

Переработка алгоритма и программной реализации прототипа дискретного слайсера

*А.Е. Андреев, А.В. Дроботов, И.А. Коптелова,
И.А. Гуцин, В.Г. Кизилов, Н.А. Скрипников*

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В работе рассматривается модификация алгоритма и программной реализации прототипа дискретно-поворотного слайсера для подготовки 3D печати на многоосевых принтерах, позволяющие выполнять подготовку печати для большего числа видов моделей изделий по сравнению с исходными алгоритмом и программным прототипом. Предложен подход, предусматривающий выбор одной из нескольких секущих плоскостей на определенных шагах построения послойной модели. Выполнена переработка программного прототипа. Приведены результаты работы прототипа, показывающие работоспособность предложенного подхода.

Ключевые слова: аддитивные технологии печати, 5-осевой принтер, дискретно-поворотный слайсер, выбор секущих плоскостей, центроидная ось, STL-модель, рефакторинг кода, MAPS, WPF, ускорение вычислений.

Аддитивные технологии производства и прототипирования находят все большее применение в самых разных областях, от машиностроения до строительства и медицины [1-3]. Если раньше FDM 3D печать (с послойным наплавлением материала) все же больше рассматривалась как технология прототипирования, что объяснялось в том числе ограниченными возможностями технологии, относительно низкой прочностью изделий, то сейчас даже эта, наиболее массовая и доступная технология 3D печати, уже рассматривается и как технология производства. Этому способствует и появление новых термопластиков, и добавление армирующих нитей, и изменение самих устройств и способов печати.

К числу новых способов печати можно отнести и увеличение степеней свободы перемещения производимого изделия и инструмента (экструдера), что позволяет значительно расширить возможности такой технологии, в частности – повысить прочность изделий и избавиться от печати поддержек [4]. Одним из инновационных изделий такой многоосевой 3D печати

является 5-осевой принтер компании Stereotech [5]. Для печати изделий на нем необходимо наряду с традиционными программами для подготовки послойной модели изделия (так называемыми слайсерами) разрабатывать альтернативное программное обеспечение. Одним из альтернативных слайсеров является так называемый дискретно-поворотный слайсер, позволяющий строить послойные модели путем изменения ориентации секущих плоскостей на каждом шаге. Данная работа посвящена модернизации одного из методов работы дискретно-поворотного слайсера, предложенного в статье [6].

В целом методика построения послойной модели для дискретно-поворотного слайсера, предложенная в [6], развивает подход, рассмотренный в частности, в работе [7], для технологии лазерного напыления металла. В работе [7] в соответствии с подходом MAPS (Multi-Axis Planning System) предлагается строить сечения с помощью определения центроидной оси (проходящей через центроиды – центры масс в разных сечениях) исходной модели.

В работе [6] описан следующий алгоритм построения послойной модели (для иллюстрации используется рис. 1):

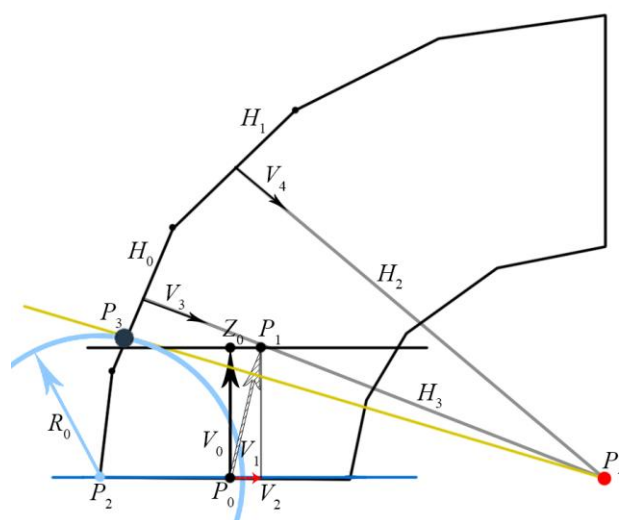


Рис. 1. – Процесс построения секущих плоскостей в работе [6]
(показано фронтальное сечение исходной модели)

1. Определяется базовая плоскость у основания модели.
 2. С помощью базовой плоскости происходит сечение модели.
 3. Определяется точка P_0 , являющаяся центроидом или центром масс получившегося сечения.
 4. Проводится перпендикулярный базовой плоскости вектор V_0 из точки P_0 , который равен выбранной толщине слоя, концом вектора будет точка Z_0 .
 5. В точке Z_0 создается теоретическая плоскость, параллельная базовой плоскости.
 6. Происходит сечение модели по теоретической плоскости.
 7. Определяется точка P_1 - центроид теоретического сечения.
 8. От P_0 до P_1 проводится вектор V_1 .
 9. На базовое сечение проецируется точка P_1 .
 10. От P_0 до проекции P_1 проводится вектор V_2 .
 11. Определяется точка P_2 , на пересечении продолжения вектора V_2 с внешней стенкой модели.
 12. В плоскости вектора V_2 из центра в точке P_2 строится окружность, радиус которой равен максимальной толщине печати.
 13. Точка P_3 будет являться пересечением окружности с внешней стенкой детали.
 14. В центре прямых H_0 и H_1 (внешние стенки модели), проводятся перпендикулярные им вектора V_3 и V_4 .
 15. Проводятся прямые H_2 и H_3 по векторам V_3 и V_4 .
 16. Определяется центр поворота детали P_4 в точке пересечения прямых H_2 и H_3 .
-

17. Из точки P_3 в P_4 проводится прямая, угол между которой и V_2 позволяет определить поворот вектора нормали для новой плоскости сечения.

Таким образом, новая плоскость сечения определяется найденным «центром поворота» детали и точкой P_3 на ее поверхности, они задают поворот вектора нормали для новой секущей плоскости.

По данному алгоритму А.Ю. Поповым был разработан прототип слайсера, который позволял строить приемлемые послойные сечения для одних моделей, но не работал на других, в частности, на моделях с прямыми углами (например, на рис. 2). Можно утверждать, что описанный алгоритм может работать только на моделях с ограничениями на характер центроидной оси и форму модели в целом.

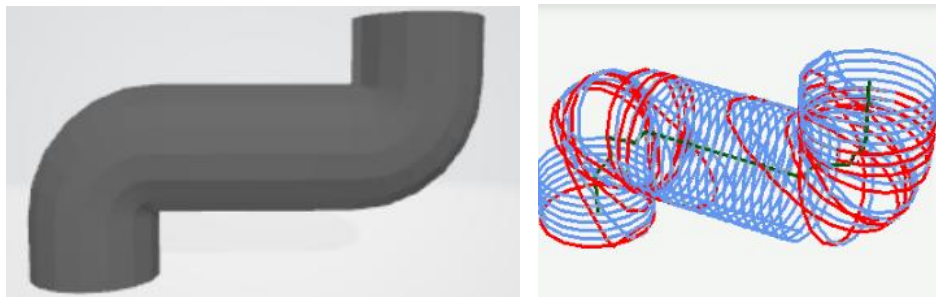


Рис. 2. – Проблемы построения послойной модели (слева – исходная STL модель, справа – результат слайсинга)

Расширить область применимости данного подхода можно, на наш взгляд, достаточно простым способом. Оставаясь в рамках базовой идеи об использовании центроидов текущей и параллельной ей плоскостей сечения (построенной на расстоянии, определяемой толщиной слоя) в качестве начала и конца вектора нормали, задающего направление новой плоскости сечения, можно уточнить направление этого вектора, перебрав несколько вариантов, отличающихся на небольшие значения угла.

Таким образом, предлагается в случае, если вектор, построенный на центроидах P_0 и P_1 отличается по направлению от вектора, построенного на

предыдущем шаге, строить не одну секущую плоскость, а несколько плоскостей под разными, случайно выбранными углами, немного отличающимися от угла для предыдущей плоскости сечения. В каждой из этих плоскостей-кандидатов рассчитывается замкнутый контур пересечения с поверхностью исходной модели и определяется его длина (либо площадь сечения), контур с минимальной длиной или минимальная площадь сечения будут соответствовать одной из плоскостей сечения, которая и будет выбрана на очередном шаге.

Алгоритм построения послойной модели в таком случае может быть следующим (иллюстрируется рис. 3):

1. Производится сечение модели текущей «реальной» плоскостью.
2. По сечению плоскости определяется центростид P_0 .
3. Определяется вектор V_0 – теоретический вектор, его длина равна заданной толщине слоя, конец вектора – точка Z_0 .
4. Создается «теоретическая» плоскость в точке Z_0 , с вектором-нормалью V_0 .
5. Находится сечение модели «теоретической» плоскостью.
6. По точкам контура пересечения «теоретической» плоскости с поверхностью модели определяется центростид P_1 .
7. Строится вектор V_1 от точки P_0 до P_1 .
8. Определяется угол между векторами V_1 и V_0 .
9. Если направления векторов V_1 и V_0 совпадают, строится новая реальная плоскость сечения в точке P_1 по V_1 .
10. Иначе выбирается несколько плоскостей-кандидатов S_i с учетом угла между векторами V_1 и V_0 (в направлении, задаваемом V_1 , но отличающемся от него на небольшие углы с положительным и отрицательным знаком).

10.2 Определяется контур сечения поверхности модели каждой плоскостью-кандидатом.

10.3 Выбирается плоскость с наименьшей длиной контура – новая текущая «реальная» плоскость сечения.

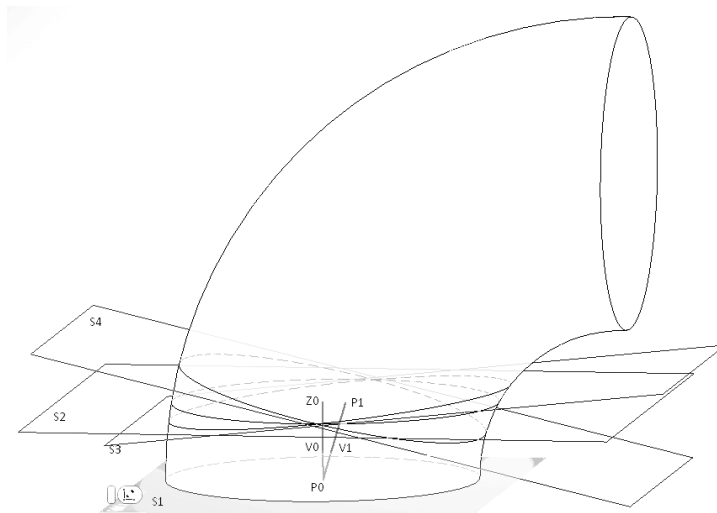


Рис. 3. – Построение секущих плоскостей-кандидатов

Предложенный подход был апробирован в программном прототипе. В качестве основы для него был выбран ранее упомянутый прототип А.Ю. Попова, который представляет собой приложение на языке С#, использующее технологию WPF и одну из геометрических библиотек для платформы .NET. Использование данной платформы обусловлено в том числе тем, что программное обеспечение компании Stereotech для подготовки моделей к печати в основном построено на ней.

Исходный прототип был существенно переработан, проведен рефакторинг кода, в результате которого выделен класс 3D геометрии, ряд классов графических примитивов, проведена переработка расчетных методов (рис. 4), что упростило реализацию прототипа на базе предложенного выше алгоритма.

В результате тестирования прототипа на ряде проблемных моделей получены более приемлемые результаты, что показано на рис. 5. Тем не

менее, видно, что предложенный алгоритм также нуждается в доработке. Помимо устранения собственно разрывов между слоями, возникающих для некоторых моделей, необходимо реализовать построение послойных моделей с разной толщиной слоев в определенных фрагментах модели.

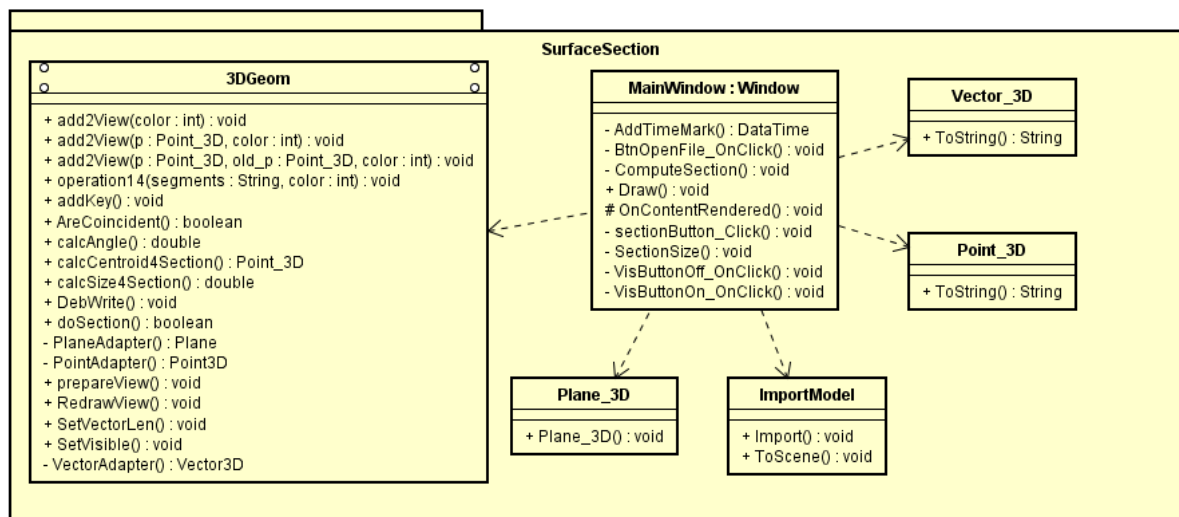


Рис. 4. – Классы программы - прототипа слайсера после рефакторинга

Необходимо также обратить внимание на то, что подбор плоскостей, безусловно, влияет на время выполнения слайсинга и может существенно его увеличить, особенно для моделей сложной формы, для которых подбор будет осуществляться чаще. Для сокращения этого времени можно предложить использование многопоточного и в целом параллельного расчета при анализе плоскостей-кандидатов, однако эффективность такого расчета с точки зрения ускорения вычислений зависит в том числе от используемой геометрической библиотеки и ее многопоточных возможностей [8 - 10].

Предложенный авторами подход и алгоритм в целом показал свою работоспособность, позволяет обрабатывать более сложные модели, хотя и нуждается в доработке и требует внедрения поддержки многопоточности.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90133.

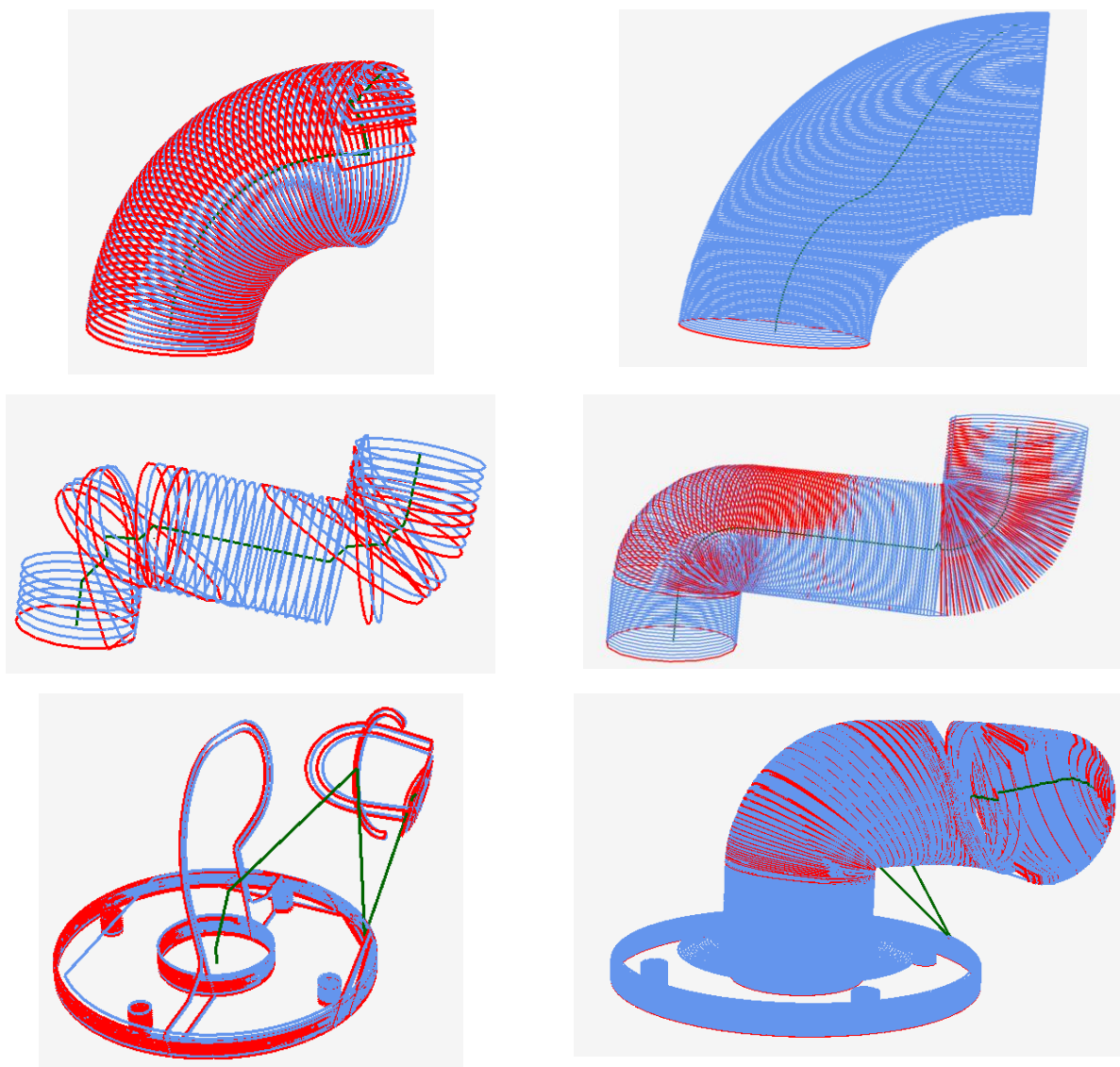


Рис. 5. – Результаты слайсинга проблемных моделей на исходном (слева) и модифицированном (справа) прототипах слайсера

Литература

1. Гончарова О.Н., Бережной Ю.М., Бессарабов Е.Н., Кадамов Е.А., Гайнутдинов Т.М., Нагопетьян Е.М., Ковина В.М. Аддитивные технологии –

динамично развивающееся производство // Инженерный вестник Дона, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3931.

2. Балашов А. В., Маркова М.И. Исследование структуры и свойств изделий, полученных 3D-печатью // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5618.

3. Макаров А.М., Мушкин О.В. Лапиков М.А. Use of additive technologies to increase effectiveness of design and use of a vacuum gripping devices for flexible containers // MATEC Web of Conferences. Vol. 224: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2018 (ICMTME 2018) (Sevastopol, Russia, 10-14 September, 2018) URL: mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/83/mateconf_icmtme2018_01082.pdf.

4. Швец А.А., Дроботов А.В., Гуцин И.А., Авдеев А.Р. Управление 3D принтером с дополнительными степенями свободы // Известия ВолгГТУ. Сер. Прогрессивные технологии в машиностроении. 2017. №9 (204). С. 74-77.

5. Stereotech - 5D Additive Manufacturing // URL: stereotech.org/

6. Попов А.Ю., Гуцин И.А., Дроботов А.В. Model Preparation Algorithm for 3D Printing with Discrete Rotation // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) [Publisher: IEEE], 2019. pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8742958.

7. Frank Liou, Jianzhong Ruan, Todd E. Sparks Multi-Axis Planning System MAPS for Hybrid Laser Metal Deposition Processes URL: researchgate.net/publication/267718640_MultiAxis_Planning_System_MAPS_for_Hybrid_Laser_Metal_Deposition_Processes

8. Чернояров Д.А., Андреев А.Е. Параллельный поиск расстояний между сплайн-поверхностями на основе адаптивных сеток // Вестник СевКавГТИ. 2013. № 14. С. 147-150.

9. Алексеев И.А., Егунов В.А., Панюлайтис С.В., Чекушкин А.А. Методы и средства балансировки нагрузки в неоднородных вычислительных системах // Инженерный вестник Дона, 2020, № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6667 .

10. Anamova R. R., Zelenov S. V., Kuprikov M. Yu., Ripetskiy A. V. Multiprocessing and Correction Algorithm of 3D-models for Additive Manufacturing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Seminar on Interdisciplinary Problems in Additive Technologies. Tomsk. Institute of Physics Publishing. 2016. 140 (1). Art. № 012003.

References

1. Goncharova O.N., Berezhnoy Yu.M., Bessarabov E.N., Kadamov E.A., Gaynutdinov T.M., Nagopet'yan E.M., Kovina V.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3931.

2. Balashov A. V., Markova M.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5618.

3. Makarov A.M., Mushkin O.V. Lapikov M.A. MATEC Web of Conferences. Vol. 224: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2018 (ICMTME 2018) (Sevastopol, Russia, 10-14 September 2018) URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/83/matecconf_icmtmte2018_01082.pdf.

4. Shvets A.A., Drobotov A.V., Gushchin I.A., Avdeyev A.R. Izvestiya VolgGTU. Ser. Progressivnyye tekhnologii v mashinostroyenii. 2017. №9 (204). pp. 74-77.

5. Stereotech - 5D Additive Manufacturing URL: stereotech.org/

6. Popov A.Yu., Gushchin I.A., Drobotov A.V. 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). [Publisher: IEEE], 2019. pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8742958.



7. Frank Liou, Jianzhong Ruan, Todd E. Sparks Multi-Axis Planning System MAPS for Hybrid Laser Metal Deposition Processes
URL:researchgate.net/publication/267718640_MultiAxis_Planning_System_MAPS_for_Hybrid_Laser_Metal_Deposition_Processes

8. Chernoyarov D.A., Andreyev A.E. Vestnik SevKavGTI. 2013. № 14. pp. 147-150.

9. Alekseyev I.A., Egunov V.A., Panyulaytis S.V., Chekushkin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 11. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6667

10. Anamova R. R., Zelenov S. V., Kuprikov M. Yu., Ripetskiy A. V. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Seminar on Interdisciplinary Problems in Additive Technologies. Tomsk. Institute of Physics Publishing. 2016. 140 (1). Art. № 012003.