

Cel pracy

Głównym celem badawczym niniejszej rozprawy było zaproponowanie algorytmicznego rozwiązania wykorzystującego zaawansowane metody przetwarzania obrazów i uczenia maszynowego do określenia struktury tkankowej ludzkiego naskórka na zdjęciach histopatologicznych preparatów skóry barwionych hematoksyliną-eozyną oraz do opracowania systemu automatycznej diagnostyki wybranych typów melanocytowych zmian skórnych na podstawie analizy morfometrii naskórka w danej zmianie. Według najlepszej wiedzy Autora to pierwsza próba automatycznego wyznaczania parametrów morfometrycznych naskórka i wykorzystania tej wiedzy w celach diagnostycznych.

W rozprawie postawiono następującą tezę główną oraz tezy pomocnicze:

Teza główna Zaawansowane metody przetwarzania obrazów oraz uczenia maszynowego umożliwiają szczegółową analizę morfometrii naskórka zmiany skórnej na obrazach histopatologicznych.

Teza I Przy wykorzystaniu zaproponowanych metod segmentacji i analizy obrazu możliwa jest ocena stopnia złośliwości zmiany skórnej.

Teza II Metody uczenia maszynowego pozwalają na sformułowanie podstawowych kryteriów diagnostycznych, możliwych do zastosowania podczas badań histopatologicznych.

Zaproponowane rozwiązanie

Zaproponowane metody oraz cały system diagnostyczny zostały zaprojektowane w celu automatycznej analizy i rozróżniania trzech podstawowych typów skórnych zmian melanocytowych: plam soczewicowatych (zmiany łagodne), znamion łączących dysplastycznych (formy pomiędzy zmianami łagodnymi a złośliwymi) oraz czerniaków (zmiany złośliwe).

Ze względu na znaczący wzrost na całym świecie wskaźników zachorowań na czerniaka skóry, najgroźniejszej odmiany raka skóry, i spowodowanych nim zgonów wśród populacji rasy białej ewidentną staje się potrzeba opracowania skutecznych i wydajnych (automatycznych) narzędzi diagnostycznych dla dermatopatologii. Tradycyjny, ręczny sposób diagnozowania zmian skórnych – badanie histopatologiczne – ma trzy główne wady: jest podatny na tzw. błąd ludzki, jego wyniki często nie są powtarzalne, a analiza dużych partii preparatów to żmudna czynność. Dzięki zastosowaniu metod wizji komputerowej i uczenia maszynowego do analizy cyfrowych zdjęć preparatów o dużej rozdzielczości możliwe jest rozwiązanie wszystkich trzech wspomnianych problemów – poprawa skuteczności diagnostycznej, zwiększenie powtarzalności uzyskiwanych wyników diagnostycznych, oraz skrócenie czasu niezbędnego na postawienie diagnozy.

W ramach prowadzonych badań opracowano, zaimplementowano i przetestowano poniższe algorytmy oparte na metodach przetwarzania obrazów:

- Automatyczna segmentacja obszaru preparatu histopatologicznego (tkanki) oparta o analizę statystyczną rozkładu koloru w przestrzeni barw CIELAB z wykorzystaniem operacji morfologicznych. Analizowany jest zarówno cały obraz, jak i lokalne otoczenie jego wybranych fragmentów.
- Automatyczna metoda segmentacji warstwy naskórka oparta na analizie rozmieszczenia i kształtów obszarów tła obrazu w obrębie tkanki oraz histogramu stężeń hematoksyliny i eozyny w preparacie, wykorzystująca metody statystyczne i przetwarzania obrazów.
- Automatyczna metoda segmentacji soplei naskórkowych w warstwie naskórka oparta przede wszystkim na analizie krzywizny konturu obszaru celem wykrycia potencjalnych krańców podstaw wypustek oraz na analizie szkieletu obszaru w reprezentacji grafowej (z wykorzystaniem algorytmów grafowych i operacji morfologicznych) celem ostatecznego wyznaczenia podstaw i ich położenia względem osi głównej obiektu.

Każdy z powyższych algorytmów jest w pełni zautomatyzowany i w dużym stopniu oparty na wiedzy dziedzinowej z zakresu morfometrii i właściwości biochemicznych skórnych struktur tkankowych.

Następnie opracowano parametry opisujące morfometrię całej warstwy naskórka w oparciu o umiejscowienie wzdłuż osi głównej warstwy i wartości podstawowych parametrów morfometrycznych soplei naskórkowych. Pozwoliło to na zaproponowanie algorytmu automatycznej klasyfikacji zmian skórnych na podstawie morfometrii ich regionu naskórka, z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego – w pracy porównano skuteczność czterech wybranych klasyfikatorów, przy czym najskuteczniejszym okazał się model maszyny wektorów wspierających (SVM). Dokonano również analizy statystycznej zależności między morfometrią naskórka a podstawowymi klasami melanocytowych zmian skórnych z użyciem modelu drzewa decyzyjnego, w celu określenia kryteriów diagnostycznych pod kątem badania histopatologicznego.

Skuteczność systemu została zweryfikowana z użyciem bazy składającej się z 75 zdjęć całych preparatów skórnych zmian melanocytowych o wysokiej rozdzielczości (po 25 dla każdego typu zmiany), opisanych przez doświadczonego dermatopatologa. System uzyskał dokładność 74.7% i 86.7% odpowiednio dla zadań klasyfikacji „plama soczewicowata, znamię łączące dysplastyczne, czy czerniak” i „zmiana łagodna czy złośliwa”. Dla tych samych zadań klasyfikacji model drzewa decyzyjnego (wyuczony z użyciem wartości zaproponowanych wskaźników morfometrycznych) uzyskał dokładność 73.3% i 88.0%, i tym samym może zostać użyty do sformułowania kryteriów diagnostycznych związanych z morfometrią naskórka.

Zdaniem Autora uzyskane wyniki uprawniają go do uznania, że tezy postawione w rozprawie zostały dowiedzione.