

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono algorytmy syntezy, realizacji i implementacji cyfrowych ortogonalnych filtrów trójwymiarowych (3D) o strukturze potokowej zbudowanej z rotatorów Givensa. Zawarto również obszerny wstęp do sygnałów cyfrowych oraz podstawowe zagadnienia z zakresu syntezy, realizacji i analizy systemów cyfrowego przetwarzania sygnałów (CPS). Zaprezentowano metody dla filtrów FIR (ang. Finite Impulse Response) o transmitancji separowalnej oraz nieseparowalnej. Dla filtrów IIR (ang. Infinite Impulse Response) przedstawiono ogólne zależności i wymagania zapewniające otrzymanie systemu rotatorowego. Jako dane początkowe założono transmitancję 3D lub odpowiadające jej wartości odpowiedzi impulsowej danego układu. Podstawą syntezy (realizacji) były metody i funkcje wykorzystywane do otrzymania podobnych systemów dla transmitancji jedno- i dwuwymiarowych (1D i 2D). W pierwszym etapie algorytmu uzyskuje się system paraunitarny oraz ortogonalne równania stanu, opisane za pomocą macierzy kwadratowej. Warunek ortogonalności umożliwia faktoryzację danej macierzy do iloczynu macierzy rotacji i permutacji, które również są ortogonalne. Ostatecznie uzyskuje się system potokowy zbudowany z rotatorów Givensa (realizujących macierze rotacji) oraz bloków opóźniających (realizujących macierze permutacji). Rotatory z algebraicznego punktu widzenia dokonują obrotu punktu wokół środka układu współrzędnych, a jego parametrami są w tym wypadku bezpośrednio wartości odpowiednich funkcji trygonometrycznych. Danymi wejściowymi są współrzędne punktu przed obrotem, a danymi wyjściowymi współrzędne punktu po obrocie. W pracy rozpatrzono dwie realizacje sprzętowe rotatorów. Pierwsza stosuje implementację bezpośrednią z wykorzystaniem działań mnożenia i dodawania. Druga korzysta ze zmodyfikowanego algorytmu iteracyjnego CORDIC (bez stosowania operacji mnożenia). Jako układ sprzętowy do implementacji potokowych struktur rotatorowych przyjęto procesor reprogramowalny FPGA. Dalsza część pracy skupia się na analizie teoretycznej parametrów opracowanych struktur, tj. wrażliwości, szumu i zajętości w układzie FPGA oraz ich porównaniu do struktur bezpośrednich (splot). Następnie na przykładach filtrów FIR 3D zaprezentowano algorytmy realizacji oraz dokonano pomiaru wymienionych parametrów. Wykazano, że ortogonalne struktury rotatorowe charakteryzują się poprawą wskazanych parametrów w stosunku do struktur bezpośrednio realizujących splot 3D. Kluczowym parametrem była wrażliwość charakterystyki amplitudowej na kwantowanie współczynników, która również w znacznym zakresie okazała się mniejsza dla struktur rotatorowych. Dodatkowo przeprowadzono próbę wrażliwości na trzystu filtrach dolnoprzepustowych 3D. Z otrzymanych rezultatów wynika, że w znacznej większości przypadków systemy potokowe zbudowane z rotatorów Givensa są mniej wrażliwe na kwantowanie współczynników niż bezpośrednie realizacje ze splotem.

SUMMARY

In the dissertation, algorithms for synthesis, realisation and implementation of digital three-dimensional (3D) filters with a pipeline structure based on Givens rotations are presented. Detailed introduction to digital signals and to synthesis, realisation and analysis of digital signal processing (DSP) systems is also included. Presented methods are for finite impulse response (FIR) filters with full separable and nonseparable transfer functions. For infinite impulse response (IIR) filters relations and conditions to obtain rotation systems are presented. Initial data for the algorithms are a transfer function or desired values of impulse response (coefficients). The synthesis is based on methods and functions developed for 1D and 2D orthogonal rotation filters. Initial steps of the algorithms are leads to obtaining a paraunitary system and an orthogonal state-space representation with the use of a square matrix. Orthogonality is a demanded condition for factorization of a state-space matrix to rotation and permutation matrices. Finally, a pipeline system based on Givens rotations (realising rotation matrices) and delay blocks (realising permutation matrices) is obtained. From the algebraic perspective, Givens rotations realise rotation of a point in a Cartesian coordinate system, with a help of trigonometric functions used as parameters of Givens rotations. The input data are coordinates of a point before rotation and the output data are coordinates after rotation. In the dissertation, two possibilities of hardware implementation of rotations are discussed. The first one is based on a direct implementation with the use of multiplication and addition. The second uses a modified iterative CORDIC algorithm, which does not utilize multiplication. A reprogrammable FPGA chip was selected for the realization and implementation of the rotation system in the project. The next part of the dissertation focuses on a theoretical analysis of parameters of the developed structures (sensitivity, noise and chip occupancy) and their comparison with direct form structures (convolution). Examples of 3D filters are used to present the synthesis algorithm and measurement of parameters. It is shown that orthogonal rotation structures can have better parameters than direct-form structures based on 3D convolution. The most important parameter was the sensitivity of amplitude characteristic to coefficient quantization and for presented examples it was lower for rotation systems. Additionally, sensitivities for three hundred filters are measured, and in most of the cases the Givens rotation pipeline systems are less sensitive to coefficient quantization than direct 3D convolution realisations.