

# Smart SEP: 基于 Web 图形操作记录与回放的在线同步教学平台

陈德健 孙艳春 黄 昱

(北京大学信息科学技术学院软件研究所 北京 100871) (高可信软件技术教育部重点实验室 北京 100871)

**摘要** 在 Web2.0 和云计算的影响下,基于浏览器的在线教学平台发展迅速,在远程教学、课堂教学和协作学习等领域都产生了重大影响。然而,当前的教学平台很少关注基于 Web 图形的同步教学,它对于教学内容形成过程的展示、师生互动等十分有意义。在分析当前在线教学的 3 类主要应用背景的基础上,提出了一种基于 Web 图形操作记录与回放的在线同步教学方法。该方法一方面通过对演示者的操作进行高保真的记录、实时同步到各个观看者的终端并对操作进行自适应的回放,来实现基本的同步教学;另一方面通过交互式的同步控制来保证正常参与者和迟到者都能可靠地、有序地参与到在线教学中。在此基础上,实现了在线同步教学平台 Smart SEP(Smart Synchronized Education Platform)并进行了详尽的实例研究,证明了所提方法具有可行性,实现了同步的、动态的、交互的教学过程。

**关键词** Web 图形,记录回放,同步教学

中图分类号 TP311.5 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.11.007

## Smart SEP: An Online Synchronized Education Platform Based on Graphical Web Operation Record and Replay

CHEN De-jian SUN Yan-chun HUANG Gang

(Institute of Software, School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)

(Key laboratory of High Confidence Software Technologies (Peking University), Ministry of Education, Beijing 100871, China)

**Abstract** Influenced by Web 2.0 and cloud computing, online education platforms based on Web browser develop rapidly and have great impact on remote education, in-class teaching and collaborative learning. However, most of current education platforms seldom focus on synchronized education based on Web graphics, which is very important for process displaying and learning interaction on teaching materials. We firstly analyzed three major application fields of current online education, and then put forward an online synchronized education method based on graphical Web operation record and replay. On the one hand, the method supports basic synchronized education by high-fidelity operation record on presenter's terminal and self-adapting operation replay on audience's terminal. On the other hand, it also ensures reliable and orderly online education for both normal participants and late-comers by interactive synchronization control. Based on the method, we implemented Smart SEP (Smart Synchronized Education Platform) and gave detailed case study, which performs synchronized, dynamic and interactive education and verifies the feasibility of our method.

**Keywords** Web graphics, Record and replay, Synchronized education

## 1 引言

自互联网出现以来,在线教学不断地改变着人们的学习方式。近年来,随着 Web2.0 和云计算浪潮的出现,在线教学也出现了一些新的形式。大规模开放教学平台和云课堂是当前在线教学的两个新兴和热门的研究领域。大规模开放教学平台<sup>[1]</sup>的目的是为广大的互联网用户提供一个免费的、系统的、社区化的远程学习互动平台;而云课堂<sup>[2]</sup>则研究如何把云计算技术应用于课堂教学中,促进师生之间的教学互动,改善

教学的效果。此外,协同工作的理念也对在线教学产生了一定的影响。学习者可以通过协同工作空间完成部分的协作学习任务,这相比于异步学习在交流效率上有了-定的提高。

无论是远程教学、课堂教学还是协作学习,目前各类平台都很少去关注基于 Web 图形的同步教学。然而,它对于在线教学十分有意义,解决了教学过程中对于教学内容形成过程的展示、师生之间对于教学内容的互动等方面的问题。

在上述背景下,本文提出了一种基于 Web 图形操作记录与回放的在线同步教学方法,并实现了在线同步教学平台

收稿日期:2013-09-16 返修日期:2013-11-14 本文受国家重点基础研究发展规划 973 资助项目(2011CB302604),国家自然科学基金联合基金资助项目(U1201252),国家高技术研究发展计划 863 资助项目(2011AA01A202),国家自然科学基金项目(61073020),国家自然科学基金创新研究群体科学基金(61121063)资助。

陈德健(1989-),男,硕士生,主要研究方向为软件工程、服务计算;孙艳春(1970-),女,副教授,主要研究方向为软件工程、服务计算、计算机支持的协同工作,E-mail:sunyc@sei.pku.edu.cn(通信作者);黄昱(1975-),男,教授,主要研究方向为软件工程、分布式计算、中间件。

Smart SEP。

本文第2节介绍了背景和相关工作;第3节具体讨论本文所提出的在线同步教学方法;第4节通过实例介绍了Smart SEP平台如何促教学交互;最后总结全文并展望未来工作。

## 2 相关工作介绍

本文相关工作主要有两部分:一部分是领域需求,即在线教学;另一部分是技术基础,即操作记录与回放。

### 2.1 在线教学的相关工作

在线教学的内容十分广泛,凡是以教学为目的、应用互联网技术所进行的活动都可以视为在线教学。我们从在线教学的3类主要应用背景进行相关工作的介绍,包括远程教学、课堂教学和协作学习。

(1)远程教学。远程教学是当前在线教学的一种主流形式。它经历了3个明显的阶段:第一阶段是非互动多媒体资源,如光盘、讲义等;第二阶段是网络化本地应用,如多媒体电子教室、远程桌面等;第三阶段是基于浏览器的教学平台,它体现了云-端融合思想,具有资源获取便利、可移植性强、成本低等优点,如目前流行的MOOC。

MOOC<sup>[1]</sup>(Massive Open Online Course,大规模开放在线课程)是远程教学的最新发展趋势。它从开放式教育资源发展而来,针对大众人群,人们可以通过浏览器免费进行课程学习。MOOC典型的例子有edX<sup>[3]</sup>,Coursera<sup>[4]</sup>和Udacity<sup>[5]</sup>,它们都是由美国著名高校发起成立,并于2012年对全球用户免费开放。它们为我们提供了一个免费开放的学习环境,包括视频讲义等多媒体资源、即时反馈的问题测试和互动的学习社区。然而,MOOC没有支持在线的图形化教学工具,如在线建模、在线IDE等;同时它们也缺少实时互动的学习环境。

(2)课堂教学。课堂教学依然是当今教学的主流方式,它经历了3个阶段:第一阶段是以黑板、实物投影为代表的早期课堂;第二阶段是以计算机、电子投影仪相结合的多媒体教室;第三阶段是数字化互动教室,学生可以通过手机、平板、笔记本等终端与教师进行互动,如Notemate云课堂。

Notemate云课堂<sup>[6]</sup>是清华大学软件学院的“挑战杯”项目,将云计算技术和智能终端应用于教育信息化。它通过平板电脑上定制的教学平台,为师生互动、课堂学习提供了一种新的方式,例如学生可以即时获得教师的课堂讲义、进行标注和对课程内容进行提问;教师可以获得同学提问的统计信息,进行板书或开展实时课堂测试。然而,Notemate云课堂只是一种课堂教学的辅助系统,并只针对ppt、pdf等讲义进行标注,它实际上也无法对教学内容的形成过程、原理进行展示。

(3)协作学习。协作学习<sup>[7]</sup>是一种通过小组或团队的形式组织学生进行学习的一种策略,在课堂和课后学生之间的互动充当着重要的角色。它也经历了3个阶段:第一阶段是传统的协作学习,如面对面、电话等方式;第二阶段是非实时网络协作学习,包括邮件、论坛、博客等;第三阶段是实时网络协作学习,例如Google Docs等协同工作空间。

Google Docs是一个在线的办公软件,包括在线文档、电子表格、演示文稿3类,支持文档的共享、协同、存储等。它虽然可以应用于协作学习,在知识构建等方面的同步协作起一

定的作用,但对图形化协同的应用范围很小,局限于演示文稿的图形编辑,不支持如图形化建模等的协同。

综上所述,无论是在远程教学、课堂教学还是协作学习,当前的解决方案都缺少对基于Web图形的同步教学的支持。它对于在线教育是很有意义的:第一,对于课堂教学,它可以对教学内容的形成过程进行展示、提供交互式教学、为迟到学生提供快速同步、浏览历史教学过程的过程;第二,对于远程教学,它提供类似于“电子黑板”的功能,更加逼真地模拟现实课堂;第三,对于协作学习,它让学生在课后利用所记录的教学资源进行学习,并且支持小组成员之间对教学内容的交互式协作学习。

### 2.2 操作记录与回放的相关工作

(1)基于本地应用的操作记录与回放。Smart Tutor<sup>[8]</sup>是由北京大学软件研究所研发的基于可复用编程过程的工具系统,能够实现Eclipse操作的记录与回放。基于Smart Tutor,我们进一步实现了基于Eclipse操作记录与回放技术的远程同步教学工具<sup>[9]</sup>。然而,基于本地应用的平台难以适应当前Web2.0和浏览器技术的迅速发展,难以符合“云-端”融合的趋势。因此,我们把关注点从基于本地应用的平台转移到基于浏览器的平台。

(2)基于Web的操作记录与回放。CoScripter<sup>[10]</sup>是一个可以对Web业务流程进行捕获、共享、自动化和个性化的系统,更早的版本把该系统称作Koala<sup>[11]</sup>。它通过捕获用户在浏览器的动作、以自然语言呈现动作和自动在浏览器上回放,来简化基于Web的工作流程。iMacros<sup>[12]</sup>是iOpus公司的一个商业产品,它同样提供了记录和回放用户在浏览器上操作的功能。然而,CoScripter和iMacros都只提供了文本框、按钮、下拉框等业务流程常用的表单元素,不能对图形元素这种复杂的操作进行记录与回放,如图元大小的调整、位置的移动等,因此不适用于基于Web图形的教学。这正是本文所研究的一个重点和技术基础。

## 3 方法介绍

本文提出了一种基于Web图形操作记录与回放的在线同步教学方法。与传统的讲义发布、教学投影相比,本文方法支持同步的、动态的交互式教学;与远程桌面相比,本文方法是基于Web图形操作记录与回放技术,而非屏幕录像技术。

### 3.1 方法概述

本文的方法由两部分组成:1)基于图形的操作记录与回放部分,2)交互式的同步控制部分。其中,第一部分主要解决如何进行高保真的图形操作记录和自适应的图形操作回放;第二部分主要解决正常参与者和迟到者两类用户的交互式同步控制的问题。总体方法如图1所示。

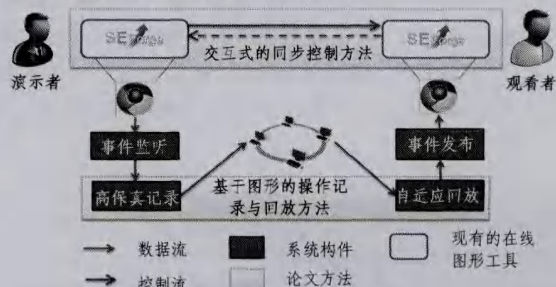


图1 本文的总体方法

### 3.2 基于图形的操作记录与回放

图形的操作比浏览网页等表单的操作要复杂,不仅需要考虑图形操作本身的复杂多样,还需要考虑图形环境的变化,例如图元位置、大小的变化。

基于图像的操作记录与回放方法包含两个部分。针对图形操作的复杂性,操作的记录必须是“高保真”的;针对图形环境的复杂性,操作回放必须是“自适应”的。

#### 3.2.1 高保真的图形操作记录

图形操作复杂多样,涉及图元的增删、关系建立、属性修改和位置大小调整等方面,每一类操作都包含一系列的动作事件。为了准确反映用户与浏览器的交互行为,一方面需要对操作进行细粒度的监测与封装以保证“高保真”,另一方面需要对大量的原始操作记录进行优化以保证记录的质量。

(1)图形操作的监测。其主要任务是监听用户在浏览器上的行为。目前主流的浏览器脚本语言通过事件处理模型实现跟浏览器之间的交互。为了准确地反映图元操作,记录的动作事件是“高保真”的,例如鼠标单击,需要记录 mousedown,

mousemove, mouseup 等事件,以保证动作记录的完整性。

动作事件序列用  $E[1], E[2], \dots, E[t], \dots$  表示,其中  $E[t]$  表示当前动作事件并随着时间不断推移。

(2)图形操作的封装。其主要任务是根据上下文语义,把动作事件封装成高层操作。例如鼠标事件 mouseup, 可以代表单击图元、拖动图元、改变图元大小等操作过程的一部分。因此,高层操作的封装是必要的,它反映了用户操作本身的内涵。表 1 给出了操作类型映射的一个例子。

高层操作序列用  $S[1], S[2], \dots, S[i], \dots$  表示,其中  $S[i]$  表示当前高层操作,由元组  $\langle A, L, P \rangle$  描述,  $A$  表示属性集合,  $L$  表示位置序列,  $P$  表示操作类型。操作类型  $P$  通过上下文语义映射得到,上下文语义包括事件序列  $E$  和约束条件  $C$ 。封装函数 ENC(Encapsulation)的定义如下:

$$ENC; C, E[t], E[t-1], \dots, E[t-k+1] \rightarrow P$$

其中,  $k$  是封装阶数,表示通过最近的  $k$  个动作事件序列(包括当前)来决定操作类型  $P$ 。一般地,  $k=3$  或  $4$  就可以实现准确的映射。

表 1 操作类型映射表 ENC(以鼠标事件 mouseup, 封装阶数  $k=3$  为例)

事件序列(E) *			约束条件(C)	操作类型(P)
$E[t-2]$	$E[t-1]$	$E[t]$		
Mouse down	Mouse move	Mouse up	元素坐标发生变化	拖动图元
Mouse down	Mouse move	Mouse up	元素宽度、高度发生变化	调整图元大小
—	Mouse down	Mouse up	Event. button=1	左键单击
—	Mouse down	Mouse up	Event. button=2	右键单击

注:事件序列中,  $t$  表示当前时刻,  $E[t]$  表示当前动作事件,  $E[t-1]$  表示前一个动作事件,以此类推

(3)图形操作的优化。其主要任务有两类优化。第一,冗余操作的去除。“高保真”指并非记录全部操作,而是有效操作。例如,图元拖动过程中的一系列鼠标移动操作,只有在起点和终点的操作是有效的,中间操作可以合并优化。第二,图元位置变化的自适应。因为回放环境与记录环境存在差异,如屏幕分辨率、浏览器窗口大小等,如果采取绝对位置容易引起图元布局的不一致。本文采取相对位置来解决此问题,即记录拖动前后的偏移量,以修正不同环境下图元位置显示的差异。

优化函数 OPT(Optimization)的定义如下:

$$OPT; S'[i], S[i-1], \dots, S[i-m] \rightarrow S[i]$$

其中,  $S'[i]$  表示原始高层操作;  $S[i]$  表示优化后的高层操作;  $m$  是优化阶数,表示通过最近的  $m$  个高层操作序列(不包括当前)来优化当前高层操作;  $S[i] \in \emptyset$  表示操作已被优化合并。

以上图形操作记录过程可以用以下算法描述。

#### 算法 1 高保真的图形操作记录算法

输入:动作事件序列  $E[t], t=1, 2, \dots$

输出:高层操作序列  $S[i], i=1, 2, \dots$

①实时监测浏览器动作事件

② $t \leftarrow 1, i \leftarrow 1$

③WHILE 捕获动作事件  $E[t]$  DO

④求得前动作事件所作用元素的属性集合  $A$ , 位置序列  $L$

⑤求出当前动作事件的操作类型:

$$P \leftarrow ENC(C, E[t], E[t-1], \dots, E[t-k+1])$$

其中,  $k$  为封装阶数

⑥原始高层操作  $S'[i] \leftarrow \langle A, L, P \rangle$

⑦求出优化后高层操作:

$$S[i] \leftarrow OPT(S'[i], S[i-1], \dots, S[i-m])$$

其中,  $m$  为优化阶数

⑧IF  $S'[i] \in \emptyset$  THEN  $i \leftarrow i+1$

⑨ $t \leftarrow t+1$

⑩ENDWHILE

#### 3.2.2 自适应的图形操作回放

图形操作的回放有 3 个步骤:步骤一,把需要回放的高层操作转化成相应的动作事件;步骤二,确定执行事件的目标元素,对目标元素进行定位;步骤三,创建事件对象并发布,在目标元素上执行事件。其中,步骤一通过 3.2.1 节“图形操作的封装”部分建立的操作类型映射表逆向分解,步骤三通过浏览器脚本语言的事件发布机制完成。步骤二的元素定位会因为网页的动态变化而产生偏差,需要“自适应”的定位策略,其内容将在本节余下部分重点讨论。

一个元素的特征包含两个方面:一方面,元素有自己的属性和文本,其反映元素本体信息,称作内容特征;另一方面,元素位于 DOM 树中,有所属的层次,其反映元素位置信息,称作环境特征。元素定位需要综合考虑内容特征和环境特征,但对于不同类型的元素,所考虑的侧重点不同。“自适应”的回放能够在两者之间作出合理的权衡。

(1)内容特征主导的表单元素定位。表单元素主要指链接、按钮、文本框、下拉框等进行页面浏览、提交数据等目的所交互的元素。它的主要特点是以数据为中心,例如链接地址、按钮文字、下拉框内容等,这些数据受布局、样式等影响很小。通过对数据的区分,我们可以很容易地把目标元素与其他元素区分开来。因此表单元素的定位应该以内容特征为主导。

(2)环境特征主导的图形元素定位。图形元素主要指矩形、椭圆、箭头等简单图元以及复合型的复杂图元。它的主要特点是以位置为中心,大量的属性都用以描述图元所处的环境,如大小、位置坐标、嵌套内容等,它们受布局、样式等影响很大,因此基于内容特征定位会非常不稳定。然而,图元之间

的嵌套层次、相互关系却是稳定的,不随位置坐标、大小等的变化而变化。因此图形元素的定位以环境特征为主导。

以上的表单元素定位和图形元素定位可以统一用以下算法来描述。

### 算法2 自适应的元素定位算法

输入:当前页面的 DOM 树 T;下一个目标元素的描述,包括目标元素的属性集合 A、位置序列 L。其中元素名称 tag、元素文本内容 text 均属于 A;模型的各个参数值,包括内容特征权重  $W_C$ 、环境特征权重  $W_P$ 、特征阈值 F 以及各个属性类目的特征值  $f_i (i=1, 2, 3, \dots)$

输出:成功定位的元素  $n_s, n_s \in T$

①求出 T 中所有元素名称等于 tag 的元素集合,该子集为 N

②WHILE  $N \neq \emptyset$  DO

③遍历 N 得到下一非空元素  $n, n \in N$

④ $N \leftarrow N - \{n\}$

⑤计算元素 n 的内容特征相似度 C

设 n 的属性集合为  $A'$ , A 中元素个数为 m,对于 A 中每个元素  $a_i (i=1, 2, \dots, m)$ ,与  $A'$  中相应的属性进行匹配,特征值为  $f_i (f_i$  为任意正整数,关键属性比非关键属性特征值大),匹配值为  $b_i (0 \leq b_i \leq 1, 0$  为完全不匹配,1 为完全匹配)。计算 C 的公式如下:

$$C = \frac{b_1 * f_1 + b_2 * f_2 + \dots + b_m * f_m}{f_1 + f_2 + \dots + f_m}$$

⑥计算元素 n 的环境特征相似度 P

设 n 的位置序列为  $L'$ ,长度为  $l'$ ,L 的长度为 l。从 L 转化成  $L'$  的最少步数设为 d。计算 P 的公式如下:

$$P = \frac{\max(l, l') - d}{\max(l, l')}$$

⑦计算总体相似度 S

如果 n 是表单元素,则设置  $W_C > W_P$ ;如果 n 是图形元素,则设置  $W_C < W_P$ 。计算 S 的公式如下:

$$S = W_C * C + W_P * P$$

⑧IF  $S > F$

⑨THEN  $n_s \leftarrow n$ ,算法结束

⑩END WHILE

## 3.3 交互式的同步控制

教学是一个互动的过程,各个参与者需要对同一个教学内容进行操作,这就需要对几个问题进行考虑。对于正常的参与者,在交互操作中需要保证图形在各个终端显示一致,需要解决状态一致性控制问题;多个人同时操作会带来教学混乱以及操作冲突等问题,因此需要解决权限控制的问题。对于迟到者,有的学生希望能看到错过的所有教学过程,有的学生则希望能尽快地同步到当前状态,这需要针对不同类型的用户提供不同的迟到者同步机制。

### 3.3.1 正常参与者的同步

类似于文档中的“所见即所得”(WYSIWYG)<sup>[13]</sup>,Web 图形的同步也要求用户看到的图形就是实质的图元模型,并且在获得权限之后,对所见图元的修改能产生真实的效果,同时同步到其他用户的终端。

(1)状态一致性控制。为了保证图形操作的状态一致,可以通过 Notification 和 HeartBeat 机制来保证。Notification (通知)是一种主动同步机制,可以由浏览器或服务器任意一端发出,需要另一端返回确认消息。利用通知机制,服务器和浏览器之间可以通过“握手协议”来确认操作信息的发送与接受,服务器通过收集各个终端的确认信息来进行同步的监测。HeartBeat(心跳)<sup>[14]</sup>是一种被动同步机制,由服务器定时发送检测信息,浏览器返回确认消息。利用心跳机制,服务器可以定时更新各个终端的连接状态,来及时处理离线的异常情况。

Notification 和 HeartBeat 都可以通过基本网络通信中的服务原语来实现。

(2)权限控制。为了保证教学过程的有序、稳定,需要设置两方面的权限:管理权和展示权。管理权使得管理员具有用户管理、课堂管理等权利,通常是教师具有管理权。展示权属于课堂管理的一部分,它规定了某一时刻哪个终端可以对浏览器进行操作并同步到其他终端;为了保证教学的可控性,同一时刻最多只有一个终端具有展示权;管理员可以授予和撤回展示权。为了保证安全性,所有的权限信息均存储在服务器上,并由服务器进行权限仲裁。

### 3.3.2 迟到者的同步

教学过程中,参与者迟到有时候难以避免。针对不同类型的迟到者,本文提出了“快速回放”和“状态跳转”两种基本的同步机制,其他复杂的同步可以通过两者结合来实现<sup>[15]</sup>。

(1)快速回放的同步机制。对于想了解教学历史的迟到者,快速回放机制提供了教学历史的概览。它假设操作序列是以线性顺序回放,在 3.2.2 节中介绍的基本回放机制是通过对回放速度的控制来实现的。

(2)状态跳转的同步机制。对于想尽快赶上当前教学进度的迟到者,状态跳转提供了一系列非关键操作的机制。它假设操作序列是以非线性顺序进行回放,实行状态的直接跳转,但必须符合拓扑排序。状态跳转通过数据替换来实现,例如,从状态 S 跳转到状态 T,只需要把 S 中的数据替换成 T 中的数据。对于图形操作而言,图形集中在一个画板上,变化通常是局部性的,可以视为 DOM 树的一个子树的变换,因此可以通过替换子树的方法来实现。文献<sup>[16]</sup>提供了一种基于编辑距离的 HTML 树匹配算法,用以提高子树识别的准确性。对于表单操作而言,页面会经常发生跳转,而变化是全局性的,状态跳转可能不适用,所以需要快速回放机制。因此,对于表单操作和图形操作混合的操作序列,需要同时使用快速回放和状态跳转两种机制,来保证状态同步的正确性和时效性。

## 3.4 方法的适用范围

本文方法的基础是 Web 图形的操作记录与回放技术,因此它有特定的适用范围。首先,该方法适用于浏览器,是平台无关的,不能直接应用于本地应用程序。其次,该方法基于 DOM 树分析和事件驱动机制,因此对于 Flash、Canvas 等内部图形无显式 DOM 结构的平台不适用。最后,该方法针对一类符合显式 DOM 结构的图形类教学平台,因此是一个可扩展框架,通常以浏览器插件的形式实现。

## 4 实例研究

在实例研究中,我们基于上述方法实现了在线同步教学平台 Smart SEP。Smart SEP 采用了北京大学软工空间(SE-Forge)<sup>[17]</sup>中的在线 UML 建模作为示例工具,该工具采用 SVG(Scalable Vector Graphics,可缩放矢量图形)来实现,提供了软件工程中常用模型的在线建模功能。

我们通过师生使用 SEForge 中在线 UML 建模工具进行软件工程远程教学的场景,来说明 Smart SEP 是如何促进师生之间同步交互教学的。该场景有以下两个假设:第一,教师与学生之间位于不同的场所,但都已经登录到在线同步教学平台;第二,平台给用户提供了常用的交流工具,如在线语音或聊天面板。

以面向对象课程的教学为例,如果教师希望通过网络来了解学生的学习情况并进行指导,一般地,可以选择以下几种方式:

- (1)通过提供讲义或解释性文档
- (2)通过视频或远程桌面展示建模过程
- (3)通过使用 Google Docs 等协同工作空间

第一种方式既非动态又非互动,只是一个静态内容的展示;第二种方式具有动态性,但它只是教师到学生的单向展示,不能实现师生之间对模型的互动修改;第3种方式具有动态性,但它只能是对于文字、数据层次上的协同,不具有图形、模型层次上的动态互动。

本文的在线同步教学平台提供了一种既有动态性又有交互性的教学方法。教学过程如下:

(1)教师登录到 Smart SEP 平台,新建“面向对象”课程,并等待学生加入。其中,同步教学平台是通过浏览器插件的形式实现。

(2)学生登录到 Smart SEP 平台并加入课程。待学生加入完毕,教师打开 SEForge,选择“设计服务”→“在线 UML 建模”→“Start new UML class diagram...”。SEForge 的界面如图 2 所示。

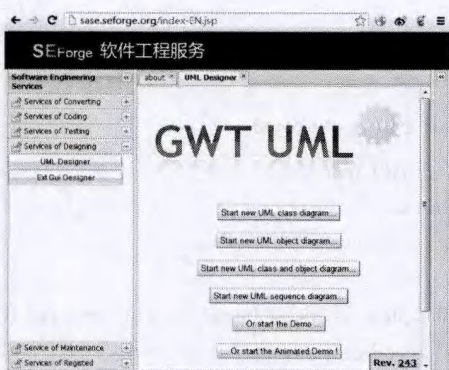


图 2 SEForge 界面示意图

(3)教师建立初步的类图模型,如图 3 上半部分所示,建模过程实时同步并展示到各个学生的终端。此时,教师通过语音提问:“请问此模型中存在什么问题?”

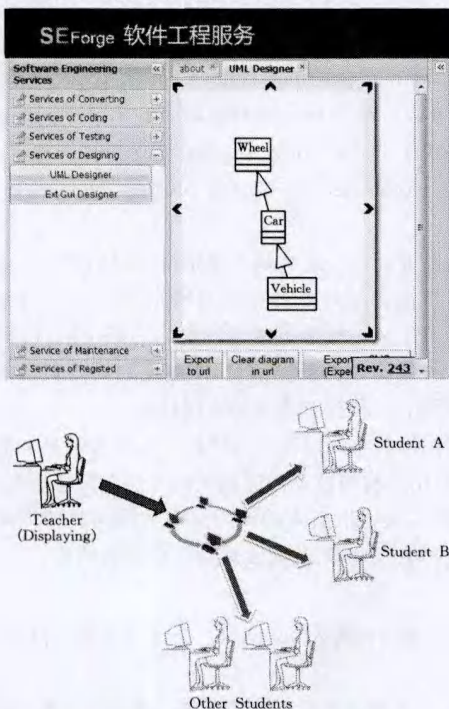


图 3 教师建立初始的类图模型

(4)教师让学生 A 回答此问题,并授予展示权。学生 A

通过语音回答:“模型泛化关系倒转了。”同时,学生 A 对模型进行修改,修改过程同步展示到教师和其他学生的终端,如图 4 所示。

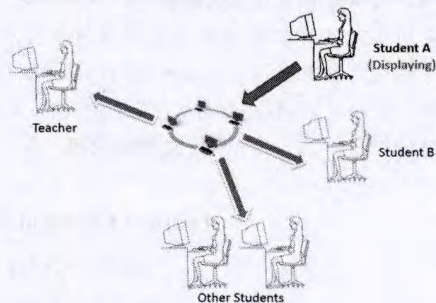
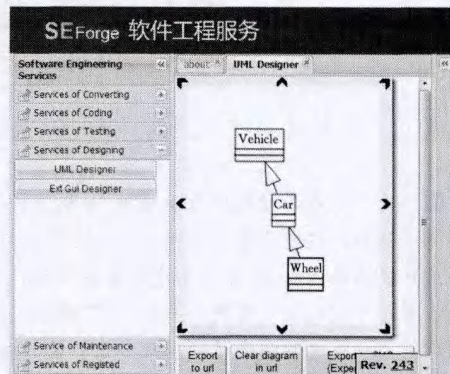


图 4 学生 A 对模型的修改过程

(5)教师考察了学生 A 的修改后,通过语音解释:“学生 A 的修改还存在部分问题,哪个同学做进一步的修改?”,片刻后,学生 B 通过平台示意回答,得到了教师同意和展示权的授予。学生 B 通过语音回答:“汽车与车轮之间应该是聚合关系,而不是泛化关系。”,同时,学生 B 对模型进行修改,修改过程同步展示到教师和其他学生的终端,如图 5 所示。

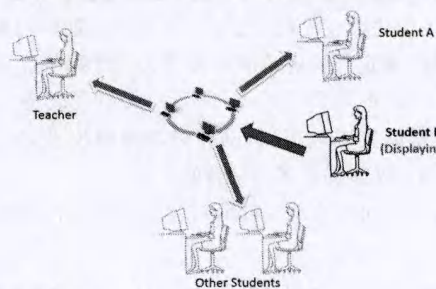
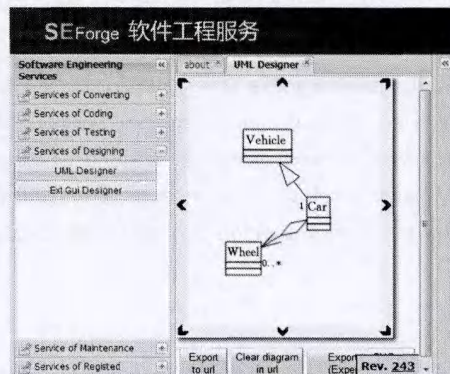


图 5 学生 B 对模型的修改过程

(6)教师肯定了学生的修改,撤回展示权,并进行下一步的教学。

(下转第 62 页)

process-integrated modeling environments[J]. ACM Trans. on Software Engineering and Methodology, 1999, 8(4): 343-410

- [12] 杨勇,周伯生. 基于系统动力学的软件过程偏离控制[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(5): 1684-1690
- [13] 顾庆,陈道蓄. 基于事件约束的软件过程验证[J]. 软件学报, 2005, 16(10): 1735-1742
- [14] Dowson M, Fernström C. Towards requirements for enactment mechanisms[M]. Software process technology. Springer Berlin Heidelberg, 1994: 90-106
- [15] da Silva M A A, Bendraou R, Robin J, et al. Flexible Deviation Handling during Software Process Enactment[C]// Fifteenth

IEEE International EDOL Conference. IEEE, 2011: 34-41

- [16] 屈延文. 软件行为学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004
- [17] 米尔纳,林惠民. 通信与移动系统:  $\pi$  演算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009
- [18] Lonchamp J. A structured conceptual and terminological framework for software process engineering[C]// Proceedings of the Second International Conference on the Software Process, 1993, 2: 41-53
- [19] Cugola G. Tolerating deviations in process support systems via flexible enactment of process models[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1998, 24(11): 982-1001

(上接第 35 页)

通过以上实例,我们可以看到 Smart SEP 平台给教师与学生之间提供了一个类似“电子黑板”的功能,通过展示权的管理实现了教师与学生之间同步的、动态的、互动的图形建模教学过程。因此,本文所提出的方法是可行、有效的。

表 2 显示了在线同步教学平台 Smart SEP 与其他几种传统的教学解决方案特点的对比。

表 2 几种解决方案对比

解决方案	同步性	动态性	交互性
文档、讲义	没有	没有	没有
视频、远程桌面	有	有	没有
协同工作空间	有	没有	有
Smart SEP 平台	有	有	有

**结束语** 本文介绍了一种基于 Web 图形操作记录与回放的在线同步教学方法,讨论了高保真的图形操作记录、自适应的图形操作回放、正常参与者和迟到者如何进行同步控制等问题;同时,本文通过在线同步教学平台 Smart SEP 的实例展示了师生之间如何进行图形化的教学互动,并论证了本文方法的可行性和有效性。

未来的工作,我们将从以下两方面开展。第一,支持更多类型的 Web 图形技术,从而扩大本文方法的应用范围,如 HTML5 的 Canvas 等新绘图技术。第二,完善同步机制,使之更符合实际的教学过程,例如增加本地学习区,使得学生能够把协同学习区的内容复制下来并进行本地修改尝试,而不影响协同学习区中正常的教学互动过程。

### 参 考 文 献

- [1] Russell D M, Klemmer S. Will massive online open courses (moocs) change education? [C]// Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. Paris, France, 2013: 2395-2398
- [2] Wang Zhou-xiu, Hu Ting, Xu Ya-feng, et al. A designing and research of future classroom learning support system based on cloud computing technology[C]// Proceedings of the 2013 Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications. Hongkong, China, 2013: 50-53
- [3] edX [EB/OL]. <https://www.edx.org/>
- [4] Coursera [EB/OL]. <https://www.coursera.org/>

- [5] Udacity [EB/OL]. <https://www.udacity.com/>
- [6] Notemate [EB/OL]. <http://www.tiaozhanbei.net/project/18427/>
- [7] Willey K, Gardner A. Collaborative Learning Frameworks to Promote a Positive Learning Culture[C]// Proceedings of the 2012 IEEE Frontiers in Education Conference. Washington D. C., USA, 2012: 1-6
- [8] Zhang Ying, Huang Gang, Zhang Nu-yun, et al. SmartTutor: Creating IDE-based interactive tutorials via editable replay[C]// Proceedings of the 31st International Conference on Software Engineering. Vancouver, Canada, 2009: 559-562
- [9] 陈德健,孙艳春,黄罡,等. 基于操作记录与回放技术的远程同步教学工具[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(6): 65-71
- [10] Leshed G, Haber E M, Matthews T, et al. CoScripter: automating & sharing how-to knowledge in the enterprise[C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Florence, Italy, 2008: 1719-1728
- [11] Little G, Lau T A, Cypher A, et al. Koala: capture, share, automate, personalize business processes on the Web[C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. California, USA, 2007: 943-946
- [12] iMacros [EB/OL]. [http://wiki.imacros.net/Main\\_Page/](http://wiki.imacros.net/Main_Page/)
- [13] Khalili A, Auer S, Hladky D. The RDFa Content Editor-From WYSIWYG to WYSIWYM[C]// Proceedings of the 2012 IEEE 36th Annual Computer Software and Applications Conference. Izmir, Turkey, 2012: 531-540
- [14] Atif M, Mousavi M R. Formal Specification and Analysis of Accelerated Heartbeat Protocols[C]// Proceedings of the 2012 Summer Computer Simulation Conference. Ottawa, Canada, 2012: 403-412
- [15] Gutwin C, Graham T C N, Wolfe C, et al. Gone but not forgotten: designing for disconnection in synchronous groupware[C]// Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work. Georgia, USA, 2010: 179-188
- [16] Kim Y. Web Information Extraction by HTML Tree Edit Distance Matching[C]// Proceedings of the 2007 International Conference on Convergence Information Technology. Gyeongju, Korea, 2007: 2455-2460
- [17] SEForge [EB/OL]. <http://www.seforge.org/>