

1 Постановка задачи

1.1 Цели и задачи модификации

- обеспечить по итогам текущей модернизации кода удобство интегрирования новых реологических моделей МСС, новых численных алгоритмов, выполняющих расчёт этих моделей;
- сделать код более структурированным, более понятным и простым для ознакомления и будущих расширений.

1.2 Постановка задачи

На данный момент задача в самой общей постановке представляет собой систему N квазилинейных гиперболических уравнений в частных производных:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \mathbf{A}_x \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} + \mathbf{A}_y \frac{\partial \vec{u}}{\partial y} + \mathbf{A}_z \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} = \vec{f}, \quad (1.1)$$

где $\mathbf{A}_x = \mathbf{A}_x(\vec{u}, \vec{r}, t)$, $\mathbf{A}_y = \mathbf{A}_y(\vec{u}, \vec{r}, t)$, $\mathbf{A}_z = \mathbf{A}_z(\vec{u}, \vec{r}, t)$, $\vec{f} = \vec{f}(\vec{u}, \vec{r}, t)$.

Также движение сетки описывается уравнением:

$$\frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = \vec{v}. \quad (1.2)$$

Кинетика разрушений в общем случае описывается системой эволюционных уравнений:

$$\frac{\partial \vec{\chi}}{\partial t} = \vec{F}(\vec{r}, t, \vec{u}, \vec{\chi}), \quad (1.3)$$

где $\vec{\chi}$ – так называемые внутренние параметры, характеризующие внутреннюю структуру материала (пористость, размер пор, повреждённость, параметр упрочнения и пр.).

Уравнение (1.2) подразумевает замену дифференциального оператора разностным нужного порядка.

Уравнения (1.3) могут иметь различный вид. Пока у нас простейшие модели – решение этих(этого) уравнения не составит труда. Далее будем думать. Вместо этих уравнений могут быть различные критерии.

2 Общий подход

2.1 Принципиальная архитектура

Код модульный. «Большие» сущности (модель, метод, сетка – см. ниже) являются чисто описательными классами, содержащими соответствующие базовые «кирпичики» (корректоры, сеттеры, интерполяторы и т.д.).

2.2 Что задаётся в таске

В таске задаются:

- физическая модель для неразрушенного тела (**DeformationModel** по тексту ниже),
- физическая модель разрушения (**FailureModel** по тексту ниже),
- численный метод (**Solver** по тексту ниже),
- тип сетки (**Mesh** по тексту ниже),
- интерполятор (**Interpolator** по тексту ниже, зависит от метода и сетки, фактически определяет порядок по пространству),
- граничные и контактные условия (**Calculator** + область действия).

3 Модель

3.1 DeformationModel

Для пущей структурированности и удобства имплементации различной физики предлагаю ввести класс **DeformationModel**.

Переменная **DeformationModelName**.

В этот класс предлагаю ввести следующие сущности:

- **Material** material – материал,
- Информация о требуемом типе **Node**’ов. Далее при создании сетки должны использоваться **Node**’ы этого типа. Вероятно, потребует шаблонизации класса сетки. Общая схема, вероятно, по аналогии текущим видом MeshLoader’ов – модель создаёт сетку с нодами нужного типа, после чего Loader грузит геометрию,
- **MatrixSetter** matrixSetter – заполняет матрицы текущей модели,
- **InGomogenousSetter** inGomogenousSetter – заполняет правую часть уравнений,
- **Correctors** correctors – набор корректоров, если модель их подразумевает (пример - идеальная пластика на базе корректора).

Внутри всего указанного неявно скрывается размерность вектора \vec{u} .

Варианты моделей:

- Elasticity,
- ElasticityFiniteStrains,
- NonLinearElasticity,
- Plasticity,
- ThermoElasticity.

3.2 FailureModel

FailureModel с хорошей точностью совпадает с текущей реализацией. Содержит набор критериев и корректоров. Критерии и корректоры логически включают в себя как уравнения, так и алгоритм их решения (не обращаются в общем случае к дополнительным внешним классам).

Переменная **FailureModelName**. Переменная **FailureModelType** – = **discrete** or = **continuum**.

Примерные варианты реализаций(дочерние классы):

- FailureDiscrete,
 - MisesCriterion,
 - MohrCoulombCriterion,
 - HashinCriterion,
 - TsaiHillCriterion,
 - TsaiWuCriterion;
- FailureContinuum,
 - Failure1Order,
 - Failure2Order;

4 Метод

4.1 GCMsolver

Родительский класс – **GCMsolver**. Его предлагаю сделать обобщённым.

Содержит переменные **spaceOrder**, **timeOrder**, **bufNodes**. А также **bufCoefficients** – наклоны характеристик, которые уточняются в процессе решения.

Далее, флаг **HomogenousSystem**. Необходимы отдельно метод для однородных систем и отдельно для неоднородных систем.

Далее, поскольку у нас сеточно-характеристический метод и больше никого (появится FEM будет FEMsolver) разумно определить сюда базовые кирпичи GCM'а.

- **CrossPointFinder** crossPointFinder - ищет точку пересечения характеристики,
- **ModelPtr** – ссылка на текущую модель,
 - **MatrixSetter** matrixSetter – заполняет матрицы,
 - **InHomogenousSetter** inHomogenousSetter – заполняет правую часть уравнений,

- **Decomposer** `decomposer` – разлагает матрицы (солвер несёт с собой «декомпозиер по умолчанию», модель может (как именно?) сказать, что нужен другой декомпозиер (пример – у меня изотропное тело и линейная упругость, разложение матриц известно в явном виде)),
- **InGomogenousSolver** `ingomogenousSolver` – используется для моделей с правой частью, решает уравнение на перенос инвариантов $\vec{\xi}$:

$$\frac{\partial \vec{\xi}}{\partial t} = \mathbf{\Omega} \vec{F}, \quad (4.1)$$

- **Interpolator** `interpolator` – интерполирует значения инвариантов в точке, зависит от типа **Mesh**'а (не всё ко всему применимо), полностью инкапсулирует логику получения нового значения (классический гибридный метод – это фактически такой умный интерполятор, который использует то 1-ый, то 2-ой порядок), задаётся в таске («а давайте всё то же самое, но теперь вторым порядком»),
- **MeshMover** `meshMover` – двигает узлы, решая уравнение (1.2) нужным порядком,
- **FailureSolver** `failureSolver` – отвечает за решение (1.3), скорее всего, является просто методом, физически вызывая **FailureModel**, в которой критерии и корректоры содержат нужную математику целиком.

Если кто знает TVD, ENO, аппроксимационную вязкость или любую вязкость – милости просим. (В смысле, это будет отдельный солвер, возможно, завязанный на тип сетки, с которым умеет работать.)

Основной метод **doNextTimeStep** – выполняет следующий шаг по времени.

4.2 Calculator'ы

Собственно:

- `VolumeCalculator`,
- `BorderCalculator`,
- `ContactCalculator`.

Примерно в том виде, какой есть. Не все применимы ко всем моделям.

4.3 CrossPointFinder

Родительский класс. Производные классы – реализации конкретного порядка и просто разные реализации. В зависимости от реализации получает набор нодов и реологических параметров

Переменная **spaceOrder**.

Флаг **linearCharateristics** – если характеристики – прямые линии, в соответствии с моделью тут следует использовать первый порядок, дающий точное положение. Такакая же ситуация как и с **HomogeneousSystem**. Тут два варианта:

- отдельно метод второго порядка для прямых характеристик, с указанием нужного метода в модели;
- На этапе инициализации **Model** программа понимает, что нужно использовать линейный **Finder** для метода второго порядка.

Предполагаемые реализации:

- CrossPointFinder1Order;
- CrossPointFinder2Order.

4.4 Interpolator

Зависит от типа **Mesh**'а (не все со всеми могут работать).

Неоходимы отдельные реализации классов:

- Interpolator1Order;
- Interpolator2Order;
 - Interpolator2Order;
 - InterpolatorLimiter,
 - * InterpolatorLimiterMinMax,
 - * InterpolatorLimiterLinear.

4.5 MatrixSetter

Получает **curNode** и заполняет матрицы \mathbf{A}_x , \mathbf{A}_y , \mathbf{A}_z в соответствии с моделью.

4.6 InGomogenousSetter

Получает **curNode** и заполняет правую часть неоднородного уравнения \vec{F} в соответствии с моделью.

4.7 MeshMover

Переменная **timeOrder**. Решает уравнение (1.2) в соответствии с порядком:

- MeshMover1Order;
- MeshMover2Order.

Получает **curNode** и двигает его в соответствии с решением.

4.8 Decomposer

Реализации:

- NumericalDecomposer;
- AnalyticalDecomposer,
 - IsotropicDecomposer,
 - GeneralAnalyticalDecomposer.

4.9 InGomogenousSolver

Переменная **timeOrder**.

Решаем уравнение на инварианты (4.1).

Предполагаемые реализации:

- InGomogenousSolver1Order;
- InGomogenousSolver2Order.

5 Сетка

Более-менее соответствует нынешнему виду. Должна учитывать:

- параллельность;
- потенциальную возможность перестройки в ходе счёта.