

Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Wydziału Elektroniki i Informatyki
Politechniki Koszalińskiej

Tytuł rozprawy: **„Algorytmy realizacji i implementacji liniowych, stacjonarnych filtrów cyfrowych 3D w potokowych strukturach z rotatorami Givensa”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Paweł Poczekajło**

1. Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?

Przedmiotem rozprawy są liniowe filtry ortogonalne, przeznaczone do przetwarzania sygnałów 3D. Cyfrowa filtracja ortogonalna sygnałów stanowi ważne i aktualne zagadnienie badawcze, począwszy od połowy lat 70-tych ubiegłego wieku. Uzyskane wtedy rezultaty teoretyczne, dotyczące sygnałów 1D, umożliwiły na początku lat 80-tych opracowanie w Delft University of Technology m.in. algorytmów parametryzacji Schura i modelowania stochastycznego (cyfrowej syntezy) sygnału mowy, które stały się światowym standardem transmisji sygnału mowy w systemach GSM. Rozwinięcie i uogólnienie tych metod na sygnały 2D, 3D – i dalej – na sygnały ND jest zagadnieniem bardzo interesującym i dotąd nierozwiązanym w pełni, zarówno od strony teoretycznej, jak i implementacyjnej.

Istnieje szeroki obszar potencjalnych ich zastosowań, ważnych z punktu widzenia praktyki przetwarzania sygnałów. Dlatego tematykę rozprawy należy uznać za ważną i aktualną.

2. Jaki jest problem naukowy rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?

Problemem naukowym rozprawy są algorytmy realizacji i implementacji liniowych ortogonalnych filtrów cyfrowych 3D o parametrach niezmiennych w czasie.

Teza rozprawy, to „Opracowanie algorytmów ortogonalnych równań stanu dla liniowych, stacjonarnych filtrów cyfrowych 3D umożliwia ich ich implementację za pomocą rotatorów Givensa. Struktury te charakteryzują się większą dokładnością obliczeń na liczbach o skończonej precyzji w porównaniu do filtrów implementowanych w strukturach bezpośrednich”, zaś jej cel został sformułowany następująco: „Opracowanie efektywnych numerycznie metod realizacji filtrów cyfrowych 3D dla zadanych współczynników odpowiedzi impulsowej lub transmitancji za pomocą ortogonalnych równań stanu oraz ich implementacji w potokowych strukturach zbudowanych z rotatorów Givensa”.

Problem ten został dokładnie i jasno sprecyzowany.

3. Czy autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego właściwych metod?

W rozdziale 3. Autor przedstawił algorytm potokowej realizacji filtrów 3D, rozważając kolejno: algorytm syntezy separowalnych filtrów FIR, proponując algorytm syntezy filtrów nieseparowalnych, przedstawiając ten problem dla filtrów IIR dla szczególnego (wiadomo z jakich powodów) przypadku faktoryzowalnych wielomianów wymiernej funkcji transmitancji filtru 3D. Autor zaproponował organizację obliczeń wg uporządkowania danych, co w przypadku sygnałów wielowymiarowych jest kluczowe i daje możliwość optymalizacji realizacji filtru.

Przedmiotem rozdziału 4. jest implementacja filtrów ortogonalnych na platformie FPGA. Autor uwzględnił dwie metody: opartą na bezpośredniej realizacji rotacji kołowej oraz

metodę wykorzystującą algorytm CORDIC, przeprowadzając analizę możliwości ich realizacji sprzętowych.

W rozdziale 5. Autor przeprowadził analizę teoretyczną wybranych parametrów filtrów, zarówno realizujących bezpośrednio operację splotu, jak też ich ortogonalnych odpowiedników, co umożliwiło wskazanie wad i zalet tych realizacji. Autor skoncentrował się na analizie wrażliwości, wpływu szumu kwantyzacji, zajętości struktury w układzie sprzętowym wykazując przewagę realizacji filtrów ortogonalnych.

W rozdziale 6. Autor zaprezentował przykładowe realizacje ortogonalnych filtrów FIR 3D, implementowanych za pomocą rotacji kołowych. Obejmują one: separowalny filtr Gaussa 3D (z uwzględnieniem zagadnienia wrażliwości, szumu kwantyzacji i zajętości struktury FPGA), nieseparowalny filtr 3D LoG (Laplacian of Gaussian) – z uwzględnieniem wymienionych wcześniej parametrów, oraz analizę grupy filtrów FIR 3D.

W wyniku realizacji tej rozprawy autor zaproponował metody syntezy potokowych realizacji ortogonalnych filtrów FIR 3D, o strukturach opartych na rotacjach kołowych. Istotnym rezultatem jest również przeprowadzona analiza oraz pomiary wrażliwości, szumu kwantyzacji oraz zajętości struktur FPGA.

W mojej opinii autor rozwiązał postawiony problem przy wykorzystaniu właściwego podejścia, teorii i zastosowaniu odpowiednich metod.

Tym samym teza pracy została wykazana, a jej cel – osiągnięty.

4. Na czym polega oryginalny dorobek autora i jakie jest jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna?

Oryginalny dorobek autora, obejmujący opracowanie algorytmów realizacji potokowych filtrów 3D, ich implementacji z wykorzystaniem rotacji kołowych, analizę wybranych parametrów oraz przykłady realizacji filtrów został – jak to przedstawiono w punkcie 3. recenzji - w rozdziałach 3-6. Jako oryginalne wyniki należy uznać: faktoryzację funkcji transmitancji filtru FIR 3D na systemy 2D i 1D, przedstawienie struktury z rotacjami za pomocą iloczynu macierzy transmitancji, zależności określające wrażliwość oraz analizę zajętości implementacji algorytmów i szumu kwantyzacji.

5. Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy autora zwłaszcza znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy?

W rozprawie autor dokonał przeglądu 80 pozycji literatury, niewątpliwie dotyczących przedmiotu pracy. Zabrakło w nim jednak odniesienia do kluczowych i fundamentalnych wyników dotyczących teorii filtrów ortogonalnych i filtracji ortogonalnej, opracowanych przez m.in. prof. P.Dewilde, prof. T.Kailatha, prof. H.Dyma, prof. M.Morfa, prof. S.Basu i ich współpracowników, zaprezentowanych w kilkudziesięciu dziś już klasycznych pozycjach literatury. Od 40 lat współpracuję merytorycznie z prof. P.Dewilde. Dlatego nie mogę zgodzić się ze stwierdzeniami Autora na str. 22 iż pierwsze opisy systemów ortogonalnych zaproponował prof. A.Fettweis. Bez wątpienia, był on niekwestionowanym autorem koncepcji cyfrowych filtrów falowych, niemniej jednak – w moim przekonaniu – autorstwo koncepcji filtrów ortogonalnych i cyfrowej filtracji ortogonalnej należy przypisać prof. P.Dewilde, który powiązał algorytm Schura z syntezą Darlingtona i algorytmem Levinsona, we współautorstwie z prof. T.Kailathem, jeszcze w połowie lat 70-tych ubiegłego wieku. Prof. Ed Deprettere, jeden z najbliższych współpracowników prof. P.Dewilde, z którym miałem możliwość współpracować przez wiele lat, wniósł bardzo wiele do rozwoju teorii i algorytmów cyfrowej filtracji ortogonalnej, niemniej jednak i to nie on był głównym autorem tej idei. Pragnę podkreślić również brak odniesienia do fundamentalnego dla tej dziedziny algorytmu Schura.

Uwagi te odnoszą się do zawartości Rozdziału 2, który nie jest kluczowy dla przedmiotu rozprawy, jako że jej przedmiotem są algorytmy filtracji i ich implementacja.

6. Jakie są wady słabe strony rozprawy?

- W rozprawie są rozważane ortogonalne realizacje klasycznych filtrów wielowymiarowych, przeznaczonych do przetwarzania (jak można rozumieć) sygnałów deterministycznych. Jednak w przeważającej liczbie zastosowań mają przede wszystkim znaczenie sygnały losowe (przykładowo: 1D – sygnał mowy, 2D – obraz, 3D – obraz zmienny w czasie). Szkoda zatem, iż w pracy nie zamieszczono odniesienia do tej klasy sygnałów.
- Wymagałoby to, m.in. poruszenia tematu ortogonalnej parametryzacji Schura sygnałów wielowymiarowych i ich stochastycznego modelowania (cyfrowej syntezy).
- W konsekwencji – wymagałoby to rozważenia nie tylko problemu klasycznego filtru wielowymiarowego, ale także ortogonalnej realizacji jego filtru odwrotnego (modelującego).
- Biorąc pod uwagę aspekt aplikacyjny, Autor wymienia – jako przykład sygnału 3D – sygnał 2D (obraz) zmienny w czasie. Ponieważ jest to pole losowe niestacjonarne, do jego przetwarzania wymagany jest filtr 3D o parametrach zmiennych w czasie. Szkoda zatem, że w rozprawie brak jest odniesienia do tego aspektu przetwarzania szeregów czasowych 3D.
- Termin „rotator” nie wydaje się być szczęśliwy. Powszechnie stosuje się raczej określenie „rotor” lub „rotacja”.
- W języku polskim brak jest precyzyjnego odpowiednika terminu „embedding”. Jednak słowo „zanurzenie” wydaje się bardziej odpowiednie w miejsce „obudowania”.
- Używana w rozprawie reprezentacja rotacji kołowej nie jest zgodna z przyjętą w literaturze strukturą, wynikającą z teorii rozproszenia.

Uwagi te nie mają, rzecz jasna, wpływu na moją końcową ocenę rozprawy.

**7. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?
c/ zadowolająco spełnia wymagania**

8. Konkluzja

W konkluzji stwierdzam, iż recenzowana rozprawa spełnia wymogi określone obowiązującymi przepisami ustawowymi i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Pawła Poczekajło do publicznej obrony.

