DOI: 10.17117/na.2016.01.01.358

<http://ucom.ru/doc/na.2016.01.01.358.pdf>

Поступила (Received): 24.01.2016

**Андреева И.И., Грицкевич М.В.,
Белоусов А.В., Хоперсков А.В.
3D-моделирование археологических раскопов**

**Andreeva I.I., Grickevich M.V., Belousov A.V., Khoperskov A.V.
3D-modeling of archaeological excavations**

Обсуждаются возможности геоинформационных технологий и методов дистанционного зондирования в археологии, связанные с пространственным анализом, 3D-моделированием, охраной культурного наследия. Для ряда археологических раскопов построены 3D-модели с использованием различных программных средств
Ключевые слова: историческая геоинформатика, 3D-модели, цифровая модель местности

Spatial analysis, 3D-modeling, protection of cultural heritage are the result of new features of GIS and remote sensing for archeology. We have built 3D-models for a series of archaeological artefacts using various software tools

Key words: historical geoinformatics, 3D-model, digital elevation model

Андреева Ирина Игоревна

Студент

Волгоградский государственный университет
г. Волгоград, пр. Университетский, 100

Andreeva Irina Igorevna

Student

Volgograd state university
Volgograd, Universitetskii ave., 100

Грицкевич Марина Владимировна

Студент

Волгоградский государственный университет
г. Волгоград, пр. Университетский, 100

Grickevich Marina Vladimirovna

Student

Volgograd state university
Volgograd, Universitetskii ave., 100

Белоусов Антон Владимирович

Инженер

Волгоградский государственный университет
г. Волгоград, пр. Университетский, 100

Belousov Anton Vladimirovich

Engineer

Volgograd state university
Volgograd, Universitetskii ave., 100

Хоперсков Александр Валентинович

Доктор физико-математических наук, профессор
Волгоградский государственный университет
г. Волгоград, пр. Университетский, 100

Khoperskov Alexander Valentinovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Volgograd state university
Volgograd, Universitetskii ave., 100

При финансовой поддержке РГНФ (проект №13-01-12015в)

Новые перспективы в исторических дисциплинах связаны с использованием геоинформационных технологий, обеспечивающих точную пространственную привязку объектов, а также возможности построения 3D-моделей

ландшафта, раскопов и археологических артефактов, объектов историко-культурного наследия [1]. В городской черте практически никогда не удастся сохранить раскоп. К тому же сам процесс археологической работы на местности почти всегда требует разрушения пространственной структуры памятника. Использование современных методов построения виртуальных моделей сложных объектов позволяет отчасти сохранить важнейшую археологическую информацию. Археологические памятники составляют в Российской Федерации наибольшую часть объектов историко-культурного наследия страны. В то же время территория России в археологическом отношении обследована чрезвычайно слабо и неравномерно.

В последнее время начинается переход на трехмерные ГИС (3D), основанные на технологиях 3D-моделирования. Такие ГИС сближаются с системами автоматизированного проектирования (САПР). Отметим, что, как правило, 3D-модели в ГИС не являются полноценными и представляются функциями двух координат $z=z(x,y)$ с использованием текстур. Переход на полностью трехмерные модели с предоставлением функций редактирования является сложной и ресурсоемкой задачей [2].

В Волгоградском государственном университете разрабатывается геопортал для поддержки археологических исследований на основе GIS WebServer (gisportal.net). Имеется целый ряд веб-сервисов, включая возможности загружать и обрабатывать треки, полученные с навигационных приборов (GPS/ГЛОНАСС), подгружать полигональные объекты к тематическим слоям электронной карты. Такая функция позволяет автоматизировать уточнение границ раскопов, положения отдельных артефактов. Каждая точка трека имеет дополнительную временную характеристику своего создания. Модуль статистической обработки атрибутивных характеристик геообъекта из базы данных позволяет определять статистические параметры выборки и частоты встречаемости объектов и признаков. К числу функций пространственного анализа относятся преобразование систем координат и трансформация картографических проекций, измерительные операции и операции аналитической (координатной) геометрии, полигональные операции, пространственно-аналитические операции (операции пространственного анализа), растрово-векторные операции (векторизация изображений).

Археологическая информационная система должна обладать [3, 4]:

- Базой археологических отчетов, произведенных в регионе раскопок и разведок с подсистемой поиска необходимой информации.
- Базой данных по отдельным группам археологических материалов, основанных на максимально детализированных моделях этих групп, с возможностью поиска аналогий по ряду задаваемых признаков.
- Наличием каталога иллюстраций всех собранных материалов.
- Позиционированием археологических памятников по имеющимся координатам на масштабируемых географических картах региона, в котором ведутся исследования, с возможностью использования набора измерительных инструментов, предоставляемых системой.

– Взаимосвязью подсистем предоставления информации. Например, выбрав на карте региона археологический памятник, можно перейти к его непосредственному описанию, к его характеристикам и иллюстрациям.

– Удобным пользовательским интерфейсом, созданным с учетом правил инженерной психологии и эргономики.

– Размещена в интернете, обладать развитой системой веб-сервисов [4,5], включая возможность использования данных дистанционного зондирования.

Выделим 3D-технологии, применяемые в археологии.

1. Лазерные сканеры позволяют создавать реконструкции моделей и становятся в археологии и архитектуре стандартными методами исследований. 3D-модели создаются посредством объединения множества простых моделей, которые снимаются лазерными сканерами. Лазерный сканер способен собирать тысячи точек за несколько секунд [6]. Если объект имеет сложную форму и один сканер не может снять весь объект, тогда применяется несколько сканеров, имеющих каждый свою систему отсчета. Коллекции точек и поиск соответствий может происходить автоматически с использованием специального программного обеспечения. Такая 3D-модель конвертируется из формата DXF в VRML (рис. 1а).

Рис. 1. а) Сканирование лазерным сканером по целям; б) Формирование твердой модели; в) UAV – беспилотный летательный аппарат; г) Система мультимедийной базы данных 3D-Murale; д) Технология 3D Gis; е) ARCube; ж) Специализированный компьютер Archeoguide

2. Специальные исследования точности 3D лазерного сканера показали результат лучше 1 мм [7]. Причем на сбор данных уходит всего 20 минут при

практически отсутствующих шумах. После обследования данные проходят специальную фильтрацию и строится твердая модель (рис.1б).

3. Беспилотные летательные аппараты (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) все активнее используются в фотограмметрическом методе [8]. Большие возможности UAV демонстрируют при обследовании культурного наследия. В качестве примера укажем на проект Computer Vision для получения 3D-модели и ортоизображений с очень высоким уровнем детализации. В первой версии использовался беспилотный квадрокоптер микродрон md4-200, затем – беспилотный Swinglet CAM. Эффективность этих систем была изучена при съемке храма ISIS и «Cretto of Gibellina» в Италии с использованием фотограмметрического метода (рис.1в). Использование БПЛА оказывается весьма эффективным в археологии [9]. Преимущество замены традиционного подхода на фотограмметрическую систему на основе БПЛА и OSP обусловлено возможностью хранения в архиве изображений реальных изменений раскопа в течение рабочего периода.

4. Археологические базы данных требуют хранения широкого спектра информации об археологических объектах. Мультимедиа, пространственные и временные данные предъявляют новые требования к таким базам данных. Виртуальные модели археологических памятников требуют новый вид хранения и поиска объектов, в том числе поиск 3D-графики для виртуального и физического восстановления археологических находок. Учитывая все требования, была предложена система 3D-MURALE, которая используется археологами для построения виртуальной модели раскопок Sagalassos в Турции [10]. Система MURALE хранит различные типы мультимедийных данных, тексты, таблицы, изображения, видео и трехмерную графику. Семантическая модель включает как пространственные, так и временные измерения. База данных обеспечивает запросы по атрибутам и по примерам для изображений и пространственных данных (рис.1г).

5. Возможность создания 3D-моделей зданий требует новых качеств археологической 3D GIS [11]. Археологические данные являются достаточно сложными с геометрической точки зрения, и существующие методы моделирования приводят к сильным упрощениям. Для поддержки визуальной, геометрической и топографической информации 3D-модели должны быть сформированы, как гео-объекты, основанные на реальных объектах и ссылающиеся на соответствующие документальные данные. Кроме того, они должны быть легко масштабируемыми, чтобы поддерживать различные уровни качества визуализации, допуская просмотр, как в автономных, так и в веб-ориентированных системах (рис.1д).

6. Методы, используемые при решении задач сегментации и классификации, доказали свою эффективность для 3D-моделирования в археологии. После генерации множества суб-моделей осуществляется их объединение с использованием программного обеспечения AR [12]. ARCube состоит из шести подсистем, по одной на каждой стороне. Каждая часть модели должна быть связана с определенной гранью куба, чтобы правильно отображать геометрию объекта. Каждая грань куба имеет размер 8·8 см, который наиболее удобен из практических

соображений. Важное преимущество для археологов состоит в высокой степени автоматизации процесса AR визуализации (рис.1е).

7. Archeoguide является новой системой привлечения государством самых современных технологий визуализации и мобильных вычислений для сохранения культурного наследия [13]. Этот подход обеспечивает персонализированный тур дополненной реальности (Augment Reality), создание виртуальных музеев [14], а также возможности виртуальной реконструкции разрушенных объектов культурного наследия. Мультимедийная база данных является центральным депозитарием мультимедийных материалов, составляющих туры презентации, а также используется для поддержки научных исследований и популяризации культурного образования в европейских странах (рис.1ж).

Выделим основные этапы работы, которые необходимы для создания трехмерной модели раскопов [15]:

Рис. 2. Создание 3D-модели в программе Blender и SketchUp: исходное изображение и построенная модель на примере могильника «Лобанова Щель»

- 1) Создание плана в масштабе 1:2000, который наиболее удобен для представления небольших раскопов, могильников, артефактов с типичными размерами до 10 метров.
- 2) Подключение классификатора.
- 3) Добавление растрового изображения, например, фотографий.

**Рис. 3. Часть 3D-модели могильника «Лобанова Щель»:
вид могильной ямы на крупном плане**

- 4) Создание линейного объекта с указанием размеров, близких к моделируемому объекту.
- 5) Привязка растрового изображения к линейному объекту по двум точкам.
- 6) Нанесение объектов (артефактов), построение системы изолиний (линий равной высоты).
- 7) Добавление матрицы высот на участке карты, охватывающей моделируемый объект (например, растровое изображение).
- 8) Создание 3D-модели средствами 3D Навигатора в системе Карта 2011 (КБ Панорама).
- 9) Тестирование 3D-модели, изменяя углы зрения и расстояния точки наблюдения.

Gis WebServer поддерживает ведение баз данных атрибутивной информации. Имеется возможность преобразования систем координат и трансформация картографических проекций, поскольку в качестве базовой системы координат используется WGS-84. Операции пространственного анализа могут включать анализ близости (окрестности), построение и анализ зон видимости/невидимости. Важной функциональной возможностью Сервиса «ГИС внутри раскопа» может являться поддержка временных слоев, под которыми понимается пространственная картина ландшафта раскопа с расположением артефактов в фиксиро-

ванные моменты времени. Такая технология отчасти решает проблему сохранения некоторых свойств археологического памятника на местности при раскопках.

Рис. 4. 3D-модель городской части Увекского городища

**Рис. 5. 3D-модель общественной бани-хаммам Увекского городища
(на рис.4 находится на дальнем плане)**

В рамках проекта создания археологического геопортала в качестве примеров построены 3D-модели ряда археологических объектов. На рис.2,3 приведены изображения модели могильника «Лобанова Щель», расположенного на Черноморском берегу, а на рис.4,5 – для Увекского городища.

Список используемых источников:

1. Бородкин Л.И., Жеребятьев Д.И. Технологии 3D моделирования в исторических исследованиях: от визуализации к аналитике // Историческая информатика: Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании. 2012. №2. С. 58-67.
2. Дышленко С.Г. Трехмерное моделирование в ГИС // Перспективы науки и образования. 2014. № 2 (8). С. 28-33.

3. Блохин В.Г., Кузьмин Н.М., Перерва Е.В., Хохлова С.С., Шинкарь О.А. Геоинформационные системы для поддержки археологических и палеоантропологических данных // Вестник Волгоградского государственного университета. 2010. Вып. 8. Ч. 2. С. 133-146.
4. Андреева И.И., Грицкевич М.В., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Сервис «ГИС внутри раскопа» для археологической геоинформационной системы: 3D-моделирование // Современные информационные технологии. 2014. № 20. С. 120-124.
5. Андреева И.И., Краснопрошин А.И., Хоперсков А.В. Информационные модели баз данных геопортала для археологов // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 3. С. 65-69.
6. Chrysanthi A., Flores P.M., Papadopoulos C. Thinking beyond the tool: archaeological computing and the interpretive process // Oxford: Archaeopress. 2012. 214 p.
7. Moscati P. (editor). Virtual museums and archaeology // Archeologia E Calcolatori. 2007. 268 p.
8. Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F. A new software for the automatic registration of 3D digital models acquired using laser scanner devices // CIPA WG6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording. Politecnico di Torino – Dipartimento di Georisorse e Territorio, 2002. P. 52-57.
9. Stonebraker M. The POSTGRES Next-Generation Database Management System // Communications of the ACM. 1991. 34(10). P.78-92.
10. Momjian B. PostgreSQL: Introduction and Concepts // Addison-Wesley, 2001.
11. Brutto M. Lo. UAV Platforms for cultural heritage survey: first results // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014. V.II-5. 8 p.
12. Gregory I. Time-variant GIS Databases of Changing Historical Administrative Boundaries: A European Comparison // Transactions in GIS. 2002. 6 (2). P.161-178.
13. Wheatley D., Gillings M. Spatial technology and archaeology: the archaeological applications of GIS // London; New York: Taylor & Francis. 2002, 269 p.
14. Андреева И.И., Грицкевич М.В., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Модель сервиса «ГИС внутри раскопа» для археологической геоинформационной системы // Современные информационные технологии. 2014. №20. С.116-120.

© 2016, Андреева И.И., Грицкевич М.В., Белоусов А.В.,
Хоперсков А.В.
3D-моделирование археологических раскопов

© 2016, Andreeva I.I., Grickevich M.V., Belousov A.V.,
Khoperskov A.V.
3D-modeling of archaeological excavations