

УДК 681.322

Н.В. ЗАМИРЕЦ, В.А. ЩЕГОЛЬ*Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, Украина***МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ
СЛОЖНОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ**

Проводится исследование архитектуры космического изделия, формируемой с помощью выделенного множества компонент (повторного использования, инновационных и т.д.). Предложен метод формирования состава сложного космического изделия (КИ) на основе выделенных типов компонент. Для построения классов эквивалентности вариантов состава применены производящие функции теории перечисления. Для окончательного отбора вариантов компонентной архитектуры используется лексикографическое упорядочивание. Приведен иллюстрированный пример формирования состава КИ.

компонентная архитектура, компоненты повторного использования, лексикографическое упорядочивание вариантов

Введение

Для создания нового поколения космической техники необходимо применять современный подход, который активно используют опыт прошлых разработок.

Одним из таких подходов является компонентный подход, в котором многоуровневая архитектура наукоемкого изделия формируется на базе компонент [1, 2].

Можно выделить следующие три различных типа компонент в составе сложного космического изделия:

– компоненты повторного использования (КПИ), которые получены в прошлых разработках и аккумулируют положительный опыт создания и эксплуатации изделий;

– новые компоненты (НК), которые необходимо создать для выполнения новых функций изделия, которых раньше не было;

– смешанные компоненты (СК), которые являются сложными компонентами, полученными в результате комплексирования компонент повторного использования и новых компонент.

В данной работе решается актуальная задача формирования архитектуры сложного космического изделия (КИ) на основе компонентного подхода.

Постановка задачи исследования

Решение задачи формального синтеза архитектуры КИ проведем с учетом компонентного состава космического изделия и возможных конфигураций структурных связей между компонентами системы.

Рассмотрим компонентный состав КИ. Путем комплексирования отдельных компонент в процессе проектирования можно получить подсистемы, входящие в состав системы КИ.

Необходимо сформировать множество возможных вариантов компонентной архитектуры космического изделия.

Решение задачи

Пусть имеется n компонент. Для формирования архитектуры КИ введем целочисленные переменные x_j , представляющие количество подсистем в КИ, полученных с помощью комплексирования j компонент. Тогда используя равенство

$$\sum_{j=1}^n j \cdot x_j = n, \quad (1)$$

можно полным перебором получить все варианты компонентного состава КИ.

Если число образуемых подсистем не более r , то добавляется ограничение:

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq r. \quad (2)$$

При заданном числе подсистем в составе КИ:

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

Для получения вариантов компонентного состава КИ осуществим перебор значений переменных x_j , с учетом (1), (2) или (1), (3). Для сокращения числа перебираемых комбинаций выбираем значения:

- для x_n – из множества $\{0,1\}$,
- для x_{n-1} – из множества $\{0,1,2\}, \dots$,
- для x_1 – из множества $\{0,1,2, \dots, n\}$.

Для отдельного варианта архитектуры КИ, представим список его подсистем так, что:

$$S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_r, \quad (4)$$

где S_i – число компонент в i -й подсистеме.

Введем следующие ограничения:

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

$$\sum_{\mu=1}^l x_{\mu_i} = S_i, \quad i = \overline{1, r}, \quad (6)$$

выполнение которых означает получение варианта компонентного состава КИ. Здесь x_{μ_i} – целочисленные переменные, показывающие количество компонент μ -го типа в i -й подсистеме.

Задавая значения для переменных x_{μ_i} , которые выбираются из множества $\{0,1,2, \dots, p_{\mu}\}$, построим варианты КИ, удовлетворяющие условиям (1), (2). Будем формировать список представителей и проверять каждый вновь полученный вариант компонентного состава, является ли он представителем нового класса или для этого класса уже имеется представитель.

Введем отношение порядка на множестве компонент в рассматриваемой архитектуре КИ. Для i -й подсистемы КИ построим кодовую группу, у которой на первом месте поставим число компонент в

составе подсистемы S_i , а затем расположим номера типов компонент в порядке возрастания. Будем считать эту кодовую группу «словом». Тогда «слово» (вариант компонентной архитектуры КИ) представляет совокупность «слов», которые расположены в списке в следующем порядке:

$$S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_r.$$

Причем, если $S_1 \leq S_2$, то такие «слова» расположены в алфавитном порядке (лексикографическое упорядочивание) в том числе и для номеров типов компонент в каждом «слоге». Лексикографическое представление компонентного состава КИ будем использовать для сравнения вариантов, архитектуры КИ. Варианты, которые имеют одинаковые «слова», принадлежат одному и тому же классу (эквивалентность), что означает одну и ту же компонентную архитектуру КИ.

Будем формировать варианты компонентного состава КИ с помощью производящих функций (энумераторов) [3].

Перечень классов эквивалентности:

$$\sum_F W(F) = Z(H_R; \sum_{\mu=1}^l \varpi(\mu), \sum_{\mu=1}^l [\varpi(\mu)]^2, \dots), \quad (7)$$

где $W(F)$ – «вес» класса эквивалентности F ; $\varpi(\mu)$ – «вес» компонента μ -го типа; H_R – группа подстановок для отдельного варианта системы:

$$\begin{aligned} H_R &= S_{S_1} + S_{S_2} + \dots + S_{S_r}; \\ \sum_F W(F) &= Z(S_{S_1} + S_{S_2} + \dots + S_{S_r}; \\ &x[1;1], x[2;1], \dots, x[1;2], x[2;2], \dots, \\ &\dots, x[1;r], x[2;r], \dots) = Z(S_{S_1}; x[1;1], x[2;1], \dots) \times \\ &\times Z(S_{S_2}; x[1;2], x[2;2], \dots) \times \dots \\ &\dots \times Z(S_{S_r}; x[1;r], x[2;r], \dots). \end{aligned}$$

Здесь, в общем случае, присутствует

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

симметрическая группа подстановок степени S_i .

Пусть архитектура КИ представлена в виде трех подсистем:

$$S_1=1; \quad S_2=2; \quad S_3=2,$$

т.е. в 1-й подсистеме находится 1 компонент,

во 2-й – 2,

в 3-й – 2.

Формируем состав каждой подсистемы из двух типов компонент: $p_1=3, p_2=3$ (КПИ и НК соответственно).

Обозначим

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

Используя (7) получим перечень классов эквивалентности:

$$\begin{aligned} \sum_F W(F) &= (x_1 + y_1)[(x_2 + y_2)^2 + (x_2^2 + y_2^2)] \times \\ &\quad \times [(x_3 + y_3)^2 + (x_3^2 + y_3^2)] = \\ &= x_1 x_2^2 x_3^2 + x_1 y_2^2 x_3^2 + x_1 x_2 y_2 x_3^2 + x_1 y_2^2 x_3 y_3 + \\ &\quad + x_1 x_2 y_2 x_3 y_3 + y_1 x_2^2 x_3^2 + y_1 y_2^2 x_3^2 + \\ &\quad + y_1 x_2 y_2 x_3^2 + x_1 y_2^2 y_3^2 + x_1 x_2 y_2 y_3^2 + x_1 x_2 x_3 y_3 + \\ &\quad + x_1 y_2^2 x_3 y_3 + y_1 x_2^2 y_3^2 + y_1 y_2^2 y_3^2 + \\ &\quad + y_1 x_2 y_3^2 + y_1 x_2^2 x_3 y_3 + y_1 y_2^2 x_3 y_3 + y_1 x_2 y_2 x_3 y_3. \end{aligned}$$

Отбросим члены, не удовлетворяющие исходным условиям:

$$p_1=3, p_2=3.$$

Получим:

$$\begin{aligned} \sum_{F'} W(F') &= x_1 y_2^2 x_3^2 + x_1 x_2^2 y_3^2 + \\ &\quad + x_1 x_2 y_2 y_3^2 + x_1 y_2^2 x_3 y_3 + x_1 x_2 y_2 x_3 y_3 + \\ &\quad + y_1 y_2^2 x_3^2 + y_1 x_2 y_2 x_3^2 + y_1 x_2^2 y_3^2 + \\ &\quad + y_1 x_2^2 x_3 y_3 + y_1 x_2 y_2 x_3 y_3. \end{aligned}$$

Лексикографически упорядочим варианты компонентного состава КИ и запишем все «слова»:

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

Учитывая эквивалентность вариантов 1,2; 3,4; 6,8; 7,9 получим окончательный список представителей (вариантов компонентного состава архитектуры КИ):

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

Представим компонентную структуру архитектуры КИ в виде графа (рис. 1).

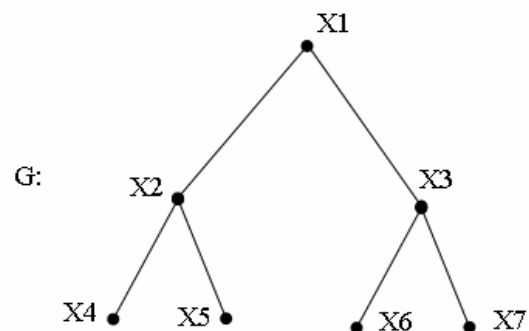


Рис. 1. Граф структуры КИ

Строки и столбцы матрицы смежности графа соответствуют вершинам, а ее элементы для простого графа (без циклов и кратных ребер) равны «0» или «1». Для графа компонентной структуры КИ (рис. 1) построим следующую матрицу смежности:

$$\begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_7 \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

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

$X_1, X_2, X_3;$
 $X_2, X_1, X_4, X_5;$
 $X_3, X_1, X_6, X_7;$
 $X_4, X_2;$
 $X_5, X_2;$
 $X_6, X_3;$
 $X_7, X_3.$

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

$2X_4, X_2;$
 $2X_5, X_2;$
 $2X_6, X_3;$
 $2X_7, X_3;$
 $3X_1, X_2, X_3;$
 $4X_2, X_1, X_4, X_5;$
 $4X_3, X_1, X_6, X_7.$

Используем полученный список вершин для распознавания изоморфизмов помеченных графов, где в качестве меток используем номера типов исходного множества компонент КИ. Например, имеется три распределения двух типов компонент по вершинам графа структуры КИ (рис. 2).

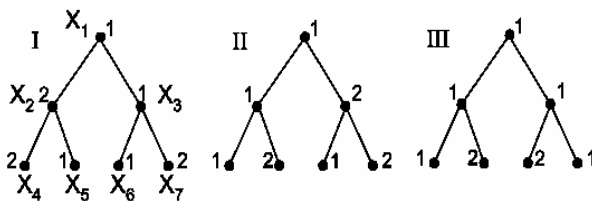


Рис. 2. Варианты распределения компонент в структуре КИ

Представим списки вершин этих графов:

- 222; 212; 211; 221; 3121; 42121; 41112.
- 211; 221; 212; 222; 3112; 41112; 42112.
- 211; 221; 221; 211; 3111; 41112; 41121.

Лексикографически упорядочим группы, не трогая двух первых позиций в каждой i -й группе (эти позиции относятся к числу единиц в i -й строке матрицы смежности плюс символ i -й вершины, и типу модуля в i -й вершине графа). Получим:

- 211; 212; 221; 222; 3112; 41112; 42112.
- 211; 212; 221; 222; 3112; 41112; 42112.
- 211; 211; 221; 221; 3111; 41112; 41112.

«Слова» 1 и 2 одинаковы, то есть структуры I и II находятся в одном классе эквивалентности, поэтому имеется всего два разных варианта компонентной архитектуры I и III.

Заключение

Предложенный компонентный подход целесообразно использовать на ранних этапах управления проектом по созданию сложных космических изделий, когда необходимо использовать опыт прошлых разработок и выделить инновационные компоненты проекта для создания архитектуры системы.

Литература

- Brown A. Large Scale Component-Based Development // Prentice Hall. – 2000. – 285 p.
- Федорович О.Е., Некрасов А.Б., Плохов С.С. Применение компонент многократного использования в управлении проектами новой техники // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 2 (10). – С. 104-107.
- Пойа Д. Комбинаторные вычисления для групп, графов и химических соединений: Пер. с англ. // Перечислительные задачи комбинаторного анализа. Сборник переводов. Под ред. Г.П. Гаврилова – М.: Мир, 1979. – С. 36-139.

Поступила в редакцию 12.02.2008

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