

文章编号: 2095-2163(2019)05-0266-05

中图分类号: TP399

文献标志码: A

# 基于模糊PID的舰艇编队攻击路径优化规划研究

刘洋, 王蕾

(海军工程大学, 武汉 430033)

**摘要:** 为了提高海上舰艇编队攻击路径自动规划和自适应调度能力, 从而实现海上舰艇编队协同智慧调度, 提出基于模糊PID的舰艇编队攻击路径优化规划算法。采用卫星通信组网信息调度技术进行海上舰艇编队攻击路径规划的控制指令信息提取, 结合舰艇编队攻击路径的信息特征检测技术进行攻击路径规划过程中的信息调度和特征提取, 采用模糊神经网络控制技术进行海上舰艇编队攻击路径自动规划的线路自动筛选和寻优控制处理, 构建物联网信息管理平台进行海上舰艇编队攻击路径自动规划和分布式协同调度, 采用模糊PID神经网络学习方法进行海上舰艇编队攻击路径规划的优化学习。仿真结果表明, 采用该方法进行舰艇编队攻击路径规划的协同控制能力较好, 区域覆盖能力较强, 路径自适应寻优的收敛性较好。

**关键词:** 模糊PID; 舰艇编队; 攻击路径; 规划

## Research on optimal path planning of warship formation attack based on fuzzy PID

LIU Yang, WANG Lei

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**[Abstract]** In order to improve the automatic planning and adaptive scheduling ability of marine warship formation attack path, so as to realize the cooperative wisdom of offshore warship formation, a fuzzy PID based ship formation attack path optimization planning algorithm is proposed. The satellite communication network information scheduling technology is used to extract the control instruction information of the attack path planning of the marine warship formation. Combined with the information feature detection technology of the attack path of the warship formation, the information scheduling and feature extraction in the process of the attack path planning are carried out. The fuzzy neural network control technology is used to automatically screen and optimize the route of the attack path automatic planning of the marine warship formation. The information management platform of the Internet of things is constructed for automatic planning and distributed cooperative scheduling of attack paths for offshore warship formation, and fuzzy PID neural network learning method is used to optimize the attack path planning for offshore warship formation. The simulation results show that the cooperative control ability of ship formation attack path planning is better, the regional coverage ability is strong, and the convergence of path adaptive optimization is better.

**[Key words]** fuzzy PID; ship formation; attack path; planning

## 0 引言

随着海上协同作战信息化水平的不断提升, 需要进行海上舰艇编队攻击的信息化调度和攻击路径的智能规划设计, 构建海上舰艇编队攻击路径规划模型, 在集成信息处理平台下进行海上舰艇编队攻击路径自动规划系统的优化设计, 采用大数据信息融合处理技术, 进行海上舰艇编队攻击路径自动规划, 提高海上协同作战背景下舰艇编队的打击和火力覆盖能力, 研究舰艇编队攻击路径优化规划模型具有重要意义<sup>[1]</sup>。

对舰艇编队攻击路径优化规划模型的研究是建立在舰艇编队攻击路径的信息特征分析和大数据挖掘基础上, 结合协同融合滤波模型进行舰艇编队攻击路径的自适应调度和规划, 提高舰艇编队攻击

路径优化规划能力<sup>[2]</sup>。传统方法中, 对舰艇编队攻击路径优化规划方法主要有遗传算法、粒子群算法和 Kalman 滤波算法等, 根据对海上舰艇编队攻击路径统计信息流的测量和特征提取结果, 进行海上舰艇编队攻击路径规划, 构建海上舰艇编队攻击路径规划网络模型, 实现路径规划的自适应寻优控制, 但上述方法进行舰艇编队攻击路径规划的自适应性不好, 融合度不高<sup>[3]</sup>。针对上述问题, 本文提出基于模糊PID的舰艇编队攻击路径优化规划算法。首先采用卫星通信组网信息调度技术进行海上舰艇编队攻击路径规划的控制指令信息提取, 结合舰艇编队攻击路径的信息特征检测技术进行攻击路径规划过程中的信息调度和特征提取。然后采用模糊神经网络控制技术进行海上舰艇编队攻击路径自动规划的线路自动筛选和寻优控制处理, 构建物联网信息管

作者简介: 刘洋(1983-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 舰艇作战指挥与火力控制工程。

收稿日期: 2019-07-08

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

理平台进行海上舰艇编队攻击路径自动规划和分布式协同调度,采用模糊PID神经网络学习方法进行海上舰艇编队攻击路径规划的优化学习。最后进行仿真实验分析,展示了本文方法在提高舰艇编队攻击路径优化规划能力方面的优越性能。

## 1 卫星通信组网信息调度及规划路径特征分析

### 1.1 舰艇编队攻击路径规划信息调度

为了实现基于模糊PID的舰艇编队攻击路径优化规划,采用卫星通信组网信息调度技术进行海上舰艇编队攻击路径规划的控制指令信息提取,构建舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据分析模型,通过对海上舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据分析融合<sup>[4]</sup>,实现对舰艇编队攻击路径自动规划和调度,建立卫星通信组网环境下舰艇编队密度求解微分方程,得到二阶梯度 $\nabla^2 F(x)$ ,假定卫星通信组网环境下舰艇编队攻击路径网络的节点总数 $V$ 为常数,当在最短路径控制下,采用分段线性拟合方法进行海上舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据分析处理,提取海上舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据的互信息特征量,对采集的海上舰艇编队攻击路径统计信息流进行融合处理,采集的大数据有舰艇的密度数据、控制指令传输负载数据以及线路的雷达探测信息数据,采用分布式大数据融合处理方法进行攻击路径规划的专家系统模型构建。模型如图1所示。

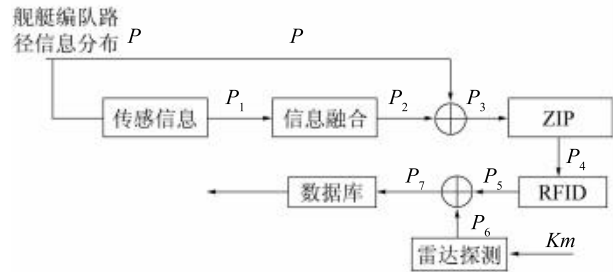


图1 海上舰艇编队攻击路径规划的专家系统模型

Fig. 1 Expert system model for attack path planning of marine warship formation

根据图1所示的舰艇编队攻击路径的专家系统模型,采用自动路径规划模型方法,得到舰艇编队攻击的状态特征量为 $x_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}^T$ ,以2倍以上特征采样率进行舰艇编队攻击路径的统计信息采样,得海上舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据的状态特征分布为 $p(x_0)$ ,舰艇编队攻击路径规划中,采用卫星通信组网信息调度方法,得到信息融

合结果为:

$$P_{ij}(k) = \frac{(l_j(k) - l_i(k))\eta_{ij}(k)}{\sum_{j \in N_i(k)} (l_j(k) - l_i(k))\eta_{ij}(k)}, \quad (1)$$

假定当前舰艇编队攻击节点的相邻节点机的数目为 $n(N_1, \dots, N_n)$ ,采用大数据融合检测方法进行信息重构,求得海上舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据的分布的统计样本集,进行舰艇编队攻击路径规划信息调度<sup>[5]</sup>。

### 1.2 编队规划路径特征分析

卫星通信组网环境下,舰艇编队攻击路径的网络组网结构模型用以下方程描述为:

$$\begin{cases} \frac{ds(t)}{dt} = -\beta i(t)s(t) + \alpha r(t); \\ \frac{di(t)}{dt} = \beta i(t)s(t) - \mu i(t); \\ \frac{dr(t)}{dt} = \mu i(t) - \alpha r(t). \end{cases} \quad (2)$$

结合舰艇编队攻击路径的信息特征检测技术进行攻击路径规划过程中的信息调度和特征提取,采用模糊神经网络控制技术进行传感信息跟踪识别<sup>[6]</sup>,将海上舰艇编队攻击路径规划问题转换为如下二元规划问题:

$$\begin{cases} W_{ik}(d) = \frac{IDF_1}{IDF_{const}} \times a(H_{ac}); \\ IDF_1 = tf_{ik}(d) \times \log\left(\frac{N}{n_k} + 0.01\right); \\ IDF_{const} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (tf_{ik}(d))^2 \times [\log\left(\frac{N}{n_k} + 0.01\right)]^2}. \end{cases} \quad (3)$$

采用分布式协同调度方法进行海上舰艇编队攻击路径规划的指令加载和信息调度,结合海上舰艇编队攻击路径组网模型进行嵌入式调度<sup>[7]</sup>,得到海上舰艇编队攻击路径规划的信息加载输出为 $x_1 = [V_{Th}^1, h_{Th}^1, w_{Th}^1]$ , $x_2 = [V_{Th}^2, h_{Th}^2, w_{Th}^2]$ ,有 $\Phi(B) \subset B$ ,在最短路径寻优下,得到舰艇编队攻击路径指令加载的误差项为:

$$e = x_2 - x_1, \quad (4)$$

其中, $e = [e_v, e_h, e_w]$ ,由此得到海上舰艇编队攻击路径规划的信息融合误差函数为:

$$\begin{aligned} \dot{e}_v = & \frac{1}{C_m} [I_{SM}^2 - I_L^2 - I_{Na}^2 - I_K^2 - I_T^2 - I_{syn}^2 - \\ & I_{SM}^1 + I_L^1 + I_{Na}^1 + I_K^1 + I_T^1 + I_{syn}^1] + u = \\ & f(x_1, x_2) + u \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{e}_h &= \frac{h_{2\infty} - h_2}{\tau_{h_2}} - \frac{h_{1\infty} - h_1}{\tau_{h_1}} = \\ &T_h(V_{Th}^2)(h(V_{Th}^2) - h_2) - T_h(V_{Th}^1)(h(V_{Th}^1) - h_1) = \\ &T_h(V_{Th}^2)h(V_{Th}^2) - T_h(V_{Th}^2)h_2 - T_h(V_{Th}^1)h(V_{Th}^1) + \\ &T_h(V_{Th}^1)h_1 = \\ &T_h(V_{Th}^1, e_V)h(V_{Th}^1, e_V) - T_h(V_{Th}^1, e_V)h_2 - \\ &T_h(V_{Th}^1)h(V_{Th}^1) + T_h(V_{Th}^1)h_1 - T_h(V_{Th}^1, e_V)h_1 + \\ &T_h(V_{Th}^1, e_V)h_1 = \\ &T_h(V_{Th}^1, e_V)h(V_{Th}^1, e_V) - T_h(V_{Th}^1)h(V_{Th}^1) - \\ &T_h(V_{Th}^1, e_V)e_h - [T_h(V_{Th}^1, e_V) - T_h(V_{Th}^1)]h_1 \\ \dot{e}_w &= \Phi \{ T_w(V_{Th}^1, e_V)w(V_{Th}^1, e_V) - T_w(V_{Th}^1)w(V_{Th}^1) - \\ &T_w(V_{Th}^1, e_V)e_w - [T_w(V_{Th}^1, e_V) - T_w(V_{Th}^1)]w_1 \}. \end{aligned} \quad (5)$$

根据上述分析,构建智能卫星通信组网环境下舰艇编队攻击路径规划特征分析模型,采用分簇聚类调度方法,进行舰艇编队攻击路径的优化设计<sup>[8]</sup>。

## 2 舰艇编队攻击路径优化规划实现

### 2.1 攻击路径规划的信息调度优化

在上述采用卫星通信组网信息调度技术进行海上舰艇编队攻击路径规划的控制指令信息提取的基础上,进行路径规划优化设计,本文提出基于模糊PID的舰艇编队攻击路径优化规划算法。采用模糊神经网络控制技术进行海上舰艇编队攻击路径自动规划的线路自动筛选和寻优控制处理<sup>[9]</sup>,得到海上舰艇编队攻击路径规划的信息传递模型描述如下:

$$m_i = MSG\_REP \parallel D_\tau \parallel SN_A \parallel data \parallel Pos \parallel sensid \parallel Token, \quad (6)$$

在卫星通信组网环境下舰艇编队攻击路径的均衡调度时间窗口函数为:

$$T_{inter} = \left( \frac{N}{\lambda D^2 a^2} - 1 \right) \cdot D \cdot M + \frac{D}{2} \cdot M = \frac{NM}{\lambda a^2} \cdot \frac{1}{D} - \frac{M}{2} \cdot D, \quad (7)$$

令  $p(t) = [p_1(t), p_2(t), \dots, p_m(t)]^T$ , 表示路径规划的自适应调度集,得到舰艇编队路径规划的特征解向量为:

$$\begin{aligned} \sigma(X, 0) &= E(0) - CP(0) = \\ &C \{ [e(0)^T \dot{e}(0)^T \dots e(0)^{(n-1)T}]^T - \\ &[p(0)^T \dot{p}(0)^T \dots p^{(n-1)}(0)^T]^T \} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

采用 RFID 技术进行海上舰艇编队攻击路径规划的自适应信息采集和寻优,综上分析,进行攻击路

径规划的信息调度。

### 2.2 路径规划的模糊神经网络寻优控制

采用模糊神经网络控制技术进行海上舰艇编队攻击路径自动规划的线路自动筛选和寻优控制处理,海上舰艇编队攻击路径规划的模糊 PID 神经网络模型如图 2 所示。

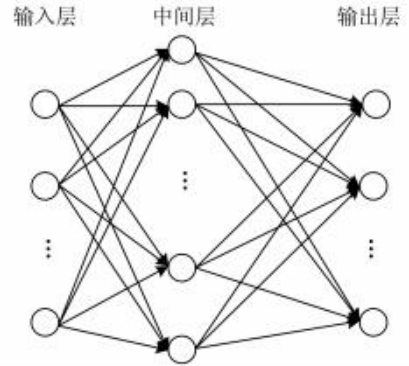


图2 海上舰艇编队攻击路径规划的模糊PID神经网络模型  
Fig. 2 Fuzzy PID Neural Network model for attack path planning of marine warship formation

在图 2 所示的海上舰艇编队攻击路径规划 PID 控制模型中,在输入层输入控制指令,指令子集  $S_i$  ( $i = 1, 2, \dots, L$ ) 满足模糊学习的收敛性条件为:

$$p(y | \alpha, \theta) = \sum_{k=1}^K \alpha_k P_k(y | \mu_k, \sum_k), \quad (9)$$

设有  $k$  个海上舰艇编队攻击路径规划指令,进行大数据采样后,采用最短路径搜索模型进行路径规划设计,得到在  $t + 1$  个监测节点中舰艇编队攻击路径的预测模型为:

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{Cm} [I_{SM}^2 - I_L^2 - I_{Na}^2 - I_K^2 - I_T^2 - I_{syn}^2 - I_{SM}^1 + I_L^1 + I_{Na}^1 + I_K^1 + I_T^1 + I_{syn}^1]; \quad (10)$$

$$T_h(V_{Th}) = \frac{1}{\tau_h(V_{Th})}; \quad T_w(V_{Th}) = \frac{1}{\tau_w(V_{Th})}.$$

如  $f(x_1, x_2)$  已知,考虑到海上舰艇编队攻击路径规划的偏差,以最大火力覆盖为寻优函数,得到舰艇编队攻击路径规划的模糊 PID 自适应迭代模型为:

$$\begin{aligned} \min(f) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \\ \text{s.t.} &\begin{cases} \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ X_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

综上分析,实现海上舰艇编队攻击路径自动规

划的线路自动筛选和寻优控制处理, 根据自动寻优结果实现对海上舰艇编队攻击路径规划和协同调度<sup>[10]</sup>。

### 3 仿真实验与结果分析

为了测试本文设计方法在实现海上舰艇编队攻击路径自动规划中的应用性能, 进行仿真实验分析, 实验中算法采用 Matlab 设计, 在 Netlogo 平台中建立舰艇编队的路径规划场景, 设定舰艇编队的攻击节点数为 12, 巡航速度为 20 Kn, 攻击速度为 25 Kn, 每艘舰艇的攻击战位数为 30, 根据上述仿真场景设定, 进行海上舰艇编队攻击路径的规划, 得到路径轨迹规划仿真结果如图 3 所示。

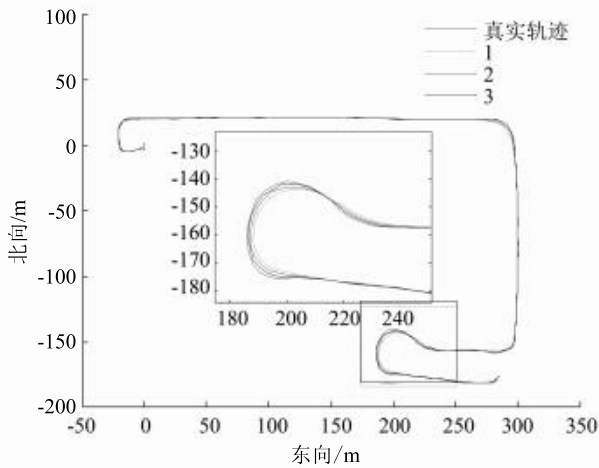
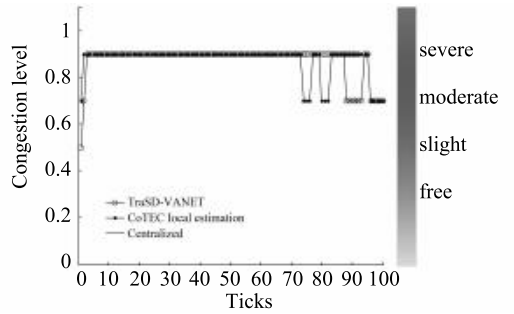


图 3 舰艇编队的路径轨迹规划仿真结果

Fig. 3 Simulation results of path trajectory planning for warship formation

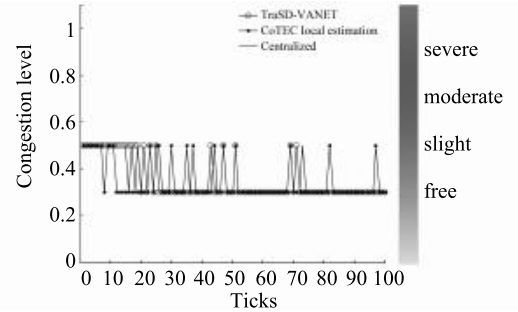
分析图 3 得知, 采用本文方法能有效实现海上舰艇编队攻击路径自动规划, 轨迹跟踪性能较好, 实现路径规划过程中的轨迹自动寻优。测试攻击效能, 得到结果如图 4 所示。

分析图 4 得知, 采用本文方法进行海上舰艇编队攻击路径规划, 在不同火力强度下的攻击效能较高, 测试路径规划的误差, 得到收敛性测试曲线, 对比结果如图 5 所示, 分析得知, 采用该方法进行舰艇编队攻击路径规划的协同控制能力较好, 区域覆盖能力较强, 路径自适应寻优的收敛性较好。



(a) 重火力覆盖

(a) Severe fire coverage



(b) 轻度火力覆盖

(b) Free fire coverage

图 4 攻击效能测试

Fig. 4 Attack effectiveness test

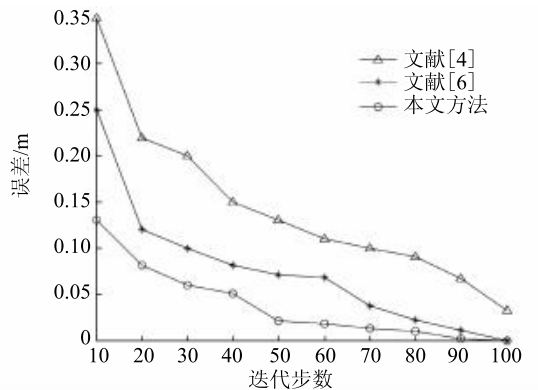


图 5 收敛性对比

Fig. 5 Convergence comparison

### 4 结束语

进行海上舰艇编队攻击路径自动规划, 提高海上协同作战背景下舰艇编队的打击和火力覆盖能力, 本文提出基于模糊 PID 的舰艇编队攻击路径优化规划算法。构建舰艇编队攻击路径自动规划统计大数据分析模型, 结合舰艇编队攻击路径的信息特征检测技术进行攻击路径规划过程中的信息调度和特征提取, 采用分簇聚类调度方法, 进行舰艇编队攻击路径的优化设计。采用模糊神经网络控制技

(下转第 272 页)