扩展方面机制的软件产品线体系结构建模及构件组装实现

沈立炜, 彭 鑫*, 赵文耘
(复旦大学计算机科学技术学院软件工程实验室, 上海 200433)

摘 要: 软件产品线是提高软件开发效率与质量的有效途径, 它以体系结构(SA)为蓝图, 定义组成产品线的构件与构件之间相互作用的关系, 指导基于构件的应用产品组装实现. 现有的基于接口连接式的体系结构仅能描述构件间的直接交互, 却无法支持产品线可变性所带来的更为复杂的构件交互情况. 因此, 本文提出一种扩展方面机制的软件产品线体系结构建模及构件组装实现方法, 其核心是一套扩展 xADL2.0、结合面向方面机制的软件产品线体系结构描述语言. 它能支持基于可变性的产品线体系结构设计与定制, 并指导应用产品的构件组装过程. 在此方法的基础上, 我们开发了原型工具 FdSPLC, 提供对体系结构的可视化建模以及应用产品的自动化生成.

关键词: 软件体系结构; 构件组装; 构件交互模式
中图分类号: TP311 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2009) 4A-2140-06

Software Product Line Architecture Modeling and Component Composition Implementation with Extension of Aspectual Mechanism

SHEN Li-wei, PENG Xin, ZHAO Wen-yun
(School of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Software product line (SPL) can increase the efficiency and quality of software development. Software architecture (SA), as the blueprint of SPL, defines the inter-relationships between components and guides the component composition implementation. However, the existing interface connection architecture is limited to describe the direct interactions between components. It cannot support the more complex interaction situations which emerge with the SPL variability. In this paper, we propose a method of software product line architecture modeling and component composition implementation with extension of aspectual mechanism. The core is an architecture description language (ADL) which extends xADL2.0 and combines with aspect-oriented techniques. The ADL supports the design and customization for SPL architecture based on variability, and instructs the component composition process for applications. Furthermore, we have developed a prototype tool FdSPLC which provides the visual modeling of architecture as well as the automatic application derivation.

Key words: software product line development; software architecture; component composition; component interaction style

1 引言

在以构件为基本单元的软件产品线中, 体系结构作为整个开发过程的蓝图, 定义了组成产品线的构件与构件之间的相互作用关系[1], 它包括领域体系结构(DSSA)与应用体系结构(ASSA): DSSA 是领域工程的制品, 描述了所有应用系统的共性与差异性, 而 ASSA 则是在应用工程阶段由前者定制、裁剪得来. 软件体系结构为构件的集成组装提供了基础和上下文[2], 文献[3]比较了三种不同类型的体系结构, 包括对象连接式、接口连接式与插头插座式. 其中, 接口连接式体系结构通过接口定义系统中构件之间的所有连接, 匹配所要求的功能和所提供的功能, 因此降低了构件之间的依赖性, 提高了构件的独立性和可复用性[4]. 这种灵活的连接方式有利于软件产品线的设计与组装, 尤其对于具有实现变体的构件而言, 在体系结构设计时即可通过接口建立构件之间的关联关系, 然后在组装实现时确定符合接口描述的构件实现体.

软件产品线的 DSSA 具有可变性, 因此包含更为多样的构件交互情况. 由于某些构件交互无法用接口连接式的体系结构描述, 所以我们仍然需要系统化的方法支持软件产品线体系结构的建模, 同时指导自动化的应用产品生成.

针对以上需求, 本文提出了一种扩展方面机制的软件产品线体系结构建模及构件组装实现方法, 其核心是一套扩展 xADL2.0[7]、结合面向方面机制的软件产品线体系结构描述语言. 它定义不同的构件交互模式, 支持基于可变性的产品线体系结构设计与定制, 并且指导

收稿日期: 2008-10-22; 修回日期: 2008-12-30
基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划(No. 2007AA01Z125; No. 2006AA01Z189); 国家自然科学基金(No. 60703092)
* 本文通信作者: 彭鑫

应用产品的构件组装过程. 在此基础上, 我们开发了原型工具 FdSPLC, 它提供 SA 的可视化建模, 以及应用产品的自动化生成.

2　背景介绍

211　产品线体系结构

可变性将产品线的 DSSA 划分为基础部分与可变部分. 一般而言, 可变部分是对基础部分功能的扩展, 根据应用需求决定是否附加到基础程序上去. DSSA 中构件的可变性分为 Optional、Alternative 与 Abstract 三种类型: Optional 表示可选构件, 即 ASSA 中可以包括该构件也可以移除该构件; Alternative 表示多选一构件, 即 DSSA 中为某一构件提供了多个实现变体, ASSA 可以从中选择一个; Abstract 表示抽象构件, 即以占位符的形式存在于 DSSA 中且没有提供任何实现变体的构件, 抽象构件的具体实现将在应用系统开发时提供.

体系结构描述语言(ADL)负责软件体系结构的描述、分析与重用[5]. 对于软件产品线, ADL 必须明确描述 DSSA 中构件的可变性. 国内外已有很多工作关注于产品线的 ADL, 其中 xADL 210[7] 是一种高度可扩展的、基于 XML 的体系结构描述语言, 通过一组 Schema 支持产品线体系结构的建模. Structure&Type Schema 是 xADL210 中最重要的部分, 它用来描述产品线设计时(design2time)的基本元素, 包括构件(component)、连接器(con2nector)以及关联(link). 构件的可变性主要通过 Options 和 Variants Schema 来描述(前者描述 Optional, 后者通过变体数量描述 Alternative 或 Abstract). 每个 Optional 或者 Alternative 变体元素都伴随一个 Guard 条件. 当条件被满足时, Optional 元素或 Alternative 的变体元素将被包含在体系结构中. 另外, Alternative 构件的变体之间具有互斥的 Guard 条件, 表示在同一时刻至多有一个变体被选择. 关于 xADL2. 0 的详细描述可参见文献[7].

212　产品线实现问题分析

在本小节中, 我们以简化的图书馆管理系统产品线实例来分析现有的基于接口连接式体系结构的不足. 图 1 是该产品线的初始体系结构图. 其中, Library2MainForm 是系统的主界面, 通过它可以进入借书界面(BorrowBookForm)与还书界面(ReturnBookForm). 借书、还书的过程都将与图书信息管理(BookManage)和读者借阅记录管理(ReaderRecordManage)的功能交互. 还书的流程还包括罚金计算与收取, 其支付模式具有 Alterna2tive 可变性, 变体分别为现金支付(PenaltyByCash)与学生卡支付(PenaltyByStudentCard). 另外, 记录日志(Log)、获取图片(getImage)与图书图片显示(BookPicShow, 表示借书界面是否显示图书封面图片, 它将使用获取图片功能)是 Optional 的功能, 它们依照应用需求被包含进或排除出实际系统.

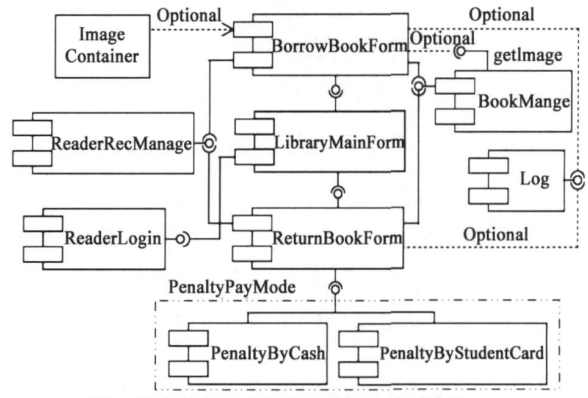


图1　图书馆管理系统产品线初始体系结构

当采用接口连接式体系结构建模时, 将出现以下不适合描述或无法描述的情况:

(1)不适合描述更改执行流程的构件交互. Optional 可变性会影响系统的执行流程(如果 Log 被选定, 借书或还书的执行过程将会包含对 Log 的调用, 反之则不包含). 从实现的角度看, 接口连接式的体系结构要求与 Optional 功能连接的构件必须包含与其交互的接口, 同时对接口的控制必须在构件内部实现(Optional 功能选定时使用此接口, 否则取消使用). 一般而言, 可以通过条件判断语句(if/else)进行控制, 但它会对构件设计提出较高的要求, 也不利于构件的复用.

(2)不适合描述需求的分散特性. 产品线的需求被分解为责任(responsibility)[6], 这些责任分散在不同的实现中(图书图片显示功能被分解为图片框 ImageContainer 与 BookManage 构件的 getImage 功能). 接口连接式体系结构中的构件一般表示单个需求的功能, 因此它不适合表达具有分散特性的需求.

(3)无法描述体系结构中 Optional 资源. 图片框 Im2ageContainer 作为完成 Optional 功能/图书图片显示0的资源角色(resource role)[9], 需要被加入借书界面中. 在这种情况下, 资源也具有 Optional 可变性. 我们把资源看作构件, 但它与目标构件之间的交互关系无法用接口连接的方式描述.

213　AOP 在产品线开发中的应用

AOP 技术大大提高了软件开发的模块化(尤其是针对横切方面)程度[8], 而这一改进主要源于 AOP 中方面的两大特性: 多量化(Quantification)和不知觉性(Obliviousness). 目前对于 AOP 技术的应用一般都强调它对横切关注点的支持能力(通过多量化特性), 但 AOP 的/不知觉0却为构件的交互提供了有效的帮助. 对于更改执行流程的构件交互, 采用 AOP 在不影响基础程序的情况下, 将 Optional 的功能编织到基础程序上是一种理想的解决方案; 另外, 对于 Optional 的资源交

互, AOP 的 Introduction 机制能够将资源插装到目标构件中, 而不需更改目标构件的实现. 在本文方法中, 我们将以接口连接式的体系结构为主体, 结合面向方面的机制支持产品线的描述与开发.

3 扩展 xADL2.0 的产品线体系结构建模

311 产品线体系结构中的构件交互模式

构件交互模式表达了构件之间的相互作用关系, 同时指明了通过何种方式将构件的功能合并. 本方法定义了三类交互模式, 分别为接口连接模式、编织模式与引入模式.

(1) 接口连接模式: 描述构件之间清晰、稳定的交互. 主要适用于 DSSA 中基础部分的构件交互, 以及 DSSA 中 Alternative 与 Abstract 可变性构件与其他构件的交互. 尤其对于后者, 可变性体现在构件的具体实现上, 不影响执行流程, 由于这些可变构件对外的交互关系是固定的, 因此适合采用此模式.

(2) 编织模式: 采用 AOP 思想, 描述引起执行流程变化的变体与其它构件之间的交互, 适用于 Optional 构件与其他构件的交互情况. 编织模式使用编织器 (Weaver) 将提供 Optional 功能的构件接口插装到已有的接口交互中, 此时 Optional 可变性体现在编织器上. 在图书馆管理系统的实例中(图 1), 提供 Optional 功能 Log 的接口即可通过编织器被插装到借书/还书界面与读者借阅记录管理的交互上.

(3) 引入模式: 描述 Optional 资源与界面构件的关系. 此模式在不影响目标构件实现的前提下, 采用 AOP 的 Introduction 机制将 Optional 资源本身及其实例化代码插装到构件中. 图 1 实例中的 ImageContaier 与 Borrow2BookForm 之间的交互属于引入模式, 在实现阶段此资源将被封装为 AOP 文件.

312 扩展 xADL2.0 的产品线体系结构描述语言

本方法中的 ADL 继承 xADL210, 重定义其中的部分元素, 并且扩展以上三类构件交互模式. 图 2 为扩展后的 ADL 元模型, 其所包含的 Schema 及相关元素在表 1 中列出.

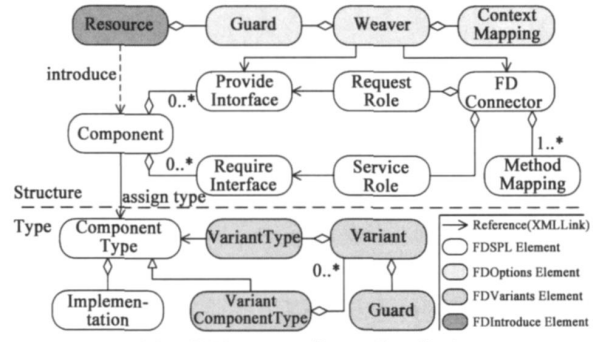


图2 扩展xADL2.0的ADL的元模型

表 1 扩展 xADL210 的体系结构描述语言元素介绍

FDSPL	描述产品线 DSSA 设计时(design2time) 的基础部分
Component	构件是 Structure 层上元素, 是组成产品线的基本功能单元. 包含一组服务接口(Provide Interface) 与请求接口(Require Interface), 每一个接口由一组方法声明(Method) 所构成.
Connector	连接器表示接口连接模式的构件交互. 连接器负责构件之间的逻辑通信, 由一对服务角色(Service Role) 与请求角色(Request Role) 构成, 服务角色指向构件请求接口, 请求角色指向构件服务接口. 方法映射(Method Mapping) 定义了接口之间需要匹配的方法与方法参数.
ComponentType	构件类型是 Type 层上元素, 反映了构件的型构(与构件接口对应) 等信息. 同时构件类型能够关联到具体的实现体, 其类型(如 java 类、ejb 构件) 可通过进一步扩展 Schema 来定义. 另外, 一个构件类型能够指派多个构件, 表示 Structure 层上的不同构件能够具有相同的实现体.
FDOptions	描述产品线 DSSA 的 Optional 可变性及其与构件的交互
Weaver	编织器表示编织模式的构件交互. 编织器将构件接口功能编织到连接器所包含的接口交互上. 编织器定义编织目标点, 包括在交互之前(before), 在交互之后(after) 以及在交互的外围(around); 另外, 编织器定义上下文映射(Context Mapping), 使得编织进的方法能够从已有交互中得到参数, 保证正常运行. 编织器具有 Guard 条件, 表示其 Optional 可变性.
FDVariants	描述产品线 DSSA 的 Alternative 或 Abstract 可变性
VariantComponentType	构件类型 VariantComponentType 继承自 ComponentType. 当它至少包含一个变体(Variant) 时, 此构件类型指派的构件具有 Alternative 可变性, 当它不包含任何变体时, 构件具有 Abstract 可变性.
Variant	变体关联到构件类型, 表示变体的具体实现. 同时, 变体间拥有互斥的 Guard 条件, 当某个变体的条件满足时, 只有该变体的实现将会被纳入应用产品.
FDIntroduce	描述产品线 DSSA 中的 Optional 资源及其与界面构件的交互
Resource	资源的实现体、实例化方法以及其他附加方法.
Introduce	Introduce 关联表示引入模式的构件交互. 包含资源在目标构件中的插装点(pointcut) 定义, 以及表示可变性的 Guard 条件.

313 体系结构描述实例

基于扩展 xADL2.0 的描述语言,我们完成了对图 1 中图书馆系统实例的 DSSA 建模. 图 3 是其部分体系结构模型(仅包括 Structure 层上元素).

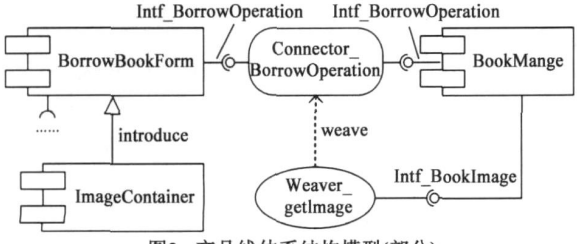


图3 产品线体系结构模型(部分)

从图中我们可以看到,构件 BorrowBookForm 与构件 BookManage 通过连接器直接交互;提供 Optional 功能/显示图书图片0的接口 Intf2BookImage 通过编织器编织到连接器所代表的查询图书交互上;可选资源 Image2Container 被引入到目标界面构件 BorrowBookForm 中.

314 ASSA 的定制

ASSA 是根据应用需求,通过对 DSSA 中可变点进行定制得来的. 在定制过程中,应用开发人员对所有 Guard 条件根据实际需求赋值并计算,得到绑定决策. 在体系结构模型层面,定制的结果表现为:

(1)Optional 的编织器被保留或移除. 被保留的编织器不再具有 Optional 性质(其 Guard 条件被去除).

(2)Alternative 构件的构件类型指向一个特定变体的构件类型.

4 基于产品线体系结构的应用产品组装实现

ASSA 定义了应用产品实现的蓝图,指导了构件组装的过程. 本方法中,构件是组成产品的基本复用单元,其实现体由构件类型指定. 在当前的研究工作中,我们假设构件的实现体为 Java Package,每个构件包含 Package 下的一组 class 与 interface. 其中有一个 class 作为控制类,它实现服务接口声明的方法,并且通过请求接口向外界请求服务(但在初始情况下请求接口没有被实现).

负责构件交互的粘合代码(Glue Code)根据构件交互模式自动生成,以下将通过实例描述不同交互模式的实现方法.

ASSA 中的连接器元素表示接口连接模式的构件交互,将被自动实现为工作空间中的连接器类. 该类能够调用请求角色(request role)关联的服务接口的功能方法,随后依照连接器元素定义的方法映射(Method Mapping)生成调用代码,实现服务角色(service role)关联的请求接口. 图 4 表示 BorrowBookForm 构件与 BookManage 构件之间的交互代码(图 3 体系结构片段). 连接器类 Connector_BorrowOperation 实现构件 BookForm 的请求接口 Intf_BorrowOperation(行 1),并且声明与请求角色关联的服务接口 Intf_BookOperation 的对象(行 5). 在构造函数中,使用服务构件的控制类 BookManage 实例化此对象(行 10). 最后,生成调用代码实现 Intf_BorrowOperation 中包含的方法(行 15~24).

ASSA 中的编织器表示编织模式的构件交互. 由于编织模式采取 AOP 的思想,一般而言应将其实现为 AspectJ 文件编织到目标程序中. 但在我们的方法中,作为编织目标的连接器是自动生成的,所以编织模式的实现能够被嵌入到相关的连接器粘合代码中. 编织的具体目标是构件接口间的一次交互,因此连接器代码中对应的方法实现将被修改,根据编织目标点(before, after, around)以及上下文映射关系(Context Mapping)调用需要编织进的方法. 图 4 中的代码能够实现接口 Intf_BookImage 被编织到连接器上的场景. 此时,连接器类声明此接口的对象(行 7),并在构造函数中使用接口的实现类 BookOperation 将其实例化(行 12),然后在编织目标点的接口交互(方法调用)之后调用 Intf2BookImage 提供的方法(行 19). 由于设置图片方法需要使用图片框的宿主类,因此在连接器类中还需要保存对请求服务的构件控制类的引用(行 3, 13, 14).

```
1  public class Connector_BorrowOperation implements
                BookForm.Intf_BorrowOperation {
2   //Require Component Instance: Reserve the Link
3  BookForm.BookForm requireComponent;
4  //Request_Role(Provide_intf): BookOperation.Intf_BookOperation
5  BookOperation.Intf_BookOperation provide_intf;
6  //Be Weaved: BookOperation.Intf_Image
7  BookOperation.Intf_BookImage weaver_intf;
8  public Connector_BorrowOperation() {
9     //Class Implement Provide_Intf: BookOperation.BookOperation
10    provide_intf = new BookOperation.BookOperation();
11    //Class Implement Weaving Intf: BookOperation.BookOperation
12    weaver_intf = new BookOperation.BookOperation(); }
13 public void reserveLink(BookForm.BookForm bookForm) {
14    requireComponent = bookForm; }
15 public BookInfo getBook(String bookno) {
16    //Return Value Type: BookInfo
17    BookInfo BookInfo_value = provide_intf.searchBook(bookno);
18    //Weaving after Interaction
19    weaver_intf.showCoverPicture(requireComponent.getImageContainer
          (), bookno);
20    return BookInfo_value; }
21 public boolean reduceBookAmount(String bookno) {
22    //Return Value Type: boolean
23    boolean boolean_value = provide_intf.borrowOneBook(bookno);
24    return boolean_value; }
25 }
```

图4 接口交互模式与编织模式的粘合代码实现

Introduce 表示引入模式的构件交互. 它基于 AOP 的 Introduction 机制, 将资源、实例化方法及其它附加代码包装为目标构件的 inter2type[10], 同时根据 Introduce 的插装点(pointcut)定义, 被实现为 AspectJ 文件. 图 3 实例中图片框 ImageContainer 的引入模式实现代码如图 5 所示. 图片框的类型 Canvas(行 3), 实例化代码(行 10, 具体实现被省略) 以及附加方法(行 12~ 14)被声明为目标构件的内部类型和方法. 另外, pointcut(行 4~ 8)约定在目标构件的 create 方法之后调用资源的实例化方法.

```
1  public aspect ImageContainer. Introduce {
2      //Introduce Resource org. eclipse. swt. widgets. Canvas to BookForm. BookForm
3      private org. eclipse. swt. widgets. Canvas BookForm. BookForm. Res_Canvas;
4      //After the create method, do Initialization Method
5      pointcut addCanvas( BookForm. BookForm form) :
6          (execution( *  create* (..)))&& this( form);
7      after( BookForm. BookForm form) returning :
8      addCanvas( form) { form. addBookCoverFrame( ); }
9      //Resource s Initialization Method
10     public void BookForm. BookForm. addBookCoverFrame( ) {
11     , }
12     //Other Introduce Variants and Methods
13     public org. eclipse. swt. widgets. Canvas
                   BookForm. BookForm. getImageContainer( ) {
14     return this. Res_Canvas; }
15 }
```

图 5 引入模式的代码实现

当描述构件交互的粘合代码全部生成之后, 我们使用 AspectJ 编译器[10]编译工作空间(通过调用 ajc 命令), 生成应用产品.

5 原型工具 FdSPLC

本节介绍原型工具 FdSPLC, 它支持产品线体系结构建模及应用产品的构件组装实现. FdSPLC 是基于 Eclipse GMF(Graphic Modeling Framework)[11]的 RCP 应用系统, 它的功能主要包括:

(1)体系结构(DSSA 与 ASSA)的图形化编辑. 工具支持对构件、连接器、编织器、资源等元素的编辑与属性设置. 图 6 是图书馆管理系统产品线 DSSA 的编辑界面, 主体编辑器支持 Structure 层次上的建模, 左边的视图罗列了 Structure 以及 Type 层次上的所有元素.

(2) ASSA 的定制. 工具收集 DSSA 中可变元素的 Guard 条件, 并提示开发人员进行赋值. 所有 Guard 条件被评估后, 由 DSSA 生成应用体系结构.

(3)Abstract 构件的模版生成. 根据 Abstract 构件的接口定义, 自动实现 interface、生成 class 模版. 该模版实现服务接口的方法, 但方法的实现体需要应用开发人员填写.

(4)应用产品的组装实现. 基于 ASSA 自动生成粘合代码(代码实例参见第 4 节)并且编译工作空间, 最终生产应用产品.

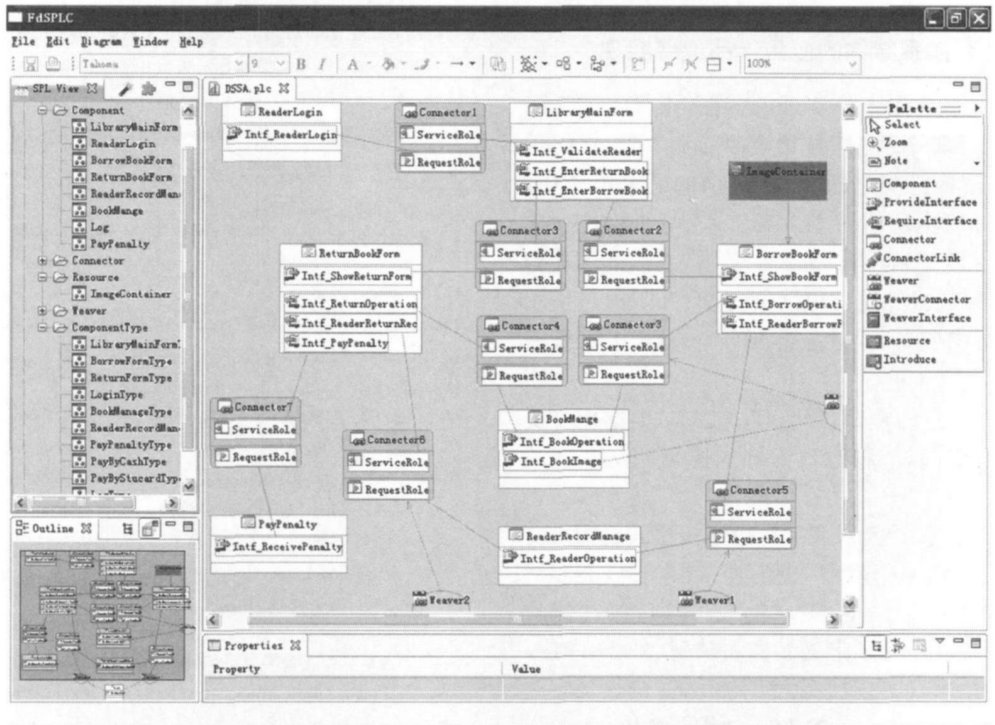


图6 图书馆管理系统产品线DSSA的编辑界面

6 结论与展望

软件产品线可变性为体系结构带来更为多样、更加复杂的构件交互情况,使得现有的接口连接式体系结构在建模与实现时显露不足. AOP 因其/不知觉0性为以上的问题提供了解决方案,它支持在不影响基础程序的情况下将功能编织到目标程序中. 因此,我们在基于接口连接式的体系结构描述语言 xADL210 的基础上,结合面向方面的机制,提出了一种软件产品线体系结构建模及构件组装实现方法. 方法中的 ADL 能够清晰描述三类构件交互模式,并且指导构件组装实现的具体过程.

本文提出的方法关注于产品线体系结构建模及构件组装,未涉及到产品线开发的其他阶段. 因此,今后的研究工作主要包括:(1)将软件产品线的需求模型(如特征模型)纳入此方法中,试图建立需求模型与基于构件的 DSSA 之间的映射关系.(2)在构件组装实现阶段,考虑构件的实现版本,引入基于构件的软件产品线配置管理(Configuration Management).

参考文献:

[1] Show M, Garlan D. Software architecture: perspectives on an emerging discipline [M]. Prentice Hall, 1996.

[2] 杨芙清. 软件复用及相关技术[J]. 计算机科学, 1999, 26(5): 1- 4. Fu2qing Yang. Software reuse and related technology [J]. Computer Science, 1999, 26(5): 1- 4. (in Chinese)

[3] Luckham D, Vera J, Meldal S. Three Concepts of System Architecture [R]. [Technical Report. CSL2TR295- 674. Stanford University, 1995.

[4] 张世琨, 张文娟, 常欣, 王立福, 杨芙清. 基于软件体系结构的可复用构件制作和组装[J]. 软件学报, 2001, 12(9): 1351- 1359.
Shi2kun Zhang, Wen2juan Zhang, Xin Chang, Li2fu Wang, Fu2qing Yang. Building and assembling reusable components based on software architecture [J]. Journal of Software, 2001, 12(9): 1351- 1359. (in Chinese)

[5] Medvidovic N, Taylor R N. A classification and comparison framework for software architecture description languages [J]. IEEE Transaction on Software Engineering, 2000, 26(1): 70- 93.

[6] Wei Zhang, Hong Mei, Hai2yan Zhao. Feature2driven requirement dependency analysis and high2level software design [J]. Requirements Engineering, 2006, 11(3): 205- 220.

[7] Eric M Dashofy, Andr van der Hoek, Richard N Taylor. A comprehensive approach for the development of modular software architecture description languages [J]. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), 2005, 14(2): 199- 245.

[8] Michalis Anastasopoulos, Dirk Muthig. An evaluation of aspect2oriented programming as a product line implementation technology [A]. In Proceedings of the International Conference on Software Reuse (ICSR) [C]. Springer LNCS 3107, 2004, 141 - 156.

[9] Xin Peng, Li2wei Shen, Wen2yun Zhao. Feature implementation modeling based product derivation in software product line [A]. In Proceedings of the 10th International Conference on Software Reuse (ICSR) [C]. Springer LNCS 5030, 2008, 142 - 153.

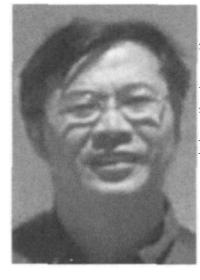
[10] AspectJ Team. AspectJ Project [OL]. http://www.eclipse.org/aspectj/.

[11] GMF (Graphic Modeling Framework) [OL]. http://www.eclipse.org/gmf/.

作者简介:

沈立炜　男, 1982 年生于上海. 复旦大学计算机学院博士研究生. 主要研究方向为软件产品线、领域工程等.
E2mail: 061021062@fudan.edu.cn

彭　鑫　男, 1979 年生于湖北黄冈. 复旦大学计算机学院讲师. CCF 会员. 2006 年在复旦大学获得博士学位. 主要研究方向为构件技术、软件产品线等.
E2mail: pengxin@fudan.edu.cn



赵文耘　男, 1964 年生于江苏常熟. 复旦大学计算机学院教授、博士生导师、CCF 高级会员. 主要研究方向为软件工程、基于构件的软件开发等.
E2mail: wyzhao@fudan.edu.cn