

海洋环境雷达探测效能评估系统设计*

李德鑫 陈曦 潘龙 王元诚

(93199部队飞行仿真技术研究所 哈尔滨 150001)

摘要: 针对海洋环境对雷达探测性能影响评估问题,在电波传播预测模型和雷达探测性能评估模型基础上,分析不同环境要素数据采集处理方法、不同评估模式的选用准则,设计并实现了具有信息处理、环境参数输入、特性数据库查询及设置、装备性能评估和作战辅助决策等功能的海洋环境雷达探测性能评估演示系统,为指挥员进行战场准备、实施正确战略决策提供理论依据和技术支撑。

关键词: 海洋环境;雷达性能;评估系统;抛物方程

中图分类号: TN951 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.1015

Design of effectiveness evaluation system for radar detection in marine environment

Li Dexin Chen Xi Pan Long Wang Yuancheng

(The Flight Simulation Research Institute, init 93199 of PLA, Harbin 150001, China)

Abstract: As to the evaluation demonstration problem for radar detection performance in marine environment, the simulation evaluation system is designed and implemented based on the radio propagation models and radar detection performance models, which is researched with the acquisition and processing methods of environment data and selection criteria for different evaluation models. The functions of information processing, environment parameter input, characteristic database query and setting, equipment performance evaluation and operation assistant decision have been designed in this system. The theoretical basis and technical support are supported to the battlefield preparation and right strategic decision of commanders.

Keywords: marine environment; radar performance; evaluation system; parabolic equation

1 引言

雷达探测性能不仅与装备的技战性能有关,还与评估区域的海洋环境气象、大气和动态海洋要素、雷达目标特性、电子战资源的战术运用、装备的优化使用等因素有关,这些因素具有较大的时变性。我军当前电波传播预测及装备效能评估系统的研制尚处于起步阶段,技术基础薄弱,为了在越来越激烈的信息对抗中取得绝对优势,开展复杂环境下电波传播特性研究,分析现役装备在复杂环境下的作战效能是紧迫且十分必要的任务。

本文拟立足部队急需,结合不同环境要素数据采集处理方法、不同评估模式的选用准则,研究海洋环境雷达探测性能评估演示系统的设计与实现。

2 系统总体结构与功能

海洋环境雷达探测性能评估演示系统的组成模块、系

统设计结构如图1所示。其中,信息处理平台为雷达探测能力评估提供战场态势标绘以及功能显示与信息交互;海洋环境数据库通过数据加载或人工录入等手段为性能评估提供计算区域环境数据支持,主要包括气象、大气和地表边界等环境要素信息,通过环境数据处理模块将处理后的数据提供给评估模型;雷达特性参数库为评估模型提供信号、天线和接收机等特性参数;目标特性参数库主要提供雷达目标的物理特性、电磁特性等特征参数;评估模型是系统的核心部分,主要包括海洋环境气象要素模型、海洋环境大气折射要素模型、海洋环境动态海洋要素模型和雷达探测性能评估模型。其中,海洋环境气象要素模型由大气气体吸收模型、降雨环境电波传播预测模型、云雾环境电波传播预测模型组成的;海洋环境大气折射要素模型由大气折射要素电波传播预测模型和大气折射要素下海杂波模型组成;海洋环境动态海洋要素模型由动态海面电波传播预测模型

收稿日期:2016-11

* 基金项目:泰山学者建设工程专项经费、国家自然科学基金(61002006)资助项目

和地形要素电波传播预测模型组成;在综合分析前述三种模型和雷达性能分析模型基础上,构建出雷达探测性能评估模型。在前述环境信息库和评估模型基础上,作战辅助决策模型综合评定各型装备执行作战训练任务时在海洋环

境影响下的战技特性,给出辅助决策所需的各项性能指标参数,制定决策预案,为指挥员进行战场准备、实施正确战略决策提供理论基础和技术支撑。

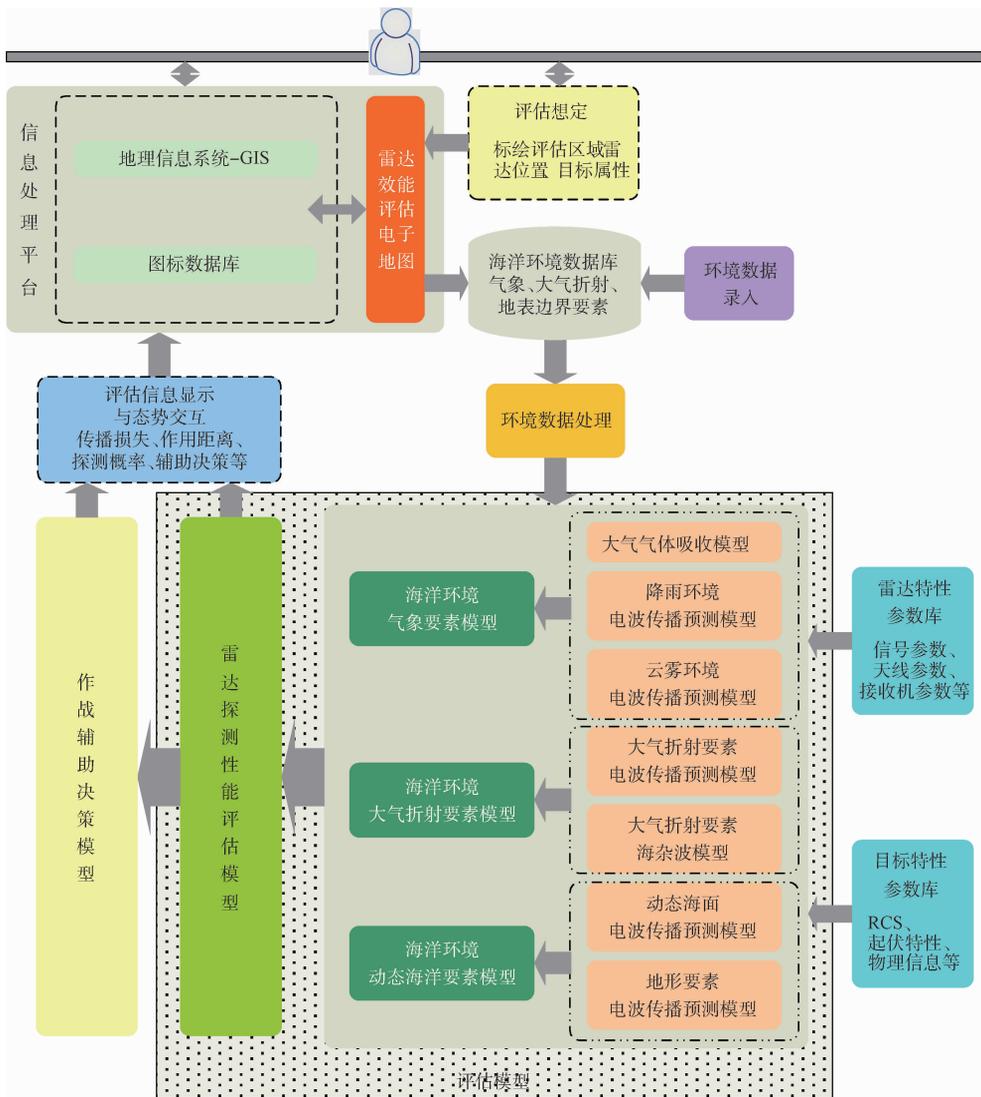


图1 系统的基本结构

系统实现的主要功能如下:

- 1) 估想定标绘,根据评估想定在电子地图上标绘雷达效能评估相关的分析区域、初始位置和属性等信息;
- 2) 评估区域海洋环境数据处理,根据雷达效能评估的需要,调用评估区域的海洋环境数据库,结合用户自行输入的数据,运用数据处理算法转化为评估模型所需的数据形式并插值补全,显示评估区域海洋环境要素的分布特性和变化趋势;
- 3) 海洋环境气象要素条件下雷达探测性能评估,结合评估区域海洋环境和雷达/目标特性,可对大气气体吸

收^[1]、降雨^[2]、云雾^[3]等海洋环境气象要素条件下各型雷达探测性能进行定性和定量评估;

4) 海洋环境大气折射要素条件下雷达探测性能评估,结合评估区域海洋环境和雷达/目标特性,可分析标准大气、各类大气波导条件下雷达传播因子、路径损耗、海杂波功率特性^[4],并对海洋环境大气折射要素条件下各型雷达探测性能进行定性和定量评估;

5) 海洋环境动态海洋要素条件下雷达探测性能评估,结合评估区域海洋环境和雷达/目标特性,可分析动态海面、不规则地形、不同边界电磁特性条件下雷达传播因子、路径损耗分布特性,并对海洋环境动态海洋要素条件下各

型雷达探测性能进行定性和定量评估^[5-8]；

6) 海洋环境下辅助决策系统, 结合评估区域海洋环境、雷达/目标特性和雷达效能评估模型, 综合评定各型装备执行作战训练任务时在海洋环境影响下的战技特性, 为雷达探测、电子侦察、电子干扰、盲区突防、电子战资源配置等战术行动计划的制定提供决策依据;

7) 态势交互显示, 结合作战综合态势处理软件, 对海洋环境下雷达探测性能分析评估信息进行态势交互显示。

3 系统设计

3.1 系统设计思想与目标

海洋环境雷达探测性能评估演示系统采用模块化、结构框架式设计思路, 尽量使系统的设计实现与实际客观原理及其所需评估信息的要求保持一致。系统设计的目标是力求实现功能齐全、计算快速、高效准确、容错兼容性好、人机交互界面友好。

1) 功能齐全

系统功能的完整实现是设计最基本的目标。系统结合评估区域海洋环境、雷达/目标特性, 综合分析各种海洋环境下的雷达探测性能, 较为准确的给出各类战术任务条件下电子资源配置和运用的辅助决策依据。

2) 高速、高效

速度和效率是衡量系统实用性的重要标准。系统的进程采用消息驱动机制, 通过消息命令驱动所有环境数据与系统计算模块。同时, 结合一定的容错处理机制和优化处理算法, 使系统能够高速、高效、兼容、协调、有序地运行。

3) 人机交互界面

系统的人机交互界面以视窗、图表、菜单、工具彩条、对话框等形式实现系统与用户间的操作交流、参数设置、功能显示, 为用户提供方便、简洁、美观的操作显示界面。

4) 可视化仿真分析

系统结合态势交互, 采用直观、形象的彩色图像来显示分析评估结果, 具有良好的可视化效果。

3.2 系统实现方法与流程

海洋环境雷达探测性能评估演示系统是在 Windows XP 系统环境下, 基于综合信息处理平台进行开发。系统利用 C 程序语言, 结合海洋环境数据库、SRTM 高程数字地图数据、雷达/目标特性参数数据库、地理信息系统、图形处理系统运行环境以及图标数据库编程实现。图 2 所示为系统实现的基本流程。

4 系统基本功能的设计实现

系统基于通用信息处理平台开发而成, 因此具有部分平台操作的基本功能, 同时还具有态势信息交互、海洋环境数据处理、雷达/目标特征参数分析和雷达探测性能评估等功能。

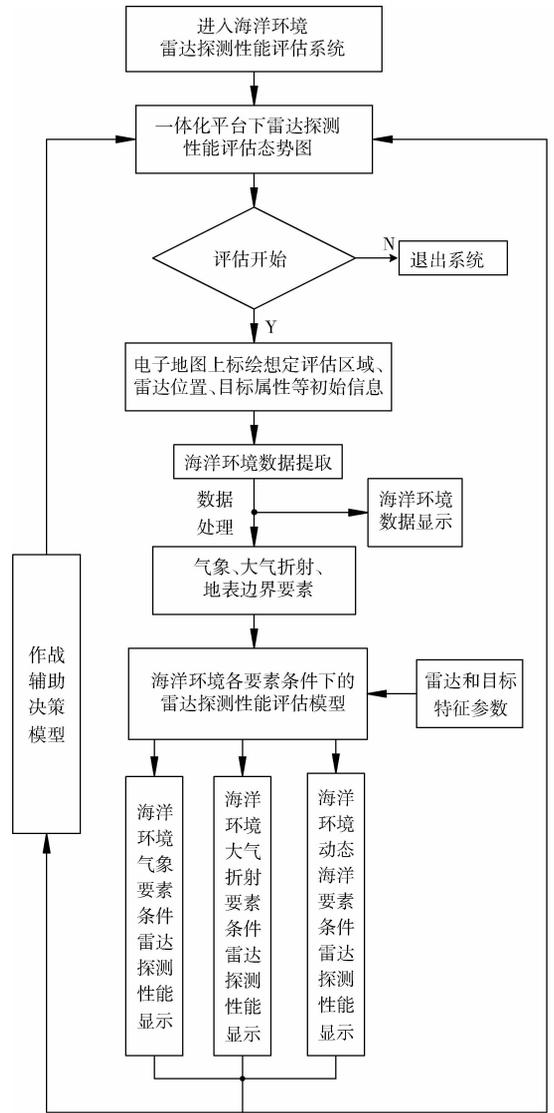


图 2 系统流程

4.1 评估想定标绘与态势交互

评估想定标绘与态势交互是指根据雷达探测性能评估想定, 包括评估时间、评估区域、雷达类型、目标类型等, 将地理信息、图形处理和图标标绘集成于一体, 实现雷达性能评估标绘和态势信息交互显示。

系统的评估想定标绘模块主要对待评估雷达、目标、评估区域、评估剖线和评估结果等信息进行标绘。系统结合各评估模型的输入、输出将海洋环境雷达探测性能评估标绘与分析评估信息在态势图上实现实时动态交互显示。图 3 所示为手动设置于威海的雷达对飞机目标探测性能评估的态势标绘图例。根据任务想定, 通过想定雷达与目标位置、待评估区域, 提取气象、大气、海面、地形等海洋环境信息和雷达/目标特性参数信息, 将评估模型计算的评估结果、评估剖线等信息在电子地图上标绘和显示, 实现动态、直观地显现雷达在海洋环境下的探测性能。此外,

根据评估区域海洋环境条件和战术战役需求,结合模型对雷达探测性能评估结果,综合评定各型装备执行作战训练任务时在海洋环境影响下的战技特性,为雷达探测、电子侦察、电子干扰、盲区突防、电子战资源配置和决策信息提供态势交互显示。

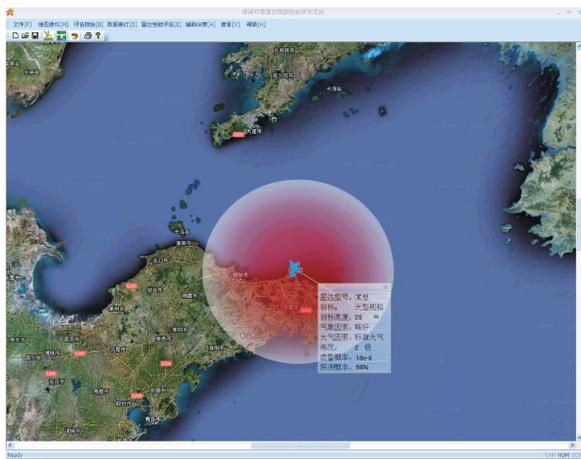


图3 雷达探测性能评估的态势标绘

4.2 评估区域海洋环境数据处理

海洋环境数据处理模块主要对影响雷达探测能力的基本海洋环境要素进行特性分析处理和显示。图4所示为选定评估区域内气象、大气、海面、地形等海洋环境信息的输入/调用处理后,计算得到的修正大气折射率和地形剖面显示图例。

评估剖面是想定的雷达和目标位置间的连线,根据评估区域范围绘制。选定评估剖面后,系统自动存储雷达和目标的GPS坐标信息,调用海洋环境数据库利用已有或用户自行输入数据,通过数据处理模块对直接影响雷达探测性能的气象、大气、海面 and 地形数据进行水平和垂直方向上的插值优化处理和解算,利用图形形式将其直观地显示出来。从图4图例可以看出,系统可根据用户输入或数据库数据得到评估模块所需的数据形式,图中显示的是评估区域修正大气折射率和地形剖面图例。需要指出的是,对于大气剖面数据,系统默认水平均匀分布,按用户输入数据进行解算和估值;对于有实测数据情况,需先按评估模型的计算网格格点特性对数据预处理,然后通过“导入大气数据”控件导入到环境数据库。地形剖面数据是从SRTM数字高程数据库按评估剖面抽取并插值优化处理得出的,系统默认水平距离分辨率为150m,垂直高度分辨率为0.5m,显示最大高度为雷达高度的8/3取整,后续评估模型可对这些数值进行人工设置。

4.3 雷达/目标特征参数设置

图5所示为雷达/目标特征参数设置界面,参数设置所包括的内容有雷达种类、信号特性、检测参数、天线参数和目标特性等。系统预存了典型现役地基、机载、舰载、弹

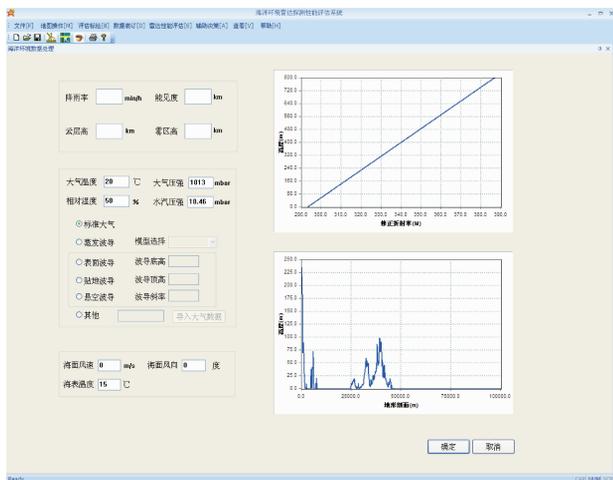


图4 评估区域的海洋环境数据处理图例

载及车载雷达参数和典型目标特性参数,由于种类有限,可选择其它类型进行手工录入。目标类型中的起伏类型是计算目标电磁特性的重要参数,系统默认为Swerling 0 (RCS恒定,无起伏)。特征参数设置选项卡可根据用户设定的参数计算雷达检测因子,并以图形形式显示。

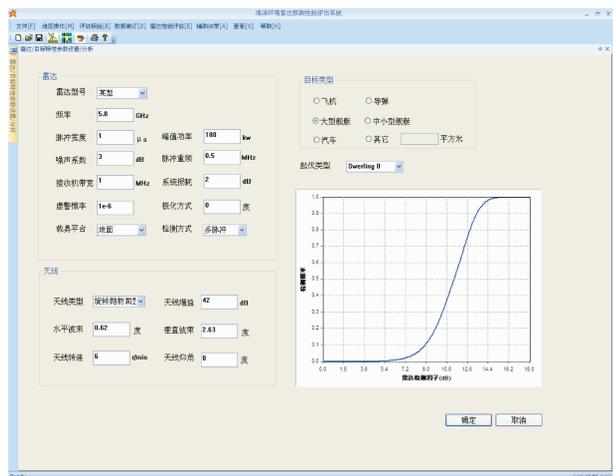


图5 雷达/目标特征参数设置分析图例

4.4 海洋环境雷达探测性能评估

海洋环境雷达探测性能评估模块根据海洋环境数据和雷达/目标特征参数,利用雷达探测性能评估模型对用户标绘的雷达进行评估,并以图形形式显示如图6所示。系统可自动捕获用户标绘的雷达GPS坐标、距离分辨率和高度分辨率默认值与4.2节相同,用户可自行定义以便在实时性和精度间任意选择。评估模型可选用单向抛物方程(one-way PE)、双向抛物方程(two-way PE)和射线描述方程(Ray)3种类型,显示类型可选择传播因子、路径损耗和探测概率3种模式。选择抛物方程模型时,右1图显示为评估区域分布伪彩图,选择射线迹模型时,该图显示射线迹分布图;左1和右2两图分别显示观测点水平和垂直

剖面的分布特性曲线。在右1图中可用鼠标选择观测点，左1和右2两图随动显示剖面分布特性曲线。

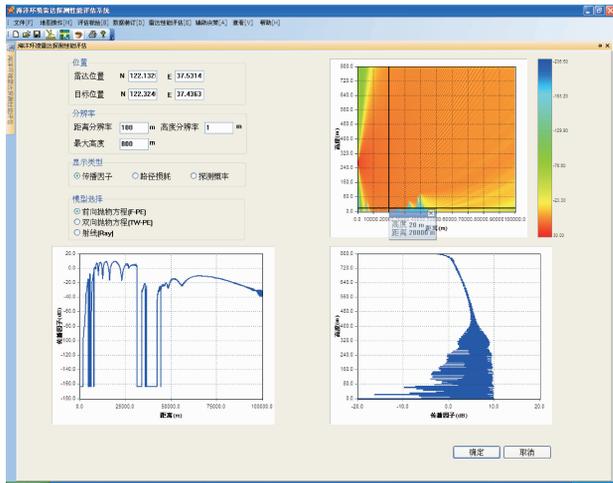


图6 海洋环境雷达探测性能评估图例

5 结 论

本文完成了海洋环境雷达探测性能评估演示系统设计与工程实现。在通用信息处理平台基础上,完成了海洋环境雷达探测性能评估演示系统的基本组成结构模块和系统体系的总体设计。

对系统总体结构与功能、系统设计和系统基本功能的设计实现进行了简要介绍,完成了海洋环境雷达探测性能评估演示系统的设计与集成,实现了评估想定标绘与态势交互信息显示、海洋环境数据处理、雷达/目标特征参数分析及海洋环境雷达探测性能评估等功能,结合实例对各功能实现进行了分析。

环境数据对模型的估值精度有着决定性的影响,实时获取评估区域内的海洋环境数据又难以实现,后续工作可考虑使用中尺度数值预报模式 MM5,利用统计数据和预报算法预测观测区域的环境数据,为实时准确预测电波传播特性和评估雷达探测性能提供数据支持。同时,本系统也可根据接收系统截获到的电磁信号数据,利用逆绕射抛物方程法对敌方雷达进行无源侧向和定位,为指挥员进行战略部署提供情报支持^[9-10]。

参考文献

[1] 李德鑫, 杨日杰, 孙红星, 等. 基于射线分层算法的电磁波大气吸收衰减特性分析[J]. 电讯技术, 2012, 52(1): 80-85.

- [2] 李德鑫, 杨日杰, 蔡晓林, 等. 降雨对机载雷达作用距离影响分析[J]. 电光与控制, 2011, 18(11): 36-39.
- [3] 李德鑫, 杨日杰, 孙红星, 等. 云雾对雷达探测性能影响分析[J]. 大连海事大学学报, 2012, 52(1): 80-85.
- [4] 李德鑫, 杨日杰, 蔡晓琳, 等. 水平非均匀大气条件下的抛物方程模型研究[J]. 宇航学报, 2011, 32(7): 1569-1575.
- [5] 李德鑫, 杨日杰, 王元诚, 等. 不规则地形条件下双向 DMFT 电波传播特性算法研究[J]. 航空学报, 2012, 33(2): 297-305.
- [6] 李德鑫, 杨日杰, 官巍, 等. 不规则地形条件下的双向抛物方程模型研究[J]. 宇航学报, 2012, 33(2): 235-241.
- [7] LI D X, NIU Q G, LIU Y B, et al. Propagation modelling over variable terrain using the two-way PE method [C]. Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar, 2011:812-815.
- [8] LI D X, ZHAO X L, SHANG Y SH. Prediction of radio wave propagation over irregular terrain by the improved DMFT algorithm[C]. Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, 2011:75-78.
- [9] LI D X, LI B, WANG X B. Passive localization of emitter source using inverse diffraction parabolic equation[C]. IEEE 10th International Conference on Signal Processing Proceedings, 2010: 111-114.
- [10] 李德鑫, 杨日杰, 王鸿吉, 等. 基于逆绕射抛物方程法的辐射源定位技术研究[J]. 电波科学学报, 2011, 26(4): 683-687.

作者简介

李德鑫, 1983 年出生, 博士, 工程师, 主要研究方向为电磁环境建模仿真、电子对抗、飞行仿真。

E-mail: lidexin@163.com