

## 多机协同空战目标分配算法

程红斌, 张凤鸣, 张晓丰

(空军工程大学工程学院, 陕西西安 710038)

**摘要:**通过对多机协同空战中目标分配的分析,建立了目标优化分配的数学模型,并用标准遗传算法来求解该问题,模拟结果表明该算法能有效解决分配问题的有效性,最后通过应用“好”基因遗传算子对遗传算法进行改进。仿真结果表明,“好”基因遗传算子的搜索效率较改进前提高了近60%,这一优势在目标数量较大时尤为明显。

**关键词:**目标分配;遗传算法;“好”基因

**中图分类号:** V271.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)02-0007-04

设计合理可行的目标分配算法是多机协同作战研究的一个重要方面。所谓目标分配是指根据已知的敌我机之间的相互威胁程度通过一定的分配策略,科学地分配我方的飞机,使得敌方来袭目标受到的打击效果最佳或我方飞机得到最好的保护。空战中目标分配问题是 NP 完全问题<sup>[1-3]</sup>。设计合理有效的算法是解决这类问题的关键。

## 1 多机协同攻击决策的数学描述

### 1.1 优势函数的建立

设我方有  $n$  架作战飞机,敌方有  $m$  架,则可以从以下几个方面构造出优势矩阵<sup>[4]</sup>。

#### 1.1.1 距离优势

空空导弹的攻击距离应满足:  $R_{\min} \leq R \leq R_{\max}$ 。其中  $R_{\min}, R_{\max}$  分别指导弹攻击区的近边界与远边界。

当  $R \gg R_{\max}$  时,认为距离优势很小;随着相对距离的减小,攻击优势逐步扩大,  $R = (R_{\min} + R_{\max})/2$  时,距离优势达到最大;随着距离的进一步减小,距离优势又逐渐减小。由此可以构造出类似高斯分布的距离优势函数  $S_r = e^{-\left(\frac{R-R_0}{\sigma}\right)^2}$ 。其中  $R_0 = (R_{\min} + R_{\max})/2$ ,若令  $S_{r,\max} = S_{r,\min} = 0.95$ ,则可得  $\sigma = 2(R_{\max} - R_{\min})$ 。

#### 1.1.2 角度优势

为了实现对目标的有效跟踪,要求保持目标方位角;同时为了避免被攻击,最好的目标进入角为  $180^\circ$ 。目标方位角和目标进入角的定义见图1。由此可以构造出以下角度优势函数:  $S_a = (\varphi_t - \varphi_a)/180$ 。式中  $\varphi_t$  和  $\varphi_a$  分别是目标进入角和目标方位角。

#### 1.1.3 能量优势

作战飞机的单位能量越高,机动能力越强,故可构造出如下能量优势函数:  $S_e = (E_{ga} - E_{gt})/E_{ga}$ 。式中  $E_{ga}$  和  $E_{gt}$  分别是攻击机和目标机的单位能量。

#### 1.1.4 综合优势的构造

综合优势函数可以写为  $S = k_r S_r + k_a S_a + k_e S_e$ 。其中  $k_r, k_a, k_e$  为加权系数。

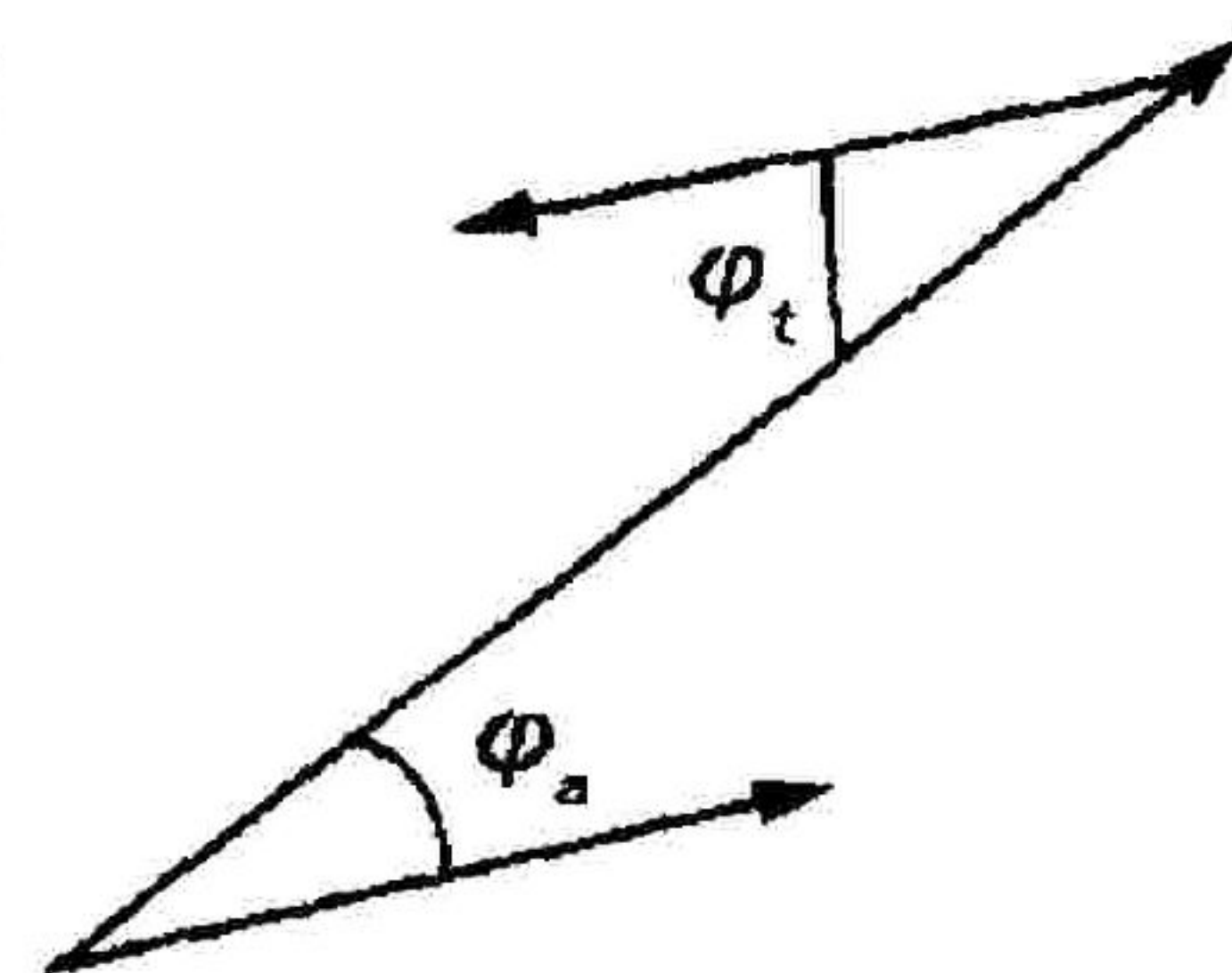


图1 角度的定义

收稿日期:2004-06-21

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:程红斌(1978-),男,山西闻喜人,博士生,主要从事信息系统工程与智能决策;

张凤鸣(1963-),男,重庆梁平人,教授,博士生导师,主要从事信息系统工程与智能决策、装备管理等研究。



由此便可构造出优势矩阵:  $S = \{S_{ij}\}_{n \times m}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。其中  $S_{ij}$  表示第  $i$  架我机对敌方第  $j$  架飞机的优势函数。

## 1.2 目标分配

对于 1.1 建立的优势矩阵,则目标分配问题可以描述如下:

$$Z_{\max} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} X_{ij}$$

$$\text{st} \begin{cases} \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n X_{ij} \leq T_j, j = 1, 2, \dots, m \\ X_{ij} = 0, i \neq m, \text{ if } X_{mj} \geq S_j \\ X_{ij} = \begin{cases} 1, & \lambda S_{i,\max} + (1 - \lambda) S_{i,\min} \geq S_i \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad X_{ij} \in \{0, 1\} \end{cases}$$

式中:第一个约束条件表示我方一架飞机只能攻击一架敌机。第二个约束条件表示敌方  $j$  架飞机最多只能被我方  $T_j$  架飞机攻击。第三个约束条件表示若我方有一架飞机对敌机的攻击优势已达到攻击满意度,则其它飞机则无需再去攻击该敌机,从而达到减少优势滥用的目的。第四个约束条件表示若某架飞机的风险规避函数大于安全度,则该飞机可以被用来分配人物,否则采取规避措施。从而可以在打击敌机的同时有效保护我机。式中  $0 \leq \lambda \leq 1$ , 它反映了飞行员在攻击与规避问题上的权衡。 $\lambda = 1$  时,采取完全攻击性策略; $\lambda = 0$  时,采取完全规避性策略。

## 2 标准遗传算法

遗传算法<sup>[5]</sup> (Genetic Algorithm) 是一种全局意义上的自适应搜索技术,通过选择复制交叉以及变异等操作,保证了 GA 能搜索到问题解空间的每一点,并且只要遗传搜索中的每一代都包含上一代的最优个体,则理论上搜索便会收敛到全局最优解。遗传算法的效率取决于编码及遗传算子的性能。

### 2.1 标准遗传算法设计

#### 2.1.1 编码方式

本文采用十进制编码方式顺序表达:染色体长度等于我方飞机总数  $n$ ,染色体按我方飞机编号顺序排列,表示一种可能的分配方案。例如, $m$  取 3, $n$  取 4,一个染色体(2 3 1 3)表示我方第一架飞机攻击敌方第二架飞机,第二架飞机攻击敌方第三架飞机,第三架飞机攻击敌方第一架飞机,第四架飞机攻击敌方第三架飞机。

#### 2.1.2 遗传算子设计

选择算子:采用赌轮算法,个体被选中的概率与其在群体中的相对适应度成正比。

交叉算子:采用单点交叉的策略,交叉点的位置在  $1 \sim n$  中随机选取。

变异算子:采用随机变异算子,即在染色体中随机挑选一个基因座并对基因座的基因值作随机扰动,将其变为  $1 \sim m$  之间的任意值。

### 2.2 算例实现及分析

设我方有 8 架飞机,敌方有 6 架飞机,我机相对于敌机的优势矩阵  $S$  如表 1 所示。

在种群规模 30,染色体长度 8,最大遗传进化代数 150,交叉概率 0.8,突变概率 0.05,每架敌机最多可以被两架飞机攻击,攻击优势满意度为 0.85,安全度为 0.4,飞行员攻击与规避的权衡系数为 0.6 的条件下,利用标准遗传算法得到最优分配结果如表 2 所示。遗传进化代数如图 2 所示。

从上述结果可以看出,遗传算法在求解这类目标分配问题时

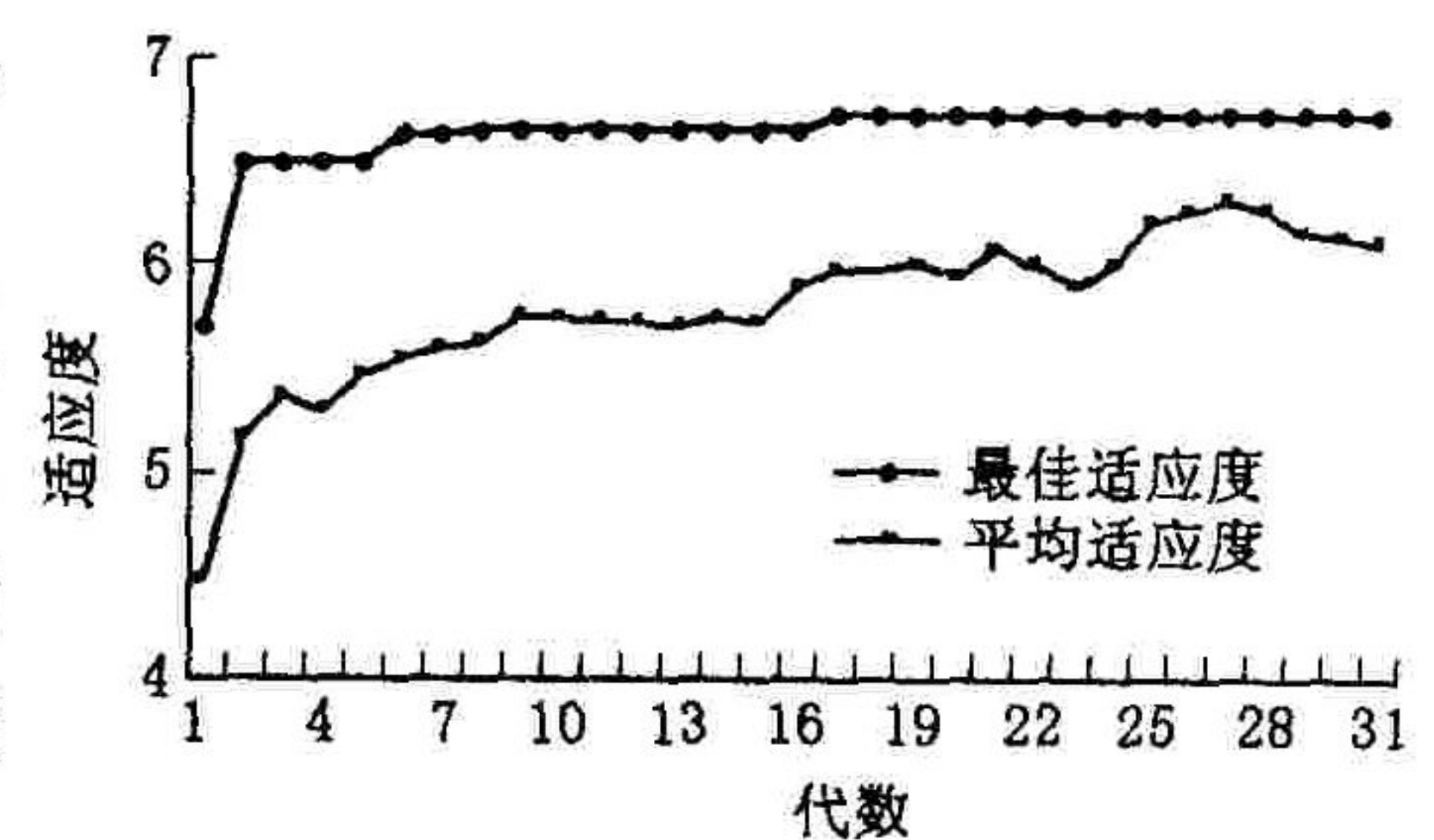


图 2 标准遗传算法



是十分有效的,但是,由于标准遗传算法在遗传算子选择上的一些缺陷,可能会出现规定时间(或进化代数)内无法搜索到最优解的情形。在第3节中我们将利用“好”基因遗传算子对标准遗传算法进行改进。

表1 优势矩阵

我机	敌机					
	1	2	3	4	5	6
1	0.8031	0.6984	0.8642	0.8944	0.1179	0.8456
2	0.4687	0.5316	0.2882	0.6688	0.5277	0.0066
3	0.6784	0.6998	0.9747	0.0994	0.3142	0.2179
4	0.0172	0.3948	0.2747	0.5396	0.3160	0.7332
5	0.9542	0.2861	0.1093	0.3542	0.8270	0.5120
6	0.0049	0.6561	0.7837	0.2794	0.9653	0.0909
7	0.5742	0.3978	0.0024	0.9670	0.8650	0.0904
8	0.9368	0.7417	0.2901	0.3836	0.3128	0.3013

表2 目标分配最优方案

我机	1	2	3	4	5	6	7	8
敌机	6	2	3	6	1	5	4	2

### 3 改进遗传算法

#### 3.1 “好”基因遗传算子设计

“好”基因遗传算子的基本思想是在实施遗传操作中将“好”的基因保留下来,而对其它基因实施交叉变异,以加快搜索的进度<sup>[6]</sup>。具体到本分配问题,假定某个体中第*i*个基因座的值为*j*,此时若  $S_{ij} = \max\{S_{ik}\}$ ,  $k=1,2,\dots,m$ ,则表明我方第*i*架飞机对敌方第*j*架飞机的优势是在它能够攻击的飞机中优势最大的一个,这时就不需要对该架飞机的分配进行调整。该基因也称为“好”基因,在以后的遗传操作中就予以保留。“好”基因遗传算子的遗传过程可以描述如下:

Step1:按照轮盘赌机制选取需要交叉的两个个体。

Step2:在选出的两个父个体中找出相同的基因,这里所谓的相同是指在个体中的位置和基因值都相同。

Step3:在上述基因中寻找的“好”基因在下面的操作中保持位置和取值不变。

Step4:在非“好”基因中随机选取两个基因交叉以产生后代。

Step5:对产生的后代按照标准遗传算法实施变异操作。

例如:对于如下的两个个体,A:1 2 2 4 3; B:1 2 3 4 1。

首先,第一、二、四个基因是A,B中相同的基因,假设这三个基因中,第一、二个基因是“好”基因,则这两个基因予以保留。然后在剩余的基因中随机选择两个基因,假设是第三位和第五位,分别对两个父个体的这两位基因实施交叉,产生后代:A: 1 2 1 4 3; B: 1 2 3 4 2。

#### 3.2 算例实现及分析

对于2.2所示的算例,利用改进的遗传算法进行求解,可以得到表2所示的分配结果。其进化代数如图3所示。但是其收敛代数明显减少,在第6代就达到最优。图4反映了两种算法在求解该问题时的收敛代数比较。

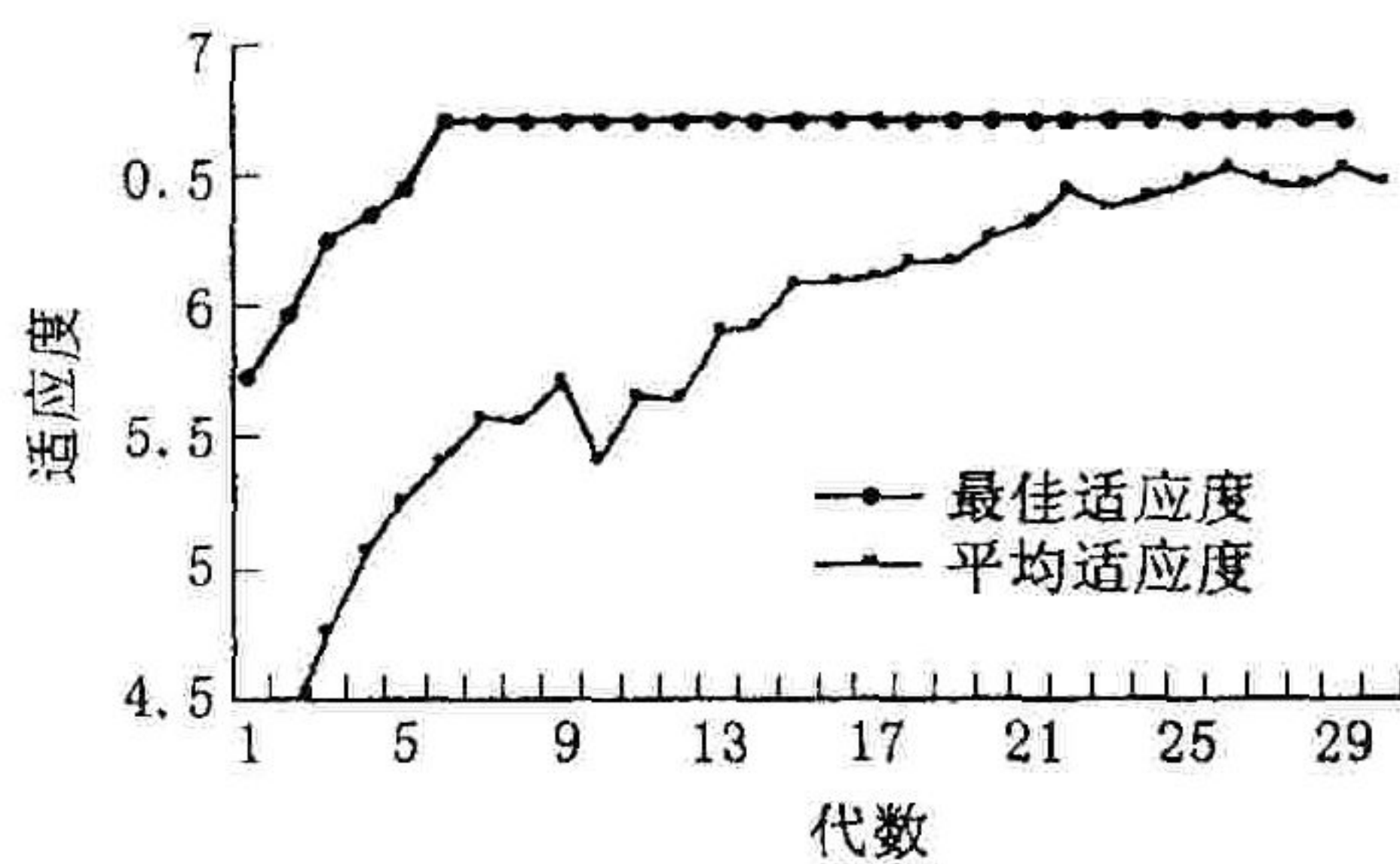


图3 改进遗传算法

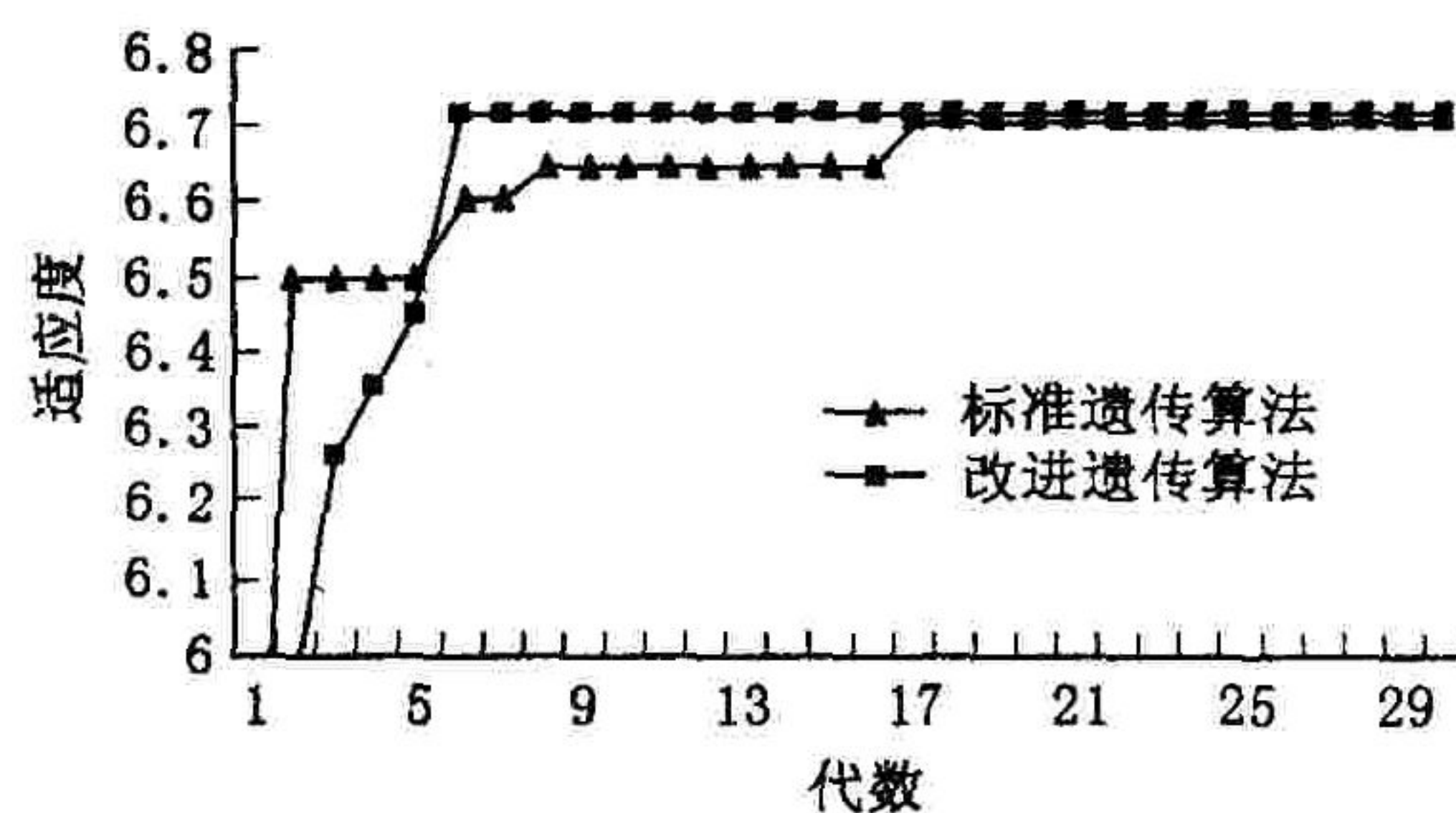


图4 标准遗传算法与改进遗传算法的比较(小批次)

为了进一步说明“好”基因遗传算法的有效性,我们分别利用标准遗传算法和“好”基因遗传算法对我方20架飞机,敌方16架飞机的分配问题实施求解,仍然是在种群规模30,染色体长度20,最大遗传进化代数150,交叉概率0.8,突变概率0.05,每架敌机最多可以被我两架飞机攻击,攻击优势满意度为0.85,安全度为0.4,飞行员攻击与规避的权衡系数为0.6的条件下,标准遗传算法在121代才得到最优方案,而改进遗传算



法在 32 代即得到最优方案,两种算法的进化代数如图 5 所示。

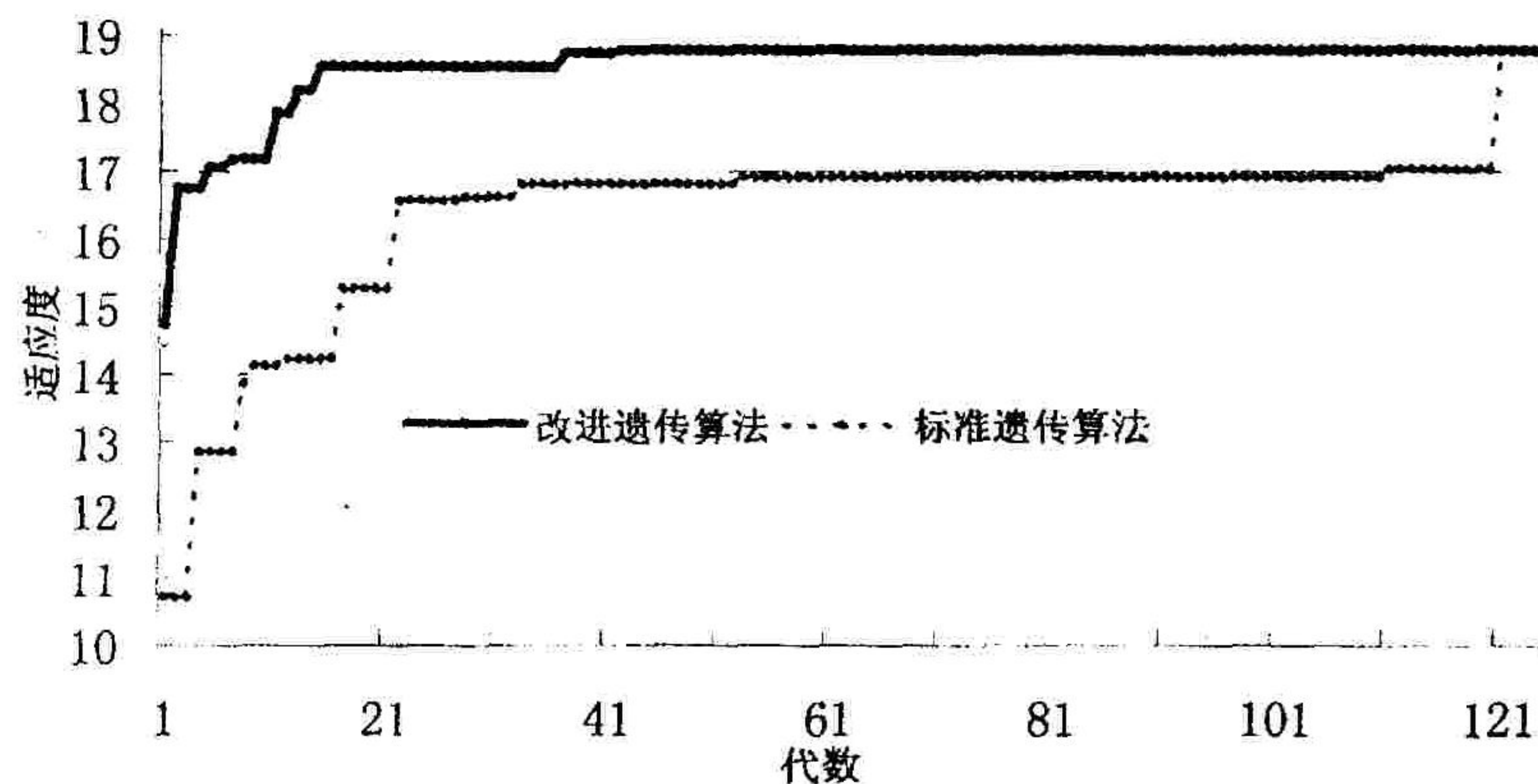


图 5 标准遗传算法与改进遗传算法的比较(大批次)

从以上的结果可以看出,“好”基因遗传算法和标准遗传算法都能在指定代数里搜索到最优分配方案,证明遗传算法在求解这类 NP 完全问题时确实有效,而且改进遗传算法能够大大提高搜索效率,尤其是随着目标数量的增加,这种优势就显得更为明显。

#### 4 结束语

目标分配是现代空战中的重要环节,这一问题的有效解决,对提高空战作战效能具有重要意义。本文在优势矩阵的基础上,建立了空战目标分配数学模型,并用遗传算法加以求解,然后在此基础上对遗传算法加以改进,大大提高了搜索效率。为这一问题的解决提供了一种新途径。

#### 参考文献:

- [1] 王小兵,王宝树. 空对空多机协同攻击多目标的决策研究[J]. 电光与控制,2003,10(1),28-31.
- [2] 李林森,佟明安. 协同多目标攻击空战决策及其神经网络实现[J]. 航空学报,1999,20(4),309-312.
- [3] 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.
- [4] 李建军. 超视距多机协同空战分析[D]. 西安:西北工业大学. 2001.
- [5] 陈国良. 遗传算法及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,1996.
- [6] Zne - Jung Lee, Su - Feng Su. Efficiently Solving General Weapon Target Assignment Problem by Genetic Algorithms With Greedy Eugenics[J]. Systems, Man and Cybernetics, Part B IEEE Transactions on, 2003, 33(1):113-121.

(编辑:姚树峰)

Multi- aircraft Coordination Target Assignment

CHENG Hong - bin, ZHANG Feng - ming, ZHANG Xiao - feng

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract:Based on the analysis of multi - aircraft coordination target assignment, an optimization mathematical model is presented. Then a genetic algorithm is applied to solving this problem, which is proved to be an effective algorithm in solving target assignment problems. Finally, the "good" gene is used in improving the efficiency of genetic algorithm. Simulation results show that the efficiency of the "good" gene is improved almost to sixty percent. The advantage of the algorithm is more obvious in multi -aircraft environment.

Key words: target assignment ; genetic algorithm ; "good" gene