

基于过程模式的软件过程实施系统的柔性研究^{*}

梁义芝^{1,2} 王延章¹ 缪旭东² 刘云飞³

(大连理工大学信息与决策技术研究所 大连116024)¹

(海军大连舰艇学院作战软件研究中心 大连116018)² (海军大连舰艇学院教育技术中心 大连116018)³

摘要 软件过程的复杂性和不确定性要求过程实施系统具有一定的灵活性和适应动态变化的能力。基于过程模式建立了软件过程实施系统。过程模式作为过程建模的可重用组件和过程实施的可重用的知识单元,支持过程模型对软件过程动态特性的描述和定义,支持过程实施中对动态变化的处理,基于过程模式的过程实施系统具有较好的柔性。
关键词 软件过程模式,软件过程实施,系统柔性

Flexibility of Process Pattern Based Software Process Implementation System

LIANG Yi-Zhi^{1,2} WANG Yan-Zhang¹ MIAO Xu-Dong² LIU Yun-Fei³

(Institute of Information and Decision Technology, Dalian Nniversity of Technology, Dalian 116024)¹

(Combat Software Research Center, Dalian Naval Academy, Dalian 116018)²

(Educate Technology Center, Dalian Naval Academy, Dalian 116018)³

Abstract Because of the complexity and uncertainty of the software process, the flexibility and the ability of supporting dynamic changes are the basic requirements of a process implementation system. Based on process patterns, a software process implementation system is built. As reusable components of process modeling and reusable knowledges of process implementation, process patterns enable the dynamic characteristics of software process to be described and defined in process model and enable the dynamic changes of a process to be handled when the process is implemented. Based on process patterns, the process implementation system possesses graceful flexibility.

Keywords Software process pattern, Software process implementation, System flexibility

1 引言

系统的柔性(Flexibility)是指系统适应新情况、新环境、新任务的能力,体现为当环境、条件等发生变化时系统快速相应和跟随变化的能力。

一个系统的柔性可以从时间和范围两个方面来评价^[1]。在时间方面,系统的柔性可以从系统达到某一适应程度所需的时间长度和在限定的时间内系统所能达到的适应程度这两点上来分别评价,体现为系统的响应时间和系统的效率;在范围方面,系统的柔性可以从响应可预见变化和不可预见变化的能力这两方面来分别评价,体现为系统的多功能性和鲁棒性。

软件过程具有高度的动态性和不确定性,许多软件过程的细节无法事先确定;过程模型只是在一定的抽象层次上描述某一类型的软件过程,不能确切描述软件过程中的所有活动;因此,过程实施应根据软件过程的实际运作情况,实时确定过程模型无法描述的活动,实时修改过程模型中不适应当前情况的活动描述;过程实施系统必须具有支持软件过程动态变化的能力,即过程实施系统要具有较好的柔性。

本文首先介绍了基于过程模式的软件过程实施系统,然后对其柔性进行了分析,指出基于过程模式的过程实施系统具有本质的适应动态变化的能力。

2 基于过程模式的软件过程实施系统

软件过程实施(Process Implementation)是针对特定的

软件项目将过程模型转化为过程实例,并执行过程实例(即过程运作 Process Enactment),同时不断优化软件过程(包括过程模型和过程实例)的一系列工程化活动^[2]。软件过程实施系统是对软件过程实施活动进行指导并提供自动或半自动支持的计算机系统。其主要功能是存储和解释软件过程模型,创建和执行软件过程实例,管理和监控实际软件过程,收集和整理过程执行信息,辅助软件过程度量与评估,支持软件过程改进。软件过程实施系统与其它软件过程术语的关系如图1所示。

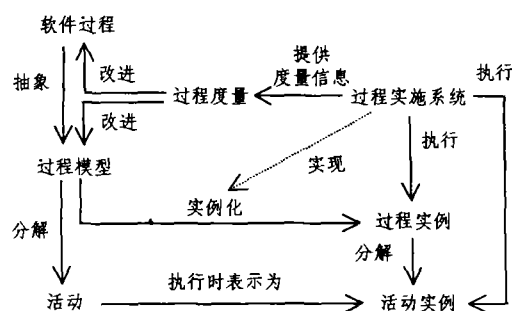


图1 软件过程框架基本术语关系图

软件过程模式描述了软件过程中经过验证的成功的方法或一系列活动,是软件过程模型中成熟的过程步(即活动)按模式概念体系的抽象^[3]。过程模式描述的主要内容有:

模式名称:

^{*} 基金项目:国家自然科学基金资助项目(70271045)。梁义芝 副教授,博士生,主要研究领域为决策支持系统、软件工程。王延章 教授,博士生导师,主要研究领域为管理决策支持系统、经济系统分析、数学规划。缪旭东 副教授,主要研究领域为决策支持系统、软件工程。刘云飞 高工,主要研究领域为网络技术,多媒体技术,软件工程。

模式意图:描述模式的基本原理、目的、意图;

针对问题:过程模式可以解决的问题描述;

设计要素:解的部分必须满足的要求、必须考虑的约束条件、解应具备的特性等;

活动:使用该过程模式提供的策略可以完成的活动,每个模式对应一个活动(一个活动可对应多个模式);

解:给出在满足设计要素的条件下,可以解决针对问题、完成对应活动的方法指导和实用建议,具体给出一组子活动列表及子活动之间的关系;

初始上下文:描述问题和问题的解重复出现的前提,为过程模式施用之前的系统状态;

结果上下文:过程模式应用后产生的结果,为过程模式施

用后的系统状态。

过程模式是构建软件过程模型和创建过程实例的可重用的构造部件,可以实现“即插即用”。过程模式用于过程建模,可以重用过程知识,提高建模效率,提高过程模型适应动态变化的能力,并保证模型质量;过程模式用于过程实施,可以提高过程实施系统的适应能力,从而提高系统的灵活性和实用性。

基于过程模式的软件过程实施系统 PB-SPES (Pattern Based Software Process Enactment System) 的工作信息流程如图2所示。PB-SPES 主要对过程实施阶段的工作提供支持,同时通过提供各种过程实施反馈信息和度量信息为过程知识的积累和过程模型的完善提供帮助。

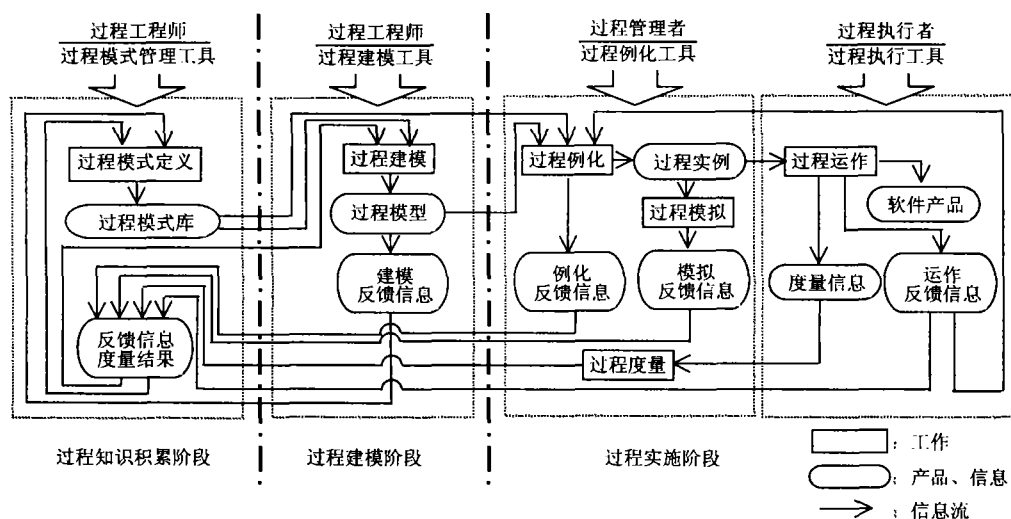


图2 基于过程模式的软件过程实施系统的工作信息流程

PB-SPES 的过程例化支持静态例化和动态例化两种例化方式。静态例化对过程模型进行全面的剪裁和例化,试图在过程执行之前得到一个相对全面和完整的过程实例。由于软件过程的高度动态性和不确定性,静态例化得到的过程实例不可能描述所有过程执行细节,也不可能具有应对过程执行中所有动态变化的能力,因此 PB-SPES 中过程模型的静态例化一般仅是使得过程执行者在过程执行之前对过程执行工作有一个相对全面和完整的认识,便于制定工作计划和把握全局。PB-SPES 的静态例化只以被例化的过程模型为输入,不需要过程模式和过程执行反馈信息。

动态例化对过程模型进行部分的剪裁和例化,以满足当前需要为基本前提,然后在过程执行的过程中根据软件过程的实际运作情况逐步进行过程模型的剪裁和例化,动态调整过程例化行为。动态例化是 PB-SPES 的核心,动态例化得到的过程实例用于指导和约束软件过程的执行,动态例化的能力和水平是 PB-SPES 的灵活性和实用性的主要体现。

PB-SPES 的动态例化不仅以过程模型和过程执行反馈信息为输入,还以过程模式库中的过程模式为输入。过程模式库以大量的过程知识,为实时处理过程执行中遇到的各种复杂情况提供支持帮助。同时,过程例化、过程模拟、过程执行的反馈信息以及过程度量的度量结果及时反馈给过程模式定义和过程建模活动,实现在过程实施的同时积累过程知识、优化过程模型。

3 基于过程模式的过程实施系统的柔性

由引言中对系统柔性的定义可知,系统的柔性主要体现

为系统的动态适应能力。已有的对动态自适应过程实施系统的研究中,一般都侧重于研究如何修改过程实例的具体手段和方法,如文[4,5]采用 ECA(Event-Condition-Action)规则处理可预见的异常事件,实现反应式控制;文[6,7]提出了一种描述修改过程实例结构的形式化方法,并在此基础上定义了一套修改过程实例的操作集 ADEPTflex;文[8]提出了一种移交策略描述语言,定义了正在运行的过程实例迁移到新的过程实例的移交策略。

参考 Kammer 对动态自适应 workflow 系统应具有功能的界定^[9],总结几年来我们将过程模式应用于软件过程建模、实施和度量的研究,认为过程实施系统的柔性过程模型的动态适应能力密切相关,而以过程模式为组件构造过程模型,使得过程模型可被逻辑分解,是提高过程模型动态适应性的关键;基于过程模式实现过程模型的动态例化,亦是过程模式为组件构造过程实例的过程,可进一步提高过程实施系统的柔性。

3.1 基于过程模式的过程模型的动态适应性

基于过程模式的软件过程建模参见文[11],这里不再详述。我们说基于过程模式建立的软件过程模型本质上具有动态适应能力,一方面,以过程模式作为可重用组件构造过程模型,易于实现过程模型的逻辑分解,从而易于实现过程模型的局部修改,易于用新组件替代旧组件,使得过程模型本质上具有适应动态变化的能力;通过提供组件替换的约束和操作,可自动或半自动实现组件替换,减少模型适应动态变化的响应时间,提高响应效率,保证修改后的过程模型的正确性和模型质量。另一方面,基于过程模式建立的软件过程模型在模型粒

度的控制上具有良好的伸缩性,在建立模型时,对于工作方式可以确定的活动详细描述(小粒度描述),对工作方式无法事先确定的活动采用大粒度的描述方式,保证过程模型的完整描述;在模型例化时,根据当前状态,利用过程模式实时细化大粒度描述的活动,使得过程模型具有适应动态变化的能力;同样,通过提供活动细化的约束和操作,可自动或半自动实现活动细化,减少模型适应动态变化的响应时间,提高响应效率,保证修改后的过程模型的正确性和模型质量。

3.1.1 基于过程模式的过程模型的动态修改 我们采用了基于产品约束的以活动为中心的过程模型描述软件过程,活动之间的转换通过变迁实现,活动之间的执行顺序必须满足活动所需要的资源和产品的约束。将活动分为伪活动、原子活动和复合活动。伪活动用于辅助说明活动的执行顺序,包括初始(init)、分叉(fork)、汇合(join)、分支(branch)、合并(merge)和终止(final)伪活动,可实现顺序、并行、选择和循环4种流程控制结构。原子活动是软件过程中的基本活动,不可再分解。复合活动包含了多个活动,可再分解;一个复合活动可对应多个过程模式,这些过程模式是该复合活动在不同的设计要素下应采取的工作方式,过程模式中的解,用顺序、并行、选择和循环4种控制结构描述了复合活动所包含的活动的执行顺序关系,我们把它称为活动过程模型,活动过程模型是构成软件过程模型的组件,同软件过程模型一样,活动过程模型只能有一个初始伪活动和一个终止伪活动,作为组件参与过程模型的组装时,活动过程模型的初始伪活动和终止伪活动被组合掉,保证过程模型只有一个初始伪活动和一个终止伪活动。

一个粒度最大的过程模型由制定开发计划、软件开发和软件维护三个活动组成,如图3所示。

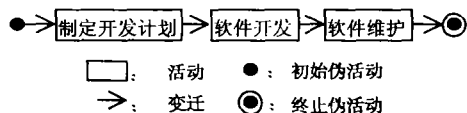


图3 软件过程模型

其中“软件开发”活动是一个复合活动,该复合活动可有多种过程模式与之对应,如瀑布模式、螺旋模式、喷泉模式等,对较成熟的应用领域,可采用瀑布模式执行软件开发活动,将瀑布模式的活动过程模型作为一个组件替代图3中“软件开发”活动,形成如图4所示的新的过程模型。

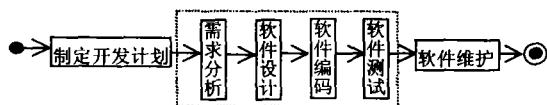


图4 软件过程模型

若认为不宜采用瀑布模式的工作策略,应采用螺旋模式的工作策略,则只需将瀑布模式的活动过程模型作为组件替换图4中的虚线框内的组件即可。

由此可见,基于过程模式修改过程模型可方便实现工作策略的动态调整,过程模型的动态适应能力实际上就是要实时适应工作策略的动态调整,工作策略的动态调整是适应软件过程高度动态变化的主要手段。已有的对过程模型或过程实例的动态修改方法,一般是增加或删除一个或几个活动,修改几个活动之间的执行顺序关系,这种动态修改实际上也是为了适应新的工作策略,但修改效率和质量不如基于过程模

式的动态修改,当然,若没有新的工作策略所对应的过程模式则必须采取这种修改方式,修改结果经过实践检验可形成新的过程模式,如图2所示,各种反馈信息均用于改进和定义过程模式。

基于过程模式建立的过程模型一般是通过多次以过程模式为组件来细化复合活动实现的,即复合活动由其对应的过程模式的活动过程模型替换,该活动过程模型中的复合活动再由其对应的过程模式的活动过程模型替换,循环往复,直至生成适当粒度的过程模型。过程模型中的活动与过程模式的关系可由图5表示。

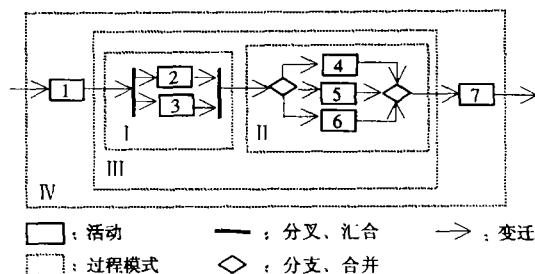


图5 软件过程模型中的活动与过程模式

图5中,若需修改活动4、活动5、活动6之间的执行顺序关系或作其它修改,如在活动4后增加一个活动,应首先找到包含这些活动的过程模式I,通过过程模式I找到其对应的复合活动,查阅该复合活动对应的其它过程模式,选择满足当前工作策略要求的新的过程模式替换过程模式I;若修改还与活动2和活动3有关,则可能过程模式I和过程模式II被分别替换,也可能过程模式II被替换,过程模式II被替换隐含了过程模式I和过程模式I被替换。为实现上述修改替换过程,我们设计了过程模式与其所包含的活动的关系列表如表1所示,设计了通过活动查找过程模式、通过过程模式查找活动的操作,设计了以过程模式中的活动过程模型为组件的组件删除、查入和替换操作,以活动需要的资源和产品为约束条件,可自动或半自动实现过程模型的动态修改,这种修改以过程模式为单位实现了过程模型的局部范围的一次性整体修改和替换,使过程模型及时反应工作策略的变化,提高了过程模型适应动态变化的响应时间和响应效率并可保证修改后的过程模型的正确性和模型质量。

表1 活动与过程模式关系表

序号	复合活动	过程模式	过程模式中的活动
	11	I	2、3
			
2	12	II	4、5、6
			
3	13	III	11、12
			
4	14	IV	1、13、7
			

3.1.2 基于过程模式的过程模型的动态细化 基于过程模式建立过程模型,在模型粒度的控制上具有良好的伸缩性,便于建立不同粒度的过程模型。这句话包含两方面的含义,一是指基于过程模式建立的过程模型的粒度可根据需要进行方便的调整,利用过程模式实现活动的逻辑分解(细化)和逻辑组合是基于过程模式建立过程模型具有的基本功能;二是指同一个过程模型中,活动的描述粒度可以不同,工作方式能够

预先确定的活动可以详细描述,甚至描述到原子活动,工作方式难以确定的活动只有活动名称出现在过程模型中,该活动所包含的子活动及子活动之间的关系(控制流程)需要过程例化时动态确定,即实现过程模型的动态细化,但该活动的语义在较高的抽象层次上是明确的,活动需要的输入及活动能产生的输出也是确定的,以保证该活动的后续活动的描述,保证整个过程模型的控制流程的正确性和完整性。

图6所示的软件单元A的设计、编码、测试活动的描述过程中,若希望单元A采用可重用构件,但描述过程模型时还暂不能确定是否有可用的构件,这一不确定因素导致了软件单元A的编码和测试活动存在不确定因素,这两项活动的进一步详细描述(如其中包含的子活动及子活动之间的执行顺序关系),只能根据单元A的具体实现方式(即使用可重用构件还是按软件设计进行编码)动态确定。图6中“软件单元A设计”活动建模时可以细化,编码和测试活动需动态细化,但编码和测试活动所需要的输入和能产生的输出建模时是可以确定的,以便于对“测试”后的活动建模,生成完整的过程模型。

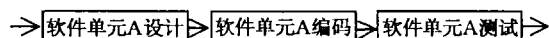


图6 软件过程

3.2 基于过程模式动态例化过程模型

过程模型的动态例化主要包括两个方面的工作,一是过程模型中的过程实体(活动、角色、资源、产品)的动态例化,二是过程模型中的过程实体关系的动态例化,涉及到实体关系的动态修改和动态细化。

过程实体的动态例化包括活动起止时间的调整、角色实例(即实施者)的重新分配、资源的重新分配等。

过程实体关系的动态例化,需根据软件过程执行的实时态势,局部修改过程实体关系和细化大粒度描述的活动,主要包括3种类型的实时动态处理:

①对在过程建模时具有不确定的动态行为而无法详细描述的活动进行详细描述;

②对过程模型中不适合当前态势的过程实体关系进行局部调整后形成过程实例,并据此修改过程模型,这种处理适合于过程模型不完善的情况;

③对过程模型中不适合当前态势的过程实体关系进行局

部调整后形成过程实例,但不修改过程模型,这种处理适合于具体软件项目工作流程的临时修改。

由本文3.1节的论述可知,基于过程模式进行以上3种类型的实时动态处理可以提高过程例化适应动态变化(包括可预见和不可预见变化)的能力,从而减少适应动态变化的响应时间,提高响应效率。

总结 由于软件过程的复杂性和不确定性,软件过程的实施过程中必须应对和处理多种可预见或不可预见的变化,过程实施不可能完全按照过程模型描述的步骤严格执行,过程模型和过程实施系统必须具有一定的动态适应能力。

基于过程模式的过程建模和基于过程模式的过程实施系统具有本质的适应动态变化的能力,如何基于过程模式进一步提高过程实施系统的动态适应能力是非常值得研究的课题。

参考文献

- 1 Golden W, Powell P. Towards a Definition of Flexibility in Search of the Holy Grail. The International Journal of Management Science, 2000, 28(4)
- 2 朱三元, 钱乐秋, 宿为民. 软件过程技术概论. 第一版. 北京: 科学出版社, 2002
- 3 梁义芝, 王延章, 赵晓哲, 缪旭东. 软件领域中的模式研究. 计算机科学, 2003, 30(3)
- 4 Ribó JM, Franch X. Building Expressive and Flexible Process Models Using a UML-Based Approach. In: Ambriola V, ed. EWSPT 2001, LNCS 2077. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. 152~172
- 5 Dickson K W, Li Ch, Karlapalem K. A meta modeling approach to workflow management system supporting exception handling. Information System, 1999, 24(2)
- 6 Reichert M, Dadam P. A framework for dynamic changes in workflow management systems. In: Proc. of DESA'97, 1997. 42~48
- 7 Reichert M, Dadam P. ADEPEflex-Supporting dynamic changes of workflow without losing control. Journal of Intelligent Information Systems, 1998, 11(2)
- 8 Liu C, Orlowska M E, Li H. Automating handover in dynamic workflow environments. In: Pernici B, Thanos C, eds. Advanced Information Systems Engineering. New York: Springer, 1998. 159~172
- 9 Kammer PJ. Techniques for supporting dynamic and adaptive workflow. Computer Supported Cooperative Work, 2000, 9(3-4)
- 10 梁义芝, 王延章, 刘云飞, 缪旭东. 基于过程模式的软件过程框架. 计算机科学, 2003, 30(8)
- 11 梁义芝, 王延章, 刘云飞, 缪旭东. 基于过程模式的软件过程建模. 计算机科学, 已录用

(上接第141页)

$\langle X_1 \cap Y_1, X_2 \cap Y_2 \rangle$;

$\langle X_1, X_2 \rangle \vee \langle Y_1, Y_2 \rangle = \langle X_1 \cup Y_1, X_2 \cup Y_2 \rangle$ 或 $[X] \vee [Y] = [X_1 \cup Y_1, X_2 \cup Y_2]$;

及 $\sim \langle X_1, X_2 \rangle = \langle \sim X_2, \sim X_1 \rangle$, 或 $\sim [X] = [\sim X]$, 这里 $\sim$ 表示集合的补运算。 $F(U)/\approx$ 构成一个有界分配格, 在分配格 $F(U)/\approx$ 中, 等价类 $[X], [Y], [X] \wedge [Y]$ 及 $[X] \vee [Y]$ 上的粗糙度仍有下列关系:

定理4 设 $[X] = \langle X_1, X_2 \rangle, [Y] = \langle Y_1, Y_2 \rangle \in F(U)/\approx$, 则有:

$\rho_{[X] \vee [Y]}^{[X] \vee [Y]} |(\bar{R}X)_\beta \cup (\bar{R}Y)_\beta| = \rho_{[X]}^{[X]} |(\bar{R}X)_\beta| + \rho_{[Y]}^{[Y]} |(\bar{R}Y)_\beta| - \rho_{[X] \wedge [Y]}^{[X] \wedge [Y]} |(\bar{R}X)_\beta \cap (\bar{R}Y)_\beta|$.

结束语 本文我们给出了粗糙度的两个类似于普通集合的包容排斥原理, 实际上是不同集合的粗糙度之间的一种联系, 我们证明了在分配格 $P(U)/\approx$ 及 $F(U)/\approx$ 中, 等价类 $[X], [Y], [X] \wedge [Y]$ 及 $[X] \vee [Y]$ 上的粗糙度有相似的等式。

这个等式反映了粗糙度之间的内在联系, 利用这个等式可以从一个集合的粗糙度来计算另一个集合的粗糙度。由于粗糙度反映了知识的不完全性程度, 即透过我们给出的等式可以从一个知识的不完全性程度来推断另一个知识的不完全性程度, 为探讨数据挖掘的数学本质提供一种方法。

参考文献

- 1 Banerjee M, Pal S K. Roughness of a fuzzy set. Information Sciences, 1996, 93: 235~246
- 2 Yao Y Y. Constructive and algebraic methods of the rough sets. Information Sciences, 1998, 109(1-4): 21~47
- 3 Lin T Y, Liu Q. Rough approximate operators, axiomatic rough set theory. In: Ziarko W P, ed. Rough sets, Fuzzy sets and Knowledge Discovery. London, Springer-Verlag, 1994. 256~260
- 4 Yao Y Y, Wong S K M, Lin T Y. A review of rough set models, Rough set and data mining, Analysis for imprecise data. In: T. Y. Lin, N. Cercone, eds. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997. 47~75
- 5 张文修, 等. 粗糙集理论与方法. 科学出版社, 2001
- 6 李洪兴, 汪培庄. 模糊数学. 国防工业出版社, 1994