

文章编号:1005—0523(2007)04—0147—05

基于遗传算法的飞行器航迹规划研究

李思海,白存儒

(西北工业大学 航空学院,陕西 西安 710072)

摘要:针对飞行器航迹规划问题展开研究,提出了一种基于遗传算法的飞行器航迹规划方法.该算法采用一种变长实值基因编码方式和一组重新设计的与之对应的进化算子.仿真实验结果表明,该算法能够快速有效地完成航迹规划任务,获得较为满意的航迹,同时也能满足在线实时规划的要求.

关键词:航迹规划;约束条件;在线实时规划;遗传算法.

中图分类号:TP301

文献标识码:A

1 引言

航迹规划(Route Planning)是指在给定的规划空间内,寻找运动体从起始点到达目标点且满足约束条件和一定性能指标的最优或最可行轨迹.它的研究对象包括飞行器水面舰艇地面车辆以及机器人^[1].飞行器航迹规划就是指综合考虑飞行器机动性能、突防概率、碰地概率和飞行时间等约束因素下,寻找一条从起始点到目标点的最优或可行的飞行轨迹^[2].在防空体系日益完善的现代战争中,航迹规划是提高飞行器作战效能、实施远程精确打击的有效手段^[3].

遗传算法已经被证明是一种有效解决复杂问题的方法^[4,5],由于遗传算法不受搜索空间的限制性假设的约束,不必要求诸如连续性导数存在和单峰等假设,采用多点同时进行搜索,每次迭代通过交换和变异运算产生新的个体,不断扩大搜索范围,从而有效的避免了陷入局部最优解这个怪圈.近年来出现了很多基于进化计算或遗传算法的路径规划算法.但是将遗传算法和飞行器航迹规划结合在一起的还刚刚起步,而且由于飞行器航迹规划中约束条件的特殊性,往往需要综合考虑飞行器的机动性能,地形高程,障碍威胁以及飞行任务等多种因素,要建

立一种能包含所有这些因素的代价函数是有困难的.

本文提出了一种基于遗传算法的飞行器多航迹规划算法,该算法将遗传算法的思想和飞行器航迹规划问题有机的结合在一起,设计了一种新的基因编码方法和一组专门的遗传操作算子,不但能使生成的航迹能满足各种航迹的约束条件,而且能够根据规划环境自动的调节航迹的节点数目.符合在线实时应用的要求.

2 约束条件和航迹代价函数

在进行航迹规划时必须考虑飞行器的性能限制和具体的飞行任务要求.一般来说,航迹规划中生成的航迹应当满足以下约束条件^[6,7,8]:

最小航迹段长度:它限制飞行器从开始改变飞行姿态前必须直飞的最短距离.频繁的转弯和迂回将会增大飞行器导航误差.设第 i 段航迹长度为 l_i ,最小航迹段长度为 $l_{\min}$,约束可以表示为:

$$(l_{\min} - l_i) / l_{\min} \leq 0, (i = 1, 2 \dots n)$$

最大转弯角:该条件取决于飞行器的过载能力和飞行任务.在密集编队的情况下剧烈转弯将增大碰撞概率.设 α_i 为第 i 段航迹的向量. $\alpha_i = (x_i -$

收稿日期:2007—03—20

作者简介:李思海(1982—),男,安徽和县人,硕士研究生.

(Copyright © 2007 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}$ 的转, 设允许的最大转弯角为 ψ , 则该约束可以表示为:

$$\frac{\cos(\psi) - \frac{a_i^T a_{i+1}}{\|a_i\| \|a_{i+1}\|}}{\cos(\psi)} \leq 0, (i=2, \dots, n)$$

其中 $\|a_i\|$ 表示向量 a_i 的长度.

最大爬升/俯冲角: 设能够允许的最大爬升/俯冲角为 θ , 则该约束可以表示为: $\frac{|z_i - z_{i+1}|}{\|a_i\|} \leq \tan \theta$

最大航迹总长度: 最大航迹总长度为各段航迹长度的总和, 该条件取决于飞行器的物理性能的限制. 设最大航迹总长度为 l_{max} , 该约束可以表示为:

$$\sum_{i=1}^n l_i - l_{max} \leq 0$$

最大节点数: 航迹每增加一个节点, 飞行器就需要多转一次弯, 这将直接影响航程和导航精度. 设最大节点数为 N_{max} , 某条航迹的节点数为 n_i , 则该约束可以表示为:

$$\frac{n_i - N_{max}}{N_{max}} \leq 0$$

最低飞行高度限制: 假设第 i 段航迹的最低离地高度为 H_i , 最低飞行高度限制为 H_{min} , 则该约束可以表示为:

$$H_i \geq H_{min}$$

有效的目标进入方向约束: 从预先确定的方向接近目标, 这个约束条件通过初始化方向点和特殊设计的进化算子来实现. 在这里就不详述了.

上文所述的航迹约束可以分为两类, 一类是硬性的, 即一定要满足的, 例如最低飞行高度约束, 如果不满足, 就有可能造成机毁人亡的惨剧. 还有一些是软性约束, 不是一定要求满足, 比如航迹经过威胁区, 但是穿越将会增加航迹代价. 下面根据航迹是否经过指定区域为准则, 把航迹分为八类:

航迹分类	经过指定区	可行	不过威胁区	类别 A
			经过威胁区	类别 B
		不可行	不过威胁区	类别 C
			经过威胁区	类别 D
	不过指定区	可行	不过威胁区	类别 E
			经过威胁区	类别 F
		不可行	不过威胁区	类别 G
			经过威胁区	类别 H

对于不同类别的航迹, 其代价级别不同, 从 A → H 依次降低. 对于相同类别的航迹则需要通过计算代价来比较优劣.

有了上述分类方式, 我们在评价各类航迹的代

价时所侧重的方面就有所不同了, 例如对于 A、E 类航迹就着重考察航迹的长度, 而对于 B、F 类航迹就应该侧重考察其经过威胁区域的长度, 对于其他类航迹, 则主要考察其不满足硬性条件的程度——违背量.

用 L 表示一条航迹, 根据上文给出的航迹约束和分类策略, 下面给出分类代价函数 $f(L)$:

$$f(L) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n l_i & L \in \{A, E\} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_j} \partial * fl_{ij} & L \in \{B, F\} \\ Ctr - f(L) & L \in \{C, D, G, H\} \end{cases}$$

其中, ∂ 为航迹经过威胁区域的威胁系数, $Ctr - f(L)$ 为约束违背量, 具体的计算公式如下:

$$Ctr - f(L) = \beta_{lmin} * \sum_{lmin,i=1}^n \delta_{lmin,i} * C_{lmin,i} + \beta_{rmax} * \delta_{rmax} * C_{rmax} + \beta_b * \delta_b * C_b + \beta_{\alpha_i} * \sum_{\alpha_i=1}^n \delta_{\alpha_i} * C_{\alpha_i} + \beta_{lmax} * \delta_{lmax} * C_{lmax}$$

上式中 β 为各约束违背惩罚系数, $C_{lmin,i}$ 为最小航迹段长度约束违背量, C_{rmax} 为最大节点数约束违背量, C_b 为禁飞区约束违背量, C_{α_i} 为最小转弯角约束违背量, C_{lmax} 为最大航迹总长度约束违背量, δ_i 为乘数因子. 具体表述为:

$$C_{lmin,i} = (l_{min} - l_i) / l_{min} \quad (i=1, \dots, n)$$

$$C_{rmax} = (n_i - N_{max}) / N_{max}$$

$$C_b = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_j} fl_{ij}$$

3 基于遗传算法的航迹规划算法

在本文中, 我们设计了一种变长的实值基因编码方式, 如图 1 所示, 每一条染色体表示一条飞行航迹. 染色体的每一节点除了记录航迹节点的坐标 (x_i, y_i, z_i) 外, 还包含状态变量 b_i , 该变量记录如下信息: (1) 该节点是否可行, 即是否满足所有的约束条件, (2) 连接该节点与下一节点之间的航迹段是否可行. 当且仅当一条航迹的所有节点以及所有航迹段都可行时, 该航迹才是可行的. 因此, 种群中的染色体(航迹)可能是可行的, 也可能是不可行的.

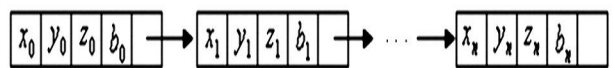


图 1 染色体结构图

初始种群可以随机的生成, 即他们的节点数和节点的坐标都是随机的. 染色体的最大长度(即航迹

中节点的最大数目)可作为预先确定的参数.需要注意的是所有航迹中的第一个和最后一个节点的坐标都是相同的,分别代表了飞行器的起始点和目标点.

由于本算法特殊的基因编码方式,常用的进化算子不再适用.下面给出几个新的算子,在本算法中,每个算子的使用概率预先给定.需要注意的是进化算子只能作用于航迹的中间节点.航迹的起始点和目标点不能变化.

1) 交叉算子:将两条染色体随机分割成两部分,然后将第一条染色体的前半部分和第二条染色体的后半部分组合,剩下的两部分再组合,生成两条新染色体.需要注意的是交叉的两条染色体长度可以不同,但不能选择在方向点处交叉.

2) 扰动算子:随机改变染色体中一个航迹点的坐标,在应用扰动算子时需要注意:对于指定区域内的点扰动后所得的新航迹点不能超过该区域的范围;对于可行航迹点在小范围内扰动以优化航迹,对于不可行航迹点可适当扩大扰动范围以期获得可行航迹.扰动后的航迹点可以是可行的也可以是不可行的.

3) 插入算子:在相邻两个航迹节点之间随机插入一个新的航迹节点,这将导致航迹节点增多.

4) 删除算子:随机删除染色体中的一个航迹节点,但是需要主意的是起始点、目标点、方向点和指定区域中的点不能删除.

5) 交换算子:交换任意两个相邻节点的先后顺序来达到减小转弯角的目的.该算子只作用于不可行航迹,如果两个相邻航迹节点处不满足最大转弯角约束,通过交换它们的顺序可能减小转弯角.如果两相邻节点处航迹转弯角越大,选择它们进行交换的几率就越大.

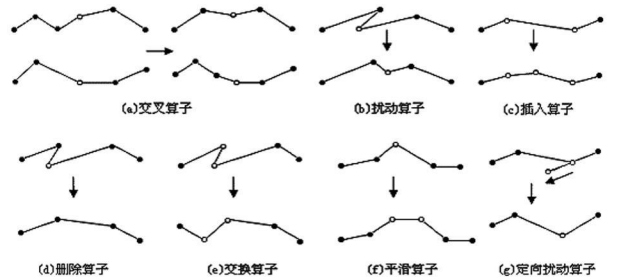


图 2 进化算子

6) 平滑算子:通过在航迹节点相邻的两个航迹段上分别插入一新节点然后删除原节点,以实现航迹中的尖角平滑化.某节点出航迹拐角越大,被选择做平滑操作的概率就越大.

7) 定向扰动算子:该算子仅对方向点进行操,通过将方向点沿目标进入方向移动,使其满足最短航迹段长度约束,另外该算子只能作用于不可行航迹.

图 3 是本算法流程图.在该算法中,每个染色体代表一条航迹,它是一系列的航迹节点生成的,航迹节点之间用直线连接.在初始化的时候,系统为飞行器随机生成大小为 P 的种群.对种群的所有个体计算其评价价值,然后将它们按评价价值从小到大排序.

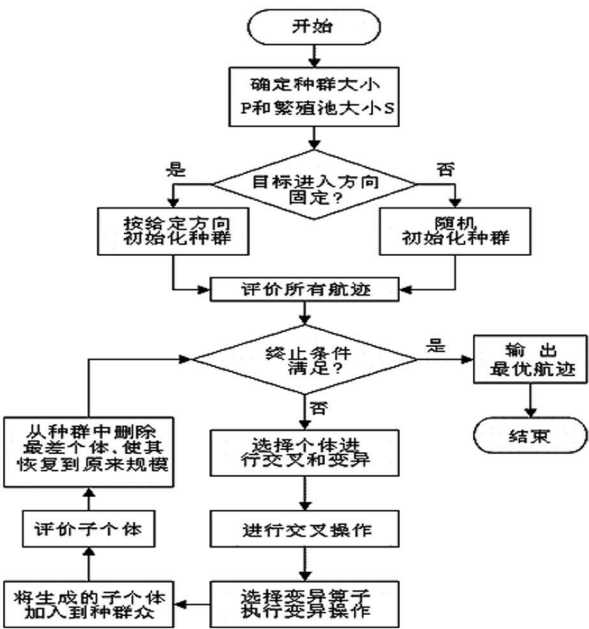


图 3 算法流程图

4 实验结果分析

我们对上述算法在 PC 机上进行了仿真实验,运行环境为 windows XP 平台,编程环境为 Visual C++ .NET. 在实验中相关参数设置如下:

1) 如果不做特别说明,飞行器的最大路径距离为起始点和目标点之间直线距离的 2 倍;

2) 所有进化算子以相同概率选取,即在需要固定的目标进入角时使用概率均为 $1/7$,进入角不作规定时使用概率为 $1/6$;

3) 最短直飞距离为 2 km;最大转弯角和最大爬升/俯冲角分别为 600 和 300;

4) 子种群大小为 100,每次取 30 个个体进行进化操作;

5) 染色体平均长度为 20,染色体最大长度为 30.即航迹最大节点数目小于等于 30;

6) 可行航迹的扰动概率为 0.5,不可行航迹的

扰动概率为 0.3,可行航迹删除概率为 0.001,不可行航迹删除概率为 0.002,插入概率为 0.3;

7) 可行航迹扰动范围为 200 m,不可行航迹扰动范围为 2 000 m;

表 1 仿真实验部分数据

实验	种群大小	威胁个数	类别数	循环执行次数	循环时间(s)	对应图像
实验 1	100	3	3	72	3.984	图 1
实验 2	100	5	2	95	4.273	图 2

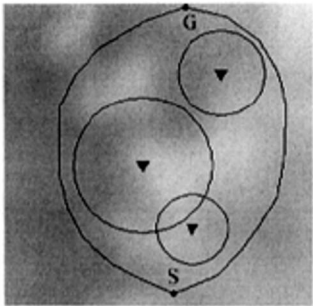
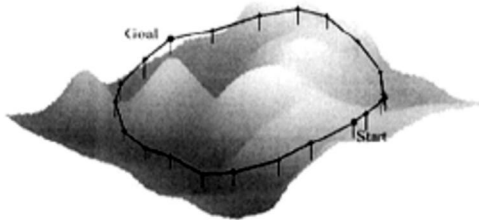


图 4 单目标两航迹规划平面图



航迹三维显示图 1

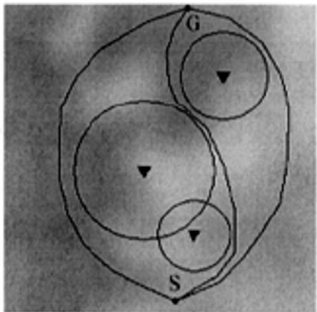
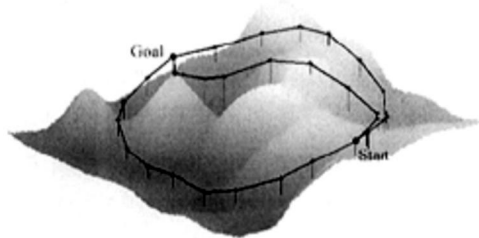


图 5 单目标多航迹规划平面图



航迹三维显示图 2

图 4 和图 5 分别为单目标两航迹图和单目标多航迹图,其中 S 点为目标的起始点,G 点为目标的到达点.以黑色三角形为圆心的圆为威胁覆盖区域.规划的结果显示该算法能够自动地避让环境中的威胁区域,找到相应的最小代价航迹,分别执行 72 次和 95 次循环迭代,耗时大约为 4 秒和 4.5 秒,基本满足了在线实时航迹规划的要求.

5 结论

本文提出了一种基于遗传算法的飞行器航迹规划方法,该算法通过采用一种变长的实值基因编码方式和为此专门设计的进化算子,能够快速的生成较优的航迹.大量的仿真实验结果表明,该算法快速有效,能够满足实时规划的需要.同时该算法是在三维空间进行航迹搜索,充分的利用了地形信息,规划出来的航迹能自动的实现威胁规避,在航迹最优性

和搜索的实时性上更高效.

参考文献:

[1] 唐强,张翔伦,左玲. 无人机航迹规划算法的初步研究[J]. 航空计算技术,2003,33(1):125—128.

[2] 严平,丁明跃,周成平,郑昌文. 飞行器多任务在线实时航迹规划[J]. 航空学报 2004,25(5):1—4.

[3] 高晖,陈欣,夏云程. 无人机航迹规划综述[J]. 南京航空航天大学学报,2001,33(2):35—38.

[4] T. Ishida, Moving target search with intelligence. In: The Proceedings of Tenth National Conference on Artificial Intelligence, 1992, 525—532.

[5] T. Ishida, R E. Korf. Moving target search. In: The Proceedings of the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1991, 204—210.

[6] Szczerba R J, Galkowski P, Clikstein. Robust algorithm for real-time route planning[J]. IEEE Trans aerospace and Electronic system 2000, 36(5): 869—878.

[7] 李春华,郑昌文,周正平,等. 一种三维航迹快速搜索方

法[J]. 宇航学报, 2002, 23(3): 13—17.

Francisco; Morgan Kaufmann, 1998.

[8] Nilsson N J. Artificial intelligence: a new synthesis[M]. San

The Research of Route Planning for Air Vehicle Based on Genetic Algorithms

LI Si-hai, BAI Cun-ru

(College of Aeronautic, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In the paper, the routes planning problem of aircraft is studied. A method based on Genetic Algorithms is introduced. In the new planner, concrete planning approaches are developed by using modified genetic algorithms with some new proposed operators. Some simulation experiment results show the effectiveness of the proposed planning approach. It also can get famous routes and satisfy the request of On-Line-Time Planning.

Key words: route planning; constraints; On-Line-Real-Time Planning; Genetic Algorithms.

(上接第 130 页)

[30] 韩敏芳, 王玉倩, 等. 流延成型制备 8YSZ 电解质薄片及其性能研究[J]. 北京科技大学学报, 2005, 4(2): 209—

212.

[31] Nelson, Charles Scott (Clio, MI), Chen, et al. Planar exhaust sensor element with enhanced geometry [P]. USA: 6562215, May 13, 2003.

The Introduction and Prospects of Planar Zirconia Automotive Oxygen Sensors

REN Ji-wen

(School of mechanical and Electronical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Increasing automobile market, stringent emission regulations and the status of relying on import make it imminent and important to develop perfect and reliable automobile oxygen sensors with independent property right. At present, for small size, fast light off, low power, easiness to integrate and operating stability in the rough environment, planar zirconia automotive oxygen sensors is the dominating products in the market. This paper introduces its structure, principle and developing trend.

Key words: planar oxygen sensor; zirconia; potentiometric oxygen sensor; limiting current oxygen sensor; dual cell oxygen sensor.