

ЛЕКЦИЯ 7.

OpenFOAM. Часть 1.

В данной лекции мы более подробно рассмотрим открытый пакет OpenFOAM, его историю создания, структуру, функции и установку на ПК, а также утилиты для пре- и постпроцессора.

OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation) – это прежде всего набор средств языка программирования C++ для настройки и расширения численных решателей для задач механики сплошной среды, включая вычислительную гидродинамику (CFD). Он поставляется с растущим набором написанных решателей, применимых к широкому кругу задач. OpenFOAM был одним из первых важных научных пакетов, написанных на C++. Он поставлялся компанией из Великобритании OpenCFD Ltd. на условиях GPL.

Компания – поставщик OpenFOAM предлагает на своем сайте как дополнительную услугу – заключение договоров на портирование и поддержку в последующих версиях OpenFOAM на любую платформу.

Разработка OpenFOAM началась в конце 1980-х гг. в Imperial College, London. Мотивом послужил поиск более мощной и гибкой общей платформы моделирования, чем бывший ей де-факто Fortran. Среду несколько раз переписывали, используя последние продвинутые возможности языка C++. Предшественник текущей системы – FOAM - продавался в Великобритании компанией Nabla Ltd. до того, как был выпущен с открытыми исходными кодами в 2004 г. Разработчиком указанного пакета является ученики профессора Imperial College, London А. Госмен: Н. Weller и Н. Jasak. Пакет постоянно развивается. В августе 2011 года компания OpenCFD была приобретена компанией SGI.

OpenFOAM стал первым в нескольких областях:

- Среди первых основных научных пакетов, написанных на C++ (другие ведущие CFD-компании выпустили или работают над C++ кодами следующего поколения);
- Использование перегрузки операторов C++ позволило сделать относительно простым чтение людьми записанных на нем операторов в частных производных, что сделало его языком программирования для физического моделирования;
- Первый среди основных пакетов, использующий элементы-многогранники. Эта функциональность – естественное следствие иерархического описания объектов моделирования;
- Первый и наиболее продвинутый пакет CFD общего назначения, выпущенный по лицензии с открытыми исходными кодами.

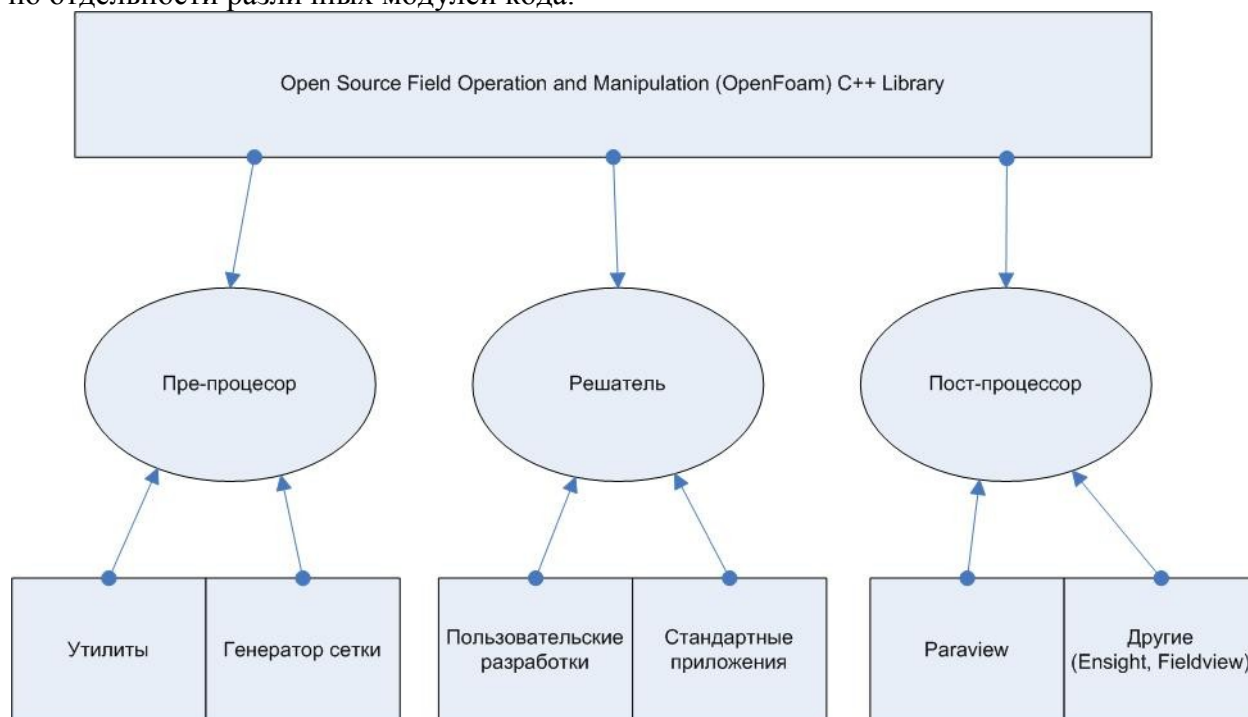
В основе пакета заложено объектно-ориентированное программирование на C++. Осуществляется представление уравнений МСС (механика сплошной среды) с помощью естественного языка программирования. Основные исследуемые объекты: расчетная область, алгебраические преобразования, тензорная и линейная алгебра, решатели, вычисления (интерполяция, дискретизация, дифференцирование, интегрирование), верхняя структуризация (различные модели турбулентности).

Основные исследуемые объекты в OpenFOAM: расчетная область, математические преобразования в тензорной и линейной алгебре, решатели, вычисления (дискретизация, дифференцирование, интегрирование, интерполяция). Классы позволяют вводить пользовательские типы: векторы, поля, матрицы, сетки, модели турбулентности и т.д. Виртуальные функции используются, например, для задания различных граничных условий. Таким образом, есть возможность представления уравнений механики сплошной среды (МСС) с помощью естественного языка программирования. В пакете можно строить свои решатели для задач МСС, готовить новые граничные условия, разрабатывать служебные утилиты и т.д.

Рассматривается базовая единица: класс. Класс включает в себя данные и функции. Классы позволяют вводить пользовательские типы: векторы, поля, матрицы, сетки. Проводится выделение классов и функций. Также вводятся:

- виртуальные функции (задание граничных условий);
- единые операторы с различными типами данных;
- шаблоны (заголовки).

Используется открытый дизайн для любого пользователя, разбиение на небольшие самостоятельные единицы и проверка по отдельности. Проводится разработка и проверка по отдельности различных модулей кода.



Основные Возможности.

OpenFOAM выгодно смотрится на фоне большинства ведущих коммерческих пакетов CFD общего назначения. Он опирается на выбор пользователем пре- и пост-процессоров (впрочем, бывает трудно найти ту версию пре- или пост-процессора, на которую рассчитан конвертер данных вашего релиза OpenFOAM) и с ним поставляется:

- Широкий диапазон конвертеров сеток, позволяющий импорт и экспорт из большинства коммерческих пакетов (Gambit, Fluent, CFX, I-Deas, Kiva3v, CHEMKIN, STAR-CD Samm, STAR-CD Prostar, ICFM CFD, EnSight, Tecplot, ParaView, FieldView, AVS/Express, OpenDX);
- Plug-in (paraFOAM) для визуализации сеток и данных решения в ParaView);
- различные решатели;
- Автоматический гексаэдральный построитель сеток для проектных конфигураций.

OpenFOAM проектировался как платформа для механики сплошной среды, но он идеален для построения мультифизических моделей. Например, с ним идет библиотека и решатели для изучения частиц в многофазном потоке, используя приближение Лагранжа.

Основные методы решения уравнений:

- метод контрольных объемов на базе многогранных ячеек с поддержкой подвижных сеток;
- метод для нахождения уравнений давления-скорости: Simple/PISO/Pimple;
- метод конечных элементов на многогранных ячейках;
- метод граничных элементов (для 2D моделей на поверхности);
- лагранжева модель для расчета движения частиц;

- решатель для обыкновенных дифференциальных уравнений (системы с 6 степенями свободы);

Стандартные решатели включают:

- потенциальный поток (уравнение Лапласа);
- Несжимаемые и сжимаемые течения на базе уравнений Рейнольдса и Эйлера;
- Многофазные течения (модель гомогенной среды, модель Эйлер-Эйлер, модель захват поверхности);
- Двухфазные потоки с теплообменом: течение инжектируемых, реагирующих частиц в сжимаемом, теплопроводном потоке, термодинамическая, равновесная, гомогенная модель кавитации;
- Задачи горения и реагирующих (химически) потоков – сжатие/расширение, горение топлива в двигателе, задачи тепломассообмена в дизельной струе;
- моделирование турбулентных течений с помощью моделей LES/DES, DNS;
- Ламинарное и турбулентное горение;
- Модели конвекции и теплообмена. Сопряженные задачи и задачи с плавучестью – стационарные задачи и динамические задачи вентиляции и переноса массы и тепла с учетом свободной конвекции
- Прямое статистическое моделирование разряженного газа методом Монте-Карло;
- сопряженные задачи (жидкость – тело);
- Электромагнетизм и магнитная гидродинамика;
- модели линейных и нелинейных напряжений в твердом теле;
- Финансы.

Операции с геометрией и сеткой:

- создание геометрия расчетной области и автоматическое разбиение сетки;
- структурированная и неструктурированная сетки;
- многоблочная сетка и декомпозиция расчетной области;
- динамическая сетка и изменение топологии (нумерация узлов);
- действия с сеткой (проверка, объединение, деление, присоединение, конвертация, импорт, экспорт).

Решатели в OpenFOAM.

Решатель — численная модель интегрирования дифференциальных уравнений в частных производных, основанная на методе конечного объема (в отличии от метода решения системы линейных алгебраических уравнений).

Некоторые стандартные решатели в OpenFOAM:

- 1) boundaryFoam – 1D решатель для создания пограничного слоя;
- 2) icoFoam – решатель для несжимаемого, ламинарного потока;
- 3) laplacianFoam – решение уравнение Лапласа;
- 4) rhoCentralFoam - решатель для невязкого сжимаемого потока central-upwind schemes of Kurganov and Tadmor;
- 5) simpleFoam - решатель для стационарного несжимаемого, турбулентного потока. Алгоритм SIMPLE;
- 6) pisoFoam – решатель для нестационарного несжимаемого турбулентного потока. Алгоритм PISO;
- 7) sonicFoam - решатель для нестационарного сжимаемого турбулентного потока;
- 8) buoyantSimpleFoam – решатель для моделирования конвективных потоков;
- 9) fireFoam – решатель для моделирования турбулентного пламени;
- 10) dsmcFoam DSMC= Direct Simulation Monte-Carlo – решатель для моделирования динамики разряженного газа;

- 11) channelFoam – LES solver for channel only;
- 12) dnsFoam – прямое численное моделирование изотропной турбулентности;
- 13) pimpleFoam - Large time-step transient solver for incompressible, flow using the PIMPLE (merged PISO-SIMPLE) algorithm;
- 14) pimpleDymFoam - Transient solver for incompressible, flow of Newtonian fluids on a moving mesh using the PIMPLE (merged PISO-SIMPLE) algorithm;
- 15) nonNewtonianicoFoam – icoFoam для неньютоновских жидкостей;
- 16) MRFsimpleFOAM – решатель для вращающихся сеток;
- 17) rhopisoFoam – Transient PISO solver for compressible, laminar or turbulent flow;
- 18) rhopimpleFoam - Transient solver for laminar or turbulent flow of compressible fluids for HVAC and similar applications;
- 19) rhosimpleFoam - Steady-state SIMPLE solver for laminar or turbulent RANS flow of compressible fluids;
- 20) rhoSonicFoam - Density-based compressible flow solver;
- 21) sonicDymSonic - Transient solver for trans-sonic/supersonic, laminar or turbulent flow of a compressible gas with mesh motion;
- 23) rhoPoroussimpleFoam - Steady-state solver for turbulent flow of compressible fluids with RANS turbulence modelling, and implicit or explicit porosity treatment;
- 24) rhoReactingFoam - Density-based thermodynamics variant of the reactingFoam solver.

Решатели СЛАУ.

Для симметричных матриц:

- метод сопряженных градиентов с предобуславливанием типа неполной факторизации.
- ICCG (метод неполного-Холецкого);
- метод сопряженных градиентов с диагональным предобуславливанием – DCG.
- алгебраический многосеточный метод - AMG.

Для несимметричных матриц:

- метод био-сопряженных градиентов с предобуславливанием - ICCG (метод неполного-Холецкого);
- метод Гаусса-Зейделя.

Структура OpenFOAM.

applications: исходные и исполняемые файлы

- Solvers
- Utilities
- Bin
- Test

bin: базовые исполняемые скрипты

doc: pdf и Doxygen файлы

- Doxygen
- Guides-a4

lib: откомпилированные библиотеки

src – исходники

test –

tutorials – примеры

Wmakes – утилиты для компиляции

Основные утилиты.

foamInstallationTest – проверка инсталляции OF

checkMesh -allTopology -allGeometry – проверка сетки

mirrorMesh – построение зеркальной сетки

foamLog log – скрипт, использующий grep, awk, sed, для извлечения данных из log файла.

foamJob <solver> - утилита для контроля заданий
yPlusRAS/yPlusLES – определение значения yPlus для RANS/ LES
foamCalc – расчет различных параметров поля
Mach – расчет локального числа Маха в каждый момент времени
streamFunction – расчет линий тока по значениям U
particleTracks - generate particle tracks for lagrangian calculations.
decomposePar – декомпозиция расчетной области
reconstructPar – объединение расчетных областей
fluentMeshToFoam, fluent3DMeshToFoam – трансляция сетки из формата Fluent
Sample – построение графиков
Gnuplot – построение графиков с помощью доп. утилиты Linux
foamToVTK – подготовка файлов для обработки в Paraview в формате VTK
pyFoam – построение графиков во время счета. Утилита написана на Python.
polyDualMesh – утилита для построения сеток на базе многогранников

Различные версии OpenFoam (www.openfoam.org).

OpenFoam – 2.0.1 – последняя версия на данный момент.

OpenFoam-1.7- разработчик OpenCFD.

OpenFoam-1.7.x – исправленная версия с патчами. Разработчик OpenCFD.

OpenFOAM-1.5-dev. Расширенная версия, разрабатывается научным сообществом.

Чтобы не возникло проблем со скачиванием и установкой данного пакета, рассмотрим более подробно этот пункт.

Первоначально определиться с архитектурой сру (32 or 64 bit). Выбрать 32 или 64 разрядную версию программного обеспечения.

Затем выбираем необходимую версию OpenFoam в интернете. Ссылки для скачивания приведены ниже:

http://downloads.sourceforge.net/foam/OpenFOAM-1.6.General.gtgz?use_mirror=mesh

http://downloads.sourceforge.net/foam/OpenFOAM-1.6.linux64GccDPOpt.gtgz?use_mirror=mesh

http://downloads.sourceforge.net/foam/ThirdParty.General.gtgz?use_mirror=mesh

http://downloads.sourceforge.net/foam/ThirdParty.linux64Gcc.gtgz?use_mirror=mesh

<http://www.paraview.org/paraview/resources/software.html> - Paraview 3.6.1 (Linux)

Скачать пакет 'gnuplot' под Linux для построения графиков.