

Streszczenie w języku polskim

Niniejsza rozprawa doktorska jest monotematycznym cyklem publikacji naukowych poświęconych percepcyjnej ocenie jakości obrazów cyfrowych bez referencji z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji, ze szczególnym uwzględnieniem głębokich sieci neuronowych. Praca ma charakter interdyscyplinarny, łącząc osiągnięcia z zakresu Informatyki Technicznej i Telekomunikacji z zastosowaniami w medycynie i teledetekcji. Koncentruje się na dwóch głównych obszarach badawczych: ocenie jakości obrazów rezonansu magnetycznego (MRI, ang. *Magnetic Resonance Imaging*) oraz wyostrzonych obrazów satelitarnych (PS, ang. *Pansharpened*). Dla obrazów rezonansu magnetycznego opracowano metody oceny jakości, które umożliwiają analizę wpływu różnorodnych zniekształceń bez konieczności ich jednoznacznej klasyfikacji. W przypadku obrazów PS zaproponowano podejścia oparte na wielopoziomowych reprezentacjach danych oraz modyfikacjach architektur sieci neuronowych, dostosowanych do percepcyjnego przetwarzania kanałów obrazów wielospektralnych. Uwzględniając powyższe, w pracy sformułowano następującą hipotezę badawczą:

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji, w szczególności różnorodnych architektur sieci neuronowych, umożliwia ocenę jakości obrazów satelitarnych oraz obrazów rezonansu magnetycznego bez referencji, zapewniając wysoką zgodność z subiektywnymi ocenami ekspertów. Opracowane metody nie ustępują pod względem skuteczności predykcji jakości rozwiązaniom znanym z literatury.

W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że efektywność zaproponowanych rozwiązań jest porównywalna lub lepsza w porównaniu z istniejącymi metodami z literatury. Ich skuteczność została w znacznym stopniu potwierdzona w badaniach eksperymentalnych na wielu zróżnicowanych zbiorach danych, poprzez realizację następujących zadań badawczych:

- 1) Przeprowadzenie analizy literatury dotyczącej najnowszych metod oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego, z uwzględnieniem typowych zniekształceń, protokołów zastosowań oraz wykorzystywanych baz danych.
- 2) Opracowanie narzędzi do percepcyjnej oceny jakości wyostrzonych obrazów satelitarnych oraz platformy do oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego.
- 3) Zastosowanie głębokich sieci neuronowych w ocenie jakości obrazów satelitarnych i medycznych bez referencji, w celu opracowania metod zgodnych z oceną subiektywną i konkurencyjnych względem rozwiązań literaturowych, z wykorzystaniem:
 - a) zewnętrznego połączenia architektur głębokich splotowych sieci neuronowych,
 - b) wewnętrznego połączenia dwóch architektur sieci,

- c) struktury sieci złożonej z trzech podsieci,
 - d) informacji wyodrębnionych z warstw sieci.
- 4) Przeprowadzenie eksperymentów z wykorzystaniem opracowanych metod, porównanie wyników z metodami z literatury oraz analiza i interpretacja rezultatów.

Zadanie 1. Przeprowadzenie analizy literatury dotyczącej najnowszych metod oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego, z uwzględnieniem typowych zniekształceń, protokołów zastosowań oraz wykorzystywanych baz danych.

Zadanie zostało zrealizowane poprzez analizę literatury dotyczącej najnowszych metod oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego, uwzględniając typy zniekształceń najczęściej występujących w tym rodzaju obrazowania, protokoły zastosowań tych metod oraz najczęściej używane bazy obrazów. W przypadku obrazów rezonansu magnetycznego przeanalizowano zniekształcenia związane z szumem termicznym, artefakty ruchowe, zniekształcenia geometryczne oraz efekty heterogeniczności pola magnetycznego, wskazując na ich wpływ na jakość i interpretację wyników. Przedstawiono też przegląd baz danych używanych w tym kontekście, wskazując najczęściej stosowane zestawy danych w badaniach obrazów MRI. Uzyskano pełny obraz aktualnych trendów i metod w ocenie jakości obrazowania MRI, umożliwiając wskazanie dalszych kierunków badań oraz potencjalnych wyzwań w tej dziedzinie.

Zadanie 2. Opracowanie narzędzi do percepcyjnej oceny jakości wyostrzonych obrazów satelitarnych oraz platformy do oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego.

Zadanie zostało zrealizowane poprzez opracowanie dwóch dedykowanych narzędzi: TIQA-MRI oraz TIQA-PSI. TIQA-MRI wspiera ocenę jakości obrazów MRI, oferując zaawansowane funkcje, takie jak dziewięć metod IQA, elastyczne ustawienia eksperymentalne oraz testy istotności statystycznej. TIQA-PSI umożliwia ocenę jakości wyostrzonych obrazów satelitarnych, wykorzystując 30 metod, w tym 16 zaprojektowanych z myślą o technikach wyostrowania. Oba narzędzia integrują kompleksowe analizy statystyczne, takie jak test istotności statystycznej Wilcoxon'a i obliczenia współczynników korelacji, co pozwala na precyzyjną i wszechstronną ocenę jakości obrazów.

Zadanie 3. Zastosowanie głębokich sieci neuronowych w ocenie jakości obrazów satelitarnych i medycznych bez referencji, w celu opracowania metod zgodnych z oceną subiektywną i konkurencyjnych względem rozwiązań literaturowych.

- a) Zadanie zostało zrealizowane poprzez opracowanie metody oceny jakości obrazów MRI opartej na fuzji głębokich spłotowych sieci neuronowych oraz transfer

learningu. Rozwiązanie to pozwoliło na skuteczną ocenę jakości obrazów MRI. W przypadku obrazów satelitarnych opracowano metodę łączącą architektury ResNet-18 i VGG-19, umożliwiającą ocenę jakości obrazów PS bez potrzeby korzystania z oryginalnych obrazów referencyjnych.

- b) W ramach tego etapu zaproponowano metodę fuzji wielowymiarowych danych pochodzących z warstw sieci takich jak ResNet-18 i ResNet-50. Wykorzystano Kernel PCA do redukcji wymiarowości oraz model SVR do precyzyjnego przewidywania jakości obrazów. Dzięki ponownemu trenowaniu sieci uzyskano znaczną poprawę zdolności do różnicowania obrazów rezonansu magnetycznego pod kątem jakości percepcyjnej.
- c) Zrealizowano metodę łączącą dwie komplementarne architektury sieci neuronowych, takie jak ResNet-18 i ResNet-50. Dzięki zastosowaniu transfer learningu oraz odpowiednio dostosowanego procesu trenowania uzyskano wyższą precyzję w ocenie jakości obrazów MRI.
- d) Opracowano trójgałęziową sieć neuronową przeznaczoną do percepcyjnej oceny jakości obrazów satelitarnych, zoptymalizowaną pod kątem analizy cech przestrzennych i spektralnych. Sieć ta została zoptymalizowana pod kątem analizy specyficznych cech przestrzennych i spektralnych. Dzięki zastosowaniu metryk takich jak SSIM model uzyskał znaczącą przewagę nad istniejącymi metodami oceny jakości PS, co zostało potwierdzone w testach na obszernych zbiorach danych.

Zadanie 4. Przeprowadzenie eksperymentów z wykorzystaniem opracowanych metod, porównanie wyników z metodami z literatury oraz analiza i interpretacja rezultatów.

Zadanie zostało zrealizowane poprzez przeprowadzenie eksperymentów z wykorzystaniem opracowanych metod oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego, polegających na zastosowaniu architektur głębokich sieci neuronowych oraz ich fuzji w celu uzyskania reprezentacji cech charakteryzujących jakość na wielu poziomach przetwarzania obrazu w artykule artykułów [A-3]. W podejściu tym wykorzystano zarówno cechy uzyskane z pojedynczych modeli ResNet18 i ResNet50, jak i ich wewnętrznej fuzji, co umożliwiło uchwycenie różnorodnych aspektów percepcyjnych obrazów MRI. Również w publikacjach [A-3] i [A-2] uzyskane wyniki zostały porównane z wynikami otrzymanymi przez metody, takie jak BRISQUE, GWH-GLBP, CurveletQA, czy MEON, a także przez inne klasyczne podejścia oparte na analizie cech lokalnych i globalnych. Ponadto odniesiono się do skuteczności metod zaprojektowanych pierwotnie dla naturalnych lub satelitarnych obrazów (m.in. metoda MLPSIE) i dostosowanych do obrazów medycznych w artykułach [A-5] i [A-2]. Analiza porównawcza przeprowadzona została na bazach obrazów MR zawierających obrazy ocenione przez doświadczonych radiologów, uwzględniając subiektywne opinie ekspertów [A-3] i [A-2]. Interpretacja rezultatów wy-

kazała przewagę zaproponowanych podejść nad istniejącymi rozwiązaniami, szczególnie w kontekście zdolności do predykcji subiektywnej jakości obrazów bez konieczności posiadania obrazu referencyjnego.

Słowa kluczowe: ocena jakości obrazów, głębokie sieci neuronowe, rezonans magnetyczny, obrazy satelitarne, wyostrzanie, fuzja sieci głębokich.