

Печать по воздуху: FDM печать без поддержек

Автор перевода:
Грушко Александр

Джанфранко Фаццини

Отдел исследований и разработок для передовой 3D-печати

Советы ООО

Коллекорвино, Италия
info@3dprn.it

Паола Паолини

Отдел исследований и разработок для передовой 3D-печати

Советы ООО

Коллекорвино, Италия
info@3dprn.it

Ромина Паолуччи

Отдел исследований и разработок

Антарес Инновации

Л'Акуила, Италия

antareinnovationsrsls@gmail.com

Даниэла Чиулли

Отдел исследований и разработок

Антарес Инновации

Л'Акуила, Италия

antareinnovationsrsls@gmail.com

Джанлука Бариле

Кафедра промышленной и информационной инженерии, Университет Л'Акуилы

Л'Акуила, Италия

gianluca.barile@graduate.univaq.it

Альфьери Леони

Кафедра промышленной и информационной инженерии, Университет Л'Акуилы

Л'Акуила, Италия

alfiero.leoni@graduate.univaq.it

Мирко Муттильо

Кафедра промышленной и информационной инженерии, Университет Л'Акуилы

Л'Акуила, Италия

mirco.muttillio@graduate.univaq.it

Леонардо Пантоли

Кафедра промышленной и информационной инженерии, Университет Л'Акуилы

Л'Акуила, Италия

leonardo.pantoli@univaq.it

Джузеппе Ферри

Кафедра промышленной и информационной инженерии, Университет Л'Акуилы

Л'Акуила, Италия

giuseppe.ferri@univaq.it

Аннотация— Способность работать без опор — важнейший фактор достоинства аддитивного производства или процесса 3D-печати. Здесь мы представляем пользовательскую процедуру и алгоритм для 3D-печати без использования какой-либо опорной структуры: чтобы избежать поддержки на этапе осаждения, экструдер принтера должен следовать подробному пути, который в то же время является частью реализованного 3D-объекта, а также в состоянии выдержать следующий отложенный материал. Предложенный подход можно применить к любому объекту, в том числе к длинным мостам и выпуклым поверхностям. Тестовые объекты, реализованные с помощью предлагаемого метода, сообщаются и оцениваются, чтобы показать функциональность и применимость метода в любых условиях.

Ключевые слова: аддитивное производство, 3D-печать, опоры, FDM.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время реализация трехмерных объектов может осуществляться как с помощью «субтрактивных», так и «аддитивных» методов. Как правило, методы вычитания известны как «традиционные». В субтрактивной технике трехмерные объекты получают путем вырезания или выемки материала из более крупной формы. Наиболее распространенными технологиями этого типа являются станки с числовым программным управлением или лазерная резка. С другой стороны, аддитивное производство позволяет создавать объект путем наложения нескольких слоев одного и того же материала или разных материалов. На самом деле методы аддитивного производства или 3D-печати классифицируются в зависимости от процедуры нанесения слоев.

Основными преимуществами 3D-печати являются:

- Избегание использования пресс-форм или оборудования (как правило, невозможно в субтрактивном производстве);
- Сокращение отходов, снижение стоимости и загрязнения окружающей среды;
- Большое разнообразие рабочих материалов, которые можно использовать, от пластмасс до металлов.

Технологии 3D-печати сегодня хорошо зарекомендовали себя как ценные инструменты для прототипирования и аддитивного производства, и они вызывают растущий интерес исследователей во всем мире [1-7]. На самом деле, многие технологии 3D-печати все еще страдают некоторыми техническими ограничениями, такими как качество реализованного объекта, которые влияют на производительность и возможности качества на рынке, но усилия коммерческих производителей и академических исследователей постепенно преодолевают эти ограничения. В результате деятельность 3D-печати постоянно расширяет спектр своего применения, и ожидается, что эта положительная перспектива сохранится вплоть до так называемой умной фабрики, где производство полностью основано на 3D-принтерах. На самом деле, сегодня, благодаря высокому уровню прогресса, достигнутому как в сенсорно-интерфейсной [8-11], так и в архитектуре на основе микроконтроллеров, в коммерческих принтерах можно в короткие сроки изготавливать реалистичные объекты, не требующие дальнейшей доводки. В качестве дальнейшего сравнения с элементами с классическими производственными линиями, аддитивное производство поглощает меньше энергии субтрактивного производства, что является ключевым моментом для производителей. 3D-принтеры, использующие технологию плавного наплавленного материала (FDM), могут создавать объект, нанося слой за слоем, снизу вверх, нагревая и экструдировав использованную термопластичную нить. Процесс можно обобщить следующим образом: аддитивное производство поглощает меньше энергии субтрактивного производства, что является ключевым моментом для производителей. 3D-принтеры, использующие технологию плавного наплавленного материала (FDM), могут создавать объект, нанося слой за слоем, снизу вверх, нагревая и экструдировав использованную термопластичную нить. Процесс можно обобщить следующим образом: аддитивное производство поглощает меньше энергии субтрактивного производства, что является ключевым моментом для производителей. 3D-принтеры, использующие технологию плавного наплавленного материала (FDM), могут создавать объект, нанося слой за слоем, снизу вверх, нагревая и экструдировав использованную термопластичную нить. Процесс можно обобщить следующим образом:

- Подготовка объекта и установки: специальное программное обеспечение для анализа объектов определяет способ нанесения слоев (нарезку) и рассчитывает траекторию экструдера для экструзии термопластика и необходимого вспомогательного материала, если существует риск обрушения материала.
- Производство: 3D-принтер нагревает нить материала и укладывает ее в виде крошечной змейки вдоль рассчитанной траектории экструзии. Там, где необходима поддержка, 3D-принтер наносит съемный материал, который служит опорной конструкцией. Вспомогательный материал может быть таким же, как и производственный материал.
- Фаза удаления подложки: В зависимости от используемого подложки материал подложки необходимо вырезать или растворить в моющем средстве.

Технология FDM приобретает все большее значение на рынке благодаря большому количеству приложений [12-21], а также материалов для печати. В частности, благодаря большому количеству печатаемых материалов и функциональности опор технология FDM позволяет с легкостью печатать объекты, и могут быть достигнуты самые разнообразные физические свойства, такие как гибкость, ударопрочность/сжатие/растяжение, термостойкость даже до электропроводности. Как правило, конечный объект, выходящий из 3D-печатной машины, не нуждается ни в окончательной обработке, ни в очистке, ни в необходимой шлифовке с использованием различных технологий, но это верно только в том случае, если опоры не использовались на этапе производства.

Если нет, удаление поддержки необходимо, и в этом смысле введение на рынок растворимых в воде термополимеров (ПВС), предназначенных специально для создания структур поддержки для реального прототипа, позволяет полностью отказаться от этапа постобработки изделия после печати.

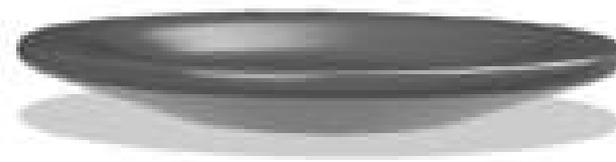
Одним из остающихся текущих ограничений технологии 3D-печати FDM является полное отсутствие пористости, в том числе из-за удаления поддержки, и внутренние опоры объекта, недоступные решателю. Способность работать без поддержки является наиболее важным фактором качества в аддитивном производстве или процессе 3D-печати. Мы представляем пользовательскую процедуру и алгоритм для 3D-печати FDM без использования какой-либо опорной конструкции. Чтобы избежать опор во время фазы осаждения, экструдер принтера должен следовать подробному пути, рассчитанному срезам программного объекта. Наносимый материал одновременно является частью реализуемого 3D-объекта и также способен поддерживать следующий наносимый материал. Предложенный подход можно применить к любому объекту, в том числе к длинным мостам и выпуклым поверхностям.

II. ПОДДЕРЖКА 3D ПЕЧАТИ И ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

В стандартной технике FDM-печати каждый слой наносится в виде набора нагретых нитей, которые прилипают к материалу, уже нанесенному под ним или вокруг него. Каждая фаза осаждения печатается со смещением относительно предыдущего слоя. С помощью этого метода можно печатать объект частью материала без опоры под углом примерно 45°, что позволяет отпечаткам расширяться за пределы ширины предыдущего слоя. Когда объект проектируется с выступом более 45°, ему требуется поддерживающий материал, чтобы удерживать его.



(а)



(б)

Рис. 1. а) Объект с выступом менее 45°, где опора обычно не требуется, и б) Объект с выступом более 45°, где необходимы опоры.

На Рисунке 1 ситуация резюмирована: На Рисунке 1а показан объект с выступом менее 45 градусов, где опора обычно не требуется, а на Рисунке 1б объект с выступом более 45°, где необходимы опоры. Существует два типа подложек: нерастворимая, или стандартная, и растворимая. Нерастворимую удаляют вручную, а вторую, как правило, в ПВС, растворяют в ацетоне. Опоры являются актуальной проблемой не только для технологии FDM, но и для других 3D-технологий, таких как стереолитография (SLA). Объект, подлежащий печати, должен быть нарезан для того, чтобы максимально уменьшить поддержку [2], как показано на рисунке 2. Поддержка, то есть увеличение времени печати, увеличение потерь материала, создание пористости на поверхности печати, а также увеличение время на этапе постпродакшна.

Почти все коммерческие программы для нарезки дают, среди прочего, возможность выбирать, ставить ли опору для удерживания наносимых частей 3D-объекта, а также возможность выбрать, в соответствии с потребностями, максимальный угол консоли, превышение которого опоры будет сгенерировано. В зависимости от выбранного вами слайсера объем вспомогательного материала может различаться. Одним из ограничений использования поддержки в FDM-печати является то, что всегда требуется постобработка, что иногда приводит к повреждению поверхности, соприкасающейся с поддержкой. Другая проблема заключается в том, что слои, напечатанные на подложке, будут менее совершенными, так как подложка будет немного менее стационарной, чем твердые слои.

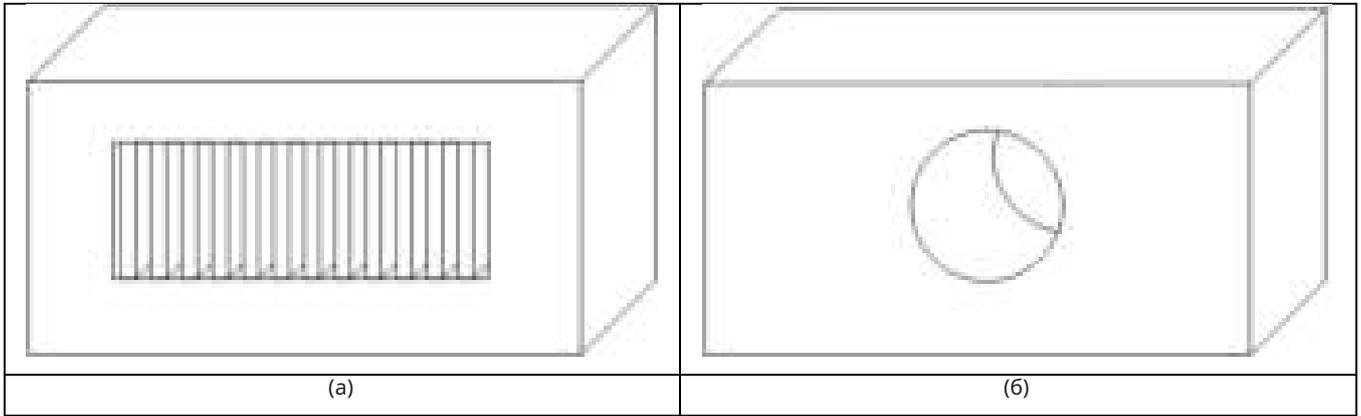


Рис. 2: а) объект с опорой, б) объект без опоры.

Несколько раз опоры не могут быть удалены или их слишком сложно удалить, как в случае с небольшими объектами или вогнутыми тесными объемами, без разрушения самого объекта. Кроме того, поддержка требует дополнительных печатных материалов и, следовательно, требует дополнительных затрат. Таким образом, отсутствие поддержки приведет к лучшему качеству объекта и сокращению времени производства.

В литературе был предложен некоторый метод для 3D-печати FDM без поддержки [22]. Здесь мы предложили упрощенный подход, заключающийся в том, что во время фазы осаждения материал выдавливается в точках, где нет поддержки, с процентным содержанием вакуума от 30% до 80%, нанесенным на уже нанесенный материал. В нашем подходе, когда происходит подрез на Z0 и экструдер достигает этого уровня, алгоритм работает следующим образом:

- Рассчитайте сечение тела, предшествующее поднутрению, до $Z1 = Z0 - H_{\text{layer}}$ (где H_{layer} — минимальная высота наплавленного слоя). Этот раздел называется sectA .
- Вычислите сечение твердого тела в точке Z0. Это сечение называется sectB .
- Вычислите разность полилиний $\text{sectC} = \text{sectB} - \text{sectA}$. Эта полилиния представляет собой границу поднутрения.
- Создает последовательность полилиний со смещением от sectA и получает список полилиний (listOffsetSezA). Смещения будут рассчитываться для шагов, меньших, чем ширина выдавливания, до тех пор, пока оно не достигнет ограничивающей рамки твердого тела. Шаги смещения таковы, что каждое выдавливание будет упираться в предыдущее на очень маленькую долю миллиметра. Во время фазы осаждения в общем направлении необходимо точечное охлаждение материала с помощью микровентиляторов, чтобы облегчить затвердевание материала и избежать разрушения.

- Вычислить пересекающиеся полилинии между раздел B и listOffsetSezA . Эти полилинии являются путями, которые должны быть сделаны, чтобы сделать область поднутрения. Наконец, для внешних периметров, которые рисуются в конце, делается отрицательное смещение.
- Полученные траектории создаются со скоростью экструдера принтера и скоростью охлаждающего вентилятора, так что каждая экструдированная полилиния поддерживается предшествующей ей. (см. рис. 3).

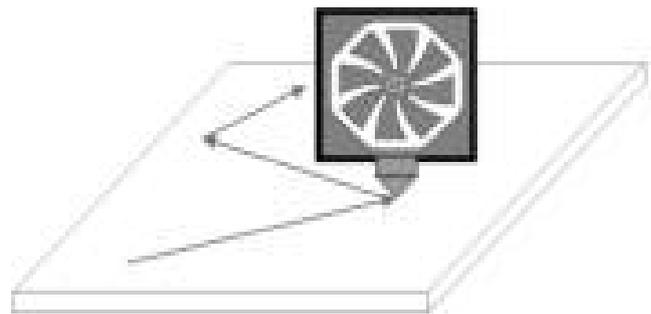


Рис. 3. Движения экструдера в предлагаемом способе печати без опор

В качестве практического примера предлагаемый метод был применен к 3DPRN-принтеру H5 [21], показанному на рисунке 4. Общий объект с консольными частями под углом 90° (см. рисунок 5a и рисунок 5b) был спроектирован и напечатан без какой-либо поддержки. На рис. 6 показан результат печати объекта вывода. На рисунке 6 можно увидеть путь экструдера на этапе осаждения, а также качество печатного материала. Другой практический пример показан на рис. 7. Также в этом случае предлагаемый метод позволяет печатать объект без какой-либо поддержки, что обеспечивает быстрое и универсальное нанесение материала.



Рис. 4. FDM-принтер 3Dprn LAB H5.

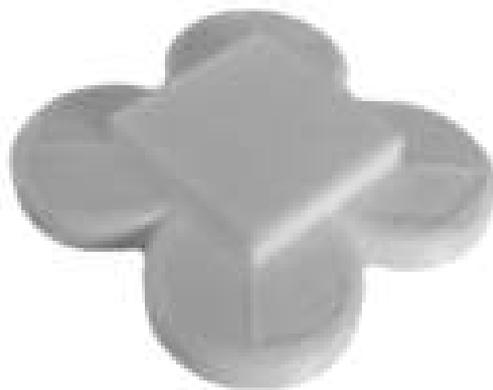


Рис. 6. Вид снизу на печатную опору без объекта.



а)



б)

Рис. 5. Опорный свободный объект а) общий вид, б) вид спереди.



Рис. 7. Второй пример печатного объекта без опоры.

III. ВЫВОДЫ

В этой работе мы представили собственный метод 3D-печати FDM без использования какой-либо опорной конструкции. Этот метод прост и использует только определенный путь экструдера, называемый «V-образный путь». Предложенный подход можно применить к любому объекту, в том числе к длинным мостам и выпуклым поверхностям. Разработан и представлен тестовый объект.