

## 具有禁忌算子的遗传算法目标优化分配

周创明, 华继学, 李成海

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

**摘要:** 针对地面防空作战中的多通道目标优化分配问题, 给出了一种具有禁忌算子的混合遗传算法。该算法结合禁忌搜索算法和遗传算法二者的优点, 既克服了禁忌算法全局搜索能力的不足, 又提高了遗传算法的爬山能力, 还解决了遗传算法容易陷入局部最优的问题, 并使搜索过程具有记忆功能。仿真结果表明, 该算法可有效给出求解多通道目标优化分配问题的满意解。

**关键词:** 目标优化分配; 禁忌搜索算法; 遗传算法

**中图分类号:** O224      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-3516(2005)02-0087-05

目标分配在防空作战指挥中的重要性随着高技术兵器的投入和空防对抗强度的增加而更加突出。目标分配的时效性和分配方案的优劣严重影响防空作战的效果, 传统的人工分配方式已不适应高技术条件下防空作战的需要, 自动而高效的目标分配已成为现代防空作战指挥不可缺少的决策支持, 也是 C<sup>3</sup>I 不可缺少的关键组成部分。

防空作战中的目标分配问题是一个 NP 问题, 这决定了求解最优目标分配方案是较为困难的, 主要表现为目前所用最优化方法都不能保证在较短的时间内求得最佳的目标分配方案, 难以满足实际要求, 只能降低最优性要求, 求得满意解。

本文针对地面防空作战中的目标分配问题, 给出了一种对多通道武器目标分配的混合遗传算法。该算法利用禁忌算法与遗传算法各自的优点, 既克服了禁忌算法全局搜索能力的不足, 又提高了遗传算法的爬山能力, 还解决了遗传算法容易陷入局部最优的问题, 并使搜索过程具有记忆功能。

## 1 目标分配数学模型

防空作战中的目标分配可描述为某一防空 C<sup>3</sup>I 系统有  $M$  个火力单元, 各火力单元的类型可不同, 每个火力单元有  $L$  个目标通道, 空中有  $N$  个目标, 目标的类型、进袭方向、速度、高度等均可不同, 那么如何分配目标, 才能使防空 C<sup>3</sup>I 作战效果最佳<sup>[1,4,5]</sup>, 下面具体分析。

若用有效拦截的目标数作为防空 C<sup>3</sup>I 系统作战效果的度量, 则目标分配的数学模型可描述为

$$\begin{aligned} U &= \max \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L \omega_{ij} f_{ij} x_{ikj} \\ \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L x_{ikj} &= 1 (j = 1, 2, \dots, N) \\ \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L x_{ikj} &\leq L (i = 1, 2, \dots, M) \\ \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L x_{ikj} &\leq M (k = 1, 2, \dots, L) \end{aligned} \quad (1)$$

其中:  $\omega_{ij}$  为融合后的目标  $j$  相对火力单元  $i$  的威胁程度;  $x_{ikj}$  表示火力单元  $i$  的  $k$  通道是否对目标  $j$  进行

收稿日期: 2004-07-14

基金项目: 国防科技预研基金资助项目(51406030104DZ0120)

作者简介: 周创明(1967-), 男, 湖南益阳人, 副教授, 硕士, 主要从事数据库应用和智能信息处理研究。

射击( $x_{ij}$ 为0或1); $f_{ij}$ 为火力单元*i*对目标*j*的杀伤概率; $U$ 表示杀伤目标的期望值,其值越大,说明目标分配的越合理。

## 2 具有禁忌算子的遗传算法求解设计

### 2.1 基因编码方式

假设*M*个火力单元的编号为1,2,⋯,*M*,通道编号为1,2,⋯,*L*,*N*批目标的编号为1,2,⋯,*N*。当第*j*批目标分给了第*i*个火力单元的*k*号通道时,可令 $y_{(i-1) \times L+k} = j$ ,则编码如下所示:

$$y_1 y_2 \cdots y_L y_{1+L} \cdots y_{(i-1) \times L+k} \cdots y_{ML} \quad (2)$$

其解码方法如下:

$$x_{ikj} = \begin{cases} 1 & \text{当 } y_{(i-1) \times L+k} = j \text{ 时} \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

### 2.2 适度值的计算

由目标分配数学模型可以看出,杀伤目标的期望值*U*越大,说明目标分配的越合理,因此可以用杀伤目标的期望值*U*作为适度值,从而适应度可以定义为

$$eval(U_i) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L \omega_{ij} f_{ij} x_{ikj} \quad i = 1, 2, \cdots, M \quad k = 1, 2, \cdots, L \quad j = 1, 2, \cdots, N \quad (4)$$

### 2.3 遗传算子

#### 2.3.1. 选择算子

采用“精英选择”和“排序选择”相结合的方法。其主要思想是:对群体中的个体按适应度大小排序,基于这个排序来分配各个个体被选中的概率,具体步骤如下<sup>[2-3]</sup>:

- 1) 对群体中的所有个体按其适应度大小进行升序排列;
- 2) 根据实际情况,设计一个概率分配表,将各个概率值按上述排序分配给各个个体,其中概率值是各个体的适应度与种群累计适应度的比值;
- 3) 以各个个体所分配到的概率值作为其能够被遗传到下一代的概率,基于这些概率用比例选择(赌盘选择)的方法产生下一代群体。

#### 2.3.2. 交叉算子

交叉是产生新个体的主要途径,是全局收敛性的重要保证。其具体步骤如下:

- 1) 根据上述选择算子的方法选取用于杂交运算的染色体(双亲);
- 2) 在染色体上选择两点,把这两点间的子串作为映射段;
- 3) 交换双亲的两个子串,产生后代;
- 4) 使用禁忌算子 TSR 对交叉后得到的子代进行重组。

根据目标分配的特点,在本算法中采用两点交叉。

#### 2.3.3. 变异算子

可采用的变异算子有:逆转、互换、移位变异等,在这里采用互换变异。选择个体中的两个位置,并将这两个位置上的值码进行交换,其过程如下:

选择交叉位置:  $y_1 \hat{y}_2 y_3 \cdots y_7 \hat{y}_8 \cdots y_{N \times L}$

染色体交叉:  $y_1 y_8 y_3 \cdots y_7 y_2 \cdots y_{N \times L}$

调用禁忌变异算子 TSM 对染色体进行变异。TSM 就是一个禁忌搜索算法程序,选择最佳变异位置。TSM 把一个解(染色体)作为输入,经 TSM 作用,返回一个解作为输出。

### 2.4 新个体可行化处理

由于交叉和变异后的新个体不一定是可行的,故需对其进行可行化处理。逐个检查新个体中的染色体 $y_i$ 是否满足约束条件,若不满足,则进行可行化处理。如果存在火力单元*i*的*k*通道,使 $y_{(i-1) \times L+k} = j$ 满足约束条件,并且不破坏已检查过的染色体的可行性,就令 $y_{(i-1) \times L+k} = j$ ,否则令 $y_{(i-1) \times L+k} = 0$ 。

### 2.5 最优个体保存策略

设第*t*代群体为*S*(*t*)。由于交叉、变异破坏了个体的最优性,因此*S*(*t*+1)中的最优个体并不一定优

于  $S(t)$  中的最优个体。为了保证  $S(t)$  中的最优个体能够遗传到下一代  $S(t+1)$ , 用  $S(t)$  中的最优个体代替  $S(t+1)$  中适应度最差的个体。

### 2.6 终止条件与结果指定

采用“规定遗传代数  $G$ ”和“检查适应度变化”相结合的方法作为终止条件。

检查适应度变化的方法:规定一遗传代数  $G'$  和一个适当小的正数  $\varepsilon$ , 当在连续  $G'$  代内都满足  $|eval(U_{t_{max}}) - eval(U_{(t-1)_{max}})| \leq \varepsilon$ , 则终止遗传, 其中  $eval(V_{t_{max}})$  为第  $m$  代的最大适应度,  $eval(V_{(t-1)_{max}})$  为第  $t-1$  代的最大适应度。遗传终止后, 适应度最大的染色体即为所求的解, 其对应的即是目标优化分配方案。

### 2.7 初始群体的产生

影响遗传算法收敛速度的因素有很多, 初始群体的优劣就是其中之一。如果初始群体选在最优解的附近, 这样不需很多次迭代即可达到满意解。

将目标相对于第  $i$  号火力单元的被射击有利程度进行排队, 如果排在第  $k$  名的目标具备被射击条件, 则用  $F(i, k)$  表示该目标的代号, 否则就置  $F(i, k) = 0$ 。假设初始群体规模为  $L$ , 构造  $L$  个个体如下:

第 1 个个体:  $F(1, 1)F(1, 2) \cdots F(1, L) \cdots F(N, 1)F(N, 2) \cdots F(N, L)$

第 2 个个体:  $F(1, 3)F(1, 3) \cdots F(1, L+2) \cdots F(N, 3)F(N, 4) \cdots F(N, L+2)$

第  $h$  个个体 ( $h < L$ ): 假设  $T_h$  为  $y_1 y_2 \cdots y_{N \times L}$ , 对 1 通道, 如果  $F(i, 2h-1) \neq 0$ , 则令  $y_{(i-1) \times L+1} = F(i, 2h-1)$ ; 如果  $F(i, 2h-1) = 0$ , 则令  $y_{(i-1) \times L+1} = F(i, 1)$ 。同样可确定 2, 3,  $\dots$ ,  $L$  各通道的基因项。

## 3 算法执行流程

用带禁忌算子的遗传算法求解多目标优化分配问题的步骤如下:

- 1) 接收系统提供各批目标的综合数据, 该数据由系统的空情处理模块和目标威胁判断处理模块提供;
- 2) 初始化运行参数, 遗传算子  $P_c, P_m$ , 遗传代数  $G$ ;
- 3) 根据上述初始种群的构造方法来构造初始优良种群 Pop-size、串组大小 Population, 并计算适应度;
- 4) 按种群交叉概率  $P_c$ , 选择 Pop-size  $\cdot P_c$  个个体进行交叉运算, 并用禁忌算子 TSR 对交叉个体进行重组, 然后对重组后的个体进行可行化处理;
- 5) 按种群变异概率  $P_m$ , 选择 Pop-size  $\cdot P_m$  个个体用禁忌算法算子 TSM 进行变异运算, 对变异后的个体进行可行化处理;
- 6) 保存上代的最优个体, 产生新一代的种群;
- 7) 检测适应度的变化, 并使遗传代数累加, 对新一代群体进行同样的操作;
- 8) 终止条件满足后, 适应度最大的个体即为目标优化分配结果;
- 9) 将最优分配结果提供给指挥员, 接收指挥员的更改并产生最终分配结果, 转入 1) 进行第二次分配。

## 4 仿真

空中有 10 批来袭目标, 我方火力单元数为 3, 每个火力单元的作战通道为 3 个, 每个作战通道只分配一批目标。

### 1) 仿真数据

为了简化遗传算法, 在用遗传算法进行目标分配前, 对目标信息已进行了预处理, 如表 1~4 所示。

表 1 火力单元对各目标的杀伤概率

火力单元	目标									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.53	0.80	0.70	0.80	0.60	0.50	0.51	0.45	0.94	0.59
2	0.52	0.48	0.64	0.40	0.95	0.80	0.70	0.60	0.40	0.70
3	0.80	0.56	0.60	0.65	0.85	0.68	0.90	0.56	0.80	0.40

表2 火力单元对各目标满足射击约束条件情况

火力单元	目标									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
2	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1

表3 各目标相对各火力单元的威胁值

火力单元	目标									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	6	9	3	7	3	3	6	9	5
2	4	5	2	4	6	8	8	2	8	1
3	8	4	6	5	2	2	6	2	8	8

表4 各目标与另一目标是否可用一个火力单元攻击

火力单元	目标									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
3	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1
4	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
7	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
8	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1
9	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0
10	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1

群体规模为10,染色体长度为9,交叉概率取0.86(交叉概率太大,容易破坏已存在的较优解;交叉概率太小,又不能将较优解扩散到种群里,以提高群体平均适应度),变异概率取0.05(对整数编码来说,需要较高的变异率来提高局部搜索能力),禁忌表规模取为3,终止代数取100。用上述遗传算法进行目标分配,在较短的时间里得到的满意解为

2 3 9 5 6 7 1 4 10

其表示将第2,3,9批目标分配给火力单元1,将第5,6,7批目标分配给火力单元2,将第1,4,10批目标分配给火力单元3。

仿真结果表明,该方法总可以求得满足防空作战要求的满意解,尤其是在目标数量较多时,其性能优势更加明显。

#### 参考文献:

- [1] 郑泽席. 使用多种防空武器时目标分配的数学模型[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(5): 15-16.
- [2] 郭张龙, 李为民, 王刚. 基于遗传算法的目标分配问题研究[J]. 现代防御技术, 2002, 30(6): 3-7.
- [3] 刘付显, 刑清华. 基于混合遗传算法的目标优化分配[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(7): 84-88.
- [4] 赵晨光, 耿奎, 李为民, 等. 防空导弹武器系统目标分配的多种算法[J]. 现代防御技术, 2001, 29(3): 7-9.
- [5] 刘铭, 高尚, 聂成. 基于动态规划的目标优化分配决策模型[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(4): 45-47.

(编辑:田新华)

ZHOU Chuang - ruing, HU Ji - xue, LI Cheng hai

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract:A mixed genetic algorithm with the tabu search operator is proposed for multi -channel optimized target - assigning in operation of air defense. Both the advantages of tabu search algorithm and those of genetic algorithm are integrated into this algorithm. This algorithm avoids the shortage of global search capability of the tabu search algorithm, improves the mountain climbing capability of the genetic algorithm, solves the problem of being easily immersed in local optimization in the genetic algorithm and enables the search course to have a memory capability. The simulation result shows that the algorithm can effectively give a satisfied solution to the problem in solving multi -channel optimized target - assignment.

Key words : optimize target assignment; tabu search ; genetic algorithm

(上接第86页)

[9] 雷英杰,王涛,赵晔,等. 直觉模糊匹配的语义距离与贴近度[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005,6(1):69-72.

(编辑:田新华)

On the Measurement of Similarity on Semantic Match for Intuitionistic Fuzzy

LEI Ying - jie, ZHAO Ye, WANG Tao, WANG Jian, SHEN Xiao - yong

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 710038, China)

Abstract:The fundamental notions and operations on Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Sets are first introduced. Several extended techniques, i.e. those of max - min, arithmetic mean minimum, geometric mean minimum, correlative moduli and correlative exponents, for calculating the similarity on semantic match for intuitionistic fuzzy are proposed by making extensions of models for calculating similarity on Zedeh fuzzy sets with the emphasis on consideration of the effects of both the membership and the nonmembership. The applications are illustrated with examples, which further develops the approaches to calculating semantic matching degree on the intuitionistic fuzzy sets as an extension. Finally, intuitionistic fuzzy relations are investigated with the proof of a theorem on intuitionistic fuzzy similar matrix.

Key Wbrds:intuitionistic fuzzy sets; fuzzy logic; semantic matching; similarity