**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
г. Иркутска Лицей №1**

### ПРОЦЕДУРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ

Автор проекта: Корж Даниил Андреевич,  
МБОУ г. Иркутска Лицей №1,  
10 класс  
Руководитель: Нефедьева М.А.,  
учитель Информатики

2017г.

### Содержание

[Актуальность 3](#_Toc463812985)

[Цель 3](#_Toc463812986)

[Задачи 3](#_Toc463812987)

[Введение 4](#_Toc463812988)

[Процедурная генерация ландшафтов 5](#_Toc463812989)

[История создания идеи 5](#_Toc463812990)

[Общий план действий 6](#_Toc463812991)

[Виды алгоритмов процедурной генерации 7](#_Toc463812992)

[Алгоритм Diamond-Square 8](#_Toc463812993)

[Создание карты биомов 10](#_Toc463812994)

[Реализация данного проекта 11](#_Toc463812995)

[Заключение 13](#_Toc463812996)

[Список литературы 14](#_Toc463812997)

### Актуальность

Идея данной работы состоит в том, чтобы облегчить создание ландшафтов для индустрии 3d моделирования и других, смежных с ней областей деятельности, таких как киноиндустрия, разработка компьютерных игр и.т.п. Создание трёхмерного ландшафта является продолжительным трудом большого числа людей. Процедурная генерация позволяет ускорить процесс путём создания пусть и не идеальной, но подходящей для дальнейших преобразований, или использования в необработанном виде, заготовки. В результате это сокращает сроки создания готовой локации для проекта с двух-трёх недель, до пяти-четырёх дней.

### Цель

Создать рабочую демонстрацию работы алгоритма Diamond-Square(ландшафт) с применением игрового движка “Unity3D” используя язык программирования C#.

### Задачи

* Изучить разновидности, историю возникновения алгоритмов процедурной генерации ландшафтов.
* Создать рабочую реализацию одного из приведённых алгоритмов.
* Рассмотреть применение данных технологий и алгоритмов в реальной жизни.

### Введение

Со времён появления 3D графики, компьютерной анимации и прочих связанных с ними дисциплин (как например: 3D моделирование), всегда остро стояла проблема создания локации для сцены (анимации, мультфильма, презентации), ибо создание реалистичного, физически корректного, и при этом визуально красивого ландшафта является плодом долгого труда дизайнеров, моделлеров, текстурировщиков. А учитывая то, что уровень мощности компьютеров лишь недавно стал достаточно высоким, появляется вопрос: «А есть ли возможность сделать это быстрее, и менее трудозатратно». И после достаточно долгих поисков искомые алгоритмы были найдены. Они успешно применяются и по сей день.

### Процедурная генерация ландшафтов

* 1. История возникновения

Создание ландшафта даже в современное время является достаточно сложным технологический процессом. Но ещё более затратным это было, когда мощностей ПК не хватало даже на отрисовку простейшей 3D графики в режиме реального времени. Именно в те времена начинал свою карьеру один из ключевых фигур в развитии компьютерной анимации в целом, и процедурной генерации ландшафтов в частности, один из основателей студии Pixar – Лорен Карпентер.

В 1977 году будучи инженером Boeing он начал экспериментировать с компьютерной графикой. Изначально его проектом была презентация летающих моделей самолётов. В какой-то момент времени к нему пришла идея создать красивый задник, фон, на котором был бы огромный ландшафт с высоты птичьего полёта. В том году он не смог это реализовать и отложил реализацию проекта на более поздний срок.

В следующем году ему на глаза в магазине попалась книга, Бенуа Мандельброта «Фракталы: форма, случайность и размерность». Конкретно в данной книге его заинтересовало то, что Мандельброт привёл массу примеров из реальной жизни и описал их соответствующими формулами.

Изучив данную книгу, он серьёзно заинтересовался применением данных теорий и стал искать способы реализации. Всего за три дня он смог нарисовать вполне себе узнаваемые, даже в чём-то уже по идее выдающиеся горные ландшафты.

За основу он взял большую геометрическую фигуру, состоящую из нескольких больших треугольников. Используя более крупные треугольники, Карпентер подразделял их на четыре маленьких добавляя случайное отклонение и циклично повторял эту процедуру снова и снова, пока у него не получался горный ландшафт. Таким образом, ему удалось стать первым художником, применившим в компьютерной графике фрактальный алгоритм для построения изображений. Как только стало известно о проделанной работе, энтузиасты по всему миру подхватили эту идею и стали использовать фрактальный алгоритм для имитации реалистичных природных форм.

Через несколько лет Карпентер смог использовать свои наработки в куда более масштабном проекте. Им стал анимационный ролик «Vol Libre», который был показан SIGGRAPH (ежегодная конференция по вопросам компьютерной графики, созываемая организацией ACM SIGGRAPH) в 1982ом году. Данный ролик потряс присутствующую публику и через некоторое время Лорен получил приглашение от LucasFilm. Анимация рендерилась на компьютере VAX-11/780 от Digital Equipment Corporation с тактовой частотой пять мегагерц, причем прорисовка каждого кадра занимала около получаса.

В дальнейшем данная идея была подхвачена некоторыми IT компаниями для создания своих программных продуктов для генерации ландшафтов – Terragen и World Machine, ставшими стандартом в индустрии 3d моделирования, и Game Development’а.

* 1. Основные этапы

При генерации ландшафта основной деталью является карта высот – двумерный массив чисел, каждое из которых обозначает высоту на участке с данными координатами. После процесса генерации желательно произвести нормализацию (приведение к единичным размерам) получившегося массива, для дальнейшего использования в других алгоритмах.

Второй этап – создание карты биомов. Биомом называется совокупность экосистем одной природно-климатической зоны [4]. В случае создания ландшафта методами генерации, он определяет какой на данной координате будет климат.

Третьим этапом является генерации дополнительных деталей – расстановка травы, деревьев, камней, и прочих деталей, для повышения детализации и реализма полученного ландшафта на основе получившейся в предыдущем шаге карты биомов.

* 1. Виды алгоритмов генерации карт высот

Самый простой, и непритязательный алгоритм – это заполнение каждого элемента массива случайным числом. Результатом данного метода является двумерный шум, при визуализации которого будут видны очень резкие переходы и спады (от минимума до максимума в пределах одной клетки). В последствии можно применять техники размытия изображения, а также комбинацию различных карт для создания неровностей, чтобы получить нормальный результат. Именно поэтому данный алгоритм имеет право на жизнь.

Каждый алгоритм генерации ландшафтов уникален, и зависит от конкретных целевых потребностей. Но в современном мире сложилось несколько типов алгоритмов генерации:

1. Результат вычисления n-мерных когерентно-шумовых функций
2. Метод «Midpoint-Displacement» и его расширения «Diamond-Square»
3. Алгоритмы на базе диаграмм Воронного (используется в паре с распределителем высот, на основе предыдущих методов) [3]
4. Холмовой алгоритм [2]

Также данные типы могут комбинироваться между собой, для создания гибридных алгоритмов.

* 1. Алгоритм Diamond-Square

Алгоритм Diamond-Square был придуман уже известным нам Лореном Карпентером, как один из экспериментов с алгоритмами генерации (именно он был представлен на SIGGRAPH 1982 в ролике «Vol Libre»).

Данный алгоритм является расширением алгоритма Midpoint-Displacement, который предназначен для создания одномерных ломаных прямых в двумерном пространстве. Принцип работы данного алгоритма состоит:

1. Определение отрезка
2. Создание точки разбивающей данный отрезок на два малых
3. Смещение данной точки по вертикали на расстояние определяемое формулой:

Где I – длина отрезка, сумма смещений точек слева и справа, а R – константа определяющая «Шероховатость» получающейся ломаной и является главным параметром в данном алгоритме. Перед началом работы алгоритма необходимо создать отрезок, определив координаты его концов.

Алгоритм Diamond-Square является расширением Midpoint-Displacement на плоскость (двумерный массив клеток размерностями , но не является полным его переносом. Состоит он из двух шагов: diamond и square. Состоит он из двух шагов: diamond и square. [1]

1. Шаг Square: вычисление значения точки-середины рассматриваемого текущего квадрата:
   1. Определение квадрата
   2. Определение значения середины данного квадрата формулой:  
      Где I – количество клеток на сторону квадрата;  
      N – среднеарифметическое угловых значений данного квадрата;  
      R – «Шероховатость».   
      Вычисления ведутся относительно данной точки.
2. Шаг Diamond: вычисление значение точек-середин сторон данного квадрата:
   1. Определение квадрата
   2. Определение середины одной из сторон
   3. Определение значений данной точки формулой:  
      Где I – количество клеток на сторону квадрата;   
      N – среднеарифметическое от средних точек двух квадратов, у которых данная сторона является смежной и точек-концов данной стороны;  
      R – «Шероховатость»

Вычисления ведутся относительно каждой из четырёх точек. В приложении 1 можно видеть наглядную демонстрацию работы алгоритма.

На SIGGRAPH 1986 данный алгоритм был проанализирован Гэвином Миллером, так были обнаружены недостатки данного алгоритма: складки на краях ландшафта, а также резкие перепады высот, и очень крутые горные пики. [3]

* 1. Создание карты биомов

Существуют различные методы создания карт биомов, большинство из них базируются на создании таблицы или диаграммы заданных биомов, ячейки или области которой, на основе определённых промежутков высот, влажности или температуры. На их основе определяется климат данного участка карты. Например, снежные шапки на вершинах гор, образующиеся из-за понижения температуры с увеличением высоты, или пустыни, образующиеся ввиду сильной удалённости от водных источников и высокой температуры воздуха.

Наиболее распространённым методом создания данной таблицы является построение температурной карты на основе карты высот по принципу уменьшения температуры с увеличением высоты. Другим измерением таблицы является текущий уровень влажности клетки, определяющейся близостью водных источников. А также уровнем осадков, который также определяется на основе водных источников (создания карты испарений и её смещения на расстояние, определяемое случайно сгенерированной розой ветров), что является усложнённым вариантом реализации.

### Когерентные шумы

Когерентный шум – один из видов сглаженных псевдослучайных шумов.

Когерентный шум генерируется когерентного-шумовой функцией, которая имеет три важных свойства:

1. Передача одних и тех же входных значений всегда будет возвращать то же самое выходное значение.
2. Небольшое изменение аргумента приведет к небольшому изменению выходного значения.
3. Большое изменение аргумента приведет к случайному изменению выходного значения.

Для n-мерной функции когерентного шума требуется n-мерное входное значение. Её выходное значение всегда является скаляром.

Все когерентного-шумовые функции имеют ряд характеристик.

* 1. Частота

Частотой когерентного-шумовой функции называют число циклов на единицу длины, которое выдает конкретная функция.

Когерентно-шумовые функции обладают следующими свойствами, подобными свойствам синусоидальной волны:

1. Он имеет периодические циклы длины 1 / f, где f - его частота.
2. В начале каждого цикла оно выдает значение нуля.

В отличие от синусоидальной волны, выход функции когерентного шума может пересекать нуль в середине цикла.

* 1. Многооктавнось

Когерентно-шумовые функции делятся на простые и сложные. Сложные шумы образуются путём последовательного сложения выходных значений простой функции, с каждым шагом изменяющей свои характеристики, подчиняющиеся определённым зависимостям.

Эти функции когерентного шума называются октавами, потому что каждая октава имеет, по умолчанию, удвоенную частоту предыдущей октавы. Музыкальные тона также обладают этим свойством. Музыкальный тон, соответствующий ноте до, который на одну октаву выше предыдущего тона, имеет удвоенную частоту.

Количество октав управляет количеством деталей. Добавление большего количества октав увеличивает детальность шума, однако увеличивая временя вычисления.

* 1. Лакунарность

Множитель, который определяет, как быстро частота увеличивается для каждой последующей октаве в сложной когерентно-шумовой функции. Частота каждой последующей октаве равна произведению частоты предыдущей октавы и значение лакунарности.

* 1. Персистентность

Множитель, который определяет, как быстро амплитуда увеличивается для каждой последующей октаве в сложной когерентно-шумовой функции. Амплитуда каждой последующей октаве равна произведению частоты предыдущей октавы и значение лакунарности.

### Реализация проекта

* 1. Технологии

На основе приведённых алгоритмов была написана их реализация, с демонстрацией результата, выполненная на движке Unity3D. Демонстрация является наглядным представлением получившихся карт высот, биомов и деталей, на трёхмерном ландшафте, реализованном с помощью средств движка.

* 1. Система модификаторов
  2. Ц

Используется данный список биомов:

1. Основные:
   1. Трава (Grass) проявляет себя в случае, когда высота входит в диапазон от, до уровня произрастания травы до нижней границы уровня скалистой местности.
   2. Скалистая местность (Cliff) проявляет себя в случае, когда высота рассматриваемой клетки входит в диапазон от уровня скалистой местности, до нижней границы уровня снежных шапок
   3. Снежные шапки (AlpSnow) проявляет себя, когда высота рассматриваемой клетки входит в диапазон от верхней границы скалистой местности, до единицы (высота нормализована)

На всех слоях действует закон создания скал на основе перепадов высот.

Обратим внимание на генерацию биома леса. Так как он не может появляться по всей области карты, для определения месторасположения вычисляются значения перлинового шума для текущей координаты клетки, с преобразованием координат массива, в координаты шумового генератора. На основе получаемого значения создаётся бинарная маска с помощью фильтрации текущего значения определённым константным параметром. Для дополнительного отсеивания создания дерева в случае положительного значения маски происходит с шансом в 2%.

* 1. Отложенные вычисления
  2. Многопоточность и синхронизация

Для создания карты высот была использована нормализованная версия алгоритма Diamond-Square. Создание карты биомов велось по упрощённому алгоритму зависимости биома от высоты.

Так же в данной работе был применён алгоритм генерации скал, основанный на подсчитывании дельты перепада высот между четырьмя соседями рассматриваемой клетки:

1. Определение клетки
2. Определение четырёх соседних клеток данной клетки
3. Нахождение клетки с наибольшей высотой среди клеток-соседей
4. Нахождение клетки с наименьшей высотой среди клеток-соседей
5. Определение типа поверхности на основе разности подсчитанных значений (при превышение заданной константного порогового значения, поверхность является скалой)

Генератор псевдослучайных чисел в среде Unity3D позволяет работать с определённым значением зерна (опорного значения), что позволяет реконструировать ландшафты с помощью одинаковых зёрен. Вычисляется данное значение взятием хэш-кода от строкового параметра.

### Заключение

Процедурная генерация, как видно из данной работы – очень перспективное направление в создании различных информационных продуктов, экономии огромного количества времени и ресурсов. В данной работе были рассмотрены различные методы процедурной генерации, а также их вариации и совокупности. Данная тема пока не имеет широкого обозрения со стороны мира IT, в силу своей инновационности, но неуклонно развивается, с каждым днём находя всё новые и новые области применения.

### Список литературы

1. Алгоритм «diamond-square» для построения фрактальных ландшафтов  
   //” Хабрацентр им. Denull, Хабрахабр”   
   <https://habrahabr.ru/post/111538/>
2. Генерация трёхмерных ландшафтов  
   //” IXBT.com – специализированный российский информационно-аналитический сайт с самыми актуальными новостями из сферы IT”  
   <http://www.ixbt.com/video/3dterrains-generation.shtml>
3. Diamond-Square algorithm  
   //” Wikipedia.org – multilingual, web-based, free-content encyclopedia project supported by the Wikimedia Foundation and based on a model of openly editable content”  
   <https://en.wikipedia.org/wiki/Diamond-square_algorithm>
4. Биом  
   //“ Wikipedia.org – общедоступная мультиязычная универсальная интернет-энциклопедия со свободным контентом”  
   <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BC>
5. Polygonal Map Generation for Games  
   //” Red Blob Games”  
   <http://www-cs-students.stanford.edu/~amitp/game-programming/polygon-map-generation/>

### Приложение

### C:\Users\student\Downloads\Diamond_Square.svg.png

*Рисунок 1 – иллюстрация работы алгоритма Diamond-Square на основе матрицы 5х5 клеток*