

doi: 10.3969/j.issn.1007-855x.2010.02.018

# 一种度量特征模型的变体度算法

罗代忠<sup>1</sup>, 刁善会<sup>2</sup>

(1. 重庆文理学院计算机学院, 重庆 永川 402160;

2. 重庆工商大学 计算机与信息工程学院 计算机科学与工程系, 重庆 南坪 400067)

**摘要:** 产品线特征模型的可变点决定了产品线实例的多样性, 运用变体度来度量产品线实例数量. 在特征模型的基础上分析了特征可变性类型和特征约束依赖类型对变体度的影响, 提出的变体度算法不仅支持度量特征单型分解和单特征依赖的变体度, 也能精确度量多型分解和多特征依赖的变体度. 最后通过一个电梯控制系统实例验证了算法的有效性.

**关键词:** 特征模型; 变体度; 单型分解; 多型分解; 单特征依赖; 多特征依赖

**中图分类号:** TP311.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)02-0085-06

## An Algorithm of Measuring Variation Degree for Feature Model

LUO Dai-zhong<sup>1</sup>, DIAO Shan-hui<sup>2</sup>

(1. Computer college, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China;

2. College of Computer and Information Engineer, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** Variation points of the feature model of a product line determine the diversity of the product line instances. Variation degree is adopted to measure the number of the product line instances. Based on feature model, the influences of variability type and constraint dependency type on variation degree are analyzed. An algorithm is then proposed, which not only supports the measure variation degree of single decomposition and single feature dependency, but also accurately measures variation degree of multi decomposition and multi feature dependencies. Finally, a case study of feature model in an elevator control software product line is presented to illustrate the algorithm.

**Key words:** feature model; variation degree; single decomposition; multi decomposition; single feature dependency; multi feature dependency

## 0 引言

基于特征的领域建模方法是产品线中领域工程的建模技术, 其目的是运用产品线特征模型<sup>[1]</sup>中特征的共性和可变性建模, 并由产品线特征模型导出应用产品特征模型, 这种导出应用产品特征模型的过程称为产品线特征模型的实例化. 实例化不仅受产品线特征模型的可变性影响, 而且还受特征之间的约束依赖关系制约.

本文重点讨论实例化产品线特征模型可导出的有效特征模型数, 即产品线的变体度 (Variation Degree). 产品线的变体度不仅决定了可定制应用产品的数量, 而且也是度量产品线复杂程度的指标之一. 目前关于产品线特征可变性的研究主要集中在可变性的类别<sup>[1]</sup>、约束依赖<sup>[2]</sup>和语义描述<sup>[3]</sup>等方面, 对可变性引起的可定制应用产品数量缺乏相应的研究. Kwanwoo Lee等提出了特征可变性和相关的约束依赖<sup>[1]</sup>, 缺乏对产品线定制应用产品数量的研究; Thomas等提出了同类型分解关系条件下的变体度量方法和约束依赖无效模型的求解<sup>[4]</sup>, 但无法解决同一特征具有不同分解类型的变体度问题. 为此, 本文在引入特征

收稿日期: 2009-05-07. 基金项目: 重庆教委科技资助项目 (项目编号: KJ091203).

第一作者简介: 罗代忠 (1972-), 男, 副教授, 硕士. 主要研究方向: 软件工程、软件产品线、软件体系结构.

E-mail: dzluo@cqwu.net

可变性和特征依赖的基础上提出了一种基于特征模型的变体度算法. 首先论述了特征可变性类型和特征约束依赖类型, 其次提出了不同可变性类型和特征约束依赖类型的特征变体度算法. 最后运用变体度算法求解电梯控制系统产品线实例的数量, 验证了算法的有效性.

## 1 特征的可变性

软件产品线的可变特征是产品线部分成员拥有的特征. 一组相关可变特征集合的抽象特征称为可变点, 可变特征集合的相关特征称为变体.

可变性类型是指可变点绑定变体的表现形式, 即特征模型中一个特征能被分解<sup>[1]</sup>成成分特征子集或特征子集构成一个组合特征<sup>[5]</sup>. 特征分解关系的语义描述见参考文献 [5].

特征约束依赖是特征模型中非相邻特征或不同部分特征之间的制约关系, 是产品线定制应用产品时可变特征的裁剪或绑定约束关系, 是特征之间和特征绑定状态间的静态依赖关系<sup>[5]</sup>. 约束依赖分为二元约束依赖和多元约束依赖两种形式<sup>[5]</sup>, 约束依赖的语义描述见文献 [5].

## 2 特征的变体度

一个可变点的变体度是指该可变点的变体组合数, 特征模型的变体度是指该产品线特征模型可导出的应用产品数量. 显然可变量描述特征模型的产品线实例化空间, 特征模型中一个特征的变体度是指该特征可能实例特征的组合数, 因此根特征的变体度就是产品线特征模型的变体度, 代表产品线特征模型可能的实例化应用产品数量. 变体度值能衡量产品线特征模型是否充分表现了产品线的可变性, 反映产品线的灵活性和复杂性, 影响产品线的决策和开发.

特征约束依赖制约特征模型的生成, 从而影响特征模型的变体度. 本节首先研讨不同可变性类型的特征变体度算法, 在此基础上讨论约束依赖对变体度算法的影响.

### 2.1 可变性变体度

可变性变体度是指特征的不同分解关系的变体度. 本文用  $Deg(F)$  表示特征  $F$  的变体度, 特征树<sup>[1]</sup>中所有叶子特征的变体度为 1, 非叶子特征的变体度由该特征所有子特征的变体度和该特征与子特征之间的分解关系类型推导得到. 为探讨不同分解关系的变体度, 我们用  $F$  代表父特征,  $CF$  代表特征  $F$  具有的子特征集, 且子特征  $CF_i \in CF$ .

#### 2.1.1 单型分解

单型分解是指一个特征的分解关系只能为同一类型, 即子特征集的特征  $CF_i$  与父特征  $F$  之间具有相同的分解关系, 但不同特征分解可以具有不同分解类型. 从表 1 的可变性分解关系语义描述, 分别定义四种分解关系在单型分解条件下的变体度.

and: 特征  $F$  和  $CF$  之间的 and 关系是指如果特征  $F$  绑定到应用产品特征模型, 则其子特征  $CF$  也必须被绑定.

定义 1 一个具有  $n$  个 and 子特征的特征变体度等于所有 and 子特征的变体度的累积, 记为:

$$Deg(F) = \prod_{i=1}^n Deg(CF_i) \quad (1)$$

opt: 特征  $F$  和  $CF$  之间的 opt 关系是指如果特征  $F$  绑定到应用产品特征模型, 则其子特征  $CF$  可以被绑定或不被绑定.

定义 2 一个具有  $n$  个 opt 子特征的特征变体度等于所有 opt 子特征的变体度加 1 后的累积, 记为:

$$Deg(F) = \prod_{i=1}^n (Deg(CF_i) + 1) \quad (2)$$

注意, 所有 opt 子特征的变体度加 1 是因为每个 opt 子特征可以被绑定或不被绑定.

xor: 特征  $F$  和  $CF$  之间的 xor 关系是指如果特征  $F$  绑定到应用产品特征模型, 则其子特征集  $CF$  有且只能有一个子特征被绑定.

定义 3 一个具有  $n$  个 xor 子特征的特征变体度等于所有 xor 子特征的变体度的累加和,记为:

$$Deg(F) = \sum_{i=1}^n Deg(CF_i) \tag{3}$$

or 特征  $F$  和  $CF$  之间的 or 关系是指如果特征  $F$  绑定到应用产品特征模型,则其子特征集  $CF$  至少有一个子特征被绑定.

定义 4 一个具有  $n$  个 or 子特征的特征变体度等于该特征 opt 关系的变体度减 1,记为:

$$Deg(F) = \sum_{i=1}^n (Deg(CF_i) + 1) - 1 \tag{4}$$

其实 or 只比 opt 少一种所有子特征不被绑定的组合,即 or 是 opt 的特例关系.

### 2.1.2 多型分解

多型分解是指一个特征的分解关系为多种类型,即子特征集的特征  $CF_i$  与父特征  $F$  之间具有两种以上的分解关系. 正常情况下,特征模型中的特征分解关系是多种分解关系的组合,而不是一组相同的分解类型,即该特征分解是一种混合型分解关系的组合. 多型分解关系下的变体度更具有普遍性. 下面探讨特征分解中仅有一组 or 或 xor 关系的多型分解,多组情况可以类推.

定义 5 一个具有  $n$  个子特征的多型分解关系的特征变体度定义为:

$$Deg(F) = Deg(CF)_{or} \cdot Deg(CF)_{xor} \cdot \prod_{i=1}^n Deg(CF_i)_{op} \tag{5}$$

$op \in \{and, opt\}, \forall i, j (j = or \text{ 或 } xor \text{ 子特征的下标})$

其中  $Deg(CF)_{or}$  = 具有 or 关系的子特征  $CF$  集的变体度,可由式 (4) 得到;

$Deg(CF)_{xor}$  = 具有 xor 关系的子特征  $CF$  集的变体度,可由式 (3) 得到;

$Deg(CF_i)_{and} = Deg(CF_i) (op = and)$ ;

$Deg(CF_i)_{opt} = Deg(CF_i) + 1 (op = opt)$ .

式 (5) 是单型分解关系条件下求解特征变体度的通用公式.

### 2.2 约束依赖变体度

表1 单型分解条件下特征  $CF$  绑定/不绑定的变体度<sup>[2]</sup>

Tab.1 Variation degree of feature  $CF_i$  for dingle decomposition

约束依赖描述的是不同层、不同部分特征之间的约束关系,这些约束关系不仅制约应用产品特征模型的生成,而且制约可变点的变体裁剪或绑定,影响应用产品实例化数量,从而影响产品线特征模型的变体度. 很显然,特征的约束依赖会减少应用产品实例化数量,影响特征的变体度.

#### 2.2.1 单特征依赖

单特征依赖是指产品线特征模型仅含有一个特征约束依赖. 为求解单特征依赖下的变体度,先引入产品线特征模型变体度的相关符号<sup>[4]</sup>:

单型分解关系类型	绑定或不绑定 $CF_i$ 特征 $F$ 的变体度
and	$Deg(F)_{CF_i} = \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)$ $Deg(F)_{-CF_i} = 0$
opt	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF_i) \cdot \prod_{j=1}^n (Deg(CF_j) + 1) \quad \forall j \neq i$ $Deg(F)_{-CF_i} = \prod_{j=1}^n (Deg(CF_j) + 1) \quad \forall j \neq i$
xor	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF_i)$ $Deg(F)_{-CF_i} = \sum_{j=1}^n Deg(CF_j) \quad \forall j \neq i$
or	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF_i) \cdot \prod_{j=1}^n (Deg(CF_j) + 1) \quad \forall j \neq i$ $Deg(F)_{-CF_i} = (\prod_{j=1}^n (Deg(CF_j) + 1)) - 1 \quad \forall j \neq i$

= 忽略所有特征依赖的有效特征模型集,即分解关系下的有效特征模型集;

=  $| \dots |$  ( 对应的根特征的变体度 );

$Dep_i$  = 单特征依赖  $i$  引起的无效特征模型集;

=  $| Dep_i |$  ( $Dep_i$  对应的无效特征模型数 ),

则求解单特征依赖条件下的有效特征模型数 (即变体度) 的步骤为:

- (1) 计算不考虑所有特征依赖约束  $i$  的特征模型数  $D$ ;
- (2) 计算由特征依赖  $i$  引起的无效特征模型数  $Dep_i$ ;
- (3) 在单特征依赖  $i$  的影响下有效的特征模型数  $D_i$  为:

$$D_i = D - Dep_i \quad (6)$$

式(6)中的  $D_i$  值可由式(5)求解,而无效特征模型数  $Dep_i$  值求解较困难。 $D_i$  值由特征依赖类型和分解关系类型共同决定. 约束依赖决定某个特征是否为有效或无效绑定,因此为求解无效特征模型需要求解特征在绑定或不绑定情况下的特征变体度. 表 1给出了单型分解条件下的特征  $CF_i$ 绑定或不绑定时特征  $F$ 的变体度值.

多型分解关系条件下的特征  $CF_i$ 绑定或不绑定时特征  $F$ 的变体度值可以由表 1和式(5)推导,表 2给出了多型分解关系条件下绑定或不绑定特征  $CF_i$ 时特征  $F$ 的变体度.

表2 多型分解条件下特征 $CF_i$ 绑定/不绑定的变体度  
Tab.2 Variation degree of feature  $CF_i$  for multi decomposition

$CF_i$ 的分解关系类型	绑定或不绑定 $CF_i$ 特征 $F$ 的变体度
and	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF)_{or} \cdot Deg(CF)_{xor} \cdot \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)_{op}$ $Deg(F)_{-CF_i} = 0$
opt	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF_i) \cdot (Deg(CF)_{or} \cdot Deg(CF)_{xor} \cdot \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)_{op}) \quad \forall j \neq i$ $Deg(F)_{-CF_i} = Deg(CF)_{or} \cdot Deg(CF)_{xor} \cdot \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)_{op} \quad \forall j \neq i$
xor	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF_i) \cdot (Deg(CF)_{or} \cdot \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)_{op}) \quad \forall j \neq i$ $Deg(F)_{-CF_i} = (\sum_{k=1}^m Deg(CF_k)) \cdot \xi \quad \forall j \neq i$ <p>其中: <math>\xi = Deg(CF)_{or} \cdot (\prod_{j=1}^n (Deg(CF_j)_{op})</math> <math>m</math>是xor集中除特征<math>CF_i</math>外的特征数</p>
or	$Deg(F)_{CF_i} = Deg(CF_i) \cdot (Deg(CF)_{or} \cdot Deg(CF)_{xor} \cdot \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)_{op}) \quad \forall j \neq i$ $Deg(F)_{-CF_i} = Deg(CF)_{or} \cdot Deg(CF)_{xor} \cdot \prod_{j=1}^n Deg(CF_j)_{op} \quad \forall j \neq i$ <p>其中: <math>Deg(CF)_{or}' = (\prod_{k=1}^m (Deg(CF_k) + 1)) - 1</math> <math>m</math>是or集中除特征<math>CF_i</math>外的特征数</p>

其中:  $op \in \{and, opt\}$ ,  $\forall j \neq i$  ( $t=or$ 或 $xor$ 子特征的下标)

### 2.2.2 多特征依赖

通常情况下,产品线特征模型中存在两个及以上的特征约束依赖关系,这种特征约束依赖我们称为多特征依赖. 求解具有多特征依赖关系的特征模型变体度十分困难,这里不仅要考虑每个特征约束依赖引起

的无效特征模型,而且不同特征约束依赖引起的无效特征模型之间还可能存在交集.此时特征模型的变体度应定义为:

$$= - + \tag{7}$$

这里 表示忽略约束依赖时产品线特征模型的变体度;  $= \sum_{i=1}^n Dep_i /$  表示所有约束依赖引起的无效特征模型的变体度;  $= \sum_{i=1, j=i+1}^{n-1, n} (Dep_i Dep_j) /$  表示所有约束依赖交集引起的无效特征模型的变体度.因此求解多特征依赖的产品线特征模型变体度定义如下:

$$= \sum_{i=1}^n Dep_i + \sum_{i=1, j=i+1}^{n-1, n} (Dep_i Dep_j) / \tag{8}$$

式 (8) 具有以下性质:

(1) 当  $= 0$  时,即  $\sum_{i=1}^n Dep_i / =$ , 此时必有  $= 0$ , 表示所有特征之间不存在约束依赖引起的无效特征模型,也就是说特征是相互独立的;

(2) 当  $0$  时,即  $\sum_{i=1}^n Dep_i /$ , 此时 的取值存在两种情况:

当  $= 0$  时,即  $\sum_{i=1, j=i+1}^{n-1, n} (Dep_i Dep_j) =$ , 表示特征之间存在特征约束依赖但各特征依赖之间不存在交集;

当  $0$  时,即  $\sum_{i=1, j=i+1}^{n-1, n} (Dep_i Dep_j)$ , 表示特征之间存在特征约束依赖且特征约束依赖之间存在交集.

### 2.3 实例分析

图 1 给出了一个电梯控制系统的软件产品线特征模型. 电梯控制系统特征模型中特征分解关系如图 1 所示,存在的特征约束依赖有:位置控制特征需要根据位置传感器特征计算当前电梯位置值,因此有 required(位置控制,位置传感器);停止控制特征需要根据登记停靠楼层决定电梯停靠哪层,但是当电梯在超负荷运行的情况,如果启动载重传感器特征,则超重忽略特征将忽略来自登记停靠楼层特征请求,因此存在 required(超重忽略,载重传感器).下面我们运用前面提出的变体度算法求解电梯控制系统的特征模型变体度.

(1) 分解关系条件下的特征模型. 数字式、近似值、绝对位置和相对位置等为叶子特征,则其特征变体度均为 1;载重传感器特征由数字式和近似值以 xor 关系组合而成,由式 (3) 可得载重传感器特征变体度为 2;位置传感器特征由绝对位置和相对位置以 or 关系组合而成,由式 (4) 可得位置传感器特征变体度为 3;环境控制特征分解为位置传感器特征 (and) 和可选的载重传感器特征 (opt),由式 (5) 可得环境控制特征变体度为 9.图 1 给出了仅有分解关系的各特征变体度值.最后可得仅考虑分解关系的特征模型变体度值  $= 36$

(2) 约束依赖条件下的无效特征模型. 由于存在的约束依赖有  $i = required$  (位置控制,位置传感器) 和  $j = required$  (超重忽略,载重传感器).因不存在绑定位置控制特征而不绑定位置传感器特征的特征模型,所以约束依赖  $required$  (位置控制,位置传感器) 引起的无效特征模型数  $i = 0$ .当绑定超重忽略特征而不绑定载重传感器特征时,由表 2  $CF_i = opt$  对应的公式  $Deg(F)_{CF_i}$  可得环境控制特征的变体度为 3,由表 3  $CF_i = op$  对应的公式  $Deg(F)_{CF_i}$  可得停止控制特征因绑定超重忽略特征其变体度为 1,对应的运行控制特征的变体度为 2,则无效特征模型对应的变体度  $j = 6$ .最后得到在约束依赖  $i = required$  (位置控制,位置传感器) 和  $j = required$  (超重忽略,载重传感器) 的约束下的无效特征模型变体度  $= i + j = 0 + 6 = 6$

(3) 约束依赖条件下无效特征模型的交集. 实例中只有两个约束依赖,而且约束依赖  $i = required$  (位置控制,位置传感器) 的无效特征模型为空集,则  $= 0$

电梯控制系统产品线的特征模型的变体度  $= - + = 36 - 6 + 0 = 30$

### 3 结论

特征的可变性及其特征之间的约束依赖关系使产品线具有更大的灵活性,同时可导出产品线的多个不同应用软件产品. 本文引入特征的变体度算法是一种度量产品线实例数量的方法,该方法不仅能度量特征分解条件下的特征变体度,而且也可以度量特征约束依赖条件下的变体度,并支持精确度量多型分解和多特征依赖关系下的变体度,其结果对衡量产品线的复杂性提供了理论依据,为产品线的开发决策提供支持.

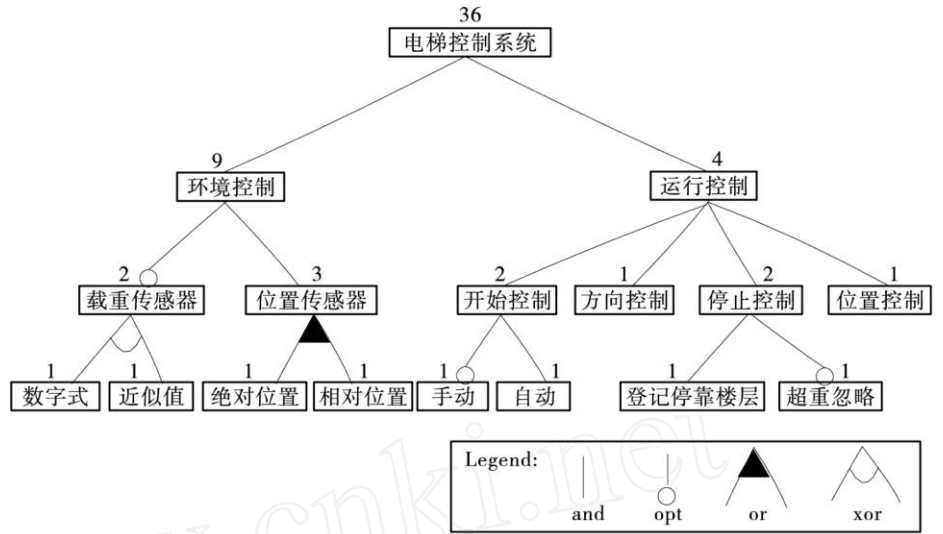


图1 电梯控制系统产品线的特征模型  
Fig.1 Feature model of product line for elevator controlling system

### 参考文献:

[1] Kwanwoo Lee, Kyo C Kang, Jaepon Lee Concepts and Guidelines of Feature Modeling for Product Line Software Engineering [C]. Proceedings of the 7th International Conference Software Reuse, 2002: 62 - 77.

[2] Michel Jaring, Jan Bosch A Taxonomy and Hierarchy of Variability Dependencies in Software Product Family Engineering [C]. Proceedings of the 28th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC '04), 2004: 356 - 361.

[3] Pierre - Yves Schobbens, Patrick Heymans, Jean - Christophe Trigaux Feature Diagrams: A Survey and a Formal Semantics [C]. 14th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 06), 2006: 136 - 145.

[4] Thomas von derMa en, Horst Lichter Determining the Variation Degree of Feature Models[C]. 9th International Conference, SPLC 2005. Proceedings, 2005: 82 - 88.

[5] 罗代忠,赵文耘.一种面向产品线的特征依赖建模方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(9): 2349 - 2352

(上接第 46 页)

### 参考文献:

[1] Edelman I, Wilmanski K A asymptotic analysis of surface waves at vacuum/porous medium and liquid/porous medium interfaces[J]. Continuum Mech Thermody, 2002, 14: 25 - 44.

[2] de Boer R, Ehlers W, Liu Z One - dimensional transient wave propagation in fluid - saturated incompressible porous media [J]. Archive ApplMech, 1993, 63: 59 - 72.

[3] de Boer R, Liu Z Plane waves in a semi - infinite fluid saturated porous media[J]. Transport in PorousMedia, 1994, 16: 147 - 173.

[4] 刘占芳,李德源,严波.饱和多孔介质中的非均匀平面波[J].岩土力学学报, 1999, 20(4): 31 - 35.

[5] 杨晓,车京兰.饱和黏弹性多孔介质中的平面波及能量耗散[J].力学学报, 2005, 37(5): 579 - 585.

[6] 张燕,杨晓.不可压饱和和粘弹性多孔介质中的 Rayleigh波[J].上海大学学报:自然科学版, 2007, 13(1): 62 - 67.

[7] 郑云英,杨晓.流体饱和和标准线性粘弹性多孔介质中的平面[J].波固体力学学报, 2005, 26(2): 203 - 206.

[8] de Boer R. Theory of porous media: highlights in the historical development and current state [M]. Berlin: Springer - Verlag, 2000.

[9] LIU Z F, de Boer R. Dispersion and attenuation of surface waves in a fluid - saturated porous media[J]. Transport in Porous Media, 1997, 29: 207 - 223.