

停电应急预案快速匹配与智能生成方法

李从善, 刘天琪, 李兴源

(四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 对大量的停电事故案例进行详细的归纳分析, 抽取其内部蕴含的相同特征信息, 并以特征值为基本元素, 采用数学集合方法表述停电应急预案和停电事件数学模型; 给出停电应急预案层次化的分级分类方案, 并在此基础上提出分级检索算法和改进的最近相邻算法相结合的检索策略; 在未完全匹配情况下, 给出相似度最大的预案, 并结合建立的特征措施对照表形成停电应急预案。案例分析结果表明, 所提方法能够对给定的停电事件快速匹配相应的预案, 证明了该方法的有效性。

关键词: 电力系统; 停电; 应急预案; 数学模型; 事例推理; 分级检索; 最近相邻

中图分类号: TM 734

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.01.006

0 引言

当前, 我国电力事业正处在快速发展时期^[1], 电力系统内外部各种高危突发事件时有发生, 城市电力安全时刻面临严重威胁。进行电力系统预案体系建设, 是强化我国城市应对电力突发公共事件能力建设的有效途径和方式, 是不断提高预防和处置突发公共事件能力的重要手段, 更是保障经济社会发展安全可靠用电、减少电力灾害损失的有效措施和手段。文献[2]在对西欧“11.4”大面积停电事后分析中指出: 把握薄弱环节、做好事故预案是安全运行的基础。2012年7月30日, 发生在印度的大停电事故震惊了世界, 其影响程度不亚于大地震。研究人员针对印度大停电事故指出^[3]: 印度多年缺电, 却没能建立有效的电力需求侧管理机制, 没有预先制定和及时启动有序用电方案是导致此次大规模停电的重要原因。由此可见事故预案在电力系统稳定运行中的重要地位。

电力系统在对停电事故的防范方面做了不少工作, 并建立了大量的总体预案、专项预案和现场应急预案。2005年初, 国务院发布了《国家突发公共事件总体应急预案》^[4]以及25个专项预案, 其中包括电监会负责编制的《国家处置电网大面积停电应急预案》^[5]。国家电网公司也发布了《城区电力系统突发事件应急预案编制导则》^[6], 并且具体规定了城市电网进入紧急状态的启动标准(如负荷损失比例)。文献[7]提出基于变尺度主成分分析方法以实现对电力设备载流故障进行早期预警。文献[8]基于广域测量系统(WAMS)的量测数据, 提出基于事例推理(CBR)理论及功率振荡增量分布(OAPID)理论的互联电网区间模式振荡预警方法。实现故障报警对电

网恢复抢修具有重要意义。文献[9]对电网重大故障应急抢修自动调度系统进行了研究, 给出了系统的模块组成。文献[10]从电力行业事故分类、电力应急预案体系及电力应急演练开展情况等几个方面分别详细阐述了国内外应急演练体系的情况。文献[11]对电网安全生产预警与应急预案主要内容及实施要点进行了研究。文献[12]对电网大面积停电应急预案的编制和实施进行了研究, 详细分析了应急预案编制的原则和主要内容以及预案实施中的几个主要问题。文献[13]采用故障树理论对电网调度自动化系统应急预案完备度进行了量化分析。

但是在面对突发停电事故, 怎样从海量预案库中快速筛选出与停电事件相对应的预案, 从而进行快速抢修方面的研究很少。另外, 已建立的预案大多是在假设典型的电网事故基础上建立的, 由于实际现场因素复杂, 预案的假设不可能完全与事件实际发展状况相符, 应急方案一般不可能按照已有的应急预案直接地加以应用, 必须根据已有经验、以往案例、现场状况对预案加以适当的调整方可应用。应急预案快速匹配与完善程度是体现应急能力的重要指标。

为此, 本文对预案的快速匹配与智能生成方法进行了研究, 建立了停电应急预案和停电事件的数学模型; 提出了分级检索算法和改进的最近相邻算法相结合的检索策略; 给出了未完全匹配情况下, 停电应急预案智能生成方法。

1 停电应急预案匹配模型

1.1 停电应急预案数学模型

停电应急预案是应对可能的突发停电事故预先制定的处置方案。目前应急预案都是采用文本形式进行描述, 主要内容包括: 预案名称; 预案编号; 预案目的; 预案启动条件; 预案实施日期; 预案响应级别;

收稿日期: 2013-03-02; 修回日期: 2013-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51037003)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51037003)

组织机构及其首要职责;需汇报的相关领导;需通知及协调的其他部门;电力设备生产厂家联络方式;备品备件存放及保管明细;相关软件及其存放和保管明细;预案通告;预案执行步骤;预案执行流程图。

在进行预案匹配时,对预案所包含的内容进行合理抽象,最终用事故描述和处置措施 2 个部分来表述停电处置预案,其实质可以看成是一个带有一组相关特征属性描述的问题与结论^[14](问题在此处表示具体的停电事故,结论表示与之对应的处置措施)。停电事故特征属性和处置措施之间为一一对应关系,即数学模型为 $f:A \rightarrow B$,其中, A 为描述停电事故特征因素集合(如自然灾害、隐形连锁故障、变压器故障、线路故障、人为破坏、能源供应、电力短缺等), B 为处置措施集合(如应急保障、应急响应、抢修流程等)。据此,一个完整的停电应急预案可以表述如下:

$C=\{A_c, B_c\}=\{(A_{c1}, A_{c2}, \cdots, A_{cn}), (B_{c1}, B_{c2}, \cdots, B_{cn})\}$
其中, A_c, B_c 与 A, B 意义相同; A_{ci} 为一个特征属性, B_{ci} 为对应于特征属性的一条处置措施, $i=1, 2, \cdots, n$, n 为预案库中一个预案的特征值数目。预案库为:

$$C_{\text{origin}}=\{C_1, C_2, \cdots, C_N\}$$

其中, N 为预案库中预案的个数。

对于一个给定的停电事件其可以表述为:

$$C_{\text{object}}=\{A_{c1}^o, A_{c2}^o, \cdots, A_{cn}^o\}$$

考虑到停电事故特征属性在快速抢修中的地位不同,可以采用一组权值向量来反映其特征的重要程度,权值大小由相关专家给定。则停电事件进一步表述为:

$$C_{\text{object}}=\{(A_{c1}^o, \omega_1), (A_{c2}^o, \omega_2), \cdots, (A_{cn}^o, \omega_m)\}$$

其中, A_{ci}^o 为停电事件特征之一; ω_i 为对应于特征属性的一个权值, $0 \leq \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^m \omega_i=1, i=1, 2, \cdots, m, m$ 为现场停电事件所包含的特征值数目。

由于停电影响因素非常多,对于众多的特征因素,专家并不易迅速给出其权重,本文采用层次分析法^[15]构造特征判断矩阵,从而迅速得出各特征的权重,在一定程度上克服了人为因素的影响。

1.2 停电应急预案分级分类模型

电网在运行过程中,会遇到各种各样的停电事故,影响停电事故的因素非常多,情况又异常复杂,而且同种停电事故所造成的停电影响(即停电级别)又不同。研究表明,以往的停电事故大多具有相似的特征,以前的处置方案有的可以直接用来解决当前的停电事故,或者做适当的调整即可应用。针对此情况,在建立应急预案库时,首先将复杂的停电事故影响因素进行梳理。对电网而言,导致其停电的影响因

素包括系统内部(系统的本身结构及元件)和外部(系统所处的外部环境)2 个大的方面,并且内部和外部又可以细分。基于停电的外部因素最终都要归根于内部因素的理念,在建立停电应急预案分级分类模型时,是从内部向外部扩展。图 1 给出了停电应急预案分级分类简化模型。

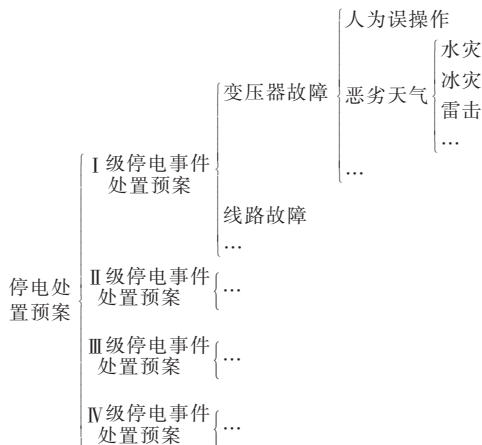


图 1 停电应急预案分级分类简化模型
Fig.1 Simplified model of hierarchical classification scheme of power outage events

图中, I 级停电事件为特大停电事件, II 级停电事件为重大停电事件, III 级停电事件为较大停电事件, IV 级停电事件为一般的停电事件。目前,中国区域电网应急预案使用的灾难分级指标可以分为以下 4 类^[16]:

- a. 量化指标,例如负荷减供和非计划停机容量;
- b. 半量化指标,例如关键输电断面损失若干条线路或若干重要厂站;
- c. 定性指标,例如自然灾害对电网影响程度的估计;
- d. 其他指标,例如人员伤亡、经济损失等指标。

上述指标有的获取比较麻烦,不满足易用性要求,因此一般选取负荷损失比例作为级别划分指标^[6, 17-18]。

1.3 分级检索与最近相邻算法相结合的匹配方法

1.3.1 分级检索策略

基于 1.2 节建立的停电应急预案分级模型,引入阈值概念(即启动各级预案的临界值),其符号用 α 表示,大小为停电负荷损失比例的值,参考国家电网对突发停电事件应急处置预案级别划分的规定,得出阈值选取标准。阈值有一最小值 $\alpha_{\min}$,只有大于阈值最小值才会启动预案,对于非常小的停电事故,只需由 1~2 名专责技术人员负责处理,技术人员依据相应的故障处理手册及自身的处理经验即可迅速做出反应并正确处理停电事件,并不需要制定预案^[19]。通过阈值 α 将预案库划分为几个不同隶属度的集合,一定 α 集合中储存的是相应特征属性大于

α 的集合元素。引入阈值后,对于给定的停电事故,首先由阈值的大小给出一个结果集,这样就避免了从整个预案中进行搜索,提高了检索效率。

1.3.2 最近相邻检索算法

最近相邻策略是事例推理系统常用的检索策略^[20],传统的最近相邻策略^[21-22]是以事例间距离评定事例间的相似程度,在进行距离计算过程中需要进行平方差、开方等运算,最后得出相似事例与目标事例距离最小。假设对象 x, y 的相似度用 $S(x, y)$ 表示,那么 $S(x, y) \in [0, 1]$,即 2 个对象的相似度通过一个概念距离函数 $S(x, y)$,将其值域限定在 0~1 之间。当相似度等于 0 时,特征完全不相似;当相似度等于 1 时,则特征完全相同。上述求距离的方法对于预案匹配并不适用,但是可以借鉴相似度的思想。为此,本文在已建立的停电应急预案和停电事件数学模型基础上,提出了相同特征权值之和作为相似度指标的检索策略,在计算相似度时,只涉及到加法运算,具体如下。

对于给定的停电事件,表述为 $C_{\text{object}} = \{(A_{c1}^o, \omega_1), (A_{c2}^o, \omega_2), \dots, (A_{cm}^o, \omega_m)\}$,逐一地对预案库 $C_{\text{origin}} = \{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ 进行特征比较,分别找出每一预案与之相同的特征,并计算对应的权值之和,即相似度为:

$$S = \sum_{i=1}^k \omega_i(C_{\text{origin}}, C_{\text{object}}) \quad (1)$$

其中, $\omega_i(C_{\text{origin}}, C_{\text{object}})$ 为停电事件与预案库中相同特征所对应的权值; k 为相同的预案特征数目, $k \leq \min(m, n)$ 。对于预案库中没有与之对应的特征,其所对应的权值变为 0。 $S \leq 1$, S 值越大则相似度越大,反之越小; $S=1$ 表示完全匹配; $S \neq 1$ 表示非完全匹配。

对于完全匹配又分 2 种情况:

a. 若 $m=n$,即描述停电事件的特征数目和预案库中某一预案的特征数目相同,此种情况是完全精确匹配;

b. 若 $m < n$,即描述停电事件的特征数目比预案库中某一预案的特征数目少,通过式(1)也会得到 $S=1$ 的情况,则此种情况为完全非精确匹配。

对于非完全匹配情况:由于预案数目众多,由该方法计算的相似度很可能出现 S 相等且不等于 1 的情况。对于该情况,则选取特征值数目较多的一个作为输出结果,这样便于对其编制,以达到最快速度形成相应预案。也可能出现 S 相等且不等于 1,且所包含的特征数目也相同的情况。这种情况比较罕见,可以将其全部输出,由工作人员根据编制方便的原则,选取其中某一个作为最佳处置预案,从而对其改编,形成相应预案。

1.3.3 2 种算法相结合的预案匹配策略

首先对预案库进行分级检索,然后对其结果集

采用最近相邻算法进行优化。一个典型的事例推理检索过程可以归纳为^[9]:首先从事例库中检索出与问题事例相关的事例,如果二者完全精确匹配,则输出求解方案,否则修正后形成求解方案。匹配流程如图 2 所示。

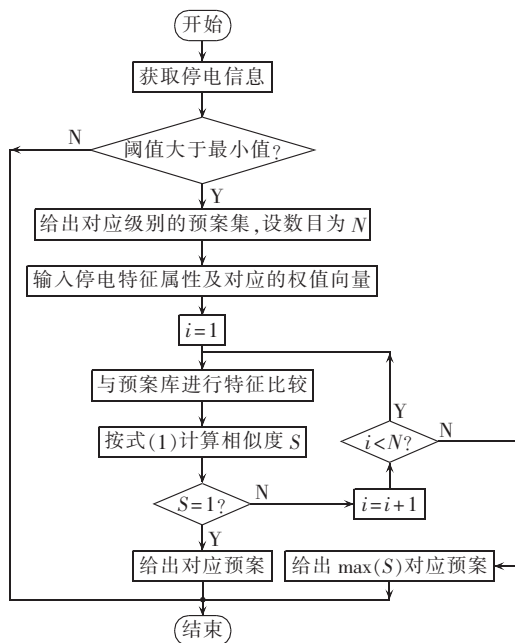


图 2 预案匹配流程

Fig.2 Flowchart of event matching

对于一个给定的具体停电事故,其实际的检索步骤如下。

a. 获取停电信息,由停电级别指标确定阈值数值。

b. 判断阈值大小,若大于阈值最小值 $\alpha_{\min}$,则给出满足阈值的预案结果集,否则结束。

c. 对于满足阈值的停电事件,提取其特征属性 $C_{\text{object}} = (A_{c1}, A_{c2}, \dots, A_{cm})$,并由专家给定对应于该特征的权值向量 $W_i = (\omega_{c1}, \omega_{c2}, \dots, \omega_{cm})$ 。

d. 输入表述该停电事件的特征属性及权值向量,逐一与预案库中的特征进行比较,按式(1)计算相似度 S 。

e. 若 $S=1$,则结束检索,直接输出其对应的预案;否则重复步骤 d,直到检索完毕,挑选 S 值最大对应的预案, $\max(S)$ 作为输出结果。

对于上述给出的 $S=1$ 所对应的预案,需要进一步比较特征数目 m 和 n 的情况。若 $m=n$,表示完全精确匹配,此时可以直接应用所对应的预案;若 $m \neq n$,此时对应完全非精确匹配预案。后者和 $S \neq 1$ 所对应的非完全匹配预案都需要做适当的修改才可以应用。

2 停电应急预案智能生成方法

2.1 智能生成方法

针对完全非精确匹配和非完全匹配 2 种情况,

提出简单而行之有效的办法:直接在原预案中增减或替换。分情况介绍如下。

情况 1: $S=1,m\neq n$ 。该情况只有在 $m<n$ 时才会发生,即说明预案中包含的特征数目比停电事件给出的特征多。对此只需在预案库中删除多余的特征属性和与之对应的处置措施即可。

情况 2: $S\neq 1$ 。该情况说明已建立的预案库中没有与停电事件所对应的特征属性完全吻合的特征。对此,则在给出的 $\max(S)$ 所对应的预案上做增减,删除停电事件所不具备的特征和与之对应的处置措施,增加预案中没有的特征属性和与之对应的处置措施。若是增加,对于预案中没有的特征属性和与之对应的处置措施,提出建立停电处置措施库,根据特征属性和处置措施之间的一一对应关系,将与停电事件有关的所有特征列出,并给出相应的处置措施,其简化模型如图 3 所示。

特征 1	特征 2	...
措施 1	措施 2	...

图 3 处置措施库简化模型
Fig.3 Simplified model of countermeasure library

在建立的措施库中,利用关键词搜索,找出预案中没有的特征,从而对其添加,形成相应的应急预案。

2.2 预案库与措施库更新与完善

预案库和措施库建立初期并不完善,因为建立初期所包含的内容必定有限,需要在实际应用中不断添加新的预案和处置措施,从而达到更新和完善。另一方面,导致停电事件的因素非常多,情况异常复杂,如果将实际遇到的所有停电案例都加入到预案库中,将会导致预案库过于庞大,影响检索效率。为此,可以根据计算的相似度 S 的大小来决定是否将新案例加入案例库。若停电案例与预案库中所有预案的相似度均小于某个给定的值(假设为 0.6),则加入此案例,否则不加入。而对于措施库而言,只要措施库中没有该特征,就将其加入。

另外电网应急预案及其附属文件应根据条件和环境的变化及时修订,修订启动方式可以根据固定周期、评估结果、演习评价和事故教训 4 种方式进行。

3 案例分析

案例 1:相似度计算。设某一停电事件,经过提取特征属性得到 6 类特征:火灾、变压器故障、过负荷、事故经过、事发地距抢修指挥办公室交通情况、事发地周围情况(有无水源以及其他情况介绍)。上述每类特征还可以细分。在此,为了方便介绍,只列了六大类。应急指挥专家针对这 6 类特征,考虑其重要程度给出了相应的权值如下: $\omega_1=0.3,\omega_2=0.2,\omega_3=$

$0.2,\omega_4=0.1,\omega_5=0.1,\omega_6=0.1$ 。由上述权值可以看出,火灾在事故抢修中占有重要地位。与应急预案库进行特征比较发现,某一预案只有 3 个特征与停电事故相同,相同特征为火灾、变压器故障以及事故经过,根据式(1)计算相似度为:

$$S_1=\omega_1+\omega_2+\omega_4=0.3+0.2+0.1=0.6$$

对于返回的预案,从措施库中抽取该预案中不包含的其他特征,从而对其添加即可形成对应于停电事件的处置方案。

案例 2:分级检索与最近相邻检索策略相结合应用案例。设一个初期建立的预案库中仅有 20 个预案,停电应急预案均匀分布,即每一级别对应的数目相等,假如级别划分为 4 级,每个预案包含 10 个特征属性,给定的停电事件包含 m 个特征属性。若只采用最近相邻检索策略,则需要做 $20\times 10\times m$ 次比较运算、20 次权值求和运算。而若采用分级检索和最近相邻检索相结合的检索策略时,首先由阈值指标做一次比较运算,确定结果集,由于上面假设预案是均匀分布的,则确定的结果集有 5 个,再采用最近相邻策略,则需要做 $5\times 10\times m$ 次比较运算,采用该方法总共只需做 $5\times 10\times m+1$ 次比较运算、5 次权值求和运算。对于一个完善的、预案数目非常多的预案库,更能体现该方法的优越性。

案例 3:某电力公司应对大型设备故障现场处置方案。通过提取事故特征,匹配框图如图 4 所示。

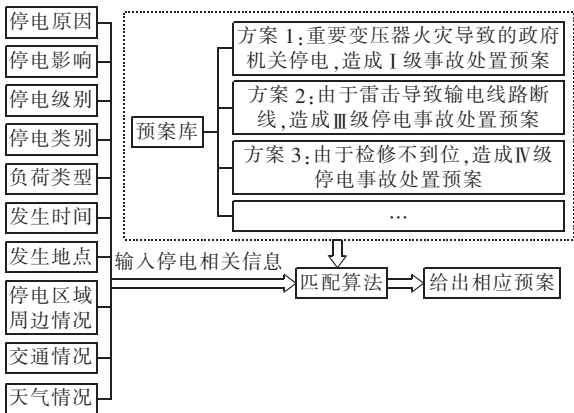


图 4 预案匹配框图
Fig.4 Block diagram of plan matching

4 结论

本文对应急预案快速匹配与智能生成方法进行了研究,建立了停电应急预案和停电事件的数学模型;提出了预案分级分类方案和分级检索与最近相邻检索相结合的检索策略。针对建立的停电应急预案和停电事件的数学模型,将传统的最近相邻检索策略中涉及的开方或平方差运算改为权值相加运算,这一改进极大地提高了检索效率。对非完全匹配

的预案提出了直接增减或替换的方法及建立处置措施库的想法。上述方法简单、有效,能够满足快速抢修的要求。

由于实际现场因素复杂,预案的假设不可能完全与事件实际发展状况相符,必须加以调整、分析、判断才可应用。这种引入科学模型和科学决策技术以及案例分析结果的应急方案可称为智能方案。

本文研究结果在应对突发停电事故方面具有比较重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 郭剑波. 我国电力科技现状与发展趋势[J]. 电网技术, 2006, 30(18): 1-7.
GUO Jianbo. Present situation and development trend of power science and technology in China[J]. Power System Technology, 2006, 30(18): 1-7.
- [2] 高翔, 庄侃沁, 孙勇. 西欧电网“11.4”大停电事故的启示[J]. 电网技术, 2007, 31(1): 25-31.
GAO Xiang, ZHUANG Kanqin, SUN Yong. Lessons and enlightenment from blackout occurred in UCTE grid on November 4, 2006[J]. Power System Technology, 2007, 31(1): 25-31.
- [3] 苏胜新. 印度大停电事件的深刻启示[EB/OL]. [2012-08-18]. http://www.indaa.com.cn/dwxw2011/dwyw/201208/t20120820_111-2067.html.
- [4] 国务院. 国家突发公共事件总体应急预案[M]. 北京: 中国法制出版社, 2006.
- [5] 曾有权. 国家处置电网大面积停电事件应急预案[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [6] 国家电网公司. 城区电力系统突发事件应急预案编制导则(试行)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] 许力, 竺鹏东, 顾宏杰, 等. 基于变尺度 PCA 的电力设备载流故障早期预警[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(5): 147-151.
XU Li, ZHU Pengdong, GU Hongjie, et al. Early warning of electric equipment current carrying faults based on variable-scale principal component analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5): 147-151.
- [8] 徐遐龄, 林涛, 高玉喜, 等. 基于 CBR 和 OAPID 的互联电网区间模式振荡预警[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8): 88-93.
XU Xialing, LIN Tao, GAO Yuxi, et al. Warning of inter-area mode oscillation based on CBR and OAPID for interconnected power grids[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 88-93.
- [9] 王华, 朱伟民, 徐顺刚, 等. 电网重大故障应急抢修自动调度系统[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 102-104.
WANG Hua, ZHU Weimin, XU Shungang, et al. Automatic dispatch system of power grid urgent repair[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 102-104.
- [10] 侯慧, 周建中, 张勇传, 等. 国内外电力应急演练现状分析及对中国的启示[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 236-241.
HOU Hui, ZHOU Jianzhong, ZHANG Yongchuan, et al. Analysis of power emergency drills system at home and abroad and its inspiration for China[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 236-241.
- [11] 陈竟成. 电网安全生产预警与应急预案主要内容及实施要点[J]. 电力安全技术, 2005, 7(5): 5-9.
- [12] 杨勇, 王满意. 大停电后的公共关系——电网大面积停电应急预案的编制和实施[J]. 中国电力企业管理, 2003(11): 28-29.
- [13] 高明, 李文云, 袁德君, 等. 使用故障树理论对电网调度自动化系统应急预案完备度的量化分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 58-69.
GAO Ming, LI Wenyun, YUAN Dejun, et al. Completeness degree quantitative analysis of dispatching automation system emergency preplan based on FTA[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 58-69.
- [14] BARLETTA B. An introductions to case-based reasoning[J]. AI Expert, 1991(8): 43-49.
- [15] 赵云飞, 陈金富. 层次分析法及其在电力系统中的应用[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 85-87, 95.
ZHAO Yunfei, CHEN Jinfu. Analytic hierarchy process and its application in power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 85-87, 95.
- [16] 张建华, 尚敬福, 赵炜炜, 等. 中国区域电网应急管理机制建设的建议[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(4): 40-44.
ZHANG Jianhua, SHANG Jingfu, ZHAO Weiwei, et al. Suggestions on construction of emergency management mechanism for Chinese regional power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(4): 40-44.
- [17] 朱少如. 电力应急系统的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2007.
ZHU Shaoru. The study of electric power emergency system [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2007.
- [18] 赵炜炜. 电网大停电分析模型及预防应急体系研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
ZHAO Weiwei. Research on analyzing model and prevention & emergency system for power system blackouts [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2009.
- [19] 高明, 李文云, 袁德军, 等. 电网调度自动化系统应急预案实用化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(9): 67-71.
GAO Ming, LI Wenyun, YUAN Dejun, et al. Practical study on emergency plan of power network dispatching automation system [J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(9): 67-71.
- [20] 张光前, 邓贵仕, 王瑾. 变权值下的最近相邻检索策略[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(11): 40-42.
ZHANG Guangqian, DENG Guishi, WANG Jin. The nearest neighbor strategy with varied weights[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(11): 40-42.
- [21] 黄玉基, 魏伟杰, 曾文. 基于事例推理系统中检索策略的分析与研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(1): 33-36.
HUANG Yuji, WEI Weijie, ZENG Wen. Analytical study on retrieving strategy in case-based reasoning system[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2006, 27(1): 33-36.
- [22] 王畅, 侯忠滨, 邱玮桢. 基于实例推理的可转位刀具快速设计方法研究[J]. 工具技术, 2011, 45(3): 49-52.
WANG Chang, HOU Zhongbin, QIU Weizhen. Case-based reasoning quick design approach for indexable turning tool [J]. Tool Engineering, 2011, 45(3): 49-52.

作者简介:



李从善

李从善(1985-), 男, 河北邯郸人, 博士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制 (E-mail: 543627767@qq.com);

刘天琪(1962-), 女, 四川成都人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 研究方向为电力系统分析计算与稳定控制、高压直流输电、调度自动化;

李兴源(1945-), 男, 四川成都人, 教授, 博士研究生导师, IEEE 高级会员, 研究方向为电力系统分析、电力系统稳定与控制等。

(下转第 42 页 continued on page 42)

- SHI Fang, WANG Jie, XUE Guiting. Coordinated excitation and SVC control based on Hamilton theory for improving transient stability of multi-machine power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(10): 48-52.
- [16] WEI Qiao, VENAYAGAMOORTHY G K, HARLEY R G. DHP-based wide-area coordinating control of a power system with a large wind farm and multiple FACTS devices[C]//International Joint Conference on Neural Networks. Orlando, USA: [s.n.], 2007: 2093-2098.
- [17] 张雪焱, 黄少锋. 可控制电阻控制器广域协调优化方法研究[J]. 电工技术学报, 2008, 23(6): 114-118.
- ZHANG Xueyan, HUANG Shaofeng. Wide area coordinated optimization method of thyristor controlled braking resistor controllers[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(6): 114-118.
- [18] 江全元, 张鹏翔, 曹一家. 计及反馈信号时滞影响的广域 FACTS 阻尼控制[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(7): 82-88.
- JIANG Quanyuan, ZHANG Pengxiang, CAO Yijia. Wide-area FACTS damping control in consideration of feedback signals' time delay[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(7): 82-88.
- [19] 王伟岸, 马平, 蔡兴国. 考虑广域反馈信号时滞影响的附加励磁控制器[J]. 电网技术, 2008, 32(19): 50-55.
- WANG Weian, MA Ping, CAI Xingguo. Additional controller of excitation system considering time delay of wide-area feedback

signal[J]. Power System Technology, 2008, 32(19): 50-55.

- [20] PRABHA K. Power system stability and control[M]. New York, USA: McGraw-Hill Companies, 1994: 548-549.
- [21] 吴敏, 何勇. 时滞系统鲁棒控制[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 28-43.
- [22] HAN K H, KIM H J. Quantum-inspired evolutionary algorithm for a class of combinatorial optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(6): 580-593.
- [23] BEKKEN M. Numerical solution of constant coefficient linear delay differential equations as abstract Cauchy problems[J]. Numerische Mathematik, 2000, 84(3): 351-374.
- [24] ASTROM K J, WITTENMARK B. Computer-controlled systems: theory and design[J]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2002: 100-110.

作者简介:



黄柳强

黄柳强(1984-), 男, 广西南宁人, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统运行与控制(E-mail: huangliqiang@126.com);

郭剑波(1960-), 男, 北京人, 教授级高级工程师, 博士研究生导师, 主要研究方向为电力系统运行与规划、电网可靠性。

Wide-area anti-delay coordinated control among FACTS controllers

HUANG Liuqiang, GUO Jianbo, SUN Huadong, XU Shiyun, LIU Min, YI Jun

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: An algorithm based on free-weighting matrix approach is proposed for the anti-delay coordinated control among multiple FACTSs(Flexible AC Transmission Systems), which uses the output feedback signal of wide-area measurement system, considers the time delay of signal transmission, adopts the free-weighting matrix time delay stability theory as criterion, ensures the minimum damping ratio of time delay system above a given threshold, and applies the quantum genetic algorithm to obtain the best gain of multi-FACTS coordination controller. Results of time-domain simulation for a case with two SVCs show its effectiveness.

Key words: electric power systems; flexible AC transmission system; wide-area measurement system; free-weighting matrix approach; linear matrix inequality; quantum genetic algorithm; time delay; coordinated control

(上接第36页 continued from page 36)

Fast matching of power outage event and intelligent generation of power recovery plan

LI Congshan, LIU Tianqi, LI Xingyuan

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Based on the detailed summarization and analysis of massive power outage cases, their internal characteristic information is extracted and the mathematical aggregation method is applied to describe the power outage events by the mathematical model with the characteristic values as the essential elements. A hierarchical classification scheme of power outage events is given and the corresponding search strategy combining the classified search algorithm and the improved nearest neighbour algorithm is proposed. The most similar scenario will be given when the characteristic values are not completely matched and the countermeasures are intelligently generated according to the established table of characteristic measures. Results of case analysis show that, the given power outage event is quickly matched and the power recovery plan is intelligently generated, verifying the effectiveness of the proposed method.

Key words: electric power systems; outages; emergency preplan; mathematical models; case-based reasoning; hierarchical search; nearest neighbour