

В.В. АЛЕКСАНДРОВ, В.В. АЛЕКСАНДРОВА, А.А. ЗАЙЦЕВА, С.П. ХУРС
**ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 3D ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Александров В.В., Александрова В.В., Зайцева А.А., Хурс С.П. Цифровая технология 3D промышленного производства.

Аннотация. В статье исследуются вопросы, посвященные технологиям быстрого прототипирования, анализируются области применения технологии 3D промышленного производства. Рассмотрены преимущества и недостатки использования трехмерных принтеров и сканеров.

Ключевые слова: 3D принтер, 3D сканер, формат STL, технология быстрого прототипирования.

Alexandrov V.V., Alexandrova V.V., Zaytseva A.A., Khurs S.P. Digital technology of 3D industrial manufacturing.

Abstract. The paper considers issues of quick prototyping technologies, the application areas for 3D industrial manufacturing are being analyzed. Advantages and disadvantages of 3 dimensional usage are discussed.

Keywords: 3D printer, 3D scanner, STL format, rapid prototyping technology.

1. Введение.

Благодаря бурному развитию технологий стало возможным моделирование непосредственно компьютером 3D-представления объекта, которое не опирается на психофизиологические свойства разума, например 3D-принтеры с помощью технологии быстрого прототипирования воспроизводят твердотельные пространственные объекты. Скульптуры, конструкторские детали, различные предметы выращиваются, собираются в единое целое, в отличие от привычной технологии «отсечения лишнего», используемой, например, скульпторами. Это явный качественный скачок промышленной цифровой программируемой технологии трехмерного твердотельного компьютерного моделирования.

Дальнейшее развитие технологий промышленного производства привело к появлению возможности копирования трехмерных объектов как технологических, так и художественных. Для этого используется взаимосвязанная цепочка 3D сканер — системы объектного когнитивного программирования — 3D принтер (рисунок 1). Высокая стоимость оборудования не дает возможности повсеместного использования 3D принтеров и технологий быстрого прототипирования, например, на производстве, но позволяет значительно экономить время и трудозатраты при изготовлении прототипов и моделей. Так, достовер-

ное, с высокой детализацией и цветом, цифровое представление — 3D-визуализация объектов — применяется для документирования и архивации, реконструкции и реставрации, сохранения исторических монументов и археологических находок [1].

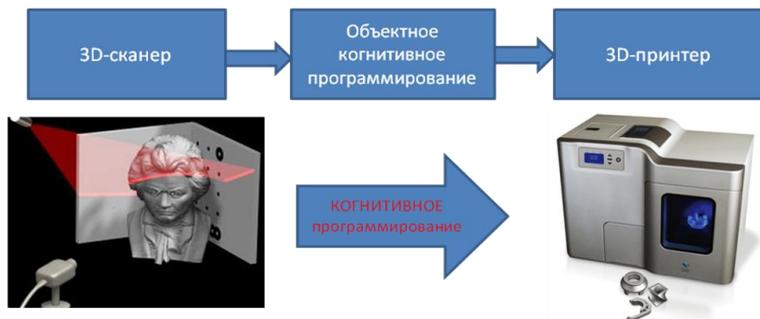


Рис. 1. Концептуальная схема системы когнитивного программирования.

При трехмерном сканировании, в зависимости от возможностей и разрешения 3D сканеров, возникает проблема точного воспроизведения сканируемого прототипа.

2. Обзор технологий быстрого прототипирования

Трехмерная печать позволяет создавать твердотельные объекты из различных материалов, таких как пластик, порошки металла, керамики, фотополимерные и биоматериалы и др. В настоящее время производители 3D-принтеров работают над возможностью печати одновременно формы и содержания, например, корпуса и электронной «начинки» различных электронных устройств.

Согласно [2, 3], при создании прототипа изделие проходит следующие этапы:

1. Разработка твердотельной модели или модели с замкнутыми поверхностными контурами.

2. Экспорт 3D-модели в стандартные форматы для 3D-печати, такие как STL, WRL (VRML), PLY, 3DS и ZPR, при помощи программного обеспечения: 3D Studio Max®, MicroStation®, 3DStudio Viz®, Mimics®, Alias®, Pro/ENGINEER, AutoCAD® или Raindrop GeoMagic®, SolidWorks®, Rapidform® и другие.

3. Подготовка к печати:

- разбиение на тонкие слои в поперечном сечении (при этом толщина каждого слоя соответствует разрешающей способности оборудования по z-координате);
 - построение системы поддержки на элементы, крепление которых происходит в верхних слоях.
4. Вывод подготовленных данных на печать.
 5. Послойная печать физического прототипа.

3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта.

Применяются две принципиально разные технологии трехмерной печати: лазерная и струйная. В рамках лазерной технологии печати различают стереолитографию (StereoLithography или SLA), технологию лазерного спекания порошковых материалов (Selective Laser Sintering – SLS) и ламинирование (Laminated Object Manufacturing).

Струйная печать включает в себя следующие технологии:

- Послойное наложение расплавленной полиномиальной нити (Fused Deposition Modeling – FDM).
- Полимеризация фотополимерного пластика под действием ультрафиолетовой лампы. Имеется три разновидности технологии, запатентованные различными фирмами: Multi-Jet Modeling (MJM, компания 3D Systems), PolyJet (photopolymer jetting, компания Objet Geometries), и DODJet (Drop-On-Demand-Jet, компания Solidscape).
- Склеивание или спекание порошкообразного материала.

Основные характеристики существующего оборудования для быстрого прототипирования сведены в таблицу, которая позволяет классифицировать 3D-принтеры по ограничениям, связанным с технологией печати, и по быстродействию.

3. Области применения и перспективы развития

Несмотря на наблюдаемый в данный момент повышенный интерес к технологии 3D -репликации (основной всплеск количества публикаций по этой теме наблюдался в 2005–2007 годах), основное ее развитие идет по пути развития аппаратных средств, повышения разрешающей способности 3D -принтеров и 3D -сканеров.

Сравнительные характеристики технологий трехмерной печати

| | Лазерная технология печати | | Струйная технология печати | |
|---|----------------------------|--|---|--|
| | Стереолитография SLA | Лазерное спекание SLS | Послойное наложение расплавленной нити FDM | Полимеризация под действием УФ MIM, PolyJet, DODJet |
| Фирма-производитель* оборудования | 3D Systems | 3D Systems | Interlitek | 3D Systems (MIM) Object Geometries (PolyJet) Solidscare (DODJet) |
| Моделирующий материал | фотополимер | Порошок легкосплавного пластика, металла, керамики | Тонкие листы пластика, керамики, металлическая фольга | Фотополимерный пластик различных типов и цветов |
| Толщина печатного слоя, мм | 0,02 – 0,15 | 0,08 – 0,15 | 0,168 | Порядка 0,016 |
| Скорость печати | 3,5 – 5 мм/час | 10–15 мм/час | — | До 20мм в час |
| Формат входного файла печати | STL, SLC | STL | STL | STL, ODL и SLC |
| Максимальный объем объекта при печати, мм | 650×750×550 | 550×550×750 | 160×201×135 | 500×400×200 |
| | | | 914×609×914 | 203×254×203 254×381×203 |

* Наиболее широко распространенная марка оборудования, работающего по данной технологии

При этом точности построения (восстановления) виртуального объекта уделяется меньше внимания, несмотря на то, что данный этап является связующим между получением множества вокселей (точек в трехмерном пространстве) и формированием «твердой копии» объекта.

Проблема состоит в различии технологии представления элементарных точек при сканировании и печати, что соответственно порождает различные способы представления данных, получаемых со сканера и требующихся для работы принтеру.

Отсканированный объект формируется путем последовательного замера расстояний от сканирующей головки до объекта, что формирует множество точек, принадлежащих поверхности объекта (облако точек). При этом в это множество не попадают точки, оказавшиеся в «теневой области», то есть оказавшиеся на пути сканирующего луча и закрытые другими фрагментами сканируемого объекта, а также точки, определяющие локальные особенности поверхности, но не учтенные в связи с ограниченной разрешающей способностью сканирующей системы [4].

В свою очередь, принтер требует для работы входные данные, представленные в формате STL (расшифровывается как STereoLithography), представляющем список треугольных граней, описывающих его поверхность. STL — это «мозаичный» формат, в котором для представления формы цифровой 3D-модели используется последовательность треугольников (фасетов). Трехмерная геометрия в ведущих 3D CAD-системах описывается поверхностями высокого порядка, а при триангуляции поверхность модели разбивается на маленькие треугольники. Каждый фасет описывается четырьмя наборами данных: координаты XYZ каждой из трех вершин и нормальный вектор, который описывает ориентацию фасета.

На рисунке 2 приведена визуализация трехмерных объектов в формате STL: сетка из треугольников определяет контуры объекта, с наложенной на них текстурой, которая отражает «реальный» вид объекта.

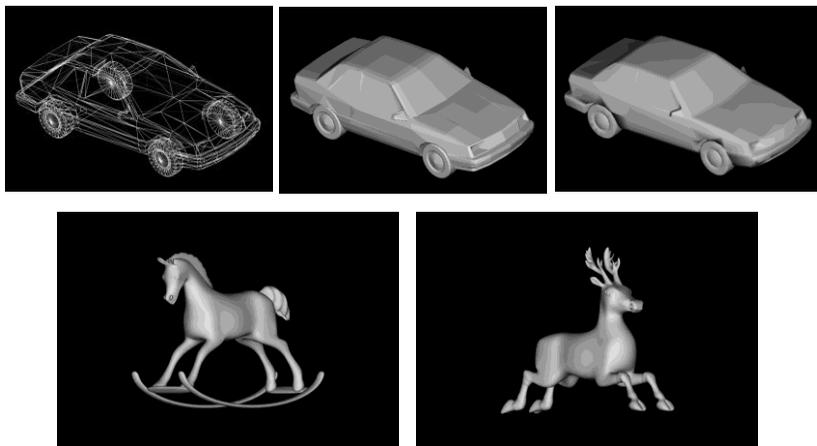


Рис. 2. Визуализация трехмерных объектов в формате STL.

Процесс перевода описания виртуального 3D-объекта, представленного в виде множества принадлежащих его поверхности вокселей, в описание поверхности в виде треугольных граней схож с задачей векторизации изображения и не всегда может дать однозначный и удовлетворительный результат.

С учетом описанных сложностей можно выделить следующие области научной, экономической и художественной деятельности человека, в которых использование систем когнитивного программирования обосновано и актуально:

- творчество (скульптура, архитектура, ландшафты, светозвуковые лазерные инсталляции);
- промышленное производство (оптимизация стоимости энергетики, разработка новых видов технологии, судо- и кораблестроение, космическая промышленность, робототехника, высокоточные производства);
- живые организмы и биотехнические системы (воспроизводство биологических объектов, реплицирование, виртуализация – томография, лазерное, радарное сканирование трехмерного видения объекта).

4. Заключение

Анализ современных технологий быстрого прототипирования показал, что на сегодняшний день существуют уникальные возможности «печати» сложнейших механизмов, в том числе автомобиля. Реализа-

ция этих возможностей связана с цифровой технологией управления материальными частицами в объемной среде принтера, где и осуществляется полимеризация, определяющая свойства воспроизводимого объекта. Для эффективной работы необходимо согласование компьютерной модели через универсальный язык с промышленной технологией 3D-воспроизводства.

По примеру развития систем трехмерного компьютерного моделирования пространственных объектов, в которых постоянно обновляется палитра инструментов, для каждого направления промышленных 3D принтеров необходимо разрабатывать программные прототипы воспроизводства типовых трехмерных материальных объектов.

Наша задача заключается в разработке механизмов взаимодействия между компьютерным моделированием объектов и их реализацией (в рамках системы объектного когнитивного программирования). Необходимо реализации унифицированного процесса трехмерного моделирования при прохождении всех стадий от сканирования трехмерных объектов до получения конкретного объекта посредством 3D-принтера.

Литература

1. *Александров В.В., Сарычев В.А.* DIGITAL AVATAR – Цифровое воплощение инфокоммуникационных систем — Журн. «Информационно-измерительные и управляющие системы», №7, т.8, 2010. — С. 3–10.
2. *Татарников О.* Атака клонов! 3D-сканирование и трехмерная печать // Журн. «Компьютерпресс», №7, 2003 С. 9–14.
3. *Афанасьев К.* 3D-принтеры. — <<http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/print/print/>>
4. *Voppana V. Chowdary, Divesh R. Sahatoo, Raj Bhatti.* Some STL File Generation Issues in Rapid Prototyping // Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2007) “Developing Entrepreneurial Engineers for the Sustainable Growth of Latin America and the Caribbean: Education, Innovation, Technology and Practice”, 29 May – 1 June 2007, Tampico, México.

Александров Виктор Васильевич — докт.техн.наук, профессор, заслуженный Деятель науки и техники РФ, заведующий лабораторией автоматизации научных исследований Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: программируемая технология, инфологические информационные системы, обработка данных. Число научных публикаций — 300. alexandr@iias.spb.su, www.sial.iias.spb.su; СПИИРАН, 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)323-5139, факс +7(812)328-4450.

Александрова Валерия Викторовна — канд. пед. наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. Область научных интересов: компьютерное моделирование и симуляция трехмерных тел, фигур и сцен. Число научных публикаций — 50.

alexandr@iias.spb.su; РГПУ им. А.И. Герцена, набережная реки Мойки, д.48, Санкт-Петербург, 191186, РФ.

Зайцева Александра Алексеевна — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории автоматизации научных исследований Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: обработка данных, технологии трехмерной печати, быстрого прототипирования, адаптивно-динамическая сегментация видеоданных. Число научных публикаций — 20. cher@iias.spb.su, www.sial.iias.spb.su; СПИИРАН, 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)323-5139, факс +7(812)328-4450.

Рекомендовано лабораторией автоматизации научных исследований, заведующий лабораторией Александров В.В., д-р техн. наук, проф.

Статья поступила в редакцию 24.12.2010.

РЕФЕРАТ

Александров В.В., Александрова В.В., Зайцева А.А., Хурс С.П.

Цифровая технология 3D промышленного производства.

Благодаря бурному развитию технологий стало возможным моделирование непосредственно компьютером 3D-представления объекта, которое не опирается на психофизиологические свойства разума, например 3D-принтеры с помощью технологии быстрого прототипирования воспроизводят твердотельные пространственные объекты. Дальнейшее развитие технологий промышленного производства привело к появлению возможности копирования трехмерных объектов, как технологических, так и художественных. Для этого предлагается использовать взаимосвязанную цепочку: 3D сканер — системы объектного когнитивного программирования — 3D принтер.

Процесс перевода описания виртуального 3D-объекта, представленного в виде множества принадлежащих его поверхности вокселей (точек в трехмерном пространстве), в описание поверхности в виде треугольных граней схож с задачей векторизации изображения и не всегда может дать однозначный и удовлетворительный результат.

По примеру развития систем трехмерного компьютерного моделирования пространственных объектов, в которых постоянно обновляется палитра инструментов, для каждого направления промышленных 3D принтеров необходимо разрабатывать программные прототипы воспроизводства типовых трехмерных материальных объектов.

SUMMARY

Alexandrov V.V., Alexandrova V.V., Zaytseva A.A., Khurs S.P. **Digital technology of 3D industrial manufacturing.**

Due to fast growth of technology it is becomes possible to model directly by a computer of 3D object representation which is not based on psycho and physiology properties of mind. As an example, 3D printers are capable to reproduce solid dimensional objects by fast prototyping technology. The further development of industrial manufacturing had enabled the ability to copy three dimensional objects of technology and art. The linked chain of 3D scanner — cognitive programming environment — 3D printer is proposed for implementation. The problem is in differences of spatial samples representation on scanning and printing stages. The process of translation of dimensional points to triangle surfaces is not always gives distinct satisfying result. As a computer 3D modeling applications are continuously developing their tool palettes the 3D industrial printers are need to develop new program prototypes for typical material objects representations.