

某型飞机武器发控通道测点选择方法及应用

吕晓峰^{1,2}, 周德云¹, 马 羚²

(1. 西北工业大学电子信息学院, 西安 710072; 2. 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001)

摘要: 测点选择是故障诊断的前提。通过对信号和故障模式之间关系的分析,建立了武器发控通道系统关系模型和相关性矩阵,以构造衡量测点优劣程度的启发式函数为基础,设计了一种启发式测试优化方案,运用遗传算法求解最佳测点集。仿真结果表明,该方案能够有效地提高某型飞机武器发控通道故障诊断效率。

关键词: 武器发射控制; 故障诊断; 启发式函数; 测点选择

中图分类号: TP206.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)06-0083-05

Test Point Selection of Weapon-Launching Control Channel for a Certain Plane

LYU Xiao-feng^{1,2}, ZHOU De-yun¹, MA Ling²

(1. School of Electronic Information, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China;

2. Dept. of Ordnance Science and Technology, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Test point selection is the premise of fault diagnosis. Analysis was made to the relation between signal and fault mode, on which basis, the systematic relationship model of weapon-launching control channel and the correlation matrix were founded. By using the heuristic function established for measuring the virtues or defect degree of the test sets, a heuristic optimal test scheme was designed. Then genetic algorithm was used to deal with correlation matrix, and the optimal test point set was obtained. Simulation results show that the scheme can effectively improve the efficiency of the fault diagnosis for weapon-launching control channel in a certain plane.

Key words: weapon-launching control; fault diagnosis; heuristic function; test point selection

0 引言

飞机武器发控通道,用于管理和控制飞机所携带的各种武器,由悬挂物管理系统、信号接口组件、武器悬挂转接梁和导弹发射架等组成,是一个涉及“飞机-发射装置-导弹”的复杂航空武器综合体^[1]。某型飞机武器发控通道中存在429串行码、一次性指令、交流量、脉冲量等多种信号形式;武器发控通道与其他机载电子设备有着广泛的交联,故障诊断效率低。故障诊断工作主要就是实现对故障的检测和隔离,测点选择是检测首要解决的问题,所以测点选择是故障诊断的前提。测点选择方案的好坏直接影响故障诊断测试时间、测试成本和故障能否被检测并进一步被隔离。因此,测点选择优化设计将有效缩短诊断时间,降低保障

人员劳动强度和诊断成本,进而提高故障诊断效率。

测点选择可看作一个组合优化问题。采用穷举搜索算法虽然能找到全局最优解(全局最小测点集),但因集合覆盖是N-P完全问题,当系统的规模达到中等以上时,穷举法显然不适用^[2]。本文通过构造一个衡量测点优劣程度的启发式函数,并运用遗传算法求解,搜索得到最佳测点集。最后,以某型飞机武器发控通道为对象,仿真验证了启发式方案对提高故障诊断效率的有效性。

1 武器发控通道建模

多信号模型是通过分析系统功能和结构,用分层有向图来表示信号流的导向和各组成模块之间的连接关系,并通过定义信号以及组成模块、测试与信号之间的关联性,来表示系统功能、组成、故障及测试之间关系的一种模型表示方法^[3-5]。基于以上多信号建模思想^[6],本文提出利用组件交联法对某型飞机武器发控通道建模,分析并量化系统测试性,得到有效的诊断策略。

有利于下一步的测点选取。单个测试 t_i 的优劣程度可通过用启发式函数来衡量。

$$h(t_i) = a \frac{N(t_i)}{|t_i|} \quad (19)$$

式中： $N(t_i)$ 表示测点 t_i 的覆盖度， $|t_i|$ 表示测试点 t_i 的检测度，即能够检测的故障数； a 为常值系数，与具体设备属性有关。显然， $h(t_i)$ 与覆盖度成正比，与 $|t_i|$ 成反比。因此，启发函数值越小，测试优先级越高。例如测试集 $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ ，其最小可测度为 $[1, 3, 5, 4, 2]$ ，每一个测点能够检测到的故障数为 $[3, 1, 2, 4, 3]$ ，本文中 a 选取为 1.0，那么其对应的启发式函数值为 $[0.33, 3, 2.5, 1, 0.67]$ ，因此，在测点选择中优先选取 t_1 。

2.5 启发式方案的遗传算法实现

遗传算法具有广泛的空间搜索能力和变异能力，全局搜索能力强，并且对问题的种类有很强的鲁棒性，提供了一种求解复杂系统优化问题的通用框架。当系统规模较大时，使用枚举法对测试子集完全搜索是不现实的，所以采用遗传算法搜索最佳测试^[8]。

算法实现步骤如下。

- 1) 初始化种群，根据问题随机产生种群。
- 2) 计算个体适应度值，优选适应度值大的个体，优胜劣汰。

$$f(T_s) = (f_D \times f_I)^2 \left\{ C \times H - \sum_{t_i \in T_s} c_i h(t_i) \right\}^2 \quad (20)$$

式中： $C = \sum_{i=1}^d c_i$ ； $H = \max(h(t_i))$ 。

- 3) 以概率进行两两交叉操作，得到新的种群。
- 4) 以概率对群体中的个体进行变异操作，得到新的个体。
- 5) 算法进化收敛于某个解或达到最大迭代次数，算法结束，输出群体最优解。

3 仿真与验证

以某型飞机武器发控通道为仿真对象，应用启发式测试优化方案进行测点选择并实现故障诊断，验证设计的方案对提高故障诊断效率的有效性。相关性矩阵已在图3中给出。武器发控通道共有24个故障模式和32个备选测点，每个测点的测试开销均设为1，故障检测率、故障隔离率指标均为100%，测试费用最低。

采用启发式方案进行测点优化，参数设置为种群规模 $N = 50$ ；最大迭代次数 MAXGEN 为 50；交叉概率 $P_c = 0.8$ ；变异概率 $P_m = 0.02$ ，每个测试的测试代价为 $\{2.1, 6.0, 5.2, 8.4, 3.3, 7.4, 7.7, 3.0, 9.2, 4.0, 1.5, 2.0, 4.5, 2.6, 5.0, 2.5, 5.3, 6.5, 8.4, 3.6, 3.0, 2.8, 3.9, 2.5, 3.2, 3.8, 3.4, 3.5, 3.3, 5.7, 4.3, 6.4\}$ 。

经多次运行，得到的结果见表2，即最佳测试点集为 $[t_1, t_5, t_8, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{21}, t_{24}, t_{26}, t_{27}, t_{29}, t_{31}, t_{32}]$ ，此时的故障检测率为100%，故障隔离率为100%，测点个数为17，这比完备测点方案减少了15个测点，节省测点选择开销46.875%；测试代价为57.2，节约成本开销61.35%。从图4中可以看出，进化曲线在17代左右趋于稳定。

表2 测点选择仿真结果

Table 2 Simulation result of test point selection

T_s	1000100101111111 0000100101101011
$f(T_s)$	0.7822
f_D	1
f_I	1
T	17
不能检测到的故障	无
不能隔离到单个组件的故障	无

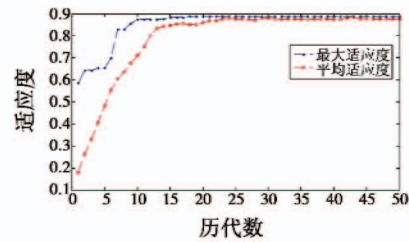


图4 历代个体适应度关系曲线

Fig.4 Fitness curve of past individual

假设本次测试过程中，以某信号标准化板为例，故障 fm_{12} 。根据相关性矩阵设置测点 $[t_3, t_8, t_{17}, t_{26}]$ ，选择 t_3 进行测试，若无故障，则继续测试 t_8 ，若无故障，则继续测试 t_{17} ，判断 $[t_3, t_8, t_{17}]$ 组成的测试集存在模糊故障集 $[fm_{12}, fm_{19}]$ ，所以需要继续测试 t_{26} ，将4个测试完毕，即能确定出该故障。具体的故障隔离流程可以用树状图结构表示，如图5所示。

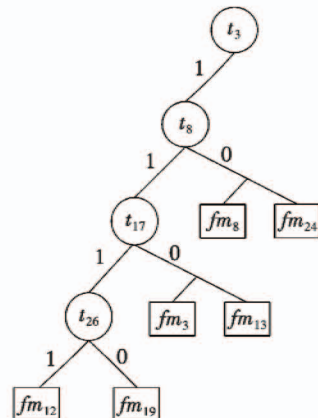


图5 测点优化前诊断树示意图

Fig.5 Schematic diagram of the diagnosis tree before test point optimization

根据简化后的相关性矩阵设置测点 $[t_8, t_{26}]$ ，进行

故障隔离,设置测点 t_8 ,可将故障确定在故障集 $\{fm_3, fm_{12}, fm_{13}, fm_{19}\}$ 中;设置测点 t_{26} ,则可隔离故障 fm_{12} 。故障隔离流程用树状图结构表示,如图6所示。

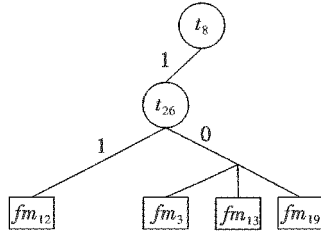


图6 测点优化后诊断树示意图

Fig.6 Schematic diagram of the diagnosis tree after test point optimization

优化结果表明,对于隔离信号标准化板故障 fm_{12} ,只需要设置测点 $[t_8, t_{26}]$,比较优化前的结果,测点少了两个,测试成本由 17.3 降到 6.8,节约成本开销 60.69%。假定每个测试所需时间相同,则故障诊断效率提高 50%。

4 结束语

某型飞机武器发控通道信号种类多,交联关系复杂,故障诊断效率低,通过测点选择研究可有效提高故障诊断效率。仿真结果表明,本文设计的启发式测试优化方案能够在满足系统测试性指标的要求下准确、

快速地找到最佳测点集,对提高故障诊断效率具有一定的现实意义。

参考文献

(上接第42页)

5 结束语

本文通过 Matlab/Simulink 仿真工具建立了最小二乘算法寻北解算模型。仿真实验研究了转台转速、采样频率、随机噪声、采样点数及常值漂移对光纤陀螺动态寻北结果的影响。实验表明,寻北误差随着转台转速增加具有上升趋势,随着采样频率的增加具有下降趋势。结果表明,随机噪声是影响寻北结果的关键因素,在寻北解算前应对采集的数据进行滤波去噪预处理。当采样点数足够多时,寻北误差趋于稳定值并能达到相应寻北精度。对于低转速可以进行残周期采样寻北,采样时间小于 1 个周期即可达到寻北精度从而缩短寻北时间。例如,采样频率为 1 Hz、转速为 0.1 ($^{\circ}$)/s,采样点数达到 500 时即可稳定,采样时间可以缩短到 1/7 个周期。对于较高转速,可以进行多个周期的采样寻北,提高寻北精度。最后验证了本文中 2 个寻北解算模型的适用性,结果表明,新模型适用于加入常值漂移后的寻北解算,并能够准确计算出常值漂移的值。

参考文献

[1] 郭喜庆,黄蕾,刘伟. 基于光纤陀螺零偏稳定性的高精

- [1] 孙隆和. 网络信息环境中的飞机(飞行作战平台)武器火力指挥控制系统[J]. 电光与控制,2010,17(3):1-8.
- [2] YANG C, TIAN S, LONG B. Application of heuristic graph search to test-point selection for analog fault dictionary techniques[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(7):2145-2158.
- [3] 邱静,刘冠军,杨鹏,等. 装备测试性建模与设计技术[M]. 北京:科学出版社,2012:136-148.
- [4] DEB S, DOMAGALA C, SHRESTHA R, et al. Model-based testability assessment and directed trouble shooting of shuttle wiring systems[C]//Proc. SPIE 4389, 2001:163-173.
- [5] 朱喜华,李颖晖,李宁,等. 基于改进离散粒子群算法的传感器布局优化设计[J]. 电子学报,2013,41(10):2104-2108.
- [6] 吕晓明,黄考利,连光耀. 基于多信号流图的分层系统测试性建模与分析[J]. 北京航空航天大学学报,2011,37(9):1151-1155.
- [7] 杨述明,邱静,刘冠军. 面向装备健康管理的可测性指标研究[J]. 国防科技大学学报,2012,34(1):72-77.
- [8] 雷英杰,张善文. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2014:32-46.

度寻北方案[J]. 中国惯性技术学报,2009,17(3):258-260.

- [2] 王立冬,王夏霄,张春熹. 光纤陀螺寻北仪多位置寻北误差分析[J]. 压电与声光,2007,29(1):42-44.
- [3] 沈军,缪玲娟,吴军伟,等. 基于 RBF 神经网络的光纤陀螺启动补偿及应用[J]. 红外与激光工程,2013,42(1):119-124.
- [4] 段苛苛. 基于光纤陀螺的寻北系统关键技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
- [5] 王彬,翁海娜,刘畅,等. 正交检测技术在光纤陀螺寻北仪中的应用[J]. 中国惯性技术学报,2013,21(2):164-168.
- [6] 段苛苛,李邓化. 光纤陀螺寻北仪连续旋转寻北方案及算法研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(4):801-806.
- [7] 梁晓鹏. 基于光纤陀螺的寻北仪技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [8] 刘宇,王长文,王乐,等. 基于光纤陀螺的残周期正弦拟合快速寻北法[J]. 压电与声光,2015,37(6):1020-1024.
- [9] 任鸿飞,李岁芳,牛振中,等. 旋转调制寻北方法的误差研究[J]. 计算机仿真,2013,30(3):72-75.
- [10] 王超. 光纤陀螺随机漂移的建模、分析和补偿[D]. 合肥:中国科学技术大学,2015.