

УДК 621.001.2

О. В. Малина, доктор технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

О. Ф. Валеев, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Э. Г. Зарифуллина, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К МИНИМИЗАЦИИ РЕСУРСОВ ЭВМ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ

Эффективным методом структурного синтеза является комбинаторный перебор. Ограничения использования данного метода связаны с проблемой проклятия размерности. Проводится анализ существующих подходов к построению модели процесса структурного синтеза с точки зрения их способности минимизировать вычислительную нагрузку и необходимый объем памяти при выполнении структурного синтеза.

Ключевые слова: оптимизация комбинаторного перебора, запрещенные фигуры, системы автоматизированного проектирования.

Одной из основных задач, которую необходимо решить для выполнения структурного синтеза объектов некоторого класса методом полного комбинаторного перебора, является формализация структуры этого класса объектов. Подходы к формализации структуры класса объектов, построению классификатора и инвариантной по отношению к предметной области информационной базы были рассмотрены в работах [1, 2].

Другой важной задачей является решение проблемы проклятия размерности, которая, вызывая информационный взрыв, препятствует выполнению структурного синтеза объектов средней и высокой сложности методом полного комбинаторного перебора на современных ЭВМ. Данная проблема может быть решена оптимизацией (минимизацией) ресурсов ЭВМ, требуемых при реализации процесса структурного синтеза.

Рассмотрим преимущества и недостатки некоторых подходов к оптимизации ресурсов ЭВМ, представленных в работах О. В. Малиной и Н. А. Уржумова.

В работах [3, 4] предлагается рассматривать процесс структурного синтеза как процесс движения по графу-дереву, представляющему обобщенную структуру объекта, снизу вверх, определив тем самым порядок следования множителей при декартовом перемножении признаков. Таким образом, последовательно синтезируются структурообразующие модули, начиная с перемножения исходов признаков-вершин последнего уровня графа-дерева искомой вершины. Очередное промежуточное множество при этом подходе получается путем вычисления декартова произведения вариантов текущего промежуточного множества на исходы следующего признака-вершины.

Анализ промежуточного множества, а значит, и удаление запрещенных вариантов, будет происходить всякий раз по завершению структурного синтеза очередной функциональной вершины, при этом анализируемые варианты проверяются не на наличие в них запрещенных фигур (ЗФ), относящихся к полному множеству запрещенных фигур рассматриваемой функциональной вершины, а лишь на наличие в них запрещенных фигур, относящихся к ее собственному множеству запрещенных фигур в силу того, что проверка на запрещенные фигуры, относящиеся к дочернему множеству, а значит, к одному из собственных множеств функциональных вершин, составляющих данную, проводилась ранее при синтезе этих вершин.

Кроме того в указанных работах показано, что более оптимально классифицировать ЗФ по уровням, в результате чего проверка всего множества вариантов исполнений на каждую запрещенную фигуру происходит один раз с той лишь разницей, что наиболее оптимально происходит сужение множества вариантов исполнений.

В качестве недостатков такого подхода можно отметить невосприимчивость оптимизации процесса синтеза к различным наборам входных данных. Также предложенный метод не предлагает существенно сокращения ресурсов ЭВМ, требуемых для выполнения синтеза, поскольку по-прежнему применяется последовательное перемножение множества промежуточных вариантов на исходы следующего признака, что каждый раз увеличивает объемы требуемой памяти для хранения промежуточных вариантов в разы.

В качестве недостатков такого подхода можно отметить невосприимчивость оптимизации процесса синтеза к различным наборам входных данных. Также предложенный метод не предлагает существенно сокращения ресурсов ЭВМ, требуемых для выполнения синтеза, поскольку по-прежнему применяется последовательное перемножение множества промежуточных вариантов на исходы следующего признака, что каждый раз увеличивает объемы требуемой памяти для хранения промежуточных вариантов в разы.

В работах [5, 6] предложен следующий математический аппарат синтеза: новое множество промежуточных вариантов получается вычислением декартова произведения текущих промежуточных вариантов на все исходы, участвующие в синтезе. Матрица перемножения заполняется только под главной диагональю, так как нет смысла перемножать промежуточные варианты на исходы, стоящие по порядку ранее последнего исхода промежуточного варианта. В качестве недостатка данного вышеуказанного подхода можно отметить накопление промежуточных вариантов, мощность которых в процессе синтеза заведомо не достигнет необходимой. Таким образом, преимущество в объеме памяти, необходимой для хранения одного промежуточного

варианта при использовании двоичной логики, нивелируется увеличением количества хранимых промежуточных вариантов. Также увеличивается вычислительная нагрузка ввиду необходимости анализа дополнительных промежуточных вариантов на запрещенные фигуры.

Кроме этого в указанных работах предлагаются следующие основные направления оптимизации процесса синтеза.

1. Предупреждение порождения в процессе синтеза вариантов, которые впоследствии окажутся запрещенными.

2. Сокращение анализируемого множества промежуточных вариантов структур, в результате чего будет исключен анализ вариантов, не содержащих запрещенных фигур, на наличие запрещенных фигур в их составе.

3. Минимизация влияния запрещенных фигур на процесс синтеза путем сокращения времени от момента зарождения запрещенной фигуры до момента ее возникновения.

Предупреждение порождения в процессе синтеза вариантов, которые впоследствии окажутся запрещенными, очевидно, уменьшает затраты памяти на хранение множества промежуточных вариантов, а также несколько снижает вычислительную нагрузку в силу отсутствия необходимости генерации указанных вариантов и последующей их проверки на запрещенные фигуры. Оптимизацию такого рода можно признать успешной, поскольку дополнительные затраты оперативной памяти при построении матрицы синтеза несущественны по сравнению с объемом сэкономленной памяти.

Менее существенную экономию ресурсов ЭВМ обеспечивает следующий метод оптимизации – сокращение анализируемого множества промежуточных вариантов за счет метки, значение которой показывает присутствие или отсутствие в варианте исхода запрещенной фигуры. Такой подход снижает вычислительную нагрузку при построении матрицы синтеза, поскольку явно выделены варианты, не нуждающиеся в проверке на запрещенные фигуры при генерации новых вариантов. Однако в то же время необходимы дополнительные вычислительные операции для установки соответствующих меток.

Наиболее значимым с точки зрения оптимизации ресурсов ЭВМ направлением оптимизации является, на наш взгляд, минимизация влияния запрещенных фигур на процесс синтеза путем сокращения времени от момента зарождения запрещенной фигуры до момента ее возникновения. Согласно этому направлению предложено упорядочить исходы для перемножения при синтезе, используя направленность функциональных 3Ф (ФЗФ) – в каждой ФЗФ, в отличие от эмпирической 3Ф (ЭЗФ), можно однозначно выделить признаки-аргументы и признак-результат, и, следовательно, ФЗФ может быть представлена в виде направленного графа. Тогда на основе имеющегося множества ФЗФ можно построить объединенный направленный граф. Для каждой вершины признака рассчитывается длина пути (по количеству

дуг) до вершины – конечного результата (т. е. вершины, не входящей в исходные данные какого-либо расчета). Исходы признаков предлагается упорядочить по убыванию максимального расстояния до вершины-результата от вершины, соответствующей признаку. Порядок исходов признаков, не входящих в ФЗФ, предлагается установить произвольным. Таким образом, упорядочение исходов зависит только от набора ФЗФ.

ФЗФ классифицируются по признаку-результату. ЭЗФ классифицируются по исходу-результату, который выбирается наиболее дальним от начала синтеза (согласно упорядочению исходов по ФЗФ). Таким образом, классификация выполняется единожды для каждого набора 3Ф.

Недостатком вышеуказанного подхода является его невосприимчивость к исходным данным синтеза. Кроме того, его применение не вполне последовательно, поскольку с точки зрения сокращения времени от момента зарождения ФЗФ до момента ее возникновения лучших результатов можно было бы достичь при упорядочении исходов перемножаемых признаков путем рекурсивного обхода графа ФЗФ. При данном же подходе – упорядочению признаков по расстоянию от вершин-результатов – после зарождения одной ФЗФ синтез может перейти к исходу, входящему в другую ФЗФ, что неоправданно увеличивает время до возникновения первой ФЗФ.

Таким образом, наиболее перспективно в дальнейшем развитии методов оптимизации использовать следующие приемы и направления:

- предупреждение генерации вариантов, которые впоследствии окажутся запрещенными;
- упорядочение признаков с учетом множества ФЗФ для сокращения времени от момента зарождения 3Ф до момента ее возникновения.

Библиографические ссылки

1. Малина О. В., Уржумов Н. А. Математическое обеспечение оптимизации процесса структурного синтеза объектов средней степени сложности // Современные технологии : сб. науч. тр. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006. – С. 32–45.
2. Подходы к организации экспертного опроса подсистемы формирования классификатора системы структурного синтеза конечных объектов, построенных на дискретных структурах / О. В. Малина [и др.] // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 1(53). – С. 126–129.
3. Малина О. В. Разработка математического и программного обеспечения автоматизированного конструирования изделий машиностроения (на примере спироидного редуктора) : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1995. – 197 с.
4. Малина О. В. Теория и практика автоматизации структурного синтеза объектов и процессов с использованием методов характеризационного анализа : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2002. – 392 с.
5. Малина О. В., Уржумов Н. А. Математическое обеспечение оптимизации процесса структурного синтеза объектов средней степени сложности // Современные технологии : сб. науч. тр. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006. – С. 32–45.
6. Малина О. В., Уржумов Н. А. Концептуальный подход к построению систем структурного синтеза // Информационная математика. – 2007. – № 1(6). – С. 184–187.

O. V. Malina, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

O. F. Valeev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. G. Zarifullina, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Analysis of Approaches to Minimizing Computer Resources within the Computer-Aided Structural Synthesis of Medium Complexity Mechanical Engineering Products

Combinatorial search is the effective method of structural synthesis. Restrictions of applying this method are related to dimensionality curse. The paper presents the analysis of existing approaches to constructing the model of the structural synthesis process in terms of their capability to minimize the computational load and consumed memory when performing the structural synthesis.

Key words: optimization of combinatorial search, forbidden figures, computer-aided design systems.

УДК 621.001.2

О. В. Малина, доктор технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

О. Ф. Валеев, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ОБЪЕКТОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА ДИСКРЕТНЫХ СТРУКТУРАХ, И ОСОБЕННОСТИ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Процесс конструирования изделия машиностроения фактически является процессом структурного синтеза. В отсутствие алгоритмов предметной области в качестве математического аппарата синтеза может быть использован комбинаторный поиск. Предлагаются подходы к построению модели процесса синтеза, позволяющие минимизировать вычислительную нагрузку и необходимую память при выполнении структурного синтеза, а также рассматриваются некоторые особенности ее программной реализации.

Ключевые слова: модель процесса синтеза, классификация запрещенных фигур, комбинаторный поиск.

Решение задачи компьютерного структурного синтеза позволит автоматизировать этап конструирования при разработке сложных объектов. Структурный синтез может быть осуществлен методом комбинаторного перебора. Необходимым условием решения задачи синтеза методами комбинаторного перебора является наличие формализованного описания структуры объекта. Доказано [1], что наиболее полное множество модулей объекта для выполнения структурного синтеза может быть получено путем декомпозиции объекта сверху-вниз на структурообразующие модули, и затем их характеристики снизу-вверх. Модулями объекта в этом случае будут являться характеристики структурообразующих модулей (исходы признаков рассматриваемого объекта).

Выполнению компьютерного синтеза объектов средней сложности методом комбинаторного перебора на современных ЭВМ препятствует эффект информационного взрыва. Очевидно, что для минимизации влияния этого эффекта необходимо:

– минимизировать количество элементарных операций при проверке на запрещенные фигуры (ЗФ) промежуточных вариантов, генерируемых в процессе синтеза

– минимизировать количество генерируемых промежуточных вариантов, что снизит как объем памяти, необходимой для их хранения, так и вычислительную нагрузку при их генерации.

В работах [2, 3, 4] предложено выполнять процесс синтеза путем последовательного перемножения множества промежуточных вариантов на исходы

признаков. В этом случае упорядочение признаков для перемножения в процессе является эффективным средством решения вышеуказанных задач.

Наиболее важным фактором, влияющим на порядок признаков при генерации вариантов в процессе синтеза, является множество функциональных запрещенных фигур (ФЗФ), поскольку они формируются в процессе синтеза в результате расчетов. Расчет является направленной последовательностью действий, поэтому логично предположить, что признаки – аргументы расчета должны участвовать в перемножении ранее признака-результата.

В ходе исследования показано, что для каждого расчета имеет смысл построить семейство функций, которое определено на множестве признаков и в котором каждый признак является результатом какой-либо функции от других признаков. При таком подходе для анализа промежуточных вариантов на запрещенные фигуры в процессе синтеза для минимизации вычислительной нагрузки из каждого семейства функций выбирается расчет с наименьшей комплексной оценкой вычислительной сложности, определенной как произведение вычислительной сложности расчета (количества элементарных математических операций) и количества наборов аргументов, для которых будет выполнен расчет. Выбранный расчет применяется для анализа на ФЗФ, образуемые семейством функций при генерации множества промежуточных вариантов, состоящих только из исходов признаков, на множестве которых определено данное семейство функций.