

Mobilny system przetwarzania obrazu

Antoni Charchuła

Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa
`antoni.charchula.stud@pw.edu.pl`

Streszczenie Przetwarzanie obrazu odgrywa istotną rolę w dzisiejszym świecie. Niestety, operacje potrafią być bardzo wymagające sprzętowo ze względu na dużą ilość obliczeń i przekształceń, co sprawia że stają się one mniej dostępne dla urządzeń z gorszymi jednostkami CPU, a przede wszystkim urządzeń mobilnych. Pomimo stałego rozwoju, ich wydajność nadal istotnie odbiega od komputerów dostępnych na rynku. Z tego względu w artykule przedstawiany jest system umożliwiający urządzeniom mobilnym, użycie skomplikowanych algorytmów z dziedziny przetwarzania obrazów, na swoim CPU, jak i na zewnętrznym serwerze. W pracy jest także porównywana wydajność i szybkość przetwarzania na poszczególnych platformach.

1 Wprowadzenie

W artykule przedstawiany jest mobilny system przetwarzania obrazu stworzony dla systemu Android. Celem aplikacji jest pokazanie użytkownikowi możliwości algorytmów i operacji zawartych w bibliotece OpenCV. Użytkownik może operować w niej na wielu zdjęciach na raz, wybierając dla każdego z nich dowolną ilość operacji wraz z możliwością zmiany ich parametrów. Dodatkowo podkreślany jest problem wydajnościowy jaki ze sobą niesie przetwarzanie obrazów wraz z propozycją jego rozwiązania, którym jest zewnętrzny serwer, na który wysyłane są zdjęcia do przetworzenia.

Artykuł przybliży pojęcie przetwarzania obrazu z definicji - pokazywana jest historia oraz współczesne wykorzystywanie. Dodatkowo przedstawiona jest biblioteka OpenCV wraz z jej możliwościami oraz wspomniane jest czym jest system Android. W głównej części artykułu został opisany tytułowy system - AndroidCV. Opisywana jest architektura, interfejs użytkownika aplikacji mobilnej oraz jakie operacje z biblioteki OpenCV zostały w niej umieszczone. Zaprezentowany został także sposób realizacji zewnętrznego serwera, sposób jego komunikacji z aplikacją oraz testy wydajnościowe pomiędzy tymi dwoma platformami. Na koniec przedstawiony jest stos technologiczny oraz potencjalne możliwości rozbudowy systemu.

2 Przetwarzanie obrazu

2.1 Definicja

Przetwarzanie obrazu to operacje przekształcające cyfrowy obraz wejściowy w inny bądź zmodyfikowany cyfrowy obraz wyjściowy.

Cyfrowy obraz to inaczej postać binarna dwuwymiarowego obrazu. Zazwyczaj przedstawiona jako dwuwymiarowa macierz pikseli. Zaś piksel to najmniejszy jednolity element obrazu. Istnieją różne formaty przechowywanych informacji przez pojedynczy piksel jednak najpopularniejsze to:

- Black and White lub Grayscale
- Red, Green, Blue - (RGB)
- Red, Green, Blue, Alpha (przezroczystość)

Powstanie formatu RGB wynika ze względu na budowę ludzkiego oka. Zmieszanie w ustalonych proporcjach trzech wiązek światła o barwie czerwonej, zielonej i niebieskiej, pozwala na wyświetlenie dowolnej barwy widzialnej dla człowieka.

Obraz analogowy próbkuję się w taki sposób, aby otrzymać obraz zbliżony do wejściowego. Im większe próbkowanie tym dokładniejsze odzwierciedlenie wejściowego obrazu.

2.2 Historia

Cyfrowe przetwarzanie obrazów ma stosunkowo niedługą historię. Przyczyną tego było późne opracowanie efektywnych systemów komputerowych, posiadających odpowiednio duże zasoby pamięci i moc obliczeniową, zdolnych do przetworzenia plików danych reprezentujących próbki obrazu.

Po raz pierwszy cyfrowego obrazu użyto w 1920 roku. Nastąpiło to po wprowadzeniu pięciobitowego kodowania szarości przez system Bartlane. Skanowanie odbywało się element po elemencie, czego efektem było produkowanie przez system taśmy papierowej, na której rejestrowane były odpowiednie poziomy szarości. Zdjęcia przesyłano podmorskim kablem pomiędzy Londynem, a Nowym Yorkiem. Pod koniec lat dwudziestych zwiększono ilość tonów szarości w tym systemie oraz użyto technik znanych z fotografii, aby obrazy były lepszej jakości.

Po tych osiągnięciach nastąpiła długa przerwa. Wraz ze zwiększeniem popularności komputerów mainframowych w dużych przedsiębiorstwach, dopiero w latach sześćdziesiątych zaistniały pierwsze podejścia do przetwarzania obrazów. Zostały one przeprowadzone w ramach misji kosmicznych, a dokładniej misji Ranger 7, kiedy to poprawiono jakość zdjęć, na których widniał księżyc.

Pod koniec lat siedemdziesiątych zaczęto używać przetwarzania obrazów w dziedzinie medycyny. Wielkim osiągnięciem było otrzymanie nagrody Nobla w 1979 roku przez Sir Godfrey'a N. Hounsfield'a oraz Profesora Allan'a M. Cormack'a za stworzenie powszechnie dziś znanej tomografii.

2.3 Współcześnie

Jak widać, przetwarzanie obrazów znalazło odbiór w wielu dziedzinach. Współcześnie wykorzystywane jest między innymi w:

- medycynie
- fotografii kosmicznej
- fotografii satelitarnej
- przemyśle
- rozpoznawaniu tekstu
- kryminologii
- sztucznej inteligencji

3 OpenCV

Przetwarzanie obrazu nie jest proste, ze względu na dużą ilość obliczeń matematycznych i przekształceń. Z pomocą przychodzą gotowe biblioteki zawierające gotowy zbiór zaimplementowanych metod i algorytmów służących do obróbki zdjęć. Jedną z nich jest biblioteka o nazwie OpenCV, która została wykorzystana w projekcie. Jest to jedna z najpopularniejszych na rynku bibliotek służących między innymi do przetwarzania obrazów. Jej istotnym atutem jest łatwa dostępność - jest darmowa dla każdego. Zawiera wiele modułów, takich jak:

- analiza wideo
- uczenie maszynowe związane z wideo i obrazami
- wykrywanie obiektów
- stabilizacja wideo
- przetwarzanie obrazów

Jest natywnie napisana w języku C++. Jednakże, stworzone zostały także wrappery, które pozwalają używać jej przy użyciu języka Java, Python, na systemach mobilnych Android i iOS. Dodatkowo wspiera platformę CUDA, co umożliwia przeprowadzanie obliczeń na jednostkach obliczeniowych kart graficznych firmy Nvidia.

4 System Android

Projekt został stworzony na urządzenia mobilne oparte na systemie Android. Jest on najpopularniejszym systemem mobilnym na świecie.

Firmę Android Inc. stworzono w Palo Alto w Kalifornii w Październiku w 2003 roku. Założycielami są Andy Rubin, Rich Miner, Nick Sears oraz Chris White. W lipcu w 2005 roku, firma Google kupiła ją za 50 milionów dolarów. Zaś 5 listopada 2007 roku, Google zaprezentowało open source'owy system o nazwie Android. Jego popularność powstała między innymi dzięki sklepowi z aplikacjami Google Play Store, który aktualnie zawiera około 2 miliony i 800 tysięcy aplikacji. W 2017 roku, system ten posiadał 86 procent rynku systemów mobilnych na świecie, co tylko potwierdza jego olbrzymi sukces.

5 AndroidCV

5.1 Wstęp

AndroidCV to aplikacja stworzona na system Android. Jej głównym celem jest umożliwienie użytkownikom korzystania z zaawansowanych operacji przetwarzania obrazów zawartych w bibliotece OpenCV. Aplikacja pozwala na:

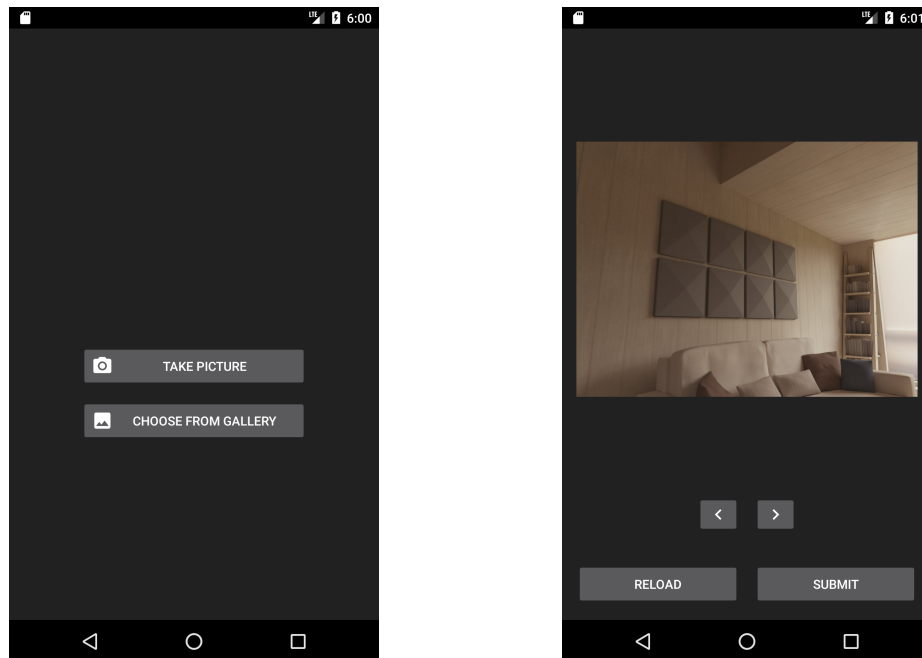
- wyrównanie histogramu
- obliczenie histogramu
- ekstrakcję linii poziomych i pionowych
- znajdowanie krawędzi
- zastosowanie filtru Bilateralnego
- rozmycie Gaussa
- przekształcenia morfologiczne - erozję, dylatację, otwarcie, zamknięcie, gradient, TopHat oraz Black Hat
- podstawowe progowanie
- zastosowanie operatora Sobel’a oraz operatora Laplace’a
- zastosowanie otoczki wypukłej
- znajdowanie krawędzi metodą Canny

5.2 Interfejs użytkownika

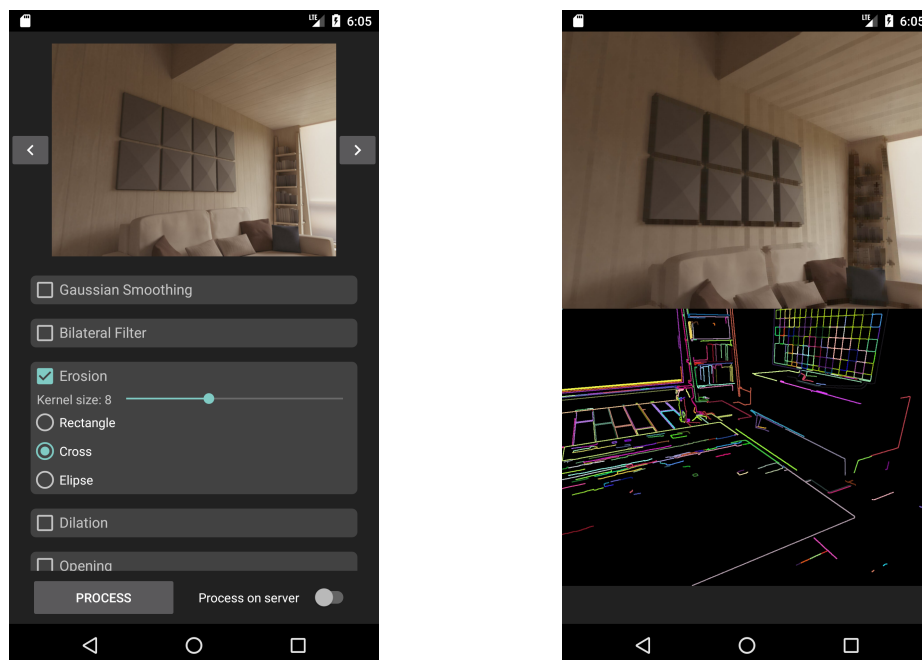
Ekran startowy pozwala użytkownikowi zrobić zdjęcie lub wybrać je z galerii. W przypadku wybrania kilku zdjęć pojawiają się strzałki, dzięki którym można zmienić podgląd wybranych elementów. Jest również możliwość na nowo wybrania zdjęć po przyciśnięciu przycisku Reload. W przypadku chęci zatwierdzenia wyborów należy wcisnąć przycisk Submit.

Wyświetlany jest wtedy użytkownikowi kolejny ekran. Jest nim menu operacji. W górnej części ekranu wyświetlane jest zdjęcie, które chcemy przetworzyć. Poniżej są wyświetlane dostępne operacje, które wybiera się przy pomocy checkboxów. Po wybraniu konkretnej operacji, wyświetlane są poniżej jej argumenty, które użytkownik może zmieniać. Na dany obraz można aplikować dowolną ilość operacji. Na samym dole wyświetlany jest przełącznik służący do wyboru miejsca przetwarzania - na telefonie lub na zewnętrznym serwerze. W przypadku przetwarzania większej ilości zdjęć, wyświetlane są strzałki, które pozwalają na zmianę obrazu. Każdy obraz przetwarzany jest osobno, dlatego użytkownik może wybrać różne operacje oraz miejsce przetworzenia dla każdego wyboru. Do zatwierdzenia służy przycisk Process akceptujący wybory i powodujący rozpoczęcie przetwarzania.

Użytkownik zostaje wtedy przekierowywany do ekranu gdzie znajdują się wyniki. Wszystkie obrazy umieszczone są jeden pod drugim, w przewijanej liście. Dodatkowo, użytkownik ma możliwość dokładniejszego zobaczenia obrazu klikając na niego. Otwiera się wtedy dodatkowe okno ze zdjęciem umożliwiające jego zbliżanie i oddalanie.



Rysunek 1. Ekran wyboru zdjęć



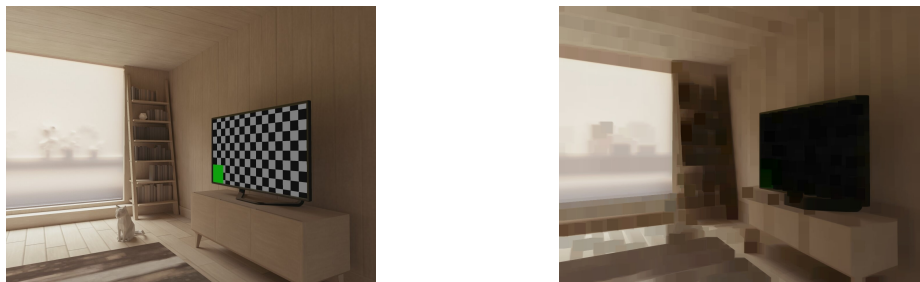
Rysunek 2. Ekran wyboru operacji i ekran przedstawiający wyniki

5.3 Przykłady

Erozja - przykład podstawowego przekształcenia morfologicznego. Jej działanie polega na obcinaniu brzegów obiektu na obrazie. Jej konsekwencją jest zmniejszenie obiektu, zniknięcie wąskich gałęzi i małych obiektów, likwidacja szumu, rozszerzenie się „dziur” w niespójnym obszarze

Podstawowe progowanie - przedstawienie obrazu w formie czarno białej, gdzie użytkownik wyznacza granicę, która dzieli piksele na takie, które powinny być czarne i takie, które powinny być białe, zależnie od ich jasności.

Znajdowanie konturów - jako kontur rozumiana jest linia łącząca wszystkie punkty wzdłuż granicy obrazu o tej samej intensywności



Rysunek 3. Od lewej: obraz oryginalny, przykład erozji



Rysunek 4. Od lewej: podstawowe progowanie, znajdowanie konturów

6 Serwer

Jako, że operacje przetwarzania obrazów wymagają znacznych zasobów, do aplikacji została dodana możliwość przeprowadzenia operacji na zewnętrznym serwerze. Jest on oparty na rozwiązaniu o nazwie REST API. Jest to usługa sieciowa zaimplementowana na bazie protokołu HTTP i głównych zasad wzorca REST.

REST - Representational State Transfer - to styl architektury oprogramowania opierający się o zbiór wcześniej określonych reguł opisujących jak definiowane są zasoby, a także umożliwiających dostęp do nich.

API - Application Programming Interface - to zestaw reguł definiujący komunikację pomiędzy programami komputerowymi

Sposób działania:

1. Klient przygotowuje zapytanie w postaci odpowiedniego adresu (endpoint)
2. Wysyła to zapytanie do interfejsu
3. Serwer otrzymuje zapytanie i je przetwarza
4. Serwer zwraca odpowiedź do klienta poprzez poprzedni interfejs

Komunikując się z takim serwerem można użyć 4 metod znanych z HTTP: GET, POST, PUT i DELETE

W stworzonym systemie udostępniany jest tylko jeden endpoint. Jest to spowodowane tym, że na jednym zdjęciu robionych jest wiele różnych operacji, których kolejność jest istotna. Dlatego zamiast wielu adresów, osobnego dla każdej operacji, stworzony został jeden. Przyjmuje on tablicę bajtów zdjęcia jako Multi-PartFile oraz strukturę tekstową Json zawierającą informacje o operacjach jakie mają zostać zaaplikowane na przesłane zdjęcie, wraz z ich argumentami.

7 Testy

W ramach testów użyto telefonu Samsung Galaxy S4 z systemem Android 7.0. Posiada on procesor Snapdragon 600 o takowaniu 1,9 GHz oraz 2 GB pamięci RAM. Jako serwer został wykorzystany laptop Asus UX410UA z procesorem Intel Core i7 7500U o taktowaniu 3.5 GHz oraz 16 GB pamięci RAM.

Do testów użyto tego samego zdjęcia w trzech różnych rozmiarach:

- 3840x2160 - 4K
- 2560x1440 - 2K
- 1280x720 - 720p

Tablica 1. Przetwarzanie obrazów przeprowadzone na telefonie

Telefon	Wyrównanie histogramu	Top Hat	Znajdowanie konturów
4K	2.989	21.155	30.306
2K	1.605	9.527	11.715
720p	0.612	1.2	1.063

Tablica 2. Przetwarzanie obrazów przeprowadzone na serwerze

Serwer	Wyrównanie histogramu	Top Hat	Znajdowanie konturów
4K	2.071	2.45	2.374
2K	1.016	1.346	1.301
720p	0.612	0.613	0.642

Na każdym zdjęciu przeprowadzono 3 różne operacje - wyrównanie histogramu, przekształcenie morfologiczne Top Hat oraz detekcję konturów.

Patrząc na wyniki w tabelach nr 1 i 2, pomimo dodatkowych czasów związanych z przesłaniem obrazu, serwer w każdym teście był szybszy. Największą różnicę widać w przypadku zdjęcia o największej ilości pikseli. Wynosi ona aż 28 sekund. Można też zauważyć, że z mniej wymagającymi operacjami telefon poradził sobie podobnie jak serwer.

8 Możliwości rozbudowy

Przedstawiona postać aplikacji zawiera jedynie załączek możliwości biblioteki OpenCV. W przyszłości planowane jest dodanie kolejnych operacji przetwarzania obrazów zawartych w bibliotece oraz dodanie funkcji, która sprawdzałaby jak szybkie jest połączenie z serwerem, aby móc sugerować użytkownikowi czy bardziej efektywne będzie przetwarzanie zdjęcia na telefonie czy serwerze.

Dodatkowo, biblioteka posiada funkcjonalność podziału filmów na klatki, a następnie ponownego ich złączenia. Wobec tego, z niewielkim nakładem pracy, aplikacja może zyskać możliwość przetwarzania filmów, gdzie można by było aplikować operacje nie na pojedyncze zdjęcia, a na wszystkie wydzielone klatki pliku wideo.

Oprócz tego, jako że konfiguracja środowiska pod bibliotekę OpenCV jest trudna i długa, należałoby stworzyć plik do tworzenia kontenera Docker, który zautomatyzowałby cały proces.

9 Stos technologiczny

- AndroidStudio - środowisko programistyczne służące do tworzenia aplikacji na system Android
- Retrofit - biblioteka ułatwiająca implementację wymiany danych poprzez HTTP
- OpenCV w wersji 4.1.1
- IntelliJ IDEA - środowisko programistyczne służące do tworzenia aplikacji w języku Java
- Spring Boot - framework służący do szybkiego tworzenia aplikacji opartych o framework Spring
- Gson - biblioteka służąca do serializacji oraz deserializacji pomiędzy JSON a POJO
- Maven i Gradle - narzędzia automatyzujące budowę aplikacji

10 Podsumowanie

Celem niniejszego artykułu było przybliżenie czytelnikowi pojęcia przetwarzania obrazu oraz przedstawienie aplikacji, która by umożliwiała przeprowadzanie skomplikowanych operacji z tej dziedziny na telefonie. Funkcjonalności znane z zaawansowanych systemów bez problemu można zastosować w programach na telefon używając do tego darmowej i łatwo dostępnej biblioteki OpenCV. Ze względu na ograniczone możliwości urządzeń mobilnych, trzeba pamiętać o problemie wydajnościowym jaki ze sobą niesie obróbka zdjęć. Zaproponowane rozwiązanie zmniejsza problem o ile posiadamy odpowiednio szybkie połączenie sieciowe oraz możliwość uruchomienia zewnętrznego serwera na mocniejszej maszynie. Testy potwierdziły, że przy szybkim łączu i odpowiednio wydajnym procesorze niemal każda operacja jest przeprowadzana szybciej niż na słabszym sprzętowo telefonie. Pokazuje to wagę problemu, który należy brać pod uwagę projektując takie systemy.

Literatura

1. Kari Pulli, Anatoly Baksheev: Real-Time Computer Vision with OpenCV
2. Eric Gregori: Developing OpenCV Computer Vision Apps for the Android Platform
3. Sapan Thakker, Prof. Harsh Kapadia: Image Processing on Embedded Platform Android
4. Marco A. Hudelist, Claudiu Cobârzan, Klaus Schoeffmann: OpenCV Performance Measurements on Mobile Devices
5. Damir Demirovic, Amira Šerifovic-Trbalic, Naser Prljaca, Philippe C. Cattin: Evaluation of Image Processing Algorithms on ARM Powered Mobile Devices