

基于价格随机 Petri 网的服务协同建模与分析

王红霞

(北京青年政治学院计算机系 北京 100102)

摘要 针对一个企业不仅重视系统性能,也重视系统成本的问题,提出了价格随机 Petri 网,用于系统的价格和性能分析。价格随机 Petri 网既具有随机 Petri 网在性能分析方面的优势,又能计算系统的成本,对系统的建立和改进具有宏观指导作用。基于价格随机 Petri 网对服务协同典型模型提出了等价化简方法,并进行了相应的证明,此方法在一定程度上提高了系统分析的效率。

关键词 Petri 网,服务协同,价格随机

Modeling and Analysis of Cooperative Services Based on Price Stochastic Petri Net

WANG Hong-xia

(Department of Computer, Beijing Youth Politics College, Beijing 100102, China)

Abstract Now an enterprise attaches great importance not only to system performance but also to system cost. In view of this situation the price stochastic Petri net was put forward in order to analyse the system price and performance. On one hand, price stochastic Petri net possesses the advantage of performance analysis like stochastic Petri net. On the other hand, it can calculate system cost and guide the establishment, improvement of system macroly. An equivalent simplified method of collaborative services typical model based on price Stochastic Petri net was put forward. And corresponding certification was done. This method can improve the system analysis efficiency to a certain extent.

Keywords Petri net, Collaborative service, Stochastic price

目前针对服务协同的建模方法有排队论、进程代数 and Petri 网, Petri 网以其建模的直观性、有效性等优势,在服务协同建模中被大量应用。然而随机 Petri 网只能分析系统的性能,对于成本分析却无能为力,故本文提出价格随机 Petri 网以对系统成本和性能进行全面的分析。

1 价格随机 Petri 网

1.1 随机 Petri 网

在 Petri 网的基础上,把变迁与随机的指数分布实施延时相联系起来的想法是由 Molloy, Florin 和 Natkin 等人提出来的^[1]。给 Petri 网的每个变迁相关一个实施概率(Firing rate),得到的模型即为随机 Petri 网(SPN)。SPN 有两种形式: Molloy 形式和 Florin-Natkin 形式,本文主要介绍 Molloy 的连续时间 SPN。

定义 1 随机 Petri 网是一个六元组 $SPN=(S, T; F, W, M_0, \lambda)$

- (1) $(S, T; F)$ 是一个网, S 元素是位置, T 元素是变迁;
- (2) $W: F \rightarrow N^+$ 是弧权函数, 其中 $N=\{0, 1, 2, 3, \dots\}$;
- (3) $M_0: S \rightarrow N$ 是初始标识, 其中 $N=\{0, 1, 2, 3, \dots\}$;
- (4) $\lambda=\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ 是变迁平均实施速率集合。

1.2 价格随机 Petri 网

如果只考虑系统中实体间的逻辑关系, 价格信息不重要; 但当我们处理以成本为目标的系统时, 价格信息将显得尤为重要, 尤其在电子商务系统中, 价格是一个系统成败与否的关

键。所以, 本文尝试在随机 Petri 网中增加价格信息。如何有效地将价格信息引入随机 Petri 网是定义价格随机 Petri 网的关键。

在何处引入价格呢? 一个 Petri 网由位置、变迁、弧和托肯组成, 因此把价格引入位置(place)、变迁(transition)、弧(arc)或托肯(token)都是可能的。为保持 Petri 网的易理解性, 我们选择将价格引入到变迁上。价格既可以是固定价格, 也可以是随机价格。为了便于分析, 本文将采用固定价格随机 Petri 网, 即 PSPN。

其具体定义描述如下:

定义 2 PSPN 网是一个七元组 $SPN=(S, T; F, W, M_0, \lambda, p)$

- (1) $(S, T; F)$ 是一个网, S 元素是位置, T 元素是变迁;
- (2) $W: F \rightarrow N^+$ 是弧权函数, 其中 $N=\{0, 1, 2, 3, \dots\}$;
- (3) $M_0: S \rightarrow N$ 是初始标识, 其中 $N=\{0, 1, 2, 3, \dots\}$;
- (4) $\lambda=\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ 是变迁平均实施速率集合;
- (5) $p=\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 是变迁的价格集合。

1.3 价格随机 Petri 网的优点

在 Petri 网中引入价格因子的优点如下:

(1) 可以应用价格因子计算系统成本, 在一个系统确定之前, 不仅要知道系统吞吐量、延时时间等性能指标, 还应该考虑成本, 从而保证系统的盈利。

(2) 引入价格因子, 不影响随机 Petri 网的其他性能分析方法, 价格因子是相对独立的, 所以分析复杂随机 Petri 网的

工具,例如 SPNP^[2],ESPN,GreatSPN 等在价格随机 Petri 网中仍可以使用。

2 服务协同模型化简

服务协同是指为了完成某一任务目标,由两个或两个以上的服务主体通过一定的信息交换和相互协调机制分别完成不同子任务,从而达到最终目标。对应单个服务主要包括输入、处理和输出 3 个部分。根据服务协同的定义特点,服务之间主要存在以下几种协同逻辑关系:顺序服务协同、并发服务协同、分支服务协同和选择服务协同。

2.1 顺序服务协同

顺序服务协同是由两个或两个以上的服务组成的,并按照前后顺序执行。对于只考虑了两个服务的顺序服务协同模型的化简方法如图 1 所示。

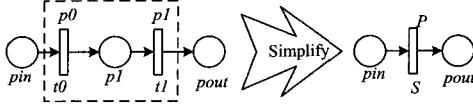


图 1 顺序服务协同等价化简模型

定理 1 顺序服务协同由两个服务 t_0 和 t_1 组成,其关系如图 1 所示。服务的执行速率 λ_0, λ_1 是服从指数分布的随机变量,则其等价简化模型中服务的平均延时 T 以及价格 P 分别为:

$$T = \frac{\lambda_0 + \lambda_1}{\lambda_0 \lambda_1}$$

$$P = p_0 + p_1$$

证明:设时间变迁 t_0, t_1 的响应速率为两个相互独立的随机变量 X_1 和 X_2 ,且等价模型中变迁 S 的响应速率为随机变量 Y ,则:

$$Y = X_0 + X_1$$

$$\frac{1}{\lambda} = E(Y) = E(X_0 + X_1) = E(X_1) + E(X_2)$$

$$= \frac{1}{\lambda_0} + \frac{1}{\lambda_1} = \frac{\lambda_0 + \lambda_1}{\lambda_0 \lambda_1}$$

化简后变迁的价格为每个变迁的价格之和,即:

$$P = p_0 + p_1$$

证毕。

2.2 并发服务协同

对应变迁并联结结构本文给出了并行服务模型的性能等价化简,并行服务由两个内部服务 t_1 和 t_2 组成,且这两个服务并行执行。并发服务模型的化简方法如图 2 所示。

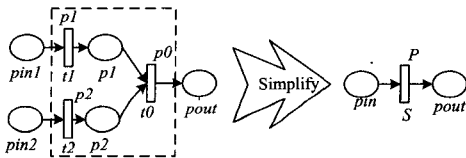


图 2 并发服务协同等价化简模型

定理 2 并发服务由两个内部服务 t_1, t_2 和一个汇总服务 t_0 组成,其关系如图 2 所示。服务的执行速率 λ_1, λ_2 和 λ_0 是服从指数分布的随机变量,则其等价简化模型中变迁 S 表示的服务平均延时 T 为:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{\lambda_0 (\lambda_1^2 + \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_2^2) + \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2)}$$

变迁 S 的价格 P 为: $P = p_0 + p_1 + p_2$

证明:设 t_1, t_2, t_0 的响应速率为相互独立的随机变量

X_1, X_2, X_0 , 其分布函数为 $F_i(x) = 1 - e^{-\lambda_i x}$, 则 t_1, t_2 组成并发服务的响应速率为 λ_{12} 。

根据文献,并发结构等效时间变迁 t 的服务速率为:

$$\lambda_t = 1 / \left(\sum_{i=1}^n 1/\lambda_i - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n 1/(\lambda_i + \lambda_j) \right) + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n 1/(\lambda_i + \lambda_j + \lambda_k) + \dots + (-1)^{n-1} 1/\sum_{i=1}^n \lambda_i$$

令 $n=2$, 则:

$$\lambda_{12} = \frac{\lambda_1^2 + \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_2^2}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2)}$$

根据定理 1, 由 λ_{12} 和 λ_0 组成的顺序服务的等效时间变迁 S 的平均延时 T 为:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_{12}} + \frac{1}{\lambda_0} = \frac{\lambda_0 (\lambda_1^2 + \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_2^2) + \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2)}$$

化简后变迁的价格 P 为每个变迁的价格之和,即:

$$P = p_0 + p_1 + p_2$$

证毕。

2.3 分支服务协同

分支服务由一个分叉服务 t_0 和两个服务 t_1, t_2 组成,且 t_0 分别与 t_1, t_2 服务串行执行,然后二者又并发执行,分支服务模型的化简方法如图 3 所示。

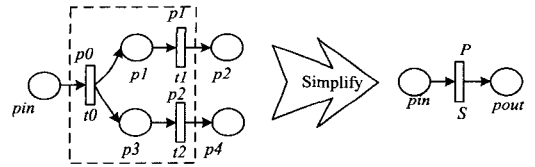


图 3 分支服务协同等价化简模型

定理 3 分支服务协同如图 3 所示。每个服务的执行速率 λ_1, λ_2 和 λ_0 都是服从指数分布的随机变量,则其等价简化模型中的变迁 S 表示的服务平均延时 T 为:

$$T = 1 / \left(\frac{2\lambda_1 \lambda_2 + \lambda_0 (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2} - \frac{(\lambda_1 + \lambda_0)(\lambda_0 + \lambda_2)}{2\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2)} \right)$$

变迁 S 的价格为: $P = p_0 + p_1 + p_2$

证明:设时间变迁 t_1, t_2, t_0 的响应速率为 3 个相互独立的随机变量 X_1, X_2, X_0 , 其分布函数为 $F_i(x) = 1 - e^{-\lambda_i x}$, t_1, t_2 分别与 t_0 构成的顺序服务响应时间分别为 t_{01}, t_{02} , 根据定理 1, 得:

$$\lambda_{01} = \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\lambda_0 + \lambda_1}, \lambda_{02} = \frac{\lambda_0 \lambda_2}{\lambda_0 + \lambda_2}$$

由定理 2, 并发结构等效时间变迁 t 的服务速率 λ_{0102} 为:

$$\lambda_{0102} = \frac{\lambda_{01}^2 + \lambda_{01} \lambda_{02} + \lambda_{02}^2}{\lambda_{01} \lambda_{02} (\lambda_{01} + \lambda_{02})} = \frac{(\lambda_{01} + \lambda_{02})^2 - \lambda_{01} \lambda_{02}}{\lambda_{01} \lambda_{02} (\lambda_{01} + \lambda_{02})} = \frac{1}{\lambda_{01}} + \frac{1}{\lambda_{02}} - \frac{1}{\lambda_{01} + \lambda_{02}}$$

分别将 λ_{01} 和 λ_{02} 代入得到:

$$\lambda = \frac{2\lambda_1 \lambda_2 + \lambda_0 (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_0} - \frac{(\lambda_1 + \lambda_0)(\lambda_2 + \lambda_0)}{2\lambda_1 \lambda_2 \lambda_0 + \lambda_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2)}$$

则化简后模型的平均延时时间 T 为:

$$T = \frac{1}{\lambda} = 1 / \left(\frac{2\lambda_1 \lambda_2 + \lambda_0 (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2} - \frac{(\lambda_1 + \lambda_0)(\lambda_0 + \lambda_2)}{2\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_0^2 (\lambda_1 + \lambda_2)} \right)$$

化简后变迁的价格 P 为每个变迁的价格之和,即:

$$P = p_0 + p_1 + p_2$$

证毕。

2.4 选择服务协同

选择服务协同由一个选择服务 t_0 和两个服务 t_1, t_2 组成,且 t_0 只与 t_1, t_2 服务之一串行执行,选择服务模型的化简

方法如图4所示。

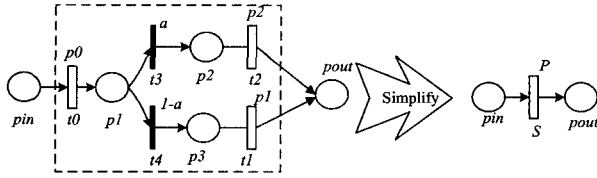


图4 选择服务协同等价化简模型

定理4 选择服务协同如图4所示。每个服务的执行速率 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_0$ 都是服从指数分布的随机变量。并设瞬时变迁 λ_3, λ_4 为后续变迁 λ_1, λ_2 的执行概率, 分别为 α 和 $1-\alpha$, 则其等价化简模型中的变迁 S 表示的服务平均延时 T 为:

$$T = \frac{1}{\lambda_0} + \frac{\alpha}{\lambda_1} + \frac{1-\alpha}{\lambda_2}$$

变迁 S 的价格为: $P = p_0 + \alpha p_1 + (1-\alpha) p_2$

证明: 设时间变迁 t_1, t_2, t_0 的响应速率为 3 个相互独立的随机变量 X_1, X_2, X_0 , 其分布函数为 $F_i(x) = 1 - e^{-\lambda_i x}$, 从 t_1, t_2 选择其一和 t_0 构成的顺序服务其响应时间分别为 $t_{0?}$ 。

根据文献[3], 选择结构每个变迁的执行概率为 α_i , 其中

$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$, 则等效时间变迁 t 的平均延时时间为:

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{\lambda_i}$$

$$\text{令 } n=2, \text{ 则 } \frac{1}{\lambda} = \frac{\alpha}{\lambda_1} + \frac{1-\alpha}{\lambda_2}$$

由定理1, 顺序结构等效时间变迁 t 的平均延时 T 为:

$$T = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda_0}$$

则化简后模型的平均延时为:

$$T = \frac{1}{\lambda_0} + \frac{\alpha}{\lambda_1} + \frac{1-\alpha}{\lambda_2}$$

根据选择的概率, 化简后其变迁的平均价格 P 为:

$$P = p_0 + \alpha p_1 + (1-\alpha) p_2$$

证毕。

3 模型验证与分析

3.1 模型验证

在一个电子商务系统中, 存在着很多协同, 如门店之间的服务选择协同、供货商之间的服务选择协同、物流商之间的服务选择协同[4], 还有门店、供货商、物流商和用户之间的顺序服务协同、并发服务协同和分支服务协同的关系。

本文以一个用户在线购物流程为例, 对该服务协同业务流程进行建模和分析。用户网络购物服务协同业务流程如图5所示。

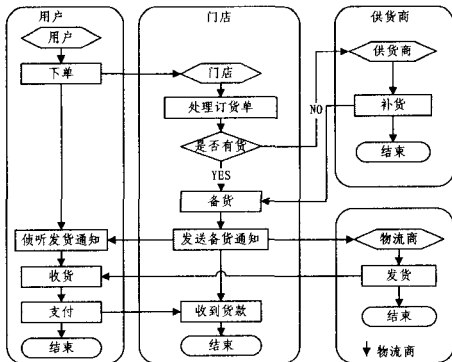


图5 用户网络购物流程

应用上节所述的建模化简方法对流程进行建模并化简, 得到如图6所示的化简流程。

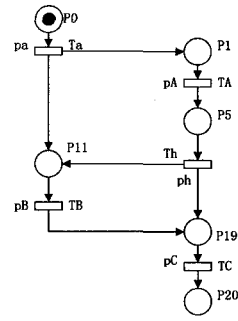


图6 价格随机 Petri 网化简模型

在随机 Petri 网求解分析软件包 SPNP 中, 稳定状态下每个变迁的吞吐量和每个位置的平均标记数量都是系统性能参数测量的基础, 可由软件自动计算, 仅需指明要测量的变迁和位置名即可。

令化简前后模型图中每个变迁 λ_i 的执行速率为 1, 通过改变订单到达速率可以得到对比图。

通过图7与图8可知, 化简后的模型和原模型在平均延时时间和吞吐量方面相近, 图9表明化简模型的 SPNP 计算时间在订单数多的时候远小于原模型, 故在性能分析上可用化简模型代替原模型, 且新模型分析的效率高于原模型。

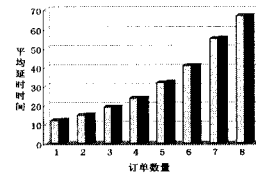


图7 平均延时时间对比图

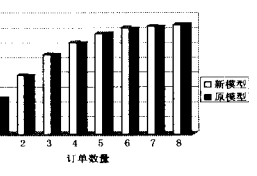


图8 吞吐量对比图

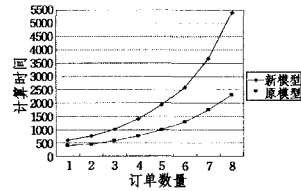


图9 SPNP 计算时间对比图

3.2 性能成本分析

在一个系统确定之前或者修改之前, 可利用本文提出的模型和性能分析方法分析其吞吐量、平均延时时间以及系统成本, 这对系统的建立和变更有宏观性的指导作用。该模型可以为企业决策提供有价值的信息, 主要表现在以下几个方面。

(1) 在系统建立时

企业建立一个新系统之前要评估系统的可用性、性能及经济效益, 并为系统定价。本文提出的模型可以为企业的规划提供参考信息, 如模型可达则表示系统业务逻辑正确, 对模型参数的计算结果可以反映系统的性能指标, 计算成本可以为定价提供依据。

(2) 在系统优化时

对于本文所建的模型结合实际赋予具体参数, 通过计算得到系统的平均延时时间 T 、系统价格 P 。若想提高系统的价格, 有多种方案可以实施, 但哪种方案可在提高系统性能的同时花费更少的成本、哪种方案最优, 可以通过对模型的分析得出结论。若采用第一种方案, 系统平均延时时间为 T_1 , 系

统的价格为 P_1 ; 采用第二种方案, 系统的平均延时时间为 T_2 , 系统的价格为 P_2 ; ……依此类推, 第 n 种方案的平均延时时间为 T_n , 价格为 P_n 。则系统选择的方案应满足下式:

$$\max\left(\frac{T-T_1}{P_1-P}, \frac{T-T_2}{P_2-P}, \dots, \frac{T-T_n}{P_n-P}\right)$$

即选择性性价比最高的方案。

现考虑两种方案。拟改进门店的备货速度, 可使系统总的延时时间缩短 1, 总成本增加 2; 若改进物流商的送货速度, 可使系统总延时时间缩短 1, 总成本增加 2.3。由此可见可采用第一种方案, 能以更少的价格获得系统性能的提高, 即处理一个订单的总时间降低。

由此可见该模型可以对企业决策提供有价值的信息。

结束语 本文以电子商务为背景, 主要研究了网络环境下服务协同的建模与分析, 对电子商务中的一个典型流程进行了建模与分析, 研究了 4 种典型的服务协同模型, 给出了等价化简方法, 并进行了证明。此方法在一定程度上缓解了

Petri 网求解时的状态爆炸问题, 从而提高了系统分析的效率。还针对人们既需要掌握系统性能, 又需要了解系统成本的特性, 提出了价格随机 Petri 网, 既可用于价格和性能分析, 又可对系统的建立和改进提供宏观指导作用。接下来将考虑非固定成本, 进一步针对随机价格研究复杂系统的性能和成本问题。

参考文献

- [1] Vautherlin J, Memmi G. Computation of flows for unary predicates/transitions nets[C]// Advances in Petri Nets 1984, Lecture Notes in Computer Science. 1985, 188:455-467
- [2] Trivedi K S. SPNP User's Manual (Version 6.0)[M]. 1999
- [3] 林闯. 随机 Petri 网和系统性能评价(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005
- [4] 曾明, 扬扬, 王元卓, 等. 协同服务模型及其在电子商务中的应用[J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(5): 660-666

(上接第 157 页)

集分析数据, 并对生产线的管理提供反馈意见, 实现过程改进。这与软件传统生产方式的度量活动是类似的, 本文不再赘述, 仅关注度量元的获取过程。

3 度量实践的风险

低劣的度量计划是对时间和资源的浪费, 并会引起正在进行的开发工作额外的费用消耗, 而造成组织成员最终对度量的不信任。这样的数据收集和度量使管理者失去了了解目前状况与产品线计划是否存在偏差的机会, 严重时会导致他们做出错误的管理决策, 破坏生产线的生产。基于度量的生产线管理实施存在以下风险:

(1) 度量不匹配。度量元的获取应基于生产线、核心资产和生产线开发为目标, 如果目标确定时就不合理, 会导致不能根据收集的数据做出管理决策, 造成资源浪费, 为相关人员带来抵触情绪。

(2) 度量标准不明确。在制作度量计划时, 数据的单位、形式以及采集时间与频率、负责人等基本信息都不明确时, 会导致度量过程的混乱低效, 影响度量效果。

(3) 应对度量结果措施不明确。很多度量数据会对相关人员提出预警作用, 要求他们采取一定的措施应对这种状况, 使生产线开发活动在计划之中。由于生产线开发模式所涉及的活动、人员都更为复杂, 如果初始责任范围定义不明确, 会延误相关人员对问题的察觉, 导致时间、精力和财力的严重消耗。

(4) 度量没有被集成到生产线活动中。度量活动如果没有被集成到生产线过程中, 意味着数据收集没有与生产线的其它活动紧密结合, 一方面导致度量活动需要额外的资源支持, 另一方面也会使管理者对所收集数据的准确性和及时性提出质疑, 从而降低他们执行度量活动的积极性。

(5) 成本过高的度量。如果度量过于昂贵或者数据很难获得, 就会导致跟踪过程的失败。生产线过程中出现的问题和冲突也因此而被隐蔽, 或者很晚才会被发现, 进而削弱了度量活动在生产线管理中所起的作用。

结束语 生产线的管理活动对软件生产线的成功实施至关重要, 而客观有效的度量对生产线的跟踪、管理和改进有着积极的作用。自生产线诞生起, 它的度量就引起了一些学者的

关注, 但仅限于一些生产线的指标评价。本文利用 GQ(I)M 方法, 给出了基于度量的生产线管理框架, 说明了度量活动的各个步骤以及与生产线管理活动的关系, 分析了生产线的利益有关者, 针对他们对生产线的需求目标提出问题, 进而整理出与生产线管理相关的 9 个度量元的定义, 并分析了度量的实践风险, 从而为企业实施生产线的度量提供了指导。

参考文献

- [1] Clements P, Northrop L. Software Product Lines: Practices and Patterns[M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 2002
- [2] Roberts, Fred S. Measurement Theory with Application to Decision-making, Utility, and the Social Sciences[M]. Encyclopedia of Mathematic and its Applications. Addison Wesley Publishing Company, 1979
- [3] Zubrow D, Campbell G. Basic Metric for Software Product Line [R]. CMU/SEI-00-TN-012, Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2000
- [4] Dincel E, Medvidovic N, van der Hoek A. Measuring Product Line Architectures[C]// Proceedings of the 4th International Workshop on Software Product—Family Engineering. 2001
- [5] Her Jin Sun, Kim Ji Hyeok, Oh Sang Hun, et al. A Framework for Evaluating Reusability of Core Asset in Product Line Engineering[J]. Information and Software Technology, 2007, 49: 740-760
- [6] 张涛. 软件产品线关键技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2006
- [7] 郭福全, 赵昌葆. 产品线体系结构复杂性度量[J]. 微计算机应用, 2007, 28(4)
- [8] 宁安良, 侯红, 鱼滨, 等. 软件产品线度量及应用研究[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(9)
- [9] Department of Defense and US Army. Practical Software and Systems Measurement: A Foundation for Objective Project Management[S]. Version 4.0c, March 2003
- [10] Briand L C. An operational process for goal-driven definition of measures[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2002, 28(12)
- [11] Park RE, Goethert WB, Florac WA. Goal-driven software measurement-A Guidebook[M]. CMU/SEI-96-HB-002
- [12] Schwallbe K. Information Technology Project Management (2nd) [M]. China Machine Press, 2003