

一种适用于软件产品线的特征模型^①

赵 鄂¹, 杨博文², 杨贯中¹

¹(湖南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410082)

²(中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对传统的特征模型中存在的对软件产品线可变性需求表达不准确、缺乏特征描述方法的问题, 在 FODA 等方法的研究基础上, 从特征模型的层次分解、特征间依赖关系、变化性表示方法等方面进行描绘, 提出一种适用于软件产品线的特征模型和特征描述方法. 该特征模型能够帮助产品设计人员和开发人员正确理解产品需求, 也是为后续实现软件产品线自动化生产打下基础.

关键词: 特征模型; 软件产品线; 产品线工程; 特征描述

Feature Model for Software Product Line

ZHAO E¹, YANG Bo-Wen², YANG Guan-Zhong¹

¹(College of Information Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

²(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The traditional feature model has some problems, for example, the inaccurate software product line variability requirement's expression, lack of feature description methods. Based on the FODA (Feature-Oriented Domain Analysis) methods, this paper described the feature model's hierarchy decomposition, the dependency relationship between the features and the variability expression methods, put forward a feature model and a feature description method which are suitable for software product line. The feature model can help the product designers and developers understand product requirements correctly, and lay the foundation for the later automated production of software product line.

Key words: feature model; software product line; product line engineering; feature description

如何提高软件复用率是软件开发所面临的至关重要的问题. 实践证明, 特定领域的软件复用活动相对容易取得成功^[1], 软件产品线工程^[2]即属于其中之一. 软件产品线是“共享一组公共受控特征, 满足特定市场需要, 并且按照预定方式在相关核心资产的基础上开发而成的一系列软件应用系统”^[3]. 从软件产品线中定制软件产品的关键是理解产品线核心资产的共性和可变性, 共性是所有产品的公共部分, 是产品线的基础, 产品间的差异性体现了软件产品线的可变性.

软件产品线需求过程既要表现产品线的共同特征, 又要体现特定产品的特殊功能^[4]. FODA 方法^[5]的提出使得特征模型成为捕获和描述软件产品线需求的主要手段. 特征建模方法的核心之一就是识别产品线中的

共性和可变性, 因此在特征模型中需以通过不同表示方法标识产品线中的共性特征和变化特征, 以满足整个产品线的需求. FODA 方法中的特征模型允许特征的层次分解并形成特征树, 通过区分强制的、可选的、可替代的特征能够粗略地表达可变性. FORM^[6]、FeatuRSEB^[7]、FODM^[11]等方法都是对 FODA 中的特征模型做了适当的修改. 但是, 利用这些特征模型表达软件产品线的可变性存在一些缺陷:

① 可能导致误解, 因为特征模型不能对所有产品共有的可替代特征和只能被某一特定产品选择的可替代特征进行区分^[8].

② 缺乏合适的特征描述方法, 不利于特征模型验证.

① 基金项目:湖南省产学研结合重大科技成果转化项目(2010XK6024);中南大学大学生创新训练项目(CL12278)

收稿时间:2013-03-16;收到修改稿时间:2013-04-11

③ 难以将特征模型中的变化信息与其他需求工件(例如:用例模型)中的变化信息相联系^[9].

例如在图 1 所示的特征树例子中,包含两个与“访问控制”相关的可替代特征:磁卡访问和密码访问,特征树的这部分可以产生三种不同的理解:

- ① 每个产品都应支持两种访问方式中的一种;
- ② 每个产品同时支持两种访问方式,而用户可以选择使用磁卡还是密码;
- ③ 每个产品应支持一种或同时支持两种访问方式,允许用户选择.

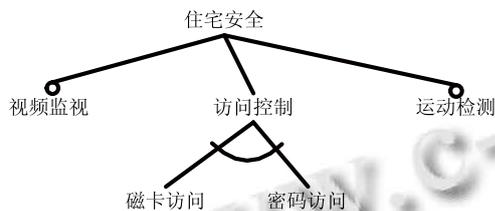


图 1 住宅安全系统的部分特征树

目前,人们为清晰定义软件产品线的可变性,使用正交变化模型^[8]和特征模型相结合的方法,利用正交变化模型描述可变性,通过工件依赖将正交变化模型中的变量连接到特征树的对应子集来改善特征模型表达能力,但是同时也增加了产品线需求模型的冗余度和复杂度.本文在 FODA 等方法的基础上,提出一种适用于软件产品线的特征模型,通过定义特征层次结构,实现既直观又能准确表达软件产品线可变性的目的.

1 特征相关概念

定义 1(特征) 特征是系统中用户可见的、显著的或具有特色的方面、品质、特点等^[5].

依据上述特征的文字定义,我们对特征进行如下数学表示:

定义 2(特征的数学表示) 一个特征 F 是一个三元组: $F = \langle ID, Type, P \rangle$, 其中:

ID: 特征的唯一标识符;

Type: 特征类型,描述的是特征相对于其父特征的选择关系,特征的类型必须明确指定;

$Type = \{mandatory, optional, alternative\}$,

$alternative = \{only_one\ alternative, multiple\ alternatives\}$

其中:

- ① mandatory: 强制的,表示该特征是必须存在的;

- ② optional: 可选的,表示该特征可有可无;

- ③ alternative: 可替代的,选择特征组中的一个或多个特征;具体又可分为以下两种:

only_one alternative: 多选一的,只能选择特征组中的一个特征;

multiple alternatives: 多选多的,可以选择特征组中的一个或多个特征;

P: 特征属性,记录特征自身的一些信息;

$P = \{name, category, other_p, description\}$

其中:

- ① name: 特征的助记符号,是任意简单且有意义的文字组合.

- ② category: 特征的类别,特征分为功能特征(function feature)、非功能特征(nonfunction feature), $category = \{function, nonfunction\}$

- ③ other_p: 特征的本身具有的其他属性的集合,不同类别的特征具有的属性各不相同.如,当特征 f 是功能特征时,other_p 包括绑定时间(复用时、编译时、安装时、装载时),绑定状态(绑定、删除、待定)^[10]等属性.

- ④ description: 特征的描述,记录对特征的简单文字说明,可包含具体类型的子特征信息.

按照定义 2,访问控制特征的三元组表示为:

$F = \langle 003, 强制的, \{访问控制, 功能特征, 复用时, 绑定, 控制访问者进入住宅\} \rangle$

2 适用于软件产品线的特征模型

2.1 特征的层次分解

运用在产品线中的特征模型是对特定产品线中需求分析结果的形象化描述,用来标识产品线内特征之间的关联关系.通过特征的结构关系形成特征的一个类似树形的层次分解图,之所以说是类似树形的结构层次图,是因为特征图中的某些关联关系会破坏树形结构.为识别产品线中的共性和可变性,在特征模型中我们引入共性特征、变化点特征以及变体特征来标识产品线中的共性和可变性.

定义 3(共性特征, Commonality Feature) 共性特征是产品线中的每个产品都应该包含的特征,并且在时间上或空间上不再发生变化.在特征图中用符号空心方块“□”表示.例如在所有住宅安全系统中都包含特征:访问控制,在特征图中则表示为“□访问控制”.

定义 4(变化点特征, Variation-point Feature) 变化点特征是产品线中在时间上或空间上可以发生变化的特征. 在特征图中用符号空心圆圈“○”表示. 例如在部分住宅安全系统中可能包含特征: 运动检测, 在特征图中则表示为“○运动检测”.

定义 5(变体特征, Variant Feature) 变体特征是变化点特征的实例化表示, 它在某个时间点上继承了某一个变化点特征并从时间或者空间的角度去组成或者特殊化该变化点特征. 在特征图中用符号实心圆圈“●”表示. 例如在包含有运动检测特征的住宅安全系统中, 运动检测又包含了“室外运动检测”和“室内运动检测”两个特征, 在特征图中则分别表示为“●室外运动检测”, “●室内运动检测”.

特征之间的结构关系有以下两种类型: 组成(composed-of)、特殊化(specialization).

composed-of: 把一个特征分解为一组子特征的精华, 此特征与子特征是整体与部分的关系. 在特征图中用实线“——”连接两个特征来表示组成关系.

specialization: 把一个特征精化为更多细节的特征称为特殊化. 此特征是子特征的一般化. 特殊化常常被用来表现一组可能的变体. 在特征图中用虚线“-----”连接两个特征来表示特殊化关系.

通过共性特征、变化点特征、变体特征以及特征之间的结构关系可以形成特征的层次结构图, 我们对层次结构图定义了以下规则:

- 规则 1 最顶层特征一定是共性特征.
- 规则 2 共性特征可以有一个或多个子特征, 这些特征可以是共性特征, 也可以是变化点特征, 但是不能是变体特征;
- 规则 3 共性特征与变化点特征只能是包含关系;
- 规则 4 变化点特征可以包含一个或多个子特征, 这些特征可以是变化点特征, 也可以是变体特征. 但不能是共性特征;
- 规则 5 变体特征没有子特征;

由上述规则可以排除掉一些特征间不存在的结构关系, 并总结出如表 1 所示的特征之间存在的结构关系.

2.2 特征间的依赖关系

特征之间的依赖关系(Relationship)可以被分为静态依赖(Static Relationship)和动态依赖(Dynamic Relationship). 静态依赖关系主要反映的是特征之间的固有关系; 动态依赖关系则反映的是特征之间的操作

关系.

表 1 特征结构关系表

父特征	关系	子特征	图例
共性特征	Composed-of	共性特征	
共性特征	Specialization	共性特征	
共性特征	Composed-of	变化点特征	
变化点特征	Composed-of	变化点特征	
变化点特征	Composed-of	变体特征	
变化点特征	Specialization	变化点特征	
变化点特征	Specialization	变体特征	

静态依赖关系包括排斥依赖(exclude)和需求依赖(require)两种关系

排斥依赖: 表示两者不能同时存在, 用线条“←-----→”连接两个特征;

需求依赖: 表示其中一方会使用到另外一方, 用线条“-----→”连接两个特征, 箭头指向的一方表示被依赖的一方.

虽然两种关系都可能是“多对多”的关系, 但两者之间的关系只能是“一对一”的关系, 即“两者之间不能同时存在多个静态依赖关系”.

特征间的动态依赖关系包含顺序关系(Serial)、并行关系(Collateral)、协同关系(Synergic)三种.

顺序关系: 表明一个特征必须在另一个特征之后激活, 用线条“--serial→”连接两个特征, 箭头指向的一方表示后激活的一方.

并行关系: 表明两个特征必须同时处于激活, 用线条“←collateral→”连接两个特征. 并行关系具有传递性.

协同关系: 表明一个特征需要另一个特征的协作, 用线条“-synergic→”连接两个特征, 箭头指向的一方表示被提供协作的一方.

2.3 产品线变化性表示

我们将结合特征的变化性分类和特征的类型来表示产品线的变化性. 为了体现可替代特征的分组, 我们引入抽象特征.

定义 6(抽象特征, Abstract Feature, AF) 抽象特征没有属性, 只用在一组可替代特征的结构中. 一个抽象特征 AF 是一个二元组: $AF = \langle ID, AF_Type \rangle$, 其中:

ID: 抽象特征的唯一标识符;

AF_Type: 抽象特征类型, 只有多选一和多选多类型, 在特征图中分别用符号“⊖”、“⊕”表示:

$AF_Type = \{only_one\ alternative, multiple\ alternative\}$

下面我们讨论特征类型的表示.

对于共性特征, 它的类型一定是强制的.

对于变化点特征和变体特征: 仅通过结构关系(包含或者特殊化)连接的特征其类型是可选的, 例如图 2 中的视频监控、运动检测; 若想表现特征是强制的, 需要在该特征与其父特征之间加入需要依赖关系, 例如图 2 中的访问控制特征; 加入抽象特征可以表现特征是可替代的, 抽象特征通过结构关系(包含或者特殊化)连接加入到一组可替代特征中, 例如图 2 中的磁卡访问、密码访问是一组多选一特征.

我们重新考虑上文第一节所提到的住宅安全系统示例, 根据我们所定义的特征模型, 对于三种不同的理解其特征模型是不同的:

- ① 每个产品都应支持两种访问方式中的一种. 对应的是图 2 所示的特征图;
- ② 每个产品同时支持两种访问方式, 而用户可以选择使用磁卡还是密码. 对应的是图 3 所示的特征图;
- ③ 每个产品应支持一种或同时支持两种访问方式, 允许用户选择. 对应的是图 4 所示的特征图.

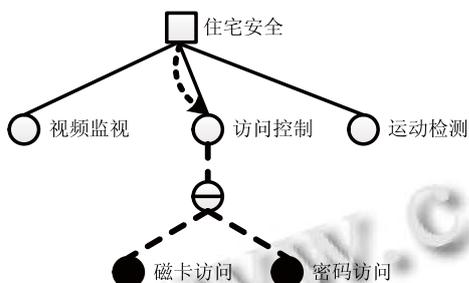


图 2 特征图示例 1

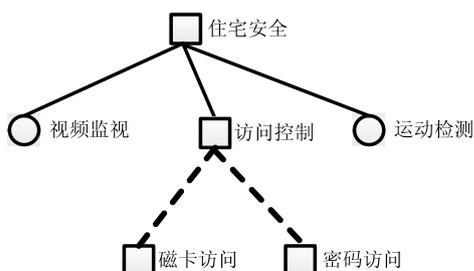


图 3 特征图示例 2

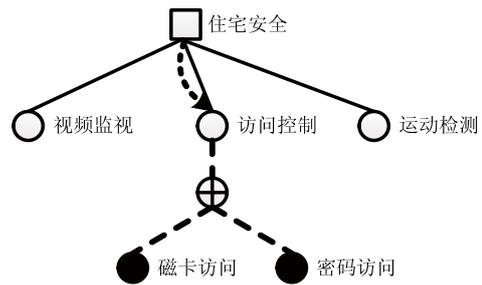


图 4 特征图示例 3

对此, 我们可以不借助正交变化模型也能直观准确地表达软件产品线中的可变性.

2.4 特征模型视图

为了让特征模型将特征的层次关系以及特征间的依赖关系更直观清晰地展现出来, 并反映模型验证的层次关系, 将特征模型划分为三个视图: 功能特征图、非功能特征图、特征关系图.

功能特征图包含系统功能特征的层次结构关系以及功能特征之间的依赖关系.

非功能特征图包含非功能特征的层次结构关系以及非功能特征之间的依赖关系.

特征关系图包含功能特征与非功能特征之间的依赖关系. 特征关系图中的特征在功能特征图或者非功能特征图中都有与之对应的特征, 以下特征在特征关系图中可以省略:

- ① 不包含依赖关系的特征;
- ② 不包含除父特征依赖关系以外依赖关系的特征;
- ③ 全部由子特征来体现依赖关系的父特征.

2.5 特征描述方法

图 2(a)所示的特征图对应的文本描述为:

住宅安全[G]: all(?视频监控[VP], 访问控制[VP], ?运动检测[VP]);

访问控制[VP]: one-of(磁卡访问[V], 密码访问[V]);

具体语法为:

$feature[var]: relation_keyword(sub_feature[var], \dots)$

相关语法解释如下:

- ① 特征名后紧跟该特征的可变性类型 var, 包括共性(G)、变化点(VP), 变体(V). 可变性类型用括号“[]”括起来;
- ② 特征描述中的关键字主要是用于表述特征之

间的关系,如表格 2 所示;

- ③ 所有的子特征通过逗号“,”隔开;
- ④ 子特征若为可选特征,需要在其前面加问号“?”.
- ⑤ 特征列表用括号“()”括起来;
- ⑥ 特征与其后面的特征列表用冒号“:”隔开;
- ⑦ 每一条特征描述以分号“;”结束.

表 2 特征描述关键字

关键字	含义
all	表示该特征由后面的所有特征组成
more-of	表示该特征由一个或多个后面的特征组成
one-of	表示该特征由其中一个后面的特征组成
require	表示该特征依赖于后面的特征
exclude	表示该特征与后面的特征不能共存
serial	表示该特征与后面的特征是顺序关系
collateral	表示该特征与后面的特征是并行关系
synergic	表示该特征与后面的特征是协同关系

3 适用于软件产品线的特征建模工具

针对以上所描述的特征模型,我们开发了适用于软件产品线的特征建模原型工具,开发平台及开发工具包括 eclipse3.7、JDK1.6、Visio2010 等,通过 eclipse 插件开发技术及 GEF 框架实现了以图形化的方式展示和编辑模型,产品线需求分析人员可以方便快捷地建立产品线特征模型,需求分析人员可以分别在功能特征视图、非功能特征视图以及特征关系视图中进行模型编辑.

工具提供的功能主要包括:

- ① 特征层次建立,用户可以添加或删除特征、包含关系、特殊化关系;
- ② 特征依赖关系建立,用户可以添加或删除特征间各种静态依赖关系、动态依赖关系;
- ③ 特征属性编辑,用户可以编辑特征的 ID、名称、分类、描述等属性;
- ④ 能根据用户所绘制的特征图自动生成特征描述并用于模型验证.

运用工具对住宅安全系统进行分析,识别出住宅安全系统的功能特征、非功能特征以及特征间的依赖关系.住宅安全系统的功能特征包含访问控制、报警两个强制特征,包含视频监控、运动检测、设备监控三个可选特征;访问控制特殊化为一组多选一特征(磁卡访问、密码访问)和一个可选特征(人脸识别);报警

包含入侵报警一个强制特征,包含火灾报警、煤气泄漏报警两个可选特征;入侵报警需求依赖于视频监控、访问控制、运动检测三个特征.住宅安全系统的功能特征图如图 5 所示.

系统的功能特征文本描述为:

住宅安全[G]: all (?视频监控[VP], 访问控制[VP], ?运动检测[VP], 报警[G], 设备监控[VP]);

访问控制[VP]: all (one-of (磁卡访问[V], 密码访问[V]), 人脸识别[V]);

报警[G]: all (入侵报警[VP], ?火灾报警[VP], ?煤气泄漏报警[VP]);

入侵报警[G]: require (?视频监控[VP], 访问控制[VP], 运动检测[VP]);

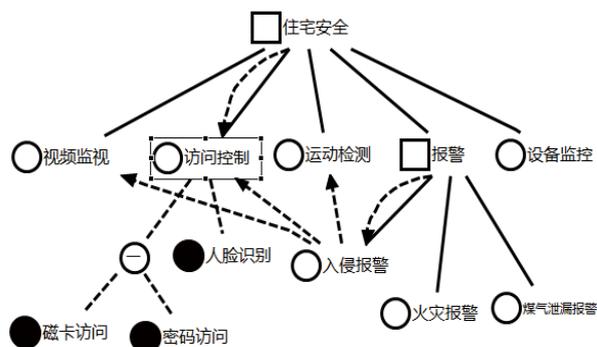


图 5 住宅安全系统功能特征图

对住宅安全系统的非功能特征与特征间关系的分析与功能特征类似,由于篇幅关系就不一一赘述了.

4 结语

软件产品线方法实现了面向特定领域的最大化软件复用.文章结合 FODA 方法以及正交变化模型,提出了一种适用于软件产品线的特征模型,该模型具有较强的表达能力,解决了以往的特征模型对软件产品线可变性需求表达不准确的问题,设计人员和开发人员根据模型可以明确辨识产品线的共性和变化性.文章也给出了特征模型的文本描述方法,后续我们将会在特征模型与其他需求模型之间建立关系,以保证产品线可变性的一致性和可追溯性.通过开发一个特征建模工具方便需求分析人员在实际的产品线需求分析中建立比较完善的特征模型,并通过实例验证了模型的适用性.

(下转第 168 页)

当将允许最大学习次数缩小为 1000 次时, 让程序自动进行 1000 次反复试验, 试验结果如图 7 所示. 此时学习成功率为 91.8%.

```
学习次数不能超过1000次时, 在进行的1000次反复试验
学习成功的次数为: 918
学习失败的次数为: 82
请按任意键继续. . .
```

图 7 1000 次实验(允许最大学习次数为 1000)

总结两次实验, 可以看出, 当学习次数可以多达 3000 次时基本能够保证正确识别字符; 当将允许最大学习次数缩小为 1000 次时, 并不能保证完成识别字符的功能, 但是能够缩短程序的运行时间, 当程序需要识别的输入模式对的数量庞大时, 这种时间的节省有着十分重要的意义.

4 结语

本文用 BP 算法设计与实现了一个字符识别器, 但这种传统的 BP 算法具有一定的缺陷, 因此本文还提出了几种改进方法, 并实现了其中一种改进方法, 即累积误差校正算法, 它能够有效的缩短学习所需时间.

本文识别器完成了识别 3 个字符的功能, 同理可以扩展识别 26 个英文字母、0-9 数字或其他字符, 如果附加其他功能模块, 如翻译功能, 即可通过计算机

翻译印刷书本中英文单词、短语等, 对于盲人等特定人群有着特别意义^[9].

参考文献

- 1 Simon Haykin. 神经网络与机器学习. 北京: 机械工业出版社, 2011: 2-10.
- 2 Tom M. Mitchell. 机器学习. 北京: 机械工业出版社, 2003: 46-89.
- 3 叶航军, 白雪生, 徐光祐. 基于支持向量机的人脸姿态判定. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(1): 67-70.
- 4 Stuart Russell, Peter Norvig. 人工智能——一种现代方法(第二版). 北京: 人民邮电出版社, 2004: 23-40.
- 5 危辉. 基于结构学习和迭代自映射的自联想记忆模型. 软件学报, 2002, 13(3): 438-440.
- 6 张泉灵, 王树青. 基于神经网络的非线性预测函数控制. 浙江大学学报(工学版), 2001, 35(5): 497-501.
- 7 王旭, 王宏, 王文辉. 人工神经网络原理与应用. 沈阳: 东北大学出版社, 2000: 19-38.
- 8 张宇, 潘国腾, 谢伦国. 一种基于人工神经网络的条件分支预测算法. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(增刊): 101-103.
- 9 陆琼瑜, 童学峰. BP 算法改进的研究. 计算机工程与设计, 2007, 28(3): 648-650.

(上接第 118 页)

参考文献

- 1 张伟, 梅宏. 一种面向特征的领域模型及其建模过程. 软件学报, 2003, 14(8): 1345-1356.
- 2 Moon M, Yeom K. An approach to developing domain requirements as a core asset based on commonality and variability analysis in a product line. IEEE Trans. on software Engineering, 2005, 31(7): 551-569.
- 3 Jones L, Northrop L. Clearing the way for software product line success. Software, IEEE, 2010, 27(3): 22-28.
- 4 王孟伟, 管群. 产品线可变性的需求方法研究. 计算机工程与设计, 2011, 32(11): 3725-3728.
- 5 Kang KC, Cohen SG, Hess JA, Novak WE, Peterson AS. Feature-oriented domain analysis(FODA) feasibility study. CMU/SEI-90-TR-21, Pittsburgh: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1990: 1-10.
- 6 Kang KC, Kim S, Lee J, Kim K, Shin E, Huh M. FORM: A feature-oriented reuse method with domain-specific reference architectures. Annals of Software Engineering, 1998, 5: 143-168.
- 7 Griss ML, Favaro J, D' Alessandro M. Integrating feature modeling with the RSEB. Proc. of the Fifth International Conference on Software Reuse. Victoria, IEEE Computer Society, 1998: 76-85.
- 8 Pohl K, Bockle G, van der Linden F. Software Product Line Engineering. Berlin, Springer-Verlag, 2005: 72-86.
- 9 Buhne S, Lauenroth K, Pohl Klaus. Why is it not Sufficient to Model Requirements Variability with Feature Models. Proc. of Workshop: Automotive Requirements Engineering, 2004, 9: 5-12.
- 10 赵海燕, 张伟, 麻志毅. 面向复用的需求建模. 北京: 清华大学出版社, 2008: 127-145.