



**Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr inż. Marcina JAROMINA
pt. "Wielorozdzielcza reprezentacja obrazów realizowana według liftingu z
aproksymacją metodą najmniejszych kwadratów w bloku predykcji".**

Niniejsza recenzja dotyczy pracy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Jaromina, pt. "Wielorozdzielcza reprezentacja obrazów realizowana według liftingu z aproksymacją metodą najmniejszych kwadratów w bloku predykcji", której Promotorem jest Pan Prof. dr hab. inż. Konrad Wojciechowski. Recenzję opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, Pana Prof. dr hab. inż. Zdzisława Dudy działającego na podstawie uchwały Rady Wydziału o powołaniu Recenzentów z dnia 23 lutego 2010 roku.

W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku rozwinęła się nowa dziedzina analizy harmonicznej, a mianowicie teoria falek. Rozwinięcia falkowe stosowane są z powodzeniem w różnych dziedzinach matematyki, a mianowicie: teorii aproksymacji, statystyce, równaniach różniczkowych, a także okazują się bardzo przydatne w analizie sygnałów oraz w kompresji i analizie obrazów cyfrowych.

W analizie wielorozdzielczej obrazów cyfrowych metody falkowe wykorzystywane są w algorytmach numerycznych służących do kompresji obrazów. Zmniejszenie pojemności danych wykorzystuje kompresję rozwinięć falkowych polegającą na wyznaczeniu minimalnego zbioru współczynników zapewniających aproksymację funkcji z zadaną dokładnością. Kompresja rozwinięć falkowych opiera się głównie na schemacie liftingu zawierającym filtry cyfrowe. Filtry zrealizowane za pomocą schematu liftingu, pozwalają na zaprojektowanie nieosobliwych, odwracalnych transformacji całkowitoliczbowych uzyskanych za pomocą biortogonalnych współczynników falkowych.

Schemat liftingu służy do projektowania falek biortogonalnych oraz realizacji transformacji falkowej. Konstrukcja falek biortogonalnych przy pomocy zespołu filtrów przeprowadzana jest w dziedzinie czasu, bez konieczności stosowania przekształceń Fouriera. Należy zaznaczyć, że schemat liftingu zapewnia między innymi odwracalność transformacji falkowej, a ponadto umożliwia konstruowanie przekształceń spełniających liczne dodatkowe wymagania dotyczące regularności, kształtu widma, liczby momentów lub lokalizacji w dziedzinie czasu. Autor pracy zaproponował oryginalną metodę wyznaczania schematu liftingu opartą na aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów. Metoda ta, w przeciwieństwie do stosowanych dotychczas algorytmów opartych na interpolacji wielomianowej, umożliwia efektywne wykorzystanie klasycznych wielomianów aproksymacyjnych niskiego stopnia lub uogólnionych wielomianów aproksymacyjnych w kompresji obrazów cyfrowych.

Tak sformułowaną tematykę rozprawy doktorskiej uważam za aktualną, interesującą, oraz dającą możliwość uzyskania oryginalnych rezultatów naukowych zarówno teoretycznych, jak i charakterze aplikacyjnym.

Opiniowana rozprawa doktorska składa się z sześciu zasadniczych części podzielonych na liczne rozdziały i podrozdziały, krótkiego podsumowania i wskazania kierunków dalszych badań, wykazu stosowanych algorytmów i zamieszczonych rysunków oraz tablic, oraz starannie opracowanego wraz z podaniem stron cytowania wykazu literatury zawierającego 75 najnowszych pozycji literaturowych, opublikowanych w ciągu ostatnich kilku lat.

Część pierwsza zawiera uzasadnienie podjętej tematyki badawczej na tle rezultatów znanych w literaturze, podstawowe cele pracy oraz sformułowaną zasadniczą tezę rozprawy dotyczącą możliwości wykorzystania w analizie wielorozdzielczej obrazów, biortogonalnej transformaty falkowej wykorzystującej w bloku predykcji schematu liftingu aproksymację metodą najmniejszych kwadratów, zamiast klasycznej interpolacji wielomianowej. Przedstawiono w nim również w skrócie zawartość pozostałych części pracy oraz wprowadzono podstawowe pojęcia.

Część druga zawiera podstawowe wiadomości z zakresu analizy falkowej zaczerpnięte z literatury matematycznej. Przedstawiono między innymi własności nieskończone wymiarowych przestrzeni Hilberta, w tym bazy ortogonalne oraz biortogonalne. Zdefiniowano pojęcie falki oraz falki o nośniku zwartym, oraz podano ortogonalny układ falkowy. Omówiono podstawowe własności falek wykorzystywane przy projektowaniu różnego rodzaju filtrów, w tym filtrów dolnoprzepustowych oraz filtrów górnoprzepustowych. Dużo uwagi poświęcono przybliżonemu wyznaczaniu funkcji skalującej o nośniku zwartym oraz funkcji falkowej o nośniku zwartym. Rekonstrukcja funkcji na podstawie reprezentacji falkowej wykorzystuje falki o gładkiej charakterystyce mierzonej modułem ciągłości, których nośnik jest stosunkowo duży. Jednakże prowadzi to do istotnego zwiększenia złożoności obliczeniowej. Zatem w praktyce należy dążyć do kompromisu pomiędzy gładkością falek a długością nośnika.

Część trzecia obejmuje zagadnienia falkowej analizy wielorozdzielczej wykorzystującej numeryczne algorytmy aproksymacyjne. Analiza wielorozdzielcza przeprowadzana za pomocą falek zawiera dwie operacje a mianowicie translację oraz dylatację funkcji podstawowych, z których jedna jest funkcją skalującą wykorzystywaną w celu otrzymania reprezentacji zgrubej, natomiast druga funkcja jest funkcją falkową służącą do wyznaczania reprezentacji szczegółowej. Rekonstrukcja funkcji na podstawie reprezentacji falkowej wykorzystuje falki o gładkiej charakterystyce mierzonej modułem ciągłości, których nośnik jest stosunkowo duży. Jednakże prowadzi to do istotnego zwiększenia złożoności obliczeniowej. Zatem w praktyce należy dążyć do kompromisu pomiędzy gładkością falek a długością nośnika. Wykorzystując źródła literaturowe przedstawiono własności analizy wielorozdzielczej oraz różne rodzaje aproksymacji falkowej. Zaproponowano praktyczne wykorzystanie dwuwymiarowej analizy wielorozdzielczej do dwuwymiarowej aproksymacji obrazów cyfrowych. W celu ograniczenia złożoności obliczeniowej wprowadzono dyskretną transformację falkową, znacznie upraszczającą obliczenia aproksymacyjne.

Dyskretna transformacja falkowa w ogólnym przypadku nie pozwala na dobre dopasowanie falek do analizowanych obrazów. Jednym ze sposobów rozwiązania problemu dopasowania jest metoda konstruowania falek zwana schematem liftingu. Schemat liftingu polega na tworzeniu falek biortogonalnych, tworzonych z wielu funkcji podstawowych. W części czwartej przedstawiono zasadnicze rezultaty rozprawy, a mianowicie analizę wielorozdzielczą z wykorzystaniem falek biortogonalnych. Przy projektowaniu filtrów

wykorzystuje się zamiast baz ortogonalnych bazy biortogonalne, które tworzą układ liniowo niezależny ale nie ortogonalny w przestrzeni Hilberta. Wielozdzielcza analiza falkowa dla dyskretnej przestrzeni biortogonalnej wykorzystuje filtry górnoprzepustowe i filtry dolnoprzepustowe. Metoda liftingu przekształca tak zwaną macierz polifazową na iloczyn macierzy górnotrójkątnych i dolnotrójkątnych z jedynekami na przekątnych głównych wykorzystując w tym celu algorytm Euklidesa dotyczący znajdowania największego wspólnego dzielnika dla dwóch wielomianów. Transformacja zbudowana na schemacie liftingu zawiera iteracyjnie powtarzane bloki predykcji i uaktualniania. Bloki te modyfikują a następnie uaktualniają wartości próbek. Podano schemat liftingu wykorzystujący algorytm Euklidesa oraz przedstawiono interpolację funkcji z wykorzystaniem schematu liftingu.

Część piąta zawiera omówienie schematu liftingu z wykorzystaniem aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów w bloku predykcji. Aproksymacja metodą najmniejszych kwadratów umożliwia przybliżenie funkcji aproksymowanych za pomocą funkcji będącej liniową kombinacją funkcji bazowych. Dokonano analizy zastosowania różnych rodzajów wielomianów bazowych, oraz trygonometrycznych funkcji bazowych a następnie wykorzystano i porównano uzyskane rezultaty w schemacie liftingu.

W kolejnej części szóstej dokonano analizy obrazu za pomocą schematu liftingu z wykorzystaniem aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów w bloku predykcji. Przedstawiono redukcję szumów obrazu, usuwanie nieciągłości obrazu oraz badanie wrażliwości schematu liftingu na współczynniki transformaty.

Ostatnia siódma część pracy zawiera krótkie podsumowanie uzyskanych przez Autora oryginalnych rezultatów rozprawy. Sformułowano także propozycje dalszych badań w dziedzinie analizy wielorozdzielczej, w szczególności rozszerzenia schematu liftingu na analizę obrazów cyfrowych z nierównomiernie rozłożonymi próbkami w dziedzinie czasu, przeniesienia schematu liftingu na przypadek wielowymiarowych rozmaitości oraz zmniejszenia złożoności obliczeniowej.

Zasadniczymi, oryginalnymi rezultatami recenzowanej rozprawy doktorskiej są:

- zastosowanie schematu liftingu do konstrukcji biortogonalnych układów falkowych, umożliwiających dopasowanie funkcji aproksymującej do charakterystyki funkcji aproksymowanej,
- przedstawienie w oparciu o blok predykcji i uaktualniania, metody rekonstrukcji funkcji bez potrzeby znajomości filtrów dolnoprzepustowych oraz filtrów górnoprzepustowych,
- zaprojektowanie i zaimplementowanie oryginalnego schematu liftingu z wykorzystaniem aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów, w którym funkcja aproksymująca może być wielomianem stosunkowo niskiego rzędu lub wielomianem uogólnionym,
- przedstawienie w postaci zależności matematycznych związków zachodzących pomiędzy klasyczną dyskretną transformatą falkową a transformatą realizowaną za pomocą schematu liftingu,
- opracowanie pakietu programowego oraz przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych dotyczących redukcji szumów oraz badania wrażliwości schematu liftingu na zmiany współczynników,

Opiniowana praca doktorska ma charakter zarówno teoretyczny jak i aplikacyjny. Sformułowane przez Autora zasadnicze cele rozprawy doktorskiej zostały osiągnięte, a przedstawiona na wstępie teza rozprawy w pełni dowiedziona. Stosowane metody badawcze analizy harmonicznej są właściwe odpowiednie do skali rozwiązywanego zadania badawczego.

Rezultaty teoretyczne z zakresu układów biortogonalnych oraz transformacji falkowych wymagały od Autora dogłębnych studiów z zakresu metod numerycznych, teorii przestrzeni Hilberta oraz analizy harmonicznej daleko wykraczających poza klasyczne rezultaty z zakresu analizy funkcjonalnej oraz algebry. Autor rozprawy na podstawie badań literaturowych dokonał również obszernego przeglądu rezultatów dotyczących z zakresu teorii falek, analizy wielorozdzielczej, oraz cyfrowej analizy obrazów.

Zasadnicze teoretyczne rezultaty rozprawy są dobrze udokumentowane a ich przydatność praktyczna w dziedzinie konstrukcji filtrów cyfrowych oraz analizy obrazów cyfrowych jest istotną zaletą pracy. Należy również podkreślić, że główne wyniki rozprawy są tematem przygotowanych do druku publikacji. Zasadnicze rezultaty teoretyczne rozprawy są ilustrowane przykładami numerycznymi.

Pod względem redakcyjnym praca napisana jest starannie i przejrzysto, z zachowaniem precyzji sformułowań matematycznych, co nie było zadaniem łatwym biorąc pod uwagę skomplikowaną postać wielu relacji matematycznych. Struktura wewnętrzna pracy, stosowane oznaczenia oraz terminologia, a także kolejność poszczególnych rozdziałów i podrozdziałów są właściwe.

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa doktorska w dyscyplinie informatyka spełnia wszystkie wymagania odnośnej Ustawy Sejmowej i wnioskuje o dopuszczenie Pana mgr inż. Marcina Jaromina do publicznej obrony rozprawy doktorskiej przed Komisją Rady Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej.

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie trudnego zagadnienia z zakresu wykorzystania metod analizy harmonicznej w analizie obrazów. Uzyskane przez Autora rezultaty merytoryczne w postaci licznych procedur oraz algorytmów numerycznych wyznaczania reprezentacji obrazów realizowanej za pomocą schematu liftingu mają charakter ogólny i wnoszą istotny wkład w rozwój badań w zakresie szeroko rozumianej analizy obrazów. Doktorant jest samodzielnym autorem jednej publikacji w czasopiśmie będącym uprzednio na liście filadelfijskiej.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia w razie pomyślnego głosowania nad nadaniem stopnia naukowego, wnioskuje o wyróżnienie pracy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Jaromina.

Jerzy Klamka

