

# 基于 GA 与 RS 的电力系统输电线路故障诊断\*

宋玉琴 程 诚 赵 洋 李 超

(西安工程大学电子信息学院 西安 710048)

**摘要:** 针对电力系统中存在着各种故障,及断路器跳闸进而引起大范围停电的情况,提出了一种基于建模-简约-优化的多源信息融合的智能故障诊断方法。通过对电力系统输电线路故障的原因分析,确定基于遗传算法的故障诊断规则。再利用粗糙集理论对故障动作决策表进行最大限度的约简,此方法保留了关键信息同时得到了知识的最小表达,能够更快更准确的诊断出故障发生的位置。通过实验证明:文中所提出故障诊断模型高效便捷,可应用于大型电力系统的故障诊断,尤其是输电线路方面的故障诊断,在诊断电力线路故障方面提供了一个切实有效的方法。

**关键词:** 遗传算法;粗糙集理论;输电线路;故障诊断

**中图分类号:** TP227    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 470

## Fault diagnosis of transmission lines in power system based on GA and RS

Song Yuqin Cheng Cheng Zhao Yang Li Chao

(College of Electronics and Information Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** For there are all kinds of faults in the power system, and the condition of the circuit breaker tripped and caused widespread power outages, this paper proposes a modeling - simple - optimization of multi-source information fusion of intelligent fault diagnosis methods. Through analyzing the cause of the power system transmission line fault, determined based on the genetic algorithm (GA) of the fault diagnosis rules. Using rough set (RS) theory, the RS to the maximum fault decision table is reduced, this method preserves the key information obtained the minimum expression of knowledge at the same time, to be able to more quickly and accurately diagnose the fault location. Experiments proved that the proposed fault diagnosis model is efficient, for the diagnosis of power line fault provides an effective method. Through analyzing the cause of the power system transmission line fault, the fault diagnosis rules based on genetic algorithm is determined. Using rough set theory to the maximum fault decision table is reduced, this method preserves the key information obtained the minimum expression of knowledge at the same time, to be able to more quickly and accurately diagnose the fault location. Experiments proved that the proposed fault diagnosis model is efficient and can be applied to fault diagnosis of large power system, especially for transmission line fault diagnosis, the diagnosis of power line fault provides a practical and effective method.

**Keywords:** genetic algorithm(GA); rough set (RS)theory; electric transmission line; fault diagnosis

## 0 引 言

随着电力系统的不断发展,大量用电器走进日常生活,人们对电网稳定的供电依赖性越来越强。一旦电网发生故障,如果没有及时进行妥善处理,很有可能造成电力系统瘫痪,波及大量的用电户,损害人们的经济利益,影响人们的正常生活。目前,通过收集故障信息来进行故障诊断的方法有很多,例如专家系统(ES)、人工神经网络(ANN)、Petri网(PN)、模糊集理论(FST)、贝叶斯网络(BN)等方法,但是随着科技的发展和研究的深入,单一的智能诊断方法已

经难以满足社会的需要<sup>[1]</sup>。难以建立完备知识库,容错能力差,维护难度大,推理速度慢等问题使得 ES 主要应用于离线故障分析<sup>[2]</sup>。完备样本集获取困难,交互能力弱,不擅长处理启发式性知识,缺乏解释自身行为能力等缺点使得 ANN 不适用大型的电力系统<sup>[3]</sup>。大型电网建模困难,网络扩大易造成组合爆炸,容错能力较差,难以识别错误的状态信息等弊端使得 PN 诊断效率低下<sup>[4]</sup>。有效隶属函数难以建立,可维护性能较差,使得 FST 在电力线路故障诊断应用非常有限<sup>[5]</sup>。BN 要求给出事件的先验概率和条件概率,而这些数据又是不易获得的,所以其应用同样受到了

收稿日期:2017-03

\* 基金项目:陕西省教育厅科研计划(15JK1312)、西安市科技计划(CXY1517(1))资助项目

限制<sup>[6]</sup>。

因此,在全方位的了解输电线路故障诊断现状和相关智能算法后,本文提出了基于遗传算法(GA)和粗糙集理论(RS)相结合的故障诊断方法。将粗糙集约简后的决策表提供给 GA 算法使用,并利用其进行故障诊断<sup>[7]</sup>。一方面,GA 算法的输入样本可以得到约简,使 GA 算法的收敛更为容易。另一方面,如果仅用粗糙集约简数据后形成的规则去进行故障诊断,将无法诊断不在规则范围内的其他情况,而遗传算法有一定的自学习能力和容错性,可以通过对粗糙集归约所形成的规则进行学习来实现对不在规则范围内的其他情况的判断<sup>[8]</sup>。

## 1 基于 GA 的故障分析

### 1.1 故障诊断的过程

如图 1 所示,故障诊断过程就是从待诊断对象中提取相关状态信息,通过对状态信息的分析处理,拓朴成数学模型,形成相应的目标函数与初始决策信息,对形成的原始决策表进行粗糙集数据规约,形成最佳规约集 REDU<sup>[9]</sup>。最后对故障区域用遗传算法进行求解,从而判断出故障元件<sup>[10]</sup>。

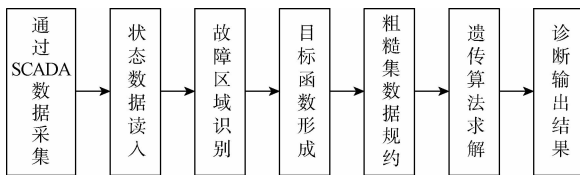


图 1 总体框图

### 1.2 数学模型的建立

电力线路故障诊断就是当系统发生故障时,断路器根据相应的动作状态跳开,通过检测断路器的状态来识别故障设备<sup>[11]</sup>。断路器的状态又可以通过数学模型来表达,进而建立起基于 GA 的故障诊断模型,GA 以庞大的初始种群作为出发点进行搜索,允许所求解的问题是是非线性和不连续的,并能从整个可行域空间寻找最优解<sup>[12]</sup>。文献[1]指出要诊断电力线路故障就是要找出最能解释警报信号的故障假说,可以表示为使下述目标函数最小化的问题:

$$E(X) = W - \sum_{k=1}^{n_c} |y_k - y_k^*(X)| + \sum_{j=1}^{n_c} |c_j - c_j^*(X, Y)| \quad (1)$$

式中:  $W$  为一个相当大的正数,作用是保证  $E(X)$  恒为正,本文取  $W = 10^8$ ,  $n_c$  表示故障区域内保护总数目,  $n_c$  表示断路器总数目,  $n$  表示待诊断区域中的元件数目。  $X$  表示系统中元件的状态,  $X_i = 0$  表示元件正常工作,  $X_i = 1$  表示元件故障。  $Y$  表示系统中保护的状态,  $y_k = 0$  表示保护未动作,  $y_k = 1$  表示保护已动作。  $Y^*(X)$  表示系统中保护的期望状态,  $y_k^*(X) = 0$  表示不应该动作,  $y_k^*(X) = 1$  表示应该动作。

$C$  表示系统中断路器的状态,  $c_j = 0$  表示断路器未跳闸,  $c_j = 1$  表示断路器已跳闸。  $C^*(X, Y)$  表示系统中断路器的期望状态,  $c_j^*(X, Y) = 0$  表示不应该跳闸,  $c_j^*(X, Y) = 1$  表示应该跳闸。这样,就将电力系统故障诊断转换为一个求式(1)最小值的数学模型,由于所有的状态都由 0 和 1 两种取值来确定,所以可以用 0~1 规划问题的思想求解。

## 2 RS 理论

### 2.1 知识约减

RS 是一种数学理论,可以通过计算近似值来解决一些不确定问题。RS 不需要附加条件就可以完成对一些数据的简化,有着强大的数据约减能力。一般来讲,数据库中的数据并不是全部有效,部分数据是重复的甚至是多余的,RS 的数据约减就是指在总体数据分类不变得前提下,删除冗余的数据<sup>[13]</sup>。

**定义 1:** 令  $R$  为一族等价关系,  $r \in R$ , 如果  $IND(R) = IND(R - \{r\})$  则称  $r$  为  $R$  中不必要的; 否则称  $r$  为  $R$  中必要的。对于每一个  $r \in R$  都为  $R$  中必要的, 则称  $R$  为独立的; 否则称  $R$  为依赖的<sup>[14]</sup>。

**定义 2:** 如果  $R$  是独立的,  $P \subseteq R$  则  $P$  也是独立的, 设  $Q \subseteq P$ , 如果  $Q$  是独立的, 且  $IND(Q) = IND(P)$ , 则称  $Q$  为  $P$  的一个约减。显然,  $P$  可以有多个约减。  $P$  中所有必要关系组成的集合称为  $P$  的核, 记  $core(P)$ 。

**定义 3:** 核与约减的关系如下:  $core(P) = \bigcap red(P)$ , 其中  $red(P)$  表示  $P$  的所有约减。

### 2.2 决策表

决策表是一类特殊而重要的知识表达系统,它指当满足某些条件时,决策(行为)应当怎样进行。多数决策问题都可以用决策表的形式来表示。

决策表可以定义如下:  $S = (U, A)$  为一信息系统, 且  $C, D \subset A$  是两个属性子集, 分别称为条件属性和决策属性, 且  $C \cup D = A, C \cap D = \emptyset$ , 则该信息系统称为决策表, 记作  $T = (U, A, C, D)$  或简称  $CD$  决策表。关系  $IND(C)$  和关系  $IND(D)$  的等价类分别称为条件类和决策类<sup>[15]</sup>。

决策表的每一行表示一个故障样本, 当决策表中的决策规则为真时, 此决策规则是决策表中一致的, 否则则是不一致的。在此诊断模型中, 分别用“0”和“1”来判断断路器是否动作, “0”表示拒动, “1”表示动作。

## 3 基于 RS 和 GA 的电力系统输电线路故障诊断

### 3.1 初始决策表形成

基于以上所述理论, 选取图 2 所示的电力系统中的部分电路来进行测试。选取部分包括 5 个元件, 6 个断路器, 15 个保护, 分别为 Am、Bm、Cm、L1Am、L1Bm、L2Bm、L2Cm、L1Ap、L1Bp、L2Bp、L2Cp、L1As、L1Bs、L2Bs 和 L2Cs, m 代表主保护, 当母线或线路发生故障时, 主保护第一时间动作, 跳开对应的断路器。 p 代表近后备保护, 如果

发生故障时主保护拒动,那么近后备保护跳开相应断路器。时全部拒动,那么远后备保护动作,跳开相应的断路器。  
s代表远后备保护,如果主保护和近后备保护在发生故障

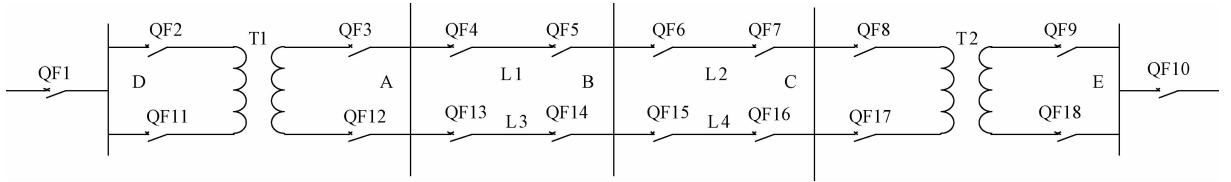


图2 输电线路模型

根据上述动作原理形成相关的决策表,部分决策表如 表1所示。

表1 部分初始动作状态决策表

QF1	QF2	QF3	QF4	QF5	QF6	Am	Bm	Cm	L1Am	L1Bm	L2Bm	L2Cm	L1Ap	L1Bp	L2Bp	L2Cp	L1As	L1Bs	L2Bs	L2Cs	故障	
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	B
0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C
0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L1
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	L1L2

### 3.2 决策表的约减

根据所述的RS理论对初始决策表进行归约。流程是令初始归约集 REDU 为空,然后根据每个属性的重要性排序,每次选择重要性最大的属性加入属性集 REDU 中。如果新的属性集与原属性集相比对决策属性的依赖度相等时,可以完全替代原属性集。此时等到的属性集不是最简,还需要对冗余属性进行删除,同样是对每个属性的重要性进行排序,如果删除该属性影响到新的属性集的依赖度则保留,否则删除。剩下的就会使比较理想的归约集。计算得出原决策表属性的核心为 Bm 和 Cm,再对数据进行进一步的归约之后,得到约减后的决策表,如表2所示。与粗糙集软件 ROSETTA 计算的归约中的最简单的一种是一样的。

### 3.3 算例仿真

在此模型上,根据约减后决策表进行遗传算法的故障诊断,部分参数设定如下:

种群大小:90;染色体串长:5;遗传算法终止进化代数:50;初始交叉概率设定为 0.9,计算公式为  $pcross = pcross - (pcross - 0) \cdot 0.6 / maxgen$ ;初始变异概率设定为

表2 部分约减后的决策表

QF1	QF2	QF3	QF5	Bm	Cm	L1Am	L2Bs	故障
1	1	0	0	0	0	0	0	A
0	0	1	0	1	0	0	0	B
0	0	0	1	0	1	0	0	C
0	1	1	0	0	0	1	0	L1
0	0	0	1	0	0	0	0	L2
0	0	0	0	0	0	1	0	L1L2

0.001,计算公式为  $pmutation = pmutation + (0.1 - pmutation) / maxgen$ 。

在求解目标函数时,传统GA一般迭代多次后才可求得最优解,而使用GA-RS只需要迭代10次左右就可求得最优解。最佳个体出现所在代数也有明显的提前,基本上在第1代就可以寻找到最佳个体。由适应度函数计算得到的个体适应度值更高,更容易筛选出该优良个体。对于故障元件的检测,GA-RS同样能准确的诊断出故障元件所在位置。部分对比诊断结果列于表3中。

表3 部分仿真结果对比

最佳个体所在代数		当前世代数		适应度		对应染色体状态		对应元器件状态	
GA	GA-RS	GA	GA-RS	GA	GA-RS	GA	GA-RS	GA	GA-RS
4	1	8	8	91	97	10101	10101	A 母线,C 母线,线路 L2 故障	
4	1	9	9	93	96	11010	11010	A 母线,B 母线,线路 L1 故障	
3	1	10	10	92	98	10000	10000	A 母线故障	
4	1	11	11	91	99	00001	00001	线路 L2 故障	
4	1	12	12	91	97	00111	00111	C 母线,线路 L1 和 L2 故障	

## 4 结 论

对于电力系统输电线路断路器误动或拒动的故障,本文所述方法能够较好的将其解决。故障实例分析表明,本文提到的方法可以有效进行不确定性推理,减少诊断信息的冗余性。通过 GA 采用 RS 约简后的决策表中的条件属性作为目标函数的输入,可以科学的提高算法的效率,快速定位故障区域,从数学模型中准确地判断故障元件,能够更快更精确实现电力系统输电线路故障诊断。同时可以提高输电网供电可靠性,使输电网的适应能力和竞争能力更强,并有着较好的实用价值,为输电线路的故障诊断与判断提供了科学的决策依据。

## 参考文献

- [1] 徐青山. 故障诊断及故障恢复[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [2] 熊信银. 遗传算法及其在电力系统中的应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2002.
- [3] 富震,潘伟. 基于自适应遗传约简算法的雷达故障诊断[J]. 控制与决策,2010,25(4):587-591.
- [4] 陈维荣,宋永华,孙锦鑫. 电力系统设备状态监测的概念及现状[J]. 电网技术,2000,24(11):12-17.
- [5] 易妍,范辉,顾雪平,等. 考虑不确定性的基于解析模型与信息理论的电网故障诊断方法[J]. 华东电力,2013,41(1):110-114.
- [6] 郑蕊蕊,赵继印,赵婷婷,等. 基于遗传支持向量机和灰色人工免疫算法的电力变压器故障诊断[J]. 中国电机工程学报,2011(7):56-63.
- [7] 肖招娣,杨飞,庞维欣. 引入 0-1 整规划的电力系统故障方法研究与仿真[J]. 科技通报,2014(2):56-58.
- [8] ZENG J, NGAN H W, LIU J F, et al. Colored petri

nets modeling of multi-agent system for energy management in distributed renewable energy generation system [C]. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010.

- [9] WANG D F, HUANG B H, LI Y, et al. Kernel independent component analysis and dynamic selective neural network ensemble for fault diagnosis of steam turbine[C]. Proceeding of ISNN, 2010: 60-64.
- [10] 宋玉琴,朱紫娟,姬引飞. 多传感器信息融合的智能故障诊断策略[J]. 西安工程大学学报,2014,28(5):568-573.
- [11] 刘斌,陈钉均. 基于粗糙集和遗传算法的道路交通事故分析[J]. 兰州交通大学学报,2010,29(1):75-81.
- [12] 李小珉,尹明. 基于遗传算法的 BP 神经网络电力系统状态预测方法研究[J]. 电子测量技术,2016,39(9):182-186.
- [13] 李猛,王友仁. 电力电子电路软故障诊断方法对比分析[J]. 电子测量技术,2015,38(7):110-114.
- [14] 黄丹平,于少东,田建平,等. 基于电力线室内定位算法研究[J]. 仪器仪表学报,2016,37(1):136-143.
- [15] 陈宜文,许斌,郝建华,等. 基于 OFDM 技术的电力线通信系统建模与仿真[J]. 国外电子测量技术,2015,34(2):21-26.

## 作者简介

**宋玉琴**,副教授,主要研究方向为故障诊断容错系统、检测技术及自动化装置、嵌入式及其应用等。

**程诚**,硕士研究生,主要研究方向为电力系统故障诊断、嵌入式系统及其应用、linux 驱动开发等。

E-mail:6828620@163.com