

**ТЕХНОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО ИМИТАЦИОННОГО  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ****В. В. Александров, В. В. Александрова, А. А. Зайцева (Санкт-Петербург)****Введение**

Мир образов доставляется идеей (или формой), которая ограничивает бесконечное, осуществляя «вписывание» образа в упорядоченный семантический, смысловой ряд. Однако биологический разум порождает несуществующие химеры, невозможные в физическом пространстве фигуры: «лента Мебиуса», «лестница Эшера» и другие [1], строит абстракции субстанциональности точки, числа, бесконечности и т.д. На протяжении последних 50 лет наблюдается научно-технологическое переоснащение. Биологическое время накопления знаний в прошлые века соответствовало времени существования неизменных технологических циклов. В то же время научная фантастика пытается примирить высокий темп накопления узкоспециализированных научных знаний, распространяя их на социальную реальность. Это один из видов переосмысления консервативности мышления общественного сознания.

Все эти знания, «врожденные идеи» – эксклюзивные качества биологического разума человека. Для электронного разума – это лишь увеличение разрешения, скорости обработки, передачи и архивации без возможностей интеллектуального и семантического поиска [2]. Для биологического – видение и понимание – единый процесс многофункциональности «интеллектуальной оптики».

На рис. 1 приведены структурные составляющие цифровой технологии объемного когнитивного программирования сложных пространственных форм. Каждая из этих составляющих имеет собственную технологическую специфику оборудования (hardware). Его высокая на сегодняшний день стоимость, конечно, ограничивает применение 3D-принтеров и 3D-сканеров. Проблема же в большей степени в профессиональной специфике интеграции и совместимости программных интерфейсных продуктов для 3D-сканирования, объектного когнитивного программирования (творческий процесс) и построения сложных объемных пространственных форм, учитывающих специфику твердотельного воспроизводства.

Несмотря на универсальность структуры, для каждого типа технологического воспроизводства конечного результата возникает проблема взаимной адаптации оборудования.

Развитие цифровых технологий привело к возможности сканирования объемных трехмерных объектов, компьютерного 3D-моделирования, которое опирается на психофизиологические творческие свойства разума (фантазмы) при воспроизводстве твердотельных пространственных объектов.

Скульптуры, конструкторские детали, различные предметы выращиваются, собираются в единое целое, в отличие от традиционной технологии «отсечения лишнего» [3].

Это явный качественный скачок промышленной цифровой технологии когнитивного программирования объемного компьютерного моделирования. В отличие от традиционных методов программирования, опирающихся на специфические языки и операционную систему компьютера, когнитивное программирование опирается на развитый интерфейс цифровых технологий, перенося неформализуемый творческий процесс в цифровую форму протоколов и форматов.

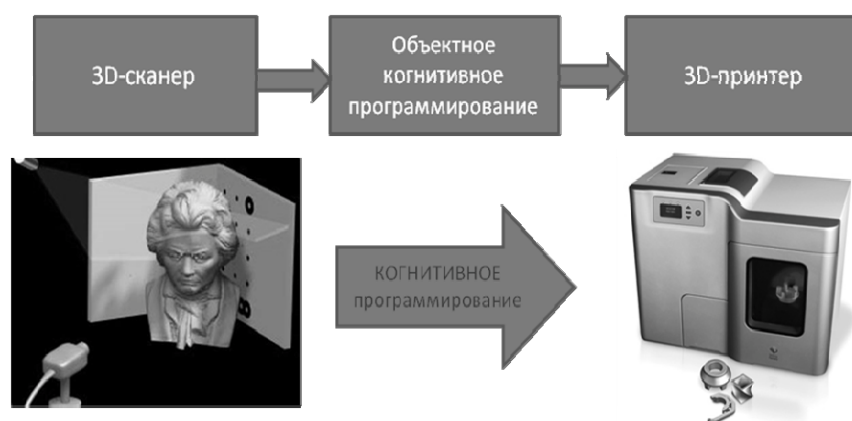


Рис. 1. Концептуальная схема системы когнитивного программирования

### Технологии быстрого прототипирования

3D-принтеры воспроизводят твердотельные сложные пространственные формы из различных материалов, таких как пластик, порошки металла, керамика, фотополимерные и биоматериалы и др. В основе любого из способов 3D-печати лежит принцип послойного выращивания твердотельного объекта. Производители 3D-принтеров постоянно расширяют их технологические и функциональные возможности [4, 5].

Создание физического прототипа твердотельной модели проводится в несколько этапов [6]:

1. Разработка твердотельной модели программно или 3D-сканированием. Основная проблема состоит в соблюдении требований к замкнутости поверхностных контуров. Необходима интерфейсная поддержка соответствия формы и свойств разрабатываемой модели и используемого программного обеспечения. Программная разработка подразумевает знание таких программных сред, как 3D Studio Max®, AutoCAD®, SolidWorks®, Rhino® и другие. При работе с облаком точек используются Rapidform®, CopyCad, Geomagic Studio и узкоспециализированные программные среды для конкретных областей применения (ювелирная промышленность, архитектурный дизайн, конструкторские пакеты программ).

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

3. Адаптация программной модели к специфическим свойствам твердотельного копирования: разбиение на 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. Послойная печать физического прототипа.

### Области применения и перспективы развития

Несмотря на то, что на данный момент наблюдается повышенный интерес к технологии 3D-репликации (основной всплеск количества публикаций по этой теме наблюдался в 2005–2007 годах, например [7, 8]), основное ее развитие идет по пути развития аппаратных средств, повышения разрешающей способности 3D-принтеров и 3D-сканеров. При этом точности построения (восстановления) виртуального объекта

уделяется меньше внимания, хотя данный этап является связующим между получением множества вокселей 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 «теневого области» т. е. 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 [6].

В свою очередь, принтер требует для работы входные данные, представленные в формате STL (расшифровывается как STereoLithography), представляющем список треугольных граней, описывающих его поверхность. 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 [8].

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).

### Некоторые принципы построения трехмерных моделей

На рис. 2 приведена визуализация трехмерных объектов в формате STL: сетка из треугольников определяет контуры объекта с наложенной на них текстурой, которая отражает «реальный» вид объекта. Трехмерная модель создана в среде 3D Studio Max с использованием модификатора вращения и редактируемых сплайнов (кривых). Моделирование объектов на основе сплайнов является одним из видов трехмерного моделирования, широко распространенным в компьютерной графике. В ряде случаев визуализированные сплайны используются в виде самостоятельных объектов для моделирования, как это показано на примере моделей колокольчиков (рис. 3).

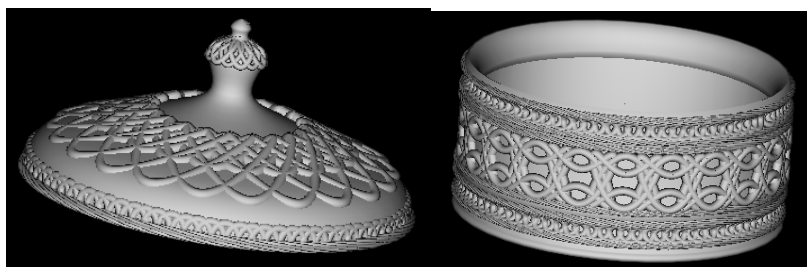
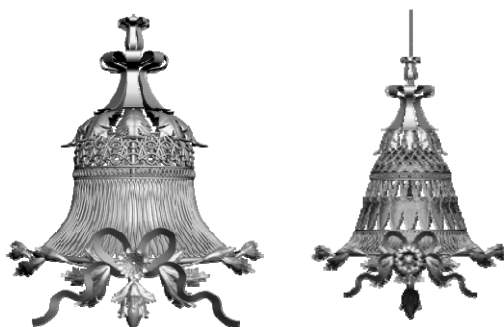


Рис. 2. Визуализация трехмерных объектов в формате STL

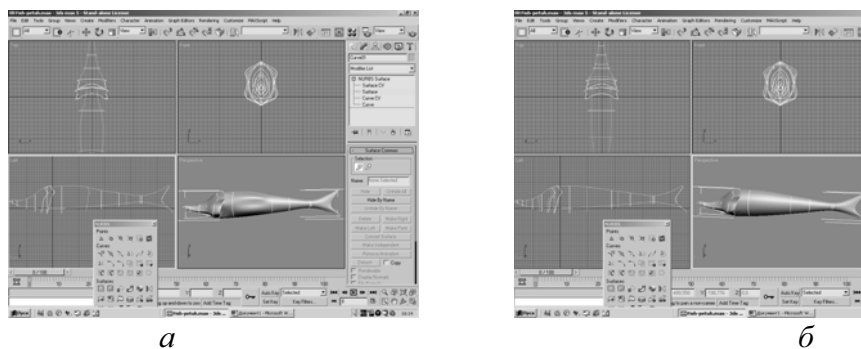


**Рис. 3. Использование визуализированных сплайнов как самостоятельных объектов для моделирования**

Однако гораздо чаще сплайны используются не как самостоятельные объекты, а как вспомогательные элементы при создании поверхности трехмерного объекта. Также для модификатора вращения возможно использовать NURBS-кривые. Для построения твердотельных моделей наиболее удобно применять NURBS-технологию.

Приведенный ниже пример (рис. 4, а, б) демонстрирует особенности построения пространственных объектов при помощи NURBS-сплайнов. В первом случае при построении объекта сплайны последовательно соединены между собой с помощью операции U-лофтинга, в результате чего образовалась единая поверхность. Однако такое соединение привело к деформации корпуса объекта – рыбы (см. рис. 4, а).

Во втором случае созданы две поверхности – одна объединяет голову и жабры объекта: сплайны, представляющие собой их сечения, последовательно соединены между собой с помощью операции U-лофтинга. Другая поверхность, созданная аналогичным образом, объединяет туловище и хвост рыбы. Построение поверхности головы было закончено на том сплайне, с которого началось построение поверхности туловища.



**Рис. 4. Построение пространственных объектов при помощи NURBS-сплайнов**

В этом случае модель состоит уже не из одной, а из двух отдельных поверхностей, но деформация корпуса устранена (см. рис. 4, б).

Применение NURBS-технологии не всегда оправдано, так как многие модели строятся путем операций над полигонами при помощи модификаторов полигонального моделирования. Иногда в моделях сочетаются оба вида моделирования (рис. 5). Некоторые детали головы и шея модели – результат NURBS-моделирования.

SolidWorks и AutoCad Mechanical Desktop могут помочь в создании как конструкторского, так и дизайнерского проекта с любой стартовой точки: концепции, эскиза или CAD файла. При этом процесс перевода описания виртуального 3D-объекта, представленного в виде множества вокселей, принадлежащих его поверхности, в описание поверхности в виде треугольных граней схож с задачей векторизации изображения и не всегда может дать однозначный и удовлетворительный результат.



**Рис. 5. Сочетание NURBS-моделирования и модификаторов полигонального моделирования**

Наиболее тонким и трудоемким процессом в создании авторских уникальных разработок является придание им совокупности черт, которые обеспечивают узнаваемость объектов. Это как раз и является той творческой составляющей в дизайне, будь то создание ювелирных изделий или архитектурных сооружений, которая отличает создание оригинальных авторских произведений от непосредственного копирования или собирания сложных форм из простых элементов. В концепции когнитивного программирования это является творческим процессом, позволяющим воплотить мир воображения в реальность [9].

### **Заключение**

Цифровые технологии 3D-прототипирования совместно с когнитивным программированием открывают уникальные возможности воспроизведения – «печати» сложнейших пространственных форм и механизмов. Реализация 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 объемных форм. При этом возникает потребность в разработке интерфейсных программ взаимодействия между компьютерным моделированием объектов с их реализацией (в рамках системы объектного когнитивного программирования) и в реализации унифицированного процесса трехмерного моделирования при прохождении всех стадий от сканирования трехмерных объектов до получения конкретного образца технологией быстрого прототипирования. Экономическая эффективность такой технологии в ее принципиальной безотходности и низкой себестоимости массового производства.

### **Литература**

1. **Hofstadter D. A.** Godel, Esher, Bach: An eternally golden braid. N.Y.: Harvester Press, 1979. 843 p.
2. **Александров В. В., Сарычев В. А.** DIGITAL AVATAR – Цифровое воплощение инфокоммуникационных систем. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 7. С. 3–10.

3. **Александров В. В., Сарычев В. А.** Цифровые программируемые технологии // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 11. С. 3–9.
4. **Татарников О.** Атака клонов! 3D-сканирование и трехмерная печать // Компьютер-пресс. 2003. № 7. С. 9–14.
5. **Афанасьев К.** 3D-принтеры. – <<http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/print/>>
6. **Александров В. В., Александрова В. В., Зайцева А. А., Хурс С. П.** Цифровая технология 3D промышленного производства // Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 15. С. 85–94.
7. **Ворпана 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.
8. **Гладков В. И., Кулагин В. В., Круглов С. М.** Создание технологических систем оперативной подготовки производства новой техники на базе современных средств быстрого прототипирования. // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». М.: Изд-во «МАМИ», 2008. С. 169–175.
9. **Александрова В. В.** Компьютерное моделирование и симуляция трехмерных тел, фигур и сцен. Учебное пособие. СПб.: Анатолия, 2008. 132 с.