

# 基于遗传算法的 UAV 自适应航迹规划<sup>①</sup>

王 琪, 马 璐, 邓会亨

(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

**摘 要:** 根据遗传算法与动态的稀疏 A\*搜索(Dynamic Sparse A\* Search, DASA)算法各自的特点, 提出一种组合优化算法来实现在不确定战场环境中自适应航迹规划. 在无人机(UAV, Unmanned Aerial Vehicles)飞行前, 采用全局搜索能力强的遗传算法进行全局搜索, 对从起始点到目标点的飞行航线进行规划, 生成全局最优或次优的可行参考飞行航线; 在无人机任务执行阶段, 以参考飞行航线为基准, 采用 DASA 算法进行在线实时航迹再规划. 仿真结果表明, 与遗传算法相比, 该组合算法不但能生成近似最优解, 而且能够满足在线实时应用的要求.

**关键词:** 航迹规划; 遗传算法; 动态稀疏 A\*算法(DASA); 实时航迹再规划

## Adaptive Path Planning of the UAV Based on Genetic Algorithm

WANG Qi, MA Lu, DENG Hui-Heng

(College of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** According to the characteristics of genetic algorithm and the Dynamic Sparse A\* Search (Dynamic Sparse A\* Search, DASA) algorithm, this paper puts forward a combinational optimal algorithm fulfilling adaptive path planning in flying environment with unknown threat. Before flight, the ground station adopt genetic algorithm which possess the powerful ability of global search to realize Universal Search, we proceed programme from the starting point to the target point to generate the global optimal or suboptimal feasible reference airline. When the UAV is executing fly missions, DASA algorithm is used for on line route re planning based on the reference flight line as the benchmark. The simulation results show that compared with the genetic algorithm, the combined algorithm cannot only produce an approximate optimal solution, but also meet the requirements of real-time online application.

**Key words:** route planning; genetic algorithm; dynamic sparse A\* algorithm (DASA); real-time route re-planning

## 1 引言

UAV 航迹规划<sup>[1,2]</sup>是指在一定规划环境下, 综合考虑 UAV 到达时间、燃料消耗、威胁、飞行任务及 UAV 机动性能等约束条件下, 为 UAV 规划出一条最优或次优可行飞行航迹, 它是无人机任务规划系统的关键技术, 是确保无人机提高作战效能, 圆满完成侦查任务, 有效实施远程精确打击的有效手段, 也是无人机实现自主控制, 智能飞行的技术保障. 无人机的迅猛发展和广泛应用给航迹规划技术提出了更高的要求, 因此, 无人机航迹规划技术备受全球的广泛

关注.

UAV 航迹规划的核心内容是选择满足一系列约束条件的最优航迹, 即选择满足实际应用要求的规划算法. 常用的规划算法主要采用<sup>[3]</sup>动态规划法、启发式 A\*搜索算法、D\*算法、遗传算法、蚁群算法、神经网络法、模拟退火算法、粒子群算法等. 各种算法都有各自的优缺点, 但现有的规划算法无论在航迹的有效性、可靠性还是规划的实时性等方面都难以满足现代战场不断变化的任务要求, 然而通过算法的组合可能形成高效、鲁棒性更好的新算法.

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-06-18;收到修改稿时间:2012-08-13

## 2 GA+DASA算法

### 2.1 问题描述

在现代战争中, 战场环境条件复杂多变及任务不确定性等情形下, 预先规划好的最优航迹在任务执行时可能因为环境的变化不再适用; 且在实际航迹规划过程中, 需要考虑 UAV 的机动性能、飞行任务、地形高程、障碍、威胁等多种因素, 要建立能够包含所有这些因数的代价函数也是很困难的; 要解决这个问题, 主要有三种方法: 一种是在预先规划出的多条航迹中根据需要临时选择合适的飞行航迹; 一种是在线实时航迹再规划<sup>[4]</sup>; 一种是进行实时航迹规划。

遗传算法作为一种全局的优化算法, 通过迭代过程不断循环寻求近似最优解, 但需要较长的收敛时间, 一般不适合用于实时规划<sup>[5]</sup>; 而 DASA 算法能够在遇到预先未知威胁时进行在线实时航迹再规划<sup>[6]</sup>, 并能够保证航迹的完整性及最优性, 具有较强的局部搜索能力, 并能使搜索过程最终摆脱局部搜索, 但对整个搜索空间的把握能力不强。

因此, 本文采用第二种方式, 提出将遗传算法与 DASA 算法进行有机结合, 充分利用遗传算法的全局规划能力和 DASA 算法的局部规划能力以满足实时规划的要求。

### 2.2 实现方案

#### 2.2.1 总体结构

UAV 航迹规划的总体结构如图 1 所示, 整个工作过程可分为两个阶段: 离线地面整体航迹规划与在线实时航迹再规划。离线地面整体航迹规划是在 UAV 飞行前进行, 依据预先确定的各种地形、障碍、威胁、飞行任务等环境信息, 通过遗传算法在整个规划空间中规划出满足连通性的引导点集并根据引导点集规划出从起始位置到目标位置的局部规划连通域, 规划满足要求的最优初始航迹, 然后 UAV 沿着该航迹飞行同时探测环境信息; 在线实时航迹再规划是在 UAV 飞行过程中进行, 若发现新威胁, 综合当前的飞行状态和实时侦察到的实时威胁信息, 通过 DASA 算法对离线得到的参考航迹进行局部实时修正, 在连通域内规划出满足要求的可行最优航迹; 将获取到的实时航迹传送到飞控系统, 完成飞行任务, 实现威胁的有效回避。

#### 2.2.2 引导点集

为解决 DASA 算法陷入局部搜索的问题<sup>[6]</sup>, 利用

遗传算法在整个规划空间中规划出含有引导点的初始航迹, 初始航迹由起始点、目标点和一系列引导点组成, 起始点、引导点和目标点之间用直线相连; 通过在起始点和目标点之间插入一系列引导点从而解决匹配区约束和绕过威胁区的问题, 在起始点、引导点和目标点之间利用 DASA 算法进行分段规划。

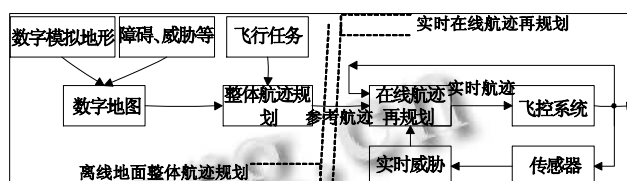


图 1 整个航迹规划系统结构

起始点和目标点之间的航迹分段规划策略可以用如下公式表示:

$$Z = \sum_{i=0, j=i+1}^k z(G_i, G_j) \quad (1)$$

其中,  $Z$  表示规划出的最终航迹;  $z(G_i, G_j)$  表示引导点之间的航迹;  $k$  表示引导点的个数;  $G_0$  表示起始点,  $G_{k+1}$  表示目标点,  $G_i (i=1, 2, \dots, k)$  表示第  $i$  个引导点。引导点  $G_i (i=1, 2, \dots, k)$  并不和起始点和目标点一样是 UAV 必须经过的位置, 引导点的设置可以比灵活。DASA 在规划到第  $i$  个引导点附近时, 如果 UAV 与第  $i$  个引导点之间的距离小于设定的阈值, 就可以直接向第  $i+1$  个引导点规划。在分段规划中 DASA 的代价函数不再是统一的, 而是分段不同, 因为每一段航迹中的起始点和目标点变成了  $G_i$  和  $G_{i+1}$ 。如图 2 所示, 原始规划顺序是“Start->Target”, 加入引导点后规划出两种顺序: 第一种规划顺序为“Start->A->B->Target”外, 还有“Start->C->D->E->Target”, 即采用 DASA 算法获得两条航迹。

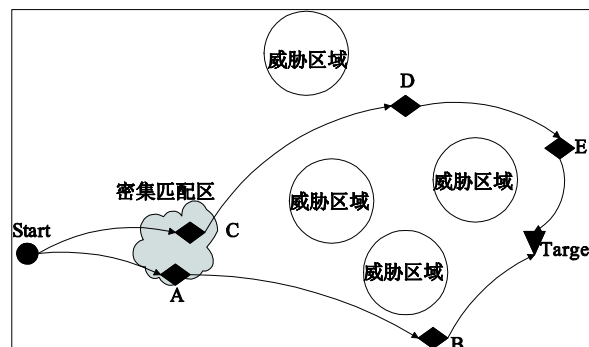


图 2 插入引导点集规划出多条航迹

### 2.2.3 染色体结构

基因编码采用文献<sup>[7,8]</sup>中的变长基因编码方式<sup>[9]</sup>得到最后的引导点集,如图 3 所示,个体的每一引导点不仅包含该引导点的坐标空间信息,还包含状态变量  $b_i$ ,它记录该引导点是否可行,即是否满足约束条件;连接该引导点与下一个引导点之间航迹段是否可行.当且仅当一条航迹所有引导点以及所有航迹段都可行时,该航迹才是可行的.

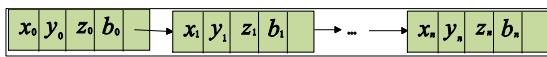


图 3 染色体结构

### 2.2.4 适应度函数

适应度函数不仅要考虑航迹的飞行代价,还要考虑航迹是否可行<sup>[10]</sup>.可按以下步骤进行:第一,考察航迹的可行性,即判断该航迹是否违背航迹约束条件.本文所考虑的约束条件主要有航迹最长距离、无匹配飞行最长距离和是否经过威胁区;第二,如果航迹是可行则继续计算其代价. GA+DASA 算法采用以下适应度函数<sup>[5]</sup>:

$$C(z) = w_1 \cdot k + \sum_{i=1}^n (w_2 \cdot l_i + w_3 \cdot p_i + w_4 \cdot q_i + w_5 \cdot f_{TAi}) \quad (2)$$

其中,  $k$  为该航迹中引导点的个数;  $l_i$  为第  $i$  段航迹段的长度,该项主要用于控制该航迹段偏离起始点与目标点间连线的程度;  $p_i$  为第  $i$  段航迹段的无匹配区飞行距离;  $q_i$  控制第  $i$  个引导点的匹配区丰富程度,目的是使航迹选择通过匹配区更丰富的区域;  $f_{TAi}$  为第  $i$  段航迹段的威胁指数,它的目的是使航迹选择通过威胁最小的区域.  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  为分别为航迹引

导点个数,航迹段长度,无匹配区飞行距离,引导点的匹配区密集程度,威胁指数所对应的加权系数.

### 2.2.5 DASA 算法实时航迹再规划搜索

DASA 算法在节点扩展过程中,采用与 SAS 算法中的“稀疏化”思想,使得搜索速度大大加快.在搜索过程中, DASA 算法并不需要遍历该区域内的每一个位置,只考虑其中若干个扇面.给定起始点  $S$ , 目标点  $T$ , 已搜索到的从起始点  $S$  到当前点  $c$  的最小代价路径,最大拐弯角  $\theta$ , 最大航迹距离  $L$ , 那么当前节点  $c$  在飞行路线图上的可达领域点集合只包括  $c$  的领域点集合中有限数量的节点.

$$K(c) = \{n \in N(c) | \theta_{c,n} - \theta_{c,in} \leq \theta, D(c) + S \cdot L(c) \leq L\} \quad (3)$$

式中,  $\theta_{c,n}$  为  $(c,n)$  的水平倾角;  $\theta_{c,in}$  为当前路径上  $c$  的水平进入角;  $D(c)$  是当前路径上从起始位置到  $c$  的实际距离;  $S \cdot L(c)$  为从  $c$  到目标位置的直线距离.

UAV 沿着初始参考航迹飞行,当探测到参考航迹前进方向存在新威胁时,将威胁覆盖区域的航迹节点及其所有后代节点删除,并将其父节点重新插入 OPEN 表,更新代价后继续搜索从起始点到目标点的最优航迹.重复执行上述操作直到到达目标位置则结束整个航迹规划. DASA<sup>[6]</sup>并不要求每次有新的信息都完整地重新规划航迹,而是保留未受影响的正确的航迹信息,通过局部的修正以获得全局最优航迹,因此可以大大减少计算量.整个航迹规划流程图如图 4 所示:

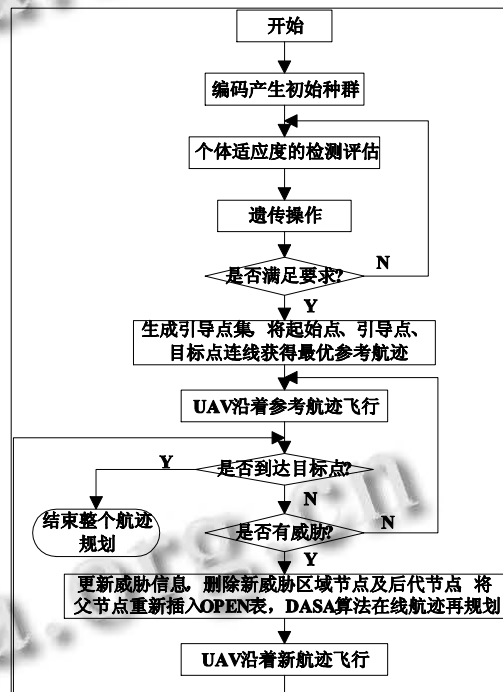


图 4 整个航迹规划流程图

## 3 仿真结果与分析

图 5 和图 6 分别表示利用 GA+DASA 组合算法进行在线航迹再规划的二维、三维仿真结果.其中枚红色航迹为预规划生成的初始参考航迹,黑色航迹为再规划生成的航迹.二维航迹规划仿真中,圆圈表示威胁覆盖范围;三维航迹规划仿真中,为了简化无人机航迹规划空间采用数字模拟地形,采用高斯模型构造山峰、威胁;稍高圆锥体表示山峰,稍低圆锥体表示威胁, Start 表示起始点, Target 表示目标点;在规划环境中四个威胁,其中有一个是预先未知的.

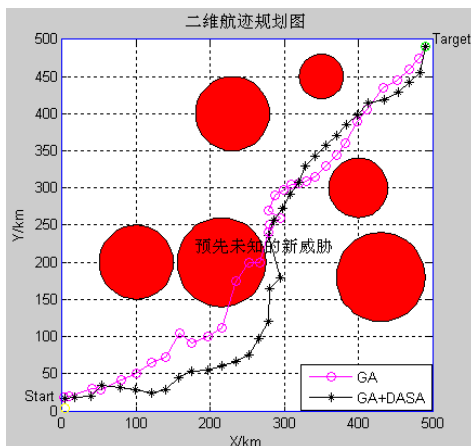


图 5 二维航迹规划图

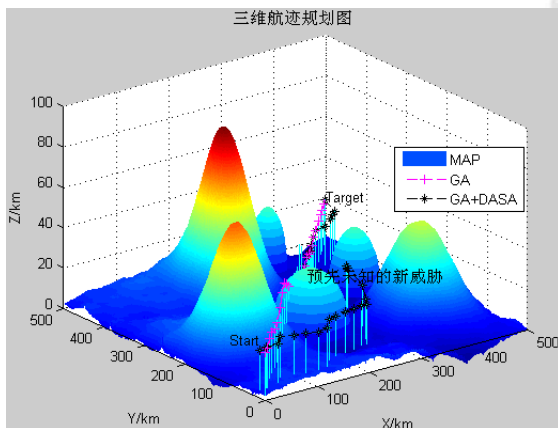


图 6 三维航迹规划图

UAV 起飞前, 事先采用遗传算法为无人机规划初始航迹, 即图中玫红色航迹; 飞行中, 遭遇新的威胁, 即图中新增加二维的圆圈及三维的山峰, 采用 DASA 算法进行局部修正, UAV 从初始航迹(玫红色航迹)转到新的航迹(黑色航迹)继续向目标前进直至完成飞行任务。

仿真结果表明, 采用遗传算法获取引导点集并规划出满足要求的最优参考航迹, 并不要求满足 UAV 飞行的所有复杂约束条件, 因此具有很高的计算效率; 并采用 DASA 算法在引导点集的引导作用下, 有效避免陷入局部搜索问题, 大大缩短了规划时间; 由图 5、

图 6 可知, 采用遗传算法与 DASA 算法有机结合的新算法能够有效实现动态变化的威胁的复杂环境条件下快速有效地规划出满足要求的可行、最优航迹。

#### 4 结论

当 UAV 执行任务时多次遇到预先未知威胁, 若每次都进行全局航迹规划, 将无法战场环境的实时应用要求同时需要极大的内存空间; 采用本文提出的 GA、DASA 组合算法快速有效, 不仅能够有效避开威胁区、禁飞区等不可飞区域, 而且能够在遇到预先未知威胁时进行实时航迹再规划, 能够满足实时在线的应用要求。

#### 参考文献

- 1 郑昌文, 严平, 丁明跃, 苏康. 飞行器航迹规划研究现状与趋势. 宇航学报, 2007, 28(6): 1441-1446.
- 2 闵昌万, 袁建平. 军用飞行器航迹规划综述. 飞行力学, 1998, 16(4): 14-19.
- 3 王维平, 刘娟. 无人飞行器航迹规划方法综述. 飞行力学, 2010, 28(2): 6-10.
- 4 严江江, 丁明跃, 周成平. 基于 K 均值聚类 and 遗传算法的多航迹规划方法. 火力与指挥控制, 2010, 35(3): 147-150.
- 5 赵锋, 杨伟, 王伟, 常楠. 基于组合优化算法的无人机航迹规划方法研究. 弹箭与制导学报, 2009, 29(2): 282-285.
- 6 郑昌文, 丁明跃, 周成平, 李春华. 一种飞行器在线航迹重规划算法. 华中科技大学学报, 2003, 31(2): 90-92.
- 7 Xiao J, Michalewicz Z, Zhang L, et al. Adaptive evolutionary planner/navigator for mobile robots. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 18-28.
- 8 严江江, 丁明跃, 周成平, 蔡超. 一种基于可行优先的三维航迹规划方法. 宇航学报, 2009, 30(1): 139-144.
- 9 李霞, 魏瑞轩, 周军, 李雪松, 张冲. 基于改进遗传算法的无人飞行器三维路径规划. 西北工业大学学报, 2010, 28(3): 343-348.
- 10 Michalewicz Z, Schoenauer M. Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems. Evolutionary Computation, 1996, 4(1): 1-32.