

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ ПЕРЕСТРОЕНИЯ ФАСЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ В ПРЕПРОЦЕССОРЕ ЛОГОС АЭРО-ГИДРО

Шавхитдинова Алена Игоревна (AIShavkhitdinova@vniief.ru)

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

В работе представлен предварительный анализ исходной треугольной сетки, реализованный в генераторе поверхностных сеток препроцессора пакета программ ЛОГОС для моделирования задач аэро-гидродинамики. Этап предварительного анализа предназначен для автоматического выбора наиболее оптимального подхода к построению поверхностной сетки для исходной модели в фасеточном представлении.

Ключевые слова: построение поверхностной сетки, генератор поверхностных сеток.

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE SURFACE TRIANGULAR MESH FOR THE APPLICATION OF DIFFERENT APPROACHES TO THE FACET MODEL RECONSTRUCTION IN THE LOGOS AERO-HYDRO PREPROCESSOR

Shavkhitdinova Alyena Igorevna (AIShavkhitdinova@vniief.ru)

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The paper presents a preliminary analysis of the initial triangular mesh implemented in the surface mesh generator of the Logos software package for modeling aero-hydro dynamics problems. The preliminary analysis stage is designed to automatically select the most optimal method of constructing a surface mesh for the initial facet model.

Key words: construction of a surface mesh, surface mesh generator.

Введение

В современном мире, когда полет на автомобиле уже не кажется чем-то невозможным, когда возможно погружение в самые глубины океана, когда наука не стоит на месте, а с каждым днем развивается все активней, начинают изучаться процессы, которые раньше не могли быть изучены из-за отсутствия современных технологий. Наравне с этим идет развитие моделирования физических процессов, которое позволяет проводить необходимые расчеты, результаты которых близки к практическим экспериментам. Во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» разрабатывается многофункциональный пакет программ ЛОГОС, который, в частности, позволяет выполнять численное моделирование задач аэрогидродинамики. Для подготовки расчетных моделей и задания параметров расчетов в составе программного продукта ЛОГОС

разрабатывается препроцессор. В нем возможно создать и отредактировать модель, а также подготовить данные для дальнейшего расчета физического процесса на построенной сетке. В данном модуле реализовано несколько различных генераторов, при помощи которых можно построить расчетную сетку. Генерация поверхностных сеток для моделей в фасеточном представлении является первым шагом построения расчетных сеток. Качество построенной поверхностной сетки, которое оценивается по критерию соотношения радиусов вписанной окружности к описанной, оказывает существенное влияние на качество результирующей объемной сетки [1–3].

В докладе описан предварительный анализ исходной модели, реализованный в генераторе поверхностных сеток препроцессора пакета программ ЛОГОС в части аэрогидродинамики. Приведены примеры распределения значений наиболее опти-

мального подхода построения по треугольникам для различных исходных моделей и примеры результирующих сеток, полученных при перестроении подходом, выбранным в результате предварительного анализа поверхностной треугольной сетки.

Постановка задачи

На данный момент в поверхностном генераторе для фасеточных моделей реализовано два независимых подхода построения сетки. Первый подход основан на построении сетки методом подвижного фронта в пространстве \mathbb{R}^2 с дальнейшим отображением в пространство \mathbb{R}^3 [4]. В основе второго перестроения лежит метод упрощения сетки в пространстве \mathbb{R}^3 с дополнительной оптимизацией неупрощенных областей [5]. Второй подход был разработан для перестроения моделей высокой детализации, которые состоят из большого количества треугольников (более 1 млн ячеек). На рис. 1 и рис. 2 приведены результирующие поверхностные сетки, полученные при генерации с помощью разных подходов построения.

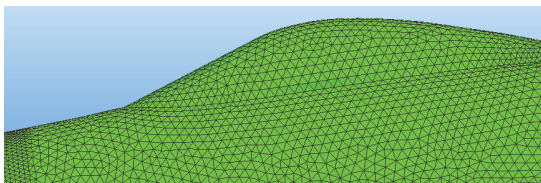


Рис. 1. Результирующая поверхностная сетка, полученная после работы первого подхода

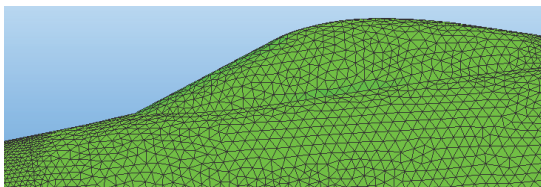


Рис. 2. Результирующая поверхностная сетка, полученная после работы второго подхода

У результирующих сеток достаточно близко среднее качество, оно не сильно варьируется от способа построения. Вместе с этим время генерации может сильно различаться в зависимости от выбранного подхода, особенно на моделях высокой детализации, состоящих преимущественно из треугольников с длиной ребра меньше размера, заданного поль-

зователем модуля ЛОГОС АЭРО-ГИДРО. Для автоматического определения наиболее подходящего подхода построения по скорости необходима была реализация алгоритма, который включает себя несколько критериев оценки фасеточной модели.

Классификация исходных моделей

Перед описанием предварительного анализа фасеточных моделей проведем классификацию возможных исходных моделей по размерам и формам треугольников, так как они могут сильно варьироваться. Это могут быть как равносторонние треугольники, так и тонкие вытянутые, как с мелкими ребрами, так и с большими ребрами относительно желаемых размеров. Таким образом в текущей постановке задачи модели условно можно разделить на три группы:

1. Модели, состоящие из треугольников разного размера и формы. В эту группу можно отнести большую часть моделей. На рис. 3 приведен пример модели из данной группы. На нем можно увидеть вытянутые треугольники, треугольники достаточно мелкого размера, а также треугольники, ребра которых превышают желаемый размер.

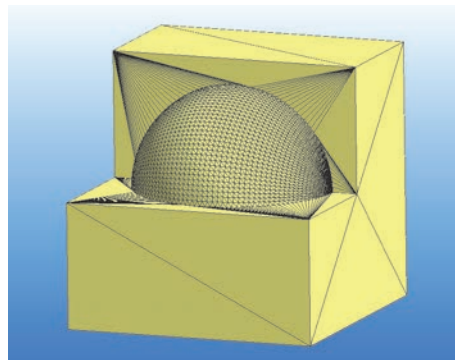
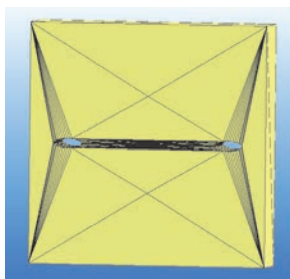
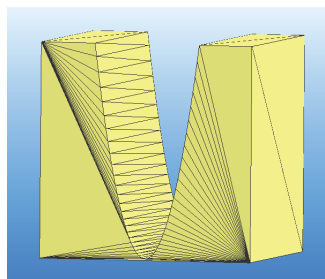


Рис. 3. Фасеточная модель, состоящая из треугольников разного размера и формы

2. Модели, полученные при помощи тесселяции, которая представляет собой начальную неструктурированную сетку из плоских элементов – треугольников. Сетка состоит из минимального набора треугольников, которые имеют преимущественно вытянутую форму. На рис. 4 представлены модели 1, рис. 4, а, и 2, рис.4, б, относящиеся к этой группе.



а



б

Рис. 4. Фасеточные модели, полученные при тесселяции: а – тестовая модель 1, б – тестовая модель 2

3. Модели, состоящие преимущественно из треугольников с длиной ребра меньше размера, который задал пользователь. На рис. 5 приведен пример, на котором показана излишне подробная сетка, так как на плоскости размер треугольников намного меньше желаемого.

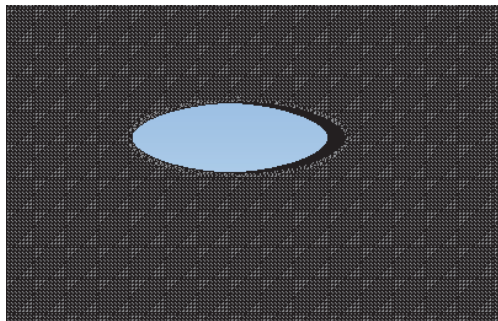


Рис. 5. Фасеточная модель, состоящие преимущественно из треугольников с длиной ребра меньше размера, который задал пользователь

Именно для моделей из последней группы, которая состоит из большого числа треугольников, время генерации поверхностной сетки разными подходами наиболее отличается. Для таких моделей наиболее выгодно проводить построение с помощью второго подхода на основе упрощения.

Предварительный анализ фасеточной модели

Предварительный анализ фасеточной модели состоит из нескольких этапов:

- выделение характерных особенностей исходной модели и разбиение на части;
- проверка на ошибки выделенных частей;
- поиск наиболее оптимального подхода для каждого треугольника исследуемой части;
- на основе результатов анализа, полученных для каждой части, происходит выбор наиболее подходящего подхода построения для всей модели.

Для того, чтобы поэтапно описать алгоритм, введем следующие понятия:

- *Характерная кривая* – это набор ребер исследуемой модели, который выделяет топологические особенности геометрии.

Первый этап – выделение характерных особенностей исходной модели происходит по алгоритму, описанному в [6]. Данный алгоритм позволяет выделить ребра, описывающие особенность исходной модели, а также некоторые наборы выделенных ребер замкнуть в характерные кривые. Исходную модель можно разбить на несколько частей, где каждая часть состоит из набора треугольников, окруженного характерной кривой. На рис. 6 можно увидеть характерные линии, выделенные после первого этапа анализа, а также увидеть разбиение исходной модели на части. Каждая часть выделена своим цветом.

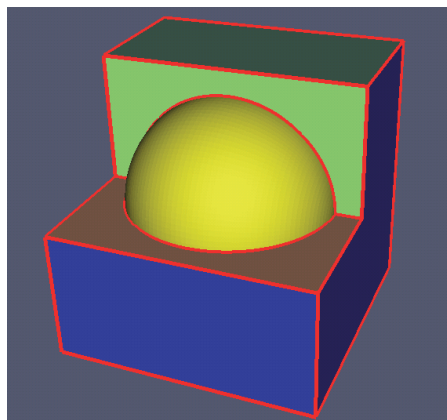


Рис. 6. Пример разделения исходной модели на части выделенными характерными кривыми

На втором этапе предварительного анализа проводится диагностика на наличие критических ошибок для второго подхода построения, к таким ошибкам относятся:

- ошибка многолистности (когда у одного ребра больше двух смежных с ребром треугольников);
- совпадающие узлы;
- совпадающие треугольники.

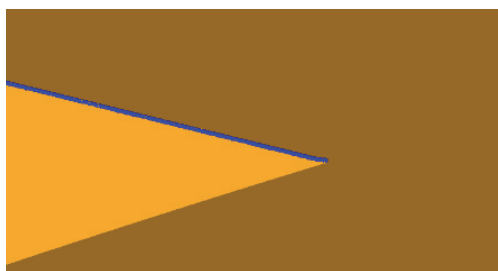
При наличии хотя бы одной из выше перечисленных ошибок, предварительный анализ заканчивает свою работу с решением о генерации поверхностной сетки первым подходом.

Следующим шагом анализа является определение наиболее подходящего подхода построения для каждого треугольника, для этого:

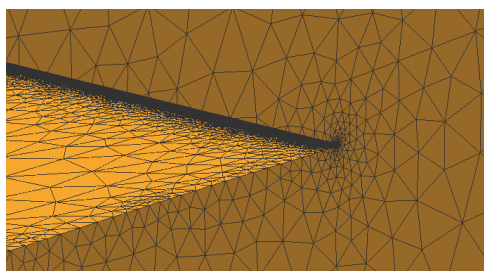
1. В каждой вершине исследуемой области вычисляется метрика, зависящая от искривления исследуемой поверхности, по формуле, приведенной в докладе [7]. Данная метрика ограничивается размерами элементов, заданными пользователем, если значение метрики не попадает в диапазон [минимальный размер, целевой размер].

2. Вычисляется желаемая метрика для каждого ребра – как среднearифметическое между значениями метрик в вершинах, принадлежащих ребру.

3. Для каждого ребра всех треугольников области происходит оценка желаемой метрики ребра с реальной длиной ребра. Если у всех ребер треугольника длина меньше желаемой величины, то такому треугольнику в соответствие будем ставить второй подход построения. На рис. 7 приведен пример распределения наиболее оптимального подхода по треугольникам. Слева и справа отображен один и тот же участок модели, только справа модель отображается с ребрами, а слева без ребер для того, чтобы показать, что треугольникам с маленькими ребрами в соответствие был поставлен второй подход построения. Оранжевым цветом выделены треугольники, которым подходит построение первым подходом, синим – вторым подходом.



а



б

Рис. 7. Распределение по треугольникам наиболее оптимального подхода построения:
а – модель отображена без ребер, б – модель отображена с ребрами

Если количество треугольников, для которых в качестве оптимального выбран второй подход построения сетки, превышает 80 % от общего числа треугольников, то в качестве результирующего подхода перестроения будет определено перестроение сетки в пространстве \mathbb{R}^3 .

Для примера рассмотрим исходную сетку самолета (данная модель взята из открытого источника www.grabcad.ru), которая в классификации по группам относится к тем моделям, которые описаны треугольниками малого размера. Данная модель самолета (рис. 8) состоит из 1077382 треугольников, со средней длиной ребра примерно 0,35 м, желаемый размер, введенный пользователем 2 м, общие габариты модели по оси OX составляют 102 м, OY – 98 м, OZ – 60 м.

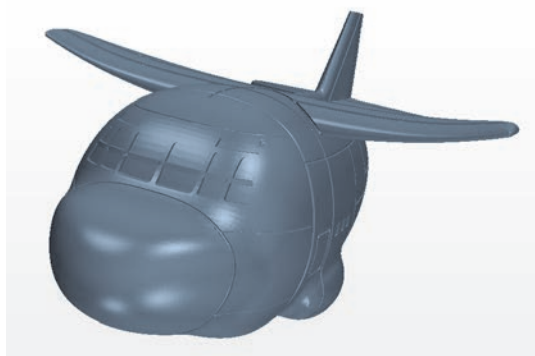


Рис. 8. Исходная поверхность модели самолета без отображения ребер

Как видно в описании модели, исходная сетка самолета состоит преимущественно из треугольников мелкого размера, что и подтвердил предварительный анализ данной модели, обнаружив 84,3 % треугольников, размер которых меньше желаемого, поэтому для нее был выбран второй подход генерации поверхностной сетки. Полученная результирующая сетка представлена на рис. 9. Так же для сравнения была построена поверхностная сетка первым подходом (рис. 10). Результаты построения для модели самолета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты построения поверхностной сетки самолета

Подход построения	1 (рис. 10)	2 (рис. 9)
Время построения	24 мин 22 сек	4 мин 44 сек
Среднее качество	0,96	0,91
Количество треугольников	251379	353162

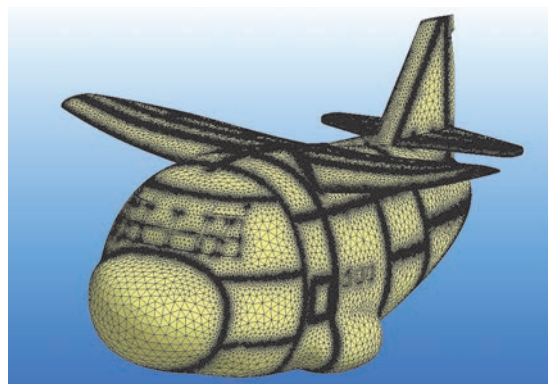


Рис. 9. Результирующая поверхностная сетка, полученная с помощью второго подхода

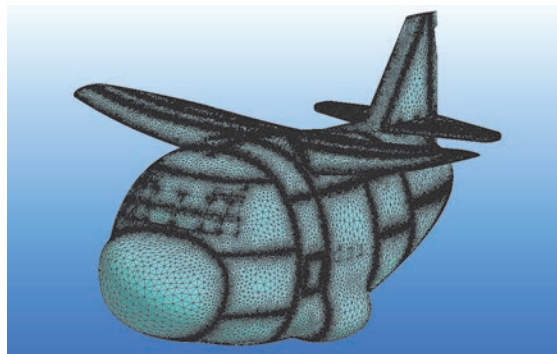


Рис. 10. Результирующая поверхностная сетка, полученная первым подходом

Результаты, полученные для других моделей представлены в табл. 2.

Результаты построения поверхностной сетки, полученные на других моделях

Название модели	Группа	Количество треугольников исходной модели	Выбранный подход	Данные выбранного подхода	Данные альтернативного построения
Test2	2	170318	1	Время построения: 330 сек Количество треугольников 138898 Среднее качество 0,93	Время построения: 980 сек Количество треугольников 87194 Среднее качество 0,98
Test3	3	830842	2	Время построения: 198 сек Количество треугольников 267456 Среднее качество 0,81	Время построения: 611 сек Количество треугольников 189488 Среднее качество 0,85
Test4	1	16382	1	Время построения: 227 сек Количество треугольников 492516 Среднее качество 0,86	Время построения: 253 сек Количество треугольников 488074 Среднее качество 0,82

В табл. 2 приведены результаты для моделей из разных групп классификации. Для некоторых тестов по результирующим данным можно заметить существенную разницу в итоговом количестве треугольников. В данный момент этот вопрос находится на этапе исследования. По результатам скорости генерации сеток при выбранных подходах с помощью анализа исходных моделей, представленных в примере и в таблице, можно сделать вывод, что с точки зрения скоростных характеристик решение инструмента предварительного анализа сетки является оптимальным.

Заключение

В генераторе поверхностных сеток в препроцессоре пакета программ ЛОГОС АЭРО-ГИДРО разработан этап автоматического определения наиболее оптимального подхода построения поверхностных сеток для исходных моделей в фасеточном представлении. Внедрение данного инструмента позволило в автоматическом режиме определять наиболее оптимальный подход к построению поверхностной сетки, с помощью которого будет проведена более быстрая подготовка результирующей расчетной сетки.

Работа выполнена в рамках научной программы Национального центра физики и математики по направлению «Математическое моделирование на супер-ЭВМ экс- и зеттафлопсной производительности».

Список литературы

1. Смолкина Д. Н., Борисенко О. Н., Черенкова М. В., Гиниятуллина А. Г., Кузьменко М. В., Чухманов Н. В., Потехина Е. В., Попова Н. В., Турусов М. Р. Автоматический генератор неструктурированных многогранных сеток в препроцессоре пакета программ ЛОГОС // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2018. Вып. 2. С. 25–39.

2. Попова Н. В., Борисенко О. Н., Корнеева И. И., Чухманов Н. В., Потехина Е. В., Лазарев В. В., Гиниятуллина А. Г. Автоматический генератор неструктурированных тетраэдральных сеток с призматическими слоями в препроцессоре пакета программ ЛОГОС // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2020. Вып. 1. С. 43–57.

3. Попова Н. В. Автоматический генератор неструктурированных многогранных сеток на основе тетраэдральных сеток с призматическими слоями // ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2021. Вып. 3. С. 70–83.

4. Лукичев А. Н., Цалко Т. В., Панкратов Д. М., Логинов Д. В., Белова А. И., Моськина Е. О. Особенности построения триангуляционных сеток на поверхностях в аналитическом и фасеточном представлении / 15-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2017. С. 73–78.

5. Евстифеева Е. О. Алгоритм упрощения поверхностной треугольной сетки при подготовке задач аэрогидродинамики в пакете программ ЛОГОС / 19-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник тезисов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2021. С. 18–19.

6. Цалко Т. В., Панкратов Д. М. Восстановление геометрических особенностей фасеточной модели и разбиение на однозначно проецируемые области при построении поверхностной треугольной сетки в ЛОГОС ПРЕПОСТ. / 16-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2018. С. 42–45.

7. Белова А. И., Лукичев А. Н., Борисенко О. Н. Вычисление кривизны дискретных поверхностей в генераторе поверхностных триангуляционных сеток ЛОГОС ПРЕПОСТ / 15-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2017. С. 34–37.