

doi: 10.7690/bgzd.2021.09.006

基于遗传算法的单通道多雷达模拟技术研究

葛尧, 王硕

(中国人民解放军 92941 部队 44 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 针对复杂电磁环境中雷达辐射信号构建需求, 提出一种基于遗传算法的单通道多雷达模拟技术。通过遗传算法实现单通道多雷达模拟最优控制时间 (time of arrival, TOA) 求解, 通过设置不同的求解初始参数, 经仿真计算可以实现不同配置雷达在满足最低脉冲丢失率条件下的等效模拟, 为模拟系统的优化配置提供数据预分析。仿真结果表明, 该技术可为复杂战场电磁环境的等效模拟提供一种切实可行的解决方案。

关键词: 战场环境; 遗传算法; 脉冲丢失概率; 最优控制时间

中图分类号: TN95 **文献标志码:** A

Research on Single Channel Multi-radar Simulation Technology Based on Genetic Algorithms

Ge Yao, Wang Shuo

(No. 44 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: According to the requirement of radar radiation signal establishment in complicated electromagnetic environment, put forward the multi-radar simulation technology in single channel based on genetic algorithm. By genetic algorithm, solve the optimal time of arrival (TOA) of multi-radars simulation in single channel, by setting different initial parameters, the simulation calculation shows that equivalent simulation can be completed under the condition of minimum loss probability, which provide data pre-analysis for optimal configuration of simulation system. The simulation results show that the technology can provides a practical solution for equivalent simulation in complicated electromagnetic environment.

Keywords: battlefield environment; genetic algorithms; pulse loss probability; optimal TOA

0 引言

现代战场电磁环境日趋复杂化。典型战场环境下雷达数量较多, 包括各类机载、舰载、陆基预警雷达, 机载、舰载、车载火控雷达, 各类武器系统的制导雷达等多个系统, 其发射的信号在时域、空域、频域构建了动态可变、密集叠加的复杂信号环境^[1]。武器装备考核时, 由于参试数量达数十个甚至上百个, 若均采用独立设备模拟, 则需要大量的模拟设备, 造成设备布设时间长、布设选址难度大、建设成本高等难题^[2]; 因此, 通常采用通道信号合并技术进行等效模拟, 以降低建设成本和实现难度来完成各类武器系统在模拟真实战场环境下的效能评估。

由于各类常规雷达所辐射的信号为脉冲信号, 且占空比较小, 可进行通道合并, 在单个通道中采用时分方法产生多个特性不同的雷达脉冲信号^[3]。信号合成技术是电磁环境信号模拟的关键技术, 采用通道合并技术按照一定的规则进行信号整合, 可

在单个通道中模拟多个雷达辐射源信号^[4]。采用单通道模拟多部雷达信号时, 会存在一定的脉冲丢失率, 而且模拟的雷达可能存在重频抖动、重频滑动、重频捷变等功能, 更加剧了雷达丢失概率。在等效模拟过程中, 为了实现等效模拟效果, 通常要求脉冲丢失概率小于某一定值或满足一定的脉冲密度要求。对于给定的多部雷达模拟信号, 在等效模拟过程中, 通过控制各模拟信号的达到时间 (TOA), 可以得到不同的丢失概率, 采用遗传算法对多部雷达等效模拟的 TOA 控制值进行计算, 以在给定的条件下, 实现最低脉冲丢失率, 满足构建条件。

1 信号合成技术

由于常规雷达所辐射的信号为脉冲信号, 并且占空非常小; 因此, 可以采用时分方法进行通道合并, 在单个通道中产生多个特性不同的雷达脉冲信号。按照给定的脉冲描述字的结构, 用于控制信号产生的字段为信号脉内波形编码字段、信号样式编

收稿日期: 2021-05-20; 修回日期: 2021-06-18

作者简介: 葛尧 (1979—), 男, 河北人, 工程师, 从事雷达电子对抗研究。E-mail: winterws@163.com。

码等控制字。信号脉内编码字段可以控制存储在基带信号产生单元中的数字逻辑，产生或者调用所需要的信号波形^[5]；同时，在信号到达时间字段控制下，产生读出脉冲，输出雷达信号的 I/Q 数据。

信号通道合并技术需要在既有指定雷达信号特性的基础上，通过对各信号到达时间、信号脉宽的脉冲信号进行交织，得到等效模拟多部雷达的脉冲信号序列。由于每个通道不能同时产生 2 个不同的脉冲信号，当进行多辐射源模拟时，多个辐射源的脉冲会发生冲突，按照一定的优先策略，选择其中的一个脉冲输出，舍弃另外冲突脉冲，同时对脉冲丢失数进行统计，实时统计脉冲丢失率。信号合成算法是把每个辐射源产生的脉冲序列在通道内进行合并，合成算法采取两两合成，直至同一通道下所有信号全部合成的策略。按优先等级舍取脉冲。图 1 描述了当 2 组脉冲序列合并时的各种情况，A 脉冲是优先级较高的脉冲序列，下面是相对于它的各种脉冲序列。算法模块需要针对各种情况进行分别处理，最后合成一组脉冲序列^[6]。

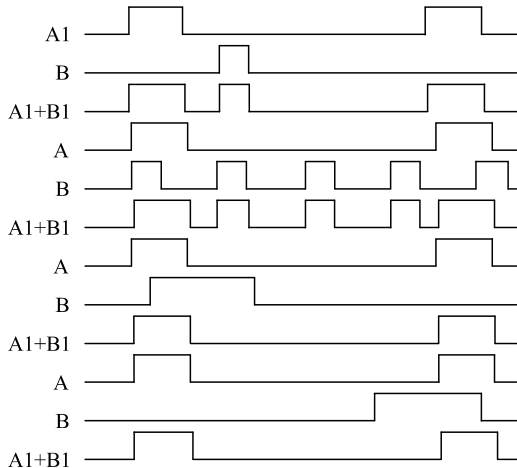


图 1 信号合成

2 遗传算法介绍

遗传算法是模拟达尔文生物进化论的自然选择和遗传学机理的生物进化过程的计算模型，是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法^[7]。其特点是对参数进行编码运算不需要有关的任何先验知识，沿着多种路线进行平行搜索，不会落入局部最优的陷阱。遗传算法包含 3 个基本遗传算子：选择、交叉、变异。个体遗传算子的操作都是在随机扰动情况下进行；因此，群体中个体向最优解迁移的规则是随机的。这种随机化操作和传统的随机搜索方法是有区别的，遗传操作进行的是高效有向搜索，而不是和一般随机搜索方法一样进行无向搜索。遗

传操作的效果和上述 3 个遗传算子所取的操作概率、编码方法、群体大小、初始群体以及适应度函数的设定密切相关^[8-9]。遗传算法的实现过程如图 2 所示。

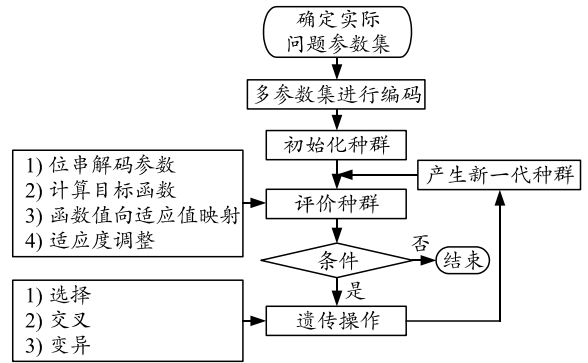


图 2 遗传算法实现

由于遗传算法的整体搜索策略和优化搜索方法在计算时不依赖于梯度信息和其他辅助知识，而只需要影响搜索方向的目标函数和相应的适应度函数；所以遗传算法提供了一种解决复杂系统问题的通用框架，对问题具有很强的鲁棒性，具有较高的求解精度^[10]。该算法广泛应用于自动控制、机器学习、图像处理、人工智能等多个领域。

3 系统实现

采用遗传算法对多部雷达等效模拟的 TOA 控制值进行计算，求解得到最优 TOA 控制值，在给定的模拟条件下，实现最低脉冲丢失率。本系统的实现流程如图 3 所示。

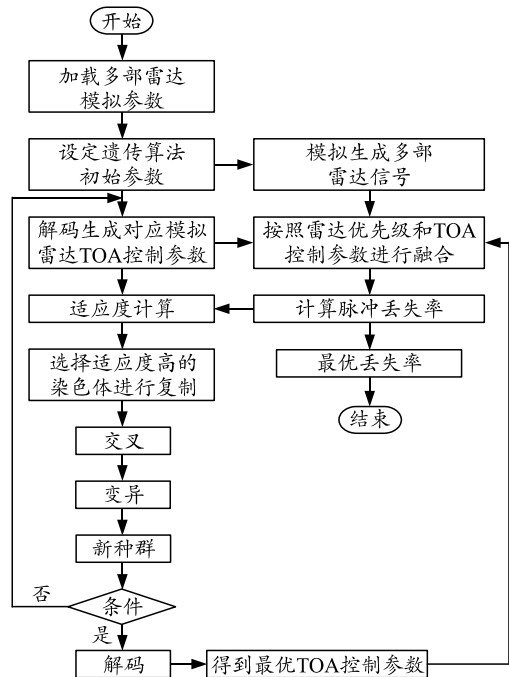


图 3 基于遗传算法的单通道多雷达模拟技术实现流程

具体实现流程如下:

1) 根据仿真实验模拟要求, 加载多部雷达的模拟参数, 雷达模拟参数包括雷达信号频率、带宽、信号类型、脉冲宽度、变化类型(固定重频、重频抖动、重频滑动、重频捷变)及重频变化范围等参数;

2) 根据加载的雷达模拟信号参数, 生成多部雷达的模拟信号;

3) 根据单通道模拟雷达的数量, 设定遗传算法初始参数主要包括种群大小、遗传代数、个体长度、选择概率、交叉概率、变异概率, 并根据设定的初始化参数生成对应的初始化种群;

4) 通过种群解码函数对初始化种群进行解码, 得到初始的 TOA 控制参数值;

5) 采用 TOA 控制参数值对各路雷达模拟信号的时间进行调整, 并按照雷达优先级进行信号合成;

6) 信号合成完毕后, 计算脉冲丢失概率。脉冲丢失概率等于 1 减去整合后雷达信号的脉冲个数除以所有多部雷达的脉冲总数, 即 $P_d=1-M/N$, 其中 M 为整合后雷达信号的脉冲总个数, N 为所有模拟雷达的脉冲总个数;

7) 计算种群中个体的适应度, 对于不同的控制时间, 要求脉冲丢失率最低, 即最小丢失概率对应的适应度最好; 因此, 将丢失概率作为目标函数值, 求解目标函数最小值, 按照丢失概率越小, 适应度越高计算个体适应度;

8) 选择、交叉、变异;

9) 计算新生成种群中个体的适应度, 根据适应度将新的个体与旧的种群进行重组, 得到新的种群;

10) 判断是否满足终止条件, 主要是判断遗传代数是否大于指定的最大遗传代数, 若不大于指定遗传代数, 则返回步骤 4) 中, 进行新一轮的循环, 否则, 输出最优解对应的个体, 解码得到最优 TOA 控制参数, 按照步骤 5) 和 6) 中描述对信号进行通道合成, 并计算得到最优丢失概率。

4 仿真分析

采用上述方法分别对采用单通道模拟的 12 部雷达进行仿真分析, 通过设定不同的仿真参数, 采用遗传算法求解得到多部模拟雷达的时间控制值, 实现最优脉冲丢失概率等效模拟。遗传算法求解参数设置为种群大小 20, 遗传代数 100, 个体长度 40, 选择概率 0.95, 交叉概率 0.7, 变异概率 0.01, 模拟的雷达参数如表 1 所示。

表 1 模拟雷达参数

脉冲宽度	平均 PRT	信号特征	TOA 最优控制值/us
8.0	550.362 5	常规脉冲	3.898 4
1.3	50.753 1	重频抖动(10%)	9.583 5
5.0	170.963 0	重频捷变(10%)	16.106 9
3.8	133.741 6	重频滑动 (10%正弦滑动调制)	10.409 0
2.7	162.091 3	常规脉冲	10.349 2
9.7	378.758 1	重频抖动(10%)	17.232 0
1.6	89.346 5	重频捷变(10%)	15.813 6
8.6	303.819 5	重频滑动 (10%正弦滑动调制)	16.426 3
4.7	301.620 1	常规脉冲	11.257 3
6.3	232.527 4	重频抖动(10%)	19.500 4
2.0	79.437 3	重频捷变(10%)	13.367 5
7.5	308.520 2	重频滑动 (10%正弦滑动调制)	15.593 8

通过仿真计算, 得到脉冲丢失概率随遗传代数变化如图 4 所示。

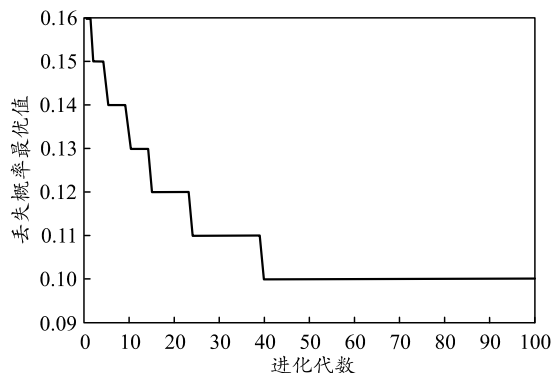


图 4 丢失概率遗传代数与丢失概率

通过对 12 部雷达模拟合成分析结果可知: 采用遗传算法对单通道模拟的多部雷达信号进行时间控制后, 能够有效降低单通道进行多部雷达模拟时的脉冲丢失概率, 提高单通道多部雷达等效模拟精度。

5 结束语

仿真结果表明: 采用该方法实现单通道多雷达模拟最优控制时间求解时, 具有较高的求解精度和较快的求解速度, 通过设置不同的求解初始参数, 可以实现不同配置雷达在满足最低脉冲丢失率条件下的等效模拟, 可将该系统嵌入到电磁环境模拟系统中, 为模拟系统的优化配置提供数据预分析, 为复杂战场电磁环境的等效模拟提供了一种切实可行的解决方案, 对电磁环境信号模拟系统的构建具有较为重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 雷英杰, 张善文. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2006: 188-190.
- [2] 史峰, 王辉, 郁磊, 等. MATLAB 智能算法 30 个案例分

析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011:17-29.

[3] 陈曦, 王希诚. 一种改进的多种群遗传算法[J]. 辽宁科技大学学报, 2009, 32(2): 160-163.

[4] 温正, 孙华克. MATLAB 智能算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018: 40-48.

[5] 王雪. 测试智能信息处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 436-443.

[6] 李宝鹏, 陶东香. 一种多功能雷达信号模拟器[J]. 兵工自动化, 2018, 37(11): 28-33.

[7] 张晓晖, 饶炯辉. 电子防御系统概论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014: 261-272.

[8] 赵严冰, 陶东香. 一种多功能雷达信号模拟器[J]. 兵工自动化, 2017, 36(3): 31-34.

[9] 王汝群. 战场电磁环境[M]. 北京: 解放军出版社, 2006: 156-170.

[10] 李莉, 孙振华, 李立伟, 等. 装备定型试验中复杂电磁环境研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2009, 20(2): 73-76.

(上接第 17 页)

4 结论

根据火箭炮系统的故障特点, 提出一种基于自适应模糊 H 网的火箭炮故障预测方法。该方法兼具模糊数学理论与 H 网理论的优势, 具有较强的通用性。通过对特征量信息进行数据采集并利用 BP 算法进行自适应训练, 取得了良好的效果, 具有较强的自适应性。此外, 该方法能够对火箭炮进行快速、精确的故障预测, 具有较强的可靠性; 因此, 这种基于自适应模糊 H 网的火箭炮故障预测方法, 能促进火箭炮故障的事前预测和早期维修, 有利于在役火箭炮的健康管理和维护。

参考文献:

[1] 韩东, 杨震, 许葆华. 基于数据驱动的故障预测模型框架研究[J]. 计算机工程与设计, 2013(3): 1054-1058.

[2] 马万鹏, 马吉胜, 曹立军. 某火箭炮高低控制目标自动瞄准优化仿真研究[J]. 计算机仿真, 2018, 35(5): 22-26.

[3] 冯广斌. 远程火箭炮武器系统可靠性研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.

[4] 肖本贤, 娄天玲, 郭福权, 等. 基于模糊神经网络的车用发电机故障诊断系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2004(5): 1001-1004, 1008.

[5] 鲍培明. 基于BP网络的模糊Petri网的学习能力[J]. 计算机学报, 2004(5): 695-702.

[6] 胡伍生, 迪达尔, 王昭斌. 神经网络 BP 改进算法及其性能分析[J]. 现代测绘, 2016, 39(6): 1-4.

(上接第 21 页)



图 9 设备现场图片

7 结束语

该设备不仅能用于检测此类推进剂产品, 也适用于部分尺寸的火箭发动机的推进剂的取样、制样的产品。仅需匹配相关检测参数, 建立产品工艺数据库, 就可以进行相应的尺寸检测。随着美国“工业互联网”、德国“工业 4.0”“中国制造 2025”等战略的提出, 以智能制造为核心的制造业发展构想成为推动智能制造发展的主流共识^[7]。在火炸药领

域, 国家对推进剂类国防产品的投入在持续增加, 此类视觉检测设备的应用范围也将越来越广。

参考文献:

[1] 桑卡, 赫拉瓦尔, 博伊尔. 图像处理、分析与机器视觉[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 1.

[2] 张树杰, 赵勇, 王顺利. 一种自动化光电基线测量装置[J]. 兵工自动化, 2020, 39(1): 23-27.

[3] 余海勇, 魏龙, 钟顺金, 等. GAT0 推进剂智能化检选系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 69-71.

[4] 夏兵, 王敏, 郭巧双, 等. 用于小零件图像测量的双远心光学系统[J]. 光学仪器, 2015, 37(4): 314.

[5] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 69-97.

[6] 丁鹏, 张叶, 刘让, 等. 结合形态学和 Canny 算法的红外弱小目标检测[J]. 液晶与显示, 2016, 31(8): 793-800.

[7] 贺正楚, 潘红玉. 德国“工业 4.0”与“中国制造 2025”[J]. 长沙理工大学学报, 2015, 30(3): 105-108.