

## **Визуализация моделей ландшафтов с высоким уровнем детализации на значительных площадях**

### **Visualization of landscape models with a high level of detail for large areas**

**Ключевые слова:** моделирование ландшафта – terrain modeling; моделирование земной поверхности – modeling of the earth's surface; моделирование деревьев – modeling trees; визуализация деревьев – visualization of trees.

Рассматривается метод текстурирования на основе небольших изображений одинакового размера, позволяющий синтезировать одну гигантскую уникальную текстуру, а также методы моделирования и визуализации отдельных деревьев и массивов лесов. Данные методы используются для разработки моделей ландшафта для авиационных тренажеров-симуляторов.

Texturing techniques based on small images of the same size to synthesize one giant unique texture is considered. Methods of modeling and visualization of individual trees and areas of forest are considered. The methods used to develop models of terrain for aircraft simulators.

Данная работа была осуществлена в рамках проекта по созданию авиационного тренажера-симулятора. Предлагалось разработать модель ландшафта, которая могла бы обеспечивать высокий уровень детализации на огромных площадях земной поверхности. Такая модель должна включать в себя две основные компоненты – рельеф местности и многокомпонентные текстуры, обеспечивающие высокореалистичную визуализацию земной поверхности. Рельеф местности представлен в виде полигональной сетки, полученной в результате интерполяции на основе значений отметок высот. Многокомпонентная текстура включает в себя диффузную текстуру, бамп-карту, карту типов, а также трехмерные объекты (деревья, кусты), располагающиеся в четко определенном месте на данной текстуре. В статье подробно рассматриваются методы текстурирования и визуализации ландшафта.

**ГАБДРАХМАНОВ / GABDRANMANOV R.**

**Руслан Магданович**

(grm@uriit.ru)  
аспирант, научный сотрудник  
лаборатории информационно-космических технологий  
Югорского НИИ информационных технологий,  
Ханты-Мансийск

#### **СИНТЕЗ ГИГАНТСКОЙ ЛАНДШАФТНОЙ ТЕКСТУРЫ**

При текстурировании ландшафта используется метод текстурирования, позволяющий синтезировать одну гигантскую уникальную текстуру на основе тайлов (небольших изображений одинакового размера). Этот способ является альтернативным к использованию цветовой спутниковой карты (высотная карта не так значительно меняется с течением времени), которая для достижения сравнимого уровня четкости на малых высотах занимает в 10–100 раз больше памяти.

Результирующая текстура ландшафта формируется путем смешивания «тайловых» текстур (рис. 1) в соответствии с картой типов. В качестве функции смешивания применялось линейное преобразование. Соответствующее выражение для вычисления цвета в точке представлено в формуле (1):

$$T_{\text{final}} = T_{n-1} W_{n-1} + (1 - W_{n-1})(T_{n-2} W_{n-2} + (1 - W_{n-2})(\dots(1 - W_1)T_0)\dots), \quad (1)$$

где  $T_i$  – текстура,  $W_i$  – ее вес.

Веса, заданные в вершинах клетки, плавно интерполируются в процессе ее растеризации. Выберем вариант простого смешивания – в одной клетке сетки могут смешиваться только 4 текстуры, заданные в ее вершинах. Для экономии пиксельных операций при создании геометрии блока для каждой текстуры формируется, а затем рисуется только та часть геометрии, на которой весовой коэффициент текстуры отличен от нуля (рис. 2).

Так как операция смешивания не транзитивна (2), мы вынуждены выводить текстуры отсорти-

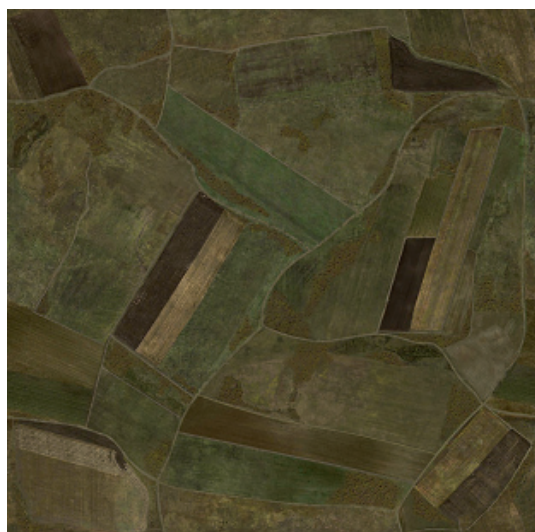


Рис. 1. Вариант «тайловой» текстуры

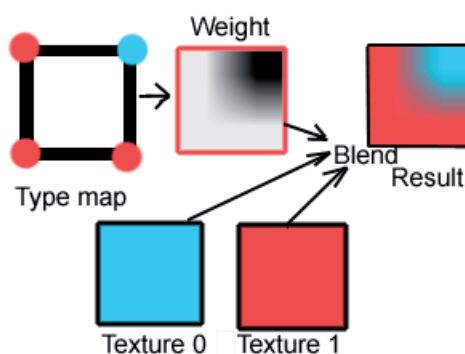


Рис. 2. Смешивание текстур

рованными в строго определенном порядке, для этого создана так называемая таблица приоритетов закраски:

$$T_1 W_1 + (1 - W_1)(T_2 W_2 + (1 - W_2)T_0) \neq T_2 W_2 + (1 - W_2)(T_1 W_1 + (1 - W_1)T_0).$$

Пример: песок < трава < грунтовые дороги.

Основной недостаток алгоритма – размытость достаточно большой (~200 м) зоны смешивания, что особенно заметно при смешивании текстур с хорошо различимыми деталями и с малодетальными объектами. Границы переходов между разными типами ландшафтов в реальном мире более резкие. В качестве развития алгоритма в

некоторых работах предлагается делать не плавный переход между текстурами, а смешивание, как показано на рис. 3 [1, 2]. И хотя этот метод дает более естественную границу между текстурами, его желательно доработать, несколько размыв эту границу.

Кроме того, в данном подходе существуют сложности создания уникальных текстур. Чтобы создать уникальный центр большого города и оставаться в рамках алгоритма текстурирования, приходится вручную разрезать одну большую текстуру на «тайловые» кусочки с перекрытием, оставляя запас на границу смешивания. Более рационально задавать карту типов и шумов попиксельно, так как на реальной текстуре всегда представлены сильно различающиеся по физическим свойствам области – асфальт, трава, болото.

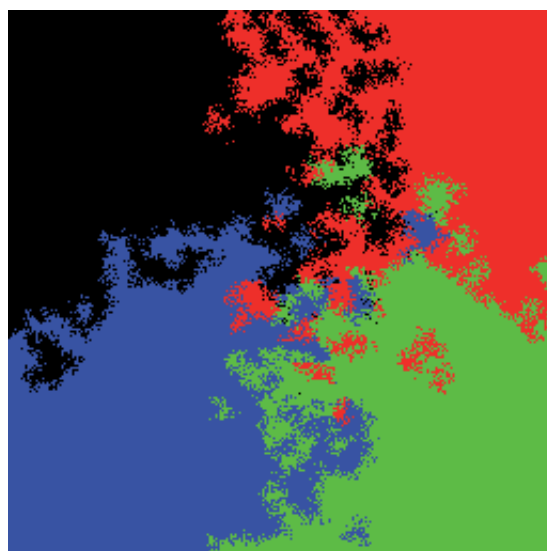


Рис. 3. Смешивание 4 типов



Рис. 4. Формирование исходной текстуры самозатенения ландшафта

### ИМИТАЦИЯ ФОТОРЕАЛИЗМА – МИКРОРЕЛЬЕФ

Рассчитанное освещение ландшафта на основе исходной карты высот не обладает нужной детальностью. Поэтому с целью повышения реализма имитируется освещение рельефа с разрешением «тайловых» текстур (рис. 4). Чтобы не перегружать графическую подсистему, расчет дополнительного освещения выполняется на этапе загрузки «тайловых» текстур. На основе вспомогательной бамп-карты путем трассировки лучей рассчитывается реалистичное освещение.

Освещение перерасчитывается по мере необходимости (изменения времени). Такой способ перерасчета освещения не дает дополнительной нагрузки на пиксельный конвейер, но тем не менее, создает иллюзию фотореалистичности картинке (особенно – автозатенение), однако на сверхмалой высоте заметно несоответствие рельефа освещению.

### УВЕЛИЧЕНИЕ РЕЗКОСТИ КАРТИНКИ НА МАЛОЙ ВЫСОТЕ

На небольшой высоте (например – при взлете и посадке) текстурирование земли не способно



Рис. 5. Детализации шумом и различные варианты шумов

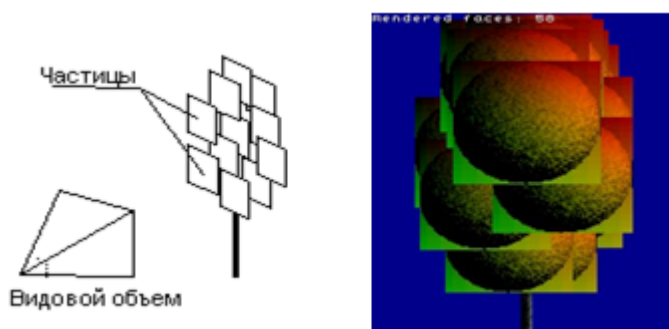


Рис. 6. Структура дерева

дать резкую картинку, поэтому на финальную текстуру накладывается специальная шумовая карта (вернее – произведение 3 шумовых карт разного масштаба) (на рис. 5 показаны слева – пример детализации шумом, справа – варианты шумов).

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕРЕВЬЕВ

Дерево можно представить как ствол с ветками и частицами, представляющими листву. Частицы позволяют хорошо описать объем листвы с наименьшими затратами на прорисовку. Предполагается, что частица должна прорисовываться как прямоугольник с текстурой, лицевая сторона которого всегда перпендикулярна вектору взгляда (рис. 6).

Каждый такой прямоугольник состоит из 4 вершин и 6 индексов, описывающих 2 треугольных полигона. Каждая вершина должна содержать информацию о центре всего прямоугольника, которому она принадлежит. Изначально это

прямоугольник с координатами вершин  $(-sz, sz, 0)$ ,  $(sz, sz, 0)$ ,  $(sz, -sz, 0)$ ,  $(-sz, -sz, 0)$  (прямоугольник в плоскости  $XY$ ).  $SZ$  – радиус частицы, если предполагается оптимизация через сливание смежных частиц, то  $SZ = 1$  и вершина должна содержать информацию о размере частицы. Прямоугольник должен ориентироваться на камеру и смещаться на центр частицы. Для придания объема частице используется метод BumpMapping.

Ствол дерева может быть как с ветками, так и без веток и может быть либо автоматически генерированным, либо сделанным вручную (например – в среде разработке SpeedTree). Для придания реалистичности ствол искажается функцией синуса в плоскости  $XZ$ , аргумент функции зависит от координаты  $Y$ . Если дерево содержит много частиц, возможно применение оптимизации (рис. 7): две ближайших частицы срастаются в одну, при этом линейно меняется размер обеих частиц – одна увеличивается, а другая уменьшается (центр второй

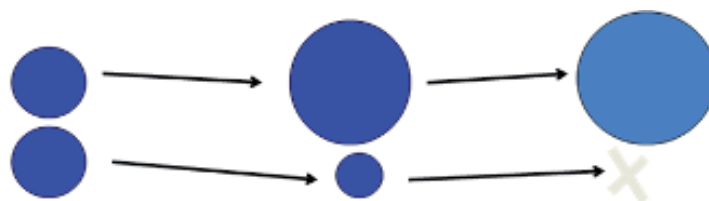


Рис. 7. Процесс оптимизации

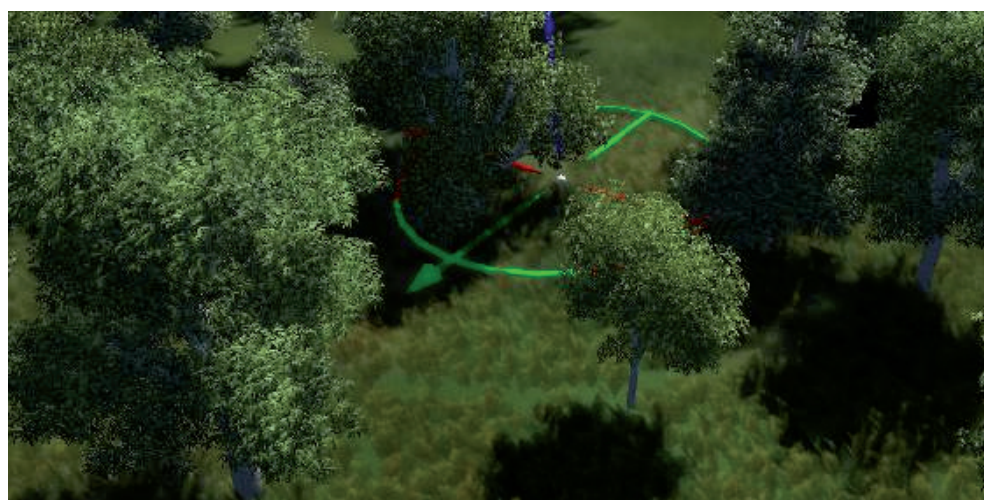


Рис. 8. Визуализация деревьев

интерполируется к центру первой). На рисунке 8 изображены модели деревьев, созданные данным методом.

Поскольку описание каждого дерева подходит только для единичных деревьев, представление деревьев лесных массивов данным методом не является рациональным. Вместо этого используется ранее сгенерированный лесной блок (либо несколько разновидностей), который прорисовывается вместе с прорисовкой блока рельефа. Отображение в полном качестве подходит только для тех деревьев, которые расположены вблизи. Для удаленных деревьев необходима оптимизация, причем оптимизация по срастанию частиц листвы не достаточно, поэтому используется вывод через импостеры. Импостер — отрисованная в текстуре модель, используемая для вывода вместо вывода самого трехмерного объекта. Представление импостера схоже с представлением листвы деревьев, описанным выше, т.е. изначально это вертикальный прямоугольник, центр которого находится в координатах (0;0;0), формат вершин содержит центр реального положения импостера (в блоке леса).

Импостер ориентируется на камеру и сменяет текстуру в зависимости от ракурса. Достаточно 4 ракурсов под разными углами (0, 30, 60 и 90 градусов) вокруг оси  $OX$  (или  $OZ$ ). Поскольку деревья с листвой из частиц почти со всех сторон (по оси  $Y$ ) выглядят одинаково, на достаточном расстоянии можно пренебречь генерацией текстур с ракурсами от 0 до 360 градусов (и, соответственно, мгновенной генерацией текстур). Для одного дерева мы готовим 4 ракурса и сохраняем в одной текстуре (рис. 9). Для придания объема импостера используется метод BumpMapping (на рис. 9 изображен справа).

Далее для совсем удаленных блоков леса применяется техника плоскостных деревьев (лес представлен той же геометрией, что и ландшафт, но смещенный вверх на определенную высоту и содержащий текстуру блока леса с вида сверху). Вывод всех импостеров с ориентацией на камеру за один раз можно произвести, однако появляется вопрос: каким образом выставить высоты импостеров, чтобы они точно стояли на рельефе (поскольку рельеф не плоский)? Так как рельеф представлен блоками (которые оптимизируются) и блок леса

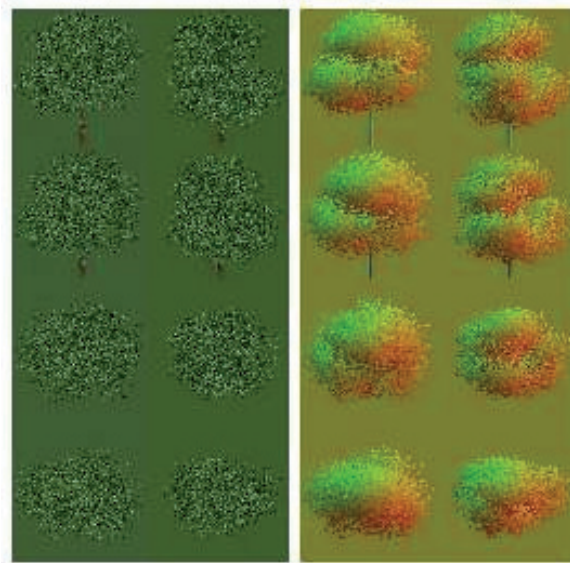


Рис. 9. Карта текстур и карта нормалей для метода BumpMapping



Рис. 10. Визуализация ландшафта с лесными массивами

имеет те же размеры, что и блок рельефа, можно записать в константы коэффициенты полигонов (для интерполяции высоты по координатам  $X$ ,  $Z$ ), из которых состоит блок рельефа (уже оптимизированный), чтобы потом можно было интерполировать высоту рельефа для заданных  $X$  и  $Z$ . Соответственно, формат вершины импостера должен содержать адрес на константу (константы), относящуюся к полигону, на котором стоит импостер (дерево). На рисунке 10 показано, как визуализируется ландшафт с лесными массивами.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках реализации государственного контракта № 07.524.12.4014.

#### Литература

1. Hoppe H. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering // IEEE Visualization 1998 Conference. – P. 35–42.
2. Suen P., Healey G. The analysis and reconstruction of real-world textures in three dimensions // IEEE transactions of pattern analysis and machine intelligence. – 2000. – Vol. 22. – № 5. – P. 491–503.