

## 文本典型票的操作序列解析算法

何锡点, 李江林, 李献伟, 克潇

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 以文本形式存储的典型票没有知识表示、推理过程和安全校核功能, 操作票系统无法识别其内容的正确性, 而人工解析文本典型操作票又存在巨大工作量的问题。针对上述问题, 提出了一种能够自动进行文本典型票操作序列解析算法。该算法基于推理机和最大模糊匹配原理, 设计了适合于文本典型票解析的操作术语规则的知识库和推理机制, 使算法具有较高的智能性和良好的扩展性, 可有效应用于文本典型票的解析。该算法现已在实际系统中投入使用, 有效地减轻了工程人员现场实施的工作量。

**关键字:** 文本典型操作票; 解析; 推理机; 模糊匹配; 冲突消解

### An algorithm to parse operation sequence of text typical operating-order-sheet

HE Xi-dian, LI Jiang-lin, LI Xian-wei, KE Xiao

(XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Typical operating-order-sheet that stores in the form of text does not have knowledge representation, inference processing and security checking. Therefore, the correctness of its contents cannot be recognized by operating-order-sheet management system. And manual parsing operation-order-sheet is a huge workload. To solve those problems, this paper proposes an algorithm for automatically parsing text typical operating-order-sheet. Based on the principle of inference engine and fuzzy maximum matching, the algorithm designs the knowledge database of operation term rule and the inference mechanism suitable for parsing text typical operating-order-sheet. Consequently, the algorithm has high intelligence and good scalability and can be effectively employed in parsing text typical operating-order-sheet. The algorithm has been put into use in the actual system and can substantially reduce the workload of staff at the scene of project implementation.

**Key words:** text typical operating-order-sheet; parse; inference engine; fuzzy matching; conflict elimination

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)12-0086-04

## 0 引言

国内独立的电气操作票系统的发展大致经历以下几个阶段: 基于典型票的操作票生成系统<sup>[1]</sup>, 基于图形校核的操作票生成系统<sup>[2-3]</sup>, 专家推理型的操作票系统<sup>[4-6]</sup>。但随着监控五防一体化系统技术的成熟, 许多变电站采用监控五防一体化系统代替独立五防操作票系统, 原有的老系统中存在着大量文本典型票, 同时实际的变电站运行现场也存在大量的文本典型票, 它们是以文本形式存储每一步操作内容, 这种以文本形式存在的操作票没有知识表示、推理过程和安全校核功能, 所以无法识别其所存储的文本操作内容的正确性。而现有已投入运行的独立五防操作票系统对文本典型操作票大都采用人工解析的方法, 主要有两种方法: (1) 把文本典型操

作票中的操作语句手动解析成对应系统能够识别的操作序列, 例如: 珠海共创公司的 FY2000 微机防误操作票系统就是在文本典型票导入时, 每条操作票语句后存储有相应语句的操作序列; (2) 根据文本典型票的操作指令顺序在图形系统上进行模拟开票, 经过五防逻辑校验后存储成系统能够识别的典型操作票。以上两种文本典型票的解析方法都可归纳为人工解析文本典型票, 这种解析典型操作票数据文件的工作量是非常大的(如一个中型电厂的典型操作票可达上千张)<sup>[7]</sup>。

本文旨在解决人工解析文本典型操作票巨大工作量的问题, 提出一种基于推理机和最大模糊匹配原理的文本典型操作票解析方法。本算法研究了规则描述及其推理机制, 所有规则均采用数据库关系表进行保存, 推理清晰明了。同时, 设备的知识表

示也采用数据库关系表来表示。这些规则知识都以数据库的关系表形式进行外部存储实现了推理机和知识库的完全分离, 以这种设计思想为核心建立的推理机制, 使算法具有较高的智能性和良好的扩展性, 可有效应用于文本典型票的解析, 具有很强的实用性, 很大程度减轻了现场工程人员的工作强度。

## 1 相关背景知识

### 1.1 推理机

推理机(Inference Engine)是专家系统中实现基于知识推理的部件, 是基于知识的推理在计算机中的实现, 主要包括推理和控制两个方面, 是知识系统中不可缺少的重要组成部分。

推理是指依据一定的规则从已有的事实推出结论的过程。基于知识的推理所要解决的问题是如何在问题求解过程中, 选择和运用知识, 完成问题求解。知识的运用模式称为推理方式, 知识的选择称之为推理控制, 它直接决定着推理的效果和推理的效率。推理控制的核心是推理控制策略。

推理机包括搜索、匹配、冲突消解和触发几部分。搜索是一种对知识的定位行为; 匹配是判断知识的一种方法, 是专家系统判断一条规则是否成立的过程; 从同时匹配成功的规则中选出规则的算法为冲突消解; 被冲突消解所选出的规则称为规则触发。推理机利用知识的求解过程可以得出: 推理机=推理方式+匹配+冲突消解策略+执行。

专家系统中常用的推理方式有正向推理、反向推理以及正、反向混合推理。在文本典型票的解析过程中我们采用正向推理方式, 正向推理从已知的事实出发, 逐步推导出最后结论, 其推理过程<sup>[8]</sup>大致是:

(1) 用工作存储器中的事实与产生式规则的前提条件进行匹配;

(2) 用冲突消解策略从匹配的规则实例中选择一条规则;

(3) 执行选中规则的动作, 一次修改工作存储器;

(4) 用更新后的工作存储器, 重复上述几步工作, 直到得到结论。

### 1.2 冲突消解策略

在推理过程中, 系统要不断地用当前已知的事实与知识库中的知识进行匹配。在匹配的过程中如果已知事实可与知识库中的多个知识匹配成功, 或者有多个、多组已知事实与知识库中的多个知识匹配成功, 称这种情况为冲突。

解决冲突是冲突消解的任务。对于正向推理而

言, 它将决定选择哪一组已知事实来激活那一条规则, 使它用于当前推理, 产生其后件指出的结论或执行相应的操作。对于逆向推理来说, 它将决定用哪一个假设与哪一个产生式规则的后件进行匹配, 从而推出相应的前件, 作为新的假设。

对于精确推理, 已有多种冲突消解策略, 其基本思想是对知识进行排序, 如按针对性排序、按已知事实的新鲜性排序、按匹配度排序、根据领域问题的特点排序、按上下文限制排序、按冗余限制排序、按条件个数排序等。具体应用时, 可对上述策略进行组合, 目的是尽量减少冲突的发生, 使推理有较快的速度和较高的效率。对于不精确推理、近似推理或模糊推理, 也有若干冲突消解策略, 如按匹配度大小排序、按加权平均值排序, 以及按广义顺序关系排序等。

## 2 文本典型操作票的操作序列的解析

文本典型票中的操作项可以被倒闸操作人员所识别, 但是五防操作票系统却无法识别操作项的实际含义, 无法对操作项进行推理和五防逻辑检验。所以对文本典型票解析的目标是将文本操作项解析成系统能够识别的内部术语描述, 具体要得到每一步骤中的所要操作的设备、设备的最终电气状态以及操作步骤的类型等系统五防逻辑校验所需的相关信息, 最终存储为系统所能识别的能通过五防逻辑检验的典型操作票。

### 2.1 知识表示

知识表示是知识符号化过程和形式化的过程。在本文中, 知识表示方法<sup>[9-10]</sup>采用关系表来表示。知识库由两部分组成: 设备库和操作术语规则库。

#### 2.1.1 设备库

设备库主要存放电气运行中各运行设备的相关信息, 操作票系统与监控系统共享系统的图形建模功能, 因此设备库可自动生成。设备库关系表的属性主要包括: (1)设备编号; (2)设备类型; (3)所属间隔; (4)电压等级。

#### 2.1.2 操作术语规则库

操作术语规则库是存储设备的操作术语描述匹配规则。文本典型票解析所依赖的是操作术语描述规则, 操作术语描述规则库关系表的属性主要是由以下这几部分组成: (1)操作术语规则描述; (2)术语规则的类型; (3)操作设备类型; (4)设备电气初态; (5)设备电气目标态。

某一类设备的某种操作就对应一个操作术语规则描述, 操作术语规则描述就是一个详细的规则模板, 我们可以调整模板来组合出想要的操作任务。

单项操作术语规则描述可分为切换型和检查型<sup>[1]</sup>。

(1) 切换型：表示设备从一个状态切换到另一状态时生成的操作术语的组合。根据设备的类型有不同的知识表示，例如：

I. 主动词 + [电压等级] + [所属间隔] + 设备编号 + 设备类型

例如：拉开 110 kV #1 变高 1M 侧 11011 刀闸。

II. 主动词 + [电压等级] + [所属间隔] + 设备编号 + 设备类型 + 状态词

例如：将 35 kV #2 变中中性点 32000 接地刀闸控制转换开关 3SA 置“远方”位置。

III. 主动词 + [电压等级] + [所属间隔] + 设备编号 + 设备类型 + 主动词 + 状态词

例如：拉开 110 kV #1 变高 1M 侧 11011 刀闸，并检查确在分闸位置。

(2) 检查类：表示设备检查术语（不切换设备的状态）的组合。

主动词 + [电压等级] + [所属间隔] + 设备编号 + 设备类型

例如：检查 110 kV #1 变高 1M 侧 11011 刀闸确在分闸位置。

操作术语规则描述是由已赋值的常量和未赋值的变量组成，以上术语规则描述的知识表示中主动词、设备类型、状态词是已赋值的常量，而电压等级、所属间隔和设备编号是未赋值的变量。例如，拉开刀闸的操作术语规则描述是：“拉开@刀闸”，其中符号“@”代表操作设备的具体描述，是由三部分组成：[电压等级] + [所属间隔] + 设备编号，设备具体描述的三部分是除“设备编号”外的组成部分是可选的，可以根据具体情况灵活配置，“设备编号”在整个设备库中是全局唯一的，在操作票的操作步骤中是必不可少的；在本例中“@”是操作术语规则中的未赋值变量，而“拉开”和“刀闸”是操作术语规则描述中已赋值的常量，可以根据不同地区的操作习惯进行设置，具体的操作指令生成实际上就是对“@”变量进行具体赋值就可以形成诸如“拉开 110 kV #1 变高 1M 侧 11011 刀闸”的操作指令；“@”符号前面已赋值的常量“拉开”在此称之为术语前缀常量，而“@”符号后面已赋值的常量在此称之为术语后缀常量。所以单项操作术语可以归纳成：术语前缀常量 + 操作设备的具体描述（用@表示） + 术语后缀常量。

操作术语规则生成具体的操作指令可以被倒闸操作人员所识别和理解，是外部术语，而操作票系统能够识别的、内部使用的术语称为内部术语。例如：外部术语“拉开 110 kV #1 变高 1M 侧 11011

刀闸”，可以表示内部术语“11011 = ON”。设备操作的主要类型有：分、合、检分、检合、验测等。以接地刀闸为例，外部术语和内部术语的知识表示如表 1。

表 1 操作术语规则的知识表示

Tab.1 Knowledge representation of operation term rule		
操作类型	外部术语	内部术语
分	拉开@接地刀闸	@ = OFF
合	合上@接地刀闸	@ = ON
检分	检查@接地刀闸确在合位	@ = 检 OFF
检合	检查@接地刀闸确在分位	@ = 检 ON
验测	在@接地刀闸开关侧验明无电	@ = 验测

### 2.2 操作序列的解析算法的推理过程

对文本操作票的解析是将系统无法识别的文本操作项(外部术语)转换成系统能够识别的系统术语(内部术语)。在解析过程中要提取两种属性：操作设备和设备最终电气状态。操作序列的解析过程如下：

- 1) 取得所有操作术语规则中的术语前缀常量，并按常量的字符长度从大到小排序。
- 2) 逐步取术语前缀常量与操作步骤进行从左到右进行等长度字符匹配。
- 3) 取得所有匹配中的操作术语规则，并把这些操作术语规则按字符长度进行从大到小排序。
- 4) 对操作步骤和操作术语规则，按从右到左对术语后缀常量进行匹配。进一步缩小匹配中的操作术语规则，并取得文本操作项中的操作设备的具体描述。
- 5) 逐步取匹配中的操作术语规则中的设备类型，从设备库中取出本类型的设备编号与操作设备的具体描述进行从右到左进行最大模糊匹配。
- 6) 匹配成功后取得操作设备编号，进而得到操作步骤中的操作类型，设备初始状态，设备目标状态。否则重复步骤 5)，直到所有的操作术语规则都匹配不成功。具体的推理过程如图 1 所示。

在解析文本操作语句的过程中，对操作步骤中的操作设备进行设备编号最大模糊匹配，可以避免由于间隔描述或者电压等级的笔误而造成操作语句无法匹配。如果要精确匹配，可以从设备库中取出“电压等级”、“所属间隔”和“设备编号”与文本操作步骤中已解析得到的设备的详细描述进行精确匹配。

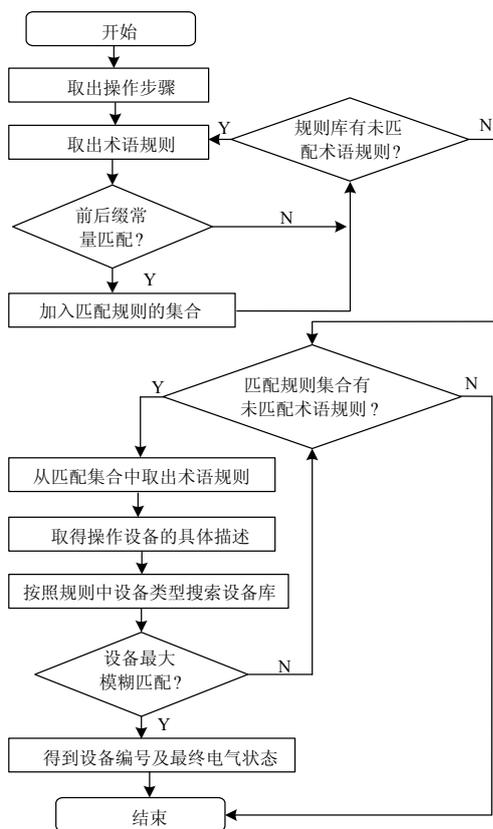


图1 操作序列解析的推理流程图

Fig.1 Flow chart of inference of operation sequence parsing

### 2.3 解析过程中的冲突消解策略

在本算法的推理过程中有两个地方要使用冲突消解策略: (1)在前后缀常量匹配过程中,可能会匹配中多条术语规则,对匹配中的术语规则按字符长度从大到小进行排序,优先匹配长度长的术语规则;(2)在最大模糊匹配设备编号的过程中,可能会有同一类型的不同的设备编号匹配,所以对同一类型的设备编号按照字符长度从大到小进行排序,优先匹配(从右到左)长度最长的设备编号。

### 2.4 实施效果

文本典型票解析算法已经在许继监控五防一体化系统中投入应用,并在广东电网公司韶关供电局110 kV 马头变电站现场使用以来,现场的文本典型票解析的成功率远高于90%,在很大程度上减轻了现场工程人员的工作强度,说明了解析算法的实用性和有效性。

## 3 结论

在实际的变电站运行现场存在大量的文本典型票,这种操作票没有知识表示、推理过程和安全校核功能,系统无法对其进行识别和五防逻辑校验,

而人工解析又存在巨大的工作量。针对这些现场实际问题,本文提出了一种基于推理机和最大模糊匹配原理的自动解析文本典型票的算法,设计了术语规则知识库和推理机制,能够有效地应用于文本典型票的解析。在实际的现场使用中,很大程度上减轻了工程人员的工作强度,由此说明该算法具有较强的实用性和有效性。

### 参考文献

- [1] 郑尚高. 一个实用的操作票专家系统[J]. 农村电气化, 1991(6).  
ZHENG Shang-gao. A practical expert system of operation order [J]. Rural Electrification, 1991(6).
- [2] 叶绿, 史烈. 变电所操作票图形辅助开票系统的设计与实现[J]. 计算机辅助设计与与图形学学报, 1999, 11(6): 512-515.  
YE Lü, SHI Lie. The design and realization of computer graphics aided operation ticket making system of transformer substation[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 1999, 11(6): 512-515.
- [3] 李晓明, 戴成伟, 王平. 一种具有通用性的变电站操作票自动生成系统软件的设计[J]. 电力情报, 2001(2): 47-50.  
LI Xiao-ming, DAI Cheng-wei, WANG Ping. Design of general automatic generation software of substation operation order[J]. Information on Electric Power, 2001(2): 47-50.
- [4] 邓岳辉. 发电厂和变电所操作票生成专家系统的研究(博士学位论文)[D]. 保定: 华北电力大学, 1998.  
DENG Yue-hui. The research of creating switching sequences expert system for substation and plant, doctoral dissertation[D]. Baoding: North China Electric Power University, 1998.
- [5] 王林川, 焦燕莉, 邓集祥. 一种新的灵活实用的操作票专家系统[J]. 继电器, 2000, 28(4): 35-37.  
WANG Lin-chuan, JIAO Yan-li, DENG Ji-xiang. A flexible and practical expert system for scheduling operating card [J]. Relay, 2000, 28(4): 35-37.
- [6] 徐霞. 变电站倒闸操作专家系统(硕士学位论文)[D]. 西安: 西安工业学院, 2002.  
XU Xia. Expert system for substation switching operation, thesis[D]. Xi'an: Xi'an Institute of Technology, 2002.
- [7] 何定. 电厂通用型智能操作票专家系统[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(6): 61-63.  
HE Ding. A general intelligent working order producer expert system for power plant application[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(6): 61-63.

(下转第96页 continued on page 96)

System Technology, 2006, 30 (10) : 9-14.

[8] 邱晓燕, 邱红兵. 基于潮流计算的电压稳定性指标的比较研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2002, 34 (6): 95-98.  
 QIU Xiao-yan, QI Hong-bing. Comparative study of voltage stability indices based on load flow calculation[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2002, 34 (6) : 95-98.

[9] 李国庆, 王威, 贾伟, 等. 基于负荷裕度灵敏度的电压稳定控制方法[J]. 电机与控制学报, 2002, 6 (2): 173-178.  
 LI Guo-qing, WANG Wei, JIA Wei, et al. The control method for voltage stability based on the loading margin sensitivity[J]. Electric Machines and Control, 2002, 6 (2): 173-178.

[10] 江伟, 王成山, 余贻鑫, 等. 电压稳定裕度对参数灵敏度求解的新方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (2): 13-18.  
 JIANG Wei, WANG Cheng-shan, YU Yi-xin, et al. A new method to compute the sensitivity of loading margin to voltage collapse with respect to parameters[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (2): 13-18.

[11] Greene S, Dobson I, Alvarado F. Sensitivity of the loading margin to voltage collapse with respect to arbitrary parameters[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1997,12(1): 262-272.

[12] 包黎昕, 张步涵, 段献忠, 等. 电压稳定裕度指标分析方法综述[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(8): 52-60.  
 BAO Li-xin, ZHANG Bu-han, DUAN Xian-zhong, et al. A summary of the state of the art of voltage stability margin indices[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (8): 52-60.

[13] 周双喜, 姜勇. 电力系统电压静态稳定性指标述评[J]. 电网技术, 2001, 25 (1) : 3-7.  
 ZHOU Shuang-xi, JIANG Yong. Review on steady state voltage stability indices of power systems[J]. Power System Technology, 2001, 25 (1): 3-7.

[14] 马世英, 印永华, 李柏青, 等. 我国互联电网电压稳定评价标准框架探讨[J]. 电网技术, 2006, 30 (17): 7-13.  
 MA Shi-ying, YIN Yong-hua, LI Bai-qing, et al. A research on voltage stability evaluation criteria for interconnected power grid in China[J]. Power System Technology, 2006, 30 (17): 7-13.

[15] Kundur P. Power system stability and control[M]. New York: Graw-Hill, 1994.

[16] 周双喜, 朱凌志, 郭锡玫, 等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.  
 ZHOU Shuang-xi, ZHU Ling-zhi, GUO Xi-jiu, et al. Power system voltage stability and control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

收稿日期: 2009-08-07; 修回日期: 2009-09-04

作者简介:

刘丽霞 (1981-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事电网规划及电力系统稳定分析计算工作; E-mail: liulixia0808@126.com

黄志刚 (1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电网方式分析计算工作;

李娟 (1982-), 女, 硕士, 主要从事电网稳定及电力系统分析计算工作。

(上接第 89 页 continued from page 89)

[8] 李秋燕. 地区调度操作票专家系统的研究和开发(硕士学位论文)[D]. 南京: 东南大学, 2006.  
 LI Qiu-yan. Research and development on regional dispatching operation instructions expert system, thesis [D]. Nanjing: Southeast University, 2006.

[9] 李恩晶. 电网调度操作票专家系统中知识表示和推理机制的研究(硕士学位论文)[D]. 南京: 东南大学, 2005.  
 LI En-jing. Study of knowledge representation and inference engine in power network dispatching command order sheet expert system, thesis[D]. Nanjing: Southeast University, 2005.

[10] 刘晶. 通用型操作票专家系统知识表示的实用化研究(硕士学位论文)[D]. 保定: 华北电力大学, 2006.  
 LIU Jing. Practical research of universal order sheet expert system based on knowledge expression, thesis [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2006.

[11] 廖小平. 变电站倒闸操作智能设计与模拟平台的研究与实践(博士学位论文)[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.  
 LIAO Xiao-ping. Research and development of intelligent design and simulation platform for substation switching operation, doctoral dissertation [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.

收稿日期: 2009-08-07; 修回日期: 2009-09-14

作者简介:

何锡点 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为机器学习、电力系统综合自动化; E-mail: hexidian@xjgc.com

李江林 (1967-), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统自动化领域的研究与开发工作;

李献伟 (1978-), 男, 助理工程师, 长期从事电力系统自动化领域的研究与开发工作。