

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА ПОДСИСТЕМ СИСТЕМНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА СБОРКИ

Гамаюн И.П., Ямшанов И.С.

Инженерная академия Украины, г.Харьков

Abstract. Gamayn I., Iamshanov I. The characteristic of methods of synthesis of subsystems of the system technical object of assembly. The designing of the technological process of assembly is grounded on creation of the technological circuit (scheme) of assembly. She (it) is a visual resource for mapping a sequence of input in the assembly process of details and assembly units. This sequence is defined (determined) by the ratios on the basis of the constructive - technological requirements of access and basing.

Достижение высоких значений экономических показателей предприятиями машиностроения и приборостроения связывают с использованием ими современных информационных технологий типа CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) [1]. Эта технология используется для информационной поддержки принятия эффективных решений в ходе жизненного цикла выпускаемых видов продукции и их интеграции. Основными автоматизированными системами в CALS-технологии на стадии производства являются системы интегрированного производственного комплекса (ИПК), которые обеспечивают подготовку производства и управление им.

Анализ показывает, что эффективность функционирования систем ИПК, обеспечиваемая главным образом информационными ресурсами и инструментальными средствами CALS-технологии, имеет по видам производства неравномерный характер. Это выражается в отставании уровня автоматизации подготовки сборочного производства от уровня автоматизации других видов производства — металлообработки, штамповки и др.

Одним из направлений преодоления указанного отставания является повышение эффективности функционирования подсистемы автоматизированного анализа конструкции системного технического объекта сборки (СТОС) и отработки ее на технологичность, входящей в состав автоматизированной системы подготовки сборочного производства ИПК. Повышение эффективности достигается разработкой новых информационных ресурсов и инструментальных средств,

обеспечивающих высокий уровень обоснованности решений задачи структурной оптимизации. К разработанным инструментальным средствам относятся комбинаторные методы синтеза подсистем. В настоящей статье приводятся характеристики некоторых инструментальных средств указанного вида, сравнительный анализ которых позволяет пользователю реализовать выбор наиболее подходящего для совершенствования функционирования подсистемы автоматизированного анализа конструкции СТОС и отработки ее на технологичность.

Проектирование технологического процесса сборки (ТПС) основывается на формировании технологической схемы сборки (ТСС). ТСС является наглядным средством для отображения последовательности ввода в сборочный процесс деталей и сборочных единиц СТОС. Эта последовательность определяется отношениями предшествования на основе конструктивно-технологических требований доступа и базирования.

При проектировании СТОС рассматривается как система, сборочные единицы — как подсистемы, а детали — как элементы системы. Таким образом, каждой ТСС соответствует вариант структуры рассматриваемого СТОС, под которым понимается такое распределение его структурных элементов по уровням иерархии, которое удовлетворяет условиям:

- на нижнем (нулевом) уровне располагаются только элементы СТОС;
- на первом уровне располагаются только подсистемы с одноступенчатым расчленением, т.е. образованные только из элементов СТОС;
- на втором и последующих более высоких уровнях располагаются подсистемы с многоступенчатым расчленением, которые могут включать в свой состав структурные элементы любых ниже расположенных уровней и при этом обязательно, по крайней мере, одну подсистему из непосредственно предшествующего уровня;
- на самом верхнем уровне иерархии располагается СТОС.

Определение структуры СТОС относится к классу задач разбиения системы на подсистемы. Для любого реального СТОС существует множество вариантов структур. В связи с этим возникает две проблемы: формирование всех возможных вариантов структур и выбор среди них наиболее предпочтительной с точки зрения определенного критерия.

Задача формирования всех возможных вариантов структур относится к классу комбинаторных задач порождения с ограничениями. Для ее решения требуется сформировать генеральное множество подсистем. Задача нахождения

генерального множества подсистем также может быть отнесена к классу задач порождения с ограничениями. В литературе для задач этого класса в качестве ограничений рассматривается мощность порождаемых элементов. Для данной задачи это означает полный перебор $\sum_{m=2, n-1}^n C_n^m = 2^n - n - 2$ вариантов, где n — количество элементов в СТОС. Для каждого из этих вариантов необходимо провести анализ с точки зрения соответствия правилам образования подсистем, в соответствии с которыми [2]:

1. множество, состоящее из некоторого подмножества элементов СТОС, является подсистемой, если это множество может рассматриваться как СТОС, к которому предъявляются соответствующие требования, а именно:

- все элементы СТОС ограничены в перемещениях по всем координатным направлениям $\pm \xi \in \{x, y, z\}$ — свойство целостности.
- каждый элемент СТОС ориентирован относительно других элементов этой СТОС — свойство ориентированности.
- все элементы СТОС связаны между собой — свойство связности.
- конструкция любой СТОС собираема — свойство собираемости.

2. в состав подсистемы могут входить только те элементы, которые не будут ограничивать доступ к месту установки другим элементам, не вошедшим в состав рассматриваемой подсистемы.

С вычислительной точки зрения такой подход не приемлем в силу экспоненциального характера зависимости между размерностью задачи — количеством элементов в СТОС — и количеством порождаемых вариантов. Следует отметить, что значительная часть порождаемых вариантов представляет собой два и более наборов несвязанных между собой элементов, т.е. не обладает свойством целостности и подсистему образовать в принципе не может. Поскольку большая часть вычислительных затрат приходится не на сам процесс порождения, а на проверку соответствия сформированных сочетаний правилам образования подсистем, то необходимо преобразовать процесс порождения таким образом, чтобы порождаемые сочетания обладали свойством целостности.

Таким образом, необходимо исключить непродуктивный полный перебор за счет учета таких ограничений при порождении, которые гарантировали бы целостность порождаемых вариантов. Для определения таких ограничений необходимо рассмотреть модель СТОС, основанную на связях [3].

СТОС описывается кортежем из трех множеств:

$$\langle D = \{d_i | i \in \overline{1, n}\}, C = \{C_{\pm\xi} | \xi \in x, y, z\}, H = \{H_{\pm\xi} | \xi \in x, y, z\}\rangle$$

$$\forall \xi \in x, y, z \quad C_{\pm\xi}, H_{\pm\xi} \subset D \times D$$

где D — множество элементов СТОС, C — множество матриц связей типа фиксированное сопряжение, H — множество матриц связей типа нефиксированное сопряжение. Понятия связей типа фиксированное и нефиксированное сопряжение определяются следующим образом:

1. Между элементами d_i и d_j в координатном направлении $\pm \xi \in \{x, y, z\}$ существует прямая связь типа фиксированное сопряжение в тех случаях, когда:

- воображаемое перемещение элемента d_i в направлении $\pm \xi$ непосредственно ограничивается некоторой поверхностью элемента d_j ;
- элемент d_i имеет ортогональную проекцию на элемент d_j в направлении $\pm \xi$.

2. Между элементами d_i и d_j в координатном направлении $\pm \xi \in \{x, y, z\}$ существует прямая связь типа нефиксированное сопряжение, если воображаемое перемещение элемента d_i в направлении $\pm \xi$ возможно без перемещения элемента d_j за счёт предусмотренных конструктором некоторых деформаций детали d_i , специальных усилий или движений.

СТОС описывается 12 матрицами (по 6 каждого типа) в соответствии с количеством координатных направлений. Матрицы заполняются на основании конструкторских чертежей и спецификаций вручную или частично с использованием пакетов проектирования (например, AutoCAD).

Т.к. в процессе порождения необходимо учитывать описанные выше связи, то классические методы порождения становятся не приемлемыми, и требуется разработка специальных методов, более эффективных, чем полный перебор.

Авторами в ряде предшествующих работ [4–6] описаны различные стороны решения проблемы порождения с ограничениями в виде связей между элементами. Общая концепция разработанных методов сводится к следующему. Для получения множества перспективных сочетаний — сочетаний элементов, которые обладают свойством целостности, и которые необходимо проверять на соответствие правилам образования подсистем — производится форми-

рование деревьев порождения. При машинной реализации, как было показано в [6], удобно использовать трехмерные бинарные матрицы порождения.

При работе с деревьями порождения используют обобщенные по координатным направлениям матрицы связей типа фиксированное и нефиксированное сопряжение. При этом для фиксированного сопряжения учитываются только связи, обусловленные непосредственным контактом двух элементов, а обусловленные проекциями — нет.

Для примера будет рассматриваться условный СТОС (рис. 1).

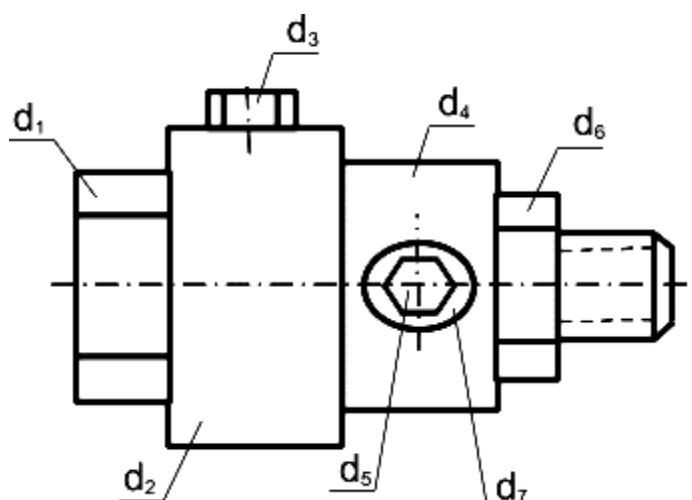


Рисунок 1 — Условный СТОС

Описание приведенного СТОС может быть представлено в виде обобщенных по координатным направлениям матриц связей типа фиксированное и нефиксированное сопряжение (табл. 1, 2).

Таблица 1

1	2	3	4	5	6	7
2,4, 6	1,3, 4	2	1,2, 5,6, 7	4, 7	1, 4	4, 5

Таблица 2

1	2	3	4	5	6	7
6	3	2	5	4	1	∅

Корни деревьев порождения формируются на основании анализа обобщенной матрицы связей типа нефиксированное сопряжение. При этом связи элемента d_i могут рассматриваться как обобщенно, т.е. все множество $H(d_i)$ как единое целое, так и попарно, как независимые бинарные отношения, т.е. все $d_j \in H(d_i)$ по отдельности.

В первом случае число корней определяется количеством различных подмножеств вида $\{d_i, H(d_i)\}$, где $H(d_i) \neq \emptyset$, т.е. при наличии у элемента связей типа нефиксированное сопряжение. Число корней не может превосходить количества элементов в СТОС $K \leq n$, поскольку каждой строке обобщенной матрицы порождения соответствует не более одного корня; и количество строк равно количеству элементов. Практическое применение метода порождения показывает, что для реальных СТОС количество корней обычно меньше приведенной оценки.

Как было показано в [5] корни, содержащие базовый элемент СТОС, могут быть отброшены. В таком случае оценка максимального числа корней будет $K_{\max} = n - h - 1$, где h — количество связей типа нефиксированное сопряжение у базового элемента СТОС.

Во втором случае число корней определяется по формуле $\frac{\sum_{i=1, n} h_i}{2} - h_j$, где h_i — количество связей типа нефиксированное сопряжение у элемента с индексом i , j — индекс базового элемента СТОС. Предельная оценка количества корней, получаемая из гипотетического предположения, что каждый элемент имеет связь типа нефиксированное сопряжение со всеми остальными, дает значение $(n-2) * (n-1) / 2$, что является сильно завышенным, поскольку количество связей типа нефиксированное сопряжение в реальных СТОС незначительно.

Целью построения дерева порождения является нахождение всех возможных сочетаний элементов, допустимых исходя из связей между ними. Построение начинается с корня — корневой вершины. Любая вершина в дереве порождения описывается двумя множествами: S_1 — содержит сочетание элементов, соответствующее этой вершине, и S_2 — содержит множество элементов, отражающее путь из корневой вершины. Под путем из корневой понимают индексы тех элементов, связи которых использовались при расширении сочетания S_1 корня, для получения сочетания S_1 данной вершины. Для корневой вершины $S_2 = \emptyset$.

При построении деревьев порождения возможны два подхода рассмотрения связей элемента, аналогичные использовавшимся при определении корней: учет сразу всех связей элемента $C(d_i)$ или их рассмотрение как независимых бинарных отношений.

Первый случай описан в работе [4]. Далее он будет обозначаться как базовый. Порождение из корневой вершины вершин следующего уровня в общих чертах состоит из таких этапов:

- нахождение разности множеств $R = S_1 \setminus S_2$ для определения того, связи каких деталей уже использовались для расширения S_1 . Для корневой вершины $R = S_1$.
- построение для каждого элемента $d_i \in R$ ребра, обозначаемого индексом этого элемента.
- формирование на другом конце каждого ребра вершины, которая описывается множествами:

$$S_1' = S_1 \cup C(d_i) \quad S_2' = S_2 \cup \{d_i\}$$

После порождения всех вершин уровня проводится их анализ. Определяются вершины, описываемые идентичными множествами S_1 и S_2 . Все они, за исключением одной, помечаются как «дублирующие» и из процесса дальнейшего порождения исключаются. Кроме того, определяются вершины, множество S_1 которых содержит индексы всех элементов СТОС. Они помечаются как «система» и далее в процессе порождения не участвуют. Для остальных вершин этапы повторяются. Процесс продолжается до тех пор, пока все концевые вершины дерева не будут обозначены как «система» или «дублирующие».

В соответствии с таблицей 2 рассматриваемый условный СТОС имеет корни $\{2, 3\}$, $\{4, 5\}$, $\{1, 6\}$. Построение дерева порождения для корня $\{2, 3\}$ на рис. 2.

Базовый метод в общих чертах описывает способ формирования сочетаний элементов, обладающих свойством целостности, без использования полного перебора. Однако, как показывает практика, у него имеются недостатки, приводящие в процесс порождения некоторую избыточность.

В работе [5] проводится совершенствование базового метода, заключающееся в следующем:

- корни, содержащие базовый элемент СТОС, отбрасываются, как не несущие значимой информации.
- в процессе порождения не формируются вершины, множества S_1 которых содержат сочетания с базовым элементом.
- для элемента не производится построение ребра из вершины, если это не приведет к расширению множества S_1 .
- поиск дублирований проводится на ранее построенных деревьях.

– процесс порождения продолжается до тех пор, пока концевые вершины могут быть расширены.

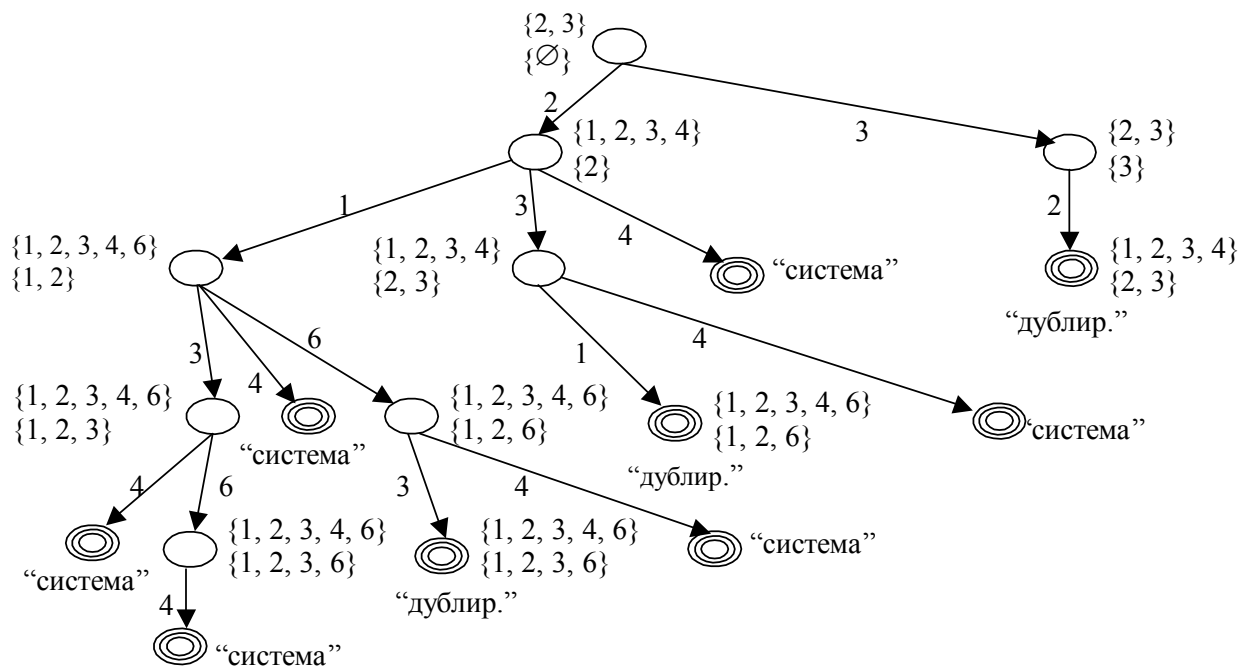


Рисунок 2 — Дерево порождения для корня {2, 3} (базовый метод)

Применение усовершенствований к базовому методу позволяют сократить количество порождаемых вершин, сочетания S_1 которых в результате последующего анализа будут отброшены как дублирующие или не несущие значимой информации. В результате повышается эффективность порождения. Так приведенное на рис. 2 дерево порождения в случае применения первого модифицированного метода будет состоять только из корневой вершины.

Практическая эксплуатация первого модифицированного метода показала его работоспособность и эффективность. Однако было обнаружено, что для некоторых СТЭС, обычно содержащих большое количество деталей, результирующее множество подсистем может быть не полным по сравнению с множеством, сформированным с использованием полного перебора. Причиной этого является учет связей элемента в процессе порождения как единого целого, а не как пар независимых бинарных отношений.

Полноту формирования множества подсистем обеспечивает второй модифицированный метод порождения. В нем сохранена общая концепция процесса порождения, но реализация процесса имеет отличия:

– в качестве корней берутся пары элементов, между которыми есть связь типа нефиксированное сопряжение.

– при порождении каждому элементу, используемому для расширения, ставится в соответствие не фиксировано одно ребро, а некоторое количество ребер в зависимости от числа связей этого элемента типа фиксированное сопряжение, т.е. каждая связь элемента с другими сначала используется по отдельности, а затем все их возможные комбинации.

– дублирование определяется по множеству S_1 вершины: дублирующиеся вершины заменяются одной, описываемой множествами S_1 и $S_2^1 \cup S_2^2 \cup \dots S_2^k$.

Второй модифицированный метод содержит в себе первый как частный случай. При его использовании происходит увеличение количества деревьев и вершин в них. Но за счет этого достигается полнота формируемого множества подсистем как в методе полного перебора при более высокой эффективности порождения.

Сравнение основных характеристик методов приведено в таблице 3.

Таблица 3 — Сравнение основных характеристик методов

Метод	Полный перебор	Базовый	Модифициро- ванный 1	Модифициро- ванный 2
Характеристика				
Полнота порождаемого множества	Да (эталон)	Зависит от СТОС	Зависит от СТОС	Да
Ограничения при порождении	Размер сочетаний	Целостность сочетаний	Целостность сочетаний	Целостность сочетаний
Избыточность порождения	Максимальная	Имеется	Минимальная	Имеется
Число порождаемых вариантов	$2^n - n - 2$ (максимальная)	Зависит от СТОС	Зависит от СТОС	Зависит от СТОС
Зависимость времени работы от размерности задачи	Экспоненциальная	Полиномиальная	Полиномиальная	Полиномиальная

Выводы.

На основании проведенного анализа могут быть сделаны следующие выводы:

– конкретные характеристики, описывающие применения специальных методов сильно зависят от анализируемого СТОС.

– первый модифицированный метод позволяет оперативно находить достаточно полное приближение генерального множества подсистем, а в случае простых СТОС и само множество; его применение оправдано, когда требуется оперативность в ущерб полноте определяемого решения или когда рассматривается СТОС с относительно малым числом элементов.

– второй модифицированный метод позволяет повысить обоснованность принимаемого решения и гарантирует полноту решения за счет расширения множества, но это достигается ценою уменьшения оперативности, что может быть не всегда приемлемо.

Литература

1. Кабанов А.Г., Давыдов А.Н., Барабанов В.В. Основные направления и результаты работ по применению CALS-технологии для повышения качества и конкурентно способности военной продукции. //Информационные технологии в проектировании и производстве. — №2. — 2000. — С. 3–6.
2. Челищев Б.Е. и др. Автоматизация проектирования технологии в машиностроении /Под ред. акад. Бруевича Н.Г. — М.: Машиностроение, 1987. — 264с.
3. Гамаюн И.П. Эвристический алгоритм сборки-разборки сложной машиностроительной конструкции. //Механика и машиностроение /АН Высшей школы Украины. Отделение механики и машиностроения. — 1998. — № 1. — С. 146–149.
4. Гамаюн И.П. Комбинаторный алгоритм порождения множества подсистем системного объекта сборки. //Управл. с-мы и машины. 2002. — №2. — С. 12–19.
5. Ямшанов И.С. Алгоритм формирования генерального множества подсистем системного технического объекта сборки // Вестник НТУ "ХПИ". — Выпуск 9. — Том 6. — 2002.
6. Ямшанов И.С. Алгоритм порождения подсистем технического объекта на основе бинарных матриц. Радіоелектроніка та інформатика. 2002. — № 04. — С. 107–112.

Сдано в редакцию: .03.2003г.

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Зори А.А.