**Лекция 1. Основы трехмерной графики**

1. Общие понятия о трёхмерной графике.
2. Принципы построения трехмерных моделей. Классификация.
3. Виды 3D-моделирования. Параметры 3D-моделей.
4. Методы проецирования 3D-объектов. Системы координат.

**1. Общие понятия о трёхмерной графике**

**3D-моделирование –** это процесс создания геометрических форм и параметров трёхмерного объекта программных и аппаратными средствами.

Задачи 3D моделирования разработать визуальный объёмный образ проектируемого объекта. При этом можно создать точную копию уже существующего объекта или разработать новую.

Программы: 3DStudioMax, Maya, Blender, Cinema 4D, Inventor, SketchUp, Zbrush, Sculptris, AutoCAD, Solid Works и др.

Достоинства:

* Реалистичность;
* Возможность использования трёхмерных объектов для создания приложений;
* Свобода трансформаций объектов.

Недостатки:

* Значительный объём файлов;
* Программная зависимость;
* Высокая стоимость различных 3D редакторов;
* Повышенные требования к аппаратной части компьютера.
* Сложность работы с 3D-моделями

Подходы разработки 3D-графики:

* На основе видео и изображений;
* С использованием трёхмерных моделей.

*На основе видео*. В основе 3D-графики лежат 2D-изображения и медиафайлы, снятые с разных ракурсов объекты. Далее средствами HTML и CSS задаётся нужный интерактив, формируется ощущение трёхмерности, а также задаётся фиксированная реакция на фиксированные действия пользователя.

*С использование 3D-моделей.*

* Отличается от предыдущего тем, что в веб-решения используются не производные (изображения, видео), а сама 3d-модель В область web-разработки в таком случае попадают также физические свойства модели, текстуры, материалы, источники света. Это даёт большие возможности для интерактива: обзор 360, масштабирование, анимация, переключение камер и т.п.
* Позволяет не ограничивать пользователя узким сценарием, расширяет его или убирае в принципе, предоставляя полную свободу для взаимодействия и возможности для интерактива.

Этапы создания трёхмерной графики:

1. Моделирование

**Моделирование** – создание математического описания 3d-объекта в программе трёмерной графики и, таким образом, формирование сцены.

Категории параметров объектов:

* Геометрия (модель, построенная с помощью различных техник, например здание)
* Материалы (информация о визуальных свойствах модели)
* Источники света (настройка направления, мощности, спектра освещения)
* Виртуальные камеры (настройка направления и пр.)
* Силы и воздействия (настройка динамических искажений объектов)
* Дополнительные эффекты

1. Текстурирование

**Текстурирование** представляет собой наложение на поверхность созданной трёхмерной модели растрового или векторного изображения, позволяющего отобразить свойства и материал объекта.

1. Настройка освещения

**Освещение** – создание, установка направления и настройка источников освещения в созданной сцене. 3d-редакторы, как правило, используют следующие виды источников света: относительные и физические.

1. Анимация

**Анимация** – создание движущихся объектов, а точнее имитация движения модели.

1. Рендеринг

**Рендеринг** – преобразование трёхмерной модели предмета в «плоское» изображение.

Реализуется на основе различных алгоритмов и программ расчётов (шейдеров), а также аппаратными ресурсами. В совокупности представляет собой видовый конвейер.

**2. Принципы построения трёхмерных моделей. Классификация**

Существует несколько принципов построения трёхмерных моделей: *традиционный, инверсионный, генеративный, интерактивный.*

Традиционный принцип заключается в разработке трёхмерной модели по эскизам, чертежам, наброскам.

Инверсионный принцип: для создания модели используется реальные 3d-объекты либо их скульпт. Стадиями данного принципа являются макетирование (имитация трёхмерной модели), 3d-сканирование, моделирование в нужном разрешении

Генеративный принцип в основном используется для технических систем при проектировании зданий, сооружений. Основной задачей этого принципа является создание объекта с минимальным расходом и учётом особенностей окружающей среды. В генеративной принципе ключевым является построение так называемой информационной модели, в которой указываются взаимосвязи и параметры исходных объектов, а также возможности изменения.

Интерактивный принцип: объект проектирования обладает определёнными сценариями, интерактивными по отношению к окружающей среде. В результате создаётся взаимосвязь объекта (3D-модели) с окружающей средой, осуществляется изучение реакции людей на этот объект, далее происходит имитация реакции объекта на людей, имитация общения.

У первых двух принципов основой является геометрическое моделирование, в других двух – информационное, т.е. дизайнер большую часть времени работает над набором входных и выходных параметров. В геометрическом моделировании дизайнер уделяет время только модели.

Классификация:

1. По наличию истории построения
   1. Параметрическое моделирование (по набору заданных варьируемых параметров операции)
   2. Непараметрическое моделирование (без сохранения параметров построения)
   3. Комбинированное моделирование (историю построения в любой момент можно удалить либо отключить)
2. В зависимости от структуры элементов построения 3D-моделей
   1. Каркасное моделирование (на основе точек, линий сплайна)
   2. Полигональное моделирование (базой является полигон, т.е многоугольник)
   3. Поверхностное моделирование (моделирование с помощью NURBS)
   4. Твердотельное моделирование (аналог клетки, т.е. внутри модель не пустая, а содержит внутрянку)
   5. Конечно-элементное моделирование (есть элемент, управляющий элемент и наложенная сетка)
   6. Генеративное моделирование (есть компоненты и связи между компонентами)

1. **Виды 3D-моделирования. Параметры 3D-моделей**

Параметры 3D-моделей:

* Количество многоугольников (poly-count)
* Текстурный бюджет (level of details – LOD)
* Уровень детализации

1. **Системы координат. Методы проецирования 3D-объектов**

Системы координат:

* Глобальная система координат (определяет единое направление всех осей, координат во всех окнах и в любом ракурсе обзора) (оси х, у, z, Х направлено вправо-влево и обозначает ширину, Z обозначает глубину, направлено на зрителя, У обозначает высоту объекта) (начало глобальное системы имеет (0, 0, 0))
* Локальная – через опорную точку (относится к самому объекту или группе объектов, позволяет преобразовать направление осей вместе с самим объектом, имеет опорную точку, которая обозначается как правило point. Опорная точка также может перемещаться относительно объекта)
* Родительская система (используется при работе над иерархическими цепочками объектов)

Методы проецирования объектов:

* Параллельное всё отображается без точки схода, т.е. объект не имеет глубины.
* Перспективное (центральное) – (есть точка схода)

Проецирования – преобразование многомерного пространства в пространство меньшей размерности.

Ортографическая проекция – проецирование осуществляется строго перпендикулярно плоскости проекции. Проекция на одну из координатных плоскостей (одна из координат 0).

Аксонометрические проекции образуются с помощью поворота и перемещения таким образом, чтобы были видны три соседние грани. В этих проекциях сохраняется параллельность прямых, но изменяются углы. Если грань не параллельна плоскость проекции, то аксонометрическая проекция не показывает её истинную форму. Относительные длины параллельных в исходном пространстве линий сохраняются. Коэффициент искажения представляет собой отношение длины проекции отрезка к его истинной длине.

Изометрическая проекция (все 3 коэфф. искажения равны и углы по 120 градусов). В этой проекции плоскость проецирования наклонена ко всем координатным осям под одинаковым углом, составляющим 120 градусов. Коэфф. сжатия одинаков и равен 0.82.

Диметрическая проекция – проекция, в которой 2 одинаковых коэффициента сжатия и 1 из 3 углов между нормалью плоскости проекции и главными координатными осями 2 угла одинаковы.

Триметрическая проекция строится произвольными поворотами вокруг любых координатных осей в произвольном порядке с последующим проецированием на плоскость z, равной нулю.

Главная ось – ось, которая параллельна одной из координатных осей.

Изображения, полученные при параллельном проецировании, не реалистичны, но с их помощью передаются точные формы и размеры объекта (хотя есть некоторые отклонения от реального масштаба).

Косоугольная проекция формируется параллельными проекторами с центром, лежащем в бесконечности, и расположенными под косым углом к плоскости проекции. Косоугольная проекция показывает общую трёхмерную форму объекта, однако истинные размеры и форма изображаются только для граней объекта, расположенных параллельно плоскости проекции. Всё, что не параллельно, искажается.

Наиболее часто используются 2 вида: фронтальная диметрия и горизонтальная изометрия (Кавалье).

Горизонтальная изометрия Кавалье получается тогда, кода угол между проекторами и плоскостью проекции равен 45 градусов. В этой проекции коэффициенты искажения для всех трёх главных направлений одинаковый, однако результат выглядит неестественно утолщённым.

Для коррекции этого недостатка вводится коэффициент искажения 0.5 для рёбер, перпендикулярных плоскости проекции. Угол составляет 63,43 градуса (это проекция Кабине).

Перспективная проекция формируется на основе перспективного преобразования одного пространства в другое. В отличии от параллельных преобразований, в перспективных появляется точка схода, которая является центром проекции. Размеры объекта уменьшаются с увеличением расстояния до центра проекции. Происходит неоднородное искажение линий по глубине. В результате формируется перспектива. Это помогает восприятию глубины, но не сохраняет форму объекта. Такие проекции с перспективой называют ренесансными.

Выделяют несколько видов: одноточечная, двуточечная и трёхточечная (кол-во перспектив, точек схода). В основном используется одноточечная проекция. В этой проекции по двум координатным осям соблюдается параллельность параллельных линий, размеры искажаются. В двухточечной параллельность соблюдается только для одной координатной оси. В трёхточечной параллельность отсутствует, но горизонт должен быть постоянным (хотя для всех видов горизонт должен быть соблюден).

**Лекция 2. Параметрическое и сложное моделирование**

1. Особенности параметрического моделирования
2. Деформеры и их применение
3. Нодовая система Maya

**1. Особенности параметрического моделирования**

Ранее для построения модели использовалось ручное редактирование элементов с заданием значений координат. Процесс был достаточно трудоёмким и приводил к появлению ошибок, отменить которые не всегда было возможно. Постепенно вводились способы объединения отдельных графических элементов для формирования более сложных графических компонентов. Чтобы упростить систему формирования без явного использования координат ввели систему параметризации элементов модели.

В настоящее время система параметризации строится на двух подходах:

1. По параметрам модели и истории их изменения
2. Вариационный с поддержанием заданных условий для перестраиваемой геометрии (задачи оптимизации, твёрдотельное моделирование)

*Параметрическое моделирование* – это моделирование на основе отдельных фрагментов геометрии.

У таких подходов есть определённые *недостатки:*

1. У моделей со сложной геометрией история достаточно объёмна по данным
2. Если в структуре история изменений модели просто нет параметра, который нужно будет изменить – придётся строить новую модель
3. Алгоритмы внесения изменений подразумевают работу только с входными данными модели
4. При переносе данных из одного формата в другой особенности истории изменений модели и связи между её элементами, важные для параметрического моделирования, могут быть утрачены

*Преимущества:*

1. Возможность свободного трансформирования объекта после его создания
2. Возможность отменять модификацию объектов, вносить изменения в неё
3. Возможность управлять историей
4. **Деформеры и их применение**

Деформером называется действия, назначаемое в результате чего свойства объекта изменяются. Все действия сохраняются в атрибут-эдиторе. Их можно изменить или удалить. Они могут работать в мировом пространстве (вне зависимости от объекта) или локально в объектном пространстве (исходя из параметров объекта)

По количеству задействованных объектов, деформеры работают с одним или несколькими объектами.

Наиболее часто используемые деформеры над одним объектом: Bend, lattice, Taper и пр.

Наиболее часто используемые деформеры над несколькими объектами: Blend Share, Scatter, Conform, Bollean.

Булевы операции применяются к двум и более объектам. Объекты должны пересекаться между собой. Такие операции портят структуры и поэтому их применяют к не анимируемым объектам. Желательное соотношение высоты и ширины грани не более чем 4:1.

Булевы операции чувствительны к сетке. Желательно, чтобы область для применения булевых операции была окружена рёбрами

К булевым операция относятся:

1. Union
2. Intersect
3. Difference (Исключить)
4. Split Edges
5. Slice
6. Hole Punch / Cut Out

Особенности деформеров:

* Могут быть применены ко всему объекту или набору его подобъектов
* Итоговый результат модификации объекта зависит от последовательности применения
* Отображаются в Attribute Editor отдельными вкладками

Преобразования обладают следующими свойствами:

* Применяется ко всему объекту
* Сохраняются в матрице аффинных преобразований в виде результирующего значения, вне зависимости от числа и последовательности примененных преобразований
* При визуализации объекта расчёт матрицы преобразований происходит после вычисления модификаторов пространства объекта, но перед вычислением модификаторов мирового пространства.

1. **Нодовая система Maya**

Maya построена на нодах (узлах). Объект сферы состоит из нескольких узлов:

* Узел создания, в котором записаны настройки, установленные при создании сферы.
* Узел преобразования, в котором содежится положение, ориентация, масштаб (прописаны в матрице преобразования).
* Узел формы, в котором записаны положения управляющих точек сферы.

Атрибут – это участок памяти, который выделяется для данного узла и в котором записаны значения тех преобразований. Которые совершались над объектом.

Каждый вновь создаваемый узел создаётся с набором значений атрибутов, принятых по умолчанию.

Связи определяют какие параметры какому узлу соответствуют.

Свойства нод:

* Определяет свой собственный атрибут (или набор атрибутов)
* Показывает данные в специальном блоке данных
* Принимает входные данные, вычисляет и выводит выходные данные
* Связаны с другими нодами через коннекторы

Атрибуты включают в себя:

* Имя
* Тип данных (основные, комплексные, заказные)
* Структура (Simple, Compound, Array...)
* Свойства (readable, writable, storable, keyable…)

API классы артибутов:

1. Основной класс MFnAttribute
2. Наиболее часто используемые классы MFn…..Attribute

*Plugs* – указатель на атрибут на определённом узле (т.е. конкретный экземпляр на узле)

Свойства Plugs:

* Plugs могут быть использованы для запроса/установления значения или создать/удалить/запросить соединение
* Не успел записать(

Нода хранит данные для каждого атрибута в датаблоке (Datablock)

* Datablock – это фактическое хранилище входных и выходных данных
* Для каждого атрибута, не являющегося массивом, блок данных хранит данные и состояние
* Дескрипторы данных – легкие указатели на данные в блоке данных

API классы ддатаблоков:

* MDatablock
* MDataHandle

Каждый момент времени работы над объектом сохраняется ввиде истории и эта история записана в виде нод. Именно поэтому порядок применения операций, записанный в виде последовательности нод, можно изменить на нодовом уровне. Изменяя атрибуты нод, добавляя к ним какие-либо действия, визуально изменяется результат преобразования объекта. Поскольку атрибуты вращения, перемещения, трансформации являются перезаписываемыми данными, которые хранятся в единой матрице, эти действия изменять сложнее.

**Лекция 3. Полигональное моделирование**

Теория полигональных сеток. Основы преобразований

Понятие топологии. Правила

Теория сглаживания

1. **Теория полигональных сеток. Основы преобразований**

Полигональная сетка – совокупность вершин, рёбер и граней, которые определяют форму многогранного объекта в трёхмерной компьютерной графике и объёмном моделировании. По сути, полигональная сетка, это стека многоугольников.

Минимально грань определяется тремя вершинами. Полигон – множество граней. В каждой грани есть нормаль, которая представляет собой вектор в направлении к зрителю пока грань видима, либо в обратном направлении если грань невидима. Обычно в трёхмерной графике используется четырёхугольный многоугольник. Четырёхугольный многоугольник принято называть полигоном. Основным его свойством является наличие двух треугольных граней, лежащих в одной плоскости. Часто используют треугольниками, ими работать проще.

В режимах просмотра параметров сетки есть возможность включить отображение промежуточной треугольной грани, из которой состоит полигон. В этом случае она будет отображаться пунктирной линией и эту линию при необходимости можно перенаправить. Учение о полигональных сетках входит в раздел геометрического моделирования и включает в себя булеву алгебру, сглаживание, упрощение и др. Математический эквивалент полигональных сеток так называемые «неструктурированные сетки» входят в раздел комбинаторной геометрии. Большинство современных эффектов, выполняемых над геометрическими объектами, запрограммированы на основе известных математических преобразований и построений.

Объёмные сетки отличаются от полигональных тем, что они представляют объём в явном виде, что позволяет работать с ними как с глиной (скульптить). Полигональные сетки явно представляют лишь поверхность, ограниченную вершина и рёбрами. Поверхность сетки определяется с помощью дополнительных атрибутов. Атрибуты могут быть простыми (например, цвет) или сложными, состоящими из нескольких частей (например, отражение, преломление лучей, наличие текстурных карт). Свойства поверхности сетки задаются материалами. Для их наложения используется другая система координат UVW, и поэтому у каждого полигона помимо координат XYZ хранятся координаты UV (Они для текстур). Операции в такой сетке выполняются в матричном виде.

Методы построения полигональных объектов:

1. Создание с нуля через вершины
2. Из плоского полигона выдавливается трехмерный объект
3. Из объёмного примитива через преобразование формируется сложная полигональная структура

Виды моделей:

* Start
* Basic
* Simple (Low Poly)
* Intermediate (Middle Poly)
* Advanched (High Poly)

1. **Понятие топологии. Правила**

Топология – это раздел математики, который изучает, грубо говоря, непрерывность форм.

В трёхмерной графике топология – это расположение полигонов, создающее некоторый путь по поверхности полигональной сетки, и позволяет легко и быстро вносить правки.

«Polygon Flow» - поток полигонов, отвечает за расположение вершин и рёбер сетки.

Виды полигонов:

* triangle – трёхсторонний полигон, иначе говоря треугольник;
* Quadrangle – полигон с четырьмя сторонами;
* N-gon – это полигон с количеством сторон более чем 4.

Planar и non-planar полигоны (плоские и неплоские)

Случай 1: вертекс выделенного полигона уведён вниз, что делает его не планарным, ребро триангуляции в показанной ситуации делает его выпуклым, получается переход

Случай 2: вертекс также уведён вниз, но ребро триангуляции лежит на другой оси, это создаёт перегиб и полигон становится вогнутым.

PolyLoop – петля полигонов. Представляет собой набор последовательно и непрерывно связанных квадратных полигонов.

EdgeLoop – в свою очередь это петля из эджей (рёбер). Как и с PolyLoop, петля рёбер это разрезы, которые вы будете делать на модели, и они будут замыкаться.

* Звезда – это вершина в сетке, в которую приходит 3 и более рёбер
* E-pole – полюсы из 5 рёбер, которые пересекаются в 1 вершине.
* N-pole – полюсы из 3 рёбер, которые пересекаются в 1 вершине.

Рекомендации:

* Начинайте построение модели с анализа референсов, заранее прикиньте, где у вас будут более сложные участки с повышенной плотностью полигонов.
* Используйте меньше полигонов там, где это возможно
* Треугольники и многоугольники – не всегда плохо
* Следите за размерами полигонов и за их количеством
* Полигональное моделирование – это баланс между формой и топологией
* Работая с LowPoly помните про количество полигонов, силуэт модели и то, что надо срезать все лишнее, оставив самое важное.

1. **Теория сглаживания**

Методы:

* Алгоритмы добавления сетки
* Алгоритмы закрашивания полигонов

Алгоритмы заливки многоугольников:

* Алгоритм закраски с затравкой
* Алгоритмы со списком рёберных точек
* Алгоритмы XOR

Subdivision Surface – полигональная сетка, дроблёная на множество малых граней при сохранении общей формы объекта. Применяется для увеличения степени детализации объекта или для сглаживания.

Алгоритмы подразделения:

* Linear subdivision – простейшее разделение поверхности
* Loop subdivision – подразделение по петлям
* Catmull-Clark – самый популярный алгоритм подразделения

Linear subdivision – алгоритм нахождения средней точки. Он работает с Quad Mesh. Работает по принципу нахождения средней точки и усреднения позиции.

Loop Subdivision – алгоритм основан на извлечении поверхностей сетки из сферической оболочки. Этапы работы алгоритма:

Первый шаг. Поверхность сетки переходит в начальную сферическую сетку.

Второй шаг. Подвершины вставляются в средние точки рёбер в исходной сетке и соединяются друг с другом. Однако, если выполнение заканчивается на этом шаге, не удастся добиться плавного эффекта аппроксимации исходной поверхности, потому что треугольник представляет собой плоскую фигуру, независимо от того, как он разделён внутри треугольника, получившаяся фигура все равно плоская, поэтому вам нужно выполнить перемещение.

Третий шаг. Переместить положение дочерней вершины в новое положение. Направление и расстояние движения зависят от точек, прилегающих к ней, и значения веса.

Четвёртый шаг. Переместить родительскую вершину. Направление и расстояние движения такие же, как и у дочерней вершины. Зависит от соседних точек.

Величина перемещения определяется условным весом вершины. В равномерной сетке наибольшим весом обладают конечные вершины. У промежуточных вершин вес уменьшается. Для промежуточных вершин рассчитывается средневзвешенная от окружающих вершин.

Алгоритм Catmull-Clark - наиболее часто используемый алгоритм subdivision surface. Его разработали Эдвин Катмулл и Джеймс Кларк в 1978 г.

Суть алгоритма заключается в том, что по полигонам модели размещаются центроиды, т.е. вершины в центральных точках полигонов. Далее эти вершины соединяются с рёбрами. Следующим этапом осуществляется смещение вершин со скруглением формы. Алгоритм повторяется раз за разом, наращивая количество подразделений. Так, формируется High-poly модель.

Чем выше значение количества итераций, тем сглаженней модель. Как правило, много не ставим.

00

**Лекция 4. Технология ААА-пайплайн**

* **Технология ААА-пайплайн**

Пайплайн – это несколько последовательных этапов разработки модели, дословно – конвейер, трубопровод.

Этапы в производстве персонажа:

* Скульпт
* Ретопология
* Развёртка
* Запечка
* Текстуры
* Риг
* Анимация
* Сборка в игровом движке

Этапы в производстве окружения:

* Блокинг
* Лоу-поли
* Хай-поли
* Развёртка
* Запечка
* Текстуры
* Сборка в игровом движке

Этапы начальной разработки

Блокинг – набросок модели из боксов, сфер и цилиндров, которыми мы передаём суть объекта. В блокинге нет мелких деталей, только крупные и средние формы, так мы строим силуэт машины, чтобы попасть в её пропорции.

Драфт – упрощённая форма модели, которую мы делаем из простых фигур.

Этапы драфта:

* Сбор референсов
* Анализ
* Блокинг
* Добавление средних форм

Сбор референсов:

* Концептов – рисунков, которые показывают, как в будущем должна выглядеть модель.
* Фотографий – нужны, чтобы лучше понять силуэт и составляющие модели
* Работ других художников. Полезно посмотреть какую работу проделали другие моделлеры и понять, какой путь они прошли.
* Деталей – помогают понять, как функционирует объект и как детали крепятся друг к другу.
* Материалов, текстур – фотографии и арты с выразительными текстурами и фактурами.
* Повреждений и потёртостей.

Анализ модели

1. Из каких примитивов состоит модель?
2. Какие детали, насколько большой или маленький объект?
3. Какие цвета использовать для модели?

Блокинг

* Сначала моделируют крупные формы, которые образуют силуэт
* Важно сохранение пропорций, масштаба и механики объекта
* Силуэт должен быть узнаваемым, даже без детализации.
* Важно учитывать особенности восприятия человека!

Детальный драфт

* Плавность модели (сгибы, сопряжение)
* Переходы (сварка, гайки, гвоздики и т.п.)
* Механика объекта (функционирование объекта)
* Детализация (изменение симметричности, параллельности, визуальное восприятие)

Чек-лист для проверки:

1. Понятно ли, что это за объект?
2. Читается ли силуэт модели? Интересный ли получился силуэт?
3. Попал ли в пропорции? Сравните с референсом
4. Понятно ли, как работает эта модель?
5. Все ли ключевые объекты замоделили?
6. Добавили ли базовые цвета?
7. Устраивает как выглядит модель?

Три вида сетки:

* LowPoly – упрощённая модель для игры с минимальным количеством полигонов.
* HighPoly – детализированная модель, которая нужна, чтобы перенести свю детализацию на low poly через Normal Map
* MidPoly – компромис между бесконечно детализированными high Poly м оптимизированными low Poly. Используется в основном в кино.

Правила Low Poly

1. Контроль полигонов, которые влияют на силуэт формы
2. Элементы, которые не видны, нужно удалять
3. Всё, что слишком угловато на силуэте – округляется. Иногда для этого надо добавить новую геометрию.
4. Все плоские детали, не влияющие на силуэт, рисуются через текстуры или на нормале.
5. Цилиндры кратны 4, а число сечений зависит от размера цилиндра.
6. Удаляйте задние стенки у объектов.
7. Пересекающиеся объекты утапливайте друг в друга.