

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЭЛЕМЕНТА В СООТВЕТСТВИИ С ХАРАКТЕРНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ИСХОДНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ СЕТКИ В ПРЕПОСТПРОЦЕССОРЕ ЛОГОС

Д. М. Панкратов, Т. В. Цалко

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

Введение

Данная работа посвящена одному из этапов подготовки сеточной модели для решения задач аэрогидромеханики – построению поверхностных треугольных сеток. На примере производственных задач в фасеточном представлении показаны особенности генерации треугольных поверхностных сеток в Препостпроцессоре ЛОГОС, рассмотрены некоторые этапы работы генератора: в частности алгоритмы построения вспомогательной адаптивной сетки на основе квадратичного дерева и алгоритмы изменения размера элементов сетки в соответствии с характерными особенностями исходной геометрии, а также их влияние на конечный результат.

Препостпроцессор ЛОГОС

Препостпроцессор ЛОГОС – единая система для задания начальных данных и генерации сеток для численного решения задач инженерного анализа, проведения визуальной предобработки сеточной модели, а так же для предоставления графических интерфейсов для подготовки и выполнения инженерного анализа с использованием отечественных счетных кодов и постобработки результатов счета. Одним из направлений разработки пакета Препостпроцессор ЛОГОС является генерация объемных сеток высокой размерности, а также анализ качества готовой сетки и ее корректировка. В первую очередь пользователей интересует разработка автоматических генераторов неструктурированных сеток, которые позволят с наименьшими трудозатратами проводить подготовку дискретных моделей. В частности, в Препостпроцессоре ЛОГОС одним из способов автоматического создания нерегулярной сетки является генератор сеток методом отсечения на основе сетки из треугольников, поэтому проблема генерации качественных треугольных сеток очень актуальна.

Поверхностные треугольные сетки

Под поверхностной треугольной сеткой будем понимать дискретное представление поверхности трехмерного тела с помощью набора связанных треугольников. На сетку накладываются дополнитель-

ные требования со стороны методики моделирования и генераторов объемных сеток, а именно:

- размер элементов должен соответствовать заданным пользователем параметрам. В областях с низкой кривизной размер элементов должен стремиться к верхней границе допустимого диапазона значений, а в областях с высокой кривизной сетка должна сгущаться;

- соотношение площадей соседних треугольников не должно превышать заданного пользователем порогового значения;

- качество треугольника определяется соотношением длин его сторон.

Процесс построения поверхностной треугольной сетки состоит из следующих этапов:

- исправление дефектов и упрощение исходной геометрии;

- Определение характерных особенностей геометрии;

- разбиение на области, однозначно проецируемые на плоскость;

- вычисление значений кривизны в вершинах;

- вычисление размеров элементов сетки в узлах;

- запуск генератора сеток;

- улучшение качества полученной сетки.

В данной работе будет подробно рассмотрен этап вычисления требуемых размеров элементов в узлах сетки.

Предварительная обработка перед началом работы: распространение размеров через границу узкой области

Входными данными для этапа вычисления требуемых размеров в узлах сетки является исходная фасеточная геометрическая модель, разделенная на области, однозначно проецируемые на плоскость, вычисленные значения размеров соответствующих значениям кривизны в вершинах, а также заданные пользователем допустимые размеры треугольников. В производственных задачах встречаются ситуации, когда узкая вытянутая область разделяет области с сильно различающимися размерами треугольников, или на одной из них заданы малые размеры из-за кривизны поверхности. Пример такой области схематично изображена на рис. 1.

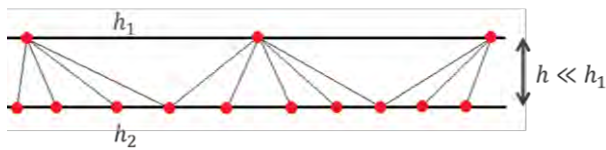


Рис. 1. Пример узкой области

В описанном случае расстояние между противоположными ребрами не позволяет в результирующей сетке разместить на области несколько слоев треугольников, изменяющихся по размеру от одной границы до другой, что является причиной возникновения на узких краях треугольников плохого качества.

Для обработки таких случаев разработан алгоритм, выявляющий подобные области путем вычисления расстояния между их противоположными границами и сравнения полученного значения с заданным размером. В найденных таким образом областях заданный в вершинах размер занижается при помощи алгоритма сглаживания, а противоположные ребра додрабливаются до соответствующего размера.

Этот процесс выполняется итерационно, пока подобные области не перестанут выявляться, что позволяет распространить размеры через границы нескольких областей.

На рис. 2 приведены результирующие сетки, полученные без использования и с использованием данного алгоритма.

Построение вспомогательной сетки

Исходная модель может не обладать достаточно подробной дискретизацией для того, чтобы одно-

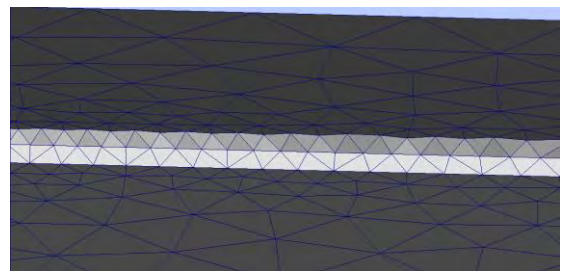
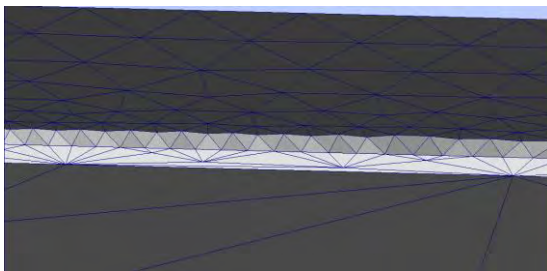


Рис. 2. Сетки, полученная без использования и с использованием алгоритма распространения размеров (слева и справа, соответственно)

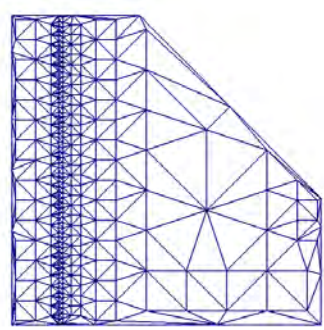
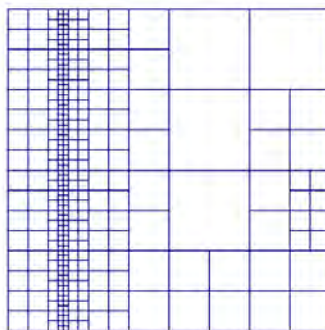
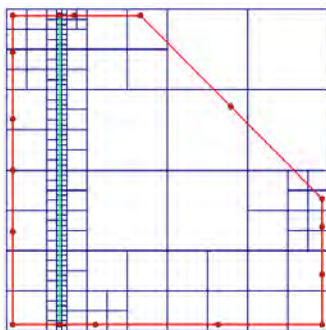


Рис. 3. Основные этапы построения вспомогательной сетки

значно задать на ней требуемые размеры элементов для генератора. Одним из подходов к решению данной задачи является построение адаптивной сетки, учитывающей распределение размеров, являющейся достаточно подробной, чтобы описать особенности геометрической модели.

Для этих целей в модуле генерации поверхностных сеток используется алгоритм построения вспомогательной сетки, основанный на использовании квадратичного дерева[1], с последующим вычислением и сглаживанием значений заданных в узлах размеров элементов.

На рис. 3 слева-направо изображены результаты работы основных этапов построения вспомогательной сетки:

- измельчение адаптивной сетки вдоль ребер;
- додрабливание адаптивной сетки;
- построение вспомогательной треугольной сетки.

Этап 1: Измельчение адаптивной сетки вдоль ребер

Исходными данными для данного этапа служит спроецированная на плоскость область исходной модели с вычисленными по кривизне размерами, заданными в узлах. Измельчение адаптивной сетки происходит за счет ее дробления вдоль некоторых ребер исходной сетки. В качестве таких ребер используются ребра, составляющие контур исходной области, а также некоторые другие ребра, о которых будет рассказано позже.

Вдоль каждого такого ребра сетка дробится в соответствии с размером, заданным в вершинах этого ребра. Поскольку размеры в вершинах могут отличаться, предварительно ребро делится на сегменты

по закону геометрической прогрессии, как это показано на рис. 4. Затем для каждого сегмента на основании его длины выбирается уровень измельчения адаптивной сетки. Адаптивная сетка, имеющая измельчение вдоль ребер конура показана на рис. 5.

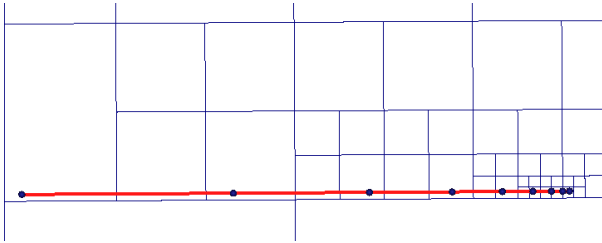


Рис. 4. Измельчение адаптивной сетки вдоль ребра

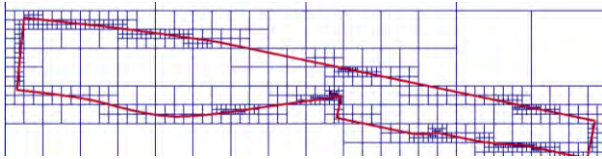


Рис. 5. Адаптивная сетка, измельченная вдоль ребер контура спроецированной на плоскость области

В процессе тестирования алгоритма выяснилось, что адаптивная вспомогательная сетка, построенная только на основе ребер контура, является недостаточно подробной для описания всех особенностей геометрии, поскольку пробы размеров в ее узлах не попадают в области высокой кривизны исходной модели. Результатом этого может быть значительная потеря формы результирующей сетки из-за отсутствия сгущения. На рис. 6 показан результат построения сетки.

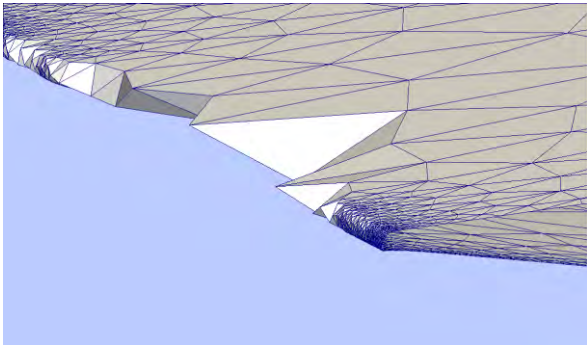


Рис. 6. Сетка, построенная при использовании недостаточно подробной вспомогательной сетки

Для исправления этого недостатка вместе с ребрами контура в дерево вносятся дополнительные

ребра, вдоль которых обнаруживается максимум кривизны. На рис. 7 показан пример фрагмента полученной сетки.

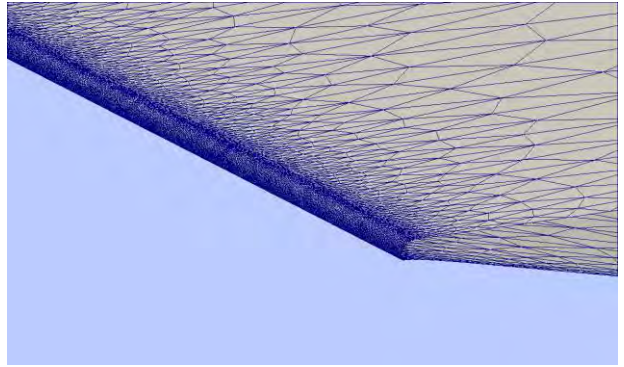


Рис. 7. Сетка, построенная при использовании подробной вспомогательной сетки

Этап 2: Додрабливание адаптивной сетки

Додрабливание адаптивной сетки является вторым этапом построения вспомогательной сетки и служит для обеспечения более равномерного распределения размеров элементов, заданных в узлах вспомогательной сетки, а также для компенсации недостатка узлов в исходной геометрической модели. В качестве исходных данных для этого этапа служит подробно измельченная на предыдущем этапе адаптивная сетка. Додрабливание происходит таким образом, чтобы соседние элементы не различались более, чем на один уровень дробления. Схематично этот процесс изображен на рис. 8.

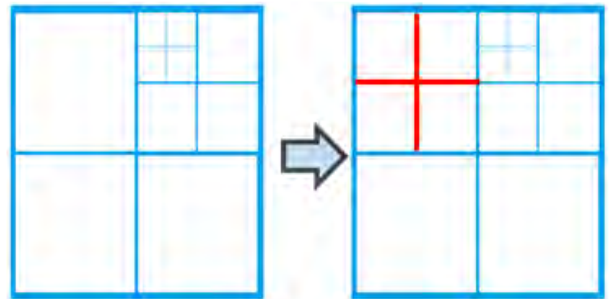


Рис. 8. Схематичное изображение процесса додрабливания. Красным цветом отмечены ребра, появившиеся в результате

На рис. 9 приведено состояние адаптивной сетки, построенной для одной из областей модели крыла самолета до и после этапа додрабливания.

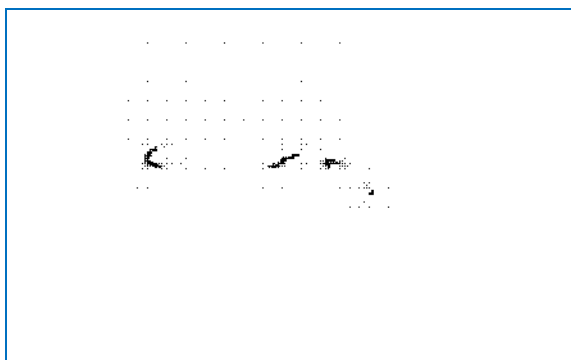


Рис. 9. Адаптивная сетка одной из областей задачи обтекания крыла самолета до (слева) и после (справа) додрабливания

Этап 3: Построение вспомогательной треугольной сетки

Заключительным этапом построения вспомогательной сетки является построение треугольной сетки.

Для каждой ячейки адаптивной сетки вычисляется центр, за исключением ячеек, находящихся за пределами исходной области. К набору точек добавляются точки ребер, вдоль которых происходило измельчение адаптивной сетки на первом этапе. По полученному набору точек строится триангуляция Делоне с ограничениями [2]. Далее вычисляются значения желаемых размеров треугольников в узлах сетки для того, чтобы обеспечить сгущение в областях с высокой кривизной, но при этом сохранить стремление к заданному пользователем размеру в остальных областях. Для каждого узла вспомога-

тельной сетки при вычислении размера используются значения с исходной геометрии, полученные интерполяцией по барицентрическим координатам треугольника исходной геометрической модели, содержащего эту точку. При этом значения размеров ограничиваются сверху и снизу заданным пользователем диапазоном значений. После этого производится сглаживание. Примеры исходной адаптивной сетки и полученной треугольной вспомогательной сетки изображены на рис. 10.

Полученная таким образом вспомогательная сетка из треугольников, а также отображенные на эту сетку размеры элементов используются в качестве входной информации для генератора сеток. На рис. 11–14 представлены построенные в Препроцессоре ЛОГОС с использованием описанных алгоритмов поверхностные сетки.

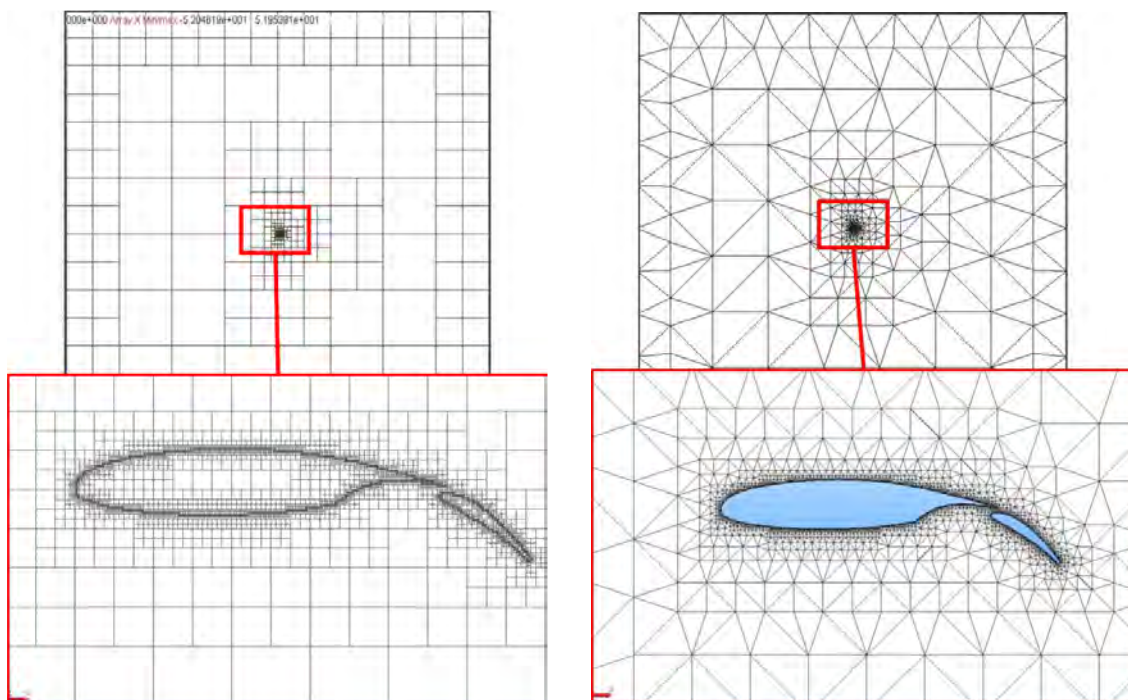


Рис. 10. Исходная адаптивная сетка и построенная на ее основе вспомогательная треугольная сетка

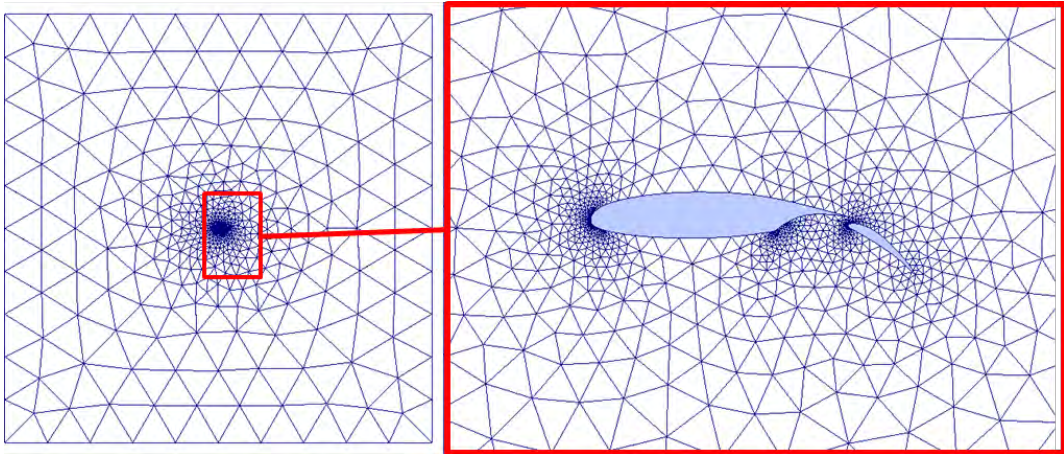


Рис. 11. Пример построенной в Препостпроцессоре ЛОГОС сетки

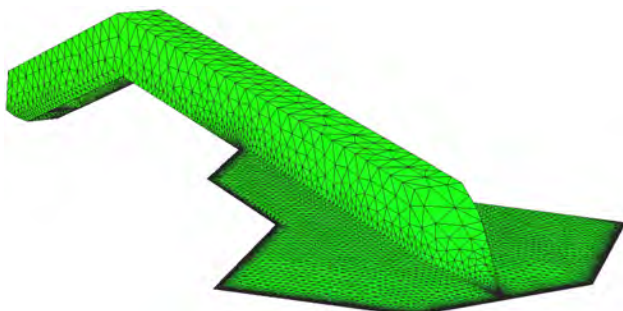


Рис. 12. Пример построенной в Препостпроцессоре ЛОГОС сетки

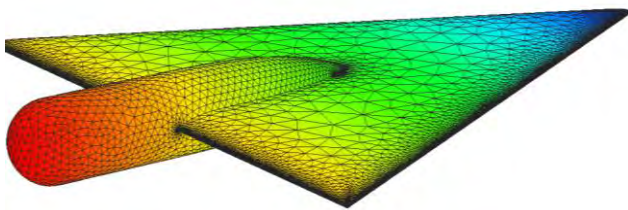


Рис. 13. Пример построенной в Препостпроцессоре ЛОГОС сетки

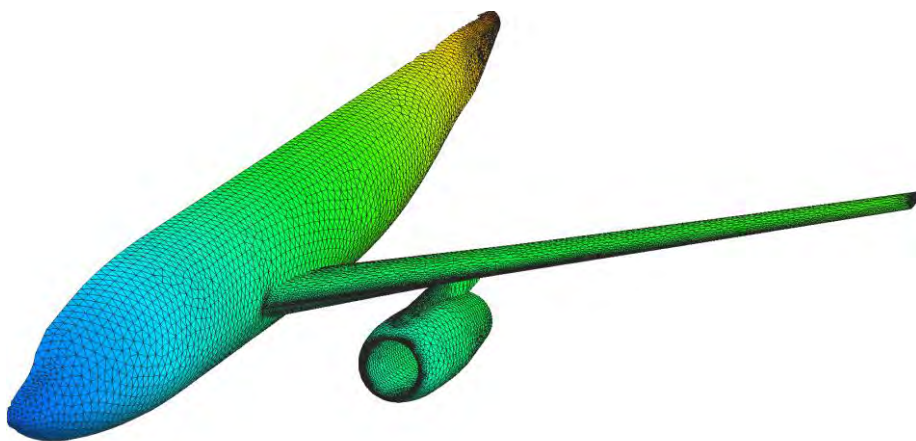


Рис. 14. Пример построенной в Препостпроцессоре ЛОГОС сетки

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что разработанные алгоритмы позволили:

- совместить учет кривизны исходной поверхности и размеры заданные пользователем;
- получить в результате сетки, не зависящие от способа триангуляции исходной поверхности;
- улучшить равномерность размеров элементов построенной поверхностной сетки;

- адаптировать размеры треугольников поверхностной сетки к форме области.

Литература

1. Aizawa, K., Tanaka S. A constant time algorithm for finding neighbors in quadtrees // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2007.
2. Chew P. L. Constrained Delaunay triangulations // Algorithmica. 1989.