

Grafika Komputerowa (GRK)

Laboratorium

Ćwiczenie 2

Podstawy cyfrowego przetwarzania obrazów



Politechnika Warszawska

Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny



Materiały opracowane w ramach zadania 15 "Modyfikacja międzywydziałowych studiów I stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna" projektu "NERW PW. Nauka – Edukacja – Rozwój – Współpraca", współfinansowanego jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

1. Wstęp

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi technikami cyfrowego przetwarzania obrazów w skali szarości. Temat zajęć jest ściśle związany z zagadnieniami omawianymi w trakcie wykładu nr 4 z GRK, stąd też zalecane jest zapoznanie się z jego treścią przed przystąpieniem do laboratorium.

W części praktycznej ćwiczenia używany będzie program GIMP (https://www.gimp.org).

2. Reprezentacja obrazu

Przedmiotem zainteresowania niniejszego ćwiczenia są dwuwymiarowe obrazy bitmapowe. Obrazy kolorowe zwykle reprezentowane są za pomocą trzech niezależnych składowych barwnych, jednak dla prostoty dalsze rozważania ograniczone zostaną do obrazów w skali szarości, zawierających jedną składową odwzorowującą jasność. Tym samym obraz można przedstawić w postaci dwuwymiarowej tablicy *I* o rozmiarze *M* x *N* oraz skończonym zakresie wartości całkowitych. Rozmiar tej tablicy określa liczbę pojedynczych punktów obrazu – zwanych pikselami (ang. *pixel*) – rozlokowanych w dyskretnej, dwuwymiarowej przestrzeni złożonej z *M* wierszy oraz *N* kolumn. Każdy piksel w dowolnej lokalizacji przestrzennej (*x*, *y*) w obrazie (takiej że $0 \le x < M$ oraz $0 \le y < N$) przyjmuje wartość *I*(*x*, *y*) z dyskretnego przedziału [0; 2^{B} -1], gdzie *B* jest liczbą bitów kodujących jasność piksela. Dla typowych obrazów w skali szarości wykorzystujemy *B* = 8 bitów, a więc piksele obrazu mogą przyjmować wartości całkowite od 0 do 255 (zatem jest 256 poziomów szarości). Liczba bitów wykorzystywanych do reprezentacji pojedynczego piksela często określamy dynamiką poziomów jasności (czyli np. możemy mówić o 8-bitowej dynamice poziomów jasności). Przykład obrazu cyfrowego w skali szarości pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Obraz *I* o 8-bitowej dynamice poziomów jasności oraz rozmiarze *M* x *N*. Po prawej stronie ilustracji pokazano w powiększeniu zaznaczony czerwonym kwadratem fragment obrazu wraz z liczbowymi wartościami

2.1. Histogram obrazu

Histogram obrazu jest tablicą, w której każdemu indeksowi odpowiada jeden poziom jasności (czyli dla 8-bitowej skali szarości jej długość wynosi 256), a każdy z elementów jest równy liczbie wystąpień w obrazie pikseli o danej jasności. Histogram jest zwykle przedstawiany w formie graficznej, jako wykres liczby pikseli o różnych wartościach. Na rysunku 2 pokazano przykładowe obrazy i ich histogramy.



Rys. 2. Przykładowe obrazy i ich histogramy: a) obraz oryginalny o prawidłowej jasności; b) obraz niedoświetlony (histogram przesunięty w lewą stronę, wartość średnia w zakresie początkowych wartości skali szarości); c) obraz prześwietlony (histogram przesunięty w prawą stronę, średnia w zakresie końcowych wartości skali szarości)

Histogram często wykorzystywany jest do prostej oceny jakości obrazu, a w szczególności jego jasności i kontrastu, będących fundamentalnymi cechami obrazu, w istotny sposób wpływającymi na odbiór zawartych w nim informacji. Z histogramu wyliczyć można szereg parametrów statystycznych, które dobrze przekładają się na subiektywny odbiór obrazu. I tak, przykładowo:

- na podstawie wartości średniej można wnioskować o globalnej jasności obrazu, czyli określać, czy jest on "niedoświetlony" lub "prześwietlony";
- na podstawie wartości minimalnej i maksymalnej oraz odchylenia standardowego można wnioskować o kontraście, który związany jest z liczbą wykorzystanych poziomów jasności spośród wszystkich dostępnych przy danej dynamice.

W odróżnieniu od histogramu klasycznego, **histogram skumulowany** jest tablicą, w której wartość dla *i*-tego indeksu (dla *i*-tego poziomu szarości) reprezentuje sumaryczną liczbę wystąpień w obrazie pikseli o jasności nie mniejszych od *i*. Innymi słowy, dla dowolnego indeksu (poziomu jasności) z histogramu skumulowanego przechowywana jest całkowita liczba wystąpień wszystkich pikseli o poziomie jasności mniejszym lub równym poziomowi szarości (indeksowi), w jakim aktualnie się znajdujemy (rysunek 3).



Rys. 3. Porównanie histogramów klasycznego (kolor czarny) i skumulowanego (kolor szary)

3. Cyfrowe przetwarzanie obrazów

Głównym celem cyfrowego przetwarzania obrazów jest poprawa ich jakości oraz uwypuklenie istotnych cech. Efektem przetwarzania jest inny obraz (dalej oznaczany jako *J*), powstały na skutek zastosowania pewnego przekształcenia. Można wskazać wiele typów przekształceń, należących do kilku ogólnych grup, z których na potrzeby ćwiczeń laboratoryjnych wyróżnione zostaną dwie:

- **przekształcenia bezkontekstowe (punktowe)**, w których poszczególne piksele modyfikowane są niezależnie od wartości elementów sąsiadujących;
- **przekształcenia kontekstowe (lokalne)**, w których piksele obrazu modyfikowane są zależnie od pewnego lokalnego otoczenia (kontekstu);

Oddzielnymi i ważnymi grupami są również przekształcenia geometryczne (przesunięcia, obroty, odbicia, itp.), widmowe oraz morfologiczne, które jednak nie będą omawiane w ramach niniejszego ćwiczenia.

3.1. Przekształcenia bezkontekstowe (punktowe)

Przekształcenia bezkontekstowe są jednym z najprostszych podejść do przetwarzania obrazów. Określane są mianem przekształceń typu "jeden do jednego", gdyż zmodyfikowana wartość piksela zależy wyłącznie od jego obecnej jasności i nie wypływa na nią ani lokalizacja piksela w przestrzeni obrazu, ani jasności sąsiednich pikseli. Typowym zastosowaniem przekształceń punktowych jest zmiana jasności i kontrastu, zmierzająca do lepszego uwidocznienia treści zawartej w obrazie.

Funkcje przekształcające wartości pikseli mogą mieć charakter (rysunek 4):

- liniowy, gdzie przykładami mogą być proste operacje arytmetyczne typu dodanie (odjęcie) stałej, czy też pomnożenie (podzielenie) przez stałą;
- nieliniowy, np. przy użyciu funkcji potęgowej, logarytmicznej, pierwiastkującej, itp.



Rys. 4. Przykładowe funkcje punktowej transformacji pikseli obrazu

Dzięki swej prostocie przekształcenia punktowe mogą być wykonywane szybko i efektywnie nawet na dużych obrazach. Z pomocą przychodzą tutaj **tablice LUT** (ang. *LookUp Table*), zawierające przeliczone wcześniej wartości funkcji przekształcających. Indeksami w takiej tablicy są wszystkie poziomy jasności, które mogą wystąpić w obrazie (np. liczby z zakresu od 0 do 255 dla 8-bitowej skali szarości), zaś odpowiadającymi im elementami są wartości przetworzone, obliczone według zadanego przekształcenia. W ten sposób wykonanie operacji dla danego piksela sprowadza się do pobrania z tablicy LUT elementu występującego pod indeksem równym aktualnej wartości piksela.

Prostym przykładem punktowego przekształcenia liniowego jest **operacja wyznaczania negatywu,** w której jasności poszczególnych pikseli przekształcanego obrazu przyjmują wartości stanowiące różnicę pomiędzy maksymalnym poziomem jasności (np. równym 255 dla 8-bitowej skali szarości) a jasnością odpowiadających im pikseli obrazu oryginalnego. Na rysunku 5 przedstawiono – patrząc od lewej – obraz pierwotny, wizualizację tablicy LUT oraz efekt operacji wyznaczania negatywu.



Rys. 5. Negatyw obrazu

Kolejnym przykładem jest progowanie (ang. thresholding), po którym piksele o jasności mniejszej od zadanego progu przyjmują wartość 0, a pozostałe – wartość maksymalną (rysunek 6). Przekształcenie to jest o tyle istotne, że może być traktowane jako prosta metoda segmentacji obrazu, czyli jego podziału na obszary jednorodne pod względem wybranej cechy (którą w tym przypadku jest poziom jasności pikseli).







Rys. 6. Progowanie obrazu

Operacja dodawania (odejmowania) stałej przesuwa cały obraz w kierunku jaśniejszych (ciemniejszych) zakresów poziomów szarości. Natomiast mnożenie przez stałą powoduje zwiększenie kontrastu (dla stałej o wartości większej od 0 i mniejszej od 1) lub jego zmniejszenie (dla stałej większej od 1). Przykład zmian jasności i kontrastu obrazu przedstawiono na rysunkach 7 i 8.





Rys. 7. Zwiększenie globalnej jasności obrazu przez dodanie stałej wartości



Rys. 8. Zwiększenie kontrastu uzyskane poprzez pomnożenie wartości pikseli obrazu przez stałą

Zastosowanie przekształceń nieliniowych pozwala wpływać na kontrast w wybranych zakresach jasności. I tak użycie funkcji potęgowej o wykładniku większym od 1 powoduje generalnie przyciemnienie obrazu przy jednoczesnej poprawie kontrastu jasnych partii, podczas gdy wykładnik z zakresu (0, 1) powoduje ogólne rozjaśnienie obrazu z poprawą kontrastu najciemniejszych obszarów (rysunek 9).



Rys. 9. Poprawa kontrastu ciemnych obszarów przez użycie funkcji potęgowej o wykładniku z zakresu (0, 1)

Inną grupą przekształceń punktowych są operacje, w których funkcje transformujące wyznaczane są na podstawie histogramu obrazu. Pierwszą z nich jest **rozciągnięcie histogramu**, które polega na liniowym przeskalowaniu aktualnie wykorzystywanego zakresu poziomów jasności na cały zakres możliwy dla danej dynamiki. W wyniku tej operacji obraz wyjściowy będzie wprawdzie nadal zawierał tyle samo wykorzystanych poziomów szarości (poziomów szarości o niezerowej liczbie zliczeń w histogramie), jednak będą one rozmieszczone w całym dopuszczalnym zakresie, dzięki czemu poprawie ulegnie kontrast. Funkcja transformująca jest w tym przypadku liniowa (w praktyce ma ona postać taką samą, jak przy zmianie kontrastu, co widać przy porównaniu rysunków 8 i 10), więc kształt histogramu pozostanie niezmieniony, a jedynie nastąpi jego rozciągnięcie w poziomie. Na rysunku 10 zilustrowano idee oraz przykładowe działanie operacji rozciągnięcia histogramu.



Rys. 10. Ilustracja techniki rozciągania histogramu. W lewym dolny rogu obraz oryginalny. Po prawej stronie na dole histogram obrazu oryginalnego. Powyżej (nad histogramem obrazu oryginalnego) liniowa funkcja transformacji, a obok niej z lewej strony histogram po rozciągnięciu. W lewym górnym rogu pokazano obraz wynikowy

Drugą ze standardowych operacji jest **wyrównywanie histogramu**, w którym dąży się do wykorzystania całego zakresu dynamicznego przy jednoczesnym możliwie równomiernym rozkładzie liczby wystąpień każdego z poziomów jasności (tak, by liczba pikseli o jasności leżącej w każdym z równych przedziałów histogramu była w przybliżeniu taka sama – histogram powinien być możliwie jednostajny). Innymi słowy wyrównanie histogramu dąży do ujednolicenia rozkładu pikseli we wszystkich dostępnych poziomach jasności. Operacja ta używa funkcji transformującej w postaci obwiedni histogramu skumulowanego, co zostało przedstawione na rysunku 11.



Rys. 11. Ilustracja techniki wyrównywania histogramu. W lewym dolny rogu obraz oryginalny. Po prawej stronie na dole histogram obrazu oryginalnego wraz z nałożonym histogramem skumulowanym. Powyżej (nad histogramem obrazu oryginalnego) nieliniowa funkcja transformacji (bazująca na obwiedni histogramu skumulowanego), a obok niej z lewej strony histogram po transformacji. W lewym górnym rogu pokazano obraz wynikowy

3.2. Przekształcenia kontekstowe (lokalne)

Przekształcenia kontekstowe to grupa bardziej zaawansowanych metod przetwarzania, stosowanych najczęściej w celu wygładzenia obrazu i redukcji szumu, bądź też wyostrzenia go i detekcji krawędzi. Są to przekształcenia typu "wiele do jednego", gdyż określają nową wartość piksela na podstawie obliczeń wykonywanych na pikselach znajdujących się w pewnym lokalnym otoczeniu (kontekście) aktualnie przetwarzanego punktu obrazu. W praktycznych realizacjach otoczenie lokalne wyznaczane jest zwykle przez kwadratowe okienko o rozmiarach 3x3, 5x5, 7x7 pikseli lub czasem większe.

Przekształcenia tej klasy nazywane są **filtracją przestrzenną** obrazów, zaś okno wyznaczające kontekst – **maską filtru**. Proces filtracji polega na przemieszczaniu maski piksel po pikselu w całym obszarze obrazu i wykonywaniu obliczeń, których wynik staje się w obrazie wyjściowym *J* wartością piksela o pozycji (*x*, *y*) równej aktualnemu położeniu centralnego elementu maski. Właściwości filtracji wynikają z przyjętego modelu obliczeń realizowanych w obrębie maski filtru. Wyróżniamy dwa ogólne grupy takich modeli: liniowe i nieliniowe.

3.2.1. Liniowa filtracja obrazów

Cechą charakterystyczną masek filtrów linowych jest występowanie w nich współczynników wagowych – maska jest zatem dwuwymiarową tablicą liczb. Sama filtracja realizowana jest jako **splot cyfrowy** obrazu *I* z maską *h*, a wartość każdego piksela nowego obrazu *J* wyznaczana jest jako:

$$J(x,y) = \sum_{i=-m}^{m} \sum_{j=-n}^{n} h(i,j) \cdot I(x-i,y-j) , \qquad (1)$$

przy czym rozmiar maski wynosi $(2 \cdot m + 1) \ge (2 \cdot n + 1)$, np. 3 ≥ 3 jeśli *m* oraz *n* są równe 1. W uproszczeniu można powiedzieć, że operacja splotu polega na wymnożeniu pikseli objętych maską filtru przez odpowiadające im współczynniki i zsumowaniu otrzymanych iloczynów (w zależności od rodzaju filtru może być wymagana normalizacja wyniku, aby nie wykraczał on poza oryginalny zakres poziomów szarości). Obliczona w ten sposób suma staje się nową wartością piksela wyznaczanego przez centralny element maski. Schematycznie operację filtracji liniowej w oparciu o splot pokazano na rysunku 12.



Rys. 12. Schemat pojedynczego kroku filtracji liniowej bazującej na operacji splotu [M. Basavarajaiah, medium.com]

Warto zauważyć, że o rezultacie filtracji decydują wartości współczynników maski. Zgodnie z konwencją nazewniczą stosowaną w cyfrowym przetwarzaniu sygnałów wyróżnia się dwie ogólne grupy filtrów: **dolnoprzepustowe** (wygładzające, redukujące szum) oraz **górnoprzepustowe** (wyostrzające lub krawędziowe, uwypuklające krawędzie i detale obrazu). Przykładowe maski filtrów obu rodzajów oraz efekty ich użycia pokazano na rysunku 13.

W pierwszym przykładzie (rysunek 13b) obraz wynikowy jest mniej ostry, nieco rozmyty. Jest to **filtracja wygładzająca**, będąca efektem uśredniania wartości pikseli w kontekście maski. Stanowi ona przykład filtracji typu dolnoprzepustowego – tłumione są wysokoczęstotliwościowe składowe, niosące informacje o niewielkich strukturach i krawędziach, podczas gdy bez większych zmian pozostają składowe o niskiej częstotliwości, zawierające głównie informacje o jednolitych i wolnozmiennych obszarach obrazu (często mówi się, że taka filtracja przenosi składową stałą). Filtry wygładzające są wykorzystywane głównie do **odszumiania**, czyli redukcji poziomu szumu, który zwykle ma charakter wysokoczęstoliwościowy. Pewną niedogodnością związaną z użyciem do odszumiania filtrów liniowych jest to, że wraz z uśrednianiem (efektywnie redukującym wybrane rodzaje szumu) rozmyciu ulegają także krawędzie oraz detale obrazu. Cechą charakterystyczną filtrów dolnoprzepustowych są dodatnie wartości współczynników maski filtru,

których suma jest większa od jedności. Z tego powodu konieczna jest normalizacja wyniku operacji splotu tak, aby mieścił się on w oryginalnym zakresie poziomów jasności ([0; 255] dla 8-bitowych obrazów). Normalizacji takiej dokonuje się dzieląc nową wartość piksela przez sumę współczynników maski.



Rys. 13. Obraz oryginalny (a) oraz efekty filtracji wygładzającej (b), krawędziowej (c) i wyostrzającej (d)

Obraz z rysunku 13c powstał na skutek użycia **filtru krawędziowego**, będącego typowym przykładem filtru górnoprzepustowego: w obrazie pozostały składowe wysokoczęstotliwościowe przy jednoczesnym stłumieniu składowych niskoczęstotliwościowych. Filtry tego rodzaju służą wyłapywaniu elementów cechujących się szybkimi zmianami jasności: konturów, krawędzi, czy też drobnych tekstur. Jednocześnie prawie wszystkie punkty wchodzące w skład obiektów o jednolitej jasności zostają usunięte, stąd też mówi się, że taka filtracja nie przenosi składowej stałej. Wadą filtracji górnoprzepustowej jest fakt, że może ona wzmocnić także wysokoczęstotliwościowy szum. Dlatego też zwykle przed detekcją krawędzi dokonuje się odszumienia obrazu przy użyciu filtru wygładzającego. Jeśli przyjrzymy się masce filtru górnoprzepustowego, to możemy zauważyć dwie charakterystyczne rzeczy. Po pierwsze występują w niej zarówno dodatnie, jak i ujemne wartości, a suma wszystkich elementów wynosi 0. Po drugie w ułożeniu współczynników można zaobserwować występowanie pewnych symetrii (w odniesieniu do wartości bezwzględnych współczynników), które zapewniają kierunkowość przetwarzania.

I w końcu trzeci przypadek: na rysunku 13d obserwujemy obraz, który w odniesieniu do oryginału jest lepiej wyostrzony. Na pierwszy rzut oka efekt działania filtru wydaje się wyraźnie inny niż poprzednio, ale również tu mamy do czynienia z filtracją górnoprzepustową. Jednakże w tym przypadku wynik typowej filtracji górnoprzepustowej (z rysunku 13c) został zsumowany z obrazem oryginalnym (mówimy, że od obrazu krawędziowego dodano składową stałą). Filtracja tego typu określana jest mianem **wyostrzającej**. Warto zwrócić uwagę na dwie charakterystyczne cechy maski takiego filtru. Po pierwsze współczynniki są zwykle rozłożone symetrycznie względem środka maski, co zapewnia bezkierunkowy charakter działania. Po drugie zaś, suma współczynników maski wynosi 1, a nie 0, jak w filtrach krawędziowych. Wynika to z dodatkowej jedynki w środku maski: jeśli odejmiemy jeden od centralnego elementu, to pozostanie typowa maska filtru krawędziowego o sumie współczynników wynoszącej zero. Można to porównać do zsumowaniem maski filtru krawędziowego z maską jednostkową, złożoną z samych zer oraz jedynki na centralnej pozycji (czyli taką maską, która przenosi oryginalną wartość piksela bez żadnej modyfikacji).

3.2.2. Nieliniowa filtracja obrazów

Praktyczna realizacja filtracji nieliniowej najczęściej polega na użyciu **filtru o statystyce porządkowej**. Również w tym przypadku mamy do czynienia z maską wyznaczającą lokalny kontekst przetwarzania. Różnica tkwi jednak w innej zasadzie filtracji oraz braku współczynników maski, która tutaj pełni jedynie rolę okna określającego zbiór pikseli do przetwarzania. Filtracja ma charakter dwuetapowy. W pierwszej kolejności wykonywane jest sortowania wartości pikseli objętych maską. Następnie z uszeregowanych wartości wybierana jest jedna, zgodnie z pewną przyjętą regułą (np. "wybierz wartość minimalną"). Tak wybrana liczba staje się nową jasnością centralnego piksela w otoczeniu objętym przez maskę. Typowymi przedstawicielami tej klasy są filtry minimum, maksimum oraz najbardziej popularny – **filtr medianowy**, który z uporządkowanego zbioru liczb wybiera wartość środkową, czyli medianę (rysunek 14).



Rys. 14. Idea działania filtru medianowego

Największą zaletą filtracji medianowej jest bardzo skuteczne usuwanie szumów impulsowych (np. typu "sól i pieprz") oraz zdolność do zachowywania położenia i ostrości granic struktur (w przeciwieństwie do liniowych filtrów odszumiających, które powodują rozmycie krawędzi). Filtracja medianowa nie jest jednak wolna od wad – ze względu na charakter działania ma ona tendencje do "obgryzania narożników" obiektów obecnych w obrazie. W przypadku kwadratowej maski usytuowanej na brzegu obiektu może dochodzić do sytuacji, w których większa część maski obejmuje nie obiekt, lecz np. znajdujące się za nim tło – wówczas dominującą wartością będzie odcień tła i taka wartość zostanie przypisana pikselowi po filtracji. Przykład działania filtracji medianowej pokazano na rysunku 15.



Rys. 15. Przykład działania filtru medianowego a) obraz zakłócony szumem typu "sól i pieprz"; b) obraz po użyciu filtru medianowego; c) obraz po użyciu liniowego filtru dolnoprzepustowego (wygładzającego)

4. Przetwarzanie obrazów w programie GIMP

Podstawy obsługi programu GIMP zostały już wcześniej omówione w instrukcji do ćwiczenia nr 1, dlatego też poniżej skrótowo przedstawione zostaną jedynie narzędzia bezpośrednio związane z tymi metodami przetwarzania obrazów, których dotyczy niniejsze laboratorium. Dokładniejszy opis wszystkich funkcji programu dostępny jest w dokumentacji pod adresem <u>https://docs.gimp.org</u>.

4.1. Histogram

Histogram aktualnie edytowanego obrazu wyświetlany jest w specjalnym panelu otwieranym za pomocą opcji **Okna→ Dokowalne okna dialogowe → Histogram**. Domyślnie panel ten pojawi się jako zakładka (karta) po prawej stronie obszaru roboczego, jednak na potrzeby ćwiczenia wygodniejsze może okazać się zrobienie z niego osobnego okna dialogowego (opcja **Odłącz kartę** w menu otwieranym przyciskiem ^[II]).

Panel histogramu, oprócz samego wykresu, wyświetla również proste statystyki obrazu, w tym średnią, medianę i odchylenie standardowe wartości pikseli. Domyślnie statystyki liczone są dla pełnej dynamiki skali szarości, jednak można ograniczyć ich wyznaczanie do pewnego zakresu jasności, do wyboru którego służą dwa trójkątne suwaki umieszczone poniżej wykresu histogramu (rysunek 16).

Funkcji zaznaczania zakresu można też użyć do określenia maksymalnej i minimalnej jasności w obrazie: przesuwając odpowiedni suwak (np. dolny w przypadku szukania minimum) od skraju skali w kierunku jej środka należy zwrócić uwagę na punkt, w którym zacznie się zmieniać wartość w polu **Liczność**. W analogiczny sposób, śledząc pole **Kafelek procentu**, można ustalić granicę zakresu, w którym mieszczą się jasności zadanego procenta pikseli.



Rys. 16. Panel histogramu z zaznaczonym zakresem wartości, dla którego liczone będą statystyki

4.2. Przekształcenia bezkontekstowe

Okno dialogowe **Kolory** → **Krzywe** (rysunek 17) pozwala definiować zarówno liniowe, jak i nieliniowe przekształcenia bezkontekstowe (opis w punkcie 3.1). Odbywa się to w sposób graficzny, poprzez modyfikację położeń punktów kontrolnych krzywej reprezentującej funkcję przekształcającą. Początkowo dostępne są dwa punkty kontrolne (na obu końcach przekątnej wykresu), co daje możliwość tworzenia przekształceń liniowych. Kliknięcie w dowolnym punkcie wykresu powoduje dodanie kolejnego punktu kontrolnego, co zwiększa stopień krzywej i umożliwia definiowanie przekształceń nieliniowych.

Okno pozwala również wczytać gotowe krzywe z pliku: w tym celu należy otworzyć menu dostępne pod przyciskiem z ikoną 🖃, a następnie wybrać opcję **Zaimportuj bieżące ustawienia z pliku**.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że efekt przekształcenia może być śledzony na bieżąco, zarówno na całym obrazie (opcja **Podgląd**), jak i na jego części (dodatkowo włączona opcja **Podzielony widok**).



Rys. 17. Definiowanie funkcji przekształceń bezkontekstowych: liniowych (po lewej) i nieliniowych (po prawej)

4.3. Przekształcenia kontekstowe (filtracja przestrzenna)

Menu **Filtry** gromadzi bogaty zestaw narzędzi pozwalających modyfikować obrazy przy użyciu różnych algorytmów. Znaczna ich część ma jednak charakter czysto artystyczny i wykracza swym działaniem poza obszar cyfrowego przetwarzania obrazów. Należy też podkreślić, że większość z nich w rzeczywistości nie jest filtrami przestrzennymi w ścisłym znaczeniu tego terminu.

Bezpośrednie definiowanie masek filtrów liniowych (punkt 3.2.1) umożliwia funkcja **Filtry** \rightarrow **Ogólne** \rightarrow **Zniekształcenia macierzowe**. Związane z nią okno dialogowe (rysunek 18) pozwala wprowadzić współczynniki masek o rozmiarach nie większych niż 5 x 5. W przypadku zaznaczenia opcji **Normalizuj** wynik zostanie dodatkowo poddany normalizacji (podzieleniu przez sumę współczynników). Włączenie tej opcji jest konieczne dla filtrów wygładzających o wszystkich współczynnikach dodatnich, natomiast należy ją wyłączyć dla filtrów wyostrzających i krawędziowych z ujemnymi współczynnikami. Okno pozwala też wczytać maski z pliku (**Zaimportuj bieżące ustawienia z pliku** w menu pod ikoną **S**).

Nieliniowe filtry o statystyce porządkowej (punkt 3.2.2) można tworzyć w oknie **Filtry** \rightarrow **Rozmycie** \Rightarrow **Rozmycie** środkowe (rysunek 18). Pozwala ono ustalić kształt maski (**Sąsiedztwo**) oraz jej rozmiar (**Promień**) i regułę wyboru wartości (**Procent**). Wprawdzie nie jest to typowy sposób definiowania tego typu filtrów, jednak oferuje on dużą swobodę doboru parametrów. Przykładowo kwadratowe sąsiedztwo o promieniu 1 i procencie 50 odpowiada filtrowi medianowemu z kwadratową maską 3 x 3 (promień 2 zwiększa maskę do 5 x 5, procent równy 0 oznacza filtr minimum, a równy 100 – filtr maksimum).

🕍 Zniekształcenia macierzowe		×	Rozmycie środkowe	×
Cipaboon.png-12 ([baboon] (zaimp	rzowe ortowany))	C	Rozmycie środkowe baboon.png-12 ([baboon] (zaimp	ortowany))
<u>U</u> stawienia:		✓ + ◄	<u>U</u> stawienia:	✓ + ④
0.00 • 0.00 • 0.00	0.00	• 0.00	Sąsiedztwo	Okrąg 🗸
0.00 • 2.00 • 4.00	2.00	• 0.00	Promień	3 🖡
0.00 • 4.00 • 16.00	4.00	• 0.00	Dracont	50.00
0.00 2.00 4.00	2.00	• 0.00	Procent	• 00.00
0.00 • 0.00 • 0.00	• 0.00	• 0.00	Procent alfy	50.00 茾
E D	\Leftrightarrow	8	Polityka głębi	Zacisk 🗸
Podzielnik 10	Drzesupiecie	0.000	Wysoka dokładność	
	1 12couniçere	*	Użycie zaznaczenia jako wejścia	\sim
✓ Kanał czerwieni	🗹 Normalizuj		✓ Podgląd	Podzielony widok
🗹 Kanał zieleni	✓ Ważenie alfa			
🗹 Kanał niebieskiego	Krawędź	Zacisk 🗸	Pomo <u>c</u> <u>P</u> rzywróć	<u>O</u> K <u>A</u> nuluj
🗹 Kanał alfa				
Użycie zaznaczenia jako wejścia		\sim		
✓ Podgląd	🗌 Po	<u>d</u> zielony widok		
Pomo <u>c</u> <u>P</u> rzywróć	<u>O</u> K	<u>A</u> nuluj		

Rys. 18. Okna filtracji przestrzennej: liniowej (po lewej) i nieliniowej (po prawej)

5. Zadania do wykonania

W trakcie zajęć należy przygotować w edytorze tekstu Writer z pakietu LibreOffice dokument zawierający sprawozdanie. Obrazy można umieszczać w sprawozdaniu za pośrednictwem schowka systemowego (kombinacja klawiszowa **Win+Shift+S** kopiuje do niego obraz wybranego fragmentu ekranu), lub też eksportować z GIMPa w formacie PNG, a następnie importować je do LibreOffice (opcja **Wstaw** → **Obraz**). Rysunki histogramów i funkcji przetwarzających najlepiej kopiować poprzez schowek.

Podstawy przetwarzania obrazów w programie GIMP

Zad. 1. Wykonać wspólnie z prowadzącym zestaw zadań mających na celu prezentację podstawowych opcji służących do przetwarzania obrazów w programie GIMP.

Przekształcenie bezkontekstowe (1.5 punktu)

Zad. 2.1. Wczytać obraz *Obraz2_1*. Korzystając z opcji **Kolory** \rightarrow **Krzywe** (opis w punkcie 4.2 instrukcji) zdefiniować liniową funkcję zwiększającą jasność obrazu o stałą wartość, jednakową dla całego zakresu skali szarości (przykład na rysunku 7 w punkcie 3.1). Po wykonaniu przekształcenia zaobserwować jego wpływ na histogram obrazu, który jest wyświetlany w panelu **Histogram** (opis w punkcie 4.1). Wrócić do pierwotnego obrazu i w podobny sposób zdefiniować przekształcenie zmniejszające jasność, a następnie funkcje zwiększającą i zmniejszającą kontrast (rysunek 8 w punkcie 3.1).

W sprawozdaniu umieścić cztery histogramy: po zwiększeniu i zmniejszeniu jasności oraz po zwiększeniu i zmniejszeniu kontrastu. Histogramom powinny towarzyszyć rysunki odpowiednich krzywych opisujących funkcje przekształcające. Krótko opisać wpływ dokonanych modyfikacji na położenie i kształt histogramu.

Zad. 2.2. Wczytać obraz *Obraz2_2*. W oknie **Kolory** → **Krzywe** wczytać ustawienia z pliku *gamma.lut* (służy do tego opcja **Zaimportuj bieżące ustawienia z pliku** z menu otwieranego przyciskiem (), obejrzeć kształt krzywej i wykonać przekształcenie.

Jaki charakter ma to przekształcenie i jak wpłynęło na czytelność jasnych i ciemnych partii obrazu? Zdefiniować funkcję o odwrotnym działaniu i umieścić jej rysunek oraz efekt działania w sprawozdaniu.

Zad. 2.3. Wczytać obraz *Obraz2_3.* Za pomocą opcji **Kolory** \rightarrow **Progowanie** dokonać progowania, którego celem jest możliwie dokładne wyodrębnienie zadanego przez prowadzącego fragmentu obrazu. Wrócić do oryginalnego obrazu i w oknie **Kolory** \rightarrow **Krzywe** zdefiniować funkcję realizującą takie samo progowanie.

W sprawozdaniu umieścić obraz wynikowy, wartość progu oraz rysunek funkcji przekształcającej. Czy użycie progowania jako prostej metody segmentacji obrazu (czyli wyodrębniania spójnych obszarów) dało w tym przypadku w pełni satysfakcjonujący wynik? Jeśli nie, to czy można go poprawić ograniczając działanie przekształcenia do zaznaczonego obszaru obrazu?

Rozciąganie i wyrównywanie histogramu (1 punkt)

Zad. 3.1. Wczytać obraz *Obraz3_1* i wykonać automatyczne rozciągnięcie histogramu przy użyciu opcji **Kolory** → **Automatycznie** → **Rozciągnij kontrast**.

W sprawozdaniu umieścić obraz wynikowy oraz jego histogram. W jaki sposób operacja wpłynęła na jakość obrazu i odbiór jego zawartości?

Zad. 3.2. Wrócić do obrazu *Obraz3_1* lub ponownie go wczytać. Na podstawie histogramu określić jego minimalną i maksymalną jasność (punkt 4.1). Dysponując tymi wartościami zdefiniować w oknie **Kolory** → **Krzywe** liniową funkcję przeskalowującą zakres histogramu na pełen zakres skali szarości. Porównać wynik z tym uzyskanym w poprzednim punkcie.

W sprawozdaniu umieścić rysunek funkcji przekształcającej oraz wartości, na podstawie których została ona wyznaczona. Czy efekty rozciągnięcia automatycznego i ręcznego są porównywalne?

Zad. 3.3. Wrócić do obrazu *Obraz3_1* lub ponownie go wczytać. Spróbować dodatkowo poprawić kontrast obrazu w porównaniu z punktem 3.2 przez "ucięcie" ogonów histogramu, czyli pominięcie podczas definiowania przekształcenia pewnego procentu pikseli o najmniejszych i/lub największych wartościach.

W sprawozdaniu umieścić obraz wynikowy oraz jego histogram. Skomentować uzyskany efekt.

Przekształcenie kontekstowe (1.5 punktu)

Zad. 4.1. Otworzyć obraz *Obraz4_1*. Używając okna **Filtry** → **Ogólne** → **Zniekształcenia macierzowe** (opisz w punkcie 4.3 instrukcji) dokonać filtracji liniowej z użyciem trzech prostych masek. **UWAGA:** przy definiowaniu maski filtru (c) należy włączyć opcję **Normalizuj**.

	0	0	0			0	0	0			1	1	1
a)	0	1	0	b)	0	0	0	C	:)	1	1	1
	0	0	0			0	0	0			1	1	1

W sprawozdaniu umieścić obrazy po filtracji. W oparciu o znajomość sposobu działania splotu cyfrowego (opis w punkcie 3.2.1) spróbować wyjaśnić efekty działania tych filtrów – w tym celu należy zastanowić się, do jakich operacji w praktyce sprowadza się splot w obrębie maski o wartościach takich, jak w tym zadaniu.

Zad. 4.2. Otworzyć obraz *Obraz4_2* (jest taki sam jak *Obraz4_1*). W analogiczny sposób jak poprzednim zadaniu wykonać filtrację liniową z podanymi poniżej maskami. **UWAGA:** przy definiowaniu maski filtru (a) należy włączyć opcję **Normalizuj.**

	1	2	1	0	$^{-1}$		0		0	$^{-1}$	0
a)	2	4	2	b) _1	5	,	$^{-1}$	c)	$^{-1}$	4	-1
	1	2	1	0	-1		0		0	$^{-1}$	0

W sprawozdaniu umieścić obrazy po filtracji. Co można powiedzieć o poszczególnych maskach? Jaki rodzaj filtrów reprezentują (np. dolnoprzepustowe, górnoprzepustowe) i jakie są efekty ich użycia (np. wyostrzenie, wygładzenie, wykrycie krawędzi)?

Zad. 4.3. Otworzyć obraz *Obraz4_3* i wykryć w nim krawędzie przy użyciu filtru krawędziowego z zadania 4.2 lub jednego z filtrów zdefiniowanych w oknie **Filtry** → **Wykrywanie krawędzi** → **Krawędź**. Zwrócić uwagę na to, jaki wpływ na wynik detekcji krawędzi ma obecny w obrazie szum. Przywrócić oryginalny obraz i odszumić go a pomocą filtru wygładzającego z poprzedniego zadania lub opcji **Filtry** → **Rozmycie** → **Rozmycie Gaussa**, a następnie ponownie wykryć krawędzie.

W sprawozdaniu umieścić obrazy po obu operacjach detekcji krawędzi. Skomentować wpływ wygładzania na skuteczność wykrywania krawędzi w zaszumionych obrazach.

Zad. 4.4. Otworzyć obraz *Obraz4_4*. Jest on zakłócony impulsowym szumem typu "sól i pieprz". Wykonać na nim filtrację medianową korzystając z okna dialogowego **Filtry** → **Rozmycie** → **Rozmycie środkowe** (opis w punkcie 4.3). Wypróbować różnych rodzajów i rozmiarów sąsiedztwa, tak aby dobrać filtr, który skutecznie usuwa szum, a jednocześnie w jak najmniejszym stopniu wpływa na rozmycie krawędzi. Użyć na tym samym obrazie liniowego filtru rozmywającego z poprzedniego zadania i porównać wyniki.

W sprawozdaniu umieścić obrazy po obu rodzajach filtracji i odpowiedzieć na pytanie, który z nich wydaje się być bardziej odpowiedni do tego typu szumu i dlaczego?



Politechnika Warszawska

Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny



Materiały opracowane w ramach zadania 15 "Modyfikacja międzywydziałowych studiów I stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna" projektu "NERW PW. Nauka – Edukacja – Rozwój – Współpraca", współfinansowanego jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego