

УДК 004.942

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e627103618.52371577

А.С. Троценко, М.И. Чижев
(г. Воронеж, Воронежский государственный технический университет)
А.А. Успехов (ООО «Инобитек»)

ПОДГОТОВКА СЕТКИ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ФОРМЫ ТЕЛ В МЕТОДЕ ВНЕШНИХ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫХ АППРОКСИМАЦИЙ

Представлен обзор способов автоматизированного разбиения 3D-модели на макроэлементы для МКЭ. Рассмотрены особенности применения того или иного способа в зависимости от формы исходной 3D-модели. Представлены качественные и количественные показатели результатов разбиения.

In this paper we propose the approaches to automatic splitting of 3D models into macroelements for FEA. Using of any given approach depends on a 3D model form. The results show qualitative and quantitative indicators of the splitting algorithm.

Ключевые слова: МКЭ, МКЭ, макроэлемент, препроцессор, инженерный анализ.

Keywords: FEA, FEA, macroelement, preprocessor, strain-stress analysis.

В настоящее время проектирование изделий не обходится без применения систем инженерного анализа. Компьютерное моделирование обеспечивает сокращение стоимости и времени проектирования. Метод конечных элементов (МКЭ) считается одним из самых распространенных методов компьютерного моделирования в данной области. Однако проблема большой размерности данных заставляет задуматься об альтернативных методах. Метод внешних конечноэлементных аппроксимаций (МВКА) [1] можно отнести к одному из таких. Ключевой особенностью метода является использование несогласованных конечных элементов – макроэлементов, имеющих произвольную форму. Метод был реализован в виде модуля Procision для САПР Pro/Engineer [2, 3]. Со всеми своими преимуществами метод обладает серьезным недостатком – отсутствие автоматизированного генератора ансамбля макроэлементов. Модуль Procision для разбиения исходной 3D-модели на макроэлементы использует средства САПР. Согласно заявлениям авторов Procision, разбиение модели занимает 5-30 минут в зависимости от опыта пользователя.

В работе [4] нами был представлен метод автоматизированного разбиения исходной модели на макроэлементы. Метод построен по принципу

«бисектора» - итерационного рекурсивного разбиения модели пополам до достижения требуемой точности (густоты разбиения). На рис. 1 показана общая схема алгоритма разбиения. Для модели S создается сектор T – инструмент расщепления модели пополам. После разбиения модели сектором каждая полученная модель S_i из множества разбиения S_n проходит проверку на условие сходимости. Если S_i удовлетворяет условию сходимости, то она будет добавлена в ансамбль сетки макроэлементов A как готовый макроэлемент. В противном случае модель будет отправлена на доразбиение рекурсивным вызовом алгоритма. Условием сходимости является соответствие коэффициента близости k формы макроэлемента к форме описывающего его минимального параллелепипеда некоторому пороговому значению e ($k \geq e$). Таким образом, на выходе алгоритма ансамбль A будет содержать множество готовых к дальнейшей обработке макроэлементов.



Рис. 1. Общая схема алгоритма разбиения

Алгоритм может выполняться по одному из двух способов: разбиение в декартовых координатах и разбиение в полярных координатах. Каждый из способов реализует один и тот же алгоритм (рис. 1). Отличие заключается только в принципах создания и использования сектора.

Способ разбиения в декартовых координатах в качестве сектора использует плоскость [4]. Плоскость сектора T (рис. 2) устанавливается перпендикулярно наибольшей стороне l минимального описанного параллелепипеда B модели S , разделяя ее пополам.

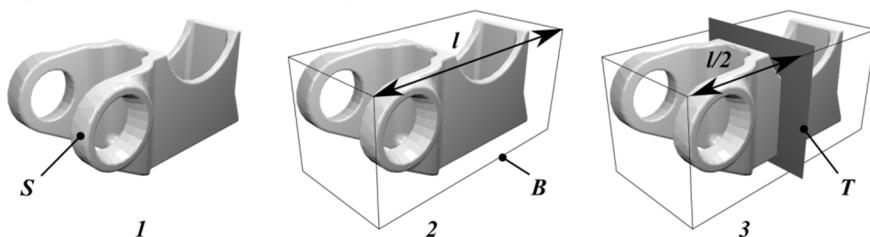


Рис. 2. Схема определения сектора в разбиении в декартовых координатах

Способ разбиения в полярных координатах [5] оперирует тремя типами секторов (рис. 3). Сектор T_1 представляет собой цилиндрическую поверхность, ориентированную по оси O модели. Радиус цилиндрической поверхности устанавливается как половина радиуса r описанного цилиндра C . Сектор T_2 – плоскость, ориентированная перпендикулярно оси O , которая делит высоту h цилиндра C пополам. Сектор T_3 – плоскость, лежащая на оси O и устанавливающаяся на середине угла α цилиндра C . Выбор типа сектора на конкретной итерации зависит от параметров описанного цилиндра $C(r, h, \alpha)$ и определяется наибольшей из трех величин: r , h или длины дуги α .

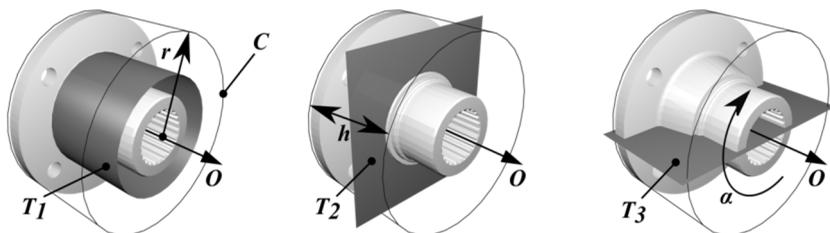


Рис. 3. Схема определения сектора в разбиении в полярных координатах

Для повышения качества результата разбиения с точки зрения распределения макроэлементов по объему модели в представленные способы был внедрен учет объектов привязки [6]. Объектом привязки называется некоторый геометрический элемент модели: поверхность, ось и т.п. Непосредственно перед запуском основной процедуры разбиения выполняется построение списка объектов привязки исходной модели S . На каждой итерации разбиения выбирается наиболее подходящий макроэлементу объект привязки, на который ориентируется сектор.

Следующим этапом повышения качества разбиения стал учет геометрической симметрии [7]. Авторами был реализован алгоритм автоматического распознавания зеркальной и вращательной симметрий 3D-моделей. Вместе с повышением качественных характеристик разбиения симметрия позволяет обрабатывать только одну симметричную часть детали – на остальные результат копируется. Реализация учета симметрии выполнена на внешнем уровне основного алгоритма разбиения (рис. 4). На начальном этапе на модели S определяется симметричная часть S_{sym} , которая подается на вход основному алгоритму. После разбиения полученный ансамбль макроэлементов A_{sym} копируется в соответствии с параметрами симметрии в итоговый ансамбль A .

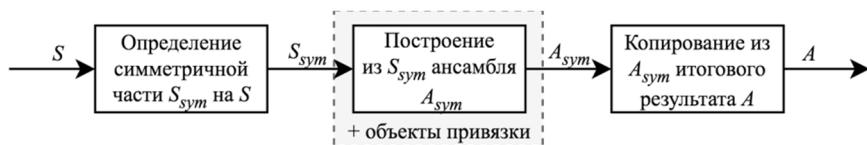


Рис. 4. Схема разбиения с учетом симметрии

На рис. 5 показаны разбиения одной и той же 3D-модели способами в декартовых и полярных координатах в четырех комбинациях:

1. Разбиение стандартным алгоритмом данного способа.
2. Разбиение с учетом объектов привязки.
3. Разбиение с учетом симметрии 3D-модели.
4. Разбиение с учетом объектов привязки и симметрии.

Точность разбиения для каждой из комбинаций одинакова и равна $e = 0,4$. Чтобы показать особенности каждого способа, была выбрана модель детали с формой вращения, обладающая симметрией. Результат показывает, что применение разбиения в полярных координатах для такого рода детали является наиболее выгодным с точки зрения скорости генерации, качества распределения макроэлементов и их количества.

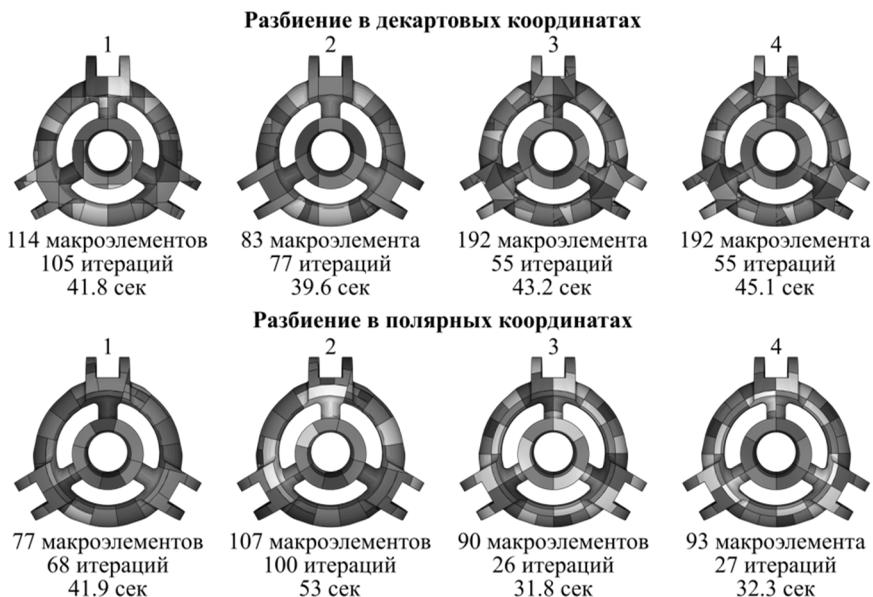


Рис. 5. Примеры разбиений 3D-модели разными способами

Анализ результатов разбиений на тестовом множестве 3D-моделей показывает, что разбиение с учетом симметрии и объектов привязки позволяет генерировать более равномерное распределение макроэлементов по объему модели. При этом время, затрачиваемое на генерацию, не всегда оказывается меньше стандартного из-за подготовительных этапов, заключающихся в распознавании симметрии и построении списка привязок.

Сравнивая полученную реализацию автоматизированного разбиения с реализацией Procision, можно отметить, что в среднем временные затраты сокращаются на порядок. Очевидно, что при большей густоте разбиения автоматизированный метод будет иметь большее преимущество по времени выполнения.

Список литературы

1. *Апанович, В.Н.* Метод внешних конечноэлементных аппроксимаций. / В.Н. Апанович. – Минск: Вышэйш.шк, 1991. – 171 с.

2. *Kurowski, P.* Say Good-bye To Defeaturing And Meshing / P. Kurowski // Machine Design. – 2000. – № 17. – С. 71 – 78.

3. *Dvorak, P.* Meshless analysis breaks with FEA traditions / P. Dvorak // Machine Design. – 1999. – № 0. – С. 34.

4. *Чижов, М.И.* Автоматизированное разбиение 3D моделей в методе внешних конечноэлементных аппроксимаций / М.И. Чижов, А.А. Успехов, А.С. Троценко // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы II Междунар. научно-практ. конф. / под общ. ред. В.А. Немтинова. – Тамбов, 2016. – Вып. 2. – Т. I. – С. 211-216.

5. *Mikhail Chizhov.* Splitting Features of Rotation Shapes in the External Finite-Element Approximations Method / Mikhail Chizhov, Andrei Uspehov, Alexander Trotsenko // Young Scientist's International Workshop on Trends in Information Processing / CEUR Workshop proceedings. Dombai, Russian Federation, 2017. – Volume 1837. – С. 38-44.

6. *Чижов, М.И.* Автоматизированное разбиение 3D моделей с использованием объектов привязки в методе внешних конечноэлементных аппроксимаций. / М.И. Чижов, А.А. Успехов, А.С. Троценко // Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве: труды Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж, 2017. – Т.1. – С. 174-178.

7. *Чижов, М.И.* Автоматизированное разбиение 3D моделей с учетом особенностей симметрии в методе внешних конечноэлементных аппроксимаций. / М.И. Чижов, А.А. Успехов, А.С. Троценко // Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научно-практической конференции (22-23 сентября 2016 года). – Курск, 2016, – С. 227-234.

Материал поступил в редколлегию 04.10.18.