与三种组件有机联系;同时,实现与联合作战指挥控制系统组件之间的耦合。

2.1 系统接口

系统接口视图描述各电磁频谱作战节点间的接口、系统间的接口和系统构成组件间的接口。电磁频谱作战节点包括与电磁频谱作战行动相关的人员、平台、设施、系统等资源。一个系统接口是一个通道,在图上用一条直线表示,成对连接的系统或系统的部件之间有多个接口,各作战节点间的接口通过有线或无线的形式连接,可进行数据包传送与接收,完成指挥文电、指挥命令、战场实时电磁态势、战场事件报告与数据库调取等数据通信;同时,每个作战节点也都可与各

指挥节点和各作战力量控制节点进行命令与语音交互,如图8所示。本文设计的电磁频谱作战指挥控制系统接口,梳理了电磁频谱作战应当包含哪些作战力量,将十种电磁频谱作战力量通过总线连接,与电磁态势感知组件、电磁频谱作战方案计划组件、电磁频谱作战行动控制组件有机联系,并且与联合作战指挥控制系统的组件耦合。系统接口主要功能是从电子战侦察、频谱监测、电子干扰、电磁摧毁、反电子侦察、反电子干扰、抗电磁摧毁、防电磁频谱参数泄密、电磁频谱检测等装备与系统中采集实时数据,处理后存储至指挥控制系统数据库,推送给指挥监控后台。为确保系统的鲁棒性和可靠性,接口服务软件采取双机热备份模式,通过心跳检测技术对接口服务器双机进行主备管理。接口服务软件采用模块化分层设计的思路,分为通信接口层、数据应用层、人机接口层。通信接口层主要实现与外部系统的数据交互,为各种数据通信提供接口,完成数据采集、转发和主备份切换等功能;数据应用层主要实现数据处理、清理、存储、推送等功能;人机接口层主要处理人机交互数据,完成数据配置、状态显示和数据监控等功能。

以电磁侦察节点的属性为例:

System_Node_Reconnaissance: = SN_Reconnaissance, SN_Systems_Reconnaissance

电磁侦察节点内包括电子战侦察系统节点、频谱监测系统节点、信号情报侦察系统节点。

SN_Systems_Reconnaissance = [System_Node_EWR, System_Node_SMM, System_Node_EIR]

频谱监测系统节点的属性:

System: = System_Node_SMM, Sys_Functions_Monitoring, SN_Systems_Reconnaissance

Sys_Functions_Monitoring 表示系统提供的频谱监测功能集,频谱监测系统节点的父节点是电磁侦察节点。

电磁侦察系统与电磁攻击系统的接口关系:数据从电磁侦察系统传向电磁攻击系统,接口完成的数据交换集包括电子战侦察数据、频谱监测数据、信号情报侦察数据。

Interface: = In_RtoA, From_EMS_Reconnaissance, To_EMS_Attack, DERsDERs = [EWR_data, SMM_data, EIR_data]

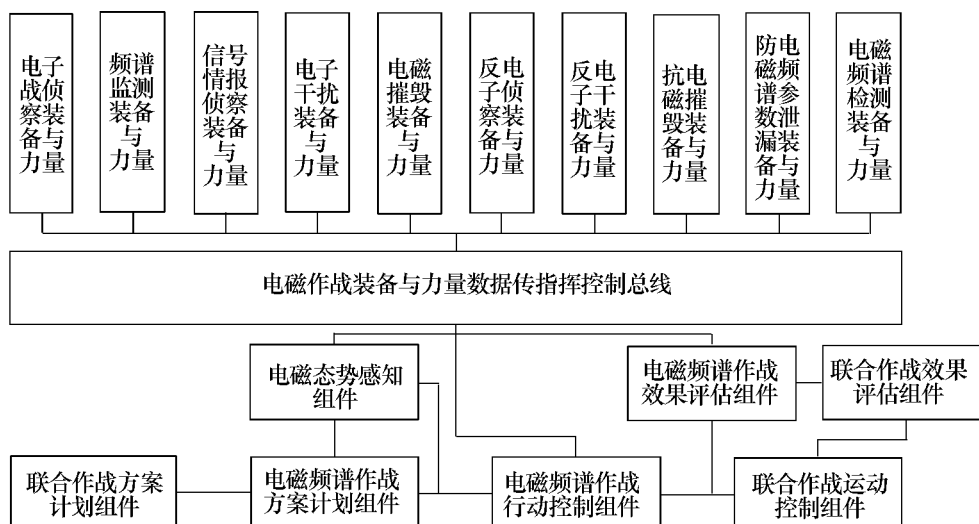


图8 电磁频谱作战指挥控制系统接口

2.2 系统通信

系统通信视图描述各电磁频谱作战节点之间、系统之间、部件之间的信息交互关系。它是对每个系统接口的详细描述。因此,设计时要求各系统必须具有多种信息交互能力、对未来新通信手段的适应能力,以及系统通信可重复利用的能力,从而提高作战节点的

可延续性和继承性,如图9所示。系统通信的特色是数据链实现射频通信与光通信混合应用,利用高可靠无线通信与高速自由空间光通信的差异性和协同性,既能利用激光数据链的宽带宽、高速度,又能够利用射频战术通用数据链规避大气或物理障碍物的不利影响,确保高速指控链路质量,及时将指控信息传输到战场末端电磁频谱作战装备。

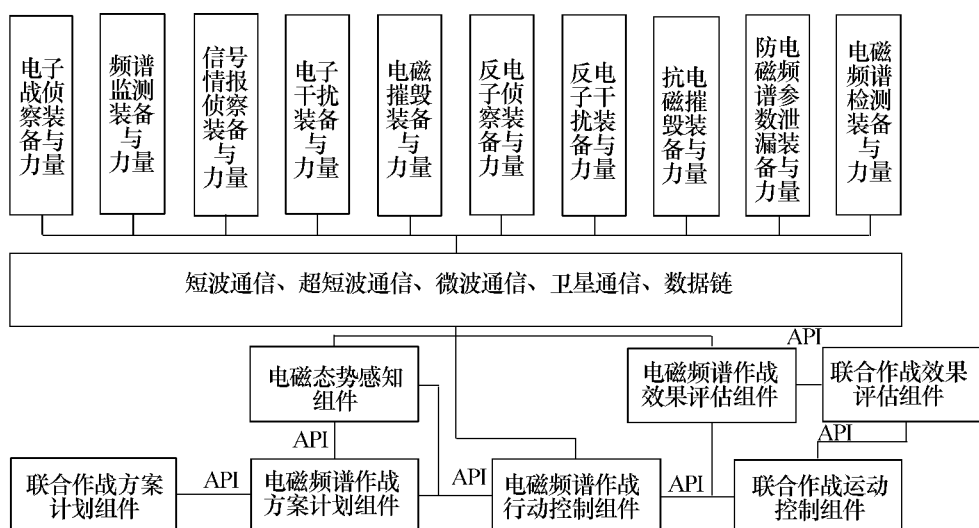


图9 电磁频谱作战指挥控制系统通信

2.3 系统相关矩阵

系统相关矩阵以矩阵的形式描述在系统接口视图中给出的系统接口的详细特征。在此矩阵中,系统分别列在矩阵的行和列中,每个方格表示一对系统的接

口。具有接口关系的系统用★表示,没有的表示没有接口关系。电磁频谱作战指挥控制系统相关矩阵如表2所示。

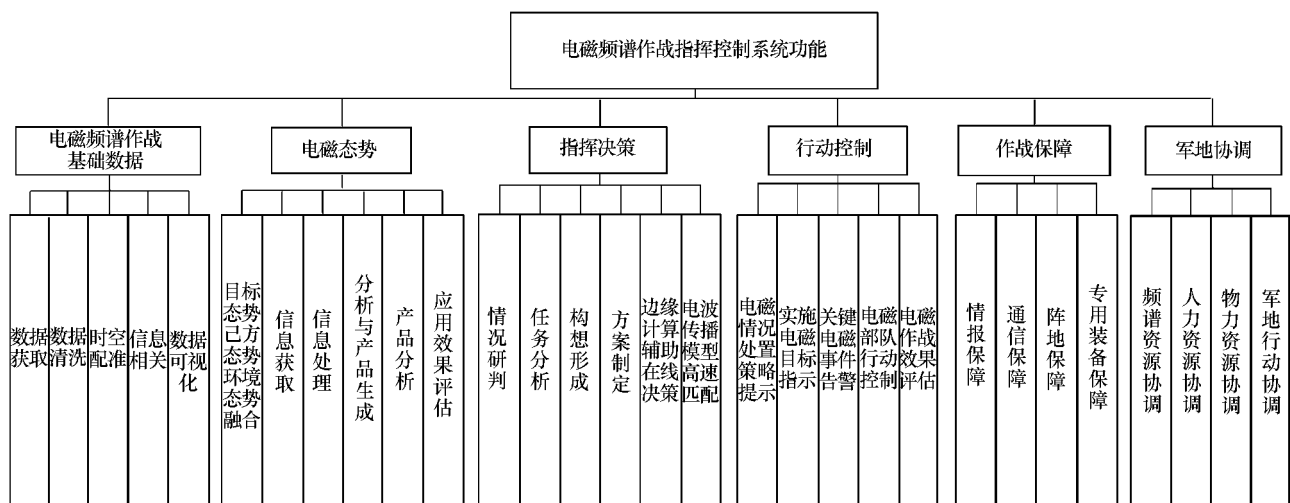
表2 电磁频谱作战指挥控制系统相关矩阵

| | 电磁态势感知组件 | 电磁频谱作战方案计划组件 | 电磁频谱作战行动控制组件 | 电磁频谱作战效果评估组件 | 电磁频谱作战装备与力量数据传输与指挥控制总线 | 联合作战方案计划组件 | 联合作战效果评估组件 |
|------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------------|------------|------------|
| 电磁态势感知组件 | | ★ | ★ | ★ | ★ | | |
| 电磁频谱作战方案计划组件 | ★ | | ★ | ★ | | ★ | |
| 电磁频谱作战行动控制组件 | ★ | ★ | | ★ | ★ | | |
| 电磁频谱作战效果评估组件 | ★ | ★ | ★ | | ★ | | ★ |
| 电磁频谱作战装备与力量数据传输与指挥控制总线 | ★ | | ★ | ★ | | | |
| 联合作战方案计划组件 | | ★ | | | | | ★ |
| 联合作战效果评估组件 | | | | ★ | | ★ | |

2.4 系统功能

系统功能视图从系统建设与运用角度具体描述电磁频谱作战指挥控制系统的功能组成与相互关系。电磁频谱作战指挥控制系统功能包括电磁频谱作战基础数据存储处理、电磁态势分析显示、电磁频谱作战指挥决策、电磁频谱作战部队行动控制、电磁频谱作战保障、电磁频谱作战军地协调等六种,如图10所示。电磁频谱作战指挥控制系统的特色功能是电磁态势分析显示、电磁频谱作战指挥决策、电磁频谱作战部队行动控制。电磁态势分析显示将敌方电磁目标态势、己方用频态势和电磁环境态势融合。电磁频谱作战指挥决策根据电磁波高速传播、电磁态势快速变化的特点,提供传播模型高速匹配、边缘计算辅助在线决策等特

色功能。传播模型高速匹配,就是根据陆海空天不同战场环境,有针对性选择电波传播模型进行作战计算。边缘计算辅助在线决策就是在电磁频谱作战数据采集端配备处理器,采取就近计算的原则,节省网络带宽和数据处理请求响应时间,局部需求局部解决,时效性高的任务在线决策,加快决策反应速度。电磁频谱作战部队行动控制根据电磁频谱作战部队战机捕捉能力要求高的特点,提供实时电磁目标指示、电磁情况处置策略提示等特色功能。电磁情况处置策略包括电磁目标选择与排序策略、电磁侦察与电磁攻击冲突消解策略、电磁攻击与电磁防御冲突消解策略、电磁攻击与火力攻击冲突消解策略、有害干扰消减策略等。



2.5 作战活动与系统功能跟踪矩阵

作战活动与系统功能跟踪矩阵主要描述电磁频谱

作战活动与电磁频谱作战指挥控制系统功能之间的对应关系,即定义哪些系统功能支持某项作战活动。作

战活动与系统功能跟踪矩阵如表 3 所示。

表 3 作战活动与系统功能跟踪矩阵

| | 电磁侦察感知 | 电磁攻击 | 电磁防御 | 电磁管控 |
|----------------|--------|------|------|------|
| 电磁频谱作战基础数据存储处理 | ● | ● | ● | ● |
| 电磁态势分析显示 | ● | ● | ● | ● |
| 电磁频谱作战指挥决策 | ● | ● | ● | ● |
| 电磁频谱作战部队行动控制 | ● | ● | ● | ● |
| 电磁频谱作战保障 | ● | ● | ● | ● |
| 电磁频谱作战军地协调 | | | ● | ● |

3 技术视图

技术视图描述电磁频谱作战体系中各系统或组成要素之间组合、交互所遵循的技术标准、规范,目的是保证各系统、接口的设计满足任务的要求,满足系统内各要素间、系统与外部的互联、互通和互操作需求。它包括系统的技术标准配置文件视图和技术标准预测文件视图。

3.1 技术标准配置文件视图

技术标准配置文件视图由一系列标准组成,它规范了电磁频谱作战系统硬件和软件、通信协议和数据格式,如表 4 所示。这些标准控制电磁频谱作战指挥控制系统的实现和体系架构的运行。电磁频谱作战指挥控制系统技术标准配置文件包括《电磁频谱作战指挥控制系统总体设计标准》《电磁兼容要求》《电磁频谱数据库结构及代码》《电磁频谱作战指挥控制系统接口关系和网络管理协议》等。

表 4 技术标准配置文件视图示例

| 服务域 | 标准 | 系统 A | 系统 B |
|-----------|-----------------|------------------|-----------|
| 运行环境 | JAT 强制要求采用的平台 | 基线: 2003.1.12 | |
| 软件过程及制品标准 | GB/T 37970-2019 | | 从基线开始的六个月 |

3.2 技术标准预测文件视图

如表 5 所示,技术标准预测文件视图包含与技术有关的标准和协议的预期变化,详细描述电磁频谱作战指挥控制系统体系架构中与系统相关的新生技术标准文件,包括对新生标准可用性的预测、现有标准被废弃的预测、置信度预测、标准风险评估预测。该视图涉及潜在标准对现有体系架构的影响,也对过渡体系架构和目标体系架构产生影响。电磁频谱作战指挥控制系统技术标准预测文件包括《电磁频谱作战指挥控

制系统通用要求》《电磁频谱作战指挥控制系统设计要求》《电磁频谱数据标准》等。

表 5 技术标准预测文件示例

| 标准服务域 | 标准规范预测 | 近期可信度(2 年) | 中期可信度(5 年) | 远期可信度(10 年) |
|---------|--------|------------|------------|-------------|
| 作战指挥与保障 | 《通用要求》 | σ | ξ | ζ |
| 信息交换 | 《数据标准》 | ξ | ζ | μ |

4 结束语

体系结构是电磁频谱作战指挥控制系统发展的关键。DoDAF 作为应用广泛、发展成熟的体系架构设计规范,在信息系统开发领域有着广泛的应用,具有很高的参考价值。基于 DoDAF 设计电磁频谱作战指挥控制系统架构,有利于促进电磁频谱作战指挥控制系统融入 C4ISR 体系,有利于提高电磁频谱作战指挥控制循环速度、获取电磁频谱作战决策优势和行动优势,有利于促进电子战、频谱管理、信号情报等电磁频谱作战资源的优化调度和优势互补。本文设计了电磁频谱作战指挥控制系统的作战视图、系统视图和技术视图。首先,构建了电磁频谱作战侦、攻、防、控行动体系,提出了电磁频谱域战管融合,人机一体的电磁频谱作战指挥控制系统架构开发方法。然后,从作战活动模型、作战状态转移描述、逻辑数据模型、作战规则模型等四个角度建立作战行动模型。采用层次结构图和过程图共同描述作战活动。分析了电磁频谱作战状态转移的四种情况。按照使命-任务-行动的层次逐层数字化,使机器能够更好地理解电磁频谱作战逻辑。构想战场情况,建立了电磁频谱作战规则集。最后,用需求映射的方法,建立了电磁频谱作战指挥控制系统视图。细分了电磁频谱作战指挥控制功能,建立了电磁频谱作战活动与指挥控制系统功能的映射。系统接口分为通信接口层、数据应用层、人机接口层,采取双机热备份模式,通过心跳检测技术进行主备管理。利用射频数据链和激光数据链的差异性和协同性将指控信息传输到战场末端电磁频谱作战装备。系统特色功能包括敌方电磁目标态势、己方用频态势、电磁环境态势融合,电波传播模型高速匹配、边缘计算辅助在线决策,实时电磁目标指示、预置电磁情况处置策略等。

未来将进一步完善电磁频谱作战指挥控制系统的数据与信息视图、服务视图和项目视图。同时,电磁频

谱作战指挥控制系统体系结构框架也将会继续发展,通过混合水平分层认知推理与表示方法、决策优化方法、可扩展、可重构体系架构等解决电磁频谱作战指挥控制面临的不确定性问题,以更好地适应电磁频谱作战指战员需求和电磁环境变化。

参 考 文 献

- [1] Department of Defense Architecture Working Group. DoD architecture framework 2.0, volume 1: introduction, overview, and concepts [R]. Washington D. C.: Department of Defense, 2009.
- [2] Chief Information Officer. DOD architecture framework 2.0 [R]. Washington D. C.: Department of Defense, 2009.
- [3] Joint Force Development. JDN 3-16: joint electromagnetic spectrum operations [R]. Washington D. C.: Joint Force Department, 2016.
- [4] CLARK B, GUNZINGER M. Winning the airwaves: regaining America's dominance in the electromagnetic spectrum [R]. Washington D. C.: Center for Strategic and Budgetary Assessments(CSBA), 2015.
- [5] 陈 勇, 张 余, 柳永祥. 电磁频谱战发展剖析与思考 [J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(4): 319-324.
CHEN Yong, ZHANG Yu, LIU Yongxiang. Analysis and thinking on the development of electromagnetic spectrum warfare [J]. Journal of Command and Control, 2018, 4(4): 319-324.
- [6] 张 余, 柳永祥, 张 涛. 等. 电磁频谱战作战样式初探 [J]. 航天电子对抗, 2017, 33(5): 14-17.
ZHANG Yu, LIU Yongxiang, ZHANG Tao, et al. The pat-
- terns of operations for the electromagnetic spectrum warfare [J]. Aerospace Electronic Warfare, 2017, 33(5): 14-17.
- [7] BAIG A. Orchestration and virtualization of computer resources for agile IT [R]. Santa Clara: SoftSummit, 2006.
- [8] ZHOU K N, TAT M L. Joint spectrum sharing and power allocation for secondary users in cognitive radio networks [C]// Proceedings of 2011 IEEE Wireless Communication and Networking Conference. Cancun: IEEE Press, 2011: 1915-1919.
- [9] CHOI Y H, KIM H, HAN S W, et al. Joint resource allocation for parallel multi-radio access in heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(11): 3324-3329.
- [10] 郭 铎, 聂光明, 张林元, 等. 电磁频谱战中频谱攻击方式建模 [J]. 通信技术, 2017, 50(5): 908-911.
GUO Duo, NIE Guangming, ZHANG Linyuan, et al. Modeling of spectrum attack in electromagnetic spectrum [J]. Communications Technology, 2017, 50(5): 908-911.

作者简介:

康国钦 男, 1981 年生, 博士, 副教授, 研究方向为电磁频谱技术与管理;

陈正榕 男, 1983 年生, 硕士, 工程师, 研究方向为电磁频谱技术与管理;

夏 权 男, 1980 年生, 硕士, 讲师, 研究方向为电磁频谱技术与管理;

夏 雷 男, 1990 年生, 博士, 讲师, 研究方向为电磁频谱技术与管理。