

# 基于构件组装的远程实验教学系统研究及应用<sup>①</sup>

## Research and Application of Remote Experiment Teaching System Based on Component Composition

马 华 陈 振 (湖南涉外经济学院 计算机学部 湖南 长沙 410205)

**摘 要:** 提出了一种基于构件组装技术的远程实验教学系统的设计和实现方法。该方法中, 实验资源被封装成标准化构件, 作为资源重用和系统集成的基本单元。设计了基于构件组装的实验元模型(REM-Model), 并给出了实现该模型的远程实验教学系统框架(RET-System)。该框架中, REM-Model 被映射到 SoXPDL 模型, 由工作流引擎驱动构件组装, 从而支持远程实验教学项目的动态重构。最后, 介绍了操作系统远程实验教学系统的应用实例。

**关键词:** 远程教育 实验教学 构件组装 工作流

### 1 引言

当前, 教育信息化已经成为一个发展趋势, 基于 Internet 的远程实验教学正越来越受到重视。基于 Web 的虚拟实验室技术, 已经成为我们开发实验教学资源、开展远程实验教学活动的主要手段。随着各种仿真类和远程控制类虚拟实验室系统不断出现, 越来越多的实验资源被部署在网络环境中。然而, 由于缺乏统一的标准规范, 现有虚拟实验教学系统的异构性和自治性特点, 造成了实验资源的重复建设和浪费。同时, 开展远程教学的学科知识不断更新, 远程实验教学所依赖的信息技术也在不断发展, 因此, 对远程实验教学系统的动态性需求也越来越迫切。近年来, Web 服务和 workflow 技术<sup>[1,2]</sup>等被引入到虚拟实验室的研究中, 它们为开发可重用、动态的远程实验教学系统提供了新的思路。

构件组装技术是一种支持软件重构和进化的有效途径, 能够提供高效的模块化结构和协作能力<sup>[3]</sup>。因而, 我们提出了一种基于构件组装技术的远程实验教学系统的设计和实现方法, 包括一个基于构件组装的实验元模型(REM-Model)及其与 SoXPDL 工作流模型的映射机制; 一个实现实验元模型的系统框架(RET-System), 并在其基础上, 介绍操作系统远程实验教学系统中“进程调度实验”的实现过程。

### 2 实验元模型

#### 2.1 构件分类

为了便于资源重用和系统集成, 我们根据远程实验教学资源在实验过程中承担的不同角色, 将其规范化定义为松耦合的三类标准化构件:

(1) 页面构件。它基于标准的 HTML 表单(或 ASP.NET、JSP 技术)实现, 提供直接面向实验学习者的交互支持。页面构件又可分为 I/O 类和功能类两种。I/O 类页面构件通过与学习者交互获取实验所需参数, 并将参数提交给其它构件处理, 最后接收实验结果, 展示给实验学习者。相比之下, 功能类页面构件则具备高度的封闭性和自治性, 它以 Web 页形式支持学习者独立开展远程实验活动, 不依赖其它构件。

(2) 功能构件。它基于 Web 服务等分布式计算技术实现, 提供面向接口的特定远程实验项目的逻辑实现。它接收由连接器构件注入的实验参数进行实验处理, 返回实验结果。

(3) 连接器构件。它也基于分布式计算技术实现, 完成 I/O 类页面构件与功能构件的动态绑定。它接收页面构件提交的实验参数, 根据其 with 功能构件的组装规则, 实现参数映射和类型转换, 将实验参数注入功能构件, 激活实验仪器/设备或实验程序, 最后, 将实验结果转发至页面构件。为确保重用性, 应提供面向

① 基金项目:湖南省教育科学“十一五”规划课题(XJK06CXJ027,XJK08CXJ001);湖南省教育厅资助科研项目(07C425)

收稿时间:2009-03-04

不同分布式计算技术的专用连接器构件。

## 2.2 实验资源的构件化

### (1) 现有实验教学资源的构件化

当前, 仿真类、远程控制类虚拟实验程序/仪器/设备等, 大都支持面向接口的集成。Web 服务等分布式计算技术, 是实现这些实验资源构件化的主要途径。以下是一些常见的实验资源封装为功能类页面构件的方法: a) 基于 Labview 或 MatLab 等平台的虚拟实验仪器。它们通过浮动框架或子框架形式内嵌在功能页面构件中, 实现远程实验的统一管理。b) 基于 Flash 等技术实现的演示型实验。它们均可嵌入到标准的 HTML 页中, 直接提供给学习者使用。c) 可执行的虚拟实验程序(exe 程序)。它们经过 Applet 封装后, 可下载到客户端供学习者使用。

### (2) 新开发的实验教学资源的构件化

Web 服务的标准化、开放性特点, 使其在异构虚拟实验资源的整合过程中, 体现出越来越大的优势, 许多实验资源已具备了发布面向 Internet 的外部接口的能力。所以, 新开发的虚拟实验程序/仪器/设备, 将直接发布为基于 Web 服务的功能构件。

## 2.3 模型描述

虚拟实验应用的表现层被封装为基于 HTML 的页面构件, 逻辑层被封装为基于 Web 服务的功能构件。应用表现层与逻辑层的分离, 有利于实现系统的重构与资源的重用, 从而为系统的动态性提供有力支持。基于这些标准化构件, 本文定义了基于构件组装的远程实验元模型 REM-Model, 如图 1 所示。

REM-Model 中的各元素定义如下:

(1) 实验项目(Experiment Project, EJ): 由一个或多个页面构件组成, 提供远程实验活动的支持。实验项目是可重用的实验资源。

(2) 页面构件(Page Component, PC): 向学习者提供可视化的交互支持。实验资源经过封装成为页面构件。页面构件负责获取学习者提供的实验参数, 并显示实验结果。I/O 类 PC 将实验参数提交至连接器构件, 功能类 PC 则自提交。

(3) 连接器构件(Connector Component, CC): 根据组装规则, 完成参数映射和数据类型转换后, 调

用功能构件, 接收实验结果并返回给页面构件。

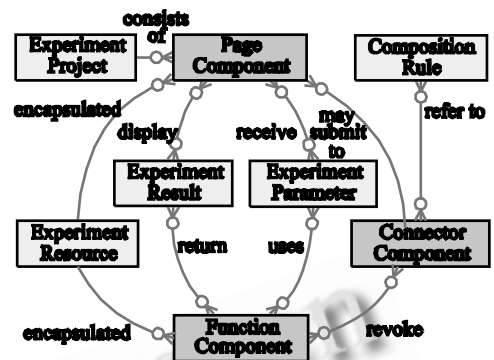


图 1 基于构件组装的远程实验元模型

(4) 功能构件(Function Component, FC): 是各类实验资源提供的面向接口的逻辑实现, 它接收由 CC 注入的实验参数, 实验处理后返回实验结果。

(5) 组装规则(Composition Rule, CR): 定义 PC 与 FC 的装配条件, 包括绑定关系和参数映射关系。

(6) 实验参数(Experiment Parameter, EP): 进行实验活动所需的输入参数。

(7) 实验结果(Experiment Result, ER): 实验活动产生的文字、图表或视频等输出结果。

(8) 实验资源(Experiment Resource, ES): 即已有的各类实验程序或实验仪器/设备等。

## 3 基于构件组装的远程实验教学系统框架

### 3.1 总体结构

REM-Model 中, 连接器构件依据构件组装规则, 粘接页面构件和功能构件。面向服务工作流<sup>[4,5]</sup>技术的引入, 可以为页面构件与功能构件间的数据流转和控制流转提供有力支持, 并大大提高系统的动态性。由此, 本文提出了面向服务工作流驱动的远程实验教学系统框架(RET-System), 如图 2 所示。

RET-System 中, 教师可在线完成实验项目的设计和修改。教师使用可视化的面向服务工作流建模工具 JaWEPlus<sup>[5]</sup>进行实验教学流程的设计, 检索实验资源构件库, 获取所需的页面构件、连接器构件和功能构件, 将它们以本地或远程调用的形式组装成一个远程实验教学 workflow, 组装规则被包含在以 SoXPDL 语

言<sup>[4]</sup>描述的面向服务工作流模型中。

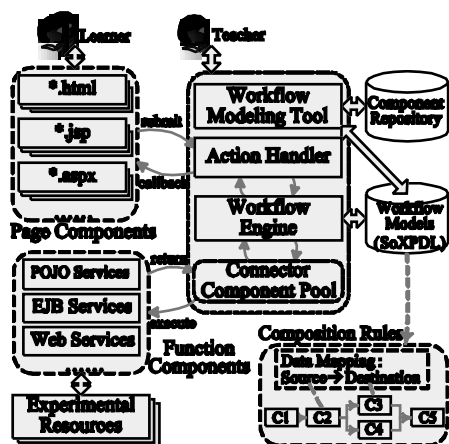


图 2 RET-System 总体结构

实验学习者进行远程实验时，通过页面构件进行远程实验，所有页面构件提交的请求均由 Action 处理器构件统一接收，并将其转发至 workflow 引擎进行处理，workflow 引擎读取 SoXPDL，并解析出与当前页面构件关联的组装规则，连同实验参数一起传递给池化的连接器构件。连接器构件线程根据组装规则，调用相应的功能构件，然后将实验结果返回给页面构件，再由页面构件推送给学习者。

### 3.2 实验元模型与 workflow 模型的映射

RET-System 中，使用 SoXPDL 作为构件组装的建模语言，它能够有效支持结构化和非结构化流程的动态变化，并保持了与 WfMC 的 XPDL 语言的兼容性，互操作性好<sup>[4]</sup>。基于构件组装的实验元模型 REM-Model 与 SoXPDL 的映射关系如表 1 所示。

表 1 REM-Model 与 SoXPDL 的映射关系表

REM-Model Elements	SoXPDL Elements
EJ	WorkflowProcesses/WorkflowProcess
PC	WorkflowProcess/Activity
FC	WorkflowProcess/Service(or Application)
CC	WorkflowProcess/Service(or Application)
CR	WorkflowProcess/.../Transition(from/to) & WorkflowProcess/.../DataField
EP	Application/.../FormalParameter(Mode="IN")
ER	Service(or Application)/.../FormalParameter (Mode="OUT")

实验项目 (EJ) 被建模为 workflow (Workflow Process)。页面构件 (PC) 以普通活动 (Activity) 建模，其 URL 地址则由扩展属性 (ExtendedAttribute) 定义。Web 服务形式的功能构件 (FC) 和连接器构件 (CC)，被建模为服务 (Service)，以其它接口提供的 FC 和 CC 将作为外部应用 (Application) 调用。组装规则 (CR) 中构件装配关系将由转移 (Transitions) 的属性 from 和 to 存储，通过将 workflow 相关数据按照绑定的索引顺序与 Service 或 Application 的实际参数关联，实现组装规则中参数映射关系的定义。实验参数 (EP) 和实验结果 (ER) 则是分别利用 Service 或 Application 的 IN 类型和 OUT 类型的形式参数进行建模。

### 3.3 构件组装的实现

通过将 REM-Model 映射到 SoXPDL 模型，远程实验教学系统中实验项目的运行，就转变为在 workflow 引擎驱动下构件组装的实现过程，如图 3 所示。

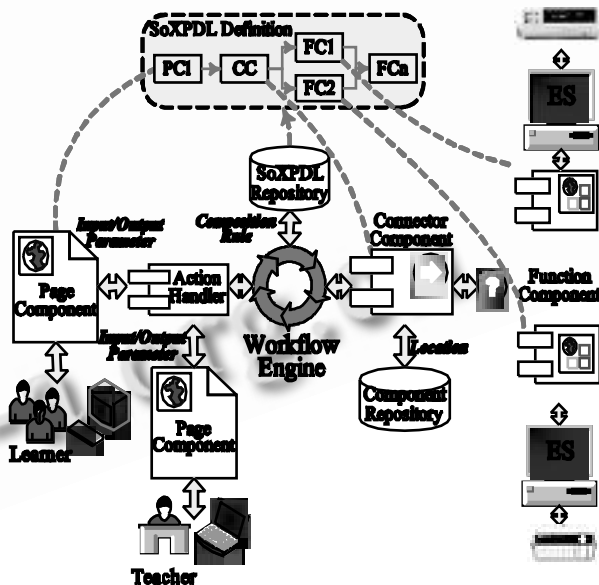


图 3 构件组装的实现过程

在实验开始前，教师先通过 workflow 建模工具 JaWEPlus 对实验教学 workflow 进行建模，即对实验项目所涉及的页面构件、连接器构件和功能构件进行装配。实际情况中，一个实验可能允许有多种不同的算法实现，则可在 SoXPDL 建模时，在连接器构件的后置条件设置时，使用 XOR-SPLIT 分支类型，定义可能使用

的各种算法实现的功能构件，并定义一个 workflow 相关数据(Workflow Relevant Data)变量标识算法类型。实验运行过程中，实验学习者对实验算法的选择，将作为输入参数传递到 workflow 引擎。workflow 引擎读取 SoXPDL 库中当前项目的工作流模型，并从中解析出组装规则，以驱动连接子构件在运行时动态绑定相应算法的功能构件。

#### 4 应用实例

RET-System 已被应用于由湖南省教育科学十一五规划课题资助、自行研制的“操作系统”课程远程实验教学系统中。下面以“进程调度实验”为例，介绍其实现过程。

##### (1) 实验流程建模

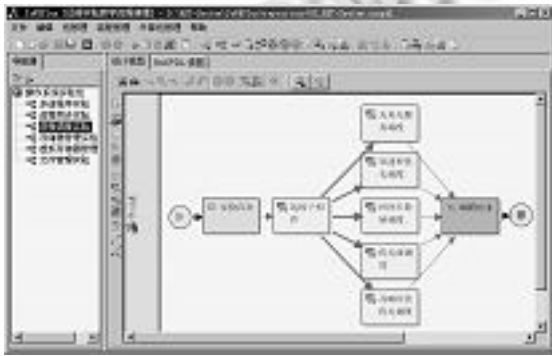


图 4 进程调度实验的流程建模

基于 JaWEPlus 定义的实验流程如图 4 所示。本实验中，实验首页构件(Index\_C)通过连接子构件(Connector\_C)的映射，可实现与“先来先服务调度”(FIFO\_C)、“短进程优先调度”(SPF\_C)和“优先级调度(Priority\_C)”等算法的功能构件进行组装，这些功能构件均基于 Web 服务开发，在 workflow 相关数据变量(arithmeticID)的控制下，可实现动态调用。实验结果经 workflow 引擎转发返回到实验首页构件。

##### (2) 构件组装规则的定义

workflow 模型 SoXPDL 中记录了该实验相关构件的组装规则，构件间的装配关系定义片断如下：

```

<Transition From="Index_C" Id="..." To="Connector_C">
</Transition>
<Transition From="Connector_C" Id="..." To="FIFO_C">
<Condition Type="CONDITION">
arithmeticID == "FIFO"</Condition>
</Transition>

```

实验首页构件(Index\_C)以数组类型接收学习者提供的各进程名称、到达时间、服务时间等信息，并支持学习者对算法的选择，由 workflow 相关数据(arithmeticID、arriveTime 和 serveTime 等)存储这些实验参数，arithmeticID 的 SoXPDL 定义片断如下：

```

<DataField Id="..." Name="arithmeticID">
<DataType>
<BasicType Type="STRING"/></DataType>
<Description>进程调度算法编号</Description>
</DataField>

```

组装规则中的参数映射定义片断如下：

```

<Activity Id="Connector_C" Name="连接子构件">
<Implementation>
<Tool Id="..." Type="APPLICATION">
<ActualParameters>
<ActualParameter>arithmeticID</ActualParameter>
<ActualParameter>processName</ActualParameter>
.....
</ActualParameter>
</Tool>
</Implementation>
.....
<Activity/>

```

##### (3) 实验的运行



图 5 进程调度实验项目的页面构件

这样，实验构件装配完成，新的实验项目即可提供给学习者使用。本系统中，页面构件基于 ASP.NET 开发，页面构件显示的实验结果包括各进程的开始执行时间、完成时间、周转时间、带权周转时间，以及此次进程调度的平均周转时间和平均带权周转时间。运行时的页面构件如图 5 所示。该页面构件根据进程

的开始执行时间和完成时间, 基于 GDI+ 技术动态绘制出各进程调度时序图。

## 5 结论

本文提出的基于构件组装技术构建远程实验教学系统的方法, 实现了远程实验教学应用表现层与逻辑层的分离。标准化的页面构件、连接子构件和功能构件, 大大提高了实验资源的重用性。通过将实验元模型映射到 SoXPDL 模型, 在可视化 workflow 建模工具的支持下, 远程实验项目的创建和修改过程变得简单和直观。运行时流程版本的控制功能, 为远程实验流程的动态修改提供有效支持。RET-System 中页面构件与功能构件间的数据流和控制流, 由 workflow 引擎统一驱动, 为远程实验教学系统提供了可靠的动态性支持。RET-System 遵循标准的工作流规范和 Web 服务接口规范, 具有良好的互操作性和开放性。操作系统远程实验教学系统的成功应用, 表明了本文方法的有效性和可行性。基于构件组装的远程实验教学系统中, 构件组装的事务一致性保证机制、访问控制机制, 以及构件库的管理机制将是我们进一步的研究内容。

## 参考文献

- 1 Buiu C, Moanta N. Using Web services for designing a remote laboratory for motion control of mobile robots. Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2008. Chesapeake, VA: AACE, 2008.1706 – 1715.
- 2 Evan FB, Paul AJ, Martin DL, et al. VLAB: Web services, portlets, and workflows for enabling cyber-infrastructure in computational mineral physics. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2007,163: 333 – 346.
- 3 In-Gyu K, Doo-Hwan B, Jang-Eui H. A component composition model providing dynamic, flexible, and hierarchical composition of components for supporting software evolution. The Journal of Systems and Software, 2007,80:1797 – 1816.
- 4 马华,张红宇,李建华.支持服务协作的工作流模型和建模语言.计算机应用, 2007,27(2):409 – 412.
- 5 马华,张红宇.一个支持服务协作的工作流管理系统.计算机系统应用, 2007,16(6):5 – 8.