

## Сравнительный анализ моделей разработки программного обеспечения с точки зрения соответствия компонентно-ориентированным линиям программных продуктов

Л. Е. Сергеев

*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина*

The article describes the method of comparative analysis of six different software development models from the point of view of their applicability as a complementary model to Software Product Lines Practice for creation of component-based product lines. The method based on probability inference approach initially formulated and investigated by G.N Zholtkevich. As a result of comparative analysis Rational Unified Process was identified as a most suitable development model.

### 1. Общая постановка задачи и её актуальность

Задача сравнительного анализа различных вариантов принятия решений, базирующегося на использовании противоречивых критериев, является типичной для проектной деятельности. Обоснование выбора модели технологического процесса разработки программного обеспечения (ПО), наиболее адекватной компонентной архитектуре, чему посвящена настоящая работа, является примером такой задачи. Особый интерес производителей программного обеспечения к компонентным технологиям обосновывается ростом сложности процесса разработки ПО, необходимости повышения качества продукции при снижении стоимости разработки. Естественное решение возникающих в этом контексте проблем основывается на повторном использовании компонентов ПО и стандартизации выявляемых в процессе разработки инвариантных компонентов. Подробный обзор работ в области компонентного ПО приведен в [1]. Важным аспектом при создании модели разработки программного обеспечения является ее соответствие общей парадигме Software Products Line Practice (SPLP) [2]. В этой связи анализ существующих моделей разработки ПО на предмет их соответствия указанной парадигме и компонентной технологии является чрезвычайно актуальной задачей управления разработкой современного промышленного ПО. В настоящей работе будут приведены результаты такого анализа шести наиболее известных моделей технологического процесса создания ПО.

### 2. Истоки исследования авторов

Настоящая работа для решения задачи выбора наиболее адекватной модели разработки ПО компонентной архитектуре опирается на метод "нечеткого" вывода, разработанный в [3]. Несмотря на то, что в общем виде применение этого метода затруднено ввиду вычислительной сложности алгоритмов, предлагаемая в настоящей статье модель анализа приводит к алгоритму с линейной сложностью за счет учета специфики задачи.

### 3. Используемый метод "нечеткого" вывода

Для полноты изложения приведем описание предложенной в [1] общей модели принятия решений.

Пусть задано множество  $\mathbf{F}$  фактов, используемых для описания ситуации и результатов принятия решений. В результате оценивания фактов им приписывается истинностные значения. Принцип исключения третьего позволяет отождествить каждую оценку с множеством тех фактов, которые были оценены с ее помощью как истинные. Таким образом, если обозначить через  $P(\mathbf{F})$  – множество всех подмножеств множества фактов  $\mathbf{F}$ , то его элементы будут соответствовать всем возможным оценкам. Множество  $P(\mathbf{F})$  несет естественную топологическую структуру (так называемую тихоновскую топологию [4]), поэтому правомерным является рассматривать для него симплекс вероятностных борелевских мер  $\mathbf{M}(P)$ . Как известно из функционального анализа, дираковские меры определенные соотношением 
$$\delta_E(A) = \begin{cases} 1, & E \in A \\ 0, & E \notin A \end{cases},$$
 где  $E \in P(\mathbf{F})$ , а  $A$  – борелевское подмножество  $P(\mathbf{F})$ ,

образуют остов симплекса  $\mathbf{M}(P)$ . Очевидно, что оценки находятся во взаимно-однозначном соответствии с дираковскими мерами. Тогда произвольную вероятностную борелевскую меру  $\mu$ , которая, как известно, может быть аппроксимирована выпуклыми комбинациями (смесями) дираковских мер в слабой топологии на  $\mathbf{M}(P)$  сколь угодно точно можно интерпретировать как обобщенную оценку. При этом, значением такой обобщенной оценки для факта  $f \in \mathbf{F}$  является величина  $\mu(\{E : P(\mathbf{F}) | f \in E\})$ , которая, очевидно, лежит между нулем и единицей.

Важной конструкцией, которая используется для построения модели механизма принятия решений, является конструкция условной вероятностной меры относительно борелевское подмножество  $A \subseteq P(\mathbf{F})$ . Она определена для всякой меры  $\mu \in \mathbf{M}(P)$  и борелевского подмножества  $A \subseteq P(\mathbf{F})$ , которое удовлетворяет условию  $\mu(A) > 0$ , по формуле 
$$\mu(B|A) = \frac{\mu(B \cap A)}{\mu(A)},$$
 где  $B$  –

произвольное борелевское подмножество множества  $P(\mathbf{F})$ . В основе модели, предложенной в работе [1], лежит представление о том, что уверенность в выводе факта  $f$  из конечного множества фактов  $X$  на основании обобщенной оценкой  $\mu$  оценивает снизу условную вероятность  $\mu(\{f\} | X)$ , где  $\{f\} = \{E : P(\mathbf{F}) | f \in E\}$ ,  $X = \{E : P(\mathbf{F}) | X \subset E\}$  – очевидно, борелевские подмножества  $P(\mathbf{F})$ .



Таким образом,

если заданы  $\{f_i : \mathbf{F} | i=1, \dots, n\}$  и  $\{X_i \subset \mathbf{F}, X_i - \text{конечно} | i=1, \dots, n\}$ , а также система оценок снизу  $\{c_i, 0 \leq c_i \leq 1 | i=1, \dots, n\}$  для условных вероятностей вида  $\mu(\{\{f_i\}\} | [X_i])$ , то можно записать систему неравенств

$$c_i \cdot \mu([X_i]) \leq \mu([X_i \cup \{f_i\}]), \text{ где } i=1, \dots, n \quad (1)$$

Числа  $c_i$  будут называться априорными оценками уверенности и обозначаться  $c_i = c(f_i | X_i)$ . В этих обозначениях система неравенств (1) переписывается в виде

$$c(f_i | X_i) \cdot \mu([X_i]) \leq \mu([X_i \cup \{f_i\}]), \text{ где } i=1, \dots, n \quad (1')$$

Для заданной системы неравенств вида (1') можно построить подмножество  $c^* \subset \mathbf{M}(\mathbf{F})$  тех мер, которые удовлетворяют системе неравенств. Иными словами, будет получено множество обобщенных оценок, удовлетворяющих априорным оценкам уверенности. Нас будет интересовать максимально возможная оценка уверенности для некоторого факта  $f \in \mathbf{F}$  при условии выполнения некоторой конечной совокупности фактов  $Y \subset \mathbf{F}$ , которую можно обозначит  $\bar{c}(f | Y)$ , при условии выполнения всех неравенств системы (1'). Очевидно, что для ее вычисления можно воспользоваться формулой

$$\bar{c}(f | Y) = \max_{\mu \in c^*} (0 \leq z \leq 1 | z \cdot \mu([Y]) \leq \mu([Y \cup \{f\}]))$$

Математическая корректность этого утверждения обосновывается на основании топологических свойств симплекса борелевских мер  $\mathbf{M}(\mathbf{F})$  [4].

Практическое применение изложенной методики в общем случае, как уже отмечалось, затруднительно, поскольку для случая конечного множества фактов из  $n$  элементов, размерность пространства мер равна  $2^n$ . Однако в частных случаях этот метод позволяет получить результат. Такой удовлетворительный результат был получен в практически важном случае для систем проектирования в работе [3].

#### 4. Сравнительный анализ моделей разработки ПО

Используя описанную выше общую модель принятия специализируем ее для случая сравнительного анализа моделей технологического процесса разработки ПО с целью определения наиболее адекватной для компонентного подхода.

Множество фактов в этом случае состоит из фактов двух видов:

1.  $m_i$  = «адекватной является модель с номером  $i$ »;
2.  $p_k^j$  = «модель с номером  $i$  предпочтительнее модели с номером  $j$  относительно критерия с номером  $k$ ».

Каждой паре «модель – критерий» путем опроса экспертов поставим в соответствие одно из четырех чисел  $-1, 0, 1, 2$ . Значения критериев для модели будут означать соответственно

$-1$  – модель не соответствует критерию

0 – явные несоответствия критерию не обнаружены

1 – модель в основном соответствует критерию

2 – модель полностью соответствует критерию.

Таким образом, мы можем говорить, что модель с номером  $i$  предпочтительнее модели с номером  $j$  относительно критерия с номером  $k$ , если оценка модели с номером  $i$  больше оценки модели с номером  $j$  по критерию с номером  $k$ .

Модели, критерии и оценки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Экспертная оценка моделей технологического процесса разработки ПО

Модель	Критерий								
	Зрелость	Признание	Возможность внедрения языка UML	Поддержка итерационной модели разработки	Поддержка компонентной разработки	Прескриптивность	Покрытие областей модел. SPLP "Разработка ПО"	Покрытие областей модел. SPLP "Техническое Управление"	Автоматизация и инструментальная поддержка
V-Model 98	1	2	1	1	0	1	1	1	1
SSADM	1	2	-1	1	0	1	1	1	0
Microsoft ESF	1	1	1	1	1	-1	1	1	0
Catalyst, CSC	1	1	1	2	1	1	1	2	0
Catalysis	1	1	2	2	2	1	2	1	0
RUP	1	2	2	2	1	1	1	2	2

Невыясненным является вопрос, что делать, когда по конкретному критерию разные модели имеют одинаковую оценку.

В рамках нашей модели принятия решений он разрешается за счет введения априорных оценок уверенности.

Итак, положим, что  $s(p_k^i | \emptyset) = 1$ , если оценка модели с номером  $i$  больше оценки модели с номером  $j$  по критерию с номером  $k$ .

Предположим теперь, что оценка модели с номером  $i$  равна оценке модели с номером  $j$  по критерию с номером  $k$ . Подсчитаем общее число моделей, для которых оценка по критерию с номером  $k$  принимает то же значение равное, например,  $q$ . Положим в этом случае  $s(p_k^i | \emptyset) = \frac{1}{q}$ . Такое предположение вполне естественно. Фактически оно предписывает выбирать в случае равенства



оценок вариант случайного выбора с равномерным распределением по нераспознаваемым моделям.

Интуитивно убедительное правило вывода неформально можно сформулировать так: «модель выбирается тогда и только тогда, когда она является самой предпочтительной».

В терминах априорных оценок уверенности это можно записать в виде:

$$\begin{cases} c(m_i | \{p_k^j\}) = 1 \\ c(p_k^j | \{m_i\}) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

Анализ равенств (2) для априорных оценок уверенности позволяет заключить, что в соответствии с общей моделью они обеспечивают следующие равенства для мер из  $c^*$ :

$$\mu(\{m_i\}) = \mu(\{m_i, p_k^j\}) \quad (3)$$

По определению  $c(m_i | \emptyset) \leq \mu(\{m_i\})$ , что с учетом (3) приводит к следующему заключению для мер из  $c^*$ :  $c(m_i | \emptyset) \leq \mu(\{p_k^j\})$ , причем оценка точна. Из этих неравенств немедленно следует, что  $c(m_i | \emptyset) = \min_{k,j} c(p_k^j)$ .

Таблица 2. Оценки уверенности выбора модели

Модель	Оценка уверенности
V-Model 98	0.20
SSADM	0.20
Microsoft ESF	0.20
Catalyst, CSC	0.20
Catalysis	0.25
RUP	0.33

Таким образом, общая методика, предложенная в [1], позволяет получить окончательный ответ для задачи сравнительного анализа ПО. В табл. 2 приведены оценки уверенности выбора для всех рассмотренных моделей.

Из этих оценок следует, что наиболее предпочтительной для построения технологического процесса разработки компонентного ПО в соответствии с общей моделью SPLP (Software Product Lines Practices) является модель RUP (Rational Unified Process).

## 7. Выводы по результатам и направления дальнейших исследований

Сравнительный анализ шести наиболее распространенных моделей разработки ПО с использованием критериев, оценивающих адекватность процесса компонентной архитектуре показывает, что наиболее адекватной моделью является Rational Unified Process. Это позволяет выбрать эту модель для дальнейших работ, направленных на построение интеллектуальных CASE-средств для проектирования компонентно-ориентированного ПО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев Л.Е. Component-based information systems. Вестник НТУ "ХПИ", вып. 22. – 2001. – С. 46-53.
2. Clements P., Northrop L. Software Product Lines, Practces and Patterns. – NY: Addison Wesley Longman. – 2002. – 563 p.
3. Жолткевич Г.Н. Автоматизация проектирования технологической оснастки: теория и практика. – К.: Техніка. – 1998. – 263 с.
4. Наймарк М.А. Нормированные кольца. – М.: Наука. – 1968. – 698 с.