

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УТИЛИТ FOAMУHEXMESH И FOAMУQUADMESH ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ OPENFOAM

Д.И. Читалов

Настоящая статья содержит результаты исследования особенностей подготовки расчетных сеток (РС) на базе двух стандартных утилит, входящих в программную среду (ПС) OpenFOAM. Рассмотрена структура соответствующих служебных файлов и параметры каждого из файла, определяющие основные характеристики РС.

Ключевые слова: OpenFOAM, расчетные сетки, утилита foamУHexMesh, утилита snappyHexMesh, открытое программное обеспечение.

Введение. При проведении численных экспериментов в различных областях механики сплошных сред (МСС), прежде всего в гидродинамике и газовой динамике применяются различные комплексы программного обеспечения: коммерческие и открыто распространяемые. Одним из наиболее популярных и эффективных программных комплексов данной направлен-

ности является ПС OpenFOAM, которая зарекомендовала себя проверенным инструментарием для выполнения всех этапов численного моделирования задач МСС. В ПС OpenFOAM пользователь манипулирует данными, которые хранятся в служебных файлах директории расчетного случая, соответствующего определенной задаче МСС.

Первым этапом эксперимента выступает комплекс шагов, объединенных названием «предобработка», когда определяются исходные расчетные данные и формируется РС, определяющая верность и точность решения задачи МСС. Сеточные модели в ПС OpenFOAM могут создаваться двумя путями: использование встроенных в OpenFOAM инструментов и использование сторонних программных продуктов и последующий импорт готовой РС.

Средства ПС OpenFOAM позволяют создавать РС нескольких типов. За генерацию РС каждого из типов отвечает определенная утилита. Для ее запуска пользователю необходимо подготовить ряд служебных файлов и заполнить их данными, определяющими параметры сетки. В настоящей статье рассматриваются особенности формирования РС с помощью двух утилит: «foamyHexMesh» и «foamyQuadMesh», которые реализованы в ПС OpenFOAM, начиная с версии 2.3.0.

1. Построение РС посредством стандартной утилиты «foamyHexMesh».

В ПС OpenFOAM 2.3.0 разработчики реализовали абсолютно новый инструмент для создания сеточных моделей, с возможностью распараллеливания. Данная утилита осуществляет генерацию гексагональных доминирующих РС на основе двух типов геометрий: триангулированные поверхности, определяющие объект аэрогидродинамики, и аналитические поверхности (сферы, цилиндры, плоскости), которые также могут быть задействованы в процессе подготовки РС.

Утилита «foamyHexMesh» генерирует гексагональные доминантные сетки, которые имеют высокий уровень соответствия геометрии поверхности и с высокой точностью фиксируют моделируемые объекты. Основное ограничение использования утилиты «foamyHexMesh» по сравнению с утилитой «snappyHexMesh» заключается в том, что геометрия поверхности должна быть полностью закрыта.

Работа пользователя с утилитой «snappyHexMesh» предусматривает выполнение двух шагов:

1) создание, как в случае с утилитой «snappyHexMesh», файлов, описывающих моделируемый объект в трехмерном измерении.

2) создание файла параметров РС «foamyHexMesh», содержащего исходные параметры, определяющие свойства расчетной области. В табл. 1 приведены используемые блоки параметров и описание каждого блока. Табл. 2–9 содержат перечисление блоков параметров файла «foamyHexMesh» и параметров каждого блока.

Таблица 1

Список и описание блоков параметров файла «foamyHexMesh»

Ключевое слово	Описание параметра
geometry	Перечень используемых при формировании сетки геометрий (три-поверхностей и базовых фигур)
initialPoints	Элементы управления начальными точками генерации сетки
surfaceConformation	Блок параметров управления конформацией поверхности
motionControl	Блок параметров определения свойств движения
backgroundMeshDecomposition	Параметры декомпозиции фоновой сетки
meshQualityControls	Параметры контроля качества сетки
polyMeshFiltering	Параметры фильтрации сетки

Таблица 2

Список и описание параметров три-поверхностей

Тип три-поверхности	Список свойств
Стандартная три-поверхность	name, type
Закрытая три-поверхность	name, type

Таблица 3

Список и описание параметров базовых фигур

Тип базовой фигуры	Список свойств
Box (шестигранник)	type, min, max
Sphere (сфера)	type, centre, radius
Cylinder (цилиндр)	type, point1, point2, radius
Plane (плоскость)	type, planeType, basePoint, normalVector
Plate (пластина)	type, origin, span
Комплексная фигура (состоит из любого количества любых базовых фигур)	type, mergeSubRegions (общие свойства), surface, scale, type, origin, e1, e3 (свойства для каждой фигуры набора)

Раздел «initialPoints»

Таблица 4

Список и описание блоков параметров файла «initialPoints»

Ключевое слово	Описание параметра
minimumSurfaceDistanceCoeff	Коэффициент минимальной дистанции для поверхности
minLevels	Исходное минимальное количество уровней уточнения

Окончание табл. 4

Ключевое слово	Описание параметра
maxSizeRatio	Максимальный размер ячейки
sampleResolution	Образец разрешения
surfaceSampleResolution	Образец разрешения поверхности
initialCellSize	Абсолютный размер ячейки
randomiseInitialGrid	Включить опцию произвольной исходной сетки
randomPerturbationCoeff	Коэффициент произвольного искажения
initialCellSize	Размеры исходной ячейки
randomPerturbationCoeff	Коэффициент произвольного искажения
pointFile	Файл, из которого считываются точки

Раздел «surfaceConformation»

Таблица 5

Список и описание параметров раздела «surfaceConformation»

Ключевое слово	Описание параметра
locationInMesh	Поле извлечения z-координаты плоскости
pointPairDistanceCoeff	Расстояние генерирования соседних точек-дуплетов
minEdgeLenCoeff	Коэффициент минимальной длины ряда
maxNotchLenCoeff	Максимальное количество выступающих ячеек
minNearPointDistCoeff	Коэффициент минимального расстояния между точками
maxQuadAngle	Максимальный квадратный угол
insertSurfaceNearestPointPairs	Вставить поверхность в окрестности точки или точек-пар
mirrorPoints	Зеркально приближать граничные точки, а не вставлять точки-пары
insertSurfaceNearPointPairs	Вставить точки-пары или двухэлементные вершины очень близко к поверхности
maxBoundaryConformingIter	Максимальное количество итераций, используемых в boundaryConforming
featureMethod	Метод определения
extendedFeatureEdgeMesh	Расширенная функциональная решетка
additionalFeatures	Дополнительные характеристики
randomiseInitialGrid	Рандомизировать начальную сетку, созданную insertGrid
randomPerturbation	Произвольное искажение

Раздел «motionControl»

Таблица 6

Список и описание параметров раздела «motionControl»

Ключевое слово	Описание параметра
minCellSize	Минимальный размер ячейки
defaultPriority	Приоритет на размеры ячеек
type	Тип функции управления формой
priority	Приоритет функции управления формой
mode	Режим функции управления формой
cellSizeFunction	Функция управления размером ячейки
distanceCellSizeCoeff	Коэффициент дистанции размера ячейки
distanceCoeff*	Коэффициент дистанции
uniformCoeffs*	Равномерные коэффициенты
totalDistanceCoeff	Коэффициент общего расстояния
surfaceOffsetCoeff	Коэффициент поверхностного смещения
surfaceCellSizeFunction	Функция определения размеров ячейки поверхности
surfaceCellSizeCoeff	Коэффициент размеров поверхностной ячейки
relaxationModel	Модель смягчения
relaxationStart	Параметр запуска смягчения
relaxationEnd	Параметр завершения смягчения
objOutput	Выводить объект
meshedSurfaceOutput	Выводит сеточную поверхность
nearWallAlignedDist	Приповерхностная область, где ячейки выровнены со стенкой, указанной как количество слоев клеток

Раздел «backgroundMeshDecomposition»

Таблица 7

Список и описание параметров раздела «backgroundMeshDecomposition»

Ключевое слово	Описание параметра
minLevels	Минимальные уровни для фоновой сетки
sampleResolution	Образец разрешения фоновой сетки
spanScale	Шкала масштабирования
maxCellWeightCoeff	Коэффициент максимального веса ячейки

Раздел «meshQualityControls»

Таблица 8

Список и описание параметров раздела «meshQualityControls»

Ключевое слово	Описание параметра
relaxedMaxNonOrtho	Максимальная неортогональность для свойств relaxed
nSmoothScale	Количество итераций распространения ошибок
errorReduction	Величина уменьшения смещения в точке ошибки
maxNonOrtho	Максимальная ортогональность
maxBoundarySkewness	Макс. асимметрия границы

Окончание табл. 8

Ключевое слово	Описание параметра
maxInternalSkewness	Макс. внутренняя асимметрия
maxConcave	Максимальная вогнутость
minVol	Минимальный объем пирамиды
minArea	Минимальная площадь грани
minTetQuality	Минимальное качество тетраэдра
minTwist	Мин. скручивание грани
minDeterminant	Минимальная нормированная детерминанта ячейки
minFaceWeight	Минимальный вес грани
minVolRatio	Минимальное объемное соотношение соседних ячеек
minTriangleTwist	Мин. треугольное скручивание

Раздел «polyMeshFiltering»

Таблица 9

Список и описание блоков параметров файла «polyMeshFiltering»

Ключевое слово	Описание параметра
filterEdges	Включить фильтрацию ребер
filterFaces	Включить фильтрацию мелких и щелевых граней
writeTetDualMesh	Записать базовую сетку
writeCellShapeControlMesh	Обрезать сетку
writeBackgroundMeshDecomposition	Записать сетку из шестигранников и разделенных шестигранников
filterSizeCoeff	Верхний предел размера граней, подлежащих фильтрации
mergeClosenessCoeff	Верхний предел объединения вершин
continueFilteringOnBadInitialPolyMesh	Запрет на продолжение фильтрацию сетки
filterErrorReductionCoeff	Коэффициент фильтрации ошибки редукации
filterCountSkipThreshold	Максимальное количество приложений filterCount перед запретом на фильтрацию
maxCollapseIterations	Максимальное количество допустимых итераций алгоритма разрушения поверхности
maxConsecutiveEqualFaceSets	Максимальное количество итераций возврата набора граней
surfaceStepFaceAngle	Угол удаления мелких шагов с помощью завершения грани.
edgeCollapseGuardFraction	Положение грани к ребру при необходимости формирования краев
maxCollapseFaceToPointSideLengthCoeff	Максимальный коэффициент завершения лицевой грани к точке

2. Построение РС посредством стандартной утилиты «foamyQuadMesh».

Одной из утилит генерации параметрических сеток, реализованных в ПС OpenFOAM, является утилита «foamyQuadMesh», доступная пользователям начиная с версии 2.3.0. Посредством данной утилиты осуществляется автоматическое формирование гексагональных доминирующих РС на базе триангулированных и аналитических поверхностей. В отличие от утилиты «foamyHexMesh», описываемая в настоящем разделе утилита «foamyQuadMesh» осуществляет генерацию данного типа сеток в 2D-формате.

В табл. 10 приведен список и описание основных разделов файла «foamyQuadMesh». Табл. 11–12 содержат характеристику блоков параметров сетки из файла «foamyQuadMeshDict». Символом (?) помечены необязательные параметры. Содержимое блоков параметров других разделов приведено в предыдущем разделе настоящей статьи.

Таблица 10

Список и описание блоков параметров файла «foamyQuadMesh»

Ключевое слово	Описание параметра РС
geometry	Перечень используемых при формировании сетки геометрий
surfaceConformation	Блок параметров управления конформацией поверхности
motionControl	Блок параметров определения свойств движения
shortEdgeFilter	Блок указания свойств короткого краевого фильтра
extrusion	Блок параметров вытеснения

Таблица 11

Список и описание параметров раздела «shortEdgeFilter»

Ключевое слово	Описание параметра
shortEdgeFilterFactor	Фактор умножить среднее значения на длину ребра
edgeAttachedToBoundaryFactor	Взвешенное значение для длин ребер, прикрепленных к границам

Таблица 12

Список и описание параметров раздела «extrusion»

Ключевое слово	Описание параметра
extrude	Установить опцию вытеснения
extrudeModel	Модель вытеснения
patchType	Тип патча
nLayers?	Количество слоев
expansionRatio?	Степень расширения
direction?	Направление
thickness?	Толщина
axisPt	Параметры оси Pt
axis	Параметры базовой оси
angle	Величина угла

Табл. 13 описывает структуру и параметры дополнительного служебного файла «surfaceFeatureExtractDict», отражающего параметры извлечения краевой сетки из файла три-поверхности.

Таблица 13

Список и описание параметров файла «surfaceFeatureExtractDict»

Ключевое слово	Описание параметра
*.stl	Название файла три-поверхности, из которой происходит извлечение
extractionMethod	Метод извлечения краевой сетки
includedAngle	Угол совмещения смежных поверх. нормалей
plane	Параметры плоскости для выбора ребер объектов
nonManifoldEdges	Сохранять края без многообразия
openEdges	Сохранять ребра открытыми
writeObj	Записывать характеристики в формат obj для постобработки

Заключение. В настоящей работе исследованы закономерности подготовки служебных файлов, определяющих особенности параметрических сеток для проведения численных исследований на базе ПС OpenFOAM, генерируемых встроенными в данную ПС утилитами «foamyHexMesh» и «foamyQuadMesh». В работе представлен перечень главных параметров, отвечающих за описание свойств соответствующих РС.

Библиографический список

1. OpenFOAM. The open source CFD toolbox [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.openfoam.com/>.
2. OpenFOAM. Tutorial Guide [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php/>.
3. OpenFOAM. User Guide [Электронный ресурс]. – URL: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf/>.

[К содержанию](#)