

文章编号:1671-6833(2018)05-0045-07

# 面向联合作战的网电对抗态势可视化系统设计与实现

张 阳, 司光亚, 王艳正

(国防大学 联合作战学院, 北京 100091)

**摘 要:** 本文从联合作战对于网电对抗态势可视化系统的能力需求出发,进行了系统功能分析.在此基础上,基于能力视角、服务视角与作战视角,构建了基于无解的分布式系统体系结构,并设计了系统的想定生成运行架构与实时运行架构.本文以基于组件的快速可订制态势驱动技术与基于贴图的多层态势融合可视化技术为例,研究了系统设计与开发中的关键技术,并以 C4ISR 系统网电攻防行动为例,给出了演示示例,表明了系统的实用性.

**关键词:** 网电对抗; 分布式系统; 快速可订制; C4ISR 系统

**中图分类号:** TP399      **文献标志码:** A      **doi:**10.13705/j.issn.1671-6833.2018.05.004

## 0 引言

网电空间是信息化发展的产物,是随着信息技术发展与世界军事变革而出现的新作战领域<sup>[1]</sup>.网电空间中的军事行动跨越了传统电子对抗和网络对抗意义的攻击,它将改变以往硬杀伤、硬摧毁的作战方式,更多地以瘫痪敌方装备,甚至控制敌方装备为我所用达到特定的威慑和战争目的.因此,网电空间已经成为未来信息化战争中一个新的作战领域,网电对抗将是基于网络信息系统的联合作战所不可或缺的重要作战样式<sup>[1]</sup>.

对于指挥员而言,虚拟的、人造的网电空间无形无状,难以把握与理解.网电空间态势展示借助可视化技术深入挖掘网电对抗的态势信息,在人与数据、人与人之间实现图像通信,可以使决策者通览全局,实现对网电空间态势的及时感知和准确把握.面向联合作战的网电对抗态势可视化系统是联合作战指挥员筹划与指挥网电对抗行动、评估网电对抗效果的支撑平台,是争夺网电空间控制权的重要保障<sup>[2-3]</sup>.

目前,世界各军事强国都在加紧开发与部署网电对抗态势可视化系统,以此作为争夺制网电空间权的抓手之一,美国 DARPA “X Plan” 计划<sup>[4-7]</sup>即是其中代表.该计划于 2012 年启动,计

划于 2017 年完成并投入实战应用.“X Plan” 计划是美军网电对抗融入联合作战的基础工具,将会为联合作战指挥员与网电空间作战人员提供针对各自视角的、专业的、统一的网电对抗态势,为各级指挥员筹划网电对抗行动提供工具支撑<sup>[8]</sup>.此外,2011 年,加拿大国防科学家将可视分析应用在国防安全防御系统中,利用可视分析技术对海量数据进行处理,通过交互手段提高人类对信息的认知能力<sup>[9]</sup>.

笔者采用模块化、组件化思想,设计了面向联合作战的网电对抗态势可视化系统(CWSVS),分析了系统的功能与模块组成,给出了系统的运行架构与软件架构,研究了系统开发的关键技术,并给出运行实例.

## 1 基于能力的系统功能需求分析

支撑面向联合作战的网电对抗行动战前筹划、战时组织实施与效能评估<sup>[10]</sup>,这是系统开发与应用的根本目的,它对系统应具备的能力也提出了要求,这些能力要求也决定了系统的功能需求,如图 1 所示.具体而言,系统应具备对可视化演示验证系统管理和控制的能力、应具备针对想定需求构建网电空间环境和态势的能力,这实际上是从功能的角度提出系统应拥有管理和构建网电对抗态势的功能;应具备对多种类、多层次网电

收稿日期:2017-12-10;修订日期:2018-03-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U1435218)

作者简介:张 阳(1986—),男,河南洛阳人,国防大学博士生,主要从事计算机战争模拟研究,E-mail:361477421@

qq.com.

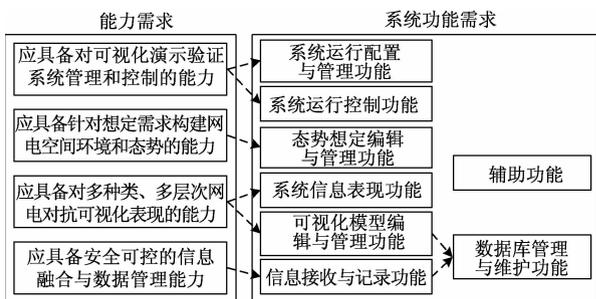


图1 网电对抗态势可视化系统功能需求示意图

Fig.1 Requirements of CWSVS

对抗可视化表现的能力,是要求系统应具有根据任务需求采用丰富可视化表现形式的功能;应具

备安全可控的信息融合与数据管理能力,除要求系统提供信息和数据管理功能,还明确要求系统保证数据安全可控。在这些功能需求基础上,数据库管理与维护和辅助功能等常规需求也应在系统设计中得到实现。

综上所述,网电对抗态势可视化系统需要具备系统运行管理与配置、系统运行控制、态势想定编辑与管理、系统信息表现、可视化模型编辑与管理、信息接收与记录、数据库管理与维护、辅助等8项基本功能。对每项基本功能进行分解,形成系统功能分层模型,如图2所示。

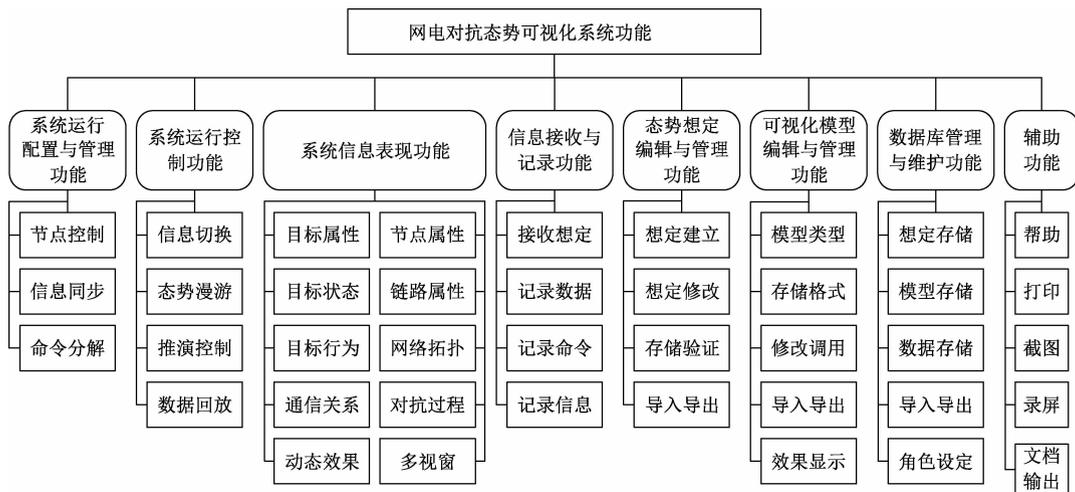


图2 网电对抗态势可视化系统功能分层描述图

Fig.2 Hierarchical function of CWSVS

## 2 系统体系结构与运行架构设计

### 2.1 多视角的系统体系结构设计

由于联合作战网电对抗行动的筹划实施涉及联合作战的指挥人员、网电对抗专业领域的作战人员,以及保障作战行动的系统相关技术人员等多层次多专业人员,不同人员对于网电对抗态势可视化系统的视角区别很大,系统依托于HLA (high level architecture) 分布式体系结构<sup>[11]</sup>进行开发与集成,并分别从能力视角、服务视角与作战视角等多角度分析系统的体系结构作为系统设计与开发的指南,如图3所示。

(1)能力视角(CV).从能力视角而言,系统应该具备系统管理和控制的功能,针对想定需求构建网电空间环境和态势的功能,对多种类、多层次网电对抗可视化表现的功能,安全可控的信息融合与数据管理功能等,具体可参见“系统功能需求分析”。

(2)服务视角(SvcV).体系结构设计开发环境采用开放的集成框架技术,实现设计成果的快速有效共享,提高设计的重复利用率,减少设计工作量,这里从用户安全管理、用户接口和信息格式标准的角度定义可视化系统体系结构所提供的服务应该最大程度地保证可视化内容采用的是行业标准化数据和规范。

▶ 用户安全管理参与体系结构设计及使用人员及其权限;

▶ 用户接口规定、用户操作系统的方式以及系统为用户提供的统一功能(如加入HLA联邦,按需公布订购数据、打印文档、选择性地显示所关注的的数据等);

▶ 统一信息格式标准,为体系结构在HLA运行上提供统一的数据标准和交换格式。

(3)作战视角(OV).系统执行特定的可视化功能必须依托于各种网电对抗模型,进而为网电空间作战行动服务。对作战视角而言,网电对抗态势可视化涉及的模型可以分为4种。

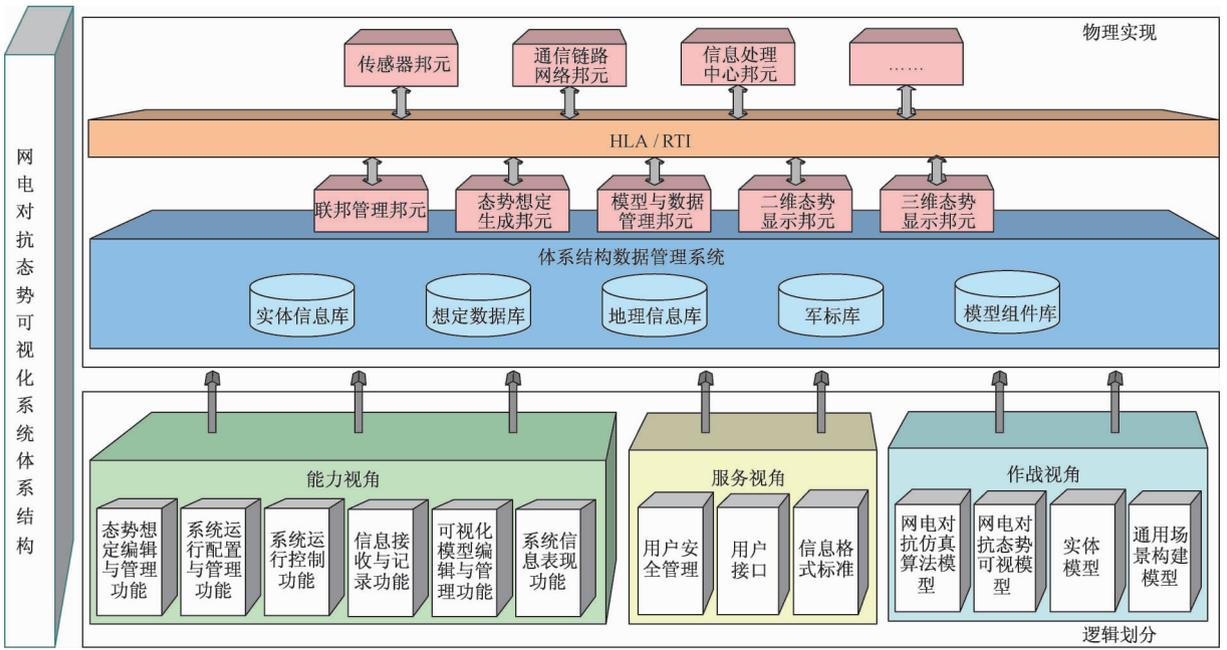


图 3 基于多视角的网电对抗态势可视化系统体系结构视图

Fig. 3 Architecture of CWSVS

►实体模型,主要包括三维实体模型、二维军标模型、二维图标模型等,用来在二维或者三维地理信息系统上标示实体;

►网电对抗仿真算法模型,主要包括雷达对抗相关仿真算法、通信对抗相关仿真算法、网络对抗相关仿真算法,这些算法按照一定规则与逻辑组合起来后能够进行对抗行为的仿真推演;

►网电对抗态势可视模型,主要包括雷达对抗态势可视模型、通信对抗态势可视模型,以及网络对抗态势可视模型,用在二维或者三维地理信息系统上以可视化的形式展现网电对抗态势;

►通用场景构建模型,主要包括地形模型、战场环境模型、大气渲染模型、自然环境模型、机动模型等,用以构建逼真的可视化场景,生动表现战场交战效果,能够被许多可视化系统共用。

在模块划分上,系统基于 HLA 构建分布式的仿真环境,在实体信息库、想定数据库等数据管理系统的支持下,可以划分为联邦管理邦元、态势想定生成邦元、模型与数据管理邦元、二维态势显示邦元、三维态势显示邦元等仿真邦元。

### 2.2 双模式的系统运行架构设计

系统的运行体系架构如图 4 所示,可以分为想定生成运行架构与系统实时运行架构两种模式. 想定生成部分主要用于生成各种想定,供系统实时运行时调用,在仿真运行前完成. 主要是

分析网电对抗态势,由数据管理邦元完成入库;数据管理邦元也具有将研究开发的各种可视化技术组件、算法、仿真模型与三维模型保存至数据库的功能,并能够进行库的管理. 态势想定生成邦元则综合网电态势的可视化属性与环境信息,设置网电对抗想定,包括各种信源、通信链路和各级信息处理中心可视化属性的设定,可视化技术组件设定、环境信息设定、算法设定、三维模型和仿真模型设定等在系统运行时需要各种想定。

实时运行架构支持在实时接收网电对抗态势数据或解析回放数据时,实现系统的运行与网电对抗态势的可视化. 各系统作为 HLA 的联邦成员,在联邦管理邦元的控制下运行,其中二维态势显示邦元与三维态势显示邦元可根据想定与配置,设定为红方、蓝方或白方角色,实现多邦元同时加入联邦。

### 3 系统设计与开发关键技术研究

网电对抗态势展示系统的设计与开发涉及网络战、电子战、计算机图形学、数据结构等多领域知识. 为实现系统展示效果生动形象、快速准确、布设快捷、响应迅速等目标,需要解决网电对抗态势可视模型构建技术、快速可订制的态势驱动技术、多层态势融合显示技术、系统综合集成技术等关键技术. 笔者重点研究基于组件的快速可订制态势驱动技术以及基于贴图的多层态势融合显示

技术.

### 3.1 基于组件的快速可订制态势驱动技术

组件化技术是当前支持软件重用的核心技术,发展迅速并受到高度重视.组件化技术可以将

系统分解成为独立、可复用、可替代的组件,通过组件组合的模式可以有效地减少应用软件新代码数量、缩短开发周期,增强软件应用的适应性、可重用性<sup>[12-14]</sup>.

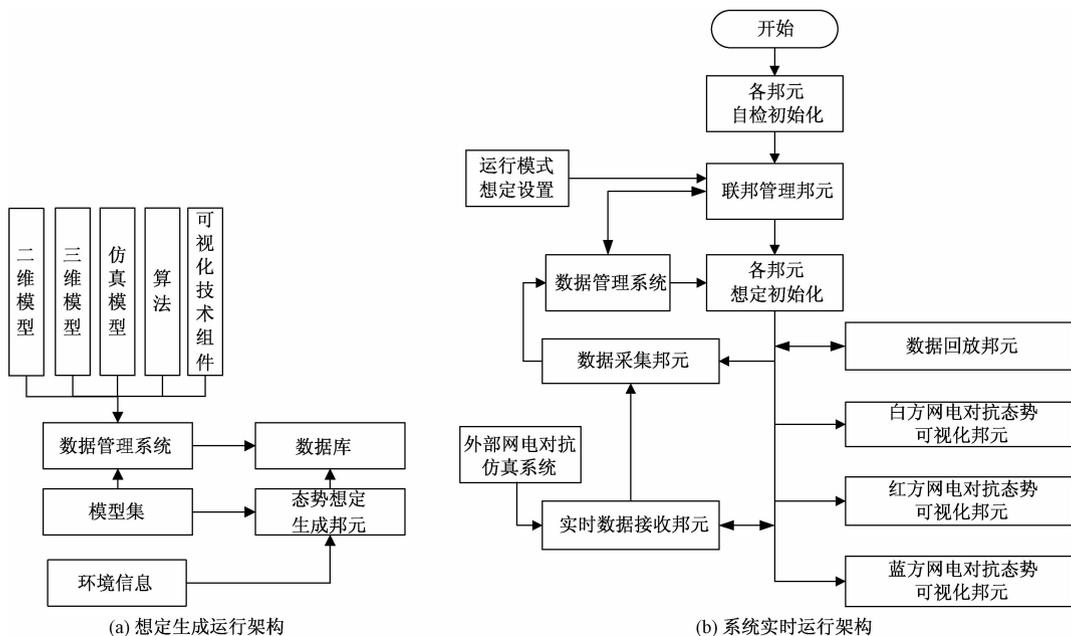


图4 系统运行体系结构图

Fig. 4 Runtime architecture of CWSVS

由于网电对抗态势的虚拟性与复杂性,网电对抗态势的可视化必然面临着巨大的计算与显示需求.考虑到实际作战时,不同层次的指挥员关注的网电对抗态势不同,因此系统组成应该灵活,具有较强的可订制性.同时,考虑到未来系统改进与扩充的需要,系统还应具备较强的可扩展性.基于上述3点考虑,采用基于组件技术实现网电对抗态势的快速可订制,根据用户需求迅速组装显示组件,灵活地、自定义地建

构网电对抗态势.根据系统的功能需求,按照组件规模,将态势驱动可视模型划分为顶层组件、基元组件与底层组件3类.这些组件均采用\*.dll形式封装,用户只需按照对外接口定义的格式,输入态势相应数据,就能得到所需要的显示效果.组件相对于用户而言都类似于“黑箱”,用户不需要关心组件的具体实现方式以及仿真算法,便于按照用户的需求进行组装.这3类组件之间的调用关系如图5所示.

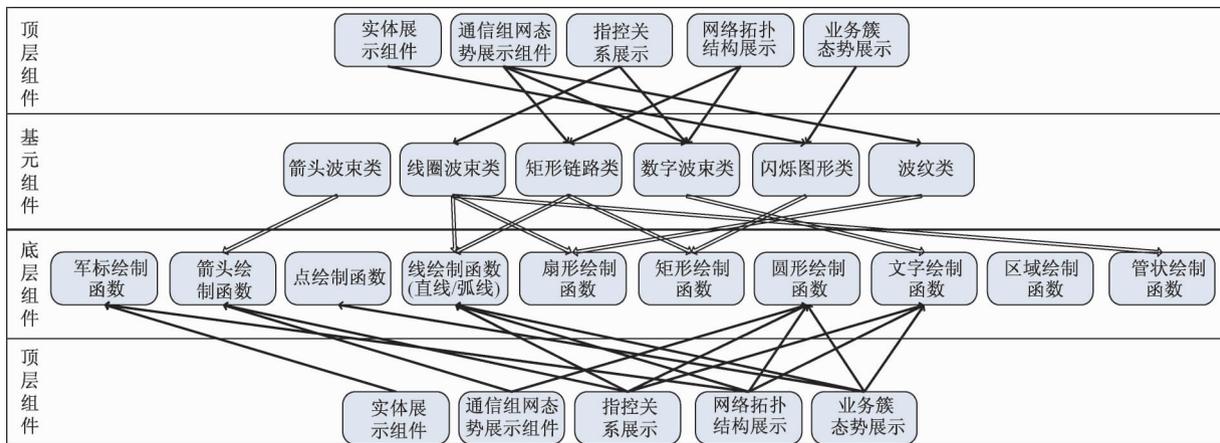


图5 三层组件调用关系图

Fig. 5 Three-tier component relations of CWSVS

底层组件的构建需要开发人员结合二维地理信息系统,采用 GDI + 与 GDI 图形接口函数开发二维显示图形,或结合三维地理信息系统,采用 OpenGL 与 DirectX 图形接口函数开发三维显示图形;基元组件调用相应的底层组件实现网电对抗态势基元绘制;顶层组件结合二维或者三维地理信息系统,调用底层组件与基元组件实现网电对抗态势的绘制。

### 3.2 基于贴图的多层态势融合可视化技术

网电对抗态势层次按照用户关注点,可以划分为物理层、协议层与业务层 3 层.这 3 层分类标准与用户在联合作战中所处的层次也是对应的,一般而言,联合作战层次指挥员更关注网电对抗的物理层态势,而网电对抗专业领域人员更关注协议层与业务层态势.这 3 层态势并不是彼此孤立的,需要将 3 层态势进行融合显示,从而给指挥

员提供关于网电对抗的整体态势情况,便于揭示物理层、协议层与业务层的态势级联与随动关系,进一步挖掘网电对抗态势信息<sup>[15-17]</sup>。

多层态势融合可视化的表现形式,是在单个视窗内同时展现多个层的态势信息,并能以一种简洁明了的方式展现出来,不但能够重点展示各个层的主要信息,还能展示这种信息之间的关联关系。

在单视窗内同时展示多层态势实际上是一种三维效果,笔者采用 OpenGL 图形接口<sup>[18-19]</sup>进行绘制,实现多层融合可视化,具体思路是:首先,采用 OpenGL 接口开发融合显示邦元,支持图形三维显示、视点操作等功能;其次,加载物理层、协议层与业务层的态势图,并将其转换为纹理贴图;最后,在融合显示邦元中加载纹理贴图,如图 6 所示。

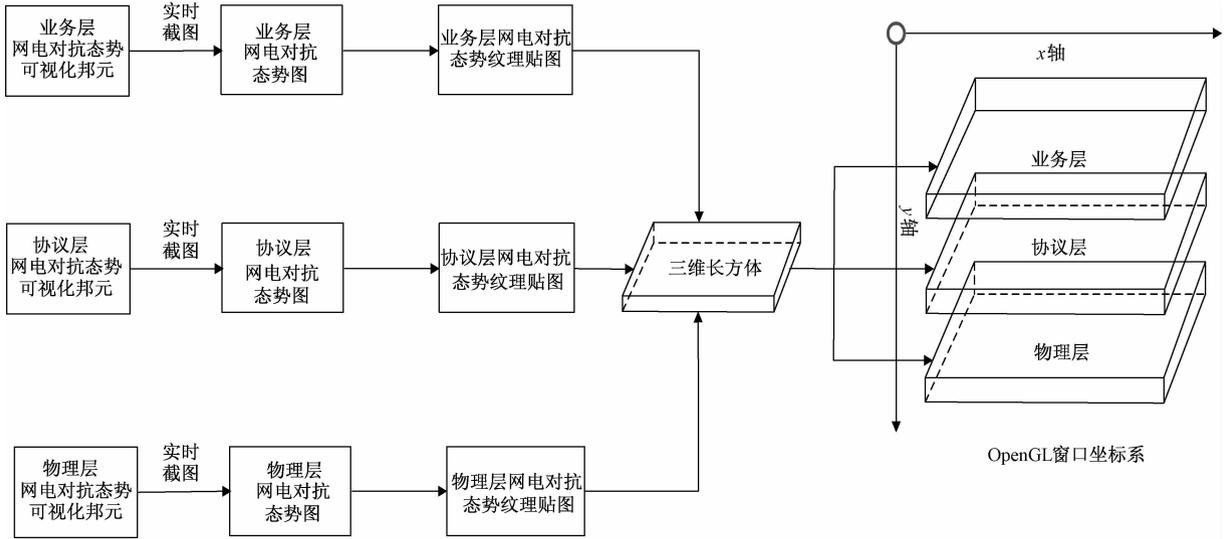


图 6 基于贴图的多层态势融合可视化技术示意图

Fig. 6 Multi-level situation fusion visualization technology based on texture mapping of CWSVS

为了更好地实现可视化,构建长方体作为各层态势图的“底板”,长方体采用面填充模式,并且填充颜色透明度较大,给观察者一种浮动的感觉.同时,将多层纹理贴图在 y 轴方向上间隔一定距离,使得观察者能够同时观察到多层的效果。

基于贴图的多层态势融合可视化技术的具体步骤为:

STEP 1:将各层网电对抗态势可视化邦元的当前态势实时截图,生成各层网电对抗态势图,转到 STEP 2;

STEP 2:将各层态势图生成各层对应的纹理贴图,转到 STEP 3;

STEP 3:将各层纹理贴图与三维长方体进行绑定,从而把纹理贴图加载在长方体的上表面,转

到 STEP 4;

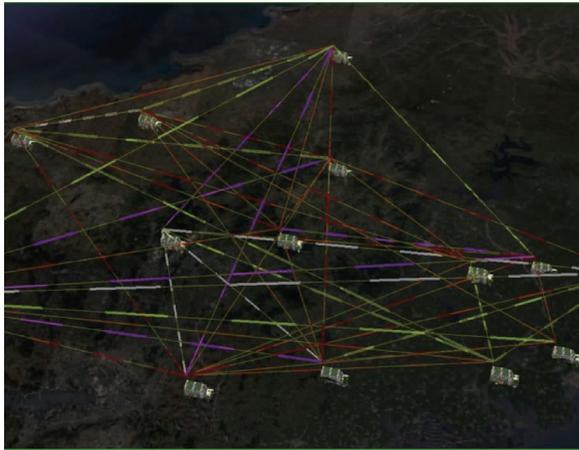
STEP 4:在三维显示平台上,以一定间隔显示绑定各层纹理贴图的长方体,形成多层融合的立体效果。

## 4 系统演示示例

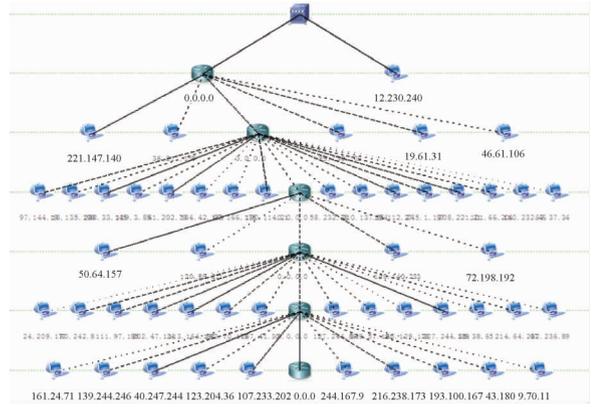
C4ISR 系统是联合作战的重要支撑,是基于网络信息系统的体系对抗所必须依赖的信息源泉与决策中枢.笔者给出以 C4ISR 系统为攻防背景的网电对抗行动的可视化效果作为网电对抗态势可视化系统的演示实例.这里仅以物理层通信链路、协议层网络拓扑、业务层指控关系以及多层态势融合可视化效果为例,如图 7 所示.网电对抗态势可视化系统可视化效果生动形象、内容丰富,能

够根据用户需求快速订制态势,可扩展性佳,能够支持网电对抗效果的快速开发与展示,并成功应

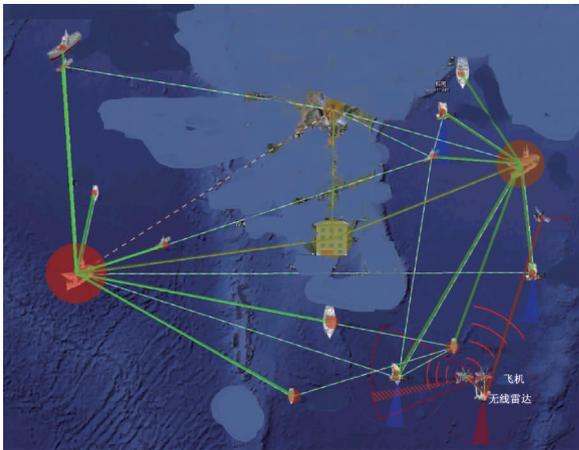
用于某次重大演训任务以及某项重点课题演示汇报中,受到指挥员与业内专家的一致好评。



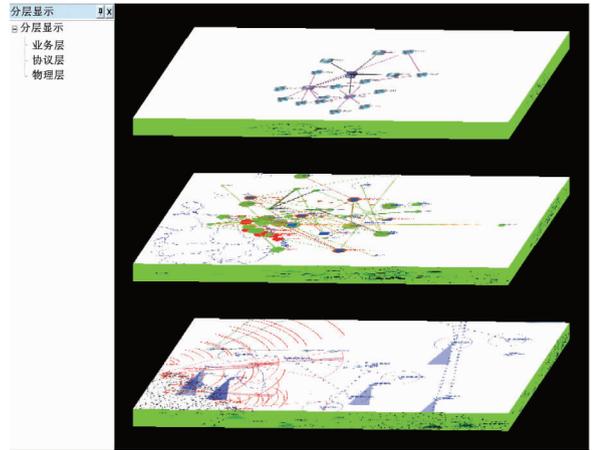
(a) 物理层通信链路可视化效果图



(b) 协议层网络拓扑可视化效果图



(c) 业务层指控关系可视化效果图



(d) 多层态势融合可视化效果图

图7 可视化系统效果图

Fig.7 Visualization effect of CWSVS

### 5 结论

网电对抗态势可视化系统综合运用多种可视化手段与技术,能够为面向联合作战的网电对抗提供辅助决策工具,帮助指挥员多视角、多层次分析网电对抗态势.笔者基于能力视角分析了网电对抗态势可视化系统的需求,给出了系统的体系结构设计与运行架构设计,研究了基于组件的快速可订制态势驱动技术与基于贴图的多层态势融合可视化技术等系统关键技术,并以C4ISR系统网电攻防为例,给出了演示示例,表明了系统设计的合理性与实用性.

### 参考文献:

[1] U. S. Air Force. Cyberspace operations-air force doctrine document (AFDD) 3-12[R]. Cemay: center for doctrine development and education,2010.

[2] ENDSLEY. Theoretical underpinning of situation awareness. a critical review [R]. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2000.

[3] SCOTT C E T, STEPHEN M, RICHARD Bejtlich. Network Attack Visualization and Response Through Intelligent Icons [C] // IEEE, 2009, 8 (1): 2062 - 2068.

[4] DARPA. Foundational Cyber Warfare (Plan X)[R]. USA: Washing DC, 2012.

[5] 郭宏生. 网络空间安全战略 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2016:100 - 110.

[6] 黄维真, 何荷. 从战略视角看美军“X计划”[J]. 军事学术, 2013, 11(1): 73 - 75.

[7] 范虎巍, 范乘斌, 温柏华. 美国网络战“X计划”的实施及启示 [J]. 装备, 2013, 20(3): 75 - 76.

[8] MARTIN C L. Cyberdeterrence and Cyberwar [R]. RAND. 2009.

[9] DAVID J D. The U. S. Navy’s Vision for Information

- Dominance [ R ]. Naval Information Dominance, 2010. 05.
- [10] 王艳正, 司光亚, 荣明. 网络空间武器装备网络化效应建模研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1906 - 1910.
- [11] 杨杰, 李晨. 基于 HLA 的地域通信网对抗仿真系统研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24(3): 696 - 699.
- [12] PHIL S. The Visual Organization [ M ]. USA: John Wiley & Sons Ltd, 2014.
- [13] SCHREIBER-EHLE S, KOCH W. The JDL model of data fusion applied to cyber-defence-a review paper [ C ] // 2012 Workshop on Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications, SDF 2012, 2012.
- [14] 王杰, 裴群康, 彭金柱. 极限学习机优化及其拟合性分析 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2016, 37(2): 20 - 22.
- [15] RYAN N, CHRISTOPHER E D. Cyber operations research and network analysis (CORONA) enables rapidly reconfigurable cyberspace test and experimentation [J]. M&S Journal Summer, 2013, 30(15): 140 - 143.
- [16] COLEMAN M K, PARKER D S. Aesthetics-based graph layout for human consumption [J]. Software-practice and experience, 1996, 26(12): 1415 - 1438.
- [17] HOLME P, SARAM J. Temporal networks [J/OL]. Physics Reports(S0370-1573) [2012]. doi:10.1016/j.physrep.
- [18] RICHARD S W, NICHOLAS H, GRAHAM S, et al. OpenGL SuperBible [ M ]. USA: Addison Wesley Professional, 2007.
- [19] 王栋, 张晓晴. 基于虚拟现实技术的十字轴锻造过程仿真 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2016, 37(3): 74 - 77.

## Design and Implementation of Cyberspace War Situation Visualization System for Joint Operations

ZHANG Yang, SI Guangya, WANG Yanzheng

(Academy of Joint Operation, National Defence University, Beijing 100091, China)

**Abstract:** In this paper, the system function analysis was carried out based on the capability demand of the joint operation for Cyberspace War Situation Visualization System(CWSVS). Then, a distributed system architecture based on HLA was constructed based on the capability perspective, service perspective and operational perspective, and the scenario generating architecture and real-time running architecture were designed. The component-based rapid and customizable situation driven technology and the map-based multi-layered dynamic fusion visualization technology were taken as the key technology examples. At last, the cyberspace of fensive and defensive operations against the C4ISR system was given as an typical example, and the utility of the system was demonstrated.

**Key words:** cyberspace war; distributed system; rapid and customizable; C4ISR system