

ASAGA Arithmetic for Position Optimization of Battlefield Reconnaissance Radar Netting

Kexin LI, Guoxin XU, Peng ZHANG, Zhihong ZHAO

Department of Electronic Reconnaissance, Shenyang Artillery Academy, Shenyang, China

Email: lekexin@126.com

Abstract: Position optimization of battlefield reconnaissance radar netting is one of the important factors for operation decision. Radar netting optimal is studied, and an evaluation model for radar optimal disposition is established. The adaptive genetic algorithm (AGA) was adopted to find the optimal variables. Meanwhile, the adaptive simulated annealing genetic algorithm (ASAGA) was developed by combining AGA and simulated annealing algorithm. The new algorithm not only provided global search capacity, but also improved local search capacity of AGA. The experimental results prove the method can be serving as a reference of the optimization of radar netting.

Keywords: radar netting; optimization; simulated annealing; genetic algorithm

战场侦察雷达组网阵地优化配属的 ASAGA 算法

李可心, 徐国鑫, 张 鹏, 赵志宏

沈阳炮兵学院电子侦察指挥系, 沈阳, 中国, 110162

Email: lekexin@126.com

摘 要: 战场侦察雷达组网阵地的优化配属是作战指挥决策的重要内容之一。研究了雷达网优化部署问题, 建立了评估模型。采用了自适应遗传算法(AGA), 寻求多变量的最优解, 同时结合模拟退火算法, 得到了自适应模拟退火遗传算法(ASAGA), 该算法既具有全局搜索能力, 又改善了一般遗传算法的局部寻优能力。仿真结果证明该方法对雷达组网部署优化具有一定参考价值。

关键词: 雷达组网; 优化部署; 模拟退火; 遗传算法

1 引言

战场侦察雷达组网阵地的优选是结合雷达性能从符合条件的阵地点中选取适当的地点, 合理配置雷达, 为圆满完成侦察任务, 形成最佳的侦察配置方案提供依据, 是作战指挥决策的重要内容之一。它需要处理非结构化的、范围巨大的、复杂的地理环境, 且涉及较多的约束条件, 如敌我态势、侦察装备性能、战术背景限制、侦察地域地形条件等。在有多个预选方案时, 指挥员往往单凭经验难以从中得到最佳的阵地优选方案。所以, 如何运用数学方法和计算机软硬件进行辅助决策显得十分重要。

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法, 具有较强的鲁棒性, 其思想简单、应用广泛, 相对其它方法具有更好的适应性、易扩充性和

全局最优解求解能力, 搜索效率显著^[1]。

虽然遗传算法已经在许多优化领域得到成功的应用, 但基本遗传算法本身存在一些缺陷, 主要是局部搜索能力差和存在早熟等问题。这就使得在计算中往往需要较长时间才能找到最优解, 且易陷入局部极值。模拟退火算法具有较强的局部搜索能力, 但把握搜索过程的总体能力较差、运行效率低。将两种算法进行结合, 能得到一种混合遗传算法, 即自适应模拟退火遗传算法 ASAGA(Adaptive Simulated Annealing Genetic Algorithm), 用于战场侦察雷达组网阵地优化配属。采用 ASAGA 既能充分发挥遗传算法的全局寻优能力, 同时通过模拟退火算法的辅助局部寻优, 能提高局部寻优的能力和精度。

由于雷达是靠电磁波传播探测目标, 因此阵地条件对雷达探测范围有着重要影响。阵地的高低、倾斜度、反射面起伏度、遮蔽角等都会影响雷达探测范围, 特别

是在丘陵、山地地区，雷达的部署地域更是受到地理环境的局限。我们将待部署地域分为丘陵山地和平原两种类型。平原地区由于地势平坦，可近似认为阵地点可自由移动；丘陵山地地区由于多高地、沟壑，需预先通过GIS进行空间分析选出符合条件的雷达阵地。本文主要研究阵地选择基础上的优化部署。

2 战场侦察雷达组网阵地优化配属目标函数

战场侦察雷达网对侦察区域情报信息掌握的连续性和严密性是衡量雷达网性能的重要标准，因此，从区域覆盖考虑，并根据敌目标作用距离，将探测区域划分为若干距离段（赋予不同的权值），确保每距离段上都满足连续性和严密性。同时，根据全面覆盖重点加强的原则，在可能的敌攻击方向应重点预警，并进行冗余布站。在雷达数量确定的情况下，观察各距离是否满足区域连续性和严密性和主要侦察方向上部署情况，如不满足要求，适当调整各雷达位置，直到满足为止，此种部署即阵地优化配属。

根据上述思想建立雷达网优化配属的目标函数如下：

$$f = \sum_{j=1}^m w_j \left[\lambda_1 \frac{G_j}{S_g} + \lambda_2 \frac{C_j}{S_c} + \lambda_3 \sum_{t=2}^k u_t \frac{O_{c_j}(t)}{S_c} \right] \quad (1)$$

其中： $G_j = \bigcup_{i=1}^n S_{ij} \cap S_g$ ， G_j 为第 j 距离段上网的探测覆盖面积； S_{ij} 为第 i 部雷达 j 距离段探测覆盖面积； S_g 为任务警戒面积； n 为雷达数目； i 为距离段数。

$C_j = \bigcup_{i=1}^n S_{ij} \cap S_c$ ， C_j 为第 j 距离段上网对重要方向探测区域的覆盖面积； S_c 为重要方向探测区域面积。

$O_{c_j}(t) = \bigcup_{i=1}^n (S_{ij} \bigcap_{k=1}^n S_{kj}) \cap S_c$ 为雷达网在 j 距离段上重要探测方向重叠度数为 t 的面积，重叠度数为 t 所对应的系数， $\sum u_t = 1$ ；

m 为距离分段数； λ_i 为各项权重， $\sum \lambda_i = 1$ ； w_j 为各距离段权重， $\sum w_j = 1$ 。

3 自适应模拟退火遗传算法

传统的优化方法(如梯度法)往往需要对解析式求导，对于复杂的优化问题会陷入局部最优点。上世纪60~70年代发展起来的遗传算法GA(Genetic Algorithm)正好克服了传统优化算法的这些缺点。遗传算法是一种基

于自然界中种族进化优胜劣汰的原则设计的优化算法，其寻优方法不依赖于对象本身，因此对于寻找复杂问题的全局最优解非常有效。

3.1 遗传算法设计步骤

遗传算法的设计步骤如下^[2]：

1) 确定群体大小 M 和最大进化代数 G ：GA 中，每一组变量组成一个个体，表示一个群体中个体的数量， G 表示对每一个群体进行遗传操作的最大次数；

2) 编码：采用实数编码。目前常用的二进制编码在交叉、变异等遗传操作便于实现，具有较强的全局搜索能力等，但不便于反映所求问题的特定知识，对于一些连续函数的优化问题其局部搜索能力较差。与二进制编码相比，在解决一些优化问题上实数编码更能反映实际问题。由于实数编码的 GA 不存在编码和解码过程，改善了算法的计算复杂性；变异量可以任意地小，产生的新个体与父个体就可以充分地接近，能够提高解的精度和运算效率；且在变异操作上能够更好的保持种群多样性，在一定程度上抑制了早熟收敛的发生。

3) 适应度：适应度越大的个体，被保留的可能性越大，定义适应度为优化配属的目标函数 f ；

4) 选择：采用比例选择算子，被保留的概率与适应度大小成正比，经选择后产生新的种群；

5) 交叉：采用单点交叉算子，过程如图 1 所示。图中父个体 A 和 B 按照交叉概率，在虚线处开始发生交叉，交换虚线后的二进制编码给对方，产生新的个体 A' 和 B'。

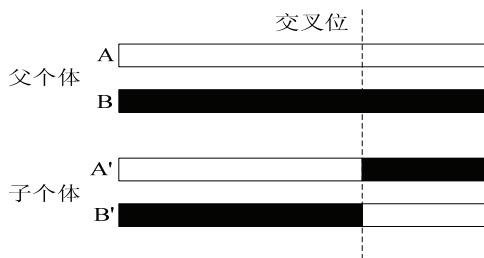


Figure 1. Cross sketch map
图 1. 交叉示意图

6) 变异：如果个体中的某一位编码符合变异概率，发生变异。

3.2 自适应调整

遗传算法的参数中交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 的选择是影响遗传算法行为和性能的关键所在，直接影响算

法的收敛性。 P_c 越大, 新个体产生的速度就越快, 然而, P_c 过大时遗传模式被破坏的可能性也越大, 使得具有高适应度的个体结构很快就会被破坏; 但是如果 P_c 过小, 会使搜索过程缓慢, 以至停滞不前。对于变异概率 P_m , 如果 P_m 过小, 就不易产生新的个体结构; 如果 P_m 过大, 那么遗传算法就变成了纯粹的随机搜索算法。

Srinivas 等提出一种自适应遗传算法 AGA(Adaptive GA), P_c 和 P_m 能够随适应度自动改变。对于适应度高于群体平均适应度的个体, 对应于较低的 P_c 和 P_m , 使该解得以保护进入下一代; 而低于平均适应度的个体, 相对于较高的 P_c 和 P_m , 使该解被淘汰掉^[3,4]。

经过改进, 设计符合本文所分析的问题的 P_c 和 P_m , 其表达式如下:

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \\ P_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases}$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f_{max} - f)}{f_{max} - f_{avg}} & f \geq f_{avg} \\ P_{m1} & f < f_{avg} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $P_{c1} = 0.9$; $P_{c2} = 0.6$; f_{avg} 为每代群体的平均适应度值; f' 为要交叉的2个个体中较大的适应度值; f_{max} 为群体中最大的适应度值。 $P_{m1} = 0.01$, $P_{m2} = 0.001$, f 为要变异个体的适应度值。

3.3 模拟退火算法

尽管 GA 具有很强的全局寻优能力, 但应用实践表明, GA 存在着容易产生早熟现象、局部寻优能力较差等缺点。另一方面, 梯度法、模拟退火算法等一些优化算法却具有很强的局部搜索能力。因此, 在 GA 的搜索过程中融合这些优化方法, 对于提高 GA 的运行效率和求解质量是十分有效的。

模拟退火算法 SAA(Simulated Annealing Algorithm) 是基于金属退火的机理而建立起的一种随机算法, 它能够通过控制温度的 $P_{m1} = 0.01$ 变化过程来实现大范围的粗略搜索与局部的精细搜索。本文用指数降温策略对温度的变化进行控制, 即:

$$T_i = T_0 (0.99^{i-1}) T \quad (3)$$

式中, T_0 为初始温度; T_i 为第 i 代温度。

当利用 SAA 进行局部寻优时, 在当代个体 X 附近产生新的个体 X' , 其产生规律为:

$$X' = \begin{cases} X + (X_R - X) \delta(T_i) \varepsilon & U(0,1) = 0 \\ X - (X - X_L) \delta(T_i) \varepsilon & U(0,1) = 1 \end{cases} \quad (4)$$

式中, X_L 和 X_R 分别为变量 X 左右边界的值; ε 为 $(0, 1)$ 之间的随机数; $U(0,1)$ 表示随机选取0或者1; $\delta(T_i)$ 为扰动量, 随 T_i 的减小而减小。 T_i 为 T_0 时, $\delta(T_i) \leq 1$ 保证新的个体 X' 不会超出边界, 且当 $i \rightarrow G$ 时, $\delta(T_i) \rightarrow 0$ 。本文设计 $\delta(T_i)$ 为:

$$\delta(T_i) = 0.5(1 - T_G/T_i) \quad (5)$$

个体 X 变成个体 X' 的接受概率为

$$P_{SAA} = \begin{cases} 1 & f(X') \geq f(X) \\ \exp\left(\frac{f(X') - f(X)}{T_i}\right) & f(X') < f(X) \end{cases} \quad (6)$$

采用上述接受概率的优点是: 当 SAA 产生更优的解时, 能完全保留该解; 当产生恶化解时, 以概率 P_{SAA} 接受新解。这样既能保证 SAA 局部寻优的精度, 又能避免陷入局部最优。

将 AGA 和 SAA 结合, 就能得到一种混合遗传算法, 即自适应模拟退火遗传算法 ASAGA(Adaptive Simulated Annealing Genetic Algorithm)。采用 ASAGA 既能充分发挥 AGA 的全局寻优能力, 同时通过 SAA 的辅助局部寻优, 能提高局部寻优的能力和精度, 整个流程如图 2 所示。

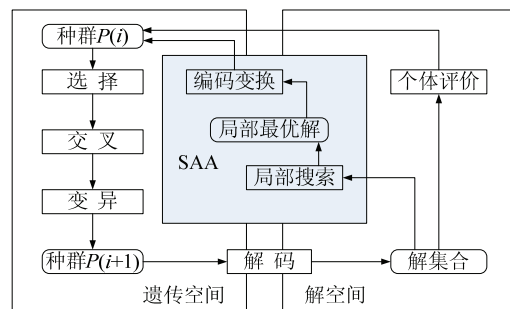


Figure 2. ASAGA flow chart
图 2. ASAGA 流程图

4 采用遗传算法求解

4.1 编码

如何将问题的解转化为用编码表达的个体是遗传算

法的关键问题。由于雷达网在山地地区部署是在已经预选的有限阵地点中进行，而在平原地区可看作是在连续面上选点，因此，本文对两种地形采用两种方式编码，每一个个体代表一种部署方案。在平原地区采用二维实数编码，每对 (X_i, Y_i) 为一个基因，代表一个阵地点，基因串 $(X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3, \dots)$ 表示一个个体；丘陵山地地区，在事先预选阵地的基础上将阵地进行编号，每个阵地编号组合即为一个个体。

4.2 初始化

为了保证阵地点的随机性。在山地地区选取阵地基础上生成随机 n 组阵地点序列，然后在阵地点序列基础上根据约束配置相应器材，编码为合法个体；平原地区同样采用随机函数生成部署地域内的 n 个 $(X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3, \dots)$ 坐标序列，代表 n 种部署方案。

4.3 适应度函数

根据对问题的研究，采用上述雷达网阵地优化配属目标函数作为算法的适应度函数。

4.4 遗传操作

4.4.1 选择算子

选择策略的要求：一是要保证初始种群的多样性；二是优良的个体要被选入。本文采用的是轮盘赌选择方法。采用轮盘赌选择，使得群体中的每个个体都有被选中的可能，保证了选择结果的代表性和广泛性。同时，使个体被选中的概率与其适应度值的大小成正比，个体的适应度值越高，则其基因结构被遗传到下一代的可能性越大，保证了算法的收敛性。

4.4.2 交叉算子

交叉操作是模仿生物界有性繁殖的基因重组过程，其作用在于将父代原有的优良基因遗传给下一代个体，并生成包含更优基因结构的新个体。为了防止算法陷入早熟，采用(2)式进行自适应交叉。对于编码一，将通过轮盘赌选出的两个父个体采用下式进行算术交叉：

$$\begin{cases} X' = (\text{parent1}.X + \text{parent2}.X) \\ \quad / 2 + \alpha * (\text{parent1}.X - \text{parent2}.X) \\ Y' = (\text{parent1}.Y + \text{parent2}.Y) \\ \quad / 2 + \alpha * (\text{parent1}.Y - \text{parent2}.Y) \end{cases} \quad (7)$$

其中 α 为一介于 0 和 1 之间的随机数。

对编码二选出的父个体进行单点交叉，如：

交叉前染色体：⑥②⑧①③⑦；

交叉后染色体：⑥①⑧②③⑦；

4.4.3 变异算子

为了增强 GA 的随机搜索能力。对交叉产生的新个体采用全概率变异。对于编码一，采用下式进行算术变异：

$$\begin{cases} X'' = X' + \alpha * X' \\ Y'' = Y' + \alpha * Y' \end{cases} \quad (8)$$

对于编码二交叉产生的新个体，为使变异操作同样具有局部随机搜索功能，再次生成新个体，增加种群多样性，采用在一定约束条件下，将未选阵地引入新个体指定位，如：

交叉产生新染色体：⑥②⑧①③⑦；

首位变异后染色体：⑤②⑧①③⑦；

4.5 算法终止条件

将最优个体适应度值的变化作为算法终止的依据，若连续几代最优个体适应度无变化，则结束进化。

5 实例应用

为了验证上述算法的可行性与有效性，以平原地形战场侦察雷达组网为例进行部署。设有两种型号共四部雷达，其中三部为中近程雷达，一部远程雷达，正东方为敌可能进攻方向，侦察正面 $\pm 1000\text{mil}$ 。在指定地域内采用文中算法，设定初始群体规模为 100，初始温度 T_0 为 100，温度冷却参数 a 为 0.9，运行 46 代终止，其部署结果如下图。从实验结果可以看到，区域内基本实现了全面覆盖与重点加强的目标，表明遗传算法对于优化部署问题具有很大参考价值。

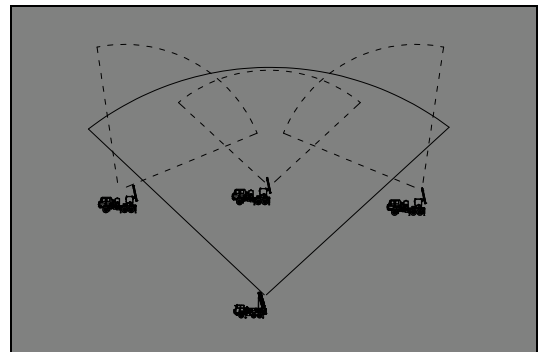


Figure 3. Battlefield reconnaissance radar netting deployment sketch

图 3. 战场侦察雷达组网配置示意图

6 结论

遗传算法是一种求解多目标优化问题的全局搜索算法，但是在应用中必须与实际问题的相关知识结合起来才能获得良好的效果。将模拟退火的思想与遗传算法相结合增强了遗传算法的爬山性能，并采用的实数编码、自适应交叉等措施保持了种群的多样性，提高了算法的搜索能力和收敛速度，加快了算法的优化进程。实验结果证明，采用 SAGA 进行雷达网部署优化，可在较短时间内获得最优方案。

致 谢

在课题的研究过程中，得到了沈阳炮兵学院夏忠武教授和刁华宗教授的大力支持，在此表示感谢。

References(参考文献)

- [1] Wang Xiaoping, Cao Liming, Genetic Algorithm——Theory, Application and Software Realization[M], Xi'an Traffic University Press,2000.6
王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.6
- [2] Zhou Ming, Sun Shudong, Theory and Application of Genetic Algorithm [M], National Defense Industry Press, 2000.4
周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000. 4.
- [3] Kim J N, Byun S C, Ahn B H. Fast Full Search Motion Estimation Algorithm Using Various Matching Scans in Video Coding[J].*IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Pan C: Applications and Reviews.* 2001 31 f41: 540-548.
- [4] Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms[J]. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, 1994, 24(4): 656-667.