



基于改进蚁群算法的多值属性系统故障诊断策略

田恒, 张文虎, 邓四二, 段富海

引用本文:

田恒, 张文虎, 邓四二, 等. 基于改进蚁群算法的多值属性系统故障诊断策略[J]. 控制与决策, 2021, 36(11): 2722–2728.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0529>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于动态蚁群劳动分工模型的多AUV任务分配方法

A multi-AUV dynamic task allocation method based on antcolony labor division model

控制与决策. 2021, 36(8): 1911–1919 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1312>

求解卫星舱布局问题的蚁群劳动分工优化算法

Ant colony labor division optimization algorithm for satellite module layout design

控制与决策. 2021, 36(7): 1637–1646 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1764>

基于16方向24邻域改进蚁群算法的移动机器人路径规划

Mobile robots path planning based on 16-directions 24-neighborhoods improved ant colony algorithm

控制与决策. 2021, 36(5): 1137–1146 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0600>

基于改进蚁群算法的水面无人艇路径规划

Path planning for unmanned surface vehicle based on improved ant colony algorithm

控制与决策. 2021, 36(4): 847–856 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0839>

一种自适应拟牛顿-状态转移混合智能优化算法及应用

A hybrid state transition optimization algorithm based on adaptive quasi-newton method and its application

控制与决策. 2021, 36(10): 2451–2458 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0214>

基于改进蚁群算法的多值属性系统故障诊断策略

田 恒^{1†}, 张文虎^{1,3}, 邓四二¹, 段富海²

(1. 河南科技大学 机电工程学院, 河南 洛阳 471003; 2. 大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024;
3. 常州光洋轴承股份有限公司 博士后工作站, 江苏 常州 213001)

摘 要: 针对传统蚁群算法难以精准解决多值属性系统(multi-valued attribute system, MVAS)诊断策略的问题,在改进蚁群算法的基础上,提出一种改进蚁群算法的测试序列寻优(ANT-TS)算法以搜索 MVAS 的故障测试序列. 首先,引入多值 D 矩阵和五元组完成诊断策略的公式化处理;然后,为实现 ANT-TS 算法与 MVAS 诊断策略的融合,重新表述蚁群算法、设置状态转移规则、设定信息素初始化及更新的方式;最后,通过实例说明算法的实现过程,运用随机仿真实验验证其正确性和稳定性. 结果表明:与传统蚁群算法相比,ANT-TS 算法的运行过程与诊断策略的一致,且其参数和循环次数少、期望测试费用低、运行速度快;与传统的 MV-IG 算法和多值 Rollout 算法相比,ANT-TS 算法能获得费用较少的测试序列.

关键词: 蚁群算法; 诊断策略; 多值属性系统; 测试序列; 期望测试费用

中图分类号: TP206.3

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.0529

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 田恒, 张文虎, 邓四二, 等. 基于改进蚁群算法的多值属性系统故障诊断策略[J]. 控制与决策, 2021, 36(11): 2722-2728.

Fault diagnosis strategy of multi-valued attribute system based on improved ant colony algorithm

TIAN Heng^{1†}, ZHANG Wen-hu^{1,3}, DENG Si-er¹, DUAN Fu-hai²

(1. School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China; 2. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 3. Post-Doctoral Research Center of Changzhou NRB Corporation, Changzhou 213001, China)

Abstract: Aiming at the problem that the traditional ant colony optimization (ACO) algorithm cannot solve the diagnosis strategy for multi-valued attribute systems (MVAS) accurately, based on the improvement of the ACO algorithm, the ANT colony optimization-test sequence (ANT-TS) algorithm is proposed to search the fault test sequence for MVAS. Firstly, multi-valued D matrix and five-tuple are introduced to complete the formulation of the diagnosis strategy. Then, the ant colony algorithm is reformulated, where the state transition rule and initialization and update of pheromone for the algorithm are set to combine the diagnosis strategy of MVAS with the ANT-TS algorithm. Finally, the correctness and stability of the ANT-TS algorithm are verified by an example and stochastic simulation experiments. The experimental results show that the running process of the ANT-TS algorithm is the same as the fault diagnosis strategy of MVAS. The algorithm has fewer parameters, expected test cost and number of cycles, and run faster when comparing with the traditional ACO algorithm. The ANT-TS algorithm can obtain the test sequences with less expected test cost compared with the traditional algorithm such as the multi-valued Rollout algorithm and the multi-valued IG algorithm.

Keywords: ant colony optimization algorithm; fault diagnosis strategy; multi-valued attribute system; test sequence; expected test cost

0 引 言

随着卫星导航等高端产品对安全运行的要求日益严苛,测试性因能提供可靠的状态监测和故障诊

断,在产品“七性”中的重要性逐渐凸显^[1-2]. 诊断策略作为测试性的重要组成部分,是提高系统故障诊断效率、降低期望测试费用的关键,主要根据测试与故障

收稿日期: 2020-05-06; 修回日期: 2020-08-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51905152).

责任编辑: 叶丹.

[†]通讯作者. E-mail: tianheng_1988@163.com.

的关系,运用寻优算法搜索诊断及隔离故障的测试序列. 现有大部分算法是针对二值系统的,即假定系统测试结果只有通过和不通过两种形式^[3-6]. 二值系统的诊断策略问题已被证明是NP完全问题,其计算复杂度随系统规模的增加而呈指数式增长^[7]. 然而,绝大部分实际系统的测试结果是多值的,故该类系统是

多值属性系统(multi-valued attribute system, MVAS),其故障诊断策略问题比二值系统更为复杂. 目前,许多专家和学者已开始针对MVAS的故障诊断策略开展研究^[8-9].

MVAS故障诊断策略的主要实现方法是扩展二值测试序列寻优算法,即通过扩展二值系统的测试值修正启发算式,使其适用于MVAS. 黄以锋等^[10-11]、Tian等^[12-13]分别在信息熵、Rollout算法以及Growing算法基础上进行扩展,提出了相应的多值属性系统故障诊断策略. 此类算法是近似最优的,即便扩展之后也无法获取MVAS最优的故障诊断策略. 为获得最优的诊断策略,专家学者开始探究运用群智能算法搜索故障诊断策略.

蚁群算法作为群智能算法的代表,已成功解决了许多NP完全问题,但却不能直接用于故障诊断策略. Pan等^[14]、叶晓慧等^[15]首先用蚁群算法搜索故障的最小完备测试集,然后寻找系统故障的测试序列. 潘佳梁等^[16]为了提高系统的故障诊断能力,提出了一种基于蚁群算法的测试序列寻优方法. 基于蚁群算法和模拟退火算法, Fu等^[17]提出了一种测试集优化算法. 孟亚峰等^[18]提出了一种改进的蚁群算法来解决MVAS的测试序列寻优问题. 由于上述算法将测试序列寻优过程向蚁群算法转化,在其搜索过程中只能确定一个测试,并用其分割所有的模糊故障子集,而不能为每个子集寻找最优测试,导致诊断结果差、运行时间长等问题.

本文针对传统蚁群算法难以精准解决MVAS诊断策略的问题,提出用蚁群算法“拟合”测试序列寻优过程,设计一种新的蚁群算法——ANT-TS算法,通过改进其状态转移规则和信息素更新方式,实现ANT-TS算法与MVAS诊断策略融合,并通过实例和随机仿真实验验证新算法的正确性和稳定性.

1 诊断策略问题公式化

诊断策略主要是根据 D 矩阵(dependence matrix)中故障与测试的关系,以测试序列寻优算法为手段,以获取故障的最优测试序列为目标. 为便于研究MVAS的故障诊断策略问题,引入多值 D 矩阵以及约束函数将该问题公式化处理.

1.1 多值 D 矩阵

多值 D 矩阵是表征MVAS中故障与测试关系的矩阵(如表1所示),本文采用 $\text{eval}(f_i, t_j) = a$ 表示故障与测试的对应关系,即运用测试 t_j 检测故障 f_i ,当测试值为 a 时,表明可能出现故障 f_i . 为方便起见,设定 a 为自然数,即 $a \in \{0, 1, \dots, k\}$. 多值 D 矩阵的行向量表示故障,在足够多的测试以及相应测试顺序下,当测试值与某行元素相同时,表明该行出现故障.

表1 MVAS的多值 D 矩阵

故障状态	测试				先验概率
	t_1	t_2	$\dots$	t_n	
	测试费用				
	c_1	c_2	$\dots$	c_n	
f_1	d_{11}	d_{12}	$\dots$	d_{1n}	$p(f_1)$
f_2	d_{21}	d_{22}	$\dots$	d_{2n}	$p(f_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
f_m	d_{m1}	d_{m2}	$\dots$	d_{mn}	$p(f_m)$

1.2 诊断策略的描述

本文引入五元组 (F, P, T, C, D) 表示MVAS的故障、先验概率及测试等因素.

1) $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ 是故障集,包含系统所有故障,本文设定 f_1 是无故障状态, $f_i (2 \leq i \leq m)$ 表示系统的第 i 个故障状态.

2) $P = \{p(f_1), p(f_2), \dots, p(f_m)\}$ 是故障先验概率的集合,其中 $p(f_1)$ 在 P 中占有较大的比例,且 P 中的先验概率总和为1.

3) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 是测试集,测试 t_j 可诊断故障集及其子集,测试值为 a .

4) $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 是测试费用的集合,其中 c_i 表示使用测试 t_i 的费用. c_i 可指代人力、物力、时间等不同类别的成本,本文设定 c_i 为无量纲的物理量.

5) $D = [d_{ij}]_{m \times n}$ 是 $m \times n$ 维的多值矩阵,表示故障与测试之间的依赖关系,且 $d_{ij} = a$.

MAVS诊断策略以系统故障测试序列的期望测试费用为约束函数,使其取最小值的为最优测试序列,其计算公式为

$$J = \sum_{i=0}^m \left(\sum_{t_i \in T_{f_i}} c_j \right) p(f_i), \quad (1)$$

其中 T_{f_i} 表示故障 f_i 的测试序列.

2 新蚁群算法

2.1 蚁群算法的重定义

为将蚁群算法与测试序列寻优过程融合,本文重新定义蚁群计算过程. 首先,设定由 m 个不同种类

蚂蚁组成的一个蚁群(故障集),并将其随机放置某点(测试)上;然后放任回巢.蚁群中的蚂蚁根据某种规则选择方向(测试),并按照方向上设置的分流点(测试值)分割为多个子蚁群,子蚁群仍然选择测试、分割为更小的子蚁群,直到所有蚂蚁回到各自的巢穴(完成诊断隔离故障),而蚂蚁回巢依次经过的测试构建了诊断隔离故障的测试序列.不同的蚂蚁,巢穴不同,虽然回巢的方向有可能相同,但去往的分流点不同.上述蚂蚁的回巢过程与诊断树相似,如图1所示,其中的 a_1 、 a_2 和 a_k 表示测试值.

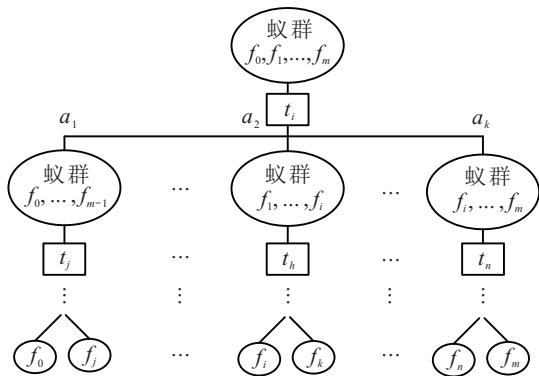


图1 蚂蚁的回巢过程

为直观介绍重定义后的蚁群,以表格的形式对比五元组在MVAS诊断策略和ANT-TS算法中的含义,如表2所示.

表2 MVAS诊断策略和ANT-TS算法的五元组对比

五元组	MVAS 诊断策略	ANT-TS 算法
d_{ij}	故障与测试的关系	方向上设置的分流点
$F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$	系统的所有故障	不同种类的蚂蚁
$P = \{p(f_1), \dots, p(f_m)\}$	故障先验概率	蚂蚁的比重
$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$	系统的测试	蚂蚁回巢可选择的方向
$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$	测试费用	不同方向消耗的费用

基于上述分析可知,重定义后的蚁群与MVAS的五元组是一一对应的,但是要实现ANT-TS算法在MVAS中的应用,还需为该算法设置状态转移、确定信息素初始化及更新方式.

2.2 状态转移规则

状态转移规则是为蚁群提供选择方向的运算规则.传统蚁群算法通常以信息素为评判标准来选择路径,且最优路径的信息素浓度较高.ANT-TS算法中蚂蚁的种类不同,为避免蚂蚁回巢过程因信息素的交叉而产生混乱,本文为各类蚂蚁均设置不同的信息素.在MVAS诊断策略中,蚁群所选择的是方向,而其对应的是测试,即蚁群应该在测试上留下信息素.基

于此,本文的信息素表示测试与测试之间的关系.为方便表述,引入信息素矩阵,如表3所示.

表3 信息素矩阵

起点测试	候选测试			
	t_1	t_2	$\dots$	t_n
t_1	ph_{11}	ph_{12}	$\dots$	ph_{1n}
t_2	ph_{21}	ph_{22}	$\dots$	ph_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
t_n	ph_{n1}	ph_{n2}	$\dots$	ph_{nn}

信息素矩阵中的“起点测试”表示蚂蚁当前所在的位置,“候选测试”表示蚂蚁回巢时可选择的方向,其中元素 ph_{ij} 表示上次迭代过程中蚂蚁使用 (t_i, t_j) 的方式回巢时所留下的信息素浓度.

在选择方向时,每个蚂蚁以最短的路线回巢为目标,它们会根据上次迭代过程中同类蚂蚁所留下的信息素选择方向.但是,每个方向上的分流点个数有限,不可能为每只蚂蚁都分配一个分流点,因此,某些蚂蚁只能选择不是最优的方向和分流点,这使得部分蚂蚁回巢路线的长度增加,即故障的测试序列增加,有可能导致费用升高.为降低蚂蚁选择路线的冲突,本文通过考虑信息素矩阵、蚂蚁的比重和子蚁群规模等因素制定方向选择的规则.

假设某蚁群 x 放置在测试点 t_r 上,候选测试的集合为 $\{t_j, t_q, \dots, t_n\}$.由表3的信息素矩阵可知,蚂蚁的信息素矩阵是行向量,例如蚂蚁 f_i 的信息素矩阵为 $\mathbf{PM}^i = [ph_{rj}^i, ph_{rq}^i, \dots, ph_{rn}^i]$.若以测试 t_j 为候选测试,则蚁群 x 会根据测试 t_j 的分流点而分成子蚁群 $\{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{ja}\}$.基于上述分析及表2,本文提出状态转移规则的计算公式为

PM(x_{jk}) = ∑_{f_i ∈ x_{jk}} ph_{rj}ⁱ p(f_i), (2)

E(x, t_j) = ∑_{k=1}^a PM(x_{jk}) |x_{jk}| c_j. (3)

其中:PM(x_{jk})表示子蚁群 x_{jk} 中所有蚂蚁的信息素与其比重乘积的总和, $E(x, t_j)$ 是用测试 t_j 分割蚁群 x 所产生的费用.

传统蚁群算法的转移规则只是根据信息素选择测试,随机性较大,所以其运行时间较长.在传统蚁群信息素的基础上,本文的状态转移规则综合考虑了蚂蚁比重、蚂蚁子集和测试费用等因素,可降低算法的随机性,增加指向性,进而提升算法的局部寻优能力.在式(3)中,本文选择使 $E(x, t_j)$ 取最小值的测试 t_j 为最佳测试.

2.3 信息素的初始化与更新

蚁群在最初选择方向时,没有任何蚂蚁留下信息素,每个方向被选择的概率是相同的. 本文设定初始信息素浓度为

$$\text{ph}_{ij} = \sum_{k=1}^n c_k / n. \quad (4)$$

其中: $i, j = 1, 2, \dots, n$; n 为系统的测试个数.

信息素更新是指蚂蚁在回巢时会在路线上留下信息素,从而不断改变路线上信息素的浓度大小. 本文算法是在蚁群中的蚂蚁全部回巢之后,根据蚁群回巢路线计算其产生的费用,因此,选用蚁周系统模型来更新信息素矩阵^[12]. 设蚂蚁 f_i 选择的测试并按先后顺序组成的向量 $\text{TS}_{oi} = [t_j \ t_k \ \dots \ t_z]$, 则信息素矩阵 PM^i 的元素 ph_{jk}^i 更新规则为

$$C_{\text{TS}_{oi}} = \sum_{t_j \in \text{TS}_{oi}} c_j, \quad (5)$$

$$\text{ph}_{jk}^i(\text{num} + 1) = \rho \text{ph}_{jk}^i(\text{num}) + \frac{(c_j + c_k)}{J_{\text{TS}_{oi}}}. \quad (6)$$

其中: $C_{\text{TS}_{oi}}$ 为测试序列 TS_{oi} 中所有测试费用之和; ρ 为蚁群信息素的衰减系数; $\text{ph}_{jk}^i(\text{num})$ 为前次迭代过程的信息素浓度; $\text{ph}_{jk}^i(\text{num} + 1)$ 为此次迭代更新后的信息素浓度; J 为蚁群本次回巢的期望测试费用; t_j 和 t_k 为序列 TS_{oi} 中相邻的测试; 若 TS_{oi} 仅有一个测试, 则用信息素矩阵对角线上元素对其更新.

2.4 新蚁群算法的详细步骤

基于上述分析,将重新定义的蚁群算法记为 ANT-TS 算法,其流程如图2所示.

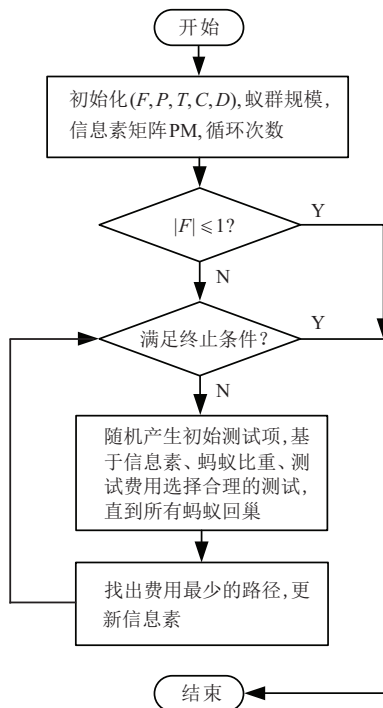


图2 ANT-TS 算法流程

ANT-TS 算法的详细步骤如下.

step 1: 初始化五元组 (F, P, T, C, D) , 设定蚁群个数 N 及其规模、信息素矩阵 PM 、衰减系数 ρ 、迭代次数 $L_{\max}$. 创建两个向量: $T_storage$ ——存放蚁群最初的起点测试; EC ——存放迭代过程中蚁群回巢所产生的期望测试费用. 如果蚁群规模 ≤ 1 , 则退出算法.

step 2: 重复以下步骤, 直至达到最大循环次数或获得最优路线:

step 2.1: 产生一组 $N \times 1$ 维的向量 $T_storage$, 将测试集 T 的 n 个测试随机地赋予 $T_storage$.

step 2.1.1: 重复以下步骤, 直到用完 n 个测试:

step 2.1.1.1: 随机将蚁群放置在 $T_storage$ 中的测试上, 运用该测试将蚁群分割为 a 部分;

step 2.1.1.2: 利用式(2)和(3)从测试集 T 中为 a 个子蚁群选择测试, 直到所有的蚂蚁回巢, 存储每个蚂蚁的回巢路线;

step 2.1.1.3: 运用式(1)计算该蚁群回巢的期望测试费用 J_i .

step 2.1.2: 输出 J_i , 并将其存储在向量 EC 中.

step 2.2: 从 EC 中选择最小值, 并根据其对应蚁群中蚂蚁的回巢路线以及式(5)和(6)更新信息素矩阵 PM .

step 3: 输出最优的蚁群回巢路线和最小的期望测试费用.

3 实例验证

3.1 算例验证1

以文献[19]的多值 D 矩阵(如表4所示)为例, 验证 ANT-TS 算法的正确性, 其中矩阵首行 f_1 对应于无故障状态. 运用 ANT-TS 和文献[10]的多值 Rollout 算法处理该矩阵, 并以图的形式展示其结果, 如图3所示.

当取信息素衰减系数 $\rho = 0.9$ 、蚁群规模为20、迭代次数为5次时, ANT-TS 算法的结果为1.516, 这与文献[19]以及多值 Rollout 算法的结果完全相同.

3.2 算例验证2

为验证 ANT-TS 算法的正确性和稳定性, 在 Matlab 环境下编写其程序, 计算平台配置为 Intel Core i7 3.20 GHz CPU 和 16.00 GB RAM. 另外, 根据文献[10-11, 14, 18]分别编写传统故障诊断算法——多值 Rollout 算法、IG 算法和蚁群算法的程序, 简记为 MV-Rollout、MV-IG 和 ANT-TR 算法. 为了评价上述算法的优劣, 引入平均期望测试费用 ($\text{avg}J$) 和平均运行时间 (avgRt), 即

图3 基于ANT-TS算法的计算结果

表5 ANT-TS、ANT-TR、MV-Rollout、MV-IG 算法的 avgJ 和 avgRt 对比

矩阵维数	avgJ				avgRt			
	ANT-TS	ANT-TR	MV-Rollout	MV-IG	ANT-TS	ANT-TR	MV-Rollout	MV-IG
20×20	2.527 8	2.561 4	2.528 9	2.742 6	0.707 6	14.864 3	0.061 0	0.002 1
30×30	2.759 7	2.983 8	2.774 0	3.091 4	2.518 0	34.671 6	0.216 6	0.004 3
40×40	2.514 1	2.627 7	2.522 8	2.725 7	6.048 9	64.529 8	0.507 7	0.007 1
50×50	2.567 9	2.912 6	2.583 8	3.214 8	10.849 6	88.788 0	1.033 1	0.010 1
60×60	2.585 6	2.804 6	2.631 6	2.975 9	20.861 8	143.854 3	1.890 7	0.017 4
70×70	2.611 7	2.767 8	2.625 7	2.916 9	33.361 0	192.973 1	2.890 5	0.019 5
80×80	2.717 0	3.089 4	2.797 9	3.153 1	45.720 7	223.036 5	4.388 7	0.028 3
90×90	2.696 4	2.989 6	2.709 8	3.157 1	72.750 1	321.366 3	6.401 0	0.030 0
100×100	2.751 2	3.192 5	2.797 4	3.331 2	98.426 8	390.070 8	8.850 6	0.036 5
110×110	2.710 7	3.195 7	2.724 9	3.332 0	129.034 9	465.886 8	11.856 0	0.045 6
120×120	2.644 2	3.046 1	2.654 1	3.092 5	169.616 3	551.314 9	15.535 3	0.050 5
130×130	2.669 3	3.169 9	2.704 6	3.306 2	218.143 3	656.647 1	19.972 4	0.059 1
140×140	2.725 1	3.301 2	2.755 1	3.209 0	271.474 1	767.156 1	25.304 7	0.067 6
150×150	2.768 4	3.335 2	2.803 2	3.124 8	334.802 9	885.301 0	31.272 3	0.081 7

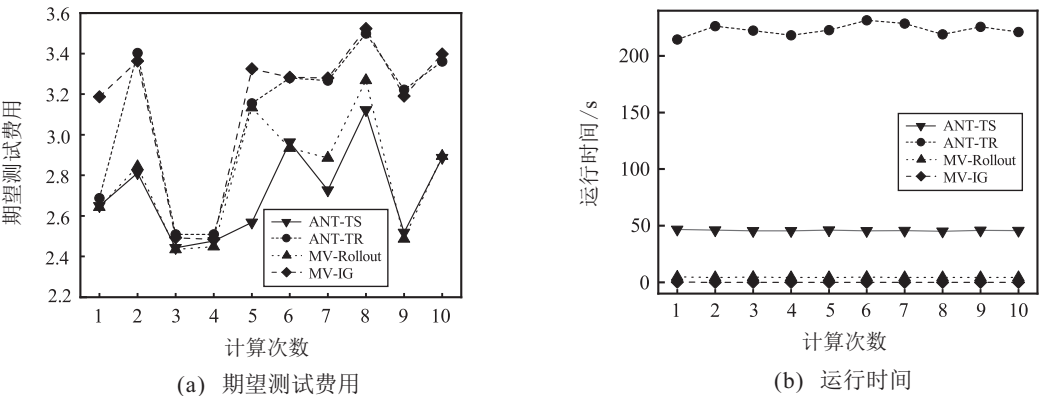


图 4 基于 ANT-TS、ANT-TR、MV-Rollout 和 MV-IG 算法的多值 $D_{80 \times 80}$ 矩阵计算结果

由表5和图4可知: ANT-TS 算法的 avgJ 和 avgRt 小于 ANT-TR,这是因为 ANT-TS 算法将蚁群算法的实现过程拟合为诊断策略寻优过程,同时考虑了蚂蚁的比重和信息素,为其寻优添加了指向性,降低了随机性,改善了诊断策略的结果和算法的寻优速度;而 ANT-TR 因算法的限制只能先搜索最小完备测试集,再探寻诊断策略,造成其诊断结果较差、运行时间长等问题. 由算法的初始条件可知: ANT-TS 算法的参数少,对参数的要求低,循环次数少;而 ANT-TR 的参数和迭代次数较多.

ANT-TS 算法的 avgJ 小于 MV-Rollout 算法,这是由于 ANT-TS 算法的迭代优化了蚂蚁回巢路线,获得了更好的测试序列. ANT-TS 算法需对 N 个蚁群规划回巢路线,在计算过程中存在 10 次迭代,导致运行时间增加,使其 avgRt 大于 MV-Rollout 算法.

ANT-TS 算法的 avgJ 小于 MV-IG 算法,这是因为 MV-IG 算法是一种贪婪算法,只能实现一步向前寻优,而 ANT-TS 算法是多步向前寻优算法,可以获得近

似最优的结果. ANT-TS 算法的 avgRt 远大于 MV-IG 算法,这是因为 ANT-TS 迭代过程消耗了较多的时间.

4 结 论

本文针对 MVAS 的诊断策略问题,在研究传统蚁群算法的基础上提出了一种新的蚁群算法——ANT-TS 算法.

1) 提出了将传统蚁群算法实现过程拟合为诊断策略寻优的过程,通过重新定义蚁群的运行过程,实现了 ANT-TS 算法与 MVAS 诊断策略的融合.

2) 在考虑信息素矩阵、蚂蚁比重和测试费用等因素的基础上,为 ANT-TS 算法设置了状态转移规则以及信息素的更新机制,使其兼具了随机性和指向性,改善了算法的结果,提高了效率.

3) 实例和随机仿真实验的结果表明:与传统蚁群算法相比,ANT-TS 算法的参数、循环次数和期望测试费用少,算法运行速度快;与传统的 MV-IG 算法和多值 Rollout 算法相比,ANT-TS 算法能获得较优的诊断策略.

参考文献(References)

- [1] 李彬, 张强, 任焜, 等. 航天器可测试性设计研究[J]. 空间控制技术与应用, 2010, 36(5): 13-17.
(Li B, Zhang Q, Ren K, et al. Research on test design for spacecraft[J]. Aerospace Control and Application, 2010, 36(5): 13-17.)
- [2] 石君友. 测试性设计分析与验证[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 1-15.
(Shi J Y. Testability design analysis and verification[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011: 1-15.)
- [3] Tu F, Pattipati K R. Rollout strategies for sequential fault diagnosis[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, 2003, 33(1): 86-99.
- [4] Kundakcioglu O E, Unluyurt T. Bottom-up construction of minimum-cost AND/OR trees for sequential fault diagnosis[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans, 2007, 37(5): 621-629.
- [5] Sheppard J W, Butcher S G W. A formal analysis of fault diagnosis with D -matrices[J]. Journal of electronic Testing: Theory and Applications, 2007, 23(3): 309-322.
- [6] Tsai Y T, Hsu Y Y. A study of function-based diagnosis strategy and testability analysis for a system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2012, 226(1): 273-282.
- [7] Pattipati K R, Alexandris M G. Application of heuristic search and information theory to sequential fault diagnosis[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1990, 20(4): 872-887.
- [8] 杨鹏. 基于相关性模型的诊断策略优化设计技术[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
(Yang P. Optimization technology of design for diagnosis strategy based on dependency mode[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2008.)
- [9] 王伟, 胡清华, 于霄, 等. 多值属性系统的故障诊断策略最优化方法[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(5): 1073-1078.
(Wang W, Hu Q H, Yu X, et al. Optimal method for fault diagnosis strategy with multi-value attribute system[J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2008, 29(5): 1073-1078.)
- [10] 黄以锋, 景博. 基于Rollout算法的多值属性系统诊断策略[J]. 控制与决策, 2011, 26(8): 1269-1272.
(Huang Y F, Jing B. Diagnosis strategy for multi-value attribute system based on Rollout algorithm[J]. Control and Decision, 2011, 26(8): 1269-1272.)
- [11] 黄以锋, 景博, 茹常剑. 基于信息熵的多值属性系统诊断策略优化方法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(5): 1003-1008.
(Huang Y F, Jing B, Ru C J. Optimal method of diagnosis strategy in multi-value attribute system based on information entropy[J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2011, 32(5): 1003-1008.)
- [12] Tian H, Duan F H, Fan L, et al. Fault diagnostic strategy of multi-valued attribute system based on growing algorithm[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 2019, 233(2): 235-245.
- [13] 田恒. 基于测试性 D 矩阵的故障诊断策略研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
(Tian H. Research of fault diagnosis strategy based on testability D matrix[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.)
- [14] Pan J L, Ye X H, Xue Q. A new method for sequential fault diagnosis based on ant algorithm[C]. International Symposium on Computational Intelligence and Design. Changsha, 2009: 44-48.
- [15] 叶晓慧, 王红霞, 程崇喜. 基于蚁群算法的系统级序贯测试优化研究[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(10): 2224-2227.
(Ye X H, Wang H X, Cheng C X. Test sequencing optimization for system-level based on ant algorithm[J]. Computer Measurement & Control, 2010, 18(10): 2224-2227.)
- [16] 潘佳梁, 衣同胜, 李兵. 基于蚁群算法的雷达系统测试序列优化研究[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(7): 20-23.
(Pan J L, Yi T S, Li B. Test sequencing optimization for radar system based on ant algorithm[J]. Computer & Digital Engineering, 2011, 39(7): 20-23.)
- [17] Fu X, Fu S. An AC-SA based test set optimization method[C]. Proceedings of International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer. Shenyang, 2013: 1736-1739.
- [18] 孟亚峰, 韩春辉, 李丹阳, 等. 基于蚁群算法的多值属性系统测试序列优化[J]. 中国测试, 2013, 39(6): 110-113.
(Meng Y F, Han C H, Li D Y, et al. Test sequence optimizing for multi-value attribute system based on ant algorithm[J]. China Measurement & Test, 2013, 39(6): 110-113.)
- [19] 杨成林, 田书林, 龙兵. 多值故障字典的测点选择与序测试设计[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9): 2271-2275.
(Yang C L, Tian S L, Long B. Design of test points selection and test sequencing problem of multivalued fault dictionary[J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(9): 2271-2275.)

作者简介

田恒(1988—), 男, 讲师, 博士, 从事测试性分析与故障诊断的研究, E-mail: tianheng_1988@163.com;

张文虎(1987—), 男, 讲师, 博士, 从事滚动轴承仿真分析与故障诊断的研究, E-mail: 526916105@qq.com;

邓四二(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 从事滚动轴承仿真分析与故障诊断等研究, E-mail: dse@haust.edu.cn;

段富海(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 从事可靠性与测试性的设计分析等研究, E-mail: duanf@dlut.edu.cn.

(责任编辑: 李君玲)