УДК 681.32

С.С. ПЛОХОВ, О.Е. ФЕДОРОВИЧ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ВЫБОРА СОСТАВА КОМПОНЕНТ ИЕРАРХИЧЕСКИХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Предложен метод анализа состава проектируемой информационной управляющей системы, основанный на исследовании множества проектных вариантов с использованием компонентной технологии. Получены аналитические выражения для подсчета вариантов состава проектируемой системы с учетом многоуровневой детализации и типов компонент.

компонентная технология, проектный анализ, перечисление вариантов многоуровневого состава системы

Введение

Современная промышленная технология создания информационных управляющих систем (ИУС) различного назначения основана на компонентной технологии.

Обоснование и выбор состава ИУС осуществляется путем использования типовых компонент, включающих как аппаратные компоненты, так и компоненты программного обеспечения [1]. Поэтому актуальна задача выбора рационального состава компонент для обеспечения максимальной реализуемости проекта создания ИУС.

Постановка задачи. Анализ методов компонентной технологии, используемой при создании современных ИУС, позволил выделить основные этапы, связанные с обоснованием и оценкой реализуемости проектов ИУС [2]:

– выделение типов компонент;
– анализ множества вариантов создания ИУС;
– оценка реализуемости проектов ИУС.

В данной работе рассматриваются этапы выделения типов компонент и анализ множества вариантов состава ИУС.

При этом учитывается иерархическое многоуровневое представление ИУС и основные типы компонент.

Решение задачи

Исследования показали [3], что максимальная реализуемость проектов создания ИУС связана с применением компонент повторного использования (КПИ), в которых заложен положительный опыт прошлых разработок, и которые обеспечивают сокращение сроков и стоимости проекта, а также минимизируют риск, связанный с невыполнением проекта ИУС. Однако, с другой стороны, использование в качестве компонент ИУС только КПИ может привести к снижению конкурентоспособности проекта, невозможности в полном объеме реализовать все функции проектируемой ИУС. Поэтому состав компонент, используемых для создания ИУС, был разбит на три основные типа [3]:

– «белые» компоненты, которые полностью известны, так как представляют собой КПИ;
– «черные» – новые компоненты, которые малоизвестны и обладают высоким риском создания и использования в ИУС;
– «серые» компоненты, которые частично построены на опыте прошлых разработок, частично – на новых принципах и схемотехнических решениях.

В реальных проектах ИУС присутствуют на различных уровнях все типы компонент. Частными случаями являются проекты, построенные либо на «черных», либо на «белых» компонентах. Для первого случая характерны: максимальный риск, высокая стоимость разработки и длительные сроки проектирования.

Проведем множественный анализ многоуровневого компонентного состава ИУС с учетом выделенных типов компонент.

Для понятного изложения последующего материала кратко рассмотрим основные результаты теории перечисления [4].

На первом этапе осуществляется переход от архитектурных свойств системы к теоретико–множественному представлению. Одно множество отображается в другое, например, множество компонент, в виде модулей, в узлы многоуровневого состава ИУС. На этом этапе необходимо перейти к группам, которые являются отражением вводимой эквивалентности (одинаковости) вариантов и позволяют воспользоваться основными теоремами перечисления.

На следующем этапе осуществляется подсчет возможных классов эквивалентности (вариантов) с помощью основных теорем Пойа и де Брейна [4]. Обозначим исходное множество модулей через D, $|D| = m$, а множество, в которое происходит отображение (элементы состава ИУС), через R, $|R| = n$.

Теорема 1. (Основная теорема Пойа). Перечень класса эквивалентности равен:

$$\sum_F W(F) = Z(G; \sum_{r\in R} \varpi(r), \sum_{r\in R} [\varpi(r)]^2, \sum_{r\in R} [\varpi(r)]^3, ...) \quad (1)$$

где F – класс эквивалентности, индуцированный группой G, действующей на множестве D; $Z(G,\ldots)$ – цикловой индекс группы G; $\omega(r)$ – «вес» элемента $r \in R$.

Теорема 2. (Де Брейн). Число классов эквивалентности однозначных отображений множества D в R:

$$\left[Z\left(G; \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, ... \right) Z(H, 1+Z_1, 1+2Z_2, ...) \right]_{Z_1=Z_2=...=0} . \quad (2)$$

Здесь $Z(G;\ldots)$ – дифференциальный оператор, действующий на оператор $Z(H;\ldots)$ – при условии $Z_1=Z_2=\ldots=0$.

Теорема 3. (Де Брейн). Если выполняются предложения теоремы 2 и если, кроме того, $|R| = |D|$, т.е. отображения взаимно однозначные, то число классов эквивалентности равно:

$$\left[Z\left(G; \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, ... \right) Z(H; Z_1, 2Z_2, ...) \right]_{Z_1=Z_2=...=0} . \quad (3)$$

Теорема 4. (Де Брейн). Общее число классов эквивалентности (эквивалентность индуцируется группами подстановок G и H множеств D и R соответственно):

$$\left[Z\left(G; \frac{\partial}{\partial Z_1}, \frac{\partial}{\partial Z_2}, ... \right) Z(H; e^{Z_1+Z_2+...}, e^{2(Z_2+Z_4+...)}, ...) \right]_{Z_1=Z_2=...=0},$$

или $$|H|^{-1} \sum Z(G; ..., \sum_{j/i} jC_j, ...) , \quad (4)$$

где $\{C_1, C_2,\ldots\}$ – тип элемента $h \in H$.

Рассмотрим многоуровневый компонентный состав ИУС. Пусть задано число уровней детализации состава ИУС и выполняется условие $r_1 \le r_2 \le ... \le r_Q$, где r_i – максимально допустимое количество элементов (узлов) i-го уровня детализации, $i = \overline{1,Q}$. Для начальных стадий проекта ИУС известен состав только элементов самого нижнего Q-го уровня. Обозначим этот факт через $r_Q=n_Q$, где $n_Q=|B^Q|$, B^Q – множество исходных модулей Q-го уровня детализации ИУС:

$$\sum_{\mu Q=1}^{l_Q} P_{\mu Q} = n_Q ,$$

где $P_{\mu Q}$ – число элементов μ-го типа Q-го уровня, $\mu = 1, 2,3$.

Элементы (Q–1)-го уровня образуются из элементов Q-го уровня путем отображения множества B^Q в R^{Q-1}, где R^{Q-1} – множество узлов ИУС для элементов (Q–1-го уровня, $r_{Q-1}=|R^{Q-1}|$. Множество состава (Q–1)-го уровня является множеством всех отображений B^Q в R^{Q-1}.

Осуществляя процесс последовательных отображений множества элементов i-го уровня в множество элементов (i–1)-го уровня, получим множество составов для всех уровней многоуровневой детализации ИУС.

Пусть многоуровневый состав ИУС образуется на основе объединения модулей в подсистему, а подсистем – в систему ИУС. Исходное множество модулей может состоять из одного типа, либо из нескольких. Возможны следующие случаи:

1. ИУС формируется из однородных модулей (например, «белых» или «черных»). Объединим модули в отдельные подсистемы ИУС. Обозначим число имеющихся модулей через n, а количество построенных с помощью модулей подсистем – r. Из-за однородностей модулей возможна любая их перестановка в исходном множестве B. Таких перестановок – $n!$, поэтому на исходном множестве модулей действует симметрическая группа S_n. Множество модулей отобразим во множество подсистем. Так как нас интересует только состав ИУС без учета порядка и связей между отдельными подсистемами, то на множестве подсистем, которое обозначим через R, $|R|=r$, также действует симметрическая группа S_r. Максимально возможное число подсистем будет в случае $n = r$.

Необходимо найти всевозможные варианты построения ИУС. Эта задача эквивалентна задаче разбиения числа n на не более, чем r частей. Тогда число вариантов (4):

$$K = |H_R|^{-1} \sum_{h \in H_R} Z(H_B; ..., \sum_{j/i} jC_i, ...) = \\ = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z(S_n; ..., \sum_{j/i} jC_j, ...). \qquad (5)$$

Определим количество вариантов состава ИУС при фиксированном числе подсистем $r \le n$. Действие симметрической группы S_n на множестве B приводит к тому, что интересуемся только числом модулей. Поэтому отображение B в R можно заменить отображением R в множество $M = \{1,2,\ldots\}$ с ограничением:

$$\sum_{k \in R} Y(K) = n,$$

где $Y(K)$ – показывает, сколько модулей вошло в K-ю подсистему (не менее одного).

Придадим элементам множества M веса:

$$\varpi^1, \varpi^2, \varpi^3, ...,$$

и будем искать классы эквивалентности с весом ϖ^n (1):

$$Z(S_r; \varpi + \varpi^2 + \varpi^3 + ..., \varpi^2 + \varpi^4 + \varpi^6 + ..., ...). \quad (6)$$

Необходимо найти коэффициент при ϖ^n в данном разложении.

2. ИУС содержит несколько типов модулей («белые», «черные», «серые»). Имеется в наличии μ типов модулей, $\mu = \overline{1,3}$. Общее число модулей:

$$n = \sum_{\mu=1}^{l} P_\mu,$$

где P_μ – число модулей μ-го типа.

Тогда на исходном множестве модулей B действует сумма симметрических групп:

$$H_B = S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3},$$

а на множестве подсистем действует, как и в предыдущем случае, симметрическая группа S_r.

Необходимо определить всевозможные варианты состава ИУС. Используя (4) получим:

$$K = |H_R|^{-1} \sum_{h \in H_R} Z(H_B; ..., \sum_{j/i} jC_j ... = \\ = \frac{1}{r!} \sum_{h \in S_r} Z(S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3}; ..., \sum_{j/i} jC_j, ...).$$

По этой формуле можно найти количество вариантов построения ИУС, содержащей r и менее подсистем.

Определим количество возможных вариантов построения ИУС при заданном числе подсистем $r \le n$. С помощью предыдущей формулы перечисляются варианты состава ИУС, начиная с r подсистем и кончая одной. Если взять r–1 подсистем, то будем считать число вариантов для r–1, r–2, …,1 подсистем. Поэтому для определения числа вариантов компонентного состава ИУС с r подсистемами и необходимо найти разность:

$$K = K_r - K_{r-1} = \frac{1}{r!}\sum_{h\in S_r} Z(S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3};...,\sum_{j/i} jC_j,...) -$$

$$-\frac{1}{(r-1)!}\sum_{h\in S_{r-1}} Z(S_{p_1} + S_{p_2} + S_{p_3};...,\sum_{j/i} jC_j,...) \,. \quad (7)$$

Пусть кроме типов компонентных модулей при образовании состава ИУС участвуют функциональные модули (обработки, сбора, контроля и т.д.), т.е. необходимо рассмотреть влияние набора наименований модулей на количество вариантов построения ИУС.

Имеется в наличии B наименований модулей, $S = \overline{1,B}$.

Каждое S-е наименование содержит несколько типов компонентных модулей данного наименования, так что:

$$\sum_{\mu=1}^{l_S} P_{\mu S} = P_S, \sum_{S=1}^{B} P_S = n \,,$$

где $P_{\mu S}$ – число модулей μ-го типа S-го наименования; P_S – общее число модулей S-го наименования с учетом типов компонент; n – общее число модулей.

Рассмотрим S-е наименование.

Подсчитаем число вариантов состава ИУС при заданном числе модулей этого наименования $r_S, \sum_{S=1}^{B} r_S = r$. На исходном множестве модулей S-го наименования с учетом их типов B_S действует сумма симметрических групп:

$$H_{BS} = S_{P_{1S}} + ...S_{P_{lS}} \,,$$

где $|B_S|=P_S$, $l_s\le 3$.

На множестве модулей R_S S-го наименования, так как интересуемся только составом ИУС, действует также симметрическая группа S_{rS} .

Тогда число вариантов состава по S-му наименованию (7):

$$K_S = \frac{1}{r_S!}\sum_{h\in S_{r_S}} Z(S_{p_{1S}} + ... + S_{p_{lS}};...,\sum_{j/i} jC_j,...) -$$

$$-\frac{1}{(r_{S-1})!}\sum_{h\in S_{r_{S-1}}} Z(S_{p_{1S}} ... + S_{p_{lS}};...,\sum_{j/i} jC_j,...) \,. (8)$$

Подсчет числа вариантов K_S по каждому S-му наименованию проводится независимо, так что общее число вариантов состава ИУС:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot ... \cdot K_B = \prod_{S=1}^{B} K_S \,. \quad (9)$$

Для многоуровневого иерархического состава ИУС необходимо последовательно отображать множество элементов нижнего уровня во множестве элементов соседнего верхнего уровня, начиная с самого нижнего уровня.

Пусть B^Q – множество элементов самого нижнего уровня, из которых начинается конструирование многоуровневого компонентного состава ИУС. Задано r_{Q-1} – максимально допустимое число элементов (Q–1)-го уровня. Выполняется условие $n_Q \ge r_{Q-1}$, где $n_Q=|B^Q|$. Тогда число всевозможных вариантов двухуровневого состава ИУС $R^{Q-1,Q}$, при условии, что число элементов (Q–1)-го уровня может быть $a_{Q-1} = \overline{1, r_{Q-1}}$, подсчитывается по формуле

$$K^{Q-1,Q} = K^{Q-1} =$$

$$= \left|H_{R^{Q-1}}\right|^{-1} \sum_{h\in H_R^{Q-1}} Z(H_{B^Q};...,\sum_{j/i} jC_j,...) = \frac{1}{r_{Q-1}!}\times$$

$$= \quad (10)$$

$$\times \sum_{h\epsilon S_{r_{Q-1}}} Z(S_{P_{1Q}} + S_{P_{2Q}} + ... + S_{P_{lQ}};...,\sum_{j/i} jC_j,...),$$

где $H_{R^{Q-1}} = S_{|R^{Q-1}|} = S_{r_{Q-1}}$, так как интересуемся только составом элементов;

$H_{B^Q} = S_{P_{1Q}} + S_{P_{2Q}} + ... + S_{P_{lQ}}$, так как множество элементов Q-го уровня содержит в общем случае l типов ($l_s \le 3$), $\sum_{\mu_Q=1}^{l_Q} P_{\mu_Q} = n_Q$, где P_{μ_Q} – число элементов μ-го типа Q-го уровня.

Количество вариантов при фиксированном числе r_{Q-1} элементов (Q–1)-го уровня:

$$K^{Q-1,Q} = K^{Q-1} =$$

$$= -\frac{1}{(r_{Q-1}-1)!}\left[\frac{1}{r_{Q-1}}\sum_{h\in S_{r_{Q-1}}}(S_{P_{1_Q}} + S_{P_{2_Q}} + \ldots + S_{P_{l_Q}};\ldots,\right.$$

$$\sum_{j/i} jC_j - \sum_{h\in S_{r_{Q-1}-1}} Z(S_{P_{1_Q}} + S_{P_{2_Q}} + \ldots + S_{P_{l_Q}};\ldots; \qquad (11)$$

$$\left.\sum_{j/i} jC_j,\ldots)\right].$$

Построив все варианты $t_{B^{Q-1}}$ двухуровневого $R^{Q-1,Q}$ состава ИУС, получим множество вариантов $T^{Q-1,Q}$, $K^{Q-1,Q} = \left|T^{Q-1,Q}\right|$. Необходимо отобразить множество элементов (Q–1)-го уровня в множество элементов (Q–2)-го уровня по каждому $t_{B^{Q-1}} \in T^{Q-1,Q}$. Тогда число вариантов трехуровневого состава $R^{Q-2,Q-1,Q}$:

$$K^{Q-2,Q-1,Q} = K_1^{Q-2,Q-1,Q} + $$
$$+K_2^{Q-2,Q-1,Q} + \ldots + K_{K^{Q-1,Q}}^{Q-2,Q-1,Q}.$$

Двигаясь снизу вверх, получим для многоуровневого $R^{1,2,\ldots,Q}$ компонентного состава ИУС:

$$K^{1,2,\ldots,Q} = K_1^{1,2,\ldots,Q} + K_2^{1,2,\ldots,Q} + \ldots$$
$$+K^{1,2,\ldots,Q}_{K^{2,\ldots,Q}_{\ddots K^{Q-1,Q}}} = \sum_{B^2\ldots B^{Q-1}} K^{1,2,\ldots,Q}_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}},$$

где

$$K^{1,2,\ldots,Q}_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}} = \left|H_{R^1}\right|^{-1} \times$$
$$\times \sum_{h\in H_{R^1}} Z(H_{R^2_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}}};\ldots,\sum_{j/i} jC_j,\ldots) =$$
$$= \frac{1}{r_1!}\sum_{h\in S_{r_1}} Z(S_{P_{1_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}}}} + S_{P_{2_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}}}} + \ldots \qquad (12)$$
$$+S_{P_{l_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}}}};\ldots,\sum_{j/i} jC_j,\ldots).$$

Здесь $P_{\mu_{B^2_{\ddots B^{Q-1}}}}$ – число элементов μ-го типа 2-го (μ ≤ 3) уровня, относящихся к B-му варианту $R^{2,3,\ldots,Q}$ состава ИУС,…, который относится к B^{Q-1}-му варианту $R^{Q-1,Q}$ состава ИУС. В случае если на каждом i-м уровне $i = \overline{1, Q-1}$ число элементов r_i фиксировано, то:

$$\widehat{K}^{1,2,\ldots,Q}_{B^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}} = \frac{1}{(r_1-1)!}\left[\frac{1}{r_1}\sum_{h\in S_{r_1}} Z(S_{P_{1_{\hat{B}^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}}}} + S_{P_{2_{\hat{B}^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}}}} + \right.$$
$$+S_{P_{l_{\hat{B}^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}}}};\ldots,\sum_{j/i} jC_j,\ldots) - \sum_{h\in S_{r_1-1}} Z(S_{P_{1_{\hat{B}^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}}}} + \qquad (13)$$
$$\left.+S_{P_{2_{\hat{B}^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}}}} + \ldots + S_{P_{l_{\hat{B}^2_{\ddots \hat{B}^{Q-1}}}}};\ldots,\sum_{j/i} jC_j,\ldots)\right].$$

Заключение

Предложенный метод позволяет оценить множество вариантов многоуровневого компонентного состава и в дальнейшем перейти к автоматизированному формированию компонентных архитектур ИУС с целью анализа реализуемости и выбора проекта, максимально удовлетворяющего заданным требованиям и ограничениям.

Литература

1. Brown A. Large Scale, Component – Based Development. – Prentice Hall, 2000. – 285 p.

2. Федорович О.Е., Плохов С.С. Применение компонент многократного использования в управлении проектами разработки новой техники // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 2 (10). – С. 104-107.

3. Федорович О.Е., Плохов С.С. Формирование компонент повторного использования в проектах создания сложной техники // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 1 (13). – С. 124-128.

4. Н. Дж. де Брейн. Теория перечисления Пойа // Прикладная комбинаторная математика. Сб. статей. Пер с англ: под ред. Э. Беккенбаха. – М.: Мир, 1968. – С. 61-106.

Поступила в редакцию 5.10.2006

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