

Содержание

Предисловие	14
Введение	15
Благодарности.....	20
Об авторах	22
Глава 1. Введение в OpenGL ES 3.0	23
OpenGL ES 3.0.....	25
Вершинный шейдер.....	26
Сборка примитивов	28
Растеризация.....	28
Фрагментный шейдер.....	29
Пофрагментные операции.....	30
Что нового в OpenGL ES 3.0?.....	32
Текстурирование.....	32
Шейдеры.....	34
Геометрия.....	35
Буферные объекты.....	36
Фреймбуфер.....	37
OpenGL ES 3.0 и обратная совместимость.....	37
EGL	38
Программирование с OpenGL ES 3.0	39
Библиотеки и заголовочные файлы.....	39
Синтаксис EGL.....	40
Синтаксис команд OpenGL ES	40
Обработка ошибок.....	42
Основы управления состоянием	43
Дальнейшее чтение.....	44
Глава 2. Hello Triangle: пример использования OpenGL ES 3.0	45
Используемая библиотека	45
Где можно скачать примеры.....	46
Пример Hello Triangle.....	46
Использование библиотеки утилит для OpenGL ES 3.0.....	50

Создание простого вершинного и фрагментного шейдеров	51
Компиляция и загрузка шейдеров	53
Создание объекта-программы и сборка шейдеров	54
Задание области вывода и очистка буфера цвета	55
Загрузка геометрии и вывод примитива	56
Отображение буфера	56
Резюме	57

Глава 3. Введение в EGL **58**

Взаимодействие с оконной системой	58
Проверка на ошибки	59
Инициализация EGL	60
Определение допустимых конфигураций поверхностей	60
Получение атрибутов EGLConfig	61
Позволяем EGL выбрать конфигурацию	64
Создание видимой области для рендеринга: окна EGL	66
Создание внеэкранных областей для рендеринга: п-буферы EGL	68
Создание контекста для рендеринга	71
Делаем EGLContext текущим	73
Собираем все вместе	73
Синхронизация рендеринга	75
Резюме	76

Глава 4. Шейдеры и программы **77**

Шейдеры и программы	77
Создание и компилирование шейдера	78
Создание и сборка программы	81
Uniform-переменные и атрибуты	85
Получение информации и задание значений для uniform-переменных	86
Uniform-буферы	92
Получение и задание атрибутов	96
Компилятор шейдеров	97
Бинарные программы	97
Резюме	98

Глава 5. Шейдерный язык OpenGL ES **99**

Основы шейдерного языка OpenGL ES	99
Задание версии шейдера	100
Переменные и типы переменных	100

Конструкторы переменных	101
Векторные и матричные компоненты.....	102
Константы.....	103
Структуры	104
Массивы	104
Операторы	105
Функции.....	106
Встроенные функции.....	107
Управляющие операторы	107
Uniform-переменные.....	108
Uniform-блоки.....	109
Входные и выходные значения вершинного/фрагментного шейдера	111
Описатели интерполяции	113
Препроцессор и его команды	114
Упаковка uniform-переменных и интерполяторов	116
Описатели точности.....	117
Инвариантность.....	118
Резюме	121

Глава 6. Атрибуты вершины, вершинные массивы и объекты-буферы 122

Задание данных для вершинных атрибутов	123
Постоянный вершинный атрибут.....	123
Вершинные массивы	123
Советы по оптимизации.....	127
Объявление переменных для вершинного атрибута в вершинном шейдере.....	131
Привязка вершинного атрибута к переменной в шейдере.....	133
Вершинные объекты-буферы	136
Объект состояния вершинных буферов (Vertex Array Object)	145
Отображение буферов в память приложения.....	149
Сбрасывание отображенного буфера	152
Копирование данных между буферами.....	152
Резюме	153

Глава 7. Сборка примитивов и растеризация 155

Примитивы.....	155
Треугольники	155
Отрезки	156
Точечные спрайты	157

Вывод примитивов	159
Перезапуск примитива	161
Провоцирующая вершина (provoking vertex)	162
Дублирование геометрии (geometry instancing).....	162
Советы по оптимизации	165
Сборка примитивов.....	167
Системы координат	168
Отсечение	168
Перспективное деление.....	170
Преобразование в область видимости.....	170
Растреризация	171
Отсечение	171
Смещение полигона.....	173
Запросы видимости	175
Резюме	177

Глава 8. Вершинные шейдеры 178

Обзор вершинного шейдера	179
Встроенные переменные вершинного шейдера	180
Встроенные специальные переменные	180
Встроенные uniform-переменные, хранящие состояние.....	181
Встроенные константы	181
Описатели точности	182
Ограничения на использование uniform-переменных в вершинном шейдере	183
Примеры вершинных шейдеров	186
Матричные преобразования	186
Модельно-видовая матрица.....	187
Матрица проектирования.....	188
Расчет освещения в вершинном шейдере	188
Генерация текстурных координат	194
Вершинный скиннинг	195
Преобразование обратной связи (transform feedback).....	200
Вершинные текстуры.....	202
Вершинный конвейер OpenGL ES 1.1 как вершинный шейдер	
OpenGL ES 3.0.....	203
Резюме	210

Глава 9. Текстурирование.....211

Основы текстурирования.....	211
-----------------------------	-----

Двухмерные текстуры.....	211
Кубические текстурные карты	213
Трехмерные текстуры.....	214
Массив двухмерных текстур	214
Текстурные объекты и загрузка текстур.....	215
Фильтрование текстуры и пирамидальное фильтрование	220
Бесшовная фильтрация кубических текстур.....	224
Автоматическое построение пирамиды изображений	224
Отсечение текстурных координат	225
Перестановки каналов	227
Текстурный уровень детализации	227
Сравнение для текстуры глубины (Percentage Closest Filtering, PCF).....	228
Форматы текстур.....	228
Нормализованные текстурные форматы	229
Форматы текстур с плавающей точкой	230
Целочисленные текстурные форматы.....	231
Форматы текстур с общей экспонентой	232
Текстурные форматы sRGB	233
Форматы для текстур глубины.....	234
Использование текстур в шейдере	234
Пример использования кубической текстуры	237
Загрузка трехмерных текстур и массивов двухмерных текстур.....	239
Сжатые текстуры.....	240
Задание части изображения текстуры.....	243
Копирование текстурных данных из буфера цвета	246
Объекты-сэмплеры.....	249
Неизменяемые текстуры	252
Распаковка объектов-буферов.....	253
Резюме	254

Глава 10. Фрагментные шейдеры 255

Пример реализации фиксированного конвейера	256
Обзор фрагментного шейдера	257
Встроенные специальные переменные	258
Встроенные константы	259
Описатели точности	260
Реализация алгоритмов из фиксированного конвейера при помощи шейдеров	260
Мультитекстурирование	261
Туман.....	262

Альфа-тест (с использованием discard).....	265
Задаваемые пользователем плоскости отсечения.....	267
Резюме	269

Глава 11. Операции с фрагментами270

Буферы	270
Запрос дополнительных буферов	271
Очистка буферов	272
Использование масок для управления записью во фреймбуферы.....	273
Тесты фрагментов и операции.....	275
Использование теста попадания в прямоугольник (scissor test).....	275
Тесты трафарета	276
Тесты глубины	281
Смещение цветов (альфа-блендинг).....	282
Растрирование.....	284
Антиалиасинг с использованием мультисэмплинга.....	284
Использование спецификатора centroid	285
Чтение и запись пикселей во фреймбуфер	286
Объекты-буферы для упаковки пикселей	289
Рендеринг в несколько буферов цвета (MRT).....	290
Резюме	293

Глава 12. Объекты-фреймбуферы294

Зачем нужны объекты-фреймбуферы?.....	294
Объекты-фреймбуферы и рендербуферы	296
Выбор между рендербуфером и текстурой в качестве подключения к фреймбуферу	296
Сравнение объектов-фреймбуферов с поверхностями EGL.....	297
Создание объектов-фреймбуферов и рендербуферов.....	298
Использование рендербуферов.....	298
Рендербуферы с мультисэмплингом.....	300
Форматы рендербуфера	301
Использование объектов-фреймбуферов.....	302
Подключение рендербуфера к точке подключения фреймбуфера.....	303
Подключение двумерной текстуры к фреймбуферу.....	304
Подключение слоя трехмерной текстуры к фреймбуферу.....	305
Проверка полноты фреймбуфера	306
Копирование между фреймбуферами	307
Сообщение о том, что содержимое фреймбуфера больше не нужно	309

Уничтожение фреймбуферов и рендербуферов.....	310
Уничтожение рендербуферов, которые используются как подключение к фреймбуферу	311
Чтение пикселей и объекты-фреймбуферы	311
Примеры.....	312
Подсказки по оптимизации.....	318
Резюме	318

Глава 13. Объекты синхронизации и барьеры320

Команды <code>glFlush</code> и <code>glFinish</code>	320
Зачем использовать объект синхронизации.....	321
Создание и уничтожение объекта синхронизации.....	321
Ожидание объекта синхронизации.....	322
Пример.....	323
Резюме	324

Глава 14. Продвинутое программирование с OpenGL ES 3.0325

Попфрагментное освещение.....	325
Освещение с использованием карты нормалей	326
Шейдеры для освещения	327
Уравнения освещения	331
Имитация отражения окружающей среды (environment mapping)	331
Система частиц при помощи точечных спрайтов	335
Настройка системы частиц	335
Вершинный шейдер для системы частиц.....	336
Фрагментный шейдер для системы частиц.....	338
Системы частиц с использованием преобразования обратной связи	340
Алгоритм рендеринга системы частиц.....	341
Создание частиц при помощи преобразования обратной связи.....	342
Рендеринг частиц.....	346
Постобработка изображений	347
Настройка рендеринга в текстуре	348
Фрагментный шейдер размытия.....	348
Эффект свечения	349
Проективное текстурирование.....	351
Основы проективного текстурирования	351
Матрицы для проективного текстурирования.....	352
Шейдеры проективного источника света	354

Шум при помощи трехмерной текстуры	357
Получение шума	357
Использование шума.....	361
Процедурное текстурирование	363
Пример процедурной текстуры	364
Антиалиасинг процедурных текстур	367
Дополнительная литература по процедурным текстурам	369
Рендеринг ландшафта при помощи чтения из текстуры в вершинном шейдере.....	370
Вычисление нормали в вершине и чтение значения высоты в вершинном шейдере	371
Дополнительное чтение по рендерингу больших ландшафтов.....	372
Рендеринг теней при помощи карты глубины.....	373
Рендеринг из положения источника света в текстуру глубины	373
Рендеринг из положения наблюдателя с использованием текстуры глубины	376
Резюме	378

Глава 15. Получение состояния379

Запросы строковых значений о реализации OpenGL ES 3.0.....	379
Получение информации о зависящих от реализации ограничениях	380
Запрос состояния OpenGL ES.....	383
Пожелания (hints)	387
Запросы по идентификаторам.....	387
Управление непрограммируемыми операциями и запрос их состояния	388
Получение состояния шейдеров и программ	389
Получение информации о вершинных атрибутах.....	391
Получение состояния текстуры.....	391
Получение состояния сэмплера.....	392
Получение информации об асинхронном объекте-запросе (query)	392
Получение информации об объекте синхронизации	393
Получение информации о вершинном буфере.....	394
Получение информации о рендербуфере и фреймбуфере	394
Резюме	396

Глава 16. Платформы OpenGL ES397

Сборка для Microsoft Windows с использованием Visual Studio	397
Сборка для Ubuntu Linux.....	399
Сборка для Android 4.3+ NDK (C++).....	400

Пререквизиты	400
Сборка примеров при помощи Android NDK.....	401
Сборка на Android 4.3+ SDK (Java)	401
Сборка для iOS 7	402
Пререквизиты	402
Сборка примеров при помощи XCode 5	402
Резюме	404

Приложение А. GL_HALF_FLOAT405

16-битовое число с плавающей точкой.....	405
Преобразование значения с плавающей точкой в 16-битовое значение с плавающей точкой.....	406

Приложение Б. Встроенные функции410

Функции для работы с углами и тригонометрические функции	411
Экспоненциальные функции.....	412
Общие функции	412
Функции для упаковки и распаковки значений с плавающей точкой	414
Геометрические функции	416
Матричные функции	416
Векторные логические функции	417
Функции обращения к текстуре.....	418
Функции по обработке фрагментов	422

Приложение В. Описание библиотеки, использованной в данной книге424

Базовые функции.....	424
Функции для преобразований	428

Предисловие

Прошло пять лет с тех пор, как версия этой книги для OpenGL ES 2.0 сообщила всем разработчикам, что программируемая графика для мобильных и встраиваемых систем не просто появилась, но и собирается остаться.

Пятью годами ранее более *1 миллиарда* человек каждый день использовали OpenGL ES для взаимодействия со своими вычислительными устройствами для получения информации и развлечения. Практически каждый пиксел на практически каждом экране смартфона был создан, обработан и наложен с применением этого графического API.

Теперь OpenGL ES 3.0 был разработан Khronos Group и поставляется на современных мобильных устройствах, продолжая непрерывное движение продвинутой графики в руки пользователей повсюду – графики, которая была ранее разработана и опробована на мощных компьютерах, оснащенных поддержкой OpenGL.

На самом деле сейчас OpenGL является наиболее широко распространенной группой 3D API, включая как OpenGL для настольных систем и OpenGL ES, так и WebGL, дающий поддержку OpenGL ES для веба. OpenGL ES 3.0 поддержит дальнейшее развитие WebGL, позволяя разработчикам на HTML5 получить доступ ко всем возможностям современных GPU для создания действительно переносимых 3D-приложений.

OpenGL ES 3.0 не только предоставляет разработчикам больше возможностей для целого ряда устройств и платформ, но и позволяет писать более быстрые и энергоэффективные приложения, которые легче писать, переносить и поддерживать, – и эта книга покажет вам, как этого добиться.

Никогда не было более захватывающего и вознаграждающего времени для разработчика 3D-графики, чем сейчас. Я благодарю и поздравляю авторов за то, что они продолжают быть важной частью развивающейся истории OpenGL ES, и за тяжелую работу для создания этой книги, которая поможет разработчикам лучше понять и полностью задействовать всю силу OpenGL ES 3.0.

Нейл Тревентт,
президент, Khronos Group,
вице-президент по мобильным системам, NVIDIA

Введение

OpenGL ES 3.0 – это программный интерфейс для рендеринга сложной 3D-графики для мобильных и встроенных устройств. OpenGL ES – это основная графическая библиотека для мобильных и встроенных устройств с программируемой 3D-графикой, включая мобильные телефоны, PDA, консоли, транспортные средства и т. п. Эта книга разбирает весь OpenGL ES 3.0 API и конвейер, в том числе детальные примеры, для предоставления руководства по разработке широкого спектра высокопроизводительных 3D-приложений для мобильных устройств.

Целевая аудитория

Эта книга ориентирована на программистов, которые хотели бы изучить OpenGL ES 3.0. Мы рассчитываем, что читатель хорошо знаком с компьютерной графикой. В книге мы объясняем многие из важных понятий, относящихся к различным частям OpenGL ES 3.0, но мы ожидаем, что читатель хорошо знаком с основными понятиями 3D. Все примеры кода в книге написаны на C. Мы рассчитываем, что читатель знаком с C или C++, и касаемся языка программирования только настолько, насколько это касается OpenGL ES 3.0.

Читатель узнает о настройке и программировании каждого аспекта графического конвейера. Книга детально разбирает написание вершинных и фрагментных шейдеров и реализацию продвинутых эффектов, таких как попиксельное освещение и системы частиц. Также предоставляются различные советы по оптимизации и эффективному использованию API и оборудования. После прочтения этой книги читатель будет готов писать приложения на OpenGL ES 3.0, полностью использующие силу программируемых графических процессоров для мобильных устройств.

Организация книги

Книга рассчитана на последовательный разбор API по мере продвижения.

Глава 1. Введение в OpenGL ES 3.0

Глава 1 является введением в OpenGL ES и предоставляет обзор графического конвейера OpenGL ES 3.0. Мы обсудим философию и ограничения, повлиявшие на разработку OpenGL ES 3.0. Также мы рассмотрим некоторые соглашения и типы, используемые в OpenGL ES 3.0.

Глава 2. Hello Triangle: пример на OpenGL ES 3.0

Глава 2 разбирает простой пример на OpenGL ES 3.0, рисующий треугольник. Нашей целью является показать, как выглядит программа на OpenGL ES 3.0, ознакомить читателя с некоторыми понятиями в API и описать, как построить и запустить программу на OpenGL ES 3.0.

Глава 3. Введение в EGL

Глава 3 рассматривает EGL – API для создания поверхностей и контекстов для OpenGL ES 3.0. Мы опишем взаимодействие с оконной системой, выбор конфигурации и создание контекстов и поверхностей EGL. Мы расскажем вам о EGL достаточно для того, чтобы вы могли сделать все, что вам понадобится для рендеринга при помощи OpenGL ES 3.0.

Глава 4. Шейдеры и программы

Шейдерные и программные объекты являются одними из самых важных объектов в OpenGL ES 3.0. В главе 4 мы опишем, как создать шейдерный объект, скомпилировать шейдер и проверить на наличие ошибок. Эта глава также объясняет, как создать программный объект, прикрепить к нему шейдерные объекты и выполнить линковку. Мы обсудим, как получать информацию из программного объекта и как задавать значения `uniform`-переменным. Также вы узнаете о разнице между шейдерами в виде исходного текста и бинарными шейдерами и как использовать оба этих типа.

Глава 5. Шейдерный язык OpenGL ES

Глава 5 объясняет основные понятия языка для написания шейдеров. Сюда входят переменные и типы, конструкторы, структуры, массивы, `uniform`-переменные, `uniform`-блоки и переменные для получения и выдачи значений. Эта глава также описывает некоторые тонкости языка для написания шейдеров, такие как задание точности и инвариантность.

Глава 6. Атрибуты вершины, вершинные массивы и объекты-буферы

Начиная с главы 6 (и заканчивая главой 11), мы начнем изучение конвейера, для того чтобы показать, как настроить и запрограммировать каждую часть графического конвейера. Мы начнем с описания того, как геометрические данные поступают на вход конвейера, и обсудим атрибуты вершины, вершинные массивы и объекты-буферы.

Глава 7. Сборка примитивов и растеризация

После обсуждения передачи геометрии в конвейер в предыдущей главе в главе 7 мы рассмотрим, как геометрия собирается в примитивы. Разбираются все типы примитивов, поддерживаемые OpenGL ES 3.0, включая точечные спрайты, треугольники, полосы и вееры из треугольников. Также мы рассмотрим, как выполняются преобразования координат над вершинами, и расскажем, как происходит растеризация в конвейере OpenGL ES.

Глава 8. Вершинные шейдеры

Следующая рассматриваемая часть конвейера – это вершинный шейдер. Глава 8 предоставляет обзор места вершинного шейдера в конвейере и специальных пере-

менных, доступных в вершинных шейдерах OpenGL ES. Приводятся примеры вершинных шейдеров, включая попершинное освещение и скиннинг. Также мы рассмотрим, как фиксированный конвейер OpenGL ES 1.0 (и 1.1) может быть реализован при помощи вершинных шейдеров.

Глава 9. Текстурирование

Глава 9 начинает рассмотрение фрагментных шейдеров с описания возможностей по работе с текстурами в OpenGL ES 3.0. Эта глава детально разбирает создание текстур, загрузку в них данных и использование их для рендеринга. Описываются преобразования текстурных координат, фильтрация, форматы текстур, сжатые текстуры, объекты-сэмплеры, неизменяемые текстуры, буферы и пирамидальное фильтрование. Эта глава рассматривает все типы текстур, поддерживаемые в OpenGL ES 3.0: двухмерные текстуры, кубические текстурные карты, массивы двухмерных текстур и трехмерные текстуры.

Глава 10. Фрагментные шейдеры

Глава 9 рассматривает использование текстур во фрагментных шейдерах; глава 10 рассматривает все остальное, что вам нужно знать для написания фрагментных шейдеров. Мы даем обзор фрагментных шейдеров и всех специальных встроенных переменных, доступных им. Мы также покажем, как реализовать весь фиксированный конвейер из OpenGL ES 1.1 при помощи фрагментных шейдеров. Приводятся примеры мультитекстурирования, тумана, альфа-теста и задаваемых пользователем плоскостей отсечения.

Глава 11. Операции с фрагментами

Глава 11 рассматривает операции, которые могут быть применены либо ко всему фреймбуферу, либо к отдельным фрагментам после выполнения фрагментного шейдера в конвейере рендеринга OpenGL ES 3.0. Эти операции включают в себя тест на попадание в заданный прямоугольник, тест трафарета, тест глубины, мультисэмплинг, смешивание и растривание. Эта глава завершает рассмотрение конвейера рендеринга.

Глава 12. Объекты фреймбуфера

Глава 12 рассматривает использование объектов фреймбуфера для рендеринга в невидимые поверхности. Данные объекты могут быть использованы для нескольких задач, наиболее распространенной из них является рендеринг в текстуру. Эта глава дает полный обзор части API, связанного с фреймбуферами. Понимание объектов фреймбуфера важно для реализации ряда продвинутых эффектов, таких как отражения, теневые карты и постобработка.

Глава 13. Объекты синхронизации и барьеры

Глава 13 предоставляет обзор объектов синхронизации и барьеров, которые являются эффективными примитивами для синхронизации с приложением и GPU

в OpenGL ES 3.0. Мы рассмотрим, как использовать объекты синхронизации и барьеры, и завершим рассмотрение примером.

Глава 14. Продвинутое программирование с OpenGL ES 3.0

Глава 14 является ключевой в том смысле, что она связывает вместе многие темы, рассматриваемые на протяжении всей книги. Мы выбрали набор продвинутых методов и приведем примеры, демонстрирующие, как реализовать эти методы. Глава включает в себя такие методы, как попиксельное освещение с использованием карт нормалей, отражение окружающей среды, системы части, постобработка изображений, процедурные текстуры, теневые карты, рендеринг ландшафта и проективное текстурирование.

Глава 15. Получение состояния

В OpenGL ES 3.0 поддерживается большое число запросов состояния. Практически для всего, что можно установить, есть соответствующий способ получения этого значения. Глава 15 предоставляет справочник по различным запросам состояния, доступным в OpenGL ES 3.0.

Глава 16. Платформы OpenGL ES

В последней главе мы перейдем от деталей API к разговорам о том, как собрать примеры для OpenGL ES на iOS 7, Android 4.3 NDK, Android 4.3 SDK, Windows и Linux. Эта глава служит как справочник по тому, как собрать примеры по OpenGL ES 3.0 на вашей платформе.

Приложение А. GL_HALF_FLOAT_OES

Приложение А рассматривает детали формата для 16-битовых чисел с плавающей точкой и процесс перевода чисел между IEEE-форматами для чисел с плавающей точкой и 16-битовым форматом с плавающей точкой.

Приложение Б. Встроенные функции

Приложение Б предоставляет информацию о всех встроенных функциях в шейдерном языке OpenGL ES.

Приложение В. Описание библиотеки, использованной в данной книге

В приложении В приводится обзор библиотеки, которая была разработана авторами книги и объясняет, что делает каждая функция.

Справка OpenGL ES 3.0

Вставлена в середину книги и перепечатывается с разрешения Khronos Group. Включает в себя полный список всех функций OpenGL ES 3.0 вместе со всеми типами, операторами, описателями, встроенными величинами и функциями в шейдерном языке OpenGL ES 3.0.

Примеры кода и шейдеров

В этой книге содержится много примеров кода и шейдеров. Вы можете скачать все примеры с сайта книги opengles-book.com, предоставляющего ссылку на проекты на github с кодом из книги. Все примеры были собраны и проверены на iOS 7, Android 4.3 NDK, Android 4.3 SDK, Windows (в режиме эмуляции OpenGL ES 3.0) и Ubuntu Linux. Некоторые из примеров были реализованы в PVRShaman, инструменте для разработки шейдеров от PowerVR, доступном для Linux, Windows и Mac OS X. Сайт книги предоставляет для скачивания все требуемые инструменты.

Ошибки

Если вы найдете что-то в книге, что, по вашему мнению, является ошибкой, пожалуйста, пошлите нам сообщение по адресу errors@opengles-book.com. Список найденных ошибок можно найти на сайте книги opengles-book.com.

Благодарности

Я хочу поблагодарить Эффи Мунши и Дэйва Шрейнера за их огромный вклад в первое издание этой книги. Я также крайне признателен Буди Пурномо, присоединившемуся ко мне для обновления этой книги для версии OpenGL ES 3.0. Еще я хотел бы поблагодарить многих коллег, с которыми я работал много лет вместе, кто помог мне в изучении компьютерной графики, OpenGL и OpenGL ES. Таких людей слишком много, чтобы указать их всех, но особенно я бы хотел поблагодарить Шона Лифа, Билла Лиси-Кэйна, Мориса Риббла, Бенжа Липчака, Роджера Дешано, Дэвида Гусселина, Торстена Шурмана, Джона Исидоро, Криса Оата, Джейсона Митчела, Дана Гесселя и Эвана Харта.

Я также хотел бы выразить особую благодарность моей жене Софии за ее поддержку во время моей работы над книгой. Еще я хотел бы поблагодарить моего сына Этана, который родился во время работы над этой книгой. Твоя улыбка и смех приносят мне радость каждый день.

– Ден Гинсбург

Я хотел бы выразить глубокую благодарность Дэну Гинсбургу за предоставленную мне возможность работы над этой книгой. Благодарю моего менеджера Кэлана МкИналли и коллег из AMD за поддержку. Также я хотел бы поблагодарить моих преподавателей Джонатана Кохена, Субодха Кумара, Чинг-Куанг Шена и Джона Лоусера за приведение меня в мир компьютерной графики и OpenGL.

Я хотел бы поблагодарить моих родителей и сестру за их любовь. Особые благодарности моей жене Лиане Хади, чья любовь и поддержка позволили мне закончить этот проект. Благодарю моих дочерей Мишель Ло и Скарлетт Ло. Они свет в моей жизни.

– Буди Пурномо

Мы все хотим поблагодарить Нейла Треветта за написание предисловия и получение одобрения от Khronos Board Of Promoters за разрешение использовать текст из описания шейдерного языка OpenGL ES в приложении Б и справки по OpenGL ES 3.0. Особая благодарность тем, кто ознакомился с книгой и дал свои замечания: Морису Рибблу, Питеру Лорманну и Эммануэлю Агу. Мы также хотим поблагодарить всех тех, кто дал свои замечания на первую редакцию книги: Брайана Коллинза, Криса Гримма, Джереми Сэндмела, Том Олсона и Адама Смита.

Мы хотим выразить огромную благодарность нашему редактору Лоре Левин из Addison-Wesley, оказавшей огромную помощь в каждом вопросе, связанном с книгой. Также в Addison-Wesley было много других, оказавших огромную помощь и которых мы хотели бы поблагодарить, включая Дебру Вильямс Коли, Оливию Баседжио, Шери Кэйн и Курта Джонсона.

Мы хотели бы поблагодарить читателей первого издания книги, оказавших огромную помощь, сообщая ошибки и улучшая код примеров. Мы хотели бы особенно поблагодарить нашего читателя Джаведа Раббани Шаха, кто портировал

примеры OpenGL ES 3.0 на Android 4.3 SDK на Java. Также он помог нам с Android NDK и рядом проблем, зависящих от конкретных устройств. Мы хотим поблагодарить Джарко Ватюса-Антиллу за портирование на Linux X 11 и Эдуардо Пеллегри-Ллопарта и Дэррила Гофа за портирование кода из первого издания на BlackBerry Native SDK.

Большая благодарность OpenGL ARB, рабочей группе по OpenGL ES и каждому, кто внес свой вклад в разработку OpenGL ES.

Об авторах

Дэн Гинсбург

Дэн – основатель Upsample Software, компании, предлагающей консультирование по 3D-графике и вычислениям на GPU. Дэн участвовал в написании ряда других книг, включая OpenCL Programming Guide и OpenGL Shading Language, 3rd Edition. Ранее он работал над написанием драйверов OpenGL, десктопных и мобильных приложений, средств для разработчиков GPU, трехмерной медицинской визуализацией и играми. Он бакалавр по информатике Ворчестерского политехнического института и магистр университета Бентли.

Будирижанто Пурномо

Буди – старший архитектор программных систем в AMD, где он возглавляет разработки по отладке и профилированию для GPU для различных платформ. Он сотрудничает со многими разработчиками программных и аппаратных средств в AMD для разработки архитектур для отладки и профилирования приложений на GPU. Он опубликовал много статей по компьютерной графике на международных конференциях. Он бакалавр и магистр Мичиганского технологического университета, защитил диссертацию в университете Джона Хопкинса.

Аафтаб Мунши

Аффи разрабатывал GPU больше десятка лет. В ATI (теперь AMD) он был ведущим архитектором по мобильным устройствам. Он участвовал в разработке спецификаций по OpenGL ES 1.1, OpenGL ES 2.0 и OpenCL. Теперь он работает в Apple.

Дэйв Шрейнер

Дэйв работал с OpenGL более двадцати лет и недавно работает и с OpenGL ES. Он разрабатывал первый тренинг по OpenGL во время работы в SGI и был автором OpenGL Programming Guide. Он проводил вводные и продвинутые курсы по OpenGL на различных международных конференциях, включая SIGGRAPH.

Сейчас он работает в ARM Inc. Он бакалавр по математике университета Дэ-лавэра.

Введение в OpenGL ES 3.0

OpenGL для встроенных систем (OpenGL ES) – это API для продвинутой 3D-графики, рассчитанный на мобильные и встроенные устройства. OpenGL ES – это основной графический API для современных смартфонов, применяется даже на настольных системах. Список платформ, поддерживающих OpenGL ES, включает в себя iOS, Android, BlackBerry, bada, Linux и Windows. OpenGL ES также лежит в основе WebGL – стандарта для трехмерной графики для веба.

Начиная с релиза iPhone 3GS в июне 2009-го и Android 2.0 в марте 2010-го, OpenGL ES 2.0 поддерживался на устройствах с iOS и Android. Первое издание этой книги детально рассматривало OpenGL ES 2.0. Нынешнее издание нацелено на OpenGL ES 3.0, следующую версию OpenGL ES. Практически неизбежно, что каждая развивающаяся мобильная платформа будет поддерживать OpenGL ES 3.0. Сейчас OpenGL ES 3.0 уже поддерживается на устройствах с Android 4.3 и старше и на iPhone 5S с iOS7. OpenGL ES 3.0 обратно совместим с OpenGL ES 2.0, под этим подразумевается, что приложения, написанные под OpenGL ES 2.0, будут работать и под OpenGL ES 3.0.

OpenGL ES – это один из многих API, созданных Khronos Group. Основанная в январе 2000 года, Khronos Group – это поддерживаемый своими членами консорциум, ориентированный на создание открытых стандартов и API, не требующих лицензирования. Khronos Group также занимается развитием OpenGL – кросс-платформенного API для трехмерной графики, ориентированного на настольные системы с Linux, различными вариантами UNIX, Mac OS X и Microsoft Windows. Это широко распространенный 3D API, имеющий большое влияние в мире.

В связи с широким распространением OpenGL как API для трехмерной графики его положили в основу при разработке открытого стандарта для 3D-графики для мобильных и встроенных устройств и затем изменили для того, чтобы соответствовать потребностям и ограничениям мобильных и встроенных устройств. В ранних версиях OpenGL ES (1.0, 1.1, 2.0) эти ограничения включали в себя ограниченные возможности по обработке данных, невысокую ширину шины для передачи данных и чувствительность к потреблению энергии. При определении спецификаций OpenGL ES рабочая группа использовала следующие критерии:

- OpenGL API очень большой и сложный, а целью рабочей группы по OpenGL ES является создание API, подходящего для устройств с ограниченными возможностями. Для достижения этой цели рабочая группа убрала всю избыточность из OpenGL API. В случае, когда одна и та же операция может быть выполнена более, чем одним способом, оставлялся наиболее полезный способ, остальные просто удалялись. Хорошим примером этого является за-

дание геометрии, когда в OpenGL приложение может использовать непосредственный режим, дисплейные списки и вершинные массивы. В OpenGL ES существуют только вершинные массивы; непосредственный режим и дисплейные списки были удалены.

- Удаление избыточности является важной целью, но также важным было сохранение совместимости с OpenGL. По возможности, OpenGL ES был разработан так, что приложения, написанные на подмножестве OpenGL для встроенных систем, также будут работать на OpenGL ES. Это было важной целью, поскольку позволило бы разработчикам использовать сразу оба API и разрабатывать приложения и инструменты, применяющие общую функциональность.
- Новые возможности были добавлены для учета специфических ограничений мобильных и встроенных устройств. Например, для уменьшения потребления энергии и увеличения быстродействия шейдеров в язык для написания шейдеров были добавлены спецификаторы точности.
- Разработчики OpenGL ES хотели гарантировать минимальный набор возможностей для обеспечения качества получаемых изображений. В ранних мобильных устройствах размеры экрана были довольно небольшими, поэтому было важно, чтобы качество каждого выводимого пиксела было настолько хорошим, насколько это возможно.
- Рабочая группа по OpenGL ES хотела гарантировать, что любая реализация OpenGL ES будет удовлетворять определенным соглашениям по качеству изображения, корректности и устойчивости. Для этого были разработаны соответствующие тесты, которые должны быть выполнены для того, чтобы реализация OpenGL ES была признана совместимой.

На данный момент времени Khronos выпустил четыре спецификации OpenGL ES: OpenGL ES 1.0 и OpenGL ES 1.1 (в книге мы будем обозначать их как OpenGL ES 1.x), OpenGL ES 2.0 и OpenGL ES 3.0. Спецификации OpenGL ES 1.0 и 1.1 реализуют фиксированный конвейер рендеринга и основаны, соответственно, на спецификациях OpenGL 1.3 и OpenGL 1.5.

Спецификации OpenGL ES 2.0 вводят программируемый конвейер и основаны на спецификациях OpenGL 2.0. Это значит, что соответствующие спецификации для OpenGL были взяты за основу для определения того, что войдет в соответствующую версию OpenGL ES.

OpenGL ES 3.0 – это следующий шаг в эволюции мобильной графики, он основан на спецификациях OpenGL 3.3. В то время когда OpenGL ES 2.0 был успешен в привнесении на мобильные устройства возможностей, похожих на DirectX 9 и Microsoft Xbox 360, на настольных системах графика продолжала развиваться. В OpenGL ES 2.0 не хватало многих важных возможностей, необходимых для реализации таких эффектов, как теневые карты, рендеринг объемных фигур (volume rendering), выполняемая на GPU анимация систем частиц, instancing, сжатие текстур и гамма-коррекция. OpenGL ES 3.0 добавляет эти возможности для мобильных устройств, продолжая при этом философию адаптации к ограничениям мобильных устройств.

Конечно, некоторые из этих ограничений, учтенные при разработке предыдущих версий OpenGL ES, были уже не актуальны. Например, на мобильных устройствах сейчас экраны с большим размером (иногда их разрешение даже выше, чем на настольных системах). Кроме того, на многих мобильных устройствах сейчас есть многоядерные центральные процессоры и большой объем памяти. Поэтому при разработке OpenGL ES 3.0 целью Khronos стал, скорее, своевременный вывод на рынок новых возможностей, а не ограниченные возможности устройств.

Следующие разделы посвящены конвейеру OpenGL ES.

OpenGL ES 3.0

Как уже отмечалось, эта книга посвящена OpenGL ES 3.0 API. Нашей целью является детально разобрать спецификации OpenGL ES 3.0, дать примеры использования OpenGL ES 3.0 и обсудить различные способы оптимизации. После прочтения этой книги у вас будет отличное понимание OpenGL ES 3.0 API, вы сможете легко писать сложные приложения, использующие OpenGL ES 3.0, и вам не придется изучать многочисленные спецификации, для того чтобы понять, как та или иная возможность работает.

OpenGL ES 3.0 реализует программируемый графический конвейер и состоит из двух частей – описания OpenGL ES 3.0 API и описания языка шейдеров для OpenGL ES 3.0. На рис. 1.1 приведен графический конвейер OpenGL ES 3.0. Закрашенные прямоугольники на этом рисунке обозначают программируемые части конвейера в OpenGL ES 3.0. Далее приводится обзор каждой из частей конвейера.

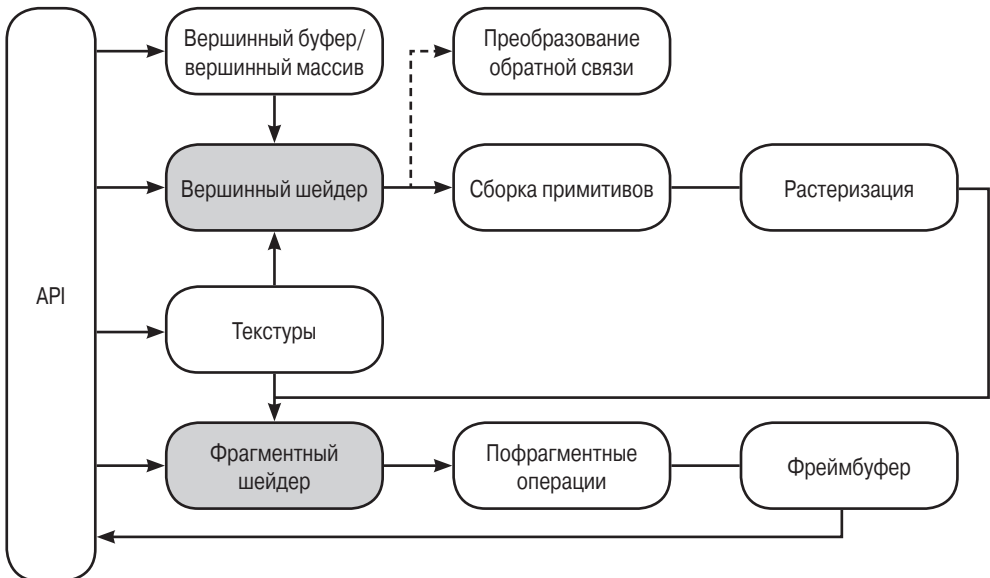


Рис. 1.1 ❖ Графический конвейер OpenGL ES 3.0

Вершинный шейдер

Этот раздел дает обзор вершинных шейдеров. Детально вершинные и фрагментные шейдеры будут рассмотрены в дальнейших главах книги. Вершинный шейдер реализует программируемый подход для работы с вершинами.

Входными данными для вершинного шейдера являются:

- исходный код шейдера в виде теста или в бинарном виде, задающий действия, которые будут выполняться над вершиной;
- входные значения вершины (атрибуты) – данные, передаваемые для каждой вершины при помощи вершинных массивов;
- Uniform-переменные – значения, используемые вершинными и фрагментными шейдерами;
- сэмплеры – особый тип uniform-переменных, служащий для представления текстур, используемых вершинным шейдером.

Выходные значения вершинного шейдера назывались в OpenGL ES 2.0 *varying-переменными*, но в OpenGL ES 3.0 были переименованы в *выходные переменные*. На стадии растеризации примитивов выходные значения вершинного шейдера вычисляются для каждого полученного фрагмента и передаются как входные значения во фрагментный шейдер. Механизм, используемый для получения значений для каждого фрагмента из выходных значений вершинного шейдера для вершин, называется *интерполяцией*. Также OpenGL ES 3.0 добавляет новую возможность, называемую *преобразованием обратной связи (transform feedback)*, которая позволяет записать выходные значения вершинного шейдера в буфер (в дополнение или вместо обработки фрагментным шейдером). Например, как показано в примере по преобразованию обратной связи в главе 14, система частиц может быть реализована при помощи вершинного шейдера, в котором частицы выводятся в буферный объект при помощи преобразования обратной связи. Входные и выходные значения вершинного шейдера показаны на рис. 1.2.

Вершинные шейдеры могут быть использованы для традиционных операций над вершинами, так как преобразование координат при помощи матриц, вычисление при помощи уравнения освещенности цвета в вершине, генерирование или преобразование текстурных координат. Кроме этого, поскольку вершинный шейдер задается в приложении, вершинные шейдеры могут быть использованы для реализации нестандартных преобразований, освещения или попершинных эффектов, недоступных в традиционных фиксированных конвейерах.

Пример 1.1 показывает вершинный шейдер, написанный с использованием языка шейдеров OpenGL ES. Мы детально объясним вершинные шейдеры позже. Мы приводим этот шейдер здесь для того, чтобы дать вам представление о том, как выглядит вершинный шейдер. Вершинный шейдер из примера 1.1 берет положение и связанный с ним цвет как входные атрибуты, преобразует координаты при помощи матрицы 4×4 и выводит преобразованные координаты и цвет.

Строка 1 задает версию шейдерного языка – информацию, которая должна быть в первой строке шейдера (`#version 300 es` задает использование шейдерного языка для OpenGL ES 3.0). Строка 2 описывает uniform-переменную `u_mvvpMatrix`,

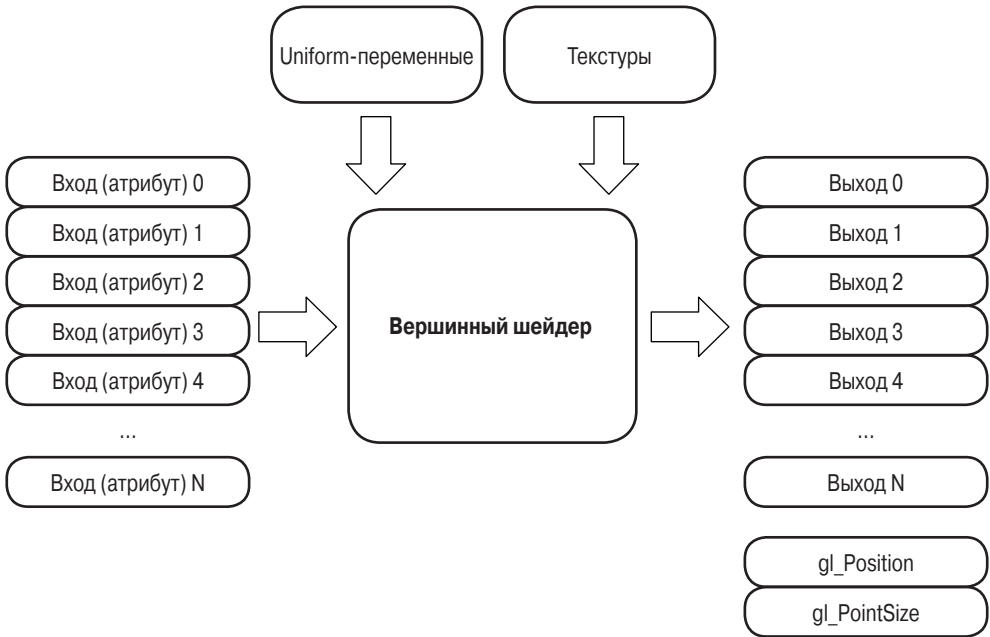


Рис. 1.2 ❖ Вершинный шейдер OpenGL ES

Пример 1.1 ❖ Пример вершинного шейдера

```

1. #version 300 es
2. uniform mat4 u_mvMatrix; // matrix to convert a_position
3.                               // from model space to normalized
4.                               // device space
5.
6. // attributes input to the vertex shader
7. in vec4 a_position;         // position value
8. in vec4 a_color;           // input vertex color
9.
10. // output of the vertex shader - input to fragment
11. // shader
12. out vec4 v_color;          // output vertex color
13. void main()
14. {
15.     v_color = a_color;
16.     gl_Position = u_mvMatrix * a_position;
17. }
```

которая хранит в себе произведение модельно-видовой матрицы и матрицы проектирования. Строки 7 и 8 описывают входные значения для вершинного шейдера, называемые вершинными атрибутами. `a_position` – это атрибут, соответствующий

щий координатам вершины, а `a_color` – это атрибут, содержащий цвет вершины. В строке 12 мы описываем выходное значение `v_color`, в которое мы запишем цвет в вершине. Встроенная переменная `gl_Position` в объявлении не нуждается, и вершинный шейдер должен записать преобразованные координаты в эту переменную. У вершинного и фрагментного шейдеров есть всего одна точка входа – функция `main`. Строки 13–17 задают функцию `main`. В строке 15 мы читаем атрибут вершины из `a_color` и записываем его в выходную переменную `v_color`. В строке 16 преобразованные координаты вершины записываются в переменную `gl_Position`.

Сборка примитивов

После вершинного шейдера следующей стадией конвейера OpenGL ES 3.0 является сборка примитивов. Примитив – это геометрический объект, такой как треугольник, отрезок или точечный спрайт. Каждая вершина примитива посылается отдельной копии вершинного шейдера. Во время сборки примитива эти вершины группируются вместе для образования примитива.

Для каждого примитива необходимо определить, лежит ли он внутри области видимости (области трехмерного пространства, которая видна на экране). Если примитив не полностью находится внутри области видимости, то необходимо выполнить отсечение примитива по границе области видимости. Если примитив находится полностью вне области видимости, то он отбрасывается. После отсечения координаты вершин переводятся в координаты на экране. Также может быть произведено отбрасывание граней в зависимости от того, какой стороной они повернуты. После отсечения и отбрасывания примитив готов для передачи на следующую стадию конвейера – стадию растеризации.

Растеризация

Следующая стадия, показанная на рис. 1.3, – это стадия растеризации, на которой соответствующий примитив (точечный спрайт, отрезок или треугольник) выводится. Растеризация – это процесс, который переводит примитивы в набор двухмерных фрагментов, обрабатываемых фрагментным шейдером. Эти двухмерные фрагменты представляют пиксели, которые могут быть нарисованы на экране.

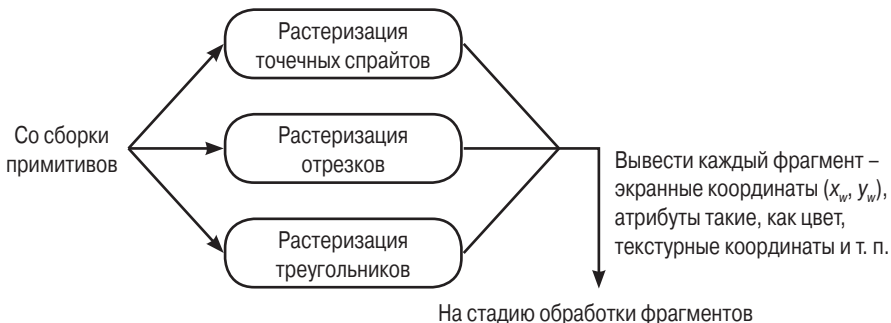


Рис. 1.3 ❖ Стадия растеризации OpenGL ES 3.0