УДК 681.32

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, С.С. ПЛОХОВ, Э.В. ЛЫСЕНКО

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

ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Предложен системный подход для формирования компонентной архитектуры информационных управляющих систем (ИУС), основанный на производящих функциях и лексикографическом упорядочивании вариантов. Подход учитывает основные типы компонент, из которых строится ИУС, в том числе компоненты повторного использования.

компонентная архитектура информационной управляющей системы, генерирование вариантов структур, лексикографическое упорядочивание, компоненты повторного использования

Введение

Создание современных информационных управляющих систем (ИУС) основано на компонентой технологии, которая предполагает, в максимальной степени, использование компонент повторного использования (КПИ), которые положительно зарекомендовали себя в прошлых разработках и тем самым минимизируют риск реализации проекта по созданию ИУС.

Рост сложности решаемых задач в ИУС, появление новых задач управления, приводит к необходимости разработки новых компонент, которые имеют достаточно большой жизненный цикл создания и влияют на риск проекта ИУС.

Таким образом, при создании ИУС можно выделить три основных типа компонент, из которых формируется архитектура ИУС: КПИ, абсолютно новые компоненты и обновленные (модернизированные) КПИ [1].

Поэтому актуальна задача исследования множества возможных архитектур ИУС, построенных из различных типов компонент.

Постановка задачи. Для оценки множества вариантов компонентной архитектуры ИУС используем методы теории перечисления [2]. Полученные количественные оценки в [1] можно использовать при формировании вариантов ИУС. Любой метод генерации вариантов в качестве условия «останова» может использовать количественную оценку возможных вариантов состава или структуры [1]. Для этого необходимо учитывать возможную эквивалентность (одинаковость) вариантов. Введение отношений эквивалентности на множестве исходных компонент позволяет перечислить классы эквивалентности, внутри которых варианты состава и структуры ИУС не различимы с точки зрения данного отношения, т.е. любой вариант из некоторого класса эквивалентности определяет данный класс и может служить его представителем. Подмножество вариантов $T' \in T$, содержащее один и только один вариант из каждого класса эквивалентности, является системой представителей для заданных отношений эквивалентности. Следует отметить, что получение системы представителей является в настоящее время, не достаточно решенной проблемой и сильно зависит от специфики предметной области [2].

В данной публикации рассматриваются вопросы, связанные с получением представителей, т.е. вариантов компонентного состава и структуры ИУС.

Решение задачи

Рассмотрим компонентный состав ИУС. Путем компоновки различных типов компонент можно получить отдельные подсистемы, входящие в состав

© О.Е. Федорович, С.С. Плохов, Э.В. Лысенко

ИУС. Пусть имеется n универсальных компонент. Введем целочисленные переменные X_j, представляющие количество подсистем в ИУС с объединением j универсальных компонент. Тогда используя равенство

$$\sum_{j=1}^{n} jx_j = n \qquad (1)$$

можно путем перебора получить все варианты состава, количество которых подсчитано в [1]. Если число образуемых подсистем не более r, то добавляется ограничение

$$\sum_{j=1}^{n} x_j \le r \,. \qquad (2)$$

При заданном числе подсистем:

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = r \,. \qquad (3)$$

Будем получать варианты компонентного состава ИУС перебором значений переменных X_j, добиваясь выполнения условий (1), (2) либо (1), (3). Для сокращения числа перебираемых комбинаций выбираем значения для X_n из множества $\{0,1\}$,X_{n-1}-$\{0,1,2\}$,…X_L-$\{0,1,2,…,n\}$. Кроме того, как только достигнем заданного количества K вариантов состава, перебор X_j заканчиваем.

Для разнотипного состава имеем l типов компонент (μ = 1, 2, 3):

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

где P_μ – число компонент μ-го типа.

Возьмем отдельный вариант ИУС (реализацию), удовлетворяющей условиям (1), (2). Пусть в этом варианте X_j равна «1» либо «0». Тогда все подсистемы будут иметь различное количество компонент в своем составе. Пронумеруем подсистемы так, что:

$$S_1 \le S_2 \le \ldots \le S_r \,,$$

где S_i – число компонент в i-й подсистеме.

Введем следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^{r} x_{\mu_i} \le p_\mu \,, \quad \mu = \overline{1,l} \,, \qquad (4)$$

$$\sum_{\mu=1}^{l} x_{\mu_i} = S_i \,, \quad i = \overline{1,r} \,, \qquad (5)$$

выполнение которых означает получение варианта состава ИУС. Здесь X_{μ_i} – целочисленная переменная, показывающая количество компонент μ-го типа в i-й подсистеме. Перебирая значения для переменных X_{μ_i}, которые выбираются из множества $\{0,1,2,...,p_\mu\}$, построим варианты ИУС, удовлетворяющей условиям (1), (2). Чтобы построить все варианты ИУС, необходимо просмотреть все возможные реализации и для каждой получить все комбинации X_{μ_i}, удовлетворяющие условиям (4), (5).

Рассмотрим реализацию ИУС, у которой хотя бы одна X_j>1. В этом случае необходимо составлять список представителей и проверять каждый вновь полученный вариант, является ли он представителем нового класса эквивалентности или для этого класса уже имеется представитель.

Введем отношение порядка на множество компонент в рассматриваемой реализации ИУС. Для i-й подсистемы построим кодовую группу, у которой на первом месте поставим число компонент S_i, а затем расположим номера типов компонент в порядке возрастания. Назовем эту кодовую группу «слогом». Тогда «слово» (реализация ИУС) представляет совокупность «слогов», которые расположены в порядке:

$$S_1 \le S_2 \le \ldots \le S_r \,.$$

Причем, если S_{i-1}=S_i, то такие слога расположены в алфавитном порядке (лексикографическое упорядочивание) с учетом номеров типов компонент в каждом слоге. Лексикографическое представление реализации ИУС можно использовать для сравнения вариантов состава. Варианты, которые имеют одинаковые слова, принадлежат одному и тому же классу эквивалентности.

Будем получать варианты компонентного состава ИУС с помощью производящих функций (энумераторов) [21].

Перечень классов эквивалентности:

$$\sum_F W(F) = Z(H_R; \sum_{\mu=1}^{l} \varpi(\mu), \sum_{\mu=1}^{l} [\varpi(\mu)]^2, ...), \qquad (6)$$

где $W(F)$ – «вес» класса эквивалентности F; $\varpi(\mu)$ – «вес» компоненты μ-го типа; H_R – группа подстановок для отдельной реализации системы. Получим:

$$H_R = S_{S_1} + S_{S_2} + ... + S_{S_r};$$
$$(S_{S_1} + S_{S_2} + ... + S_{S_r}; x[1;1]; x[2;1], ..., x[1;2], x[2;2], ...$$
$$..., x[1;r], x[2;r], ...) = Z(S_{S_1}; x[1;1], x[2;1], ... \times$$
$$\times Z(S_{S_2}; x[1;2], x[2;2]...)...Z(S_{S_r}; x[1;r], x[2;r], ...).$$

Здесь, в общем случае, присутствует:

$$S_{S_i} = S_{S_j}, i \neq j, i, j = \overline{1, r}.$$

Пример. Имеется следующий состав компонент: P_1=3, P_2=3, где P_1 – компоненты КПИ, P_2 – новые компоненты. Реализация ИУС представлена в виде подсистем: S_1=1, S_2=2, S_3=2.

Обозначим $\varpi(1) = x, \varpi(2) = y$. Получим:

$$H_R = S_{S_1} + S_{S_2} + ... + S_{S_r};$$
$$Z(H_R) =$$
$$= x[1;1]\frac{1}{2}(x[1;2]^2 + x[2;2], x[2;2])\frac{1}{2}(x[1;3]^2 + x[2;3]).$$

Перечень классов эквивалентности:

$$\sum_F W(F) = (x_1 + y_1)\frac{1}{2}[(x_2 + y_2)^2 + (x_2^2 + y_2^2)] \times$$
$$\times \frac{1}{2}[(x_3 + y_3)^2 + (x_3^2 + y_3^2)] =$$
$$= x_1x_2^2x_3^2 + x_1y_2^2x_3^2 + x_1x_2y_2x_3^2 + x_1y_2^2x_3y_3 + x_1x_2y_2x_3y_3 +$$
$$+ y_1x_2^2x_3^2 + y_1y_2^2x_3^2 + y_1x_2y_2x_3^2 + x_1y_2^2y_3^2 + x_1x_2y_2y_3^2 +$$
$$+ x_1x_2x_3y_3 + x_1y_2^2x_3y_3 + y_1x_2^2y_3^2 + y_1y_2^2y_3^2 + y_1x_2y_3^2 +$$
$$+ y_1x_2^2x_3y_3 + y_1y_2^2x_3y_3 + y_1x_2y_2x_3y_3.$$

Здесь X_i – вес $\varpi(1)$, , отнесенный к i-й подсистеме. Отбросим члены, не удовлетворяющие исходным условиям P_1=3, P_2=3.

Получим:

$$\sum_{F'} W(F') = x_1y_2^2x_3^2 + x_1x_2^2y_3^2 + x_1x_2y_2y_3^2 + x_1y_2^2x_3y_3 +$$
$$+ x_1x_2y_2x_3y_3 + y_1y_2^2x_3^2 + y_1x_2y_2x_3^2 + y_1x_2^2y_3^2 +$$
$$+ y_1x_2^2x_3y_3 + y_1x_2y_2x_3y_3.$$

Лексикографически упорядочим варианты и запишем все слова:

1. 11; 211; 222	5. 11; 212; 212	9. 12; 211; 212
2. 11; 211; 222	6. 12; 211; 222	10. 12; 212; 212
3. 11; 212; 222	7. 12; 211; 212	
4. 11; 212; 222	8. 12; 211; 222	

Учитывая эквивалентность вариантов 1,2; 3,4; 6,8; 7,9 получим список представителей:

1. 11; 211; 222	3. 11; 212; 222	5. 12; 211; 222
2. 11; 212; 212	4. 12; 211; 212	6. 12; 212; 212

В случае, если $S_i \neq S_j$, для всех $i, j = \overline{1, r}, i \neq j$, то идентифицировать варианты состава не надо, так как каждый вариант, полученный или способом перебора, или с помощью производящей функции, является представителем нового класса.

Для многоуровневого компонентного состава ИУС предложенную процедуру необходимо применять многократно при переходах с нижних уровней детализации компонент на верхние.

Представим структуру ИУС в виде графа. Граф можно однозначно представить в виде матрицы смежности. Строки и столбцы этой матрицы соответствуют вершинам графа, а ее элементы для простого графа (без циклов и кратных ребер) равны «0» или «1». Пусть для примера граф структуры ИУС (рис. 1) имеет следующую матрицу смежности:

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
x_1	0	1	1	0	0	0	0
x_2	1	0	0	1	1	0	0
x_3	1	0	0	0	0	1	1
x_4	0	1	0	0	0	0	0
x_5	0	1	0	0	0	0	0
x_6	0	0	1	0	0	0	0
x_7	0	0	1	0	0	0	0

где X_i– переменная, означающая номер типа исходного множества компонент для i-й вершины структуры ИУС.

Представим матрицу смежности в виде списка. Для этого из матрицы выпишем каждую вершину графа и смежные ей вершины:

$$X_1X_2X_3;X_2X_1X_4X_5;X_4X_2;X_5X_2;X_6X_3;X_7X_3.$$

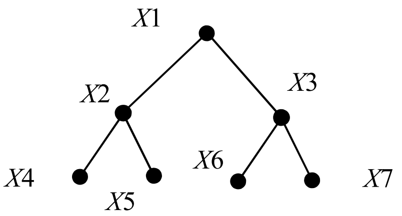

Рис. 1. Пример графа структуры ИУС

Затем в начале каждой i-й группы поставим число, указывающее на количество символов в этой группе и упорядочим группы в порядке возрастания этих чисел:

$$2X_4X_2;2X_5X_2;2X_6X_3;2X_7X_3;3X_7X_3;3X_1X_2X_3;$$
$$4X_2X_1X_4X_5;4X_3X_1X_6X_7.$$

Будем использовать полученные списки для распознавания изоморфизмов помеченных графов, где в качестве меток используем номера типов исходного множества компонент. Например, имеется три распределения по вершинам графа структуры (рис. 2), причем 1 и 11 помеченные графы изоморфны. Запишем списковые формы этих графов:

1. 222; 212; 211; 221; 3121; 42121; 41112.
2. 211; 221; 212; 222; 3112; 41112; 42112.
3. 211; 221; 221; 211; 3111; 41112; 41121.

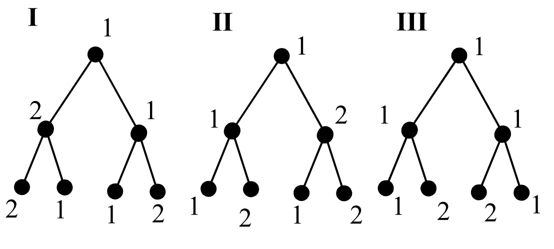

Рис. 2. Различные закрепления компонент
в структуре ИУС

Лексикографически упорядочим кодовые группы, не трогая двух первых позиций в каждой i-й группе (эти позиции относятся к числу единиц в i-й строке матрицы смежностей плюс символ i-й вершины, с учетом компоненты в i-й вершине графа):

1. 212; 212; 221; 222; 3112; 41112; 42112.
2. 211; 212; 221; 222; 3112; 41112; 42112.
3. 211; 211; 221; 221; 3111; 41112; 41112.

Слова 1 и 2 равны, то есть структуры 1 и 2 находятся в одном классе эквивалентности.

Построим методику порождения вариантов структур ИУС. Для этого найдем комбинаторно-групповые свойства графа структуры. Рассмотрим случай, когда группа графа ИУС состоит из суммы симметрических групп (рис. 3):

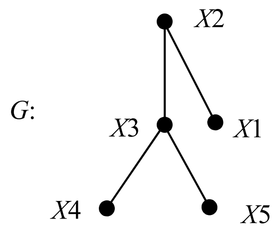

Рис. 3. Пример представления структуры ИУС
с помощью симметрических групп

$$\Gamma(G)=E_3+S_2=S_1+S_1+S_1+S_2\,.$$

Введем целочисленные переменные X_{μ_i} – показывающие число компонент μ-го типа, вошедшие в i-е подмножества вершин, на котором действует симметрическая группа S_{S_i}, где S_i – степень симметрической группы, т.е. количество компонент, которые вошли в i-е подмножества вершин. Тогда выполнение ограничений (4), (5) означает получение варианта структуры ИУС, причем для последовательного перебора каждый вариант является представителем нового класса эквивалентности.

В случае, например, сложных групп (диэдральных или композиций) [3] составим упрощенную модель комбинаторно-групповых свойств структуры, содержащую только сумму симметрических групп, с помощью которой получаем количество вариантов большее, чем число классов эквивалентности в исходной модели. Например, (рис. 4):

$$\Gamma(G)=S_1+S_2[S_1+S_1].$$

Упрощенная модель:

$$\Gamma'(G)=S_1+S_1+S_1+S_1+S_1.$$

Генерируем варианты с помощью последовательного перебора (4), (5) или с помощью производящей функции. При этом используем процедуру лексикографического упорядочивания для отсева вариантов из одного класса эквивалентности.

Пример. Имеется следующий состав компонент: $p_1 = 4, p_2 = 2.$ Структура ИУС представлена в виде графа (рис. 4):

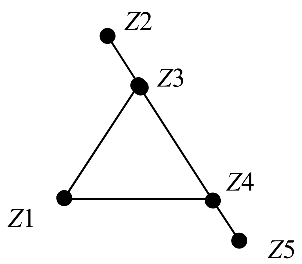

Рис. 4. Пример графа структуры ИУС
для формирования множества вариантов

$$Z\left(\Gamma'(G)\right) = X[1;1]X[1;2]X[1;3]X[1;4]X[1;5].$$

Воспользуемся производящей функцией [1]. Обозначим $\omega(1) = X,\ \ \omega(2) = y.$

Перечень классов эквивалентности:

$$W(F) = (X_1+Y_1)(X_2+Y_2)(X_3+Y_3)(X_4+Y_4)(X_5+Y_5) =$$
$$= X_1X_2X_3X_4X_5 + X_1X_2X_3X_4Y_5 + X_1X_2X_3Y_4X_5 +$$
$$+X_1X_2Y_3X_4X_5 + X_1X_2Y_3X_4Y_5 + X_1X_2Y_3Y_4X_5 +$$
$$+X_1X_2Y_3Y_4Y_5 + X_1Y_2X_3X_4X_5 + X_1Y_2X_3X_4Y_5 +$$
$$+X_1Y_2X_3Y_4X_5 + X_1Y_2X_3Y_4Y_5 + X_1Y_2Y_3X_4X_5 +$$
$$+X_1Y_2Y_3X_4Y_5 + X_1Y_2Y_3Y_4X_5 + X_1Y_2Y_3Y_4Y_5 +$$
$$+Y_1X_2X_3X_4X_5 + Y_1X_2X_3X_4Y_5 + Y_1X_2X_3Y_4X_5 +$$
$$+Y_1X_2X_3Y_4Y_5 + Y_1X_2Y_3X_4X_5 + Y_1X_2Y_3X_4Y_5 +$$
$$+Y_1X_2Y_3Y_4X_5 + Y_1X_2Y_3Y_4Y_5 + Y_1Y_2X_3X_4X_5 +$$
$$+Y_1Y_2X_3X_4Y_5 + Y_1Y_2X_3Y_4X_5 + Y_1Y_2X_3Y_4Y_5 +$$
$$+Y_1Y_2Y_3X_4X_5 + Y_1Y_2Y_3X_4Y_5 + Y_1Y_2Y_3Y_4Y_5 +$$
$$+Y_1Y_2Y_3Y_4Y_5 + X_1X_2X_3Y_4Y_5.$$

Отбросим члены, не удовлетворяющие исходным условиям:

$$\sum_{F'} W\left(F'\right) = X_1X_2X_3X_4Y_5 + X_1X_2X_3Y_4X_5 +$$
$$+X_1X_2X_3Y_4Y_5 + X_1X_2Y_3X_4X_5 + X_1X_2Y_3Y_4X_5 +$$
$$+X_1Y_2X_3X_4X_5 + X_1Y_2X_3X_4Y_5 + +X_1Y_2X_3Y_4X_5 +$$
$$+X_1Y_2Y_3X_4X_5 + Y_1X_2X_3X_4X_5 + Y_1X_2X_3X_4Y_5 +$$
$$+Y_1X_2X_3Y_4X_5 + Y_1X_2Y_3X_4X_5 + Y_1Y_2X_3X_4X_5.$$

Построим матрицу смежности:

$$\begin{array}{cccccc} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & Z_5 \\ Z_1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ Z_2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ Z_3 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ Z_4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ Z_5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}.$$

Из нее получим:

$$2Z_2Z_3, 2Z_5Z_4, 3Z_1Z_3Z_4, 4Z_3Z_1Z_2Z_4, 4Z_4Z_1Z_3Z_5.$$

Отсюда используя перечень $\sum_{F'} W(F')$ и лексикографическое упорядочивание, запишем слова:

1. 211; 221; 3111; 41111; 41112.
2. 211; 212; 3112; 41112; 42111.
3. 211; 222; 3112; 41112; 42112.
4. 211; 212; 3112; 41112; 42111.
5. 212; 212; 3122; 42112; 42112.
6. 211; 221; 3111; 41111; 41112.
7. 221; 221; 3111; 41112; 41112.
8. 212; 221; 3112; 41122; 42111.
9. 211; 222; 3112; 41112; 42112.
10. 211; 211; 3211; 41112; 41112.
11. 211; 221; 3211; 41112; 41122.
12. 211; 212; 3212; 41122; 42112.
13. 211; 212; 3212; 41122; 42112.
14. 211; 221; 3211; 41112; 41122.

Учитывая эквивалентность вариантов 1,6; 2,4; 3,9; 11,14; 12,13 получим список представителей (окончательных вариантов ИУС) и построим их (рис. 5):

1. 211; 221; 3111; 41111; 41112.
2. 211; 212; 3112; 41112; 42111.
3. 211; 222; 3112; 41112; 42112.
4. 212; 212; 3122; 42112; 42112.
5. 221; 221; 3111; 41112; 41112.
6. 212; 221; 3112; 41122; 42111.
7. 211; 211; 3211; 41112; 41112.
8. 211; 221; 3211; 41122; 41122.
9. 211; 212; 3212; 41122; 42112.

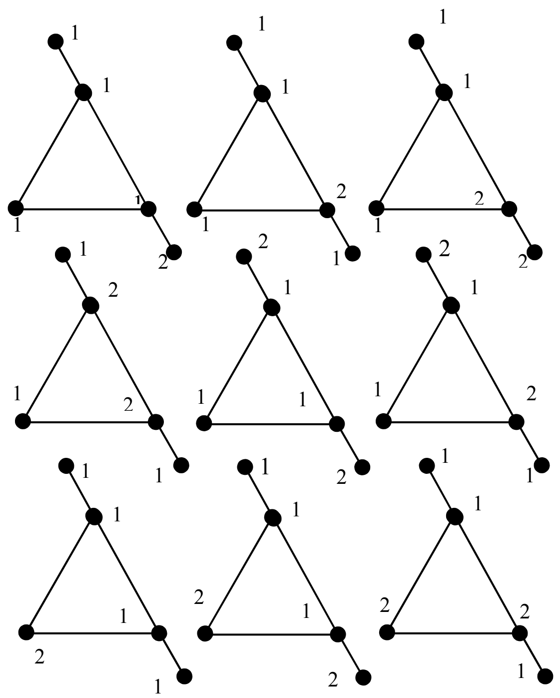

Рис. 5. Множество возможных вариантов структур ИУС

Заключение

Предложенный метод формирования архитектуры ИУС основан на теории перечисления и введении лексикографического упорядочивания вариантов.

Зная возможные типы компонент (новые, КПИ, модернизированные КПИ), а также количество подсистем и заданную структуру системы, можно получить всевозможные варианты состава и структур ИУС, в которых присутствуют различные сочетания типов компонент. Полученные структуры можно оценить на риски и реализуемость проекта создания ИУС [4].

Литература

1. Плохов С.С. Структурный анализ проектов создания многоуровневых распределенных информационных систем на основе компонентного подхода // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 3(15). – С. 74-79.

2. И.Дж. Де Рейн. Теория перечисления Пойа // Прикладная комбинаторная математика: Сб. статей. Пер. с англ., под ред. Э. Беккенбаха. – М.: Мир, 1986. – С. 61-106.

3. Харрари Ф. Теория графов: Пер. с анл. – М.: Мир, 1973. – 300 с.

4. 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.

Поступила в редакцию 7.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.