

Функционально – воксельный метод построения опорных конструкций для аддитивных технологий

*Е.Р. Батыев,
асп., demuha.evg@gmail.com,
А.В. Толок,
д.т.н., проф., зав. каф., atol@ipu.ru,
ИПУ РАН, г. Москва*

В работе изложена проблема формирования системы опорных конструкций (суппортов) с помощью функционально – воксельного метода (ФВ – метод) для применения в аддитивных технологиях. Существующие способы моделирования опорных конструкций ориентированы на построение их для полигональной модели поверхности прототипа с дальнейшими процедурами послойного разбиения. В работе представлен подход к процессу моделирования опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей (ФВМ) для аддитивных технологий, позволяющий пополнить список подходов к решению такой задачи для полигональных моделей.

The paper describes the problem of forming a system of support structures (supports) using a functionally voxel method for use in additive technologies. The existing methods of modeling support structures are focused on building them for a polygonal model of the prototype surface with further procedures for layer-by-layer partitioning. The paper presents an approach to the process of modeling support structures based on functionally - voxel models (MBF) for additive technologies, allows you to replenish the list of approaches to solving this problem for polygonal models.

Введение

Широкая эксплуатация цифровых технологий в области проектирования и моделирования побудило взрывной характер развития аддитивных технологий (от англ. – «Additive Manufacturing Technologies»), и в настоящее время крайне сложно указать область материального производства, где в той или иной степени не использовалась бы 3D – печать.

Аддитивные технологии предполагают изготовление прототипа (детали) методом послойного нанесения (добавления, от англ. – «add») материала, в отличие от традиционных методов образования детали, за счёт удаления (вычитания, от англ. – «subtraction») материала из массива заготовки. На выходе получаем деталь сложной геометрической формы, сделанную за короткий срок.

Процесс моделирования опорных конструкций для прототипа поручают компьютерной системе, так как этот процесс выполнять вручную нецелесообразно вследствие сложности геометрии конструкций. В машиностроительной отрасли важнейшую роль играет точность геометрии. Именно поэтому конечная форма детали должна быть обеспечена поддержкой опорных конструкций. Которые позволяют: предотвращать расслаивание в сложных участках прототипа; легко отделять синтезированный прототип от основания-платформы; стабилизировать выступы, консоли на краях прототипа; облегчить синтез сложных прототипов, создавая их из нескольких частей; корректировать возможное искривление слоев на платформе.

1. Моделирование опорных конструкций в аддитивных технологиях

Все ныне существующие подходы 3D – печати с использованием моделирования опорных конструкций для аддитивных технологий базируются на единообразном решении, представляющий собой определенный алгоритм исполнения:

1. построение модели прототипа (CAD – модель);
2. проведение анализа нависающих частей модели;
3. построение поддержек к нависающим частям модели;
4. загрузка построенной модели прототипа в модуль 3D – принтера;
5. преобразование трехмерной модели в понятный 3D – принтеру набор команд (напр.: G – код), с помощью программы называемой – слайсером (от англ. – «to slice»);
6. печать прототипа на 3D – принтере.

Во многих системах моделирования опорных конструкций предусмотрен режим сборки, в которой технолог – программист может моделировать поддерживающие структуры, глядя или опираясь на геометрию детали, что вносит в процесс технологии человеческий фактор. Это может привести к избыточности опорных конструкций, что приведет к увеличению времени моделирования и печати, а недостаточность – к получению бракованных прототипов изделий.

1.1. Моделирование опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей простой формы

Предлагается способ моделирования системы опорных конструкций (суппортов) на основе функционально – воксельных моделей для применения в аддитивных технологиях, таких как Poly-Jet, FDM, SLM и т.п. Из вышеизложенного мы поняли, что существующие способы моделирования опорных конструкций ориентированы на построение их для полигональной модели поверхности прототипа с дальнейшими процедурами послойного разбиения. На рис. 1 можно увидеть процесс послойного синтеза с использованием функционально – воксельной модели.

Метод функционально – воксельного моделирования (ФВМ) [1-4] позволяет организовать подход, ориентированный на применение аналитического описания прототипа (т.е. содержащий в своей основе математическую модель), представленного воксельной геометрической моделью. В качестве критериев построения опорных конструкций

предлагается использовать алгоритм градиентного движения [1-4] для регулярно организованной системы точек к концентраторам функций, описывающих геометрический объект.

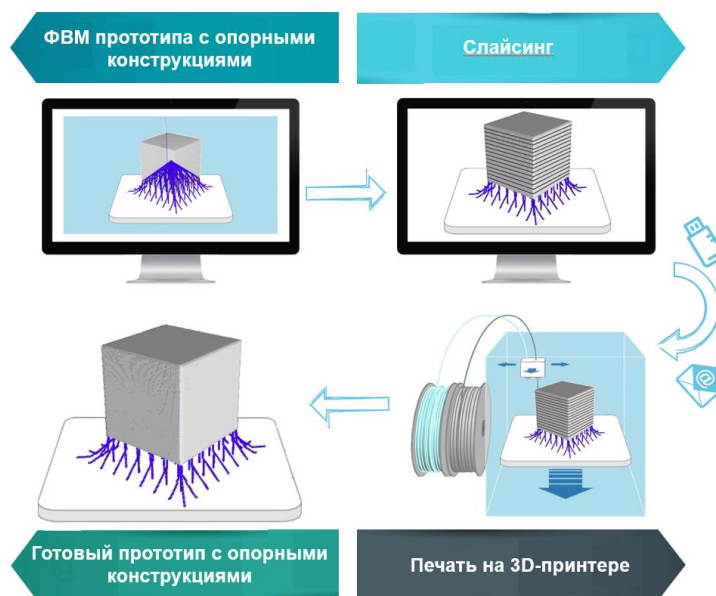


рис. 1 Процесс послойного синтеза

Под концентраторами функций будем понимать точку функционального пространства, где значение функции приобретает локальный максимум, а под градиентом – вектор, который своим направлением указывает направление наибольшего возрастания некоторой величины F , значение которой меняется от одной точки пространства к другой. На рис.2 представлен подход к моделированию опорных конструкций, красным цветом показан концентратор функции, а синим градиент.

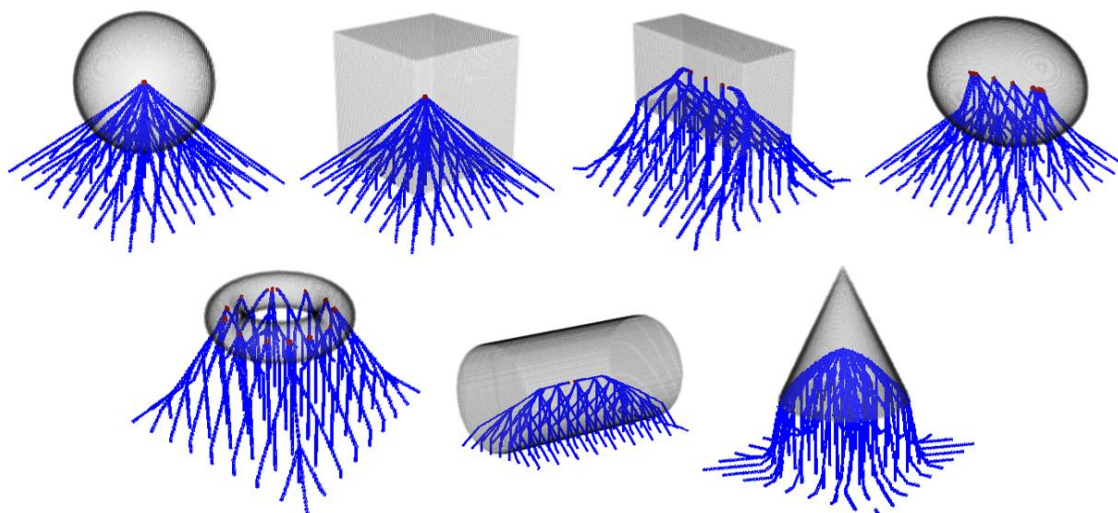
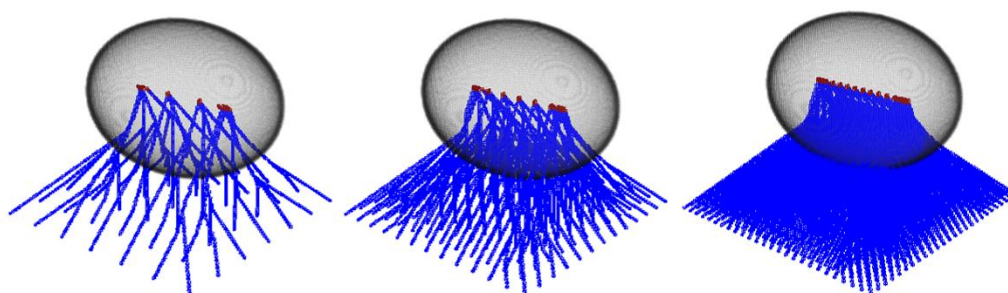


рис. 2 Трёхмерное представление простых моделей с концентратором и градиентом

Проводимым исследованием было выявлено, что количество концентраторов напрямую зависит от шага градиента, что количество концентраторов на модели напрямую зависит от шага сетки исходных точек градиентного движения (рис. 3).



Шаг 20 Шаг 10 Шаг 5
рис. 3 Зависимость концентраторов функций от шага исходных точек градиентного движения

Алгоритм процесса создания опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей выглядит следующим образом:

1. описание математической модели объекта средствами RFM (R-функциональное моделирование);
2. построение и анализ 3D – массивов графических данных;
3. выбор параметров и шага градиента;
4. выбор параметров визуализации 3D – массива данных.

В результате получается трехмерная модель прототипа с опорными конструкциями (суппортами), т.е. не требуется построения дополнительной аналитической модели поддержек [3].

1.2. Моделирование опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей сложной формы

Чтобы распределить концентраторы на сложной модели предлагается ее разбить на более простые элементы (примитивы), построить концентраторы для каждого из них, а затем поместить на сцену сложную модель, это позволяет рассредоточить по всей модели концентраторы к которому пойдут наши опорные конструкции и получить требуемый результат.

Построим модель сложной формы, например: вала, и подведем к ней опорные конструкции. На рис. 4 мы можем видеть, что данное представление сложного объекта не удовлетворяет нашим задачам, так как у модели прототипа есть области, к которым градиентный путь не строится. Красными кружками выделены области, где необходимо построить вспомогательные пути градиента для построения по ним опорных конструкций.

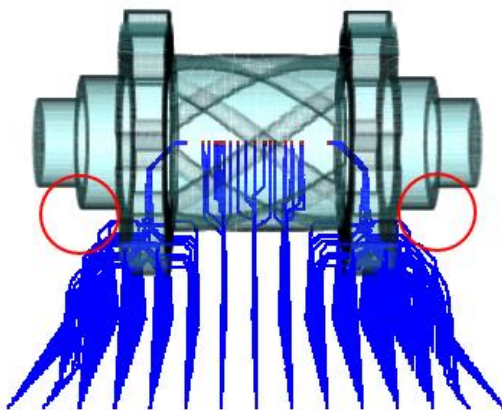


рис. 4 Трёхмерное представление прототипа сложной модели с концентраторами и неполным градиентным построением опоры

Чтобы решить такого типа проблему, разработан алгоритм построения опорных конструкций для моделей сложной формы на основе функционально – воксельного моделирования:

1. Создается градиентный примитив или набор примитивов (из простых моделей). *Градиентный примитив* – это заранее определенный градиентный участок для простого геометрического элемента (рис. 2). Каждый *градиентный примитив* формируется на основании специально подобранного по форме геометрического объекта. Над *градиентными примитивами* можно выполнять следующие операции: создавать, удалять, получать копии, перемещать, масштабировать, поворачивать, устанавливать свойства и др.

Подобранные необходимые *градиентные примитивы* расставляются в пространстве при помощи *R – функционального моделирования* и строится общее *градиентное поле* (рис.5) с заданным параметром шага, по которому будут построены дополнительные опорные конструкции для сложной модели. Красным цветом, как уже было ранее сказано, показаны концентраторы функции, а синим градиентный путь.

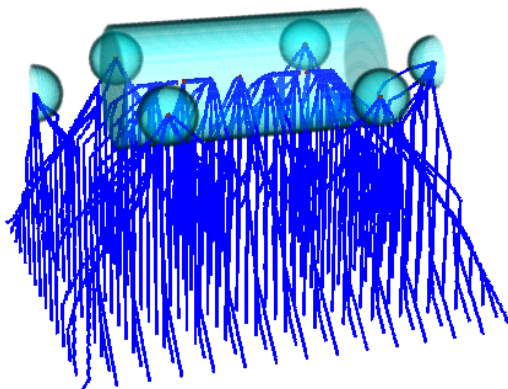


рис. 5 Набор градиентных примитивов для сложного объекта с концентраторами и градиентным полем

2. Геометрические примитивы удаляются со сцены, но сохраняются концентраторы и построенные к ним опорные конструкции. Далее промоделируем сложную модель с заданным параметром шага. Это позволяет рассредоточить по всей сложной модели концентраторы, к которым пойдут градиентные опорные конструкции. В результате получим опорные конструкции для сложной модели прототипа как показано на рис. 6.

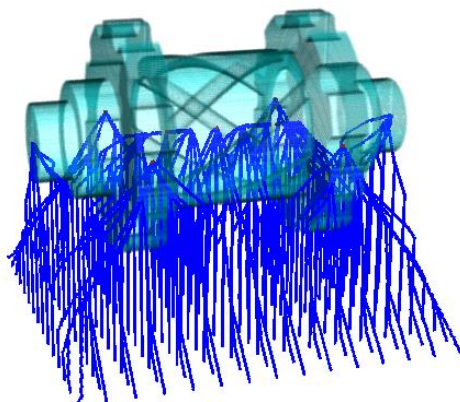


рис. 6 Трёхмерное представление сложного объекта и примитивов с концентраторами и градиентным построением опоры

3. На заключительном этапе выполняется визуализация по заданным параметрам 3D-модели (рис. 7).

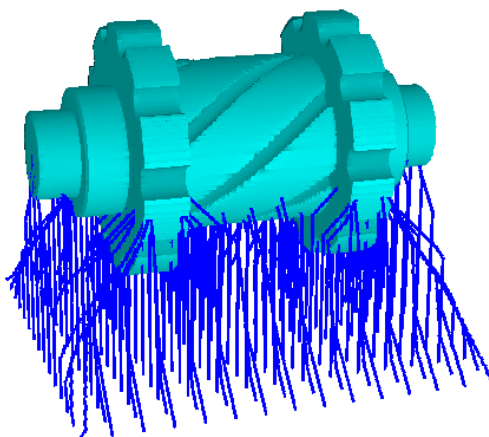


рис. 7 Трёхмерное представление сложного объекта с опорными конструкциями

В результате выполняется построение сложной трехмерной модели прототипа с опорными конструкциями (суппортами), которое не требует описания дополнительной аналитической модели поддержек.

2. Программная реализация модуля моделирования опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей

На основе анализа вышеизложенного алгоритма моделирования опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей и принципах, предлагается программное средство РАНОК – 3D для реализации автоматического построения опорных конструкций для аналитической модели объекта (рис. 8).

Преимуществом подхода является то, что он не требует построения дополнительной аналитической модели, описывающей опорную конструкцию (суппортов). Он использует градиентное движение, автоматически формируя воксельные точки такой конструкции.

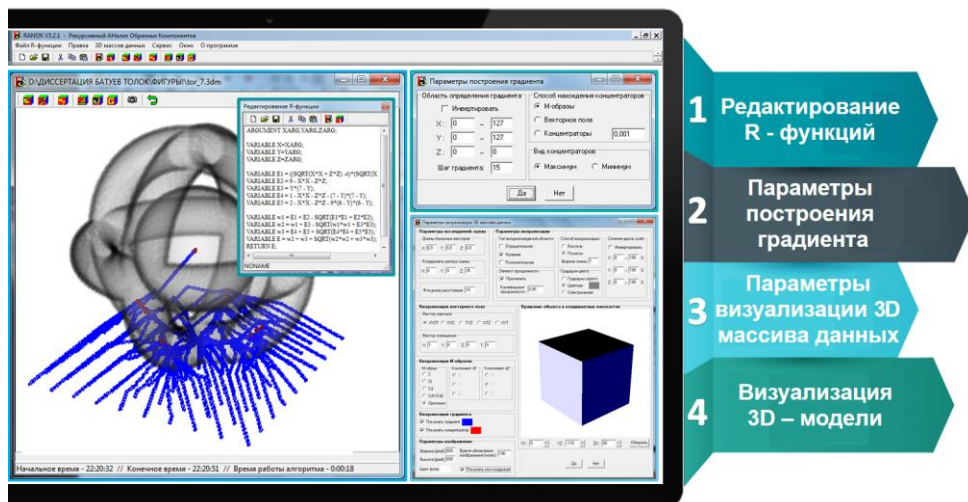


рис. 8 Система моделирования опорных конструкций РАНОК – 3D

Заключение

Активное развитие средств построения аналитических САПР – технологий, определяет актуальность разработки подобных подходов с применением функционально – воксельных моделей для решения таких задач как проектирование опорных конструкций в аддитивных технологиях.

Литература

1. Толлок, А.В. Функционально-воксельный метод в компьютерном моделировании / А.В. Толлок. – Л.: Физматлит, 2016. – 112 с.
2. Tolok A.V. The way of automation of graphics method of the solution of mathematical modeling problems // The 19-th International Conference on Computer Graphics and Vision “GraphiCon’2009”, October 5-9, 2009, P. 313-314.
3. Grigoryev S.N., Tolok N.B., Tolok A.V. Local Search Gradient Algorithm Based on Functional Voxel Modeling // Programming and Computer Software. 2017. Vol. 43, No. 5. С. 300–306.
4. Толлок А.В., Толлок Н.Б. Решение задач математического программирования функционально-воксельным методом // Проблемы управления. 2017. № 3. С. 37-42.
5. Батуев, Е. Р. Исследование процесса моделирования опорных конструкций на основе функционально – воксельных моделей для аддитивных технологий / Е. Р. Батуев, А. В. Толлок // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM – 2017: тр. 17 – ой междунар. конф. – М.: ООО Аналитик, 2017. – С. 158-160