

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej



**Autoreferat rozprawy doktorskiej**

# Analiza i detekcja struktur lokalnych w czerniaku złośliwym

mgr inż. Joanna Jaworek-Korjakowska

Promotor:  
Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

Kraków, 2012

---

# Rozdział 1

## Wstęp

---

*"Kaźde twierdzenie daje się zbić z taką samą łatwością,  
z jaką można go dowieść, nie wykluczając powyższego twierdzenia"*

Pitagoras (ok. 572 - 497 p.n.e.)

### 1.1. Uwagi wprowadzające

Medycyna (łac. *medicina* „sztuka lekarska”) jest jedną z najstarszych i najważniejszych dziedzin nauki. Ludzkość od zarania dziejów interesowała się budową i sposobem funkcjonowania tego niewiarygodnie wspaniałego mechanizmu, jakim jest ciało człowieka, odkrywając kolejne tajemnice ludzkiego organizmu. Początki medycyny to przede wszystkim wiara w siły nadprzyrodzone oraz upatrywanie w czarach i zaklęciach przyczyn wielu chorób. Konsekwencją takiego podejścia metodologicznego były magiczne sposoby leczenia, na przykład wykonywanie przez czarownice rytualnych obrzędów w celu odpędzenia choroby oraz przywrócenia zdrowia. Leczenie mające naukowe uzasadnienie stało się możliwe dopiero po wieloletnich obserwacjach chorób oraz ich przebiegu a także po przeprowadzeniu niezliczonej ilości sekcji zwłok oraz badań fizjologicznych przez żadnych wiedzy naukowców i lekarzy. Jako przykład porównania tego, o czym marzyli badacze ludzkiego ciała w przeszłości, z tym co jest obecnie osiągalne przy pomocy współczesnych technologii służyć może porównanie obrazu "*Lekcja anatomii profesora Tulpa*" autorstwa Rembrandta Harmenszoon van Rijna ze współczesną wizualizacją dłoni człowieka.

Początki dermatologii datuje się na I w. p.n.e. kiedy to badacze i uczeni zastanawiali się nad genezą powstawania zmian skórnych, opisywanych wtedy jako wypryski. Skóra człowieka przedstawiana była jako powłoka oddzielająca świat wewnętrzny od zewnętrznego i chroniąca wnętrze ciała człowieka przed niekorzystnym wpływem otoczenia. Według lekarzy starożytnych jej głównym

zdaniem było utrzymywanie równowagi pomiędzy czterema płynami<sup>1</sup> wypełniającymi ciało. Pomimo prostego sprzętu używanego do badania skóry lekarze zdawali sobie już wtedy sprawę, że ludzka skóra ma skomplikowaną budowę, a jej poprawne funkcjonowanie jest kluczowe dla całego organizmu.

Początki dermoskopii (wcześniej dermatoskopii), czyli metody rozpoznawania zmian skórnych, sięgają XVII wieku. Wtedy to Borrelus, a później Kolhaus przy pomocy narzędzia podobnego do mikroskopu przyglądali się naczyniom krwionośnym w obrębie wałów paznokciowych, czym zapoczątkowali mikroskopię powierzchniową.

Dopiero intensywny rozwój techniki, informatyki, elektroniki i inżynierii biomedycznej, który nastąpił w XX wieku pozwolił na analizowanie struktur skóry na znacznie bardziej zaawansowanym poziomie. Pierwsze aparaty do dermoskopii, czyli nieinwazyjnego badania zmian skórnych, powstały w latach 30 ubiegłego wieku. Od tamtej pory zarówno lekarze jak i naukowcy na całym świecie doskonałą metodologię przeprowadzania badania skóry oraz próbują rozwinąć zaawansowane algorytmy analizowania obrazów dermoskopowych. Wszystkie te wysiłki mają na celu postawienie właściwej diagnozy i prowadzenie prawidłowego leczenia zmian skórnych.

Ze względu na dużą zachorowalność na nowotwory skóry onkologia dermatologiczna jest bardzo szybko rozwijającą się dziedziną. Postęp zauważany jest zarówno w badaniach podstawowych dotyczących patogenezy nowotworów (rola genów i wirusów w rozwoju nowotworu), jak i w powstawaniu innowacyjnej aparatury medycznej, która umożliwia skuteczniejsze diagnozowanie zmian skórnych. Jednym z głównych zadań nowoczesnej dermatologii jest wykrywanie czerniaka we wczesnym stadium rozwoju. Te dążenia prowadzą do obniżenia zachorowalności oraz umieralności związanej z tą groźną chorobą.

Podstawowym celem badania dermoskopowego jest diagnostyka różnicowa zmian barwnikowych z podziałem na zmiany melanocytowe i niemelanocytowe. Jeżeli zmiana jest melanocytowa zadaniem dermatologa jest poprawne odróżnienie łagodnych zmian melanocytowych od jednego z najgroźniejszych nowotworów, czyli **czerniaka złośliwego**.

**Zastosowanie nowoczesnych metod komputerowego przetwarzania obrazów medycznych** jest jedną z najbardziej obiecujących technik wczesnego wykrywania czerniaka. Obrazy dermoskopowe, ze względu na złożoną strukturę lokalną, dużą ilość kolorów oraz informacji morfologicznych, często są bardzo trudne w interpretacji. Dzięki komputerowemu przetwarzaniu obrazów dermoskopowych możliwe staje się wydobycie z całego obrazu jedynie tych elementów, które są ważne z diagnostycznego punktu widzenia, co bardzo ułatwia proces ich dalszego analizowania.

---

<sup>1</sup> Hipokrates wyróżnił w organizmie cztery podstawowe soki (płyny, "humory"): krew, żółć, śluz zwierzęcy oraz czarną żółć. Zaburzenie równowagi między płynami miały być przyczyną choroby (patologia humoralna).

Dotychczasowe wysiłki w badaniach nad rozpoznawaniem czerniaka złośliwego skupiały się przede wszystkim na analizowaniu cech globalnych zmiany (asymetria, poszarpanie krawędzi, siatka barwnikowa). Zainteresowanie **analizą struktur lokalnych**, których poprawna detekcja pozwala jeszcze precyzyjniej różnicować zmiany, było znacznie mniejsze. W niniejszej pracy przedstawiono rozważania związane właśnie z analizą struktur lokalnych obrazów dermoskopowych. W wyniku tych rozważań zaproponowano algorytmy dotyczące analizy struktur lokalnych obrazów dermoskopowych oraz zbadano możliwości wykorzystania komputerowego przetwarzania obrazów medycznych do **rozpoznawania struktur lokalnych w czerniaku złośliwym**.

## 1.2. Motywacja pracy

Czerniak skóry należy do najbardziej złośliwych nowotworów atakujących ciało człowieka, a liczbę zachorowań na świecie szacuje się na 133 000 rocznie. Co więcej, na przestrzeni ostatnich lat obserwowany jest stały wzrost zachorowalności na czerniaka, co spowodowane jest jakością i trybem życia, długotrwałą ekspozycją na słońce oraz oparzeniami słonecznymi. Prognozuje się, że czerniak złośliwy będzie w przyszłości jednym z najczęściej występujących złośliwych nowotworów, a zapadalność na niego może wzrosnąć nawet 10-krotnie.

Czerniak złośliwy jest nowotworem bardzo opornym w leczeniu o wysokim stopniu złośliwości. Charakteryzuje się bardzo szybkim rozrostem i daje często przerzuty do okolicznych węzłów chłonnych, płuc i mózgu. Ponadto metody uzupełniające leczenie chirurgiczne czerniaka, takie jak chemioterapia, radioterapia, immunoterapia wykazują bardzo niską skuteczność. Przeżycie chorych zależy przede wszystkim od stopnia zaawansowania klinicznego czerniaka w momencie rozpoczęcia leczenia.

W świetle powyższych informacji bardzo istotne staje się wczesne diagnozowanie czerniaka złośliwego. Wobec niskiego poziomu wiedzy onkologicznej lekarzy pierwszego kontaktu oraz braku odpowiedniego sprzętu medycznego wczesne diagnozowanie jest obecnie bardzo trudne. Polepszenie tej niekorzystnej sytuacji będzie możliwe tylko dzięki innowacyjnej aparaturze medycznej połączonej z komputerowym przetwarzaniem obrazów.

Obszar komputerowego wspomaganie w przetwarzaniu obrazów dermoskopowych dopiero się kształtuje, a zaawansowane badania w tym zakresie prowadzone są dopiero od kilku lat. Największą nadzieję pokłada się w rozpoznawaniu i analizowaniu poszczególnych struktur lokalnych, które umożliwiają identyfikację czerniaka w pierwszym stadium choroby, kiedy jest on niewielkich rozmiarów, zwykle płaski i bezobjawowy.

### 1.3. Teza i cel pracy

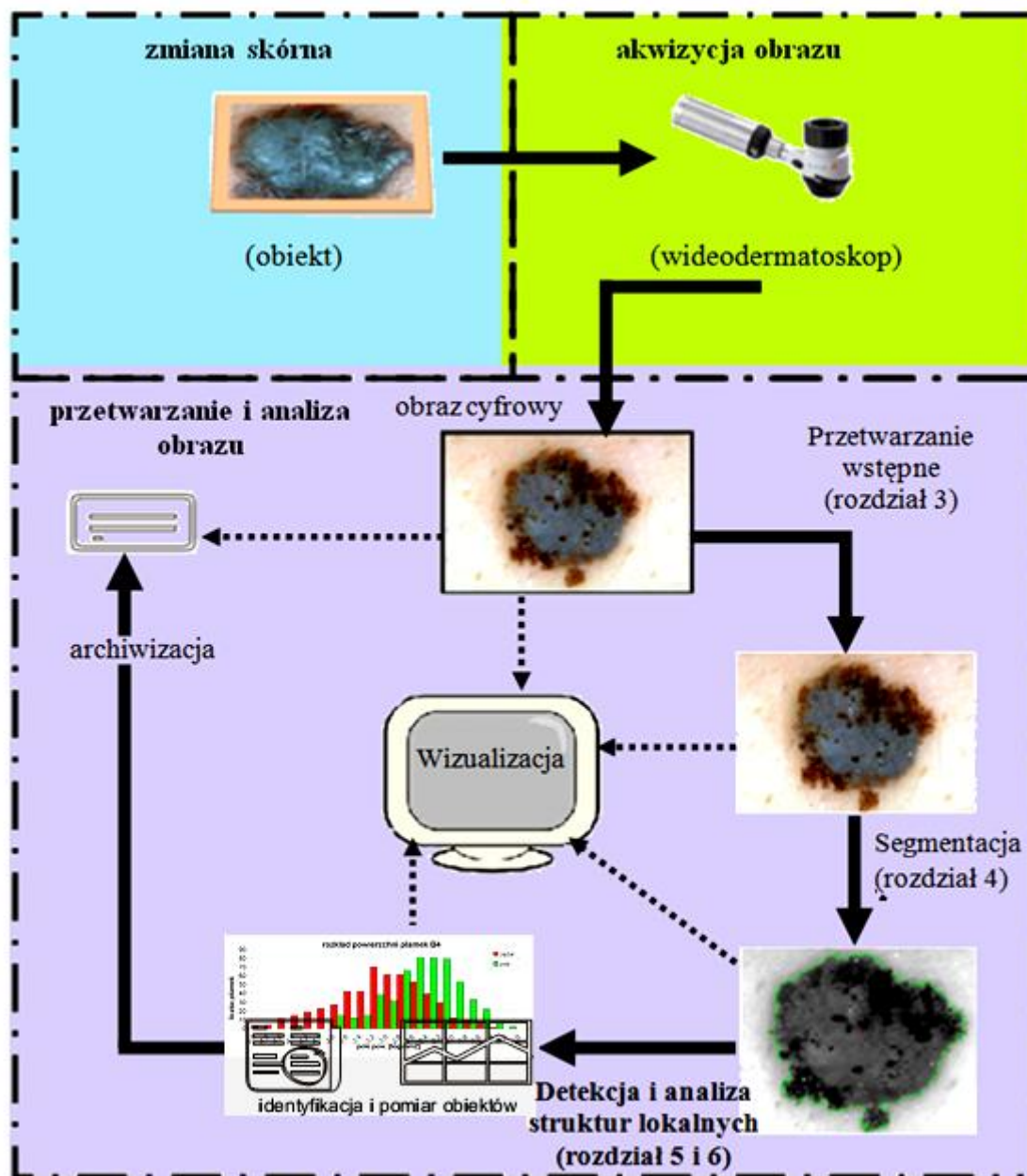
Przegląd aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie przetwarzania i rozpoznawania zdjęć dermoskopowych oraz analiza zrealizowanych prac badawczych dotyczących wspomagania diagnostyki czerniaka złośliwego pozwala na sformułowanie podstawowej tezy niniejszej pracy:

*Przy wykorzystaniu nowoczesnych metod przetwarzania obrazów możliwa jest detekcja i analiza struktur lokalnych czerniaka złośliwego, która ułatwia diagnostykę dermatologiczną.*

Teza zakłada, że zdjęcie dermoskopowe, które pokazuje zmianę skórną w dużym powiększeniu, w połączeniu z komputerowym przetwarzaniem obrazów, umożliwi detekcję i analizę poszczególnych struktur lokalnych. Wyniki analizy struktur lokalnych pozwolą na postawienie wstępnej diagnozy, czy obserwowana zmiana jest czerniakiem, czy zmianą łagodną.

Głównym celem przeprowadzonych badań, których efektem jest niniejsza rozprawa, było wykazanie prawdziwości postawionej tezy. W celu uzasadnienia słuszności tej tezy zrealizowano następujące cele szczegółowe:

1. Zaznajomienie z metodami diagnostycznymi stosowanymi w dermatologii oraz określenie problemu naukowego, będącego centralnym elementem pracy.
2. Analiza stanu wiedzy w dziedzinie przetwarzania i analizowania zdjęć dermoskopowych.
3. Uzyskanie dostępu do rozbudowanej bazy zdjęć dermoskopowych zawierającej zarówno obrazy czerniaka złośliwego jak i łagodnych zmian skórnych.
4. Opracowanie metodologii przetwarzania wstępnego zdjęć dermoskopowych.
5. Segmentacja zmiany skórnej z obrazu dermoskopowego:
  - a. Analiza problemu badawczego oraz istniejących metod segmentacji.
  - b. Opracowanie autorskiego algorytmu wykorzystującego metodę rozrostu obszarów.
6. Wykorzystanie metod komputerowego przetwarzania obrazów do detekcji poszczególnych struktur lokalnych na obrazie dermoskopowym.
7. Analiza wybranych struktur lokalnych (ze względu na ich szczególne właściwości).
8. Ocena przydatności komputerowego wspomagania diagnostyki dermatologicznej.
9. Opracowanie wyników.



Rys 1.1 Uproszczony schemat automatycznej detekcji i analizy struktur lokalnych.

## 1.4. Struktura prezentowanej rozprawy doktorskiej

Niniejsza rozprawa doktorska składa się z siedmiu rozdziałów.

**Rozdział pierwszy** zawiera krótki wstęp do problematyki diagnostyki obrazowej w dermatologii oraz jej komputerowego wspomagania. Przedstawiono cel prowadzonych badań, przyjętą tezę oraz motywację podejmowanej problematyki. Rysunek 1.1 prezentuje uproszczony schemat opracowanego systemu do detekcji i analizy struktur lokalnych, a jego poszczególne etapy opisano w kolejnych rozdziałach.

**Rozdział drugi** zawiera analizę problemu badawczego i składa się z trzech podrozdziałów. Pierwszy podrozdział zawiera literaturowe wprowadzenie do podejmowanej tematyki badawczej. Krótko przedstawiono w nim podstawowe nowotwory skóry, scharakteryzowano metody i algorytmy diagnostyczne stosowane w analizie zmian melanocytowych, a następnie omówiono czerniaka złośliwego i występujące w nim struktury lokalne, których wykrywanie i ocena są głównym tematem rozprawy doktorskiej. Drugi podrozdział obejmuje opis podstawowych metod przetwarzania obrazów wykorzystywanych w dalszych rozdziałach rozprawy doktorskiej. Podrozdział trzeci zawierana przegląd najważniejszych prac i artykułów dotyczących tematyki przetwarzania zdjęć dermoskopowych, w szczególności detekcji i analizy struktur lokalnych.

Osiągnięcie głównego celu rozprawy doktorskiej wymagało realizacji celów cząstkowych, czyli zaprojektowania określonych algorytmów przetwarzania obrazów dermoskopowych. Aby zachować przejrzystość pracy każdemu z etapów poświęcono oddzielny rozdział.

W **rozdziale trzecim** omówiono wykorzystane procedury wstępnego przetwarzania obrazów dermoskopowych obejmującego usuwanie ramki, filtracje oraz redukcje włosów. Przedstawiono schemat blokowy, scharakteryzowano poszczególne etapy przetwarzania wstępnego oraz omówiono zastosowane algorytmy. W ostatniej części rozdziału zaprezentowano osiągnięte wyniki, skuteczność stosowanych metod i podsumowano rozdział.

Tematem **rozdziału czwartego** jest segmentacja zmiany skórnej z obrazu dermoskopowego. W ramach rozdziału zaprezentowano charakterystykę oraz matematyczną definicję segmentacji. Przedstawiono opracowaną przez Autorkę nową metodę segmentacji obrazu dermoskopowego bazującą na algorytmie rozrostu obszaru, zaprezentowano uzyskane wyniki oraz porównano je z rezultatami opisanymi w literaturze.

Jednym z najważniejszych zagadnień w niniejszej rozprawie doktorskiej było **opracowanie algorytmów detekcji poszczególnych struktur lokalnych**, które są tematem **rozdziału piątego**. W rozdziale scharakteryzowano struktury lokalne będące przedmiotem analizy, zdefiniowano problem badawczy oraz przedstawiono zaprojektowane algorytmy detekcji w formie schematu blokowego wraz z opisem działania. Algorytmu poddano testowaniu na wybranej grupie obrazów porównując osiągnięte wyniki z dermatologicznym opisem zdjęć.

W **rozdziale szóstym** opisano zaproponowany w ramach rozprawy doktorskiej sposób analizy regularności struktur lokalnych. Scharakteryzowano struktury lokalne będące przedmiotem dalszej analizy oraz przedstawiono sposób ich oceny. W ramach rozdziału zweryfikowano statystycznie skuteczność opracowanych algorytmów w konfrontacji z wynikami literaturowymi.

Ostatni rozdział to podsumowanie, które zawiera opis oryginalnych elementów rozprawy doktorskiej, udowodnienie tezy pracy oraz przedstawia perspektywy rozwoju wraz z możliwościami dalszych badań.



---

# Rozdział 2

## Komputerowa analiza obrazów dermoskopowych

---

*"Wszyscy ludzie z natury pragną wiedzy."*

Arystoteles (384–322 p.n.e.)

### 2.1. Wstępne przetwarzanie obrazów

Zadaniem wstępnego przetwarzania jest przygotowanie obrazu do dalszej, właściwej analizy. Celem zarówno prostych, jak i bardziej złożonych algorytmów będzie usuwanie i zmniejszanie zakłóceń z obrazu przy jednoczesnym zachowaniu i uwydatnieniu jego szczególnych cech, znamienych dla struktur lokalnych obiektów, z możliwie małym rozmyciem granic między nimi.

W ramach rozdziału przedstawiono schemat blokowy, scharakteryzowano poszczególne etapy przetwarzania wstępnego (eliminację czarnej ramki, usunięcie pęcherzyków powietrza oraz redukcję włosów) omówiono także zastosowane algorytmy. W ostatniej części rozdziału zaprezentowano osiągnięte wyniki, oceniono skuteczność stosowanych metod oraz podsumowano rozdział.

### 2.2. Segmentacja zmiany skórnej

Kolejnym (po wymienionych w poprzednim rozdziale filtracjach) etapem procesu detekcji i analizy struktur lokalnych na obrazach dermoskopowych jest segmentacja. Jej celem jest wyodrębnienie rozważanej zmiany skórnej z całości badanego obrazu dermoskopowego. Autorka rozprawy doktorskiej przeanalizowała kilka najważniejszych metod segmentacji opisując wyniki w publikacjach naukowych. Otrzymane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że dotychczasowe metody nie dostarczają poprawnych wyników w przypadku zmian bardziej rozmytych zawierających struktury regresji (kolor biały), zwłaszcza, gdy są położone na brzegu zmiany.

Problemów podczas segmentacji nie stwarzają natomiast zakłócenia (pęcherzyki powietrza, włosy), które zostały zredukowane podczas wstępnego przetwarzania obrazów.



Powyższa specyfikacja zdjęć dermoskopowych oraz przeprowadzone badania i eksperymenty pozwoliły na opracowanie przez Autorkę algorytmu segmentacji zmiany skórnej bazującej na metodzie rozrostu obszarów. Proponowana segmentacja polega na podwójnym rozroście obszarów: zmiany skórnej oraz tła, czyli zdrowej skóry.

### **2.3. Detekcja struktur lokalnych**

Jednym z najważniejszych zagadnień podejmowanych w niniejszej rozprawie doktorskiej było **opracowanie algorytmów detekcji poszczególnych struktur lokalnych**, które pojawiają się w znamionach skórnych, szczególnie w czerniaku złośliwym. Detekcja struktur lokalnych jest kluczowym etapem pozwalającym na analizę struktur lokalnych oraz ocenę zaawansowania zmiany skórnej.

W pracy scharakteryzowano struktury lokalne będące przedmiotem analizy, zdefiniowano problem badawczy oraz przedstawiono zaprojektowane algorytmy detekcji struktur lokalnych w formie schematu blokowego wraz opisem działania. Algorytmu poddano testowaniu na wybranej grupie obrazów porównując osiągnięte wyniki z dermatologicznym opisem zdjęć.

### **2.4. Analiza struktur lokalnych**

Analiza struktur lokalnych pozwala na bardziej skuteczną klasyfikację zmiany skórnej szczególnie ważną we wczesnym rozpoznaniu czerniaka złośliwego. **Opracowanie algorytmów analizy i klasyfikacji wybranych struktur lokalnych** jest więc również kluczowym zagadnieniem prezentowanej rozprawy doktorskiej.

W pracy scharakteryzowano wybrane struktury lokalne będące przedmiotem dalszej analizy, zdefiniowano problem badawczy oraz przedstawiono zaprojektowane algorytmy klasyfikacji wraz z opisem ich działania. Algorytmy poddano testowaniu na wybranej grupie obrazów, porównując osiągnięte wyniki z dermatologicznym opisem zdjęć.

Rezultaty klasyfikacji połączono z osiągniętymi wynikami detekcji i w ten sposób ustalono ostateczną skuteczność automatycznego rozpoznania.



---

# Rozdział 3

## Podsumowanie

---

*„Nie ma końca. Nie ma początku. Jest tylko niezaspokojona pasja życia.”*

Federico Fellini (1920-1993)

### 3.1. Wykazanie tezy pracy

Celem rozprawy doktorskiej było wykazanie tezy przedstawionej w rozdziale 1, która brzmiała:

*Przy wykorzystaniu nowoczesnych metod przetwarzania obrazów możliwa jest detekcja i analiza struktur lokalnych czerniaka złośliwego, która ułatwia diagnostykę dermatologiczną.*

W celu wykazania prawdziwości tej tezy w ramach niniejszej rozprawy zaprojektowano i zaimplementowano kompletne algorytmy detekcji i analizy struktur lokalnych występujących w zmianach skórnych, szczególnie w czerniaku złośliwym. Aby uzyskać powyższy efekt zrealizowano szczegółowe zadania, przedstawione w podrozdziale 1.3. Na początku prowadzonych badań konieczne było przeanalizowanie piśmiennictwa związanego z tematyką projektu oraz z metodami diagnostycznymi, czego efektem jest treść rozdziału 2.1. Dokładniejsza analiza stanu wiedzy oraz przegląd literaturowy zostały zamieszczone w rozdziale 2.2. Następnie opracowano własną metodologię przetwarzania i rozpoznawania zdjęć dermoskopowych. W tym celu zaprojektowano i zaimplementowano kompletne algorytmy detekcji struktur lokalnych (rozdział 5) oraz metody analizy wybranych struktur lokalnych występujących w zmianach skórnych, szczególnie w czerniaku

złośliwym (rozdział 6). Opracowano i omówiono uzyskane wyniki oraz przedstawiono końcową skuteczność aplikacji, która jest satysfakcjonująca.

Uzyskane wyniki potwierdzają słuszność postawionej tezy, a zastosowane algorytmy, które działają w sposób automatyczny, pozwalają na ich skuteczne wykorzystywanie w badaniach diagnostycznych, zarówno rutynowych wykonywanych przez lekarzy rodzinnych jak i w specjalistycznych ośrodkach zdrowia.

Cyfrowa analiza obrazów dermoskopowych choć jeszcze nie daje stuprocentowej pewności (warto dodać, że badanie histopatologiczne też nie jest stuprocentowe) może stanowić dobre narzędzie uzupełniające w diagnostyce różnicowej łagodnych zmian melanocytowych i czerniaków. Główną zaletą automatycznych systemów przetwarzania i analizy obrazu jest brak wpływu doświadczenia dermatologa na ocenę zmiany. Dalszymi zaletami są: obiektywna ocena podobnych obrazów oraz możliwość śledzenia ewolucji zmian, co może przyczynić się do zwiększenia trafności rozpoznań klinicznych oraz poprawy umiejętności diagnostycznych lekarzy.

### **3.2. Oryginalne elementy rozprawy doktorskiej**

Jak się wydaje najistotniejszym rezultatem niniejszej pracy jest opracowanie, zaimplementowanie i przetestowanie algorytmów pozwalających na detekcję i analizę struktur lokalnych, co umożliwia automatyczną ocenę zmian skórnych. W trakcie przygotowywania własnych metod przetwarzania i klasyfikacji obrazów, a także w trakcie analizy i implementacji wybranych istniejących algorytmów przetwarzania obrazów, dokonano licznych ich modyfikacji w celu poprawy ich wydajności lub dokładności dla spełnienia wymagań dotyczących badanych obrazów medycznych. Dla skonstruowanych algorytmów przeprowadzono liczne testy w celu określenia ich właściwości i obiektywnej oceny.

#### **Zaprojektowane, zaimplementowane i przetestowane algorytmy to:**

- dla wstępnego przetwarzania (rozdział 3):
  - eliminacji czarnej ramki,
  - filtracji obrazu - usunięcie pęcherzyków powietrza i delikatnych włosków,
  - usuwania włosów z obrazu dermoskopowego,
- dla segmentacji zmiany skórnej (rozdział 4):
  - podwójnego rozrostu obszarów
- dla detekcji struktur lokalnych (rozdział 5):
  - detekcji siatki barwnikowej,
  - detekcji kropek i ciałek skupionych,
  - detekcji smug gałązkowatych,
  - detekcji objawu welonu,
  - detekcji struktur regresji.

- dla analiza struktur lokalnych (rozdział 6):
  - algorytm analizy siatki barwnikowej,
  - algorytm analizy kropek i ciałek skupionych,
  - algorytm analizy smug gałązkowatych.

**Do oryginalnych elementów rozprawy doktorskiej należą:**

- **algorytm eliminacji czarnej obwódki:** bazuje on na powszechnie znanej metodzie analizy jasności. Autorka rozprawy uzupełniła znany algorytm o usunięcie niewielkiej ramki koloru szarego, która pozostaje po zastosowaniu algorytmu w wersji podstawowej.
- **algorytm usuwania włosów z obrazu dermoskopowego:** wykorzystanie transformaty Top-Hat do wymienionego celu jest opisane w literaturze, jednak bez podania sposobu odróżniania włosów od struktur lokalnych, o co został uzupełniony algorytm zastosowany w niniejszej rozprawie doktorskiej.
- **segmentacja zmiany skórnej:** zaproponowana technika oparta o metodę podwójnego rozrostu obszaru jest w całości wynikiem własnych badań i eksperymentów prowadzonych przez Autorkę rozprawy. Badania wykazały, że pojedyncza segmentacja, ze względu na złożoność rozważanych obrazów, jest niewystarczająca. Dopiero zaproponowana w pracy podwójna segmentacja pozwoliła na prawidłowe rozpoznanie wszystkich struktur lokalnych na obrazie dermoskopowym.
- **algorytm detekcji siatki barwnikowej oraz kropek i ciałek skupionych:** algorytm ten wykorzystujący progowanie adaptacyjne jest całkowicie oryginalnym elementem pracy.
- **metoda detekcji smug gałązkowatych:** metoda ta powstała podczas prowadzenia gruntownych badań przez Autorkę rozprawy. Kompletny proces detekcji, obejmujący odwzorowanie obwodu, podział na cztery części, rozpoznanie ekstremów oraz kryteria rozróżniania smug od innych zniekształceń jest oryginalnym elementem niniejszej rozprawy doktorskiej.
- **metoda analizy siatki barwnikowej oraz kropek i ciałek skupionych** jest oparta na podziale obszaru zmiany skórnej na osiem części, odpowiednim wyborze części do porównywania struktur lokalnych, wyborze parametrów klasteryzacji i określeniu kryterium klasyfikacji. Metoda ta w całości jest oryginalnym dziełem Autorki.

Wyniki badań prowadzonych podczas przygotowywania niniejszej rozprawy doktorskiej przedstawiono na międzynarodowych konferencjach:

[1] *Automatic detection of melanomas: an application based on the ABCD criteria*: Information Technologies in Biomedicine : third international conference, ITIB 2012 : Gliwice, Poland, June 11-13, 2012.

[2] *Assessment of asymmetry in dermoscopic colour images of pigmented skin lesions*, 10 IASTED International Conference on Biomedical Engineering, BioMed 2013: Innsbruck, Austria, February 13-15, 2013.

[3] *Assessment of dots and globules in dermoscopic color images as one of the 7-point check list criteria*, International Conference on Image Processing, ICIP 2013: Melbourne, Australia, September 15-18, 2013.

Oryginalne wyniki uzyskane w trakcie badań opisano w krajowych i zagranicznych czasopiśmie naukowych:

[1] J. Jaworek - Korjakowska (2012): *Automatic detection of melanomas: an application based on the ABCD criteria*(ITIB), *Lecture Notes in Computer Science, Springer, R. 7339, s. 67-76*.

[2] J. Jaworek - Korjakowska, R. Tadeusiewicz (2013): *Assessment of asymmetry in dermoscopic colour images of pigmented skin lesions*(Biomed 2013), *Proc. 10th IASTED Int. Conf. on Biomedical Engineering, Innsbruck, Austria*.

[3] J. Jaworek - Korjakowska, R. Tadeusiewicz (2013): *Hair removal from dermoscopic colour images*, *Bio-Algorithms and Med-Systems / Jagiellonian University. Medical College*, artykuł przyjęty do druku.

[4] J. Jaworek - Korjakowska (2011): *Wykorzystanie metod przetwarzania obrazów w rozpoznawaniu i diagnostyce czerniaka złośliwego*, *PAR Pomiary Automatyka Robotyka, R. 15(12), s. 100–101*.

### **3.3. Kierunki dalszych badań**

Jednym z głównych kierunków dalszych badań jest podniesienie wiarygodności wyników poprzez zwiększenie ilości zdjęć dermoskopowych i przeprowadzenie koniecznych eksperymentów. Aby w sposób wyczerpujący przeprowadzić weryfikację wydajności i jakości algorytmu planowane są dodatkowe konsultacje z zagranicznymi specjalistami oraz sprawdzenie działania algorytmów podczas rzeczywistych badań na platformie programistycznej.

Kolejny etap to połączenie kilku metod oceny zmian skórnych (np. ocena wzorca, metoda ABCD i 7-punktowej) poprzez zastosowanie systemów eksperckich, co mogłoby znacznie zwiększyć skuteczność diagnostyczną.

Ciekawą możliwością wykorzystania zaimplementowanych algorytmów jest monitorowanie rozrostu i transformacji, które zachodzą w zmianach skórnych na przestrzeni określonego czasu.

Prace nad analizą i detekcją czerniaka złośliwego będą nadal prowadzone w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki nr. 2011/01/N/ST7/06783 pt. "*Wykorzystanie metod przetwarzania obrazów i sztucznej inteligencji (systemy ekspertowe) w rozpoznawaniu i diagnostyce różnicowej czerniaka złośliwego*", którego termin ukończenia planowany jest na początek 2015 roku.

Podsumowując, stały i zauważalny wzrost zachorowalności na czerniaka, jednego z bardziej złośliwych nowotworów człowieka, zmusza do polepszania metod jego rozpoznawania, diagnozowania oraz leczenia. Szybki rozwój aparatury medycznej oraz systemów komputerowych wspomagających medycynę daje nadzieję na lepsze oraz szybsze diagnozowanie zmian barwnikowych skóry.

