

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ СЕТОК С МНОГОГРАННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ОСНОВЕ ДЕКАРТОВОГО АДАПТИВНОГО ШАБЛОНА В ПРЕПОСТПРОЦЕССОРЕ «ЛОГОС. ПРЕПОСТ»

Д. Н. Смолкина, М. В. Черенкова, О. Н. Борисенко

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

В настоящее время в математическом отделении ИТМФ ведется разработка ПреПостПроцессора ЛОГОС. ПРЕПОСТ – единой системы для задания начальных данных и генерации сеток для численного решения задач инженерного анализа, проведения визуальной предобработки сеточной модели, а также для предоставления графических интерфейсов для подготовки и выполнения инженерного анализа с использованием отечественных счетных кодов и постобработки результатов счета.

Отметим, что наиболее сложной и ресурсоемкой задачей, занимающей около 80 % времени при подготовке задачи к расчету, является генерация сеток. В рамках ПреПостПроцессора развивается метод автоматической генерации неструктурированных сеток с многогранными элементами, базирующимися на адаптивном декартовом шаблоне, CellClipper. Похожий подход к генерации конечно-объемной сетки реализован фирмой «Тесис», но разработанный фирмой генератор пакета «FlowVision» [1] не использует призматические слои вблизи поверхностей и проводит отсечение всеми поверхностными треугольниками, пересекающими ячейку, согласно методу, описанному в [2].

В первую очередь генератор CellClipper ориентирован на построение сеток для методики ЛОГОС (аэродинамика).

Основные этапы работы автоматического генератора CellClipper

Основные этапы работы автоматического генератора CellClipper:

- считывание триангуляционной сетки из файла;
- восстановление топологической структуры фасеточной модели;
- построение подсеточного слоя средствами библиотеки bfv (разработка фирмы Тесис);
- построение декартового адаптивного шаблона;
- проведение отсечения построенных шаблонных ячеек поверхностными треугольниками;
- улучшение качества построенной отсеченной сетки;
- построение призматического слоя;

- запись полученной сетки в файл (*.efr, *.cel, *.vrt, *.ngeom).

Каждый из перечисленных этапов описывается ниже.

Считывание триангуляционной сетки из файла

В качестве входной информации генератору шаблона подается 3D модель, представленная в виде фасетки, записанной в файлы *.cell и *.vrt или *.stl. Наличие подготовленных файлов с поверхностной сеткой на начальном этапе позволяет миновать этапы исправления и триангуляции геометрии. Поверхностная сетка должна формировать единый замкнутый объем, ориентация узлов поверхностных ячеек должна быть «однородна», не должно быть дублирующих элементов, наложений, перекрестов и т. д.

Восстановление топологической структуры фасеточной модели

Основным параметром для восстановления топологии является угол между плоскостями треугольников. Если величина этого параметра превышает заданную пользователем величину (по умолчанию 80 градусов), считается, что ребро между треугольниками является топологическим. Таким образом, на базе исходной поверхностной триангуляционной сетки восстанавливаются линии топологических ребер (последовательность сторон ячеек поверхностной сетки) и топологические вершины (точки стыковки топологических ребер). Пример сетки с восстановленной топологией приводится на рис. 1.



Рис. 1. Пример сетки с восстановленной топологией

Построение подсеточного слоя

В случае, когда необходимо создание пристеночного слоя ячеек, проводится построение офсетной подповерхности. Для этого используется соответствующий модуль библиотеки bfv, разработанной фирмой «Тесис».

В качестве начальных данных для работы модуля построения офсета используется величина смещения. Подсеточный слой строится равномерно для всех треугольников фасеточной модели. Пример построения подсеточного слоя приводится на рис. 2.

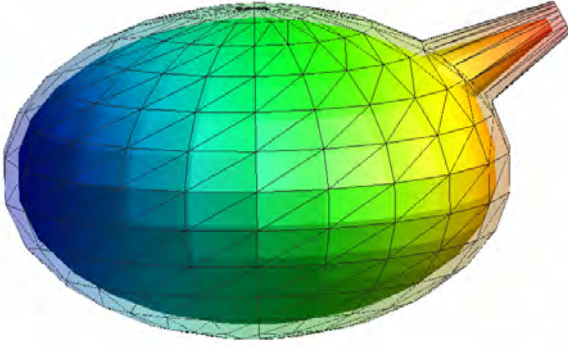


Рис. 2. Пример построения подсеточного слоя

Построение декартового адаптивного шаблона

Для построения адаптивного шаблона пользователю необходимо задать следующие параметры:

- число разбиений в каждом направлении;
- максимальная степень разбиения;
- минимальная степень разбиения;
- скорость роста образца;
- угол (α) для определения особенностей рельефа треугольников, по умолчанию совпадает с углом для определения топологии.

Дополнительным необязательным параметром является область (прямоугольный параллелепипед), в которой строится шаблон. В общем случае область совпадает с габаритными размерами фасеточной модели. Но для решения задачи внешнего обтекания объекта представляется удобным определять этот параметр отдельно.

Первым этапом является построение регулярной сетки. Далее проводится распределение треугольников по ячейкам регулярной сетки, определение особенностей рельефа в регулярных ячейках и построение первого уровня адаптивного разбиения.

Если среди треугольников, попавших в ячейку, найдутся хотя бы два, величина угла между которыми находится в диапазоне от $\pi - \alpha$ до $\pi + \alpha$, считаем, что эта ячейка имеет особенности рельефа, и помечаем ее соответствующим образом. Для таких ячеек адаптивное разбиение строится до максимального уровня, чтобы более точно описать рельеф фасеточной модели.

Ячейки, в которых присутствуют треугольники, называются смешанными. Если из центра ячейки смотреть в сторону фасеточной модели, то, если вектор направления взгляда составляет острый угол с вектором нормали к треугольнику фасеточной модели, ячейка – чистая, в противном случае – вакуумная.

Следующим этапом является построение адаптивного разбиения декартового шаблона. Алгоритм построения адаптивного разбиения различается в зависимости от того, имеет ли ячейка особенности рельефа или нет.

Более простой алгоритм используется для смешанных ячеек без особенностей. Разбиение проводится пошагово для каждой смешанной регулярной ячейки. На каждом шаге для смешанных адаптивных ячеек проводится разбиение на один уровень и определяется тип получившихся адаптивных подъячеек (с помощью алгоритма протыкания треугольника лучом). Разбиение проводится до тех пор, пока не достигнут «минимальный уровень разбиения», заданный пользователем.

Для ячеек, имеющих особенности рельефа, алгоритм усложняется тем, что на каждом этапе разбиения добавляется проверка адаптивных подъячеек на наличие в них особенностей рельефа. Критерием завершения разбиения в данном случае является следующее условие: если адаптивная подъячейка не имеет особенностей и уровень разбиения подъячейки достиг «минимального уровня разбиения», заданного пользователем, либо если ячейка имеет особенности и ее уровень разбиения достиг «максимального уровня», заданного пользователем.

На следующем этапе проводится додраблывание чистых и смешанных ячеек, находящихся внутри объема, с целью добиться между соседними ячейками разницы не более чем на один уровень разбиения. Это позволяет избежать сильного дисбаланса между объемами ячеек.

Степень додраблывания определяет параметр «скорость роста образца». Данный параметр определяет, сколько адаптивных ячеек заданного уровня разбиения должно быть в полосе. Например, если скорость роста образца равна 2, а максимальная степень разбиения – 3, то в полосе должно быть не менее четырех ячеек второго уровня разбиения и не менее двух ячеек первого уровня разбиения.

На рис. 3 представлен пример построения декартового адаптивного шаблона. Все вакуумные ячейки удаляются из результирующей сетки.

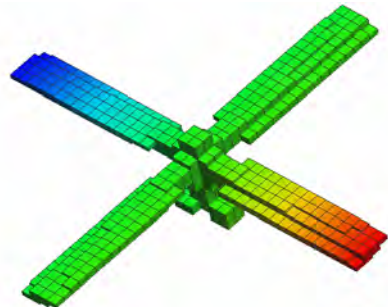


Рис. 3. Пример построения декартового адаптивного шаблона

Отсечение шаблонных ячеек треугольниками поверхностной сетки

Начальными данными для работы модуля отсе-
чения являются:

- фасеточная модель;
- декартовый адаптивный шаблон;
- характеристики смешанных ячеек (набор тре-
угольников, описание топологии).

Отсечение проводится отдельно для каждой
смешанной ячейки. Процесс отсечения можно разде-
лить на два этапа: построение внутренних и внешних
граней. Внешними будем называть грани, образова-
нные точками пересечения треугольников с ребрами
шаблонной ячейки с учетом топологических особен-
стей. Остальные грани ячейки являются внутренними.

Рассмотрим подробнее процесс построения
внешних граней:

1. Из каждого треугольника, попавшего в шаб-
лонную ячейку, формируется «фиктивная» внешняя
грань. Фиктивной внешней гранью называется грань,
сформированная из точек пересечения ребер тре-
угольника с гранями шаблонной ячейки либо из
вершин треугольника, которые находятся внутри
шаблонной ячейки.

2. Все треугольники, попавшие в шаблонную
ячейку, объединяются в несколько групп. Группы
формируются по следующему принципу: если уда-
лить из треугольников одной группы все ребра, ко-
торые не являются сегментами топологического ре-
бра, то все топологические сегменты будут распо-
жены на границе группы. Если в шаблонной ячейке
нет треугольников с топологическими особенностя-
ми, то будет сформирована одна группа.

3. Все фиктивные ребра, которые встречаются
в нескольких фиктивных гранях, удаляются из рас-
смотрения, при условии, что данное фиктивное ре-
бро не является сегментом топологического ребра.

4. Упорядочивание и огрубление фиктивных ре-
бер. Фиктивные ребра огрубляются так, чтобы кон-
цами ребер были либо точки пересечения с ребрами
шаблонной ячейки, либо топологические вершины,
либо точками входа-выхода топологического ребра.

5. На основе фиктивных ребер строится внеш-
няя грань с неопределенной ориентацией.

На основе накопленной информации при по-
строении внешних граней ячейки проводится по-
строение внутренних граней ячейки:

1. В процессе огрубления «фиктивных» ребер
каждой грани приписываются ребра, которые отно-
сятся именно к ней.

2. Все узлы исходной грани шаблонной регу-
лярной ячейки помечаются как внутренние, внеш-
ние, поверхностные.

3. В зависимости от меток узлов формируются
оставшиеся ребра для грани.

4. Из сформированного набора ребер строится
внутренняя грань.

5. Проверятся ориентация внутренней грани.

На основе построенных внутренних граней кор-
ректируется ориентация внешней грани ячейки.

Из полученного набора граней формируется
ячейка (одна или несколько). На рис. 4 представ-
лен пример работы генератора.

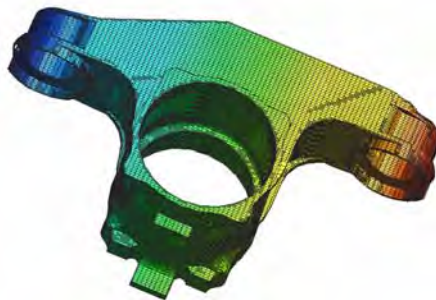


Рис. 4. Пример работы генератора

Улучшение качества построенной отсеченной сетки

В результате оценки качества построенной отсе-
ченной сетки выявлено наличие ячеек, не отвечающих
заданным критериям: невыпуклые, ячейки с малым
объемом и т. д. Поэтому проведена разработка модуля,
служащего для улучшения качества построенной сетки.

Одной из ключевых функциональных частей яв-
ляется подмодуль удаления «маленьких» внутренних
ребер.

В процессе отсечения сетки при нахождении
точки пересечения треугольника и ребра шаблонной
ячейки контролируется образование «маленьких»
внутренних ребер. Под «маленькими» внутренними
ребрами понимается ребро, одна точка которого при-
надлежит поверхностной грани отсеченной ячейки, а
вторая не принадлежит ни одной внешней грани,
кроме того, длина такого ребра меньше некоторой
заданной величины. Эта заданная величина рассчи-
тывается как процентное соотношение длины вновь
образованного внутреннего ребра к длине ребра
шаблонной ячейки.

Кроме этого реализован алгоритм объединения с
соседними ячейками ячеек с малым объемом. Вели-
чина малого объема задается пользователем. Пример
сетки до запуска модуля улучшения качества на рис. 5,
после работы модуля – на рис. 6.

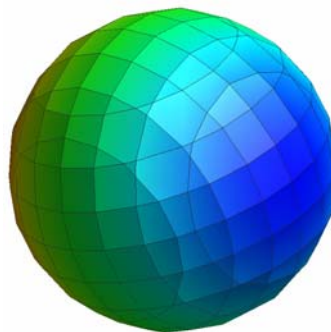


Рис. 5. Построенная сетка
до улучшения качества

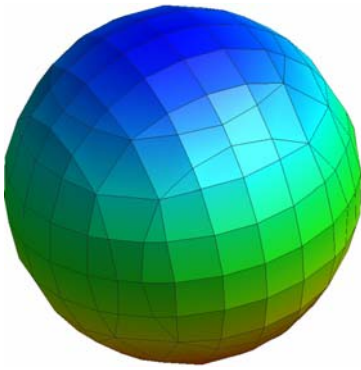


Рис. 6. Построенная сетка после улучшения качества

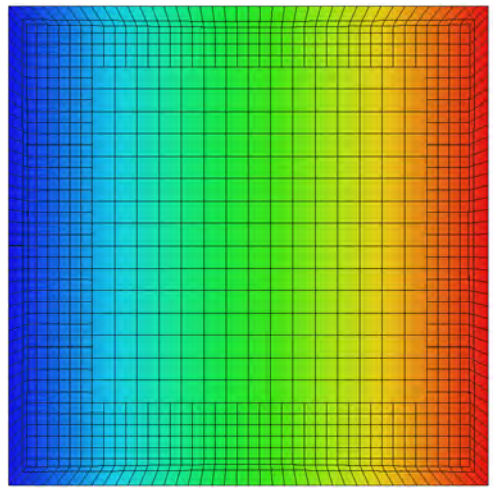


Рис. 7. Пример построенной сетки с призматическим слоем

Построение призматического слоя

Грани ячеек построенной объемной сетки образуют поверхностную сетку, которая используется для построения пристеночного слоя. Для каждой вершины этой сетки известно, какому треугольнику она принадлежит, что позволяет получить для нее барицентрические координаты. Изначально предполагается однозначное соответствие сеточной поверхности и подповерхности (каждому узлу соответствует один узел), что позволяет легко получить соответствующую точку на начальной сетке. Таким образом, на этом этапе имеем две поверхностных сетки на поверхности и подповерхности, которые нужно объединить в призматический слой. По заданным пользователем параметрам пристеночного слоя строится набор ячеек. Уже на этом этапе получаем корректную нерегулярную сетку. Пример построенной сетки с призматическим слоем приводится на рис. 7.

Планы развития

В дальнейшем планируется продолжить работу по улучшению качества построенной отсеченной многогранной сетки и ортогонализации призматического слоя, а также приступить к разработке концепции пофрагментного построения сетки большой размерности.

Литература

1. Официальный сайт фирмы «FlowVision». Режим доступа: <http://www.flowvision.ru>, свободный.
2. Aftosmis M. J. Solution adaptive cartesian grid methods for aerodynamic flows with complex geometries, NASA Wkshp. On Surf. Mod., Grid Gen., and Related Issues in CFD, NASA Lewis Rsch Cntr., May 9–11, 1995.