

Prof. dr hab. inż. Adam Kawalec
Wojskowa Akademia Techniczna,
Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki

Warszawa, 28. 08. 2017

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY NAUKOWEJ INSTYTUTU PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW
TECHNIKI PAN**

Tytuł rozprawy:

**NUMERYCZNA REKONSTRUKCJA POLA PRĘDKOŚCI FALI AKUSTYCZNEJ NA
PODSTAWIE ANALIZY SYGNAŁÓW ULTRADŹWIĘKOWYCH**

Autor rozprawy: mgr inż. Piotr KARWAT

Promotor rozprawy: dr hab. Jurij Tasinkiewicz

Dziedzina: nauki techniczne

Dyscyplina: elektronika

- 1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?**

Aktualnie istnieje duże zapotrzebowanie na diagnostykę obrazową wykorzystywaną we współczesnej medycynie, szczególnie w zakresie metod obrazowania ultradźwiękowego w czasie rzeczywistym. W diagnostyce ultradźwiękowej niezwykle istotną jest prędkość fali ultradźwiękowej, która jest różna w badanych tkankach. Wartość tej prędkości jest niezbędna do poprawnej rekonstrukcji obrazów oraz jest źródłem informacji o mechanicznych własnościach tkanek w systemach ultradźwiękowych pracujących w trybie odbiciowym.

Bazując na doniesieniach literaturowych w zakresie tematycznym pracy oraz własnych doświadczeniach badawczych Doktorant podjął badania związane z przestrzenną rekonstrukcją prędkości fali ultradźwiękowej.

Rozwiązanie problemów badawczych podjętych przez Autora rozprawy jest szczególnie ważne dla nowych systemów diagnostyki medycznej opartej na obrazowaniu ultradźwiękowym. Dlatego zasadniczym celem rozprawy było opracowanie metody rekonstrukcji w czasie rzeczywistym przestrzennego rozkładu prędkości dźwięku. Cel rozprawy jest określony właściwie, tematyka jest aktualna i potrzebna.

Doktorant nie wyszczególnił w sposób jednoznaczny tezy rozprawy, ale w rozdz. 1.4, str.6 przedstawił motywację do opracowania nowej metody obrazowania prędkości. Zwrócił również uwagę na złożoność obliczeniową metody rekonstrukcji pola prędkości dźwięku, która jest istotna z punktu widzenia jej zastosowania do diagnostyki w czasie rzeczywistym.

Natomiast na str.88, w podsumowaniu rozprawy zapisał: "Wyniki uzyskane w punkcie 4 potwierdzają tezę, że opracowana w punktach 1-3 metoda Q-CUTE (w szczególności wersja Q-CUTE_D) umożliwia efektywną obliczeniowo rekonstrukcję wysokiej jakości obrazów prędkości."

Recenzowana rozprawa ma charakter eksperymentu symulacyjnego liczy 95 stron i składa się z czterech rozdziałów, podsumowania, biografii i załączników.

We wstępie Autor skoncentrował się na opisie prędkości propagacji fali ultradźwiękowej w badanych tkankach, znaczeniu prędkości dźwięku w obrazowaniu ultradźwiękowym oraz sposobach korekcji aberracji w obrazowaniu ultradźwiękowym. Rozdział 1.4 dotyczy motywacji jaka skłoniła Autora do opracowania nowej metody obrazowania prędkości, a w szczególności opracowania dokładnej i efektywnej obliczeniowo metody rekonstrukcji prędkości fali ultradźwiękowej istotnej z punktu widzenia rekonstrukcji obrazów w systemach ultradźwiękowych pracujących w trybie odbiciowym.

Rozdział 2. zawiera niezbędne informacje teoretyczne związane z tematem rozprawy. Zasadniczy rozdział 3. rozprawy dotyczy szczegółowego opisu algorytmów CUTE-SD, CUTE-FD oraz Q-CUTE, w szczególności przetwarzania sygnałów w ramach tych algorytmów.

W rozdziale 4. rozprawy Doktorant zaprezentował otrzymane wyniki symulacji oraz dyskusję tych wyników. Przedstawił również możliwości dalszego rozwoju algorytmu Q-CUTE poprzez odpowiednie jego modyfikacje oraz sklasyfikował testowane

algorytmy pod względem uogólnionej jakości obrazowania prędkości podkreślając, że algorytm Q-CUTE_D jest najbardziej perspektywnym w porównaniu do analizowanych pozostałych algorytmów rekonstrukcji prędkości dźwięku.

Rozdział 5. jest podsumowaniem rozprawy, w którym Doktorant wymienił zasadnicze osiągnięcia rozprawy oraz przedstawił istotne wnioski wynikające z badań algorytmów.

Recenzowana rozprawa zawiera dobrze sformułowany i ważny problem naukowy. Prezentuje ona rozwiązanie tego problemu, które zostało uzyskane przez Autora rozprawy przy użyciu poprawnej metodologii naukowej. Otrzymane przez Autora rezultaty są bardzo interesujące i wartościowe.

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

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant uwzględnił 36 pozycji literaturowych, których w dwóch jest współautorem. Literatura przedmiotu, zawiera pozycje książkowe, ale również literaturę czołowych czasopism światowych, w tym siedem pozycji jest opublikowane w czasopismach znajdujących się na Liście Filadelfijskiej (załącznik do rozprawy-wykaz prac naukowych). Bazując na dostępnych pracach Autor przeprowadził analizę stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł odpowiada potrzebom rozprawy i należy uznać go za właściwy. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z tematyką rozprawy. Analiza źródeł literaturowych z odpowiednim wnioskowaniem pozwoliła na sformułowanie celu pracy. Wyniki badań związane z tematyką rozprawy doktorskiej były także prezentowane przez Doktoranta na 9. konferencjach międzynarodowych i krajowych (załącznik do rozprawy-wykaz prac naukowych). Dorobek naukowy Autora rozprawy obejmuje dwanaście publikacji.

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

Obecnie brakuje uniwersalnej metody rekonstrukcji rozkładu prędkości dźwięku w zakresie dokładności i jednocześnie efektywnej obliczeniowo. Znana z literatury metoda obrazowania prędkości – CUTE-SD, zapewnia wprawdzie wysoką jakość obrazowania prędkości, ale charakteryzuje się dużą złożonością obliczeniową, która uniemożliwia wykorzystanie jej w czasie rzeczywistym. Dla porównania metoda CUTE-FD charakteryzuje się większą efektywnością obliczeniową. Możliwości implementacji algorytmu typu CUTE-SD w ultradźwiękowych systemach czasu rzeczywistego są zatem ograniczone. Rozwiązaniem tego problemu jest przedstawiony przez Doktoranta algorytm Q-CUTE, który cechuje się wysoką efektywnością obliczeniową. W rozdziale 2.8 Autor przedstawił analizę złożoności obliczeniowej każdego z prezentowanych algorytmów. W rozpatrywanych algorytmach występuje problem rozwiązania zagadnienia odwrotnego, który z reguły jest zadaniem źle uwarunkowanym i wymaga regularyzacji. O ile w algorytmach CUTE-SD i CUTE-FD Doktorant wykorzystał regularyzację Tichonowa, to w przypadku algorytmu Q-CUTE nie było to możliwe ze względu na brak możliwości odwracania macierzy przekształcenia.

Opracowanie nowej metody rekonstrukcji w czasie rzeczywistym przestrzennego rozkładu prędkości dźwięku wymagało rozwiązania kilku istotnych problemów badawczych. Opracowany przez Doktoranta algorytm Q-CUTE był porównywany pod względem generowanych wyników z algorytmami CUTE-FD oraz CUTE-SD, znanymi z literatury.

W celu przeprowadzenia obiektywnej oceny porównawczej Doktorant przeprowadził optymalizację współczynników regularyzacji λ , który ma kluczowy wpływ na czytelność wynikowych obrazów prędkości dla każdego z rozpatrywanych algorytmów. Doktorant optymalizował współczynniki regularyzacji z wykorzystaniem minimalizacji pierwiastka błędu średniokwadratowego RMSE i maksymalizacji stosunku kontrast – szum CNR oraz minimalizację ilorazu RMSE/CNR dla rekonstruowanych obrazów zawierających wtrącenie okrągłe oraz wtrącenia typu warstwowego. Badania miały charakter symulacyjny z wykorzystaniem środowiska MATLAB. Autor zwrócił uwagę na zależność wyników procedury optymalizacji od zadanego rozkładu prędkości oraz na problemy związane z wykorzystaniem

optymalizacji jednego rodzaju dla wszystkich analizowanych algorytmów. W szczególności Autor opracował metodę Q-CUTE rekonstrukcji prędkości, efektywną obliczeniowo, jak również porównał ją do znanych z literatury algorytmów CUTE-FD oraz CUTE-SD. Złożoność obliczeniowa metody Q - CUTE jest znacznie ograniczona w porównaniu z pozostałymi algorytmami. Autor opisał wymagane do rozwiązania zadania, wykonał pracochłonne badania symulacyjne. Warto zaznaczyć, że zagadnienie optymalizacji podjęte przez Doktoranta nie należy do łatwych.

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?

Praca stanowi oryginalny wkład Autora do problematyki numerycznych metod rekonstrukcji pola prędkości fali akustycznej na podstawie analizy sygnałów ultradźwiękowych.

Przedstawione w rozprawie doktorskiej algorytmy CUTE-SD, CUTE-FD różnią się jakością obrazowania prędkości oraz złożonością obliczeniową. Opracowany i testowany przez Doktoranta algorytm Q-CUTE pozwala na efektywną obliczeniowo rekonstrukcję wysokiej jakości obrazów prędkości. Ponadto złożoność obliczeniowa tego algorytmu jest mniejsza od złożoności pozostałych, analizowanych algorytmów. Uzyskane rozwiązanie nie jest dotąd znane w literaturze przedmiotu. Całkowicie oryginalne (rozdziały 3 i 4) wyniki tych badań symulacyjnych pozwoliły Doktorantowi na wyciągnięcie wniosków szczegółowych z podkreśleniem wad i zalet tego typu rozwiązań technicznych.

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

Rozprawa posiada logiczny układ. Szata graficzna przy prezentacji uzyskanych rezultatów jest przejrzysta. Rozprawa zawiera ponadto załącznik, który dokumentuje wyprowadzenie wykorzystywanego w pracy wzoru na przybliżenie $\Delta\sigma_x$, co jest słuszne z punktu widzenia prezentacji wyników rozprawy.

W rozprawie występują nieliczne błędy edycyjne i usterki językowe np.:

- Str. 31 „Przykładowa struktura macierzy występujących w równaniu (46) dla wektora danych o długości 16 próbek została przedstawiona na Rysunek 15.” - edycja;
- Str. 41 „Wcześniej jednak, aby umożliwić możliwie obiektywną ocenę porównawczą, dla każdego z wymienionych algorytmów przeprowadzono optymalizację współczynników regularyzacji λ .” – styl;
- Str. 84 „W związku z tym, na optymalną wartość λ będzie miał wpływ czynnik nie występujący w przypadku pozostałych algorytmów. Można zadać sobie pytanie, czy nie lepiej byłoby w procedurze optymalizacji wybrać rozkład prędkości taki, który nie skutkowałby powstawaniem wspomnianych błędów systematycznych. – styl;
- Str. 84 „Prawdopodobnie wartość λ uznana za optymalną byłaby wyższa a poziom fluktuacji wyników zbliżyłby się do poziomu obserwowanego w przypadku pozostałych algorytmów.”- na jakiej podstawie można zapisać takie stwierdzenie?;
- Str. 85 „Porównajmy zatem uważniej wyniki uzyskane metodą Q-CUTE_D, z rezultatami otrzymanymi jakościowo lepszą spośród metod referencyjnych, tj. CUTE-SD.” – styl;
- Tytuły rozdziałów zapisane są w sposób „hasłowy” np. str. 7 „Teoria”, czy też str. 41 „Metodologia”;
- brakuje odnośników literaturowych do wykorzystywanych w rozprawie wzorów analitycznych, co utrudnia recenzentowi ocenę, czy są to *własne* wprowadzenia Doktoranta;
- Brakuje spisu oznaczeń wykorzystywanych w rozprawie.

Przytoczone uwagi mają charakter redakcyjny i nie pomniejszają wartości rozprawy. Podsumowując stwierdzam, że Autor wykazał się szeroką wiedzą w obszarze diagnostyki obrazowej wykorzystywanej we współczesnej medycynie

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

Za słabą stronę rozprawy uważam przyjętą przez Doktoranta metodę analizy wyników symulacji. Autor często sugeruje pytanie, na które nie udziela odpowiedzi, lub uznaje, że w pewnych warunkach oceniane wyniki parametrów są optymalne (np. str. 83), a w innych prawdopodobnie nie - na jakiej podstawie można to stwierdzić? Dalej, sposób interpretacji wartości istotnych współczynników regularyzacji λ , które Doktorant uznał za optymalne w warunkach nominalnych, ale nie wiadomo jakich? Oczywiście istotne są założenia dla jakich prowadzone są symulacje, ale powinno to

być w sposób jasny zdefiniowane. Inaczej takie sformułowania budzą wątpliwości czytelnika. Zapisy tego typu są wręcz niezrozumiałe i powodują, że zasadnicze, istotne osiągnięcia Doktoranta nie są jasno uwydatnione. Ale w podsumowaniu rozprawy Autor wyraźnie je wyszczególnił, co należy przyjąć pozytywnie. W niektórych fragmentach tekst rozprawy sprawia wrażenie sprawozdania z przeprowadzonej pracy, co jest główną wadą rozprawy

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawione przez Doktoranta algorytmy i symulacje są przydatne z punktu widzenia nauk technicznych. Przedstawiona do recenzji praca posiada duże znaczenie poznawcze oraz możliwości zastosowania opracowanego algorytmu Q - CUTE w rzeczywistych systemach wykorzystywanych w diagnostyce medycznej. Wybrane wyniki i metody można wykorzystać w innych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych, w szczególności w systemach diagnostyki ultradźwiękowej.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

- a) *nie spełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,*
- b) *wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,*
- c) **spełniająca wymagania,**
- d) *spełniająca wymagania z nadmiarem,*
- e) *wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.*

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska zawiera ważne i oryginalne wyniki badań naukowych i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim sformułowane w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wnioskuje zatem o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



