

多舰平台间雷达电磁环境预测研究

石昕阳, 宋东安, 方重华, 谭辉

(中国舰船研究设计中心 电磁兼容性国防科技重点实验室, 武汉 430064)

摘要: 阐述了多舰平台间雷达电磁环境预测方法, 建立了多舰间雷达综合近远场、波束空间、综合场功率密度的数学模型, 并以此开发了基于模块化设计思想和面向对象程序设计范型的多舰间雷达电磁环境预测分析软件, 为舰船电磁兼容评估技术研究提供了技术支撑。

关键词: 多舰平台; 雷达; 电磁环境预测; 数学模型; 模块化设计

中图分类号: TN955 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)02-0042-04

Prediction of Electromagnetic Environment of Multi-ship Platform

SHI Xin-yang, SONG Dong-an, FANG Chong-hua, TAN Hui

(National Key Laboratory of EMC, China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

Abstract: The prediction method of radar electromagnetic environment (EME) on multi-ship platform was introduced. Mathematical models of near and far comprehensive field, wave beam space and power density of comprehensive field for radar EME on multi-ship platform was developed, from which a prediction software of radar EME was established on basis of modularization design and object-oriented program concepts. The purpose was to provide technical support for EMC evaluation of ships.

Key words: multi-ship platform; radar; EME prediction; mathematic model; modularization

为适应未来海战的迫切需求, 提高舰船之间联合作战能力已成为各国海军的当务之急^[1]。其中, 解决复杂电磁环境下舰船平台间的电磁兼容问题是其主要途径之一。确保舰船平台间电磁兼容性, 需深入研究多舰间雷达电磁环境, 为在最低限度的电磁干扰条件下提高舰船平台间机动作战能力提供决策

依据^[2-7]。

雷达电磁环境预测与分析是实现多舰间电磁兼容性的关键步骤, 进行多舰平台间雷达电磁环境预测的途径包括理论计算和试验预测。理论分析是研究舰船雷达电磁环境的传统经典方法。现代计算机技术的发展, 形成了基于模块化和面向对象设计思

收稿日期: 2010-07-12

基金项目: 海装预研基金(51447020103ZS2503)

作者简介: 石昕阳(1985—), 男, 湖北黄梅人, 硕士, 研究方向为电磁兼容预测与仿真。

想的雷达电磁环境预测分析方法。

1 多舰平台间雷达电磁环境预测分析

从舰船电磁兼容观点来看,多舰平台的辐射源主要是各单舰上的雷达系统。多舰船平台雷达电磁环境是各单舰雷达电磁环境的综合效应^[3]。因此,预测多舰船平台间的雷达电磁环境时,可以将单舰视为一个整体辐射源(舰船辐射源)。预测多舰船平台在不同队形配置条件下的雷达电磁环境,需重点考虑舰船辐射源的近远场分布、波束空间下的综合场功率谱密度、方向性等辐射特性。

功率特性是表征多舰船平台辐射源的一个重要参数,直接影响到雷达电磁环境的恶劣程度。现代水面舰船的整体辐射功率已在不断增加,随着舰船数量的增多,多舰船平台间整体辐射功率必然随之增强,从而极大地恶化了多舰船平台整体区域的雷达电磁环境^[5-6]。

雷达天线的强方向性会对辐射能量进行聚焦,主波束方向上功率显著增加。为提高远程探测和跟踪目标的能力,必须增大天线的辐射功率。但是,大功率辐射会使多舰平台间的综合电磁环境更加恶劣,易使各舰雷达系统之间产生强电磁干扰。

雷达天线的定向辐射,增强了主辐射区内的场强或功率密度。例如,某雷达具有针状方向性,或在俯仰面上具有余割平方的方向性^[8]。舰载雷达天线一般布置在舰艏或舰舯,其辐射区域内很少受到金属上层建筑的遮挡作用,方向性很少发生畸变。虽然多舰平台间有遮挡方向上的雷达不工作,但是部分或所有雷达同时工作时,雷达之间还是可能产生相互干扰,从而加剧了多舰平台条件下的雷达电磁环境。

2 数学模型的建立

预测多舰船平台间雷达电磁环境的关键是建立多舰平台的雷达综合近远场、波束空间、综合场功率密度的数学模型。上述3种模型是相互联系的,近远场模型和波束空间模型表征了多舰平台的雷达辐射场分布,它们可以为功率密度模型奠定基础。以舰载雷达为例,建立相关模型。

2.1 雷达综合近远场模型

多舰平台的雷达综合近远场是雷达电磁环境的主要预测对象之一,利用基尔霍夫公式和能量叠加原理,可推导出多舰平台间雷达综合近场计算公式^[4]:

$$E = \sum_{m=1}^M \frac{E_0^2 \frac{1}{8} D^2 \pi 2^n (1 + \cos \theta_m)}{\lambda r_m} e^{-jkr_m} \quad (1)$$

$$\text{式中: } E_0^2 = \frac{30P_t}{(Z_0 + f)^2}; k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f_0}{c}; D \text{ 为雷}$$

达的口径面直径; n 为锥度系数; f_0 为辐射电磁波频率; λ 为波长; r_m 为源到场点的距离; θ_m 为 r_m 与天线轴线的夹角; P_t 为雷达天线辐射功率; Z_0 为雷达的径深; M 为单个雷达的辐射元个数。

采取适当的近远场近似,还可推导出多舰平台间雷达综合远场计算公式:

$$E = \sum_{m=1}^M \frac{E_0^2 \frac{1}{4} D^2 \pi 2^n (1 + \cos \theta_m) J_{n+1}(k \frac{D}{2} \sin \theta_m)}{\lambda r_m (k \frac{D}{2} \sin \theta_m)^{n+1}} e^{-jkr_m} \quad (2)$$

式中: J_{n+1} 为 n 阶贝塞尔函数。

2.2 波束空间模型

多艘舰船在不同队形条件下,雷达天线的主波束会有重叠,这个重叠区域可以称之为波束空间。波束空间内的综合场电磁环境是研究多舰平台间雷达电磁环境的重点。图1给出了2艘舰组成的列队平台波束空间重叠区域示意图。

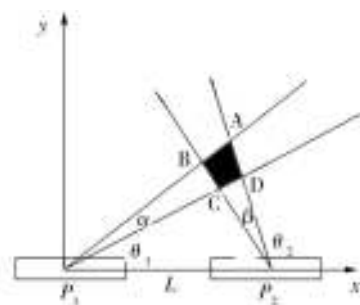


图1 列队平台波束空间重叠示意

Fig. 1 Beam space of multi-ship platform

结合正弦定理和三角形面积公式推导出的二维波束空间重叠区域(即图1中的阴影部分)的面积公式为:

$$S_{ABCD} = S_{\Delta AP_1 P_2} - S_{\Delta BP_1 P_2} - S_{\Delta DP_1 P_2} + S_{\Delta CP_1 P_2}$$

$$\frac{L^2}{2} \left[\frac{\sin(\alpha + \theta_1) \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \alpha - \theta_1)} - \frac{\sin(\alpha + \theta_1) \sin(\beta + \theta_2)}{\sin(\beta + \theta_2 - \alpha - \theta_1)} - \frac{\sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} + \frac{\sin \theta_1 \sin(\beta + \theta_2)}{\sin(\beta + \theta_2 - \theta_1)} \right] \quad (3)$$

波束空间的临界点处A,B,C,D点的坐标如下。

$$A: \left(\frac{L \cos(\alpha + \theta_1) \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)}, \frac{L \sin(\alpha + \theta_1) \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \right) \quad (4)$$

$$B: \left(\frac{L \cos(\alpha + \theta_1) \sin(\theta_2 + \beta)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)}, \frac{L \sin(\alpha + \theta_1) \sin(\theta_2 + \beta)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \right) \quad (5)$$

$$C: \left(\frac{L \cos \theta_1 \sin(\theta_2 + \beta)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)}, \frac{L \sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \beta)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \right) \quad (6)$$

$$D: \left(\frac{L \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)}, \frac{L \sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \right) \quad (7)$$

上述各式中: L 为雷达天线之间的距离, 近似为两舰之间的距离; θ_1 为第1艘舰雷达主波束与多舰平台间雷达连线的夹角; θ_2 为第2艘舰雷达主波束与多舰平台雷达连线的夹角; α 为第1艘舰雷达波束宽度; β 为第2艘舰雷达波束宽度。

2.3 综合场功率密度模型

综合场功率密度是多舰平台间雷达电磁环境预测的主要对象。结合波束空间模型, 可以分析波束空间内的多舰平台间雷达综合场功率密度。图2所示为 $n(n \geq 2)$ 艘舰组成横队平台的综合场功率密度计算示意图。

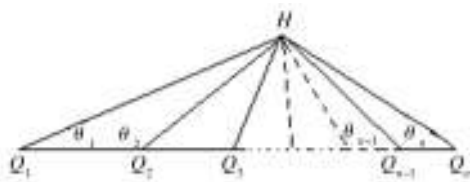


图2 n 艘船组成横队平台功率密度计算示意

Fig. 2 Diagrammatic sketch of power density calculation of transverse multi-ship platform

图2中, n 部雷达分别在 Q_1 到 Q_n 的 n 个点上, 其辐射功率分别为 $P_1, P_2, \dots, P_n$, 天线增益分别为 $G_1, G_2, \dots, G_n$ 。 n 艘舰船组成横队平台的雷达综合场功率密度公式为:

$$P_H = \sum_{i=1}^n \frac{G_i P_i \sin^2 \theta_i \sin^2(\theta_1 + \theta_2)}{4\pi L^2 \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2} \quad (8)$$

3 多舰平台间雷达电磁环境预测软件的设计和实现

基于以上数学模型, 利用面向对象的程序设计范型和模块化设计思想, 在 Visual C++6.0 交互式集成开发平台下, 编制多舰平台间雷达电磁环境预测软件^[9]。该软件的总体框架如图3所示。

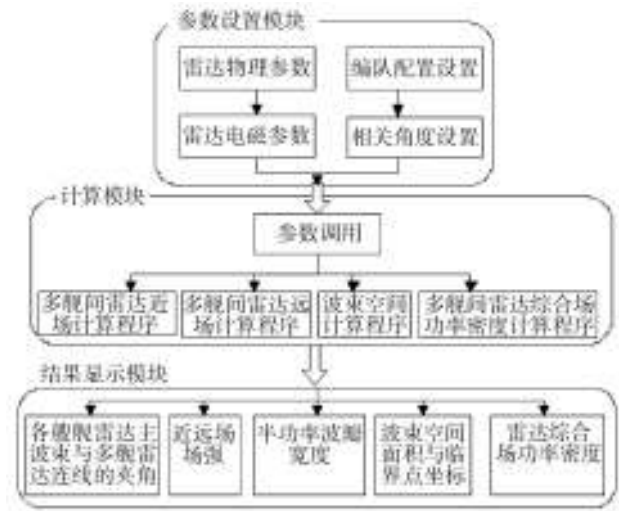


图3 多舰平台间雷达电磁环境预测软件总体框架

Fig. 3 Overall frame of multi-ship platform EME prediction software

1) 参数设置模块: 根据预测需要, 将多舰平台的雷达相关参数输入到对话框中。需要设置的参数包括雷达几何参数(雷达口径、径深、焦距), 电磁参数(工作频率、发射功率、源与场点距离、锥度系数), 多舰平台的队形配置(队形、舰船数量、舰间距), 相关角度。

2) 计算模块是软件的核心部分, 主要完成多舰平台间雷达近场、远场、半功率波瓣宽度、波束空间、综合场功率密度等的计算。

3) 结果显示模块主要完成上述预测计算结果的显示功能, 实现同参数设置模块和计算模块的接口界面化。

图4所示为输入雷达相关参数并点击“半功率波瓣宽度”、“波束空间计算”、“雷达近远场计算”、“横队雷达综合场功率密度计算”等按钮, 进入主程序计算, 最后显示在主界面上。图5为波束空间计算结果显示, 图6为整个多舰平台间雷达电磁环境



图4 参数输入部分界面

Fig. 4 Data input interface



图5 波束空间计算结果显示

Fig. 5 Result of beam space display interface



图6 多舰平台间雷达电磁环境预测结果显示界面

Fig. 6 Prediction result display of multi-ship platform EME

所有相关计算结果显示窗口。

4 结语

研究了多舰平台间雷达电磁环境预测方法,对其雷达综合近远场、波束空间、功率密度等进行了较详细的论述,并基于模块化思想编制了多舰平台间雷达电磁环境预测分析软件,该软件可为舰船电磁兼容评估技术研究奠定基础。

参考文献:

- [1] 赵刚. 信息化时代武器装备电磁兼容技术发展趋势[J]. 舰船电子工程, 2007, 27(1): 20—22.
- [2] 谭安胜, 邱延鹏, 汪德虎. 新型舰船编队防空队形配置[J]. 火力与指挥控制, 2003, 12(1): 5—9.
- [3] 朱强华, 李胜勇, 姜涛. 海上舰艇编队电磁兼容性研究[J]. 舰船电子对抗, 2006, 29(4): 39—42.
- [4] 任朗. 天线理论基础[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1980.
- [5] TERRY F. A Radar-to-Radar Interference Prediction Model [J]. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1991, 12(16): 200—205.
- [6] IBATOULLINE E A. The Antennas on a Mobile Board and Their Electromagnetic Compatibility[J]. Electromagnetic Compatibility, IEEE Transaction on, 2003, 2(45): 119—124.
- [7] 陈振邦. 现代舰船电磁干扰和电磁兼容[J]. 雷达与对抗, 1997, 2(2): 15—22.
- [8] WHITE D R. A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility[K]. Germantown, Maryland: Don White Inc, 1971—1973.
- [9] 张宏林. VC++6.0 程序设计与开发技术大全[K]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.