

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa, 7 listopada 2017 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 21 listopada 2017 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

mgr inż. Łukasza Błaszczyka

temat: „Algebry Cayleya-Dicksona w analizie sygnałów z elementami teorii oszczędnego próbkowania”

promotor – dr hab. inż. Kajetana Snopek z Politechniki Warszawskiej

recenzenci:

prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski z Politechniki Poznańskiej

dr hab. inż. Sławomir Hausman z Politechniki Łódzkiej

Obrona odbędzie się w dniu 21 listopada 2017 r. w Audytorium Centralnym na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 10.00.

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

mgr inż. Łukasz Błaszczuk

Algebry Cayleya-Dicksona w analizie sygnałów z elementami teorii oszczędnego próbkowania

promotor: dr hab. inż. Kajetana M. Snopek

Streszczenie rozprawy doktorskiej:

Sygnały i systemy modeluje się we współczesnej nauce i technice zazwyczaj za pomocą funkcji o wartościach w ciele liczb rzeczywistych lub zespolonych. W ostatnich latach popularność zyskuje jednak podejście hiperzespolone, które wykorzystuje m.in. kwaterniony i oktoniony. Niniejsza rozprawa poświęcona jest zastosowaniu tych dwóch algebr (które są przykładami algebr Cayleya-Dicksona) w pewnych zagadnieniach teorii sygnałów.

Praca została podzielona na dwie części. Pierwsza z nich skupia się na uogólnieniu na algebrę kwaternionów teorii oszczędnego próbkowania, dynamicznie rozwijającej się dziedziny nauki stworzonej około 10 lat temu przez E. Candès'a i łączącej zarówno matematykę jak i nauki inżynierskie. Jej podstawą jest fakt, że wektory rzadkie (tzn. mające niewiele niezerowych współrzędnych) mogą być zrekonstruowane z niewielkiej liczby liniowych pomiarów za pomocą nieliniowych algorytmów rekonstrukcji (np. minimalizacji normy ℓ_1). W rozprawie dowodzimy, że jeśli kwaternionowa macierz pomiarowa ma tzw. własność ograniczonej izometrii (z odpowiednio małą stałą) to dowolny wektor może zostać zrekonstruowany w sposób stabilny (tzn. z błędem ograniczonym przez błąd pomiarowy oraz błąd najlepszego rzadkiego przybliżenia wektora) z niewielkiej liczby liniowych pomiarów za pomocą algorytmu minimalizacji normy ℓ_1 . Wykazujemy również, że kwaternionowe losowe macierze gaussowskie mają (z dużym prawdopodobieństwem) własność ograniczonej izometrii, zatem spełniają założenia wspomnianego twierdzenia.

W drugiej części zajmujemy się rozszerzeniem klasycznego pojęcia transformacji Fouriera na przypadek algebry oktonionów. Definiujemy pojęcie oktonionowej transformacji Fouriera i wykazujemy szereg jej własności (m.in. twierdzenie o hermitowskiej symetrii, twierdzenia Parsewala i Plancherela, a także twierdzenie o dualności splotu i mnożenia), które mają swoje odpowiedniki dla klasycznego przekształcenia. Udowodnione w tej części twierdzenia stanowią podstawę oktonionowej teorii sygnałów i punkt wyjścia do dalszych prac, w tym praktycznych zastosowań, m.in. w analizie sygnałów i systemów 3D modelowanych za pomocą równań różniczkowych cząstkowych.

Prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski

tytuł, stopień, imię i nazwisko

Poznań, 31.08.2017 r.

data

miejsce pracy

Politechnika Poznańska
Wydział Informatyki
Zakład Układów Elektronicznych
i Przetwarzania Sygnałów

***KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ***

Tytuł rozprawy: Algebry Cayleya-Dicksona
w analizie sygnałów
z elementami teorii oszczędnego próbkowania

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Błaszczuk

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Oceniana rozprawa doktorska jest poświęcona modelowaniu sygnałów za pomocą kwaternionów i oktonionów, czyli przy zastosowaniu struktur algebraicznych, które należą do tzw. algebr Cayleya-Dicksona. Doktorant sformułował dwie następujące, luźno powiązane ze sobą tezy naukowe:

- 1) „Klasyczną teorię oszczędnego próbkowania można rozszerzyć na przypadek sygnałów kwaternionowych i kwaternionowych macierzy pomiarowych.”
- 2) „Oktonionowa transformacja Fouriera ma własności, które pozwalają na zastosowanie jej w analizie sygnałów i systemów 3D.”

Praca ma wyraźnie charakter teoretyczny. Składa się z dwóch odrębnych części, poświęconych dwóm różnym zagadnieniom: po pierwsze, oszczędnemu próbkowaniu sygnałów kwaternionowych i po drugie, badaniu właściwości transformacji Fouriera sygnałów oktonionowych. Narzuca się pytanie dlaczego nie rozważono zagadnień oszczędnego próbkowania sygnałów oktonionowych skoro to było przedmiotem badań dla sygnałów kwaternionowych? W rezultacie przyjęty obszar badań pozostawia niedosyt i nie jest klarowny a kompozycja pracy wydaje się niekompletna.

Przeprowadzone rozważania teoretyczne są opisane jasno i z wymaganą precyzją. Zastrzeżenia budzi jednak brak wyjaśnienia jakie znaczenie praktyczne, jaki obszar zastosowań, a zwłaszcza jakie zalety może mieć rozważanie sygnałów oktonionowych.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Nad zagadnieniami przedstawionymi w ocenianej rozprawie Doktorant intensywnie pracował przez szereg lat, współpracując ze specjalistami i ekspertami w zakresie teorii przetwarzania sygnałów i analizy właściwości algebr kwaternionów i oktonionów.

Analiza źródeł literaturowych została przeprowadzona wyczerpująco z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć w skali międzynarodowej. Bogaty spis literatury (102 pozycje) jak i wynikająca z nich obszerna analiza aktualnego stanu badań w skali światowej zwłaszcza nad oszczędnym próbkowaniem sygnałów świadczy o dużej wiedzy i wysokich kompetencjach Doktoranta.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

W pierwszej części rozprawy, dotyczącej oszczędnego próbkowania sygnałów kwaternionowych, Doktorant udowodnił, że można zakładać, iż kwaternionowe gaussowskie macierze pomiarowe mają własność ograniczonej izometrii i stąd dowolny sygnał (wektor) może być stabilnie rekonstruowany z niewielkiej liczby pomiarów za pomocą minimalizacji normy l_1 . Ten wynik jest ciekawym i ważnym uogólnieniem klasycznych twierdzeń Candès'a o oszczędnym próbkowaniu sygnałów.

W drugiej części rozprawy Doktorant zajmował się sygnałami oktonionowymi, ale nie rozwijał teorii oszczędnego próbkowania, a skoncentrował się na odpowiednio uogólnionej transformacji Fouriera. Wykazał jej symetrię hermitowską i udowodnił odpowiedniki twierdzeń Rayleigha-Parsewala i Plancherela. Sformułował więc tym samym podstawy oktonionowej teorii sygnałów.

Zatem oba wyszczególnione w p. 2 zagadnienia, które rozpatrywał Doktorant, zostały szczegółowo rozważone i w pełni rozwiązane przy użyciu właściwych narzędzi matematycznych. Uważam więc, że Doktorant zaproponował skuteczne rozwiązania rozważanych problemów i zrealizował zakładane cele rozprawy.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Rozważania zawarte zarówno w rozprawie jak i w samodzielnych oraz współautorskich publikacjach Doktoranta oceniam jako w pełni oryginalne. Zaprezentowano w nich nowe, dotychczas nieznanne wyniki dotyczące oszczędnego próbkowania sygnałów kwaternionowych i uogólnionego przetwarzania widmowego sygnałów oktonionowych. Na szczególną uwagę zasługuje artykuł dotyczący transformacji Fouriera sygnałów oktonionowych, opublikowany wraz z promotorem rozprawy Panią dr hab. inż. Kajetaną Snopek w czasopiśmie Signal Processing. Pan mgr inż. Łukasz Błaszczuk jest w nim pierwszym (a więc zakładam, że wiodącym) współautorem.

Opublikowane i przedstawione w rozprawie wyniki świadczą o dużym, oryginalnym dorobku Doktoranta, nawiązującym do światowego stanu wiedzy i poszerzającym wiedzę w zakresie wybranych zagadnień dotyczących zastosowania algebr Cayleya-Dicksona w przetwarzaniu sygnałów kwaternionowych i oktonionowych.

Na wysoką ocenę zasługują zarówno oryginalne hipotezy badawcze jak i szereg twierdzeń sformułowanych i udowodnionych przez Doktoranta. Pozytywnie oceniam także rozważane przez niego zastosowania techniczne uzyskanych wyników do przetwarzania obrazów.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Zarówno poziom naukowy rozprawy jak i dorobek naukowy Doktoranta oceniam wysoko. Wysoko oceniam także pracę zespołową Doktoranta i umiejętność prezentowania wyników badań w postaci wartościowych artykułów naukowych, lokowanych w czasopismach o wysokiej randze naukowej.

Rozprawa jest napisana zwięźle i w sposób ścisły. Jasność wywodów i poprawność redakcyjna tekstu nie budzą wątpliwości, choć Doktorant nie ustrzegł się niedociągnięć, które nie powinny mieć miejsca w tekstach matematycznych. Na przykład, o ile schemat mnożenia kwaternionów zilustrowany na rys. 2.1 jest jednoznaczny i nie budzi wątpliwości, to nie można tego już powiedzieć o schemacie mnożenia oktonionów przedstawionym na rys. 2.2.

Doktorant stosuje niedogodną w przetwarzaniu sygnałów konwencję numerowania próbek sygnałów od 1 a nie od 0 (np. na str. 35 w twierdzeniu 3.1). Konsekwencją tego jest niedogodne indeksowanie zależności definiujących przekształcenie Fouriera (np. wzór na str. 63). Ponadto ten wzór jest błędny, ponieważ w wykładnikach brak jest indeksów próbek.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Recenzowana rozprawa ma istotnie kilka słabych stron. Należą do nich:

- duża koncentracja na zagadnieniach teoretycznych i jedynie marginalne rozważenie zastosowań technicznych oraz przeprowadzenie niewielu eksperymentów obliczeniowych
- brak jasnego, przekonującego, zwłaszcza eksperymentalnego uzasadnienia tego, że zaproponowane modele (kwaternionowe i oktonionowe) sygnałów mają lub mogą mieć przewagę nad reprezentacjami klasycznymi
- nazewnictwo niektórych pojęć budzi wątpliwości; w szczególności niepoprawna jest nazwa „częstotliwość próbkowania” np. na str. 34, czego konsekwencją jest błędna definicja częstotliwości Nyquista; próbkowanie jest procesem nad sygnałem i powinno używać się nazwy „szybkość próbkowania”, a powstający sygnał dyskretny (strumień próbek) należy mierzyć w próbkach na sekundę (S/s) a nie w hercach (Hz). Szybkość Nyquista (nazywana błędnie przez Doktoranta „częstotliwością Nyquista” to jest minimalna szybkość równomiernego próbkowania, z jaką można próbować dany sygnał, a częstotliwość Nyquista to jest maksymalna częstotliwość sygnału dolnopasmowego, jaki może być próbkowany z zadaną szybkością.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Mimo opisanych powyżej pewnych słabych stron, wad i niedociągnięć tekstu rozprawy, osiągnięte przez Doktoranta wyniki, jak już to wcześniej podkreśliłem, oceniam wysoko. Opracowana przez Doktoranta teoria dotycząca oszczędnego próbkowania sygnałów kwaternionowych i analizy widmowej sygnałów oktonionowych stanowi znaczący postęp w rozwoju matematycznej teorii sygnałów.

Ocenianą przeze mnie rozprawę, dzięki osiągniętym znaczącym wynikom wskutek dużego zaangażowaniu Doktoranta, Promotora Pani Dr hab. inż. Kajetany Snopek i innych współpracowników z Politechniki Warszawskiej, z którymi Doktorant współpracuje, można wręcz zaliczyć do prac o charakterze pionierskim.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy

b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania

c/ spełniająca wymagania

d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem ✕

e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Powyższe pytania mają charakter pomocniczy. Wskazane jest takie formułowanie treści recenzji, by można ją było odczytywać bez przeczytania pytań.

podpis



Adam Dąbrowski

dr hab. inż. Sławomir Hausman

Instytut Elektroniki
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechnika Łódzka
ul. Wólczańska 211/215
90-924 Łódź

Recenzja rozprawy doktorskiej

Autor rozprawy: **mgr inż. Łukasz Błaszczyk**

Tytuł: "**Algebry Cayleya-Dicksona w analizie sygnałów z elementami teorii oszczędnego próbkowania**"

Promotor: **dr hab. inż. Kajetana M. Snopek**

Praca wykonana na **Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej**

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza pracy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Badania omówione przez mgra inż. Łukasza Błaszczyka w jego dysertacji doktorskiej obejmują dwie grupy zagadnień, które łączy zastosowanie liczb hiperzespolonych – algebr Clifforda – w teorii sygnałów. Pierwsza część pracy dotyczy wykorzystania algebry kwaternionów w teorii oszczędnego próbkowania, zaś druga, uogólnienia wielowymiarowej transformacji Fouriera z wykorzystaniem algebry oktonionów. W obu tych obszarach tematycznych Autor, niemal w całości, poświęca się rozważaniom z zakresu algebry z uwzględnieniem jej zastosowań w teorii sygnałów. Autor sformułował explicite dwie tezy, których dowodzeniu poświęcona jest treść odpowiednio pierwszej i drugiej części dysertacji. Należy podkreślić, że chociaż podanie tez nie jest wymogiem formalnym w pracach doktorskich, to jednak ułatwia zrozumienie jakie zagadnienia Autor zamierzał zbadać i rozwiązać. Doktorant swoje tezy robocze zapisał następująco:

1. Klasyczna teorie oszczędnego próbkowania można rozszerzyć na przypadek sygnałów kwaternionowych i kwaternionowych macierzy pomiarowych.
2. Oktonionowa transformacja Fouriera ma własności, które pozwalają na zastosowanie jej w analizie sygnałów i systemów 3D.

Sformułowanie powyższych tez uważam za logiczne i racjonalne, zauważając jednocześnie, że ich bardzo ogólny charakter sprawia, że ich dowiedzenie nie jest łatwe.

Opiniowana praca ma charakter teoretyczny.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Bibliografia zawiera 102 pozycje (artykuły i książki) literatury światowej, które są, moim zdaniem, bardzo dobrze dobrane, a także są powoływane w dysertacji we właściwym miejscu i kontekście.

W podrozdziale 1.3, powołując się na literaturę, Autor przedstawił stan wiedzy dotyczącej oszczędnego próbkowania sygnałów o wartościach rzeczywistych i zespolonych, a następnie przywołał publikacje pokazujące możliwości zastosowania teorii oszczędnego próbkowania do sygnałów o wartościach kwaternionowych. Wskazał na niedostatek polegający na braku podstaw

teoretycznych i słusznie wywiódł z tego potrzebę sformułowania szeregu twierdzeń i przeprowadzenia ich dowodów.

W podrozdziale 2.6 Autor zwraca uwagę na możliwość dalszego uogólnienia teorii analizy sygnałów i systemów, jako kontynuacji prac prowadzonych przez S. L. Hahna a następnie K. M. Snopek na Politechnice Warszawskiej, w zakresie hiperzespolonych przekształceń Fouriera, w szczególności w kierunku sformułowania i dowiedzenia twierdzeń dotyczących oktonionowej transformacji Fouriera.

Przedstawione przez Autora uzasadnienie kontynuacji badań uważam za przekonujące i wynikające z poprawnej oceny stanu wiedzy światowej (w tym także istotnych osiągnięć badaczy polskich).

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autor w swojej dysertacji sformułował explicite dwie tezy, które zacytowałem w p. 1 niniejszej recenzji. Te tezy, a zwłaszcza druga, są na tyle ogólne, że rozpoczynając lekturę dysertacji uznałem próbę udowodnienia ich za bardzo trudną. Dlatego mam wielkie uznanie dla Doktoranta za to, że podjął się tego wyzwania i w moim przekonaniu mu sprostał. W przypadku pierwszej tezy wymagało to łącznego zastosowania skomplikowanego aparatu matematycznego z zakresu algebry i teorii prawdopodobieństwa – stosownie do specyfiki problemu oszczędnego próbkowania (Candès i Tao), które jest inne i znacząco bardziej złożone od klasycznej teorii próbkowania (Kotelnikow, Nyquist, Shannon i Whittaker). W przypadku drugiej tezy Autor również stanął na wysokości zadania i sformułował oraz udowodnił szereg twierdzeń, które stwarzają nadzieję, na możliwość zastosowania oktonionowej transformacji Fouriera w analizie sygnałów i systemów 3D.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Do oryginalnych wyników pracy zaliczam:

1. Rozważania (w tym dowody twierdzeń) dotyczące stabilnej rekonstrukcji sygnałów kwaternionowych z niewielkiej liczby liniowych pomiarów obarczonych błędem, przez minimalizację normy ℓ_1 , zwłaszcza dla kwaternionowych losowych macierzy gaussowskich, z dużym prawdopodobieństwem spełniających własność ograniczonej izometrii. Przy okazji narzuca mi się pytanie, czy abstrakcyjne dla inżyniera pojęcie ograniczonej izometrii można jakoś przybliżyć posługując się pojęciem ortogonalności macierzy?
2. Egzemplifikacja zastosowania metody oszczędnego próbkowania do kompresji i rekonstrukcji obrazu kolorowego „Lena” w dziedzinie kwaternionowej transformacji Fouriera.
3. Udowodnienie szeregu twierdzeń dotyczących oktonionowej transformacji Fouriera funkcji o wartościach oktonionowych: twierdzenie o transformacji odwrotnej, odpowiednik twierdzenia o hermitowskiej symetrii transformacji Fouriera, twierdzenia Parsevala, oktonionowy odpowiednik funkcji autokorelacji sygnału o wartościach rzeczywistych, odpowiednik twierdzenia o dualności splotu i mnożenia. Jest to próba uogólnienia na oktoniony transformacji Fouriera w zastosowaniu do opisu liniowych stacjonarnych systemów trójwymiarowych dających się opisać równaniami różnicowymi.

Uważam, że wymienione wyżej osiągnięcia stanowią oryginalną i znaczącą wartość dodaną przez Autora do światowego stanu wiedzy w tej tematyce. Jestem zdania, że są to osiągnięcia przekraczające wymagania stawiane obecnie pracom doktorskim.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Przede wszystkim chcę zaznaczyć, że omówienie badań przeprowadzonych przez Autora, zawarte w dysertacji uważam za klarowne i wyczerpujące, w tym sensie, że pozwala ono na ich pełną ocenę przez recenzenta.

Rozprawa, wraz z bibliografią i spisem użytych skrótów, ma objętość 136 stron. Jej układ uważam za dostosowany do tematyki i zakresu badań opisywanych przez Autora. Rozprawa podzielona jest na dwa rozdziały powiązane tematycznie z dwiema tezami pracy, podsumowanie i wnioski, dwa dodatki oraz bibliografię, skorowidz i spis użytych symboli. Praca nie jest łatwa w czytaniu, co wynika z bardzo zmatematyzowanego wywodu, ale prawdopodobnie nie można tego zrobić inaczej. Ułatwieniem w zrozumieniu tak abstrakcyjnej treści byłaby egzemplifikacja wybranych twierdzeń przykładami obliczeniowymi. Rozprawa jest przygotowana w języku polskim i pod względem poprawności językowej nie budzi moich zastrzeżeń.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Z recenzentkiego obowiązku zobowiązany jestem wskazać niedostatki rozprawy. Moim zdaniem, największą wadą recenzowanej pracy jest brak przykładów zastosowań proponowanych metod analizy sygnałów. Przetwarzanie sygnałów to w dużej części matematyka, ale matematyka stosowana, czyli użyteczna np. w technice, naukach ścisłych, ekonomii, czy medycynie. Użyteczności powinno się dowodzić przykładami zastosowań. Sam Autor zapewne to dostrzega, czego dowodem jest podrozdział 1.5.3, w którym przedstawia przykład oszczędnego próbkowania z zastosowaniem dyskretnej kwaternionowej transformacji Fouriera obrazu kolorowego („Lena”). Ten jeden przykład, choć dobrze dobrany, to jednak nieco za mało, tym bardziej, że w części poświęconej oktoniom w ogóle brak przykładów zastosowań. Bez odpowiednio reprezentatywnych przykładów Autor nie mógł dokonać porównania proponowanych metod z innymi, znanymi z literatury, bo ich skuteczność zależy od klasy/rodzaju sygnałów. Wydaje się, że dysponując materiałem do porównań, Autor mógłby w większym stopniu dowieść własnego wkładu naukowego w dyscyplinę elektronika, w zakresie teorii sygnałów i jej zastosowań. Ocenę przyczyn tego niedostatku dysertacji komplikuje fakt, że Autor ma na przykład w swoim dorobku następującą samodzielną publikację w czasopiśmie z listy JCR:

Błaszczak Ł., „Compressed Sensing in MRI – Mathematical Preliminaries and Basic Examples”, *Nukleonika*, vol. 61, nr 1, 2016, ss. 41-43, (5 year IF = 0.512)

Z powyższego artykułu wynika, że Autor dysponuje np. bazą obrazów tomografii rezonansu magnetycznego oraz zaimplementował numerycznie inne niż tylko kwaternionowe reprezentacje obrazów dwuwymiarowych. Dlaczego te lub podobne przykłady nie zostały zawarte w recenzowanej dysertacji i porównane z metodą kwaternionową? Zdumienie budzi fakt, że metoda kwaternionowa, która powinna być bliska Autorowi na tym etapie badań, nie została z kolei przywołana w wymienionym powyżej artykule.

Warto też podkreślić, że jedni z najwybitniejszych twórców podstaw teorii sygnałów – Jean-Baptiste Joseph Fourier, Norbert Wiener, Rudolf Kálmán i wielu innych byli matematykami, ale wszyscy testowali swoje koncepcje teoretyczne na przykładach z życia bądź techniki. Szczegóły ich osiągnięć praktycznych łatwo znaleźć w literaturze. Uważam, że Autor, także po to by wyniki jego prac

teoretycznych uzyskały lepszą widoczność wśród społeczności specjalistów przetwarzania sygnałów, powinien w najbliższej przyszłości opublikować przykłady zastosowań.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Jak już wspomniałem we wcześniejszych fragmentach recenzji, przewaga stosowania sygnałów kwaternionowych i oktonionowych (w odróżnieniu od rzeczywistych sygnałów wielowymiarowych i ich reprezentacji w dziedzinie przekształcenia Fouriera) do oszczędnego próbkowania sygnałów wielowymiarowych wymaga dopiero udowodnienia. Nie da się tej przewagi wykazać bez zbadania pewnej klasy rzeczywistych sygnałów wielowymiarowych. Natomiast Autor w istotny sposób rozwinął podstawy teoretyczne zastosowań liczb hiperzespolonych, dowodząc, że w tej dziedzinie sygnałów istnieją odpowiedniki pojęć z zakresu teorii sygnałów i systemów rzeczywistych.

8. Podsumowanie oceny rozprawy i oceny wiedzy doktoranta

Uważam, że wybór tematyki poruszanej w dysertacji jest w pełni uzasadniony jej aktualnością i istotnym znaczeniem dla badań w zakresie metod przetwarzania sygnałów. Tematyka ta może być zaliczona do dyscypliny naukowej elektronika, w której prowadzony jest przewód – specjalność teoria sygnałów.

Opisane badania odpowiadają na aktualne zapotrzebowanie dotyczące szeroko rozumianego oszczędnego próbkowania. Osiągnięcia Autora w zakresie badań teoretycznych w dyscyplinie elektronika uważam za istotne. Praca zawiera oryginalne wyniki, które rozszerzyły wiedzę w przedmiotowym zakresie. Autor omawia zagadnienia ujęte w pracy kompetentnie i z uwzględnieniem aktualnego stanu wiedzy. Dowodzą tego między innymi powołane w pracy publikacje – dobrane stosownie do rozważanej tematyki oraz zakresu prowadzonych badań.

Ponadto, o wartości pracy Autora świadczy jego dorobek publikacyjny, który obejmuje współautorstwo 3 pozycji związanych bezpośrednio z tematyką dysertacji wykazywanych przez bazę Web of Science.

1. Błaszczyk Ł., "Compressed Sensing in MRI – Mathematical Preliminaries and Basic Examples", *Nukleonika*, vol. 61, nr 1, 2016, ss. 41-43, (5 year IF = 0.512).
2. Ł. Błaszczyk, K. M. Snopek, „Octonion Fourier Transform of real-valued functions of three variables – selected properties and examples”, *Signal Processing*, 136 (2017), 29–37. (5 year IF = 3.001).
3. Badeńska, Ł. Błaszczyk, "Compressed sensing for real measurements of quaternion signals", *Journal of the Franklin Institute-Engineering and Applied Mathematics*, vol. 354, issue 13, pp: 5753-5769, Sept. 2017, DOI: 10.1016/j.jfranklin.2017.06.004 . (5 year IF = 3.043).

Te i pozostałe osiągnięcia publikacyjne Autora uważam za pozytywnie wyróżniające się jakością w porównaniu z wieloma innymi znanymi mi pracami doktorskimi. Mgr inż. Łukasz Błaszczyk wykazał się ponadto dużą wiedzą z zakresu specjalności teoria sygnałów. Na uwypuklenie zasługuje to, że w stopniu ponadprzeciętnym opanował złożony aparat matematyczny z zakresu algebry i teorii prawdopodobieństwa, potrzebny do przeprowadzenia dowodów stanowiących przedmiot jego osiągnięć.

9. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

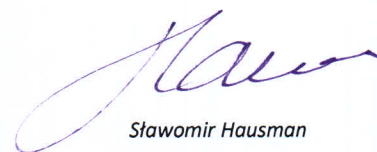
- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania

- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

10. Konkluzja

Po zapoznaniu się z przedłożoną do recenzji dysertacją mgr. inż. Łukasza Błaszczyka, stwierdzam, że z wyraźnym nadmiarem spełnione są wymagania art. 13 ust. 1 *Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, gdzie mowa o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego, ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z tym, stawiam wniosek o przyjęcie tego opracowania jako rozprawy doktorskiej w dyscyplinie elektronika i dopuszczenie mgr. inż. Łukasza Błaszczyka do jej publicznej obrony.

Łódź, 03 listopada 2017 r.



Sławomir Hausman