

# 工作流元模型的研究与应用\*

赵文<sup>+</sup>, 胡文蕙, 张世琨, 王立福

(北京大学 计算机科学技术系, 北京 100871)

## Study and Application of a Workflow Meta-Model

ZHAO Wen<sup>+</sup>, HU Wen-Hui, ZHANG Shi-Kun, WANG Li-Fu

(Department of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing 100871, China)

+Corresponding author: Phn: 86-10-62755413, Fax: 86-10-62755413, E-mail: owen@cs.pku.edu.cn

<http://www.cs.pku.edu.cn>

Received 2002-09-19; Accepted 2002-10-22

Zhao W, Hu WH, Zhang SK, Wang LF. Study and application of a workflow meta-model. *Journal of Software*, 2003,14(6):1052~1059.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1052.htm>

**Abstract:** Having the ability of handling complex transaction in heterogeneous environment, workflow is coming into notice in the area of science research, e-government, e-business, there are lots of research achievements and productions. Major parts of the studies are concentrated in the workflow scheduling, interface with database and legacy system, etc., few efforts are put into the researches of architecture, model and definition language of workflow management system. In this paper, workflow meta-model of WfMC is analyzed. According to real cases, extensions and modifications to workflow meta-model and workflow definition language are introduced, so as to satisfy the increasing variability of business process and application of new technologies.

**Key words:** workflow; workflow meta-model; WPD (workflow process definition language); workflow engine

**摘要:** 由于工作流技术具有在异构环境中处理复杂事务的能力,所以在科学研究、电子政务和商务等方面引起了广泛的关注,涌现出一些研究成果和产品。其中,大部分的研究集中于工作流的调度、与数据库和遗产系统的接口等技术方向,对工作流管理系统的体系结构、模型和定义语言等方面的研究相对来说比较薄弱。分析了工作流联盟的工作流元模型,并结合实际情况,对工作流元模型以及工作流定义语言作了适当的改进和扩展,以适应日益增长的业务过程的变化和新技术的应用。

**关键词:** 工作流;工作流元模型;工作流过程定义语言;工作流引擎

中图法分类号: TP311 文献标识码: A

互联网、WWW 以及分布式计算等技术的广泛应用,为政府机关和企事业单位网上办理业务提供了基础平台。当前的趋势是朝着多方协作(collaborative)办理业务的方向发展。参与组织的业务过程和应用系统服务是协

\* Supported by the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA113171 (国家高技术研究发展计划(863))

第一作者简介: 赵文(1967—),男,辽宁大连人,博士生,讲师,主要研究领域为软件工程,工作流及相关技术。

作业务的重要资源.工作流技术是一种管理、协调和控制一个虚拟组织中活动的技术.

运用工作流技术,政府机关和企事业单位等可以对其业务过程建模并且控制这些过程的执行.工作流管理联盟(WfFC)对工作流的定义是一类能够完全或者部分自动执行的业务过程,它根据一系列过程规则,使得文档、信息或任务能够在不同的执行者之间传递与执行<sup>[1]</sup>.工作流管理系统是一个软件系统,它完成工作流的定义与管理,并按照计算机中预先定义好的工作流逻辑推进工作流实例的执行<sup>[1]</sup>.

目前,工作流技术的研究正日益受到人们的重视,许多大学和研究机构都开展了研究项目,取得了众多的研究成果.研究课题大致可以归纳为以下 3 个方面:

- (1) 工作流的理论基础:包括工作流管理系统的体系结构、模型、定义语言等.
- (2) 工作流的实现技术:包括工作流的事务特性、先进的软件技术的应用、工作流仿真等.
- (3) 工作流技术的应用:工作流实施技术在不同应用领域的应用方法、应用软件集成等.

工作流管理系统的体系结构、模型和定义语言等方面的研究相对来说比较薄弱,还有许多问题需要进一步探讨<sup>[2]</sup>.

随着工作流管理系统应用规模的不断扩大、应用领域的不断拓展,政府机关企事业单位业务重组以及对系统个性化的需求,这些都给工作流管理系统提出了更高的要求,即工作流管理系统应能够对各种变化表现出较强的适应性.多数工作流模型基本上是基于“静态”过程定义的,工作流管理系统本身不能根据工作流实例的运行状况而动态地修改其配置、控制和数据信息,这使得工作流管理系统在应用的许多关键特性上无法得到保证,包括过程模型的柔性定义、过程重用、异常处理等,这些都极大地限制了工作流技术在政府机关、企事业单位中的普及和推广.

为了满足政府机关和企事业单位业务过程的变化特性,同时参照其他工作流技术的研究结果,我们对工作流管理联盟制定的工作流过程定义元模型(process definition meta-model)以及工作流过程定义语言(workflow process definition language,简称 WPD L)进行了适当的修改和扩展,这些修改和扩展不仅使得对定义态、运行态过程模型的修改变得灵活,而且可以在流程中支持一些新出现的应用技术,例如 Web Service.根据改进的工作流过程定义元模型,我们开发出具有动态特性以及支持新应用的工作流引擎,并把它应用于实际的应用项目中.

本文第 1 节讨论工作流过程定义元模型的相关概念、元模型元素之间的关系以及对元模型的扩展.根据改进的元模型,第 2 节重点介绍了对工作流过程定义语言的扩展以及元模型元素的定义格式.第 3 节刻画了基于改进元模型的工作流引擎的框架以及设计实现.第 4 节给出了一个具体的应用实例.

## 1 改进的工作流元模型

元模型(meta-model)是用来定义语义模型的构造(construct)和规则(rule)的,通常称为定义表达模型的语言的模型<sup>[3]</sup>.工作流的元模型是用于描述工作流内部的各个元素、元素之间关系及元素属性的.

工作流元模型通常涉及相互关联的 3 个子元模型,即:

- (1) 过程定义元模型:模型元素用于定义业务过程,控制工作流的执行.
- (2) 组织机构元模型:描述单位、部门、人员的组织关系以及所担当的角色.
- (3) 相关数据元模型:工作流“生产”和“消费”的数据以及它们的流动关系.

工作流元模型的核心是过程定义元模型.工作流管理联盟为过程定义开发了一个基本的元模型(如图 1 所示).工作流元模型规约出元素类型的一个基本集合,这些元素类型适合于相对简单的过程定义,工作流开发人员根据需要可以对该元模型进行适当的扩展.

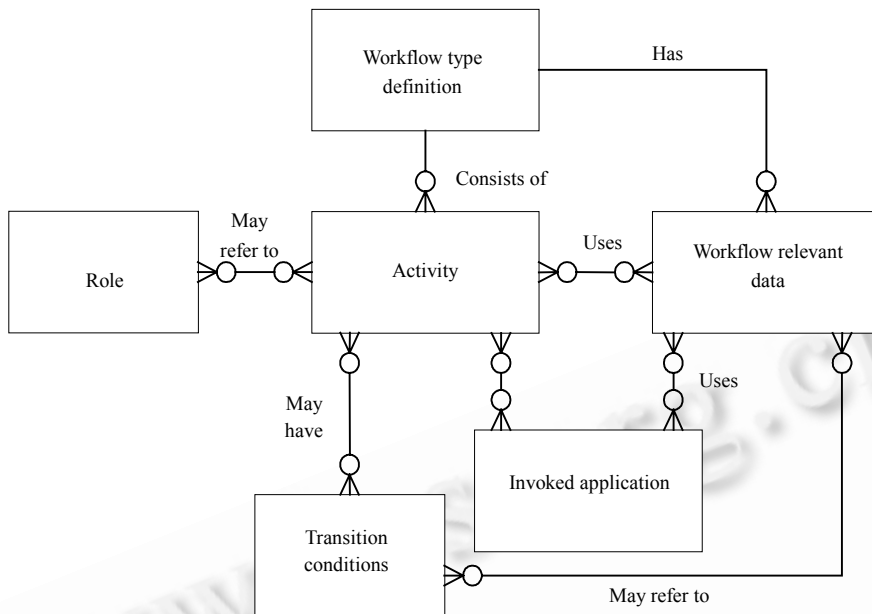


Fig.1 Basic process definition meta-model of WfMC

图1 workflow管理联盟的过程定义元模型

workflow管理联盟的过程定义元模型中元素的定义和重要属性如下:

**活动(activity)**.完成workflow的一个逻辑步骤.重要属性包括活动名称、活动类型、前/后活动条件、其他调度约束等.

**转移条件(transition conditions)**.从当前活动到下一活动流转或状态转移的规则.主要参数包括过程条件、执行条件、通知条件等.

**workflow相关数据(workflow relevant data)**.被workflow管理系统用作决定一个workflow实例状态转移的数据.重要属性包括数据名称或路径、数据类型等.

**角色(role)**.把参与者与一系列活动相联系的机制.重要属性包括名称、组织实体等.

**被调应用(invoked application)**.应用主要描述用于完成业务过程所采用的工具和手段.重要属性包括类型或名称、执行参数、位置或存取路径等<sup>[1]</sup>.

在workflow管理联盟提出的workflow参考模型中,以workflow服务为核心定义了5类接口,分别是workflow定义交换接口(接口1)、workflow应用接口(接口2)、被调应用接口(接口3)、WAPI互操作性功能接口(接口4)以及管理和监控接口(接口5).有关过程定义的引入与导出构成了接口1的主要功能.workflow过程定义语言WPDL就属于这部分内容.WPDL是基于这一元模型而定义的文本描述语言,它把workflow解释为ASCII字符流,使用关键字WORKFLOW,ACTIVITY,DESCRIPTION等来声明元素、属性和关系,使用语法中的变量部分来声明它们的名称和值.

在WPDL中,汇聚(join)、分支(split)结构和它们的约束(AND,OR,XOR)的说明嵌在活动(activity)说明的内部,这些结构和约束定义了活动间的结构关系和约束.由于它们是活动说明的一个组成部分,同时,业务过程的动态变化是非常普遍的,所以,结构和约束的变化必然会引起活动定义也随之变化.另外,在WPDL中定义的过程模型是静态的,它并不提供任何过程模型动态修改的机制.

为了屏蔽变化所带来的副作用,引入问题分离(separation of concerns)原则变得十分必要.问题分离是软件工程的一个核心原则,即分而治之的原则,通常是指标识、封装以及操作软件各部分的能力,其中的一个部分是和一个特定的概念、目标、任务或目的相关的.我们之所以要把软件分解和组织为粒度更小的、更容易管理和理解的部分,对问题(concerns)的关注是最根本的动机.每一个部分都侧重一个或几个问题.适当的问题分离可以降低软件的复杂度并提高可理解性,有利于复用、非侵犯性适应、定制以及演化,简化构件的集成.

根据问题分离原则,本文对工作流管理联盟制定的工作流过程定义元模型作了适当的修改和扩展,把汇聚、分支结构和它们的约束(AND,OR,XOR)的说明从活动中提取出来,引入了一种新的元模型元素“连接符”(connector),把所有控制信息说明从活动说明中独立出来,分别封装,使得变化的影响局部化,这种分离有利于工作流模型的动态修改.经过改进和扩展的元模型如图 2 所示.

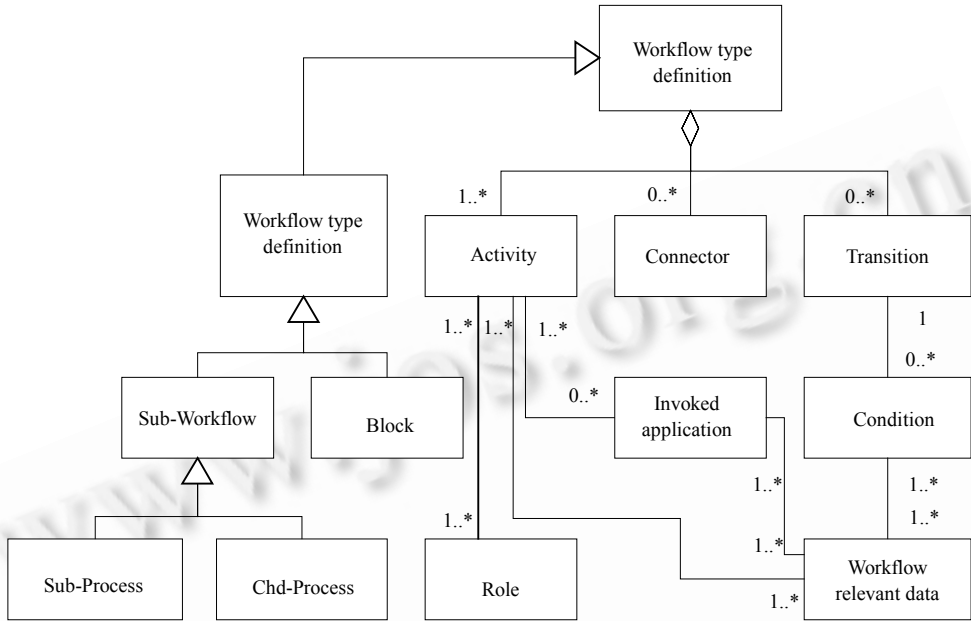


Fig.2 Modified and extended process definition meta-model

图 2 经过改进和扩展的过程定义元模型

在工作流管理联盟的过程定义元模型中,活动包含转移控制信息,换句话说,过程定义元模型的核心元素是活动,在改进的元模型中,核心元素是连接符.这样,对活动定义的修改或对活动间结构关系以及约束条件的修改变得更加容易,因为它们是分别封装和定义的.

## 2 对工作流过程定义语言 WPD L 的扩展

工作流过程定义元模型中给出了一般的模型元素及相应的属性,工作流过程定义语言 WPD L 就是基于这一元模型而定义的文本描述语言.作为一个标准、通用的工作流定义语言,WPD L 定义了一个最小集合的工作流建模元素与属性,提供了一般意义下的公共交换格式.由于我们对工作流过程定义元模型进行了改进和扩展,相应地,必须对工作流过程定义语言进行修改和扩展.下面分别给出几个主要改进和扩充的元模型元素的定义格式.

工作流过程定义用来规约工作流的过程逻辑,包括组成工作流的所有活动以及活动之间的依赖关系.根据改进和扩展的工作流元模型,相应的工作流过程定义格式如下:

```

PROCESS <process id>
  [CREATOR <member list>]
  [CREATE_TIME <datetime>]
  [DESCRIPTION <description>]
  [VERSION <version number>]
  [TIMEOUT <processing timeout, warning timeout>]
  <activity list>
  [SUBFLOW <subprocess list, chained process list>]
  
```

<connector list>

<transition list>

[STATUS <available, enacted, under modification>]

## END\_PROCESS

子句 CREATOR,CREATE\_TIME,DESCRIPTION,VERSION,STATUS 用来规约过程模型的属性.除了这些属性以外,一个过程模型定义的主要成分是构成该模型的实体的定义.<activity list>活动列表规约了过程模型中所包含的活动的集合,除了一般类型的活动以外,还有两个特殊的活动,即 Begin-Activity 和 End-Activity.在一个过程模型定义中,已经存在的过程模型可以作为子流程被引用,子流程又可以分为子过程(sub-process)和链过程(chained-process).<connector list>,<transition list>分别用来规约连接符和转移.

活动分为普通活动、开始活动和结束活动等.

(1) 普通活动是业务过程模型的最基本的组成部分.典型的工作流过程中活动的主要任务是通过某种方式(例如,表单的填写)与责任人交互,或者自动执行一些处理操作.每个活动都具有一些属性,例如,参数的传递等.活动内部一般会设有前置条件和后置条件对活动加以约束.

(2) 开始活动是业务过程模型的入口点,初始化流程相关的数据,通常用来把输入参数传递给过程.

(3) 结束活动是业务过程模型的结束点,用于收集来自其他活动的数据,并作为这个过程的输出参数,并负责把工作列表中的任务(task)存入历史记录库备查.

普通活动的定义格式如下:

**ACTIVITY** <activity id, process template id>

[DESCRIPTION <description>]

ASSIGN\_RULE <unit, group, role, user>

TYPE <begin, end, interactive, automation, dummy, delay, sub-process, chained-process>

INVOKED\_APPLICATION <application type, application URL>

[IN\_PARAMETER <parameter list>]

[OUT\_PARAMETER <parameter list>]

[PRE\_CONDITION <expression list>]

[POST\_CONDITION <expression list>]

TIMEOUT <processing timeout, warning timeout>

## END\_ACTIVITY

活动中的被调应用一般分为表单和遗产系统等.为了适应新技术的要求,本文对被调应用进行了扩展,增加了对 Web Service 调用的支持.

连接符是活动之间的连接机制,例如,顺序、与汇聚/分支、或汇聚/分支、异或汇聚/分支等,连接符可以组合成更复杂的工作流模式(workflow pattern).

连接符的定义格式如下:

**CONNECTOR** <connector id, process template id>

PRE\_TYPE <activity, connector>

PRE\_ID <identifier list>

POST\_TYPE <activity, connector>

POST\_ID <identifier list>

## END\_CONNECTOR

转移(transition)信息规约的是活动、连接符之间的流转.转移是以连接符为中心的,又分为两种形式,即节点到连接符的转移、连接符到节点的转移,其中节点可以是连接符,也可以是活动.条件(condition)是附着在连接符到节点的转移上,用来决定工作流执行的路径.

(1) 节点到连接符的转移的定义格式如下:

**NODE\_CONNECTOR\_TRANSITION** (process id, transition id)

NODE (node id, node type)

STATUS (status list)

**END\_NODE\_CONNECTOR\_TRANSITION**

(2) 连接符到节点的转移的定义格式如下:

**CONNECTOR\_NODE\_TRANSITION** (process id, transition id)

NODE (node id, node type)

STATUS (status list)

[CONDITION (condition id, condition expression)]

**END\_CONNECTOR\_NODE\_TRANSITION**

Web Service 是互联网应用需求和技术发展的双重产物。Web Service 代表新一代的软件架构模式,即通过互联网架构应用软件,服务即软件。鉴于 Web Service 技术的重要性,本文对被调应用进行了扩展,增加了对它的支持。在工作流活动中调用 Web Service 的定义格式如下:

**WEBSERVICE** (webservice name).(operation name)

INPUT (in\_data mapping)

OUTPUT (out\_data mapping)

[CONSTRAINT (constraint definition)]

**END\_WEBSERVICE**

在上述的定义格式中,INPUT 子句中的 in\_data mapping 规约了活动数据(活动的输入参数和活动变量)与调用 Web Service 请求输入属性之间的映射。同理,在 OUTPUT 子句中的 out\_data mapping 规约了活动数据(活动的输出参数和活动变量)与调用 Web Service 请求输出属性之间的映射。

### 3 基于改进的工作流元模型的工作流引擎的实现

工作流引擎是一种基于软件的服务,它为工作流实例提供运行态的执行环境(单独地或者与其他工作流引擎连接)。

基于改进工作流元模型开发的工作流引擎主要分为功能集和数据存储两个部分。工作流引擎的体系结构如图 3 所示。

功能模块:过程管理器、任务管理器、转移管理器、时钟管理器、组织人员管理器、错误处理器和调度器及用户接口等。

数据存储:工作流模板、工作流实例、历史纪录、组织人员信息等。

过程管理器的主要作用是具有流程的创建、终止等功能。在过程管理器初始化一个工作流过程实例 (process instance) 时要做两件事,即从数据库存储或环境变量中读取控制流信息和数据流信息。根据流程模板、活动表、连接符表、转移表、连接符前后节点表、条件表等把整个流程实例化出来,但是,其中如果有子过程,那么该子过程是“延迟展开”的,也就是说,在执行到它的时候才进行展开,这是出于流程动态特性的考虑。流程的实例化有些类似于“宏展开”。在流程实例展开的同时,要根据任务指派表,为每一个任务(task,活动的实例,一个活动可能对应多个任务)配置指派目标(例如,角色或部门)等,以及指派方式(例如,先来先分配 FCFA 等)。工作流过程实例的执行是从开始活动(begin activity)节点进行的,它的主要任务就是一些初始化工作,它不包含任何与外界交互的被调应用。在流程实例的执行过程中,如果结束活动(end activity)节点执行完毕,这就意味着该流程实例的终止,同时,要把该流程实例的执行过程(实际走过的路径)导入历史记录表中。

任务管理器的主要作用是控制任务的执行。首先,任务管理器会检验当前任务的一些前约束条件,例如,时间约束等,如果满足,则将该任务的状态置为“激活”。这时,任务管理器的重要任务是调用活动中定义的应用,应用通常包括自动完成的应用、人机交互应用、消息和时限。如果应用的类型是“人机交互应用”,那么任务管理器要调用用户接口管理器,准备好相应的程序(例如,表单等),等待用户登录后与之交互。在任务所有应用都完成后,

任务管理器会检查“后置条件”,如果满足,任务管理器要置该任务的状态位为“完成”,并把输出数据导入到流程变量表中,然后,把执行权交给“连接符管理器”。

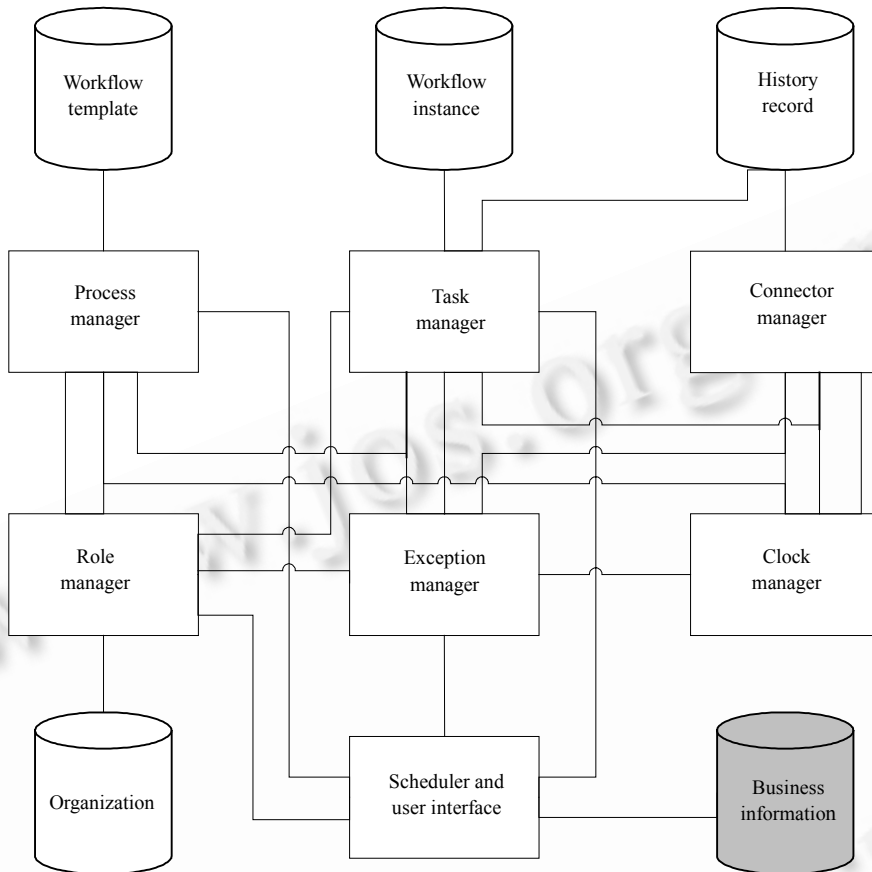


Fig.3 Architecture of workflow engine

图3 workflow引擎的体系结构

根据我们定义的工作流元模型和模型,连接符取代活动成为工作流模型的核心元素.在相应workflow引擎的实现中,连接符管理器是其中的核心模块,其主要作用是根据约束和条件来控制流程的执行.附着在一个连接符上的有两种转移,一种是进入的,一种是离开的.连接符既可以与活动连接,也可以与连接符连接.当一项任务完成后,它会向连接符管理器发送信息,连接符管理器接到后,会根据过程模板中定义的流程控制规则作相应的处理.转移条件是附着在连接符的离开转移上的.如果连接符类型是顺序(sequence)的,那么离开转移只会有一条,一般在该转移上不会有条件,也可以说该转移上条件判断值永远为“真”,目标节点会被调度.如果连接符类型不是顺序的,那么离开转移就会有多条,每条转移上可能会附有条件,这时,要根据连接符类型的不同,调用不同的控制算法函数加以处理.由于采取了良好的工作流元模型,workflow引擎的连接符管理器支持的工作流模式除了基本控制模式的顺序、并行分支、同步、互斥选择以及简单汇聚以外,还可以较好地支持多重选择、多重汇聚、鉴别器、 $M$ 中的 $N$ 汇聚、同步汇聚、任意循环、隐式终止、取消活动以及取消情况等workflow模式.

#### 4 结 语

本文所讨论的基于改进和扩展的工作流元模型实现的工作流引擎架构在 J2EE 平台之上,核心服务采用 EJB 实现,后台数据库采用 Oracle 8i.该引擎具有良好的稳定性、可扩展性、安全性、可移植性、分布式事务管理、灵活的业务过程变动处理功能,可以方便地与政府机关和企事业单位现有系统集成,较好地满足关键业务系统的需求.

引擎不仅支持顺序流程的流转,而且还支持分支、并发、循环、子过程、同步、异步、竞争等,在分支上可以定义条件,实现按条件自动流转,条件转移之间还可设置逻辑关系.基本上能够支持 21 种工作流模式(workflow pattern)中多数实际中应用常见的模式.

目前,该引擎已经实际应用到北京市国土资源房屋管理局“网上审批”和 OA 系统项目中.实现该局办公事务流程的计算机处理.主要流程包括收文管理、发文管理、会议管理、人事管理、考勤管理、外网审批、信访管理、领导批示管理、领导讲话管理、领导活动管理、督办管理、档案管理等.其中的一些流程本身比较复杂,而且又有许多特殊处理,所以对引擎的要求比较高.投入实际运行的工作流引擎的稳定、灵活应对变化的运行结果表明了改进和扩展工作流元模型的价值.

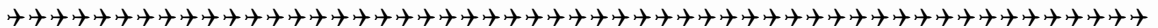
**致谢** 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的同行,尤其是向北京大学计算机科学技术系的王立福教授、张世琨教授领导的讨论班上的同学和老师表示感谢.

**References:**

- [1] Hollingsworth D. The workflow reference model. Workflow Management Coalition. 1995.
- [2] Fan YS. Foundation of Workflow Management Technique. Beijing: Tsinghua University Press; Springer-Verlag, 2001 (in Chinese).
- [3] Rumbaugh J, Jacobson I, Booch G. The Unified Modeling Language Reference Manual. Addison Wesley Longman, Inc., 1999.

**附中文参考文献:**

- [2] 范玉顺.工作流管理技术基础.北京:清华大学出版社;施普林格出版社,2001.



**几何造型与处理 2004 国际会议**

征 文 通 知

Geometric Modeling and Processing (GMP) 是国际上有重要影响的学术会议,每两年举办一次,会议论文集由 IEEE Computer Society Press 出版,优秀论文还将在 Computer Aided Design 和 Computer Aided Geometric Design 两个代表该领域国际最高学术水平的刊物上以专辑形式发表.2004 年 4 月 13 日~15 日, GMP2004 将在清华大学召开.大会主席是孙家广院士,程序委员会主席是维也纳技术大学的 Helmut Pottmann 教授和清华大学计算机系的胡事民教授.

一、 征稿范围

- |            |               |
|------------|---------------|
| 曲线曲面       | 几何不确定性        |
| 多分辨率造型     | 实体造型          |
| 几何约束求解     | 数字几何处理        |
| CAGD 的数学基础 | 几何计算中的偏微分方程方法 |
| 形状表示技术     |               |

二、重要日期

截止时间: 2003 年 9 月 30 日

三、 联系方式

联系人: 严寒冰,蔡晓华 电话:010-62782052

E-mail: gmp2004@tsinghua.edu.cn

http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/GMP2004/