

# Głębokie sieci neuronowe w klasyfikacji obrazów medycznych

Marcin Skobel

## Streszczenie

---

Diagnostyka obrazowa jest jednym z najważniejszych zastosowań sztucznej inteligencji w obszarze medycyny. Mimo obserwowanych obecnie spektakularnych sukcesów sztucznych sieci neuronowych w dziedzinie przetwarzania języka naturalnego i analizy obrazów, istnieją nadal trudne wyzwania, które muszą zostać rozwiązane, aby możliwe było wdrożenie sztucznej inteligencji w rutynową diagnostykę medyczną.

W ramach rozprawy podjęto problem klasyfikacji nowotworów piersi na podstawie obrazów histopatologicznych i cytologicznych. Literatura naukowa dostarcza nam bogatą bazę rozwiązań dla tego problemu wskazując na głębokie sieci neuronowe jako aktualnie najlepsze rozwiązanie. Niestety, jeśli przyjrzymy się bliżej proponowanym modelom to spostrzeżemy, że są one najczęściej uczone i testowane na zbiorze obrazów pochodzących z jednego ośrodka medycznego. Przeprowadzone testy wykazały, że wytrenowane w ten sposób modele głębokich sieci neuronowych nie są w stanie nabyć odpowiednich zdolności uogólniających aby mogły być stosowane do klasyfikacji obrazów pochodzących z innych ośrodków medycznych. Przyczyną takiego stanu jest zróżnicowanie pomiędzy obrazami pochodzącymi z różnych ośrodków medycznych. Mimo, że procedury pozyskiwania obrazów są w pewien sposób standaryzowane to jednak czynnik ludzki oraz techniczny powoduje, że w praktyce obrazy różnią się wieloma istotnymi cechami. Niestety nie jest również możliwe zbudowanie odpowiednio bogatego i różnorodnego zbioru obrazów histopatologicznych lub cytologicznych nowotworu piersi, który zapewniłby uogólnianie wiedzy modeli na poziomie pozwalającym stosować je dla obrazów pochodzących z różnych ośrodków medycznych. Publicznie dostępne zbiory obrazów dla nowotworu piersi są niewielkie, zbyt jednorodne (reprezentują zwykle tylko kilkunastu lub kilkudziesięciu pacjentów) i jest ich stanowczo za mało.

Badania podjęte w rozprawie skupiły się na opracowaniu modelu pozwalającego klasyfikować nowotwory piersi na podstawie obrazów histopatologicznych lub cytologicznych z ośrodków medycznych, których obrazy nie zostały uwzględnione w zbiorze treningowym. Do realizacji tego projektu wykorzystano obrazy medyczne ze zbioru BreakHis z Brazylii oraz obrazy ze Szpitala Uniwersyteckiego w Zielonej Górze. Eksperymenty wykazały, że na pewnym poziomie normalizacji obrazów występuje transfer wiedzy umożliwiający zbudowanie uogólnionego skutecznego systemu klasyfikacji.

Wypracowane podejście składa się z czterech głównych rozwiązań. Po pierwsze obrazy poddano standaryzacji z wykorzystaniem zaprojektowanej w tym celu hybrydowej metody segmentacji. Do realizacji tego kroku zaproponowano dwie sieci neuronowe typu U-Net oraz metodę wododziałową. Pierwsza z sieci neuronowych była odpowiedzialna za segmentację semantyczną obrazów a druga za lokalizację środków poszczególnych jąder komórkowych. Metoda wododziałowa dokonywała fuzji informacji pozyskanych z sieci neuronowych aby dokonać segmentacji poszczególnych instancji jąder komórkowych.

Kolejnym rozwiązaniem, które zaproponowano w ramach rozprawy była fuzja cech manualnych z cechami głębokimi aby zwiększyć odporność opisu obrazów na niejednorodność wewnątrz-klasową obrazów. Miało to na celu nabycie przez budowany model zdolności uogólniających wykraczających poza obrazy pochodzące z jednego ośrodka medycznego. W tym celu konieczne było opracowanie zautomatyzowanego systemu do ekstrakcji cech manualnych w oparciu o segmentację jąder komórkowych. Wykorzystano do tego zadania hybrydową metodę segmentacji opracowaną na potrzeby standaryzacji obrazów. System do ekstrakcji cech głębokich powstał w oparciu o heterogeniczny zespół głębokich sieci neuronowych. Członkowie tego zespołu byli strojeni indywidualnie z wykorzystaniem tego samego zbioru obrazów. Ostatecznie z warstw pośrednich głębokich sieci neuronowych wyodrębniono bogate zestawy cech głębokich, które połączono w jeden zestaw wraz z cechami manualnymi.

W efekcie powstał bardzo liczny zestaw cech do opisu obrazów, który należało zredukować do cech istotnych przy klasyfikacji nowotworów piersi. Dlatego w ramach kolejnego kroku badawczego przetestowano wiele znanych metod selekcji cech. Niestety ze względu na duży rozmiar wektora cech i stosunkowo dużą liczbę próbek standardowe metody redukcji wymiarowości okazały się niezmiernie kosztowne czasowo i obliczeniowo. Z tego powodu opracowano nowe rozwiązanie do selekcji cech. Opracowana metoda bazuje na przeszukiwaniu stochastycznym. Na wstępie poszukiwany jest rozkład optymalnej liczby cech na podstawie reprezentatywnego podzbioru obrazów. Pozwala to na etapie właściwej selekcji cech znacząco ograniczyć przestrzeń poszukiwań i w efekcie przyspieszyć i polepszyć wyniki selekcji cech.

Ostatnim elementem opracowanego systemu jest nadrzędny klasyfikator, który na wejście otrzymuje zestaw cech ustalony przez opracowaną metodę selekcji cech. Rolę tego klasyfikatora pełni model regresji z regularyzacją L2 Model ten został wybrany w toku wielu eksperymentów porównujących efektywność różnych techniki uczenia maszynowego.

Zważywszy, że jednym z kluczowych zagadnień poruszonych w rozprawie była weryfikacja skuteczności działania zaproponowanego systemu zbudowanego na danych medycznych pochodzących z innego ośrodka badawczego niż dane testowe, przeprowadzone zostały kompleksowe badania. W wyniku eksperymentów wykazano, iż zaproponowana metoda uzyskuje średnią dokładność klasyfikacji

obrazków na poziomie 79% co przekłada się na wynik średniej precyzji dla pojedynczej pacjentki na poziomie przekraczającym 90%.

Główne osiągnięcia rozprawy doktorskiej obejmują:

- Przygotowanie hybrydowej metody segmentacji obrazów cytologicznych i histopatologicznych na potrzeby standaryzacji obrazów i ekstrakcji cech manualnych jąder komórkowych.
- Przygotowanie systemu ekstrakcji cech do opisu obrazów z wykorzystaniem fuzji cech manualnych z cechami głębokimi uzyskanymi z heterogenicznego zespołu głębokich sieci neuronowych.
- Opracowanie metody stochastycznej selekcji cech z zestawu zawierającego cechy głębokie oraz wyekstrahowane manualnie.
- Przeprowadzanie kompleksowych badań weryfikujących efektywność opracowanych metod dla rzeczywistych obrazów [pochodzących ze zbioru BreakHis oraz zbioru obrazów ze Szpitala Uniwersyteckiego w Zielonej Górze.

---

**Słowa kluczowe:** Klasyfikacja, Segmentacja, Głębokie Sieci Neuronowe, Selekcja Cech, Biopsja, Nowotwór Piersi