

基于云模型空空导弹攻击区的拟合方法^{*}

俞吉, 周德云, 周灿辉
(西北工业大学, 西安 710129)

摘 要 利用云模型随机性和稳定性的特点, 由 Y 条件云发生器生成交叉算子, 基本云发生器产生变异算子, 对传统遗传算法进行优化, 提出一种基于云模型的遗传算法空空导弹可攻击区拟合的新方法。通过对某型空空导弹攻击区的拟合计算表明, 该方法提高了攻击区的拟合精度, 降低了拟合多项式系数的数量, 减少了占用的计算机内存空间, 拟合结果具有较好工程应用前景。

关键词 空空导弹, 云模型, 遗传算法, 攻击区

中图分类号 : TJ015

文献标识码 : A

A Method for Approximating Allowable Attack Area for Air-to-Air Missile Based on Cloud_model

YU Ji, ZHOU De-yun, ZHOU Can-hui

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract : The cloud model has the properties of randomness and stable. Y -conditional normal cloud generator generates the cross operator and a basic normal cloud generator generates the mutation operator. A new method of approximating the allowable attack area for air-to-air missile cloud-model based genetic algorithm (CGA) is originally proposed. The simulation results show that the new method is effective, which has improved the accuracy of envelop and reduced the number of polynomial, save the memory. And the results are useful for practical application.

Key words air-to-air missile, cloud_model, GA, attack area

引 言

在现代航空火控系统中, 空空导弹可攻击区的确定占十分重要的地位^[1]。空空导弹可攻击区的最大距离 R_{\max} 、最小距离 R_{\min} 是载机的高度、速度, 目标的高度、速度、机动过载、目标进入角以及导弹的离轴角等初始条件的非线性函数, 运用传统的拟合方法达不到理想的精度^[2]。

文献[2]中提出了基于遗传算法的空空导弹可攻击区拟合方法, 取得了比一般的多元逐次回归拟合方法更好的可行性和更高的拟合精度。但是传统的遗传算法(TGA, Traditional Genetic Algorithm)的操作规则

是概率性而非确定性的。TGA 交叉点和变异位是随机产生的, 所以生成的下一代个体也是随机的, 即其进化的方向是随机的、不可控的, 也就是说 GA 是无记忆的, 以前的知识随着种群的改变而被破坏^[3]。因而 TGA 搜索速度慢, 容易陷入局部最优解。

针对以上问题, 本文提出一种基于云模型的遗传算法(CGA, Cloud_model_based Genetic Algorithm)空空导弹可攻击区拟合的方法, 该方法由正态云模型的 Y 条件云发生器实现交叉操作, 基本云发生器实现变异操作, 对空空导弹可攻击区进行拟合, 仿真表明该方法可行性好、拟合精度高、拟合模型的优化效果好。

收稿日期: 2012-06-18

修回日期: 2012-08-19

^{*} 基金项目: 航空科学基金资助项目(20080553019)

作者简介: 俞吉(1989-), 男, 浙江永康人, 硕士研究生。研究方向: 航空火力控制。

1 攻击区多项式拟合模型

本文采用的空空导弹可攻击区多项式拟合模型如下^[4]:

$$R_{\max \min} = \sum_{i=0}^n a_i * F_i(H_t, V_t, H_a, V_a, N_{th}, O_{bh})$$

式中 $R_{\max \min}$ 为最大(小)允许发射距离,函数中自变量分别为:目标的高度和速度,本机的高度和速度,目标水平面过载,导弹水平面离轴角。

对上述表达式可等价于:

$$R = \psi \cdot C$$

式中 R 为攻击区拟合数据库中所对应的导弹最大(小)允许发射距离, ψ 是由拟合多项式中的导弹攻击条件组合所成的 n 维列向量 $C = [c_0, c_1, \dots, c_n]^T$ 为被辨识的 n 个拟合系数组成的向量。

对于上述模型,可以得到递推最小二乘算法的迭代公式为:

$$\begin{cases} C_{N+1} = C_N + K_{N+1} \cdot (R - \psi \cdot C_N) \\ K_{N+1} = P_N \cdot \psi \cdot (1.0 + \psi \cdot P_N \cdot \psi^T)^{-1} \\ P_{N+1} = P_N - K_{N+1} \cdot \psi \cdot P_N \end{cases}$$

式中,下标 N 和 $N+1$ 表示在空空导弹攻击区拟合中用到的包线数量, C_{N+1}, C_N 是由需要被辨识的 n 个多项式拟合系数组成的 n 维列向量, R 为导弹的最大(小)允许发射距离的值, ψ 是由拟合多项式中空空导弹发射条件所构成的 n 维列向量, K_{N+1} 是 n 维列向量,为估计增益阵, P_{N+1}, P_N 是 $n \times n$ 维的矩阵,为估计误差方差阵。

2 攻击区 CGA 优化模型

2.1 云理论

云模型是用自然语言值表示的定性概念与其定量数据表示之间的不确定性转换模型,同时具有随机性和模糊性,它把二者有机集合在一起,为定性与定量相结合的信息处理提供了有力手段^[5]。

定义 1 设 T 为论域 X 上的语言值 μ 到 $[0, 1]$ 得映射关系 $C_T(u): u \rightarrow [0, 1]; \mu \rightarrow C_T(u)$, 则 $C_T(u)$ 在论域 u 上的分布称为隶属云,简称云^[6]。

云模型是一个遵循正态分布规律、具有稳定倾向的随机数集,用期望值 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e 3 个数值来表征(如图 1 所示)。

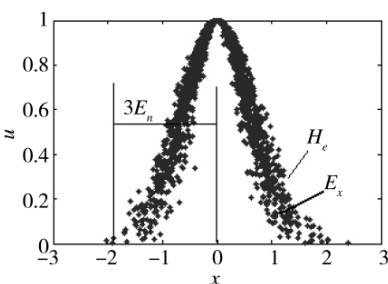


图 1 云模型的 3 个数字特征表示图

生成云滴的算法或硬件称为云发生器,本文相关的 3 个主要云发生器的算法如下^[6-7]:

2.1.1 基本的正态云发生器

输入: $\{E_x, E_n, H_e\}, n$

for $i = 1$ to n

$$E'_n = \text{randn}(E_n, H_e)$$

$$x_i = \text{randn}(E_x, E'_n)$$

$$\mu_i = \exp\left[-\frac{(x_i - E_x)^2}{2(E'_n)^2}\right]$$

$$\text{drop}(x_i, \mu_i)$$

输出: $\{(x_1, \mu_1), \dots, (x_n, \mu_n)\}$

2.1.2 X 条件云发生器

在给定云模型的 3 个数字特征值(E_x, E_n, H_e)以及论域 X 上特定的值 x_0 , 可以产生 X 条件下的云滴 $\text{drop}(x_0, \mu_i)$:

输入: $\{E_x, E_n, H_e\}, n, x_0$

for $i = 1$ to n

$$E'_n = \text{randn}(E_n, H_e)$$

$$\mu_i = \exp\left[-\frac{(x_0 - E_x)^2}{2(E'_n)^2}\right]$$

$$\text{drop}(x_0, \mu_i)$$

输出: $\{(x_0, \mu_1), \dots, (x_0, \mu_n)\}$

2.1.3 Y 条件云发生器

给定云模型的 3 个数字特征值(E_x, E_n, H_e)以及确定度 μ_0 , 可以产生 Y 条件下云滴 $\text{drop}(x_i, \mu_0)$:

输入: $\{E_x, E_n, H_e\}, n, \mu_0$

for $i = 1$ to n

$$E'_n = \text{randn}(E_n, H_e)$$

$$x_i = E_x \pm E'_n \sqrt{-2 \ln(\mu_0)}$$

$$\text{drop}(x_i, \mu_0)$$

输出: $\{(x_1, \mu_0), \dots, (x_n, \mu_0)\}$

2.2 基于 CGA 的攻击区拟合模型

在实际应用中,空空导弹攻击区的多项式拟合模型中只需取二次项即可达到较高的精度。这样得到的拟合多项式的项数为 28 项(包含一个常数项)。如果将进入角按 20° 间隔来进行采样,得到的浮点型拟合系数个数为 $2 \times 28 \times 360/20 = 1008$ 个,而对每一型号的导弹,若划分为以下 3 种情况(低、中、高空)进行拟合,则拟合多项式的系数就是 $3 \times 1008 = 3024$ 个。如此多的浮点型系数,会占用机载计

算大量的存储空间。运用 CGA 的目的就是要在满足一定精度要求的基础上寻找拟合项尽量少的优化模型,达到满足工程应用的需要。

本文所用的 CGA 算法采用实数编码,由云模型进行个体更新。CGA 结合 TGA 法思想,沿用 TGA 的交叉、变异操作概念,交叉算子由云模型的 Y 条件云发生器生成,变异算子由基本云发生器生成。利用云模型具有随机性、稳定性的特点,其中随机性可以保持种群的多样性,从而避免搜索陷入局部极值,而稳定性又可以保护较优个体,有利于搜索全局最优解。如图 2 所示为 CGA 基本流程。

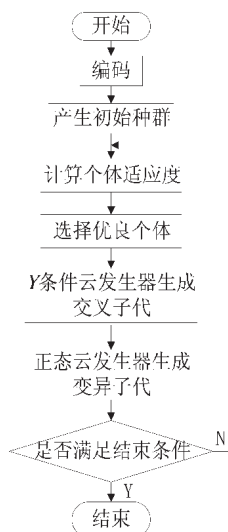


图 2 CGA 流程图

第 1 步 编码

本文首先采用二进制编码,字符串中每一位对应表示模型中各个因素项的保留和剔除。1 表示在模型中保留该项,0 表示在模型中剔除该项。然后再将二进制码转换为实数编码,在用云模型进行交叉和变异生成子代,进行个体更新。再将更新的个体(实数编码)转换为二进制编码,就能得到哪些变量保留,哪些变量剔除。

第 2 步 随机生成初始的种群

计算机随机地生成 p 个 27 位的二进制字符串作为初始种群,每个二进制字符串具体对应一个攻击区拟合模型。

第 3 步 计算个体的适应度

对每个二进制字符串采用递推最小二乘法得到一个拟合精度,即目标函数,进而计算该字符串的适合度值。

目标函数为:

$$f_i = \min\{1.0 + (P_{si} - P_{s0}), 1.0 + (\text{Num}_0 - \text{Num}_i) / 27\} > 1.0$$

式中 P_{si} 为第 i 个字符串对应的模型的精度, P_{s0} 为预先设定的要求达到的最低精度, Num_i 为第 i 个

二进制字符串对应模型的拟合项数, Num_0 为预先设定的要求不能超过的多项式最大项数。

第 4 步 种群的更新

(1) 选择: 根据 GGAP 代沟参数中设定的系数,选择优良的个体加入到种群中。

(2) 交叉:

由 X 条件云发生器随机生成确定度 μ

$$E_n = (F_{\max} - F_{\min}) / c_5$$

$$H_e = E_n / c_6$$

$$E'_n = \text{randn}(E_n, H_e)$$

$$\mu = \exp\left[-\frac{(F' - F_x)^2}{2(E'_n)^2}\right]$$

$$E_x = \frac{F_f}{F_f + F_m} x_f + \frac{F_m}{F_f + F_m} x_m$$

$$E_n = \text{变量搜索范围} / c_1$$

$$H_e = E_n / c_4$$

由算法 2.1.3 产生一对儿女

(3) 变异:

E_x 取原个体

$$E_n = \text{变量搜索范围} / c_3$$

$$H_e = E_n / c_4 \quad (\text{注 } c_{1-4} \text{ 为控制系数})$$

由算法 2.1.1 对选中的个体进行变异操作

其中 F_{\max} 和 F_{\min} 分别代表当代种群中全局“最大”和“最小”的适应度值, F' 为进行交叉操作的两个个体中适应度值的较大者, x_f 和 x_m 分别为交叉操作的父体和母体, F_f 和 F_m 则分别对应它们的适应度值。由上述中可知交叉操作的 E_x 由父母双方按适应度值的大小加权确定,同时向适应度大的一方靠拢。

可知,交叉操作实现了种群的整体进化,而变异操作则实现了染色体中某个基因在一定范围内进行突变。

第 5 步 循环

若不满足迭代结束条件,则返回第 3 步直至群体中的有满足预先设定性能的个体产生,即:

$$f_i = \min\{1.0 + (P_{si} - P_{s0}), 1.0 + (\text{Num}_0 - \text{Num}_i) / 27\} > 1.0$$

3 仿真分析

本文对某型空空导弹的可攻击区进行了拟合计算,拟合结果如下页图 3~图 5 所示。图 3~图 5 是在相同的发射条件下,采用不同的拟合方法得到的结果。

图 3 是选择了满足可逆条件的导弹包线,采用多因变量的多元逐次回归法的拟合结果,拟合模型的项数为 28 项,拟合精度(成功概率)为 78.4%。

图 4 是采用 TGA 的拟合结果,取初始种群的个

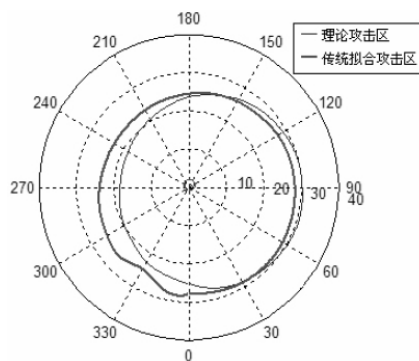


图3 多因变量多元逐次回归法

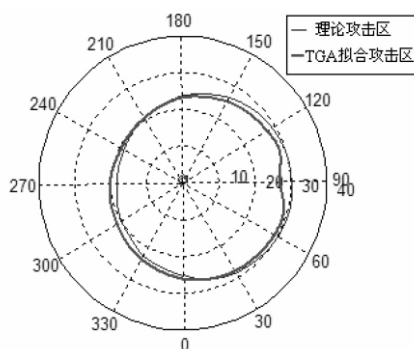


图4 基于 TGA 的拟合方法

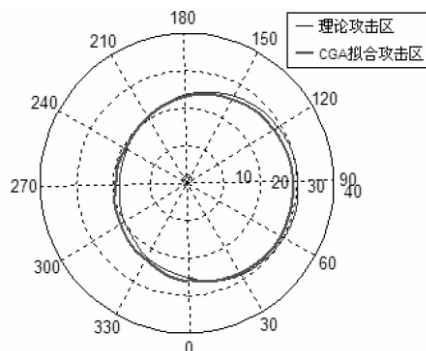


图5 基于 CGA 的拟合方法

个体数为 30 ,交叉概率 $P_c=0.7$,变异概率 $P_m=0.04$,结束条件为拟合精度不低于 90 % ,拟合模型多项式项数不大于 10 项。

图 5 是采用本文提出的基于 CGA 的拟合结果 取初始种群的个体数为 30 ,控制系数为 $c_{1,3}=90$, $c_{2,4}=10$, $c_{5,6}=2.8$, $c_{6,10}$,结束条件为拟合精度不低于 90 % ,拟合模型多项式项数不大于 10 项。

从表 1 可知 ,CGA 的拟合结果 ,面积概率精度明显高于传统拟合方法的精度 ,而且在拟合多项式数量上远小于传统拟合方法 ,大大减小占用的内存空间。

表 1 面积精度比较结果

方法名称	多项式数量	越界概率	失机概率	成功概率
多元逐次回归法	28 %	14.8 %	6.8 %	78.4 %
CGA	10 %	1.9 %	1.4 %	96.7 %

表 2 性能比较

方法名称	多项式数量	成功概率	平均耗时 /s
TGA	10	93.8	5.232
CGA	10	96.7	4.345

从表 2 可看出 ,CGA 和 TGA 在相同的迭代结束条件之下 ,最后的优化结果两者的多项式数量相同 ;CGA 平均成功概率略高 ,并且平均耗时小于 TGA。

综上所述 ,由 CGA 可得到空空导弹可攻击区的拟合优化模型为 :

$$R_{\max} = a_0 + a_1 H_a + a_2 V_a + a_3 V_t + a_4 O_{bh} + a_5 V_a N_{th} + a_6 H_a N_{th} + a_7 H_t V_t + a_8 H_a V_t + a_9 V_t^2$$

$$R_{\min} = b_0 + b_1 H_a + b_2 V_a + b_3 V_t + b_4 O_{bh} + b_5 V_a N_{th} + b_6 H_a N_{th} + b_7 H_t V_t + b_8 H_a V_t + b_9 V_t^2$$

4 结 论

针对攻击区拟合时 ,传统多元逐次回归拟合方法中存在矩阵求逆 ,不能对任意条件的弹道数据进行拟合 ,以及 TGA 收缩得速度慢 ,较容易陷入局部最优解的问题 ,提出一种基于 CGA 攻击区拟合的新方法。仿真结果表明 :该方法提高了空空导弹攻击区的拟合精度 ,降低了拟合多项式的数量 ,减少了占用的内存空间 ,拟合结果具有较好工程应用前景。

参考文献:

- [1] 陆彦,朱培申.航空火力控制原理[M].西安:西北工业大学出版社,1989.
- [2] 杜昌平,周德云.基于遗传算法的空空导弹弹道拟合方法[J].西北工业大学学报,2003,21(2):172-175.
- [3] 戴朝华,朱云芳.云遗传算法及其应用[J].电子学报,2007,35(7):1419-1424.
- [4] 王宏伦.空空导弹攻击区的高精度快速拟合[J].航空学报,1997,18(5):631-632.
- [5] 陈新海.最佳估计理论[M].北京:北京航空学院出版社,1979.
- [6] 李德毅,孟海军.隶属云和隶属云发生器[J].计算机研究与发展,1995,32(6):15-20.
- [7] 李兴生.基于云模型和数据场的分类和聚类挖掘研究[D].南京:中国人民解放军理工大学,2003.
- [8] Goldberg D E.Genetic Algorithms in Search,Optimization and Machine Learning[M].Reading,MA:Addison Wesley,1989.
- [9] Jong D K A.An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive System [D].PhD Dissertation. Ann Arbor:University of Michigan,USA,1975.