

УДК 004.932OpenCV
ББК 32.972.13
К98

Кэлер А., Брэдски Г.

К98 Изучаем OpenCV 3 / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 826 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-471-7

В книге приведено описание всей библиотеки OpenCV в ее современном воплощении на языке C++, включая средства машинного обучения в контексте компьютерного зрения.

OpenCV, насчитывающая свыше 500 функций, используется в самых разных коммерческих приложениях: охрана, обработка медицинских изображений, распознавание образов и лиц, робототехника, контроль качества продукции и др. Упражнения в конце каждой главы помогут проконтролировать усвоение знаний.

Издание предназначено разработчикам, научным сотрудникам, инженерам-робототехникам и энтузиастам-любителям.

УДК 004.932OpenCV
ББК 32.972.13

Authorized Russian translation of the English edition of Learning OpenCV 3, ISBN 9781491937990
 © 2016 Adrian Kaehler, Gary Bradski

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

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.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-1-491-93799-0 (англ.)
 ISBN 978-5-97060-471-7 (рус.)

© 2017 Adrian Kaehler, Gary Bradski
 © Оформление, издание, ДМК Пресс, 2017

Содержание

Предисловие	16
Глава 1. Общие сведения	25
Что такое OpenCV?	25
Кто использует OpenCV?	26
Что такое компьютерное зрение?	26
Истоки OpenCV	30
Архитектура OpenCV	32
Ускорение OpenCV с помощью IPP	32
Кто является владельцем OpenCV?	33
Скачивание и установка OpenCV	33
Установка	33
Получение самой последней версии OpenCV из Git	36
Дополнительная документация по OpenCV	36
Документация в комплекте поставки	36
Онлайновая документация и вики	36
Репозиторий предоставленного кода OpenCV	39
Скачивание и сборка предоставленных модулей	40
Переносимость	40
Резюме	41
Упражнения	41
Глава 2. Введение в OpenCV	42
Включаемые файлы	42
Ресурсы	43
Первая программа – вывод изображения на экран	43
Вторая программа – видео	46
Перемотка вперед и назад	47
Простое преобразование	51
Не столь простое преобразование	52
Ввод с камеры	54
Запись в AVI-файл	55
Резюме	56
Упражнения	57
Глава 3. Знакомство с типами данных OpenCV	58
Типы данных OpenCV	58
Обзор простых типов	59
Простые типы: а теперь детали	60
Вспомогательные типы	66
Служебные функции	73

Шаблонные структуры	79
Резюме	80
Упражнения	80
Глава 4. Типы изображений и больших массивов.....	81
Динамические массивы переменного размера.....	81
Класс <code>cv::Mat</code> : плотные N-мерные массивы.....	81
Создание массива.....	82
Доступ к отдельным элементам массива	86
N-арный итератор массива: <code>NArgMatIterator</code>	89
Доступ к блоку элементов массива.....	91
Матричные выражения: <code>cv::Mat</code> и алгебра.....	92
Приведение с насыщением	93
На что еще способны массивы	94
Класс разреженных массивов <code>cv::SparseMat</code>	95
Доступ к элементам разреженного массива.....	96
Функции, уникальные для разреженных массивов.....	98
Шаблонные структуры для типов больших массивов.....	99
Резюме	101
Упражнения	101
Глава 5. Операции с массивами.....	103
Что еще можно делать с массивами.....	103
<code>cv::abs()</code>	106
<code>cv::absdiff()</code>	106
<code>cv::add()</code>	106
<code>cv::addWeighted()</code>	107
<code>cv::bitwise_and()</code>	108
<code>cv::bitwise_not()</code>	109
<code>cv::bitwise_or()</code>	109
<code>cv::bitwise_xor()</code>	109
<code>cv::calcCovarMatrix()</code>	110
<code>cv::cartToPolar()</code>	111
<code>cv::checkRange()</code>	112
<code>cv::compare()</code>	112
<code>cv::completeSymm()</code>	113
<code>cv::convertScaleAbs()</code>	113
<code>cv::countNonZero()</code>	114
<code>cv::cvarrToMat()</code>	114
<code>cv::dct()</code>	115
<code>cv::dft()</code>	116
<code>cv::cvtColor()</code>	117
<code>cv::determinant()</code>	119
<code>cv::divide()</code>	120
<code>cv::eigen()</code>	120

cv::exp()	121
cv::extractImageCOI()	121
cv::flip()	121
cv::gemm()	121
cv::getConvertElem() и cv::getConvertScaleElem()	122
cv::idct()	123
cv::idft()	123
cv::inRange()	124
cv::insertImageCOI()	124
cv::invert()	124
cv::log()	125
cv::LUT()	125
cv::magnitude()	126
cv::Mahalanobis()	126
cv::max()	127
cv::mean()	128
cv::meanStdDev()	128
cv::merge()	129
cv::min()	129
cv::minMaxIdx()	130
cv::minMaxLoc()	131
cv::mixChannels()	131
cv::mulSpectrums()	133
cv::multiply()	133
cv::mulTransposed()	133
cv::norm()	134
cv::normalize()	135
cv::perspectiveTransform()	136
cv::phase()	137
cv::polarToCart()	137
cv::pow()	138
cv::randu()	138
cv::randn()	139
cv::randShuffle()	139
cv::reduce()	139
cv::repeat()	140
cv::scaleAdd()	141
cv::setIdentity()	141
cv::solve()	141
cv::solveCubic()	142
cv::solvePoly()	143
cv::sort()	143
cv::sortIdx()	143
cv::split()	144
cv::sqrt()	144

cv::subtract()	145
cv::sum()	145
cv::trace()	146
cv::transform()	146
cv::transpose()	146
Резюме	147
Упражнения	147
Глава 6. Рисование и аннотирование	149
Рисование	149
Линии и залитые многоугольники	149
Шрифты и текст	156
Резюме	157
Упражнения	158
Глава 7. Функторы в OpenCV	159
Объекты-работяги	159
Метод главных компонент (cv::PCA)	159
Сингулярное разложение (cv::SVD)	162
Генератор случайных чисел (cv::RNG)	164
Резюме	167
Упражнения	167
Глава 8. Изображения, видео и файлы данных	169
HighGUI: переносимый комплект графических инструментов	169
Работа с файлами изображений	170
Загрузка и сохранение изображений	171
Замечание о кодеках	172
Сжатие и распаковка	173
Работа с видео	174
Чтение видео с помощью объекта cv::VideoCapture	174
Запись видео с помощью объекта cv::VideoWriter	179
Сохранение данных	180
Запись в cv::FileStorage	180
Чтение из cv::FileStorage	182
Класс cv::FileNode	183
Резюме	185
Упражнения	185
Глава 9. Платформенные и кросс-платформенные окна	188
Работа с окнами	188
Платформенный графический интерфейс пользователя в HighGUI	189
Работа с библиотекой Qt	199
Интеграция OpenCV с полнофункциональными библиотеками для построения GUI	208

Резюме	220
Упражнения	220
Глава 10. Фильтры и свертка	221
Вступление	221
Прежде чем начать.....	221
Фильтры, ядра и свертка	221
Экстраполяция рамки и граничные условия	222
Пороговые операции.....	225
Метод Оцу	228
Адаптивный порог	228
Сглаживание.....	231
Простое размытие и прямоугольный фильтр	231
Медианный фильтр	233
Фильтр Гаусса.....	234
Двусторонний фильтр	235
Производные и градиенты	237
Оператор Собеля.....	237
Фильтр Шарра	239
Лапласиан	240
Морфологические преобразования	241
Наращивание и эрозия.....	242
Общая морфологическая функция.....	246
Размыкание и замыкание	246
Морфологический градиент.....	249
Верх шляпы и черная шляпа.....	251
Создание собственного ядра	253
Свертка с произвольным линейным фильтром.....	254
Применение общего фильтра с помощью cv::filter2D().....	255
Применение общего сепарабельного фильтра с помощью cv::sepFilter2D	255
Построители ядер	256
Резюме	257
Упражнения	257
Глава 11. Преобразования изображений общего вида	261
Вступление	261
Растяжение, сжатие, деформирование и вращение	261
Равномерное изменение размера.....	261
Пирамиды изображений.....	263
Неравномерные отображения	266
Аффинное преобразование.....	268
Перспективное преобразование.....	271
Преобразования общего вида	275
Полярное преобразование	275
Лог-полярное преобразование	276

Произвольные отображения	279
Исправление изображений.....	280
Ретуширование	280
Очистка от шума	281
Выравнивание гистограммы	284
Резюме	287
Упражнения	287
Глава 12. Анализ изображений.....	289
Вступление	289
Дискретное преобразование Фурье.....	289
cv::dft(): дискретное преобразование Фурье	290
cv::idft(): обратное дискретное преобразование Фурье	292
cv::mulSpectrums(): умножение спектров	292
Свертка с помощью дискретного преобразования Фурье.....	293
cv::dct(): дискретное косинусное преобразование.....	294
cv::idct(): обратное дискретное косинусное преобразование	295
Интегральные изображения.....	296
cv::integral(): интегральное изображение в виде суммы.....	298
cv::integral(): интегральное изображение в виде суммы квадратов.....	298
cv::integral(): интегральное изображение в виде суммы с наклоном	298
Детектор границ Кэнни.....	299
cv::Canny().....	300
Преобразования Хафа	301
Преобразование Хафа для поиска прямых	301
Преобразование Хафа для поиска окружностей.....	304
Дистанционное преобразование	308
cv::distanceTransform(): непомеченное дистанционное преобразование	309
cv::distanceTransform(): помеченное дистанционное преобразование	309
Сегментация.....	310
Заливка	310
Алгоритм водораздела.....	313
Алгоритм GrabCut	314
Сегментация методом сдвига среднего	316
Резюме	318
Упражнения	318
Глава 13. Гистограммы и шаблоны.....	320
Представление гистограмм в OpenCV	322
cv::calcHist(): создание гистограммы по данным	323
Базовые операции с гистограммами.....	325
Нормализация гистограммы.....	325
Пороговое отсеечение гистограммы.....	326
Нахождение интервала с наибольшим числом значений	326
Сравнение двух гистограмм	328

Примеры использования гистограмм	330
Более сложные методы работы с гистограммами.....	333
Расстояние землекопа	333
Обратное проецирование	337
Сравнение с шаблоном.....	340
Метод квадратов разностей (cv::TM_SQDIFF).....	342
Нормированный метод квадратов разностей (cv::TM_SQDIFF_NORMED).....	342
Метод взаимной корреляции (cv::TM_CCORR)	342
Нормированный метод взаимной корреляции (cv::TM_CCORR_NORMED).....	342
Метод коэффициента корреляции (cv::TM_CCOEFF).....	342
Нормированный метод коэффициента корреляции (cv::TM_CCOEFF_NORMED)	343
Резюме	345
Упражнения	346
Глава 14. Контуры.....	348
Нахождение контуров	348
Иерархии контуров	348
Рисование контуров.....	353
Пример программы	354
Еще один пример программы	355
Быстрый анализ связанных компонент.....	356
Дополнительные операции над контурами	358
Аппроксимации многоугольников.....	358
Геометрические и обобщенные характеристики	360
Геометрические проверки.....	365
Сравнение контуров.....	366
Моменты	366
Дополнительные сведения о моментах	367
Моменты Ху и сравнение	370
Использование контекста для сравнения фигур	371
Резюме	375
Упражнения	376
Глава 15. Вычитание фона	378
Вступление	378
Недостатки методов вычитания фона	379
Моделирование сцены	379
Срез пикселей.....	380
Вычитание кадров.....	383
Метод усреднения фона.....	384
Аккумуляирование средних, дисперсий и ковариаций	389
Более сложный метод вычитания фона	396

Структуры данных.....	399
Обучение модели фона	401
Обучение при наличии движущихся объектов на переднем плане	403
Вычитание фона: нахождение объектов переднего плана	404
Использование модели фона на основе кодовой книги	405
Еще несколько мыслей о моделях на основе кодовой книги.....	405
Связные компоненты и очистка переднего плана	405
Экспресс-тест	408
Сравнение двух методов вычитания фона.....	410
Инкапсуляция вычитания фона в OpenCV.....	411
Базовый класс cv::BackgroundSubtractor.....	412
Метод КаеТраКулПонга–Боудена	413
Метод Живковича	414
Резюме	416
Упражнения	416
Глава 16. Особые точки и дескрипторы	418
Особые точки и основы прослеживания	418
Нахождение углов.....	419
Введение в оптический поток.....	422
Метод разреженного оптического потока Лукаса–Канаде	424
Обобщенные особые точки и дескрипторы	434
Оптический поток, сопровождение и распознавание	436
Особые точки и дескрипторы в общем случае.....	436
Основные методы обнаружения особых точек.....	446
Фильтрация особых точек	483
Методы сопоставления	484
Отображение результатов.....	490
Резюме	492
Упражнения	492
Глава 17. Сопровождение	495
Основные понятия.....	495
Плотный оптический поток	496
Алгоритм TV-L1	499
Алгоритм Simple Flow	502
Алгоритмы сопровождения: сдвиг среднего и Camshift.....	506
Метод сдвига среднего	506
Алгоритм Camshift.....	510
Шаблоны движения.....	510
Оцениватели	517
Фильтр Калмана.....	519
Несколько слов об обобщенном фильтре Калмана.....	532
Резюме	534
Упражнения	534

Глава 18. Модели и калибровка камеры	536
Модель камеры	537
Основы проективной геометрии	539
Преобразование Родригеса	541
Дисторсия объектива	542
Калибровка	545
Матрица поворота и вектор параллельного переноса	546
Калибровочные доски	549
Гомография	555
Калибровка камеры	559
Функция калибровки	564
Коррекция дисторсии	569
Карты коррекции дисторсии	570
cv::convertMaps(): преобразование различных представлений карты коррекции дисторсии	571
cv::initUndistortRectifyMap(): вычисление карты коррекции дисторсии	572
cv::remap(): коррекция дисторсии изображения	573
cv::undistort(): коррекция дисторсии	573
cv::undistortPoints(): разреженная коррекция дисторсии	574
Соберем все вместе	574
Резюме	577
Упражнения	578
 Глава 19. Проекция и трехмерное зрение	 580
Проекции	581
Аффинные и перспективные преобразования	582
Пример преобразования в вид сверху	583
Оценка расположения в пространстве	588
Оценка расположения с помощью одной камеры	588
Получение стереоизображений	591
Триангуляция	591
Эпиполярная геометрия	596
Существенная и фундаментальная матрица	597
Вычисление эпиполярных прямых	605
Стереокалибровка	606
Ректификация стереопары	610
Сопоставление стереоизображений	619
Пример программы калибровки, ректификации и сопоставления стереоизображений	632
Определение структуры по движению	640
Аппроксимация прямой линией на плоскости и в пространстве	641
Резюме	644
Упражнения	644

Глава 20. Основы машинного обучения в OpenCV	647
Что такое машинное обучение?	647
Обучающие и тестовые данные	648
Обучение с учителем и без учителя	649
Порождающие и дискриминантные модели	650
Алгоритмы машинного обучения в OpenCV	651
Использование машинного обучения в компьютерном зрении	653
Важность переменной	655
Диагностика проблем машинного обучения	656
Унаследованные функции в библиотеке ML	661
Метод К средних	661
Расстояние Махаланобиса	667
Резюме	670
Упражнения	670
 Глава 21. StatModel: стандартная модель машинного обучения в OpenCV	 672
Общие средства в библиотеке ML	672
Обучение и структура cv::ml::TrainData	674
Прогнозирование	680
Алгоритмы машинного обучения на базе cv::StatModel	681
Наивный байесовский классификатор	681
Двоичные решающие деревья	685
Усиление	696
Случайные деревья	703
Алгоритм ожидания-максимизации	707
Метод k ближайших соседей	711
Многослойный перцептрон	713
Метод опорных векторов	721
Резюме	730
Упражнения	730
 Глава 22. Обнаружение объектов	 734
Методы обнаружения объектов на основе деревьев	734
Каскадные классификаторы	734
Обучение с учителем и теория усиления	737
Обучение на новых объектах	744
Обнаружение объектов методом опорных векторов	753
Применение латентного SVM для обнаружения объектов	753
Метод набора слов и семантическая классификация	755
Обучение с помощью класса cv::BOWTrainer	756
Резюме	760
Упражнения	760

Глава 23. Будущее OpenCV	762
Прошлое и настоящее.....	762
OpenCV 3.x.....	763
Сбылись ли наши прежние предсказания?.....	764
Будущие функции	764
Текущие работы по программе GSoC	766
Вклад со стороны сообщества.....	768
OpenCV.org.....	768
Несколько мыслей об искусственном интеллекте	769
Послесловие.....	772
Приложение А. Планарные разбиения	774
Триангуляция Делоне, диаграммы Вороного.....	774
Создание разбиения Делоне или Вороного	777
Обход разбиения Делоне.....	778
Примеры.....	784
Упражнения	785
Приложение В. opencv_contrib	786
Обзор модулей в репозитории opencv_contrib.....	786
Состав opencv_contrib.....	786
Приложение С. Калибровочные шаблоны	790
Калибровочные шаблоны в OpenCV	790
Список литературы	795
Предметный указатель	808
Об авторах	824
Об иллюстрации на обложке	825