

# 基于 jBPM 的科学试验管理系统的设计与实现

窦 帅 李子扬 朱家佳 李晓辉 李雪松 米 琳 杨 光 李传荣

中国科学院空天信息创新研究院,中国科学院定量遥感信息技术重点实验室 北京 100094

(doushuai@aoe.ac.cn)

**摘 要** 临近空间探索科学试验流程复杂,从策划到实施过程中涉及多个管理和技术环节,需要引入 workflow 技术建立科学试验管理系统对试验过程进行科学有效的管理。文面向大型科学试验任务管理系统设计与实现,针对科学试验任务合理规划、有序调度、流程按需定制、节点组件集成的业务需求,提出了基于 jBPM 工作流引擎的科学试验任务流程按需定制与节点组件集成调用方案,将流程抽象为若干个独立的业务节点,按照业务节点间的逻辑关系构建业务 workflow,同时集成各业务节点对应的程序组件实现具体的流程管理功能。基于该方案开发的科学试验任务管理系统在满足系统业务需求的同时,有效提升了系统的可扩展性,降低了系统维护的难度,成为了支持大型科学试验规划、管理与调度的有效技术手段。

**关键词:** 工作流技术;流程定制;组件集成;流程实现;工作流引擎

中图法分类号 TP301

## Design and Implementation of Scientific Experiment Management System Based on jBPM

DOU Shuai, LI Zi-yang, ZHU Jia-jia, LI Xiao-hui, LI Xue-song, MI Lin, YANG Guang and LI Chuan-rong

Key Laboratory of Quantitative Remote Sensing Information Technology, Aerospace Information Innovation Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China

**Abstract** Near-space exploration scientific experiment process is complex, it involves many management and technical sessions from planning process to implementation process. Moreover, the execution process of each experiment task is also nonidentical. Therefore, it is necessary to introduce a workflow technology to establish a scientific experiment management system to control the experiment process scientifically and effectively. This paper is facing the system design and implementation for large-scale scientific experiment task. It applies rational planning, multiple-scheduling, customizable workflow, nodal components to support the management program which based on jBPM workflow engine system. Specifically, the system abstracts the workflow into several independent operational nodes, according to the logical relationship among nodes to build workflow, at the same time, integrates the corresponding program components of each operational nodes to achieve management functions. It can not only meet the large-scale scientific business requirements, but also effectively improve the system scalability, reduce the difficulty of system maintenance, and become an effective technical tool to support the large-scale scientific experiments.

**Keywords** Workflow technology, Process customization, Component integration, Process implementation, Workflow engine

## 1 引言

中国科学院 A 类战略性先导科技专项“临近空间科学试验系统”(以下简称“鸿鹄专项”)于 2018 年 3 月正式启动,旨在建成我国首个临近空间(离地面 20~100 km 的空间区域,介于人类航空活动上限和航天活动下限之间)科学试验系统;聚焦临近空间环境和生态系统,在多个典型区域开展临近空间综合科学探测试验及相关科学研究。为探索临近空间环境和生态系统,分阶段多次开展覆盖参量全、高度范围完整的大型临近空间综合探测试验必不可少。专项启动以来,面向青藏高原平流层-对流层大气交换、临近空间电离层散射效应、临近空间极端环境生物适应性、临近空间气体与同位素探测、生命在临近空间传输特性、临近空间对太阳风暴响应特征等临近空间科学研究主题,开展了多次大型综合性科学探测试验,其中 2018 年开展 1 次,2019 年开展 5 次,2020 年开展 4 次。

基于前期开展的临近空间大型综合性科学探测试验的实践,大型综合性科学探测试验具有以下特点:

(1) 试验面向多个学科领域、多种研究主题,具有多样的任务目标和任务要求。

(2) 每次试验任务涉及多个研究主题、多个参试团队,多种试验平台及载荷,多种探测参量,参与试验任务中的角色多,试验过程中涉及、产生、交互的信息和文档数量多、种类多,组织、策划、管理试验任务以及调度资源的工作复杂且繁重。

(3) 每次试验任务从开始策划到结束的实施过程中涉及多个管理和技术环节,具有复杂的流程。例如,为了确保飞行试验顺利实施,试验前期的测试和技术评审有可能需要开展多次;某一科学研究主题的试验任务可能需要开展多次飞行试验。

(4) 由于不同试验任务面向不同的科学研究主题,每次试验任务的实施地点、环境、任务目标各不相同,试验任务的实

施流程也会有所不同,即使同一类型主题试验的实施流程也可能因环境或条件不同而发生变化。

因此,设计研制一套通用化科学试验任务管理软件系统,实现对科学试验任务的科学规划、流程有序管理与调度、数据与任务状态全过程监管,提高管理与执行效率,可为顺利有序开展和实施大型科学试验任务提供不可或缺的技术支撑与保障。

## 2 workflow 技术简介

工作流(Workflow)技术是当前任务管理软件系统经常使用的技术。工作流是一种反映业务流程的计算机化的模型,是为了在计算机环境支持下实现经营过程集成与自动化而建立的可由工作流管理系统(Workflow Management System, WfMS)执行的业务模型<sup>[1]</sup>。

### 2.1 工作流管理系统的定义

按照工作流管理联盟(Workflow Management Coalition, WfMC)对工作流管理系统(Work flow Management System, WfMS)的定义,工作流管理系统是一个软件系统,它完成工作流的定义和管理,并按照在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>[2]</sup>。工作流引擎作为工作流管理系统中的重要部件,为系统提供流程的节点管理、流向管理、流程样例管理等重要功能。目前,主流的工作流系统有 jBPM, OpenWFE, Os-workflow。

### 2.2 jBPM 简介

jBPM 是目前比较流行的一种开源工作流引擎,全称是 Java Business Process Management,它是一种基于 J2EE 的轻量级工作流管理系统,业务过程的部分或整体在计算机应用环境下自动化执行<sup>[3]</sup>。jBPM 执行过程如图 1 所示,工作流引擎接收到流程定义信息后,通过流程监控接口对工作流系统提供流程管理服务,流程管理服务与其他应用服务一起共同处理业务逻辑和流程驱动,从而完成既定的业务<sup>[4]</sup>。

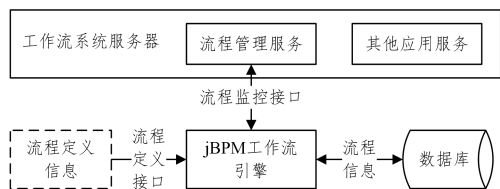


图 1 jBPM 工作流引擎执行过程

Fig. 1 jBPM workflow engine execution process

jBPM 采用自己定义的 JBoss process definition language (JPDL) 流程描述语言,JPDL 使用直观的流程语言以图形化的方式来表示业务流程,使用术语任务、异步通讯、等待状态、定时器、自动操作等,并详细定义了这个状态图的每个部分,如起始、结束状态以及状态之间的转换<sup>[5]</sup>。

本文针对大型科学试验任务涉及的主题、角色、信息、接口多样、试验任务实施流程复杂多变的特点,面向科学试验任务的合理规划、有序调度、流程按需定制的需求,探索基于 jBPM 的工作流程定制与实现方法,通过合理的工作流建模,设计科学的任务流程按需定制与组件集成调用方法,实现临近空间科学试验任务管理系统。

## 3 workflow 建模

本文设计的任务管理系统采用工作流技术,实现对临近空间科学试验任务管理中试验任务策划、方案制定、任务实

施、总结为主线的业务过程全生命周期管理。基于工作流技术设计任务管理系统,首先要构建工作流过程模型。工作流过程模型是对业务过程的计算机化形式表示,过程模型是任务管理系统的基础,很大程度上影响系统的功能与性能。

### 3.1 业务过程分析

工作流建模首先要进行业务过程分析,就是根据业务过程的全生命周期,把业务过程分解为若干个逻辑上互不干预、数据上不互相依赖的独立环节。这些业务环节在工作流中称为“节点”,每个节点都将有对应的程序组件来完成节点的功能。节点的划分有两个原则:1)逻辑独立,节点能够独立完成某部分工作并且与流程密切相关,每个节点程序组件的运行不受其他节点的制约;2)粒度细,节点的粒度应尽量细化,功能应避免复杂、庞大,以使得节点对应的程序组件能为多个业务过程复用,提升节点的通用性。

具体到本文所设计的临近空间科学探测试验任务管理系统,根据前期开展科学探测试验任务的实践经验,按照上述原则进行业务过程分析(也就是试验任务分析),一个试验任务可以分解为“任务申请”“制定试验大纲”“试验大纲评审”“形成任务书”“航迹规划”“试验场地准备”“设备入场”“设备调试”“气象分析”“等待飞行”“试验飞行”“飞行器系统监控”“载荷系统监控”“通信系统接收数据”“地面系统实时处理数据”“试验设备回收”“试验总结”等任务环节。

### 3.2 节点定制

节点定制是将业务过程分析划分出的各个节点按照 jBPM 定义的规范进行计算机语言表达。jBPM 中的工作流由多个有向弧组成的有向图描述,jBPM 采用 Node(节点)和 Transition(变迁)表示节点和有向弧,节点代表任务环节,变迁指节点在流程中被触发或向下流转的规则,多个有向弧可组成一个完整的工作流程。

节点定制包括 3 个方面的内容:1)根据 jBPM 规范及科学试验任务管理系统运行需求,确定节点的特征属性,包括节点名称、节点在程序中的唯一标识、节点类型以及节点运行时调用的程序组件,这些节点属性信息将存储至数据库,供后续流程定制及流程运行时调用;2)设计节点被触发的条件和节点向下流转的条件;3)开发节点对应的程序组件以及在数据库中建立节点程序组件的数据存储环境,在开发节点组件时应确保组件标识的唯一性,以便任务在执行时,工作流可以正确调用相应的组件来运行。

jBPM 定义的流程节点主要有 9 种<sup>[6]</sup>,分别是: start-state、end-state、task-node、decision、fork、join、node、state 和 process-state。当流程开始时,流程的 token 指向 start-state 节点,当 token 指向 end-state 节点时表示流程结束;task-node 节点包含一个或多个 task 子元素和完成这些 task 的用户,表示一个或多个将要被完成的任务;decision 节点用来在流程中根据不同的条件来选择执行不同的转移;Join 节点与 fork 节点是一一对应、一起使用的,流程从 fork 节点开始变成多个并行执行的分支路径,这些分支路径在 join 节点汇合;node 节点专门用来添加用户代码;state 节点是一个等待状态节点,当流程执行到 state 节点时就处于等待状态,直到当前 token 收到指令流程才继续执行;process-state 节点表示一个子流程,当流程执行到 process-state 节点时子流程被创建,直到子流程结束才继续父流程。定义任务节点时,每个节点应包含的元素如表 1 所列。

表1 workflow节点元素信息表

Table 1 Workflow node element information table

元素用途	元素名称	元素属性
用于工作流引擎	节点名称	常量
	节点类型	start-state、end-state、task-node、decision、fork、join、node、state、process-state
	当前节点被执行的条件	只有 state 节点需要单独定义
	触发节点向下流转的条件	所有节点需要被定义
	其他辅助描述信息	节点界面图标、节点 web 界面等
用于调度	对应的节点组件	组件的 Web Service 服务地址
	节点组件调用接口	组件的 Web Service 调用接口
	节点程序组件	程序组件运行结果监听接口
	主程序的 Web Service 监听接口	

### 3.3 流程定制

在新定制一个工作流程时,任务管理人员选择试验任务包含的节点,根据节点间的执行顺序与逻辑关系,设计节点流转的路径,形成一套完整的任务执行流程。

图2给出了某一次临近空间科学探测试验的工作流程。

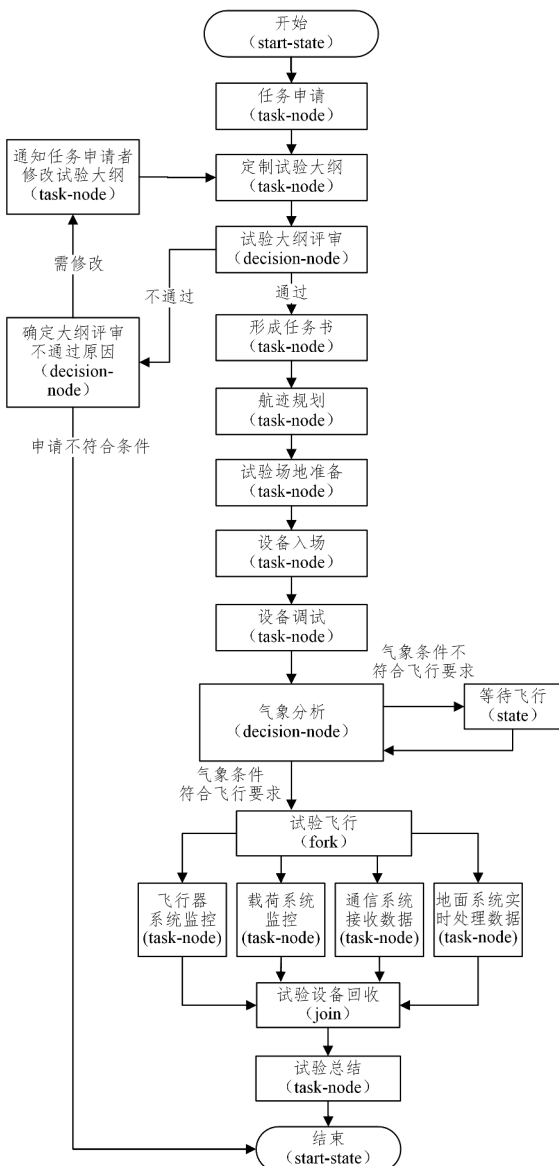


图2 浮空器飞行试验任务执行流程

Fig. 2 Flight test task execution process of aerostat

该 workflows 的开始条件为任务申请者发起任务申请,填写任务申请信息,然后在定制试验大纲环节中,设计飞行区域、选取飞行试验用到的飞行器与载荷、确定试验场地、安排试验

执行进度计划,然后专家组对试验大纲进行审核,大纲经过任务审核后分两种情况进行处理:1)试验大纲不符合要求,返回重新编制或流程结束;2)试验大纲合理可行,受理试验任务请求,按照下述步骤继续处理。安排参与试验的各业务系统需要完成的任务,形成任务书,并将任务书分发至各业务系统;开展航迹规划工作,预测浮空器飞行航迹与落点;试验场地执行准备工作,安装相关仪器;浮空器、载荷等设备运送至试验场地;各系统开展设备调试与系统联调;分析气象数据判断天气是否符合起飞条件,如果符合,则开始试验飞行,如果不符合则保持等待状态;试验飞行开始后,飞行器监控系统、载荷监控系统、通信系统、地面数据处理系统并行工作,直至试验结束回收设备;最后执行试验任务总结,对该次试验的飞行情况、数据获取情况进行分析,形成总结报告,流程结束。

### 3.4 实例化任务

实例化任务包括两方面:一方面是将制定好的工作流程模板实例化至工作流引擎,另一方面是根据流程创建具体的试验任务。

#### (1) 流程模板实例化至工作流引擎

首先根据之前定制的节点信息、流程信息,通过文本中的系统自动创建工作流引擎系统可识别的流程 XML 文件,然后使工作流引擎加载流程 XML 文件,形成试验任务可用的工作流模板,并将流程信息持久化存储至工作流引擎数据库。流程中,“定制试验大纲”节点是 task-node 类型节点,“试验大纲评审”节点是 decision 类型节点,按照 jBPM 定义的规则,流程中从“定制试验大纲”节点“试验大纲评审”节点的 XML 片段如下:

```

<task-node name="试验大纲">
<task name="试验大纲">
<assignment actor-id="99" />
</task>
<transition to="试验大纲评审" />
</task-node>
<decision name="试验大纲评审" expression="# { role="b1"? 'b1': 'b2'}">
<! 一当满足条件 b1 时(评审通过),下一步是“形成任务书”节点一>
<transition name="b1" to="形成任务书" />
<! 一当满足条件 b2 时(评审未通过),下一步是“确定大纲评审不同过原因”节点一>
<transition name="b2" to="确定大纲评审不同过原因" />
</decision>

```

#### (2) 根据流程创建试验任务

在通过 createInstance() 函数完成流程模板实例化后,在工作流引擎中选择流程结合具体的试验任务信息新建任务。

## 4 workflow节点组件的集成与调用

在传统的工作流系统中,一旦完成编码工作,对系统的功能进行扩展就变得非常棘手,做功能扩展影响域分析时,需要考虑功能改动对系统全局的影响,针对新功能做程序设计时,需要重新考虑系统内数据的流动走向、业务运行的流程变动,更重要的是,功能的改动极有可能会对系统内已有的业务数据造成不可挽回的影响。针对上述问题,本文设计了 workflow 中节点组件的集成与调用方法,实现节点程序组件的自动化调度,同时大幅降低了流程变更时系统维护的难度。

### 4.1 集成节点组件

在本文中,节点组件指能够独立运行的软件程序,workflow

引擎通过调用这些程序实现流程中各节点的功能。例如流程进行到了“气象分析”节点, workflow引擎本身无法完成气象分析工作,需要有专业的气象分析软件来完成,气象分析软件即为流程节点组件。

(1)节点组件库

为了实现组件集成,应建立节点组件库,在组件库内部署节点软件。组件库除基础的软硬件环境外还应包含全部节点程序组件以及任务实例数据库。同时,每个节点组件都应包含被调用的接口以及工作状态监听接口,以便于被 workflow系统调用。组件库的构成如图 3 所示。

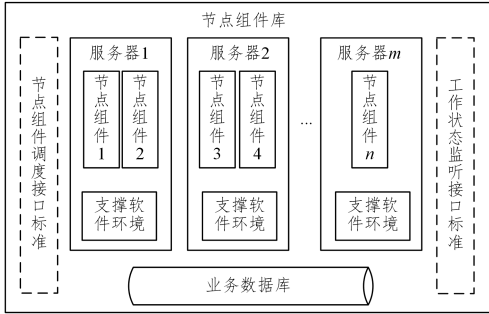


图 3 节点组件库构成图

Fig. 3 Composition of node component library

在遵守调用指令接收接口标准、工作状态监听接口标准的前提下,节点组件可以是任何语言开发的软件,可以部署在任何软硬件环境中,只要能够接收调度指令并且返回工作状态即可。

(2)业务数据库结构

业务数据库主要用于存储各个节点组件运行时所产生的业务数据,例如试验飞行过程中,地面系统实施处理接收到的载荷数据。如图 4 所示,试验任务 1 在执行过程中,调用节点组件 II 和 III 完成相关操作,节点组件 II 和 III 生产的业务数据存储至业务数据库,但为了能够区分是哪次试验在哪个节点产生的业务数据,就要求业务数据库不仅存储业务信息,还要存储试验任务编号等信息。

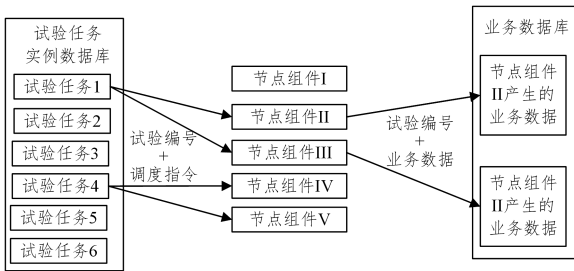


图 4 数据存储过程示意图

Fig. 4 Diagram of data storage procedure

因此,为了能够集成节点组件,业务数据库中至少应包含业务信息、试验编号信息。

4.2 调用节点组件

在浮空器飞行试验任务中,流程进行到“试验飞行”节点后,飞行器监控系统、载荷监控系统、通信系统、数据处理系统应该立即开始并行工作。如果是人为触发这些系统工作,则有可能因为操作失误导致试验执行受阻甚至试验失败,因此一个完善的工作流系统除了具备流程管理的能力,还应该能够调度流程节点执行任务。

节点组件调用过程主要涉及节点组件调度接口、工作状

态监听接口。节点组件调度接口通知节点组件执行流程节点对应的工作,执行状态监听接口用于接收节点组件返回的执行结果。节点组件调用接口中,应包含试验编号、业务指令信息,工作状态监听接口应包括节点组件编号、试验编号、业务执行结果。节点组件调用过程如图 5 所示。

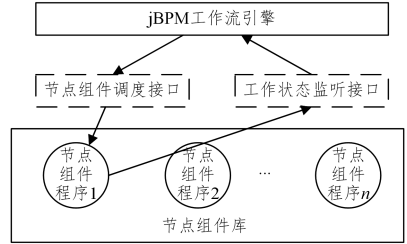


图 5 节点组件调用示意图

Fig. 5 Node component call diagram

工作流是由节点和有向弧组成的一种有向图,在设计流程的过程中明确了任务的走向,在任务调度过程中, workflow引擎实现了业务流的管理,因此在同一个试验任务内,调度顺序是明确可控的。需要解决的调度问题主要是由复杂业务流程引起的多次调度或并行调度程序组件产生的交互问题。

(1)decision 与 state 类型节点循环调度程序组件

decision 类型节点负责通过判断业务运行状态来决定流程走向,state 类型节点主要负责等待,流程运行至该节点后处于暂停状态,直到流程触发出向下流转时才跳出 state 节点。以“气象分析”节点为例,当流程执行到“气象分析”节点时, workflow系统调用气象分析程序组件,如果分析结果是可以飞行,则流程向下进行,流转到“试验飞行”节点,如果分析结果是风速过高无法飞行,则进入流程的“等待飞行”节点。“气象分析”为 decision 节点,需要节点组件返回分析结果,才能判断流程的下一步走向,“等待飞行”为 state 节点,需要节点组件告知等待多久才能执行下一次的气象分析。 workflow系统调度节点组件完成工作任务时,可能会循环调用多次,因此设计状态判断节点的调用与监听接口时,应考虑循环调用时需要的信息,具体如表 2 所列。

表 2 判断节点组件接口表

Table 2 Judge node component interface table

接口	发送方	接收方	接口元素名称	元素属性
节点组件 调度接口	工作流 系统	节点 组件	试验编号	试验唯一标识,如“2020-12”
			调度指令	开始/中止
			节点组件名称	节点组件唯一标识,如“气象分析软件 V1.1”
			试验编号	试验唯一标识,如“2020-12”
工作状态 监听接口	节点 组件	工作流 系统	节点组件名称	节点组件唯一标识,如“气象分析软件 V1.1”
			对应流程节点	组件对应流程节点名称,如“气象分析”流程节点
			业务执行结果	软件运行成功 转入等待节点指令“state”,以及跳出等待节点的条件。如“state:wait;500min” 软件运行失败 软件错误代码

(2)fork 与 join 节点并行调度程序组件

fork 类型节点是分支节点,在该节点之后,多分支业务并

行,分支路径在 join 节点汇合,直到分支路径都汇合之后,流程才继续向下流转。本文设计的流程中,“试验飞行”节点是 fork 节点,流程通过此处后,并行触发“飞行系统监控”“载荷系统监控”“通信系统接收数据”“地面系统实时处理数据”节点,直到这些节点都完成工作任务流转至“试验设备回收节点”后,流程才继续向下进行,若其中某一个或多个节点未执行至“试验设备回收节点”,业务流程不继续进行。在节点调度环节,“试验飞行”节点通过后, workflow 系统并行调度飞行系统监控、载荷系统监控、通信系统接收数据、地面系统实时处理数据对应的程序组件;在工作状态监听环节, workflow 系统要收集各分支节点组件的业务状态。基于上述分析,分支节点的调度与监听接口如表 3 所列。

表 3 分支节点组件接口表

Table 3 Branch node component interface table

接口	发送方	接收方	接口元素名称	元素属性
节点组件 调度接口	工作流 系统	节点 组件	试验编号	试验唯一标识,如“2020-12”
			调度指令	开始/中止
			节点组件名称	节点组件唯一标识,如“载荷系统监控软件 V1.2”
			所属集合	所属并行业务集合的唯一标识,如“2020-12-5”,其中“2020-12”表示试验编号,“5”表示并行业务分支的数量
工作状态 监听接口	节点 组件	工作流 系统	业务序列号	标识并行分支业务编号,如“2”,即为 5 个业务分支中的第 2 个
			试验编号	试验唯一标识,如“2020-12”
			节点组件名称	节点组件唯一标识,如“载荷系统监控软件 V1.2”
			对应流程节点	组件对应流程节点名称,如“载荷系统监控”流程节点
节点 组件	工作流 系统	节点 组件	所属集合	所属并行业务集合的唯一标识
			业务序列号	标识并行分支业务编号
			业务执行结果	软件运行成功 转入汇总表节点指令“join” 软件运行失败 软件错误代码

## 5 系统设计与实现

### 5.1 系统结构设计

本文结合 jBPM 应用模式及试验任务管理需求,将系统分为 3 层:表现层、逻辑层和数据库层。层次划分如图 6 所示。

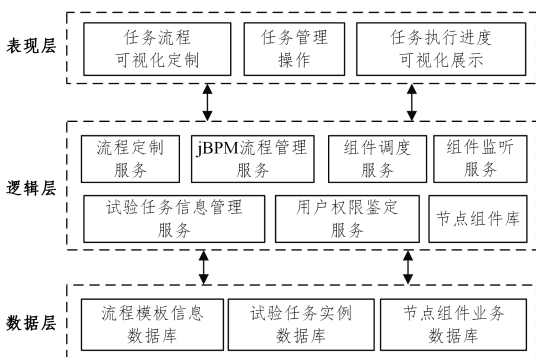


图 6 工作流系统架构图

Fig. 6 Workflow system architecture

表现层负责用户交互与数据展示,包括流程可视化定制、任务管理操作、任务执行进度可视化展示等。表现层在接收到用户操作指令后,将服务请求发送至逻辑层,接收逻辑层返回的请求处理结果与业务数据。

逻辑层是 workflow 系统的核心部分,基于 workflow 引擎提供流程管理服务与流程定制服务,基于本文研究的流程节点组件集成与调用方法,提供节点组件调度与监听服务,同时提供试验任务信息管理、用户操作权限鉴定服务。逻辑层在提供服务时,通过数据层获取各类业务数据,并将业务运行结果发送至数据库。

数据层为系统运行提供数据支撑,包括流程模板信息数据库、试验任务实例数据库以及节点组件业务数据库。流程模板信息数据库存储定制化的节点信息、流程模板信息,试验任务实例数据库存储试验任务的执行进度信息、各业务节点的执行结果信息,节点组件业务数据库存储各节点程序组件产生的业务数据。

### 5.2 系统实现

#### (1) 系统组成

本文的科学试验任务 workflow 管理系统采用 B/S+C/S 混合结构,开发语言采用 Java, Jsp, C++, workflow 引擎采用 jBPM4 开发实现,后台数据库为 Oracle。功能模块组成如图 7 所示。

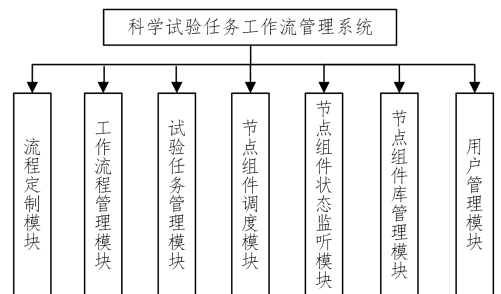


图 7 功能模块组成图

Fig. 7 Functional module composition diagram

**流程定制模块:**按照试验任务执行流程定制关键任务节点,通过可视化界面将任务节点组合为 workflow 引擎可识别的流程模板。

**工作流程管理模块:**基于 jBPM 为科学试验任务提供流程管理、流程跟踪、流程控制服务。

**试验任务管理模块:**管理科学试验任务的基本信息,包括按照流程模板新建任务、存储各任务节点的执行状态,并向用户提供任务流程管理可视化操作界面。任务管理人员通过此界面可控制任务进度、发送任务调度指令。

**节点组件调度模块:**根据用户发出的调度指令,通过调度接口,远程调用节点组件程序运行。

**节点组件状态监听模块:**接收各节点组件发送的状态信息,并将完成状态上报至 workflow 引擎。

**节点组件库管理模块:**为各节点对应的节点组件提供集成接口,记录、管理各节点组件的基本信息。

**用户管理模块:**提供用户权限鉴定、用户信息管理等服务。软件界面如图 8 所示。



图 8 工作流程定制界面截图

Fig. 8 Screenshot of workflow customization interface

(2) 运行效果

按需定制工作流程验证:在试验任务开始前,通过系统可视化定制试验流程,按照规划的流程节点开发程序组件,可支持流程的正常运行。

节点组件的可复用性验证:如果不同的试验流程中均包含同一流程节点,该节点可复用,支持不同的试验任务。

软件的可扩展性验证:当试验任务流程发生变更时,在原工作流程中添加、删除流程节点,同时复用原有的节点组件,即可支持新流程下的试验任务。

软件的易维护性验证:系统采用统一的调度与监听端口,节点组件程序的版本发生变化时,直接替换程序即可,试验任务的调度管理不受影响。相比传统的流程与节点紧耦合方式,本文方法大幅降低了软件的维护难度与成本。

结束语 本文中的科学试验任务 workflow 管理系统采用了工作流程按需定制与节点组件集成调用技术,基于 jBPM 工作流引擎为流程复杂的大型科学试验任务提供了规范的流程管理平台。与一般的工作流系统相比,本文中的系统将流程抽象为若干个独立的业务节点,按照业务节点间的逻辑关系构建业务 workflow,同时可集成各业务节点对应的程序组件,不仅实现了科学试验任务的全生命周期管理,而且将流程管理与任务调度紧密结合,实现了跨语言跨平台的任务调度与任务状态监视。运行结果表明,本文设计的流程定制与节点组件集成调用方法达到了预期效果,使 workflow 系统具有更好的通用性、可扩展性、易维护性以及按需定制业务流程的能力。在未来的研究中,对于运算量大的节点(如数据处理节点),拟采用分布式计算技术,将流程管理与分布式调度相结合,提升了系统的业务处理能力。

参 考 文 献

[1] TIAN W X, WANG C L, DOU S, et al. The Application of jBPM

in the Emergency Management of UAV Remote Sensing Network[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2016(5): 102-110.

[2] KHAN K U R, ZAMAN R U, REDDY A V. Integrating mobile ad hoc networks and the Internet: Challenges and a review of strategies[C] // Proceedings of IEEE/CREATE ~ NET/ICST COMSWARE 2008.

[3] The JBoss JBPM Team. jBPM Documentation[EB/OL]. [2020-05]. [https://docs.jboss.org/jBPM/release/7.38.0.Final/jBPM-docs/html\\_single/](https://docs.jboss.org/jBPM/release/7.38.0.Final/jBPM-docs/html_single/).

[4] XU A J. Research and implementation of jBPM workflow management system[J]. Computer Technology and Development, 2013, 23(12): 100-108.

[5] MA C H, ZHANG J, LIU S B, et al. On line customization system of remote sensing products based on JBPM[J]. Computer Systems & Applications, 2014, 23(3): 31-39.

[6] LING Z J. Research and design of workflow management system based on jBPM and Jpdl[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(8): 50-53.



**DOU Shuai**, born in 1987, postgraduate, engineer. His main research interests include ground-section system engineering and distributed computing.



**LI Chuan-rong**, born in 1956, postgraduate, professor, Ph. D supervisor. His main research interests include ground-section system engineering and so on.