

# 面向软件产品线的多维分层需求过程及其应用

朱亚峰, 姚 郑

(中国科学院研究生院计算与通信工程学院, 北京 100049)

**摘 要:** 准确获取产品线需求、识别需求的共性和可变性, 是软件产品线(SPL)成功的关键。该文提出一个多维分层需求过程, 利用分层思想划分 SPL 分析空间, 从不同维度观察产品需求特性, 采用需求-上下文矩阵保证领域需求分析的客观性, 为产品线需求工程实践提供了借鉴。

**关键词:** 软件产品线; 需求共性和可变性; 多维分层需求过程

## Software Product Line Oriented Multidimensional and Hierarchical Requirement Process and Its Application

ZHU Ya-feng, YAO Zheng

(College of Computing & Communication Engineering, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**【Abstract】** To elicit the requirements, identify the requirements commonness and variability correctly is the key for Software Product Lines(SPL) success, which needs a particular requirement process and methods. This paper puts forward a multidimensional and hierarchical requirement process, which carves up the SPL analyse space from multi-hierarchy, observes the SPL requirements form n-dimension, and utilizes PR-Context matrix to ensure the objectivity of domain requirement analysis. It is beneficial to the practice of SPL requirement engineering.

**【Key words】** software product line; requirement commonness and variability; multidimensional and hierarchical requirement process

### 1 概述

软件产品线已成为软件工程领域的研究和实践热点之一。作为一种新型软件复用技术, 软件产品线是针对特定市场区域、具有一组共性特征、从预先生成的核心资产开发而来的软件产品的集合<sup>[1]</sup>。软件产品线在许多基本理论和基本原则形成了共识, 研究者先后提出了多种产品线工程方法框架, 其中, 面向特征的领域分析方法 FODA<sup>[2]</sup>和产品线软件工程<sup>[3]</sup>等具有代表性。这些方法框架虽然给出了需求过程的指导框架, 但没有给出需求活动的细节和方法指导。软件产品线需求过程被划分为: (1)面向产品线的需求过程, 即领域需求过程; (2)面向产品线中某个具体产品的需求过程, 即应用需求过程。领域需求过程确定面向整个产品线的可复用需求核心资产, 定义面向整个产品线的共性和可变性。正确识别需求的共性和可变性是软件产品线成功的关键。识别共性和可变性一般依赖领域专家的领域知识和经验, 而过分依赖领域专家的经验 and 直觉可能带来偏差, 在系统庞大且复杂的情况下, 根据人工经验很难判别。因此, 需要一个严谨而客观的过程来完成上述工作, 尽可能准确地获取产品线需求。本文提出一个多维分层的领域分析过程, 并应用于企业资源计划(Enterprise Resources Planning, ERP)单据需求中。

### 2 多维分层领域需求过程

#### 2.1 相关术语

对多维分层领域需求过程的相关术语、概念的含义说明如下:

(1)领域和核心资产。领域指一组具有相似和相近软件需求的应用系统所覆盖的功能区域<sup>[4]</sup>。核心资产指构成软件产

品线基础的资产, 通常包括架构、可复用的软件组件、领域模型、需求描述、文档及规格说明、性能模型、进度、预算、测试计划、测试用例、工作计划和过程描述等。

(2)需求的共性和可变性。共性指隶属于软件产品线中的所有成员产品必须具备的特征, 共性的集合是形成产品线的基础。可变性指只存在于软件产品线中某些成员产品的特征, 它区别出产品线内的不同成员产品。共性和可变性在整个产品线开发过程中具有重要作用。

(3)原子需求与原子需求-上下文(PR-Context)矩阵。所有需求都可以分解成一系列简单易懂的基本原子需求(Primitive Requirement, PR)<sup>[5]</sup>。原子需求是描述需求的最基本语义单元, 原子需求允许使用最基本的语义原子以一种简单易懂的方式无偏差地描述需求, 通过考查原子需求的共性和可变性来确定领域需求的共性和可变性。PR-Context 矩阵是一种在产品线环境下确定原子需求共性和可变性的方法<sup>[5]</sup>。一个 Context 是一个由若干应用场景或应用系统组成的集合的抽象, 它构成原子需求的语义环境。一个 Context 可以是一个应用系统、遗留系统或若干个应用系统的集合, 它给出原子需求的生存环境。PR-Context 矩阵是一个由原子需求构成的矩阵行, Context 构成矩阵列的分析矩阵, 通过它考查原子需求在不同 Context 出现的比例, 由此确定该原子需求的共性和可变性。该矩阵统计性地显示原子需求具有何种属性,

**基金项目:** 国家“863”计划基金资助项目(2005AA1Z2070)

**作者简介:** 朱亚峰(1978—), 女, 工程师、硕士, 主研方向: 软件产品线需求工程, ERP 软件; 姚 郑, 教授、博士

**收稿日期:** 2007-11-22 **E-mail:** yaozheng@gucas.ac.cn

不依赖领域专家的经验 and 直觉。

(4)需求的层次和维度。产品线需求的规模远大于单个产品的需求规模,需要进一步划分需求的层次和维度,从而将整个需求问题空间划分为更小的单元,以降低需求分析的复杂性。软件产品线需求具有层次结构,体现在其共性和可变性的层次性。高抽象层次产品线中的可变性可能在其低抽象层次产品线中进一步定义成共性。对共性而言,高层次产品线的共性必然是低层次产品线的共性,而低层次产品线可能拥有高层次产品线没有的额外共性,它可能来自高层次可变性的进一步定义,也可能来自与高层次无关的新抽象。产品线需求维度是对产品线需求共性和可变性在某一特定方面的视角。以 ERP 软件产品为例,可划分的维度很多,如单据、单据处理、报表、基础档案、权限等。一个产品线一般是多维度的,需要逐一一对每个维度的特征进行共性和可变性分析和描述。本文把沿着维度自然分解的产品线称为多维产品线。

## 2.2 总体流程

本文提出一个面向软件产品线的完整领域需求过程,如图 1 所示,划分为产品线范围定义、原始需求收集、需求维度分析、矩阵分析、需求层次划分、需求规格说明 6 个阶段。该过程可裁剪,例如,对于一些规模较小的产品线可以裁减掉其中的需求维度分析或需求层次划分。

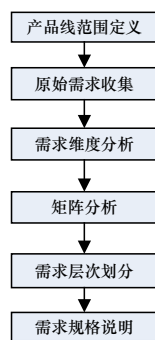


图 1 多维分层领域需求过程

## 2.3 产品线范围定义

范围定义是一项重要的基础活动,它确定了产品线共性和可变性范围。产品线范围定义过程包括用户需求调研(了解用户需求的基本情况)、竞争对手分析(目前市场上有哪些类似产品,存在什么问题,解决这些问题能给自己带来多少收益)、行业发展动向分析(未来的发展趋势,新技术的出现带来的机遇及风险)、企业竞争力分析(公司内已有哪些类似产品,公司客户群及需求情况,公司技术实力等)等重要活动。

确定产品线范围后,就在一定时间内确定了开发核心资产的范围。产品线范围可能变化,一个新项目、一个技术变革、一个重要用户的需求、竞争对手的新特征等因素都可能引发产品线范围变化,这种变化需要经过一定时间和程序。

## 2.4 原始需求收集

原始需求收集的主要任务是面向整个产品线覆盖范围收集原始需求,可使用传统的需求收集方法。首先分析产品线范围定义,根据产品线范围定义确定目标用户及同类软件,并对目标用户进行需求收集。然后分析同类软件的功能,对相关资料进行收集分析。通过以上渠道收集到产品线原始需求,得到产品线覆盖范围的原始需求描述。这些描述可能很详细,且存在大量重复内容和相似性。

## 2.5 需求维度划分

原始需求收集为产品线产品需求提供用于分析的原始资

料,需求维度划分为产品线需求的多维分层分析提供整体框架和思路。一种实用的确定产品线需求维度的方法是站在不同涉众位置,通过其视角观察产品。涉众是对软件利益相关者的抽象,它可以视为软件产品外的相关角色,可以是一个人、一个组织或若干组织部分的抽象合成。由于利益相关,因此每个涉众对软件产品都有自己的权益要求和独特视角,看到的景象体现了该涉众对产品提出的某方面的特殊要求。通过对上述内容的整理,可归纳出产品线需求的基本维度。

## 2.6 PR-Context 矩阵分析

在产品线需求实践中,最关键的难点是确定需求的共性和可变性,从复杂的原子需求描述中识别适用于整个产品线的共性需求。本文使用 PR-Context 矩阵来完成此任务,具体方法如下:对每个维度,将其原子需求 PR 作为行、Context 作为列,建立维度 PR-Context 矩阵;行列交汇点上标记该行原子需求 PR 是否出现在该列 Context 中;统计原子需求在各 Context 中出现的比例,根据比例确定其共性或可变性,获得维度共性和可变性集合。

## 2.7 需求层次分析

需求层次划分可作为对可变性进一步分析的方法,该阶段根据实际情况可选。如果分析的产品线范围定义较广,要求在某个特定范围内进一步确定该范围内的共性需求和可变性需求,可以通过对需求进行层次划分来完成。

需求的层次从纵向上表现软件产品线的结构化组织。完成上述阶段后,得到一个面向整个分析范围的产品线核心资产,它们可以使用共性原子需求集合的形式来表示。但产品线覆盖范围下的某个具体领域除了拥有这些共同的核心资产外,还具有额外共性,须在自己的范围内做进一步分析,以提取它们,这些共性与整个产品线范围的共性组成该具体领域的共享核心资产。

产品线需求的层次使用集合方式表示。设产品线覆盖领域为  $D$ ;  $D_1$  是  $D$  下的一个特定领域;  $D_{11}$  是  $D_1$  下的一个特定领域;  $D$  的共性需求集合为  $\{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ ;  $D_1$  的共性需求集合为  $\{d_1, d_2, \dots, d_n, d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1m}\}$ ;  $D_{11}$  的共性需求集合为  $\{d_1, d_2, \dots, d_n, d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1m}, d_{111}, d_{112}, \dots, d_{11p}\}$ 。细分领域的共性需求包含其所属领域的共性需求,并拥有额外共性需求,由此组成一个层次性结构。

产品线层次的划分目的不是人为划分出上述层次结构,而是根据产品线发展需要,对需要强化的细分领域做进一步分析,并提供一种管理共性和可变性的手段。

## 2.8 需求规格说明

在完成所需原子需求分解和维度划分、层次分析后,得到产品线的共性需求。这些需求以原子需求集合的形式存在并表达,有利于实现需求共性和可变性的管理和分析,但对整个产品线的生产指导并不直观,只是需求分析的中间过程产品,需要按设计人员可以理解的形式把它们组织成需求规格文档。需求规格文档的整理可以按系统组成的形式进行组织,把分属不同维度的原子需求按其服务的系统或组件组织成需求规格说明书。

## 3 应用案例

本文以 ERP 软件产品线为应用背景,将多维分层需求过程具体应用到 ERP 单据组件需求工作中,取得了预期效果。

ERP 是建立在信息技术基础上,利用现代企业先进的管理思想,全面集成企业所有资源信息,并为企业提供决策、计划、控制与经营业绩评估的全方位系统化管理平台<sup>[6]</sup>。在

用户与 ERP 系统的交互中,单据用于业务数据等动态信息的处理,是 ERP 系统使用最广泛、要求最复杂的信息组织方式,它几乎被用于所有业务处理环节。

3.1 单据需求原始描述

ERP 产品面向的行业众多,业务流程和业务处理各有特点,其中涉及的单据差别很大。由于单据的应用贯穿整个 ERP 系统的各个业务处理环节,面对不同业务和不同行业大量客户的个性化要求,因此单据需求很复杂。这些需求具有大量共性,面向产品线的单据组件需要从所有单据中找出其共同特征,即单据共性,分析其可变性,开发能适应不同单据需求、易于扩展的单据组件。本文选取具有代表性的供应链系统中销售管理系统的典型单据作为分析依据。

销售管理系统主要单据有销售报价单、销售订单、销售发货单、销售退货单、销售发票、委托代销发货单、委托代销退货单、销售零售日报等。

销售单据由表头和表体组成。表头栏目包括业务类型、销售类型、单据号、单据日期、客户简称、客户自定义项、用户信用度、销售部门、付款条件、发运方式、发货地址、联系人和联系电话、币种、汇率、税率、现存数量、可用数量、价税合计(大写)、备注、表头自定义项、制单人、变更人、审核人、复核人;表体栏目包括仓库、存货编码和存货名称、存货自由项、存货自定义项、客户存货编码和客户存货名称、主计量单位、数量、销售单位(辅计量)、件数(辅数量)、换算率、报价、无税单价、含税单价、无税金额、价税合计、税率%、税额、扣率%、零售单价、零售金额、最低售价、本币单价(无税)、本币金额(无税)、本币税额、本币价税合计、本币折扣额、退补标志、表体自定义项、批号。

销售管理的操作包括增加、删除、打印、打印预览、导航等通用操作及一些特有操作。常用销售单据操作包括审核/弃审、关闭/打开、参照生单、复制单据、定位单据、联查单据、预估毛利。

3.2 需求维度划分

根据销售单据的应用描述,可以从单据组织展现、单据操作 2 个维度展开需求分析,从而使分析工作具有条理性,并降低分析复杂度。单据展现维度的原子需求如表 1 所示,单据操作维度的原子需求如表 2 所示。

表 1 单据展现维度的原子需求

PR	PR 描述
PR-1	单据具有一个单据头,展现单据的表头信息
PR-2	单据头具有若干个栏目
PR-3	单据具有若干个单据体,展现单据的明细信息
PR-4	每个单据体具有若干个栏目
PR-5	单据栏目具有显示格式属性,指定该栏目数据的显示格式
PR-6	单据栏目具有是否显示属性,取值是隐藏或显示
PR-7	单据栏目具有坐标位置属性,定义栏目在单据的位置
PR-8	单据栏目之间的默认输入顺序可以被设置
PR-9	在编辑或新增状态下,单据栏目具有是否可编辑性,属性取值是可编辑或不可编辑
PR-10	单据栏目具有默认值属性,定义栏目在新增状态下默认值
PR-11	单据栏目数据输入方式包括手工输入、参照带回、根据其他栏目自动带入、根据其他栏目计算、取默认值
PR-12	单据栏目是否可空,取值是可空或不可空

表 2 单据操作维度的原子需求

PR	PR 描述
PR-1	单据具有增删改操作
PR-2	单据具有保存操作
PR-3	单据具有放弃操作
PR-4	单据具有打印及打印预览操作
PR-5	单据具有翻页操作
PR-6	单据具有审核操作
PR-7	单据具有弃审操作
PR-8	单据具有打开操作
PR-9	单据具有关闭操作
PR-10	单据具有复制操作
PR-11	单据具有参照生单操作
PR-12	单据具有复制行操作
PR-13	单据具有插入行操作
PR-14	单据具有删除行操作
PR-15	单据具有行打开操作
PR-16	单据具有行关闭操作

3.3 PR-Context 矩阵分析

在原子需求的基础上,可以定义单据组件的 PR-Context 矩阵。单据组件的应用 Context 是销售系统的各个业务单据,即单据组件的具体应用场景是各个业务单据。根据销售系统的业务单据,得到如表 3 所示的 Context。

表 3 Context 描述

Context	Context 描述
C1	销售报价单
C2	销售订单
C3	销售期初发货单
C4	销售发货单
C5	销售退货单
C6	销售发票
C7	委托代销发货单
C8	委托代销退货单
C9	委托代销结算单
C10	销售调拨单
C11	销售零售日报

以 Context 为列,以原子需求 PR 为行,建立 PR-Context 矩阵。检查应用领域销售管理系统的单据,对于在 Context 中需要实现的原子需求 PR 标记 O,不需要实现的标记 X。计算原子需求在所有 Context 中需要实现的比例,比例等于需要实现 PR 的 Context 数量除以 Context 总数量乘以 100%。根据比例确定 PR 的属性,PR 属性取值为 C 或 P,其中,C 表示通用原子需求;P 表示可选原子需求。本文定义比例 90% 的原子需求为通用原子需求。

根据单据应用领域描述,可以得到组织展现维的 PR-Context 矩阵如图 2 所示。根据单据应用领域描述,可以得到操作维的 PR-Context 矩阵如图 3 所示。

PR \ C	属性	比例/%	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
PR1	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR4	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR5	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR6	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR8	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR9	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR10	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR11	P	44.4	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O
PR12	P	11.1	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X

图 2 单据展现维度的 PR-Context 矩阵

(下转第 50 页)

连续监控状态下, 2 号接口机 1 号电解槽的操作数据,  $|D_3|=127\ 559$ 。事务数据库共有 7 个属性, 22 个属性值, 平均事务长度为 4。

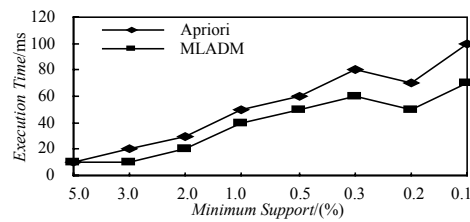


图 2 波动状态下 1 号接口机电解槽的人工操作情况

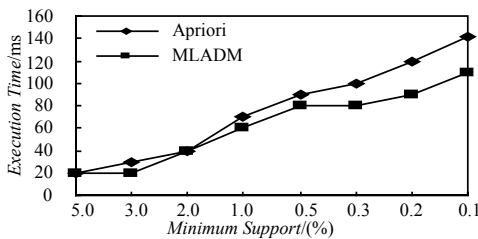


图 3 连续监控状态下 1 号接口机电解槽的人工操作情况

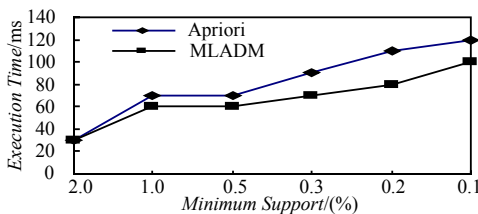


图 4 连续监控状态下 2 号接口机电解槽的人工操作情况

(上接第 47 页)

PR \ C	属性	比例/%	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
PR-1	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-2	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-3	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-4	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-5	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-6	P	77.8	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-7	P	77.8	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-8	P	44.4	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
PR-9	P	44.4	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
PR-10	C	94.4	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O
PR-11	P	77.8	X	O	X	O	O	O	O	O	O	X	O
PR-12	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-13	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-14	C	100	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
PR-15	P	44.4	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
PR-16	P	44.4	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X

图 3 单据操作维度的 PR-Context 矩阵

3.4 需求层次和规格说明

由 3.3 节的 PR-Context 矩阵可知, 单据展现维的共性需求集合是 {PR1, PR2, PR3, PR4, PR5, PR6, PR7, PR8, PR9, PR10}, 操作维的共性需求集合是 {PR-1, PR-2, PR-3, PR-4, PR-5, PR-10, PR-12, PR-13, PR-14}。

根据共性需求集合, 整理可得销售系统单据组件的需求规格说明。

实验结果表明, 在采用二进制表示和计算得到相同挖掘结果的前提下, MLADM 算法的效率高于 Apriori 算法。

当得到的高层次最大频繁模式为所有属性组成的全模式时, MLADM 算法仍然适用, 只是退化为基于大模式优先的挖掘方法。综上所述, MLADM 算法更适用于密集数据集的长模式挖掘。

6 结束语

本文算法采用两级挖掘方法优先得到频繁长模式, 避免了采用二进制表示及运算后, 算法过程中出现冗余模式。挖掘密集长模式项集时, 本文算法的效率高于同类算法且实用性较高。

参考文献

[1] 宋世杰, 胡华平, 周嘉伟, 等. 一种基于大项集重用的序列模式挖掘算法[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(1): 68-74.  
[2] Ayres J, Flannick J, Gehrke J, et al. Sequential Pattern Mining Using a Bitmap Representation[C]//Proceedings of the 8th ACM SIGKDD Int'l Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York, USA: SIGKDD and ACM Press, 2002.  
[3] 孔令富, 王 晗, 练秋生. 一种基于关联规则挖掘的组织数据方法[J]. 计算机工程, 2006, 32(21): 12-14.  
[4] 毛国君, 刘椿年. 基于项目序列集操作的关联规则挖掘算法[J]. 计算机学报, 2002, 25(4): 417-422.  
[5] Vincent T Y N, Jacky M L W, Bao P. Incremental Mining of Association Patterns on Compressed Data[C]//Proceedings of IFSA World Congress and the 20th NAFIPS International Conference. Vancouver, Canada: [s. n.], 2001.

4 结束语

本文介绍了一种面向软件产品线的多维分层需求过程, 从多维度和多层次角度综合观察并处理软件产品线需求。描述了多维分层需求过程中领域需求分析阶段的具体活动和方法, 运用多维分层需求过程, 分析了一个面向产品线的 ERP 单据需求, 通过实际应用验证了该过程在 ERP 软件产品线需求分析方面的有效性。

参考文献

[1] Clements P, Northrop L. 软件产品线实践与模式[M]. 张 莉, 王 雷, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.  
[2] Kang K. Feature-oriented Domain Analysis Feasibility Study[R]. Pittsburgh, USA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Tech. Rep.: CMU/SEI-90-TR-21, 1990.  
[3] Bayer J, Flege O, Knauber P, et al. PuLSE: A Methodology to Develop Software Product Lines[C]//Proceedings of the Symposium on Software Reuse. Los Angeles, USA: [s. n.], 1999.  
[4] 李克勤, 陈兆良. 领域工程概述[J]. 计算机科学, 1999, 26(5): 21-25.  
[5] Moon M, Yeom K. An Approach to Develop Requirement as a Core Asset in Product Line[C]//Proceedings of the 8th International Conference on Software Reuse. Madrid, Spain: [s. n.], 2004.  
[6] 陈启申. ERP-从内部集成起步[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2005.