

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wawryn
Wydział Elektroniki i Informatyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

Koszalin, 30 stycznia 2019 roku

Opinia

o rozprawie doktorskiej mgr inż. Pawła Poczekajło

pt: *"Algorytmy realizacji i implementacji liniowych, stacjonarnych filtrów cyfrowych 3D w potokowych strukturach z rotatorami Givensa"*

Rozprawa zawiera siedem rozdziałów, trzy dodatki i bibliografię. W rozprawie mgr Poczekajło podejmuje temat algorytmów realizacji cyfrowych systemów 3D za pomocą systemu paraunitarnego opisanego ortogonalnymi równaniami stanu w stacjonarnych filtrach cyfrowych implementowanych w potokowych strukturach z rotatorami Givensa. Jest to temat ważny z punktu widzenia rozwoju nowoczesnych i praktycznych metod przetwarzania w tym filtracji sygnałów 3D. Obejmuje on aktualne zagadnienia zgodne z trendami światowymi i nawiązuje do najnowszych badań w tej dziedzinie. Algorytmy przetwarzania obrazu 3D znajdują współcześnie wiele praktycznych zastosowań m.in. w diagnostyce obrazowej w medycynie.

Przedmiotem badań nad przetwarzaniem sygnałów trójwymiarowych podjętym w rozprawie było poszukiwanie algorytmów realizacji i implementacji filtrów 3D o dużej dokładności obliczeń na liczbach o skończonej precyzji. Głównym problemem, jaki napotykają projektanci systemów cyfrowego przetwarzania sygnałów 3D jest niedostateczna przydatność techniki implementacji dyskretnych równań różnicowych za pomocą algorytmów bezpośrednich, tzn. realizujących wprost zapisane równaniami obliczenia. Obecne metody prowadzą do struktur zbudowanych z układów mnożących, sumatorów i układów opóźniających o jeden okres próbkowania. Charakteryzują się one złymi właściwościami w obliczeniach o skończonej precyzji. Przejawia się to w dużej wrażliwości struktury na zmiany parametrów spowodowane skończoną precyzją stosowanych reprezentacji liczb, szumami i niepotrzebnymi oscylacjami. Lepsze właściwości obliczeń o skończonej precyzji posiadają bezstratne systemy ortogonalne, w tym filtry ortogonalne. Jednak, dobre parametry tych struktur są okupione koniecznością wykonywania trudnych i skomplikowanych matematycznych procedur projektowych w celu ich wyznaczenia. Dla zapewnienia dobrych parametrów, struktury bezstratne muszą być zbudowane z elementów bezstratnych takich jak: rotatory Givensa i układy opóźniające sygnał o jeden okres próbkowania. Struktury te nie posiadają elementów mnożących i są zwykle bardziej złożone od struktur bezpośrednich. Dużą szybkość przetwarzania struktur z rotatorami uzyskuje się dzięki ich potokowości.

Celem pracy było opracowanie efektywnych numerycznie algorytmów 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.

Zadaniem mgr Poczekajło zawartym w tezie rozprawy doktorskiej było wykazanie, że opracowanie algorytmów ortogonalnych równań stanu dla liniowych, stacjonarnych filtrów cyfrowych 3D umożliwia ich implementację za pomocą rotatorów Givensa i że struktury te charakteryzują się większą dokładnością obliczeń na liczbach o skończonej precyzji w porównaniu do filtrów implementowanych w strukturach bezpośrednich.

Przedstawienie opracowanych algorytmów oraz wyników swoich prac mgr Poczekajło rozpoczął od wprowadzenia w rozdziale 2 aparatu matematycznego stosowanego w opisie sygnałów i filtrów 3D, a także systemów ortogonalnych i struktur rotatorowych. Omówił również wybrane parametry filtrów cyfrowych realizowanych sprzętowo (o skończonej precyzji), aby przez ich porównanie wykazać zalety proponowanych rozwiązań w stosunku do rozwiązań wykorzystujących struktury bezpośrednie.

Zasadnicza część pracy jest zawarta w rozdziałach od 3 do 6. W rozdziałach 3 i 4 mgr Poczekajło przedstawił nowe algorytmy realizacji liniowych, stacjonarnych filtrów cyfrowych 3D oraz ich implementacji w potokowych strukturach zbudowanych z rotatorów Givensa. Filtr cyfrowy 3D o separowalnej transmitancji mgr Poczekajło przekształcił do kaskadowego połączenia 3 filtrów 1D, a filtr cyfrowy o nieseparowalnej transmitancji do równoległo-kaskadowego połączenia filtrów 2D i 1D. Za pomocą złożonego aparatu matematycznego w tym faktoryzacji algorytmem QR i dekompozycji Schura opracował algorytmy transformacji tych filtrów do odpowiednich systemów paraunitarnych opisanych ortogonalnymi równaniami stanu. Następnie równania te przekształcił za pomocą algorytmu QR Givensa do postaci opisanej ortogonalnymi macierzami rotacji, umożliwiającą ich realizację za pomocą rotatorów Givensa i elementów opóźniających o jeden okres próbkowania. W celu uzyskania struktur potokowych filtrów 3D zbudowanych z rotatorów Givensa wykorzystał algorytm Cordic.

W rozdziale 5 mgr Poczekajło przedstawił analizę wybranych parametrów filtru: wrażliwości transmitancji na błąd dowolnego jej współczynnika, szumu generowanego na wyjściu układu i powierzchni zajmowanej w układzie FPGA. Wyprowadził wzory matematyczne pozwalające określać wartości tych parametrów dla struktur filtrów zbudowanych z rotatorów Givensa oraz dla celów porównawczych zbudowanych ze struktur bezpośrednich. Wyniki analiz zależności matematycznych przedstawił za pomocą wykresów bądź tabel. Pokazują one zalety proponowanych przez Autora rozwiązań filtrów zbudowanych ze struktur ortogonalnych.

Opracowane algorytmy realizacji filtrów 3D oraz rozważania teoretyczne dotyczące wybranych parametrów mgr Poczekajło poparł badaniami eksperymentalnymi zaprezentowanymi w rozdziale 6. Przedstawił w nim implementacje rotatorowe przykładowych filtrów FIR, separowalnego filtru Gaussa 3D i nieseparowalnego filtru LoG 3D w układzie FPGA. W celach porównawczych dodatkowo zaprojektował i zaimplementował w układzie FPGA filtry FIR Gaussa 3D i LoG 3D zrealizowane za pomocą struktur bezpośrednich. Pomierzył wybrane charakterystyki filtrów zbudowanych z rotatorów oraz zrealizowanych za pomocą struktur bezpośrednich i porównał efektywność tych rozwiązań. Filtry zrealizowane za pomocą rotatorów charakteryzują się większą dokładnością obliczeń na liczbach o skończonej precyzji, mniejszym szumem spowodowanym skończoną precyzją obliczeń oraz mniejszą wrażliwością na zmianę współczynników w porównaniu do filtrów zrealizowanych za pomocą struktur bezpośrednich.

W rozdziale 7 mgr Poczekajło przedstawił wnioski i wymienił zalety opracowanych przez niego algorytmów realizacji i implementacji filtrów 3D zbudowanych ze struktur ortogonalnych.

Podsumowując stwierdzam, że praca stanowi nową pozycję z zakresu realizacji i implementacji liniowych, stacjonarnych filtrów cyfrowych 3D i może inicjować inne prace tego typu. Do osiągnięć autora wnoszących wkład do nauki należą:

- opracowanie algorytmu rozkładu filtru FIR 3D o separowalnej transmitancji na 3 niezależne filtry 1D, transformacji tych filtrów do systemu paraunitarnego opisanego ortogonalnymi równaniami stanu i implementacji filtrów w strukturach rotatorowych,
- opracowanie algorytmu rozkładu filtrów FIR i IIR 3D o nieseparowalnej transmitancji na filtry 2D i 1D, transformacji tych filtrów do systemu paraunitarnego opisanego ortogonalnymi równaniami stanu i implementacji filtrów w strukturach rotatorowych,
- analiza teoretyczna i badania eksperymentalne dwóch filtrów FIR: Gaussa 3D o separowalnej transmitancji i LoG 3D o nieseparowalnej transmitancji, implementowanych w potokowych realizacjach z rotatorami Givensa i w strukturach bezpośrednich, w celu porównania następujących parametrów filtrów:
 - wrażliwości transmitancji na błąd dowolnego jej współczynnika,
 - szumu generowanego na wyjściu układu,
 - powierzchni zajmowanej w układzie FPGA.

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione osiągnięcia w mojej opinii cel pracy został osiągnięty, a teza dowiedziona.

Konkluzja

Mając na uwadze osiągnięcia mgr inż. Pawła Poczekajło, nowatorski charakter rozprawy oraz poznawcze i praktyczne znaczenie wyników według mojej opinii praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu.

