

УДК 778.5.05:621.391

ББК 37.95

Трубочкина Н.К.

МЕТОДИКА СИНТЕЗА 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЙ ФРАКТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ КИНЕМАТОГРАФА

Трубочкина Надежда Константиновна, доктор технических наук,
профессор

E-mail: ntrubochkina@hse.ru

МИЭМ НИУ Высшая школа экономики

В статье описаны методика и алгоритмы синтеза 3D-визуализаций фрактальных моделей объектов с заданными свойствами для кинематографа для классов: ландшафты, города, дома, интерьеры, технические объекты, растения, животные и т. д. Описаны алгоритмы создания сюжетов фрактальных фильмах и фрактальных эпизодов фильмов с реальными объектами.

Ключевые слова: кинематограф, методика синтеза 3D-визуализаций фрактальных объектов с заданными свойствами, алгоритм синтеза мультифрактала-объекта, библиотека мультифракталов, классы мультифракталов, приёмы параметрической модификации мультифрактала-объекта, алгоритмы создания сюжетов во фрактальных фильмах.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное, или цифровое, искусство — направление в медиаискусстве, основанное на использовании информационных технологий, результатом применения которых являются художественные произведения в цифровой форме. К цифровым искусствам

можно отнести цифровые фотографии и видео, компьютерную, в том числе объёмную, графику, стереокино, дополненную и виртуальную реальности и пр.

ИСКУССТВО ИЩЕТ НОВЫЕ ФОРМЫ

Для цифрового искусства информационные технологии это не цель, а средство формирования в сознании зрителя представления о создаваемом произведении, инструмент, без которого само цифровое искусство невозможно.

В последнее время интенсивно развивается направление Science-Art — научное искусство, в котором произведения создаются не только с помощью информационных технологий, но и с помощью научных методов, например, при помощи математики создания визуальных или музыкальных образов [6–9, 10, 11].

«Расцветает» и алгоритмическое искусство, так как новое поколение художников и зрителей родилось в цифровой среде, они умеют программировать и готовы воспринимать алгоритм как инструмент «цифрового» художника. Уже существуют нейросети, работающие с различными видами информации — изображениями [16], музыкой [5], видео (например, позволяют корректировать фон) [3].

Даже традиционным художникам при создании художественных произведений стоит увидеть и использовать подарки времени в виде новых инструментов и технологий. Новые инструменты дают новую свободу творчеству и очень интересные результаты. Самое главное в искусстве — это создание необычного переживания у зрителя и борьба с шаблонным восприятием.

Данная статья посвящена комплексному использованию научного и алгоритмического искусства создания фрактальных фильмов и эпизодов для фантастических фильмов, и демонстрации разработанной методики синтеза 3D-визуализаций фрактальных объектов с заданными свойствами для кинематографа.

ОБЗОР И АНАЛИЗ АНАЛОГОВ

В начале первого десятилетия XXI века появился фрактальный генератор Mandelbulb 3D (MB3D) [13] — бесплатное программное приложение, созданное для трёхмерной фрактальной визуализа-

ции. Приложение было разработано Джесси и другими авторами форумов Fractal [15] и основано на работах Бенуа Б. Мандельброта [1]. MB3D использует сотни нелинейных уравнений фрактальных объектов (сейчас уже около 400). Среда 3D-рендеринга включает в себя эффекты освещения, цвета, отражения, глубины резкости, теней и свечения, позволяя пользователю точно контролировать эффекты изображения. Программное обеспечение более дружелюбное к пользователю, чем большинство 3D-фрактальных приложений. Ряд учебных пособий доступен в Интернете в режиме онлайн. Приложение предназначено как для среды Windows, так и для Mac Wineskin.

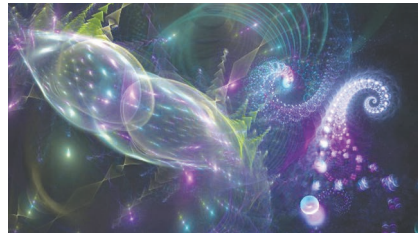
С появлением этой программы начались эксперименты по визуализации 3D-фракталов, как в статике (изображения), так и в динамике (фильмы). Первые фильмы Кристофа (2010) (рис. 1, *а*) [12] и Черри Гренди (2015) [14] были полётами внутри 3D-фракталов без сюжета и эмоционального содержания. Это были абстрактные арт-видео.

Были и эксперименты по синтезу фрактальных видео в других программах. Отметим работы А. и В. Осипенковых, выполненные в стиле романтической абстракции, например — «ДНК ангела» (2014) (рис. 1, *б*) [2].

После первых математических экспериментов встала задача поиска для фрактальных арт-видео не математического, медитативного, а художественного смысла и образа. Нужны были фракталы, похожие «на что-то реальное». Так, автором статьи для фрактального экспериментального видео «Память о войне» (2015) был найден мультифрактал (состоящий из нескольких фракталов), условно

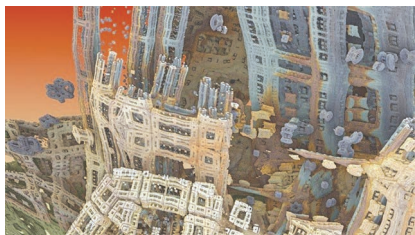


а)



б)

Рис. 1. Эксперименты по созданию абстрактных арт-видео с использованием фракталов: *а* — фильм Кристофа (2010); *б* — экспериментальный фрактальный фильм «ДНК ангела» А. и В. Осипенковых (2014)



а)



б)

Рис. 2. Примеры мультифракталов: *а* — исходный мультифрактал для фильма «Память о войне» (Н. Трубочкина, 2015 г.); *б* — мультифрактал для фильма «Второй полёт над Серой Планетой» (Н. Трубочкина, 2016 г.)

названный «Убитый город» (рис. 2, *а*) [5], а для фильма «Второй полёт над Серой планетой» (2016) — мультифрактал «Серая Плана» (рис. 2, *б*) [2].

«Fraktaal» (рис. 3), так называется фильм, созданный сгенерированными фрактальными функциями, с помощью которых и появились эти чужие миры и города [4]. Хорстуис и раньше использовал фракталы в CG-анимации, но смотря фильм «Fraktaal», легко забыть, что перед нами результат деятельности математических алгоритмов. Хорстуис писал: «С помощью фракталов я могу сотворить целые миры, и мне не нужно что-либо рисовать или моделировать. Эти формы прячутся в формулах, они существуют в математической реальности, а мне нужно лишь исследовать эти миры и заставить их показать себя» [4].



Рис. 3. Мультифрактал для видео «Fraktaal» (Джулиус Хорстуис, 2017 г.)

Остаются вопросы: как быстро подобный подход усвоят мастера по спецэффектам из Голливуда и других кинофабрик, и когда сценаристы научатся писать сценарии, учитывающие новые возможности фрактального художественного синтеза, осуществляемого фрактальным художником?

«Цифровых» художников часто обвиняют в том, что всё за них делает компьютер. Но не компьютер это создаёт, он только вычисляет задаваемые человеком системы функций, а сам фильм — взаимное расположение моделей, цветовое решение, постановка света, ракурс и движение камеры, монтаж — всё это дело рук и головы фрактального художника.

НО ТЕПЕРЬ И ЭТОГО МАЛО...

Чтобы перейти от экспериментальных фрактальных видовых арт-видео к фильму, нужен сюжет (события и взаимодействие объектов во времени), а для этого нужно:

- эти новые математические объекты уметь создавать,
- а потом ещё и заставить «действовать».

МЕТОДИКА СИНТЕЗА 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИЙ ФРАКТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ КИНЕМАТОГРАФА

Методика основана на разработке классов мультифракталов с определёнными свойствами. На рис. 4. показаны созданные автором мультифракталы, относящиеся к классам: ландшафты, города, дома, интерьеры, технические объекты, растения, животные.

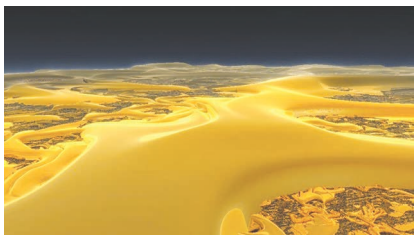
НОВИЗНА

Для использования в кинопроизводстве предлагается метод создания изображения 3D-объекта с заданными свойствами с использованием:

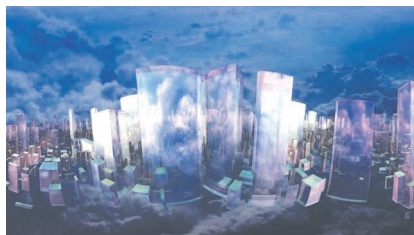
- фрактальной математики,
- алгоритмов мутаций и параметрической модификации,
- параллельных вычислений (при больших объёмах задач).

Предлагаемая методика состоит из следующих этапов:

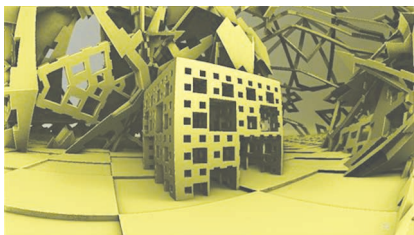
1) синтез мультифрактала, определяющего визуальный 3D-образ физического объекта с использованием функций с определёнными свойствами из библиотеки простых функций;



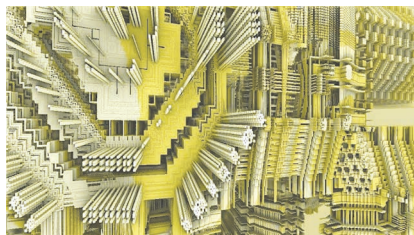
Ландшафты



Города



Дома



Интерьеры



Технические объекты



Растения



Животные

Рис. 4. Сгенерированные мультифракталы, относящиеся к различным классам

- 2) параметрическая модификация мультифрактала;
- 3) процедура мутаций визуального 3D-образа физического объекта;
- 4) расчёт детализации изображения при масштабировании с использованием алгоритмов параллельных вычислений (в MB3D есть такая возможность);

5) формирование библиотеки мультифракталов с заданными свойствами (см. рис. 4).

СИНТЕЗ МУЛЬТИФРАКТАЛА, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ВИЗУАЛЬНЫЙ 3D-ОБРАЗ ФИЗИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ С ОПРЕДЕЛЁННЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ БИБЛИОТЕКИ ПРИЛОЖЕНИЯ MB3D

Рассмотрим синтез нового объекта на примере синтеза 3D-модели фантастического города с учётом задаваемых свойств модели. Пусть визуальными особенностями 3D-объекта «Город» будут:

- кубическая форма зданий;
- кольцевая форма кварталов.

В библиотеке функций приложения MB3D есть функция случайных кубов RandCubeIFS с 13 аргументами. Введём эту функцию ($F1$) в систему создаваемого мультифрактала объекта «Город»:

$F1 = \text{RandCubeIFS}(\text{XVtn}, \text{Scale}, \text{Zadd}, \text{Yadd}, \text{Xadd}, \text{YVtn},$
 $\text{ApplyScale}+\text{add}, \text{ZMaxSz}, \text{RandomazerX}, \text{RandomazerY},$
 $\text{ShapeType1}, \text{ShapeType2}, \text{ZRight}).$

На рис. 5, *а* показан пример визуализация этой функции.

Кольцевые структуры кварталов объекта «Город» (рис. 5, *б*) можно получить, используя функцию $F2 = \text{Gear2IFS}$:



а)



б)

Рис. 5. Примеры визуализации объектов «Город»: *а* — первоначальная визуализация функции $F1 = \text{RandCubeIFS}$; *б* — первоначальная визуализация функции $F2 = \text{Gear2IFS}$; *в* — первичная визуализация системы 2-х уравнений объекта «Город»



в)

$F2 = \text{Gear2IFS}(\text{Angle}, \text{Scale}, \text{Zadd}, \text{Yadd}, \text{Xadd}, \text{CylRadius}, \text{ApplyScale}+\text{add}, \text{RepeatAngle}, \text{Thick1}, \text{ThickZ}, \text{D-Angle}, \text{Thick2})$.

Вычисление первичной визуализации объединённых в систему двух функций $F1$ и $F2$ даёт изображение, показанное на рис. 5, 6.

Данная математическая композиция далека от желаемого результата, поэтому следующим этапом является этап параметрического подбора или автоматической генерации параметров системы функций мультифрактала создаваемого объекта для получения желаемого результата.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО МУЛЬТИФРАКТАЛА

В приложении MB3D предусмотрены 3 режима изменения параметров системы функций мультифрактала:

- 1) ручное изменение параметров в окне функций разработчиком объекта;
- 2) ручное изменение параметров с быстрой визуализацией результата в окне «Навигатор» (рис. 6);

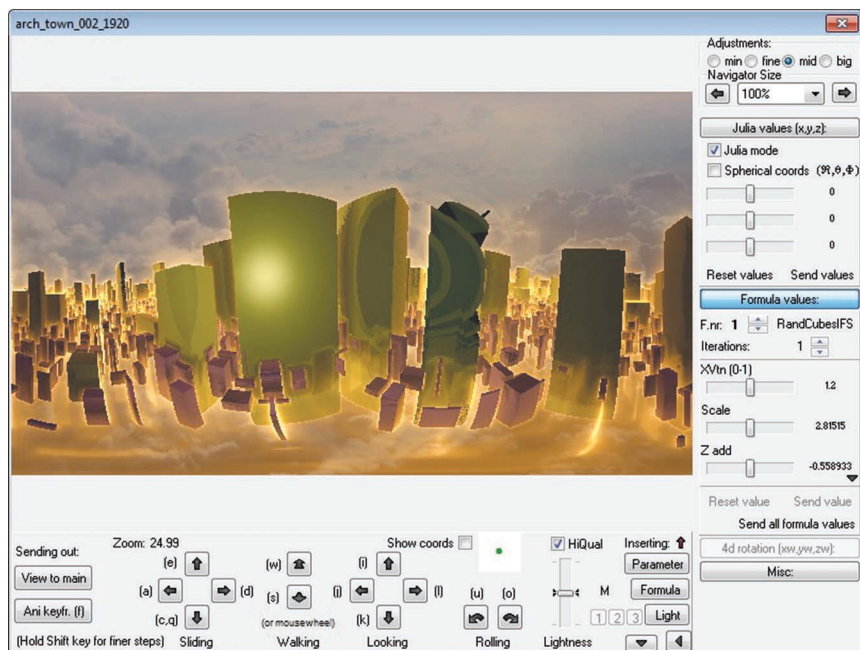


Рис. 6. Изменение параметров функций объекта «Город» в Навигаторе

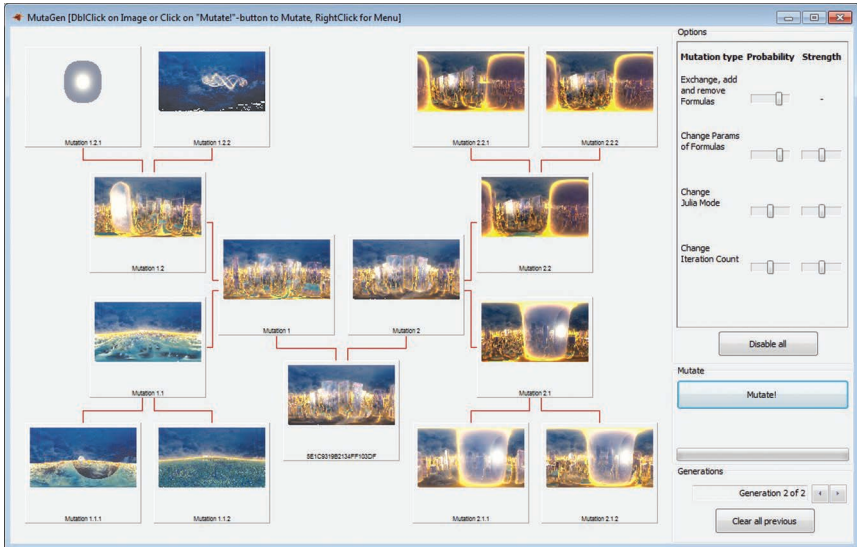


Рис. 7. Мутаген — инструмент мутаций параметров функций и множественных визуализаций объекта «Город»

3) случайное автоматическое изменение параметров с визуализацией в окне «Мутаген» с задаваемым уровнем изменения параметров (рис. 7).

После различных экспериментов с параметрами функций разрабатываемого объекта можно оставить, например, один из бесконечного множества вариантов мультифрактала «Город». Пример его визуализации приведён на рис. 8.

В приложении MB3D можно работать со светом (окно Lighting), устанавливать фоновое изображение, создавать размытость в нужных местах, отражение от поверхностей, прозрачность, различные тени и свечения.

Можно совершенствовать художественный образ, работая инструментами Навигатор (см. рис. 6) и Мутаген (см. рис. 7).

По вышеописанной методике могут создаваться мультифракталы с заданными свойствами (см. рис. 4). Для этого нужно совсем немного. Нужно иметь визуальные представления о каждой из 362 функций приложения MB3D и уметь ими манипулировать.

На этом, собственно, и заканчивается этап создания статического художественного образа мультифрактального объекта с заданными свойствами и начинается следующий этап: как этот мате-

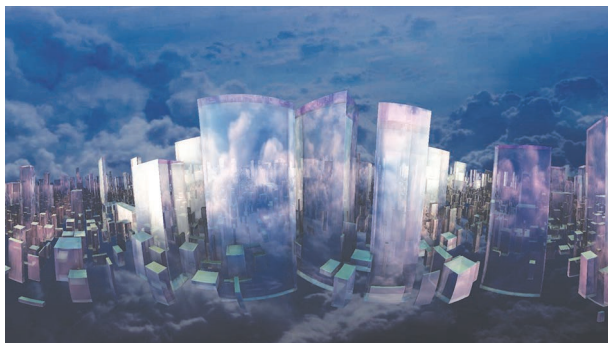


Рис. 8. Пример визуализации мультифрактала объекта «Город»

матический художественный образ можно использовать в фильмах, и не только в экспериментальных.

АЛГОРИТМЫ СОЗДАНИЯ СЮЖЕТОВ ВО ФРАКТАЛЬНЫХ ФИЛЬМАХ И ЭПИЗОДАХ ФИЛЬМОВ

По определению «сюжет — это ряд событий». События могут происходить и с одним объектом, как это было во фрактальных фильмах «Память о войне» и «Второй полёт над Серой Планетой». В первом фильме были использованы приёмы многослойности фильма, полупрозрачных слоёв и временного смещения фрактальных эпизодов фильма в разных слоях. С помощью суперпозиции на основе одного мультифрактала создавался ряд художественных образов, связанных с войной и разрушением, изменяемых во времени.

Во втором фильме создание событий осуществлялось с помощью трансформации мультифрактала. Была синтезирована визуализация таких событий, как рождение, жизнь и смерть Серой Планеты.

Можно продемонстрировать ещё один приём создания событий в фильме — это взаимодействие объектов различного типа (реальных и вычисленных виртуальных).

Возможны варианты взаимодействия:

- 1) виртуального с виртуальным;
- 2) виртуального с реальным (этот способ описан в [2]);
- 3) реального с реальным (обычное кино).

Рассмотрим первый случай.



Рис. 9. Кадр из фильма с фрактальными объектами в разных слоях

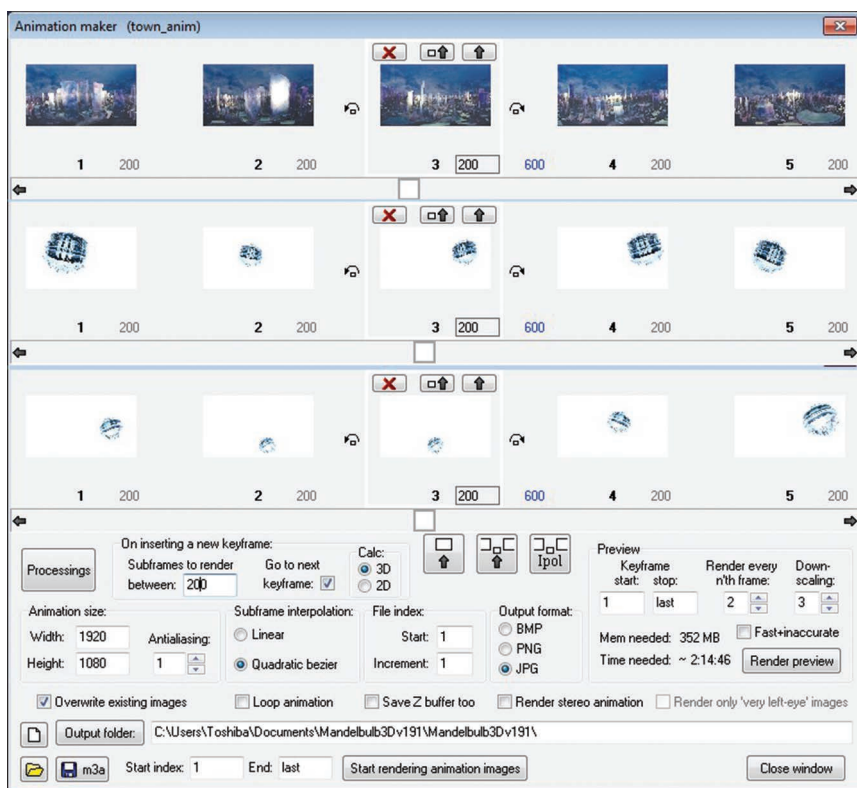


Рис. 10. Пример шкал времени многослойного фрактального эпизода

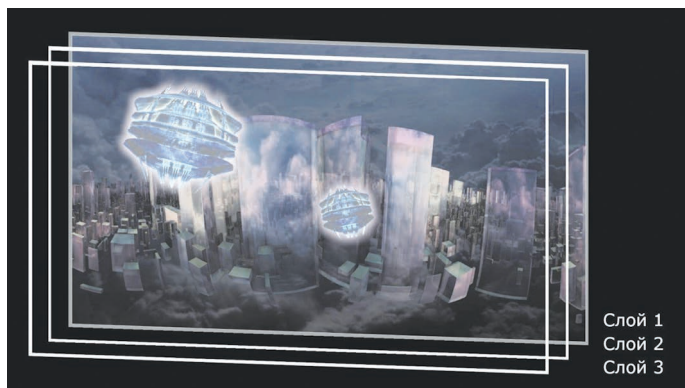


Рис. 11. Модель многослойной динамической визуализации

Введём в сценарий второй объект (мультифрактал) «Летающий корабль» (см. рис. 4, технические объекты). И пусть таких объектов будет два. Тогда в фильме или в эпизоде фильма (полностью фрактальном) сюжет можно строить на взаимодействии (а лучше, на конфликте) трёх виртуальных объектов: города и двух летающих кораблей. События будут программироваться в трёх слоях анимации (рис. 9–11), где в первом (нижнем) слое будет анимация-трансформация мультифрактала «Город», во втором и третьем слоях (прозрачных) — анимация (и, если нужно, трансформация) объектов «Летающий корабль 1 и 2» путём создания ключевых кадров-визуализаций в слое каждого фрактального объекта (рис. 11).

ПРИМЕР СЦЕНАРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ФРАКТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Сценарий «прописывается» в шкалах времени трёх слоёв (см. рис. 9).

Анимации объектов 2-го, 3-го и т. д. слоёв должна быть рассчитана на однотонном фоне (так как в приложении MB3D не предусмотрен альфа-канал — (прозрачность)), а при монтаже фрактального эпизода необходимо заменить одноцветный фон на прозрачный, возможно, с добавлением эффектов (см. рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика синтеза 3D-визуализаций фрактальных объектов с заданными свойствами.

Описан алгоритм синтеза мультифрактала объекта, определяющего визуальный 3D-образ реального физического объекта с использованием функций с определёнными свойствами.

Создана и пополняется библиотека мультифракталов в классах: ландшафты, города, дома, интерьеры, технические объекты, растения, животные и т. д.

Описаны приёмы параметрической модификации мультифрактала-объекта для создания множества решений одного художественного образа.

Описаны алгоритмы создания сюжетов во фрактальных фильмах и фрактальных эпизодах фильмов с реальными объектами.

Разработанная методика может быть полезна при создании фильмов кинематографистам, желающих использовать новые художественные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мандельброт Б.Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2009.

2. Международный 3D-стерео кинофестиваль. <http://www.3dfest.ru/news.html> (дата обращения: 28.10.2018).

3. Нейросеть Google позволит мгновенно менять фон в видео на YouTube. <https://www.cossa.ru/news/196687/> (дата обращения: 28.10.2018).

4. Первый мультфильм, который полностью сгенерировал компьютер. <https://www.popmech.ru/design/395102-pervyy-multfilm-kotoryy-polnostyu-sgeneriroval-kompyuter/> (дата обращения: 28.10.2018).

5. Радько П. Создаём музыку с Amper. <https://neuralnet.info/article/%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D0%B5%D0%BC-%D0%BC%D1%83%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D1%83-%D1%81-amper/> (дата обращения: 28.10.2018).

6. Трубочкина Н.К., Кондратьев Н.В. Перспективы развития трёхмерного кино без очков с использованием фрактальной графики // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: II Международная научно-практическая конференция, Москва, 21–25 сентября 2015 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2015. С. 60–68.

7. Трубочкина Н.К., Кондратьев Н.В. Создание фрактальных статических и динамических изображений для автостереоскопических систем // Мир техники кино. 2015. Т. 37. № 3. С. 6–16.

8. Трубочкина Н.К., Лиховцева А.В. Технология фрактальной 3D-визуализации // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VII Международная научно-практическая конференция, Москва, 23–25 апреля 2015 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2015. С. 99–113.

9. Трубочкина Н.К., Лиховцева А.В. Фрактальные графические образы — новые возможности для кино и телевидения // Мир техники кино. 2015. Т. 38. № 4(9). С. 10–17.

10. Трубочкина Н.К. От фрактальных динамических арт-объектов к фрактальным фильмам // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: III Международная научно-практическая конференция, Москва, 28–30 сентября 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 165–176.

11. Трубочкина Н.К. Технология создания полнометражных 2D- и 3D-фильмов с использованием фрактальных слоёв // Мир техники кино. 2016. № 4. С. 21–29.

12. <https://www.youtube.com/watch?v=bO9ugnn8DbE&list=PL5991671E510A0F6A&index=28> (дата обращения: 28.10.2018).

13. Mandelbulb 3D (MB3D) tutorials. <http://www.mandelbulb.com/2014/mandelbulb-3d-mb3d-fractal-rendering-software/> (дата обращения: 28.10.2018).

14. Sherry L. Grandy — digital artist. https://www.youtube.com/channel/UC6m9aMe9zt_LAAfzAeB3dUg (дата обращения: 28.10.2018).

15. The All New FractalForums is now in public beta testing! <http://www.fractalforums.com/> (дата обращения: 28.10.2018).

16. Turn any photo into an artwork — for free! <https://deepart.io/> (дата обращения: 28.10.2018).

Nadezhda K. Trubochkina

**SYNTHESIS METHOD OF 3D-VISUALIZATION
OF FRACTAL OBJECTS WITH GIVEN PROPERTIES
FOR CINEMA**

Nadezhda K. Trubochkina, PhD, Sc. D. (Engineering), professor
 E-mail: ntrubochkina@hse.ru
 MIEM Higher School of Economics

The article describes the methods and algorithms of synthesizing 3D-visualization for fractal models of objects with specified properties for the cinema for the following classes: landscapes, cities, houses, interiors, technical objects, plants, animals, etc. Algorithms for creating scenes in fractal films and fractal episodes of films with real objects are described.

Key words: cinema, 3D-visualization synthesis method for fractal objects with specified properties, multifractal-object synthesis algorithm, multifractal library, multifractal classes, methods for parametric modification of multifractal object, story-making algorithms for fractal films.

REFERENCES

1. Mandel'brot B.B. Fraktaly i khaos. Mnozhestvo Mandel'brotov i drugie chudesna. M.:Izdatel'stvo: Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika, 2009.
2. Mezhdunarodnyi 3D-stereo kinofestival'. <http://www.3dfest.ru/news.html> (data obrashcheniya: 28.10.2018).
3. Neiroset' Google pozvolit mgnovenno menyat' fon v video na YouTube. <https://www.cossa.ru/news/196687/> (data obrashcheniya: 28.10.2018).
4. Pervyy mul'tfil'm, kotoryy polnost'yu sgeneriroval komp'yuter. <https://www.popmech.ru/design/395102-pervyy-multfilm-kotoryy-polnostyu-sgeneriroval-kompyuter/> (data obrashcheniya: 28.10.2018).
5. Rad'ko P. Sozdaem muzyku s Amper. <https://neuralnet.info/article/%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D0%B5%D0%BC-%D0%BC%D1%83%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D1%83-%D1%81-amper/> (data obrashcheniya: 28.10.2018).
6. Trubochkina N.K., Kondrat'ev N.V. Perspektivy razvitiya trekhmernogo kino bez ochkov s ispol'zovaniem fraktal'noi grafiki // Innovatsionnye tekhnologii v kinematographe i obrazovanii: II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 21–25 sentyabrya 2015 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2015. P. 60–68.
7. Trubochkina N.K., Kondrat'ev N.V. Sozдание fraktal'nykh staticheskikh i dinamicheskikh izobrazhenii dlya avtostereoskopicheskikh sistem // Mir tekhniki kino. 2015. Vol. 37. No 3. P. 6–16.

8. Trubochkina N.K., Likhovtseva A.V. Tekhnologiya fraktal'noi ZD-vizualizatsii // Zapis' i vosproizvedenie ob»emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 23–25 aprelya 2015 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2015. P. 99–113.

9. Trubochkina N.K., Likhovtseva A.V. Fraktal'nye graficheskie obrazy — novye vozmozhnosti dlya kino i televideniya // Mir tekhniki kino. 2015. Vol. 38. No 4(9). P. 10–17.

10. Trubochkina N.K. Ot fraktal'nykh dinamicheskikh art-ob»ektov k fraktal'nyim fil'mam // Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 28–30 sentyabrya 2016 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2016. P. 165–176.

11. Trubochkina N.K. Tekhnologiya sozdaniya polnometrzhnykh 2D- i 3D-fil'mov s ispol'zovaniem fraktal'nykh sloev // Mir tekhniki kino. 2016. No 4. P. 21–29.

12. <https://www.youtube.com/watch?v=bO9ugnn8DbE&list=PL5991671E510A0F6A&index=28> (data obrashcheniya: 28.10.2018).

13. Mandelbulb 3D (MB3D) tutorials. <http://www.mandelbulb.com/2014/mandelbulb-3d-mb3d-fractal-rendering-software/> (data obrashcheniya: 28.10.2018).

14. Sherry L. Grandy — Digital Artist. https://www.youtube.com/channel/UC6m9aMe9zt_LAAfzAeB3dUg (data obrashcheniya: 28.10.2018).

15. The All New FractalForums is now in Public Beta Testing! <http://www.fractalforums.com/> (data obrashcheniya: 28.10.2018).

16. Turn any photo into an artwork — for free! <https://deepart.io/> (data obrashcheniya: 28.10.2018).