

基于粗糙集属性约简的评估模型在电力通信网 风险评估中的应用及实现

程晓荣, 张兰, 岳娇

(华北电力大学, 河北 保定 071003)

摘要: 电力通信传输网的安全性直接关系到电力系统的稳定运行。针对风险评估系统指标体系繁杂、评估一次需要时间比较长的问题展开研究, 构建了增加属性约简功能的风险评估模型。在初始指标体系的基础上, 运用基于重要度的粗糙集属性约简算法得到精简指标体系, 然后根据网络节点风险计算流程及模型计算出风险评估结果。实验验证了改进模型能有效地缩短系统评估时间, 最后设计实现了电力通信网风险点分析与控制系统。

关键词: 电力通信传输网; 风险评估模型; 粗糙集; 属性精简; 指标体系

Application and implementation of the assessment model based on rough set attribute reduction in power communication network risk assessment

CHENG Xiaorong, ZHANG Lan, YUE Jiao

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The security of power transmission network is directly related to the stable operation of the power system. In response to the complexity of indicator set of risk evaluation system and intensive time-consuming of a single risk evaluation process, a risk evaluation model added attribute reduction function is proposed. On the basis of the initial index system, the index system is reduced by using the rough set attribute reduction algorithm based on importance degree, and then the risk assessment results are calculated according to the network node risk calculation processes and models. The experimental results show that the improved model can effectively shorten the system evaluation time, and finally the risk point analysis and control system of power communication network is designed and implemented.

Key words: power transmission network; risk assessment model; rough set; attribute reduction; indicator set

0 引言

电力通信网承载了电力系统的主要通信业务, 对电力通信网进行实时风险状况评估具有重要意义^[1]。电力通信网风险评估主要是对电力通信网的风险点进行科学分析和及时控制^[2], 及时发现网络薄弱环节及其可能引起的安全隐患, 建立风险点应对和消除的管理办法和流程。

但是风险评估系统对电力通信传输网状态评估一次需要时间较长, 原因是电力通信网拓扑结构复杂, 系统庞大, 通信站点、设备繁多, 每个设备又有一定数量的指标因素。这些繁杂的指标因素中含有一些冗余的属性, 它们的存在增加了处理时间和存储空间开销, 浪费了大量资源, 甚至影响正确结果的产生。本文针对这些问题, 研究设计了添加

属性约简功能的风险评估模型, 删除指标体系中冗余的条件属性, 解决了指标体系繁杂导致系统评估时间较长的问题, 提高了电力通信网评估效率, 为电力系统安全运行提供了保障。

1 约简算法设计

1.1 粗糙集约简理论介绍

(1) 决策表定义^[3-4]

决策表是个二维的信息表, 包含属性集和对象集两部分, 对象集是研究对象的集合, 属性集(A)是研究对象的特征, 分为条件属性集(F)和决策属性集(D), $A = F \cup D$ 。 U 为所讨论对象的非空有限集合, 表示非空论域。信息系统就可以表示为: $S = (U, A, V, f)$ 。 V 表示属性值域集, f 是 $U * A \rightarrow f$ 的映射, 表格内容 f 即是函数值。

根据上述定义, 电力通信网指标体系和样本数据可以表示为决策表的形式, 简洁直观, 易于处理。

(2) 约简与核^[5-6]

定义 1: 对于任何一个属性集 $P \subset Q$, ind 表示不可分辨关系, 定义为

$$ind(P) = \{(x, y) \in U * U : f(x, a) = f(y, a), \forall a \in P\}$$

不可分辨关系实际上是 U 上的等价关系。

定义 2: 令 R 表示一个等价关系, $r \in R$, 当 $ind(R) = ind(R - \{r\})$ 时, 可以称为 r 为 R 中不必要的, 反之 r 为 R 中必要的, 则称 R 可约简为 $R - \{r\}$ 。

定义 3: 一个等价关系 R 有若干个约简, 这些约简的交集称为 R 的核(Core), 记作 $Core(R) = \cap Red(R)$ 。 $Red(R)$ 表示 R 的所有约简。

约简与核是粗糙集的重要内容, 电力通信网指标体系精简就是去掉不必要的属性, 得到指标体系的核及约简。

1.2 基于属性重要度的属性约简算法

属性约简算法是通过分析决策表中已有数据及其关系, 保持原信息系统的分类或决策本质不会发生变化, 根据属性必要性和重要度去掉一些无用的、不相关的多余属性, 得到更简单、对决策更有效的决策规则。

对于给定的决策表 $S = (U, A, V, f)$, 基于属性重要度的约简算法设计步骤如下:

第一步: 设一个空集 C 。对 $\forall \alpha \in A$, 如果 $ind(A - \{\alpha\}) \neq ind(A)$, 则把 α 加入到 C 中。

第二步: 属性集合 A 的核 $Core(A)$ 即为 C 。

第三步: 定义一个集合 R , 令 $R = Core(A) = C$, 如果 $ind(R) = ind(A)$, 则输出属性约简 R , 算法结束。

第四步: 按照公式 $sig(\alpha, R) = |ind(R \cup \{\alpha\})| - |ind(R)|$, 计算集合 $(A - C)$ 中所有属性的重要度, 取属性重要度最大的那个属性加入到集合 R 中, 如果属性重要度最大的属性有多个, 则选取划分个数最小的那个属性加入到 R 中。

第五步: 如果 $ind(R) = ind(A)$, 则输出属性约简 R , 算法结束。

本算法验证和应用见本文第 3 节中。

2 电力通信传输网安全风险评估模型设计

2.1 基于属性约简的电力通信传输网安全风险评估流程设计

传统的风险定义为可能发生的危险^[7], 风险评估更像是根据事件的发生概率和后果进行的风险预测。但电力通信网风险评估更需要考虑通信网的实

时运行状态, 如设备的运行状况是否异常, 机房环境是否符合要求等, 因此风险的重新定义为: 实时运行状态中存在的危险。

风险评估流程包括确定原始指标集、属性约简得到精简指标集、经过评估模型评估得到风险值以及风险等级。基于属性约简的电力通信传输网安全风险评估流程如图 1 所示。

风险评估流程的特点:

- (1) 精简评估指标集, 缩减了系统时间空间开销。
- (2) 得到定量的风险评估值。

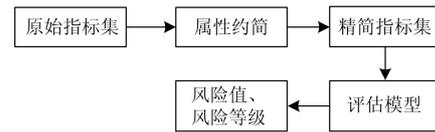


图 1 基于属性约简的电力通信传输网安全风险评估流程

Fig. 1 Security risk assessment process of power communication transmission network based on attribute reduction

2.2 确定风险评估指标体系

根据国际标准和建立指标的原则, 电力通信传输网的可能风险影响指标包括^[8-10]:

一级指标因素包括光口、电口、以太网口、运行管理、人为因素、机房环境。光口的二级指标因素包括: 发送光功率、接收光功率、输入抖动、输出抖动、误码率。以太网口的指标因素包括: 吞吐量、丢包率、时延。运行管理的指标因素包括: 设备检修计划执行、通信设备测试完备、设备备品备件完备、设备消缺完成情况、资料完备情况、技术资料完备情况、通信应急预案完备情况。人为指标因素包括职工总体评价、通信职工培训情况、通信人员配备情况、通信职工年龄结构和学历情况。机房环境指标因素包括温度、湿度、卫生情况、防雷措施、防静电措施、空调备用情况。

2.3 属性约简形成精简指标集

电力通信网传输网风险涉及到设备、环境、技术、人员等多方面原因, 根据基于重要度的属性约简算法, 精简指标集合如表 1 所示。

表 1 精简指标集

Table 1 Reduced index set

一级指标	二级指标	一级指标	二级指标
光口	发送光功率 T1	机房环境	温度 T8
	接收光功率 T2		湿度 T9
	误码率 T3		卫生情况 T10
	信噪比 T4		防雷措施 T11
以太网口	吞吐量 T5	运行管理	设备检修计划执行 T12
	丢包率 T6		设备备品备件完备 T13
人为因素	职工总体评价 T7		资料完备情况 T14

经过约简后,发现风险因素个数由原来的 27 个变为 14 个,减少了近一半,有效地减少了计算模型的输入个数。

2.4 网络节点风险计算模型设计

风险计算是风险评估中重要的组成部分,利用资产的脆弱性和资产重要度可得到发生风险事件的状态。风险可以看作一个函数,参数包括脆弱性评估值和重要度评估值,并用相乘法进行参数关联。网络节点风险计算流程包括节点脆弱性评估和节点重要度评估两部分。

2.4.1 网络节点风险计算流程

电力通信传输网网络节点风险计算流程图如图 2 所示。网络节点的风险值是由节点脆弱性和节点重要度共同决定的。

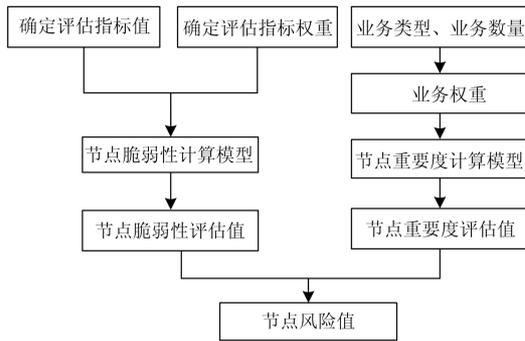


图 2 网络节点风险计算流程

Fig. 2 Network node risk calculation process

网络节点(SDH 设备和光缆)脆弱性评估,包括采集评估指标值(即由运行维护人员、领域专家对此因素的实际情况打分得出)、确定评估指标权重、确定网络节点脆弱性评估计算模型。网络节点重要度评估包括了解节点承载的业务类型和数量、确定业务权重、确定重要度评估算法。

节点脆弱性评估值和重要度评估值相乘,即得到定量的风险值,再与风险区间对应可确定风险等级高低。

2.4.2 网络节点脆弱性评估模型设计

系统共有两级指标因素,网络节点脆弱性评估模型设计为

$$V = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m (P_{ij} * W_{ij}) \right] * W_i \quad (1)$$

式中: i 表示第 i 个 1 级因素; j 表示第 j 个 2 级因素; P_{ij} 表示第 i 个一级指标因素下第 j 个二级指标因素的评估指标值,是对评估指标打分得到的; W_{ij}

表示第 i 个一级指标因素下第 j 个二级指标因素的权重; W_i 表示第 i 个一级指标因素的权重,权重是由专家根据经验给出。

通过对模型进行分析,说明网络节点脆弱性评估值越大,此节点的运行状态越差,风险越高。

2.4.3 节点重要度评估模型设计

电力通信传输网承载的业务包括 PCM 业务、调度电话、电量远传、电视电话会议、调度数据网、继电保护等等,不同业务对于电力系统稳定运行的作用大小不同,所以各种业务的重要度权值不同^[11-12]。每个网络节点承载的业务类型和数量也不同,根据业务重要度和对应的数量,设计节点重要度模型为

$$S = \sum_{i=1}^m (W_i * N_i) \quad (2)$$

式中: i 表示承载的第 i 个业务类型; W_i 表示业务的权重; N_i 表示承载此业务类型的数量。

通过模型分析,节点重要度值越大,节点的资产价值越大或者对系统稳定运行影响越大,风险越高。

3 实验验证及系统实现

3.1 实验验证

为验证添加属性约简功能的风险评估模型的有效性,选择某电网公司电力通信网 2014 年下半年 6 个月的数据进行测试(因为篇幅有限,样本数据不一列出)。将初始指标集和精简指标集分别作为计算模型的输入,经过风险计算,得到的风险值及其风险等级如表 2、图 3 所示。其中风险值区间与风险等级的对应关系是: $[0, 1)$ 无风险, $[1, 3)$ 为轻微风险, $[3, 6)$ 为中级风险, $[6, 8)$ 为重大风险, $[8, 10)$ 为特大风险。数据精简前后指标数据采集时间和风险计算时间比较结果分别如表 3、表 4 所示。

表 2 样本数据精简前后风险结果表

	7 月 样本	8 月 样本	9 月 样本	10 月 样本	11 月 样本	12 月 样本
初始指标 得到的风 险值	0.4197	1.2858	3.3200	0.3188	3.3783	2.2155
初始指标 风险等级	无风 险	轻微 风险	中级 风险	无风 险	中级 风险	轻微 风险
精简指标 风险值	0.2703	1.6240	3.2145	0.1935	3.8112	1.9120
精简指标 风险等级	无风 险	轻微 风险	中级 风险	无风 险	中级 风险	轻微 风险

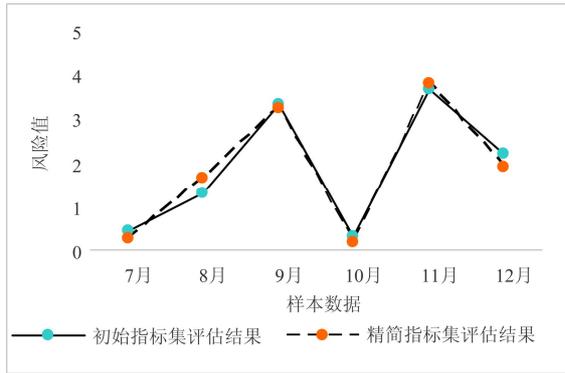


图3 指标集精简前后结果比较折线图

Fig. 3 Compared results before and after indicator set reduction in line chart

表3 数据精简前后指标数据采集时间

Table 3 Index data acquisition time before and after data reduction

	自动采集指标因素个数	自动采集时间	人工采集指标因素个数	人工采集时间
初始指标数据采集	10	8 s	17	85 min
精简指标数据采集	8	6 s	6	30 min

表4 数据精简前后风险计算时间

Table 4 Risk calculation time before and after data reduction

	110个节点 (设备/光缆)	300个节点	1000个节点
初始指标的风险计算时间/s	0.264	0.685	2.136
精简指标风险计算时间/s	0.141	0.359	1.195

3.2 实验结果分析

根据表2和图3可以看出,虽然指标集精简以后的评估风险值与精简以前的评估风险值有所变化,但相差很小,不影响风险等级的判断,去除的属性都是冗余的或者不重要的。

评估误差存在的原因:指标因素权重是由专家根据工作经验给出,具有主观性。指标精简之前专家对一些冗余的因素赋予了非零的权重,指标精简去掉了这些冗余的不重要的因素,然后权重重新分配,导致两次评估结果数值存在差异。

由表3、表4可知,指标体系属性约简有效的减少了数据采集时间和风险计算时间,系统评估速度加快,缩减了时间开销。

指标体系精简减少信息系统的数据库量,减少了数据库存储空间和程序占用内存空间。因此属性约简在不影响风险等级评估结果的同时减少了系统时

间空间开销。

3.3 电力通信网风险点分析与控制系统实现

电力通信网风险点分析与控制系统包括四大功能模块:风险管理、告警查询统计、资源管理以及运行维护,如图4所示。风险管理主要包括风险计算、展示风险评估结果、风险管控操作、管理文档和风险配置。告警查询统计可以查询当前告警信息、历史告警信息。资源管理主要实现人员信息和网络资产基本信息(基础资源、空间资源、光缆资源、路由资源、网管资源)的维护功能。运行维护模块实现工作人员值班记录和备品备件信息的增删改查功能。



图4 系统菜单

Fig. 4 System menu

系统最主要的模块是风险管理模块,风险管理的功能菜单如图5所示。

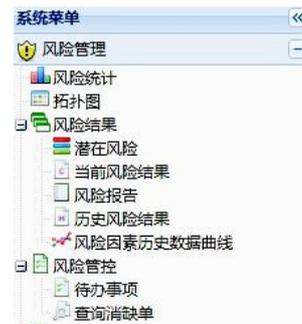


图5 风险管理菜单

Fig. 5 Risk management menu

风险管控包括两个功能:代办事项、查询消缺单,如图6所示。在潜在风险页面,对于轻微及以上级别风险,可以创建消缺单,同时也生成了待办事项。消缺单记录了状态异常的风险点和风险因素、风险值以及对应每个风险因素的处理方案。

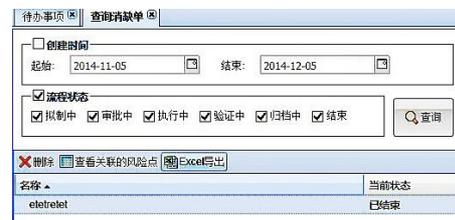


图6 风险管控页面

Fig. 6 Risk control page

4 总结

电力通信传输网资产众多, 风险影响因素包括自然灾害、设备自身原因和人力资源的差异等多个方面, 评估指标繁多, 浪费了大量资源。在电力通信网评估系统对知识进行简化是非常重要的, 这样可以减少数据量, 保证评估结果准确的前提下缩减时间、空间开销, 提高了系统的运行速度。下一步笔者将研究如何客观的确定指标因素的权重, 从而减少评估误差。

参考文献

[1] 彭棚, 何玉钧, 何宇. 电力通信网安全风险评估系统设计与实现[J]. 电力信息与通信技术, 2014, 12(3): 53-59.
PENG Peng, HE Yujun, HE Yu. Design and implementation of safety risk assessment system for power communication network[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2014, 12(3): 53-59.

[2] 赵建立, 周雯娟, 郑庆荣, 等. 基于用户责任的重要电力用户用电安全风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 71-77.
ZHAO Jianli, ZHOU Wenjuan, ZHENG Qingrong, et al. Electrical safety assessment for important power users based on user's responsibility[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 71-77.

[3] 蒋亚坤, 李文云, 赵莹, 等. 粗糙集与证据理论结合的电网运行优质性综合评价[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(13): 1-7.
JIANG Yakun, LIU Wenyun, ZHAO Ying, et al. Evaluation of power quality performance based on rough set and evidence theory[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(13):1-7.

[4] 高会生, 冯力娜. 基于相容粗糙-模糊集的电力通信网风险评估[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(12): 106-108.
GAO Huisheng, FENG Lina. Risk evaluation of electric power communication network based on tolerant rough-fuzzy set[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(12): 106-108.

[5] 晁进, 刘文颖, 刘勇智, 等. 基于粗糙集理论的电网报警规则自动提取与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(8): 95-99.
CHAO Jin, LIU Wenyong, LIU Yongzhi, et al. Automatic extraction and application of network alarm rule based on the rough set[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(8): 95-99.

[6] 李永德, 李红伟, 张炳成, 等. 融合粗糙集与神经网络的燃气轮发电机组振动故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(8): 90-94.

LI Yongde, LI Hongwei, ZHANG Bingcheng, et al. Fault diagnosis of gas turbine generator set by combination of rough sets and neural network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(8): 90-94.

[7] 倪宏坤, 徐玉琴, 王立晶. 电力系统并行输电断面风险评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 99-102.
NI Hongkun, XU Yuqin, WANG Lijing. Research on risk assessment of power system parallel transmission section[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(9): 99-102.

[8] 刘若溪, 张建华, 吴迪. 基于风险理论的配电网静态安全性评估指标研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 96-102.
LIU Ruoxi, ZHANG Jianhua, WU Di. Research on static security index of distribution network based on risk theory[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 96-102.

[9] LIU Nian, ZHANG Jianhua, WU Xu. Asset analysis of risk assessment for IEC 61850-based power control systems-part II: application in substation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 26(2): 876-881.

[10] 高会生, 王慧芳. 电力通信网 PCM 设备的安全模型研究[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2014, 41(4): 69-76.
GAO Huisheng, WANG Huifang. Research on security model of PCM equipment of power communication network[J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2014, 41(4): 69-76.

[11] 赵子岩, 刘建明. 基于业务风险均衡度的电力通信网可靠性评估算法[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 209-213.
ZHAO Ziyang, LIU Jianming. A new service risk balancing based method to evaluation reliability of electric power communication network[J]. Power System Technology, 2011, 35(10): 209-213.

[12] 蒋康明, 曾瑛, 邓博仁, 等. 基于业务的电力通信网风险评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(24): 101-106.
JIANG Kangming, ZENG Ying, DENG Boren, et al. Risk evaluation method of electric power communication network based on services[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(24): 101-106.

收稿日期: 2015-06-22; 修回日期: 2015-09-10

作者简介:

程晓荣(1963-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为计算机网络应用、网络信息安全; E-mail: cheng3100@sohu.com

张 兰(1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力通信传输网风险控制; E-mail: lanxi1130@126.com

岳 娇(1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机应用技术、网络信息安全。E-mail: 416055576@qq.com

(编辑 张爱琴)