

# 基于贝叶斯决策的无人机飞行路径 自动规划方法

张云飞

(河海大学 计算机与信息学院, 南京 211100)

**摘要:** 传统无人机飞行路径自动规划方法无法获取全部障碍物信号, 使无人机飞行不能达到避障效果, 导致飞行路线规划效果较差; 为此提出基于贝叶斯决策的无人机飞行路径自动规划方法; 无人机飞行路径自动规划硬件模块包含自动规划模块、动画演示模块、地图导航模块和数据导出模块, 自动规划模块负责控制无人机飞行; 动画演示模块使用 240PRO 型号的 LEWITT 声卡, 为展示飞机飞行路线提供声音; LS-TM8N 地图导航模块通过串口将射频信号发送到天线的输入端, 再由数据导出模块导出并保存相关数据; 基于贝叶斯决策原理, 结合贝叶斯元胞蚁群算法, 计算贝叶斯先验概率和后验概率, 规划无人机飞行路径, 获取最优路径; 实验结果表明, 该方法遇到静态障碍物捕获的避障信号在  $-28\sim 30$  mV 范围内波动, 动态障碍物捕获的避障信号在  $-27\sim 30$  mV 范围内波动, 与实际障碍物信号波动范围一致, 避障效果较优。

**关键词:** 贝叶斯决策; 无人机飞行; 路径自动规划; 贝叶斯元胞蚁群算法

## Automatic Flight Path Planning Method for Unmanned Aerial Vehicle Based on Bayesian Decision

ZHANG Yunfei

(School of Computer and Information, Hohai University, NanJing 211100, China)

**Abstract:** Traditional automatic flight path planning methods for UAVs cannot obtain all obstacle signals, making UAV flight unable to achieve obstacle avoidance effects, resulting in poor flight path planning effects. To this end, an automatic UAV flight path planning method based on Bayesian decision-making is proposed. The automatic planning module of the drone flight path includes an automatic planning module, an animation demonstration module, a map navigation module and a data export module. The automatic planning module is responsible for controlling the flight of the drone; the animation demonstration module uses the 240PRO model LEWITT sound card to show the flight path of the aircraft Provide sound; LS-TM8N map navigation module sends the radio frequency signal to the input end of the antenna through the serial port, and then the data export module exports and saves the relevant data. Based on the Bayesian decision-making principle, combined with the Bayesian cell ant colony algorithm, the Bayesian prior probability and the posterior probability are calculated, the flight path of the UAV is planned, and the optimal path is obtained. The experimental results show that the obstacle avoidance signal captured by the method encounters static obstacles fluctuates in the range of  $-28\sim 30$  mV, and the obstacle avoidance signal captured by dynamic obstacles fluctuates in the range of  $-27\sim 30$  mV, which is consistent with the actual obstacle signal fluctuation range. The obstacle avoidance effect is better.

**Keywords:** Bayesian decision-making; UAV flight; automatic path planning; Bayesian cell ant colony algorithm

## 0 引言

无人机利用无线电遥控设备和控制装置操纵, 应用于民用和军事, 能够解决人类无法解决的难题。考虑到无人机自身的特殊性, 特别是面对战争威胁时, 如何快速、准确地确定最佳航路, 是保证在日益复杂、多变的现代战场环境下, 无人机能够顺利完成的关键条件<sup>[1]</sup>。因此, 需要对其路径规划进行优化。

使用路径规划算法计算无人机最优飞行轨迹, 目前最常用的两种方法主要为蚁群算法和启发式搜索算法<sup>[2]</sup>。其中, 启发式搜索算法是一种最小代价函数, 它基于最小代

价, 在从初始点到当前点再到目标点的搜索过程中, 连续地对目标节点进行扩展, 从而形成一组最小代价路由, 使一组节点到达最优路径。启发式搜索通常用来解决静态的不确定规划问题, 广泛应用于地图中。该方法具有很强的收敛能力, 常用于单点搜索, 在快速搜索路径上有较好的效果, 但随着搜索区域的增大, 其记忆数据也随之增大, 使搜索时间变长<sup>[3]</sup>。该算法难以实现无人机约束的融合, 只能生成一条路径, 无法满足某些特殊任务的需要, 导致无人机路径不可行; 蚁群算法是一种基于动物从洞穴中寻找食物这一最短路径现象的合作发现方法, 该方法采用路

收稿日期: 2021-07-20; 修回日期: 2021-08-24。

作者简介: 张云飞(1980-), 男, 河南安阳人, 博士, 工程师, 主要从事云计算、数据挖掘方向的研究。

引用格式: 张云飞. 基于贝叶斯决策的无人机飞行路径自动规划方法[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(11): 196-200.

径规划的方法，首先使给定路径的所有节点都处在信息素的作用范围内，然后蚁群算法通过这些节点达到目标路径，避免了路径中节点对信息素的影响，从而减少了路径中节点的数目，提高了路径的可重复性，直到找到了最佳路径为止<sup>[4]</sup>。然而，蚁群算法在无人机飞行路径规划过程中存在计算步骤复杂、计算量大的问题。

因此，针对上述两种路径规划算法中存在的问题，结合贝叶斯决策方法，设计无人机航迹自动规划方案。在无人机飞行路径自动规划硬件部分，分别设计了自动规划模块、动画演示模块、地图导航模块及数据导出模块，在硬件模块设计的基础上，利用贝叶斯决策算法设计无人机飞行路径自动规划流程，传统路径规划方法存在规划准确性较差的问题，为此基于贝叶斯决策算法设计无人机飞行路径自动规划流程。确定贝叶斯先验概率，在此基础上从预测距离和障碍物节点数量两个方面，准确选择节点预测区域，计算飞行安全距离，初步规划避障路线，计算后验概率，选择备份区选择节点。最后利用重复循环机制综合循环结果并选择最优路径。

## 1 基于贝叶斯决策的无人机飞行路径自动规划方法设计

传统路径规划方法存在规划准确性较差的问题，为此基于贝叶斯决策算法设计无人机飞行路径自动规划方法。首先设计无人机飞行路径自动规划硬件模块，实现无人机飞行路径自动规划的功能运行，并结合基于贝叶斯决策的无人机飞行路径自动规划流程，确定贝叶斯先验概率，据此从预测距离和障碍节点数量两方面出发，获得精准的备选节点预测区域，计算飞行安全距离初步规划避障路线，计算后验概率，选定选择飞行区域内备选节点。最后通过 repeat 循环机制，综合循环结果，选取最优路径，实现无人机飞行路径的准确规划。

### 1.1 无人机飞行路径自动规划模块设计

无人机飞行路径自动规划模块主要有 4 个部分，分别是自动规划模块、动画演示模块、地图导航模块和数据导出模块，如图 1 所示。

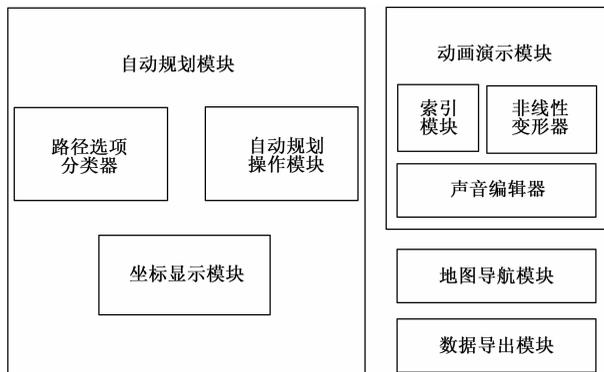


图 1 无人机飞行路径自动规划模块

由图 1 可知，在自动规划模块中设置操作按钮，负责控制无人机飞行；动画演示模块负责展示飞机飞行路线；地图导航模块负责为无人机飞行路径规划提供精准定位数据；数据导出模块负责导出并保存相关数据。

#### 1.1.1 自动规划模块

按照无人机航路的要求，自动规划模块主要是由自动规划的路径选项分类器、自动规划的操作模块、坐标显示模块组成的，其中路径选项分类器在选择航路时，分别按 4 个按钮进行设置，分别控制起点、终点、落脚点、禁飞区；自动规划的操作模块包含了 3 个按钮，分别是规划按钮、优化按钮、演示按钮；坐标显示模块主要显示了场景坐标、起点坐标和终点坐标<sup>[5]</sup>。在开始和结束时，单击显示区域的开始和结束按钮，威胁点和禁止按钮来确定威胁区域和禁飞区，然后，通过操作旧按钮来制定路径规划的自动规划选项模块，生成黑色的路线图，并通过新按钮生成新的航行路线图。自动规划模块结构示意图如图 2 所示。

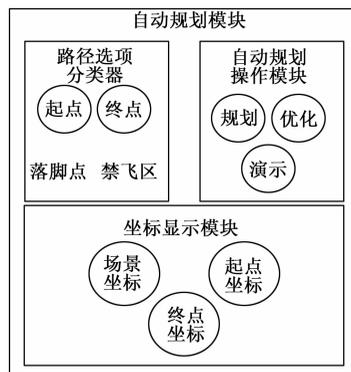


图 2 自动规划模块结构示意图

#### 1.1.2 动画演示模块

动画演示模块主要负责显示初始航迹和优化航迹的两个航迹，通过按动视图按钮，即动画演示按钮，将看到一架小型模拟飞机按计划飞行。模拟小飞机不仅能在初始飞行路径飞行，而且能在优化后的最佳飞行路径飞行。这种生动、直观的动画演示模式，使优化航迹更加清晰准确<sup>[6]</sup>。

动画演示模块主要包括索引模块、非线性变形器、声音编辑器，其中索引模块支持跨平台操作，具有多线程设计，支持大量用户访问；非线性变形器的控制柄显示在动画场景中，节点将列在通道盒内，这些节点包括控制柄节点和弯曲变形器节点<sup>[7]</sup>。使用显示操纵器工具，为动画演示提供交互编辑功能；声音编辑器包括声卡、调音台和混音器，使用 240PRO 型号的 LEWITT 声卡，如图 3 所示。

如图 3 所示，声卡结构包括输入/输出系统、电池、插座、芯片、接口等。声卡结构中的芯片组负责从各个模块中提取声音信号，通过 AD 转换器，将声音信号转换为数字形式。采用复用数字信号处理器处理语音指令，不仅减轻了 CPU 的工作负荷，同时也提高了执行速度。

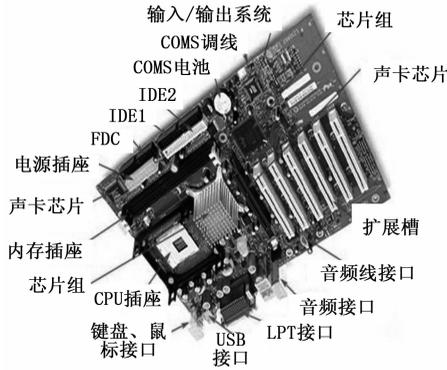


图 3 LEWITT 声卡结构

### 1.1.3 地图导航模块

地图导航模块是基于单片机体系结构特性设计的，采用超低功耗、体积小巧的 GNSS 芯片，具有超高的灵活性<sup>[8]</sup>。接收端采用 UBX 或 NMEA 协议，通过串口将射频信号发送到天线的输入端，并提供位置、速度、时间等信息。

LS-TM8N 地图导航模块如图 4 所示。

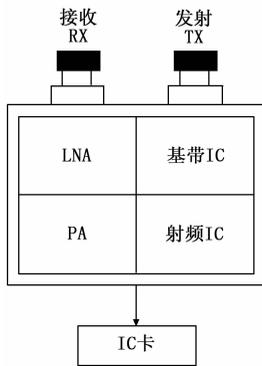


图 4 LS-TM8N 地图导航模块

由图 4 可知，显示在主地图上的地图范围在导航窗口位置发生变化时也发生变化，为实现这一目标，最重要的一步是在导航窗口中将数据与中间主地图显示区域中的数据对齐。

### 1.1.4 数据导出模块

在航路规划设计中，航路规划路线、航路起始点、地图威胁点等信息会在主图中显示，数据导出模块以 bmp 格式图片文件的形式对这些信息导出并保存<sup>[9]</sup>。当航路规划完成后，想要对需要保存的路线图生成纸张，可单击位于自动路径规划界面的右上方的 SaveButton，通过点击此按钮，就会将数据信息进行保存。

## 1.2 贝叶斯决策原理

贝叶斯法解决了传统遗传算法在交叉、变异等方面存在的问题，通过贝叶斯网分析种群质量，利用贝叶斯网中的参数反映染色体与基因的关系程度，利用贝叶斯网的演化规律，利用贝叶斯优化算法更新无人机飞行规划路线<sup>[10]</sup>。

贝叶斯决策原理为：

利用多种选择机制，从当前规划路线中选取最佳规划路线。基于数据信息，使用后验概率的贝叶斯元胞蚁群算法计算最佳规划路线；利用计算结果，联合赋值产生新的个体集合。经过以上步骤反复执行直至达到获取最佳规划路线为止，该方法的终止条件可为运行到某个代次、群体中存在足够多的解<sup>[11-13]</sup>。

### 1.3 路径规划方法

进行路径规划时，根据贝叶斯决策原理，结合贝叶斯元胞蚁群算法，对无人机飞行路径进行规划，详细步骤如下。

#### 1) 确定贝叶斯先验概率：

在贝叶斯元胞可以飞行区域  $N_1(S_n)$  内，依据导出的数据，确定备选节点概率，该概率即为最优路径选择中的先验概率，公式为：

$$p_h = \frac{T_h}{\sum_{i \in N_1(S_n)} T_i} \quad (1)$$

式 (1) 中， $T_h$  表示贝叶斯元胞可以飞行区域  $N_1(S_n)$  内的信息素。

#### 2) 确定贝叶斯元胞备选节点条件概率：

设预测半径为  $RR$ ，构造预测区域  $RD$ ，对于元胞邻居可行区域  $N_1(S_n)$  内的任意一个备选节点  $W_i$ ：

$$RD(W_i) = \{ \text{dot} \mid \text{dist}(W_i, \text{dot}) < RR, \text{Angle}(n) > 100^\circ, \text{dot} \in L \} \quad (2)$$

式 (2) 中， $\text{Angle}(n)$  表示不同备选节点间的夹角，该夹角最大值为  $80^\circ$ 。备选节点的预测区域，如图 5 所示。

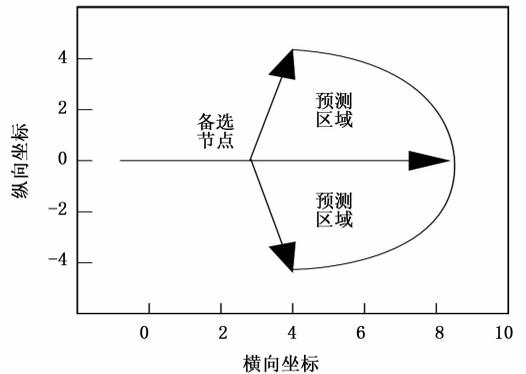


图 5 备选节点的预测区域

由图 5 可知，对于备选节点预测区域的确定需从两个方面考虑，分别是预测距离和障碍节点数量。其中预测距离指的是无人机到达目标位置的距离和无人机与障碍物位置的距离；障碍节点指的是无人机可以飞行区域内出现的障碍目标。结合上述两个方面内容，可以获取精准备选节点预测区域<sup>[14-16]</sup>。

#### 3) 避障规划：

为了防止避障失败，无人机需要一定的飞行安全距离，这里设定为  $D_0$ ，针对无人机和障碍节点的距离，定义条件概率：

$$f(W_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } Num(W_i) = 0, \\ 0 & \text{if } dist(W_i, obstacle) \leq 0 \\ \min\{dist(W_i, obstacle) - D_0, 1\} & \text{if } dist(W_i, obstacle) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) 中,  $mindist(W_i, obstacle)$  表示备选节点和障碍物之间的距离, 该距离值越小, 说明条件概率值越小。通过对上述全部数据进行归一化处理, 能够得到贝叶斯元胞可以飞行区域内的条件概率<sup>[17]</sup>, 计算公式为:

$$P(G | W_i) = \frac{f(W_i)}{\sum_{i \in N_i(S)} f(W_i)} \quad (4)$$

式 (4) 中,  $G$  表示规划事件;  $P(W_i | G)$  表示后验概率。根据规划路径找到最优解后, 可以在所选择的预测区域内寻找备选节点, 由此得到全局最优解, 该解中包含了所有节点概率评估结果<sup>[18]</sup>。

4) 确定贝叶斯元胞备选节点后验概率:

贝叶斯元胞备选节点后验概率, 计算公式为:

$$P(W_i | G) = \frac{P(W_i)P(G | W_i)}{\sum_{i \in N_i(S)} P(W_i)P(G | W_i)} \quad (5)$$

式 (5) 中的  $W_i$  指的是依照事先规划好的路线, 通过后验概率选择无人机在可以飞行区域内的备选节点。

5) 更新无人机飞行信息:

详细步骤如下。

1) 该方法首先对地图区域进行矩形设置, 将其网格离散化, 然后利用灰度矩阵  $H$  和信息素矩阵  $IM$  建立相应的网格;

2) 设定无人机飞行规划模拟批次数量为  $m$ , 同批次数量为  $m_0$ 。

3) 批次循环开始 for ( $i=1:m$ );

4) 同批次内无人机的循环开始 for ( $j=1:m_0$ );

5) 使用 repeat 循环机制, 确定当前无人机可以飞行的区域, 由此确定备选节点的先验概率、条件概率和后验概率。为了完成蚂蚁移动, 在无人机到达目标节点之前, 对其进行抽样, 完成重复循环。

6) 同批次无人机的循环结束, 确定  $m_0$  条路径并按照距离最短选择局部最优路径;

7) 在圈形轨迹识别完成之后, 剔除局部最优路径;

8) 在下一批无人机模拟航行中使用优化后的局部最优路径更新信息;

9) 飞行批次  $m$  循环结束, 综合  $m$  次飞行模拟结果选取最优路径。

综上所述, 能够得出无人机飞行路径自动规划流程, 如图 6 所示。

## 2 实验结果与分析

为了验证基于贝叶斯决策的无人机飞行路径自动规划方法研究合理性, 在集成开发环境下进行试验验证分析。

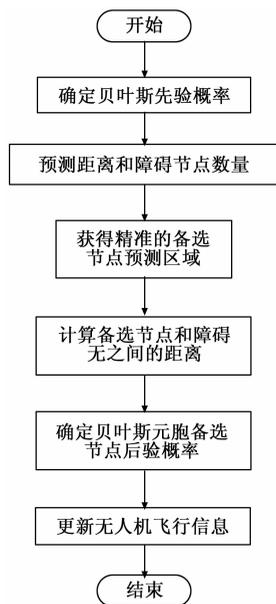


图 6 无人机飞行路径自动规划流程

### 2.1 数据分析

在集成开发环境下, 划分区域单元格, 并将其划分为可飞行和不可飞行两种, 其数据展示结果如图 7 所示。

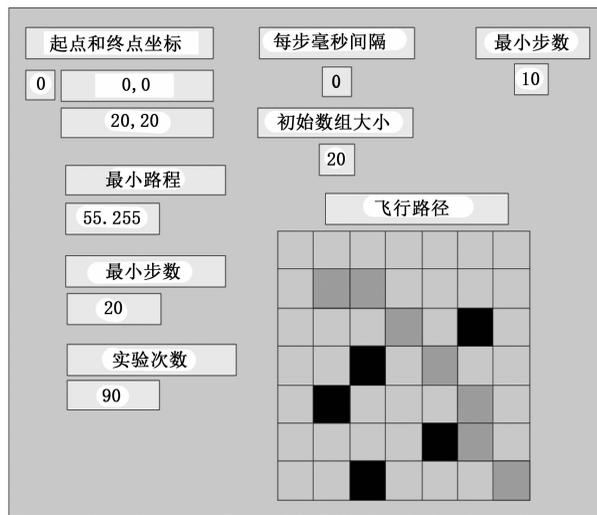


图 7 数据展示界面

由图 7 可知, 黑色单元格表示不可飞行, 蓝色单元格表示可飞行。

### 2.2 实验结果与分析

在实验数据支持下, 分别使用启发式搜索算法、蚁群算法和基于贝叶斯决策自动规划方法对比分析无人机飞行遇到静态或动态障碍物的避障能力。

#### 2.2.1 静态障碍物

3 种方法遇到静态障碍物的避障能力, 对比结果如 8 所示。

由图 8 可知, 使用启发式搜索算法遇到了两个障碍物, 使用蚁群算法遇到了一个障碍物, 使用基于贝叶斯决策自

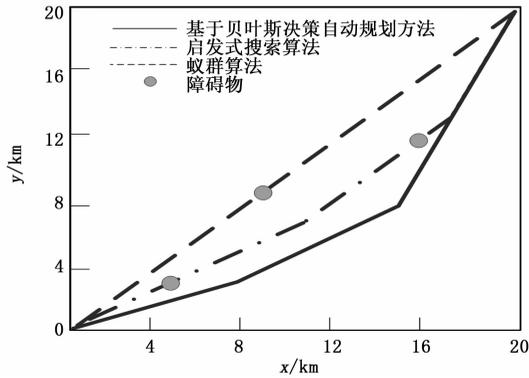


图 8 3 种方法静态障碍物避障能力对比分析

动规划方法没有遇到障碍物。上述实验结果表明, 基于贝叶斯决策自动规划方法能精准规避静态障碍物, 无人机飞行路径规划的准确性较好, 避障性能优。

### 2.2.2 动态障碍物

3 种方法遇到动态障碍物的避障能力, 对比结果如 9 所示。

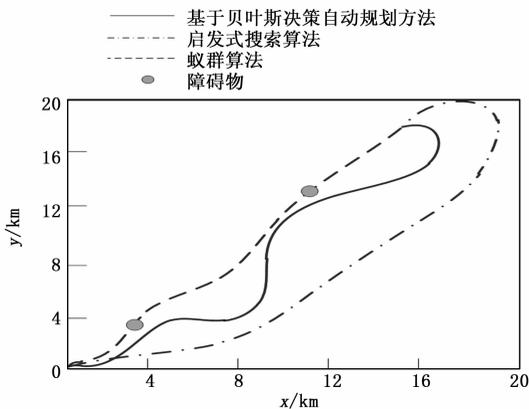


图 9 3 种方法动态障碍物避障能力对比分析

由图 9 可知, 使用启发式搜索算法没有障碍物, 但飞行路线较远, 使用蚁群算法遇到了两个障碍物, 使用基于贝叶斯决策自动规划方法没有遇到障碍物。实验结果表明, 基于贝叶斯决策自动规划方法能精准规避动态障碍物, 无人机飞行路径规划的准确性较好, 避障性能优。由于贝叶斯决策算法能够通过先验概率和后验概率规划无人机飞行路径, 结合贝叶斯元胞蚁群算法获取最优路径, 因此该方法的避障能力较好。

通过上述分析结果可知, 基于贝叶斯决策自动规划方法, 无人机飞行路径自动规划效果较好, 无论是遇到静态障碍物, 还是动态障碍物, 都能良好避障。

## 3 结束语

在贝叶斯决策下实现了无人机飞行路径的自动规划, 优化后的航迹使无人机飞行更加精准可靠, 确保任务的顺利完成。实验结果表明, 该方法对静态障碍物及动态障碍物的避障能力均较好, 能够准确捕获避障信号, 实现障碍

物自动规划。因为实际的路径规划通常包含多个目标节点, 所以多目标路径规划更有实际意义。采用贝叶斯决策方法对多目标路径规划进行了优化研究, 同时对同一批执行不同任务的目标节点进行了路径规划, 使路径规划更具有合理性。

### 参考文献:

- [1] 李寰宇, 陈延龙, 张振兴, 等. 基于 Dubins 的无人机自动避障路径规划 [J]. 飞行力学, 2020, 38 (5): 44-49.
- [2] 郭一聪, 刘小雄, 章卫国, 等. 基于改进势场法的无人机三维路径规划方法 [J]. 西北工业大学学报, 2020, 38 (5): 977-986.
- [3] 关启学, 姜月秋. 基于多任务执行的无人机编队路径重构仿真 [J]. 计算机仿真, 2020, 37 (7): 368-372.
- [4] 蒋莎, 刘学文, 叶家君. 基于蚁群算法的无人机任务规划优化模型研究 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2019, 36 (1): 6-12.
- [5] 湛海云, 陈华胄, 刘强. 基于改进人工势场法的多无人机三维编队路径规划 [J]. 系统仿真学报, 2020, 32 (3): 414-420.
- [6] 张哲璇, 龙腾, 徐广通, 等. 重访机制驱动的多无人机协同动目标搜索方法 [J]. 航空学报, 2020, 41 (5): 220-232.
- [7] 李文广, 孙世宇, 李建增, 等. 无人机航迹规划中动态威胁评估方法 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44 (2): 50-53.
- [8] 张敏, 何莉, 薛淑枝. 情景模拟联合 LBL 教学法在护理教学人员培训中的应用路径 [J]. 饮食保健, 2020, 7 (30): 160-161.
- [9] 光明, 鄂爱东, 钱凤阳, 等. 基于三维激光扫描技术的输电线路无人机巡检方法分析 [J]. 内蒙古电力技术, 2019, 37 (1): 21-24.
- [10] 刘永琦, 徐丹, 程归, 等. 基于改进 A\* 算法的无人机快速轨迹规划方法 [J]. 飞行力学, 2020, 38 (2): 40-46.
- [11] 李壮, 胡基平, 高郭平, 等. 不同潮流时段船舶靠泊作业风险贝叶斯决策模型 [J]. 上海海事大学学报, 2020, 41 (1): 60-66.
- [12] 代进进, 李相民, 薄宁, 等. 基于模型预测控制的无人机避障路径规划方法 [J]. 火力与指挥控制, 2020, 45 (1): 114-119.
- [13] 唐立, 郝鹏, 张学军. 基于改进蚁群算法的山区无人机路径规划方法 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19 (1): 162-168.
- [14] 张顺, 赵玉金, 白永飞, 等. 基于低空无人机的草原灌丛遥感辨识方法 [J]. 热带地理, 2019, 39 (4): 36-44.
- [15] 戚茜. 不确定环境下融合语义的无人机编队协同控制研究 [J]. 计算机应用与软件, 2020, 37 (6): 82-88.
- [16] 赵克新, 黄长强, 魏政磊, 等. 改进决策树的无人机空战态势估计 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51 (4): 72-79.
- [17] 彭孝东, 兰玉彬, 胡洁, 等. 农用小型无人机转弯掉头模式及全区域覆盖下作业路径规划与优化 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40 (2): 117-123.
- [18] 何金, 丁勇, 杨勇, 等. 未知环境下基于 PF-DQN 的无人机路径规划 [J]. 兵工自动化, 2020 (9): 15-21.