

8-7-2020

Design and Implementation of Electromagnetic Spectrum Visualization System

Bin Fang

1. National Key Laboratory of Science and Technology on Multi-Spectral Information Processing, School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;;

Ma Jie

1. National Key Laboratory of Science and Technology on Multi-Spectral Information Processing, School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;;

Keyu Sun

2. System Engineering Research Institute of China state shipbuilding corporation, Beijing 100036, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design and Implementation of Electromagnetic Spectrum Visualization System

Abstract

Abstract: Battlefield environment, filled with all kinds of devices with frequency electromagnetic signals, results in complex and rapidly changing electromagnetic environment. And the uncertainty brought by the complexity and the time variability not only makes it hard to predict the result of a war, but also leads to higher requirements for the current electromagnetic visualization platform serving for decision. To satisfy the visual needs for the electromagnetic spectrum data in the battlefield environment, the electromagnetic spectrum trend was designed in the perspective of temporal, spatial, frequency, and the energy domain. Four situations were proposed: *equipment frequency radiation situation, spectrum resource state situation, the regional energy distribution situation and the interference situation. The electromagnetic spectrum visual simulation platform on VS2008 in C++ aided with ArcGIS, OpenGL, TeeChart was developed.*

Keywords

battlefield environment, electromagnetic, spectrum, visualization

Recommended Citation

Fang Bin, Ma Jie, Sun Keyu. Design and Implementation of Electromagnetic Spectrum Visualization System[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(9): 2156-2162.

电磁频谱可视化系统的设计与实现

方斌¹, 马杰¹, 孙克宇²

(1.华中科技大学自动化学院多谱信息处理技术国家级重点实验室, 武汉 430074; 2.中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100036)

摘要: 战场环境中, 充斥着各种用频设备的电磁信号, 电磁环境复杂且瞬息万变。这种复杂性和时变性所带来的不确定使战争的结果变得难以预测, 也对辅助决策的电磁信息的可视化平台提出了更高的要求。面向战场环境下电磁频谱数据的可视化需求, 从时间域、空间域、频率域、能量域的角度对电磁频谱态势进行设计, 提出了装备用频辐射态势、频谱资源状态态势、区域能量分布态势、用频干扰态势的四种态势表征。搭建了基于 ArcGIS, OpenGL, TeeChart 的 VC++ 电磁频谱可视化仿真平台。

关键词: 战场环境; 电磁; 频谱; 可视化

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2015) 09-2156-07

Design and Implementation of Electromagnetic Spectrum Visualization System

Fang Bin¹, Ma Jie¹, Sun Keyu²

(1. National Key Laboratory of Science and Technology on Multi-Spectral Information Processing, School of Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. System Engineering Research Institute of China state shipbuilding corporation, Beijing 100036, China)

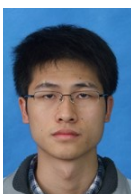
Abstract: Battlefield environment, filled with all kinds of devices with frequency electromagnetic signals, results in complex and rapidly changing electromagnetic environment. And the uncertainty brought by the complexity and the time variability not only makes it hard to predict the result of a war, but also leads to higher requirements for the current electromagnetic visualization platform serving for decision. To satisfy the visual needs for the electromagnetic spectrum data in the battlefield environment, the electromagnetic spectrum trend was designed in the perspective of temporal, spatial, frequency, and the energy domain. Four situations were proposed: *equipment frequency radiation situation, spectrum resource state situation, the regional energy distribution situation and the interference situation. The electromagnetic spectrum visual simulation platform on VS2008 in C++ aided with ArcGIS, OpenGL, TeeChart was developed.*

Keywords: battlefield environment; electromagnetic; spectrum; visualization

引言

电磁频谱, 是将电磁波按波长或者频率排列起来所形成的谱系, 具有资源有限, 共享共用, 三域

(时域、空域和频域)分割, 永不消耗, 易受干扰的特点。在信息化战争中, 交战双方使用的无线电设备的种类与数量增多, 功率增大, 加上作战区域内的民用电磁设备, 以及自然界中辐射源辐射的大量电磁信号, 使得电磁环境变得更加复杂, 电磁频谱空间也就越来越拥挤。拥挤复杂的电磁频谱空间对无线电信息系统正常工作构成了巨大的威胁, 不仅直接影响战场信息的获取、传输、交换与处理, 而且会严重影响和制约战场感知、指挥控制、武器装



收稿日期: 2015-05-15 修回日期: 2015-07-20;
基金项目: 航天科技创新基金(CASC04); 中央高校基本科研业务费资助项目(2014GF);
作者简介: 方斌(1991-), 男, 湖北武汉人, 博士, 研究方向为三维目标检测、目标识别; 马杰(通讯作者 1973-), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 研究方向为导航制导、模式识别、三维仿真等。

<http://www.china-simulation.com>

• 2156 •

各效能发挥及部队的战场生存。毫无疑问,在信息化战争中,电磁频谱的保障已成为影响战争胜负的重要因素。然而,由于电磁频谱信息不仅数据量大,还一般伴随有晦涩难懂表示方式,而现有的频谱保障平台的可视化程度较低,给一线的频谱管理人员提出了更高的专业要求,也大大降低其在现代战争的辅助决策中的应有作用。因此,设计和实现简单直观合理的电磁频谱的可视化方式就显得尤为迫切和必要了。

关于电磁频谱的可视化,国内外学者做了很多研究,谈钤^[1]等,结合海军频谱管理的现状,从频谱管理与指控人员的角度,对电磁环境的监测信息的可视化做出了合理的分析与思考。吴迎年^[2]系统的阐述了电磁环境建模的理论方法与技术,分析了国内外电磁环境仿真与可视化的研究现状。张军^[3]等,面向民用频谱测绘的可视化需求,将车载频谱测量仪搜集的数据,结合 MapInfo 电子地图,从频谱占用、能量分布的角度对频谱数据完成可视化表达,尽管一定程度上对电磁频谱信息进行了表征,但形式单一。梁百川^[4]等简要叙述了战场电磁环境与频谱管理的关系,并从作战角度出发,提出了战场电磁环境管理体系的设计原则及应满足的要求。文献[5]结合 MapInfo 电子地图,提出了一种海战场的无线电管理平台的设计方案,但更偏重数据库的管理,对电磁环境的表征着实有限。文献[6]结合地形信息,从能量域的角度对电磁场的能量分布、等值线、传播方向进行建模与仿真,直观表征了电磁信息在能量域角度上的特性,但是电磁表征的不全面与可视化平台的非实时限制了其的应用范围。文献[7]中搭建基于海洋战场的复杂电磁环境可视化系统,并通过动画实现电磁环境的仿真,文献[8]侧重于雷达的组网过程,采用 HLA 对雷达组网的电磁环境进行建模。以上的研究大都研究了电磁频谱在时间域,空间域,能量域,频率域中的某一个或两个域中的可视化方法,电磁频谱的表征并不全面。

针对以上问题,本文研究并实现了一种电磁频

谱可视化系统。系统采用信号的自由传播模型模拟出辐射源能量的分布数据,利用电磁干扰的建模,近似估计用频设备间电磁干扰程度;完成数据的生成。从时间域的角度设计了用频瀑布图(2D,3D),同时系统每间隔 10 s 更新所有的态势显示情况;从能量域和空间域的角度设计了装备用频辐射态势与区域能量分布态势;从频率域的角度设计了频谱资源状态态势。最后采用 VC++结合 ArcGIS, TeeChart 及 OpenGL 实现该可视化系统。

1 系统总体结构设计

电磁频谱可视化系统采用文档视图结构。在文档类中实现数据的模拟,视图类中完成四种态势的绘图和渲染。电磁频谱可视化系统首先根据输入的各平台实时位置信息、装备用频特性数据、各平台用频设备实时状态信息以及电磁频谱监视信息,结合电磁频谱数据的生成模型,计算出电磁频谱数据。载入数据后,通过数据建模生成电磁频谱环境数据模型,包含装备用频辐射数据模型、区域能量分布数据模型、作战用频干扰数据模型和频谱资源状态数据模型,然后对四种数据模型进行解析映射,最后对解析映射后的数据模型进行绘制与渲染,以装备用频辐射分布(2D, 3D)、区域能量分布(2D, 3D)、能量切片、冲突干扰情况列表、干扰等级图例、频段占用率、频率-时间-能量图(2D, 3D)、频谱威胁图等来表征电磁环境。

2 电磁频谱数据生成模型

2.1 信号传播损耗模型

理想情况下,信号源发出的信号的传播过程被视为在自由空间中的传播,传播过程中的能量衰减量可近似由式(1)计算得出。

$$L_s = 32.5 + 20 \lg f + 20 \lg d \quad (1)$$

其中: L_s 表示信号衰减量(单位: dB), f 表示信号源发射信号的频率(单位: MHz), d 表示信号传播过程中某一时刻所处的空间位置到信号发射源的距离。

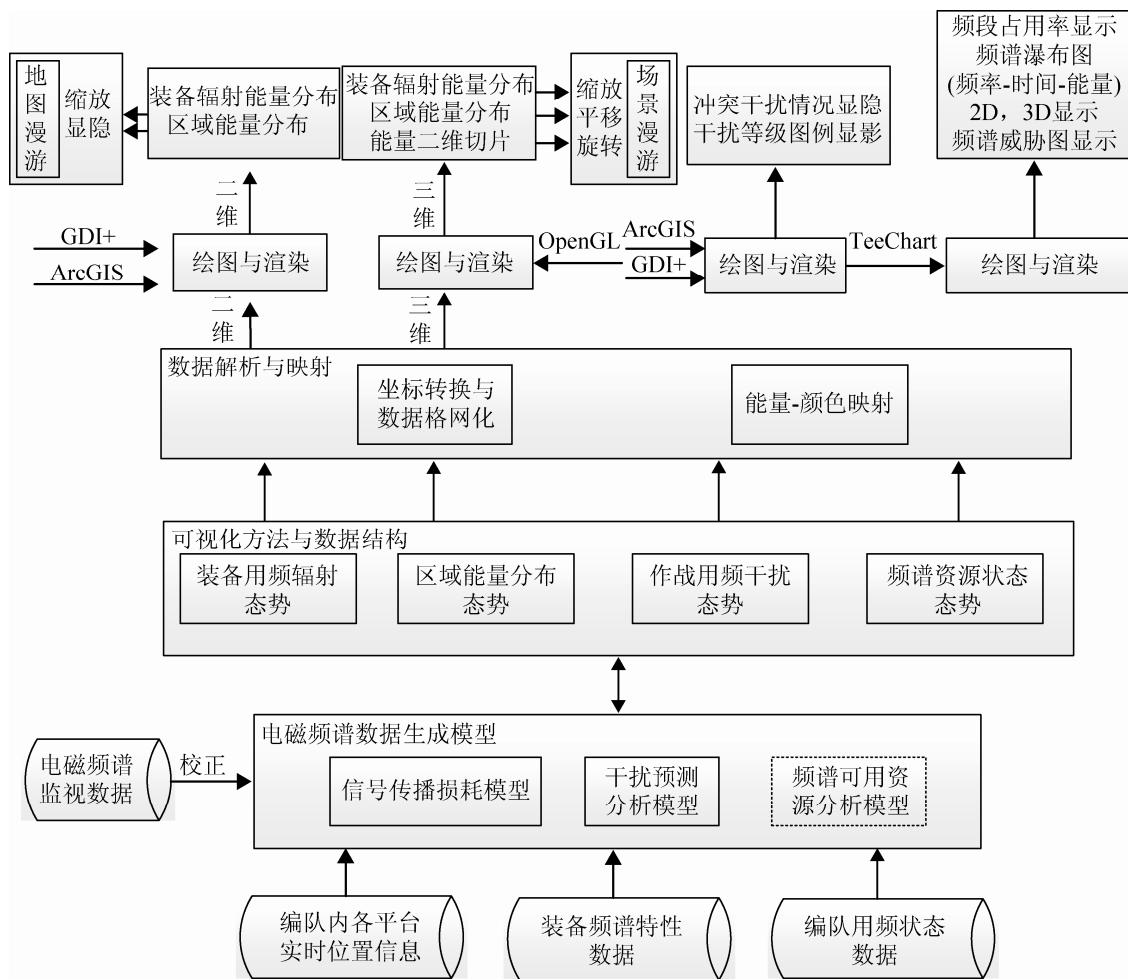


图 1 系统体系结构图

关于 d 的计算, 由于战场中用频设备发射的电磁信号的有效传播范围在百千米数量级以内, 本文借助余弦公式来近似计算地球上任意两点之间的距离。地球上任意一点的位置信息可由空间大地坐标系中的大地经度、大地纬度以及高程信息来表示, 即 (B, L, H) , 定义信号发射机与信号接收机的位置分别为 $(B_{src}, L_{src}, H_{src})$ 和 $(B_{dst}, L_{dst}, H_{dst})$, 通过式(2)将大地经度、大地纬度转换成弧度以便于后续的计算, 定义北纬为正, 南纬为负, 则 (B, L, H) 的弧度转换为 (B', L', H) 。

$$\begin{cases} B' = B \times \pi / 180 \\ L' = \begin{cases} (L + 90) \times \pi / 180 & (L < 0) \\ (90 - L) \times \pi / 180 & (L > 0) \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

根据式(2)以及余弦定理, 得出距离的计算公式(3), 代入到式(1)即可得到能量的衰减量。

$$\begin{aligned} d = & \sqrt{[(R_{earth} + H_{src})^2 + (R_{earth} + H_{dst})^2 - \\ & 2 \times (R_{earth} + H_{src})(R_{earth} + H_{dst}) \times \cos \theta]} \quad (3) \\ \cos \theta = & \sin(L_{src}') \sin(L_{dst}') \cos(B_{src}' - B_{dst}') + \\ & \cos(L_{src}') \cos(L_{dst}') \end{aligned}$$

2.2 干扰预测分析模型

多个用频设备在设备有效作用区域内工作时, 可能由于诸多原因导致设备之间存在不同程度的干扰情况, 设备之间一般有同频干扰、邻频干扰、谐波干扰等干扰类型。本文采用点对点的方式来对电磁干扰程度进行预测, 具体步骤如下:

- 1) 在用频设备有效影响范围内, 选择一个发射源设备与敏感接收设备, 构成干扰-被干扰点对;
- 2) 通过公式(4)计算干扰-被干扰点之间的干

扰余量, 即计算敏感接收设备所接收到干扰设备的电磁能量;

3) 重复步骤 1 和 2, 计算出所有点对之间的干扰余量, 然后针对每一个用频设备, 求出干扰电磁能量的总和, 设定一个阈值, 对设备的性能下降的程度进行评估;

用频设备之间的电磁干扰计算通过干扰预测方程给出:

$$IM(f, t, d, p) = P_t(f, t) - P_s(f, t) + L_s(f, t, d, p) \quad (4)$$

其中: $IM(*)$ 表示干扰余量(单位: dB); $P_t(*)$ 表示接收机门限值(单位: dB); $P_s(*)$ 为干扰功率电平(单位: dB); $L_s(*)$ 是干扰源与敏感设备之间的传输损耗。

3 可视化方法与数据结构

通过信号传播损耗模型、干扰预测分析模型、频谱可用资源分析模型计算得到的电磁频谱数据并不能直接用来解析, 需要进一步进行组合筛选以得到有意义的数据。本系统设计了四种描述电磁频谱环境的可视化方法, 并为每种方法设计了相应的数据结构。

3.1 装备用频辐射态势

装备用频辐射态势以电子海图为背景, 国军标表示敌我平台的地理位置, 颜色的变化表示能量强度的变化, 通过“用频设备管理列表”选取显示某个用频设备的能量辐射情况。

装备用频辐射态势的数据结构用 DevicePower 表示, 由设备编号 Device_ID、设备所属平台编号 Plat_ID、设备位置 Pos、辐射区域能量点集 AreaPowerPointSet 构成。即 DeviceEnergy= \langle DeviceID, PlatID, Pos, AreaPowerPointSet \rangle 。定义 Pos= \langle longitude, altitude, height \rangle , longitude, altitude, height 分别表示经度、纬度和高度; 定义

AreaPowerPointSet 为辐射区域内能量点 AreaPowerPoint 的集合, AreaPowerPoint= \langle Pos, Power \rangle , Pos, Power 分别表示位置和能量值。

3.2 区域能量分布态势

区域能量分布态势以电子海图为背景, 国军标表示敌我平台的地理位置, 颜色的变化表示能量强度的变化。

区域能量分布态势的数据结构用 AreaPower 表示, 由设备能量集合 DevicePowerSet 组成, 即 AreaPower= \langle DevicePowerSet \rangle , 定义 DevicePower-Set 为 DevicePower 的集合。

3.3 作战用频干扰态势

作战用频干扰态势表征各用频设备之间的干扰情况。作战用频干扰态势以电子海图为背景, 国军标表示各平台的地理位置, 各平台之间的连接线表示平台间存在干扰, 不同的颜色表示干扰等级。通过点击平台间连线中间的按钮, 可以查看冲突干扰情况。

作战用频干扰态势的数据结构用 CTGRYCJ-G 表示, 由受扰设备搭载平台舷号 VicPlat_ID、受扰设备种类 VicDeviceType、受扰设备编号 VicDevice_ID、干扰平台舷号 RadPlat_ID、干扰设备种类 RadDeviceType、干扰设备编号 RadDevice_ID、干扰类型 RadType、干扰程度 RadLevel 构成。CTGRYCJG= \langle VicPlat_ID, VicDeviceType, VicDevice_ID, RadPlat_ID, RadDeviceType, RadDevice_ID, RadType, RadLevel \rangle 。

3.4 频谱资源状态态势

1) 设备频段占用率是衡量频谱资源可用性的重要可视化方法, 试验中, 我们将频谱分为 11 频段, 包含: IF, HF, VHF, UHF, L, S, C, X, Ku, K, Ka; 用不同线颜色的柱状图表征不同的设备, 柱状图的高度表示该设备站用频段的百分数。

2) 用频瀑布图是记录全时刻、全频域的频段使用情况。横坐标是频谱, 纵坐标是时间, 颜色代表能量的大小; 因为每隔 10 S, 频谱的能量使用情况会更新一次, 历史数据就会向下滚动一次, 效果如瀑布, 故称瀑布图, 三维瀑布图的原理也是一样的。

3) 用频威胁态势是记录全频谱的敌我各种频段的占用情况分析。横坐标为频率, 纵坐标为功率值, 颜色表征不同的敌我频段类型, 包括: 普通频段、保护频段、敌方干扰频段、地方侦察等。

频谱资源状态态势的数据包含 PPZYDATA、频率-时间-能量数据 FTPDATA、用频威胁数据 PPWXDATA 三种数据。

1) 频段占用数据由频段标识 FreqSectFlag、设备类型 DeviceType、占用度 OccupyLevel 构成。PPZYDATA=<FreqSectFlag, DeviceType, OccupyLevel>。

2) 频率-时间-能量数据由频率值 Freqence、时间戳 Time, 能量值 Power, 即 FTPDATA=<Frequency, Time, Power>。

3) 用频威胁态势数据由起始频率 StartFrequency、终止频率 EndFrequency、频段类型 FreSecType 构成。即 PPWXDATA=<StartFrequency, EndFrequency, FreSecType>。

4 系统实现

本系统基于 VS2008 单文档框架, 辅助插件 ArcGIS、TeeChart、OpenGL 搭建而成, 利用 ArcGIS 提供的与地图进行交互的接口完成二维能量态势和用频干扰态势的绘制; 利用 OpenGL 提供的三维图形接口完成三维能量态势、能量切片的绘制; 利用 TeeChart 出色的图表绘制功能完成频谱资源态势的绘制。

图 2 为系统的主界面; 图 3~5 为本系统实现的各种态势图。

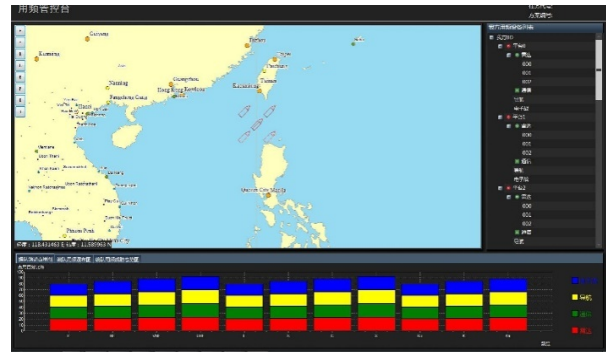
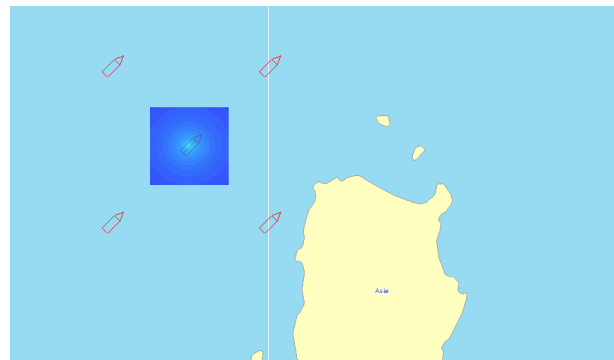
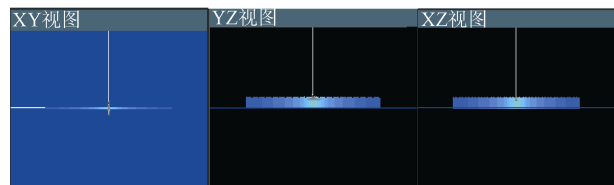


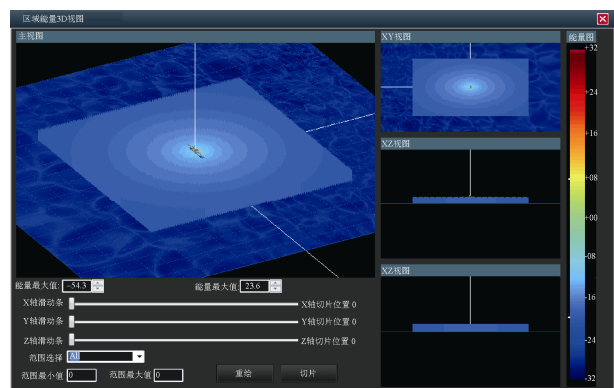
图 2 系统主界面



(a) 二维能量分布视图

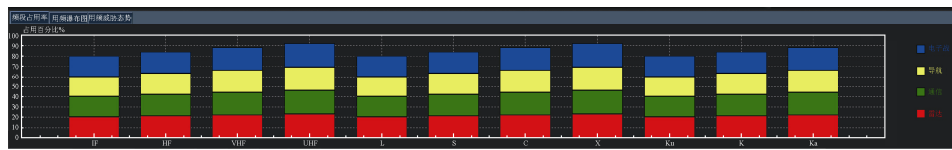


(b) 能量数据切片视图

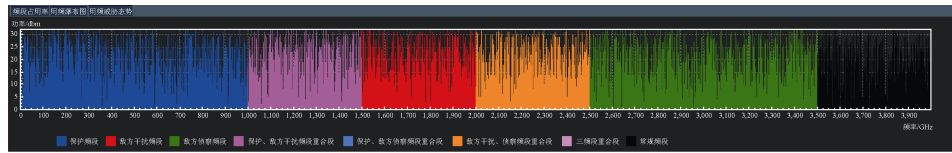


(c) 三维能量视图

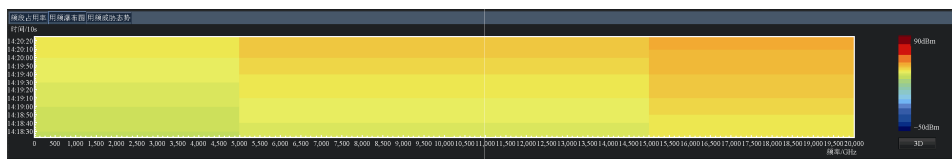
图 3 能量分布态势图



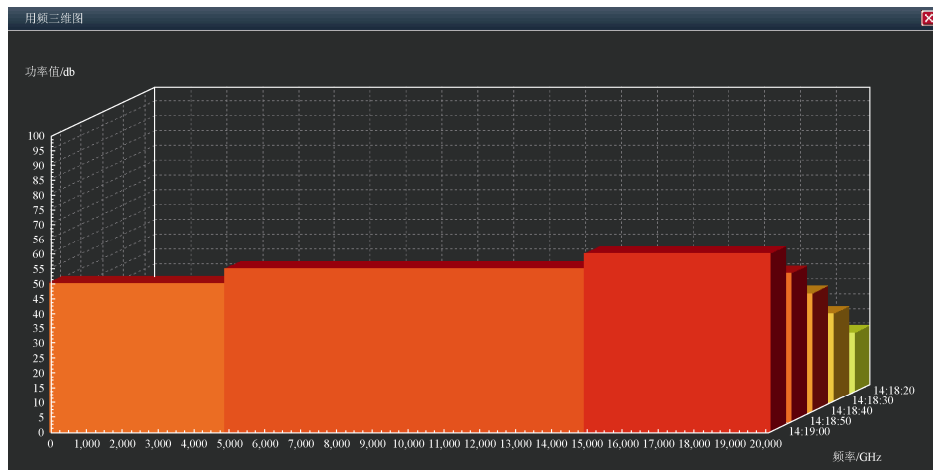
(a) 频段占用率图



(b) 用频威胁态势图



(c) 用频二维瀑布图



(d) 用频三维瀑布图

图 4 频谱资源态势图

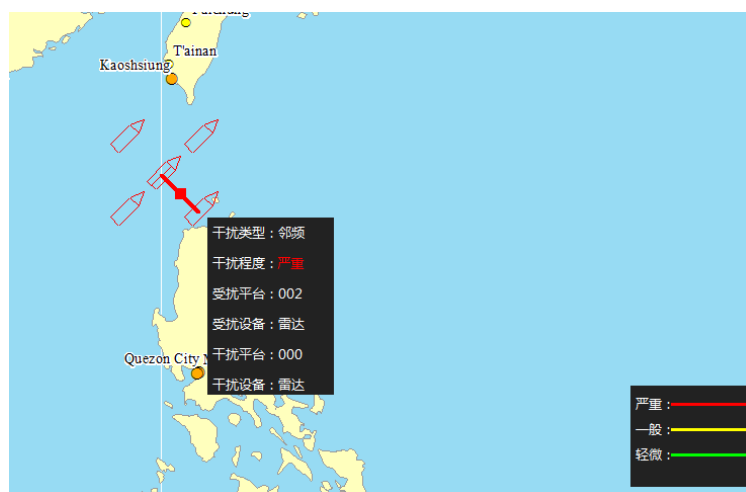


图 5 用频干扰态势图

<http://www.china-simulation.com>

5 结论

本文通过对自由传播模型和电磁干扰模型的分析,建立了数据生成模型;研究并设计了电磁频谱可视化系统的体系结构,设计了装备用频辐射态势、区域能量分布态势、频谱资源状态态势、作战用频干扰态势四种态势;实现了一个包含时间域、能量域、频率域、空间域的电磁频谱可视化系统,通过应用实例实验,表明该系统可以从空域、频域、能域、时域对电磁频谱进行可视化处理,实现了能量分布态势图、能量切片图、干扰连线图、用频占用图、用频瀑布图、用频威胁图等多种可视化方法。

频谱可视化系统的后续改进,可以建立更精确电磁频谱模型,或者获取真实的电磁频谱数据,以便真实的模拟战场电磁频谱环境,除此之外还应考虑其它的电磁频谱可视化方法,以丰富电磁频谱可视化的内容,为进一步的战场决策提供辅助。

参考文献:

- [1] 谈铃,徐彬,刘建厂.对电磁环境监测信息可视化的思考[C]//中国通信学会无线电应用于管理委员会频谱管理与监测系统建设研讨会论文集.中国通信学会无线电应用与管理委员会,2011:9.
- [2] 吴迎年,张霖,张利芳,等.电磁环境仿真与可视化研究综述[J].系统仿真学报,2009,21(20):6332-6338.
- [3] 张军,杨峥嵘.频谱测绘将无形的频谱可视化[J].中国无线电,2013(10):73-75.
- [4] 梁百川.战场电磁频谱监测与管理[J].航天电子对抗,2008,24(4):38-41.
- [5] 陈印杰,孙剑平.基于MapInfo软件平台的海战场无线电频率管理系统设计[J].现代防御技术,2005,33(3):57-60.
- [6] 穆兰,任磊,吴迎年,等.空间电磁环境可视化系统的研究与应用[J].系统仿真学报,2011,23(4):724-728.
- [7] Yaoming Yang, Xiaoran Tang, Hong Chen, et al. Study on Visualization Simulation of Complex Electro-magnetic Environment for Tactics Application [C]// International Conference on Information and Automation. USA: IEEE, 2008: 1823-1827.
- [8] 甘斌,郝佳新,李连军.基于HLA的雷达组网仿真及应用研究[J].系统仿真学报,2013,25(S):162-166.
- [8] 郭迟,方媛,刘经南,等.位置服务中的社会感知计算方法研究[J].计算机研究与发展,2013,50(12):2531-2542. (GUO Chi, FANG Yuan, LIU Jing-nan. Social Awareness Computation Methods for Location Based Services [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(12): 2531-2542.)
- [9] 中国国家海洋信息温盐数据数据库. <http://www.nmdis.gov.cn/>
- [10] 中国海洋信息网. <http://www.coi.gov.cn/>
- [11] 陈为,沈则潜,陶煜波.数据可视化[M].北京:电子工业出版社,2013:165-168.
- [12] 刘大有,陈慧灵,齐红,等.时空数据挖掘研究进展[J].计算机研究与发展,2013,50(2):225-239. (LIU Da-you, CHEN Hui-ling, QI Hong. Advances in Spatiotemporal Data Mining [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(2): 225-239.)
- [13] 李京伟.多分辨率建模在航母战斗群作战仿真中的应用研究[J].系统仿真学报,2013,25(8):1924-1929. (LI Jing-wei. Research on Application of Multi-resolution Modeling in Carrier Combat Group Operation Simulation [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2013, 25(8): 1924-1929.)
- [14] 黄健斌,张盼盼,皇甫学军.融合语义特征的移动对象轨迹预测方法[J].计算机研究与发展,2014,51(1):76-87. (HUANG Jian-bin, ZHANG Pan-pan. A Trajectory Prediction Approach for Mobile Objects Combining Semantic Features [J]. Journal of Computer Research and Development, 2014, 51(1): 76-87.)

(上接第 2155 页)