

Моделирование интерактивных водных поверхностей

Program complex of similar territorial zones simulation modeling

Ключевые слова: моделирование земной поверхности – modeling of the Earth's surface; моделирование водной поверхности – modeling of the water surface; визуализация водной поверхности – visualization of a water surface; имитационное моделирование – simulation modeling.

Рассматриваются методы моделирования интерактивной водной поверхности для тренажеров-симуляторов. Представлена модель водной поверхности основанная на суперпозиции нескольких карт высот периодичных в пространстве и во времени. Представлены методы моделирования обратных сторон волн и береговых линий, которые необходимы для увеличения реализма моделируемой земной поверхности.

The methods of modeling interactive water surface for simulators. Presented a model of the water surface based on the superposition of several height maps are periodic in space and time. The methods of modeling the backs of the waves and coastlines that are needed to increase the realism of the simulated ground.

Данная работа проводилась в рамках проекта по созданию тренажера-симулятора авиационной и наземной техники. Предлагалось разработать модель земной поверхности, которая могла бы обеспечивать высокий уровень детализации. Такая модель должна включать не только рельеф местности, но и интерактивную водную поверхность.

Добавление оживленной водной поверхности (реки, моря, океана) значительно увеличивает реализм земной поверхности. При моделировании крупномасштабного мира классические методы моделирования становятся непрактичными для моделирования этих эффектов.

В [2] предложен метод, заключающийся в вычислении скоростной области течения в ограниченной области, адвекцию мелкомасштабных частиц в жидкости в этой области.

В работе предлагалось использовать функцию потока.

ГАБДРАХМАНОВ / GABDRAKHMANOV R.

Руслан Магданович

(grm@uriit.ru)

аспирант, ведущий программист Лаборатории информационно-космических технологий Югорского НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск

Чтобы интерполировать функцию потока, вычисляется расстояния до границ, пересекающихся с областью моделирования.

При недостаточном количестве данных о потоке, используются подходящие значения, основанные на гидрографической сети и ее геометрии.

Гидрографическая сеть отражает связи между каналами (рис. 1):

Для каждого (i) соединенного с первым углом:

$$Q_i = \frac{w_i}{\sum_j w_j} Q_0$$

w_i - поперечное сечение канала i . Поскольку используются относительные поперечные сечения, сохранение массы:

$$\sum_i Q_i = \frac{\sum_i w_i}{\sum_j w_j} Q_0 = Q_0$$

в гидрографической сети прибывают, главным образом, от островов и препятствий в потоке.

$$\psi(P) = \frac{\sum_i w(d_i) \psi_i}{\sum_i w(d_i)}$$

где функция (w) определена как:

$$w(d) = \begin{cases} d^{-p} \cdot f(1 - d/s), & \text{if } 0 < d \leq s \\ 0, & \text{if } s < d \end{cases}$$

$$f(t) = 6t^5 - 15t^4 + 10t^3$$

Эта схема интерполяции обладает следующими свойствами: функция $\psi(P)$ продолжающаяся, а значение $\psi(P)$ зависит от границ канала, которые ближе к области осуществления выборки.

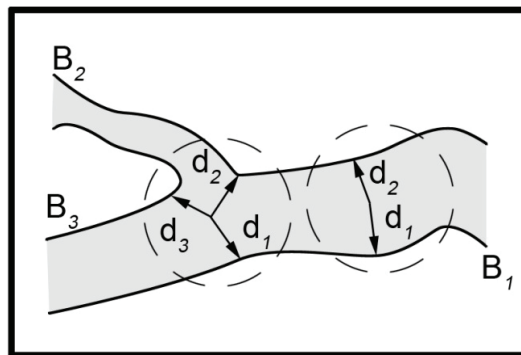


Рис. 1. Гидрографическая сеть

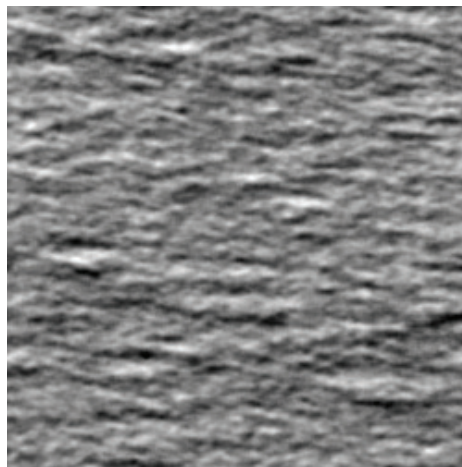


Рис. 2. Карта высот, используемая для геометрического возмущения поверхности

С тем как (P) становится ближе к границе B_i значение $\psi(P)$ приближается к ψ_i :

$$\lim_{P \rightarrow B_i} \psi(P) = \psi_i$$

Воздействие границ канала уменьшается с их расстоянием до области осуществления выборки.

Рассмотренный выше подход требует довольно больших предварительных вычислений и плохо подходит для визуализации больших участков водной поверхности.

Современные графические ускорители обеспечивают несколько полезных функций, которые могут быть использованы при визуализации водной поверхности. Вершинное текстурирование может значительно увеличить реализм водной поверхности. К тому же можно использовать ветвление, чтобы увеличить производительность вершинных шейдеров.

МОДЕЛЬ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Модель водной поверхности основывается на суперпозиции нескольких карт высот перио-

дичных (затаяленных) и в пространстве и во времени. Каждая текстура представляет собой гармонику в спектре и текстуры добавляются друг к другу как при синтезе Фурье. Эти текстуры называются картами высот потому что каждая величина представляет из себя поднятие соответствующей точки над горизонтальной плоскостью. Для этого создана система генерации таких волновых текстур, основанная на клеточных автоматах. Эта система имитирует распространение волн на основе произвольного начального возмущения. В систему встроена возможность создания пространственного и временного тайлинга (рис. 2).

Комбинируя несколько высотных карт с различными временными и пространственными коэффициентами, мы можем создать довольно сложную анимацию:

$$H(x, y, t) = \sum_{i=0}^N b(A_i^x x + B_i^x, A_i^y y + B_i^y, A_i^t t + B_i^t).$$

Коэффициенты A и B подбираются эвристически для достижения наибольшей схожести с реальным речным или морским волнением.

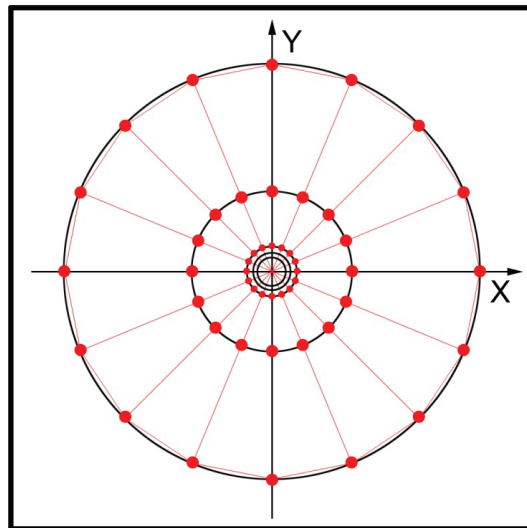


Рис. 3. Радиальная сетка для выборки из текстуры

Все вычисления, которые производятся, делятся на две группы: вычисление геометрического смещения и вычисления освещения. Поскольку водная поверхность подробно тесселирована, имеет смысл выполнять вычисление освещения в пиксельном шейдере, оставляя вычисление геометрического смещения в вершинном шейдере.

ВЫБОРКИ ИЗ КАРТЫ ВЫСОТ

Для каждой вершины делается выборка из карты высот и вычисляется суммарная величина смещения в вершинной программе. Для выборок используется радиальная сетка, имеющая центр в месте расположения камеры. Разбиение сетки таково, что обеспечивает большую детализацию ближе к камере (рис.3).

РАДИАЛЬНАЯ СЕТКА ДЛЯ ВЫБОРКИ ИЗ ТЕКСТУРЫ

Позиция вершины в радиальной сетке вычисляется по следующим формулам:

$$r = a_0 + a_1 i^4$$

$$x_{i,j} = r \cos(2 \cdot j/M)$$

$$y_{i,j} = r \sin(2 \cdot j/M),$$

где $i = [0..N - 1]$, $j = [0..M - 1]$. Мы выбираем a_0 , a_1 таким образом, что

$$r_0 = a_0 = 10 \text{ cm}$$

$$r_{N-1} = a_0 + a_1 (N-1)^4 = 40 \text{ km.}$$

С таким подходом мы получаем разбиение, зависящее от расстояния, которое обеспечивает

простую схему уровней детализации. На рисунке 4 показан вид сетки в тренажере-симуляторе.

Для этих же целей могут быть использованы другие алгоритмы создания динамического разбиения ROAM или SOAR, но эти алгоритмы требуют большого количества вычислений на основном процессоре, что будет ограничивать все преимущества, которые может дать использование вертексных шейдеров.

УПАКОВКА ВЫСОТ И БИЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Традиционно используются билинейная и трилинейная фильтрация. В случае билинейной фильтрации выборка происходит по четырем точкам. Трилинейная фильтрация потребует в два раза больше выборок смешивая с необходимыми весовыми коэффициентами текущий уровень детализации со следующим. Чтобы сократить число обращений к текстуре строится особым образом, так, что каждый тексель текстуры содержит все необходимые для билинейной фильтрации данные. Это возможно потому что карта высот - однокомпонентная текстура и можно упаковывать высоты в единый тексель четырехкомпонентной текстуры:

$$A_x^{i,j} = H^{i,j},$$

$$A_y^{i,j} = H^{i+1,j},$$

$$A_z^{i,j} = H^{i,j+1},$$

$$A_w^{i,j} = H^{i+1,j+1},$$

$$A_{filtered} = F(A_{x,y,z,w}^{i,j}),$$

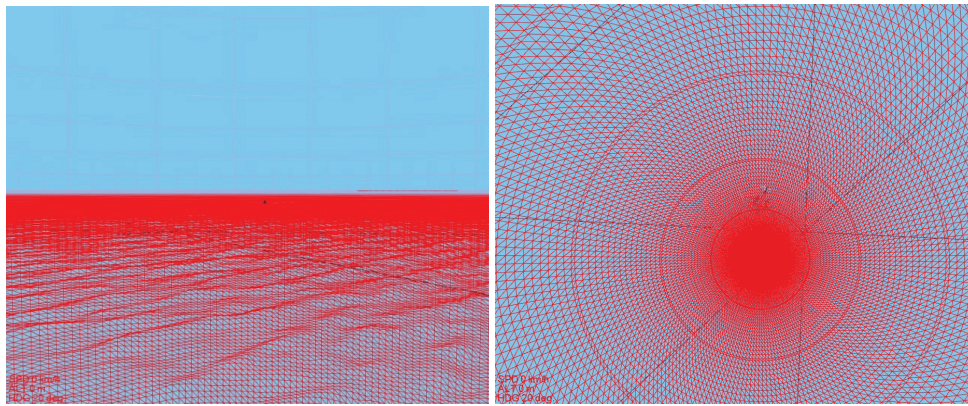


Рис.4. Вид в перспективе и сверху в приложении радиальной сетки.

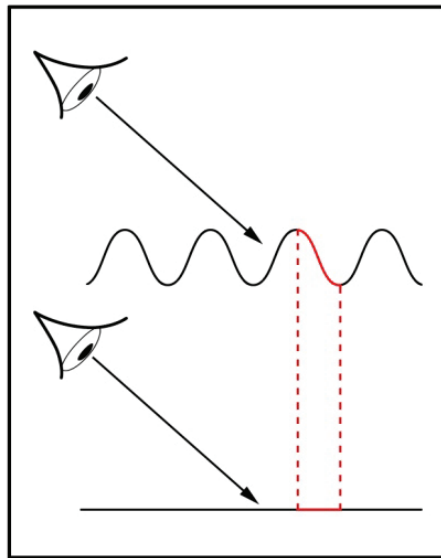


Рис. 5. Источники визуальных артефактов.

где $i = 0..N - 1, j = 0..M - 1$. H – высота, F функция фильтрации, и A – упакованная текстура.

ОБРАТНЫЕ СТОРОНЫ ВОЛН

Из-за того что вычисление освещения выполняется в пиксельном шейдере используя предположение, что поверхность воды плоская, в некоторых случаях это может вызвать визуальные артефакты (рис. 5). Как показано на рисунке мы можем видеть обратную сторону волны из-за геометрического смещения. Это может привести к появлению областей повышенной яркости на вершинах волн.

Чтобы избежать этих артефактов слегка изменяются вектора нормалей, немного наклоняя их в сторону наблюдателя, так что они соответствуют волновым поверхностям более точно.

БЕРЕГОВАЯ ЛИНИЯ

Для создания реализма водной поверхности в тренажере симуляторе важную роль играет моделирование береговой линии, анимированного прибоя и каустик.

В программном комплексе граница раздела водной поверхности и суши задается специальной текстурой. Альфа-канал этой текстуры определяет глубину воды с одной стороны и высоту берега над поверхностью воды с другой стороны. Крутизна и высота берега визуально отображаются при помощи дополнительной карты нормалей, генерируемой на основе специализированной текстуры водной границы. Та же самая текстура используется в шейдерах, осуществляющих рисование анимированного прибоя и анимированных каустик. Структура слоев/зон показана слева на рисунке 6.

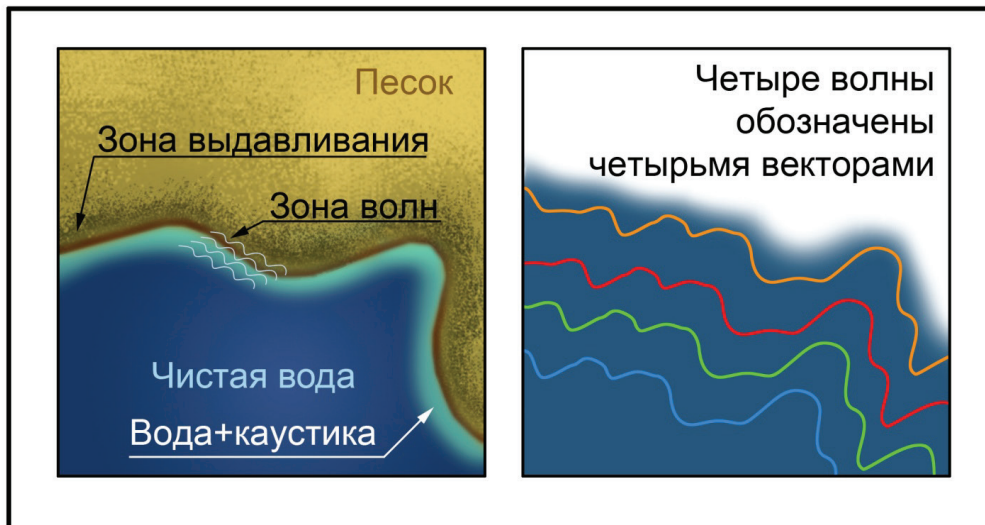


Рис. 6. Структура слоев визуализации и волновые фронты

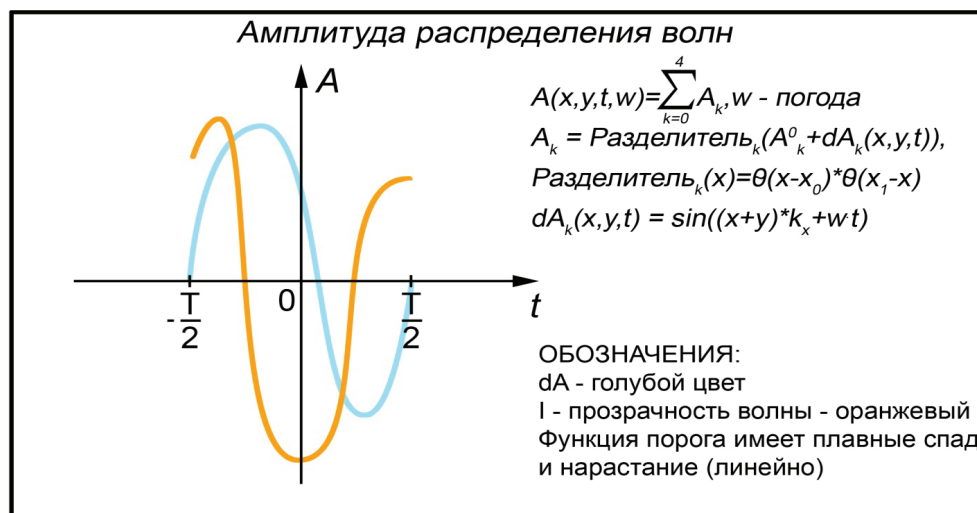


Рис. 7. Прибрежное волнообразование

Вектора, используемые в шейдерах, имеют четыре компоненты, это определило то, что в полосе прибоя удобнее всего выделять четыре волновых фронта (рис. 6, справа), используя под каждый из них по одной компоненте вектора.

Функция, описывающая рисование волнового фронта в шейдере, показана на рисунке 7.

Большое значение для создания реалистичности изображения ландшафта имеет расположение деревьев и другой растительности. В имитационном тренажере симуляторе текстура расположения деревьев генерируется с использованием текстуры водной границы. Деревья размещаются по берегам рек, но не морей, озер и других больших открытых водоемов.

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

Литература

1. Yuri Kryachko "Using Vertex Texture Displacement for Realistic Water Rendering", GPU GEMS II, Chapter 18, 2004.
2. Qizhi Yu, Fabrice Neyret, Eric Bruneton and Nicolas Holzschuch "Scalable real-time animation of rivers", EUROGRAPHICS 2009 / P. Dutre and M. Stamminger, Volume 28 (2009), Number 2.