

文章编号: 2095-2163(2021)11-0121-04

中图分类号: TP273

文献标志码: A

基于目标综合评价的舰炮火控可靠性仿真

王 蕾, 谭 波, 刘 洋

(海军工程大学, 武汉 430033)

摘要: 为了提高舰炮火控可靠性评价能力, 提出基于目标综合评价的舰炮火控可靠性仿真模型。结合舰炮火控武器系统的战术性能和技术性能参数, 以有效射程、单发命中概率、综合技术保障性能参数、自动控制性能参数为约束指标, 以射击效率、命中精度、全系统作战效能等为目标综合评价模型。以优化减排火控系统的攻击能力、机动能力、抗干扰能力作为影响因子, 采用加权乘法进行的舰炮火控可靠度评估, 结合评价指标。采用博弈均衡控制方法, 建立舰炮火控可靠性综合评价的联合参数识别模型, 提取舰炮火控可靠性评价的关联维参数, 通过模糊信息聚类融合方法, 实现对舰炮火控可靠性特征提取和参数优化辨识, 实现对舰炮火控可靠性仿真模型设计。仿真结果表明, 采用该方法进行舰炮火控可靠性控制的灵敏度较高, 系统评价指标体系完备, 使舰炮火控装备体系的规划与决策建立在科学定量分析的基础上。

关键词: 目标综合评价; 舰炮; 火控系统; 可靠性

Reliability simulation of naval gun fire control based on target comprehensive evaluation

WANG Lei, TAN Bo, LIU Yang

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

[Abstract] In order to improve the reliability evaluation ability of naval gun fire control, a simulation model of naval gun fire control reliability based on target comprehensive evaluation is proposed. Combining tactical performance and technical performance parameters of naval gun fire control weapon system, taking effective range, single shot hit probability, comprehensive technical support performance parameters and automatic control performance parameters as constraint indexes, taking shooting efficiency, hit accuracy and combat effectiveness of the whole system as objective comprehensive evaluation models, and taking attack ability, maneuverability and anti-interference ability of optimized emission reduction fire control system as influencing factors, the reliability evaluation of naval gun fire control is carried out by using weighted multiplication. Combined with game equilibrium control method, a joint parameter identification model for comprehensive evaluation of naval gun fire control reliability is established, and the correlation dimension parameters of naval gun fire control reliability evaluation are extracted. Through fuzzy information clustering fusion method, the feature extraction and parameter optimization identification of naval gun fire control reliability are realized, and the simulation model design of naval gun fire control reliability is realized. The simulation results show that the reliability control of naval gun fire control by this method is highly sensitive and the system evaluation index system is complete, which makes the planning and decision-making of naval gun fire control equipment system based on scientific quantitative analysis.

[Key words] Objective comprehensive evaluation; Naval gun; Fire control system; Reliability

0 引言

随着舰炮火控自动化控制技术的发展, 对舰炮火控系统的稳定性和可靠性提出了更高的要求, 需要构建优化的舰炮火控自动化控制和可靠性评估模型, 结合现代决策支持和人工智能控制技术, 采用自适应的人工智能控制模型和综合评价算法, 实现对舰炮火控系统的自动化设计和可靠性控制。结合数学方法和计算机技术, 构建舰炮火控自动化控制系统的可靠性评估模型^[1], 提高舰炮火控的可靠性和稳定性。

对舰炮火控可靠性仿真和评价是建立在系统论、控制论、信息论的基础上, 结合人机功能和组合性评价技术, 构建系统优化、整体优化和控制模型。传统方法中, 对舰炮火控可靠性综合评价方法主要有基于卷积神经网络学习的舰炮火控系统可靠性智能综合评价方法、基于博弈均衡的舰炮火控系统可靠性智能综合评价模型, 以及基于拦截效能评估的可靠性评价测试模型等^[2-3]。从研制需求出发, 制定工程各阶段的技术要求和基本方案, 采取合理并行、交叉安排的方法, 制定舰炮火控智能控制模型。

作者简介: 王 蕾(1988-), 女, 硕士, 助教, 主要研究方向: 武器系统工程; 谭 波(1979-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 战斗部毁伤效应; 刘 洋(1983-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 系统工程。

通讯作者: 刘 洋 Email: 1198301462@qq.com

收稿日期: 2021-09-09

但传统方法进行舰炮火控系统可靠性评估的模糊度较大,智能评价能力不强^[4]。

针对上述问题,本文提出基于目标综合评价的舰炮火控可靠性仿真模型。结合舰炮火控武器系统的战术性能和技术性能参数,采用博弈均衡控制方法,建立舰炮火控可靠性综合评价的联合参数识别模型,提取舰炮火控可靠性评价的关联维参数,进行系统化分析与评价比较,最后进行仿真测试分析,展示了本文方法在提高舰炮火控可靠性仿真能力方面的优越性能。

1 系统可靠性评价约束参数和目标函数

1.1 可靠性评价约束参数

为了实现对舰炮火控可靠性综合评价,结合舰炮火控武器系统的战术性能和技术性能参数,以有效射程、单发命中概率、综合技术保障性能参数、自动控制性能参数为约束指标,构建约束参量模型。根据目标要求和实际条件,建立反映系统的模糊度参数分析模型^[5]。舰炮火控系统可靠性特征分布时间序列 $\{x_n\}_{n=1}^N$, 以费用、性能、可靠性、技术可行性和风险等方面为自变量,得到舰炮火控系统可靠性特征分布函数,如式(1):

$$Q(a, b_i) = \sum_i \sum_j [y_{ij} - (\hat{a}x_{ij} + \hat{b}_i)]^2 \quad (1)$$

对上式取最小,得到舰炮火控系统可靠性统计特征分布值满足:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial \hat{a}} = - \sum_i \sum_j 2[y_{ij} - (\hat{a}x_{ij} + \hat{b}_i)] x_{ij} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial \hat{b}_i} = - \sum_i \sum_j 2[y_{ij} - (\hat{a}x_{ij} + \hat{b}_i)] = 0 \end{cases} \quad (2)$$

当 Q 达到最小,得到舰炮火控系统可靠性综合评价的性能函数。在测试装置条件下,引入试验场的战斗环境,得到舰炮火控系统可靠性评价的统计特征量为:

$$\begin{cases} \hat{a} = \frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)(y_{ij} - \bar{y}_i)}{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \\ \hat{b}_i = y_i - a\bar{x}_i \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\bar{x}_i = \frac{1}{j} \sum_j x_{ij}$; $\bar{y}_i = \frac{1}{j} \sum_j y_{ij}$; j 是检测序列。

以射击效率、命中精度、全系统作战效能等为目标综合评价模型,从优化减排火控系统的攻击能力作为拦截评价的模糊度参数,得到舰炮火控系统可靠性综合评价的博弈均衡控制函数为:

$$\begin{cases} x(k+1) = \left(\begin{bmatrix} 1 & 0.6 \\ -0.4 & 0.5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.02 & 0.01 \\ -0.02 & 0.12 \end{bmatrix} \right) x(k) + \\ \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} kx(k - \tau_k) + \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.1 \end{bmatrix} w(k) \\ z(k) = [1 \quad 1] x(k) + 0.1u(k) + 0.1w(k) \end{cases} \quad (4)$$

当舰炮火控系统可靠性时间序列 $x(t)$ 出现在分布区间 i 的概率,随机变量满足阈值 $\alpha_k \geq 0$, $\sum_{k=1}^K \alpha_k = 1$ 时,引入可靠性、可维修性、可用性作为约束目标,建立了舰炮火控系统可靠性评价约束参数分析模型^[6]。

1.2 构造可靠性综合评价目标函数

采用加权乘法进行的舰炮火控可靠度评估,结合评价指标、博弈均衡控制方法^[7],得到舰炮火控系统可靠性综合评价状态分布为:

$$\Pi_2 = \begin{bmatrix} \bar{A}^T P \bar{A} - P + K^T R K & \bar{A}^T P \bar{B} & \bar{A}^T P F_1 \\ \bar{B}^T P \bar{A} & \bar{B}^T P \bar{B} - R & \bar{B}^T P F_1 \\ F_1^T P \bar{A} & F_1^T P \bar{B} & F_1^T P F_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

构建递归图 $R(i, j)$ 进行舰炮火控系统的拦截效能评价,得到舰炮火控系统的拦截效能分布的递归函数为:

$$R(i, j) = H(\varepsilon_i - d_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

引入毁伤区或毁伤概率、可靠性、可维修性参数分析模型,对第 i 点 x_i 和第 j 点 x_j 的拦截效能评价特征量进行量化求解,得到舰炮火控系统可靠性综合评价目标函数记为:

$$G(U | \mu_k, \sum_k) = (2\pi)^{-d/2} \left| \sum_k \right|^{-1/2} \times \exp \left[-\frac{1}{2} (U - u_k)^T \sum_k^{-1} (U - u_k) \right] \quad (7)$$

式中, $G(U | \mu_k, \sum_k)$ 为舰炮火控系统可靠性分布的约束特征量,建立舰炮火控可靠性综合评价的联合参数识别模型,提取舰炮火控可靠性评价的关联维参数,实现对舰炮火控系统可靠性目标函数构造^[8]。

2 系统可靠性综合评价优化

2.1 系统方案评价及优选

结合评价指标,采用博弈均衡控制方法,建立舰炮火控可靠性综合评价的联合参数识别模型,求得舰炮火控系统可靠性综合评价的关联维特征 a 和 b_i 的最优估计 \hat{a} 、 \hat{b}_i 。根据风险度的重要程度和估计的可信程度,得到可靠性测试计算公式如下:

$$D'_{i+1} = 1 - (1 - \lambda) \sum_{n=0}^{\infty} \Omega_{m+n+1}((n+1)b - t) \quad (8)$$

$$L'_{i+1} = (1 - \lambda) \sum_{n=0}^{\infty} \Omega_{k+n}(n+1)b \quad (9)$$

式中, Ω 表示技术风险度。得到舰炮火控系统可靠性分布特征量, 定义为:

$$x_k = f\{x_{k-1}, u_{k-1}, w_{k-1}\} \quad (10)$$

其中: u_k 为技术风险度权值约束下的攻击强度参数, w_k 为费用风险度权值。

采用风险分析与综合评估的方法, 舰炮火控系统拦截效能评价的统计回归值为:

$$|s(f)| = A \sqrt{\frac{1}{2k}} \{ [c(v_1) + c(v_2)]^2 + [s(v_1) + s(v_2)]^2 \} \quad (11)$$

若 $\sigma = 1, \mu = 0$ 为标准 α -稳定分布, 则在通用化、系列化和模块化的控制系统设计下, 得到舰炮火控系统的截效能综合评价的判决函数为:

$$\text{判定}(i) = \begin{cases} \text{正常} & \text{如果 } \alpha_i = 0 \\ \text{边界支持向量} & \text{如果 } 0 < \alpha_i < \frac{1}{vn} \\ \text{异常} & \text{如果 } \alpha_i = \frac{1}{vn} \end{cases} \quad (12)$$

结合政策指标、战术技术指标、经济指标约束的方法, 得到舰炮火控系统的可靠性控制的过程约束参数分布特征量为:

$$I(\tau) = - \sum_{ij} p_{ij}(\tau) \ln \frac{p_{ij}(\tau)}{P_i P_j} \quad (13)$$

当 $I(\tau) = 0$ 则 $x(t + \tau)$ 表示舰炮火控系统可靠性分布的预测模糊度参数, 即 $x(t), x(t + \tau)$ 相互独立完全不相关。通过战术技术评价、经济评价、人类工程学评价, 对 $I(\tau)$ 进行自适应调节, 实现对舰炮火控系统可靠性分布参数优选控制^[9]。

2.2 可靠性综合评价及仿真模型

建立舰炮火控可靠性综合评价的联合参数识别模型, 提取舰炮火控可靠性评价的关联维参数, 并对舰炮火控系统进行自动综合评价。基于人机工程学指标参数分析, 得到舰炮火控智能化控制的回归序列为 $h(x) = \sum_{1 \leq i \leq xN} i^{-\alpha} / \sum_{1 \leq i \leq N} i^{-\alpha} \rightarrow x^{1-\alpha}$ 。当 $N \rightarrow \infty$ 时, 对 N 个舰炮火控系统的控制约束参数进行自适应重组; 当系统为单目标时, 由公式(14)求得:

$$C_{N,m}(r) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N H(r - \|x_i - x_j\|) \quad (14)$$

其中, $H(\cdot)$ 表示模糊综合评价函数, 即:

$$H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \quad (15)$$

式中, $\|x_i - x_j\|$ 可以表示模糊综合评价的离散度。重构舰炮火控系统可靠分布参数, $C_{N,m}(r) \approx C_m(r)$ 得到舰炮火控系统, 可靠性的综合评价特征量分布

模型为:

$$x_{ij} = [\text{lgr}]_{ij}, y_{ij} = [\text{lg}C_N(r)]_{ij} \quad (16)$$

式中, j 为评价目标按照构成层次分布的特征点。得到:

$$y_{ij} = ax_{ij} - b_i \quad (17)$$

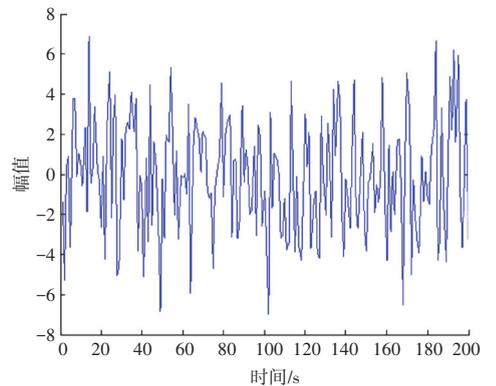
式中, $a = D$, 确定评价指标下, 采用关联维估计的方法。考虑费用、性能、进度, 得到舰炮火控可靠性综合评价的测度序列为:

$$X = [s_1, s_2, \dots, s_K]_n = (x_n, x_{n-\tau}, \dots, x_{n-(m-1)\tau}) \quad (18)$$

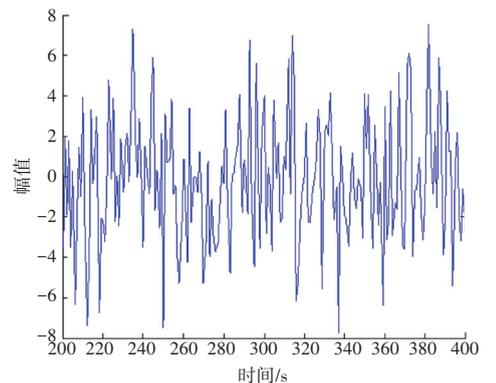
其中, $K = N - (m - 1)\tau$, 表示舰炮火控可靠性综合评价的重构的阶数, τ 为拦截延迟, 以此实现舰炮火控系统可靠性仿真模型构造^[10]。

3 仿真结果分析

为了测试本文方法在实现舰炮火控系统可靠性评价和控制的应用性能, 进行了仿真测试。引入有效性、可靠性、可维修性、生存能力、快速反应时间、抗干扰能力等为目标参数样本, 对样本序列采样的时间周期为 0.24 ms, 各方案的综合评价的相似度参数为 0.135。对舰炮火控系统的可靠性控制时间序列采样波形如图 1 所示。



(a) 测试样本



(b) 训练样本

图 1 舰炮火控系统的可靠性分布时间序列

Fig. 1 Reliability distribution time series of naval gun fire control system

以图 1 的测试样本序列为研究对象,实现对舰炮火控系统的可靠性综合评价,得到可靠性控制收敛曲线如图 2 所示。

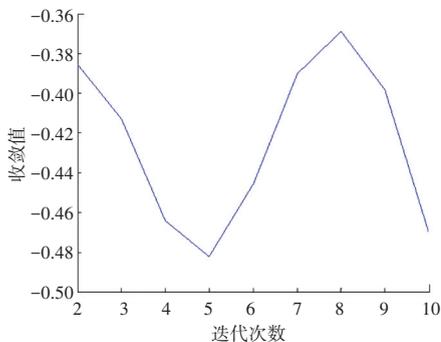


图 2 舰炮火控系统的可靠性收敛曲线

Fig. 2 Reliability convergence curve of naval gun fire control system

分析图 2 得知,本文方法进行舰炮火控智能化控制评价的收敛性较好。测试在优选方案下的总体性能参数,以攻击可靠度为 $\hat{\mu}$ 测试对比,得到对比结果如图 3 所示。

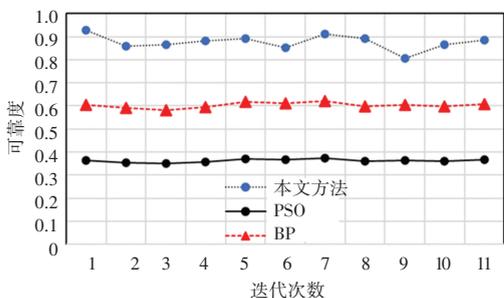


图 3 可靠性测试

Fig. 3 Reliability test

分析上述仿真结果得知,本文方法进行舰炮火控可靠性控制的灵敏度较高,系统评价指标体系完备。

4 结束语

结合现代决策支持和人工智能控制技术,采用自适应的人工智能控制模型和综合评价算法,实现对舰炮火控系统的自动化设计和可靠性控制,本文提出了基于目标综合评价的舰炮火控可靠性仿真模型。构建约束参量模型,根据目标要求和实际条件,建立反映系统的模糊度参数分布模型,提取舰炮火控可靠性评价的关联维参数,实现对舰炮火控系统可靠性目标函数构造及控制模型优化,使舰炮火控装备体系的规划与决策建立在科学定量分析的基础上。分析得知,本文方法实现对舰炮火控系统可靠性综合评价决策能力较好,通过对各种数据进行综合分析证明,命中效率得到一定程度的提高。

参考文献

- [1] 刘志伟,李法忠,方艳红. 某型舰炮液压系统可靠性分析及技术改进[J]. 舰船电子工程,2021,41(4):143-145,160.
- [2] 袁军,郝兆钧,王寄明. 舰炮武器系统维修性指标验证方法[J]. 火炮发射与控制学报,2020,41(4):103-106.
- [3] 刘洋,王蕾. 基于模糊 PID 的舰艇编队攻击路径优化规划研究[J]. 智能计算机与应用,2019,9(5):266-269,272.
- [4] 邓建辉,张满慧,魏军辉. 新技术对大口径舰炮发射系统可靠性的影响分析[J]. 舰船科学技术,2020,42(19):162-166,174.
- [5] 程文鑫,王寄明,方子璇. 基于任务次数的舰炮武器系统任务可靠度评估方法[J]. 计算机测量与控制,2019,27(10):273-276.
- [6] 王满林,王鹏. 舰炮武器装备综合保障数据管理[J]. 兵器装备工程学报,2017,38(7):98-101.
- [7] 李翔,魏锦,李伟,等. 舰炮发射药筒方案可行性分析[J]. 舰船科学技术,2020,42(21):148-152.
- [8] 闫戈,吴婷,杨诚,等. 基于边缘计算的舰炮故障预测系统设计[J]. 计算机测量与控制,2020,28(12):17-20+26.
- [9] 王鼎,谭小帆,郭建忠. 某新型舰炮武器维修保障方案评价与优化[J]. 舰船电子工程,2015,35(6):109-111.
- [10] 可学为,侯健,陈汀峰,等. 大口径舰炮摆弹机构的动作可靠性分析[J]. 计算机仿真,2013,30(12):5-8.

(上接第 120 页)

参考文献

- [1] 虞乔木,郑东桦. 新冠肺炎疫情防控常态化研究[J]. 中国公共安全·学术版,2020,(1):65-68.
- [2] 关桂峰. 疫情常态化更要防控精细化[N]. 新华每日电讯,2020(第2版).
- [3] 高杰,吕阳,杨少斌,等. 基于雪亮工程的疫情管控超脑平台建设[J]. 中国安全防范技术与运用,2020,(1):16-19.
- [4] 徐娟娟. STM32F103 的汽车远程防盗系统设计[J]. 应用天地,2012,(11):66-69.
- [5] 张豪,杨春燕,汪筱阳. S3C2440A 芯片及应用[J]. 电子技术工程,2011,19(24):26-34.
- [6] 孙四海,肖磊,杨纪明,等. 基于 ARM 的航空发动机数据采集系统设计[J]. 测控技术,2018,37(11):93-101.
- [7] 王传秒. 基于 ARM9 的环境监测平台设计[D]. 长沙:湖南大

学,2012:22.

- [8] 谭松鹤,覃琪. 无线传感网络重复性分类数据覆盖协议方法[J]. 现代电子技术,2020,43(15):21-24.
- [9] 王凤,曾兴雯. 基于 CC2530 的 ZigBee 无线传感器网络的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2012:21-22.
- [10] 刘钊,王玲珍,赵俊光,等. 基于 ZigBee 的金属氧化物避雷器阻性电流在线监测系统[J]. 山东工业技术,2017(2):55.
- [11] 段帷,宋谦,白先勇,等. CMOS 图像传感器在太阳磁场观测中的应用研究[J]. 天文学报,2020,61(4):45-54.
- [12] 梁海军,赵建. 基于 NIOSII 的高分辨率图像采集系统设计[J]. 中国测试技术,2008,34(5):61-65.
- [13] 杨震伦,石坤泉,刘柱栋,等. 一种基于 LEPTON 3.5 的生猪体温监测系统[J]. 科技创新与应用,2020(19):28-31.
- [14] 王威. 基于 ARM9 硬件平台的人脸识别系统设计与研究[D]. 成都:电子科技大学,2013:39-40.