

XVI Seminarium
ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2006
Oddział Gdański PTETiS
Referat nr 21

**OPROGRAMOWANIE WSPOMAGAJĄCE PROJEKTOWANIE
FILTRÓW CYFROWYCH**

Beata PAŁCZYŃSKA

Katedra Telekomunikacji Morskiej, Akademia Morska w Gdyni
tel: 58 6901552 fax: 58 6901556 e-mail: palbeata@am.gdynia.pl

W artykule przedstawiono narzędzia programowe wykorzystywane w czasie zajęć dydaktycznych z Podstaw Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów. Przeprowadzono dyskusję na temat właściwości powszechnie stosowanych pakietów oprogramowania wspomagających projektowanie cyfrowych filtrów rekursywnych (o nieskończonej odpowiedzi impulsowej) i nierekursywnych (o skończonej odpowiedzi impulsowej). Przedstawiono kilka zrealizowanych w różnych środowiskach programowych projektów studenckich. Porównano właściwości wykorzystanych programów takich jak MONARCH (Athena Group), QEDesign Lite Software (Momentum Data Systems, Compliments of Analog Devices), MATLAB (The MathWorks Inc.). Szczególną uwagę zwrócono na oryginalne projekty zrealizowane w MATLAB-ie.

1. WPROWADZENIE

Szeroki zakres zagadnień związanych z cyfrowym przetwarzaniem sygnałów dotyczy teorii, projektowania i analizy filtrów cyfrowych. Aktualnie dostępna jest duża liczba różnorodnych programów wspomagających projektowanie filtrów cyfrowych.

Na Wydziale Elektrycznym Akademii Morskiej w Gdyni przedmiot Podstawy Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów jest realizowany w formie wykładów, laboratorium i projektu [1]. Celem dydaktycznym tych zajęć jest wprowadzenie do podstawowych zagadnień i metod związanych z cyfrowym przetwarzaniem sygnałów, w tym teorii, metod projektowania i analizy filtrów cyfrowych. W trakcie zajęć projektowych studenci wykonują postawione przez prowadzącego zadanie, polegające na zaprojektowaniu filtru cyfrowego o danych parametrach, wykorzystując wybrane narzędzia programowe, m.in. MONARCH Series DSP Software (Athena Group), QEDesign Lite Software (Momentum Data Systems, Compliments of Analog Devices), MATLAB (The MathWorks Inc.). Narzędzia te powinny nie tylko ułatwić studentom rozwiązanie problemu projektowego, ale przede wszystkim pomóc w zrozumieniu zasad i metod projektowania filtrów cyfrowych. Wykorzystanie gotowych pakietów programowych (MONARCH, QEDesign) jest ponadto traktowane jako wprowadzenie do procesu tworzenia aplikacji DSP (ang. Digital Signal Processing). Dane

wynikowe obu tych programów, do których należą współczynniki filtru jak i kod źródłowy programu realizującego projektowany filtr, generowane są w formacie zrozumiałym i wykonywanym przez procesory sygnałowe z rodziny ADSP-21XX firmy Analog Devices na poziomie asemblera.

W środowisku MATLAB istnieje możliwość wykorzystania zarówno dedykowanego narzędzia Filter Design&Analysis Tool (FDATool), jak i utworzenia skryptu programowego, wykonującego określone funkcje. Zintegrowany z MATLAB-em interaktywny pakiet SIMULINK pozwala na modelowanie i analizę zaprojektowanego filtru.

W dalszej części artykułu przedstawiono kilka, zrealizowanych w różnych środowiskach programowych, projektów studenckich. Szczególną uwagę zwrócono na oryginalne projekty zrealizowane w MATLAB-ie. Podjęto próbę porównania właściwości wykorzystywanych na zajęciach środowisk programowych wspomagających projektowanie filtrów cyfrowych jako narzędzi przydatnych w procesie dydaktycznym.

2. PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ PROJEKTOWYCH

2.1. Program do projektowania filtrów cyfrowych MONARCH

Seria MONARCH jest pakietem zintegrowanych narzędzi, przeznaczonych do pracy na komputerach klasy PC, stanowiących środowisko projektowe cyfrowego przetwarzania sygnałów [2]. Składa się ona z kilku programów, w tym m.in. bloku DIGITAL FILTERS, który umożliwia projektowanie filtrów zarówno IIR (o nieskończonej odpowiedzi impulsowej) jak i FIR (o skończonej odpowiedzi impulsowej). Po wprowadzeniu specyfikacji filtru blok ten generuje współczynniki filtru, wyświetla charakterystyki częstotliwościowe, odpowiedzi: impulsową i jednostkową oraz zachowuje współczynniki filtru w kodzie ASCII. Program DIGITAL FILTERS generuje wyjściowy plik zawierający dane opisujące projektowany filtr (plik raportu *.rpt).

Wykorzystując moduł FIR programu DIGITAL FILTERS można zaprojektować pięć typów filtrów FIR. Filtr o charakterystyce amplitudowej pofalowanej (equiripple), filtry różniczkujący (differentiator) i Hilberta projektowane są w oparciu o metodę aproksymacji Czebyszewa (implementacja Parks-McClellana algorytmu Remez). Filtr bezpośredni (direct) obliczany jest przy zastosowaniu odwrotnej dyskretnej transformaty Fouriera (metodą próbkowania w dziedzinie częstotliwości), natomiast maksymalnie płaski filtr dolno-przepustowy (maxflat) generowany jest na podstawie maksymalnie płaskiego modelu Kaisera [2]. Rząd generowanego filtru FIR przyjmuje wartości z przedziału od 3 do 512.

Moduł IIR programu DIGITAL FILTERS umożliwia zaprojektowanie filtru IIR na podstawie prototypu analogowego (metodą niezmienności odpowiedzi impulsowej lub transformacji biliniowej). Umożliwia także modelowanie filtru na podstawie rozkładu zer i biegunów (POLZERO), na podstawie zmiennych stanu (STATEVAR), jak również w oparciu o postać transmitancji $H(z)$ filtru (TRANSFER). Program generuje filtr maksymalnie 24-go rzędu. Rysunek 1 przedstawia interfejs użytkownika *Specification Screen* w programie MONARCH, gdzie zadano specyfikację dla pasmowoprzepustowego filtru eliptycznego typu IIR szóstego rzędu, celem zaprojektowania go w oparciu o analogowy prototyp metodą transformacji biliniowej z maksymalnym dopuszczalnym tłumieniem w paśmie przenoszenia $A_{\text{pass}} = 1\text{dB}$, minimalnym tłumieniem w paśmie zaporowym $A_{\text{stop}} = 80\text{dB}$ i częstotliwością próbkowania $f_s = 30\text{kHz}$.

Ze względu na złożoność obliczeń wykonywanie projektów filtrów o wysokim rzędzie możliwe jest na komputerach wyposażonych w koprocesor matematyczny.



Rys. 1. Przykładowy interfejs użytkownika *Specification Screen* programu MONARCH

Dużym ograniczeniem tego pakietu programowego jest brak możliwości projektowania filtrów FIR metodą okien.

2.2. Program do projektowania filtrów cyfrowych QEDesign

Pakiet QEDesign składa się z czterech głównych modułów, które umożliwiają projektowanie filtru IIR, projektowanie filtru FIR metodą okien, projektowanie filtru FIR metodą Parks–McClellana oraz generowanie kodów źródłowych programów implementujących algorytm filtru na procesorach ADSP-21XX [3]. Program daje możliwość zaprojektowania filtrów IIR maksymalnie 6-tego rzędu oraz filtrów FIR o najwyżej 128 współczynnikach.

Dla filtru FIR, w przypadku zastosowania funkcji okna program szacuje optymalną długość filtru. Niezależnie od tego użytkownik może sam zadać długość filtru. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki przykładowego projektu filtru FIR z zastosowaniem okna Kaisera, przy czym $A_{\text{pass}} = 3\text{dB}$, $A_{\text{stop}} = 80\text{dB}$, $f_s = 10\text{kHz}$, częstotliwość odcięcia pasma przepustowego wynosi 2 kHz, a częstotliwość odcięcia pasma zaporowego 4 kHz.

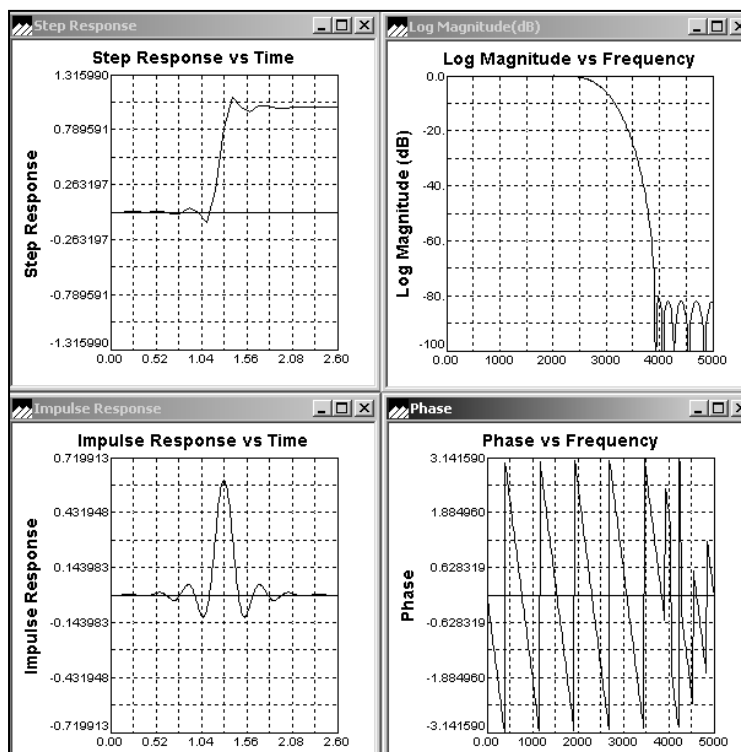
W projekcie filtru FIR o charakterystyce zafalowanej zarówno w paśmie przepustowym jak i zaporowym, wykorzystywana jest implementacja Parks–McClellana algorytmu Remeza a projektowanie filtru IIR wykonywane jest metodą transformacji biliniowej.

Program generuje plik zawierający specyfikacje filtru *.spc oraz plik ze współczynnikami *.flt.

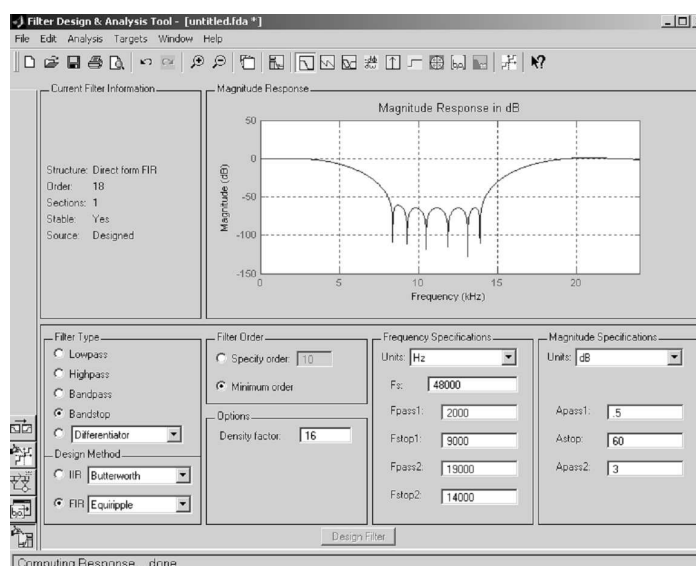
Ze względu na możliwość zastosowania różnych metod projektowania, w tym dostępność dużej liczby funkcji okien, QEDesign szczególnie nadaje się do projektowania filtrów FIR.

2.3. Środowisko programowe MATLAB

Narzędzie programowe Filter Design&Analysis Tool (FDATool) posiada łatwy w obsłudze graficzny interfejs użytkownika umożliwiający projektowanie i analizę filtrów cyfrowych [4]. Projektowanie filtrów FIR i IIR realizowane jest przez wprowadzenie specyfikacji filtru lub zaimportowanie współczynników filtru z przestrzeni roboczej (workspace) MATLAB-a, a także przez modyfikację rozkładu zer i biegunów transmitancji filtru (dodanie, przesunięcie lub usunięcie). W programie są dostępne różne sposoby specyfikacji filtru. Użytkownik może wybrać typ przepustowości filtru a następnie metodę projektowania, odpowiednio dla filtrów typu FIR i IIR. Określa się rząd filtru, częstotliwość próbkowania i częstotliwości odcięcia dla pasm: przepustowego i zaporowego. Rysunek 3 przedstawia interfejs użytkownika dla przykładowego projektu pasmowozaporowego filtru FIR zrealizowanego metodą Parks–McClellana.



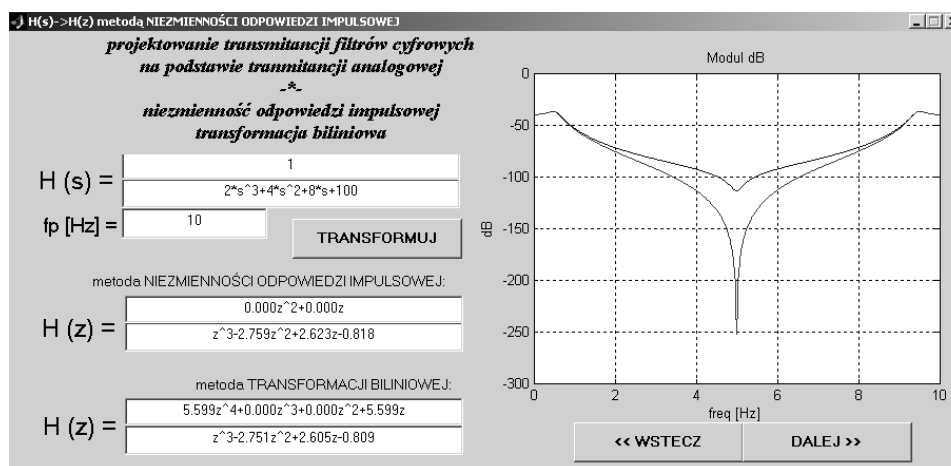
Rys. 2. Wyniki przykładowego projektu dolnoprzepustowego cyfrowego filtra FIR z programu QEDesign



Rys. 3. Specyfikacja i wyniki przykładowego projektu pasmowozaporowego cyfrowego filtra FIR w programie FDATool, w środowisku MATLAB

Środowisko programowe MATLAB umożliwia tworzenie skryptu programowego, realizującego projekt dowolnego filtru cyfrowego, wykorzystując do tego funkcje z biblioteki programu. Wizualizację wyników można w prosty sposób przeprowadzić uruchamiając np. narzędzie fvtool (Filter Visualization Tool) lub eksportując współczynniki filtru z przestrzeni roboczej MATLAB-a do FDATool.

Przykładem projektu filtru cyfrowego na podstawie zadanej transmitancji $H(s)$ filtru analogowego jest autorski, studencki program wykorzystujący graficzny interfejs użytkownika (GUI) (rys. 4). Użytkownik wpisuje transmitancję $H(s)$ w postaci wielomianu, podaje również częstotliwość próbkowania w Hz. Wybór polecenia TRANSFORMUJ powoduje kolejno: pobranie danych z pól edycyjnych, wyznaczenie transmitancji $H(z)$ filtru cyfrowego, narysowanie charakterystyk częstotliwościowych (amplitudowej i fazowej) oraz rozkładu zer i biegunów transmitancji.



Rys. 4. Projekt cyfrowego filtru IIR w programie MATLAB, wygenerowany na podstawie transmitancji filtru analogowego

Rozwiązanie problemu projektowego z zastosowaniem środowiska MATLAB wymaga większego zaangażowania studenta niż w przypadku wykorzystywania gotowych pakietów programowych wspomagających projektowanie filtrów cyfrowych. Napisanie programu w domyślnym języku skryptowym MATLAB-a, obliczającego współczynniki filtru cyfrowego na podstawie zadanej przez użytkownika specyfikacji a następnie wizualizującego wynikową transmitancję $H(z)$ filtru i jego podstawowe charakterystyk nie jest możliwe bez szczegółowej wiedzy teoretycznej na temat metod projektowania filtrów.

3. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione narzędzia programowe wykorzystywane w czasie zajęć projektowych z Podstaw Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa to przyjazne dla użytkownika pakiety programowe: MONARCH, QEDesign, a także FDATool w MATLAB-ie, których główną zaletą jest to, że dają możliwość poprzez zmianę specyfikacji filtru badania wpływu poszczególne parametrów takich jak częstotliwość

próbkowania, częstotliwości odcięcia filtru, rząd filtru itp. na charakterystyki i właściwości projektowanych filtrów. Programy te mają wbudowaną obsługę błędów, sygnalizują wprowadzenie niepoprawnej specyfikacji filtru (np. błędnej wartości częstotliwości próbkowania, częstotliwości odcięcia filtru). Omówione pakiety mają jednak wiele ograniczeń projektowych.

W programie MONARCH nie ma możliwości projektowania filtrów FIR metodą okien, natomiast filtry IIR można wygenerować maksymalnie do 24 rzędu.

Użytkownik nie ma możliwości wyboru metody projektowania filtrów IIR za pomocą pakietu QEDesign, w którym filtry te projektuje się metodą transformacji biliniowej (maksymalnie 6 rzędu). Ze względu na dostępność dużej liczby funkcji okien, QEDesign szczególnie nadaje się do projektowania filtrów FIR (ale o najwyżej 128 współczynnikach).

W środowisku MATLAB maksymalna długości wygenerowanego filtru nie wynika z ograniczeń programu lecz związana jest z pojemnością pamięci komputera i szybkością jego procesora. Narzędzie programowe FDATool daje możliwość zaprojektowania filtru IIR na podstawie prototypu analogowego metodą transformacji biliniowej a także bezpośrednio za pomocą algorytmu Yule-Walker- a (metoda niedostępna w pozostałych programach). Wprowadzając specyfikację filtru IIR w oknie FDATool nie ma możliwości wyboru metody niezmienności odpowiedzi impulsowej.

Do drugiej grupy narzędzi wspomagających projektowanie filtrów cyfrowych należą programy pisane w MATLAB-ie w postaci m-plików. Podczas tworzenia programu student musi umieć wybrać metodę projektowania odpowiednią do zadanej specyfikacji filtru. Przykładowo, metody konwersji filtru analogowego na filtr cyfrowy typu IIR należy wybierać ze świadomością ograniczeń tych metod (metodą niezmienności odpowiedzi impulsowej w zasadzie można projektować jedynie filtry dolnoprzepustowe o częstotliwości granicznej dużo mniejszej od częstotliwości próbkowania). Program powinien zapewniać obsługę wyjątków (poprawność wyboru metody projektowania, wprowadzania specyfikacji filtru itp.). Napisanie takiego programu wymaga więc od studenta poznania teorii filtrów oraz metod projektowania, a student nabywa biegłości w programowaniu w środowisku MATLAB.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Dudziak K., Sieńko W.: Cyfrowe przetwarzanie sygnałów - laboratorium, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni, Gdynia 1999.
2. Digital Filters – User's Manual, The Monarch series, Version 2.5, The Athena Group Inc., Gainesville, USA, 1992.
3. QEDLite – Manual, QEDesign Lite Software, Momentum Data Systems Inc., 2000.
4. MATLAB Application Program Guide, The Mathworks Inc., 2000.

SOFTWARE TOOLS SUPPORTING THE DESIGN OF DIGITAL FILTERS

This paper presents programming tools used in a project course of digital filters design in the Faculty of Marine Electrical Engineering of Gdynia Maritime University. It discusses the advantages of commonly used software packages for designing infinite impulse response (IIR) and finite impulse response (FIR) filters. Several examples of students projects are presented. The properties of the applied software environments, such as: MONARCH Series DSP software, QEDesign Lite Software, MATLAB are compared as tools useful in teaching DSP.