【兵器与装备】

基于混沌粒子群算法的导弹火力分配方法*

袁礼飞[1,2],刘新学[1],沈 生[2],蒋 鸣[2]

(1.第二炮兵工程学院,西安 710025; 2.第二炮兵装备研究院,北京 100085)

摘要:建立火力分配问题模型,分析解决此类问题的几种思路.根据近些年来对粒子群算法的研究,分析混沌粒子群算法实现的基本原理和步骤.用具体实例对算法进行应用与仿真.

关键词:导弹火力分配;粒子群;混沌

中图分类号:TJ768 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-0707(2008)06-0039-03

武器—目标分配问题是现代战争中一个十分重要的问题,尤其对于导弹部队来说,在武器种类和目标数量大幅增加的情况下,合理规划武器使用,使其发挥最大效能,已成为研究的一个热点问题.为了解决这个分配问题,人们已提出了许多算法,而现代优化算法在解决高维、多极点、函数性质复杂等复杂问题时,在解的精度,或者求解所需时间等方面,往往能够取得比较不错的效果.其中,粒子群算法以其编码简便、收敛速度快、易于编程实现获得了很多学者的青睐,在一些领域得到广泛应用,在解决导弹火力分配问题上也是一种非常有效的方法.

1 导弹目标分配问题[1]

设我方有 m 个种类不同的导弹发控中心,第 i 个发控中心有同一型号的导弹 $m_i(i=1,2,\cdots,m)$ 枚;敌方待毁伤目标有 n 个,第 j 个目标的权重为 ω_j;第 i 种导弹对第 j 个目标的单位毁伤概率为 $e_{ij}(i=1,2,\cdots,m,j=1,2,\cdots,n)$.导弹目标分配可用矩阵 $X=(x_{ij})_{m\times n}$ 来表示,其中 x_{ij} 是第 i 种导弹毁伤第 j 个目标的数量,目标分配要使对目标的毁伤效能最大.第 i 种 x_{ij} 导弹毁伤第 j 个目标的概率 $P_{ij}=1-(1-e_{ij})^{x_{ij}}$,所有 m 类导弹对目标 j 的毁伤概率 $P_j=1-\prod_{i=1}^{m}(1-e_{ij})^{x_{ij}}$.可得导弹火力分配的数学模型:

$$\max\ F=\sum_{j=1}^{n}\omega_j\left[1-\prod_{i=1}^{m}(1-e_{ij})^{x_{ij}}\right]$$

约束条件为

$$\begin{cases}\sum_{j=1}^{n}x_{ij}=m_i,\ i=1,2,\cdots,m\\ x_{ij}\geqslant 0,\ i=1,2,\cdots,m;\ j=1,2,\cdots,n\end{cases}$$

2 解决问题的几种思路

根据目标函数可知,导弹武器火力分配问题实质上是一个非线形整数规划问题.对于非线形整数规划问题,传统的方法有隐枚举法和动态规划等方法,在火力分配问题上经常使用的是动态规划方法.但对于较大规模的问题,动态规划方法比较耗时,且不易编程实现,尤其在武器平台较多的情况下,每一个阶段的方案数目大大增加,明显不适合快速解决问题.

近年来,随着现代优化算法的发展,模拟退火算法、遗传算法及粒子群算法等逐渐在导弹武器火力上得到广泛应用,其中,模拟退火算法由于算法需要缓慢降温,迭代次数较多时间较长,一般都是采用退火思想与其他算法结合使用,目前解决火力分配问题比较常用的都是遗传算法或者改进的遗传算法.而遗传算法首先要解决编码问题,有时为了编码方便还要将模型变换[1],另外,遗传算法的每一次迭代都要经过种群选取、交配和变异,过程比较复杂,标准遗传算法还面临着搜索效率较差、最优解容易遗失等问题.

相比于遗传算法的一些问题,粒子群算法具有搜索速度快、迭代次数少、可以直接进行实数编码等特点.在文献[2-3]中,作者都对用遗传算法和粒子群算法解决多维最优问题进行了对比分析,结果表明,粒子群算法模型简单,搜索效率更高,计算结果更易达到最优.根据前人的工作,本研究直接从粒子群算法入手,并针对现代优化算法易陷入局部最优的通病,在基本粒子群算法的基础上加入了混沌初始化和混沌扰动[4].

* 收稿日期:2008-06-20

作者简介:袁礼飞(1983—),男,安徽寿县人,硕士研究生,主要从事导弹火力运用研究.

3 混沌粒子群算法

3.1 粒子群算法的基本原理

设想一下鸟群觅食的情景.假使在一片区域中只有1块食物,鸟的个体与个体之间总是保持着适当的距离,每只鸟都不知道食物的具体位置在哪里,但通过信息共享机制,每只鸟都知道自己的位置距离食物的位置有多远,也知道自己周围离食物最近的鸟的位置.为了找到食物,每只鸟都向离食物最近的鸟的方向移动,直至找到食物.

在粒子群算法中,鸟群就是优化问题的一个解空间,每一只鸟就是一个解,同时也是一个在不断搜索的"粒子",食物就是优化问题的最优解.粒子通过信息共享,记录下自己在搜索过程中的最好位置和整个群体在搜索过程中的最好位置,前者称为个体极值(pBest),后者称为全局极值(gBest).每个粒子通过这2个极值,不断修正自己的搜索速度和位置,从而产生新一代的群体.

其数学描述为:设在一个 n 维的搜索空间中,由 m 个粒子组成的种群 $X=\{x_1,x_i,\cdots,x_m\}$,其中第 i 个粒子的位置为 $x_i=(x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{in})^{\mathrm{T}}$,其速度为 $v_i=(v_{i1},v_{i2},\cdots,v_{in})^{\mathrm{T}}$.该粒子的个体极值为 $p_i=(p_{i1},p_{i2},\cdots,p_{in})^{\mathrm{T}}$,种群的全局极值为 $p_g=(p_{g1},p_{g2},\cdots,p_{gn})^{\mathrm{T}}$.在每一步中,粒子根据以下公式更新自己的速度和位置:

$$v_{id}^{(t+1)}=\omega\cdot v_{id}^{(t)}+c_1r_1(p_{id}^{(t)}-x_{id}^{(t)})+c_2r_2(p_{gd}^{(t)}-x_{gd}^{(t)}) \tag{1}$$

$$x_{id}^{(t+1)}=x_{id}^{(t)}+v_{id}^{(t+1)} \tag{2}$$

其中:$d=1,2,\cdots,n$,n 为解空间的维数;$i=1,2,\cdots,m$,m 为种群的大小;ω 称为惯性权重;c_1、c_2 是2个正常数,称为加速因子;r_1,r_2 为均匀分布于[0,1]的随机数.由于速度过大时粒子将不受束缚地在整个解空间上跳跃搜索,将很难收敛于最优解,为了使粒子速度不致过大,常常设定速度上限 $v_{\max}$,$v_{\max}$决定粒子在一个循环中最大的移动距离,通常设定为粒子的范围宽度乘以某一常数.

从式(1)和式(2)可以看出,粒子的轨迹由3部分决定,自己原有的速度 v_i、与自己的最佳经历的距离(p_i-x_i),以及与整个群体最好位置的距离(p_g-x_i),而参数 ω、c_1 和 c_2 是控制这3部分内容的权重.惯性权重 ω 用于控制前一次迭代产生的速度对本次迭代速度的影响,它将影响粒子的全局和局部搜索能力.加速因子 c_1,c_2 用来控制粒子自身的记忆和同伴的记忆之间相对影响,代表了粒子向自身极值 pBest 和全局极值 gBest 推进的随机加速权值,合适的选择可以提高算法速度,避免局部极小.根据参考文献,当 ω 和 c_1,c_2 满足 $\omega>\frac{1}{2}(c_1+c_2)-1$,$c_1+c_2>0$,$\omega<1$ 时,粒子必定收敛到极值点.

3.2 混沌的基本概念

混沌为非线性系统的一种演变现象,是由确定性规则导致的对初始条件非常敏感的无固定周期的长期行为.混沌动力学以简单的规则产生复杂的行为,在一定范围内不重复地遍历空间所有的点,具有规律性、伪随机性和遍历性.其中混沌的遍历性是指混沌运动在其混沌吸引域内是各态历经的,即在有限时间内混沌轨道经过混沌区内每一个状态点.

产生混沌的数学模型有很多,较多使用的是 Logistic 混沌系统,其迭代公式为:

$$z_{i+1}=\mu z_i(1-z_i),i=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

其中,$\mu\in(2,4]$,$0<z_0<1$.当 $\mu=4$,$\mu\notin\{0.25,0.5,0.75\}$ 时,将产生混沌现象,即得:

$$z_{i+1}=4z_i(1-z_i),i=1,2,\cdots,n \tag{4}$$

此时 z 在(0,1.0)内遍历,这样,就通过产生一组与优化变量相同数目的混沌变量,用类似载波的方式将混沌引入优化变量使其呈现混沌状态.

3.3 混沌粒子群算法的步骤

混沌粒子群算法的主要步骤:

1) 粒子种群初始化,设定加速因子 c_1,c_2,最大无改进进化代数 $T_{\max}$,根据目标坐标确定瞄准点选取范围和粒子速度上限 $V_{\max}$,将当前进化代数置为 $t=1$,随机生成 m 个粒子的位置 $x_1,x_i,\cdots,x_m$.

2) 混沌初始化.随机产生一个 n 维、每个分量数值在0~1的向量 $z_1=(z_{11},z_{12},\cdots,z_{1n})$.根据式(4),$z_{i+1,j}=4z_{ij}(1-z_{ij})$,($i=1,2,\cdots,N-1$;$j=1,2,\cdots,n$)得到 N 个 $z_1,z_2,\cdots,z_N$.将 z_i 的各个分量载波到优化变量的取值范围:$x_{ij}=a_j+(b_j-a_j)z_{ij}$,($i=1,2,\cdots,N$;$j=1,2,\cdots,n$;).计算目标函数,从 N 个初始群体中选择性能较好的 m 个解作为初始解,随机产生 m 个初始速度.

3) 初始化粒子的个体极值 $p$best 和全局极值 $g$best.

4) 随机产生一个 n 维、每个分量数值在0~1的向量 $u_0=(u_{01},u_{02},\cdots,u_{0n})$.

5) 产生 $u_i=(u_{i1},u_{i2},\cdots,u_{in})$,$u_{i+1,j}=4u_i(1-u_{ij})$,($j=0,1,2,\cdots,n-1$),将 u_i 的各个分量载波到混沌扰动范围[$-\beta,\beta$]内,扰动量 $\Delta x=(\Delta x_1,\Delta x_2,\cdots,\Delta x_n)$ 中 $\Delta x_j=-\beta+2\beta u_{1j}$.

6) 按式(1)和式(2)更新粒子的速度与位置,对粒子位置增加混沌扰动量,比较增加前后的粒子适应值 f 和 f',选取更好的粒子位置,产生新种群 $X(t+1)$.

7) 比较粒子的当前适应值和个体最优值,如果当前适应值优于个体最优值,则置个体最优值为当前适应值,反之则保持个体最优值不变.

8) 检查结束条件,当达到最大进化代数或最大无改进代数时,结束寻优;否则,转至步骤5).

4 算例

设导弹发控中心有2个,第1个发控中心有同一型号的导弹6枚,第2个发控中心有同一型号的导弹10枚,每种导弹毁伤目标的概率及目标的权重如表1.试求使目标毁伤效能指标达到最大的导弹分配方案.

表1 导弹毁伤目标概率及目标权重

目标			B_1	B_2	B_3
重要程度 w_j			0.3	0.2	0.5
毁伤概率 e_{ij}	导弹类型	A_1	0.4	0.1	0.5
		A_2	0.2	0.4	0.2

该火力分配问题的目标函数为

$$\max F=\sum_{j=1}^{n}\omega_j[1-\prod_{i=1}^{m}(1-e_{ij})^{x_{ij}}]=1-0.3\times0.6^{x_{11}}\times 0.8^{x_{21}}-0.2\times0.9^{x_{12}}\times0.6^{x_{22}}-0.5\times0.5^{x_{13}}\times0.8^{x_{23}}$$

其中

$$\begin{cases}\sum_{j=1}^{3}x_{1j}=6,\sum_{j=1}^{3}x_{2j}=10\\ x_{ij}\geqslant0(i=1,2,j=1,2,3)\end{cases}$$

利用混沌粒子群算法来解决上述问题，取粒子种群个数为20，根据测试函数的表现取 $c_1=2.8,c_2=1.3,w=0.5$（见作者另文）. 每个粒子代表目标函数的一个解，解的维数就是粒子的维数，编码方式采用实数编码. 例如粒子位置(1,3,…)就是指第1枚弹攻击第1个目标，第2枚攻击第3个目标. 由于粒子群算法一般是在实数域上进行搜索，而分配方案选择是非线性整数规划问题，所以在编程实现时，需要将实数域搜索转化为整数域搜索. 运行程序后，求得最优解为(2,5,0,5,4,0)，$F=0.917\ 809$. 结果如图1.

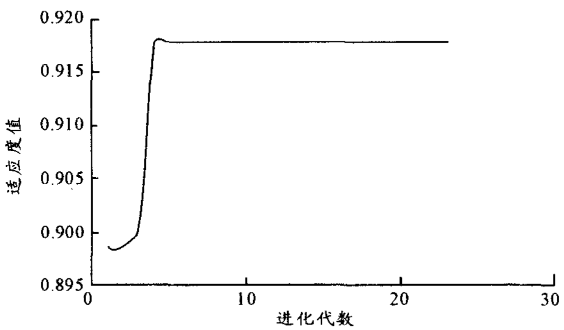

图1 火力分配目标函数

从计算结果可以看出，混沌粒子群算法仅经过5代就可以找到最优解，在P41.8的计算机上运行一次仅需要十几毫秒，搜索效率非常快. 与文献[1]中平均求解时间48.2 ms比较，效率明显提高，而且文献[1]中搜索到的并不是最优解，仅是一个次优解.

另外，通过加入混沌变量，利用混沌运动的遍历性，有效地避免了粒子容易陷入局部极值区间的问题. 综合来看，混沌粒子群算法对于解决此类问题提供了一个比较高效的解决方法.

参考文献：

[1] 张晓丰，程红斌，张凤鸣. 改进遗传算法的导弹目标分配方法[J]. 火力与指挥控制，2007(4):59.

[2] 任斌，丰镇平. 改进遗传算法与粒子群优化算法及其对比分析[J]. 南京师范大学学报：工程技术版，2002(2):14.

[3] 王才宏. 常规导弹对地面油库目标打击方法研究[D]. 西安：二炮工程学院，2004.

[4] 高尚. 群智能算法及其应用[M]. 北京：中国水利水电出版社，2006.

[5] 莫愿斌. 粒子群优化算法的扩展与应用[D]. 杭州：浙江大学，2006.

[6] Kennedy J. The particle swarm: social adaptation of knowledge[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Indianapolis: IEEE, 1997:303.

(上接第38页)本研究对这些问题进行简化，初步建立了一个计算反舰导弹突防概率模型，通过计算获得了一些影响反舰导弹突防概率的因素，对导弹突防概率评估问题研究具有一定的借鉴意义.

参考文献：

[1] 宋贵宝，陈峰，李毅. 对抗条件下反舰导弹的作战概率仿真分析[J]. 战术导弹技术，2007(4):77.

[2] 李军. 运筹学[M]. 北京：科学出版社，2003.

[3] 楚耶夫. 军事技术运筹学基础[M]. 北京：国防工业出版社，1976.

[4] 孔丽，宋贵宝，李毅，等. 电子干扰条件下反舰导弹突防概率计算[J]. 海军航空工程学院学报，2005(5):559.

[5] 张安. 航空武器系统分析导论[M]. 西安：西北工业大学，2001.

[6] 宋贵宝，孔丽，李红亮，等. 密集阵反导系统拦截反舰导弹模型研究[J]. 系统仿真学报，2004(10):21-28.