

# 基于工作流的电力系统检修管理建模方法和技术实现

王 玮<sup>1</sup>, 徐丽杰<sup>1</sup>, 王 林<sup>2</sup>, 吴振升<sup>1</sup>

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京市 100044; 2. 吉林供电公司, 吉林省吉林省 132011)

**摘要:** 给出了基于工作流技术的电力系统检修管理过程的全新建模方法及执行算法。以这种面向过程的系统集成技术为基础, 可使检修管理信息在调度与运行、检修部门间自动流转与处理, 实现检修管理过程的自动化。提出了基于任务的建模思想, 以基于 Petri 网的扩展 P/T\_系统为工作流模型。给出了工作流的定义方式及检修管理过程的建模原理和步骤。系统底层实现基于共享文档数据库及邮件传递技术, 具有分布异构系统的互操作能力。给出的方法已成功应用于供电局检修管理系统中, 验证了其可行性和有效性。

**关键词:** Petri 网; 工作流; 工作流管理系统; 电力系统; 检修管理

中图分类号: TM73

## 0 引言

电力系统设备检修及管理是保证电力系统安全稳定运行的重要工作之一, 随着电力系统运行自动化水平的提高, 要求检修工作必须在各种检修票的规范下高效、快捷地进行, 只有用先进的技术科学地管理好检修的各个环节, 才能确保电力企业获得最大的经济和社会效益。由于检修管理中检修计划的安排, 以及检修票的申请制定、签发、下达、执行等工作涉及多部门, 需要多人协同工作, 具有明显的流程运转的规律及特征, 有严格的规章制度的约束, 因此采用可处理非结构化信息、具有协同工作机制、面向过程的工作流技术将是实现电力系统检修管理过程自动化的有效途径之一。它可以解决以往通过纸面表单经人工传递处理信息或基于结果的信息处理方式的效率低、准确性及安全性差的问题。

本文在研究电力系统检修管理过程规律的基础上, 给出了基于工作流技术的电力系统检修管理过程的建模方法及执行算法。该方法坚持完全遵循工作流定义, 能表达其对应实际应用的所有业务过程, 最终用户与设计者都能理解、使用的原则, 具有充分的理论支持, 模拟能力强, 处理效率高, 可准确地对应现实的业务过程。引入工作流技术不仅可对信息结果, 而且可完成对信息形成过程的计算机管理, 进而实现完整的企业信息化。

## 1 工作流技术

工作流技术始于 20 世纪 80 年代初期, 作为一种面向过程的系统集成技术, 它支持让合适的人或软件在恰当的时间执行正确的工作, 使业务处理过

程在计算机上实现自动化, 同时使信息在适当的时间准确地形成并送达。工作流管理联盟(WfMC)也对工作流及工作流管理系统给出了全面描述<sup>[1,2]</sup>。

目前工作流技术的研究已取得了很大的进展, 对不同的应用对象有不同的工作流建模方法<sup>[3~8]</sup>。工作流技术的优势在于它能实现在分布异构环境下多用户的并行、交互自动执行。表现在: ①对分布异构环境的支持为地理分布、环境异构的企业信息系统提供了新的解决思路和方案。②利用工作流管理系统协调各任务的执行流转、协调用户的通信交互, 克服了原信息系统以单一数据库管理系统解决用户并发、缺乏对实际业务中流转的抽象等问题。而且, 工作流执行中实例的思想更适合当今业务需求中高并发量的要求。③通过工作流定义工具, 使用用户自主地组织工作流程, 并结合业务过程重组的思想, 提高业务处理和系统建设的效率。而且, 利用工作流分析工具, 用户可以迅速找到工作流执行的瓶颈, 从而改进工作流定义或改进工作流程, 以提高工作效率, 增加系统的适应性。

工作流概念起源于企业生产组织和办公自动化领域, 电力系统检修管理具有规范的技术规程要求, 所要处理的信息大部分为非结构化信息, 是典型的需协同工作的流程。将工作流技术应用到检修管理的基本思想就是把协同工作机制和过程控制用于检修管理的各种检修计划及停电申请的审批等业务过程中, 在电力企业计算机网上完成检修管理的工作任务, 快捷、安全、准确地实现检修管理的自动化。应用的基本方法由对检修管理业务过程的形式化描述, 即过程建模及在计算机上的执行两部分完成。改变已存在几十年的人工处理方式, 使电力系统检修管理提高到一个先进的水平。

## 2 检修管理过程建模方法

对业务过程的工作流管理,首先需按采用的工作流模型对其进行过程建模,即形式化描述,以便通过工作流管理系统实现业务过程的自动执行。

检修管理中的业务过程具有一定的共性,它们都是一个分布在异地的多部门、多人的协同工作过程。图1所示为检修计划制定流程图。流程中的基本要素是:传送的文件即数据、传送经过的部门、参与人员及相应的处理任务。整个流程由一系列处理任务环节构成,它在计算机网络上的自动执行,就构成这类业务的工作流。

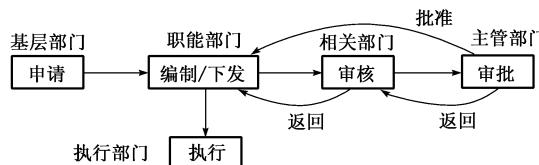


图1 检修计划制定流程

Fig. 1 Flow chart for working out a repair plan

本文采用的工作流模型为扩展 P/T\_系统,它将常规 Petri 网中 P/T\_系统的流关系扩展为有条件的流关系,用库所及变迁 2 类节点表示流程中各环节上的任务,用有条件的流关系表示流程中的控制及数据流关系。扩展 P/T\_系统定义如下:一个扩展 P/T\_系统由表示状态的部门元素及表示变化的处理元素构成,分别称为 P 元素及 T 元素,也称为库所及变迁。部门与处理为 2 类不同元素,系统中至少要有 1 个元素,存在多个元素时不能有孤立元素。系统中的资源为文件,用托肯表示。资源的流动由只在不同元素间存在的有条件的流关系  $F_r$  决定。可流动的资源数 W 及部门中能容纳的资源数 K 是任意的。资源的最初分布称为系统的初始标识  $M_0$ 。

用扩展 P/T\_系统表示的工作流定义如下:工作流  $w$  为一个 7 元组  $\langle n_w, P, T; F_r, K, W, M_0 \rangle$ ,是用扩展 P/T\_系统对一个业务过程的形式化描述。其中  $n_w$  为工作流名称;P 为从业务过程中抽象出来的部门集合;T 为从业务过程中抽象出来的处理集合; $F_r$  表示从部门到处理或从处理到部门的流关系;K 为容量函数;W 为权函数; $M_0$  为工作流的初始标识。

$$P \cap T = \emptyset \quad P \cup T \neq \emptyset$$

$$F_r \subseteq P \times T \times C \cup T \times P \times C$$

$$\text{dom}(F_r) \cup \text{cod}(F_r) = P \cup T$$

式中: $\text{dom}(F_r) = \{x \mid \exists y: (x, y) \in F_r\}$ ;  $\text{cod}(F_r) = \{y \mid \exists x: (x, y) \in F_r\}$ , 分别为  $F_r$  的定义域与值域。

$F_r$  中每一个元素  $f_r$  用一个 3 元组  $\langle p, t, c \rangle$  或

$\langle t, p, c \rangle$  表示。其中  $p$  为部门;  $t$  为处理;  $c$  为一个逻辑表达式。 $F_r$  是从处理集和部门集中构造出来的,所以与  $P, T$  之间用分号隔开。 $c$  的逻辑关系反映的是对处理间冲突等各种关系需作出的决策。 $M_0$  表明工作流的初始状态即资源的初始分布。

业务过程中的处理的定义如下:处理  $t$  为一个 4 元组  $\langle n_t, U, F_r, O \rangle$ , 表示业务过程中一个处理任务环节上的工作及工作流的变化。其中: $n_t$  为处理名称;  $U$  为可参与该处理的用户集合;  $F_r$  为  $t$  与其后续部门之间的流关系,  $F_r$  中每一个元素  $f_r$  用一个 3 元组  $\langle t, p, c \rangle$  表示, 其中  $t$  为本处理,  $p$  为后续部门,  $c$  为一个逻辑表达式,  $f_r$  描述的是在条件  $c$  成立时, 处理结束后将被处理资源传递给后续部门  $p$ ;  $O$  为操作集, 每一个元素  $o$  表示对被处理资源的一项操作。

如此定义的工作流  $w$  在 P/T\_系统的基础上拓展出基本流关系上的控制关系。让含有条件的流关系联系在部门及处理中, 实现流程的控制及文件资源的传递处理。这种模型的要点在于, 以数据为中心, 在各处理间传递的是数据对象集, 流关系上的条件是由数据对象本身的某些特定域值决定的, 即资源的流动受其自身控制, 充分体现了以数据流动控制为中心的工作流思想。

采用工作流模型对检修管理过程的建模由 3 个步骤构成:①对业务过程中各种活动进行抽象, 提取基本要素;②确定对应的系统元素及流关系;③定义工作流。

业务过程中基本要素与扩展 P/T\_系统元素的对应关系如表1所示。

表1 基本要素对照  
Table 1 Comparison of basic factors

流程基本要素	扩展 P/T_系统元素	含义
文件	托肯	资源
部门	P 元素	状态
处理	T 元素	变化

传统的信息系统建模都是经过与业务人员的调研、做数据流程图、结构流图、细化流图等过程来完成的。业务人员理解的业务过程是基于个人业务的, 面临大的信息系统时, 则很难表达对业务系统的了解、把握系统的总体思路。而工作流管理系统中把业务过程划分为任务的思想与业务人员对业务的理解十分接近, 所以基于工作流技术的建模方法是符合业务过程的基本规律的。

## 3 检修管理过程执行算法

工作流管理系统对定义的工作流实施的一次执行, 称为过程实例。每个实例代表一个能独立控制

执行具有内部状态的线程,可被外界通过标识进行存取。工作流的执行由工作流服务器的支持来激活并解释过程定义,借助于用户的干预与外部应用程序交互,完成工作流过程实例的创建、执行与管理,生成有关的工作项通知用户进行处理。从业务过程到实例间的基本关系如图 2 所示。工作流过程实例定义如下:工作流过程实例  $i$  为一个 6 元组  $\langle n_i, w, b, e, s, A \rangle$ ,表示工作流的一次执行。其中: $n_i$  为过程实例名称; $w$  为相应工作流名称; $b$  为开始时间; $e$  为结束时间; $s$  为  $i$  的状态,分别为运行中、被禁止、暂停及完成等,管理人员可以对该状态进行人为干涉,终止、暂停、恢复实例的运行; $A$  为  $i$  中所有生成的处理实例的集合。

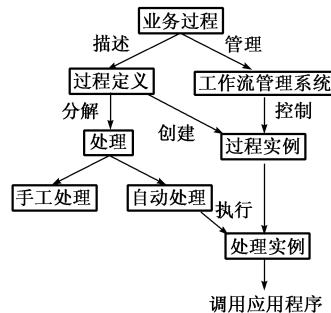


图 2 基本关系  
Fig. 2 Basic connection

处理实例定义如下:处理实例  $a$  为一个 6 元组  $\langle n_a, o, U, b, e, s \rangle$ ,表示过程实例中对文件的一次处理。其中: $n_a$  为相应工作流中相应处理名称; $o$  为被处理文件名称; $U$  为参与  $a$  的所有用户集; $b$  为开始时间; $e$  为结束时间; $s$  为  $a$  的状态,分别为有发生权、发生中、完成。

基于过程实例及处理实例的定义,给出对工作流的执行算法:

- 从工作流定义集中选择待执行工作流  $w$ ,确定  $n_w$ ;
- 建立一个过程实例  $i$ ,确定  $n_i, w_i$ ,设  $b_i$  为系统当前时间,设  $s_i$  为运行中,  $A_i$  为空集;
- 选择  $w$  的起始部门;
- 依次建立并执行过程实例  $n_w$  中各处理实例;
- 结束工作流过程实例,设  $e_i$  为系统当前时间,  $s_i$  为完成,  $A_i$  为空集。

## 4 检修管理信息系统

### 4.1 系统结构

检修管理信息系统运行的核心是工作流管理系统,根据 WfMC 确定的工作流参考模型,其系统结构如图 3 所示。

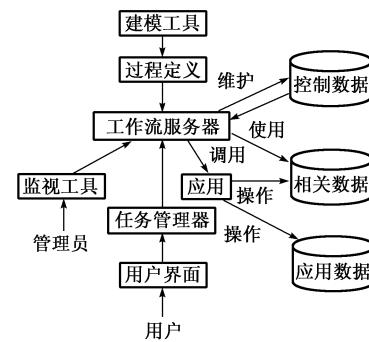


图 3 系统结构  
Fig. 3 System configuration

系统中工作流服务器提供过程实例执行的运行环境;建模工具用于分析、建模、描述及记录业务过程,给出过程定义;监视工具负责对工作流实例的运行进行监控;任务服务器用来调用需用户操作的任务及管理任务项列表中工作项的完成;应用用来调用无需用户参与的任务。除此之外,还含有几种与工作流执行有关的重要数据:①控制数据:被工作流服务器管理的系统数据如工作流实例、处理实例的状态信息等;②相关数据:与业务过程相关的数据,使用这些数据控制工作流实例的状态转移,例如决定流关系上条件的数据、处理间传输的数据等;③应用数据:应用程序使用的局部数据。

### 4.2 系统功能

系统主要可完成以下功能:检修管理的年度(月)检修计划安排、星期(日)检修计划安排;检修票的申请与批答;检修工作统计;技术档案检索;系统配置管理等。主要功能模块如图 4 所示。

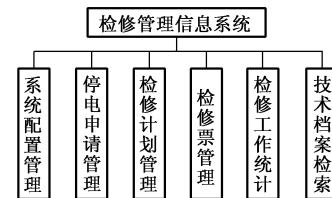


图 4 系统功能  
Fig. 4 System function

系统做到了检修数据的生成、管理、查询、统计等工作完全通过计算机网络在调度与运行、检修部门之间进行,取代了传统的纸上作业,实现了检修管理过程的自动化。

### 4.3 系统实现

系统以基于 Petri 网的扩展 P/T\_系统为工作流模型,以 Lotus Domino/Notes 为工作流开发及执行支持平台,具有很强的处理分布应用及复杂文档的能力,具有良好的工作流协调管理性能。

底层实现基于共享文档数据库及邮件传递技

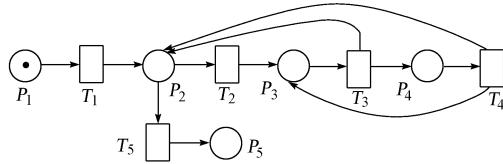
术,既适合于管理工作流应用,也适合于协作工作流及特殊工作流应用。

系统以 TCP/IP 协议为通信基础,可实现不同操作系统间用户的连接,保证本地及异地用户间的通信交互。系统支持各种平台的版本,包括 OS/2, Windows, Unix, Macintosh 等。利用 Notes 提供的 HTTP Server 部件,用户利用 Web 浏览器即可访问 Internet,同时也可访问 Notes Server,进一步利用 ODBC 或 JDBC 等工具还可以访问各种大型主机数据库(如 DB2, Sybase, Oracle)。系统的应用程序与基本基础设施及操作系统是分离的,具有分布异构系统的互操作能力。

随着信息技术的发展,大部分应用已从集中式信息处理方式转到分布异构环境下的信息处理方式。在本系统中用户可利用给出的定义语言,定义工作流的执行过程,每个特定的用户群使用一个工作流过程实例,而在该用户群内部每个用户与其他用户协同工作,共同完成已定义的任务。执行支持平台通过系统定义的相应数据、控制数据及应用数据协调用户群内部、用户群之间的并发操作,保证工作流执行的正确性,实现检修过程管理在分布异构环境下的自动化。

#### 4.4 实例分析

对图 1 所示检修计划制定流程图,经建模可得扩展 P/T\_ 系统如图 5 所示。



圆圈代表部门即库所; 方框为处理即变迁; 圆圈内黑点为文件即资源;  
P<sub>1</sub>为变电工区; P<sub>2</sub>为调度所; P<sub>3</sub>为生产部; P<sub>4</sub>为局长办公室; P<sub>5</sub>为检修工区; T<sub>1</sub>为申请; T<sub>2</sub>为编制; T<sub>3</sub>为审核; T<sub>4</sub>为审批; T<sub>5</sub>为下发

图 5 扩展 P/T 系统  
Fig. 5 Expanded P/T system

文件资源为设备检修计划数据。起始部门为变电工区。在工作流服务器的支持下,资源经各处理发生一系列的状态变化,最终到达检修等工区,为一份可执行检修计划。

可以证明,该系统对所有库所 P、变迁 T 都是活的,所以系统是安全、有进展性的,工作流模型是正确的。

实例表明,该建模方法具有如下特点:①使表达形式得到了统一,实现规范化;②基本要素均体现在模型中,可直接反映出其关系和作用,直观,易维护;③通过正确提取出业务过程中的要素及关系,设计者很容易按规则去构造模型。

## 5 结语

工作流技术是实现企业过程管理与过程控制的一项先进技术。将该技术应用于电力系统设备检修管理中,能使大量基于知识与规则的任务和活动互相协调、高效运转,从而实现过程的自动执行,既提高了电网运行管理水平,又提高了此类业务的工作效率,特别是检修计划等的正确、快速制定,可为电力安全生产提供有力保证,产生良好的经济和社会效益。

本文给出的采用扩展 P/T\_ 系统的建模方法以业务活动为中心,执行算法运行方式为任务推动型,是一种紧凑耦合模式,形式化的定义以 Petri 网理论为基础,扩展了流关系的含义及作用,使多种流关系的决策自动进行,提高了工作流的安全性、进展性等性能,使系统建模时关系更明晰、步骤更简单。

## 参 考 文 献

- Workflow Management Coalition. Workflow Management Coalition Terminology and Glossary, WfMC-TC-1011. Brussels: WfMC, 1996
- Workflow Management Coalition. The Workflow Reference Model, TC00-1003. Hampshire (UK): WfMC, 1995
- Du W, Davis J, Shan M. Flexible Specification of Workflow Compensation Scopes. In: Proceedings of International ACM SINGGROUP Conference. New York: ACM Press, 1997. 309~316
- Ellis C, Nutt G. Modeling and Enactment of Workflow Systems. Application and Theory of PetriNets. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 1~16
- Van der Aalst WMP. The Application of PetriNets to Workflow Management. The Journal of Circuits, Systems and Computers, 1998, 8(1): 21~66
- Inamoto A. Object-oriented Model Driven Workflow Process Analysis. In: Proceedings of Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Vol 2. Boston (MA): 1996. 1317~1324
- 林 峰,林 裕,胡 骏(Lin Feng, Lin Yi, Hu Jun). 通用工作流支持平台的设计与实现(The Design and Implementation of the Platform Supporting General Workflow). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(13): 45~47
- 范玉顺,罗海滨,林慧萍,等(Fan Yushun, Luo Haibin, Lin Huiping, et al). 工作流管理技术基础(Fundamentals of Workflow Management Technology). 北京: 清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 2001

王 珺(1959—),男,教授,主要研究方向为工作流技术与应用、电力系统稳定与控制。E-mail: wangw@dq.njtu.edu.cn

徐丽杰(1959—),女,副教授,主要研究方向为电力系统管理信息系统及配电系统自动化。

王 林(1964—),男,高级工程师,主要研究方向为电力系统管理信息系统及电力系统运行与分析。

## THE MODELING METHOD AND REALIZATION OF THE POWER SYSTEM OVERHAUL AND REPAIR MANAGEMENT BASED ON WORKFLOW TECHNIQUE

Wang Wei<sup>1</sup>, Xu Lijie<sup>1</sup>, Wang Lin<sup>2</sup>, Wu Zhensheng<sup>1</sup>

(1. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(2. Jilin Electric Power Supply Company, Jilin 132011, China)

**Abstract:** Based on workflow technique, a new modeling method and algorithm for power system overhaul and repair management process are presented. Using the process-oriented technique, the overhaul and repair management information can be processed in computer network automatically. A task-based modeling idea is advanced, which takes the expanded P/T\_system based on PetriNet as a workflow model. With the introduction of the workflow's definition, this paper explains the modeling principle and the approach of the overhaul and repair management process. The substrate support of the system is founded on the shareware document database and mails transfer technique, so the system has a interoperate ability to the distributed heterostructure environment. The system has been successfully applied to the overhaul and repair management information system (MIS) project of a electric power supply company and is proved to be feasible and effective.

**Key words:** PetriNet; workflow; workflow management system (WfMS); power systems; overhaul and repair management