

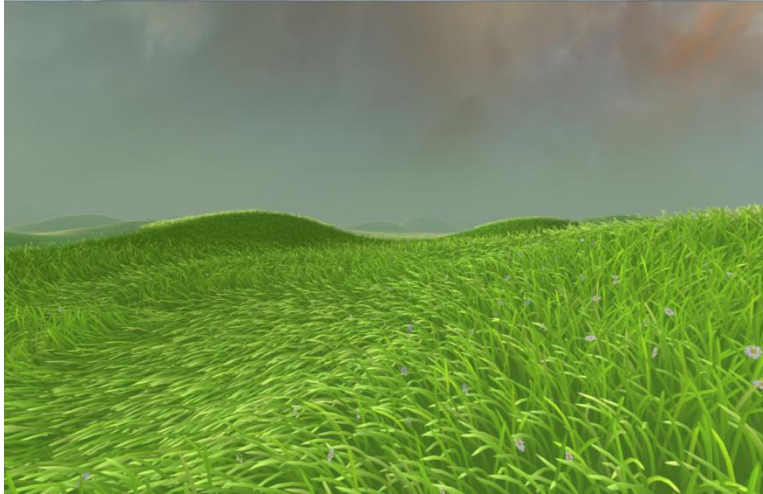
Анимация, взаимодействие с объектами и визуализация травяного покрова в реальном времени

Диссертация на соискание степени магистра
Выполнил студент гр. 6057/12 Чуканов В.С
Руководитель, к.ф.-м.н., доц. Беляев С.Ю.

19.06.2012

Постановка задачи

- ▶ Визуализация травяного покрова и анимация под действием ветра
 - ▶ $\sim 10^6$ травинок в поле зрения одновременно (без учета уровней детализации)
 - ▶ 120-150 кадров в секунду на современном оборудовании
- ▶ Обработка взаимодействия с динамическими объектами
- ▶ Применимость: компьютерные игры, тренажеры



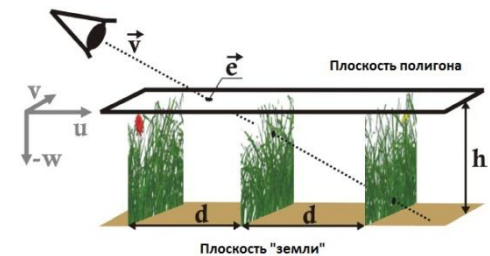
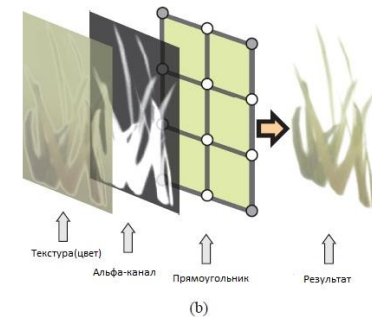
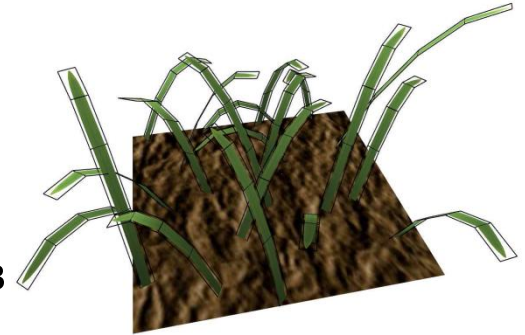
Анимация под действием ветра



Взаимодействие с объектом

Существующие решения: визуализация

- ▶ Геометрический метод
 - ▶ Каждая травинка задается множеством треугольников
 - ▶ (-) Визуализация миллионов треугольников
- ▶ Представление блока в виде 2D-текстуры
 - ▶ Блок травинок - прямоугольный объект с текстурой
 - ▶ (-) Потеря реализма вблизи камеры
 - ▶ (-) Отсутствие эффекта параллакса
- ▶ Представление блока в виде 3D-текстуры
 - ▶ 3D-текстура задает блок травинок, визуализируется по сечениям при помощи прямоугольных объектов
 - ▶ (-) Потеря реализма вблизи камеры



Существующие решения: анимация

- ▶ Травинки задаются прямоугольными объектами
 - ▶ Анимирование посредством передвижения верхних вершин
- ▶ Травинки задаются множеством треугольников
 - ▶ Изменяются координаты всех вершин
- ▶ Недостаток: перемещения вершин направлены вдоль силы ветра и пропорциональны ее модулю
- ▶ Взаимодействие с объектами
 - ▶ Статические объекты
 - ▶ «Выталкивание» вершин из объекта
 - ▶ Динамические объекты
 - ▶ Расчет формы прямоугольных объектов с использованием модели масс-пружин

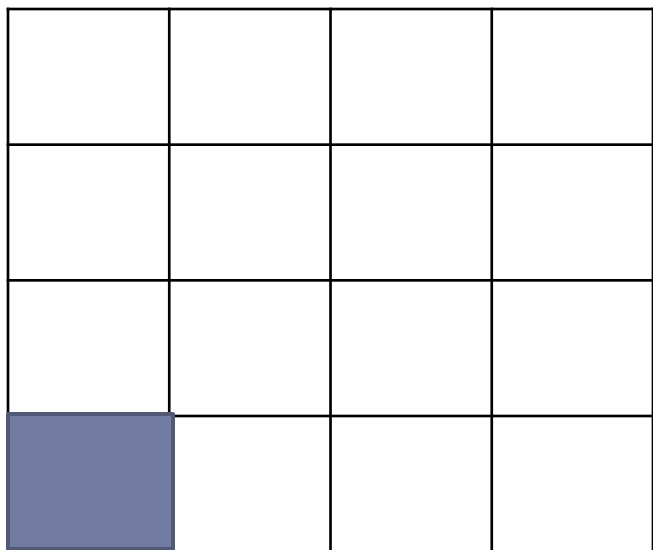
Визуализация

- ▶ Геометрический метод
- ▶ Травяной покров состоит из прямоугольных блоков $N \times N$ травинок, расположенных в узлах регулярной сетки
- ▶ Каждый блок имеет 3 уровня детализации
- ▶ Каждая травинка задается множеством треугольников
- ▶ Блоки, вступившие во взаимодействие с объектами сцены, визуализируются иначе
 - ▶ Такие блоки назовем «патчи»

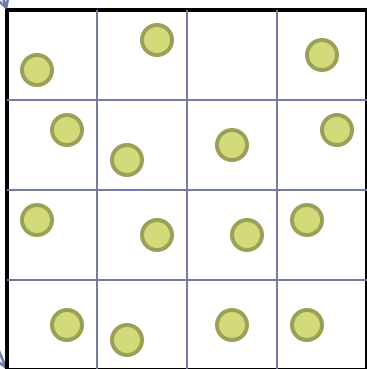
Уровни детализации

► Регулярная сетка блоков

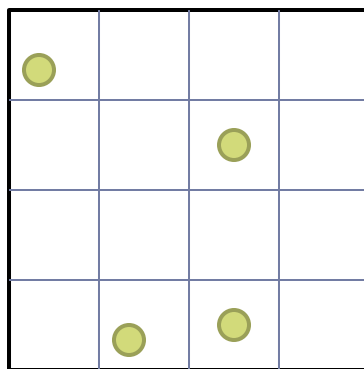
Травинка обозначена как ●



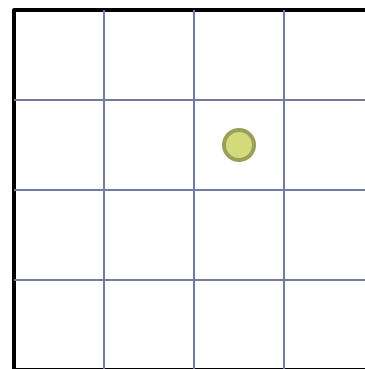
Высокая детализация



Средняя детализация

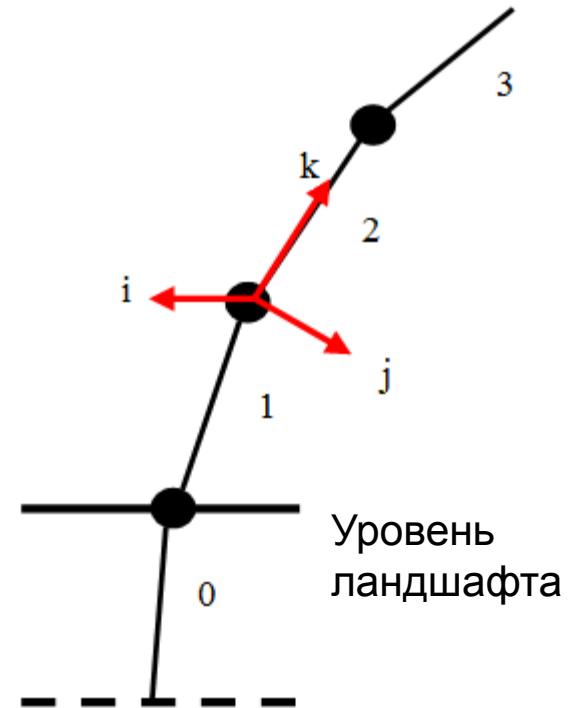


Низкая детализация



Инерциальная модель анимации

- ▶ Модель травинки
 - ▶ Цепь связанных твердых тел
 - ▶ Соединены шарнирами, в которых расположены сферические пружины
 - ▶ 0 сегмент задается только матрицей поворота



Инерциальная модель: алгоритм

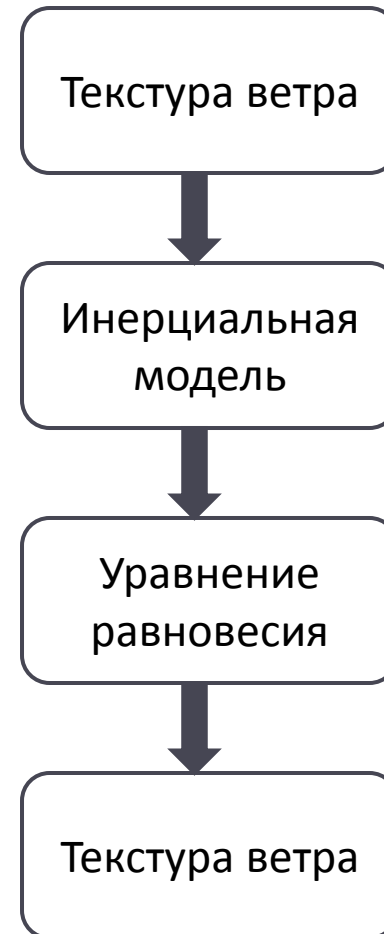
- ▶ $T_0 = R_0$
- ▶ for ($i = 1; i \leq 3; ++i$) {
 $J\dot{\omega}_i = -g_i + I \times T_i' f_i^e$
 $\dot{\psi}_i = \omega_i$
 $R_i = R_{i-1} M(\psi_i)$
 $T_i = T_{i-1} R_i$
 $g_i = k_i V(R_i)$
}

- ▣ J – тензор инерции
- ▣ ω_i – угловая скорость i -го сегмента
- ▣ ψ_i – поворот СК i -го сегмента относительно $i-1$
- ▣ g_i – момент пружины в i -ом сегменте
- ▣ R_i – матрица, переводящая вектора из СК i -го сегмента в СК $i-1$ (если $i=0$ – то в мировую СК)
- ▣ T_i' – матрица, переводящая вектора из мировой СК в СК i -сегмента
- ▣ $M(\psi)$ – матрица поворота вокруг ψ на угол $|\psi|$
- ▣ f_i^e – сумма сил ветра и тяжести, действующих на i -сегмент
- ▣ k_i – жесткость пружины в i -ом сегменте

Виртуально-инерциальная модель

- ▶ Новый алгоритм анимации травы с использованием GPU
- ▶ Основная идея: не хранить угловые скорости и ориентации сегментов, а изменять силу ветра
- ▶ Восстанавливать матрицу сегмента на GPU, решая уравнение равновесия

$$k_i \psi_i = \mathbf{m}_i^w + \mathbf{I} \times (\mathbf{T}_{i-1} \mathbf{M}(\psi_i))' \mathbf{G}$$



Виртуально-инерциальная модель: алгоритм

```
▶  $T = T_0$   
▶ for ( $i = 1; i \leq 3; ++i$ ) {  
     $k_i \psi = m_i^w + l \times (TM(\psi))' G$   
     $T_i = TM(\psi)$   
     $T = T_i$   
}
```

- ▣ ψ - поворот СК i -го сегмента относительно $i-1$
- ▣ T'_i - матрица, переводящая вектора из мировой СК в СК i -сегмента
- ▣ $M(\psi)$ — матрица поворота вокруг ψ на угол $|\psi|$
- ▣ G - сила тяжести
- ▣ m_i^w - момент силы ветра
- ▣ k_i — жесткость пружины в i -ом сегменте

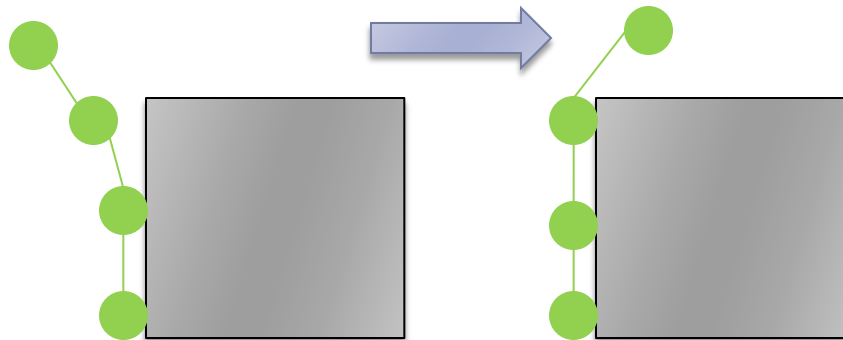
Взаимодействие с объектами

▶ Патчи

- ▶ Вычисление формы травинки по инерциальной модели
- ▶ ~1000 травинок

▶ Обработка столкновений

- ▶ «Выталкивание» сегментов за границы объекта



Распределение вычислений по CPU и GPU

CPU	GPU
Расстановка блоков травы с учетом области видимости	Решение уравнения статического равновесия для определения формы травинки
Определение и обработка столкновений травинки с объектами	Генерация геометрии травинки
Расчет направлений и силы ветра	Расчет освещения
Обновление карты ветра по виртуально-инерциальной модели	

Измерение производительности

- ▶ Реализация с использованием DirectX 10
 - ▶ ~178,000 травинок в кадре с учетом уровней детализации
 - ▶ 1млн травинок без учета уровней детализации
- ▶ Тест А – Анимация под действием ветра
- ▶ Тест В – Взаимодействие с объектом (ветра нет)
- ▶ Тест С - Взаимодействие с объектом и ветром

Конфигурация стенда	Тест А (кадры/сек)	Тест В (кадры/сек)	Тест С (кадры/сек)
Intel Core i7 920 2.66GHz, 6Gb Ram, GeForce 8800GT 512Mb	33	34	34
Intel Core 2 duo e8500 3.16GHz, 4Gb Ram, ATI HD6770 1Gb	195	150	146
Intel Core i7 2600K 4.1GHz, 8Gb Ram, ATI HD6870 1Gb	322	339	251

Сравнение производительности

► Intel Grass Demo

- Anu Kalra, 2008, “Rendering grass with Instancing in DirectX 10”
- Упрощенная модель анимации
- Блок травинок представляется 2D текстурой



► Конфигурация стенда

- Intel Core i7 2600K 4.1GHz, 8Gb Ram, ATI HD6870 1Gb

Сравнение производительности (кадры/сек)	
Intel Grass Demo	Демонстрационное приложение, Тест А (анимация под действием ветра)
345	322

Заключение

Основные результаты работы

- ▶ Разработан метод анимации травинки с использованием трехмерных матриц и моментов инерции
- ▶ Реализована обработка взаимодействия с динамическими объектами
- ▶ Высокая производительность
 - ▶ Более 250 кадров в секунду на современном оборудовании

Работа проведена в рамках исследовательского проекта компании Intel

Данный доклад был представлен на международной конференции GraphiCon 2011