

И.Н. Гильфанова, Д.В. Прядкина /
I. Gilfanova, D. Pryadkina

Контурное строительство **CONTOUR CRAFTING**

Annotation: Although automation has advanced in manufacturing, the growth of automation in construction has been slow. Conventional methods of manufacturing automation do not lend themselves to construction of large structures with internal features. This may explain the slow rate of growth in construction automation.

A promising new automation approach is layered fabrication, generally known as rapid prototyping. Although several methods of rapid prototyping have been developed in the last two decades, and successful applications of these methods have been reported in a large variety of domains (including industrial tooling, medical, toy making, etc.), currently Contour Crafting (CC) seems to be the only layer fabrication technology that is uniquely applicable to construction of large structures such as houses.

Ключевые слова: контурное строительство, автоматизация, быстрое изготовление модели, послойное изготовление, жилищное строительство.

Key words: contour crafting, automation, rapid prototyping, layered fabrication, housing construction.

Contour Crafting (CC) is an additive fabrication technology that uses computer control to exploit the superior surface-forming capability of troweling to create smooth and accurate planar and freeform surfaces. Some of the important advantages of CC compared with other layered fabrication processes are better surface quality, higher fabrication speed, and a wider choice of materials. Using this process, a single house or a colony of houses, each with possibly a different design, may be automatically constructed in a single run, imbedded in each house all the conduits for electrical, plumbing and air-conditioning.

The layering approach enables the creation of various surface shapes using fewer different troweling tools than in

traditional plaster handwork and sculpting. It is a hybrid method that combines an extrusion process for forming the object surfaces and a filling process (pouring or injection) to build the object core. The extrusion nozzle has a top and a side trowel. As the material is extruded, the traversal of the trowels creates smooth outer and top surfaces on the layer. The side trowel can be deflected to create non-orthogonal surfaces. The extrusion process builds only the outside edges (rims) of each layer of the object. After complete extrusion of each closed section of a given layer, if needed filler material such as concrete can be poured to fill the area defined by the extruded rims.

Several CC machines have been developed at USC for research on fabrication with various materials including thermoplastics, thermosets, and various types of ceramics. The machine developed for ceramics processing is capable of extruding a wide variety of materials including clay and concrete.

Producers believe that their technology would make the construction of efficient buildings so cheap and efficient that we could print low-income housing for people in impoverished areas the world over.

Using this technology to construct future buildings will open up an entire new world of possibilities for architects and industry thought leaders.

Producers plan to explore the applicability of the CC technology for building habitats on the Moon and Mars. In the recent years there has been growing interest in the idea of using these planets as platforms for solar power generation, science, industrialization, exploration of our Solar System and beyond, and for human colonization. In particular, the moon has been suggested as the ideal location for solar power generation (and subsequent microwave transmission to earth via satellite relay stations). In a conference on Space Solar Power sponsored by NASA and NSF (and organized by USC faculty) this question was discussed properly.

С начала 20-го века автоматизация заняла господствующее положение почти во всех производственных сферах, кроме гражданского строительства. Развитие автоматики в строительной области протекало медленно по следующим причинам: а) непригодность существующих автоматизированных технологий для изготовления крупномасштабной продукции; б) значительно малый показатель качества/типа конечной продукции по сравнению с другими отраслями; в) ограниченное количество материалов, которые могут быть использованы автоматизированной системой; д) непривлекательность дорогого автоматического оборудования с точки зрения экономики; е) административные проблемы.

С другой стороны, на сегодняшний день в строительной сфере существуют серьезные проблемы, а именно:

- низкая производительность труда;
- большое число несчастных случаев на строительной площадке;
- низкое качество работы;
- недостаточность и сложность осуществления контроля на строительной площадке;
- квалифицированной рабочей силы становится все меньше.

Метод послойного изготовления, более известный как изготовление модели, является новым многообещающим автоматизированным методом. Несмотря на то, что ряд методов быстрого изготовления модели был разработан в последние двадцать лет (Regna, 1997), и эффективность их применения была доказана во многих различных областях (в том числе, в производстве промышленного оборудования, медицине, изготовлении игрушек и т.д.), на сегодняшний день контурное строительство является, кажется,

единственным послойным методом изготовления, который возможно применить в строительстве больших конструкций, таких как частные дома (Khoshnevis, 2001).

Контурное строительство является комплексной производственной технологией, в которой используются преимущества техники послойного нанесения для создания гладких и аккуратных плоских и изогнутых поверхностей под управлением манипулятора. Одними из важных преимуществ контурного строительства по сравнению с другими производственными технологиями послойного нанесения являются более высокое качество поверхностей, увеличенная скорость изготовления и более широкий выбор материалов.

Ключевой особенностью контурного строительства является использование двух лопаток, которые, по сути, действуют как две твердых плоских поверхности, создавая исключительно правильную гладкую поверхность изготавливаемого сооружения. С древних времен художники и ремесленники эффективно использовали такие простые инструменты, как шпатели, лезвия, ножи для скульптурной обработки и для грунтовки с одной или двумя плоскими поверхностями для обработки пастообразных материалов. Подтверждение их многофункциональности и эффективности в создании сложных плоских и изогнутых поверхностей можно увидеть в древних керамических сосудах и скульптурах с их замысловатой и сложной геометрией. в область строительства ограничено созданием моделей и гипсовыми работами.

Метод послойного нанесения позволяет создавать поверхности различной формы, используя меньший набор приспособлений, чем в традиционных ручных гипсовых и скульптурных работах. Это комбинированный метод, который объединяет в себе процесс экструзии (выдавливания) материала слой за слоем, в результате которого образуется поверхность объекта, и процесс

заполнения материалом его внутренней полости (Khoshnevis, 2001). У литьевого отверстия есть верхняя и боковая лопатки. Материал поступает из сопла и лопатки. Боковая лопатка может отклоняться, что позволяет создавать не только вертикальные поверхности. В процессе нанесения образуются только внешние края (контур) каждого слоя объекта. После завершения нанесения всех участков очередного слоя, при необходимости пространство между кромками можно заполнить таким материалом, как, например, бетон.

При возведении конструкции применяется эта же технология, только здесь используется порталная система, держащая гидравлический патрубок с литьевым отверстием идвигающаяся по двум направляющим. Рассмотрим некоторые интересные аспекты этого автоматизированного строительного метода.

Гибкий дизайн: этот процесс позволяет архитекторам проектировать здания, имеющие функциональную и необычную форму, которые сложно построить вручную.

Разнообразие материалов: в контурном строительстве могут быть использованы различные материалы как для образования внешних поверхностей, так и в качестве заполнителя.

Прокладка коммуникаций: все инженерные системы могут быть встроены в стены здания в соответствии с конструктивными требованиями.

Готовые к покраске поверхности: вне зависимости от выбора материалов качество поверхностей в контурном строительстве настолько высоко, что не требует дополнительной подготовки к покраске.

Армирование: механизм способен выполнить пошаговую закладку стального сетчатого каркаса. Простые два модульных компонента могут быть введены с помощью автоматической системы подачи, которая устанавливает и

собирает их между краями каждого слоя. Затем в созданную форму можно залить бетон, чтобы охватить стальной каркас.

Производители провели масштабные исследования, чтобы обеспечить оптимальные условия ведения процесса контурного строительства в изготовлении различных двух- и трехмерных деталей квадратной, выпуклой и вогнутой форм, некоторые из которых заполнены бетоном. В настоящее время они работают над созданием нового комплекта распределительных насадок, которые разработаны специально для возведения сооружений. Предполагается, что с помощью новых насадок можно будет изготавливать полноразмерные детали различных строительных конструкций, например, секции стен со встроенными инженерными коммуникациями или крыши без опор. Также можно будет провести различные структурные анализы и испытания с использованием различных материалов, представляющих интерес.

Производители планируют исследовать применимость технологии КС в жилищном строительстве на Луне и на Марсе. В последние годы возрос интерес к идее использования этих планет в качестве площадки для генерирования солнечной энергии, научной деятельности, промышленного освоения, исследования нашей Солнечной системы и затем заселения человеком. В частности, Луна рассматривается как идеальная территория для генерирования солнечной энергии и последующей передачи микроволн через спутниковые ретрансляционные станции. Этот вопрос широко обсуждался на конференции по космической солнечной энергии, организованной Университетом Южной Калифорнии при финансовой поддержке NASA и NSF.

Строительство солнечных коллекторов может быть реализовано с помощью роботов для сборки панелей фотоэлементов, присланных с Земли. Впрочем, стоимость

транспортировки панелей непомерно высока. Вообще, все материалы, необходимые для производства фотоэлементов, заложены в поверхностном слое Луны, поэтому более практичным может стать постройка фабрики, возможно, с помощью контурного строительства. Кроме того, так как нам доступна солнечная энергия, есть возможность приспособить существующую технологию контурного строительства к природным условиям на Луне или в другом месте для строительства инфраструктуры, в частности, дорог и зданий. Поверхностный слой Луны, например, может быть использован в качестве строительного материала. Исследования показали, что с помощью микроволн в процессе агломерации из него можно получить такие материалы, как, например, кирпич.

Одной из конечных целей программы NASA по освоению и развитию космоса человеком является колонизация, т.е. создание условий для долгосрочного проживания людей. Производители верят, что технология контурного строительства станет идеальным методом для создания подобных конструкций.

Список использованных источников

1. *Khoshnevis B., Russell R., Kwon H., Bukkapatnam S.* Contour Crafting – A Layered Fabrication Technique // Special Issue of IEEE Robotics and Automation Magazine. – 2001-а. – 8:3. – С. 33-42.
2. *Khoshnevis B., Bekey G.* Automated Construction using Contour Crafting – Applications on Earth and Beyond [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://contourcrafting.org/wp-content/uploads/2013/04/AIC2004-Paper1.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Oxford dictionary [Офиц. сайт]. URL: <http://www.oxforddictionaries.com/> (дата обращения 20.02.2014);
4. Pegna J. Exploratory investigation of solid freeform construction // Automation in construction. – 1997. – том 5. – № 5. – С. 427–437.

5. Словарь Мультитран [Офиц. сайт]. URL:
<http://www.multitrans.ru/> (дата обращения 15.03.2014).
6. Словарь синонимов русского языка [Интернет-портал]. URL:
<http://www.synonymizer.ru/> (дата обращения 15.03.2014).