

# **OpenCV 3. Komputerowe rozpoznawanie obrazu w C++ przy użyciu biblioteki OpenCV;**

**Adrian Kaehler, Gary Rost Bradski**

## **Wstęp (15)**

- Przeznaczenie książki (15)
  - Adresaci książki (16)
  - Czym nie jest ta książka (17)
- O przykładowych programach (17)
- Warunki (17)
- Jak najlepiej korzystać z tej książki (18)
- Konwencje typograficzne (19)
- Podziękowania (20)
  - Podziękowania za pomoc przy tworzeniu biblioteki OpenCV (20)
  - Podziękowania za pomoc przy pisaniu książki (21)
  - Kilka słów od Adriana (21)
  - Kilka słów od Gary'ego (22)

## **1. Wprowadzenie (25)**

- Czym jest OpenCV? (25)
- Kto używa biblioteki OpenCV? (26)
- Czym jest komputerowe rozpoznawanie obrazu? (27)
- Pochodzenie biblioteki OpenCV (30)
  - Schemat blokowy OpenCV (31)
  - Przyspieszanie działania biblioteki OpenCV za pomocą IPP (32)
  - Do kogo należy OpenCV? (33)
- Pobieranie i instalowanie OpenCV (33)
  - Instalacja (34)
- Pobieranie najnowszej wersji OpenCV przez Git (36)
- Kompletna dokumentacja OpenCV (37)
  - Dokumentacja dołączona do biblioteki (37)
  - Dokumentacja internetowa i strona wiki (37)
- Repozytorium kodu od społeczności (39)
  - Pobieranie i kompilowanie modułów z repozytorium opencv\_contrib (40)
- Przenośność (40)
- Podsumowanie (41)
- Ćwiczenia (42)

## **2. Wprowadzenie do OpenCV (43)**

- Pliki dołączane (43)
  - Zasoby (44)
- Pierwszy program - wyświetlanie obrazu (44)
- Drugi program - wideo (47)
- Przegląd (48)
- Prosta transformacja (52)
- Trochę bardziej skomplikowana transformacja (53)
- Dane z kamery (55)
- Zapisywanie w pliku AVI (56)
- Podsumowanie (57)
- Ćwiczenia (58)

## **3. Typy danych OpenCV (59)**

- Wiadomości podstawowe (59)
- Typy danych OpenCV (59)
  - Przegląd podstawowych typów danych (60)
  - Typy podstawowe - szczegóły (61)
  - Obiekty pomocnicze (68)
  - Funkcje pomocnicze (75)
  - Struktury szablonowe (81)
- Podsumowanie (82)
- Ćwiczenia (83)

#### 4. Obrazy i duże typy tablicowe (85)

- Pamięć dynamiczna i zmienna (85)
  - Klasa `cv::Mat` - n-wymiarowe tablice gęste (85)
  - Tworzenie tablicy (86)
  - Indywidualny dostęp do elementów tablicy (90)
  - N-arny iterator tablicowy - `NaryMatIterator` (93)
  - Dostęp do elementów tablicy według bloków (95)
  - Wyrażenia macierzowe - algebra i klasa `cv::Mat` (97)
  - Rzutowanie nasyceniowe (98)
  - Co jeszcze potrafią tablice? (99)
  - Klasa `cv::SparseMat` - tablice rzadkie (100)
  - Dostęp do elementów tablicy rzadkiej (101)
  - Funkcje dostępne tylko dla tablic rzadkich (103)
  - Struktury szablonowe dla dużych typów tablicowych (104)
- Podsumowanie (106)
- Ćwiczenia (106)

#### 5. Operacje na tablicach (109)

- Co jeszcze można zrobić z tablicami? (109)
  - `cv::abs()` (112)
  - `cv::absdiff()` (113)
  - `cv::add()` (113)
  - `cv::addWeighted()` (113)
  - `cv::bitwise_and()` (115)
  - `cv::bitwise_not()` (115)
  - `cv::bitwise_or()` (116)
  - `cv::bitwise_xor()` (116)
  - `cv::calcCovarMatrix()` (116)
  - `cv::cartToPolar()` (118)
  - `cv::checkRange()` (119)
  - `cv::compare()` (119)
  - `cv::completeSymm()` (120)
  - `cv::convertScaleAbs()` (120)
  - `cv::countNonZero()` (121)
  - `cv::cvarrToMat()` (121)
  - `cv::dct()` (122)
  - `cv::dft()` (122)
  - `cv::cvtColor()` (123)
  - `cv::determinant()` (126)
  - `cv::divide()` (127)
  - `cv::eigen()` (127)
  - `cv::exp()` (128)
  - `cv::extractImageCOI()` (128)

- cv::flip() (128)
- cv::gemm() (128)
- cv::getConvertElem() i cv::getConvertScaleElem() (129)
- cv::idct() (130)
- cv::idft() (130)
- cv::inRange() (130)
- cv::insertImageCOI() (131)
- cv::invert() (131)
- cv::log() (132)
- cv::LUT() (132)
- cv::Mahalanobis() (133)
- cv::max() (133)
- cv::mean() (135)
- cv::meanStdDev() (135)
- cv::merge() (136)
- cv::min() (136)
- cv::minMaxIdx() (137)
- cv::minMaxLoc() (137)
- cv::mixChannels() (138)
- cv::mulSpectrums() (140)
- cv::multiply() (140)
- cv::mulTransposed() (140)
- cv::norm() (141)
- cv::normalize() (142)
- cv::perspectiveTransform() (143)
- cv::phase() (144)
- cv::polarToCart() (145)
- cv::pow() (145)
- cv::randu() (145)
- cv::randn() (146)
- cv::randShuffle() (146)
- cv::reduce() (147)
- cv::repeat() (148)
- cv::scaleAdd() (148)
- cv::setIdentity() (148)
- cv::solve() (149)
- cv::solveCubic() (150)
- cv::solvePoly() (150)
- cv::sort() (151)
- cv::sortIdx() (151)
- cv::split() (151)
- cv::sqrt() (152)
- cv::subtract() (153)
- cv::sum() (153)
- cv::trace() (153)
- cv::transform() (154)
- cv::transpose() (154)
- Podsumowanie (154)
- Ćwiczenia (155)

## 6. Rysowanie i pisanie (157)

- Rysowanie (157)
  - Linie i wypełnione wielokąty (157)
  - Czcionki i tekst (163)

- Podsumowanie (165)
- Ćwiczenia (166)

## 7. Funktory w OpenCV (167)

- Obiekty, które "coś" robią (167)
  - Analiza składowych głównych - cv::PCA (167)
  - Rozkład według wartości osobliwych - cv::SVD (170)
  - Generator liczb losowych - cv::RNG (173)
- Podsumowanie (175)
- Ćwiczenia (176)

## 8. Pliki obrazów, filmów i danych (179)

- HighGUI - przenośny zestaw narzędzi GUI (179)
- Praca z plikami obrazów (180)
  - Ładowanie i zapisywanie obrazów (181)
  - Uwaga na temat kodeków (183)
  - Kompresja i dekompresja (183)
- Praca z plikami wideo (184)
  - Odczytywanie wideo za pomocą obiektu cv::VideoCapture (184)
  - Zapisywanie wideo za pomocą obiektu cv::VideoWriter (190)
- Zapisywanie danych (191)
  - Zapisywanie danych w obiekcie cv::FileStorage (191)
  - Odczytywanie danych z obiektu cv::FileStorage (193)
  - cv::FileNode (194)
- Podsumowanie (197)
- Ćwiczenia (197)

## 9. Okna wieloplatformowe i macierzyste (201)

- Praca z oknami (201)
  - Macierzysty graficzny interfejs użytkownika HighGUI (201)
  - Praca z biblioteką Qt (212)
  - Integracja OpenCV z kompletnymi bibliotekami GUI (221)
- Podsumowanie (233)
- Ćwiczenia (234)

## 10. Filtry i sploty (235)

- Informacje ogólne (235)
- Zanim zaczniesz (235)
  - Filtry, jądra i sploty (235)
  - Ekstrapolacja krawędzi i warunki brzegowe (236)
- Operacje graniczne (240)
  - Algorytm Otsu (242)
  - Zmienna wartość graniczna (243)
- Wygładzanie (245)
  - Proste rozmazanie i filtr prostokątny (246)
  - Filtr medianowy (247)
  - Filtr Gaussa (248)
  - Filtr bilateralny (250)
- Pochodne i gradienty (251)
  - Pochodna Sobela (251)
  - Filtr Scharra (253)

- Laplasjan (254)
- Morfologia obrazu (255)
  - Dylatacja i erozja (257)
  - Ogólna funkcja morfologiczna (260)
  - Otwieranie i zamykanie (260)
  - Gradient morfologiczny (263)
  - Top Hat i Black Hat (265)
  - Tworzenie własnego jądra (267)
- Splot z dowolnym filtrem liniowym (268)
  - Stosowanie ogólnego filtra przez funkcję `cv::filter2D()` (269)
  - Stosowanie ogólnego filtra rozdzielnego za pomocą funkcji `cv::sepFilter2D()` (270)
  - Funkcje do tworzenia jąder (270)
- Podsumowanie (271)
- Ćwiczenia (271)

## 11. Ogólne przekształcenia obrazu (277)

- Wprowadzenie (277)
- Rozciąganie, kurczenie, zniekształcanie i obracanie (277)
  - Jednorodna zmiana rozmiaru (278)
  - Piramidy obrazów (279)
  - Mapowanie niejednorodne (282)
  - Przekształcenia afiniczne (285)
  - Przekształcenie perspektywiczne (289)
- Ogólne odwzorowania (291)
  - Odwzorowania biegunowe (292)
  - Współrzędne logarytmiczno-biegunowe (294)
  - Odwzorowania arbitralne (297)
- Renowacja obrazów (298)
  - Inpainting (299)
  - Usuwanie szumów (300)
- Wyrównywanie histogramu (303)
  - `cv::equalizeHist()` - wyrównywanie kontrastu (304)
- Podsumowanie (305)
- Ćwiczenia (306)

## 12. Analiza obrazu (307)

- Wprowadzenie (307)
- Dyskretna transformacja Fouriera (307)
  - `cv::dft()` - dyskretna transformacja Fouriera (308)
  - `cv::idft()` - odwrotna dyskretna transformacja Fouriera (310)
  - `cv::mulSpectrums()` - mnożenie widm (311)
  - Splot przy użyciu dyskretnej transformacji Fouriera (311)
  - `cv::dct()` - dyskretna transformacja cosinusowa (312)
  - `cv::idct()` - odwrotna dyskretna transformacja cosinusowa (313)
- Obrazy całkowite (314)
  - `cv::integral()` - obliczanie standardowego obrazu całkowitego (316)
  - `cv::integral()` - suma kwadratowa (316)
  - `cv::integral()` - suma nachylona (317)
- Detektor krawędzi Canny'ego (317)
  - `cv::Canny()` (319)
- Transformacja Hougha (319)
  - Transformacja liniowa Hougha (319)
  - Transformacja kołowa Hougha (323)

- Transformacja odległościowa (327)
  - `cv::distanceTransform()` - transformacja odległościowa bez etykiet (327)
  - `cv::distanceTransform()` - transformacja odległościowa z etykietami (328)
- Segmentacja (329)
  - Algorytm flood fill (329)
  - Algorytm wodorodziałowy (332)
  - Algorytm Grabcuts (334)
  - Metoda segmentacji mean-shift (336)
- Podsumowanie (338)
- Ćwiczenia (338)

### 13. Histogramy i szablony (341)

- Reprezentacja histogramów w OpenCV (344)
  - `cv::calcHist()` - tworzenie histogramu z danych (344)
- Podstawowe operacje na histogramach (346)
  - Normalizacja histogramu (347)
  - Próg histogramu (347)
  - Znajdowanie najbardziej wypełnionego przedziału (347)
  - Porównywanie histogramów (349)
  - Przykłady użycia histogramów (351)
- Zaawansowane metody pracy z histogramami (354)
  - Algorytm EMD (354)
  - Rzutowanie wstecz (358)
- Dopasowywanie szablonów (362)
  - Metoda porównywania kwadratu różnicy - `cv::TM_SQDIFF` (363)
  - Znormalizowana metoda porównywania kwadratu różnicy - `cv::TM_SQDIFF_NORMED` (364)
  - Metody korelacji krzyżowej - `cv::TM_CCORR` (364)
  - Znormalizowana metoda korelacji krzyżowej - `cv::TM_CCORR_NORMED` (364)
  - Metody dopasowywania współczynnika korelacji - `cv::TM_CCOEFF` (364)
  - Znormalizowana metoda dopasowywania współczynnika korelacji - `cv::TM_CCOEFF_NORMED` (365)
- Podsumowanie (367)
- Ćwiczenia (368)

### 14. Kontury (371)

- Znajdowanie konturów (371)
  - Hierarchie konturów (372)
  - Rysowanie konturów (376)
  - Przykład rysowania konturów (377)
  - Inny przykład rysowania konturów (378)
  - Szybka analiza komponentów połączonych (380)
- Inne zastosowania konturów (382)
  - Aproksymacja wielokątów (382)
  - Geometria i różne rodzaje sumowania (383)
  - Testy geometryczne (389)
- Dopasowywanie konturów i obrazów (390)
  - Momenty (390)
  - Więcej o momentach (392)
  - Dopasowywanie a momenty Hu (395)
  - Porównywanie kształtów za pomocą algorytmu Shape Context (396)
- Podsumowanie (400)
- Ćwiczenia (401)

## 15. Odejmowanie tła (403)

- Wiadomości podstawowe (403)
- Wady operacji odejmowania tła (404)
- Modelowanie sceny (405)
  - Wycinek pikseli (405)
  - Różnicowanie klatek (408)
- Metoda uśredniania tła (409)
  - Akumulowanie średnich, wariancji i kowariancji (414)
- Bardziej zaawansowana metoda odejmowania tła (422)
  - Struktury (425)
  - Poznawanie tła (426)
  - Nauka w obecności ruchomych obiektów pierwszego planu (428)
  - Różnicowanie tła - znajdowanie obiektów pierwszego planu (429)
  - Przykład użycia modelu tła opartego na księgach kodów (430)
  - Kilka dodatkowych uwag na temat modeli opartych na księgach kodów (430)
- Komponenty połączone dla czyszczenia pierwszego planu (431)
  - Szybki test (434)
- Porównanie dwóch metod rozpoznawania tła (436)
- Implementacja techniki odejmowania tła w OpenCV (437)
  - Klasa bazowa `cv::BackgroundSubtractor` (437)
  - Metoda Kaewtrakulponga i Bowdena (438)
  - Metoda Zivkovic (439)
- Podsumowanie (442)
- Ćwiczenia (442)

## 16. Punkty kluczowe i deskryptory (445)

- Punkty kluczowe i podstawy śledzenia (445)
  - Znajdowanie rogów (446)
  - Wprowadzenie do przepływu optycznego (450)
  - Rzadki przepływ optyczny - metoda Lucasa-Kanade'a (451)
- Uogólnione punkty kluczowe i deskryptory (461)
  - Przepływ optyczny, śledzenie i rozpoznawanie (462)
  - Jak biblioteka OpenCV obsługuje punkty kluczowe i deskryptory - przypadek ogólny (463)
  - Podstawowe metody wykrywania punktów kluczowych (474)
  - Filtrowanie punktów kluczowych (512)
  - Metody dopasowywania (513)
  - Wyświetlanie wyników (519)
- Podsumowanie (521)
- Ćwiczenia (522)

## 17. Śledzenie (525)

- Pojęcia dotyczące śledzenia (525)
- Gęsty przepływ optyczny (526)
  - Algorytm rozwinięcia wielomianu Farnebäck (527)
  - Algorytm Dual TV- $L^1$  (529)
  - Algorytm Simple Flow (533)
- Algorytmy mean-shift i Camshift (536)
  - Algorytm mean-shift (537)
  - Algorytm Camshift (540)
- Szablony ruchu (541)
- Estymatory (548)

- Filtr Kalmana (549)
- Kilka słów na temat rozszerzonego filtra Kalmana (564)
- Podsumowanie (565)
- Ćwiczenia (565)

## 18. Modele kamery i metody kalibracji (567)

- Model kamery (568)
  - Podstawy geometrii rzutowej (570)
  - Transformacja Rodriguesa (572)
  - Zniekształcenia soczewek (573)
- Kalibracja (576)
  - Macierz obrotu i wektor przesunięcia (578)
  - Plansze kalibracji (580)
  - Homografia (587)
  - Kalibracja aparatu (591)
- Korekcja zniekształceń (602)
  - Matryce likwidacji zniekształceń (602)
  - Konwertowanie reprezentacji maczyce likwidacji zniekształceń za pomocą funkcji `cv::convertMaps()` (604)
  - Obliczanie maczyce likwidacji zniekształceń za pomocą funkcji `cv::initUndistortRectifyMap()` (604)
  - Likwidowanie zniekształceń obrazu za pomocą funkcji `cv::remap()` (606)
  - Likwidacja zniekształceń za pomocą funkcji `cv::undistort()` (606)
  - Rzadkie likwidowanie zniekształceń za pomocą funkcji `cv::undistortPoints()` (607)
- Podsumowanie technik kalibracji (607)
- Podsumowanie (610)
- Ćwiczenia (611)

## 19. Rzutowanie i trójwymiarowe widzenie (613)

- Rzutowanie (614)
- Przekształcenia afiniczne i perspektywiczne (615)
  - Przykład przekształcenia na widok z góry (616)
- Określanie pozycji trójwymiarowych obiektów (621)
  - Określanie pozycji za pomocą jednej kamery (621)
- Obrazowanie stereo (623)
  - Triangulacja (624)
  - Geometria epipolarna (628)
  - Macierz zasadnicza i macierz fundamentalna (630)
  - Obliczanie linii epipolarnych (638)
  - Kalibracja stereo (639)
  - Rektyfikacja stereo (643)
  - Korespondencja stereo (652)
  - Kalibracja stereo, rektyfikacja i korespondencja - przykładowy program (665)
  - Matryce głębi z trójwymiarowej projekcji (671)
- Struktura z ruchu (673)
- Dopasowywanie linii w dwóch i trzech wymiarach (673)
- Podsumowanie (676)
- Ćwiczenia (677)

## 20. Podstawy uczenia maszyn w OpenCV (679)

- Czym jest uczenie maszyn? (679)
  - Szkolenie i zbiory danych testowych (680)



- Uczenie nadzorowane i nienadzorowane (681)
- Modele generacyjne i dyskryminacyjne (683)
- Algorytmy ML w OpenCV (683)
- Zastosowania metod uczenia maszyn w komputerowym rozpoznawaniu obrazu (685)
- Znaczenie zmiennej (687)
- Diagnozowanie usterek w algorytmach uczenia maszyn (688)
- Stare procedury w bibliotece ML (694)
  - K-średnich (694)
  - Odległość Mahalanobisa (699)
- Podsumowanie (703)
- Ćwiczenia (703)

## **21. StatModel - standardowy model uczenia w OpenCV (705)**

- Podstawowe procedury biblioteki ML (705)
  - Szkolenie i struktura cv::ml::TrainData (707)
  - Prognozowanie (713)
- Algorytmy uczenia maszyn oparte na interfejsie cv::StatModel (714)
  - Naiwny lub normalny klasyfikator Bayesa (714)
  - Binarne drzewa decyzyjne (719)
  - Boosting (732)
  - Drzewa losowe (738)
  - Maksymalizacja oczekiwań (742)
  - K najbliższych sąsiadów (745)
  - Wielowarstwowy perceptron (748)
  - Maszyna wektorów nośnych (756)
- Podsumowanie (765)
- Ćwiczenia (766)

## **22. Wykrywanie obiektów (771)**

- Techniki wykrywania obiektów oparte na drzewach (771)
  - Klasyfikatory kaskadowe (772)
  - Uczenie nadzorowane i teoria wzmacniania (774)
  - Uczenie się nowych obiektów (782)
- Wykrywanie obiektów za pomocą maszyn wektorów nośnych (790)
  - Wykrywanie obiektów metodą Latent SVM (790)
  - Algorytm Bag of Words i kategoryzacja semantyczna (793)
- Podsumowanie (798)
- Ćwiczenia (798)

## **23. Przyszłość biblioteki OpenCV (801)**

- Przeszłość i terażniejszość (801)
  - OpenCV 3.x (802)
- Czy nasze prognozy się sprawdziły? (803)
- Przyszłość (804)
  - Najświeższe wiadomości o GSoC (805)
  - Wsparcie ze strony społeczności (807)
  - Strona OpenCV.org (808)
- Spekulacje na temat sztucznej inteligencji (809)
- Posłowie (812)

## **A. Rodzaje podziału płaszczyzn (813)**

- Triangulacja Delaunaya, teselacja Woronoja (813)
  - Tworzenie podziałów Delaunaya lub Woronoja (816)
  - Poruszanie się po podziałach Delaunaya (817)
  - Przykłady (823)
- Ćwiczenia (824)

## **B. Repozytorium opencv\_contrib (825)**

- Przegląd modułów repozytorium opencv\_contrib (825)
  - Zawartość katalogu opencv\_contrib (825)

## **C. Wzory kalibracji (829)**

- Wzory kalibracji wykorzystywane w bibliotece OpenCV (829)

## **Bibliografia (835)**

## **Skorowidz (849)**