

УДК 65.012.123

О.Е. Федорович¹, А.В. Бабич²

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

² *Полтавский политехнический колледж НТУ «ХПИ», Полтава*

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ КОМПОНЕНТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ

Ставится и решается задача обоснования сложной многоуровневой архитектуры программной системы (ПС). Для этого используется компонентный подход, основанный на выделении относительно изолированных компонент. Компоненты разбиваются на три типа: повторного использования (КПИ), новые компоненты (НК) и сложные компоненты. Рациональное сочетание КПИ и НК, размещаемых в узлах многоуровневой архитектуры ПС, позволяет обеспечить требования качества и минимизировать риски проектирования. Для поиска компромиссного решения, удовлетворяющего противоречивым составляющим вектора качества, используется целочисленное линейное программирование с булевыми переменными.

Ключевые слова: *программная система, многоуровневая компонентная архитектура, обеспечение требований качества, компромиссное решение.*

Введение

Многоуровневая структура современных программных систем (ПС) усложняет процесс проектирования и требует использования новых подходов для обеспечения качества и реализуемости проекта по созданию ПС. Компонентный подход и высокоуровневая технологическая модель проектирования (p-Modeling Framework) позволяют уже на ранних этапах разработки обосновать требуемые значения показателей качества и минимизировать риски проектирования. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой осуществляется оптимизация многоуровневой компонентной архитектуры ПС для обеспечения требований качества [1].

Постановка задачи исследования

В компонентном подходе, при создании ПС, используются компоненты, связанные с опытом прошлых разработок (повторного использования) – КПИ, а также новые компоненты (НК), которые необходимо разработать при проектировании ПС. Компоненты КПИ минимизируют риски и обеспечивают качество ПС. Новые компоненты в виде НК, наоборот, приводят к новым рискам. Появление НК связано с новыми функциональностями ПС, поэтому их использование является, зачастую, обязательным [2]. Отсюда следует необходимость поиска рационального варианта состава ПС, при котором обеспечиваются требования, связанные с показателями качества разрабатываемой ПС. Для сложной ПС количество компонент, в ее многоуровневом составе, может достигать сотни и тысячи элементов. Учитывая, что компоненты в сложной ПС расположены на разных уровнях детализации, возникает сложная задача обоснования и выбора многоуровневой архитектуры ПС с учетом требований качества [3].

Решение задачи исследования

Для решения задачи оптимального выбора компонентного состава многоуровневой ПС воспользуемся методом целочисленного линейного программирования с привлечением булевых переменных x_{ij} , где i – соответствует рассматриваемому уровню компонентной архитектуры ПС; j – соответствует рассматриваемой функциональной компоненте i -го уровня, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n_i}$, где n_i – количество функциональных компонент на i -м уровне:

$$x_{ij} = \begin{cases} x_{ij} = 1, & \text{если в качестве } j\text{-й функциональной} \\ & \text{компоненты } i\text{-го уровня используется КПИ;} \\ x_{ij} = 0, & \text{если в качестве } j\text{-й функциональной} \\ & \text{компоненты } i\text{-го уровня используется НК.} \end{cases}$$

Таким образом, $x_{ij} = 1$ означает использование КПИ, тогда, если $x_{ij} = 0$, $1 - x_{ij} = 1$ – означает использование НК. Пусть составляющими вектора качества \widehat{K} будут: \widehat{K}_1 – уровень качества, \widehat{K}_2 – уровень инновационности, \widehat{K}_3 – прогнозируемые затраты на создание ПС, \widehat{K}_4 – прогнозируемые сроки разработки ПС, \widehat{K}_5 – прогнозируемые риски.

Сформируем ряд постановок задачи оптимизации многоуровневого компонентного состава ПС, связанной с оптимизацией составляющих показателей вектора качества \widehat{K} [4]. Рассмотрим их подробнее.

1. Максимизация качества \widehat{K}_1 . В этом случае в качестве целевой функции выступает \widehat{K}_1 , а в качестве ограничений допустимые значения $\widehat{K}_2, \widehat{K}_3, \widehat{K}_4, \widehat{K}_5$.

Необходимо:

$$\max \widehat{K}_1, \widehat{K}_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} q_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) q_{ij}^{НК}$$

с учетом выполнения ограничений:

$$\widehat{K}_2 \geq \widehat{K}'_2, \widehat{K}_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} p_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) p_{ij}^{НК};$$

$$\widehat{K}_3 \leq \widehat{K}'_3, \widehat{K}_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} z_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) z_{ij}^{НК};$$

$$\widehat{K}_4 \leq \widehat{K}'_4, \widehat{K}_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} t_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) t_{ij}^{НК};$$

$$\widehat{K}_5 \leq \widehat{K}'_5, \widehat{K}_5 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} r_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) r_{ij}^{НК}$$

где $q_{ij}^{КПИ}$ – прогнозируемый уровень качества для j-й функциональной компоненты, реализованной в виде ПККИ i-го уровня архитектуры ПС;

$q_{ij}^{НК}$ – прогнозируемый уровень качества для j-й функциональной компоненты, реализованной в виде НК i-го уровня архитектуры ПС;

$p_{ij}^{КПИ}$ – прогнозируемый уровень инновационности для j-й функциональной компоненты, реализованной в виде КПИ i-го уровня архитектуры ПС;

$p_{ij}^{НК}$ – прогнозируемый уровень инновационности для j-й функциональной компоненты, реализованной в виде НК i-го уровня архитектуры ПС;

$z_{ij}^{КПИ}$ – прогнозируемые затраты по адаптации КПИ для j-й функциональной компоненты i-го уровня архитектуры ПС;

$z_{ij}^{НК}$ – прогнозируемые затраты по созданию НК для j-й функциональной компоненты i-го уровня архитектуры ПС;

$t_{ij}^{КПИ}$ – прогнозируемые сроки адаптации КПИ для j-й функциональной компоненты i-го уровня архитектуры ПС;

$t_{ij}^{НК}$ – прогнозируемые сроки создания НК для j-й функциональной компоненты i-го уровня архитектуры ПС;

$r_{ij}^{КПИ}$ – прогнозируемые риски по адаптации ПККИ для j-й функциональной компоненты i-го уровня архитектуры ПС;

$r_{ij}^{НК}$ – прогнозируемые риски по созданию НК для j-й функциональной компоненты i-го уровня архитектуры ПС;

K'_1 – ограничения, связанные с обеспечением требуемого уровня качества;

K'_2 – ограничения, связанные с требуемым уровнем инновационности;

K'_3 – ограничения, связанные с допустимыми затратами;

K'_4 – ограничения, связанные с допустимыми сроками разработки;

K'_5 – ограничения, связанные с допустимыми рисками создания ПС.

Оптимизация остальных составляющих вектора качества \widehat{K} осуществляется аналогичным образом.

Необходимо максимизировать инновационность: $\max \widehat{K}_2$ с учетом ограничений

$$\widehat{K}_1 \geq K'_1, \widehat{K}_3 \leq K'_3, \widehat{K}_4 \leq K'_4, \widehat{K}_5 \leq K'_5.$$

Необходимо минимизировать затраты: $\min \widehat{K}_3$ с учетом ограничений

$$\widehat{K}_1 \geq K'_1, \widehat{K}_2 \geq K'_2, \widehat{K}_4 \leq K'_4, \widehat{K}_5 \leq K'_5.$$

Необходимо минимизировать сроки разработки: $\min \widehat{K}_4$ с учетом ограничений

$$\widehat{K}_1 \geq K'_1, \widehat{K}_2 \geq K'_2, \widehat{K}_3 \leq K'_3, \widehat{K}_5 \leq K'_5.$$

Необходимо минимизировать риски: $\min \widehat{K}_5$ с учетом ограничений

$$\widehat{K}_1 \geq K'_1, \widehat{K}_2 \geq K'_2, \widehat{K}_3 \leq K'_3, \widehat{K}_4 \leq K'_4.$$

В результате решения задач оптимизации получим экстремальные значения для всех составляющих показателей вектора качества \widehat{K} :

$$\widehat{K}_1^*, \widehat{K}_2^*, \widehat{K}_3^*, \widehat{K}_4^*, \widehat{K}_5^*$$

2. Многокритериальная оптимизация компонентного состава программной системы. Показатели, входящие в состав векторного критерия качества \widehat{K} носят противоречивый характер. Поэтому для поиска компромиссного решения необходимо воспользоваться многокритериальной оптимизацией комплексного критерия Q, включающего все составляющие \widehat{K} . Представим Q в виде аддитивной свертки отдельных составляющих вектора качества \widehat{K} :

$$Q = \alpha_{K_1} \widehat{K}_1 + \alpha_{K_2} \widehat{K}_2 + \alpha_{K_3} \widehat{K}_3 + \alpha_{K_4} \widehat{K}_4 + \alpha_{K_5} \widehat{K}_5.$$

Здесь $\alpha_{K_1}, \alpha_{K_2}, \alpha_{K_3}, \alpha_{K_4}, \alpha_{K_5}$ – весовые коэффициенты, показывающие важность составляющих \widehat{K} . Коэффициенты задаются экспертами, при этом: $0 \leq \alpha_{K_e} \leq 1, \sum_{e=1}^5 \alpha_{K_e} = 1$; $\widehat{K}_1, \widehat{K}_2, \widehat{K}_3, \widehat{K}_4, \widehat{K}_5$ – являются пронормированными, в одной шкале (0 ÷ 1), критериями. Для составляющих \widehat{K} , которые максимизируются:

$$\widehat{K}_1 = \frac{\widehat{K}_1^* - \widehat{K}_1}{\widehat{K}_1^* - \widehat{K}_1}, \widehat{K}_2 = \frac{\widehat{K}_2^* - \widehat{K}_2}{\widehat{K}_2^* - \widehat{K}_2}.$$

Выводы

Для составляющих \widehat{K} , которые минимизируются:

$$\widehat{K}_3 = \frac{\widehat{K}_3 - K_3^*}{\widehat{K}_3 - K_3^*}, \widehat{K}_4 = \frac{\widehat{K}_4 - K_4^*}{\widehat{K}_4 - K_4^*}, \widehat{K}_5 = \frac{\widehat{K}_5 - K_5^*}{\widehat{K}_5 - K_5^*}.$$

Для нахождения компромиссного решения необходимо минимизировать комплексный критерий Q:

$$\begin{aligned} \min Q, \\ Q = \alpha_{K_1} \frac{\widehat{K}_1^* - \widehat{K}_1}{\widehat{K}_1^* - K_1^*} + \alpha_{K_2} \frac{\widehat{K}_2^* - \widehat{K}_2}{\widehat{K}_2^* - K_2^*} + \alpha_{K_3} \frac{\widehat{K}_3 - K_3^*}{\widehat{K}_3 - K_3^*} + \\ + \alpha_{K_4} \frac{\widehat{K}_4 - K_4^*}{\widehat{K}_4 - K_4^*} + \alpha_{K_5} \frac{\widehat{K}_5 - K_5^*}{\widehat{K}_5 - K_5^*} = -\frac{\alpha_{K_1}}{\widehat{K}_1^* - K_1^*} \times \\ \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} q_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) q_{ij}^{HK} \right) - \frac{\alpha_{K_2}}{\widehat{K}_2^* - K_2^*} \times \\ \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} p_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) p_{ij}^{HK} \right) + \frac{\alpha_{K_3}}{\widehat{K}_3 - K_3^*} \times \\ \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} z_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) z_{ij}^{HK} \right) + \frac{\alpha_{K_4}}{\widehat{K}_4 - K_4^*} \times \\ \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} t_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) t_{ij}^{HK} \right) + \frac{\alpha_{K_5}}{\widehat{K}_5 - K_5^*} \times \\ \times \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} f_{ij}^{КПИ} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (1 - x_{ij}) f_{ij}^{HK} \right) + \frac{\alpha_{K_1} K_1^*}{\widehat{K}_1^* - K_1^*} + \\ + \frac{\alpha_{K_2} K_2^*}{\widehat{K}_2^* - K_2^*} - \frac{\alpha_{K_3} K_3^*}{\widehat{K}_3 - K_3^*} - \frac{\alpha_{K_4} K_4^*}{\widehat{K}_4 - K_4^*} - \frac{\alpha_{K_5} K_5^*}{\widehat{K}_5 - K_5^*}. \end{aligned}$$

Для решения поставленных оптимизационных задач используется целочисленное линейное программирование с булевыми переменными (модифицированный метод ветвей и границ).

ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ КОМПОНЕНТНОЇ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

О.Є. Федорович, О.В. Бабич

Ставиться й вирішується задача обґрунтування складної багаторівневої архітектури програмної системи (ПС). Для цього використовується компонентний підхід, заснований на виділенні ізольованих компонентів. Компоненти розбиваються на три типи: повторного використання (КПВ), нові компоненти (НК) і складні компоненти (СК). Рациональне сполучення КПВ й НК, розташованих у вузлах багаторівневої архітектури ПС, дозволяє забезпечити вимоги якості й мінімізувати ризики проектування. Для пошуку компромісного рішення, що задовольняє суперечливим складовим вектора якості, використовується цілочисельне лінійне програмування з булевыми змінними.

Ключові слова: програмна система, багаторівнева компонентна архітектура, забезпечення вимог якості, компромісне рішення.

OPTIMIZATION OF MULTILEVEL COMPONENT ARCHITECTURE SOFTWARE SYSTEM

O.Ye. Fedorovich, A.V. Babich

Pose and solve the problem of substantiation of complex multilevel architecture software system (SS). For this purpose, the component-based approach based on allocation of relatively isolated component used. The components are divided into three types: reuse components (RC), new components (NC) and complex components (CC). The rational combination of RC and NC, placed at the nodes of a multilevel architecture of the SS, allows providing the requirements of quality and minimize risks of designing. To search for compromise solutions, satisfying contradictory components of a vector, integer linear programming with boolean variables are used.

Keywords: software system, multilevel component architecture, providing the requirements of quality, compromise decision.

Предложенный метод целесообразно использовать на ранних этапах проектирования, когда необходимо обосновать многоуровневую архитектуру ПС. В работе построение многоуровневой архитектуры ПС осуществляется с использованием компонент, что обеспечивает прозрачную структуризацию и формализацию поиска рациональных вариантов. Учитывая противоречивость составляющих показателей качества, оптимизация архитектуры ПС осуществляется на основе поиска компромиссных решений с использованием целочисленного линейного программирования с булевыми переменными.

Список литературы

1. Brown, A. Large Scale, Component-Based Development [Text] / A. Brown. – Prentice Hall, 2000. – 285 p.
2. Is There Still a Room For Programmers' Productivity Improvement? [Text] / L. Pavlov, S. Busygin, N. Boyko, A. Babich // International Software And Productivity Engineering Institute, University of Florida. – Yerevan: 5th annual IEEE East-West Design and Test Symposium, 2007. – P. 146-151.
3. Using Reverse Semantic Traceability for Quality Control in Agile MSF-based Projects [Electronic resource] / K. Zhereb, V. Pavlov, A. Doroshenko, V. Sergienko // International Software & Productivity Engineering Institute (INTSPEI). – Moscow, Russia: 4th Software Engineering Conference, October 23, 2008: Proceedings. – Mode of access: WWW.URL: http://2008.cee-secr.org/ru/etc/secr2008_konstantin_zhereb_intspei_using_rst.pdf. – Last access: March 11, 2016. – Title from the screen.
4. Федорович О.Е. Компонентное проектирование аэрокосмической техники [Текст] : моногр. / О.Е. Федорович, Е.С. Яшина, И.В. Белецкий. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 180 с.

Поступила в редакцию 30.03.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.