



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Instrukcja współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej – zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności
do zatrudniania osób niepełnosprawnych”*

Instrukcja jest dystrybuowana bezpłatnie.

Instrukcja do laboratorium

Hubert Nowak

Wstęp do komputerowej analizy obrazów

Zadanie nr 13 – Studia podyplomowe „Przetwarzanie i analiza obrazów biomedycznych”



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl



Wprowadzenie

ImageJ to środowisko programowe do przetwarzania i analizy obrazów cyfrowych. Jest darmowym oprogramowaniem dystrybuowanym na zasadach Public domain. Program jest napisany w języku Java i jest przeznaczony dla wielu różnych platform sprzętowych jak Linux, Mac OS, Windows i innych. ImageJ wzorowano na programie Image NIH (National Institute of Health).

Program obsługuje wiele typowych formatów plików obrazowych JPG, GIF, BMP, TIFF, jak również specjalistyczne formaty plików np. DICOM. Pozwala wyświetlać obrazy monochromatyczne i barwne w wielu różnych głębi bitowych (32, 16, 8). Zawiera wiele funkcji przetwarzania obrazów o bardzo dużych rozmiarach. Domyślnie zawiera podstawowe funkcje do manipulacji danymi obrazowymi takie jak kopiowanie, wklejanie, skalowanie, kadrowanie i obroty. Posiada także wiele bardziej złożonych funkcji przetwarzania obrazów jak korekcja jasności, kontrastu i barw oraz funkcje do filtracji i poprawy jakości obrazu. Program wyposażono także w podstawowe narzędzia do analizy i pomiaru wybranych cech obrazu. Obsługuje zarówno pojedyncze obrazy jak i ich sekwencje (np. serie obrazów z tomografu komputerowego czy sekwencje wideo).

Program wyposażono w funkcje przydatne do trójwymiarowej wizualizacji obrazów (np. na podstawie obrazów tomograficznych). Oprócz standardowych funkcji dostępnych w programie ma on duże możliwości rozbudowy. ImageJ jest wyposażony w rejestrator i edytor skryptów. Tworzone za jego pomocą makra (procedury przetwarzania składające się z wielu funkcji) pozwalają pisać procedury przetwarzania obrazów złożone z sekwencji funkcji wbudowanych w program (można wykorzystać także wcześniej stworzone makra). Makra można tworzyć samodzielnie, ale istnieje także duży wybór makr dostępnych w Internecie. Oprócz makr można rozszerzać możliwości programu przez dodatkowe funkcje tworzone w języku Java - tzw. "plugins". W Internecie udostępniono wiele gotowych pluginów pozwalających na tworzenie zaawansowanych funkcji przetwarzania obrazów jak również wsparcie dla nie obsługiwanych domyślnie formatów plików oraz rejestracji obrazów bezpośrednio z kamer cyfrowych.

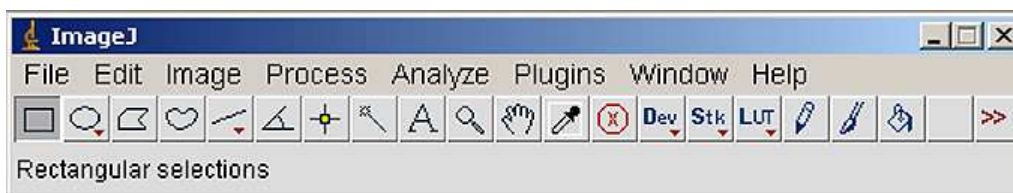
Instalacja

Program w wersji instalacyjnej oraz kod źródłowy można pobrać bezpłatnie ze strony <http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html>. Najnowsza wersja programu 1.41 dostępna w lutym 2009 jest rozprowadzana wraz z wersją środowiska Java 1.6 (środowisko Javy jest konieczne do działania programu).

Instalacja programu ImageJ w systemie Windows sprowadza się do pobrania odpowiedniej wersji pliku instalacyjnego i uruchomieniu go. Program instalacyjny wymaga podania docelowego katalogu na dysku komputera, w którym program ma zostać zainstalowany (najprościej jest wybrać zaproponowaną przez program lokalizację domyślną).

Podstawy pracy w programie ImageJ

Program ImageJ ma stosunkowo nietypowy interfejs użytkownika.



Po uruchomieniu widoczne jest tylko menu główne programu i pasek narzędzi, którego część może być zmieniana. Kolejne zakładki menu głównego to:

File - operacje na plikach,

Edit - podstawowe funkcje edycji obrazu (kopiowanie, wklejanie, kadrowanie, modyfikacja obszaru zaznaczenia, ...),

Image - zestaw funkcji modyfikowania obrazu: jego typu, rozmiaru, sposobu wyświetlania - skalowanie, operacje na zbiorach obrazów, ...

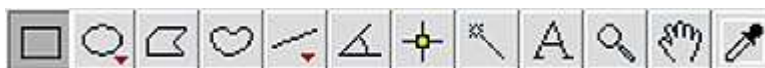
Process - zawiera funkcje do filtracji i poprawy jakości obrazu, operacje matematyczne na obrazach i funkcje przetwarzania obrazów binarnych,

Analyze - podstawowe funkcje analizy obrazu i pomiaru jego wybranych cech,

Plugins - zestaw narzędzi do obsługi i tworzenia "makr" oraz funkcji dodawanych do programu jako tzw. pluginy.

Window i Help są typowymi zakładkami menu w aplikacjach okienkowych i zawierają opcje kontroli wyświetlanych okien i dostęp do pomocy programu.

Znajdujący się pod menu głównym pasek narzędzi ma dwie części.



Pierwsza (licząc od lewej strony) zawiera stałe elementy służące do zaznaczania fragmentów obrazu i podstawowe narzędzia edycji (próbnik koloru i narzędzie tekstowe) oraz wspomagające pracę z obrazem (przewijanie i lupa). Warto zwrócić uwagę na ikony przycisków z miniaturowymi trójkątami. Tak oznaczone przyciski mają dodatkowe podmenu, które jest wyświetlane po kliknięciu na ikonę prawym klawiszem myszy.



Druga część paska narzędzi zawiera różne zestawy funkcji, które użytkownik może zmieniać. Do zmiany zawartości tej części paska narzędzi służy menu wyboru dostępne po kliknięciu na ostatni przycisk paska narzędzi. Domyślnie jest widoczny zestaw narzędzi zawierających funkcje: rysowania, przyciski wyświetlające menu z funkcjami do pracy z makrami i pluginami, funkcje wykorzystywane do pracy ze zbiorami obrazów oraz menu wyboru palety kolorów, w jakiej wyświetlany jest obraz.

Pod paskiem narzędzi znajduje się pasek komunikatów wyświetlających informacje o współrzędnych kursora znajdującego się w polu obrazu wyświetlanego w oknie graficznym programu.

Podczas pracy z programem obrazy są wyświetlane w oddzielnych oknach graficznych. Jednocześnie może być otwartych wiele okien graficznych oraz okien dialogowych do sterowania wykonywanymi funkcjami. Należy pamiętać, że uruchamiane funkcje będą

wykonywane na obrazie wyświetlanym w aktywnym oknie (odpowiednio podświetlony pasek tytułu okna).

1. Operacje na plikach (menu File)

Menu File zawiera funkcje do podstawowych działań na plikach: wczytywanie, wyświetlanie i zapisywanie obrazów do pliku oraz funkcje drukowania.

File>Open

Uwaga: Zapis **File>Open** oznacza że należy wybrać z menu programu ImageJ zakładkę **File** a następnie komendę **Open**.

Otwiera standardowe okno dialogowe do wyboru pliku z dysku. Można wczytać pliki graficzne zapisane w wielu powszechnie stosowanych formatach: jpg, gif, bmp, png, tiff, ale także pliki graficzne w formatach specjalistycznych, np. stosowanych w medycznej diagnostyce obrazowej, takich jak DICOM. Inne formaty plików mogą być wczytywane przy użyciu dodatkowych rozszerzeń funkcji programu (tzw. plug-ins), które można pobrać z Internetu.

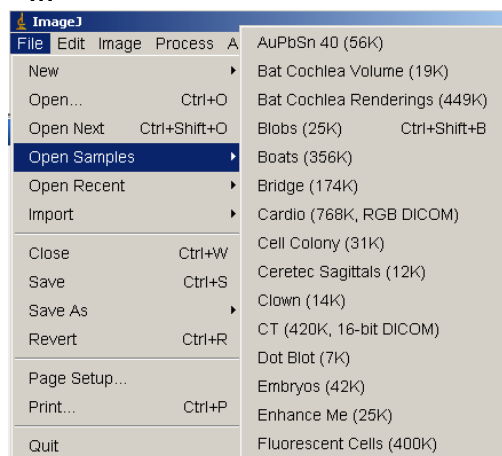
W przypadku plików TIFF czy DICOM, które pozwalają przechowywać w jednym pliku graficznym wiele obrazów możliwe jest ich wczytanie jako sekwencji obrazów tzw. STACK.

Po otwarciu pliku obraz jest wyświetlany w nowym oknie graficznym. Jeśli rozmiar obrazu jest duży (np. większy niż ekran) to jest on skalowany tak aby w całości mieścił się na ekranie. Stopień skalowania wyświetlony jest na pasku okna z obrazem obok nazwy pliku.



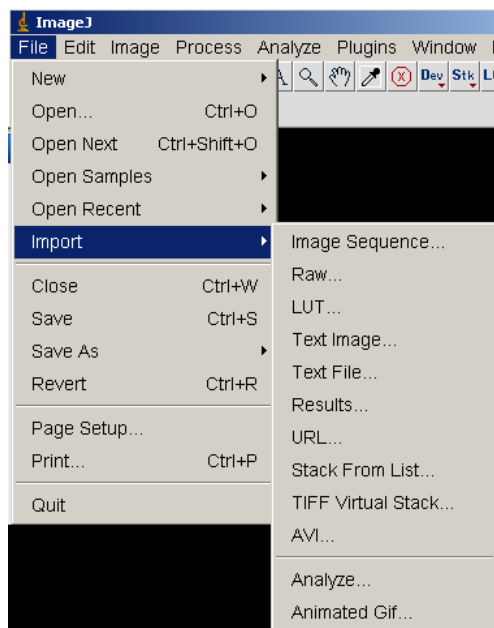
Pod paskiem nazwy okna graficznego znajduje się wiersz z następującymi informacjami o wyświetlanym obrazie:

- liczba obrazów i aktualnie wyświetlany numer obraz z sekwencji (o ile wczytano sekwencję obrazów np. z pliku DICOM),
- rozmiary obrazu w milimetrach (dla niektórych formatów plików),
- rozmiary w pikselach,
- sposób kodowania kolorów,
- wielkość pliku
- ...



Funkcja **File>OpenNext** służy do analizy wielu obrazów umieszczonych w jednym folderze. Wczytuje ona kolejny plik z folderu, z którego pochodzi ostatnio otwarty plik. Poprzednio wczytany plik musi być aktualnie wyświetlany.

Do ćwiczeń i zapoznania się z możliwościami pakietu ImageJ przydatna jest funkcja **File>OpenSamples**. Zawiera ona listę przykładowych obrazów różnych typów, które można pobrać z Internetu (funkcja ta zadziała, jeżeli komputer jest połączony z siecią Internet).



Pliki z internetu można pobierać także z innych adresów sieciowych. Do tego celu służy kolejna funkcja **File>Import**, gdzie z rozwijalnego menu należy wybrać opcję **URL... (File>Import>URL...)**, po czym w nowo otwartym oknie wpisać adres sieciowy pliku.

Pozostałe opcje importu plików dotyczą nie tylko obrazów ale np. danych tekstowych uzyskanych w wyniku przetwarzania obrazu. W dolnej części podmenu **Import** pod linią podziału znajdują się funkcje importu różnych formatów plików instalowane jako dodatki (plug-ins).

File>Close zamyka plik zawierający aktualnie wyświetlany obraz. Jeśli obraz został zmodyfikowany to przy zamykaniu pliku pojawi się pytanie czy zapisać zmieniony obraz.

Funkcja **File>Save** zapisuje zmiany w pliku oryginalnym. Podobnie funkcja **File>Save As**, która zapisuje plik pod nową wybraną nazwą. W oknie dialogowym zapisu należy także wskazać format pliku w jakim ma on zostać zapisany.

Przydatną funkcją jest **File>Revert**, która wczytuje oryginalną wersję aktualnie otwartego pliku.

Pozostałe funkcje są typowe dla większości programów i nie będą tu omawiane.

[Zadanie 1]

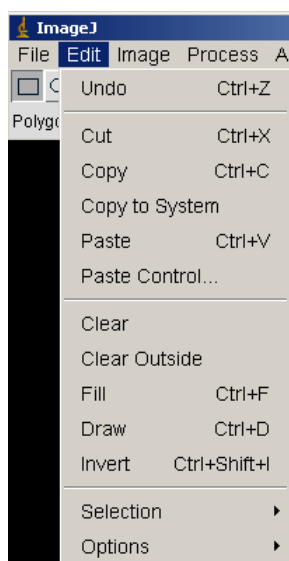
Wczytaj obrazy przykładowe z menu **File>Open Samples** i zapoznaj się z informacjami o wyświetlanym obrazie:

„Boats”
„Neuron”
„Cardio”
„Organ of Corti”
„Enhance Me”
„MRI Stack”

Uwaga: W cudzysłowach podano nazwy pozycji odpowiadające plikom – nie są one tożsame z nazwami plików. Ta sama konwencja zapisu jest stosowana także w dalszej części skryptu.

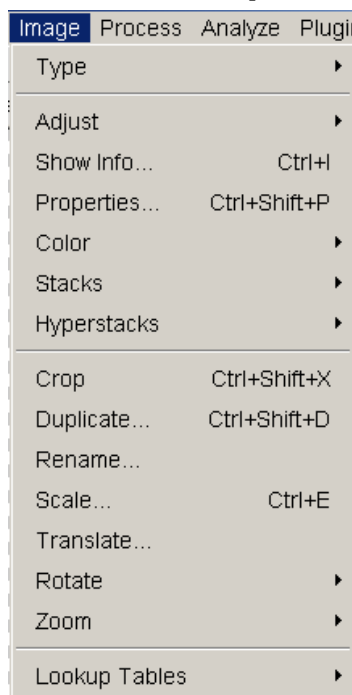
Przy otwieraniu pliku z sekwencją obrazów (tzw. Stacks) u dołu okna graficznego jest widoczny suwak pozwalający na wybór poszczególnych obrazów z sekwencji. W niektórych plikach graficznych kanały barw są zapisywane wg takiego schematu jak sekwencja obrazów. Wtedy także, za pomocą suwaka, można przełączać kanały barwne do wyświetlenia (zob. np. obraz „Organ of Corti”). Dla sekwencji obrazów z podziałem na kanały barwne dostępne są dwa suwaki.

2. Podstawowe funkcje edycji obrazu (menu Edit)



Funkcje menu **Edit** są omówione w dalszej części instrukcji przy objaśnianiu innych komend programu ImageJ. W tym miejscu zwróćmy uwagę na bardzo przydatną funkcję z tego menu tj. funkcję **Edit>Undo**, która cofa ostatnią wykonaną operację w programie ImageJ (funkcja ta jest również dostępna po zastosowaniu tzw. skrótu klawiaturowego **<ctrl>+<z>**).

3. Operacje punktowe obrazu - korekcja jasności, kontrastu i kolorów... (menu Image)



Menu **Image** zawiera funkcje zmiany parametrów obrazu.

To menu zawiera funkcje do zmiany typu obrazu, korekcji jasności i kontrastu, rozmiarów, narzędzia do manipulacji kanałami barwnymi i obrazami w sekwencjach (stacks), skalowanie i modyfikacje palety kolorów w jakiej obraz jest wyświetlany oraz kilka funkcji pomocniczych jak zmiana skali wyświetlanego obrazu (lupa – zoom), duplikat obrazu, wyświetlanie informacji o obrazie i pliku oraz kilka innych.

Większość zawartych tu funkcji pełni zadania pomocnicze lub wpływa jedynie na sposób wyświetlania obrazu. Modyfikacje są wprowadzane przede wszystkim przez korekcję jasności kolorów i kontrastu.

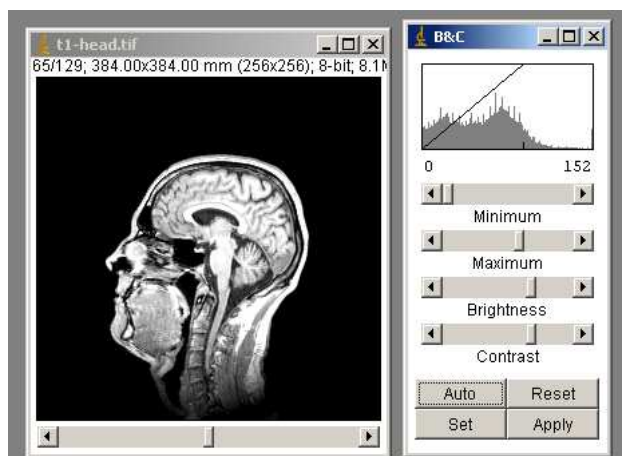
Zmianę kontrastu i jasności uzyskuje się poprzez liniową transformację poziomów jasności (w obrazach kolorowych transformacji poddawana jest każda składowa barwa obrazu). W uproszczeniu nachylenie wykresu funkcji transformacji odpowiada za zmianę kontrastu natomiast jej przesunięcie w kierunku poziomym odpowiada za zmiany średniej jasności

obrazu.

Funkcje dopasowania jasności i kontrastu obrazu zebrano w podmenu **Image>Adjust**.

Pierwsza pozycja z tego podmenu to **Brightness/Contrast**.

Wyświetlone okno dialogowe pozwala zmienić jasność i kontrast obrazu na dwa sposoby.



W oknie dialogowym widzimy podgląd histogramu obrazu, w którym oś pozioma reprezentuje skalę jasności obrazu (podane są wartości minimum i maksimum zakresu), a oś pionowa odwzorowuje liczbę pikseli o poszczególnych jasnościach w obrazie. W początkowym ustawieniu, wykres funkcji przekształcania histogramu jest linią prostą od punktu (0,0) do punktu o maksymalnych wartościach na osi poziomej i pionowej. Dla takiej linii transformującej jasność i kontrast obrazu nie ulegają zmianie. Za pomocą suwaków

Minimum i **Maximum** (wyświetlonych poniżej histogramu) można zmieniać położenie i nachylenie funkcji transformującej, a tym samym zmieniać odpowiednio parametry jasności i kontrastu obrazu wynikowego. Wykres prostej transformującej przecina oś poziomą w punkcie wskazywanym suwakiem **Minimum**, podobnie maksimum przekształcanych poziomów jasności ustawiamy suwakiem **Maximum**.

Przy zmianie ustawień suwaków **Minimum** i **Maximum** automatycznie zmieniają swoje ustawienia suwaki **Brightness** - jasność i **Contrast** - kontrast. Widzimy zatem jak współczynniki liniowego przekształcenia poziomów jasności wpływają na zmianę dwóch podstawowych parametrów obrazu. Można również zmieniać ustawienia suwaków **Brightness** i **Contrast**. Spowoduje to automatyczną zmianę położenia linii transformującej oraz zmianę ustawienia suwaków **Minimum** i **Maximum**.

Sposób korzystania z ww funkcji zależy od celu przetwarzania obrazów. Jeśli chcemy nadać konkretne wartości jasności lub kontrastu obrazu to zestaw suwaków **Brightness-Contrast** będzie wygodniejszy. Jeśli zamierzamy wydzielić z obrazu zadany zakres poziomów jasności to operowanie suwakami **Minimum-Maximum** będzie bardziej skuteczne (np. gdy obraz źródłowy ma dużą głębokość bitową np. 16 bitów, a znacząca część informacji zawiera się w wąskim przedziale jasności). Przed podjęciem decyzji o zastosowaniu konkretnego przekształcenia skali jasności obrazu warto ocenić kształt histogramu obrazu.

[Zadanie 2]

Wczytaj obraz "Enhance Me" z menu **File>Open Samples**

Jak widać z opisu jest to obraz o 8 bitowej głębokości poziomów jasności. Po wybraniu funkcji korekcji jasności i kontrastu **Image>Adjust** zostanie wyświetlony histogram obrazu. Widać, że większość pikseli obrazu ma jasność z przedziału bliskiego 0 co tłumaczy dlaczego jest tak ciemny. Zmień teraz jasność tego obrazu korzystając z suwaka **Brightness**.

Treść obrazu jest teraz lepiej widoczna, niestety w tym przypadku ciągle kontrast obrazu jest bardzo mały. Przywróć ponownie obraz źródłowy wciskając przycisk **Reset** i zwiększ kontrast obraz za pomocą suwaka **Contrast**. Również w tym przypadku zwiększanie kontrastu niewiele pomogło, ponieważ dziedziną wykreślanej funkcji transformującej leży poza zakresem histogramu obrazu źródłowego. Dlatego konieczna jest teraz korekcja jasności (suwak **Brightness** przesun w prawo). Zwiększenie jasności obrazu spowoduje, że obraz będzie nieco wyraźniejszy.

Jeszcze lepszą jakość obrazu uzyskasz odpowiednio ustawiając suwaki **Minimum** i **Maximum**. Działanie takie nazywamy rozciąganiem histogramu.

Podobny efekt może być uzyskany także po zwiększeniu głębi bitowej obrazu pod warunkiem, że w ustawieniach konwersji programu ImageJ (**Edit>Options>Conversions**) zostanie zaznaczona opcja **Scale When Converting**.

Aby wykonać konwersję głębi bitowej wybierz z menu **Image>Type** jedną z głębi **16-bit** lub **32-bit**. Zaobserwuj teraz kształt histogramu obrazu (jeśli okno korekcji nie zostało zamknięte to wystarczy kliknąć w jego obrębie, a histogram zostanie automatycznie zaktualizowany).

[Zadanie 3]

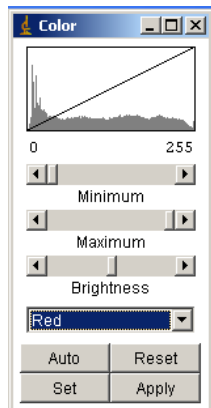
Korekcję skali jasności obrazu można wykonać również dla sekwencji obrazów. Załaduj do programu sekwencję obrazów z pliku „T1-head” (skorzystaj z menu **File>Open Samples**).

Zwróć uwagę jak wygląda obraz na kolejnych zdjęciach sekwencji. W ImageJ takie sekwencje są określane jako "stack". Dla jednej z klatek sekwencji skoryguj jasność i kontrast obrazu. Wprowadzone korekcje dotyczą wszystkich obrazów wyświetlanej sekwencji.

3.1. Korekcja obrazów barwnych

Dla obrazów barwnych korekcja jasności i kontrastu obrazów odbywa się w sposób analogiczny. Jako przykładu użyj obraz jednego z obrazów „M51 Galaxy”, „Clown” dostępnych z menu **File>Open Samples**. W oknie korekcji będzie widoczny histogram jasności obrazu a suwaki posłużą do korekcji kształtu tego histogramu. W tym przypadku korekcja polega na jednoczesnej zmianie jasności poszczególnych składowych.

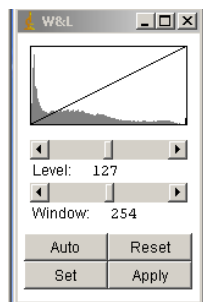
Aby oddzielnie korygować poszczególne składowe barwy należy użyć funkcji **Image>Adjust>Color Balance**.



Okno korekcji zadanej barwy zawiera suwaki **Minimum** i **Maximum** oraz **Brightness**, które działają tak jak dla obrazów monochromatycznych. Nie ma suwaka regulacji kontrastu ale jego zmiany można dokonać za pomocą suwaków **Minimum** i **Maximum**. W dolnej części okna znajduje się pole wyboru składowej barwy, dla której wykonywana jest korekcja. Do wyboru mamy składowe RGB (czerwoną – Red, zieloną – Green i niebieską – Blue) oraz CMY (Cyjan – odcień niebieskiego, Magenta - połączenie czerwieni i niebieskiego, Yellow – żółty). Możemy wybrać również ostatnią pozycję z listy: **All** i wtedy można regulować jasność oraz pośrednio kontrast dla wszystkich składowych barwnych równocześnie.

[Zadanie 4]

Sprawdź jak działa narzędzie korekcji barw i zmień kontrast obrazu „M51 Galaxy”.

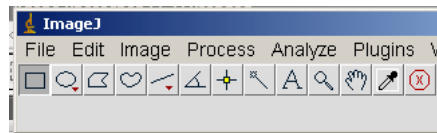


Program imageJ udostępnia również inne narzędzie do korekcji jasności i kontrastu obrazów, które można uruchomić z menu **Image>Adjust>Window/Level**. Działanie tego narzędzia jest podobne do omówionego wcześniej. Inne są natomiast parametry suwaków. Suwak **Window** ogranicza zakres jasności wejściowych, a suwak **Level** określa

położenie jego środka tego zakresu względem zakresu jasności danego typu obrazu.

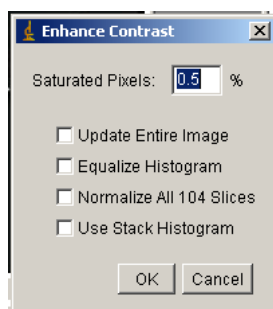
3.2. Zaznaczanie i przetwarzanie fragmentów obrazu

Omówione wcześniej przekształcenia definiowane dla całych obrazów można wykonywać na zaznaczonych jego fragmentach. Do wyboru fragmentów obrazu służą narzędzia znajdujące się na pasku narzędziowym okna programu.



Kolejno od lewej strony znajdują się ikony do zaznaczania fragmentów obrazu w kształcie prostokąta, elipsy (plus tzw. malarz zaznaczenia), wycinanie obszaru liniami łamanymi, dowolną krzywą zamkniętą linią prostą lub łamaną. Narzędzie określane jako różdżka (magic wand) służy do zaznaczania spójnego obszaru obrazu, np. o podobnej jasności jak punkt obrazu, który został wcześniej wskazany różdżką.

Automatyczna korekta kontrastu obrazu dostępna jest także w menu **Process>Enhance Contrast**.



Domyślnym sposobem poprawy kontrastu jest operacja rozciągania histogramu. Przetwarzaniu poddawane są te piksele, których poziom jasności mieści się w określonym przedziale. Piksele spoza tego przedziału przyjmują skrajne wartości (kolor czarny lub biały).

W oknie dialogowym tej funkcji programu można określić procentowy udział w obrazie pikseli, które przyjmują skrajne wartości (Saturated Pixels). Mamy też do wyboru opcję, za pomocą której można zdecydować czy ma być przetwarzany cały obraz czy tylko jego zaznaczony fragment (Update Entire Image), oraz czy poprawa kontrastu ma być wykonana poprzez wyrównywanie histogramu (Equalize Histogram). W przypadku, gdy przetwarzamy sekwencje obrazów można wybrać opcję (Normalize All xxx Slices) wskazującą czy przetwarzać wszystkie obrazy sekwencji (xxx – jest liczbą obrazów sekwencji) czy tylko obraz bieżący. Zaznaczenie opcji Use Stack Histogram powoduje, że przekształcenie obrazu będzie wykonane na podstawie uśrednionego histogramu dla wszystkich obrazów sekwencji łącznie a nie na podstawie histogramu z bieżącego obrazu.

[Zadanie 5]

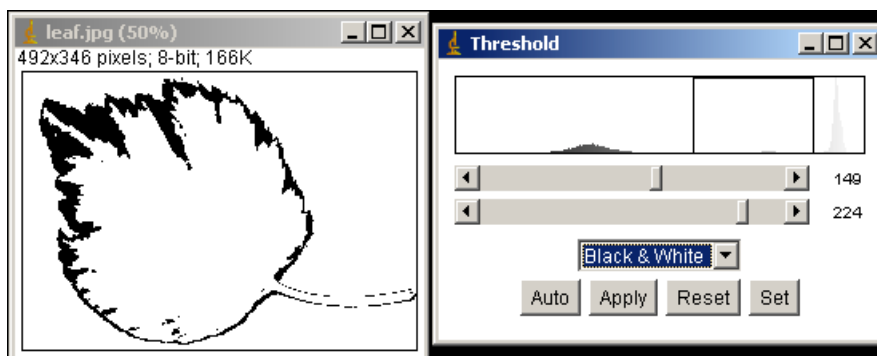
Użyj opisanych narzędzi do zaznaczania fragmentów obrazu „Blobs” a następnie zmień parametry kontrastu i jasności wybranych fragmentów obrazu.

Użyj też do tego celu innego narzędzia o nazwie **Selection Brush Tool**, tj. do malowania zaznaczenia. W tym celu wskaż ikonę elipsy i kliknij prawym klawiszem a następnie wybierz opcję **Selection Brush Tool**. Po wybraniu narzędzia i zaznaczeniu fragmentu obrazu wykonaj korektę jasności oraz kontrastu poprzez wyrównywanie histogramu dla zaznaczonego fragmentu. Narzędzie do malowania zaznaczenia może służyć do zmiany kształtu wcześniej wyznaczonego fragmentu obrazu.

3.2. Obrazy binarne

Obraz binarny to obraz, w którym występują tylko dwa poziomy jasności, np. jasność obiektów i jasność tła. Obrazy tego typu są uzyskiwane po zastosowaniu tzw. progowania obrazu z gradacją jasności. W obrazach binarnych łatwiej przeprowadzić wybrane analizy obrazu jak np. wykrywanie i liczenie obiektów oraz pomiar ich cech geometrycznych.

Aby uzyskać obraz binarny należy wykonać operację progowania obrazu (ang. *thresholding*). Uruchomienie funkcji progowania **Image>Adjust>Threshold** powoduje wyświetlenie okna dialogowego do ustawienia parametrów tej operacji.



W oknie funkcji **Threshold** jest wyświetlony histogram obrazu z zaznaczonymi ustawieniami dwóch suwaków. W najprostszym przypadku progowanie wykorzystuje jedną wartość progową do binaryzacji obrazu. Narzędzie Threshold umożliwia również wykonanie tzw. progowania dwupoziomowego. Punkty obrazu o jasności większej niż pierwszy próg (górny suwak) będą miały po progowaniu nadany kolor biały, a te poniżej, kolor czarny. W przypadku drugiego progu jest odwrotnie. Progowanie dwupoziomowe umożliwia wycięcie z obrazu obszarów o określonym zakresie jasności (tak jak pokazano to na przykładowej ilustracji). Jeżeli obiekty obrazu charakteryzują się podobną jasnością to działanie to pozwala skutecznie wydzielać takie obiekty z obrazu niż progowanie jednopoziomowe.

[Zadanie 6]

Wykonaj progowanie z użyciem najpierw jednej a następnie dwóch wartości progowych. Sprawdź jak działa każda z opcji udostępnionych w oknie dialogowym tej funkcji. Progowanie testuj na obrazach „Blobs” oraz „Leaf”.

Obrazy binarne będą tematem dalszych ćwiczeń.

4. Redukcja zakłóceń obrazu - filtracja przestrzenna (menu Process).

Wiemy już jak korygować podstawowe parametry obrazu i przekształcać je do obrazów binarnych pozostawiając w nich tylko te elementy (obiekty), które są istotne z punktu widzenia dalszej analizy.

Teraz zajmiemy się usuwaniem z obrazu elementów, które powodują zakłócenia i w rezultacie pogarszają jakość obrazu. Działania te nazywamy filtracją przestrzenną obrazu.

Większość funkcji filtracji obrazu znajduje się w menu **Process**.

Dla przypomnienia - większość zakłóceń to tzw. szum. Najprostszym sposobem usuwania szumu obrazu jest tzw. „wygładzanie” obrazu (nazywane też filtracją uśredniającą). Filtracja

ta polega na wyznaczeniu jasności każdego piksela jako średniej z jasności jego otoczenia. Taką funkcję realizuje polecenie **Process>Smooth**. Może się ono odnosić do całego obrazu lub jego fragmentu. Filtrować można zarówno obrazy monochromatyczne jak i obrazy barwne (w programie ImageJ występują tu pewne ograniczenia co do formatów, w takim przypadku jednak można dokonać konwersji obrazu do innego formatu).

Redukcję szumu najlepiej pokazać na przykładzie, do którego wykorzystamy obraz "Enhance-Me".

Jak już się przekonaliśmy, aby poprawić jakość tego obrazu należy skorygować jego jasność i kontrast. Najprościej można to zrobić przez zwiększenie głębi bitowej (np. 16 bitów). Wtedy automatycznie będzie można wyznaczyć minimum i maksimum jasności i na podstawie tych wartości zostanie rozciągnięty histogram obrazu. Można też użyć funkcji normalizacji jasności, czyli **Process>Enhance Contrast** z zaznaczoną opcją **Normalize**. Odpowiedni efekt można wykonać uruchamiając funkcję **Image>Type>16-bit**. Widzimy, że obraz jest zakłócony pojedynczymi punktami białymi i czarnymi (choć te drugie słabo widoczne). Takie impulsowe zniekształcenie nazywane jest szumem typu „sól i pieprz”.

[Zadanie 7]

Wygładź obraz wywołując funkcję **Process>Smooth**.

Jak widać, w wyniku zastosowania wygładzania obrazu zakłócenia obrazu są mniej widoczne. Jednocześnie jednak obraz stracił na ostrości. Żeby jeszcze silniej wygładzić obraz można powtórzyć tę filtrację. Ograniczy się w ten sposób szum, ale również szczegóły obrazu ulegną dalszemu zniekształceniu. W praktycznych zastosowaniach wprowadzane zniekształcenia obrazu mogą być niedopuszczalne.

Spróbujmy zatem zastosować inną filtrację obraz spośród dostępnych filtrów z menu **Process>Filters**. Na obecnym etapie ograniczmy się do filtrów dolnoprzepustowych czyli **Gaussian Blur, Median i Mean**. Spróbujemy też dobrać ręcznie maskę filtru splotowego dostępnego w funkcji **Convolve**.

[Zadanie 8]

Sprawdź, jaki efekt da filtracja uruchamiana funkcją **Process>Filters>Mean...** (w oknie konfiguracji filtru można wybrać wielkość otoczenia, w którym dokonuje się uśrednianie). Dla wartości 1, 2, 3, 5 sprawdź, która daje najlepszy wynik filtracji i jaka jest zależność między wielkością otoczenia a uzyskaną jakością obrazu wynikowego.

Można zauważyć, że dla otoczenia o promieniu 1 wynik pokrywa się z „rozmywaniem” typu **Smooth** i daje podobne wyniki.

[Zadanie 9]

Sprawdź działanie filtru Gaussa - **Process>Filters>Gaussian Blur...** wybierając kilka różnych rozmiarów okna filtru w oknie dialogowym.

Jak widać filtr powoduje „rozmywanie” obrazu, jednak nieco mniejsze niż filtr uśredniający o tej samej rozmiarze okna filtracji. Niestety również zakłócenia obrazu są bardziej widoczne.

[Zadanie 10]

Sprawdź, jakie efekty przetwarzania można uzyskać za pomocą filtru medianowego - **Process>Filters>Median...** dla kilku różnych rozmiarów okna filtracji. Jest to filtr

nieliniowy działający na zasadzie tzw. statystyki porządkowej wyznaczając medianę jasności dla zadanego okna filtracji.

Jak widać przy rozmiarze okna filtru 1 zakłócenia impulsowe obrazu zostały prawie całkowicie usunięte (pozostało kilka pojedynczych zakłóconych punktów).

Podobną zasadę działania mają filtr minimalny i maksymalny. Przy czym zamiast mediany, w oknie filtracji jest wyznaczana wartość maksymalna lub minimalna.

[Zadanie 11]

Podдай filtracji obraz „Enhance-Me”, wykorzystując filtr **Process>Filters>Minimum**, a następnie filtr **Process>Filters>Maximum**. Porównaj działanie tych filtrów dla kilku wartości parametru Radius, tj. rozmiaru okna filtracji.

Takie filtry mają wiele zastosowań, np. są bardzo skuteczne w usuwaniu przekontrastowanych fragmentów zdjęć w fotografiach.

Pokazaliśmy tu przykłady filtrów, z których filtry **Mean** i **Gaussian Blur** oraz **Smooth** należą do grupy filtrów liniowych natomiast **Median**, **Minimum** i **Maximum** realizują filtrację nieliniową.

Filtracja liniowa jest wykonywana poprzez wyznaczenie splotu obrazu z maską filtru. Filtr splotowy dla arbitralnie wybranych współczynników maski można uruchamiać za pomocą funkcji **Process>Filters>Convolve**. Okno konfiguracji filtru zawiera pole tekstowe do edycji współczynników filtru oraz następujące pola opcji: normalizacji (Normalize Kernel) - która powinna być włączona oraz wygodnej funkcji do bezpośredniego podglądu działania filtru (Preview).

Domyślny filtr jest filtrem górnoprzepustowym o rozmiarze maski 5x5. Można zobaczyć efekt jego działania bez trwałej modyfikacji obrazu zaznaczając opcję Preview.

Maskę filtru (tj. jego współczynniki) definiuje się przez zadanie wartości elementów macierzy kwadratowej o nieparzystej liczbie kolumn i wierszy. Elementy macierzy powinny być rozdzielone spacjami. Należy pamiętać, aby nie pozostawiać spacji na końcu linii oraz linii pustych. Wtedy program zasygnalizuje błąd.

[Zadanie 12]

Zmień filtr domyślny na filtr dolnoprzepustowy o masce:

```
1 1 1
1 1 1
1 1 1
```

czyli filtr uśredniający 3 rzędu

oraz na filtr:

```
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
1 1 1 1 1
```

czyli filtr uśredniający 5 rzędu. Zastosuj te maski do filtracji obrazu i porównaj wyniki.

Aby zachować średnią jasność obrazu wynikowego suma współczynników filtru powinna być równa 1. W praktyce konieczne byłoby używanie liczb ułamkowych co wiąże się z większym kosztem obliczeń. Dlatego też jako współczynników filtru używa się liczb całkowitych a po wykonaniu filtracji obraz poddaje się normalizacji (opcja Normalize Kernel).

Program ImageJ umożliwia definiowanie filtrów o dowolnych współczynnikach.

[Zadanie 13]

Zdefiniuj filtr, który będzie „rozmywał” obraz jedynie w kierunku pionowym

```
0 1 0
0 1 0
0 1 0
```

i przez analogię filtr „rozmywający” w kierunku poziomym a następnie filtr „rozmywający” w kierunku ukośnym, tj. pod kątem 45 stopni.

Dla uzyskania bardziej widocznego efektu filtracji zadaj filtr o rzędzie większym niż 3 i poddaj filtracji obraz „Enhance-Me”.

Przypomnijmy, że zakłócenia tego obrazu mają specyficzny charakter i do usuwania tego typu zakłóceń najlepiej nadaje się filtr medianowy.

W pakiecie ImageJ możemy testować działanie filtrów dla innych rodzajów zakłóceń obrazu. Dodanie zakłócenia do obrazu umożliwia zestaw funkcji dostępnych w menu **Process>Noise**.

Add Noise - dodaje szum, którego parametrów nie można kontrolować.

Add Specific Noise - dodaje szum o określonym odchyleniu standardowym, które w pewnym uproszczeniu określa stopień zakłócenia obrazu.

Salt and Pepper - wprowadza szum impulsowy do obrazu (znany już z poprzednich przykładów)

[Zadanie 14]

Dodaj do wybranego obrazu monochromatycznego zakłócenie o standardowym odchyleniu 5 i 25. Na tak zakłóconych obrazach przetestuj skuteczność redukcji zakłóceń za pomocą filtrów: uśredniającego, Gaussa i medianowego.

[Zadanie 15]

Dodaj do obrazu szum „Salt and Pepper” i poddaj go filtracji za pomocą filtrów badanych w ćwiczeniu poprzednim.

Pozostałe dwie funkcje menu **Noise** to bardziej złożone funkcje redukcji zakłóceń. Filtr **Despeckle** jest pewnego rodzaju adaptacyjnym filtrem medianowym. Dokonuje filtracji medianowej dla obszarów obrazu o jednolitej jasności, nie filtruje natomiast fragmentów obrazu o złożonej strukturze (np. brzegów).

Omówione przykłady filtracji przestrzennej obrazu dotyczyły wygładzania obrazu i redukcji zakłóceń.

Filtrację przestrzenną obrazu stosuje się również do poprawy ostrości obrazu. Są to tzw. filtry górnoprzepustowe podkreślające szczegóły obrazu takie jak kontury obrazu i brzegi.

Pakiet ImageJ udostępnia dwie klasy predefiniowanych filtrów górnoprzepustowych dostępnych z menu **Process>Sharpen** i **Process>Filters>Usharp Mask**.

[Zadanie 16]

Zastosuj filtr z menu **Process>Sharpen** do „wyostrzenia” obrazu „Blobs”.

Jest to prosty filtr górnoprzepustowy zachowujący składową stałą.

Bardziej złożonym filtrem wyostrającym jest filtr **Unsharp Mask** dostępny z menu **Process>Filters**. Służy on do „wyostrania” obrazu - szczególnie krawędzi bez ingerowania w obszary o jednolitej jasności. Operacja ta przebiega w trzech etapach. W pierwszym wyznaczany jest obraz po filtracji Gaussa, którego parametry określa wartość **Radius**. Obraz ten jest następnie odejmowany od obrazu oryginalnego aby uzyskać obraz krawędzi obrazu. W ostatnim kroku obraz krawędzi jest mnożony przez współczynnik skalujący **Mask Weight** i dodany do obrazu oryginalnego.

[Zadanie 17]

Zastosuj filtr **Process>Filters>Unsharp Mask** do obrazu monochromatycznego „Blob” i oraz obrazu barwnego „Mandrill”.

Podobnie jak dla filtrów dolnoprzepustowych filtrację górnoprzepustową można definiować przez określenie współczynników filtru splotowego korzystając z narzędzia **Process>Filters>Convolve**.

[Zadanie 18]

Zdefiniuj maskę filtru postaci:

```
-1 -1 -1  
-1 8 -1  
-1 -1 -1
```

Jest filtr górnoprzepustowy nazywany filtrem Laplace’a, w którym suma elementów jest równa zero. Filtr taki powoduje, że usuwana jest z obrazu składowa stała, tj. obszary o zbliżonych jasnościach przyjmą wartości bliskie zera. Podkreślone zostaną natomiast szczegóły obrazu, np. krawędzie.

Jeśli do środkowego współczynnika maski dodamy 1, to suma elementów maski będzie równa 1. W obrazie zostaną zachowane obszary o zbliżonych jasnościach i jednocześnie (ale w mniejszym stopniu) zostaną wyostrome krawędzie i drobne szczegóły obrazu.

Wnioskujemy, że odpowiednio dobierając współczynniki maski filtru można określać własności filtru tak aby służył on do wyostrania obrazu lub do detekcji krawędzi i punktów.

5. Transformacja Fouriera obrazu i filtracja w dziedzinie widma.

Kolejną metodą filtracji obrazu jest zastosowania dwuwymiarowego przekształcenia Fouriera i przeprowadzenie filtracji obrazu w dziedzinie tej transformacji nazywanej widmem obrazu.

Funkcje filtracji obrazu definiowane w dziedzinie widma znajdują się w menu **Process>FFT**.

Zaznaczymy dla przypomnienia, że filtracja w dziedzinie widma polega na wyznaczeniu transformaty Fouriera obrazu, a następnie pomnożeniu jej przez widmo filtru (jego charakterystykę częstotliwościową). Aby uzyskać wynik filtracji należy wykonać odwrotne przekształcenie Fouriera obrazu.

[Zadanie 19]

Dla obrazu „Leaf” wyznacz transformatę Fouriera za pomocą funkcji **Process>FFT>FFT**.

Widmo Fouriera jest obrazem o wartościach zespolonych. W praktyce wykorzystuje się widmo amplitudowe tej transformaty (już o wartościach rzeczywistych) i reprezentuje w postaci obrazu monochromatycznego. Środek obrazu w obrazie widma amplitudowego odpowiada zerowym składowym częstotliwościowym obrazu (tzw. składowa DC). W miarę oddalania od środka widmo obrazu odpowiada coraz to wyższym składowym częstotliwościowym obrazu. Dla obrazów barwnych konieczne jest obliczenie transformat dla każdej składowej stosowanego schematu reprezentacji barw. Bezpośrednio zastosowana funkcja wyświetla tylko jedną składową widma odpowiadającą luminancji obrazu.

Filtracja obrazów w dziedzinie widma polega na „przepuszczeniu” określonych składowych częstotliwościowych i usunięciu innych. Stąd biorą się nazwy filtrów: dolnoprzepustowych, pasmowo przepustowych i górnoprzepustowych. Dla przykładu, „rozmycie” obrazu polega na zachowaniu składowych widmowych obrazu o małej częstotliwości co odpowiada filtracji dolnoprzepustowej. Z kolei „wyostrenie” obrazu polega na pozostawieniu składowych widmowych z górnego zakresu częstotliwości - jest to zatem filtr górnoprzepustowy.

W pakiecie ImageJ usuwanie składowych widmowych polega na nadaniu zerowych wartości zaznaczonym obszarom obrazu widma. Aby nadać taką wartość, fragment obrazu widma należy zaznaczyć, korzystając z narzędzi zaznaczania umieszczonych na pasku narzędziowym. Następnie do zaznaczonego obszaru należy zastosować funkcję **Edit>Fill** (kolorem wypełnienia powinien być kolor czarny).

[Zadanie 20]

Przeprowadź filtrację górnoprzepustową obrazu, dla którego wyznaczono wcześniej transformatę FFT. Aby zaznaczyć obszar małych częstotliwości należy wybrać narzędzie do zaznaczania (np. okrąg) zaznaczyć fragment widma w otoczeniu jego środka, a następnie wypełnić je kolorem czarnym.

Tak przygotowany obraz widma można teraz przekształcić do dziedziny przestrzennej obrazu przy użyciu funkcji transformaty odwrotnej **Process>FFT>Inverse FFT** i sprawdzić efekt działania filtru.

[Zadanie 21]

Przeprowadź filtrację dolnoprzepustową obrazu w sposób analogiczny do sposobu opisanego w zadaniu poprzednim pamiętając o zaznaczeniu odpowiedniego obszaru widma do usunięcia (podpowiedź: aby dla zaznaczenia wypełnić nie jego wnętrze ale otoczenie trzeba po zaznaczeniu fragmentu wybrać **Edit>Selection>Make Inverse**).

W programie ImageJ przewidziano również inne funkcje do filtracji obrazu w dziedzinie widma poprzez odpowiednie definiowanie obszarów widma poddawanych filtracji (przepuszczaniu lub usuwaniu).

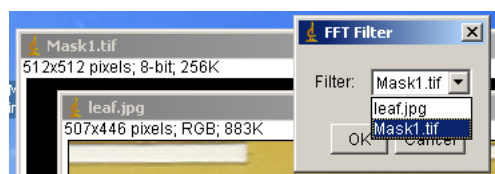
Aby użyć tych funkcji należy utworzyć nowy pusty obraz wybierając polecenie **File>New>Image**

Następnie należy zaznaczyć na nim obszary widma, które chcemy usunąć, a następnie zastosować polecenie **Edit>Selection>Create Mask**. Zostanie utworzona w ten sposób charakterystyka widmowa filtru. Charakterystyki filtru można też definiować wykorzystując

widmo obrazu przy użyciu tego samego polecenia. Charakterystyka filtru musi mieć takie same wymiary jak filtrowany obraz.

Filtr zdefiniowany w dziedzinie widma po uprzednim zapamiętaniu (komendą **File>Save**) można wielokrotnie stosować do filtracji różnych obrazów.

Filtrację obrazu za pomocą filtru zdefiniowanego w dziedzinie widma wykonujemy za pomocą funkcji **Process>FFT>Custom Filter**.



W oknie, które zostanie wyświetlone wybieramy filtr i potwierdzamy wybór przyciskiem OK. Należy pamiętać, że jako filtr musi zostać podany inny obraz niż ten podlegający filtrowaniu (w przeciwnym wypadku wyświetlony zostanie odpowiedni komunikat o błędzie).

[Zadanie 22]

Utworzyć maskę filtru swojego projektu, zapisać ją do pliku a następnie użyć do filtracji obrazu w dziedzinie widma.

Jak pokazują przykłady filtry o ostro odcinanych składowych widmowych wprowadzają zakłócenia do obrazu wynikowego. Są one szczególnie widoczne w pobliżu krawędzi obrazu w postaci zafalowań nazywanych też „dzwonieniem” (ang. *ringing*). Filtry o skokowo zmieniających się charakterystykach widmowych są rzadko wykorzystywane do filtracji obrazu. Wady takiej są pozbawione filtry o łagodnie przebiegających charakterystykach częstotliwościowych. Pokażemy jak w programie ImageJ można definiować takie charakterystyki filtrów.

Jako wstęp do tego zadania zapoznamy się z innym narzędziem ImageJ do wyświetlania charakterystyk filtru w postaci wykresów trójwymiarowych (3D).

W tym celu należy zaznaczyć obraz przedstawiający charakterystykę filtru i wybrać funkcję **Plugins>3D>Interactive 3D Surface Plot**.

W nowym oknie graficznym zostanie wyświetlony obraz w taki sposób, że płaszczyzna XY będzie odpowiadała płaszczyźnie obrazu natomiast współrzędna Z będzie pokazywała jasność pikseli obrazu (rzut aksonometryczny).

[Zadanie 23]

Zdefiniuj charakterystykę częstotliwościową filtru w postaci koła o średnicy ok. 1/4 szerokości obrazu i wyświetl ją na wykresie 3D.

Na wykresie widać ostre krawędzie określające częstotliwości graniczne filtracji. By usunąć te skokowe zmiany w charakterystyce filtru zastosujemy filtrację wygładzającą za pomocą filtru Gaussa. Zastosujemy filtr Gaussa **Process>Filters>Gaussian Blur...** z parametrem Radius (sigma) = 15. Uzyskamy w ten sposób gładką charakterystykę częstotliwościową filtru.

[Zadanie 24]

Utwórz kopię obrazu maski **Image>Duplicate** i poddaj go filtracji za pomocą filtru Gaussa, a następnie wyświetl go w postaci wykresu 3D.

Mamy teraz do dyspozycji dwie maski filtrów, które możemy użyć do filtracji obrazu za pomocą funkcji **Process>FFT>Custom Filter**.

[Zadanie 25]

Otwórz dowolny przykładowy obraz i utwórz jego duplikat.

Następnie poddaj te obrazy filtracji za pomocą zdefiniowanych masek i porównaj efekty tych filtracji.

Po porównaniu działania filtrów dolnoprzepustowych przeprowadź tę samą procedurę definiowania charakterystyki filtru dla filtrów górnoprzepustowych (podpowieść: filtr górnoprzepustowy o tych samych częstotliwościach granicznych można uzyskać z charakterystyki filtru dolnoprzepustowego tworząc jego negatyw **Edit>Invert**).

Zapoznamy się teraz na przykładach z wpływem charakterystyki filtru na wynik filtracji, czyli jak wybór częstotliwości granicznych filtru wpływa na postać obrazu wynikowego.

[Zadanie 26]

Utwórz charakterystyki filtrów dolnoprzepustowych o promieniu równym ok. 1/16, 1/8, 1/4 szerokości obrazu, a następnie zastosuj filtrację (**Process>FFT>Custom Filter**) do dowolnego obrazu z menu **File>Open Samples**.

Następnie zmodyfikuj charakterystyki filtrów tak aby uzyskać charakterystyki filtrów górnoprzepustowych (negatyw maski) i ponownie dokonaj filtracji obrazu (podpowieść: może zająć konieczność korekcji jasności lub kontrastu obrazu wynikowego).

6. Operacje matematyczne na obrazach

Dla obrazów cyfrowych można definiować działania matematyczne, np. można obrazy do siebie dodawać lub wzajemnie odejmować. Można też dodawać lub mnożyć obraz przez stałą wartość (te ostatnie działania mogą posłużyć do korekcji jasności obrazu).

Operacje matematyczne na obrazach umieszczono w menu **Process>Math**, są to:

- Add** - dodaje liczbę (zwiększa jasność obrazu)
- Subtract** - odejmuje liczbę (zmniejsza jasność obrazu)
- Multiply** - mnoży przez liczbę (zwiększa kontrast)
- Divide** - dzieli przez liczbę (zmniejsza kontrast)

Powyższe cztery funkcje można wykorzystać do korekcji jasności i kontrastu obrazu według odpowiedniej reguły zapisanej równaniem matematycznym.

Inne działania z menu **Process>Math** to:

- AND, OR, XOR** - binarne operacje na obrazie i zadanej liczbie w systemie dwójkowym.
- Min, Max** - pozwala wskazać odpowiednio minimalną lub maksymalną jasność obrazu poniżej (lub powyżej której) jasności obrazu są ograniczane (lub „prycinane” ang. *clipping*) do tych wartości.
- Gamma** - to nieliniowe przekształcenie poziomów jasności obrazu. Funkcja przekształcająca jest funkcja wypukłą lub wklęsłą zależnie od wartości parametru gamma (dla gamma=1 jest to przekształcenie tożsamościowe).



[Zadanie 27]

Wykonaj kilka przekształceń obrazu dla różnych wartości parametru gamma i określ, dla których wartości (0.5, 0.7, 1, 2, 5) obraz jest rozjaśniany, a dla których przyciemniany (i zastanów się dlaczego tak jest).

Niektóre kolejne funkcje menu **Process>Math**:

Set - ustala jednakową wartość dla wszystkich pikseli obrazu (lub zaznaczonego jego fragmentu),

Log - przekształca jasności punktów obrazu wg funkcji logarytmicznej,

Exp - przekształca jasności wg funkcji wykładniczej,

Square - podnosi do kwadratu jasności punktów obrazu.

....

Działania matematyczne na obrazach mogą posłużyć, poza korekcją jasności, także do ich filtracji. Mogą być także przydatne przy przekształcaniach, w których wynik końcowy wynika z zależności algebraicznych pomiędzy kilkoma obrazami.

7. Przetwarzanie z wykorzystaniem wielu obrazów źródłowych.

Do łączenia obrazów wykorzystywana jest w ImageJ opcja kopiowania i wklejania obrazu. Aby można było otrzymywać różne efekty przetwarzania, wklejanie skopiowanego obrazu ma dodatkowe opcje, dostępne w menu **Edit>Paste control...**

Domyślnym trybem jest "Copy". Wybór różnych ustawień parametru **Transfer Mode** powoduje, że przy wklejaniu obrazu jest obliczany wynik na podstawie obrazu wklejanego i obrazu, do którego jest wklejany inny fragment obrazu.

Modyfikację sposobu wklejania można wykorzystać np. w filtracji szumu jeśli mamy kilka zdjęć tego samego obiektu. Ponieważ szum jest wynikiem procesu losowego to na kolejnych zdjęciach pojawi się jego inna realizacja, zaś sama treść obrazu pozostanie niezmieniona. Najprostszą filtracją ograniczającą szum jest uśrednianie kilku zdjęć, tj. ich dodanie i podzielenie obrazu wynikowego przez liczbę zsumowanych zdjęć.

Dla uniknięcia problemów z zakresem jasności obrazu wynikowego zaleca się aby sumowane zdjęcia monochromatyczne posiadały 32-bitową głębię (podpowiedź: głębię bitową obrazu można nadać poleceniem **Image>Type>32-bit**).

[Zadanie 28]

Przygotuj kilka (3-4) kopie tego samego obrazu w wersji monochromatycznej 32 bitowej. Do każdej dodaj zakłócenie korzystając z funkcji **Process>Noise>Add Noise**. Następnie ustaw tryb wklejania na „Add” i dodaj do siebie wszystkie obrazy. Jeden z obrazów wybierz jako docelowy, a następnie kolejno kopiuj i wklejaj pozostałe obrazy. Obraz wynikowy podziel przez liczbę wszystkich zsumowanych obrazów.

Zauważamy, że w obrazie wynikowym szum jest mniej widoczny niż w każdym z obrazów składowych. Oczywiście nie zawsze mamy do dyspozycji kilka zdjęć tego samego obiektu, dlatego ten sposób redukcji zakłóceń w obrazach ma pewne ograniczenia.

Innym przykładem przekształcania obrazu, w którym wynik końcowy jest funkcją algebraiczną kilku obrazów jest przetwarzanie każdego z nich w inny sposób (np. inna





korekcja jasności dla ciemnych, a inna dla jasnych fragmentów obrazu). W tym przypadku konieczne jest utworzenie dwóch kopii przetwarzanego obrazu i odpowiedniej maski, która wyznaczy obszary przetwarzane wg oddzielnego schematu.

[Zadanie 29]

Celem zadania jest odpowiednia korekcja jasności fragmentów obrazu (rozjaśnienie obszarów ciemnych i przyciemnienie obszarów jasnych).

W pierwszym kroku wczytaj obraz „Clown” i przekształć do typu obrazu o głębi 8 bitów. Dla progu ustawionego na połowie zakresu jasności wykonaj progowanie tego obrazu. Obraz ten posłuży jako maska.

Wczytaj ponownie ten sam obraz i utwórz jego kopie (**Duplicate**) tak aby uzyskać dwa duplikaty tego samego obrazu.

Kopie obrazu poddaj różnym schematom przetwarzania. Pierwszą - takiemu przetworzeniu aby rozjaśnić obszary ciemne (np. gamma równe 0.8), a drugą aby przyciemnić obszary jasne (np. gamma równe 1.2).

Następnie zaznacz całość (**Edit>Selection>Select All**) obrazu maski czyli obrazu binarnego utworzonego na początku ćwiczenia i skopiuj ją (**Edit>Copy**).

Włącz następnie okno kontroli trybu wklejania **Edit>Paste Control** i wybierz opcję „Transparent-Black”, po czym wklej skopiowany obraz do obrazu rozjaśnianego. Po wykonaniu tych działań część obrazu przyjęła maksymalną jasność, a pozostała część nie zmieniła się.

W kolejnym kroku zaznacz całość nowo powstałego obrazu i skopiuj go. W oknie kontroli wklejania wybierz opcję „Transparent-White” i wklej skopiowany obraz do obrazu przyciemnianego.

Oceń jakość uzyskanego obrazu.

8. Obrazy binarne

Obrazy binarne stanowią postać obrazu występującą zwykle w końcowych etapach analizy obrazów. Dla tych obrazów są wyznaczane podstawowe parametry geometryczne oraz szczególne cechy kształtów obiektów w nich występujących. Często zachodzi potrzeba usuwania zakłóceń lub deformacji kształtu takich obiektów. Stosuje się do tego celu specyficzne techniki przetwarzania obrazów binarnych określane mianem operacji morfologicznych. Do podstawowych operacji morfologicznych należą: erozja, dyatacja, zamykanie i otwieranie. W programie ImageJ działania te są dostępne w menu **Process>Binary**.

[Zadanie 30]

Wczytaj obraz „Blobs” i przez jego progowanie utwórz obraz binarny (podpowiedź: menu **Image>Adjust>Threshold**; wartość progową określamy ręcznie lub automatycznie z menu **Process>Binary>Make Binary**).

W obrazie pozostały pewne drobne ciemne obiekty znajdujące się na jasnym tle.

Do usuwania takich zakłóceń zastosujemy funkcje **Erode** i **Dilate** oraz ich połączenia czyli operacje **Open** i **Close**.

[Zadanie 31]

Na wczytanym obrazie binarnym wykonaj kilkakrotną operację erozji **Process>Binary>Erode** aż do usunięcia punktowych zakłóceń w obrazie binarnym.

Wraz z jednoczesnym usunięciem obiektów będących zakłóceniami operacja erozji spowodowała zmniejszenie powierzchni figur. Dla potrzeb analizy obrazu konieczne jest aby wielkość analizowanych obiektów pozostała zachowana lub w niewielkim stopniu zmieniona. Dlatego w kolejnym kroku zastosujemy inne działanie morfologiczne obrazy nazywane dylatacją (rozszerzeniem).

[Zadanie 32]

Na przetworzonym wcześniej obrazie wykonaj operację dylatacji **Process>Binary>Dilate** tyle razy ile razy wcześniej wykonano działanie erozji.

W wyniku tych dwóch kolejnych działań morfologicznych usunięto punktowe zakłócenia a kontury obiektów zostały wygładzone. Zachowane też zostały pola powierzchni analizowanych obiektów.

Taka sekwencja operacji nazywana jest otwieraniem. To działanie morfologiczne można wykonać w jednym kroku za pomocą polecenia **Process>Binary>Open**. Mogą wystąpić pewne różnice w postaci obrazu wynikowego ze względu na prawdopodobnie różną liczbę powtórzeń kolejno wykonywanych działań erozji i dylatacji.

Jeśli zamienimy kolejność działań morfologicznych, tj. zastosujemy do obrazu binarnego najpierw dylatację a potem erozję to wykonamy działanie morfologiczne nazywane zamykaniem. Działanie to jest dostępne z menu **Process>Binary>Close**.

[Zadanie 33]

Na przygotowanym wcześniej obrazie binarnym (uzyskanym z obrazu „Blobs”) wykonaj najpierw kilka działań dylatacji (**Process>Binary>Dilate**), a następnie taką samą liczbę działań erozji (**Process>Binary>Erode**). Porównaj wynik z wynikiem jednokrokowego działania morfologicznego zamykania dostępnego z menu **Process>Binary>Close**.

Jeśli w wyniku operacji dylatacji i erozji obiekty ciągle zawierają w swoim obszarze zakłócenia (otwory) to do ich usunięcia można wykorzystać funkcję **Process>Binary>Holes**.

Program ImageJ umożliwia wykonywanie również innej klasy działań na obrazach binarnych. Jednym z takich działań jest wyznaczanie linii brzegowej obiektu w obrazie binarnym. Działanie to jest dostępne z menu **Process>Binary>Outline**. Informacja o położeniu linii brzegowej obiektu pozwala na pomiar długości obwodu obiektu.

[Zadanie 34]

Na uzyskanym wcześniej obrazie binarnym wykonaj operację wykrywania linii brzegowej **Process>Binary>Outline**, a następnie usuwania otworów **Process>Binary>Holes**.

Jeszcze innym działaniem na obrazach binarnych jest wyznaczanie tzw. szkieletu obiektu (menu **Process>Binary>Skeletonize**). Działanie to można porównać do wielokrotnie wykonywanej operacji erozji prowadzącej do redukcji kształtu obiektu do linii o grubości jednego punktu obrazu. Szkieletyzacja ma wiele zastosowań praktycznych, m.in. jest



stosowana przy rozpoznawaniu znaków alfanumerycznych, a w medycznej diagnostyce obrazowej do analizy kształtu naczyń krwionośnych.

Kolejnymi przydatnymi funkcjami przetwarzania obrazów binarnych są **Distance Map** i **Watershed**. Działanie **DistanceMap** (ang. *distance transform*) służy do wyznaczania odległości punktów należących do obiektu od jego brzegu. Krawędzi. Funkcja **Watershed** (wododział) umożliwia rozdzielanie obiektów w obrazach binarnych, które zostały połączone we wcześniejszych etapach przetwarzania obrazu binarnego.

[Zadanie 35]

Na obrazie binarnym uzyskanym z obrazu „Blobs” wykonać operację **Distance Map** a jej wynik wyświetlić w postaci rzutu aksonometrycznego (widok 3D).

Ponieważ odległości punktów od brzegu są kodowane jasnością pikseli to dla niewielkich obiektów dla lepszej jakości zobrazowania wyniku należy użyć narzędzia do wizualizacji 3D lub zmienić paletę kolorów albo też wykonać korekcję histogramu (jego normalizację lub wyrównywanie).

[Zadanie 36]

Na obrazie użytym do poprzedniego zadania wykonaj działanie **Watershed** i porównaj jej wyniki z wynikiem poprzedniego ćwiczenia i monochromatycznym obrazem źródłowym.

Wszystkie omawiane działania mogą być wykonane nie tylko na pojedynczym obrazie ale również na sekwencji obrazów (film, pliki DICOM z sekwencjami obrazów).

