

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.10.002

# 战场频谱态势感知及频谱筹划系统<sup>\*</sup>

霍元杰<sup>\*\*</sup>

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

**摘 要:**介绍了战场频谱态势感知及频谱筹划系统的系统功能、组成、工作过程、关键技术及解决途径,通过分析指出频谱态势感知及频谱筹划系统与 C<sup>4</sup>ISR 系统集成可提高战场频谱管理的整体能力。  
**关键词:**网络中心战;赛博战;频谱管理;战场频谱;态势感知;战场频谱筹划;C<sup>4</sup>ISR  
**中图分类号:**TN97      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-893X(2013)10-1265-04

## Battlefield Electromagnetic Spectrum Situation Awareness and Planning Systems

HUO Yuan-jie

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** The battlefield spectrum situation awareness and planning system is presented in this paper. System functions, composition, operation and key techniques of the system are also discussed. Through analysis, it is pointed out that the system integrated with C<sup>4</sup>ISR systems can improve the whole capability of battlefield spectrum management.  
**Key words:** net-centric war; cyber war; spectrum management; battlefield spectrum; situation awareness; battlefield spectrum planning; C<sup>4</sup>ISR

### 1 引 言

在“网络中心战”和“赛博战”中,电磁频谱是唯一能支持机动作战、分散作战和高强度作战的重要媒质,是未来作战的搏杀重心。在“电磁作战空间”<sup>[1]</sup>的概念下,电磁频谱成为可以与火力、机械动力相提并论的新型战斗力和战争资源,影响甚至决定着战争的进程和结局<sup>[2]</sup>。一方面,随着作战模式的转变,作战对电磁频谱资源的需求激增。美国国防部调查报告显示,其军事频谱带宽需求正以每 5 年 5~10 倍的速度增长,2010 年美国防部的带宽接入需求较伊拉克和阿富汗战争时期增长了 10 倍,尤其是无人机的通信带宽和频谱需求是 1998 年的 6 000 倍<sup>[3]</sup>。另一方面,传统的静态、集中式的频谱管理模式已不能适应网络中心战的需要<sup>[4]</sup>,现有的战场频谱筹划过程依赖于多种非标准的、相互独立的数据库、工具和处理程序,导致频谱筹划往往费时费力。战场频谱态势感知及频谱筹划系统成为目前

军事理论研究及系统建设的重点。

### 2 功 能

战场频谱态势感知及频谱筹划系统的功能包括以下几方面:

- (1) 满足战场频谱管理对信息的需求,收集、分配和处理动态频谱管理所需的频谱使用数据,并将这些信息融合处理后生成频谱作战图;
- (2) 为信息战与电子战计划提供足够的信息,频谱态势信息与其他情报互为印证;
- (3) 遵照战术、技术或行政规程,匹配作战任务用频需求,进行统一分配和指配装备用频;
- (4) 对已指配的频率进行用频冲突检测,并按照频谱规则进行用频冲突消解,保证关键任务及装备用频;
- (5) 辅助网络规划及任务规划。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2013-08-02;修回日期:2013-10-10      Received date:2013-08-02;Revised date:2013-10-10  
<sup>\*\*</sup> 通讯作者:acuteleopard@qq.com      Corresponding author:acuteleopard@qq.com

### 3 系统组成及工作原理

战场频谱态势感知及频谱筹划系统组成框图如图 1 所示。

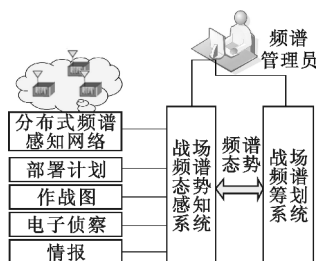


图 1 战场频谱态势感知及频谱筹划系统组成框图

Fig. 1 Diagram of a battlefield electromagnetic spectrum situation awareness and planning system

#### 3.1 频谱态势感知

##### 3.1.1 系统组成及工作原理

战场上,有关频谱使用情况的信息是可获取的,但目前尚未被有效地用于频谱管理。构建能力时,需要收集设备所用无线电的特征数据,包括使用平台、部署的战斗序列,民用频谱与敌方频谱的使用情况也是有效频谱态势感知的关键。为了实现有效的频谱利用,上述信息的收集和使用都将在同一个框架内完成,对数据的准确性要求将更加严格,数据的更新周期也将变短。频谱态势感知系统主要完成态势数据搜集处理和频谱态势可视化两个功能。

##### (1) 态势数据搜集处理

构建频谱态势感知图的信息是由来自不同数据源的数据融合生成的,战场的频谱使用数据来源有以下几个。

**部署计划:**记录了与每个战斗序列有关的作战单元和平台的装备数据。

**战场作战图:**战场作战图(如通用作战图等)可提供很多准确且近实时的位置数据,这些数据与频谱管理数据相结合可生成更加准确的频谱使用图。通过这张融合的频谱图,可更加准确地评估发射机和接收机的频率覆盖范围,进而提供更有效的频谱利用,实现频谱的重复利用。

**电子侦察:**战场电子侦察设备可显示辐射源的地理位置,可为频谱态势感知提供支持。电子侦察系统与频谱态势感知系统可相互印证,使昂贵且有限的感知平台得到更有效的利用。然而,战场上各类设备都有自己的主要任务,应尽可能使电子侦察为频谱态势感知提供重要的支持,但不可能特别地用于频谱管理。

**情报:**有关频谱使用情况的另一个数据来源是

一般军事情报。通常情况下,从互联网就可获得民用无线电发射机的部署情况。

**频谱监测系统:**由于某些区域的特殊性,需要在这些区域安装频谱监控与维护系统,希望未来这些系统可直接部署到战场以支援频谱管理。部署的区域可以是有频谱拥堵问题的区域(如战术司令部周围)或由于技术原因很难实施频谱管理的区域(如城市),部署到无人机等升空平台上的频谱监控系统可显著提高覆盖范围。

##### (2) 频谱态势可视化

频谱态势可视化实现将融合后的频谱态势数据组织展现成频谱作战图,可用红色、蓝色和白色(民用)来标记频谱单元,实施电子战时可避免频谱的误伤。在非军事行动中(如维稳和维和行动),这些标记可保护非政府机构的关键民用服务免受伤害。

##### 3.1.2 功能及作用

##### (1) 辅助频谱筹划及管理

频谱态势感知的作用是识别战场上无线电设备的用频变化与移动情况。有了足够的信息,频谱态势感知能力可使频谱得到有效的重复利用。随着战场环境的不断变化以及网络中心战的网络使能力的引入,频谱态势感知将成为一个关键的使能工具。

##### (2) 辅助网络规划

为保障战场动态网络成功运转并且发挥最大的效用,在制定规划时就应充分考虑频谱的效用问题。对网络和频谱能力来说,动态反应网络需求变化和拓扑结构的频谱利用计划与重新计划能力是关键,这种能力由频谱态势感知能力来实现。频谱态势感知可捕获每个特殊发射机的“行为”特征并显示在频谱感知图上,还可描述发射机对频谱管控的响应情况。

##### (3) 辅助作战筹划

未来作战中,随着频谱拥堵情况的加剧,制定作战计划时,需要谨慎选择战斗序列单元,使其在可用的频谱范围内得到有效利用。特别是在缺少足够信息情况下制定保守想定计划时,频谱问题将是重要的约束条件。

#### 3.2 频谱筹划

##### 3.2.1 典型的频谱筹划系统简介

美军陆续研制出的作战人员使用的频谱规划工具、战场频谱筹划系统或工具有频谱 21 世纪(Spectrum XXI)、联合自动化通信电子操作指令系统(JACS)、改进型战场电子作业指令系统(RBECS)、水面舰艇电磁频谱操作指令(AESOP)、海军陆战队系统规划、设计、评估(SPEED)、联盟/联合频谱管理和规划工具(CJSMP)。从以上系统可总结出典型的战场

频谱筹划系统包括频率分配及指配、冲突检测及冲突消解(含电子战)、用频效能评估、频谱筹划推演可视化、频谱数据库等功能及能力。

CJSMPT 是美国“全球电磁频谱信息系统(GEM-SIS)”计划的一部分。2007 年,中央指挥部(CENT-COM)在伊拉克实战检验了该软件。其研究者指出:当前的作战及战术频谱规划与管理已跟不上作战节奏,例如无法减轻电子战对友军系统的影响;无人机系统由于低效的频率再分配而无法最优地使用频谱;陆基通信系统性能下降;战斗机在作战时接入频谱限制严格,很多作战频谱管理者不得不采用最坏情况下的频率请求。CJSMPT 正在研究解决上述问题的方法,如自动频谱管理、高效仿真分析及可视化模拟、频谱优化工具。无论对于哪一作战级别的用户,这套系统支持完成任务规划和执行的所有环节。CJSMPT 可为用户提供对作为网络或独立节点的所有用频装备执行频谱资源管理和规划的能力。系统能识别出潜在的射频系统冲突,并能推导冲突解决措施,随作战动态变化而优化频谱资源的使用。本文以 CJSMPT 为例进行系统组成及原理介绍。

**3.2.2 系统组成及工作原理**

CJSMPT 架构<sup>[5]</sup>如图 2 所示,由 5 个主要的组成部分协同完成需求分析、频谱筹划和 RF 冲突消解的流程:

- (1)所有的系统操作通过用户界面(见图 3)完成,包括场景及设备参数的编辑与查看,部队位置及移动信息,还生成格式化报告,如联合频谱干扰消解(JSIR)报告;
- (2)频谱管理(SM)模块负责协调系统的总体运行,并执行冲突消解算法;
- (3)通信效能仿真器(CES)对规划的任务进行仿真,预测可能存在的冲突。CES 模型的参数包括功率、波形、天线特征(即高度、极化方式、方向性、地形影响),并预测在规划场景下是否存在设备间的干扰;
- (4)频谱规划建议器(SPA)对频率修改提供建议,以减少 CES 预测的干扰。SPA 还提供一个初始频率分配计划(频率池)。用户可以根据任务 QoS 要求来具体指定网络优先权,SPA 在不影响关键的任务网条件下解决干扰问题;
- (5)观测器(VIZ)通过 2D/3D 地图来显示部队位置和移动状况,以及频谱使用情况,包括电子战(EW)效果;
- (6)频谱知识库(SK)包含任务仿真用的关键的场景数据,如部队结构、辐射特性、频谱使用等

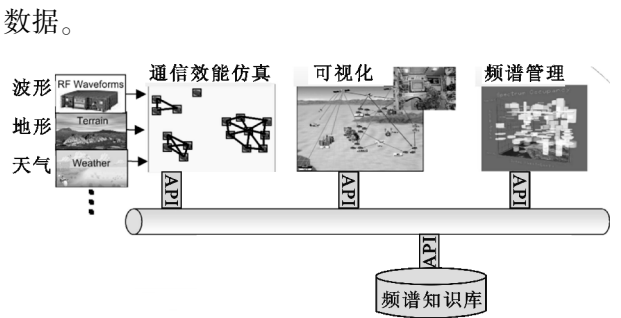


图 2 CJSMPT 组成架构  
Fig. 2 Architecture of CJSMPT



图 3 CJSMPT 的用户界面  
Fig. 3 User interface of CJSMPT

## 4 关键技术及解决途径

### 4.1 总体集成技术

总体集成技术对战场频谱态势感知与筹划系统至关重要,是需要研究解决的一项难点。战场频谱态势感知与筹划系统集成对提高战场频谱管理的整体能力具有重要的作用和影响,通过集成可以把战场 C<sup>4</sup>I 系统与有关战场频谱管理的硬/软件平台、台站设备、数据与信息、各类技术功能子系统、人和组织机构等各个分离部分或子系统综合成为一个大系统,从而更加灵活地进行频谱监测和分析,科学合理地进行规划、分配和指配频率,及时查处、协调和消除电磁干扰,达成各系统与装备间的电磁兼容能力。

系统总体技术中主要有系统总体设计和系统实现两个方面:

- (1)加强总体设计,如加强体系结构研究,加强开放式和标准化工作;
- (2)系统集成可采用分系统、分设备均可以独立运行的设计思想,以大大减少系统设计的难度,把设计重点放在系统的互联上。

战场频谱态势感知与筹划系统涉及用频装备特

性数据库、频谱业务基础数据库、频谱感知背景数据库(协同、非协同)、频谱资源数据库(频谱规划、频谱分配、管控准则)、联合用频计划数据库,以及敌方装备特征数据库等大大小小各类型数据库十几种,要使这些异构分布多源数据库的资源共享,灵活调用,必须采用多数据库的集成技术对它们进行综合集成,而集成的关键是解决集成的机制问题。目前,这样的集成机制主要有全局模式多数据库系统和联邦数据库系统两种。

4.2 频率规划和频谱冲突消解

频谱规划是包括空间、时间、频率、功率等其他维度在内的多维优化的难题。图论是频率规划和频谱冲突消解的有用模型,见图4。

- (1)顶点表示一个节点(节点可以是一个通信子网);
- (2)节点标签(类似于着色)包括频率、工作方式等信息;
- (3)节点间连线表示节点之间存在用频冲突,用箭头表示干扰方向。分析规则中规定同一网系内的相同频率不存在用频冲突。

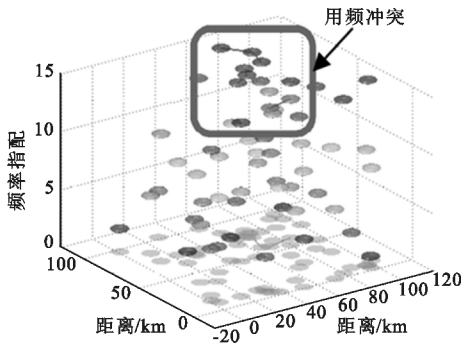


图4 基于图论的频率规划  
Fig.4 Spectrum planning based on graph theory

如图5所示,CJSMPT 通过将可视化的频谱规划、用频冲突分析检测、用频冲突消解等流程迭代实现频谱规划的优化<sup>[5]</sup>,具体步骤如下:

- (1)从 SKR 加载场景想定;
- (2)通过 CES 和可视化冲突报告对场景进行分析;
- (3)通过 SPA 解决冲突;
- (4)将修改的频谱规划反馈到 CES;
- (5)如有需要经过多次迭代来修改频谱规划。

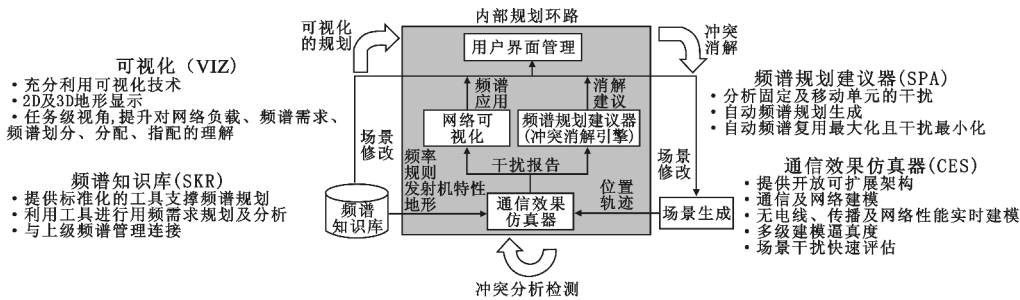


图5 冲突消解迭代流程  
Fig.5 Flowchart of conflict resolution iteration

5 结束语

传统的静态、集中式的频谱管理模式已不能适应网络中心战的需要,基于标准化频谱数据的战场频谱态势感知和筹划系统与战场 C<sup>4</sup>ISR 系统集成可提高战场频谱管理的整体能力。本文仅抛砖引玉,希望能为相关人员开展研究提供参考。

参考文献:

[1] CJCSM 3320.01B,Joint Operations in the Electromagnetic Battlespace[S].  
[2] Joint Publication 3-09,Doctrine for Joint Fire Support [S].  
[3] Spectrum Management Task Group. A Review of Spectrum Management [R]. Washington DC: Defense Business

Board,2010;34-35.

[4] Assistant Secretary of Defense. Department of Defense Net-Centric Spectrum Management Strategy [R]. Washington DC:Defense Pentagon,2006,8.  
[5] Heisey W,Kline W,Zebrowitz H,et al. Automated Spectrum Plan Advisor for On-The-Move Networks [C]// Proceedings of 2006 IEEE Military Communications Conference. Washington DC:IEEE, 2007:1-5.

作者简介:



霍元杰(1970—),男,湖北武汉人,高级工程师,主要研究方向为航空通信与电磁兼容。  
HUO Yuan-jie was born in Wuhan, Hubei Province, in 1970. He is now a senior engineer. His research interests include aviation communication and electromagnetic compatibility.  
Email:acuteleopard@qq.com