

基于混合粒子群算法的通用导弹固定平台布局优化

韩贝贝¹, 舒涛¹, 程永强^{1,2}, 王 崑¹, 徐金泉³

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 3. 中国人民解放军驻 3531 厂军代室, 贵州 贵阳 550009)

摘 要:为实现导弹运输的通用化保障,提高导弹运输装备的运输能力,设计了一种可以加装在越野车副车架上的新型通用导弹固定平台,满足固定机构布局面积达到最小的要求,从而减小对底盘上装空间的需求,降低底盘选型的难度。针对这一问题,在对基本粒子群算法中的惯性权重取值进行改进的基础上,利用模拟退火原理对粒子群算法每次迭代产生的全局最优解进行优化。经仿真实验验证,与基本粒子群算法相比,该混合算法搜索能力强、搜索精度高、收敛性好、优化效果明显,很好的解决了通用导弹固定平台的布局优化问题。

关键词:混合粒子群算法;模拟退火算法;布局优化;通用导弹固定平台

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.04.009

中图分类号: TP302; TJ760.89 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)04-0042-05

为实现导弹储运箱的固定,需要在通用导弹固定平台上相应地设置不同形式的固定机构。各个系列导弹储运箱的外观尺寸、重量、固定位置均不相同,固定机构的布局将直接决定底盘前后车轴的载荷分布以及整车的强度、刚度和振动特性,从而影响整车的静力学和动力学特性,因此对平台上各固定机构的布局进行优化设计是一项重要的研究内容。

布局优化问题是一个 NPC (Non - Deterministic Polynomial Complete) 难题,目前许多智能优化算法在解决布局优化问题时都有一定的局限性,如遗传算法(GA)和模拟退火算法(SA)进行求解时收敛速度慢。经研究发现虽然粒子群算法(PSO)的求解速度快,但是当迭代的次数增加时,粒子群算法提高解的质量的能力不强,易出现陷入局部最优、过早收敛等问题。为了克服以上缺点,本文在研究前人提出的混合算法的基础上,将模拟退火思想引入改进粒子群算法,用于对通用导弹固定平台的布局优化,取得了很好的效果。

1 通用导弹固定平台布局模型

1.1 通用导弹固定平台结构布局

通用导弹固定平台上的固定机构布局是一个二维布局问题,各固定机构布局见图 1。以平台中心为原点建立平面直角坐标系,为防止导弹固定后平台发生侧向倾斜,各系列导弹的固定机构均关于 x 轴对称安装在平台上,同时为了避免高度上的干涉,将 e 系列导弹储运箱夹紧机构设计成可拆卸的形式,平台上设置折动螺栓实现对其固定,车厢平板中部避过副梁设计专用槽放置拆卸后的夹紧机构。

为方便数学描述,此处假设 a, b, c, d, e 5 个系列导弹编号为 1, 2, 3, 4, 5, e 系列导弹的夹紧机构放置槽编号为 6;具体到单个系列导弹的多个固定机构的编号方式为:按顺时针方向、由左上角开始计数、从(1)开始编号(图 1 中以 a, d, e 系列导弹为例标明)。

* 收稿日期:2010-03-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50505051)

作者简介:韩贝贝(1987-),男,山西临汾人,硕士生,主要从事测控技术研究. E-mail: hanbbxiaobie@163.com

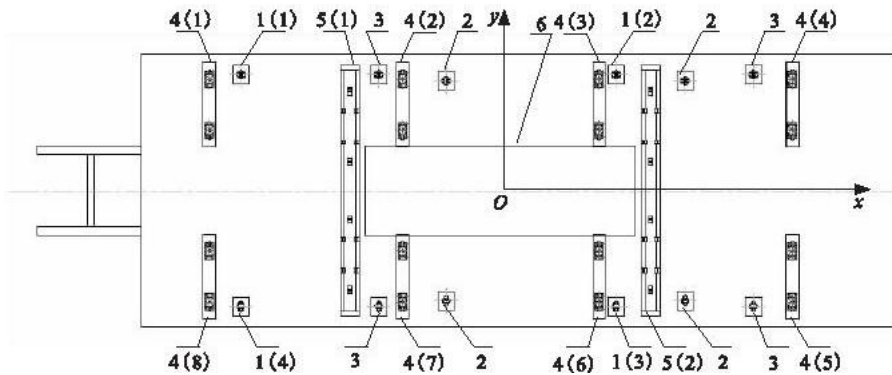


图1 固定机构布局示意图

Fig. 1 Layout sketch map of the fixation mechanism

1.2 通用导弹固定平台布局数学模型

本文要求经过优化后的通用导弹固定平台布局能使所有固定机构布面积达到最小,从而最大限度地减小对底盘上装空间的需求,降低底盘选型的难度。在图1所示的直角坐标系中,用 x_{ij} 和 y_{ij} 分别表示*i*系列导弹的第(*j*)个固定机构形心(各种固定机构的结构均关于*x*,*y*轴对称)的横坐标和纵坐标, x_i 和 y_i 则表示*i*系列导弹任意一个固定机构的横坐标和纵坐标。为描述方便,定义固定机构之间的距离即为固定机构形心之间的距离,固定机构的定位点即为固定机构形心的坐标。目标函数为:

$$F(x, y) = \min \{ [\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})] [\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})] \}, (i = 1, 2, \dots, 6; j = 1, 2, \dots, 8)$$

$$s. t. \begin{cases} |x_i| < d^x/2 & |y_i| < d^y/2, & (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \\ |x_i - x_j| > d_{ij}^x & |y_i - y_j| > d_{ij}^y, & (i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \\ |x_{i1} - x_{i2}| = |x_{i3} - x_{i4}| = d_i^x & |y_i| = d_i^y/2, & (i = 1, 2, 3) \\ |x_{41} - x_{42}| = |x_{43} - x_{44}| = |x_{45} - x_{46}| = |x_{47} - x_{48}| = d_4^x \\ |y_{41}| = |y_{42}| = |y_{43}| = |y_{44}| = |y_{48}| = |y_{47}| = |y_{46}| = |y_{45}| \\ |x_{41}| = |x_{48}| = |x_{44}| = |x_{45}| & |x_{42}| = |x_{47}| = |x_{43}| = |x_{46}| \\ |x_{51} - x_{52}| = d_5^x & y_5 = 0 \\ x_6 = y_6 = 0 \end{cases}$$

1)毫无疑问,固定机构布局不能超出平台的范围(平台尺寸: $d^x \times d^y$);

2)各种固定机构的尺寸已经根据储运筒停放架或储运箱的结构和尺寸设计好,因此为避免各固定机构之间相互干涉,任意两个固定机构在*x*,*y*轴方向上的距离须分别大于常数 d_{ij}^x 和 d_{ij}^y ;

3)*a*,*b*,*c*3个系列导弹的储运筒停放架均为轴对称结构,且尺寸已经确定,故每个系列导弹的4个停放架固定座之间的距离须相应的固定为 d_i^x 和 d_i^y ;3个系列导弹的固定方式均为沿*x*轴方向在停放架上平行放置2枚筒弹,为防止导弹固定后平台发生侧向倾斜,筒弹须关于*x*轴对称,则相应的停放架固定座的定位点须关于*x*轴对称;

4)*d*系列导弹的固定方式为2个固定座沿*x*轴方向固定一个储运箱,故相应的2个固定座在*x*轴方向上的距离应固定为 d_4^x ;为保证平台受力平衡,4个储运箱须分别关于*x*,*y*轴对称,则要求1,2,3,4与8,7,6,5号固定座的定位点分别关于*x*轴对称,1,2,7,8与4,3,6,5号固定座的定位点分别关于*y*轴对称;

5)*e*系列导弹的固定方式为沿*x*轴方向在2个夹紧机构上平行固定两个储运箱,与*d*系列类似,2个夹紧机构在*x*轴方向上的距离应固定为 d_5^x ;同样,为防止导弹固定后平台发生侧向倾斜,储运箱须关于*x*轴对称,故要求2个夹紧机构的定位点关于*x*轴对称;

6)为简便布局优化和工程设计,将*e*系列导弹储运箱的夹紧机构放置槽定位在平台的中心处。

2 混合粒子群算法

2.1 改进粒子群算法

粒子群算法的基本思想为^[1-4]:在*d*维(*d*为未知数个数)搜索*S*空间中,通过评价每个粒子也就是每个

解的适应度函数 fitness, 以确定 t 时刻每个粒子在迭代过程中自身所经历的最佳位置 pbest, 称为个体最优解 P_i , 而将整个群体所发现的最佳位置 gbest 称为全局最优解 P_g , P_i 和 P_g 是 PSO 算法迭代寻优的重要更替对象。对于极小化问题, 根据式(1)更新各粒子的速度和位置:

$$\begin{aligned} V_i(t+1) &= \omega V_i(t) + C_1 \text{rand}_1(P_i(t) - X_i(t)) + C_2 \text{rand}_2(P_g(t) - X_i(t)) \\ X_i(t+1) &= X_i(t) + V_i(t+1) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: ω 为惯性权重; $\text{rand}_1, \text{rand}_2$ 为 $[0, 1]$ 之间的随机数; C_1, C_2 为学习因子, 用于调节向全局最优粒子和局部最优粒子方向飞行的最大步长, 为非负常数。

优化求解过程中, 个体最优解 P_i 的迭代关系和全局最优解 P_g 的取值分别如式(2)、(3)所示。

$$P_i(t+1) = \begin{cases} P_i(t) & , \quad \text{fitness}(P_i(t)) \leq \text{fitness}(X_i(t+1)) \\ X_i(t+1) & , \quad \text{fitness}(P_i(t)) > \text{fitness}(X_i(t+1)) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{fitness}(P_g(t)) = \min(\text{fitness}(P_1(t)), \text{fitness}(P_2(t)), \dots, \text{fitness}(P_s(t))) \quad (3)$$

式中: $P_g(t) \in \{P_1(t), P_2(t), \dots, P_s(t)\}$ 。

尽管粒子群算法原理简单, 易于实现, 适于群体搜索并具有记忆能力, 可保留局部个体和全局种群的最优信息, 但是它也存在局部搜索能力较差、搜索精度不够高、容易陷入局部极小值的缺点。为此, 本文在基本粒子群算法的基础上做出了以下改进:

在粒子群算法中, 惯性权重 ω 用来控制历史速度对当前速度的影响, 均衡全局搜索与局部搜索能力, 从而减少寻求最优解的迭代次数。实际中往往采用“快速逼近-精细调节”的策略^[5-6], 即先采用全局搜索使解空间快速收敛于某一区域, 然后再采用局部搜索提高解的精度, 故 ω 的取值可采用式(4):

$$\omega = \omega_{\max} - \text{iter}(\omega_{\max} - \omega_{\min}) / \text{iter}_{\max} \quad (4)$$

式中: ω_{\max} 为惯性权重最大值; ω_{\min} 为惯性权重最小值; iter 为当前算法迭代次数; iter_{\max} 为算法总迭代次数。随着迭代次数的增加, ω 按线性规律逐渐减小, 从而使搜索区域逐渐缩小, 增强了算法的局部搜索能力。

2.2 混合粒子群算法

在上述改进粒子群算法中, 每一次迭代完成后, 总有满足 $X_j(t) = P_j = P_g$ 的粒子, 为了改善算法的全局搜索能力, 可保留 P_g 作为粒子群的一个历史最好位置, 同时在搜索空间 S 中重新随机产生粒子 j 的位置 $X_j(t+1)$, 其他粒子仍按照式(1)更新其速度和位置^[7], 即:

$$P_j = X_j(t+1) \quad (5)$$

为了提高搜索效率, 使上述需要在搜索空间 S 中随机产生的粒子 j 以较大概率位于最优点附近, 故采用模拟退火算法生成该粒子^[8-9], 形成混合粒子群算法。

在混合粒子群算法中, 以当前历史最好位置 P_g 为初始状态, 即 $X_j(t) = P_g$, 并选择初始温度 $T = T_0$, 根据式(6)产生下一状态:

$$X_j(t+1) = X_j(t) + \lambda \mu \quad (6)$$

式中: λ 为扰动幅值参数; μ 为随机变量, 一般服从正态分布或均匀分布。

计算 2 个粒子的位置引起的适应值变化量 $\Delta E = \text{fitness}(X_j(t+1)) - \text{fitness}(X_j(t))$ 。若 $\Delta E \leq 0$, 则接受新值; 若 $\exp(-\Delta E/T) > \text{rand}(0, 1)$ 也接受新值; 否则拒绝, $X_j(t+1)$ 仍为 $X_j(t)$ 。若接受新值, 按 $T(t+1) = \varepsilon T(t)$ ($0 < \varepsilon < 1$) 降温, 并将 $X_j(t+1)$ 作为下一次模拟退火的初始点; 否则不降温。

2.3 算法流程

混合粒子群算法的具体流程如下:

- 1) 初始化粒子群, 确定种群规模, 在一定范围内随机产生每个粒子的速度和位置, 给定算法的惯性权重最大值 ω_{\max} 和最小值 ω_{\min} , 学习因子 C_1 和 C_2 , 以及最大迭代次数 iter_{\max} , 退火初始温度 T_0 , 温度衰减系数 ε ;
- 2) 将每个粒子的 pbest 设置为初始位置 P_i , 计算每个初始粒子的适应值, 将 gbest 设置为初始群体中最好粒子的当前位置 P_g ;
- 3) 根据式(1)更新每个粒子的速度和位置;
- 4) 计算每个粒子的适应值;
- 5) 按式(2)更新 P_i , 按式(3)更新 P_g ;
- 6) 每迭代一次, 对满足 $X_j(t) = P_j = P_g$ 的粒子, 保留其作为一个历史最好位置, 并按式(6)生成 $X_j(t+1)$, 进行模拟退火操作;

7)根据式(1)继续对其他粒子的速度和位置进行进化;

8)检查终止条件,判断算法是否达到全局收敛或最大迭代次数 $iter_{max}$, 如果达到,继续执行9);否则,返回4);

9)输出最优结果,算法结束。

3 仿真分析

将基本粒子群算法和混合粒子群优化算法分别用于通用导弹固定平台的布局优化,在 MATLAB7.0 环境下分别对其进行编程计算,参数选择综合了文献[10-12]提出的方法,并结合通用导弹固定平台布局优化需求,部分参数和计算结果见表1,基本粒子群算法和混合粒子群算法的收敛曲线见图2。

表1 部分参数和计算结果

Tab.1 Some parameters and calculation results

算法	ω_{max}	ω_{min}	C_1	C_2	种群大小	$iter_{max}$	T_0	ε	最优值出现的代数	目标函数值
基本 PSO	0.79	0.79	2	2	30	400			308	28.504 47
混合 PSO	0.99	0.11	2	2	40	400	3 000	0.8	147	22.640 76

由图2可以看出,迭代开始后,两种算法的适应值都呈下降趋势,并最终收敛到某一定值,他们的适应值下降都较快,说明 PSO 的求优效率比较高;但是,基本 PSO 过早陷入局部最优解,而混合 PSO 由于进行了改进使适应值稳步下降,并找到了比基本 PSO 更优的解。由上述优化结果可以看出,相对基本 PSO,混合 PSO 不容易陷入局部最优解,且收敛速度快,可以较好解决通用导弹固定平台的布局优化问题,进而验证了本文算法中改进和混合策略的有效性。

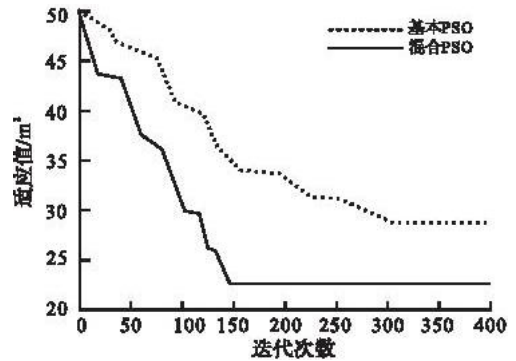


图2 基本 PSO 与混合 PSO 算法收敛曲线

Fig.2 Convergence curves of basic PSO and hybrid PSO

4 结束语

本文建立了通用导弹固定平台上固定机构布局的数学模型,运用混合粒子群算法对其进行布局优化。从仿真结果可以看出,混合 PSO 的优化结果要好于基本 PSO 的优化结果,证明混合 PSO 的搜索能力和搜索精度得到了提高,是解决布局优化问题的一种有效方法。同时,应用智能优化算法对通用导弹固定平台布局优化的实现,也有助于进一步优化通用导弹运输装填车底盘前后车轴的载荷分布以及整车的强度、刚度和振动特性,对提高整车的综合性能有重大意义。

参考文献:

- [1] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Perth:IEEE Service Center, 1995:1942-1948.
- [2] Eberhart R, Kennedy J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory[C]//Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science. Nagoya:IEEE Service Center, 1995:39-43.
- [3] Shi Y, Eberhart R. A modified particle swarm optimizer[C]//IEEE World Congress on Computational Intelligence. [S.l.]: IEEE Press, 1998:69-73.
- [4] Eberhart R, Shi Y. Particle Swam Optimization Developments Applications and Resources[C]//Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation. New Jersey:IEEE Service Center, 2001:81-86.
- [5] 滕鹏,张君海,于雷,等.基于粒子群优化算法的协同空战导弹目标分配[J].空军工程大学学报:自然科学版,2008,9(5):24-28.

- TENG Peng, ZHANG Junhai, YU Lei, et al. Missile – target Optimal Assignment of Air Combat in Coordination Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2008, 9(5): 24 – 28. (in Chinese)
- [6] 王凌, 刘波. 微粒群优化与调度算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
WANG Ling, LIU Bo. Particle Swarm Optimization and Scheduling Algorithms[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (In Chinese)
- [7] 寇晓丽, 刘三阳. 基于模拟退火的粒子群算法求解约束优化问题[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2007, 37(1): 136 – 140.
KOU Xiaoli, LIU Sanyang. Particle Swarm Algorithm Based on Simulated Annealing to Solve Constrained Optimization[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007, 37(1): 136 – 140. (in Chinese)
- [8] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by Simulated Annealing[J]. Science, 1983, 220(4598): 671 – 680.
- [9] Basu A, Frazer L. Rapid Determination of the Critical Temperature in Simulated Annealing Inversion[J]. Science, 1990, 249(4975): 1409 – 1412.
- [10] 周文. 粒子群优化算法及其参数设置的研究[J]. 湖北职业技术学院学报, 2006, 9(4): 93 – 96.
ZHOU Wen. Study of the Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Parameters Setting[J]. Journal of Hubei Vocational and Technical College, 2006, 9(4): 93 – 96. (in Chinese)
- [11] 赵世安, 黄敢基. 模拟退火并行粒子群优化算法程序设计与研究[J]. 百色学院学报, 2006, 19(6): 9 – 12.
ZHAO Shi'an, HUANG Ganji. Design and Study of Particle Swarm Optimization with Simulated Annealing[J]. Journal of Baise University, 2006, 19(6): 9 – 12. (in Chinese)
- [12] 刘少伟, 金荣, 张琳. 用粒子群算法优化装备初始备件量[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2008, 9(1): 46 – 49.
LIU Shaowei, JIN Rong, ZHANG Lin. The Optimization of Initial Spare Parts Based on Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2008, 9(1): 46 – 49. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

Optimizing Layout of the Universal Missile Fixation Platform Based on Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm

HAN Bei – bei¹, SHU Tao¹, CHENG Yong – qiang^{1,2}, WANG Wei¹, XU Jin – quan³

(1. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. School of Marine, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 3. Office of PLA Representatives in 3531 Factory, Guiyang 550009, China)

Abstract: In order to realize the universal support of missile transportation, a new universal missile fixation platform which can be installed on the deputy – frame of the military go – anywhere vehicle is designed to enhance the transportation ability of missile equipments. Because the layout of the fixation mechanisms on the platform directly decides the clearance distribution of the storage and transportation boxes, the space requirement and choice of the chassis, it is necessary to optimize the layout of the fixation platform. The optimized results should meet the need that the area where the fixation mechanisms layout covers should be reduced to the minimum, so as to decrease the space requirement and choice difficulty of chassis. A new Hybrid Particle Swarm Optimization algorithm is put forward to solve the problem. Based on the basic PSO whose inertial weight has been improved, the Simulated Annealing idea is introduced into optimizing the global – best solution that is the result of every iteration sub – step of PSO. The simulation results show that, compared with the basic PSO, the HPSO is superior in searching ability, precision, convergence and optimal results. The paper proves that the HPSO can solve the optimizing layout problem of universal missile fixation platform well.

Key words: HPSO; SA; Optimizing Layout; universal missile fixation platform