

# 基于专家系统 workflow 技术在智能家居中的应用

朱 匆, 刘 宏, 李文博

(湖南师范大学 数学与计算机学院, 湖南 长沙 410081)

**摘 要:**针对传统的工作流管理系统在模型描述及过程控制缺乏主动性、智能性等问题,文中将专家系统的控制思想引入工作流管理系统中,构建了基于专家系统的工作流系统模型,并将之应用于智能家居的研究中。在实现过程中,通过信息家电接口定义语言 IAIDL 解决家电之间的异构性;通过 ECA 规则描述家电间协作以及触发方式;通过事件驱动实现整个工作流的运转。实践证明,这一模型在智能家居中的应用,不仅增强了人与家电的互动,而且实现了信息家电间的协作。

**关键词:**专家系统;工作流;协作;信息家电

**中图分类号:**TP302.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2008)09-0205-04

## Application of Workflow Technology in Smart Home Based on Expert System

ZHU Cong, LIU Hong, LI Wen-bo

(College of Mathematics and Computer Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the traditional workflow management system which is lack of initiative and intelligence in model description and process control, a new system based on expert system has been built by using artificial intelligence technology and applied in the research of smart home. In the process of achieving, heterogeneousness among appliances was solved by using information appliance interface definition language (IAIDL) and collaboration among appliances was described by using ECA rules. Furthermore, the entire workflow system run through the event-driven. It has proved that this model applied in the smart home, not only enhanced the interactive activity between people and appliances, but also realized the collaboration among information appliance.

**Key words:** expert system; workflow; collaboration; information appliance

## 0 引言

随着现代企业智能化程度日益提高,工作流技术的研究与应用得到了众多研究人员的关注。工作流技术起源于20世纪70年代,其概念是为提高工作效率的研究而产生的,工作流管理联盟(WFMC, Workflow Management Coalition)将工作流定义为:业务流程的全部或部分自动化,在此过程中,文档、信息或者任务按照一定的过程规则流转,实现组织成员之间的协调工作以达到业务的整体目标<sup>[1]</sup>。工作流模型是研究工作流的基础,它包括一系列描述过程、任务、任务间关系及角色的定义,工作流描述语言比标准语言更高级,有图形化描述语言和基于规则的描述语言,它们都支持描述:任务结构(控制流)和任务间信息交换(数据流)、

异常处理、任务持续时间、优先级属性等。

现代技术逐渐出现分布化、网络化和敏捷化的趋势,相应地对工作流模型的灵活性、可用性、可伸缩性、可靠性以及互操作等方面提出了更高的要求,工作流模型的智能化程度成为研究的焦点<sup>[2]</sup>。为了解决工作流模型描述及过程控制缺乏主动性、智能性等问题,文中将人工智能领域中具有完备理论基础的专家系统与工作流管理系统相结合,按照专家系统模型表示及控制方法对工作流系统模型进行重新定义,构建了基于专家系统的工作流模型,使系统在底层机制上就具备实现智能化的能力。基于专家系统的工作流模型在智能家居中的应用,较好地解决了信息家电间的互操作问题,突出了本模型的可行性与优越性。分布式处理技术 CORBA 以及 ECA 规则都为这一实例提供了理论依据。

## 1 基于专家系统的工作流技术

基于专家系统的工作流模型融合了专家系统、工

收稿日期:2007-12-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10571052)

作者简介:朱 匆(1983-),女,硕士研究生,研究方向为分布式计算、信息家电体系结构;刘 宏,教授,研究方向为人工智能、分布式计算等。

流程管理及数据库管理技术,如图 1 所示。此模型包含了 workflow 执行服务所需要的所有信息,这些信息包括过程的开始和完成条件、构成过程的活动以及进行活动间导航的规则、用户所需要完成的任务、可能被调用的应用、workflows 的引用关系,以及所有与 workflow 有关的数据定义。

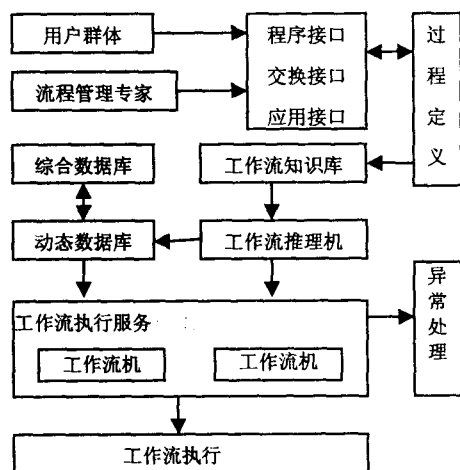


图 1 基于专家系统的工作流管理模型

**定义 1** 工作流是一个三元组,  $WFL := (\{Activities\}, \{Events\}, \{ECA\ rules\})$ 。其中  $\{Activities\}$  是活动的集合;  $\{Events\}$  是事件的集合, 它记录了活动所产生的事件;  $\{ECA\ rules\}$  是一组规则的集合, 每条规则用来刻画活动之间的迁移方式。

#### (1) 过程定义模块。

过程定义, 也称工作流过程模型, 是对业务过程的抽象表示, 包含所有使业务过程能被 workflow 执行服务执行的必要信息; 过程定义模块主要目的是给用户提提供对实际业务过程进行分析、建模的手段。用户和流程管理专家按系统的表示方法对实际的工作流程进行定义, 生成业务过程的可被计算机处理的形式化描述。在本系统中这种形式化描述即规则, 通过基于规则的产生式或 ECA 等表示法能够将 workflow 很好的描述, 存储于规则库中, 供业务流程推理及控制调用。

#### (2) 数据库模块。

数据库模块包括工作流知识库、综合数据库和动态数据库。工作流知识库存放大量的流程规则, 供推理机在推理时实时调用。综合数据库存放基本信息和数据, 动态数据库存放推理及执行过程产生的中间信息和数据。

#### (3) 工作流管理模块。

工作流管理模块由工作流推理机和工作流执行服务组成。工作流推理机按照专家系统的推理机制, 根据工作流规则库中的规则对工作的执行过程进行推理, 其中推理的中间信息和数据写入动态数据库, 工作

任务信息交给 workflow 执行服务。workflow 执行服务是 workflow 管理系统的核心, 它由一个或多个 workflow 机组成。workflow 机又称为 workflow 引擎 (Workflow Engine), 用于控制过程实例和活动实例的状态转换。workflow 管理模块根据过程执行需要的初始条件和执行参数生成过程实例, 运行过程实例并管理其运行过程, 通过 workflow 推理机推理的结果, 将活动实例按其特征写入工作库用于 workflow 执行或异常处理模块进行处理。

## 2 基于专家系统的工作流模型在智能家居中的应用

智能家居 (Smart Home) 的概念最早出现于美国, 它利用先进的计算机技术、嵌入式技术、网络通讯技术、综合布线技术, 将与家居生活有关的各种子系统有机地结合在一起。智能家居中的主角是具有智能的信息家电, 它是电脑、电信和电子技术与传统家电相结合的创新产品, 是为了使数字化与网络技术更广泛地深入家庭生活而设计的新型家用电器。

对于单个信息家电产品而言, 它获取任务信息以及识别、执行这一过程可以看成是一个完整的工作流; 但是智能家居的智能性依靠一种家电不能很好的体现, 它需要多个家电之间相互协作、相互触发, 共同完成主人交给的一系列任务, 这些具有不同功能且相互独立的模块之间所进行的互操作过程就实现了 workflow 系统的运转。例如, 主人回家开门时, 客厅里的电灯会因室内的光线过暗、空调会因温度不适自动打开; 主人外出关门时, 需要关闭的电器立即断电、室内的监控系统自动开启。电灯、空调以及相关设备的开关会与门的状态、室内光线明暗、温度异常这些已经形成的事件联系在一起; 具体哪盏电灯、哪台空调、光线明暗值以及温度舒适范围等众多参数均由主人按照自己的主观意愿随意设定。

### 2.1 基于专家系统的智能家居工作流管理模型

目前信息家电研究尚处于实验阶段, 在国际上还没有形成统一的家庭信息化标准, 家电设备制造厂家也无所适从, 因此解决信息家电间的异构性是首要问题。从信息家电的特殊性出发, 利用 CORBA 中接口定义语言 (IDL, Interface Define Language) 解决系统异构性的优势, 设计出一种信息家电的接口定义语言 I-AIDL (Information Appliance Interface Define Language) 来定义信息家电这些分布式对象, 以此形成 IAIDL 文件<sup>[3]</sup>。通过 IAIDL 编译器将设备描述文件中相关信息提取出来并加以处理, 形成便于存储操作的中间信息并保存到位于网关上的嵌入式数据库 SQLite 中, 完成了信息家电在家庭网关中的注册。数据库中存储的

注册信息,不仅包括设备的基本属性,还涵盖家电所能产生的各种事件,使得来自于不同厂家的信息家电能够相互识别、相互触发。其整体模型如图2所示。

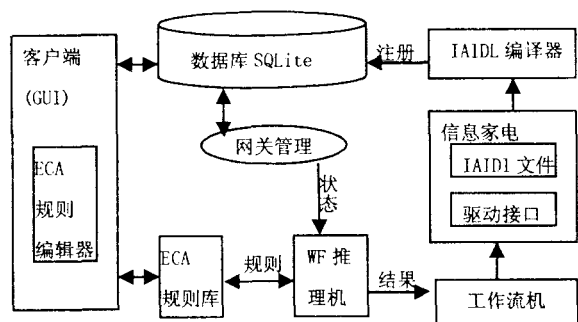


图2 基于专家系统的智能家居 workflow 管理模型

定义2 注册的信息是一个五元组,Registration::= $\{Id, Name, Attribute, FactoryInfo, Event, Exception\}$ , Id 为注册时由网关分配的编号,在 workflow 模型中每个家电的 Id 唯一,Name 为家电的名称,Attribute 为家电的属性,FactoryInfo 记录了厂家的基本信息,Event 显示了家电在操作过程中能够产生的事件,Exception 列举了家电出现异常的情况。

IAIDL 文件的语法是采用类似于巴科斯-诺尔范式(BNF, Backus-Naur Form)的格式,以一个产生式规则集合的形式进行定义。在实际操作中,IAIDL 文件是由厂家书写并下载到设备中去的,下面列举了部分 IAIDL 规范。

```
<设备接口> ::= <接口头> <接口体>
<接口头> ::= <设备名称> "is" <设备类型> ">"
<接口体> ::= "{" <接口描述> "}"
<接口描述> ::= { <类型声明> | <状态> | <属性> | <操作> }
<类型声明> ::= "enum" <枚举类型名称> "=" "(" <枚举值> ">," <枚举值> ">" ";"
<状态> ::= "state" <状态说明> <状态名> <状态值类型> "> "(" <期望状态值> ">," <实际状态值> ">," <警戒异常> "> "(" <警戒异常> ">";"
<属性> ::= "attribute" <属性名称> <属性值> ">";"
<操作> ::= "function" <操作名称说明> <返回值类型> <操作名> "(" <参数说明> ">";"
```

## 2.2 ECA 规则在智能家居中的事件描述

人们通过客户端可以随时随地调用家居中的一台或多台家电,系统会将主人的这些意愿用事件-条件-活动(ECA, Event-Condition-Action)格式加以描述并存入 ECA 规则库中,当事件发生时,系统实时地或在规定时刻检查规则的条件,如满足则执行规则的操作。ECA 规则可以表示为一个三元组  $\{e, c, a\}$ , 其中  $e \in E, c \in C, a \in A$ , E 代表对信息家电状态改变有触发作用的事件, C 代表响应触发事件的条件,而 A 代表对

触发事件进行响应时采取的行动<sup>[4]</sup>。

定义3 ECA 规则的形式是:

```
RULE <规则名> [(<参数>,...)]
WHEN <事件表达式>
IF <条件 1,...,条件 n>
THEN <活动 1,...,活动 m>; (n ≥ 1, m ≥ 1)
END RULE <规则名>
```

<条件 1,...,条件 n> 是某种逻辑中任意合法的逻辑表达式,可以包含函数或过程调用。<活动 1,...,活动 m> 是用户定义的一个动作或动作序列,或是用某种语言编写的一个过程,活动可以是引发事件的一个命令,也可以是引发执行指定的规则命令。事件表达式分为基本事件和复合事件,复合事件是对基本事件的逻辑运算,这种运算主要包括如下形式:

(1) 逻辑与: AND, EVENT1 AND EVENT2, 表示 EVENT1 与 EVENT2 事件同时发生。

(2) 逻辑或: OR, EVENT1 OR EVENT2, 表示 EVENT1 或 EVENT2 事件中有其一发生。

(3) 逻辑否: NOT, NOT EVENT, 表示除这一事件外任意事件发生。

例1 一个描述智能家居内部相互协作的 ECA 规则:

```
RULE(rule_id)
WHEN Event(Door,01,Open)
IF State(Room_Temp)<18and
State(Room_Temp)>25
THEN Task(Aircondition,02,Open)
END RULE(rule_id)
```

此规则描述为:主人回家开门时,序号为 01 的门打开这一事件发生后,系统会自动检测数据库中室温值,若不在 18 至 25 度之间,便会形成一个 workflow 任务命令:序号为 02 的空调开启。ECA 规则与产生式规则的主要区别是:它的事件作为一个相对独立的成分,具有专门的监测机制,有更强的能力描述数据库内外的各种状态变化。

## 3 事件驱动的分布式 workflow 运行机制

信息家电因网络的延伸、系统的异构使其具有明显的分布式特点,在这种环境下,为了解决信息家电间的协作问题并最终实现智能家居的自动化与高效率,所采用的 workflow 必须以分布的形式出现。分布式 workflow 技术采用分布式策略将 workflow 系统功能离散化或模块化,使用户能透明地使用由不同机型、不同运行平台组成的异构计算资源,通过各个模块间的相互协调工作,完成一个业务流程。事件驱动的分布式 workflow 系统是指在分布的、异构的、动态的环境中,引入主动数

据库中的 ECA 规则来描述 workflow 中的任务处理,将事件作为唯一的过程集成与协调机制,基于事件触发规则执行,从而实现 workflow 任务的自动路由。完整描述一个事件需要一些参数,如事件的形式、名字、发生时间、传递的信息以及与其它事件的关系等<sup>[5]</sup>。

文中引入了三种事件:任务状态相关事件、数据相关事件、时间相关事件。其中,任务状态相关事件由 workflow 中任务状态的变化而产生;数据相关事件由对 workflow 中数据流的操作而产生;而时间相关事件则是由 workflow 引擎对系统时间的监控产生<sup>[6]</sup>。为了实现事件驱动的规则处理技术,还需要研究有效的事件驱动控制模型,使得系统中事件的发生可以很快被发现,从而触发执行相应动作。事件接口实时接收来自外界的消息,并转化成系统要求的格式存入事件库中,事件库中存储了信息家电发生的各种事件,当事件满足规则库中某条规则的条件,推理机便可得出结论,触发相应规则。workflow 执行过程中可能会产生新的事件,系统会将这些新的事件作为消息存入事件库中。图 3 是对事件驱动分布式 workflow 模型描述。

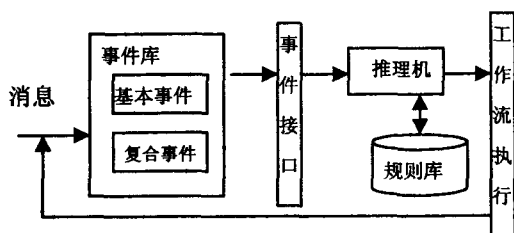


图 3 事件驱动分布式 workflow 控制模型

根据 workflow 管理的特点,本系统所采用的是正向推理,即从系统的首任务出发,引用规则库中的规则,向后寻找满足条件的任务或子过程,并执行产生能触

发后续任务的条件,递归调用规则,直至所有的任务或子过程被完成。

在专家系统的推理过程中,推理机每一循环中的可用规则往往不止一条,确定可用规则中可被启用的规则方法称为冲突消解策略。在冲突消解策略上,本系统采用优先级排序策略,谁的优先级高谁先执行,并优先获得资源。

## 4 结束语

文中针对传统 workflow 缺乏主动性、智能性等问题,借鉴了专家系统在知识表示、推理以及控制上成熟的理论,构建了基于专家系统的工作流系统模型,并结合事件驱动的分布式 workflow 技术,将之应用在智能家居的研究中,较好地解决了信息家电的异构性等问题,并实现了不同家电间的智能协作。

## 参考文献:

- [1] 范玉顺. 工作流管理技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [2] Workflow Management Coalition. Workflow management coalition terminology and glossary[R]. Brussels: Workflow Management Coalition, 1996.
- [3] 张 鹏,吕汉新. 一种基于 CORBA/Java 的网络智能专家系统[J]. 计算机技术与发展,2006,16(12):94-97.
- [4] 林尧瑞,张 钺,石纯一. 专家系统原理与实践[M]. 北京:清华大学出版社,1988.
- [5] 李 宁. 一种支持分布式 workflow 模型的工作流管理系统[J]. 计算机应用研究,2005(3):205-213.
- [6] 王新军. 事件驱动的分布式 workflow 技术在医疗保险信息系统中的应用[J]. 计算机工程与应用,2005(23):224-232.

(上接第 204 页)

writer 元素,并指定了默认值为“佚名”。

```
<xsd:elementname="book_writer" type="xsd:string" default="佚名" />
```

## 3 结束语

目前电子商务中的数据表达形式繁多,没有统一的格式,从而使不同企业之间信息交换成了障碍。XML Schema 具有清楚、灵活的描述 XML 信息内容和结构的能力,是电子商务开发应用的关键性技术。基于 XML Schema 技术特点,利用规范约束<sup>[6]</sup>的 XML 实现了关系模式向 XML 模式的完全转化,而且能验证商务文档的有效性和为信息存取提供了保障机制;实现了系统具有跨平台、松耦合、异步性、可靠性、可扩展性等特点<sup>[7]</sup>网上数据的交换、传输等应用。从而为关系数据在电子商务中数据转换提供更有效的支持。

## 参考文献:

- [1] W3C. XML. W3C Recommendation[EB/OL]. 2006-08. <http://www.w3.org/TR/REC-xml/>.
- [2] W3C. XMLSchema. W3CRecommendation[EB/OL]. 2004-10. <http://www.w3.org/XML/Schema.html>.
- [3] 马永恒,熊前兴. W3C XML Schema 模式的设计方法研究[J]. 计算机应用研究,2006(5):80-82.
- [4] Walmsley P. XML 模式权威教程[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [5] Graves M. Designing XML Databases[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [6] 何震瀛,李建中,王朝坤. 一种 XML 数据库的数据模型[J]. 软件学报,2006,17(4):759-769.
- [7] 何 慧,陈 博. 基于 XML 和 JMS 的异构数据交换集成的研究[J]. 计算机技术与发展,2006,16(2):70-72.