

# 基于小生境遗传算法的制导雷达误差估计

付强, 王刚, 王明宇, 王锦江, 李松

(空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要** 制导雷达误差估计是多雷达站之间信息资源共享的前提和基础。针对无基准数据条件下的误差估计难题,建立了制导雷达误差估计模型,采用小生境遗传算法,给出了误差评估模型的求解方法,并进行了实验验证。仿真实验表明:比较传统遗传算法,小生境遗传算法克服了早熟收敛和后期收敛速度慢的弱点,表明算法是可行的,对多雷达站实现网络化作战有重要的作用和价值。

**关键词** 制导雷达;误差估计;小生境;遗传算法

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.06.010

**中图分类号** TN953 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)06-0050-04

制导雷达误差估计是网络化作战系统实现信息共享、协同作战的基础。为了获得制导雷达误差补偿参数往往要进行校飞试验,利用制导雷达误差补偿模型,通过比对制导雷达录取数据和GPS数据,获取满足精度要求的制导雷达误差补偿参数。但在系统实际应用中,往往不具备校飞试验条件,而且兵器的阵地转移、参数调整、部队训练等都会影响原有制导雷达误差补偿参数,为此,必须实现无基准制导雷达误差补偿参数自动评估,增强系统的实用性。由于制导雷达误差估计是一个多峰值优化问题,而简单遗传算法(SGA)在解决多峰值函数优化时,往往收敛于局部最优解,本文将小生境(Niche)技术引入遗传算法,通过群体中个体的多样性,保证优化算法能够搜索出问题的所有最优解,从而避免局部最优。

## 1 问题描述与建模

2部雷达 $S_1(X_1, Y_1, Z_1), S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 同时对空中的非合作目标 $M$ 进行观测。雷达站1的航迹数据序列: $\varepsilon_{1i}, \beta_{1i}, R_{1i} (i=1, 2, \dots, n)$ ,  $\varepsilon$ 为高低角,  $\beta$ 为方位角,  $R$ 为距离。;雷达站2的航迹数据序列: $\varepsilon_{2j}, \beta_{2j}, R_{2j} (j=1, 2, \dots, m)$ 。2组数据为同一目标,间隔相同,且已进行时间对齐。实验需要获取雷达站1与雷达站2之间的最优或较优的雷达误差补偿参数。2部雷达对空间目标的观测见图1。

2站的误差参数组合为: $(\Delta\varepsilon_1, \Delta\beta_1, \Delta R_1, \Delta\varepsilon_2, \Delta\beta_2, \Delta R_2)$ 。对于一个给定的误差参数组合,首先对2雷达站进行误差补偿,然后将极坐标转化成为直角坐标。

按照这些参数分别对站1、站2的航迹数据进行补偿,然后将站1的目标坐标转换到站2坐标,统计2组数据之间的误差,建立误差模型如下:

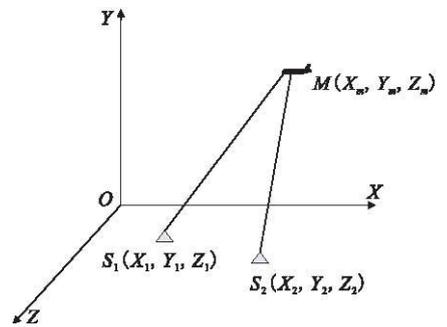


图1 目标观测图

Fig. 1 Object observation

\* 收稿日期:2011-10-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61102109)

作者简介:付强(1988-),男,陕西西安人,硕士生,主要从事防空指挥自动化信息处理研究。

E-mail: fq253622092@hotmail.com

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_{1i} - x_{2i})^2 + (y_{1i} - y_{2i})^2 + (z_{1i} - z_{2i})^2] \quad (1)$$

式中: $n$  为航迹数据长度; $x, y, z$  为目标直角坐标。该误差实际为 2 个航迹经过补偿后的平均线偏差。

## 2 基于小生境遗传算法的误差评估算法

### 2.1 小生境中的遗传算子

遗传算法是模拟自然选择和自然遗传过程中发生的繁殖、交叉和基因突变现象,在每次迭代中都保留一组候选解,并按某种指标从解群中选取较优的个体,利用遗传算子(选择、交叉和变异)对这些个体进行组合,产生新一代的候选解群,重复此过程,直到满足某种收敛指标为止。在遗传算法的操作算子中,主要由选择算子,交叉算子,变异算子 3 个主要的算子。其中选择算子起到启发进化方向的作用,交叉算子起到全局搜索的作用,而变异算子通常被认为是一种背景操作或辅助操作,它能够以大于 0 的概率找回丢失的优良基因。

小生境是指特定环境下的一种组织结构。在自然界中,往往特征,形状相似的物种相聚在一起,并在同类中交配繁衍后代。小生境遗传算法是在遗传算法的原有结构上引入小生境技术,不但不影响算法的原有特点,而且既维持了种群的多样性,又提高了遗传算法处理多峰值优化问题的能力。为此,在本文中采用小生境遗传算法,进行制导雷达误差估计。

### 2.2 算法描述

1) 定义各个参数的最大取值范围与量化精度,见表 1。

表 1 参数的最大取值范围与量化精度

Tab. 1 Parameters maximal range and quantization accuracy

参数	最大取值范围	量化间隔	二进制码位数
$\Delta \varepsilon_1$	$-63' - +63'$	$1'$	8
$\Delta \beta_1$	$-63' - +63'$	$1'$	8
$\Delta R_1$	$-630 \text{ m} - +630 \text{ m}$	$10 \text{ m}$	8

一个完整的误差参数组合由 48 位二进制码组成。各个参数的实际取值范围可以设定,但不大于最大取值范围。改变设定后,编码位数不变,量化间隔等比例缩小。例如, $\Delta \varepsilon_1$  被设定为  $-10' - +10'$  范围,则量化间隔变为  $10'/64$ , 仍用 8 位二进制码表示。

2) 初始化及适应度函数的定义。随机生成  $M$  个初始个体  $X(t)$ , 每个个体是一个误差参数组合序列,由 48 位二进制码组成。个体内每一个二进制位都是随机产生的,0、1 均匀分布。计算  $X(t)$  中每个个体的适应度函数  $\eta_i$ 。通过  $\eta_i$  比较,找出适应度最大的个体  $M_{\max}(t)$ , 称为最优个体。则该误差参数组合(个体)的适应度函数定义为:

$$\eta = \frac{1}{\Delta} \quad (2)$$

式中  $\Delta$  为 2 组数据之间的差值之和,它实际表示误差补偿质量的好坏。算法流程见图 2。

3) 算法步骤。选择操作采用模拟赌盘法进行比例复制运算。首先计算群体中所有个体的适应度函数值,得出每个个体被选中遗传到下一代群体的概率;采用模拟赌盘操作,即生成 0 到个体适应度之和  $C_m$  之间的随机数,通过与个体适应度和序列的比较来确定各个个体是否遗传到下一代群体中。该方法能保证个体被选中的概率与其适应度函数值大小成正比。

交叉操作采用均匀模板交叉算子,即在母体中 2 个个体交叉前,随机产生一个模板个体,当模板个体的某个基因位为 1 时,则 2 个体相应位基因杂交互换,当模板个体的某个基因位为 0 时,则不进行交换。这种

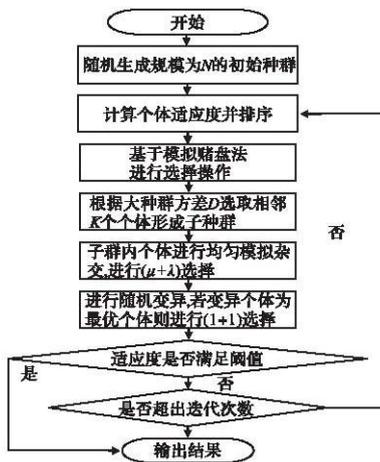


图 2 算法流程图

Fig. 2 Niche genetic algorithm flow

杂交算子与传统遗传算法中的单点杂交算子相比,有更大的变异面积和更随机的变异概率,因而有更大的搜索空间,能够更有效地提高算法的局部搜索能力;当交叉结束后采取 $(\mu + \lambda)$ 选择策略。 $(\mu + \lambda)$ 选择策略是指在 $\mu$ 个父代个体和由这 $\mu$ 个个体交叉产生的 $\lambda$ 个子个体中选择 $\mu$ 个最佳个体, $(\mu + \lambda)$ 选择机制能产生最快的局部收敛速度。

变异操作采用随机变异机制。当变异的个体为子种群中的最佳个体时,对该最佳个体及由其变异所得新个体进行 $(1 + 1)$ 选择以保证最优个体以概率 1 保留到下一代。

计算个体适应度并排序,根据排序选择相邻若干个个体进入一个小生境;计算大种群个体方差 $D$ ,若 $D \geq \sigma$  ( $\sigma$ 为常数,当大种群个体多样性降低时, $D$ 就减小,当 $D$ 小于某一阈值 $\sigma$ 时,子种群规模就降低到最低限度,以刺激种群多样性的提高),则设置子种群规模 $K = 1$ ,否则 $K = 2$ ,依次选取相邻 $K$ 个个体形成子种群,这是自适应策略的关键步骤,子种群规模的确定随种群多样性的变化而自适应变化。

小生境遗传算法的执行步骤可大致描述如下:

步骤 1 随机生成规模为 $N$ 的初始种群;

步骤 2 计算个体适应度并排序;

步骤 3 基于模拟赌盘法进行选择操作;

步骤 4 计算大种群个体方差 $D$ ,若 $D \geq \sigma$ 则设置子种群规模 $K = 1$ ,否则 $K = 2$ ;依次选取相邻 $K$ 个个体形成子种群;

步骤 5 子种群内个体进行均匀模板杂交,并进行 $(\mu + \lambda)$ 选择;

步骤 6 进行随机变异,若变异个体为最优个体则进行 $(1 + 1)$ 选择,形成新一代种群;

步骤 7 最优个体的适应度值是否满足误差设定阈值,若满足转步骤 9;如不满足,继续;

步骤 8 进行迭代次数判断,超出迭代次数的上限,继续;否则,转步骤 2;

步骤 9 输出结果。

### 3 仿真分析

基于某外场实验数据,由 2 部制导雷达对目标进行同时跟踪,经录取设备录取得到的数据,经过滤波、剔除野值点、时间对齐后进行算法验证,得到见表 2 的航迹变化范围。

本文利用 VC++6.0 对上述模型进行了实现,开发了基于小生境遗传算法的制导雷达误差估计程序。

分别设定高低角( $'$ )、方位角( $'$ )和距离(m)误差搜索范围为 $(-20, +20)$ 、 $(-20, +20)$ 、 $(-50, +50)$ ,得到初始误差见表 3。为了验证算法的可行性,为雷达站 1 增加模拟误差: $\varepsilon(10/' ) B(-10/' ) R(30 \text{ m})$ ,为雷达站 2 增加模拟误差: $\varepsilon(-10/' ) B(-10/' ) R(-30 \text{ m})$ ,得到新的雷达站 1 和雷达站 2 误差见表 4。

表 3 初始误差

Tab. 3 Initial error

初始误差	$d\varepsilon/'$	$d\beta/'$	$dR/\text{m}$
雷达站 1	-4.889	-0.131	-10.392
雷达站 2	-4.941	4.941	-11.699

表 2 航迹变化范围

Tab. 2 Flight path movement range

雷达站	$\varepsilon/'$	$B/'$	$R/\text{km}$
雷达站 1	35	55	40
雷达站 2	32	170	20

表 4 模拟误差

Tab. 4 Simulating error

模拟误差	$d\varepsilon/'$	$d\beta/'$	$dR/\text{m}$
雷达站 1	-14.941	10.039	-41.373
雷达站 2	5.176	14.824	15.980

由此可知雷达站 1 的计算误差  $\varepsilon: |(-4.889 - (-14.941)) - 10| = 0.052' < 3'$ ;  $\beta: |(-0.131 - 10.039) - (-10)| = 0.17' < 3'$ ;  $R: |(-10.392 - (-41.373)) - 30| = 0.981' < 10 \text{ m}$ 。

雷达站 2 计算误差  $\varepsilon: |(-4.941 - 5.176) - (-10)| = 0.117' < 3'$ ;  $\beta: |(4.941 - 14.824) - (-10)| = 0.117' < 3'$ ;  $R: |(-11.699 - 15.980) - (-30)| = 2.321' < 10 \text{ m}$ 。

根据 2 次运算结果可以看出,在增加了系统误差后,雷达站 1 和雷达站 2 的补偿误差均满足了一定的指标要求。验证了小生境遗传算法在本实验中的可实用性。

## 4 结束语

本文根据多雷达站高精度信息共享的实际需要,对于误差补偿参数的自动计算方法进行了研究。采用的小生境遗传算法较好克服了传统遗传算法早熟收敛和后期收敛速度慢的弱点,可以更好地保持解的多样性,同时具有很高的全局寻优能力和收敛速度。将计算结果与经实际校飞得到的参数进行了比较,证明了算法的有效性。

### 参考文献:

- [1] 徐宏. 一种雷达网系统误差校准方法及其精度分析[J]. 现代防御技术, 2011, 20(2): 21 - 25.  
XU Hong. A method for system error correction and precision analysis in radar network system[J]. Modern defence technology, 2011, 20(2): 21 - 25. (in Chinese)
- [2] 张鹏. 车载多雷达组网实时航迹误差评估算法研究[J]. 光电与控制, 2010, 18(3): 23 - 26.  
ZHANG Peng. Study on real-time trajectory error evaluation of movable multi-radar network system[J]. Electronics optics & control, 2010, 18(3): 23 - 26. (in Chinese)
- [3] 孙红艳. 一种改进的小生境遗传聚类算法[J]. 计算机系统应用, 2010, 12(2): 32 - 36.  
SUN Hongyan. An improved niche genetic clustering algorithm[J]. Computer systems & applications, 2010, 12(2): 32 - 36. (in Chinese)
- [4] 赵苗. 基于小生境技术的遗传优化算法改进[J]. 电脑与电信, 2010, 22(5): 18 - 22.  
ZHAO Miao. Improvement of genetic optimization algorithms based on niche technology[J]. Computer & telecommunication, 2010, 22(5): 18 - 22. (in Chinese)
- [5] 高尚, 张绍彪, 梅亮. 基于相对误差的线性组合预测研究[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(3): 481 - 484.  
GAO Shang, ZHANG Shaobiao, MEI Liang. Linear combination forecast based on relative error criterion[J]. Systems engineering and electronic, 2008, 30(3): 481 - 484. (in Chinese)
- [6] 王锦江, 王刚, 高山. 基于二分搜索算法的自适应失配误差计算[C]//信号与信息处理技术及其在生命科学中的应用研讨会. [地点不详]: 中国电子学会, 2006: 93 - 96.  
WANG Jinjiang, WANG Gang, GAO Shan. Bin-search algorithm for mismatch error calculating[C]//Proceeding of signal and information transact technology using in being science. [S. l.]: Chinese institute of electronics, 2006: 93 - 96. (in Chinese)
- [7] 修建娟, 何友. 两站无缘定位系统中的多目标跟踪算法研究[J]. 电子学报, 2002, 30(12): 29 - 32.  
XIU Jianjuan, HE You. Study on multitarget tracking algorithm in two direction finding location systems[J]. Acta electronica sinica, 2002, 30(12): 63 - 66. (in Chinese)
- [8] Marple S L. Sharpening and bandwidth extrapolation techniques for radar micro-doppler feature extraction [C]//Proc int conf for radar. adelaide, Adelaide, australia; IEEE press, 2003: 166 - 170.
- [9] Sheehan P G, Forrest R J. The use of optical techniques for beam-forming phased arrays[J]. SPIE, 1984, 477: 75 - 81.
- [10] Claude Jauffret, Denis Pillon. Observability in passive target motion analysis for bearings-only target motion analysis[J]. IEEE trans on AES, 1997, 33(1): 78 - 80.

(编辑: 田新华)

## Research of Guidance Radar Error Estimation Based on the Niche Genetic Algorithm

FU Qiang, WANG Gang, WANG Ming-yu, WANG Jin-jiang, LI Song

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan713800, Shaanxi, China)

**Abstract:** The error estimation of guidance radar is a foundation and prerequisite for information sharing among radar stations. Aimed at the error estimation of radar station without reference data, the niche genetic algorithm is adopted to solve the difficulties. Compared to the traditional genetic algorithm, the use of the niche genetic algorithm can overcome the shortcomings of premature convergence and slow convergence rate at ending. The simulation and the project practice show that the algorithm is reasonable and feasible. The guidance radar's error margin estimation plays an important role in the coordination among radar stations.

**Key words:** guidance radar; error margin; Niche; genetic algorithm