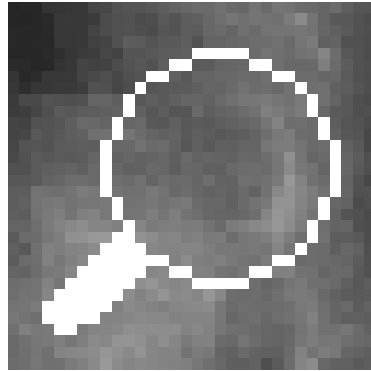




MammoViewer — dokumentacja systemu do analizy i obróbki obrazów mammograficznych

Anna Wróblewska

Piotr Boniński (segmentacja regionu tkanki – wstępna wersja, detekcja guzków),
Magdalena Jasionowska (zaburzenia architektury),
Artur Przelaskowski (konceptje)

13 marca 2008

awroble@ire.pw.edu.pl

Spis treści

1	Opcje menu	5
I	Opis funkcjonalny systemu	7
2	Uruchomienie programu	7
3	Interfejs wejścia-wyjścia	7
3.1	Obsługiwane formaty plików	7
3.2	Prezentacja obrazów	8
3.3	Interfejs dla radiologa do diagnozowania badań mammograficznych	8
4	Przetwarzanie i analiza obrazu	8
4.1	Progowanie obrazu (Detection Tools/Thresholding...)	9
4.2	Modelowanie histogramu rozkładu jasności obrazu	9
4.2.1	Zmiana rozkładu jasności i kontrastu obrazu	9
4.2.2	Korekcja gamma logarytmiczna	11
4.2.3	Inwersja obrazu	11
4.2.4	Korekcja histogramu	11
4.3	Filtracja (Filters – Transforms/Filters...)	13
4.3.1	Filtry dolnoprzepustowe	13
4.3.2	Filtry górnoprzepustowe	14
4.3.3	Filtry gradientowe	14
4.3.4	Laplasjan	15
4.3.5	Filtracja medianowa	16
4.3.6	Filtry niestandardowe	16
4.4	Operatory morfologiczne (Morphology)	16
5	Zaawansowane metody przetwarzania i analizy obrazu	17
5.1	Aproksymacja histogramu	17
5.2	Ekstrakcja regionów, ich cech oraz klasyfikacja	17
5.2.1	Ekstrakcja regionów – obiektów	17
5.2.2	Właściwości i cechy regionów oraz wzorce uczące	17
5.2.3	Klasyfikator — sieć neuronowa (Regions/Neural Network...)	25
5.3	Transformacja falkowa (Filters – Transforms/Wavelet Transform...)	25
5.4	Zdefiniowane krzywe dostępne w dialogu <i>Active Curve</i>	26
5.5	Lokalizacja małych jasnych plamek (Detection Tools/Multiscale Spot Detector...)	28
5.5.1	Założenia	28
5.5.2	Schemat metody	28
5.5.3	Główne kroki metody	28
5.5.4	Detekcja plamek	28
5.5.5	Estymacja rozmiaru i lokalnego kontrastu plamki	29
5.5.6	Implementacja i parametry	29
5.5.7	Przyciski w okienku detektora	29

5.6	Klasteryzacja oparta na algorytmie DBSCAN (Detection Tools/Cluster Operations)	30
5.6.1	Algorytm DBSCAN	30
5.6.2	Parametry algorytmu klasteryzacji (Detection Tools/Cluster Operations/Making Cluster Params)	30
5.6.3	Otoczka wypukła klastrów jasnych plam (Detection Tools/Cluster Operations/Cluster Areas)	31
5.7	Segmentacja kształtu jasnych plam (obszarów) z zadanych punktów startowych (ziaren) (Detection Tools/Segmentation From Seeds...)	31
5.7.1	Dane wejściowe	31
5.7.2	Algorytm maksymalnego spadku – <i>maximal slope</i>	31
5.7.3	Algorytm lokalnego minimum najbliższego centrum – <i>local minimum</i>	32
5.7.4	Algorytm, bazujący na lokalnych statystykach w sąsiedztwie punktu – <i>local statistics</i>	32
II	Opis strukturalny systemu	33
6	Środowisko programistyczne	33
7	Klasa obrazu	34
8	Klasa dokumentu	35
9	Dwie klasy widoku	36
10	Stworzenie nowego obiektu dokumentu z przetworzonym obrazem	36
11	Dodawanie nowych okien niemodalnych	38
12	Dialog modalny z dwoma parametrami	39
13	Dialog modalny z dwoma lub trzema przyciskami radio	39
14	Dynamiczne ładowanie biblioteki do przetwarzania obrazów <i>PLUG-IN</i>	40
15	Procedury do testów poprawy percepcji w dziedzinie falkowej	41

1 Opcje menu

(Files/Open OVERLAY); (Files/Save OVERLAY)	§ 3.1 na str. 8	
(Files/Open SGT); (Files/Save SGT)	§ 3.1 na str. 8	
(Files/Options Coloured Images)	§ 3.1 na str. 7	
(View/Zoom in; Zoom Out;		
Zoom To Fit; Actual Pixels (100%))	§ 3.2 na str. 8	
(View/Fit Images To Screen)	§ 3.2 na str. 8	
(View/Fit Only Large Images To Screen)	§ 3.2 na str. 8	
(View/Fit Image To Current Window)	§ 3.2 na str. 8	
(View/Fit Only Large Images To Current Window)	§ 3.2 na str. 8	
(View/Preview)	§ 3.2 na str. 8	
(View/Window Values; Window Bits)	§ 3.2 na str. 8	
(View/Splitter)	§ 3.2 na str. 8	§ 4 na str. 9
(Window/Level Presets)	§ 3.2 na str. 8	
(Basic Image Operations/Image Properties...)	§ 4 na str. 8	
(Basic Image Operations/Rotate)	§ 4 na str. 9	
(Basic Image Operations/Swap Bytes)	§ 4 na str. 9	
(Basic Image Operations/Bit Depth)	§ 4 na str. 9	
(Basic Image Operations/Histogram...)	§ 4.2 na str. 9	
(Basic Image Operations/'Brightness/Contrast...')	§ 4.2.1 na str. 9	§ 4.2.2 na str. 11
(Basic Image Operations/Reverse)	§ 4.2.3 na str. 11	
(Basic Image Operations/Equalize Histogram...)	§ 4.2.4 na str. 12	
(Basic Image Operations/ Background := Original Image)	§ 4.1 na str. 9	
(Basic Image Operations/ Swap Original Image < – > Image)	§ 5.6.3 na str. 31	
(Detection Tools/Thresholding...)	§ 4 na str. 9	§ 4.1 na str. 9
(Detection Tools/Multiscale Spot Detector...)	§ 5.5 na str. 28	§ 5.6.3 na str. 31
(Detection Tools/Segmentation From Seeds...)	§ 5.7 na str. 31	
(Detection Tools/Cluster Operations)	§ 5.6 na str. 30	
(Detection Tools/Cluster Operations/ Making Cluster Params)	§ 5.6.2 na str. 30	§ 5.6.3 na str. 31
(Detection Tools/Cluster Operations/Make Clusters)	§ 5.6.2 na str. 30	§ 5.6.3 na str. 31
(Detection Tools/Cluster Operations/Cluster Areas)	§ 5.6.3 na str. 31	
(Filters – Transforms/Wavelet Transform...)	§ 5.3 na str. 25	§ 5.4 na str. 26
(Filters – Transforms/Operations On Two Images...)	§ 4 na str. 9	
(Filters – Transforms/Apply Curve...)	§ 4.2.1 na str. 9	§ 5.4 na str. 26
(Filters – Transforms/Filters...)	§ 4 na str. 9	§ 4.3 na str. 13
(Filters – Transforms/Large Low-pass Filters)	§ 4.3.6 na str. 16	
(Filters – Transforms/Peak & Valley)	§ 4.3.6 na str. 16	
(Filters – Transforms/Extremum Sharpening)	§ 4.3.6 na str. 16	
(Filters – Transforms/LoG And Gaussian Filters...)	§ 4.3.6 na str. 16	§ 4.3.4 na str. 15
(Morphology)	§ 4 na str. 9	§ 4.4 na str. 16
(Mouse Mode/Ruler)	§ 4 na str. 9	

(Mouse Mode/Draw ROS; Show ROS)	§ 4 na str. 9	
(Mouse Mode/ROI)	§ 4 na str. 9	
(Mouse mode/”Win/Lev”)	§ 3.2 na str. 8	
(Mouse Mode/Show Lesion Regions)	§ 5.2.1 na str. 17	§ 5.6.3 na str. 31
(Mouse Mode/User Diagnoses)	§ 5.6.3 na str. 31	
(Mouse Mode/Neural Network Diagnoses)	§ 5.2.3 na str. 25	
(Window/Add Comment...)	§ 4 na str. 9	
(Popup Menu: Ruler/Gray-Levels)	§ 4 na str. 9	
(Histogram Approximation)	§ 5.1 na str. 17	
(Popup Menu: Regions)	§ 5.2.2 na str. 17	
(Regions)	§ 5.2.2 na str. 17	
(Regions/Extract Regions)	§ 5.2.1 na str. 17	
(Regions/Extract Regions Mode)	§ 5.2.1 na str. 17	
(Regions/Correct Boundary/Region Growing)	§ 5.2.1 na str. 17	
(Regions/Correct Boundary/Smooth Contour (Dilation))	§ 5.2.1 na str. 17	
(Regions/Set Diagnoses)	§ 5.2.2 na str. 17	
(Regions/Coocurrence Matrix Params...)	§ 5.2.2 na str. 23	
(Regions/Add Learning Patterns)	§ 5.2.2 na str. 19	
(Regions/Neural Network...)	§ 5.2.3 na str. 25	
(Popup Menu: Region)	§ 5.2.2 na str. 17	§ 5.6.3 na str. 31
(Popup Menu: Cluster)	§ 5.2.2 na str. 17	

Część I

Opis funkcjonalny systemu

2 Uruchomienie programu

Program napisany pod system *Windows*.

MammoViewer.exe Uruchomienie programu bez otwartych okien lub z pierwszym plikiem obrazowym na liście ostatnio otwieranych plików (jeśli taka jest)

MammoViewer.exe filename1 filename2 ... Po wywołaniu programu natychmiast zostaną otwarte obrazy 'filename1', 'filename2' itd.

MammoViewer.exe filename -s parametr Wywołanie metody detekcji klastrów mikrozwapnień dla danego obrazu 'filename'. Pliki wejściowe: plik obrazu -filename, plik z regionami zaznaczonymi przez lekarza — filename.OVERLAY, plik z granicami piersi na obrazie — filename.sgt; Plik wynikowy: filename.OVERLAY

MammoViewer.exe filename -g Wywołanie metody automatycznej detekcji guzków dla danego obrazu 'filename'. Pliki wejściowe: plik obrazu -filename, plik z regionami zaznaczonymi przez lekarza — filename.OVERLAY, plik z granicami piersi na obrazie — filename.sgt; Plik wynikowy: filename.OVERLAY

MammoViewer.exe filename -c Czyszczenie plików obrazu *.pgx – zapis bez komentarza w pliku oraz czyszczenie odpowiadających plików filename.OVERLAY (usuwane są współrzędne regionów wykrywanych automatycznie – czerwonych)

MammoViewer.exe image_filename -w wavelet_params_filename.wtp Testy parametrów poprawy percepcji w dziedzinie falkowej (zestaw parametrów wejściowych: 'wavelet_params_filename.wtp')

MammoViewer.exe image_filename -r wavelet_params_filename.wtp Zapis obrazu przetworzonego w dziedzinie falkowej wg podanego zestawu parametrów ('wavelet_params_filename.wtp'). Obraz zostaje zapisany w tym samym katalogu co źródłowy, z dołączoną po kropce nazwą pliku parametrów.

3 Interfejs wejścia-wyjścia

3.1 Obsługiwane formaty plików

- Program umożliwia: otwieranie, przetwarzanie i zapis na dysku obrazów ze skalą szarości.
- Można otwierać także kolorowe obrazy, które zostaną zamienione na obrazy w skali szarości wg aktualnych ustawień ([Files/Options Coloured Images](#)).
- Obsługuje standardowe formaty graficzne z 1-, 4-, 8-bitową głębią kolorów: bmp (bitmap), tif, png, jpeg, pgm (portable gray bitmap) oraz raw.
- Dostępne są także operacje (z pełną dokładnością) na obrazach 2-bajtowych (10-,12-,14- i 16-bitowa głębia kolorów). Mogą one być przechowywane w plikach formatu pgx oraz raw (odczyt 2-bajtowych tiffów bez kompresji oraz odczyt plików medycznych w formacie DICOM).

- Współrzędne zaznaczonego przez lekarza - użytkownika obszaru podejrzanego (ROS – *Region of Suspiciousness*) oraz współrzędne wykrytych komputerowo obiektów mikrozwapnień można zapisać i odczytać z plików *.OVERLAY, gdzie są przechowywane w formie tekstowej. (Dane te są też zapisywane w plikach pgm i pgx.) ([Files/Open OVERLAY](#)); ([Files/Save OVERLAY](#))
- W plikach *.SGT są przechowywane obszary wysegmentowanej tkanki piersiowej. ([Files/Open SGT](#)); ([Files/Save SGT](#))

3.2 Prezentacja obrazów

- Przy otwieraniu pliku graficznego jest dostępny jego podgląd.
- W programie jest możliwe zmniejszanie i zwiększanie wyświetlanego obrazu oraz dopasowanie jego wymiarów do okna programu. ([View/Zoom in](#); [Zoom Out](#); [Zoom To Fit](#); [Actual Pixels \(100%\)](#))
- Można wybrać także sposób wyświetlania otwartych obrazów:
 - Dopasowanie do okna programu ([View/Fit Images To Screen](#)),
 - Tylko obrazy większe niż okno programu są dopasowane ([View/Fit Only Large Images To Screen](#)),
 - Dopasowanie do aktualnie otwartego okna z obrazem ([View/Fit Image To Current Window](#)),
 - Tylko obrazy większe niż aktualne okno są dopasowywane ([View/Fit Only Large Images To Current Window](#)).
- Ponadto dostępne jest okienko (thumbnail), w którym można określić część obrazu aktualnie widoczną w dużym oknie obrazu ([View/Preview](#)).
- W przypadku obrazów 2-bajtowych, ze względu na ograniczenie sprzętowe na ekranie monitora, jest pokazywane tylko 8 bitów obrazu, ale użytkownik ma możliwość podejrzenia, co znajduje się na innych bitach. Może on tego dokonać, używając paska narzędziowego Window Bits lub Window Values, który pozwala określić zakres widzianych bitów lub zakres widocznych wartości ([View/Window Values](#); [Window Bits](#)). Zakresy widocznych wartości można definiować w pliku tekstowym presets.txt. Po uruchomieniu programu zostaną automatycznie wciągnięte do menu ([Window/Level Presets](#)). Inną możliwością jest zmiana zakresu prezentowanych wartości przy pomocy myszki ([Mouse mode/"Win/Lev"](#)).
- Podejrzenie komentarza dodanego do obrazu ([View/Splitter](#)) oraz powrót do trybu bez komentarza poprzez dwukrotne kliknięcie na odpowiednim widoku.

3.3 Interfejs dla radiologa do diagnozowania badań mammograficznych

W programie jest możliwość włączenia interfejsu dla radiologa z prezentacją obrazów z badań mammograficznych: wizualizacja 4 obrazów albo poszczególnych projekcji, sprawne przełączanie pomiędzy projekcjami i przypadkami itp.

4 Przetwarzanie i analiza obrazu

W programie są dostępne następujące funkcje:

- Informacja o wymiarach i rozdzielczości obrazu ([Basic Image Operations/Image Properties...](#)),

- Operacje geometryczne (obroty obrazu o: 90° , -90° , 180° ; odbicie lustrzane w pionie i poziomie) ([Basic Image Operations/Rotate](#)),
- Progowanie obrazu ([Detection Tools/Thresholding...](#)),
- Modelowanie histogramu rozkładu jasności obrazu,
- Filtracja przestrzenna (definiowana splotem w przestrzeni obrazu) ([Filters – Transforms/Filters...](#)),
- Filtracja operatorami morfologicznymi z możliwością interakcyjnego definiowania elementu strukturującego i określania liczby iteracji dla filtracji ([Morphology](#)),
- Linijka – wymiarowanie struktur ([Mouse Mode/Ruler](#)); Wizualizacja poziomów jasności wzdłuż linii ([Popup Menu: Ruler/Gray-Levels](#)),
- Zaznaczanie regionu chorobowego ([Mouse Mode/Draw ROS; Show ROS](#)),
- Wyświetlanie wybranej części obrazu w nowym oknie ([Mouse Mode/ROI](#)),
- Dodawanie i wyświetlanie opisu tekstowego obrazu ([Window/Add Comment...](#)) ([View/Splitter](#)),
- Zamiana bajtów w obrazach 2-bajtowych ([Basic Image Operations/Swap Bytes](#)),
- Zmiana głębi koloru ([Basic Image Operations/Bit Depth](#)),
- Operacje na dwóch obrazach (o takich samych wymiarach i głębi koloru) ([Filters – Transforms/Operations On Two Images...](#)).

4.1 Progowanie obrazu ([Detection Tools/Thresholding...](#))

Wynikiem progowania jest obraz binarny (przy jednym progu) lub z trzema poziomami szarości (dwa progi). Przy operacji użytkownik może wybrać także usuwanie pojedynczych pikseli z obrazu wynikowego (wtedy zaznaczane są one jako tło). Po wykonaniu tej operacji jest także zapamiętany obraz źródłowy (oryginalny) i użytkownik może zobaczyć wynik operacji progowania na tle obrazu oryginalnego (rys. 1). ([Basic Image Operations/Background := Original Image](#)); Umożliwia to ocenę zaznaczonych struktur na tle zdrowej tkanki.

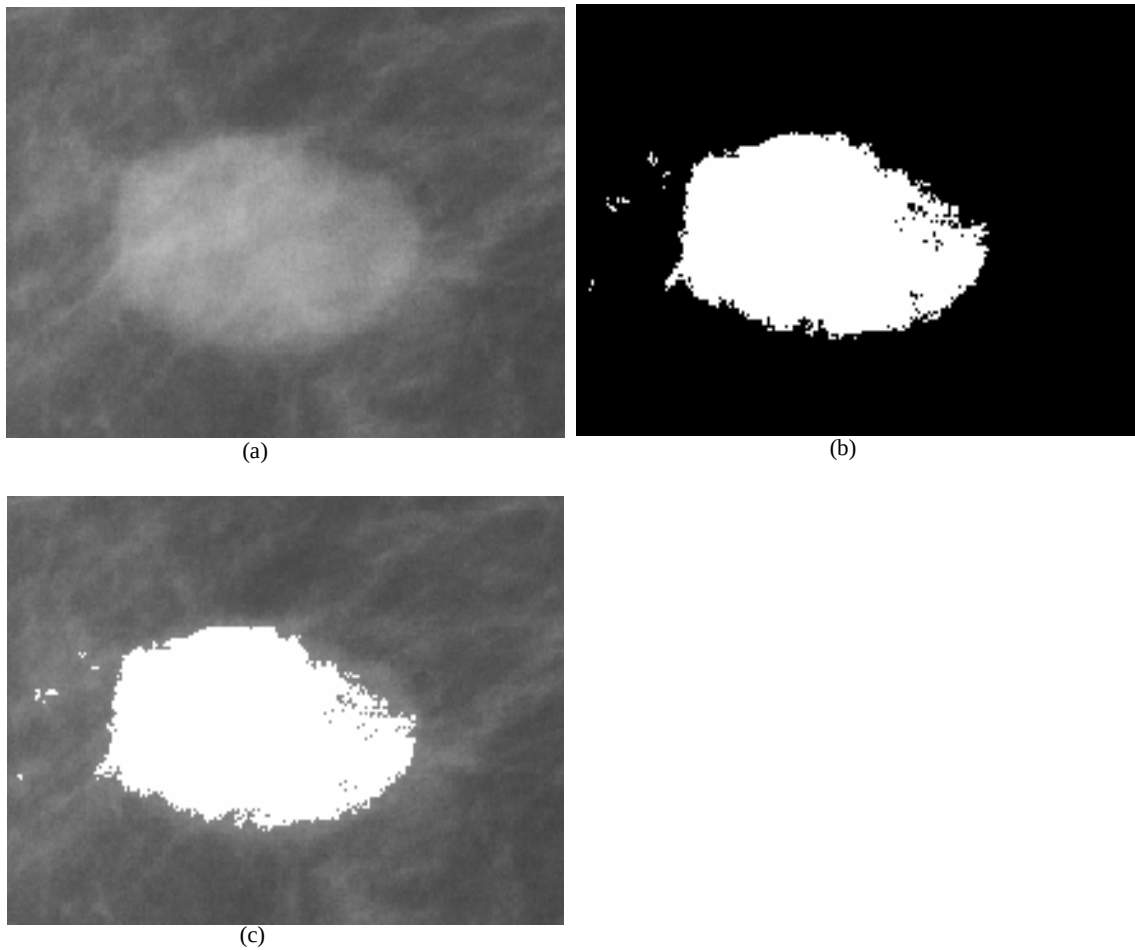
Ponadto istnieje możliwość progowania lokalnych maksimów. Dostępne są opcje ustawienia rozmiaru sąsiedztwa dla poszukiwania lokalnych maksimów i progów.

4.2 Modelowanie histogramu rozkładu jasności obrazu

Histogramem obrazu cyfrowego nazywa się wektor (lub rysunek wartości tego wektora), którego elementy zawierają informację o liczbie punktów obrazu o określonej jasności. Liczba elementów histogramu (długość wektora) odpowiada liczbie poziomów jasności obrazu [12]. MammoViewer umożliwia analizę histogramu i podstawowych statystyk, dotyczących obrazu (średni poziom szarości, wariancja, skośność histogramu, największa i najmniejsza jasność obrazu itp.). ([Basic Image Operations/Histogram...](#))

4.2.1 Zmiana rozkładu jasności i kontrastu obrazu

Zmiana rozkładu jasności i kontrastu obrazu (dostępna w programie) pozwala na przyciemnienie, rozjaśnienie lub zmianę kontrastu obrazu poprzez liniowe ([Basic Image Operations/Brightness/Contrast...](#)) oraz nieliniowe ([Filters – Transforms/Apply Curve...](#)) – operacje w dziedzinie obrazu) przekształcenie jego poziomów jasności.



Rysunek 1: Obraz radiologiczny guza spikularnego (pomniejszony). (a) Oryginalny obraz. (b) Obraz po operacji progowania (próg = 2160). (c) Obraz wynikowy na tle obrazu oryginalnego. Są uwypuklone poszarpane granice guza. Lepiej widoczne są wypustki, wyrastające z guza.

4.2.2 Korekcja gamma logarytmiczna

Korekcja gamma logarytmiczna (także dostępna w programie) jest nieliniowym przekształceniem poziomów jasności obrazu (poziom jasności obrazu wynikowego jest wtedy nieliniową funkcją poziomu jasności obrazu źródłowego). Umożliwia to np. wybiórcze rozjaśnianie obszarów ciemnych lub przyciemnienie obszarów jasnych obrazu. ([Basic Image Operations/'Brightness/Contrast...'](#))

4.2.3 Inwersja obrazu

Program umożliwia także wykonanie inwersji obrazu. Jest to zmiana rozkładu jasności obrazu poprzez zastąpienie wartości jasności każdego punktu jej negacją. Czasem wygląd obrazu radiologicznego (gdzie na ciemnym tle widać jasną tkankę) po inwersji wydaje się bardziej naturalny (na jasnym tle są widoczne ciemne struktury tkanki). ([Basic Image Operations/Reverse](#))

4.2.4 Korekcja histogramu

Histogramem poziomów jasności nazywamy statystyczny rozkład występowania w obrazie cyfrowym (lub w jego regionie zainteresowania) poszczególnych poziomów jasności [4]: $h(i)$ dla $i = 0, \dots, L$, gdzie L – liczba poziomów jasności w obrazie. Na podstawie częstości wystąpień określonych współczynników jasności można uzyskać informacje o charakterze obrazu, np. jaki rodzaj tkanki dominuje w regionie zainteresowania [1]. Algorytmy bazujące na analizie histogramu są często używane do nieliniowej korekcji wartości jasności pikseli w obrazie. Stosuje się w tym celu analizę histogramową, na podstawie której jest wyznaczana funkcja przejścia (transformacji) jasności pikseli obrazu w celu modyfikacji histogramu.

Jeśli histogram będzie znormalizowany (wartości występują w zakresie $[0, 1]$), wartości histogramu $h(i)$ dla poszczególnych poziomów jasności określą prawdopodobieństwo pojawienia się danego poziomu jasności w danym obrazie $p(i) = h(i)/K$, gdzie K oznacza liczbę pikseli w obrazie. Dystrybucja $T(i)$ (kumulacyjna funkcja rozkładu) rozkładu prawdopodobieństwa danego znormalizowanym histogramem, czyli histogram kumulacyjny to:

$$T(r) = \sum_{i=0}^r p^{(wej)}(i) \quad (1)$$

gdzie $r = 0, \dots, L$, L – liczba poziomów jasności w obrazie [4].

Różne metody modyfikacji histogramu mogą wzmacniać – podkreślać wybrany zakres jasności obrazu. Jest to zależne od wybranej funkcji przejścia, zakładającej wyjściowy rozkład gęstości prawdopodobieństwa [8]. Dystrybucja przetworzonego obrazu (po zastosowaniu funkcji przejścia), to [11]:

$$G(z) = \sum_{i=0}^z p^{(wyj)}(i) \quad (2)$$

gdzie $p^{(wyj)}(i)$ są to wartości znormalizowanego histogramu obrazu wynikowego, $z = 0, \dots, L$, L – liczba poziomów jasności w obrazie wynikowym.

Wartości kumulacyjnych funkcji rozkładów dla obrazu oryginalnego i przetworzonego powinny się równać:

$$G(z) = T(r) \quad (3)$$

gdzie r i z są zmiennymi (jak wyżej), reprezentującymi poziomy jasności obrazów: odpowiednio – oryginalnego i przetworzonego (po operacji korekcji histogramu).

W dziedzinie ciągłej, gdzie sumie odpowiada całka, można zapisać:

$$\int_0^z p^{(wej)}(w)dw = \int_0^r p^{(wyj)}(w)dw \quad (4)$$

gdzie $p^{(wej)}(w)$ i $p^{(wyj)}(w)$ są gęstościami prawdopodobieństwa występowania punktu o określonej jasności w odpowiednio w obrazie oryginalnym i przetworzonym (odpowiada to histogramom w dziedzinie dyskretniej).

Stąd można otrzymać wzór na funkcję przejścia:

$$z = G^{-1}(T(r)) = F(r) \quad (5)$$

Jednak analityczne obliczenie funkcji przejścia rzadko jest możliwe. Wtedy można zastosować następującą procedurę poszukiwania wartości funkcji przejścia:

1. Opisanie histogramu obrazu przetworzonego ($p^{(wyj)}(i)$).
2. Obliczenie kumulacyjnych funkcji rozkładów $T(r)$ i $G(z)$ według wzorów: (1) i (2).
3. Dla wartości jasności $i = 0, \dots, L$:
 - (a) Znalezienie z spełniającego warunek:
 $G(z) \leq T(r) \leq G(z+1)$
 - (b) Zapamiętanie funkcji przejścia: w tablicy F w polu o indeksie r wartości z , tj. $F(r) = z$

Wyrównywanie histogramu Wyrównywanie (linearyzacja, spłaszczanie) histogramu jest metodą, w której jednakowo są traktowane poszczególne poziomy jasności obrazu – czyli przyjmuje wyjściową jednostajną gęstość prawdopodobieństwa (rozkład jednostajny):

$$p^{(wyj)}(i) = \frac{1}{i_{max} - i_{min}} \quad (6)$$

gdzie $i_{min} \leq i \leq i_{max}$ – wartości jasności obrazu wynikowego, a funkcja przejścia to:

$$F(r) = (i_{max} - i_{min})T(r) + i_{min} \quad (7)$$

Wyrównanie (linearyzacja) histogramu obrazu. Z powodu złych warunków oświetlenia podczas digitalizacji obrazu, często poziomy kwantowania są wykorzystane nieefektywnie. Wyrównanie histogramu polega na takim przekształceniu jego elementów, aby histogram wynikowy był maksymalnie płaski i równomiernie wypełniał cały zakres jasności. Procedura ta pozwala na poprawę kontrastu obrazu. Jednak często zmiana kontrastu jest zbyt duża, co powoduje pogorszenie jakości obrazu wynikowego. ([Basic Image Operations/Equalize Histogram...](#))

Transformacja wykładnicza i Rayleigha Inne przykładowe formy rozkładów i funkcje przejścia, uwzględniające wzmacnianie pewnych zakresów jasności, to:

1. rozkład wykładniczy
 gęstość prawdopodobieństwa:

$$p^{(wyj)}(i) = \alpha \exp\{-\alpha(i - i_{min})\} \quad (8)$$

dla $i \geq i_{min}$, a funkcja przejścia:

$$F(r) = i_{min} - \frac{1}{\alpha} \ln\{1 - T(r)\} \quad (9)$$

2. rozkład Rayleigha:
 gęstość prawdopodobieństwa:

$$p^{(wyj)}(i) = \frac{i - i_{min}}{\alpha^2} \exp\left\{-\frac{(i - i_{min})^2}{2\alpha^2}\right\} \quad (10)$$

dla $i \geq i_{min}$, a funkcja przejścia:

$$F(r) = i_{min} - \left\{2\alpha^2 \ln\left(\frac{1}{1 - T(r)}\right)\right\}^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

4.3 Filtracja (Filters – Transforms/Filters...)

Filtracja liniowa w dziedzinie przestrzennej obrazu polega na wykonaniu dwuwymiarowej operacji splotu dla tzw. maski oraz macierzy określającej obraz. Maską jest macierzą o niewielkich rozmiarach (3x3, 5x5 lub 7x7), której elementy określają charakterystykę filtru (odpowiedź impulsową filtru).

Istnieje wiele rodzajów filtrów, dobieranych w zależności od potrzeb: filtry dolnoprzepustowe do redukowania szumów w obrazie, filtry górnoprzepustowe do wzmacniania szczegółów o dużej częstotliwości, występujących w obrazie przy zachowaniu integralności szczegółów o małej częstotliwości (skutek uboczny – wzmacnianie szumów), filtry gradientowe i laplasjany do wykrywania i podkreślania krawędzi [4].

Splot dwóch jednowymiarowych rzeczywistych funkcji f i g (sygnałów) definiuje się za pomocą wzoru:

w dziedzinie ciągłej:

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u)g(t-u)du \quad (12)$$

a w dziedzinie dyskretnej:

$$(f * g)(m) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} f(n)g(m-n) \quad (13)$$

. Dla funkcji dwuwymiarowych rzeczywistych f i g splot definiuje się jako:
w dziedzinie ciągłej:

$$(f * g)(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x-u, y-t)g(u, t)dudt \quad (14)$$

a w dziedzinie dyskretnej:

$$(f * g)(m, n) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(m-k, n-l)g(k, l) \quad (15)$$

. Program umożliwia definiowanie masek różnego typu filtrów i dokonywanie filtracji obrazów. Ponadto udostępnia przegląd podstawowych filtrów.

4.3.1 Filtry dolnoprzepustowe

Filtry dolnoprzepustowe (*lowpass filters*) zachowują elementy obrazu o małej częstotliwości, a redukują składowe obrazu o wyższych częstotliwościach. Elementy o dużych częstotliwościach występują w obszarach obrazu, charakteryzujących się dużymi różnicami jasności (np. krawędzie). Efektem filtracji dolnoprzepustowej jest rozmycie i wygładzenie obrazu (uśrednienie jasności). Podstawowym zastosowaniem tego filtru jest usuwanie zakłóceń i szumów [12]. Przykładowe maski filtrów dolnoprzepustowych znajdują się na rys. 2.

$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{12} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
Uśredniający			Gauss

Rysunek 2: Maski filtrów dolnoprzepustowych, dostępnych w programie.

4.3.2 Filtry górnoprzepustowe

Filtry górnoprzepustowe (*highpass filters*) wzmacniają szczegóły o dużej częstotliwości i redukują składowe niskoczęstotliwościowe obrazu. Składowe niskoczęstotliwościowe odpowiadają fragmentom obrazu o jednolitych wartościach jasności pikseli (stałe wartości jasności lub z niewielkimi zmianami jasności). Po filtracji zostaje zachowana informacja w obrazach o dużej amplitudzie wahań jasności, np. zawierających krawędzie obiektów. Stosując filtry górnoprzepustowe, zachowujące średnią jasność obrazu, otrzymuje się obraz o wzmocnionych konturach i lepszej ostrości. W obrazie wynikowym filtracji górnoprzepustowej uwypuklają się także zakłócenia, występujące w obrazie. Przykładowe maski tych filtrów są pokazane na rys. 3.

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

zachowujące średnią jasność

Rysunek 3: Maski filtrów górnoprzepustowych, dostępnych w programie.

4.3.3 Filtry gradientowe

Filtry gradientowe wykrywają i uwypuklają kontury obiektów. Wektor gradientu wskazuje kierunek największej zmiany jasności obrazu. Wartość tego wektora, to:

$$\nabla f(i, j) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(i, j)}{\partial i} \\ \frac{\partial f(i, j)}{\partial j} \end{bmatrix}$$

Długość tego wektora wynosi:

$$|\nabla f(i, j)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f(i, j)}{\partial i}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(i, j)}{\partial j}\right)^2}$$

Dla danego punktu obrazu $f(i, j)$ wartość gradientu jest proporcjonalna do różnic jasności, występujących w otoczeniu tego punktu. Długość wektora gradientu dla funkcji dyskretnej (obrazu) można przybliżyć w następujący sposób:

$$|\nabla f(i, j)| = \sqrt{g_1^2 + g_2^2}$$

lub

$$|\nabla f(i, j)| = |g_1| + |g_2|$$

gdzie np.

$$g_1 = [f(i-1, j+1) + f(i, j+1) + f(i+1, j+1)] - [f(i-1, j-1) + f(i, j-1) + f(i+1, j-1)]$$

$$g_2 = [f(i+1, j-1) + f(i+1, j) + f(i+1, j+1)] - [f(i-1, j-1) + f(i-1, j) + f(i-1, j+1)]$$

Wyznaczenie przykładowych wartości g_1 i g_2 dla każdego punktu jest równoznaczne z filtracją Prewitta niezależnie dla g_1 z maską:

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

i dla g_2 z maską:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Inne maski filtrów gradientowych ilustruje rys. 4. Można także rozszerzyć filtrację gradientową o filtry w kierunkach ukośnych. Obraz wynikowy filtracji gradientowej jest progowany.

$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
poziomy pionowy Sobela	poziomy pionowy Roberts	poziomy pionowy Roberts	poziomy pionowy Roberts	poziomy pionowy Frei-Chen	poziomy pionowy Frei-Chen

Rysunek 4: Przykładowe maski filtrów gradientowych.

4.3.4 Laplasjan

Do wykrywania i podkreślania krawędzi obiektów na obrazie stosuje się także estymację laplasjanu. Laplasjan funkcji $f(x, y)$ jest kombinacją jej drugich pochodnych cząstkowych:

$$L[f(x, y)] = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

Dla funkcji dyskretniej (obrazu) drugie pochodne cząstkowe przybliża się, np.:

$$\frac{\partial^2 f(i, j)}{\partial i^2} = f(i+1, j) - 2f(i, j) + f(i-1, j)$$

$$\frac{\partial^2 f(i, j)}{\partial j^2} = f(i, j+1) - 2f(i, j) + f(i, j-1)$$

Stąd laplasjan wynosi:

$$L[f(i, j)] = f(i+1, j) + f(i-1, j) - 4f(i, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1)$$

Operacja estymacji laplasjanu jest równoważna filtracji z maską np.

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Inne maski przybliżające laplasjan są pokazane na rys. 5.

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

Rysunek 5: Przykładowe maski filtrów przybliżających laplasjan.

Dokładniejszą estymację laplasjanu można uzyskać, stosując filtry LoG (Laplacian-of-Gaussian) – także zaimplementowane w programie. ([Filters – Transforms/LoG And Gaussian Filters...](#))

4.3.5 Filtracja medianowa

Filtracja medianowa (nieliniowa) dla każdego punktu obrazu oryginalnego porządkuje zbiór punktów sąsiadujących, którego wielkość zależy od wymiarów i kształtu maski, zgodnie z relacją wielkości. Następnie z tego uporządkowanego zbioru wybiera się jego medianę, która jest przypisywana punktowi obrazu po filtracji. Filtr medianowy - podobnie do dolnoprzepustowego - uśrednia stopień jasności obiektów, ale zniekształcenie krawędzi jest mniejsze [12].

4.3.6 Filtry niestandardowe

Dostępne są także filtry niestandardowe i o większych maskach niż standardowe (7x7):

- duże filtry uśredniające ([Filters – Transforms/Large Low-pass Filters](#)):
Parametry wejściowe: wymiary filtru w cm.
Maska kwadratowa o wartościach jedynki w każdym polu i skali równej sumie jedynek.
- peak-and-valley ([Filters – Transforms/Peak & Valley](#)):
Filtr wygładzający — doliny i szczyty węższe od podawanej skali znikają;
Filtr działa najpierw dla wierszy, a później dla kolumn.
Najpierw wybierane są dwa punkty o odległości zadanej parametrem skali. Wszystkie punkty pomiędzy nimi, których wartość jest mniejsza od minimum z wybranych punktów, przyjmują wartość tego minimum; podobnie punkty o wartości powyżej maksimum, przyjmują wartość tego maksimum. Punkty o wartościach pomiędzy wybranymi nie zmieniają swojej jasności.
- extremum sharpening [6] ([Filters – Transforms/Extremum Sharpening](#)):
Wyostrażanie extremum — piksel obrazu przybiera bliższą wartość extremum (minimum albo maksimum) z okna sąsiedztwa (jeśli wartość jest dokładnie po środku między wartościami ekstremalnymi, pozostaje niezmieniona); Rozmiar okna sąsiedztwa zależy od szerokości krawędzi w obrazie.
Standardowa procedura analizy filtrem to: filtr medianowy 9x9 (usuwanie szumu), wyostrażanie extremum 3x3, filtr medianowy 5x5.
- dwuwymiarowy filtr *Laplacian-of-Gaussian* [7] ([Filters – Transforms/LoG And Gaussian Filters...](#)):
Parametr: skala; odchylenie standardowe = skala / (2*sqrt(2)); rozmiar filtru dyskretnego = 3*skala.
Definicja filtru:

$$LoG_{\sigma} = k_1 n(\sigma) \frac{1}{\pi \sigma^4} \left(1 - k_2 \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) e^{-(x^2 + y^2)/(2\sigma^2)}$$

gdzie x, y — współrzędne na płaszczyźnie; k_1, k_2 — parametry wg [7]; σ — odchylenie standardowe; $n(\sigma)$ — czynnik normalizujący;

$\sigma = \frac{1}{2\sqrt{2}}h$ oraz $n(h) = \frac{1}{16}eh^2$, gdzie h — skala filtru (liczba pikseli).

- filtr Gaussowski [3]:
Parametr: odchylenie standardowe; Wymiary filtru = 6*odchylenie standardowe + 1.

4.4 Operatory morfologiczne (Morphology)

Filtracja morfologiczna jest to filtracja nieliniowa, z maską zawierającą zera i jedynki (nazwaną tu elementem strukturalnym), której kształt i wymiary określają sąsiedztwo punktu obrazu. Dla każdego punktu obrazu zbiór jego sąsiadów jest porządkowany rosnąco względem poziomu szarości. Operacja dyfuzji wybiera sąsiada o największej wartości jasności w miejsce danego punktu, a erozja – sąsiada o wartości jasności najmniejszej.

Niech $D(S)$ oznacza dylację obrazu źródłowego przy zadanym elemencie strukturującym S , a $E(S)$ – erozję. Pozostałe operacje morfologiczne to kombinacje dylacji i erozji:

- Otwarcie: $O(S) = D(E(S), S)$,
- Zamknięcie: $C(S) = E(D(S), S)$,
- White top-hat: $WTH = \text{Obraz} - O(S)$, gdzie *Obraz* oznacza obraz źródłowy,
- Black top-hat: $BTH = C(S) - \text{Obraz}$,
oraz stosowane do wykrywania krawędzi:
- Gradient morfologiczny: $GM(S) = D(S) - E(S)$,
- Gradient wewnętrzny: $GW(S) = \text{Obraz} - E(S)$,
- Gradient zewnętrzny: $GZ(S) = D(S) - \text{Obraz}$.

5 Zaawansowane metody przetwarzania i analizy obrazu

5.1 Aproksymacja histogramu

Aproksymacja histogramu ([Histogram Approximation](#)) (wartość odpowiadająca jasności zero jest usunięta) obrazu funkcjami rozkładu Gaussa, Rayleigha, Laplace’a i wykładniczego została przedstawiona na rysunku 6.

5.2 Ekstrakcja regionów, ich cech oraz klasyfikacja

5.2.1 Ekstrakcja regionów – obiektów

Regiony są to wykryte automatycznie obiekty (np. guzy, jasne plamy – potencjalne mikrozwapnienia oraz ich klastry), które są w programie zaznaczone na czerwono ([Mouse Mode/Show Lesion Regions](#)). Zaawansowane algorytmy wykrywania jasnych plam oraz ich klastrów zostały opisane w kolejnych paragrafach.

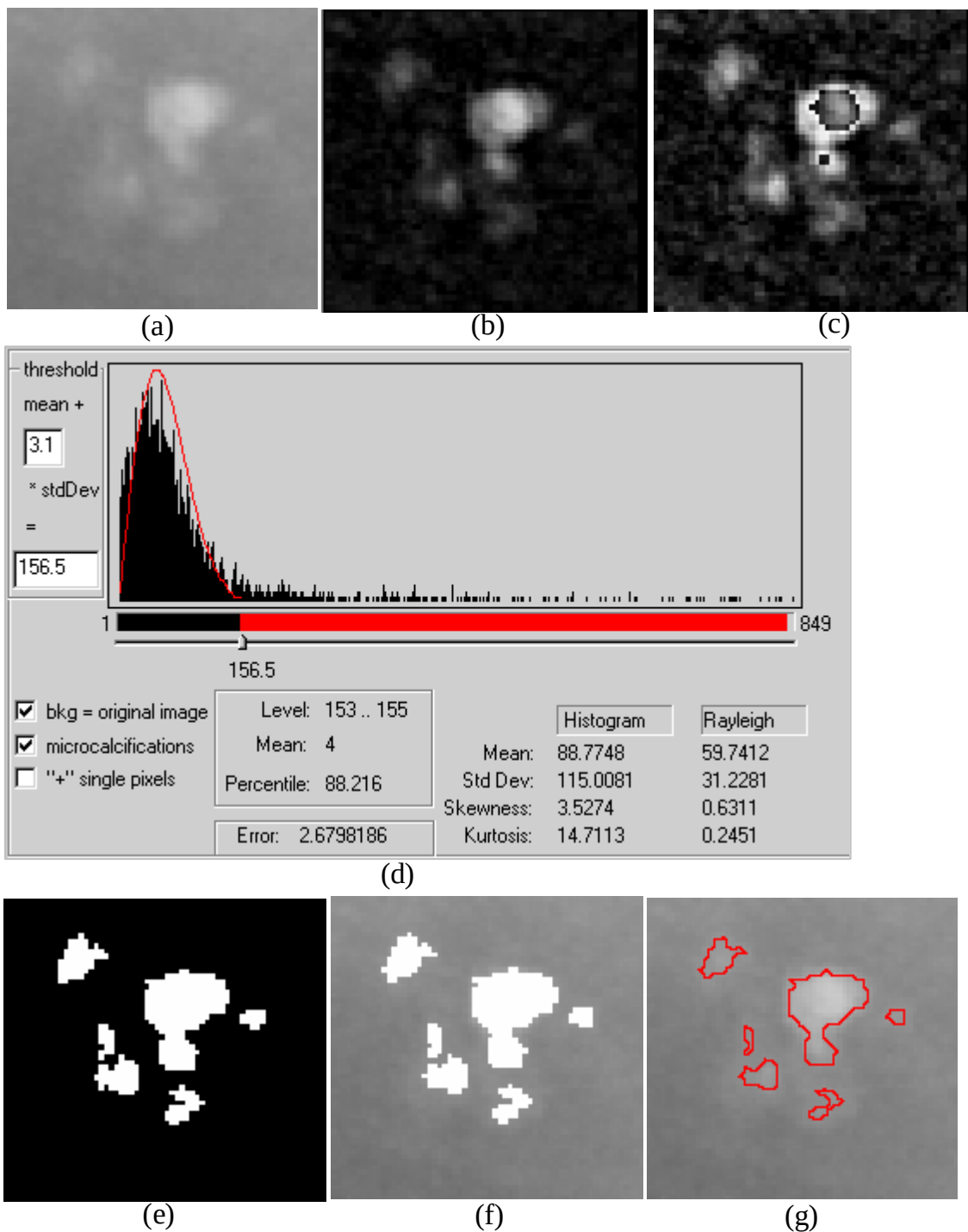
Ponadto w programie jest dostępna prosta ekstrakcja białych (o najwyższym poziomie jasności) regionów z obrazu ([Regions/Extract Regions](#)). Obiekty są zaznaczone na obrazie wyjściowym na czerwono i zapamiętane w oddzielnej strukturze – położenia na obrazie oraz kształty konturu. (Ustawienie trybu algorytmu ekstrakcji regionów – sąsiedztwo 4-spójne lub 8-spójne ([Regions/Extract Regions Mode](#)).)

Można także poprawić granice (kontury) regionów algorytmami rozrostu regionu ([Regions/Correct Boundary/Region Growing](#)) oraz dylacji (powiększania i wygładzania konturu) ([Regions/Correct Boundary/Smooth Contour \(Dilation\)](#)).

5.2.2 Właściwości i cechy regionów oraz wzorce uczące

Program umożliwia przygotowanie wektorów uczących (cech z diagnozą dla każdego obiektu uczącego) algorytmu klasyfikacji. Poniższe opcje dostępne są w menu: ([Regions](#)), ([Popup Menu: Regions](#)) oraz dla każdego regionu oddzielnie w ([Popup Menu: Region](#)) i dla każdego klastra w ([Popup Menu: Cluster](#)).

- Obliczanie cech kształtu i tekstury (tab. 1, 2, 3, 4, 5) dla każdego regionu oraz średnich cech dla regionów w klastrach i wszystkich regionów.
- Odrębne nadanie diagnozy każdemu regionowi ([Regions/Set Diagnoses](#)). Możliwe diagnozy, to: wskazanie fałszywe, mikrozwapnienie łagodne lub mikrozwapnienie złośliwe. W programie początkowo każdy obiekt jest uznany za fałszywy.



Rysunek 6: Przykładowy algorytm detekcji mikrozwapnień. (a) Oryginalny obraz (powiększenie 250%); (b) Obraz po filtracji 'white top-hat' (widoczne są bity 2-9 z obrazu z głębią koloru 12-bitową), element strukturalny: macierz 5x5 bez 4 punktów narożnych, 3 iteracje; (c) Obraz jak w punkcie (b) z widocznymi bitami 1-8; (d) Aproksymacja histogramu i znaleziony optymalny próg; (e) Wynik progowania; (f) Wynik progowania na tle obrazu oryginalnego; (g) Na czerwono są zaznaczone kontury wewnętrzne wyodrębnionych obiektów.

- Następnie można zapisać wektory cech z diagnozami do pliku z wzorcami uczącymi (przygotowanie wzorców do uczenia) ([Regions/Add Learning Patterns](#)). W takim pliku zostają zapisane parametry (cechy i diagnoza) wszystkich obiektów w obrazie oraz nazwa obrazu źródłowego.

Skrót	Nazwa	Angielska nazwa	Opis
AR	Powierzchnia	Area	Rozmiar obiektu: Liczba pikseli, należących do obiektu.
M-DIAM	Maksymalna średnica	Max diameter	Długość maksymalnej osi obiektu.
IP	Wewnętrzny obwód	Inner perimeter	Liczony na wewnętrznej obwiedni obiektu (należącej do obiektu – granica obiektu) w ośmiu kierunkach, np. jeśli kontur przesuwamy się po skosie (np. od punktu (i,j) do (i+1,j+1)), do obwodu dodaje się $\sqrt{2}$, a jeśli pionowo lub poziomo – dodaje się 1.
OP	Zewnętrzny obwód	Outer perimeter	Liczba pikseli zewnętrznej obwiedni obiektu (nie należącej do obiektu, ale bezpośrednio przylegającej do niego).
CM: CM-IP, CM-OP	Zwartość	Compactness	$C = \frac{(obwód)^2}{4\pi \cdot powierzchnia}$; Złożony kształt z kanciastymi granicami będzie miał większą wartość C niż prosty obiekt, np. koło (dla koła C=1).
EG	Wydłużenie	Elongation	Stosunek maksymalnej osi obiektu do minimalnej. Osie są określone na podstawie najmniejszego prostokąta, zawierającego obiekt (prostokąt jest obracany wokół obiektu).
SM1-SM4	Momenty kształtu 1-4	Shape moments	$F_i = \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [z(j) - m_1]^{i+1} \right]^{1/(i+1)} / m_1$ dla $i = 1, 2, 3$, gdzie $m_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z(i)$, $z(i)$, dla $i = 1, 2, \dots, N$ są odległościami (w metryce Euklidesowej) między centroidem a uporządkowanym zbiorem kolejnych punktów konturu rozpatrywanego kształtu. [10]
RG1	Chropowatość	Roughness	$RG1 = SM3 - SM1$
RG2	Chropowatość	Roughness 2	Druga miara chropowatości to odchylenie standardowe kwadratu odległości punktów konturu od centroidu.

Tabela 1: Właściwości kształtu oraz ich numeryczne metody opisu, zaimplementowane w programie.

Definicje momentów niezmienniczych Momenty niezmiennicze Hu [8] są wyprowadzane z momentów zwykłych. Momenty zwykłe są zależne od: zmiany skali, translacji i obrotu: $m_{pq} = \sum_{(i,j) \in O} i^p j^q f(i,j)$, gdzie m_{pq} – moment zwykły rzędu $(p+q)$, O – obiekt na obrazie, $f(i,j)$ – wartość funkcji jasności obrazu.

Niezależność od translacji uzyskuje się, używając momentów centralnych: $\mu_{pq} = \sum_{(i,j) \in O} (i-x_c)^p (j-y_c)^q f(i,j)$, gdzie x_c i y_c są współrzędnymi centroidu obiektu: $x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}$, $y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$.

Niezmienniczość względem skali charakteryzuje znormalizowane momenty centralne: $\vartheta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^\gamma}$, gdzie $\gamma = \frac{p+q}{2} + 1$.

Skrót	Nazwa	Angielska nazwa	Opis
FF	Miara kształtu FF	Shape measure FF	Obliczana na podstawie deskryptora Fourierowskiego. Kontur – ciąg punktów granicznych obiektu (x_i, y_i) jest zapisany jako ciąg liczb zespolonych $Z_i = x_i + j \cdot y_i$, $i = 0, 1, \dots, N - 1$. Znormalizowany deskryptor fourierowski (NFD) jest zdefiniowany jako: $NFD(k) = \begin{cases} 0 & k = 0 \\ A(k)/A(1) & k = 1, 2, \dots, N/2 \\ A(k + N)/A(1) & k = -1, -2, \dots, -N/2 + 1 \end{cases}$ gdzie $A(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Z_i \exp(-j2\pi ki/N)$, gdzie $n = 0, 1, \dots, N - 1$. Wartość parametru $A(k)$ jest obliczana za pomocą algorytmu FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>). Miara kształtu FF wynosi: $FF = [\sum_{k=-N/2+1}^{N/2} (\ NFD(k)/ k \)] / \sum_{k=-N/2+1}^{N/2} \ NFD(k)\$. Wartość miary FF rośnie wraz ze wzrostem kanciastości kształtu. [10]
ELD1	Stopień eliptyczności	Ellipticity degree	$E_I = \begin{cases} 16\pi^2 I_1 & \text{jeśli } I_1 \leq \frac{1}{16\pi^2}, \text{ gdzie } I_1 = \\ \frac{1}{16\pi^2 I_1} & \text{w pp} \end{cases}$ $\frac{\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2}{\mu_{00}^4}; E_I \in [0, 1], E = 1 \text{ dla elipsy. [9]}$
TR	Trójkątność	Triangularity	$T_i = \begin{cases} 108 \cdot I_1 & \text{jeśli } I_1 \leq \frac{1}{108} \text{ [9]} \\ \frac{1}{108 \cdot I_1} & \text{w pp} \end{cases}$
BR		Box ratio	Stosunek powierzchni obiektu do powierzchni najmniejszego zawierającego go prostokąta.
ELD2	Stopień eliptyczności	Ellipticity degree	ELD2=AR/(powierzchnia największej elipsy zawartej w obiekcie).
EFR1	Efektywny promień 1	Effective radius 1	EFR1=SM3/SM2

Tabela 2: Właściwości kształtu oraz ich numeryczne metody opisu, zaimplementowane w programie.

Skrót	Nazwa	Angielska nazwa	Opis
MS	Masa	Mass	Suma poziomów szarości obiektu – punktów należących do obiektu: $mass = \sum_{(i,j) \in Obiekt} f(i,j)$, gdzie $f(i,j)$ – wartość funkcji jasności w punkcie (i,j) .
MX	Średnia	Mean	Średni poziom szarości (średnia jasność) obiektu – punktów należących do obiektu: $\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in Obiekt} f(i,j)$, gdzie N – liczba punktów należących do obiektu.
SD	Odchylenie standardowe	Standard deviation	Odchylenie standardowe poziomu szarości obiektu.
EE	Energia	Energy	Średnia kwadratów jasności punktów należących do obiektu: $energy = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in Obiekt} f(i,j)^2$.
EN	Entropia	Entropy	$entropy = - \sum_{(i,j) \in Obiekt} \frac{f(i,j)^2}{NORM} \log_{10} \frac{f(i,j)^2}{NORM}$, gdzie $NORM = \sum_{(i,j) \in Obiekt} f(i,j)^2$.
BAC	Tło	Background gray level	Średni poziom szarości tła obiektu. (Do obliczenia tła obiektu jest dobrane najbliższe sąsiedztwo obiektu – pierścień wokół obiektu, którego powierzchnia jest N razy większa niż powierzchnia obiektu: $N=1$ – można ustawić w kodzie programu.)
FBR	Stosunek średniego poziomu szarości obiektu i tła	Foreground background ratio	$fbr = \frac{\bar{f}}{bac}$
FBD	Różnica średniego poziomu szarości obiektu i tła	Foreground background difference	$fbd = \bar{f} - bac$
DR	Skontrastowanie obiektu i tła	Difference ratio	$dr = (\bar{f} - bac)/(\bar{f} + bac)$

Tabela 3: Właściwości tekstury oraz zaimplementowane w programie numeryczne metody ich opisu, bazujące na analizie statystycznej histogramu rozkładu jasności obiektów, .

Skrót	Nazwa	Angielska nazwa	Opis
ESM, ESSD, ESSUM	Wyrazistość, siła krawędzi	Edge strength (Border gradient strength)	Siła krawędzi jest to średnia (odchylenie standardowe, suma) wartości gradientów w punktach konturu obiektu. Gradient jest obliczony przy użyciu filtru gradientowego Sobela (maski: pionowa, pozioma). Jasnością punktu obrazu wynikowego jest pierwiastek sumy kwadratów wyników filtracji każdą maską niezależnie.
IM0-IM6, BIM0-BIM6	Momenty niezmiennicze Hu	Invariant moments	Niezależne od translacji, zmiany skali i obrotu kombinacje znormalizowanych momentów centralnych (wyprowadzonych z momentów geometrycznych względem centroidu obiektu)[8]. BIM – momenty liczone na obrazie binarnym, gdzie 1 odpowiada punktom należącym do wysegmentowanego obiektu, a 0 – punktom poza obiektem.
EFR2	Efektywny promień 2	Effective radius 2	$EFR2 = IM3 / IM2$
EFR3	Efektywny promień 3	Effective radius 3	$EFR3 = IM3 / IM4$
CO	Kontrast	Contrast	Różnica wartości największej intensywności w obiekcie i średniej z pikseli konturu.
RC	Względny kontrast	Relative contrast	Stosunek kontrastu do wartości największej intensywności w obiekcie.

Tabela 4: Właściwości kształtu i tekstury oraz ich numeryczne metody opisu, zaimplementowane w programie.

Skrót	Nazwa	Angielska nazwa	Opis
CM-CO	Kontrast	Contrast	Macierz powinowactwa S (macierz zdarzeń, 'cooccurrence matrix') przechowuje informacje o teksturze obrazu. Elementami tej macierzy są estymowane prawdopodobieństwa $p(i, j)$ wystąpienia par punktów o jasnościach i oraz j, dla określonej odległości pomiędzy punktami i przyjętym kierunku analizy [12]. $p(i, j)$ = liczba par punktów obrazu, spełniających warunki: $f(x_1, y_1) = i, f(x_2, y_2) = j, (x_2, y_2) = (x_1, y_1) + (d \cos \theta, d \sin \theta)$, gdzie $f(x, y)$ – jasność obrazu w punkcie (x, y), d – zadana odległość pomiędzy punktami (zazwyczaj $d = 1, 2, 3, 4, 5$), θ – określony kąt analizy (typowo $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$). Kwadratowa macierz zdarzeń ma wymiary równe liczbie poziomów jasności obrazu. Do obliczenia macierzy powinowactwa użyto kwadratowego sąsiedztwa zadaną liczbę pikseli (np. 10) większego niż średnica obiektu. W programie są podane cechy dla zadanej odległości d i czterech kątów oraz średnia z każdej cechy. Parametry macierzy ustawiane w programie (Regions/Cooccurrence Matrix Params...), to: d i wymiar sąsiedztwa wokół obiektu. Wzory definiujące właściwości są opisane w tekście dokumentacji.
CM-EN	Entropia	Entropy	
CM-EE	Moment zwykły drugiego rzędu (Energia)	Angular second moment	
CM-IDM	Odwrotny moment różnicowy	Inverse difference moment	
CM-COR	Korelacja	Correlation	
CM-COV	Kowariancja	Covariance	
CM-SS	Wariancja rozkładu brzegowego	Sum of squares	
CM-SA	Wartość średnia rozkładu sumacyjnego	Sum average	
CM-SVAR	Wariancja rozkładu sumacyjnego	Sum variance	
CM-SEN	Entropia rozkładu sumacyjnego	Sum entropy	
CM-DA	Wartość średnia rozkładu różnicowego	Difference average	
CM-DVAR	Wariancja rozkładu różnicowego	Difference variance	
CM-DEN	Entropia rozkładu różnicowego	Difference entropy	

Tabela 5: Właściwości tekstury oraz ich numeryczne metody opisu, zaimplementowane w programie.

Niezależność od translacji, zmiany skali i obrotu uzyskano, stosując następujące kombinacje znormalizowanych momentów centralnych, są to tzw. momenty niezmiennicze Hu (*invariant moments*):

- $IM0 = \vartheta_{20} + \vartheta_{02}$,
- $IM1 = (\vartheta_{20} - \vartheta_{02})^2 + 4\vartheta_{11}^2$,
- $IM2 = (\vartheta_{30} - 3\vartheta_{12})^2 + (3\vartheta_{21} - \vartheta_{03})^2$,
- $IM3 = (\vartheta_{30} + \vartheta_{12})^2 + (\vartheta_{21} + \vartheta_{03})^2$,
- $IM4 = (\vartheta_{30} - 3\vartheta_{12})(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})[(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})^2 - 3(\vartheta_{21} + \vartheta_{03})^2] + (3\vartheta_{21} - \vartheta_{03})(\vartheta_{21} + \vartheta_{03})[3(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})^2 - (\vartheta_{21} + \vartheta_{03})^2]$,
- $IM5 = (\vartheta_{20} - \vartheta_{02})[(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})^2 - (\vartheta_{21} + \vartheta_{03})^2] + 4\vartheta_{11}(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})(\vartheta_{21} - \vartheta_{03})$,
- $IM6 = (3\vartheta_{21} - \vartheta_{03})(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})[(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})^2 - 3(\vartheta_{21} + \vartheta_{03})^2] - (\vartheta_{30} - 3\vartheta_{12})(\vartheta_{21} + \vartheta_{03})[3(\vartheta_{30} + \vartheta_{12})^2 - (\vartheta_{21} + \vartheta_{03})^2]$,

Właściwości tekstury, wyznaczone na podstawie macierzy zdarzeń Definicje cech opisanych w tabeli 4:

- Kontrast: $CM - CO = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (i - j)^2 p(i, j)$,
- Entropia: $CM - EN = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j) \log(p(i, j))$,
- Moment zwykły drugiego rzędu, energia: $CM - EE = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j)^2$,
- Odwrotny moment różnicowy: $CM - IDM = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2}$,
- Korelacja: $CM - COR = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} ijp(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$,
gdzie μ_x, μ_y oraz $\sigma_x \sigma_y$ oznaczają wartości średnie i odchylenia standardowe rozkładów brzegowych macierzy zdarzeń: $\mu_x = \sum_{i=0}^{N-1} ip_x(i)$, $\mu_y = \sum_{j=0}^{N-1} jp_y(j)$, $\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu_x)^2 p_x(i)$, $\sigma_y^2 = \sum_{j=0}^{N-1} (j - \mu_y)^2 p_y(j)$,
- Kowariancja: $CM - COV = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (i - \mu_x)(j - \mu_y)p(i, j)$,
- Wariancja rozkładu brzegowego: $CM - SS = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (i - \mu_x)^2 p(i, j)$,
- Wartość średnia rozkładu sumacyjnego: $CM - SA = \sum_{k=0}^{2N-2} kp_{x+y}(k)$,
gdzie $s_{x+y}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j)$ dla $i + j = k$, gdzie $k = 0, \dots, 2N - 2$, N – wymiar macierzy zdarzeń,
- Wariancja rozkładu sumacyjnego: $CM - SVAR = \sum_{k=0}^{2N-2} (k - SA)^2 p_{x+y}(k)$,
- Entropia rozkładu sumacyjnego: $CM - SEN = - \sum_{k=0}^{2N-2} p_{x+y}(k) \log_2(p_{x+y}(k))$,
- Wartość średnia rozkładu różnicowego: $CM - DA = \sum_{k=0}^{N-1} kp_{x-y}(k)$,
gdzie $s_{x-y}(k) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i, j)$ dla $|i - j| = k$, gdzie $k = 0, \dots, N - 1$,
- Wariancja rozkładu różnicowego: $CM - DVAR = \sum_{k=0}^{N-1} (k - DA)^2 p_{x-y}(k)$,
- Entropia rozkładu różnicowego: $CM - DEN = \sum_{k=0}^{N-1} p_{x-y}(k) \log(p_{x-y}(k))$.

5.2.3 Klasyfikator — sieć neuronowa (Regions/Neural Network...)

- Ustalenie struktury sieci (liczba neuronów: wejściowych, ukrytych i wyjściowych).
 - Liczba neuronów wejściowych jest określana w sposób pośredni, przez wybór cech, stanowiących wektor wejściowy sieci. Liczba neuronów wejściowych jest równa liczbie wybranych cech plus 1 neuron ze stałym pobudzeniem.
 - Sieć może mieć: 1, 2, lub 3 wyjścia — klasyfikować wejściowe obiekty jako prawdziwe lub fałszywe mikrozwapnienia albo jej wynikiem może być automatyczna diagnoza (łagodne, złośliwe) z ewentualnym odrzuceniem fałszywych wskazań.
 - Próg dla sygnału wyjściowego (powyżej progu sygnał jest uznany za jedynkę – pobudzenie neuronu).
 - Dodatkowo można też określić parametr k funkcji aktywacji neuronu (standardowo jest on jedynką): $f(x) = \frac{1}{1+\exp(-kx)}$.
- Zapis do pliku i odczyt sieci z pliku
W pliku sieci są przechowywane wszystkie wagi sieci oraz jej parametry: podzbiór cech, stanowiący wektor wejściowy, liczba neuronów ukrytych i wyjściowych, typ sieci, próg wyjścia, parametr k funkcji aktywacji.
- Uczenie sieci
Określenie parametrów zmiany wag η i μ ($w_{ij}^k(t) = \mu w_{ij}^k(t-1) + \eta \Delta w_{ij}^k$) oraz warunek stopu uczenia – liczbę epok i dokładność uczenia.
Przed uczeniem sieci trzeba wybrać plik z wzorcami uczącymi.
- Testowanie sieci
Do testowania należy wybrać plik z wzorcami uczącymi. Wynikiem operacji testowania jest wygenerowanie pliku, w którym są zapisane wzorce testujące wraz z diagnozą sieci i prawidłową diagnozą, nadaną przez użytkownika.
- Diagnozowanie regionów — mikrozwapnień (Mouse Mode/Neural Network Diagnoses)
Po stworzeniu sieci neuronowej można oglądać diagnozy sieci dla potencjalnych obiektów mikrozwapnień zawartych w aktualnym obrazie. Jest to proces czasochłonny, ponieważ odpowiedzi sieci są generowane od razu dla wszystkich obiektów. Najpierw są policzone wektory cech każdego obiektu należącego do obrazu, a następnie są przedstawiane wyniki diagnozy wybranej sieci.

5.3 Transformacja falkowa (Filters – Transforms/Wavelet Transform...)

- Wybór filtru falkowego (ortogonalne, biortogonalne) oraz ustalenie liczby poziomów dekompozycji (rys. 7).
- Transformata z decymacją i bez decymacji (współczynniki falkowe dla każdego podpasma dają pełny obraz).
- Wybór procedur progowania i przekształceń współczynników transformaty (rys. 7):
 - eliminacja podpasm (zerowanie – podpasma zaznaczone na białym w dialogu *Subbands Grid*);
 - progowanie współczynników (podpasma zaznaczone na szaro);

- wybór krzywej przekształcenia współczynników (szary kolor i "c+" na liście podpasm; projektowanie krzywej w dialogu *Active Curve*);
wybór sposobu przekształcenia krzywej do zakresu współczynników – przeskalowanie jedynek do maksimum z modułów największego i najmniejszego współczynnika w podpaśmie lub przeskalowanie do średniej + parametr * odchylenie standardowe (współczynniki powyżej tej wartości będą zerowane);
 - wyrównywanie histogramu współczynników (podpasma zaznaczone na niebiesko);
 - możliwość wyrównywania histogramu, zastosowania krzywej lub zachowania współczynników w sąsiedztwie lokalnych maksimów większych od zadanego progu (dla podpasm zaznaczonych na szaro lub niebiesko i "lms+" na liście podpasm – *apply for LMs > T*);
 - podpasma zaznaczone na kolor czarny pozostają niezmiennione;
 - wybór typu parametru skalującego (aktywna krzywa, progowanie).
- Wynik: rekonstrukcja obrazu, obraz różnicowy (= oryginalny — rekonstrukcja), przeskalowane do pełnego zakresu moduły współczynników falkowych, wizualizacja współczynników (współczynniki zostają przeskalowane do obrazu 8-bitowego).
 - Możliwość wykonywania procedur na całym obrazie wejściowym lub na wybranym regionie (ROI).
 - Możliwość dodawania własnych filtrów falkowych w pliku tekstowym: *wavelet_filters.flt*. W pliku podaje się Współczynniki filtrów dla transformacji z decymacją, dla transformacji bez decymacji współczynniki filtrów falkowych z pliku zostają podzielone przez $\sqrt{2}$.
 - Zapis i odczyt parametrów przekształceń w dziedzinie falkowej (krzywe, rodzaj progowania, wybrana falka, liczba podpasm itd.).

5.4 Zdefiniowane krzywe dostępne w dialogu *Active Curve*

Krzywe można zastosować w dziedzinie falkowej ([Filters – Transforms/Wavelet Transform...](#)) lub bezpośrednio w dziedzinie obrazu ([Filters – Transforms/Apply Curve...](#)).

Zdefiniowane krzywe (dane wejściowe x zostają przeskalowane do przedziału $[-1, 1]$ ($x \in [-1, 1]$), a następnie wyjście $y(x)$ ponownie przeskalowane do wartości danych wejściowych poprzez mnożenie przez wybraną maksymalną wartość $max_range * y(x)$):

spline interpolation splajny stopnia 1-3 (punkty węzłowe można podać, klikając na polu wykresu)

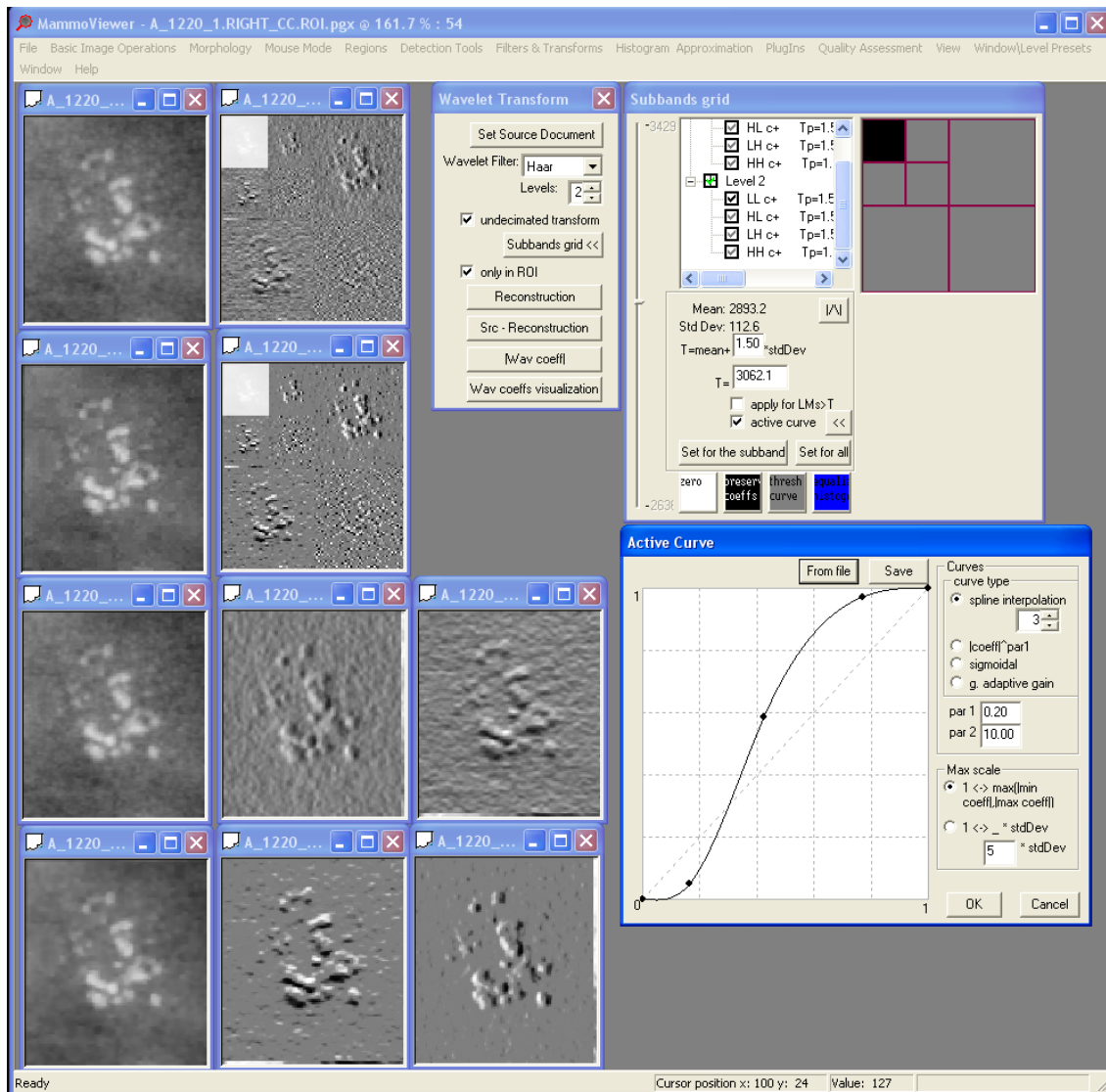
$$|x|^{par1} \quad y(x) = sgn(x)|x|^{par1}, \text{ gdzie } sgn(x) = x/|x|$$

sigmoidal $y(x) = a[sgm(c(y-b)) - sgm(-c(y+b))]$, gdzie $a = \frac{1}{sgm(c(1-b)) - sgm(-c(1+b))}$, gdzie $0 < b < 1$, $sgm(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$

generalized adaptive gain

$$y(x) = \begin{cases} 0 & |x| < T_1 \\ sgn(x)T_2 + \bar{a}(sgm(c(u-b)) - sgm(-c(u+b))) & T_2 \leq |x| \leq T_3 \\ x & \text{dla pozostałych} \end{cases}$$

gdzie $\bar{a} = a(T_3 - T_2)$, $u = sgn(x)(\frac{|x|-T_2}{T_3-T_2})$, $0 < b < 1$, $0 \leq T_1 \leq T_2 \leq T_3 \leq 1$, a i $sgm(x)$ j.w.



Rysunek 7: Dialog — transformacja falkowa oraz widok aktywnej krzywej: pierwszy rząd obrazków — oryginalny (źródłowy) obraz oraz wizualizacja współczynników; drugi rząd — transformacja z decymacją: wizualizacja współczynników oraz rekonstrukcja obrazu po zastosowaniu krzywej dla podpasm szczegółów (pionowych, diagonalnych i poziomych) na poziomie 1 i 2; trzeci rząd — oryginalny (źródłowy) obraz oraz wizualizacja współczynników pionowych i poziomych drugiego poziomu transformaty bez decymacji; czwarty rząd — rekonstrukcja obrazu po zastosowaniu krzywej dla podpasm szczegółów (pionowych, diagonalnych i poziomych) na poziomie 1 i 2 oraz wizualizacja współczynników pionowych i poziomych dla drugiego poziomu po zastosowaniu krzywej.

$$\text{soft-hard thresholding } y(x) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \gamma \\ x - \operatorname{sgn}(x)(1 - \alpha)\lambda & |x| \geq \lambda \\ \operatorname{sgn}(x)\alpha\lambda \left(\frac{|x| - \gamma}{\lambda - \gamma}\right)^2 \left\{ (\alpha - 3) \left(\frac{|x| - \gamma}{\lambda - \gamma}\right) + 4 - \alpha \right\} & \text{dla pozostałych} \end{cases}$$

gdzie $0 < \alpha < 1$ i $0 < \gamma < \lambda$, dla $\alpha = 0$ funkcja jest funkcją progującą miękką, dla $\alpha = 1$ – bardzo zliżona do funkcji progującej twardej (wyeliminowane nieciągłości w punktach $|x| = \lambda$).

$$\text{c-m } y(x) = \begin{cases} (m/c)^p & |x| < c \\ (m/|x|)^p & c \leq |x| < m \\ 1 & |x| \geq m \end{cases}$$

gdzie $p \in [0, 1]$

5.5 Lokalizacja małych jasnych plamek (Detection Tools/Multiscale Spot Detector...)

5.5.1 Założenia

Metoda identyfikuje małe, w przybliżeniu okrągłe obszary, nieco jaśniejsze niż otaczające je tło. Na mammogramach mogą być to mikrozwapnienia (o średnicach ok. 0.1-0.3 mm), przecięcia włókien oraz większe artefakty.

5.5.2 Schemat metody

Detektor jest oparty na skalowalnych filtrach *LoG* o różnych rozmiarach masek — poszukiwanie lokalnych maksimów na obrazach po filtracji *LoG* w różnych skalach (podobnie jak w [7]). Następnie rozmiary i lokalny kontrast mikrozwapnień są estymowane poprzez odpowiedzi filtrów *LoG* w centralnym punkcie każdej jasnej plamki.

5.5.3 Główne kroki metody

1. znalezienie jasnych, prawie okrągłych plamek;
2. oszacowanie rozmiaru D i lokalnego kontrastu C każdej plamki;
3. pozostawienie plamki, jeśli $C > T$, gdzie T jest progiem jednakowym dla każdego wymiaru D ;

5.5.4 Detekcja plamek

Lokalne maksimum to piksel, którego wartość jest największa w swoim sąsiedztwie (np. kwadratowym o wymiarach 3x3). Takie lokalne maksima w obrazie po filtracji *LoG* o odpowiedniej skali są oznaczane jako piksele — kandydaci (centra plam). Kandydaci dla najniższej skali (np. $h=4$) to lokalne maksima o bardzo małym lokalnym kontraście. Dla większych skal filtru *LoG* szum oraz mniejsze plamki zostają usunięte oraz zdarza się, że kandydaci są przesunięci z prawdziwych centrów plamek. Jednak, aby można było wiarygodnie określić rozmiar oraz lokalny kontrast poszukiwanych jasnych plamek, powinny być one oznaczone przez ich prawdziwe centra. Dlatego też lokalizacja prawdziwych kandydatów (centrów plamek) przebiega poprzez śledzenie odpowiedzi filtrów *LoG* od najmniejszej skali do największej w sąsiedztwie początkowego kandydata (z najniższej skali). Taka ścieżka rozpoczyna się dla najniższej skali i kończy dla pewnej wyższej skali, jeśli odpowiadający kandydat nie zostaje znaleziony w najbliższym sąsiedztwie kandydata z niższej skali. Kandydaci z tej samej ścieżki należą do jednej jasnej plamki na obrazie oryginalnym, ale ich związek z prawdziwym jej centrum jest różny. Ponieważ jądra filtrów *LoG* są znormalizowane ze względu na centralny szczyt, największa odpowiedź filtru na ścieżce wskazuje optymalnego kandydata, reprezentującego plamkę.

5.5.5 Estymacja rozmiaru i lokalnego kontrastu plamki

Jasne plamki są przybliżone przez cylindry o środku w punkcie optymalnego kandydata ze ścieżki oraz średnicy równej skali filtru *LoG* dla tego kandydata. Natomiast lokalny kontrast plamki jest estymowany przez odpowiedź filtru *LoG* dla tego kandydata.

5.5.6 Implementacja i parametry

Algorytm:

1. Detekcja jasnych plamek

- znalezienie lokalnych maksimów w obrazie po filtracji *LoG* o najniższej skali (hMIN);
- inicjalizacja ścieżek dla każdego znalezionej maksimum oraz kontynuacja poszukiwania lokalnych maksimów aż do najwyższej skali (hMAX);
- zidentyfikowanie największej odpowiedzi filtru na każdej ścieżce i oznaczenie odpowiadającego jej punktu jako optymalnego kandydata;

2. Estymacja rozmiaru i lokalnego kontrastu plamki

3. Progowanie — wybranie plamek

Jeśli lokalny kontrast jest większy od ustalonego progu, jednakowego dla każdego rozmiaru plamek, taka plamka jest pozostawiana na obrazie.

Parametry:

- najniższa skala filtru *LoG* – hMIN,
- najwyższa skala filtru *LoG* – hMAX,
- zmiana skali na każdym kroku tworzenia ścieżki – hINC,
- rozmiar sąsiedztwa dla sprawdzania, czy punkt jest lokalnym maximum – nLM,
- rozmiar sąsiedztwa dla szukania największego lokalnego maximum w otoczeniu kandydata z niższej skali – nWP,
- próg, powyżej którego wykryta plamka jest uznawana za mikrozwapnienie – T,

5.5.7 Przyciski w okienku detektora

Set seeds Zapamiętuje w obrazie źródłowym punkty ziaren (środki jasnych plam) do dalszej segmentacji.

Segment Zapamiętuje w obrazie źródłowym punkty ziaren (środki jasnych plam) do dalszej segmentacji oraz otwiera dialog segmentacji.

Cluster info Informacja na temat liczby wykrytych klastrów na obrazie: fałszywych wskazań klastrów, prawdziwie pozytywnych klastrów (przecinających się ze wskazaniami użytkownika, zaznaczonymi na zielono), liczby wykrytych punktów w klastrach prawdziwie pozytywnych oraz na temat obszarów klastrów (podanych w mm kwadratowych).

Spot info Informacja o parametrach wykrytych pojedynczych jasnych plam (średni poziom jasności, odchylenie standardowe poziomów jasności, kontrast, średni poziom jasności tła w najbliższym otoczeniu plamy) oraz statystyki (odchylenie standardowe, średnia średniego poziomu jasności każdej plamy) dla grup plam w każdej skali.

5.6 Klasteryzacja oparta na algorytmie DBSCAN (Detection Tools/Cluster Operations)

5.6.1 Algorytm DBSCAN

Proste (standardowe) algorytmy klasteryzacji polegają na przesuwaniu po obrazie okna o wymiarach 1x1 cm w poszukiwaniu 3 lub 5 obiektów, znajdujących się wewnątrz okna. W algorytmie DBSCAN (*Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) definicja klastra zostaje nieco zmieniona. Tutaj są to grupy obiektów połączonych zadaną gęstością, czyli o wyniku klasteryzacji decyduje rozłożenie przestrzenne obiektów i ich gęstość. Do definicji są potrzebne dwa parametry:

Eps — promień sąsiedztwa punktu określonego wg przyjętej metryki (tutaj euklidesowa),

MinPts — minimalna liczba punktów w klastrze oraz w sąsiedztwie punktów, leżących wewnątrz klastra (Sąsiedztwo punktów brzegowych klastra może być mniej liczne.)

W implementacji przyjęto $Eps=0,5\text{ cm}$ i $MinPts=3$ z możliwością zmiany w celu poszukiwania bardziej gęstych klastrow.

Definicja klastra jest oparta na obiektach wzajemnie osiągalnych lub połączonych z pewną zadaną gęstością (o parametrach *Eps* i *MinPts*). Punkt bezpośrednio osiągalny z zadaną gęstością z innego punktu to taki, który znajduje się w *Eps*-sąsiedztwie tego punktu, w którym w sumie znajduje się co najmniej *MinPts* takich punktów. Punkt osiągalny z zadaną gęstością z innego punktu, to punkt, dla którego istnieje ścieżka punktów bezpośrednio osiągalnych z punktu startowego do końcowego. Każde dwa obiekty należące do klastra są połączone zadaną gęstością (łączność). Wszystkie punkty osiągalne (z zadaną gęstością) z punktów leżących wewnątrz klastra także należą do klastra (maksymalność). Dla punktu należącego do klastra najpierw jest rozwijany cały klaster, później algorytm przechodzi do analizy kolejnych punktów, nienależących do żadnego klastra. Dokładny opis algorytmu można znaleźć w [5].

5.6.2 Parametry algorytmu klasteryzacji (Detection Tools/Cluster Operations/Making Cluster Params)

Parametry tworzonego klastra:

- średnica klastra: $CD = 2 * Eps$ (domyślnie $CD = 1\text{ cm}$)
- minimalna liczba obiektów w klastrze *MinPts* (domyślnie $MinPts = 3$)

Można także przyjąć, że niektóre tak powstałe klastry zostaną odrzucone (lub część obiektów w klastrze pod warunkiem, że nadal spełnia on poprzednie kryterium), np. te, w których obiekty są oddalone od siebie o więcej niż podana średnica zasięgu.

Parametry odrzucanych klastrow (lub obiektów w klastrach):

- średnica zasięgu wokół obiektu: SD (domyślnie $SD = CD/2$)
- minimalna liczba obiektów, które muszą znajdować się w zasięgu obiektu *MSP* (domyślnie $MSP = 2$)

Przykładowo w poprzednich implementacjach *ImageChecker R2* program wskazywał takie klastry mikrozwapnień, w których były co najmniej 3 obiekty na obszarze 1 cm^2 , ale odrzucał te, w których każda jasna plama (potencjalne mikrozwapnienie) jest oddzielona o więcej niż $2,5\text{ mm}$. Parametry wejściowe operacji tworzenia klastrow ([Detection Tools/Cluster Operations/Make Clusters](#)):

- czerwone regiony (punkty - środki ciężkości każdego)
- obraz czarno-biały z zaznaczonymi punktami - środkami obiektów

5.6.3 Otoczka wypukła klastrów jasnych plam ([Detection Tools/Cluster Operations/Cluster Areas](#))

Dane wejściowe

- Punkty – centra jasnych plam, które należą do klastrów.
Punkty te są podzielone już na grupy wykrytych klastrów (wg ustalonych parametrów ([Detection Tools/Cluster Operations/Making Cluster Params](#))).
Dane te można uzyskać w wielorozdzielczym detektorze plam ([Detection Tools/Multiscale Spot Detector...](#)) (wynik można zobaczyć, włączając opcję ([View Parameters/Only In Clusters](#))) oraz na obrazie kropek (środków jasnych plam), wykonując instrukcję ([Detection Tools/Cluster Operations/Make Clusters](#)) (następnie można zamienić obraz na oryginał do dalszej segmentacji ([Basic Image Operations/Swap Original Image < - > Image](#))).
- Regiony jasnych plam – wysegmentowane z obrazu obiekty, zaznaczone na czerwono (([Mouse Mode/Show Lesion Regions](#))).

Dane wyjściowe — Otoczki wypukłe klastrów z przydzielonymi do klastrów regionami jasnych plam (dane te zostają zapamiętane w obrazie).

Mając te dane, można nadawać diagnozę całym klastrom i obiektom leżącym wewnątrz nich (([Mouse Mode/User Diagnoses](#)) i ([Popup Menu: Region](#))).

5.7 Segmentacja kształtu jasnych plam (obszarów) z zadanych punktów startowych (ziaren) ([Detection Tools/Segmentation From Seeds...](#))

5.7.1 Dane wejściowe

Punkty — w przybliżeniu centra obiektów (lokalnych maksimów).

5.7.2 Algorytm maksymalnego spadku – *maximal slope*

Założenie: krawędzie obiektu stanowią zamknięty kontur wokół wejściowego punktu centrum.
Dla każdego punktu w kilku (np. 8) kierunkach wokół centrum jest zdefiniowana wartość spadku (algorytm *hill climbing* [2]):

$$s(x, y) = (f(x_0, y_0) - f(x, y)) / d(x_0, y_0, x, y)$$

gdzie (x_0, y_0) – punkt wejściowy, centrum (lokalne maksimum funkcji jasności), $d(x_0, y_0, x, y)$ – odległość Euklidesowa pomiędzy punktami (x_0, y_0) a (x, y) , $f(x, y)$ – wartość funkcji jasności w punkcie (x, y) w dziedzinie obrazu lub w dziedzinie wielorozdzielczej (np. po filtracji *LoG* w wielu skalach).

W pierwszym kroku punkty krawędzi obiektu są znajdowane w wybranych kierunkach (równomiernie rozłożonych na okręgu o środku w punkcie centrum w każdym kierunku). Dla każdego kierunku, piksel jest uznawany za punkt krawędzi jeśli dostarcza największą wartość spadku. Następnie wybrane punkty zostają połączone.

Parametry algorytmu:

- liczba kierunków, w których szukamy maksymalnego spadku,
- maksymalne okno sąsiedztwa, w którym poszukujemy maksymalnego spadku,
- obraz wejściowy: oryginalny (wyjściowy dla algorytmu lokalizacji) lub przetworzony obraz po filtracji *LoG* w wielu skalach: Dla każdego ziarna (punktu centrum) i w jego otoczeniu obraz jest przefiltrowany filtrem *LoG* o odpowiedniej skali dobranej w algorytmie lokalizacji: max na ścieżce filtrów *LoG* - odpowiadające w przybliżeniu średnicy obiektu).

5.7.3 Algorytm lokalnego minimum najbliższego centrum – *local minimum*

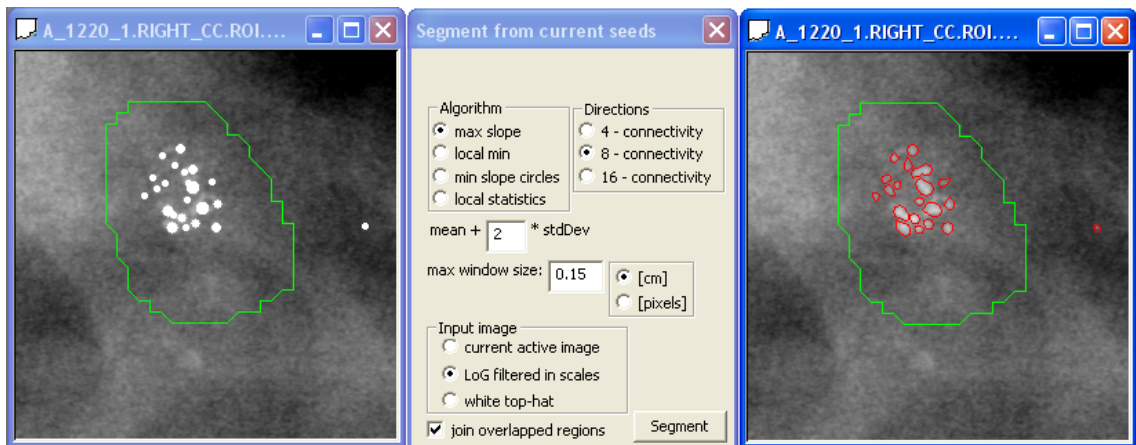
Analogiczny do algorytmu maksymalnego spadku, ale poszukuje się najbliższego lokalnego minimum w danym kierunku.

5.7.4 Algorytm, bazujący na lokalnych statystykach w sąsiedztwie punktu – *local statistics*

W oknie sąsiedztwa są obliczane lokalne statystyki. Następnie piksele o wartościach funkcji jasności powyżej adaptacyjnego progu (obliczanego na podstawie statystyk) oraz tworzące spójny obszar wokół punktu wejściowego są zaliczane do obiektu.

Parametry algorytmu:

- maksymalne okno sąsiedztwa, na podstawie którego są obliczane statystyki: średnia $\bar{x}$ i odchylenie standardowe δ ,
- parametr n w zależności wyznaczającej próg: $T = \bar{x} + n\delta$,
- obraz wejściowy: oryginalny lub przetworzony.



Rysunek 8: Segmentacja kształtu jasnych plam (obszarów) z zadanych punktów startowych (ziaren). Na lewo: punkty startowe – ziarna; W środku: Dialog z wyborem parametrów; Na prawo: Wynik segmentacji – algorytm największego spadku.

Część II

Opis strukturalny systemu

6 Środowisko programistyczne

- system *Windows NT, XP* (dla starszych wersji jest konieczna instalacja oprogramowania, używane biblioteki są zgodne z nowszą wersją),
- architektura dokument-widok z wykorzystaniem klas *MFC* oraz biblioteki *GDIPlus* dla *Windows*,
- biblioteka *libtiff* do otwierania plików *.TIFF z 2-bajtową głębią koloru (bez kompresji),
- biblioteka *dcmtk* dla standardu DICOM.

7 Klasa obrazu

Przeznaczona do przechowywania w pamięci danych obrazów 1-, 4-, 8- bitowych lub 2-bajtowych (np. 10-, 12-, 14-, 16-bitowych) ze skalą szarości. Podstawowa klasa obrazu: **CMImageBase**, przeznaczona także do przekazywania danych z bibliotek (*plug-ins*) do programu. Rozszerzona klasa **CMImage**, zawierająca wiele funkcji do przetwarzania obrazów i dodatkowe informacje o obrazie.

```
class CMImageBase
{
private:
    BOOL m_heap;    //depending on this variable image data is allocated
                    //in the thread memory or in the process heap -- memory
                    //common for all the threads in the program process
protected:
    BYTE* m_imageData;    //image data table
    int m_width, m_height; //width and height of the image
    int m_stride;          //!= m_width/m_BPP rounded off to one byte number of
                          //bytes taken for one row of the image
    BYTE m_BPP;            //bits per pixel
    unsigned short m_maxVal; //image max value =  $2^{m\_BPP} - 1$ 
public:
    void CreateZeroDataImage(int width, int height, BYTE BPP, BOOL heap=false);
    void SetProcessHeapVar(BOOL heap=true) { m_heap=heap; } //memory common for all threads
    //in the program process, e.g. dlls

    int SetStride(int width, BYTE bpp);

    /*CONSTRUCTORS*/
    CMImageBase(); //empty image

    CMImageBase(int width, int height, BYTE BPP, BOOL heap=false); //image data can be in
    //common process (for all the threads) memory depending on m_heap

    CMImageBase(CMImageBase& image); //image data can NOT be in common process memory image
    //data can be in common process memory (for all the threads) depending on m_heap

    CMImageBase& operator=(CMImageBase& image);

    /*BASIC FUNCTIONS*/
    BOOL ZeroData(); //zero image data
    void Reset();
    BOOL IsValid();

    unsigned short GetMaxVal();
    int GetHeight();
    int GetWidth();
    BYTE GetBPP();

    /*GETTING AND SETTING PIXEL VALUES*/
    unsigned short GetPixel(int x, int y);
    BOOL SetPixel(int x, int y, unsigned short val);
};
```

```

class CMImage : public CMImageBase
{
    CHistogram m_histogram;           //image histogram
    DicomData *m_dicomData;           //for dicom images only
    unsigned short m_Hounsfield;      //zero level of the image

public:
    CMImage();
    CMImage(int width, int height, BYTE BPP);
    CMImage(CMImage& image);
    CMImage& operator=(CMImage& image);
    CMImage(CMImageBase& image,unsigned short Hounsfield=0, DicomData* pDicomData=NULL);

    void Reset();
    CSize GetSize();
    ...
};

```

8 Klasa dokumentu

W klasie dokumentu jest przechowywany obiekt obrazka, obrazek oryginalny (np. obraz wejściowy danej operacji), wykryte regiony, regiony (ROS) zaznaczone przez lekarza-użytkownika itd.

```

class CMammoViewerDoc : public CDocument
{
protected:
    CMImage m_image;
    CMImage m_original_image;

    CRegions m_regions;           //detected regions
    CRegions m_ROSes;             //doctor's regions of suspiciousness

    CBreastSgt m_breastSgt;       //breast segment
    CClusters m_clusters;         //detected clusters of microcalcifications

    short m_subtlety;             //subtlety of lesions from OVERLAY file

    CString m_filename;
    CString m_description;        //description of the case

    //view parameters
    int m_wndLO, m_wndHI;
    BYTE m_startWnd, m_widthWnd;

    int m_brightness, m_contrast;
    float m_gamma;
    BYTE *m_gamma_tab;

public:
    float m_resolution;           //mammogram resolution [inch]
                                   //default value is 583.92; which can be set in Image
                                   //properties dialog
    ...
};

```

9 Dwie klasy widoku

Klasa `CMammoViewerView` służy do wyświetlania obrazka.

```
class CMammoViewerView : public CScrollView
{
protected:
    CImage* m_pScaledBitmap;           //scaled bitmap to draw on the screen
    CImage* m_pScaledRegionBitmap;     //scaled region bitmap to draw on the
                                      //previous bitmap (4-bit image with black as
                                      //a transparent colour and with drawn regions
                                      //and ROSES on it

    float m_scale;                     //current scale of the image

    CRect m_roi;                       //selected ROI - region of interest

    CRect m_ruler;                     //current ruler (Mouse mode/Ruler)
    ...
};
```

Klasa `CTextView` służy do wyświetlania opisu (`CMammoViewerDoc::m_description`) do obrazka.

```
class CTextView : public CEditView;
```

10 Stworzenie nowego obiektu dokumentu z przetworzonym obrazem

Przykład z utworzeniem nowego obrazu w nowym oknie:

```
void CMammoViewerDoc::OnOperationsPeakValleyFilter()
{
    ...
    BeginWaitCursor();
    CImage* pImage = m_image.PeakAndValley(scale);
    EndWaitCursor();

    CreateNewDocument(pImage, m_filename);
    if(pImage) delete pImage;
}
```

Funkcja **CreateNewDocument**:

```
void CMammoViewerDoc::CreateNewDocument(CMImage* pImage, CString& filename)
{
    if(!pImage) return;
    if(!pImage->IsValid()) return;
    BeginWaitCursor();

    CMammoViewerDoc *pDoc=NULL;
    CMammoViewerApp* pApp = (CMammoViewerApp*)AfxGetApp();
    ASSERT_VALID(pApp);
    if(pApp->m.document.original_image_set==0)
        if(m_original_image.IsValid())
            pDoc=CreateNewDocument(*pImage,filename,m_original_image,false);
        else pDoc=CreateNewDocument(*pImage,filename,m_image,false);
    else if(pApp->m.document.original_image_set==1)
        pDoc=CreateNewDocument(*pImage,filename,m_image,false);
    else
    {
        CMImage image;
        pDoc=CreateNewDocument(*pImage,filename,image,false);
    }
    EndWaitCursor();
}
```

Przykład ze zmianą obrazu w aktualnym dokumencie, oknie:

```
void CMammoViewerDoc::OnImageReverse()
{
    BeginWaitCursor();
    m_image.Reverse();
    EndWaitCursor();
    UpdateAllViews(NULL,CHANGED_BITMAP);
}
```

UpdateAllViews(NULL,CHANGED_BITMAP); - uaktualnianie widoków danego dokumentu, pobranie nowej bitmapy obrazu

UpdateAllViews(NULL,CHANGED_REGION_BITMAP); - uaktualnianie widoków danego dokumentu, pobranie nowej bitmapy regionów (zostały zmienione regiony, ROS lub *breast segment*)

Inne używane stałe dla funkcji **CMammoViewerView::OnUpdate(...)**:

```
//const for OnUpdate
#define CHANGED_BITMAP 1L
#define CHANGED_REGION_BITMAP 2L
#define CHANGED_MOUSE_MODE 3L
#define RESET_RULER 4L
#define CHANGED_DESCRIPTION 5L
#define CHANGED_BITMAP_WWV 6L
```

11 Dodawanie nowych okien niemodalnych

Wszystkie stworzone i aktywne dialogi niemodalne są dodawane do listy w klasie aplikacji — `CMammoViewerApp`, według poniższego przykładu:

Nowy dialog niemodalny — klasa `CNewDialog`

```
void CMammoViewerApp::OnAddNewDialog()
{
    IF_DLG_EXISTS_CLOSE(CNewDialog);
    CNewDialog * pDlg = new CNewDialog();
    if( CreateNonModalDialog(pDlg,IDD_NEW_DIALOG)<0)
        { delete pDlg; return; }
}
void CMammoViewerApp::OnUpdateAddingNewDialog(CCmdUI *pCmdUI)
{
    UPDATE_DLG_MENU(CNewDialog);
}
```

Klasa `CNewDialog` musi dziedziczyć po klasie `CNonModalDialog`, która obsługuje zamykanie okna i usuwanie go z listy w klasie aplikacji.

```
class CNewDialog : public CNonModalDialog;

class CNonModalDialog : public CDialog
{
    DECLARE_DYNAMIC(CNonModalDialog)
protected:
    virtual void OnCancel() { OnClose(); }
    CMammoViewerDoc* GetActiveMammoViewerDocument(void);
public:
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
    afx_msg void OnClose();
};
```

Jeśli w klasie nowego dialogu są zmienne, wymagające usunięcia, gdy dialog jest zamykany, należy zrobić to w funkcji:

```
virtual BOOL DestroyWindow();
```

12 Dialog modalny z dwoma parametrami

Klasa `CParametersDlg` obsługuje dialog modalny z jednym lub dwoma parametrami:

```
class CParametersDlg : public CDialog
```

Funkcja do ustawiania parametrów przed otwarciem dialogu:

```
void SetParametersNames(CString dialog_title='Parameters',
                        double par1=0., double par2=0.,
                        CString par1_name='', CString par2_name='',
                        boolean par1_spin=false, boolean par2_spin=false,
                        short par1_spin_low=0, short par2_spin_low=0,
                        short par1_spin_high=0, short par2_spin_high=0,
                        UINT par1_spin_accel=1,UINT par2_spin_accel=1);
```

Przykładowe wywołanie dialogu z jednym parametrem:

```
void CMammoViewerDoc::OnOperationsPeakValleyFilter()
{
    int scale=3;
    CParametersDlg dlg;
    dlg.SetParametersNames('Peak and Valley',scale,0,
                           'scale','',true,false,3,0,20,0,1,0);
    if(dlg.DoModal()!=IDOK) return;
    scale=(int)dlg.m_par1;
    ...
}
```

13 Dialog modalny z dwoma lub trzema przyciskami radio

Klasa `CRadioGroupDlg` obsługuje dialogi z dwoma lub trzema przyciskami radio.

```
class CRadioGroupDlg : public CDialog
```

Przykładowe wywołanie dialogu z 3 przyciskami radio:

```
void CMammoViewerApp::OnFileOptionsColouredImages()
{
    CString captions[3];
    CString title;
    title.LoadString(IDS_COLOURED_IMAGES_OPENING_OPTIONS_DIALOG_TITLE_STRING);
    captions[0].LoadString(IDS_COLOURED_IMAGES_OPENING_OPTIONS_RADIO01_CAPTION_STRING);
    captions[1].LoadString(IDS_COLOURED_IMAGES_OPENING_OPTIONS_RADIO02_CAPTION_STRING);
    captions[2].LoadString(IDS_COLOURED_IMAGES_OPENING_OPTIONS_RADIO03_CAPTION_STRING);

    CRadioGroupDlg dlg;
    if(dlg.DoModal(title,m_colouredImagesMode,3,captions) == IDOK)
        m_colouredImagesMode= dlg.m_indicated_radio;
}
```

14 Dynamiczne ładowanie biblioteki do przetwarzania obrazów *PLUG-IN*

Możliwość dodawania dynamicznie ładowanych bibliotek (*plug-in*) - rozwiązanie **MVPlugInMain**. Biblioteka (*nazwa.dll*) powinna znajdować się w podkatalogu */plugins* katalogu, zawierającego program *MammoViewer.exe*. Nazwa biblioteki znajdzie się w menu: *PlugIns/Nazwa biblioteki*.

Funkcje do komunikacji z programem:

```
void GetMVPlugInName(char *name, char *descr);
//nazwa biblioteki (pojawi się w menu programu)

int GetMVPlugInImgInNo();
//liczba obrazów wejściowych, musi zwracać wartość jeden

void MVPlugInProceed1(CMImageBase& inImage, CMImageBaseRecord* &pOut, MVParams *params);
//funkcja wywoływana przez program; ma jeden obraz wejściowy oraz listę obrazów
wyjściowych
```

Rekord z obrazem:

```
class CMImageBaseRecord
{
public:
    CMImageBase m_image;
    CMImageBaseRecord *m_pNextRecord;
    ...
};
```

Pamięć, która będzie zwracana do programu wywołującego wątek biblioteki (*plug-in'a*), musi być przydzielona na stosie procesu (w pamięci wspólnej dla wszystkich wątków procesu) – funkcje: **HeapAlloc**, **HeapFree**.

Np. przydzielenie pamięci dla rekordu obrazu:

```
CMImageBaseRecord* CreateNewImageRecordInProcessHeap
(int width, int height, BYTE BPP)
{
    CMImageBaseRecord* pTemp = (CMImageBaseRecord*)HeapAlloc
        (GetProcessHeap(), HEAP_ZERO_MEMORY, sizeof(CMImageBaseRecord));

    if(!pTemp) return NULL;
    pTemp->m_pNextRecord = NULL;
    pTemp->m_image.CreateZeroDataImage
        (width,height,BPP,true/*memory for image data in process heap*/);

    if(!pTemp->m_image.IsValid())
    {
        HeapFree(GetProcessHeap(), 0, pTemp);
        return NULL;
    }
    return pTemp;
}
```


Przykładowa funkcja przetwarzająca obraz wejściowy:

```
void MVPlugInProceed1
    (CImageBase& inImage, CImageBaseRecord* &pOut, MVParams *params)
{
    if(!inImage.IsValid()) return;
    if(pOut) return;

    //the first output image////////////////////////////////////////
    pOut = CreateNewImageRecordInProcessHeap
        (inImage.GetWidth(),inImage.GetHeight(),inImage.GetBPP());

    if(!pOut) return;

    unsigned short max=inImage.GetMaxVal();
    for(int y=0; y<inImage.GetHeight(); y++)
    for(int x=0; x<inImage.GetWidth(); x++)
        pOut->m_image.SetPixel(x,y,max-inImage.GetPixel(x,y));

    //the second output image////////////////////////////////////////
    CImageBaseRecord* pTemp = CreateNewImageRecordInProcessHeap
        (inImage.GetWidth(),inImage.GetHeight(),1);

    if(!pTemp) return;
    pTemp->m_pNextRecord = pOut;
    //add to the output list as the first one record
    pOut=pTemp;

    unsigned short thresh=inImage.GetMaxVal()/5;
    for(int y=0; y<inImage.GetHeight(); y++)
    for(int x=0; x<inImage.GetWidth(); x++)
        if(inImage.GetPixel(x,y)>thresh) pOut->m_image.SetPixel(x,y,1);
        else pOut->m_image.SetPixel(x,y,0);
    return;
}
```

15 Procedury do testów poprawy percepcji w dziedzinie falkowej

Zapis obrazu przetworzonego w dziedzinie falkowej wg podanego zestawu parametrów: 'wavelet_params.filename.wtp' (Obraz przetworzony jest zapisany do podkatalogu 'test', który będzie w katalogu obrazu):

MammoViewer.exe image_filename -r wavelet_params_filename.wtp

Zapis miar skalarnych z obrazu przetworzonego w dziedzinie falkowej wg podanego zestawu parametrów

('wavelet_params_filename.wtp') do pliku tekstowego o nazwie obrazu:

MammoViewer.exe image_filename -r wavelet_params_filename.wtp -t test_folder_path

Plik tekstowy z miarami zawiera kolejne pola dzielone tabulacją, liczby zapisane są w formacie polskim (z przecinkiem zamiast kropki w liczbach zmiennopozycyjnych), plik posiada wiersz nagłówkowy oraz drugi wiersz, zawierający dane dotyczące obrazu oryginalnego (nieprzetworzonego).

```
void CMammoViewerDoc::ProcessImage(CString& paramFilename, CString& testFolder)
```

Uruchamianie automatycznych procedur do testów poprawy percepcji w dziedzinie falkowej (teraz testy są przeprowadzane dla podanego zestawu parametrów i dla różnych falek):

`MammoViewer.exe image_filename -w wavelet_params_filename.wtp [-t test_folder_path]`

```
void CMammoViewerDoc::ProcessPerceptionImprovementTests  
    (CString& paramFilename, CString& testFolder)
```

Literatura

- [1] P. Bargieł (2007) „Komputerowe metody poprawy jakości medycznych danych obrazowych”. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych. cytowanie na str. 11
- [2] I. N. Bankman, T. Nizialek, I. Simon, O. B. Gatewood, I. N. Weinberg, W. R. Brody (1997) „Segmentation algorithms for detecting microcalcifications in mammograms”, IEEE Trans. Inform. Techn. Biomed. 1(2), 141-149. cytowanie na str. 31
- [3] J. Dengler, S. Behrens, J. F. Desaga (1993) „Segmentation of microcalcifications in mammograms”. IEEE Trans. Medical Imag. 12(4): 774-786. cytowanie na str. 16
- [4] B. Dudziński, R. Pająk (2003) „Laboratorium podstaw fotoniki – cyfrowe przetwarzanie obrazu”. Zakład Przetwarzania Obrazu. Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej, Warszawa. cytowanie na str. 11, 13
- [5] M. Ester, H. P. Kriegel, J. Sander, X. Xu (1996) „A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise”, Proc. 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. cytowanie na str. 30
- [6] Y. Jiang (2000) „Classification of Breast Lesions from Mammograms”. W: Handbook of Medical Imaging, Academic Press, 341-357. cytowanie na str. 16
- [7] T. Netsch, H. O. Peitgen (1999) „Scale-space signatures for the detection of clustered microcalcifications in digital mammograms”. IEEE Trans. Medical Imag. 18(9), 774-786. cytowanie na str. 16, 28
- [8] W. K. Pratt (1991) „Digital Image Processing”, New York, A Wiley – Interscience publication, John Wiley & Sons. cytowanie na str. 11, 19, 22
- [9] P. L. Rosin (2003) „Measuring shape: ellipticity, rectangularity and triangularity”, Machina Vision and Application, 14(3), 172-184. cytowanie na str. 20
- [10] L. Shen, R. M. Rangayyan, J. E. L. Desautels (1992) „Shape analysis of mammographic calcifications”, Proceedings of Fifth Annual IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, 123-128. cytowanie na str. 19, 20
- [11] M. A. Sid-Ahmed (1995) „Image Processing. Theory, algorithms and architecture”, McGraw-Hill, Inc., New York. cytowanie na str. 11
- [12] K. W. Zieliński, M. Strzelecki (2001) „Komputerowa analiza obrazu biomedycznego. Wstęp do morfometrii i patologii ilościowej”. WN PWN, Warszawa. cytowanie na str. 9, 13, 16, 23

