ТЕХНОЛОГИЯ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОДГОТОВКИ И СИНТЕЗА МУЛЬТИТЕКСТУР В ТРЕХМЕРНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ СЦЕНАХ

Михайлюк М.В., Тимохин П.Ю., Мироненко И.Н.

ФГУ «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (НИИСИ РАН), 117218, г Москва, Нахимовский проспект д. 36, корп. 1, mix@niisi.ras.ru

В работе предложена технология подготовки мультитекстур с применением современных программных средств, включающая подготовку качественной текстурной развертки объекта, детализированной карты нормалей и диффузной текстуры объекта с «запеченными» мягкими тенями от окружающего освещения. Также в работе предложен метод реализации мультитекстурирования в рамках технологии смешивания Blend-мультиматериалов, применяемой в системе 3ds Max. Предложенная технология, методы и алгоритмы были успешно апробированы в системе визуализации GLView, разработанной в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН.

Ключевые слова: мультитекстура, 3ds Max, текстурная развертка, карта нормалей, мультиматериал

TECHNOLOGY, METHODS AND ALGORITHMS FOR PREPARING AND SYNTHESIS OF MULTITEXTURES IN 3D VIRTUAL SCENES

Mikhaylyuk M.V., Timokhin P.Yu., Mironenko I.N.

Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences (SRISA), 117218, Russia, Moscow, 36/1 Nakhimovsky Avenue, mix@niisi.ras.ru

The paper presents a technology for preparing multitextures using modern software, including preparing a quality texture unwrapping, a detailed normal map and a diffuse texture with "baked" soft shadows from ambient lighting. Also, a method for multitexturing implementation within the Blend-multimaterial technology used in the 3ds Max system is proposed. The proposed technology, methods and algorithms were successfully tested in GLView visualization system developed in SRISA RAS.

Keywords: multitexture, 3ds Max, texture unwrapping, normal map, multimaterial

Введение

В имитационно-тренажерных комплексах управления сложными динамическими системами и в системах виртуального окружения важное значение имеет высоко реалистическая визуализация объектов и окружающей обстановки в масштабе реального времени. Основными инструментами для решения этой задачи являются детальная геометрия трехмерных моделей, реалистичные текстуры и качественная визуализация (рендеринг). Эти составляющие, тем не менее, входят в противоречие с необходимостью обеспечить масштаб реального времени визуализации, так как, чем сложнее модель или ее текстуры, тем больше времени уходит на синтез ее изображения. Одним из методов повышения эффективности рендеринга является мультитекстурирование, при котором на одну и ту же поверхность объекта накладываются одновременно несколько текстур, смешиваясь друг с другом и образуя при этом уникальный рисунок поверхности. Это позволяет существенно повысить реалистичность синтезируемых изображений трехмерной виртуальной сцены при сравнительно небольших вычислительных затратах. Технология мультитекстурирования при помощи расширения OpenGL описана в работе [1]. В [2] предложена реализация мультитекстурирования на языке шейдеров AGAL во Flash, а в работе [3] – реализация мультитекстурирования на основе фотографий от реальных камер, окружающих объект. В настоящей работе предлагается технология подготовки мультитекстур с применением современных программных средств и реализация мультитекстурирования в рамках технологии смешивания (Blend) мультиматериалов, используемой в системе трехмерного моделирования 3ds Max [4].

Подготовка мультитекстур

Подготовка текстур для мультитекстурирования объекта визуализации включает два этапа: получение развертки поверхности объекта и создание необходимого множества текстур (см. ниже). В данной работе мы рассматриваем полностью первый этап, а из второго этапа – лишь наиболее сложные шаги: создание детализированной карты нормалей и диффузной текстуры с «запеченными» мягкими тенями от окружающего освещения.

Первый этап. На данном этапе создается текстурная развертка на плоскости поверхности объекта, которая получается при таком совмещении точек поверхности объекта с плоскостью, при котором длины линий между точками изменяются не слишком сильно. Результатом является uv-развертка – совокупность текстурных координат (u, v) точек фигуры развертки. Для получения качественной текстурной развертки в данной работе реализуется выполнение ряда следующих требований:

1) отсутствие в развертке областей, по которым текстура накладывается на объект с излишними геометрическими искажениями (растяжения, перекосы и т.п.), а также с недостаточной или избыточной детализацией;

2) отсутствие «швов» (линий, соответствующих одному ребру на объекте, но расположенных в разных местах текстуры) за исключением мест естественных «разрывов» поверхности объекта (кромки, сочленения и др.);

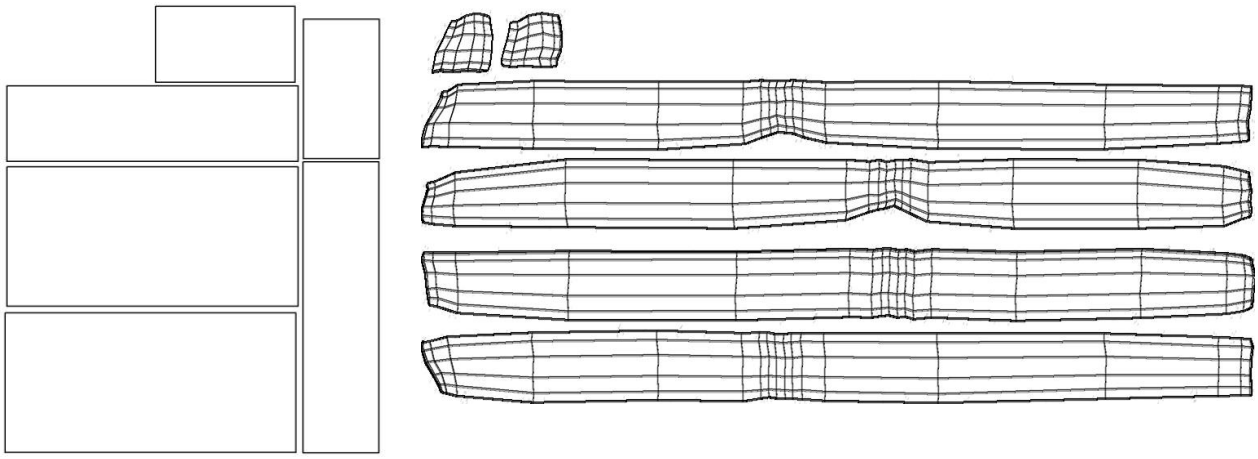
3) эффективное использование площади текстуры;

4) сходство со стандартными ракурсами, в которых обычно фотографируется или рисуется объект (что упрощает отрисовку текстур художником).

Для создания текстурной развертки, отвечающей этим требованиям, в данной работе применяется автоматическая развертка и метод «ручной раскройки», реализуемые с помощью модификатора Unwrap программного пакета 3ds Max.

При автоматической развертке объекта система 3ds Max самостоятельно разбивает поверхность объекта на участки и рассчитывает uv-координаты их точек на плоскости с помощью одного из трех методов: Flatten Mapping (разбиение на плоские участки), Normal Mapping (разбиение на близкие по нормалям участки) и Unfold Mapping (начиная с одной грани, постепенно разворачиваются все смежные грани в один сегмент) [5]. Данные методы представляют собой компромисс между искажениями накладываемой текстуры и большим количеством швов, ввиду чего применяются в основном для создания разверток простых геометрических объектов (цилиндра, параллелепипеда, сферы и др.), а также состоящих из них несложных объектов. На рисунке 1а изображена развертка модели кирпича, построенная с помощью метода Flatten Mapping.

Для объектов, имеющих сложную поверхность (с большим количеством сглаживаний, острых углов, углублений, выступающих частей и т.д.), в данной работе выполняется «ручная раскройка» поверхности на участки, которые дают наименьшие искажения при наложении текстуры на объект. Для этого с помощью инструмента выделения ребер (Selection->Edge) системы 3ds Max в модели объекта очерчиваются куски полигональных поверхностей, которые необходимо сохранить в развертке целыми. Очерчивание происходит путем выделения на модели реперных точек, на основе которых система 3ds Max строит траекторию вдоль ребер полигонов. Отметим, что корректность разбиения к проверяется с помощью наложения на участки шахматной текстуры (Checker). При правильной раскройке модели черно-белые квадраты текстуры Checker должны по большей части сохранять свои пропорции, а также должны отсутствовать заметные искажения. После выделения участков поверхности выполняется разделение модели на отдельные части и развертка полученных кусков в uv-пространство текстуры. На рисунке 1б показана развертка модели деформированной бетонной балки, построенная с помощью метода «ручной раскройки».



а) развертка модели кирпича с помощью метода Flatten Mapping

б) развертка модели деформированной бетонной балки с помощью «ручной раскройки»

Рис. 1

При ручной раскройке модели важно соблюдать компромисс между отсутствием искажений и количеством участков поверхности. Если создавать много участков, на которые текстура накладывается с малыми искажениями, то вместе с этим получится много текстурных швов. При мультитекстурировании эти швы могут проявиться, например, в результате наложения на объект текстур в режиме зацикливания, т.к. в общем случае каждая текстура повторяется нецелое число раз. Во избежание этого в данной работе текстурная развертка экспортируется в специальную программную среду (Autodesk MudBox [6] или Substance Painter [7]), где швы вручную закрашиваются

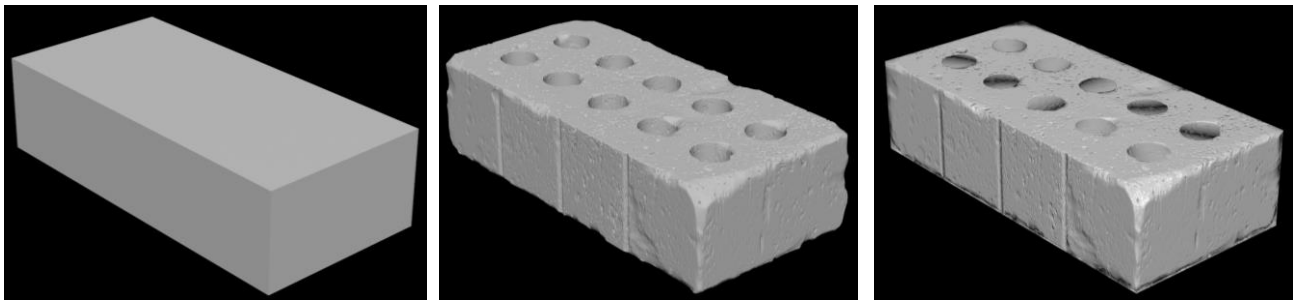
непосредственно на 3d-модели, а вносимые при этом цветовые изменения автоматически добавляются в текстурную развертку.

Второй этап. На данном этапе создается множество текстур, необходимых для мультитекстурирования объекта. В настоящей работе рассматривается создание наиболее сложных текстур из этого множества, от которых в большей степени зависит внешний вид объекта: детализированной карты нормалей и диффузной текстуры с «запеченными» мягкими тенями от окружающего освещения.

Создание детализированной карты нормалей в данной работе выполняется с помощью модификатора Projection и двух полигональных моделей объекта: низкополигональной (далее - low-poly модель, см. рис. 2а) и высокополигональной (далее - high-poly модель, см. рис. 2б). Вначале рассмотрим создание high-poly модели объекта. Данная модель создается из low-poly модели за два шага.

На первом шаге выполняется сглаживание кромок low-poly модели с помощью модификатора TurboSmooth. По умолчанию этот инструмент равномерно увеличивает полигональную детализацию модели и сглаживает все кромки вместе с телом объекта. Чтобы получить сглаженные края, по форме близкие к исходной модели (см. кромки кирпича на рис. 2б), на low-poly модели эти края заключаются в специальные области («петли»), в которых при сглаживании генерируется более высокая полигональная детализация. В данной работе «петли» создаются в модификаторе Editable Pole путем выделения ребер модели (инструмент Selection->Edge), через которые проходит «петля», и связывания их в «петлю» (инструмент Connect), а также с помощью инструмента Swift Loop быстрого создания «петли». Отметим, что для качественного сглаживания low-poly модели ее топология (разбиение на полигоны) должна быть разработана с учетом будущего расположения «петель».

На втором шаге в сглаженную модель объекта добавляются элементы детальной геометрии (отверстия, сколы, бугры, вмятины и т.п.) с помощью пакета 3ds Max, а также программ трехмерного скульптурного моделирования (Pixologic ZBrush [8], Autodesk MudBox).



а) low-poly модель б) high-poly модель в) low-poly модель с учетом карты нормалей

Рис. 2

Синтез детализированной карты нормалей выполняется следующим образом:

1. В виртуальной сцене создается low-poly модель и для нее устанавливается текстурная развертка одним из описанных способов первого этапа.
2. В том же месте виртуальной сцены создается high-poly модель того же объекта.
3. В модификаторе Projection в качестве объекта, относительно поверхности которого будет выполняться генерация («запекание») нормалей, устанавливается low-poly модель, а в качестве объекта, с которого будет происходить «запекание», - high-poly модель.
4. В модификаторе Projection с помощью инструмента Cage вокруг low-poly модели создается ограничивающий объем и выполняется его расширение так, чтобы в него входили и low-poly и high-poly модели, а расстояние до high-poly модели было минимальным.
5. С помощью техники рендеринга в текстуру (Render-to-texture) на основе построенной текстурной развертки и созданного ограничивающего объема выполняется синтез карты нормалей.

В данной работе для повышения реалистичности в синтезированную карту нормалей также добавляется микрорельеф поверхности: в графическом редакторе Adobe Photoshop с помощью фильтра «Создать карту нормалей» диффузная текстура объекта преобразуется в карту нормалей, которая объединяется с синтезированной картой нормалей. На рисунке 3 показана полученная в результате карта нормалей для модели кирпича. На рисунке 2в показан результат визуализации low-poly модели с учетом детализированной карты нормалей, синтезированной с помощью описанного метода.

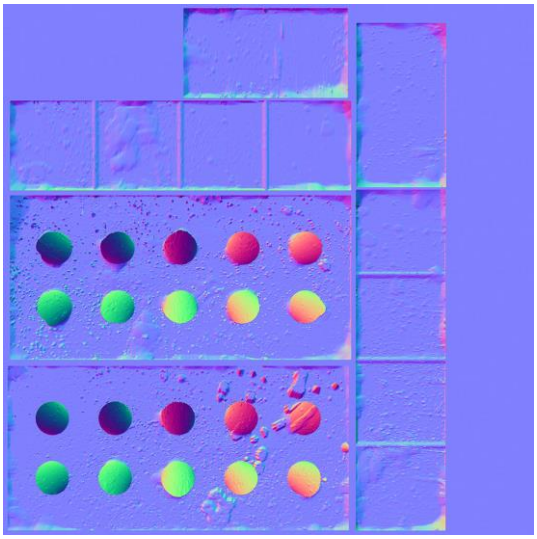


Рис. 3. Карта нормалей

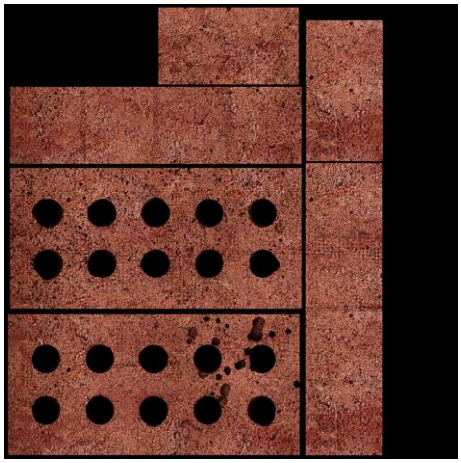


Рис. 4. Диффузная текстура с «запеченными» мягкими тенями

Рис. 5. Текстурированная модель кирпича

Для получения диффузной текстуры с записанными («запеченными») мягкими тенями от окружающего освещения в данной работе вначале создается карта мягких теней (Ambient Occlusion Map, AO Map). Это выполняется в системе 3ds Max с помощью специального рендеринга виртуальной сцены, содержащей только low-poly модель объекта. В сцене устанавливается источник освещения типа SkyLight, который освещает low-poly модель со всех сторон, а на саму модель накладывается белый материал. Синтез карты AO Map выполняется с помощью техники рендеринга в текстуру с использованием текстурной развертки, предварительно подготовленной на первом этапе (в противном случае развертка будет создана автоматически с рядом недостатков, см. описание первого этапа). Отметим, что «запекание» карты мягкий теней также можно делать с high-poly модели с помощью модификатора Projection, как и при синтезе карты нормалей. Полученная карта мягких теней соединяется с диффузной текстурой объекта с помощью графического редактора Adobe Photoshop. На рисунке 4 изображена результирующая диффузная текстура для модели кирпича. На рисунках 5 и 6 приведены результаты текстурирования моделей кирпича и деформированной бетонной балки с применением развертки и текстур, подготовленных по описанной технологии.

Рис. 6. Текстурированная модель деформированной бетонной балки

Мультитекстурирование

Мультитекстурирование в системе моделирования 3ds Max реализуется на основе работы с материалами объекта. Материал определяется параметрами и текстурами, основные из которых приведены в таблице 1. Среди многочисленных материалов в 3ds Max важным является Blend – комбинирование нескольких материалов, применяемых к объекту. Формально, объекту приписывается два материала, смешение которых производится попиксельно и, в общем случае, задается с помощью маски – текстуры в оттенках серого.

Таблица 1

Основные параметры	Основные типы текстурных карт
Diffuse - основной цвет материала	***Diffuse map*** - карта основного цвета поверхности объекта
Specular - цвет блика	***Reflection map*** - карта отражений
Specular Level - яркость блика	***Specular map*** - карта зеркального отражения
Glossiness - глянцевитость поверхности	***Specular Level map*** - яркость блика
Self Illumination - интенсивность самосвечения	***Glossiness map*** - карта размытости блика
Opacity - степень прозрачности	***Normal (Bump) map*** - карта нормалей
	Opacity map - карта прозрачности
	Self illumination map - карта самосвечения

Белый цвет пиксела маски указывает, что при смешивании материалов берется пиксел первого материала, а черный цвет – что берется пиксел второго материала. Серый цвет задает процент смешивания цветов пикселов обоих

материалов. Каждый из этих материалов в свою очередь может также иметь тип Blend, и таким образом можно получить произвольное (не обязательно полное) бинарное дерево материалов для данного объекта.

На рис. 7 показан пример такого дерева, в котором материалы M3 и M4 смешиваются с помощью маски Ms2, а результирующий материал смешивается с материалом M1 с помощью маски Ms1. Так как каждый материал содержит текстуры, то получается, что на одну поверхность накладывается сразу несколько текстур. Эта технология называется мультитекстурированием.

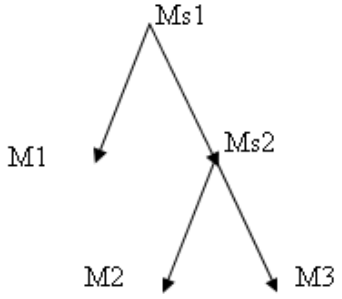
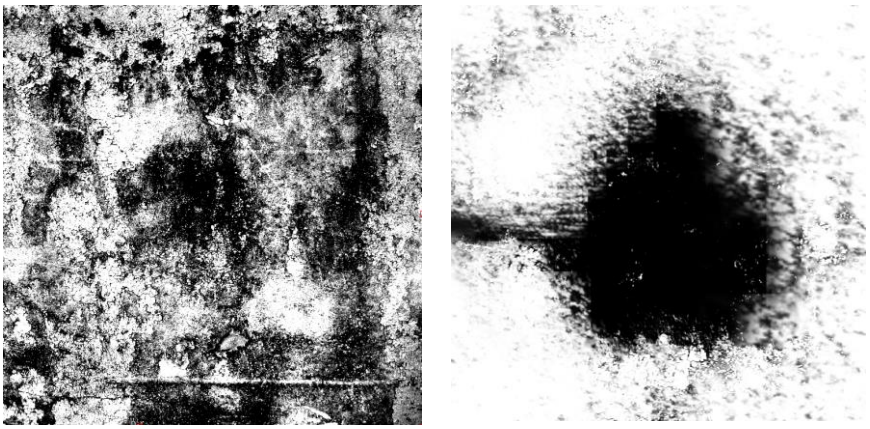


Рис. 7. Дерево мультиматериала

В данной работе предлагается метод мультитекстурирования, работающий в масштабе реального времени. Его суть заключается в том, что рендеринг сцены с мультитекстурами производится путем последовательного применения текстур к материалу, причем промежуточные результаты сохраняются в специальной текстуре и лишь после окончательной обработки выводятся на экран. Эта технология разработана в рамках системы моделирования и визуализации GLView [9, 10], созданной в НИИСИ РАН и ее апробация показала адекватность метода поставленным задачам. На рис. 8 показаны три текстуры, используемые для моделирования асфальта с трещинами, частично припорошенного снегом. Первая текстура задает поверхность снежной поземки, вторая – асфальта, а третья – трещины на нем. Для смешивания текстур использовались маски, показанные на рис. 9. Результат визуализации участка зимнего полигона для мобильных роботов [11, 12] показан на рис. 10.

Текстура снега | Текстура асфальта | Текстура трещин

Рис. 8



Маска смешивания текстур асфальта и трещин | Маска смешивания асфальта со снегом

Рис. 9

Рис. 10. Участок зимнего полигона для мобильных роботов

Заключение

В данной работе предложена технология подготовки мультитекстур с применением современных программных средств, таких как Autodesk 3ds Max, MudBox и Substance Painter. Предложенная технология включает в себя подготовку качественной текстурной развертки объекта с помощью метода автоматической развертки и метода «ручной раскройки», подготовку детализированной карты нормалей на основе модели объекта с повышенной полигональной детализацией, а также подготовку диффузной текстуры объекта с «запеченными» мягкими тенями от окружающего освещения. В работе также предложен метод реализации мультитекстурирования в рамках технологии смешивания Blend-мультиматериалов, используемой в системе трехмерного моделирования 3ds Max. Предложенные методы и алгоритмы были успешно апробированы в системе визуализации GLView, разработанной в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН.

Список литературы:

1. Боресков А. Мультитекстурирование в OpenGL. URL: http://steps3d.narod.ru/tutorials/tutorial-3.html (дата обращения: 17.10.2017).
2. Федорищев Л.А. Мультитекстурирование с помощью шейдеров // Программные продукты и системы. – 2013, № 1. – стр. 58-61. URL: http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=3381 (дата обращения: 17.10.2017).
3. R. Pages, S. Arnaldo, R Moran and D. Berjón. Composition of texture atlases for 3D mesh multi-texturing. Eurographics Italian Chapter Conference (2010). URL: http://oa.upm.es/9263/3/INVE_MEM_2010_85609.pdf (дата обращения: 17.10.2017).

4. Autodesk 3DS MAX’2017. URL: http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2017/ENU/ ?guid=GUID-D2B59023-7D53-4E86-804F-7A037E787055 (дата обращения: 17.10.2017).
5. UVW Editor Dialogs. URL: http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2017/ENU/ ?guid=GUID-CD75DC19-4797-4363-942B-BFD305CB6713 (дата обращения: 17.10.2017).
6. Autodesk Mudbox. URL: https://www.autodesk.com/products/mudbox (дата обращения: 17.10.2017).
7. Allegorithmic Substance Painter. URL: https://www.allegorithmic.com/products/ substance-painter (дата обращения: 17.10.2017).
8. ZBrush. URL: http://pixologic.com/features/ (дата обращения: 17.10.2017).
9. Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Система визуализации «GLView» для имитационно-тренажерных комплексов и систем виртуального окружения // Труды 25-й Международной научной конференции Графикон, Москва-Протвино. – 2015. – стр. 96-101.
10. Михайлюк М.В. Система визуализации для имитационно-тренажерных комплексов // Радиоэлектронные технологии. – 2016. – № 2. – стр. 72-76.
11. М.В. Михайлюк, П.Ю.Тимохин. Моделирование поверхности виртуального полигона // Труды НИИСИ РАН. – 2016. – т. 6, № 2. – стр. 38-41.
12. Л.А. Финагин, Д.М. Логинов. Универсальный виртуальный полигон для робототехнических средств // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. Материалы III Международной научно-практической конференции. – 2016. – Выпуск 3, Том I. – С. 394-396.

References

1. Boreskov A.V. Multiteksturirovanie v OpenGL. URL: http://steps3d.narod.ru/tutorials/ tutorial-3.html (review date: 17.10.2017).
2. Fedorischev L.A. Multitexturing with shaders // Programmnye produkty i sistemy [Software & Systems]. – 2013. – no. 1. – pp. 58-61. URL: http://www.swsys.ru/index.php?page= article&id=3381 (review date: 17.10.2017).
3. R. Pages, S. Arnaldo, R Moran and D. Berjón. Composition of texture atlases for 3D mesh multi-texturing. Eurographics Italian Chapter Conference (2010). URL: http://oa.upm.es/9263/3/ INVE_MEM_2010_85609.pdf (review date: 17.10.2017).
4. Autodesk 3DS MAX’2017. URL: http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2017/ENU/ ?guid=GUID-D2B59023-7D53-4E86-804F-7A037E787055 (review date: 17.10.2017).
5. UVW Editor Dialogs. URL: http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2017/ENU/ ?guid=GUID-CD75DC19-4797-4363-942B-BFD305CB6713 (review date: 17.10.2017).
6. Autodesk Mudbox. URL: https://www.autodesk.com/products/mudbox (review date: 17.10.2017).
7. Allegorithmic Substance Painter. URL: https://www.allegorithmic.com/products/ substance-painter (review date: 17.10.2017).
8. ZBrush. URL: http://pixologic.com/features/ (review date: 17.10.2017).
9. Mikhaylyuk M.V., Torgashev M.A. The System of Visualization "GLView" for Simulators and Virtual Environment Systems // Trudy 25-i Mezhdunarodnoi konferentsii GraphiCon (Proc. 25th Int. Conf. GraphiCon), Moskva-Protvino, 2015, pp. 96-101.
10. Mikhaylyuk M.V. Sistema vizualizatsii dlia imitatsionno-trenazhernykh kompleksov // Radioelektronnye tekhnologii. – 2016. – № 2. – pp. 72-76.
11. Mikhaylyuk M.V., Timokhin P.Y. Virtual Polygon Surface Modeling // Trudy NIISI RAN. – 2016, Vol. 6, No. 2. – pp. 38-41.
12. Finagin L.A., Loginov D. M. Universalnyi virtualnyi poligon dlia robototekhnicheskikh sredstv // Virtualnoe modelirovanie, prototipirovanie i promyshlennyi dizain. Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – 2016. – Vol. I, iss. 3. – pp. 394-396.