УДК 519.95

ВИЗУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ

Гоменюк С.И., к.ф.-м.н, доцент, Морозов Д.Н., аспирант, Толок В.А., д.т.н, профессор

Запорожский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

Развитие вычислительной техники обусловило разработку новых численных методов и подходов к решению сложных практически важных инженерных и научных задач. Дальнейшее развитие вычислительной математики невозможно без развития методов и методик анализа больших массивов численной информации, получаемых в результате компьютерного моделирования различных процессов.

Одним из наиболее эффективных численных методов анализа задач механики деформируемого твердого тела в настоящее время является метод конечных элементов. Развитие мощных ЭВМ позволило решать задачи механики в трехмерной постановке, что существенно повысило качество моделирования, но значительно усложнило процесс изучения результатов расчета. Опыт показывает, что их анализ по временным затратам и трудоемкости может превосходить этапы начальной подготовки данных и, собственно, численного расчета.

Большинство существующих в настоящее время программных систем автоматизации численных расчетов задач механики, таких, например, как ANSYS [1], LS-Dyna [2] и др. позволяет представить результаты расчета в виде полутоновой или цветной картины распределения исследуемой функции по области расчета. При этом каждому оттенку или цвету соответствует некоторый диапазон числовых значений. На рис. 1 приведен пример черно-белой полутоновой картины, соответствующей распределению вертикальной составляющей вектора перемещений $v(x, y)$, полученной при использовании системы FORTU [3,4] для решения плоской контактной задачи теории упругости.

Однако такой способ графического представления не всегда бывает достаточно наглядным, так как полутоновая картина может иметь весьма сложный вид (особенно при анализе деформаций или напряжений). Кроме того, числовые значения исследуемой функции могут сильно различаться по абсолютной величине, что затрудняет их прорисовку в заданной цветовой шкале. На рис. 2 приведен пример распределения напряжения σ_{zz} по компрессионному кольцу (элемент конструкции трансформатора). Хорошо видны только зоны с максимальными по модулю отрицательными значениями. В то же время зоны с положительными значениями напряжений детализируются не достаточно четко.

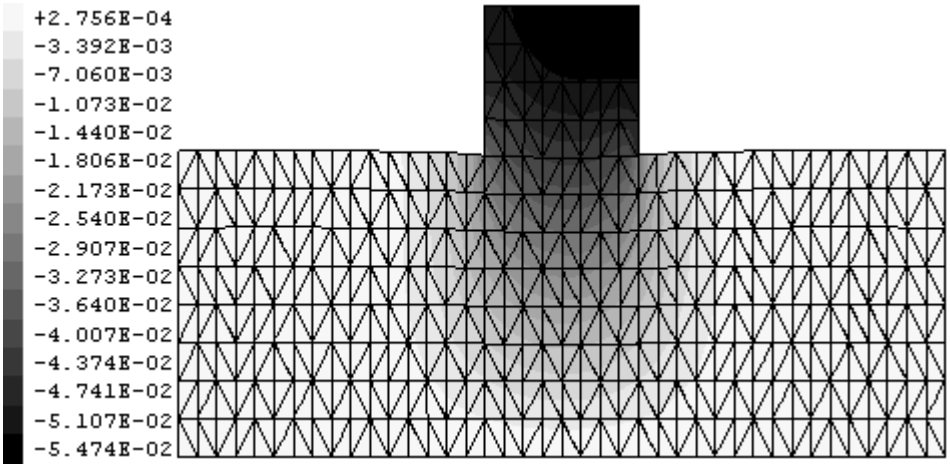


Рис. 1 - Распределение перемещений v(x,y) по контактирующим телам

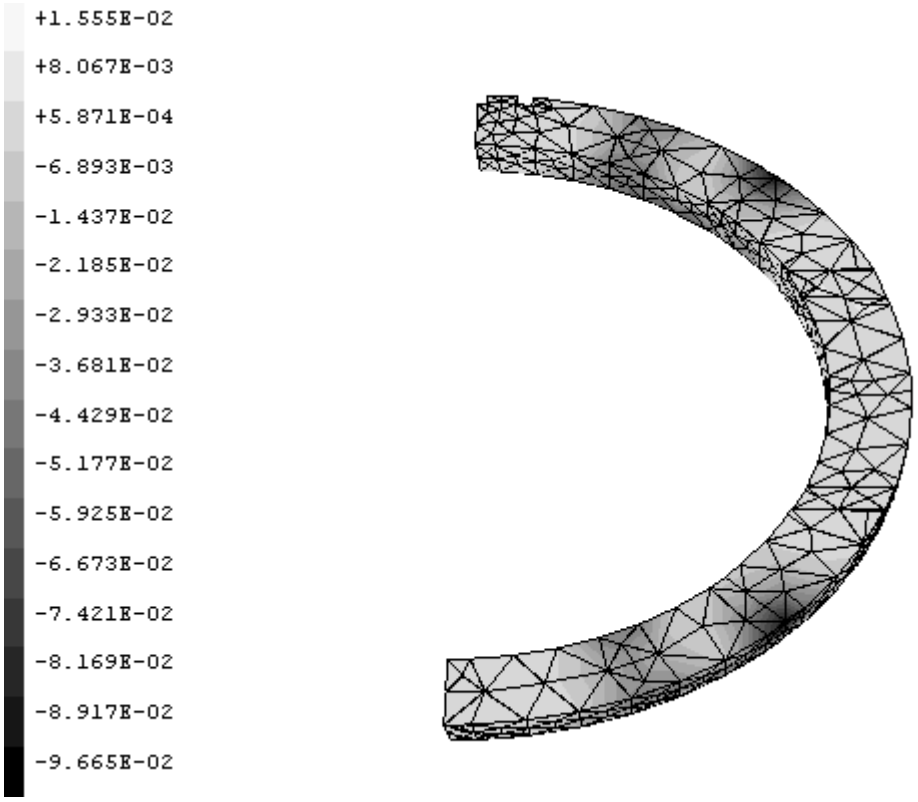


Рис. 2 - Распределение σ_{zz} по компрессионному кольцу

В данной статье предлагается способ визуального анализа результатов численного решения задач механики, базирующийся на создании и отображении трехмерной поверхности, представляющей из себя определенным образом построенное пространство значений исследуемой функции $f(x, y, z)$.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для более детальной и наглядной прорисовки пространства значений исследуемой функции $f(x, y, z)$ предлагается алгоритм, суть которого заключается в построении некоторой поверхности, натянутой на заданное количество опорных точек $(x_i, y_i, z_i, f_i), \quad i = \overline{1, n}$, где f_i - значение исследуемой функции в узле (x_i, y_i, z_i), n - общее количество узлов.

В силу того, что величины (x_i, y_i, z_i) и f_i могут иметь несопоставимый порядок, узловые значения анализируемой функции необходимо предварительно нормировать. Соотношение $\overline{f_i} = \dfrac{f_i \cdot D}{\max f_i}$, где D - некоторый масштабный коэффициент (например, 1/10 средней длины стороны конечного элемента), позволяет привести порядок значений f_i к некоторому наперед заданному интервалу.

В двухмерном случае такой подход позволяет получить трехмерную поверхность с координатами опорных точек вида $(x_i, y_i, f_i), \quad i = \overline{1, n}$.

На рис. 3а изображено полутоновое распределение напряжений σ_{yy}, полученное при решении некоторой плоской задачи, а на рис. 3b – соответствующая поверхность.

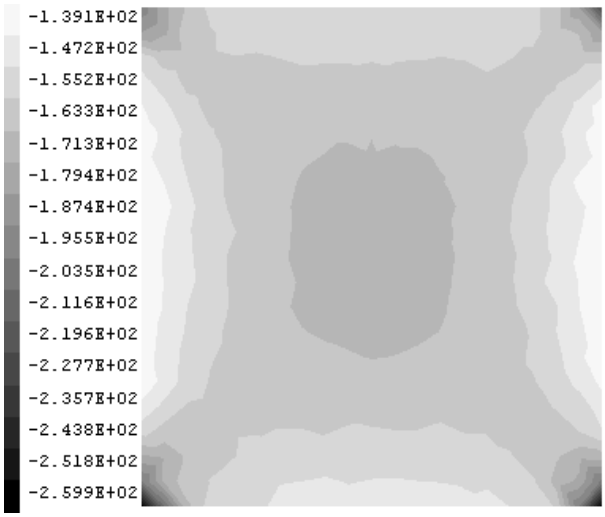


Рис. 3а – Распределение напряжений σ_{yy}

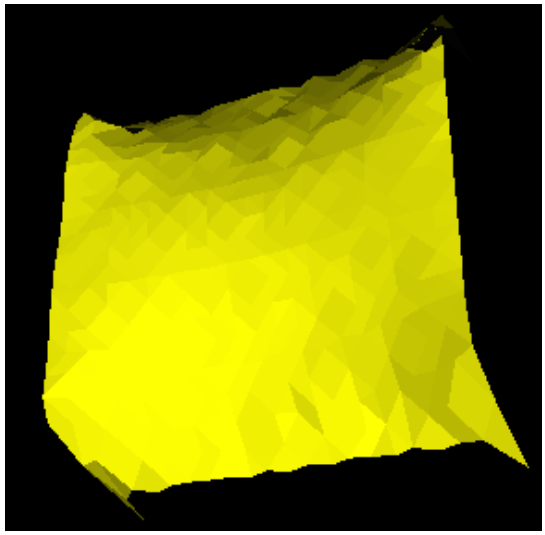


Рис. 3b - Поверхность, соответствующая напряжениям σ_{yy}

Вид построенной поверхности может сильно зависеть от положения источников освещения, их количества и т.п. Поэтому для наиболее качественного восприятия такого графического представления результатов расчета необходимо предусмотреть возможность задания параметров освещения объекта.

В случае анализа трехмерной задачи такой подход приводит к получению четырехмерной поверхности. Одним из возможных способов ее изображения, например, является переход к трехмерной поверхности с опорными точками $(x_i, y_i, z_i + f_i), \quad i = \overline{1,n}$.

На рис. 4 изображена поверхность напряжений σ_{zz}, соответствующая изображению на рис. 2. Здесь хорошо просматриваются все области монотонности функции напряжений, а также пики.

Если построить нормали к каждой грани, образующей такую поверхность, то анализ угла наклона и направления векторов может дать исследователю дополнительную информацию о поведении интересующей его функции.

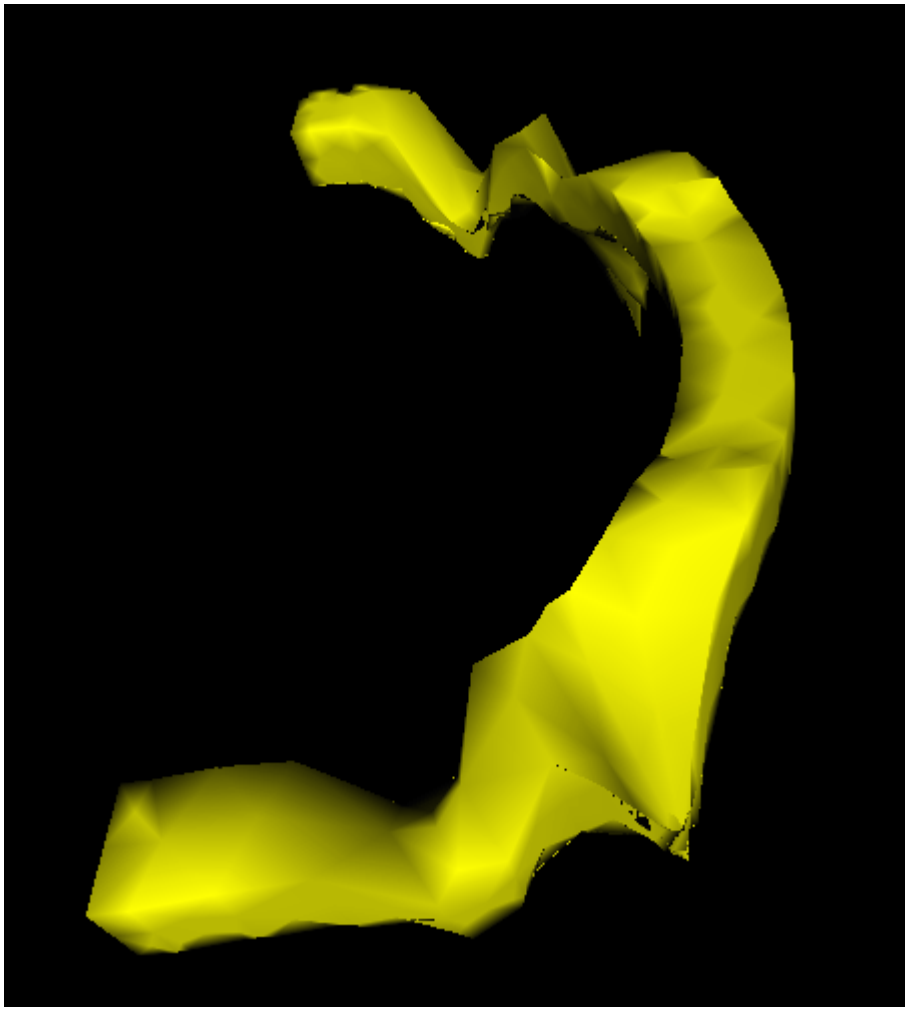


Рис. 4 – Поверхность напряжений σ_{zz}, соответствующая рис. 2

ВЫВОДЫ

Синтез дополнительной информации на основе уже имеющейся – одна из важных задач, которые обычно решаются различными подсистемами анализа численных результатов (постпроцессорами). В данной статье предлагается один из возможных подходов, позволяющий повысить эффективность анализа больших массивов численной информации, получаемых при применении численных методов.

Использование современных технологий программирования трехмерной компьютерной графики (OpenGL, DirectX и т.п.) позволяет повысить эффективность анализа за счет применения таких эффектов как освещение, квазипрозрачность и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. ANSYS, Inc.: Dominating Engineering Simulation. www.ansys.com
2. Livermore software Technology Corp. www.lstc.com
3. Бувайло Д.П., Гоменюк С.И., Толок В.А. FORTU – язык описания схем решения задач математической физики. //Вісник ЗДУ.– 2000. - №1 .- С. 19-25
4. S.I. Gomenyuk A.V. Tolok, V.A. Tolok, The Instrumental system of mechanics problems analysis of the deformed solid body, IKM, Weimar, 1997.