

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Математического и компьютерного моделирования

ПОСТРОЕНИЕ СЕТОК ДЛЯ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ОБЪЁМОВ

Автореферат бакалаврской работы

студента 4 курса 413 группы

направление 01.03.02 - Прикладная математика и информатика

механико-математического факультета

Чувилин Владлен Олегович

Научный руководитель

зав.каф., д.ф.-м.н.

Ю.А. Блинков

Зав. кафедрой

зав.каф., д.ф.-м.н.

Ю.А. Блинков

Саратов 2017

ВВЕДЕНИЕ

Выпускная бакалаврская работа направлена на расширение и упрощение возможностей расчета и моделирования обтекания вязкими несжимаемыми жидкостями твердых тел с помощью современного программного продукта OpenFOAM, SALOME и ParaView в составе пакета для численного моделирования.

Утилита snappyHexmesh поставляемая вместе с пакетом openFOAM предназначена для генерации 3-х мерных сеток. Сетка строится на основе геометрии сохраненной в stl-файле и применяется для сложных граничных условий.

В первом разделе представлена общая классификация сеток. Вторым раздел посвящен созданию блочно-структурированных сеток с помощью blockMesh. В заключительном разделе рассмотрена работа с утилитой snappyHexMesh. В качестве примера строится сетка для следующей области: половина цилиндра с радиусом 100 мм внутри прямоугольного параллелепипеда с размерами 250x700x500 мм, левая грань параллелепипеда совпадает с левой гранью полуцилиндра.

1 Общая классификация сеток

Численная сетка – дискретное представление геометрической области, в которой решается задача.

Общая структура сеток:

- Сетки состоят из вершин (точек) и ячеек (элементов).
- Взаимное расположение вершин и ячеек определяет связность.
- Для хранения информации о сетке обычно не требуется явно задавать грани и ребра, достаточно определить тип сетки и связность.
- Исключение составляет произвольный многогранник, для которого грани хранятся явно.
- Сетка полностью определяется набором вершин и топологией.

Основные типы сеток:

1. Структурированные (регулярные) сетки, в том числе
 - ортогональные;
 - неортогональные;
 - H-типа, O-типа, C-типа.
2. Блочнo-структурированные сетки, в том числе:
 - сетки с совмещением на внутренних границах;
 - сетки без совмещений на внутренних границах;
 - композитные сетки или химеры.
3. Неструктурированные сетки.

1.1 Структурированные(регулярные) сетки

Структурированные (регулярные) состоят из семейств линий, таких что члены одного семейства не пересекаются между собой и пересекают любую линию из другого семейства только один раз.

В структурированных сетках положение любой точки сетки (или контрольного объема) в области уникально определяется набором двух (в 2D) или трех (в 3D) индексов, например, (i, j, k) . Логически эквивалента декартовой сетке.

Достоинства:

- Простота описания: один из индексов каждой соседней точки P отличается на 1 от соответствующего индекса точки P .
- При дискретизации уравнений в ч. п. результирующая матрица системы алгебраических уравнений обладает регулярной структурой, что может использоваться при разработке метода решения.

Недостатки:

- Применение только в простых геометриях расчетной области.
- Измельчение сетки в одной области влечет слишком мелкую сетку в других областях решения и бесполезную трату ресурсов. Длинные узкие ячейки могут плохо влиять на сходимость.

В сетках O -типа линии одного из семейств замкнуты. Для определения координат необходимо ввести разрез, на котором сетка испытывает скачек. Блочнo-структурированные сетки состоят из набора структурированных сеток.

В сетках C -типа точки на части одной из линий совпадают, и требуется ввести разрез аналогично разрезу на сетках типа O . Такой тип часто используется для тел с острыми кромками.

Композитные сетки или химеры или погруженные сетки – блочно-структурированные сетки с перекрывающимися блоками.

Достоинство: можно использовать для двигающихся тел.

Недостаток: на границах трудно соблюдать консервативность численных методов.

Неструктурированные сетки. Достоинства:

- подходят для областей произвольных геометрий;
- не имеют ограничений на форму и количество соседних элементов;
- имеют возможность локального измельчения.

Недостаток:

- нерегулярность структуры данных, соответственно более сложные и медленные алгоритмы решения.

1.2 Метод контрольного объема

Законы сохранения в общем виде записываются

$$\int_S \rho \phi \vec{v} \cdot \vec{n} dS = \int_S \Gamma \phi \vec{v} \cdot \vec{n} dS + \int_{\Omega} q_{\phi} d\Omega. \quad (1.1)$$

Аппроксимация поверхностных интегралов в виде суммы интегралов

$$\int_S f dS = \sum_{S_k} f dS. \quad (1.2)$$

Аппроксимация объемных интегралов имеет следующий вид

$$Q_p = \int_{\Omega} q_{\phi} d\Omega = q \Delta\Omega \approx q_p \Delta\Omega. \quad (1.3)$$

В соответствии с рисунком 1.1 в двумерном случае и в соответствии с рисунком 1.2 в трехмерном случае в методе контрольного объема имеет место следующие расположение узлов и граней.

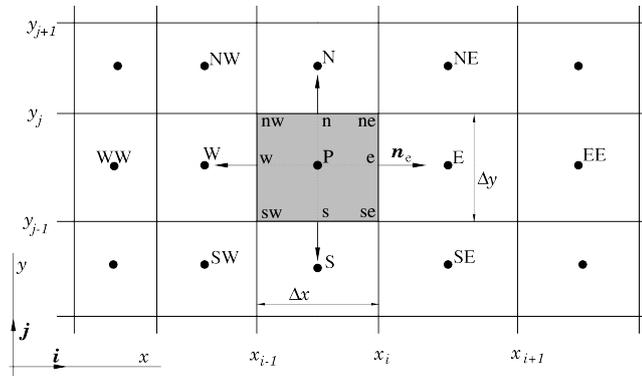


Рисунок 1.1 — Расположение узлов и граней двумерном случае.

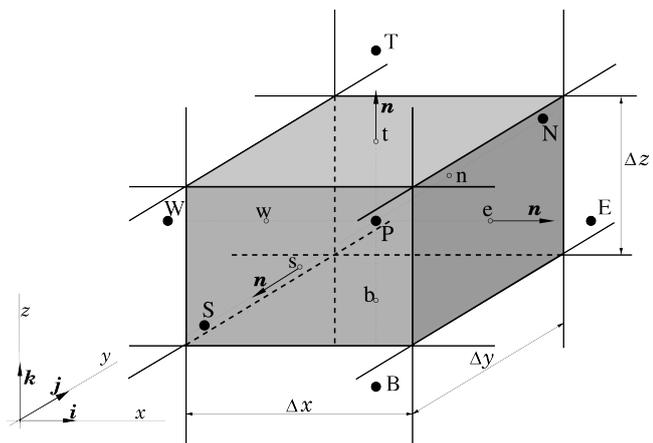


Рисунок 1.2 — Расположение узлов и граней трехмерном случае.

2 Создание блочно-структурированных сеток с помощью blockMesh

Утилита blockMesh поставляемая вместе с пакетом openFOAM предназначена для генерации гексаэдральных структурированных сеток.

Для построения сетки необходим файл blockMeshDict. ConvertToMeters – параметр показывающий масштаб. В разделе vertices задаются координаты точек для построения геометрии. В разделе blocks указывается тип блока, его вершины и параметры разбиения блока. В разделе edges криволинейные ребра (дуги окружностей или сплайны). В разделе boundary определяются поверхности для задания граничных условий. В разделе mergePatchPairs задаются пары поверхностей для слияния.

В разделе mergePatchPairs сетка может состоять из нескольких блоков. Соединение блоков может осуществляться двумя способами:

- Face matching (совпадение поверхностей) – в случае точного совпадения поверхностей двух граничащих блоков.
- Face merging (слияние поверхностей) – если поверхности двух блоков не совпадают по геометрии или разбиению.

3 Создание сеток с помощью snappyhexmesh

Перед запуском snappyhexmesh, пользователь должен выполнить следующие операции:

- подготовить файлы содержащие поверхность в формате STL, бинарном или ASCII. Файлы должны располагаться папке /constant/triSurface.
- создать «фоновую» гексаэдральную сетку, которая определяет расчетную область и является базовым уровнем плотности сетки.
- создать (или скопировать из примеров) в папке system файл snappyHexMeshDict с соответствующими данными.

Если геометрия простая, то можно обойтись без STL файла. В этом случае геометрия задается в файле snappyHexMeshDict.

Проще всего создать «фоновую» сетку посредством программы blockMesh. «Фоновая» сетка должна удовлетворять следующим условиям:

- сетка должна состоять только из гексаэдральных элементов.
- отношение сторон элемента должно приблизительно равняться 1 хотя бы около поверхности, к которой в дальнейшем будет применена процедура привязки.
- должно быть хотя бы одно пересечение ребра ячейки с поверхностью, к которой в дальнейшем будет применена процедура привязки.

При запуске snappyHexMesh можно задать следующие параметры:

- parallel – запуск в параллельном режиме;
- overwrite – заменить существующую сетку;
- case dir – определяет другую папку примера, по умолчанию текущая;
- roots (dir1 ... dirN) – определяет вторичные папки при распределенном запуске.

Файл snappyHexMeshDict включает следующие параметры отвечающие за построение сетки: переключатели верхнего уровня, подразделы отвечающие за каждый этап построения сетки.

Переключатели верхнего уровня:

- castellatedMesh – будет или нет строится «зубчатая» сетка.
- snap – будет или нет проводится привязка к поверхностям.

- addLayers – будут или нет добавляться дополнительные слои на поверхностях.
- debug – управляющий параметр.
- mergeTolerance – точность склейки.

Разделы:

- geometry
- castellatedMeshControls
- snapControls
- addLayersControls
- meshQualityControls

Для каждой поверхности, к которой необходимо применить процедуру улучшения, указывается её имя и уровень улучшения в виде level (min max). Минимальный уровень применяется в общем к поверхности, а максимальны к ячейкам, которые образуют пересечения, формирующие угол, превосходящий указанный в resolveFeatureAngle. Ячейки, каждого последующего уровня улучшения в соответствии с рисунком 3.1, имеют линейные размеры в 2 раза меньше предыдущего, ячейки «фоновой» сетки имеют уровень улучшения 0. Ячейки сетки около поверхности имеют тот же уровень что и поверхность.

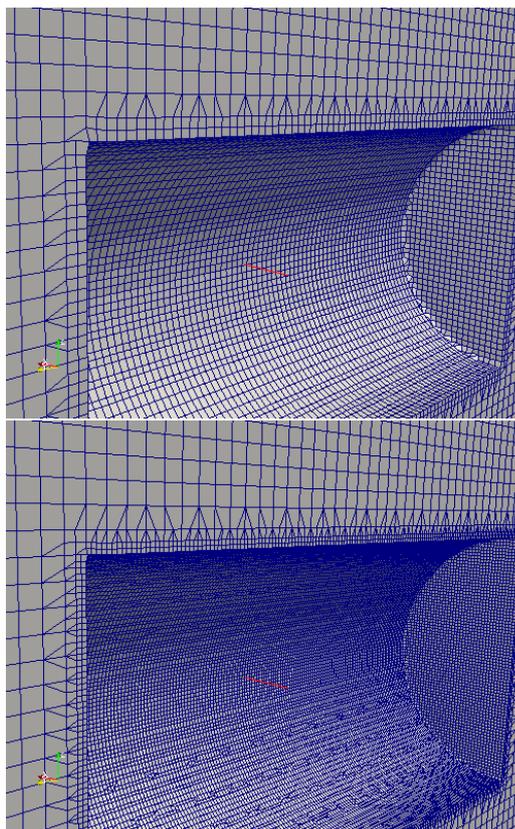


Рисунок 3.1 — Различные уровни улучшения для поверхностей. Сверху – уровень 1, снизу – уровень 2.

Для каждой поверхности можно опционально задать параметры улучшения для отдельных регионов, заданных в разделе `geometry`, запись для регионов указывается в подразделе `regions`.

После разбиения всех поверхностей происходит удаление элементов. Область в которой элементы не удаляются задается вектором положения указанным ключевым словом `locationInMesh`. Элементы не удаляются если 50% их объема или более лежат в заданной области.

В данном разделе задаются параметры для контроля за качеством сетки. Эти параметры используются при проверке качества сетки в процессе привязки к поверхностям и добавления слоев. На этом простом примере не удалось понять, как некоторые параметры влияют на сетку.

- `maxNonOrtho` – максимальная допустимая неортогональность, = 180 отключено.
- `maxBoundarySkewness` – максимальная деформация граничных граней, <0 отключено.

- `maxInternalSkewness` – максимальная деформация внутренних граней, <0 отключено.
- `maxConcave` – максимальная допустимая неортогональность, $= 180$ отключено.
- `MinFlatness` – отношение минимальной спроецированной площади к исходной, -1 отключено.
- `minVol` – минимальный объем пирамиды, большое отрицательное число, например $-1e30$, отключено.
- `minArea` – минимальная площадь грани, <0 отключено.
- `minTwist` – минимальный изгиб грани, <-1 отключено.
- `minDeterminant` – минимальный определитель элемента, $1=hex$, ≤ 0 недопустимый элемент в соответствии с рисунком 3.2. Как вычисляется определитель непонятно, но не следует задавать для этого параметра высокое значение, так как ухудшается результат привязки поверхностей.
- `minFaceWeight` – значение должно быть от 0 до 0.5.
- `minVolRatio` – значение должно быть от 0 до 1.
- `inTriangleTwist` – должно быть больше 0 для совместимости с Fluent.
- `nSmoothScale` – количество ошибок итераций распределения.
- `errorReduction` – величина для снижения перемещения в точках с ошибками.
- `relaxed` – подраздел содержащий измененные параметры, которые будут применяться при превышении значения `nRelaxedIter` в процессе добавления слоя (необязательный параметр).

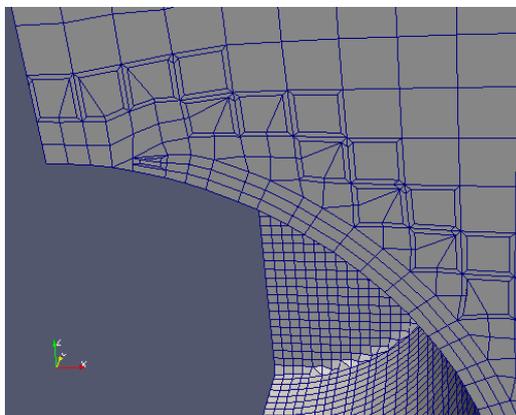


Рисунок 3.2 — Сетка при значении параметра `minDeterminant` 0.9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Утилита snappyHexmesh поставляемая вместе с пакетом openFOAM предназначена для генерации 3-х мерных сеток. Сетка строится на основе геометрии сохраненной в stl-файле и применяется для сложных граничных условий.

В работе построена сетка для следующей области: половина цилиндра с радиусом 100 мм внутри прямоугольного параллелепипеда с размерами 250x700x500 мм, левая грань параллелепипеда совпадает с левой гранью полуцилиндра.