

## 基于粒子群优化算法的伺服系统测试点优选策略研究

贾志军<sup>1</sup>, 王格芳<sup>2</sup>, 韩宁<sup>2</sup>, 王鑫<sup>3</sup>

(1. 通保部军械器材供应站, 北京 100120; 2. 机械工程学院机械技术研究所, 石家庄 050000;

3. 三亚警备区装备科, 三亚 572021)

**摘要:** 针对某型雷达天线伺服系统测试点多, 故障诊断需测试较多测试点而导致的故障诊断时间长, 效率低的问题, 提出了一种基于粒子群优化的测试点优选方法; 该方法首先基于系统所需的故障诊断率和所能容忍的故障虚警率构建目标优化函数, 其次利用粒子群算法对目标函数进行优化以选择最少的测试点完成故障定位和诊断; 该方法避免了对所有测试点的测试, 节省了测试时间, 可在最短的时间内完成测试点的优选; 仿真实验验证了算法的有效性。

**关键词:** 测试点; 优化算法; 优选策略

## Test Points Optimization Strategy Research for Antenna Servo System Based on PSO

Jia Zhijun<sup>1</sup>, Wang Gefang<sup>2</sup>, Han Ning<sup>2</sup>, Wang Xin<sup>3</sup>

(1. Ordnance Material Supply Station, Universal Equipment Guarantee Department, Beijing 100120, China;

2. Ordnance Technology Research Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050000, China;

3. Equipment Department, San-Ya Guard Area, San Ya 572021, China)

**Abstract:** There are many test points in radar antenna servo test system. These many test points lead to the long test time, which causes the low fault diagnosis efficiency. To solve this problem, a test points optimization method based on PSO is researched. The object function is constructed with the needed fault diagnosis probability and fault false alarm probability. Then the PSO algorithm is used to find the least test points. This method avoids the test of all the test points, save the test time and could finish the test points detection in shorter time. Simulation experiment validates the availability of this algorithm.

**Key words:** test point; optimization algorithm; optimization strategy

## 0 引言

在精密跟踪雷达中, 雷达伺服系统的主要功能是以各种方式控制天线运动, 伺服系统的性能直接影响雷达的测量精度。由于现代飞行目标的速度和机动能力不断增强, 需实现对目标的快速捕获和跟踪。雷达伺服系统直接决定目标捕获时间, 故对目标实现跟踪需保证雷达伺服的功能完备。同时, 实现天线对目标的捕获和精确跟踪, 系统要求具有高性能高速度和高可靠性。天线控制单元是雷达伺服系统的核心, 主要担负实时数据采集、现场状态监视、对天线实时监控与管理、与上位机通信等任务。高性能多功能的天线控制单元可实现雷达伺服系统的高精度可控, 提供目标的高跟踪精度。

为保证雷达伺服系统具有较高的完备率, 需对伺服系统进行实时维修, 维修需对伺服系统的各测试点进行逐一测量定位故障, 但雷达伺服系统具有结构复杂、机电一体等特点, 导致了其测试点多、测试不方便且测试时间较长等难题, 这直接导致了天线伺服系统无法正常维修, 从而影响了雷达的作战效能。为了解决以上问题, 本文将粒子群智能优化算法引入测试点优选的过程中, 利用粒子群算法对测试点进行优选, 在保证较高故障检测率和一定的故障虚警率前提下, 降低故障诊断时

间, 提高伺服系统的完备率。

## 1 雷达伺服系统的结构组成

如图 1 所示, 雷达伺服系统一般由接口控制、天线控制单元、天线驱动单元、电机、齿轮箱、天线座架以及上位机和轴角编码器组成。其中, 接口控制部分主要完成与跟踪接收机、引导接收机的通信, 天线控制单元将所需的天线控制信号转换成天线驱动单元的输入信号, 而后天线驱动单元带动电机与齿轮箱, 完成天线的驱动。

从以上分析可以看出, 雷达伺服系统是机电一体化系统, 具有故障率高、测试点多、故障定位所需时间长等问题, 传统的故障检测方法所需的故障诊断时间远远超出了装备维修所能允许的最大时间, 需研究故障的快速定位方法。

## 2 基于粒子群优化算法的伺服系统测试点优选策略

从前文分析可以看出, 故障诊断定位耗费时间主要是由于

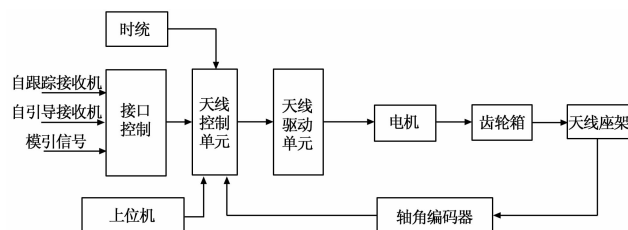


图 1 旋转式软件拼接原理示意图

收稿日期: 2014-02-07; 修回日期: 2014-03-29。

**作者简介:** 贾志军(1975-), 男, 河北宁晋人, 工程师, 主要从事装备保障工程实践及管理方向的研究。

雷达伺服系统的测试点较多，且故障定位需对所有测试点进行测量才能完成。若能利用某种方法，在保证一定故障检测率的条件下减少所需测试点，则能减少故障诊断的时间。

### 2.1 伺服系统测试点分布

观察图 1 可以看出，雷达伺服系统的测试点主要集中在天线控制单元及天线驱动单元，对警戒、火控、炮兵、侦校雷达进行统计得出雷达伺服系统各部分测试点分布如表 1 所示。

表 1 雷达伺服系统测试点分布

雷达类型	天线控制单元	天线驱动单元	时序控制单元	轴角编码器
警戒雷达	10	5	13	8
火控雷达	8	8	10	7
炮兵雷达	9	4	12	10
侦校雷达	7	7	10	9

表 1 给出了不同类型雷达伺服系统各分系统或单元测试点的分布情况，从表 1 可以看出，雷达伺服系统测试点主要集中在天线控制大暖 and 天线驱动单元，若这两个分系统发生故障，则会造成故障诊断时间变长，故需研究针对这两个子系统的快速故障定位方法。

### 2.2 粒子群优化算法

粒子群优化算法是由文献 [2] 通过对鸟群、鱼群和人类社会某些行为的观察研究而提出的一种随机全局优化技术，具有在较高维空间中发现全局最优解的能力，可解决大量非线性、不可微和多峰值等复杂优化问题，实现简单，收敛速度快，稳定性好，在信号处理、图像处理等多个方法得到了广泛的应用。与广泛应用的遗传算法类似，PSO 算法也由个体间的协作与竞争，实现全局最优解搜索。PSO 算法首先在可行解空间中产生一群随机粒子，每个粒子为一个初始解，包含位置与速度两个特征。粒子的优劣由其位置坐标通过设定的代价函数获取粒子适应值来衡量，而其速度特征决定该粒子下一个时刻的运动方向和位移大小。在每一次寻优迭代中，粒子通过追踪两种“最优”来更新自己的位置和速度<sup>[3]</sup>：其一为粒子本身迄今获得的最优解，称为个体极值，代表粒子自身的认知水平；其二为所有粒子迄今获得的最优解，称为全局极值，代表社会认知水平。

标准粒子群优化算法流程如下所述<sup>[4]</sup>：

- 1) 随机初始化种群中各个粒子速度和位置，并且将个体的历史最优  $P$  设为当前位置，而群体中最优的个体作为当前的  $P$ ；
- 2) 对每个粒子  $i$  的第  $d$  维的速度和位置分别进行更新；
- 3) 在每一代的进化中，计算各个粒子的适应度函数值；
- 4) 如果该粒子当前的适应度函数值比其历史最优值要好，利用当前位置替换个体的历史最优位置；
- 5) 如果该粒子的历史最优比全局最优要好，那么全局最优被该粒子的历史最优所代替<sup>[5]</sup>；
- 6) 如果还没有达到结束条件，转到 2)，否则输出  $P$  并结束。

粒子群算法因具有简单、易实现的特点，在各领域都得到了广泛应用，基于此，本文将将其引入雷达伺服系统的测试点优选过程之中，以降低故障诊断所需的测试点，提高故障诊断效率。

### 2.3 目标函数的构建与寻优

构建目标函数要考虑算法的运算量，算法实现的难度以及

算法的运行效果。

假设雷达伺服系统所能接受的故障诊断率为  $p_0$ ，故障虚警率为  $p_1$ ，所能接受的故障诊断时间为  $t_0$ ，则构建目标函数如下式所示：

$$J(x) = \min\left(\frac{p_0}{p_1} + t_0 - mi\right)$$

其中： $mi$  为测试点的取值个数，其取值范围为  $[1, 20]$ ，1 为最小所需一个测试点，20 为最大，即对所有测试点进行测试才可完成故障诊断。

对上式求解存在以下几个方面的难题，第一，粒子群初始化的个数的选取，一般情况下，粒子群数目越多，则越容易收敛到全局最优解，但算法收敛的速度会变慢，降低算法的运行效率，相反，若选取较少的粒子数目，虽然收敛速度会提高，但却容易收敛到局部最优解，对以上两个因素进行折衷考虑后，选取 20 个粒子作为粒子群的数目；第二，重新初始化粒子的规则选取，粒子群算法中，要求在某一时间段后对粒子进行重新分配优化，以提高收敛于全局最优解的速度，本文结合雷达伺服系统的实际情况，确定当粒子群的优化总数超过粒子群的一半时进行粒子群的重新初始化。

基于以上原则，本文选取雷达伺服系统中的天线控制单元进行测试点优选的对比实验，以验证本文算法的有效性。

## 3 仿真实验

仿真实验选取某型警戒雷达伺服系统的天线控制单元，利用故障注入的方法进行仿真，并记录传统的故障诊断时间和基于粒子群算法的测试点优选故障诊断时间，以对比两种方法的优势和劣势。

某型雷达系统的天线控制单元组成如图 2 所示。

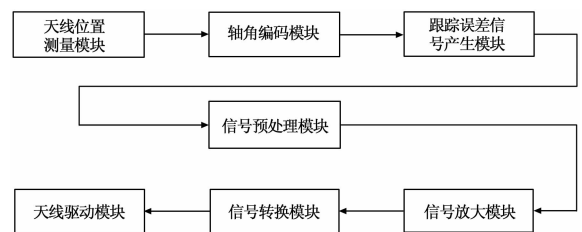


图 2 某型雷达天线控制单元系统框图

从图 2 可以看出，该型号雷达的天线控制单元由天线位置测量模块、轴角编码模块、跟踪误差信号产生等模块组成。天线控制单元的模块多、测试点多，且该系统容易发生故障，故障诊断时间长，为此，利用故障注入技术，让该控制单元的信号处理模块产生故障，然后利用普通方法和基于粒子群的智能优化方法对其进行故障诊断，得出诊断结果对比如表 2 所示。

表 2 不同方法诊断结果对比

故障名称	测试点数目	所需测试点数目	故障诊断率	故障虚警率	诊断方法
误差信号变大	15	15	100%	50%	传统方法
		10	94%	50%	本文方法
误差信号变小	12	12	100%	50%	传统方法
		8	95%	50%	本文方法

从表 2 可以看出，当误差信号变大的故障发生时，所能测试的所有测试点是 15 个， (下转第 1986 页)

的内容进行了结构化设计，比如在任务概述章节，对任务描述的要害进行了提炼（时间、地点、任务型号、环境等），并按一定的先后顺序进行描述。要素分为两类：一类在分析后的数据中能进行映射，另一类属于用户自行填写（如：操作者信息、任务属性等），结构化的分析报告最终形成基于 word 格式的模板，在模板中相应的位置插入书签，书签用于定位程序所提取的数据或人工填写内容，在形成图表后输出至 word 模板文件中的位置<sup>[6]</sup>。

#### 1.2.4 试验与分析

通过回放与分析典型的飞行数据对软件进行了试验，试验人员无相关经验，只进行了简单的操作培训，整个试验过程顺利，飞行数据的三维动态回放直观明了（见图 3、图 4），数据分析时间快速，需熟练技术人员 1 小时左右完成的分析工作，4 分钟左右就顺利完成，分析结果与人工分析进行对比，准确无误。但也存在一些问题，图像回放存在卡滞、分析结果报告存在空白页等现象，经对回放缓存、报告模板分隔符进行调整后，上述问题均得到解决。



图 3 软件生成的飞机三维效果图

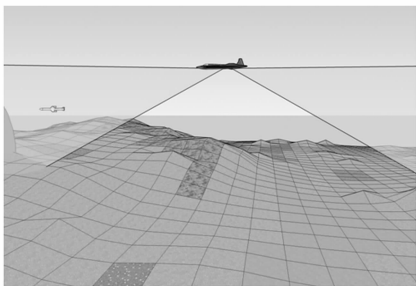


图 4 飞行任务效果图

了故障诊断效率。关于本文方法在雷达其他系统故障诊断中的应用也在本课题组的进一步研究之中。

（上接第 1978 页）

当利用传统的方法进行故障诊断时需要的测试点数目是 15，但本文方法所需的测试点数目是 10；当误差信号变小时，所能利用的所有测试点数目是 12，当利用传统方法进行故障诊断时，所需测试点数目是 12，但若利用本文方法进行故障诊断，则所需测试点数目仅为 8 个。本文方法与传统方法进行比较，在保证较高故障诊断率和一定的故障虚警率时，本文方法所需测试点的数目间减少了大约 30%，缩短了故障诊断时间，验证了本文方法的有效性。

#### 4 结论

粒子群智能优化方法因其简单易实现，且不易陷入局部最优的特点，在多领域得到了广泛应用。本文将其引入雷达天线伺服系统的故障诊断系统之中，在保证较高故障诊断率的同时，维持了较低的故障虚警率，但缩短了故障诊断时间，提高

## 2 软件的实际使用

飞行数据动态可视化回放与分析软件通过 OpenGL 三维图像显示功能实现了飞行数据的动态可视化回放功能，并通过对分析数据的提取、提炼和量化操作，实现了分析结果的自动生成与输出。经用户在实际飞行任务事后分析中使用，飞行数据动态可视化回放与分析软件解决了原有回放软件使用中存在的分析效率低和回放效果不直观等问题，各项指标满足飞行任务回放和分析的需求，完全满足用户使用要求。但由于软件需要驱动三维模型的同时还要处理运动数据，数据处理量较大，软件运行期间存在三维图像画面显示不流畅问题。为了保证三维图像显示效果，在提高计算机性能的基础上，采用 OpenGL 提供的双缓存技术，把两个独立的用于存储将要显示内容的缓存区内的图像数据轮流输出到显示器上，实现了画面的流畅显示。

## 3 结束语

飞行数据动态可视化回放与分析软件通过采用数据库及三维可视化技术，实现了数据的三维动态可视化回放和自动报表功能，简化了操作流程，提高了工作效率，明确了分析结论，同时提高了飞行数据的维护和追溯性。软件的设计采用成熟技术，方案可行性高，可应用于其他同类系统中。通过开发该软件，也为后续研发通用的可视化数据回放与分析工具积累了技术和经验。

#### 参考文献：

- [1] 东方人华，等. 3ds max 7 入门与提高 [M]. 北京：清华大学出版社，2005.
- [2] 和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发 [M]. 北京：中国水利水电出版社，2006.
- [3] 张正波等. OPENGL 实现 3ds 文件中模型自由旋转 [J]. 计算机工程与应用，2005，13：98-100.
- [4] MIL-STD-1553B Military standard, Digital Time Division Command/Response Multiplex Data Bus Notice 2 [S]. 1986.
- [5] 唐汉明等. 深入浅出 MySQL：数据库开发、优化与管理维护 [M]. 北京：人民邮电出版社，2008.
- [6] 闫新珠，王秀芹. 在 VC 中利用 Word 生成测量报告 [J]. 地矿测绘，2006，22（1）：32-33.

#### 参考文献：

- [1] 郝海燕. MCS-96 单片机系统在雷达伺服系统中的应用 [J]. 通信与测控，2000，8：18-21.
- [2] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [A]. Proc. of the IEEE International Conference on Neural Networks [C]. 1995：1942-1948.
- [3] 高彦钊，占荣辉. 基于粒子群优化算法的 KK 分布参数估计方法 [J]. 系统工程与电子技术，2013，35（12）：2495-2500.
- [4] 周利军 彭卫 曾小强 邹芳. 基于杂交变异的动态粒子群优化算法 [J]. 计算机科学，2013，40（11）：143-146.
- [5] 朱宏飞，杨光. 基于 PXI 总线模块的智能测试系统的设计 [J]. 计算机测量与控制，2013，21（11）：2912-2914.