

---

# Содержание

Предисловие	30
Особенности третьего издания	30
Примеры программирования	31
Требуемые знания	32
Предлагаемые курсы	32
Благодарности	33

---

<b>1</b>	<b>Обзор компьютерной графики</b>	36
1.1.	Графики и диаграммы	37
1.2.	Автоматизированное проектирование	40
1.3.	Виртуальная реальность	46
1.4.	Визуализация данных	48
1.5.	Обучение	56
1.6.	Компьютерное искусство	60
1.7.	Развлечения	66
1.8.	Обработка изображений	69
1.9.	Графические пользовательские интерфейсы	71
1.10.	Резюме	73
	Литература	73

<b>2</b>	<b>Краткий обзор графических систем</b>	74
2.1.	Приборы с мониторами	75
	Электронно-лучевые трубки с регенерацией	75
	Дисплеи растрового сканирования	80
	Дисплеи с выборочным сканированием	83
	Цветные мониторы с ЭЛТ	85
	Дисплеи с плоским экраном	87
	Приборы с трехмерным изображением	92
	Стереоскопические системы и виртуальная реальность	93
2.2.	Системы растрового сканирования	96
	Видеоконтроллер	96
	Процессор дисплея с растровым сканированием	99
2.3.	Графические рабочие станции и системы создания изображений	102
2.4.	Устройства ввода	106
	Клавиатура, блок кнопок и круговая шкала	106
	Мышь	107
	Трекболы и пространственные манипуляторы	109
	Джойстик	109
	Информационные перчатки	110
	Цифровой преобразователь	110
	Сканеры изображений	114
	Сенсорная панель	115
	Световое перо	117
	Голосовые системы	118
2.5.	Устройства выдачи документальных копий	118
2.6.	Графические сети	120
2.7.	Графика в сети Internet	121
2.8.	Графическое программное обеспечение	122
	Координатные представления	123
	Графические функции	125
	Стандарты программного обеспечения	126
	Другие графические пакеты	128
2.9.	Знакомство с OpenGL	128
	Основной синтаксис OpenGL	129

## 8 Содержание

Родственные библиотеки	129
Файлы заголовков	130
Управление окнами изображения с помощью библиотеки GLUT	131
Полная программа OpenGL	133
2.10. Резюме	137
Литература	139
Упражнения	140

## 3

### Выходные графические примитивы

3.1. Системы координат	144
Экранные координаты	144
Абсолютные и относительные координаты	146
3.2. Задание двухмерной внешней системы координат в OpenGL	147
3.3. Функции точек в OpenGL	148
3.4. Функции прямых в OpenGL	150
3.5. Алгоритмы построения прямых линий	152
Уравнение прямой	153
Алгоритм ЦДА	155
Алгоритм построения прямых линий Брезенхема	157
Изображение ломаных линий	164
3.6. Параллельные алгоритмы построения прямых	164
3.7. Запись значений в буфер кадров	167
3.8. Функции кривых в OpenGL	168
3.9. Алгоритмы построения окружностей	168
Свойства окружностей	169
Алгоритм построения окружности методом средней точки	172
3.10. Алгоритмы построения эллипсов	178
Свойства эллипсов	178
Алгоритм средней точки для эллипса	181
3.11. Другие кривые	189
Конические сечения	190
Полиномы и сплайны	193
3.12. Параллельные алгоритмы построения кривых	194

3.13. Адресация пикселей и геометрия объектов	195
Координаты сетки экрана	195
Сохранение геометрических свойств изображаемых объектов	196
3.14. Закрашенные области	200
3.15. Закрашенные многоугольники	201
Классификация многоугольников	202
Распознавание вогнутых многоугольников	203
Деление вогнутых многоугольников	204
Разделение выпуклого многоугольника на набор треугольников	206
Проверки “внутри-снаружи”	206
Таблицы многоугольников	210
Уравнения плоскости	212
Передние и задние грани многоугольника	214
3.16. Функции закрашивания многоугольников в OpenGL	216
3.17. Массивы вершин в OpenGL	225
3.18. Примитивы пиксельных массивов	228
3.19. Функции пиксельных массивов в OpenGL	229
Функция битового отображения OpenGL	229
Функция пиксельного отображения OpenGL	231
Растровые операции OpenGL	232
3.20. Примитивы символов	234
3.21. Функции изображения символов в OpenGL	237
3.22. Деление рисунка на части	239
3.23. Таблицы отображений в OpenGL	239
Создание и наименование таблиц отображений в OpenGL	239
Реализация таблиц отображений в OpenGL	241
Удаление таблицы отображений в OpenGL	242
3.24. Функция изменения формы окна изображения в OpenGL	242
3.25. Резюме	246
Примеры программ	251
Литература	259
Упражнения	259

<b>4</b>	<b>Атрибуты графических примитивов</b>	264
4.1.	Параметры состояния в OpenGL	266
4.2.	Цвет и шкала яркости	267
	Цветовые компоненты RGB	267
	Таблицы цветов	268
	Шкала яркости	269
	Другие цветовые параметры	270
4.3.	Функции цвета в OpenGL	270
	Цветовые режимы RGB и RGBA в OpenGL	270
	Индексный цветовой режим в OpenGL	272
	Смешивание цветов в OpenGL	273
	Цветовые массивы в OpenGL	275
	Другие функции цвета в OpenGL	276
4.4.	Атрибуты точек	277
4.5.	Атрибуты прямых линий	278
	Ширина линии	278
	Стиль линии	281
	Опции перьев и кистей	282
4.6.	Атрибуты кривых	284
4.7.	Функции атрибутов точек в OpenGL	287
4.8.	Функции атрибутов прямых линий в OpenGL	288
	Функция для задания ширины линии в OpenGL	288
	Функция OpenGL стиля линии	289
	Другие эффекты прямых линий в OpenGL	291
4.9.	Атрибуты закрашенных фигур	292
	Стили закрашивания	292
	Области, заполненные с использованием смешивания цветов	295
4.10.	Общий вид растрового алгоритма закрашивания многоугольников	297
4.11.	Построчное закрашивание выпуклых многоугольников	303
4.12.	Построчное закрашивание фигур с криволинейными границами	303
4.13.	Способы заполнения фигур с неправильными границами	304
	Алгоритм граничного заполнения	304
	Алгоритм потокового заполнения	309
4.14.	Функции атрибутов закрашенных фигур в OpenGL	310

Функция шаблона заполнения в OpenGL	310
Текстурные и интерполяционные шаблоны в OpenGL	312
Контурные методы в OpenGL	313
Функция передней стороны в OpenGL	316
4.15. Атрибуты символов	317
4.16. Функции атрибутов символов в OpenGL	322
4.17. Защита от наложения	323
Сверхдискретизация прямолинейных отрезков	325
Маски удельного веса подпикселей	327
Дискретизация прямолинейных отрезков по площади	328
Методы фильтрации	329
Фазировка пикселей	329
Компенсация различий в интенсивности линии	329
Устранение контурных неровностей границ фигур	330
4.18. Функции OpenGL защиты от наложения	334
4.19. Функции запроса в OpenGL	335
4.20. Группы атрибутов в OpenGL	336
4.21. Резюме	337
Литература	341
Упражнения	342

## **5** Геометрические преобразования 346

5.1. Базовые двухмерные геометрические преобразования	348
Двухмерная трансляция	348
Двухмерный поворот	351
Двухмерное масштабирование	354
5.2. Матричные представления и однородные координаты	357
Однородные координаты	358
Матрица двухмерной трансляции	359
Матрица двухмерного поворота	359
Матрица двухмерного масштабирования	360
5.3. Обратные преобразования	360
5.4. Двухмерные сложные преобразования	361
Сложные двухмерные трансляции	362

## 12 Содержание

Сложные двумерные повороты	362
Сложное двумерное масштабирование	363
Произвольный двумерный поворот вокруг оси	363
Общее двумерное масштабирование относительно неподвижной точки	364
Произвольные двумерные направления масштабирования	365
Свойства произведения матриц	366
Произвольные двумерные сложные преобразования и вычислительная эффективность	367
Двумерные жесткие преобразования	369
Построение двумерных матриц поворота	370
Пример программирования двумерной сложной матрицы	371
5.5. Другие двумерные преобразования	376
Отражение	376
Сдвиг	381
5.6. Растровые методы геометрических преобразований	383
5.7. Растровые преобразования в OpenGL	386
5.8. Переход между двумерными системами координат	387
5.9. Геометрические преобразования в трехмерном пространстве	390
5.10. Трехмерная трансляция	391
5.11. Трехмерный поворот	393
Трехмерные повороты вокруг координатной оси	393
Произвольные трехмерные повороты	396
Использование кватернионных методов в расчете трехмерных поворотов	404
5.12. Трехмерное масштабирование	409
5.13. Сложные трехмерные преобразования	412
5.14. Другие трехмерные преобразования	416
Трехмерные отражения	416
Трехмерные сдвиги	417
5.15. Переход между трехмерными системами координат	418
5.16. Аффинные преобразования	419
5.17. Функции геометрических преобразований в OpenGL	419
Базовые геометрические преобразования OpenGL	420
Операции с матрицами в OpenGL	421
Стеки матриц в OpenGL	423

Пример программирования геометрических преобразований в OpenGL	425
5.18. Резюме	429
Литература	431
Упражнения	432

<b>6</b> <b>Двухмерное наблюдение</b>	436
6.1. Двухмерный конвейер наблюдения	437
6.2. Отсекающее окно	440
Отсекающее окно в координатах наблюдения	441
Отсекающее окно во внешних координатах	442
6.3. Нормировка и преобразование поля просмотра	443
Отображение окна отсечения в нормированное поле просмотра	444
Отображение отсекающего окна в нормированный квадрат	446
Изображение строк символов	448
Расщепление экрана и несколько устройств вывода	448
6.4. Функции двухмерного наблюдения OpenGL	449
Режим проектирования OpenGL	449
Функция отсекающего окна GLU	449
Функция поля просмотра OpenGL	450
Создание окна на экране дисплея GLUT	451
Установка режима и цвета окна (GLUT)	452
Идентификатор GLUT окна изображения	452
Удаление окна GLUT с экрана дисплея	453
Текущее окно на экране GLUT	453
Замещение и изменение размера окна на экране (GLUT)	453
Управление несколькими окнами на экране (GLUT)	454
Субокна GLUT	455
Выбор формы курсора окна на экране	455
Наблюдение графических объектов в окне экрана GLUT	456
Выполнение прикладной программы	456
Другие функции GLUT	456
Пример программы двухмерного наблюдения OpenGL	457
6.5. Алгоритмы отсечения	459

## 14 Содержание

6.6. Двухмерное отсечение точки	460
6.7. Двухмерное отсечение линии	460
Отсечение линий Коэна–Сазерленда	462
Отсечения линии Лианга–Барски	468
Отсечение линии Николла–Ли–Николла	472
Отсечение линий с использованием непрямоугольных многоугольных окон	475
Отсечение линий с использованием окон с нелинейными границами	476
6.8. Отсечение многоугольной закрашенной области	477
Отсечение многоугольниками Сазерленда–Ходгмана	479
Алгоритм отсечения многоугольников Уэйлера–Азертонна	485
Обработка многоугольников с использованием непрямоугольных отсекающих окон	487
Обработка многоугольника с использованием отсекающих окон с нелинейными границами	488
6.9. Отсечение кривых	489
6.10. Отсечение текста	490
6.11. Резюме	491
Литература	495
Упражнения	495

## 7

### Трехмерное наблюдение

7.1. Обзор концепций трехмерного наблюдения	499
Наблюдение трехмерной сцены	500
Проекции	500
Упорядочение по глубине	501
Определение видимых линий и поверхностей	502
Визуализация поверхностей	503
Разобранный вид и вид в разрезе	504
Трехмерное и стереоскопическое наблюдение	504
7.2. Трехмерный конвейер наблюдения	505
7.3. Параметры трехмерного наблюдения	508
Вектор нормали к плоскости наблюдения	508
Вектор верха	509

Эталонная система наблюдения <b>uvn</b>	510
Генерация эффектов трехмерного наблюдения	511
7.4. Преобразование из внешних координат в координаты наблюдения	514
7.5. Преобразования проектирования	515
7.6. Ортогональные проекции	516
Аксонметрические и изометрические ортогональные проекции	516
Координаты ортогональной проекции	518
Отсекающее окно и объем наблюдения ортогональной проекции	518
Нормировка ортогональной проекции	520
7.7. Косоугольные параллельные проекции	523
Косоугольные параллельные проекции в черчении и проектировании	524
Косоаксонометрические и кабинетные параллельные проекции	525
Вектор косоугольной параллельной проекции	526
Отсекающее окно и объем наблюдения косоугольной параллельной проекции	527
Матрица косоугольной параллельной проекции	528
Нормировка косоугольной параллельной проекции	529
7.8. Перспективные проекции	530
Координаты перспективной проекции	531
Уравнения перспективной проекции: частные случаи	531
Точки схождения перспективных проекций	533
Объем наблюдения для перспективной проекции	535
Матрица перспективной проекции	536
Симметричная пирамида перспективной проекции	538
Усеченная пирамида косоугольной перспективной проекции	542
Нормированные координаты перспективной проекции	545
7.9. Преобразования поля просмотра и трехмерные экранные координаты	548
7.10. Функции трехмерного наблюдения OpenGL	549
Функция OpenGL преобразования наблюдения	549
Функция ортогональной проекции OpenGL	550
Функции OpenGL симметричной перспективной проекции	552
Функции OpenGL произвольной перспективной проекции	553
Поля просмотра и окна на экране OpenGL	553
Пример программы трехмерного наблюдения OpenGL	554
7.11. Трехмерные алгоритмы отсечения	556

## 16 Содержание

Отсечение в трехмерных однородных координатах	557
Трехмерные коды областей	558
Трехмерное отсечение точек и линий	559
Трехмерное отсечение многоугольников	562
Трехмерное отсечение кривых	564
Произвольные плоскости отсечения	564
7.12. Дополнительные плоскости отсечения в OpenGL	567
7.13. Резюме	568
Литература	569
Упражнения	570

## 8

### Представления трехмерных объектов

8.1. Многогранники	574
8.2. Функции многогранников OpenGL	575
Функции OpenGL заполнения области многоугольника	575
Функции GLUT правильных многогранников	575
Пример программы GLUT построения многогранников	577
8.3. Криволинейные поверхности	579
8.4. Поверхности второго порядка	579
Сфера	579
Эллипсоид	580
Тор	581
8.5. Суперквадрики	583
Суперэллипс	583
Суперэллипсоиды	584
8.6. Функции OpenGL поверхностей второго и третьего порядка	584
Функции GLUT поверхностей второго порядка	584
Функция GLUT изображения чайника с помощью кубических поверхностей	586
Функции GLU поверхностей второго порядка	587
Пример программы с использованием функций GLUT и GLU для создания поверхностей второго порядка	590
8.7. Каплевидные объекты	592
8.8. Сплайновые представления	594

Интерполяция и аппроксимация сплайнами	595
Параметрические условия непрерывности	597
Условия геометрической непрерывности	599
Спецификация сплайна	599
Сплайновые поверхности	601
Настройка сплайновых поверхностей	601
8.9. Методы интерполяции кубическими сплайнами	602
Естественные кубические сплайны	603
Эрмитова интерполяция	604
Фундаментальные сплайны	607
Сплайны Коханека–Бартелса	609
8.10. Сплайновые кривые Безье	611
Уравнения кривых Безье	612
Пример программы генерации кривых Безье	614
Свойства кривых Безье	617
Методы проектирования с использованием кривых Безье	618
Кубические кривые Безье	620
8.11. Поверхности Безье	622
8.12. Би-сплайны	624
Уравнение би-сплайна	624
Равномерные периодические би-сплайны	626
Кубические периодические би-сплайны	630
Открытые равномерные би-сплайны	632
Неравномерные би-сплайны	634
8.13. Би-сплайновые поверхности	636
8.14. Бета-сплайны	636
Условия непрерывности бета-сплайнов	637
Кубическое периодическое матричное представление бета-сплайнов	638
8.15. Рациональные сплайны	638
8.16. Преобразование между сплайновыми представлениями	641
8.17. Отображение сплайновых кривых и поверхностей	643
Правило Горнера	643
Расчет по правым разностям	644
Методы подразделения	646

## 18 Содержание

8.18. Функции OpenGL аппроксимации сплайнами	649
Функции OpenGL сплайнов Безье	649
Функции OpenGL поверхностных сплайнов Безье	653
Функции би-сплайновых кривых GLU	656
Функции GLU би-сплайновых поверхностей	658
Функции GLU обрезки поверхности	661
8.19. Заметающее представление	663
8.20. Методы конструктивной стереометрии	664
8.21. Октодеревья	668
8.22. BSP-деревья	671
8.23. Методы фрактальной геометрии	671
Процедуры генерации фракталов	673
Классификация фракталов	674
Фрактальная размерность	674
Геометрическое построение детерминированных самоподобных фракталов	678
Геометрическое построение статистически самоподобных фракталов	682
Методы построения аффинных фракталов	684
Методы случайного смещения средней точки	685
Управление топографией ландшафта	689
Фракталы многократного возведения в квадрат	691
Самообратные фракталы	705
8.24. Грамматики форм и другие процедурные методы	707
8.25. Системы многих частиц	710
8.26. Физическое моделирование	713
8.27. Визуализация наборов данных	715
Визуальное представление скалярных полей	716
Визуальное представление векторных полей	721
Визуальное представление тензорных полей	723
Визуальное представление многомерных полей данных	725
8.28. Резюме	726
Литература	731
Упражнения	731

<b>9</b>	<b>Методы исследования видимых поверхностей</b>	734
9.1.	Классификация алгоритмов исследования видимых поверхностей	736
9.2.	Детектирование невидимых поверхностей	736
9.3.	Метод буфера глубины	738
9.4.	Метод A-буфера	742
9.5.	Метод строк развертки	744
9.6.	Метод сортировки по глубине	746
9.7.	Метод BSP-дерева	751
9.8.	Методы деления области	752
9.9.	Методы октодеревьев	755
9.10.	Метод расчета луча	757
9.11.	Сравнение методов исследования видимых поверхностей	758
9.12.	Криволинейные поверхности	759
	Представления криволинейных поверхностей	760
	Графики контуров поверхности	760
9.13.	Методы определения видимости для каркасных изображений	762
	Алгоритмы исследования видимых поверхностей для каркасных объектов	762
	Алгоритм затухания с глубиной для каркасных объектов	763
9.14.	Функции исследования видимых поверхностей в OpenGL	764
	Функции отбора многоугольников OpenGL	764
	Функции буфера глубины OpenGL	765
	Методы OpenGL исследования видимых каркасных поверхностей	767
	Функции OpenGL затухания с глубиной	767
9.15.	Резюме	768
	Литература	769
	Упражнения	769

<b>10</b>	<b>Модели освещения и методы визуализации поверхностей</b>	774
10.1.	Источники света	776
	Точечные источники света	777
	Бесконечно удаленные источники света	778

## 20 Содержание

Радиальное затухание интенсивности	778
Источники направленного света и прожекторные эффекты	779
Угловое затухание интенсивности	780
Неточечные источники света и модель Вона	782
10.2. Эффекты освещения поверхности	783
10.3. Стандартные модели освещения	784
Рассеянный свет	785
Диффузное отражение	785
Зеркальное отражение и модель Фонга	789
Объединенное диффузное и зеркальное отражение	795
Диффузное и зеркальное отражение от нескольких источников света	796
Излучение света с поверхности	796
Стандартная модель освещения с затуханием интенсивности и источниками направленного света	797
Вопросы, касающиеся RGB-цветов	798
Другие формы представления цвета	800
Яркость	800
10.4. Прозрачные поверхности	801
Полупрозрачные материалы	802
Преломление света	803
Стандартная модель прозрачности	805
10.5. Атмосферные эффекты	806
10.6. Тени	807
10.7. Параметры камеры	808
10.8. Отображение интенсивности света	809
Распределение уровней интенсивности	809
Гамма-коррекция и таблицы видеосоответствий	810
Вывод на экран тоновых изображений	813
10.9. Полутоновые шаблоны и методы псевдослучайного шума	814
Полутоновые аппроксимации	814
Методы введения псевдослучайного шума	819
10.10. Методы визуализации многоугольников	822
Визуализация поверхностей постоянной интенсивности	823
Визуализация поверхностей по методу Гуро	824
Визуализация поверхности по Фонгу	827

Быстрая визуализация поверхности по Фонгу	828
10.11. Методы построения хода лучей	829
Стандартный алгоритм построения хода лучей	831
Расчет пересечения луча с поверхностью	834
Пересечение лучом сферы	836
Пересечения луча с многогранником	837
Сокращение вычислений при решении задачи пересечения лучом объекта	838
Методы деления пространства	839
Имитация эффектов фокусировки камеры	844
Построение лучей без наложения	846
Распределенное построение хода лучей	849
10.12. Модели диффузного отражения	852
Слагаемые лучистой энергии	853
Стандартная модель диффузного отражения	856
Метод прогрессивного уточнения диффузного отражения	861
10.13. Отображение среды	863
10.14. Отображение фотонов	866
10.15. Сложение деталей поверхности	866
10.16. Моделирование деталей поверхности многоугольниками	870
10.17. Наложение текстуры	870
Линейные текстурные узоры	871
Поверхностные текстурные узоры	872
Объемные текстурные узоры	876
Узоры с сокращенной текстурой	877
Методы процедурного текстурирования	877
10.18. Отображение шероховатости	878
10.19. Отображение кадра	881
10.20. Функции освещения и визуализации OpenGL	882
Функции OpenGL для задания точечных источников света	882
Положение и тип источника света OpenGL	882
Цвета источников света OpenGL	884
Коэффициенты радиального затухания интенсивности источников света OpenGL	884
Направленные источники света (прожекторы) OpenGL	885
Параметры глобального освещения OpenGL	886

## 22 Содержание

Функция свойств поверхности OpenGL	888
Модель освещения OpenGL	889
Атмосферные эффекты OpenGL	890
Функции прозрачности OpenGL	891
Функции визуализации поверхности OpenGL	893
Операции формирования полутонового изображения OpenGL	894
10.21. Текстурные функции OpenGL	895
Функции линейных текстур OpenGL	895
Функции OpenGL для поверхностных текстур	899
Функции OpenGL для объемных текстур	901
Опции цвета текстурных узоров OpenGL	902
Опции отображения текстуры в OpenGL	902
Текстурное обрамление в OpenGL	903
Копирование текстурных узоров OpenGL из буфера кадров	904
Массивы координат текстуры OpenGL	904
Присвоение имен текстурным узорам OpenGL	905
Текстурные подузоры OpenGL	906
Сокращенные текстурные узоры OpenGL	906
Границы текстуры OpenGL	908
Заместители текстуры в OpenGL	908
Автоматическое текстурирование поверхностей второго порядка	909
Однородные текстурные координаты	909
Дополнительные возможности текстур OpenGL	910
Литература	915
Упражнения	915

## 11

### Методы интерактивного ввода и графические интерфейсы пользователя

	918
11.1. Графические входные данные	919
11.2. Логическая классификация устройств ввода	920
Устройства ввода координаты	920
Устройства ввода набора координат	921
Устройства ввода строк	921
Устройства ввода скалярных значений	921

Устройства выбора	923
Указки	923
11.3. Функции ввода графических данных	926
Режимы ввода	926
Обратная связь с дублированием	927
Функции обратного вызова	927
11.4. Интерактивные технологии построения изображений	928
Основные методы размещения	928
Перетаскивание	928
Условия	928
Сетки	929
Методы эластичной графики	930
Поле тяжести	931
Методы интерактивного рисования и живописи	932
11.5. Среды виртуальной реальности	933
11.6. Интерактивные функции устройств ввода OpenGL	933
Функции GLUT (мышь)	934
Функции GLUT (клавиатура)	939
Функции GLUT (планшет)	945
Функции GLUT (спейсбол)	945
Функции GLUT (поле клавиш)	946
Функции GLUT (наборные диски)	946
Указки в OpenGL	947
11.7. Функции меню OpenGL	953
Создание меню GLUT	954
Создание нескольких меню GLUT и управление ими	957
Создание подменю GLUT	958
Модификация меню GLUT	961
11.8. Разработка графического пользовательского интерфейса	962
Диалог с пользователем	962
Окна и пиктограммы	963
Учет различных уровней подготовки	963
Согласованность	964
Минимизация использования памяти	964
Резервное копирование и обработка ошибок	964

## 24 Содержание

Обратная связь	965
11.9. Резюме	966
Литература	968
Упражнения	969

---

<b>12</b> Модели цвета и применение цвета	972
12.1. Свойства света	973
Электромагнитный спектр	973
Психологические характеристики цвета	975
12.2. Модели цвета	976
Основные цвета	977
Интуитивное восприятие цвета	978
12.3. Стандартные основные цвета и диаграмма цветности	978
Модель цвета XYZ	979
Нормированные значения XYZ	979
Диаграмма цветности МКО	980
Цветовые гаммы	981
Дополнительные цвета	982
Преобладающая длина волны	982
Чистота	983
12.4. Модель цвета RGB	983
12.5. Семейство моделей YIQ	985
Параметры YIQ	985
Преобразования между пространствами цветов RGB и YIQ	986
Системы YUV и $Y_C, C_b$	987
12.6. Модели цвета CMY и CMYK	987
Параметры CMY	987
Преобразования между пространствами CMY и RGB	988
12.7. Модель цвета HSV	989
Параметры HSV	989
Выбор теней, оттенков и тонов	990
Преобразования между пространствами цветов HSV и RGB	991
12.8. Модель цвета HLS	993
12.9. Выбор цвета и приложения	995

12.10. Резюме	995
Литература	996
Упражнения	997

## **13** Компьютерная анимация 998

13.1. Растровые методы компьютерной анимации	1000
Двойная буферизация	1001
Создание анимации с помощью растровых операций	1002
13.2. Проектирование анимационных сюжетов	1002
13.3. Традиционные методы анимации	1004
13.4. Общие функции компьютерной анимации	1006
13.5. Языки компьютерной анимации	1006
13.6. Системы ключевых кадров	1008
Трансформация	1008
Имитация ускорения	1011
13.7. Спецификация движения	1015
Прямая спецификация движения	1015
Целенаправленные системы	1016
Кинематика и динамика	1016
13.8. Анимация шарнирной фигуры	1017
13.9. Периодическое движение	1020
13.10. Процедуры анимации OpenGL	1020
13.11. Резюме	1024
Литература	1026
Упражнения	1026

## **14** Иерархическое моделирование 1028

14.1. Базовые концепции моделирования	1029
Представления систем	1030
Иерархии символов	1032
14.2. Пакеты моделирования	1033
14.3. Общие методы иерархического моделирования	1036

## 26 Содержание

Локальные координаты	1036
Моделирующие преобразования	1037
Создание иерархических структур	1038
14.4. Иерархическое моделирование с использованием таблиц отображения OpenGL	1039
14.5. Резюме	1040
Литература	1040
Упражнения	1041

---

## **15** Форматы графических файлов 1042

15.1. Конфигурации файлов изображения	1043
15.2. Методы снижения цветности	1045
Равномерное снижение цветности	1045
Снижение цветности по популярности	1046
Медианное сокращение цветности	1046
15.3. Методы сжатия файлов	1047
Групповое кодирование	1048
Кодирование LZW	1048
Другие методы сжатия на основе распознавания шаблонов	1049
Кодирование Хаффмана	1049
Арифметическое кодирование	1053
Дискретное косинус-преобразование	1055
15.4. Формат основного файла	1057
Стандарт JPEG (Joint Photographic Experts Group)	1058
CGM — метафайл компьютерной графики	1060
TIFF — теговый формат файлов изображений	1060
PNG — формат переносимой сетевой графики	1061
XBM — битовый формат системы X Window и XPM — пиксельный формат системы X Window	1061
Формат Adobe Photoshop	1062
MacPaint — формат Macintosh Paint	1062
PICT — формат данных изображения	1062
BMP — формат битового отображения	1063
PCX — файловый формат Paintbrush	1063

TGA — формат графических адаптеров Truevision	1063
GIF — формат графического обмена	1064
15.5. Резюме	1064
Литература	1065
Упражнения	1065

<b>A</b> <b>Математика компьютерной графики</b>	1067
A.1. Координатные системы отсчета	1067
Двухмерные декартовы экранные координаты	1067
Стандартные двухмерные декартовы системы отсчета	1068
Полярные координаты на плоскости $xy$	1068
Стандартные трехмерные декартовы системы координат	1070
Трехмерные декартовы экранные координаты	1071
Трехмерные криволинейные системы координат	1071
Телесный угол	1073
A.2. Точки и векторы	1074
Свойства точки	1074
Свойства вектора	1074
Сложение векторов и умножение на скаляр	1076
Скалярное произведение двух векторов	1077
Векторное произведение двух векторов	1078
A.3. Тензоры	1079
A.4. Базисные векторы и метрический тензор	1080
Определение базисных векторов в координатном пространстве	1080
Ортонормированный базис	1081
Метрический тензор	1082
A.5. Матрицы	1083
Умножение на скаляр и сложение матриц	1084
Умножение матриц	1085
Транспонирование матрицы	1086
Детерминант матрицы	1086
Обратная матрица	1087
A.6. Комплексные числа	1088
Основы комплексной арифметики	1089

## 28 Содержание

Мнимая единица	1089
Комплексно-сопряженное число и модуль комплексного числа	1090
Комплексное деление	1090
Представление комплексного числа в полярных координатах	1091
A.7. Кватернионы	1091
A.8. Непараметрические представления	1093
A.9. Параметрические представления	1094
A.10. Операторы скорости изменения	1095
Градиент	1096
Производная по направлению	1097
Общая форма оператора градиента	1097
Оператор Лапласа	1097
Оператор дивергенции	1098
Оператор ротора	1099
A.11. Теоремы об интегральном преобразовании операторов скорости изменения	1099
Теорема Стокса	1100
Теорема Грина для плоской поверхности	1101
Теорема о дивергенции (Гаусса–Остроградского)	1102
Уравнения Грина	1103
A.12. Площадь и центр масс многоугольника	1103
Площадь многоугольника	1104
Центр тяжести многоугольника	1104
A.13. Расчет свойств многогранника	1106
A.14. Численные методы	1107
Решение систем линейных уравнений	1107
Поиск корней нелинейных уравнений	1110
Вычисление интегралов	1112
Решение обычных дифференциальных уравнений	1114
Решение уравнений в частных производных	1116
Аппроксимация наборов данных методом наименьших квадратов	1117
Литература	1119
Предметный указатель	1144
Алфавитный указатель функций OpenGL	1155