

Study on Distilling Fault Character of Converter Based on Genetic Programming

Zhiguo Lu Zhiqiang Long Shang Huan

Engineer research center of maglev, national university of defense technology, Changsha 410073

(E-mail: zhqlong@263.com)

Abstract—Traction converter is a key part to the whole system of type CMS-3 maglev. Aiming at the difficult problem to distilling the tractive fault character of converter, genetic programming method is adopted to distill the best fault character in this paper and answers achieved by this method can effectively solve the problem. Compared with the method which uses the primitive fault characters to diagnose traction converter, experiments shows that genetic programming method is proper, which can find the best tractive fault character of converter and distinguishably raise the diagnosing rate.

Keywords—fault character, genetic programming, traction converter

基于遗传规划的逆变器故障特征提取研究

吕治国 龙志强 浣上

国防科技大学磁悬浮技术研究中心, 长沙 410073

摘要 牵引逆变器是 CMS-3 型磁浮列车运行系统的重要部件。论文针对 CMS-3 型磁浮列车上逆变器的牵引故障特征提取困难问题, 采用遗传规划方法, 提取出了逆变器的最佳故障特征, 从而有效地实现对逆变器的牵引故障诊断。实验结果表明, 与初始故障特征相比, 用提取出的最佳故障特征对逆变器牵引故障进行诊断, 大大提高了确诊率。

关键词 故障特征, 遗传规划, 牵引逆变器

1. 引言

牵引逆变器是 CMS-3 型磁浮列车上的重要部件, 主要实现直流 750V 电压到交流电压的转换, 输出的三相交流电压直接驱动 8 台直线电机来实现磁浮列车的牵引运行功能。一旦牵引逆变器出现故障, 不能驱动直线电机工作, 将导致列车不能继续运行。因此, 磁浮列车监测系统必须能够检测逆变器的牵引运行状态, 而如何提取出逆变器的牵引故障特征是问题的关键。逆变器的牵引故障特征包括牵引力矩、输出电压、输出电流以及工作温度等, 用这些参数对逆变器故障进行诊断, 诊断的结果都不能令人满意, 而遗传规划方法可以根据已有的特征参数自动生成较优的特征参数, 对逆变器的牵引故障进行有效地诊断。论文针对逆变器的牵引故障特征提取困难问题, 采用了遗传规划方法, 生成出逆变器的最佳牵引故障特征, 有效地实现了

对逆变器牵引故障的诊断, 提高了确诊率。图 1 是磁浮列车牵引系统原理图。

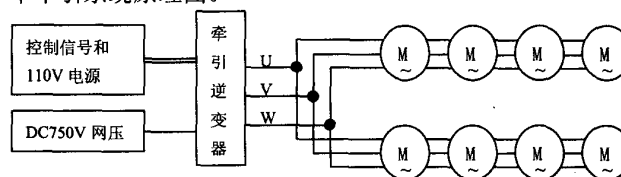


图 1 CMS-3 型磁浮列车牵引系统原理图

2. 基于遗传规划的故障特征提取方法

遗传规划是一种新兴的搜索寻优技术, 它是仿效生物的进化与遗传, 根据“生存竞争”和“优胜劣汰”的原则, 借助繁殖、杂交、变异等操作, 使所要解决的问题从初始解一步步地逼近最优解。使用遗传规划方法对部件故障特征提取, 无需定义过多的初始参数, 可以很快地生成有效的特征参数, 而且用生成的特征参数对部件故障进行诊断,

湖南省自然科学基金项目 (资助号: 03JJY3108)

具有很高的确诊率。

2.1 故障特征参数提取过程

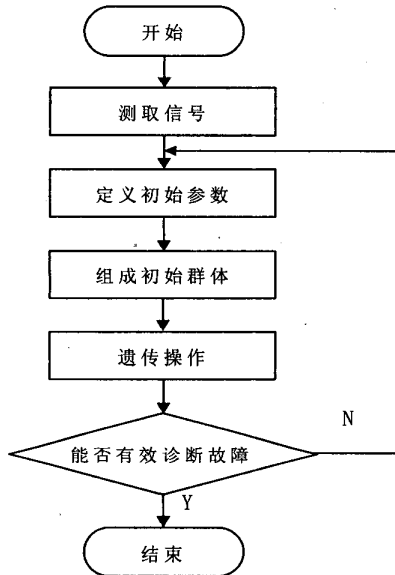


图2 遗传规划故障特征提取流程

图2是用遗传规划方法提取故障特征的流程,首先采集设备运行状态信号,对所采集的数据分析并定义初始参数,然后根据这些特征参数随机组合成N个初始个体,对这一群体反复执行遗传操作,主要包括繁殖、杂交和变异,直到最大适应值变化不明显为止,若提取出的故障特征仍不能有效地诊断设备故障,需要重新定义初始参数和群体,对新的群体优化,直到提取出的设备故障特征能有效诊断设备故障为止。

2.2 特征参数的再生原理

2.2.1 个体生成

设定义的初始特征参数为 x_1, x_2, \dots, x_n , 将这些参数随机地组合成N个初始个体,并将这些个体用遗传规划的层次化结构描述,若个体为 $x_1 \cdot x_2^2 + x_2 \sqrt{x_3} + (x_4 - x_5)$, 则其层次化结构如图3所示。

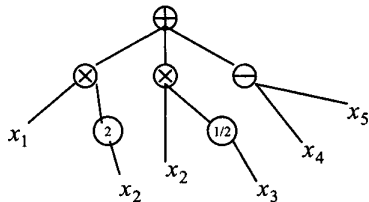


图3 个体算法树描述

2.2.2 适应值函数确定

在故障特征提取时,一般选择如下函数 F 作为适应值函数

$$F = \frac{|u_n - u_f|}{\sigma_n + \sigma_f} \quad (1)$$

上式中, u_n, σ_n 分别表示在设备正常时测得的特征参数 x 的平均值和方差; u_f, σ_f 分别表示在设备故障状态下测得的特征参数 x 的平均值和方差。从上式可以看出, F 值越大,该特征参数对此故障的识别率就越高,特征参数就好。

2.2.3 繁殖

按繁殖概率随机从初始群体中选择个体进行繁殖。对每个个体 $x(i, k)$,其被选择进行繁殖的概率为

$$P_i^k = \frac{f(x(i, k))}{\sum_{i=1}^{N_k} f(x(i, k))} \quad (2)$$

上式中 N_k 表示第 k 代个体数目 ($N_0 = N$), $f(x(i, k))$ 表示第 k 代的第 i 个个体的适应值。

2.2.4 杂交

遗传的杂交概率为

$$P_c = P_j / P_{\max} \quad (3)$$

$$P_j = \left[\frac{F_i}{\bar{F}} \right] \quad (4)$$

F_i 表示第 i 个个体的适应值, \bar{F} 表示此代个体适应值的平均值。在两个个体杂交操作时, 分别在每个亲代个体的算法树上按均匀概率随机选择杂交点, 于是每个个体都产生一个以各自杂交点为根的子树, 把这两个子树相互交换即可。

2.2.5 变异

变异就是以随机的方法使树节点处的演算符号(+、-、×、/、n)以及叶子处的特征参数变异。变异概率过大, 容易使算法的随机性增强, 一般选择在0.1%~1%范围。

2.2.6 终止条件

当最大适应值在规定的进化次数内变化不明显或适应值已达到预先给定的值时, 算法终止。

3. 牵引逆变器最佳故障特征提取

TGN11 型牵引逆变器输出最大输出牵引力为 22000N, 牵引力可分为 12 个级别, 由驾驶命令控制决定, 一般工作在级位 6。这里定义牵引逆变器(工作在级位 6)的初始故障特征参数为: 输出频率 x_1 , 输出相电流 x_2 , 输出线电压

x_3 ，工作温度 x_4 。测取初始特征参数 10 组（如表 1 所示）对逆变器牵引故障进行诊断，根据公式（1）和表 1 以及统计出的各特征参数平均值 u_f 和方差 σ_f ，可以计算出这些特征参数性能值，如表 2 所示。

表 1 逆变器牵引故障初始特征参数诊断结果

实验 序号	频率 x_1 (Hz)	诊断 结果 C_1	相电 流 x_2 (A)	诊断 结果 C_2	线电 压 x_3 (V)	诊断 结果 C_3	温度 x_4 ($^{\circ}$ C)	诊断 结果 C_4	逆变器 牵引故 障状态
1	74	0	30	0	392	0	50	0	0
2	67	0	34	1	375	0	56	0	0
3	70	1	26	0	328	1	42	0	0
4	75	0	28	0	362	0	49	0	0
5	72	1	35	1	377	0	72	1	1
6	70	1	30	0	382	0	70	1	0
7	71	1	31	0	305	1	45	0	1
8	69	0	27	0	394	0	69	1	0
9	70	1	29	0	388	0	50	0	0
10	72	1	32	0	307	1	47	0	1
特征 统计 值 u_f	71.6		32.6		329		54.6		
特征 统计 值 σ_f	0.57		2.08		41		15		

表 2 逆变器牵引故障初始特征参数性能

性能指标	频率 x_1	相电流 x_2	线电压 x_3	温度 x_5
适应值 F	0.266	0.747	0.996	0.019
诊断率 P_d	70%	70%	80%	60%

用上述四个特征参数随机生成 15 个个体,对这一群体进行繁殖、杂交、变异操作后得到逆变器牵引故障的最佳特征参数是 $x_1^{-1/2} \cdot x_3 + (x_2^3 - x_4)^{1/2}$ ，适应值为 7.83，确诊

率可达到 100%，优化了逆变器牵引故障特征参数的性能。

4. 结束语

牵引逆变器是 CMS-3 型磁浮列车运行系统的重要部件，论文针对该部件的牵引故障特征难以提取问题，提出了一种基于遗传规划算法的部件故障特征提取方法，并通过实验，提取出了表征逆变器牵引故障的最佳特征。

与其他优化方法相比，遗传规划方法在问题求解中具有很 多优点，它可以同时搜索解空间的许多类，求得全局最优解；它对所定义的适应函数限制极少，不要求连续和可微，甚至可以为神经网络等隐函数，应用范围很广。但遗传规划的问题求解效率与生成的初始群体、杂交概率 P_c 以及变异概率 P_m 有关，这些参数选择不合适，会使算法求解过程变长，甚至不能找到有效解，实验时选择 $P_c=0.6,P_m=0.01$ 。总之，利用遗传规划的方法可以很快地提取出部件的最佳故障特征，而且几乎适合于任何对象。

参考文献

[1] 徐章遂, 房立清, 王希武, 左宪章著. 故障信息诊断原理及应用. 北京: 国防工业出版社, 2000.

[2] 陈长征, 徐玉秀, 杨璐. 遗产算法改进及其在机械故障诊断中的应用研究. 机械科学与技术, Vol.19, No.3, 2000.

[3] 周杨平, 赵炳全 .基于遗传算法和知识库的核电厂故障诊断方法. 核动力工程. Vol.21, No.4, 2000.

[4] 薛定宇著. 科学运算语言 MATLAB5.3 程序设计与应用. 北京: 清华大学出版社, 2000.