

Realizacja wirtualnego analizatora widma z algorytmem interpolowanej DFT w środowisku Matlab

Streszczenie. Artykuł przedstawia wirtualny analizator widma o rozbudowanym algorytmie działania, realizującym ważoną wielopunktową interpolowaną DFT w środowisku Matlab-a. Opisano działanie analizatora oraz jego cechy funkcjonalne odzwierciedlone w graficznym interfejsie użytkownika. Zademonstrowano pracę urządzenia na przykładzie konkretnego sygnału.

Abstract. This paper shows extended algorithm of virtual spectrum analyser which fulfills the weighted multipoint interpolated DFT method implemented in Matlab environment. Paper describes analyser performance and its functional features presented in graphic user interface. Demonstrates operation of device for particular sinusoidal signal. (**Virtual Spectrum Analyser Implementation with Interpolated DFT Algorithm in Matlab Environment**)

Słowa kluczowe: wirtualny analizator, okno Hanninga, DFT, interpolacja.

Keywords: Virtual analyser, Hanning window, DFT, interpolation.

doi:10.12915/pe.2014.11.05

Wstęp

Najnowszą generację urządzeń pomiarowych stanowią urządzenia wirtualne. Definiuje się je jako systemy w których częściowo lub w całości zastąpiono struktury składające się z przetworników elektronicznych o określonych charakterystykach we-wy kompozycją algorytmów realizowanych przez komputer z odpowiednim oprogramowaniem. W zależności od definicji może to więc być układ typu: przyrząd autonomiczny (lub moduł pomiarowy) + komputer + oprogramowanie bądź układ typu: komputer + oprogramowanie [1]. Oprogramowanie ma dwojakie funkcje: umożliwia zasymulowanie na ekranie komputera płyty czołowej urządzenia wirtualnego za pośrednictwem której urządzenie jest obsługiwane oraz umożliwia tworzenie algorytmów przetwarzania danych w celu uzyskania wyniku pomiaru. Najbardziej rozpowszechnione i rozbudowane jest środowisko programowe LabVIEW realizujące ideę programowania graficznego. Idea wirtualnego urządzenia pomiarowego może być także zrealizowana w środowisku MATLABA. Można w nim bowiem stworzyć zarówno graficzny interfejs użytkownika jak i zaprojektować algorytmy przetwarzania danych pomiarowych, nawet o bardzo wysokim stopniu skomplikowania. Środowisko MATLAB / SIMULINK jest wyposażone w bardzo bogatą gamę modułów rozszerzających i ma porównywalne możliwości do większości pozostałych środowisk programowych używanych do projektowania.

Porównując potencjał i specyfikę środowiska LabVIEW i Matlab można stwierdzić, iż wirtualne urządzenia, realizujące standardowe zadania typu akwizycja, przetwarzanie sygnałów i wizualizacja rezultatów, należy projektować w środowisku LabVIEW natomiast gdy realizowane mają być przetworzenia (algorytmy) polegające na złożonych matematycznych przekształceniach bądź obliczeniach lub dużej liczbie matematycznych przekształceń bądź obliczeń, większe możliwości daje środowisko MATLABA.

Można zaobserwować tendencją polegającą na fragmentarycznej integracji środowisk programowych używanych do tworzenia wirtualnych urządzeń, która wynika z potrzeby redukcji ich ograniczeń lub potrzeby „kooperacji” różnych systemów.

W dalszej części przedstawiono realizację wirtualnego analizatora widma w środowisku MATLABA, w którym zastosowano algorytm ważonej wielopunktowej interpolowanej DFT (WMlpDFT). WMlpDFT należy do rodziny fourierowskich metod estymacji, zmodyfikowanych

w celu zwiększenia dokładności wyznaczania widma w porównaniu z DFT. Wnikliwą analizę tych metod przedstawiono w [2-9]. Do tej rodziny metod zalicza się także modyfikowane DFT (MDFT) [3].

Działanie zrealizowanego w środowisku MATLABA wirtualnego analizatora zademonstrowano na przykładzie sygnału sinusoidalnego spróbkowanego niesynchronicznie.

Algorytm z wielopunktową interpolacją

DFT jest narzędziem estymacji wybranych wartości widmowych – prążków widma sygnału z którego pochodzą próbki. Ograniczenie tego narzędzia to: zależność rozdzielczości estymacji od zastosowanej częstotliwości próbkowania i liczby próbek wziętych do analizy oraz konieczność pobrania wycinka sygnału (wycięcia), a w związku z tym zjawisko przecieku widma „krótkiego” i „dalekiego” zasięgu, które nie występuje tylko w przypadku próbkowania koherentnego sygnałów periodycznych. Te cechy DFT powodują, iż estymowane prążki widma mają ograniczoną dokładność zarówno co do wartości jak i położenia w osi częstotliwości. W celu poprawy dokładności estymacji DFT „w pionie” i „w poziomie” można zastosować interpolację z wykorzystaniem kilku prążków DFT ułożonych w obszarze lokalnego maksimum. W zależności od liczby prążków wybranych do estymacji i sposobu wycinania zbioru próbek rozróżniamy:

- interpolowaną DFT (IpDFT), 2p, okno prostokątne,
- ważoną interpolowaną DFT (WlpDFT), 2p, okno inne niż prostokątne,
- wielopunktową interpolowaną DFT (MlpDFT), 3p lub 5p, okno prostokątne,
- ważoną wielopunktową interpolowaną DFT (WMlpDFT), 3p lub 5p, okno inne niż prostokątne.

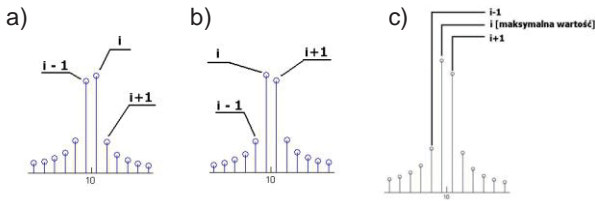
W pracach [4-9] wyprowadzono zależności określające zmodyfikowane „w pionie” i „w poziomie” estymatory prążków widma w przypadku IpDFT, MlpDFT, WMlpDFT (okno Hanninga).

Zasada wyboru prążków do obliczeń algorytmu

Do estymacji 2p IpDFT oraz 2p WlpDFT wybierany jest prążek o wartości maksymalnej $S(i)$ oraz jeden z sąsiednich prążków o większej wartości $S(i-1)$ lub $S(i+1)$. Gdzie $S(.)$ oznacza widmo DFT sygnału, i określa pozycję. Rysunek 1a przedstawia wybór prążków $S(i)$ oraz $S(i-1)$. Natomiast na rysunku 1b przedstawiona jest sytuacja, w której do procesu estymacji wybierane są prążki $S(i)$ i $S(i+1)$.

W sytuacji korzystania z 3 prążków dla 3p MlpDFT oraz 3p WMlpDFT wybierany jest maksymalny prążek widma

DFT $S(i)$ oraz dwa prążki sąsiednie (prążek z lewej $S(i-1)$ oraz prążek z prawej $S(i+1)$) – rysunek 1c.



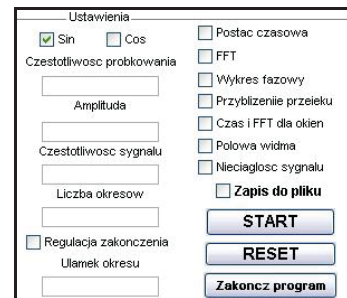
Rys. 1. Graficzna prezentacja w yboru prążków do estymacji

Wirtualny analizator widma

Przedstawiony w tytule wirtualny analizator widma realizuje algorytm lpDFT 2p, WlpDFT 2p z oknem Hanninga, lpDFT 3p, WlpDFT 3p z oknem Hanninga. Powstał w środowisku programistycznym MATLAB.

Wirtualny analizatora składa się z dwóch części:

- panelu komunikacji z użytkownikiem (interface):
 - umożliwia wprowadzanie pożądanych wartości parametrów przetwarzania – rysunek 2. - użytkownik wybiera rodzaj sygnału, częstotliwość próbkowania, amplitudę sygnału, częstotliwość sygnału, liczbę okresów generowanego sygnału, ułamek dodanego



Rys. 2. Panel ustawień analizatora

Wyniki					
q_rect_2p =	-	q_hann_2p =	-	q_rect_3p =	-
f_rect_2p =	-	f_hann_2p =	-	f_rect_3p =	-
A_rect_2p =	-	A_hann_2p =	-	A_rect_3p =	-
		unc_hann_2p =	-		
				unc_hann_3p =	-

Rys. 3. Panel w yników programu

Analizator może działać na zewnętrznych sygnałach rzeczywistych lub na sygnałach wygenerowanych przez system. Ta ostatnia możliwość jest przydatna w procedurach testowania lub kalibracji. Pracę analizatora zaprezentowano na przykładzie sygnału wygenerowanego przez system.

Schemat blokowy działania programu znajduje się na rysunku 4

Sprawdzenie działania analizatora

Przeprowadzono symulację, w której zastosowano sygnał sinusoidalny o częstotliwości: 10 Hz (okres sygnału: 0,1 s) i jednostkowej amplitudzie Uwzględniono warunek poprawności działania algorytmu (minimum 20 okresów sygnału) określony w [2,3]. Częstotliwość próbkowania wynosiła 1000Hz. Wektor próbek sygnału powstał według następującego wzoru (1):

$$(1) \quad x(n) = A \sin(2\pi f_{\text{signal}} n T_s) \quad n = 0 \dots N-1$$

gdzie: $x(n)$ – wektor próbek sygnału, n – numer próbki, A – amplituda, N – długość wektora sygnału, T_s – odstęp próbkowania będący odwrotnością częstotliwości sygnału.

Zgodnie ze schematem blokowym do tak wytworzonego wektora dodawany jest ułamek okresu, który stanowi regulację wpływu przecieku na widmo sygnału.

$$(2) \quad T_{OBS} = kT + \alpha T = (k + \alpha)T$$

gdzie: T_{OBS} – okres obserwacji sygnału, k – liczba okresów generowanego sygnału, T – okres sygnału, α – wartość ułamkowa, siła niekoherentnego próbkowania.

okresu do generowanego sygnału. W panelu ustawień istnieje możliwość wybrania wykresów graficznych.

- wyświetlenie wyników estymacji 2p oraz 3p dla obu okien (prostokątnego i Hanninga) - rysunek 3.
 - q - oznacza wartość różnicy położenia prążka DFT (na osi częstotliwości) od zadanej wartości (panel ustawień)
 - f – wartość estymowanej częstotliwości otrzymana z wykorzystaniem algorytmów 2p i 3p dla obu okien
 - A – wartość estymowanej amplitudy
 - unc – wartość niepewności parametru q obliczonej na podstawie wzoru, podawany z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku.
- części algorytmicznej (program) – realizującej algorytm estymacji

Wyniki uzyskane w wirtualnym analizatorze widma o zmodyfikowanym algorytmie DFT (estymacja amplitudy i położenia prążka) cechują się większą dokładnością aniżeli uzyskiwane według zwykłego algorytmu DFT. Uśredniony błąd bezwzględny (tabela 1) dla wartości częstotliwości nie przekroczył 0,0013 (najgorszy przypadek dla 2p lpDFT, okno prostokątne), a dla amplitudy 0,0035 (3p MlpDFT - okno prostokątne)- tabela 2.

$$(3) \quad \varepsilon = \left| v_{\text{estymowane}} - v_{\text{odniesienie}} \right|$$

gdzie: ε – wartość błędu bezwzględnego, $v_{\text{estymowane}}$ – wartość wielkości estymowanej, $v_{\text{odniesienie}}$ – wartość wielkości odniesienia.

Tabela 1. Średnia w artość błędu bezwzględnego dla estymowanej w artości częstotliwości

DFT	2p lpDFT		3p WlpDFT	
	okno prostokątne	okno Hanninga	okno prostokątne	okno Hanninga
0,14	0,0013	0,0001	0,0001	0,0001

Tabela 2. Średnia w artość błędu bezwzględnego dla estymowanej w artości amplitudy

DFT	2p lpDFT		3p WlpDFT	
	okno prostokątne	okno Hanninga	okno prostokątne	okno Hanninga
0,14	0,0014	0,0004	0,0035	0,0007

Podsumowanie

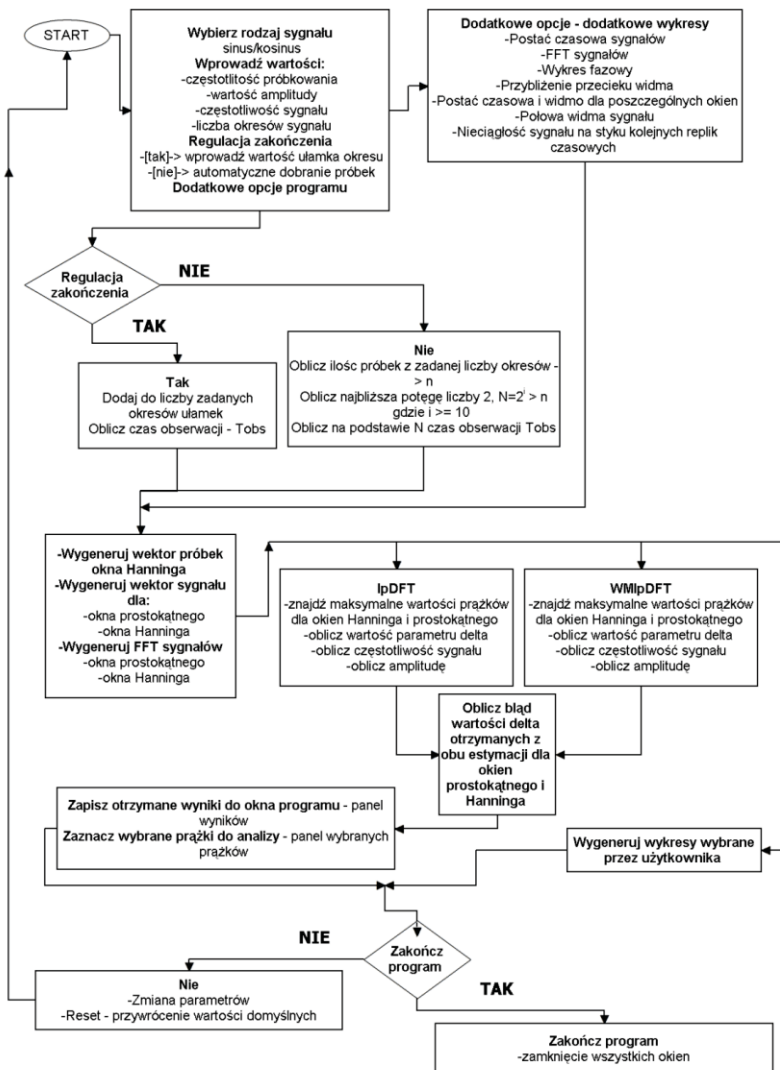
- Przedstawiona koncepcja analizatora widma zrealizowana w środowisku MATLABA jest egzemplifikacją wirtualnego systemu pomiarowego.
- Główne jego zalety to: duża łatwość obsługi oraz możliwość dalszego wzbogacenia funkcji. Ma on cechę

wspólną wszystkim systemom wirtualnym – jest strukturą otwartą.

- Dane wejściowe poddawane przetwarzaniu mogą pochodzić z plików zapisanych na dysku, mogą być pobrane przez sieć komputerową z innych komputerów

lub generowane według zadanych algorytmów. Mogą także pochodzić z zewnętrznych obiektów.

- Dzięki zastosowanemu w analizatorze algorytmu WMlpDFT, uzyskiwane wyniki są dokładniejsze aniżeli w przypadku zastosowania klasycznego algorytmu DFT.



Rys. 4. Schemat blokowy działania programu

LITERATURA

- [1] Świsulski D., Komputerowa technika pomiarowa, AW PAK-u, Warszawa 2005.
- [2] Duda K., Fourierskie metody estymacji w idm prążkowych, Wydawnictwo AGH, Kraków 2011.
- [3] Kłosiński R., Zastosowanie MDFT do analizy widmowej sygnałów okresowych próbkowanych niesynchronicznie, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, vol. 54, (2008), nr 6, 335-339
- [4] Grząślewicz P., Skuteczność ważonej wielopunktowej interpolowanej metody DFT estymacji parametrów sygnału sinusoidalnego, praca magisterska, Politechnika Poznańska, 2012, Poznań.
- [5] Jain V., Collins W., Davis D., High-accuracy analog measurements via interpolated FFT, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 28, (June 1979), no. 2, 113-122.
- [6] Grandke T. Interpolation algorithms for discrete Fourier Transform of weighted signals, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 32, (June 1983), no. 2, 350-355.

- [7] Agrež D. Weighted multipoint interpolated DFT to improve amplitude estimation of multifrequency signal, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 51, (April 2002), no. 2, 287-292.
- [8] Bellegra D., Dallet D., Frequency estimation via weighted multipoint interpolated DFT, *IET Science, Measurement Technology*, vol. 2, (January 2008), no. 1, 1-8.
- [9] Bellegra D., Dallet D., "Accuracy of Sine Wave Frequency Estimation by Multipoint Interpolated DFT Approach", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, (Nov 2010), no. 11, 2808-2814.

Autorzy: mgr inż. Przemysław Grząślewicz, Katedra Systemów Telekomunikacyjnych i Optoelektroniki, Politechnika Poznańska ul. Polanka 3, 60-965 Poznań, E-mail: grzadkabeettlen@tlen.pl; dr hab. inż. Anna Domańska, Katedra Systemów Telekomunikacyjnych i Optoelektroniki, Politechnika Poznańska ul. Polanka 3, 60-965 Poznań, E-mail: domanska@et.put.poznan.pl.