

УДК 004.92
ББК 32.973
Б82

Боресков А. В.

Б82 Программирование компьютерной графики. Современный OpenGL. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 372 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-779-4

Данная книга посвящена основам современной компьютерной графики. Подробно рассматривается ряд чисто математических понятий, таких как матрицы и кватернионы, алгоритмы и API, а также физика освещения. Отдельные главы посвящены методу трассировки лучей и современному OpenGL. Рассматривается реализация ряда специальных эффектов при помощи шейдеров в OpenGL. Весь исходный код доступен в репозитории на github.

Издание будет полезно всем, кто планирует работать с компьютерной графикой.

УДК 004.92
ББК 32.973

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-97060-779-4

© Боресков А. В., 2019
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2019

Содержание

Посвящение	8
Благодарности	9
Введение	10
Предисловие от издательства	13
 Глава 1. Координаты и преобразования на плоскости	 14
Преобразования на плоскости.....	20
Масштабирование	21
Отражение	22
Поворот	23
Сдвиг	24
Составные преобразования.....	25
Использование библиотеки GLM для работы с двухмерными векторами и матрицами	26
Комплексные числа как координаты на плоскости	28
 Глава 2. Основные геометрические алгоритмы на плоскости	 30
Прямая и ее уравнение	31
Построение прямой, луча и отрезка по двум точкам.....	33
Определение положения точки относительно прямой или отрезка	33
Определение положения круга по отношению к прямой	35
Прямоугольники со сторонами, параллельными осям координат, и их классификация по отношению к прямой	36
Нахождение расстояния от точки до AABB.....	38
Определение угла между двумя прямыми	38
Вычисление площади треугольника и многоугольника	38
Определение направления обхода многоугольника.....	40
Проверка многоугольника на выпуклость.....	40
Нахождение пересечения двух прямых	42
Нахождение пересечения двух отрезков	43
Нахождение расстояния и ближайшей точки от заданной точки к прямой, лучу и отрезку	44
Проверка на попадание точки внутрь многоугольника	45
Отсечение отрезка по выпуклому многоугольнику. Алгоритм Цируса–Бека	47
Алгоритм отсечения Лянга–Барского	50
Отсечение многоугольника. Алгоритм Сазерленда–Ходжмана.....	52
Отсечение многоугольника по выпуклому многоугольнику	54

Барицентрические координаты	54
Построение выпуклой оболочки, алгоритм Грэхема	56
Триангуляция Делоне. Диаграмма Вороного	59
Реализация булевых операций над многоугольниками. Метод построчного сканирования. Разложение на трапеции	65

Глава 3. Координаты и преобразования в пространстве.

Кватернионы	69
Векторы и матрицы в пространстве.....	69
Преобразования в пространстве. Базовые преобразования	72
Пример: отражение относительно плоскости.....	75
Однородные координаты.....	76
Жесткие преобразования.....	78
Преобразования нормали.....	79
Проектирование. Параллельное проектирование	79
Перспективное проектирование	81
Углы Эйлера. Задание ориентации в пространстве	83
Понятие линейного пространства и его размерности. Многомерные векторы и преобразования.....	85
Системы координат в пространстве. Переходы между различными системами координат.....	87
Ортогонализация Грамма–Шмидта	88
Кватернионы. Задание поворотов и ориентации в пространстве при помощи кватернионов.....	89
Использование библиотеки GLM для работы с 3- и 4-мерными векторами и матрицами, а также кватернионами.....	92
Преобразование между кватернионом и базисом касательного пространства	93
Собственные векторы и собственные числа матрицы.....	94

Глава 4. Основные геометрические алгоритмы в пространстве

Задание прямых и плоскостей в пространстве	96
Проекция точки на прямую	97
Проекция точки на плоскость.....	97
Задание прямой двумя точками. Задание плоскости тремя точками	97
Проведение плоскости через прямую и точку	98
Проверка прямых и отрезков на параллельность и перпендикулярность. Нахождение углов между прямыми и отрезками	98
Проверка, лежит ли отрезок или прямая на заданной плоскости	98
Проверка, пересекает ли отрезок/луч/прямая заданную плоскость.....	99
Проверка, пересекает ли луч заданный треугольник.....	100
Нахождение пересечения луча и OBB	101
Нахождение пересечения луча и сферы.....	103
Проверка, пересекает ли плоскость заданную сферу.....	105
Проверка, пересекает ли плоскость заданный AABB	105
Телесный угол. Проверка на попадание в него	106
Определение, лежат ли две заданные прямые в одной плоскости	106

Классификация двух прямых в пространстве	107
Нахождение расстояния между двумя прямыми в пространстве.....	107
Проверка на пересечение двух треугольников в пространстве	108

Глава 5. Структуры для работы с большими наборами

геометрических данных..... 110

Ограничивающие тела	110
Прямоугольный параллелепипед (AABB)	111
Сфера.....	115
k-DOP.....	116
Ориентированные ограничивающие прямоугольные параллелепипеды (OBB)...	120
Иерархические структуры.....	124
Иерархия ограничивающих тел	124
Тетрадные и восьмиричные деревья	125
kD-деревья	126
BSP-деревья	131
R-деревья	133
Равномерное разбиение пространства.....	136

Глава 6. Цвет и его представление. Работа с цветом 139

Цветовая модель CIE XYZ.....	142
Цветовая модель RGB	144
Цветовые модели CMY CMYK	145
Цветовая модель HSV	147
Цветовое пространство HSL.....	150
Гамма-коррекция	153
Цветовые пространства Y'uv и YCbCr.....	154
Цветовые пространства $L^*u^*v^*$ и $L^*a^*b^*$	155
Цветовое пространство sRGB.....	156
Соглашения по дальнейшему использованию цветов.....	156

Глава 7. Растеризация и растровые алгоритмы 157

Класс TgaImage и его использование	159
Понятие связности растровой сетки. 4- и 8-связность	160
Построение растрового представления отрезка. Алгоритм Брезенхейма	161
Алгоритм Брезенхейма для окружности.....	166
Заполнение треугольника	169
Заполнение области, заданной цветом границы	174

Глава 8. Удаление невидимых линий и поверхностей..... 178

Лицевые и нелицевые грани.....	180
Сложность по глубине	182
Загораживание.....	182
Когерентность.....	183

Удаление невидимых линий. Алгоритм Робертса	185
Понятие количественной невидимости. Алгоритм Аппеля	185
Удаление невидимых граней. Метод трассировки лучей	188
Метод буфера глубины (z-буфера)	189
Метод иерархического z-буфера	191
Алгоритмы, основанные на упорядочивании. Алгоритм художника	194
Использование BSP-деревьев для определения видимости	196
Метод порталов	198
Множества потенциально видимых граней (PVS). Расчет PVS при помощи порталов	200

Глава 9. Отражение и преломление света. Модели освещения 203

Немного физики	203
Модель Ламберта (идеальное диффузное освещение)	206
Модель Фонга	207
Модель Блинна–Фонга	208
Изотропная модель Уорда	209
Модель Миннаэрта	209
Модель Ломмеля–Зилиджера	210
Модель Страусса	210
Простейшая анизотропная модель	211
Анизотропная модель Уорда	214
Двулучевая функция отражательной способности (BRDF)	214
Физически корректные модели освещения	216
Модель Орена–Найара	218
Модель Кука–Торранса	221
Диффузная модель Диснея	223
Модель Ашихмина–Ширли	223
Image-based lighting	224
Сферические гармоники и их использование	226
Precomputed Radiance Transfer	230
Использование PRT в играх Far Cry 3 и FarCry 4	231

Глава 10. Трассировка лучей 233

Constructive Solid Geometry	243
Распределенная трассировка лучей	248
Реализация спецэффектов при помощи распределенной трассировки лучей	250
Фотонные карты	254
Monte-Carlo path tracing	257

Глава 11. Взаимодействие с оконной системой. Библиотеки freeglut и GLFW 259

Основы работы оконной системы	259
Работа с библиотекой freeglut	260
Инициализация	260

Создание окна.....	261
Обработка сообщений.....	262
Заворачиваем freeglut в класс C++	265
Работа с библиотекой GLFW	266
Инициализация и обработка ошибок	266
Создание окна.....	267
Обработка сообщений.....	268
Пример работы с OpenGL при помощи библиотеки Qt 5	271

Глава 12. Основы современного OpenGL..... 273

Основные концепции OpenGL. Графический конвейер	274
Расширения OpenGL.....	277
Отсечение примитивов	280
Вершинный шейдер	280
Растеризация и система координат экрана	281
Фрагментный шейдер	283
Операции с фрагментами	284
Работа с буферами	284
Атрибуты вершин. Вершинные массивы, VBO, VAO	285
Вершинные массивы, задание атрибутов при помощи вершинных массивов	285
Вывод примитивов.....	291
Провоцирующая вершина.....	293
Буфер трафарета и работа с ним	294
Тест глубины	295
Полупрозрачность. Смешивание цветов	295
Текстуры и работа с ними	296
Работа с текстурами	308
Работа с шейдерами	308
Готовое приложение.....	312
Вспомогательные классы и работа с ними	314

Глава 13. Простейшие эффекты 318

Отражение относительно плоскости.....	318
Имитация отражения окружающей среды и преломления.....	320
Точечные спрайты. Системы частиц.....	325
Проективное текстурирование	329
Реализация основных моделей освещения	332
Построение теней при помощи теневых карт.....	334
Освещение с учетом микрорельефа (bump mapping)	339
Имитация отражения окружающей среды с учетом карт нормалей	344
Вывод текста при помощи поля расстояний	345
Рендеринг меха	347
Physically Based Rendering (PBR)	352

Приложение. Язык GLSL..... 355

Предметный указатель..... 370