

基于语义的电力系统工作流程智能推理框架

谢天,陈建华^①,韦瑶瑶^②,张俊波^③

(南华大学 经济管理学院,湖南 衡阳 421000)

[摘要] 为实现电力系统工作流程的智能性,结合本体、语义推理、数据挖掘等技术,设计面向电力系统应用的语义工作流程推理框架;建立该框架下 workflow 及其涉及的电力系统资源的本体概念和关系模型,描述电力生产需求信息、workflow 和系统资源本体之间的联系;从最基本的推理元素出发,基于语义网规则语言构造 workflow 生成的触发推理流程和规则;运用 Protégé 和 Jess 推理引擎实现 workflow 触发推理的应用模型,通过推理实验验证本方法的有效性。

[关键词] 电力系统; 语义网规则语言; 语义 workflow; 本体

[中图分类号] TP182 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2015)01-0064-08

随着数据挖掘等商务智能技术的发展和运用,电网可以更加及时地发现不断变化的市场需求。如何灵活、快速地制定电力系统 workflow,是实现需求感知、电力生产、配电输电、收费管理等电力供应链关键环节业务集成与协同的基础。

近年来,许多专家和学者对 workflow 技术进行了深入的研究。IBM 提出 SOA 技术,利用 BPEL 和 WSDL 技术对 Web Service 进行组合匹配来动态实现 workflow 的功能^[1]。通过与语义网技术结合,workflow 管理系统可进一步实现业务过程的自动化^[2-4],传统的基于流的系统正在逐渐转变为基于语义的具有智能结构的系统。在电力行业,workflow 管理技术仍未很好跟电力生产、资源管理、需求感知等技术相结合,难以根据电力生产设备、燃料等生产资源的实时状态变化,动态实现 workflow 的自动生成^[5];同时,大量非结构化的生产经验和知识未能很好和 workflow 信息相结合,难以支持 workflow 智能制定。

OWL(Web Ontology Language)是由 W3C 最新规范的一种本体语言,以描述逻辑(Description Logic, DL)为基础理论^[6]。OWL 通过类(Classess)、属性(Properties)和实例(Individuals)来表示知识组织关系,并运用公理和函数实现对语义推理的支持^[7]。

SWRL(Semantic Web Rule Language)是由语义方式呈现规则的一种产生式规则描述语言^[8-9]。本体和语义推理技术为解决电力系统知识表达、组织、智能检索和推理方面的困难提供了基于语义的解决方案。它提供了完整的概念定义和概念组织关系,可以实现 workflow 和电力系统要素在语义层面上形式化表达和互操作;在此基础上,可以将生产经验以及其他非结构化知识转化为基于语义的推理规则进行智能推理,以加强系统的问题自动分析和处理能力,满足了用户在提高系统智能化方面的迫切需求。

本文基于 workflow 管理技术、本体与语义推理技术,面向电力系统生产管理过程,提出电力系统语义 workflow 推理框架。通过构建电力系统 workflow 和系统资源要素本体库,尝试将 OWL 与 SWRL 用于协同电力生产过程中 workflow 涉及的知识语义描述和需求驱动的工作 flow 触发推理规则中,为实现智能、可共享与复用的电力系统按需生产提供参考。

一 电力系统语义 workflow 推理框架

本文拟设计的电力系统的核心思想是通过数据挖掘等商务智能技术对海量历史销售数据的感知,提取出以 SWRL 规则的范式描述的电量消费需求,结合相关电力系统资源(包括人员、设备、资金、燃

[收稿日期] 2014-12-03

[基金项目] 教育部人文社科青年基金项目“面向核电安全应急的跨领域系统集成空间研究”资助(编号:14YJCZH168);湖南省自然科学基金项目“面向场外核应急响应的集成化决策方法研究”资助(编号:2015JJ3107);湖南省教育厅课题项目“大数据时代基于语义 X 列表的核应急集成模型研究”资助(编号:14C0976);南华大学博士启动基金项目“基于语义的多领域异构系统集成方法研究”资助(编号:2013XQD27);湖南省自然科学基金项目“社会安全突发事件风险控制研究”资助(编号:11JJ3095)

[作者简介] 谢天(1984-),男,湖南醴陵人,南华大学经济管理学院讲师,博士。

①南华大学经济管理学院教授。②南华大学数理学院教师。③南华大学马克思主义学院讲师。

由于模块(1)的预测工作依赖于现有的预测模型,本文研究重心在于如何对大概率下的电量预测结果进行电力生产 workflow 推理,故下面将对模块(2)展开重点研究,即构建 workflow 模板及其涉及的系统发电资源要素本体库、基于 SWRL 的发电 workflow 规则库;假定需求明确情况下,研究如何通过事实转换和规则转化导入本体实例知识和推理规则,实现 Jess 推理,自动生成 workflow 的过程。

二 workflow 模板及其涉及的系统资源本体库的构建

本体可实现对电力系统概念和组织关系的定义和描述,将会极大的影响推理规则的制定、推理引擎进行语义推理的效果和效率^[11],因此本文需对领域知识定义进行清晰、准确的分析,建立本体模型。

本文所构建的本体将主要包括需求任务本体、workflow 本体及发电 workflow 所涉及的系统资源本

体,设本体模型可描述为 $O = \{C, A, P, I\}$, 以 C (concept) 表示概念集合、A (Attribute) 表示数值属性集合、P (property) 表示对象属性集合、I (instance) 表示实例集合,则 $O_D = \{C_D, A_D, P_D, I_D\}$ 表示需求任务本体、 $O_W = \{C_W, A_W, P_W, I_W\}$ 表示发电 workflow 本体、 $O_R = \{C_R, A_R, P_R, I_R\}$ 表示发电资源本体。以发电资源本体为例,其中 O_R 表示发电系统资源本体; C_R 表示资源概念(类)的集合; A_R 为主要通过对象属性的定义进行描述; P_R 表示资源概念(类)之间的显性关系(如继承、蕴含、等价和逆反等),也可表示由显性概念和关系可推理出的隐含关系,对于任意 $p \in P_r, p = C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \longrightarrow C_n, C_n$ 可由 $C_1, C_2, \dots, C_{n-1}$ 唯一确定; I_r 是 C_r 中的概念(类)实例的集合^[13]。基于 SWRL 可定义本体匹配的 workflow 触发推理规则。

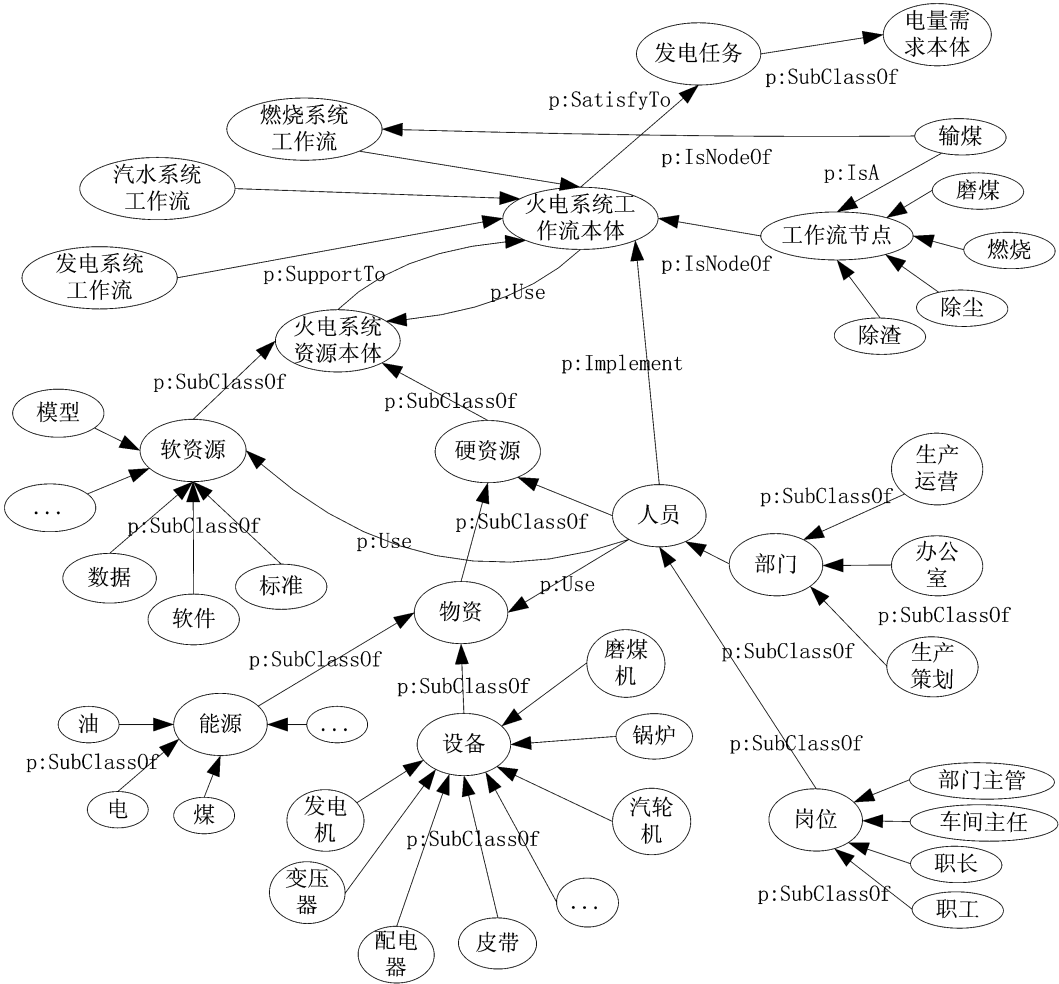


图2 火电系统 workflow 及其资源本体概念层次图

以火电厂为例,workflow、系统资源本体概念类及其层次定义如图2所示。本文将企业资源划分为硬资源(Hard Resource)和软资源(Soft Resource)。硬

资源包括以人员、能源、物资、设备工具等为主的实体资源;软资源包括以应用、数据、模型等为主的非实体资源。本体概念间的语义关系通过对象属性表

示,如“p:IsNodeOf”表示某节点概念类为某工作流概念类的节点。如员工 ID、技能等概念的描述通过数据类型属性表示,其定义域指向具体的概念类;值域指该概念类的实例的数据类型的限制,包含 any、string、integer、boolean、float、symbol、xml schema datatype 等,具体属性设计规则请参阅文献[14]。通过采用 Protégé3. 4. 6 可视化本体开发工具构建两类本体,定义本体的概念、特征、概念之间的关系等,并采用 OWL 本体语言描述本体,为构建基于 SWRL 的工作流触发规则提供支持。

If “the lastest 3 month power consumption of the city HY is greater or equal than the threshold of T” then “the next power demand of it is X with the probility of 30% ; andthe next power demand of it is Y with the probility of 40% ; and the next power demand of it is Z with the probility of 30%”.

触发条件判断流程的限制式可分解并建立在 Atom 中,而真正的规则建立在 Imp 中,在 Imp 中包含的 head 和 body 这两者的限制式来源则是由 Atom

三 基于 SWRL 的触发推理规则

SWRL 是基于 OWL 的语义网规则语言,是基于实例的推理,其语法可参考文献 [15]。因此如图 1 所示,实例 d_i将作为反映电量需求结果的发电任务被加入到事实库中,进入工作流推理模块为工作流自动生成提供推理依据。

(一)基于 SWRL 的电量需求生成规则。

假定综合用电量预测模型和数据挖掘技术发现以下不确定规则:

提供,这些限制式可以被不同的规则重复使用。抽取实例和需要满足的条件要素,建立规则的 Atom,如表 1 所示:

表 1 生成电量需求触发条件判断规则的 Atom 表

Atom	Annotation
City(? c)	电量消费地区 c(城市)
three_Month_PC(? c,? pc)	近三个月电量消费额
Demand_Task(? a)	预测的电量需求
Demand_Quantities(? a,? q)	需求电量 a 的度(千瓦时)数 q
probability_of_Demand(? a,? p)	预测得到的电量需求依赖概率 p
Perform_Demand(? a,1)	选择需求 a 为电力生产任务

通常选择依赖最大概率的电量需求为新的生产

任务,可构造以下 SWRL 电量需求生成规则:

City(?c) ∧ three_Month_PC(?c,?pc) ∧ swrlb:greater or EqualThan(?pc,?t) ∧ Demand_Task(?a1) ∧ probability_of_Demand(?a1,?p1) ∧ Demand_Quantities(?a1,?q1) ∧ Demand_Task(?a2) ∧ probability_of_Demand(?a2,?p2) ∧ Demand_Quantities(?a2,?q2) ∧ Demand_Task(?a3) ∧ probability_of_Demand(?a3,?p3) ∧ Demand_Quantities(?a3,?q3) ∧ swrlb:greater or EqualThan(?p3,?p2) ∧ swrlb:greaterOrEqualThan(?p3,?p1) → Perform_Demand_Task(?a3,1)

该规则含义为:若地区 c 在近三个月电量消耗额大于等于 t 值,且下个月可能分别以概率 p₁、p₂、p₃ 的概率产生电力需求任务 a₁、a₂、a₃,需求量分别为 q₁、q₂、q₃,若 p₃ 大于 p₁ 和 p₂,则电量需求 a₃ 将作为电力生产的任务被执行(该结果将作为电力生产工作流触发的依据)。

(二)基于 SWRL 的工作流触发规则。

基于已构建的本体,对本体概念和关系提取出自动生成工作流的触发条件、过程所涉及的具体推

理元素,构建工作流触发推理流程,并根据该流程中元素的逻辑关系组建推理规则。规则的推理结果将实现工作流实例与任务事实库、资源实例建立联系,并根据所设定的 SWRL 规则进行逻辑推理按需自动触发生成合适的工作流实例,如图 3。

根据图 3 流程,在本体库已有 OWL 描述基础上,抽取实例和需要满足的条件要素,建立规则的 Atom,如表 2 所示:

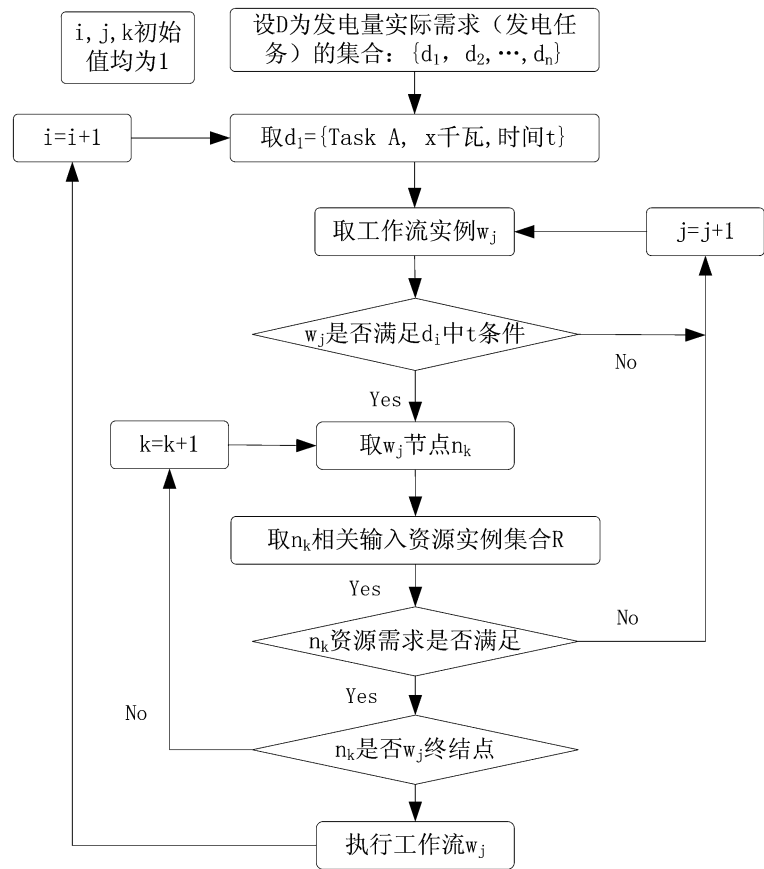


图3 电力系统工作流触发推理流程图

表2 电力生产工作流触发条件判断规则的 Atom 表

Atom	Annotation
<i>Demand_TaskA</i> (? <i>a</i>)	电量需求为 A, a 是该需求实例
<i>Demand_Quantities</i> (? <i>a</i> , ? <i>q</i>)	需求电量 a 的度(千瓦时)数
<i>Demand_Time</i> (? <i>a</i> , ? <i>td</i>)	生产 a 度电的时间约束
<i>Workflow</i> (? <i>w</i>)	w 为一工作流实例
<i>Workflow_Function</i> (? <i>f</i>)	F 为某工作流功能
<i>sameAs</i> (? <i>a</i> , ? <i>f</i>)	a 与 f 的内容是等价的
<i>Workflow_Time</i> (? <i>tw</i>)	tw 是完成工作流所需的时间
<i>swrlb:lessThanOrEqual</i> (? <i>tw</i> , ? <i>td</i>)	$tw \leq td$
<i>query:workflow</i> (? <i>w</i>)	取得工作流实例 w
<i>Node</i> (? <i>n</i>)	n 为一工作流节点实例
<i>Node_Input_ResourceM</i> (? <i>n</i> , ? <i>irm</i>)	节点 n 需要的输入资源实例变量为 irm
<i>Input_ResourceM_Quantities</i> (? <i>qirm</i>)	输入资源需要的数量变量为 qirm
<i>ResourceM</i> (? <i>rm</i>)	rm 为一资源实例
<i>ResourceM_Quantities</i> (? <i>qrm</i>)	qrm 为某资源现有数量
<i>swrlb:greaterThanOrEqual</i> (? <i>qrm</i> , ? <i>qirm</i>)	$qrm \geq qirm$
<i>Node_satisfied</i> (? <i>n</i> , 1)	节点 n 工作条件满足
<i>Node_Belong_to_Node_End</i> (? <i>n</i> , 1)	节点 n 属于结束节点
<i>do_workflow</i> (? <i>w</i>)	执行工作流 w

使用上述 Atom,根据触发推理流程中的三个判断过程,可分别构造 SWRL 推理规则 Imp:

$$TaskA(?a) \wedge TaskA_Demand(?a,?ad) \wedge Demand_Quantities(?a,?q) \wedge Demand_Time(?a,?td) \wedge Workflow(?w) \wedge Workflow_Function(?w,?wf) \wedge sameAs(?a,?wf) \wedge Workflow_Time(?w,?wt) \wedge swrlb:lessThanOrEqual(?tw,?td) \rightarrow sqwrl:select(?w)$$

该规则含义为:在时间 td 内生产 q 电量以完成发电任务 a,若工作流 w 的功能 f 等价于 a,且该工作流完成所需总时间 tw 小于等于 td,则取工作流 w

$$Node(?n) \wedge Node_Input_Resource1(?n,?ir1) \wedge Node_Input_Resource2(?n,?ir2) \wedge \dots \wedge Node_Input_ResourceM(?n,?irm) \wedge Input_Resource1_Quantities(?n,?qir1) \wedge Input_Resource2_Quantities(?n,?qir2) \wedge \dots \wedge Input_ResourceM_Quantities(?n,?qirm) \wedge Resource1_Quantities(?r,?rq1) \wedge Resource2_Quantities(?r,?rq2) \wedge \dots \wedge ResourceM_Quantities(?r,?rqm) \wedge swrlb:greaterThanOrEqual(?qr1,?qir1) \wedge swrlb:greaterThanOrEqual(?qr2,?qir2) \wedge \dots \wedge swrlb:greaterThanOrEqual(?qrm,?qirm) \rightarrow get_node(?n,1)$$

该规则含义为:若资源 r1,r2,...,rm 各自的现有量 qr1,qr2,...,qrm 大于等于工作流 w 的某节点 n 的各种输入资源 ir1,ir2,...,irm 的需求量 qir1,qir2,...,qirm,则节点 n 的工作条件满足。

(3)判断 n_k 是否为 w_j 结束节点的 Imp

$$Node(?n) \wedge Node_Belong_to_Node_End(?n) \rightarrow Perform_Workflow(?w,1)$$

该规则含义为:若节点 n 属于结束节点,则执行工作流 w。

根据以上规则建立原理,工作流触发推理规则将

(1)判断 w_j 是否满足 d_i 中 t 条件

进一步判断。

(2)判断 n_k 资源需求是否满足工作流触发条件

会方便地扩充到电力系统或电力供应链其他模块。

四 工作流推理实验

使用 Jess 引擎推理,通过 ProtegeOWL 搭建起应用模型。基于上述本体概念、属性和关系,建立电力系统资源、工作流、需求本体,并构造 SWRL 规则;将 SWRL 规则与本体库实例通过 SwrlJessTab 分别转换为 Jess 规则和事实后,调用 ProtegeOWL API 中的 swrl:bridge 接口,导入 Jess 引擎推理,自动生成工作流。

表 3 实验实例及其属性初始值表

属性需求实例	Name_of_Task	Time_of_Task	属性节点实例	Sub_node_of_workflow	Node_resource_type	Node_resource_quantities
Task_A	a	5	node_w1_1	workflow_1	r1	9
属性工作流实例	Function_of_workflow	Time_of_workflow	node_w1_2	workflow_1	r1	9
workflow_1	a	1	node_w1_3	workflow_1	r2	9
workflow_2	a	2	node_w2_1	workflow_2	r2	9
workflow_3	a	22	node_w2_2	workflow_2	r2	8
属性资源实例	Resource_type	Resource_quantities	node_w2_3	workflow_2	r3	22
resource_r1	r1	50	node_w3_1	workflow_3	r1	9
resource_r2	r2	50	node_w3_2	workflow_3	r2	8
resource_r3	r3	10	node_w3_3	workflow_3	r3	22

给出假定发电任务 TaskA,在实验中分别建立了资源 resource、工作流 workflow、工作流节点 node 本体类和实例。设计的实例及其属性初始值见表 3,除表中列出属性外,还有表示推理结果的属性

“get_workflow(工作流满足需求条件)”、“get_node(工作流节点满足资源条件)”、“perform_workflow(工作流所有节点满足条件,执行工作流)”。

推理结果见图 4, workflow_1 属性值为“1”

(真),符合触发条件自动生成的可执行 workflow。结合表 3 中的初始实例属性分析,workflow_1 workflow_2、workflow_3 功能属性 function_of_workflow 都符合任务需求,但由于 workflow_3 的执行时间太长(time_of_workflow 属性值 22)time_of_product 值 5),work-

flow_2 的 node_w2_3 节点所需的资源不足(Node_resource_Quantities 属性值 22)resource_quantities 属性值 10),均在推理过程中被排除,故仅有 workflow_1 完全符合 SWRL 触发执行规则,分析结果与推理结果相同。

SWRL Rules	
Name	Expression
Rule-2	$\rightarrow \text{get_workflow}(\text{workflow_1}, 1) \wedge \text{sub_node_of_workflow}(?n, \text{workflow_1}) \wedge \text{node_resource_type}(?n, ?nrt) \wedge \text{resource_type}(?r, ?rt) \wedge \text{swrlb:greater}(\dots)$
Rule-3	$\rightarrow \text{get_workflow}(\text{workflow_2}, 1) \wedge \text{sub_node_of_workflow}(?n, \text{workflow_2}) \wedge \text{node_resource_type}(?n, ?nrt) \wedge \text{resource_type}(?r, ?rt) \wedge \text{swrlb:greater}(\dots)$
Rule-4	$\rightarrow \text{get_workflow}(\text{workflow_3}, 1) \wedge \text{sub_node_of_workflow}(?n, \text{workflow_3}) \wedge \text{node_resource_type}(?n, ?nrt) \wedge \text{resource_type}(?r, ?rt) \wedge \text{swrlb:greater}(\dots)$
Rule-5	$\rightarrow \text{sub_node_of_workflow}(?n, \text{workflow_1}) \wedge \text{get_node}(\text{node_w1_1}, 1) \wedge \text{get_node}(\text{node_w1_2}, 1) \wedge \text{get_node}(\text{node_w1_3}, 1) \rightarrow \text{perform_workflow}(\dots)$
Rule-6	$\rightarrow \text{sub_node_of_workflow}(?n, \text{workflow_2}) \wedge \text{get_node}(\text{node_w2_1}, 1) \wedge \text{get_node}(\text{node_w2_2}, 1) \wedge \text{get_node}(\text{node_w2_3}, 1) \rightarrow \text{perform_workflow}(\dots)$
Rule-7	$\rightarrow \text{sub_node_of_workflow}(?n, \text{workflow_3}) \wedge \text{get_node}(\text{node_w3_1}, 1) \wedge \text{get_node}(\text{node_w3_2}, 1) \wedge \text{get_node}(\text{node_w3_3}, 1) \rightarrow \text{perform_workflow}(\dots)$

Jess Property Assertions	
(assert (get_workflow workflow_2 "1"))	
(assert (get_node node_w2_1 "1"))	
(assert (get_node node_w2_2 "1"))	
(assert (get_workflow workflow_1 "1"))	
(assert (get_node node_w1_3 "1"))	
(assert (get_node node_w1_2 "1"))	
(assert (get_node node_w1_1 "1"))	
(assert (perform_workflow workflow_1 "1"))	

图 4 SWRL Rules 与推理结果图

五 结论

电力系统工作流的自动生成是一个复杂过程,要同时考虑需求和人、财、物等资源的状态变化。若要智能地实现系统工作流程的按需生成,先要建立工作流涉及的相关概念之间精确的动态联系和知识转化推理机制。本文结合本体、语义推理、数据挖掘等技术,建立了电力系统基于语义的工作流推理框架;构建了工作流及其涉及的系统资源的本体模型;运用 SWRL 构建工作流生成的触发推理流程和规则,实现非结构化知识的有效利用,提高系统的智能性。虽然本文中建立的本体和推理过程相对简单,但随着今后对系统本体库的不断扩充和完善,以及更多推理因子的添加,该系统将变得更高效和智能。

[参考文献]

- [1] 王紫瑶,南俊杰,段紫辉. SOA 核心技术及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [2] McILRAITH SA, SON TC, ZENG Hong-le. i Semantic Web service[J]. IEEE Intelligent System, 2001,16(2): 46-53.
- [3] SHEN Jun, YANG Yun, ZHU Chuan, et al. From BPEL 4WS to OWL-S: integrating e-business process descriptions[M] //Proc of the 2005 IEEE International Conference on Services Computing (SCC 2005). Washington DC: IEEE Press, 2005: 181-188.

- [4] SCICLUNA J, ABELA C, MONTEBELLO M. Visual modeling of OWL-S services[M] //Proc of IADIS International Conference on www /Internet. Madrid, Spain: [s. n], 2004.
- [5] 吴取劲,胡忠红,夏石莹. 基于工作流的期刊编辑流程管理设计[J]. 清华大学学报:社会科学版, 2005 (4): 47-49.
- [6] Q He, T W Ling. An ontology based approach to the integration of entity-relationship schemas [J]. Data&Knowledge Engineering, 2006, 58(3): 299-326.
- [7] Perez A G, Benjamins V R. Overview of Knowledge Sharing and Reuse Components: Ontologies and Problem-Solving Methods [M] //The IJCAI-99 workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5), Stockholm, Sweden, August. 1999.
- [8] Lan Horrocks, Peter F Patel -Schneider, Harold Boley. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. [EB/OL]. [2004-07-03]. <http://www.w3.org/Submission/SWRL.htm>.
- [9] Leonardo Lezcano, Miguel-Angel Sicilia, Carlos Rodríguez-Solano. Integrating reasoning and clinical archetypes using OWL ontologies and SWRL rules[J]. Journal of Biomedical Informatics, 2011(44): 343-353.
- [10] 牛东晓. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京:中国电力出版社, 2009.
- [11] 宗南苏,郑业鲁,钱平. 基于 SWRL 的鳊鱼疾病诊断

知识表示与语义推理实现[J]. 情报学报,2010,29(3):414-421.

[12] NOYN F,M D L. Ontology development 101:a guide to creating your first ontology [R]. Stanford University; SMI Technical Report,2001.

[13] 曹怀虎,牛 娃,张艳梅. 基于语义本体论的网格资源描述及匹配算法[J]. 四川大学学报;工程科学版,2007,39(S1):174-177.

[14] MatthewHorridge. A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using The Protégé-OWL Plugin and CO-ODE Tools Edition 1.0.1[M]. The University Of Manchester Stanford University,2004.

[15] Dizza Beimel,Mor Peleg. Using OWL and SWRL to represent and reason with situation-based access control policies [J]. Data & Knowledge Engineering, 2011(70):596-615.

Power System Oriented SemanticWorkflow Reasoning Framework

XIE Tian, CHEN Jian-hua, WEI Yao-yao,ZHANG Jun-bo
(University of South China,Hengyang 421001 ,China)

Abstract: To achieve the intellectuality of the working process of manufacturing system in the power system, in this paper, the technologies of ontology, semantic reasoning, data mining, and so on are combined to build a power system oriented semantic workflow reasoning framework. The ontology concept and relation models of the workflow and the system resources involved in this framework were constructed, then the relationship between the power production demand information, the ontology workflow and power system resources are set up. And the trigger reasoning rules of workflow generating is researched and constructed by the technology of SWRL. The application model of workflow trigger reasoning is achieved by Protégé and reasoning engine of Jess, and the reasoning experiment is achieved.

Key words: SWRL; workflow; semantic reasoning; ontology