УДК 65.012:681.5.03

Коваленко И. И., Швед А. В.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ДЕМПСТЕРА-ШЕЙФЕРА

У статті розглянуто алгоритм експертного оцінювання елементів і метричних характеристик якості програмних продуктів, в основі якого лежать правила комбінування теорії свідоцтв. Запропонований алгоритм дозволяє сформувати інтегральний (узагальнений) показник якості програмних продуктів.

***Ключові слова**: метод аналізу ієрархій, функція довіри, правило комбінування, теорія Демпстера-Шейфера.*

В статье рассмотрен алгоритм экспертного оценивания элементов и метрических характеристик качества программных продуктов, в основе которого лежат правила комбинирования теории свидетельств. Предложенный алгоритм позволяет сформировать интегральный (обобщенный) показатель качества программных продуктов.

***Ключевые слова**: метод анализа иерархий, функция доверия, правило комбинирование, теория Демпстера-Шейфера.*

The algorithm of expert estimation of elements and metric characteristics of quality of the software products which used combination rules of the theory of evidence is considered in this article. The offered algorithm allows to generate the integrated indicator of quality of the software products.

***Key words**: Analytic Hierarchy Process, belief function, combination rule, Dempster-Shafer theory.*

Введение

Качество программных продуктов (ПП) вычислительной техники всегда было и остается одной из основных проблем в теории и практике программирования. В современных условиях повышение качества программных продуктов является и основным источником повышения производительности труда при программировании.

Согласно ISO 9000-3 [1], требования к ПП должны включать в себя измеряемые показатели в задачах по качеству, а также четкие критерии качества. Под качеством ПП понимают степень соответствия реальных показателей качества описанным требования, т. е. совокупность свойств, обуславливающих способность ПП удовлетворять потребности пользователей и специалистов, участвующих в создании и сопровождении этого продукта. Оценка качества ПП представляет собой совокупность операций, состоящих из выбора номенклатуры показателей оцениваемого программного продукта, определения значений этих показателей и сравнения их с базовыми значениями.

В настоящее время выделяют шесть групп показателей качества ПП [2]: надежности, сопровождения, удобства применения, эффективности, универсальности и корректности.

В зависимости от того, к какому классу программ относится ПП, для оценки его качества применяется определенная номенклатура показателей, составленная из отдельных элементов указанного общего набора показателей.

В последнее время наряду с традиционными (расчетными) методами оценивания метрических показателей качества ПП, активно используются методы экспертного оценивания. Это связано прежде всего с трудностями формализации ряда мер качества, неоднозначностью выбираемых критериев, нечетким определением свойств ПП и др. Описанные в ряде публикаций [1, 2, 3] подходы экспертного оценивания качества ПП состоят из следующих итераций: назначение экспертами количественных весовых показателей оценочным элементам и метрикам ПП; формирование с учетом полученных весов обобщенного (интегрального) показателя качества ПП.

Однако при этом существуют значительные трудности в экспертном оценивании, которые связаны с большим числом оценочных элементов, составляющих системы мер качества программ [3].

Метод анализа иерархий (Т. Саати) позволяет в значительной мере снять указанные сложности, однако и ему присущи некоторые недостатки. Это, прежде всего, необходимость построения большого числа матриц попарных сравнений, появление несогласованности локальных приоритетов в таких матрицах при увеличении их размерности, сложности в представлении «незнания» (неопределенности) в суждениях экспертов.

Разрешить перечисленные недостатки позволяет подход на основе теории Демпстера-Шейфера (*математическая теория свидетельств*), публикации о которой появились в последнем десятилетии [4, 5, 6].

Постановка задачи

Целью статьи является разработка алгоритма экспертного оценивания элементов и метрических характеристик качества ПП посредством формирования правил комбинирования теории свидетельств.

Основные положения теории свидетельств

В основе теории Демпстера-Шейфера (DST) [4,6], лежат следующие концептуальные положения. Пусть имеется некоторое множество Θ, которое в теории свидетельств называется *универсальным множеством* или основой анализа [4]. Это множество является набором всех рассматриваемых утверждений. В этом случае число возможных подмножеств Θ составит $|2^{\Theta}|$, где 2^{Θ} – показательное множество, совокупность всех подмножеств Θ, включая пустое множество $\varnothing$.

Например, если $\Theta = \{a,b,c\}$, то $2^{\Theta} = \{\varnothing,\{a\},\{b\},\{c\},\{a,b\},\{a,c\},\{b,c\},\Theta\}$.

Если Θ – универсальное множество, тогда функция $m: 2^{\Theta} \to [0,1]$ – называется *основным назначением вероятностей*, если выполняются условия:

$$m(\varnothing) = 0\,,\ \sum_{X \subset \Theta} m(x) = 1 \ \text{для всех}\ X \subseteq \Theta. \tag{1}$$

Число $m(X)$ в работе [4] также называют основной массой вероятности или основным числом вероятности. Это число определяет субъективную степень уверенности, что искомый элемент множества Θ находится в подмножестве $X \subset \Theta$.

Функция уверенностей $bel: 2^{\Theta} \to [0,1]$, *bel* от англ. *belief* – «доверие», «уверенность», определяется как общая степень уверенности, отдаваемая подмножеству $X \subseteq \Theta$ посредством $m(A_i)$, $A_i \subset X$ и определяется как

$$bel(X) = \sum_{A_i : A_i \subseteq X} m(A_i)\,. \tag{2}$$

Таким образом, значение функции *bel*(*X*) получается путем суммирования основных масс вероятностей по всем непустым подмножествам $A_i \subset \Theta$.

Функция $bel(\cdot)$ является функцией уверенностей на Θ, если выполняются условия:

$$bel(X) = \begin{cases} 0, & \text{если } X = \varnothing; \\ 1, & \text{если } X = \Theta. \end{cases} \tag{3}$$

Любое подмножество $X \subset \Theta$, для которого $m(X) \neq 0$ называется фокальным элементом функции *bel*. Объединение всех фокальных элементов этой функции называется её ядром.

Функция $pl: 2^{\Theta} \to [0,1]$, *pl* от англ. *plausibility* – «правдоподобие», «вероятность», называется *функцией правдоподобия* и выражает степень расширения до которого подмножество *X* представляется правдоподобным

$$pl(X) = \sum_{A_i : A_i \cap X \neq \varnothing} m(A_i)\,. \tag{4}$$

Значение функции правдоподобия представляет собой совокупность основных масс вероятностей всех непустых подмножеств A_i пересекающихся с рассматриваемым подмножеством *X*.

Функции $bel(\cdot)$ и $pl(\cdot)$ взаимосвязаны, так как основываются на одних и тех же свидетельствах и отражают одно и тоже состояние знаний [4]. Между этими значениям существует следующее соотношение

$$pl(X) = 1 - bel(\widetilde{X}) \ \text{для всех}\ X \subset \Theta\,. \tag{5}$$

Значение функций $bel(\cdot)$ и $pl(\cdot)$ определяют верхнюю и нижнюю границы интервала, который содержит точную величину вероятности *P*(*X*) рассматриваемого подмножества *X*:

$$bel(X) \le P(X) \le pl(X)\,. \tag{6}$$

Интервал $[bel(X), pl(X)]$ называется интервалом доверия.

Информация в виде различных наборов подмножеств (фокальных элементов) с их базовыми вероятностями может быть получена из различных источников (например, на одном и том же множестве начальных данных несколько независимых экспертов высказывают свои предпочтения). Предполагается, что каждый из таких источников является независимым. Для комбинирования данных, полученных из подобных источников, используется ряд правил. В теории Деспстера-Шейфера комбинирование уверенностей, полученных на основе различных свидетельств, производится по правилу Демпстера [4, 6].

Правило Демпстера позволяет для каждой совокупности исходных подмножеств (фокальных элементов), на всем множестве исходных данных, сформировать результирующие подмножества и вычислить для них степени уверенности (комбинированные массы вероятности).

Пусть имеется универсальное множество Θ и два независимых источника данных. Обозначим базовых вероятности выделенных фокальных элементов, полученных из первого и второго источников, соответственно $m_1(\cdot)$ и $m_2(\cdot)$. Тогда, при условии, что $m_{DS}(\varnothing)=0$ и $\forall(X \neq \varnothing) \in 2^{\Theta}$, комбинированная базовая вероятность $m_{DS}(X)$ вычисляется по формуле

$$m_{DS}(X)=\frac{1}{1-k_{12}} \cdot \sum_{\substack{X_1, X_2 \in 2^{\Theta} \\ X_1 \cap X_2 = X}} m_1(X_1) m_2(X_2), \tag{7}$$

где X_1, X_2 – группы свидетельств, полученные из 1 и 2-го независимых источников, k_{12} – степень конфликтности, которая определяется как

$$k_{12}=\sum_{\substack{X_1, X_2 \in 2^{\Theta} \\ X_1 \cap X_2 = \varnothing}} m_1(X_1) m_2(X_2). \tag{8}$$

Техника вычисления комбинированных правил теории свидетельств

Рассмотрим числовой пример расчета комбинированных правил теории свидетельств с использованием оценочных элементов и метрических характеристик качества ПП (табл. 1, 2), приведенных в работе [1].

Таблица 1

Описание оценочных элементов

№ п/п	Оценочный элемент	Параметры
1	N_1	Количество операторов программы
2	N_2	Количество операндов
3	V	Количество переменных
4	$N_{1уник}$	Количество уникальных операторов
5	$V_{исп}$	Количество используемых переменных
6	G	Количество операторов безусловного перехода
7	$K_{ком}$	Количество комментариев
8	K_{for}	Количество операторов цикла
9	K_{if}	Количество операторов условия
10	Lev_{for}	Максимальный уровень вложенности операторов цикла
11	Lev_{if}	Максимальный уровень вложенности операторов условия
12	I	Число обращений к процедурам и функциям данного модуля
13	O	Число внешних обращений

Предположим, что трем экспертам предложено назначить количественные весовые показатели (основные массы вероятности) оценочным элементам и метрикам ПП.

По условию задачи имеется множество альтернатив $\Theta=\{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}\}$, по числу метрических характеристик, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Метрические характеристики качества ПП

№ п/п	Метрика	Характеристики
1	$N_{1уник}/N_1$	Степень повторяемости операторов
2	$V_{исп}/V$	Степень используемости переменных
3	O/I	Степень зависимости программы от внешних модулей
4	K_{if}/N_1	Насыщенность программы условными операторами
5	G/N_1	Насыщенность программы операторами безусловного перехода
6	K_{for}/N_1	Насыщенность программы циклами
7	$K_{ком}/N_1$	Насыщенность программы комментариями
8	Lev_{if}/K_{if}	Показатель сложности управляющей структуры
9	Lef_{for}/K_{for}	Показатель сложности циклической структуры
10	N_1/N_2	Сложность структуры программы

В результате выполнения экспертного оценивания назначены следующие основные массы вероятности подмножествам Θ:

Эксперт А:

$m_1\{A_1\}=0{,}15;$ $m_1\{A_2\}=0{,}15;$ $m_1\{A_3\}=0{,}1;$ $m_1\{A_4, A_5, A_6, A_7\}=0{,}2;$

$m_1\{A_8, A_9\}=0{,}2;$ $m_1\{A_{10}\}=0{,}2.$

Эксперт В:

$m_2\{A_1\}=0{,}1;$ $m_2\{A_2\}=0{,}1;$ $m_2\{A_3\}=0{,}1;$ $m_2\{A_4, A_5, A_6, A_7\}=0{,}15;$

$m_2\{A_8, A_9\}=0{,}25;$ $m_2\{A_{10}\}=0{,}3.$

Эксперт С:

$m_3\{A_1\}=0{,}2;$ $m_3\{A_2\}=0{,}2;$ $m_3\{A_3\}=0{,}1;$ $m_3\{A_4, A_5, A_6, A_7\}=0{,}15;$

$m_3\{A_8, A_9\} = 0{,}1$; $m_3\{A_{10}\} = 0{,}25$.

Для получения обобщенной оценки необходимо скомбинировать начальные назначения вероятностей для всех пар экспертов. Результаты комбинирования основных назначений масс вероятности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты комбинирования основных назначений вероятностей экспертов А и В по правилу Демпстера

	Метрические характеристики качества ПП	**Эксперт В**					
		$\{A_1\}$	**$\{A_2\}$**	**$\{A_3\}$**	**$\{A_1, A_5, A_6, A_7\}$**	**$\{A_8, A_9\}$**	**$\{A_{10}\}$**
Эксперт А	**$\{A_1\}$**	**$\{A_1\}$**	∅	∅	∅	∅	∅
	$\{A_2\}$	∅	**$\{A_2\}$**	∅	∅	∅	∅
	$\{A_3\}$	∅	∅	**$\{A_3\}$**	∅	∅	∅
	$\{A_1, A_5, A_6, A_7\}$	∅	∅	∅	**$\{A_1, A_5, A_6, A_7\}$**	∅	∅
	$\{A_8, A_9\}$	∅	∅	∅	∅	**$\{A_8, A_9\}$**	∅
	$\{A_{10}\}$	∅	∅	∅	∅	∅	**$\{A_{10}\}$**

На основе анализа табл. 3 мы можем определить следующие непустые пересечения маргинальных фокальных элементов:

$\{A_1\}$ – $m_{12}\{A_1\} = m_1\{A_1\} * m_2\{A_1\} = 0{,}015$;

$\{A_2\}$ – $m_{12}\{A_2\} = m_1\{A_2\} * m_2\{A_2\} = 0{,}015$;

$\{A_3\}$ – $m_{12}\{A_3\} = m_1\{A_3\} * m_2\{A_3\} = 0{,}01$;

$\{A_4, A_5, A_6\}$ – $m_{12}\{A_4, A_5, A_6\} = m_1\{A_4, A_5, A_6\} * m_2\{A_4, A_5, A_6\} = 0{,}03$;

$\{A_8, A_9\}$ – $m_{12}\{A_8, A_9\} = m_1\{A_8, A_9\} * m_2\{A_8, A_9\} = 0{,}05$;

$\{A_{10}\}$ – $m_{12}\{A_{10}\} = m_1\{A_{10}\} * m_2\{A_{10}\} = 0{,}06$.

Чтобы рассчитать константу нормализации *K*, выделим в табл. 1 те ячейки, которые соответствуют пустым пересечениям фокальных элементов

$\{A_1\} \cap \{A_2\} = \varnothing$ *с* $m_{12} = 0{,}015$;

$\{A_1\} \cap \{A_3\} = \varnothing$ *с* $m_{12} = 0{,}01$;

$\{A_1\} \cap \{A_4, A_5, A_6\} = \varnothing$ *с* $m_{12} = 0{,}0225$;

$\{A_1\} \cap \{A_8, A_9\} = \varnothing$ *с* $m_{12} = 0{,}0375$;

$\{A_1\} \cap \{A_{10}\} = \varnothing$ *с* $m_{12} = 0{,}03$;

и т. д. по всем пустым пересечениям.

Определим степень конфликтности (8)

$$k_{12} = m_{12}(\varnothing) = 5 \cdot 0{,}015 + 2 \cdot 0{,}0225 + 2 \cdot 0{,}0375 + 2 \cdot 0{,}045 + 2 \cdot 0{,}01 +$$
$$+ 9 \cdot 0{,}02 + 3 \cdot 0{,}03 + 2 \cdot 0{,}05 + 2 \cdot 0{,}06 + 0{,}25 = 0{,}82.$$

Константа нормализации *K* рассчитывается по выражению

$$K = \frac{1}{1 - k_{12}} = \frac{1}{1 - 0{,}82} = 5{,}556\ .$$

Нормируем комбинированные массы вероятности. В результате получаем

$\{A_1\}$ – $m_{12}\{A_1\} = 0{,}0833$;

$\{A_2\}$ – $m_{12}\{A_2\} = 0{,}0833$;

$\{A_3\}$ – $m_{12}\{A_3\} = 0{,}0556$;

$\{A_4, A_5, A_6\}$ – $m_{12}\{A_4, A_5, A_6\} = 0{,}1667$;

$\{A_8, A_9\}$ – $m_{12}\{A_8, A_9\} = 0{,}2778$;

$\{A_{10}\}$ – $m_{12}\{A_{10}\} = 0{,}3333$.

Аналогично рассчитаем результирующие комбинированные основные назначения вероятностей экспертов А, В и С. В результате получим

$\{A_1\}$ – $m_{123}\{A_1\} = 0{,}0952$;

$\{A_2\}$ – $m_{123}\{A_2\} = 0{,}0952$;

$\{A_3\}$ – $m_{123}\{A_3\} = 0{,}0318$;

$\{A_4, A_5, A_6\}$ – $m_{123}\{A_4, A_5, A_6\} = 0{,}1429$;

$\{A_8, A_9\}$ – $m_{123}\{A_8, A_9\} = 0{,}1588$;

$\{A_{10}\}$ – $m_{123}\{A_{10}\} = 0{,}4762$.

В результате проведенных расчетов были получены обобщенные весовые показатели оценочных элементов и метрик ПП. Анализируя полученные результаты получим следующую ранжировку оценочных элементов и метрик ПП

$$A_{10} \succ \{A_8, A_9\} \succ \{A_4, A_5, A_6\} \succ \{A_1, A_2\} \succ A_3,$$

то есть наиболее предпочтительной является метрическая характеристика «Сложность структуры программы» (табл. 2).

Выводы

В статье рассмотрен алгоритм экспертного оценивания элементов и метрических характеристик качества программных продуктов, в основе которого лежат правила комбинирования теории свидетельств. Предложенный алгоритм позволяет сформировать интегральный (обобщенный) показатель качества программных продуктов посредством комбинирования, назначенных несколькими независимыми экспертами, количественных весовых показателей оценочных элементов и метрик программных продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровин В. И. Оценка качества программных продуктов / В. И. Дубровин, Ю. А. Дорошенко // Управляющие системы и машины. – М., 2001. – № 5. –С. 34–38.
2. Изосимов А. В. Оценка конструктивных характеристик качества программного обеспечения / А. В. Изосимов, А. Л. Рыжко // Управляющие системы и машины. – М., 1989. – № 1. –С. 45–50.
3. Кожевникова Г. П. Фасетная классификация мер качества программ / Г. П. Кожевникова, А. А. Стогний // Кибернетика. – 1989. – № 4. – С. 102–117.
4. Beynon M. J. The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to milticriteria decisionn modelling / M. J. Beynon, B. Curry, P. Morgan // Omega. – 2000. – Vol. 28. – № 1. – P. 37–50.
5. Beynon M. J. DS/AHP method: A mathematical analysis, including an understanding of uncertainty // European Journal of Operational Research. – 2002. – Vol. 140. – P. 148–164.
6. Dempster A. P. Upper and lower probabilities induced by a muilti-valued mapping // Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P. 325–339.

Стаття надійшла до редколегії 13.04.2011 р.