

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.43

### ФОРМАЛЬНЫЙ ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ТРЕХМЕРНОГО ЛАНДШАФТА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

канд. техн. наук, доц. Д.О. ГЛУХОВ, канд. техн. наук, доц. Р.П. БОГУШ, Т.М. ГЛУХОВА  
(Полоцкий государственный университет)

*Вопросы генерирования ландшафта являются актуальными в теории компьютерного моделирования. Особую актуальность данное направление получило при решении задач трехмерной компьютерной графики. Предложен механизм формирования ландшафта с использованием композиций гармонических функций. Для достижения этой цели использован формальный язык описания генератора сложного рельефа, а также разработано соответствующее программное обеспечение.*

**Введение.** Если попытаться классифицировать существующие методы генерирования ландшафтов, то, исходя из практической составляющей, мы предлагаем придерживаться следующего разделения:

1) **алгоритмы, генерирующие случайные ландшафты.** Такие алгоритмы не в состоянии воспроизвести один и тот же ландшафт повторно, поскольку используют генераторы псевдослучайных последовательностей. Для таких алгоритмов применяются случайные фракталы [1], диаграмма Воронова для случайного набора точек [2], для оптимизации случайных наборов используется метод релаксации Ллойда [3];

2) **алгоритмы, генерирующие неслучайные ландшафты ограниченных размеров.** Такие алгоритмы чаще всего применяются для целей визуализации фотореалистических изображений ландшафтов, а также для игр с ограниченным размером карт. Данный класс алгоритмов предлагает широкий ряд математических методов (фрактальные алгоритмы, алгоритмы на основе готовой карты высот) [4];

3) **алгоритмы, генерирующие неслучайные ландшафты неограниченных размеров.** Под неограниченностью размеров генерируемого пространства мы будем иметь в виду такие размеры, при которых невозможно хранение в памяти всего сгенерированного ландшафта и возникает потребность генерирования в режиме реального времени. Данный класс алгоритмов представляется нам наиболее перспективным, и именно на нем мы и сфокусируем наше внимание.

**Основная часть.** Рассмотрим возможную параметризацию задачи генерирования ландшафта. Нами предлагаются следующие генерируемые параметры.

Непрерывные:

- 1) высота блока;
- 2) цвет блока;
- 3) прозрачность блока.

Дискретные (опция):

- 4) тип блока;
- 5) тип растения;
- 6) высота растения;
- 7) размер растения по высоте;
- 8) деревья.

#### Основные понятия и определения

**Области генерации** – произвольные подпространства с различной математикой, на которые функционально разбивается все пространство с целью снижения вычислительной нагрузки при обеспечении высокого многообразия ландшафтов. Для выполнения быстрого разбиения пространства на подпространства с различной математикой предлагается задать границы между ними через плавный переход относительно некоторого базового пространства, заполняющего зоны между пространствами разбиения.

Пространства с различной математикой обладают следующими свойствами:

- 1) не пересекаются, но примыкают друг к другу, образуя разбиение покрытия;
- 2) существует ограниченное количество типов пространств с различной математикой;
- 3) имеют неправильные формы;
- 4) для любой области покрытия однозначно определяется ее тип.

Введем необходимые для построения генератора определения.

Периодическая функция – это функция, представляющая собой суперпозицию нескольких (от 3-х и более) синусоидальных волн, распространяющихся в двумерном пространстве в различных направлениях. Амплитуда волны в каждой точке двумерного пространства будет нами интерпретироваться в контексте генератора как часть генерируемого параметра (вклад в высоту ландшафта, цвет, тип и т.д.).

Каждая периодическая функция задается количеством волн, их направлениями, начальными фазами, периодами и амплитудами (рис. 1).

Ограниченная периодическая функция – периодическая функция, существующая при превышении ее амплитуды заданного порогового значения (рис. 2).

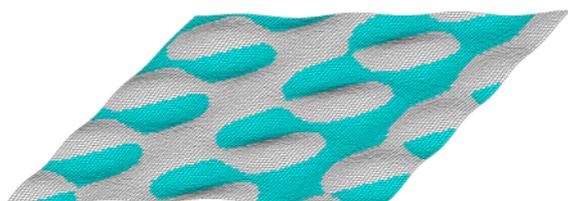


Рисунок 1 – Пример гармонической функции

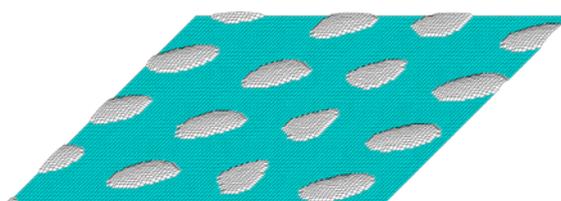
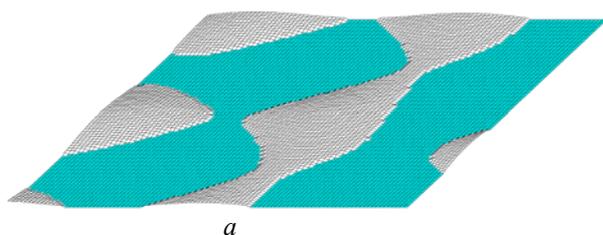


Рисунок 2 – Пример ограниченной гармонической функции

Периодическая функция ограниченная другой периодической функцией – это периодическая функция, существующая только в тех точках, в которых ограничивающая периодическая функция по амплитуде превышает заданный порог (рис. 3).



*a*



*б*

Рисунок 3 – Пример ограниченной волновой функции: *a* – ограничивающая, *б* – ограниченная

Композиция периодических функций – суперпозиция периодических функций, получаемая с целью усложнение результата интерференции и получения более разнообразных поверхностей (рис. 4).

Ограниченная композиция периодических функций – это суперпозиция периодических функций, существующая при превышении амплитуды композиции заданного порогового значения (рис. 5).

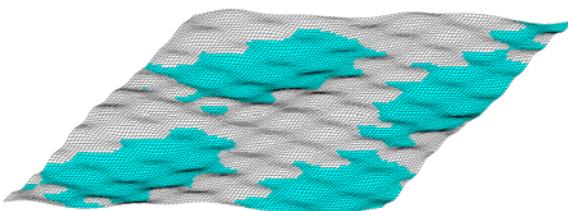


Рисунок 4 – Пример композиции периодических функций

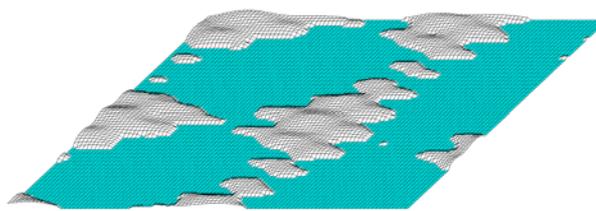


Рисунок 5 – Пример ограниченной композиции периодических функций

Инверсная периодическая функция или композиция – это периодическая функция или композиция периодических функций, отраженная относительно плоскости распространения волны (рис. 6).

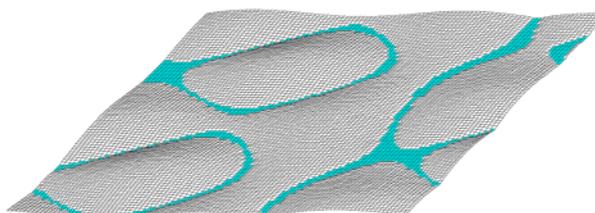


Рисунок 6 – Пример композиции (периодическая функция и ее инверсия), ограниченной ненулевым порогом

Маска – это периодическая функция или композиция периодических функций, возвращающая для всех ненулевых значений значение 1.

Маска является прекрасным механизмом разбиения пространства на подпространства, которые образуют покрытие исходного пространства. Композиция из  $N$  масок позволяет разбить пространство на  $N + 1$  (если учитывать остающиеся подпространства с нулевым значением) покрывающих его подпространств (рис. 7). Причем чем выше амплитуда результирующей композиции, тем более уникальным является подпространство. Это позволяет контролировать редкость определенных генераций.

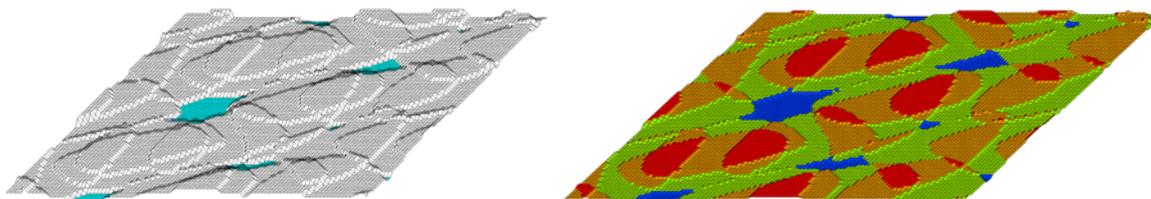


Рисунок 7 – Пример композиции нескольких масок

### Разработка языка управления генератором

Базовые определения стали основой разработанного языка управления периодическими функциями и композициями периодических функций. Рассмотрим основные операторы предлагаемого языка управления генератором.

*Оператор периодической функции, представляющей собой суперпозицию трех синусоид*

$$\mathbf{W3} \text{ name } x_0 \ y_0 \ dx_1 \ dy_1 \ p_1 \ a_1 \ dx_2 \ dy_2 \ p_2 \ a_2 \ dx_3 \ dy_3 \ p_3 \ a_3,$$

где  $x_0, y_0$  – нулевая точка;  $dx_i, dy_i$  – направление распространения гармоника;  $p_i$  и  $a_i$  – период и амплитуда гармоника; *name* – имя периодической функции.

*Оператор композиции периодических функций*

$$\mathbf{MIX} \text{ name } name_1 \ name_2 \ \dots,$$

где *name* – имя композиции; *name<sub>1</sub>, name<sub>2</sub>, ...* – имена периодических функций, входящих в композицию.

*Оператор максимума композиции*

$$\mathbf{MAX} \text{ name } name_1 \ name_2 \ \dots,$$

где *name* – имя композиции; *name<sub>1</sub>, name<sub>2</sub>, ...* – имена композиций-операндов.

*Оператор минимума композиции*

$$\mathbf{MIN} \text{ name } name_1 \ name_2 \ \dots,$$

где *name* – имя композиции; *name<sub>1</sub>, name<sub>2</sub>, ...* – имена композиций-операндов.

*Оператор ограничения композиции по не превышению порога или периодической функции*

$$\mathbf{RD} \text{ name } d,$$

где *name* – имя композиции;  $d$  – пороговое значение.

*Оператор ограничения композиции по превышению порога или периодической функции*

$$\mathbf{RDU} \text{ name } d,$$

где *name* – имя композиции;  $d$  – пороговое значение.

*Оператор ограничения в ноль композиции или периодической функции*

$$\mathbf{RDZ} \text{ name } d,$$

где *name* – имя композиции;  $d$  – пороговое значение.

*Оператор ограничения композиции или периодической функции другой композицией или периодической функцией*

$$\mathbf{RW} \text{ name}_1 \ name_2 \ d,$$

где *name<sub>1</sub>* – имя ограничиваемой композиции; *name<sub>2</sub>* – имя ограничивающей композиции;  $d$  – пороговое значение.

Оператор маски

**MASK** name,

где name – имя композиции, по которой строится маска.

Рассмотрим пример 1 получения композиции (рис. 8):

**W3**w0 0 0 -0.9 0.13 0.9 0.3 0.5 0.75 0.7 0.3 0.4 -0.87 0.5 0.3

**W3**w1 0 0 1 0.2 10 2 -0.5 0.7 10 2 -0.5 -0.7 10 2

**W3**w2 0 0 0.4 0.5 3 1 0.7 -0.5 3.2 1.5 -0.3 -0.8 2.5 1

**MIX**w3 w2 w0 w1

**RW**w3 w3 0.3

**MIXEL**w3

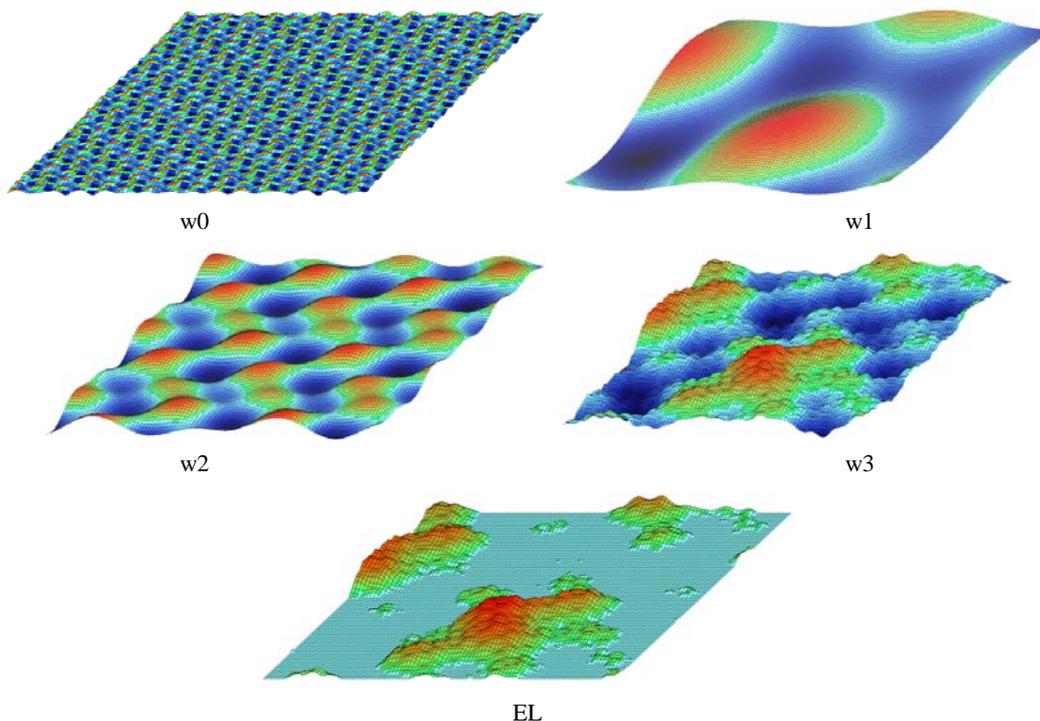


Рисунок 8 – Периодические функции и композиции из примера 1

Оператор сложения периодической функции с числом

**ADD** name d,

где name – имя композиции; d – число.

Оператор масштабирования композиции или периодической функции

**SCALE** name d,

где name – имя композиции или периодической функции; d – масштаб.

Оператор перемножения композиций или периодических функций

**MUL** name<sub>1</sub> name<sub>2</sub>,

где name<sub>1</sub> – имя умножаемой композиции; name<sub>2</sub> – имя композиции множителя.

Оператор умножения композиций или периодической функции на число

**MUL** name<sub>1</sub> d,

где name<sub>1</sub> – имя умножаемой композиции; d – множитель.

Оператор перемножения композиций

**MULT** name<sub>1</sub> name<sub>2</sub> name<sub>3</sub>,

где name<sub>1</sub> – имя композиции результата; name<sub>2</sub> и name<sub>3</sub> – имена перемножаемых композиций.

Оператор сдвига композиции или периодической функции

**SHIFT** name d<sub>x</sub> d<sub>y</sub>,

где name – имя сдвигаемой композиции; d<sub>x</sub> d<sub>y</sub> – величина сдвига в плоскости распространения волны.

Оператор инверсии композиции или периодической функции

**REVERS** name,

где name – имя композиции, подвергаемой инверсии.

Оператор селекции композиции или периодической функции

**CASE** name<sub>1</sub> name<sub>2</sub> name<sub>3</sub> d,

где name<sub>1</sub> – имя результирующей композиции; name<sub>2</sub> – имя композиции оригинала; name<sub>3</sub> – имя композиции условия; d – уровень условия.

Оператор выбора является мощным средством сокращения вычислительных операций, он позволяет создать карту условий для подпространств с разной математикой, где каждое подпространство локализовано на своем уровне высоты и обеспечивает плавность сопряжения подпространств.

Рассмотрим пример 2 применения селектора (оператора выбора) (рис. 9):

```

W3w0      0 0      -0.9 0.13 0.9 0.3      0.5 0.75 0.7 0.3      0.4 -0.87 0.5 0.3
W3mega1   1230 3450 0.3 0.7 130949 0.3      0.6 -0.4 134212 0.4      -0.6 -0.71 142534 0.3
W3mega2   30 13450 -0.9 0.12 230949 0.3      0.6 -0.4 334212 0.4      0.6 0.71 242534 0.3
W3mega3   0 0      0.5 0.7 109049 0.3      -0.6 -0.45 103412 0.3      -0.6 0.71 104534 0.4
MIXm1     mega1 mega2 mega3
CASEc1    w0m1 2
MIXELc1   m1
  
```

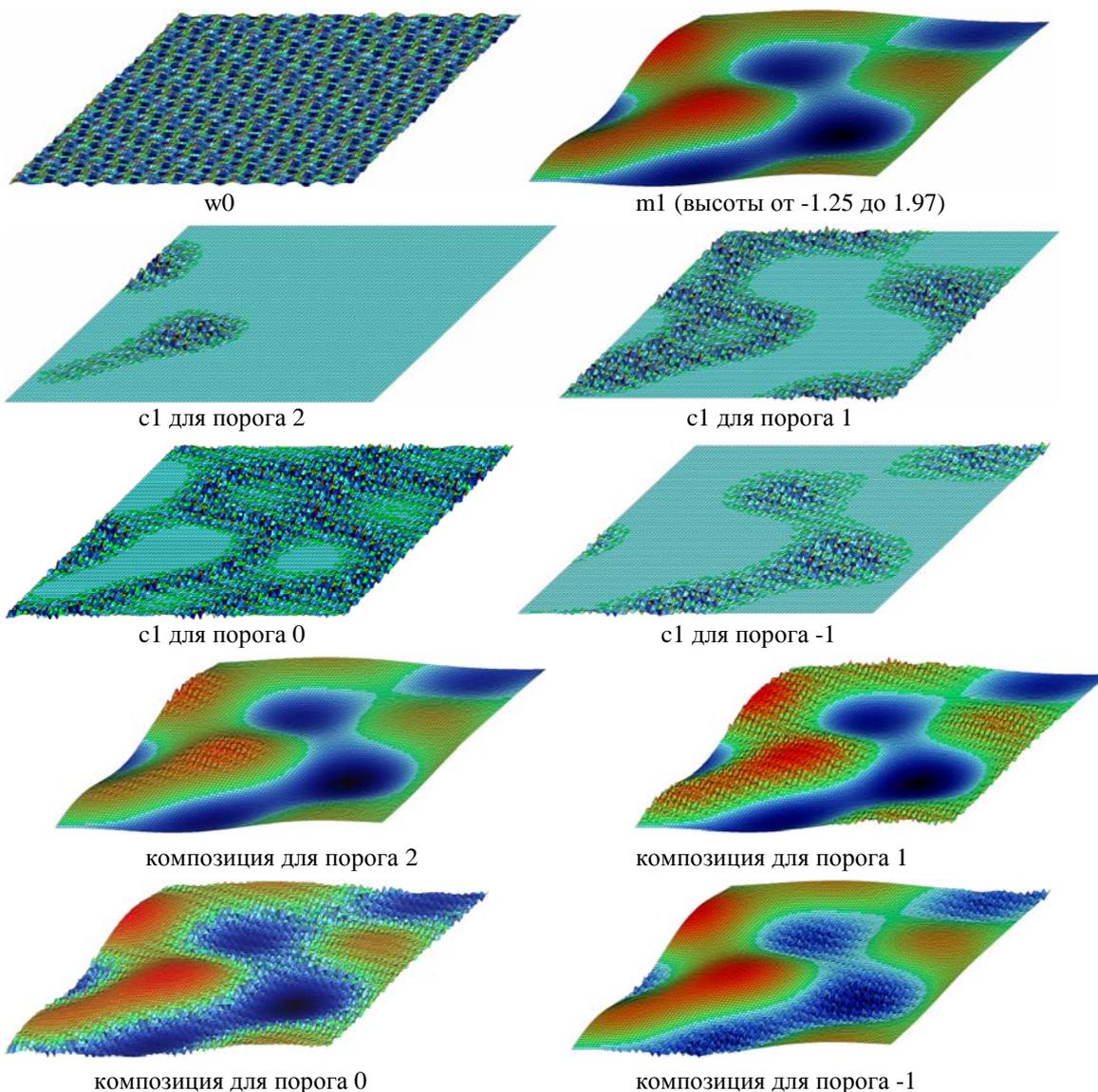


Рисунок 9 – Периодические функции и композиции из примера 2

Из примера 2 видно, как можно выборочно применять композиции для областей, определяемых уровнями представления разбиения пространства.

*Оператор копирования композиций или периодических функций*

**COPY** name<sub>1</sub> name<sub>2</sub>,

где name<sub>1</sub> – имя копии композиции; name<sub>2</sub> – имя копируемой композиции.

Рассмотрим еще несколько интересных операций над периодическими функциями. Данные операции неприменимы к композициям, поскольку работают с фазами волн.

*Оператор фазового сдвига*

**FASA** name<sub>1</sub> name<sub>2</sub>,

где name<sub>1</sub> – имя периодической функции, у которой будет происходить фазовый сдвиг на величину, задаваемую значением периодической функции второго операнда, name<sub>2</sub> – имя периодической функции, значения которой интерпретируются как величина фазового сдвига.

**Рассмотрим пример 3 (рис. 10):**

```

W3 mega1 1230 3450 0.3 0.7 530949 0.3 0.6 -0.4 634212 0.4 -0.6 -0.71 742534 0.3
W3pl1 0 0 1 0 23 0.3 1 0 28 0.5 1 0 45 0.87
W3pl2 0 0 0.6 0.3 33 0.7 0.6 0.3 38 0.5 0.6 0.3 35 0.87
W3pl3 0 0 0.3 0.6 63 0.3 0.3 0.6 48 0.53 0.3 0.6 15 0.7
W3pl4 0 0 0 1 73 0.67 0 1 126 0.75 0 1 68 0.37
MIX plx pl1 pl2 pl3 pl4
MUL plx 10
COPY super1 mega1
FASA super1 plx
    
```

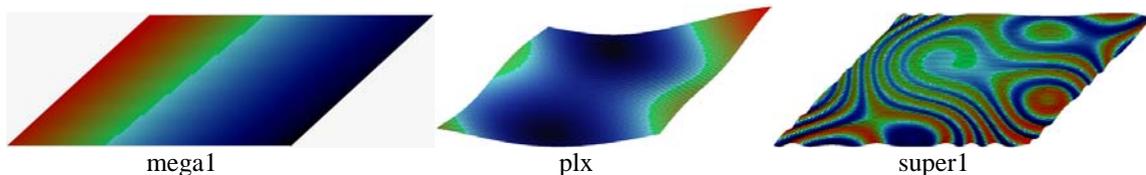


Рисунок 10 – Периодические функции и композиции из примера 3

Применение данной функции позволяет получить интересные профили поверхности, например, при генерировании пещер (рис. 11).

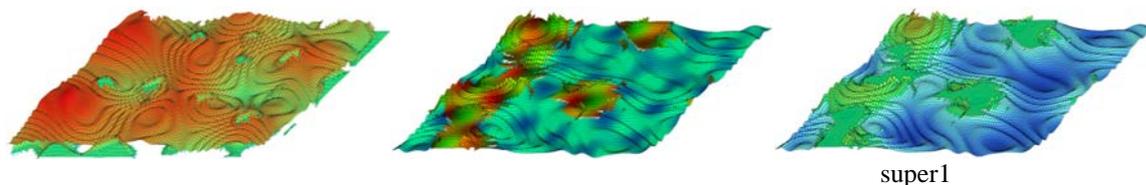


Рисунок 11 – Пещеры и композиции из примера 3

Рассмотрим операторы быстрого выбора областей.

*Оператор выбора композиции*

**SELECT** name<sub>1</sub> on name<sub>2</sub>

d<sub>1</sub> name<sub>3</sub>

d<sub>2</sub> name<sub>4</sub>

...

**END**

где name<sub>1</sub> – имя результирующей композиции; name<sub>2</sub> – имя композиции шаблона выбора; d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, ... – значения порогов; name<sub>3</sub>, name<sub>4</sub> – имена композиций-источников.

*Оператор выбора ближайшей композиции*

**SELECTNEAREST** name<sub>1</sub> on name<sub>2</sub>

d<sub>1</sub> name<sub>3</sub>

d<sub>2</sub> name<sub>4</sub>

...

**END**

где name<sub>1</sub> – имя результирующей композиции; name<sub>2</sub> – имя композиции шаблона выбора; d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, ... – значения порогов; name<sub>3</sub>, name<sub>4</sub> – имена композиций-источников.

**Поясним работу операторов выбора на примере 4 (рис. 12):**

// пусть у нас есть две периодические функции, колеблющиеся в пределах  $\pm 1$  на уровнях 12 и 6:

```
W3 whi 0 0 1 0 300 0.25 0.5 0.7 300 0.3 -0.5 0.7 300 0.35
```

```
ADD whi 12
```

```
COPY hiwhi
```

```
ADD hi 6
```

```
// Создадим холм высотой 9
```

```
W3 circle 0 0 1 0 1500 0.25 0.5 0.7 1500 0.3 -0.5 0.7 1500 0.35
```

```
MUL circle 8
```

```
ADD circle 2
```

```
/*
```

Холм выступает шаблоном. Там, где значение высоты на холме равно 8, в итоговую композицию будет проецироваться функция *hi*. С удалением от уровня 8 ее влияние будет уменьшаться, по достижению отклонения значения 1 влияние функции будет равно 0. Между уровнями 8 и 9 будет наблюдаться плавный переход от функции *whi* к функции *hi*.

```
*/
```

```
SELECTWoncircle
```

```
9 hi
```

```
8 whi
```

```
END
```

```
/*
```

В отличие от предыдущего выбора оператор **SELECTNEAREST** обеспечивает скачкообразный переход к функции, чей порог оказывается ближе.

```
*/
```

```
SELECTNEARESTWNoncircle
```

```
9 hi
```

```
8 whi
```

```
END
```

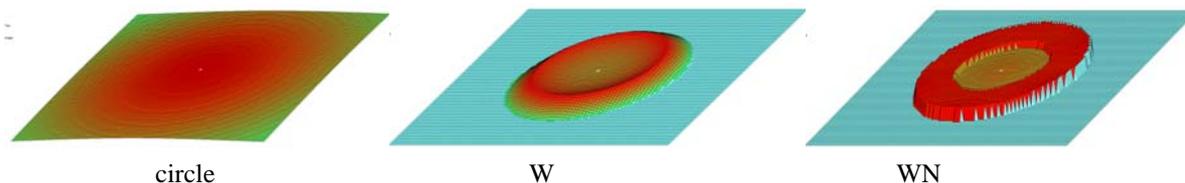


Рисунок 12 – Визуализации к примеру 4

### Макрокоманды

Макрокомандами (макросами) называются сложные операторы, которые построены на основе комбинации более простых команд (базовых команд).

#### Синтаксис описания макроса:

```
PROCname
```

```
// тело макроса в виде последовательности операторов языка управления генератором.
```

```
// в операндах операторов могут использоваться ключи вставки реальных параметров,
```

```
// передаваемых при вызове макроса. Для вставки параметров применяется
```

```
// следующий синтаксис ключа: #0#, #1#, #2#, ... с номером операнда.
```

```
END
```

где *name* – имя макроса.

Оператор вызова макроса

```
CALL name1 name2 p1 p2 p3 ...
```

где *name<sub>1</sub>* – имя макроса; *name<sub>2</sub>* – имя результирующей композиции; *p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>3</sub>, ...* – операнды (имена композиций, числа).

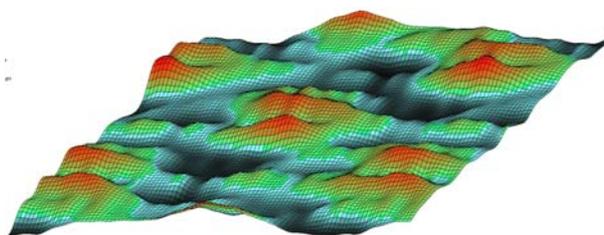
**Рассмотрим пример 5 описания макроса и результат его вызова:**

```

PROCgo
/*
создадим две периодические функции: первую с именем go1#0# – основную, и вторую с именем
go2#0# – для фазового сдвига.
*/
W3 go1#0# #1# #2# 1 0.2 #3# 0.33 0.5 0.7 #3# 0.33 -0.5 0.7 #3# 0.33
W3 go2#0# #1# #2# 1 0.2 100 1 0.5 0.7 100 1 -0.5 0.7 100 1
FASA go1#0# go2#0#
MIX #0# go1#0#
END
CALL go S1 0 0 200
CALL go S2 100 0 200
CALL go S3 200 0 200
CALL go S4 300 0 200
CALL go S5 400 0 200
MIXGS1 S2 S3 S4S5

```

Результат выполнения вызовов макроса представлен на рисунке 13.



**Рисунок 13 – Визуализации к примеру 5**

**Заключение.** Разработанный в рамках данной работы метод генерирования ландшафта на основе композиции гармонических функций и предложенный формальный язык описания генератора ландшафта обладают выразительностью и позволяют формировать оптимизированные по производительности генераторы неограниченного воспроизводимого ландшафта. Данный инструмент может быть применен в области компьютерной графики и 3D-моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Paul Martz Generating Random Fractal Terrain [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gameprogrammer.com/fractal.html>.
2. Guibas, L. Primitives for the manipulation of general subdivisions and the computation of Voronoi / Lenoidas Guibas, Jorge Stolfi // ACM. – 1985. – P. 107. – (Retrieved 2009-08-01).
3. Lloyd, S. P. Least squares quantization in PCM / Stuart P. Lloyd // IEEE Transactions on Information Theory. – 1982. – Vol. 28 (2). – P. 129–137. – DOI : 10.1109/TIT.1982.1056489.
4. Advances in multimedia modelling : 13th International Multimedia Modeling Conference / ed. Tat-Jen Cham. – 2007. – ISBN 3-540-69428-5.

Поступила 18.09.2015

#### FORMAL LANGUAGE OF GENERATOR DESCRIPTION OF THE THREE-DIMENSIONAL LANDSCAPE ON THE BASIS OF THE COMPOSITIONS OF HARMONIC FUNCTIONS

**D. GLUKHOV, R. BOGUSH, T. GLUKHOVA**

*Generating landscape are relevant to the theory of computer simulation. Of particular relevance, this trend has been in solving the three-dimensional computer graphics. In this paper an attempt is made to offer a mechanism of formation of the landscape using the compositions of harmonic functions. To achieve this, there is provided a formal description language generator difficult terrain, as well as to develop appropriate software.*