Zadanie nr 3 - Splot, filtracja i korelacja sygnałów

Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów

Aneta Wiśniewska, 204029 Hanna Paluszkiewicz, 203962

14.05.2018

1 Cel zadania

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się w praktyce z procesami splotu, filtracji i korelacji sygnałów.

2 Wstęp teoretyczny

2.1 Teoria

Splot to jedno z najważniejszych działań podczas filtracji sygnałów dyskretnych. Jest operacją przetwarzania dwóch sygnałów, w wyniku której otrzymujemy pojedyńczy sygnał dyskretny. W ogólnym przypadku splot jest zdefiniowany wzorem: W praktyce stosuje się sygna-

$$(\mathrm{h} * \mathrm{x})(\mathrm{n}) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \mathrm{h}(k)\mathrm{x}(n\text{-}k)$$

ły o skończonych ilosciach próbek rozmieszczonych równomiernie w dowolnych miejscach osi czasu. Zwykle przyjmuje się konwencję indeksacyjną, gdzie oba sygnały zaczynają się na osi czasu od próbki zero. Poza granicami przedziału oba sygnały są zerowe.
Wzór dla tej konwencji przyjmuje postać:

$$(\mathrm{h} * \mathrm{x})(\mathrm{n}) = \sum_{k=0}^{M\text{-}1} \mathrm{h}(k)\mathrm{x}(n\text{-}k)$$

Filtracja sygnałów - należy do podstawowych operacji CPS. W ramach filtracji widmo sygnału ulega modyfikacji. Zostały odfiltrowane składowe częci sygnału o częstotliwosciach należących do pasma zaporowego. Reszta widma leżąca w pamie przepustowym, nie uległa zmianie lub podlega niewielkiemu tłumieniu.
Filtry ze względu na umiejscowienie pasma przepustowego i zaporowego dzielimy na:

Filtry dolnoprzepustowe - ich pasma przepustowe są okrelone przedziałem częstotliwosci od 0 do f0 (f0 - częstotliwość odcięcia filtru)

Filtry górnoprzepustowe - ich pasma przepustowe są okrelone przedziałem częstotliwosci od f0 do fp/2 (fp - częstotliwość próbkowania sygnału)

Filtry pasmowe - ich pasma przepustowe są okrelone przedziałem częstotliwosci od fd do fg (fd, fg $>$ 0, fd $<$ fg i fd, fg $<$ fp/2)

W zadaniu są stosowane filtry SOI - o skończonej odpowiedzi impulsowej. Zaletą tych filtrów jest łatwość implementacji (w oparciu o splot) i projektowania postaci filtru.
Przy obliczaniu próbki sygnału wyjsciowego (y(n)) jest brane pod uwagę M przeszłych próbek sygnału wejsciowego (x(n)). Wartosci y(n) obliczamy jako sumy ważone x(n) z uwzględnieniem współczynników filtru h(n).
Opisuje to wzór:

$$h(n)=\begin{cases} \frac{2}{K} & \text{dla } n\text{=0,} \\ \frac{\sin\left(\frac{2\pi n}{K}\right)}{\pi n} & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Gdzie:

M - rząd filtru

h(k) - odpowiedź impulsowa

Jeżeli ciąg próbek sygnału wejsciowego będzie ciągiem wartosci zerowych, filtr SOI będzie generował na wyjsciu skończony ciąg niezerowych wartosci.

Do projektowania filtrów SOI została zastosowana metoda okna.

W praktyce często stosuje się okna:

Hamminga

$$w(n)\text{=}0.53836\text{-}0.46164 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right)$$

Hanninga

$$w(n)\text{=}0.5\text{-}0.5 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right),$$

Blackmana

$$w(n)\text{=}0.42\text{-}0.5 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right)+0.08 \cdot \cos\left(\frac{4\pi n}{M}\right).$$

Korelacja - jest ważną częścią przetwarzania sygnałów. Jest stosowana, gdy trzeba porównać sygnał z innym, zwłaszcza z przesuniętą na osi czasu swoją kopią. Polega na przetwarzaniu dwóch sygnałów dyskretnych, w czego wyniku otrzymujemy pojedynczy sygnał dyskretny.
Korelacja w ogólnym przypadku jest opisywana wzorem:

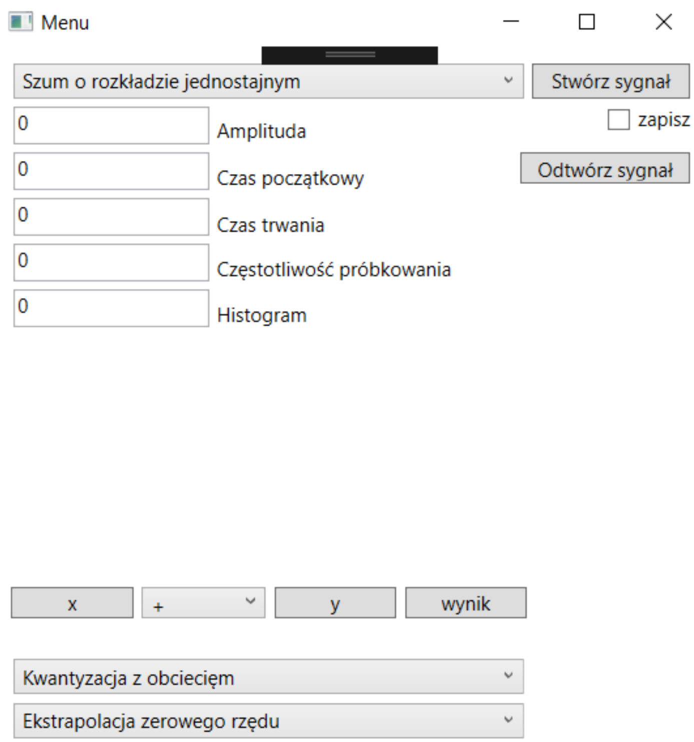
$$R_{hx} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(k)x(k\text{-}n)$$

Podobnie jak w operacji splotu w praktyce stosuje się sygnały o skończonych ilosciach próbek rozmieszczonych równomiernie w dowolnych miejscach osi czasu i zakres zmiennosci próbek dla każdego n zakresy sumowań zmieniają się zgodnie zumiejscowieniem na osi czasu i liczbami próbek każdego z dyskretnych sygnałów wejsciowych h oraz x. Zwykle przyjmuje się konwencję indeksacyjną, gdzie oba sygnały zaczynają się na osi czasu od próbki zero. Poza granicami przedziału oba sygnały są zerowe.
Wzór dla tej konwencji przyjmuje postać:

$$R_{hx} = \sum_{k=0}^{M\text{-}1} h(k)x(n\text{-}k)$$

2.2 Instrukcja obsługi aplikacji

Aplikacja do generacji szumów zawiera interfejs graficzny, który służy do obsługi przez użytkownika. Wygląd został przedstawiony na poniższym rysunku.



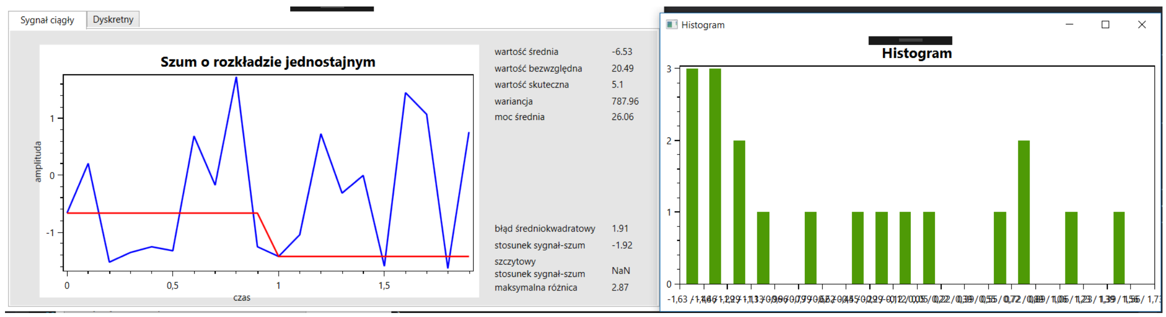
Rysunek 1: Widok główny aplikacji

Na górze okienka znajduje się wysuwana lista możliwych do generacji sygnałów. Obok znajduje się chceckbox, po zaznaczeniu którego sygnał zostanie zapisany do pliku. Niżej jest przycisk do generacji sygnałów oraz lista parametrów wykresu. Tutaj wpisuje się dane wpływające na sygnał. Pola umożliwiają ustawienie charakterystycznych parametrów sygnału. Na ich podstawie program wylicza wartości amplitudy sygnału w określonym czasie oraz wyświetla graficzną reprezentację sygnału w postaci wykresu funkcji amplitudy od czasu i histogramu.

Na dole okienka znajdują się przyciski: do odtwarzania sygnału z pliku, oraz do operacji na dwóch sygnałach. Po kliknięciu w x i y wybieramy odpowiednio pierwszy i dugi składnik działania. Między nimi można wybrać jedno z czterech działań. Po wcisnięciu przycisku "wynik" program liczy wynik działania i wywietla jego graficzną reprezentację.

2.2.1 Generowanie sygnału

Aby wygenerować sygnał użytkownik musi kliknąć w generuj sygnał.
Po wygenerowaniu sygnału pojawiają się dwa dodatkowe okienka aplikacji.



Rysunek 2: Okna po generacji sygnału

Jedno wyświetla histogram sygnału
Drugie przedstawia wykres funkcji amplitudy od czasu oraz obliczone wartości: wartość średnią, wartość średnią bezwzględną, wartość skuteczną, wariancję oraz moc średnią.

2.2.2 Odczyt sygnału z pliku

Oprócz generacji i zapisu do pliku, program umożliwia odczyt z pliku sygnału będącego wynikiem dyskretyzacji (bez kwantyzacji) wygenerowanego sygnału ciągłego oraz sygnału będącego wynikiem operacji na dwóch sygnałach dyskretnych.
Tak jak w przypadku generacji, sygnał jest reprezentowany graficznie w postaci histogramu i wykresu funkcji.

2.3 Opis metod

Opisy wszystkich metod zastosowanych do implementacji sygnałów, zostały zapisane w poszczególnych eksperymentach.
Próbkowanie pozwala na zmianę analogowego sygnału wejsciowego w sygnał dyskretny: reprezentowany jako ciąg próbek rozmieszczonych równomiernie

$$x(n) = f(nT_s)$$

w czasie w odstępach Ts. Twierdzenie o próbkowaniu okresla możliwosć odtworzenia oryginalnego sygnału analogowego przy założeniu, że częstotliwosć próbkowania jest przynajmniej dwukrotnie wyższa niż najwyższa częstotliwosć jakiejkolwiek składowej sygnału.

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

2.4 Opis implementacji

Aplikacja została napisana w wysokopoziomowym języku programowania - C#. Do rysowania wykresów została wykorzystana zewnątrzna biblioteka OxyPlot. Program został napisany przy pomocy metodyki obiektowej i stosuje metody numeryczne.

3 Eksperymenty i wyniki

Poniżej znajdują się wszystkie przeprowadzone eksperymenty - możliwe do uzyskania w aplikacji sygnaly i wyniki.

3.1 Eksperyment nr 1

Eksperyment nr 1 - Splot

3.1.1 Założenia

Operacja splotu jest przeprowadzana dla dwóch dowolnych sygnałów dyskretnych o wczeniej podanych (niekoniecznie jednakowych) ilosciach próbek. W tym celu jest wykorzystany wzór 2.1.

3.1.2 Przebieg

Do generacji synału zostały podane parametry:

Sygnał 1: [Amplituda (A):] 1

[Czas trwania (t1):] 5 s

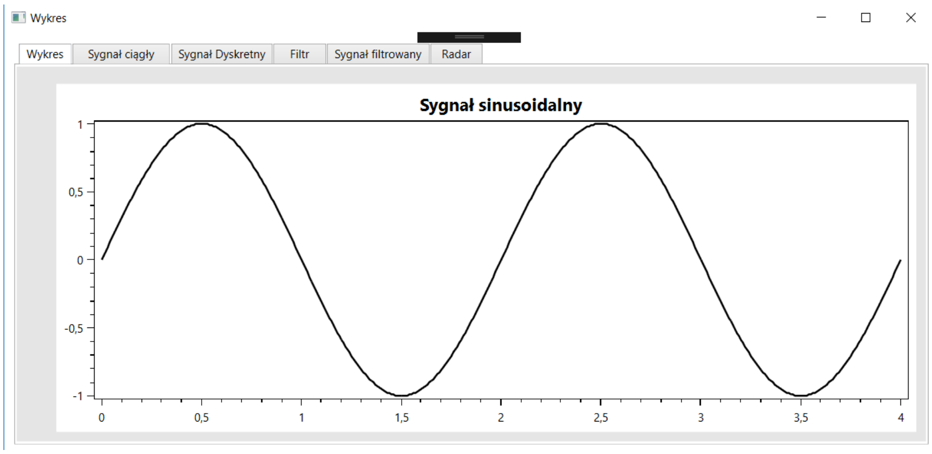
[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz

[Okres podstawowy :] 2 s

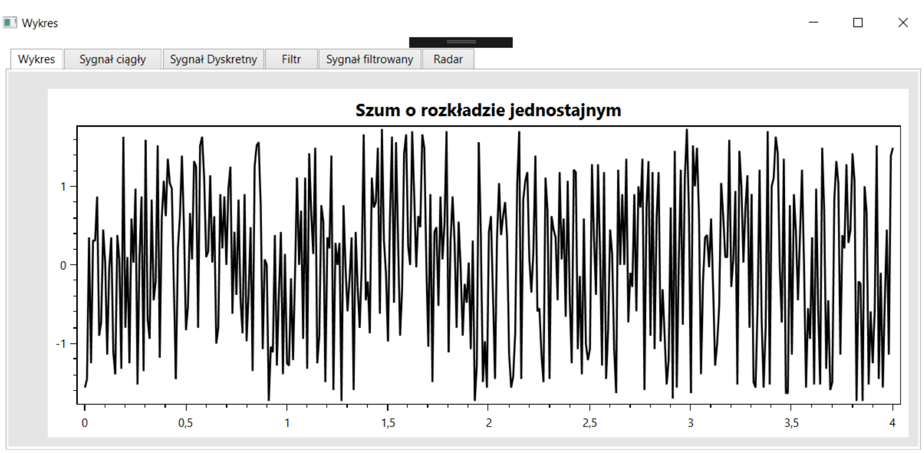
Sygnał 2: [Amplituda (A):] 1

[Czas trwania (t1):] 5 s

[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz



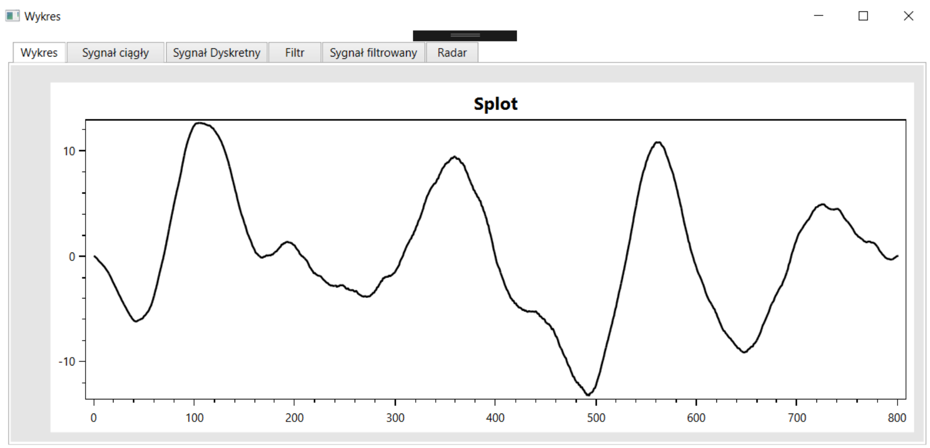
Rysunek 3: Wykres sygnału sinusoidalnego



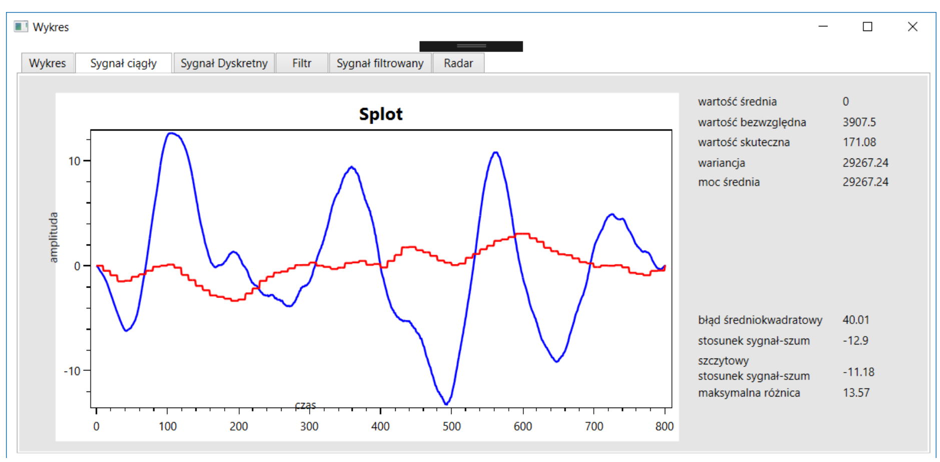
Rysunek 4: Wykres szumu gausowskiego

3.1.3 Rezultat

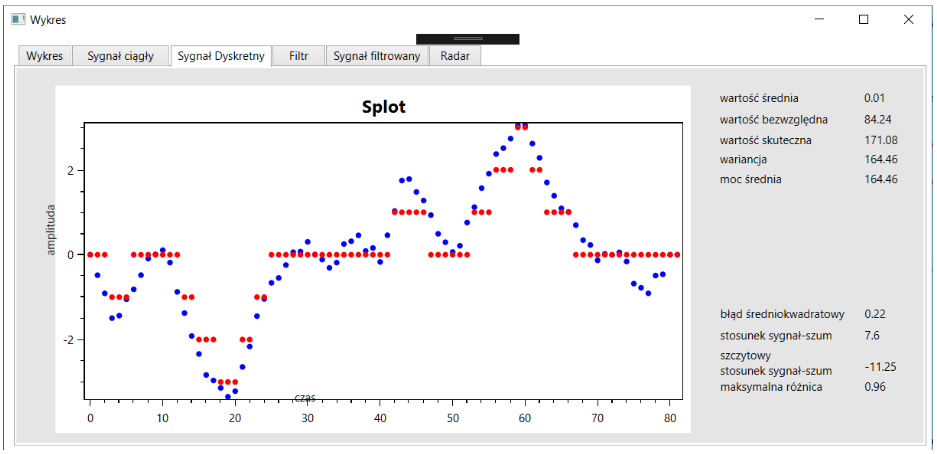
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 43.



Rysunek 5: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu



Rysunek 6: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu



Rysunek 7: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu

3.2 Eksperyment nr 2

10 20 Eksperyment nr 2 - Filtracja z filtrem dolnoprzepustowym

3.2.1 Założenia

Filtr dolnoprzepustowy opisuje wzór, na podstawie odwrotnego przekształcenia Fouriera:

$$x(t)=A\sin\left(\frac{2\Pi}{T}(t-t_1)\right)$$

gdzie:

n - liczba całkowita,

częstotliwość odcięcia filtru - f0 = fp/K

Zakładamy, że filtr jest idealny - w pasmie przepustowym nie zmienia się widmo sygnału wejsciowego - transmitancja jest równa 1. W pasmie zaporowym skłądowe czętotliwosciowe zostaną kompletnie wytłumione (transmitancja równa 0).

Ze względu na nieskończoną liczbę współczynników h(n) nie stosuje się tego wzoru w praktyce.

Wzór na odpowiedź impulsową filtru o M współczynników z przesunięciem (w celu uzyskania nieujemnych indeksów):

gdzie:

n = 0,1, ... , M-1

częstotliwość odcięcia filtru - f0 = fp/K

$$x(t) = A\sin\left(\frac{2\Pi}{T}(t - t_1)\right)$$

3.2.2 Przebieg

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

Amplituda (A): 1

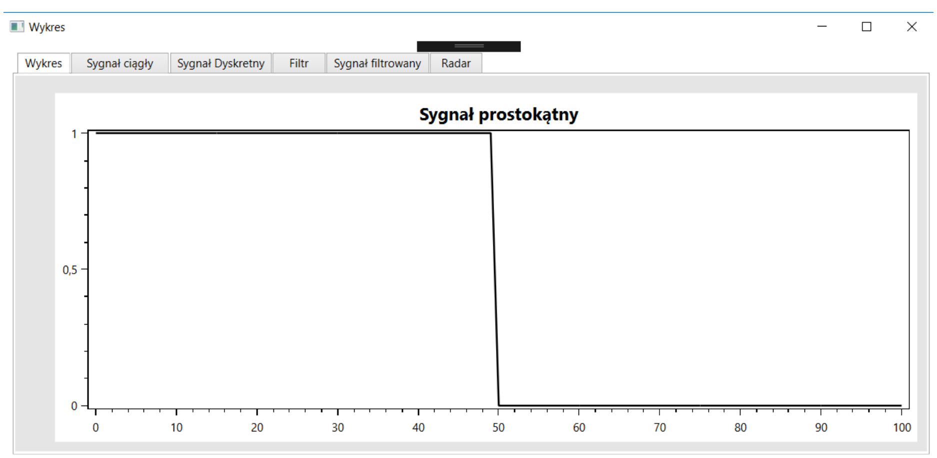
Czas trwania (t1): 100 s

Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

Współczynnik wypełnienia: 0,5

Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:



Parametry filtracji:

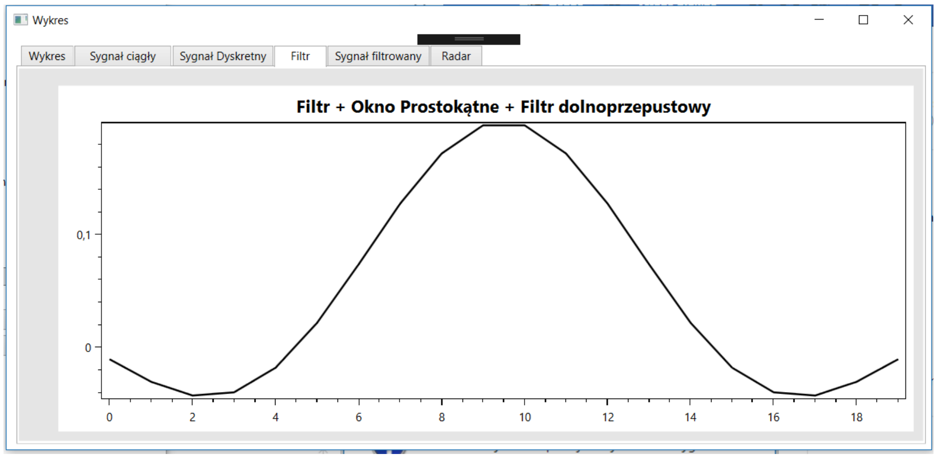
K: 10

M: 20 s

3.2.3 Rezultat

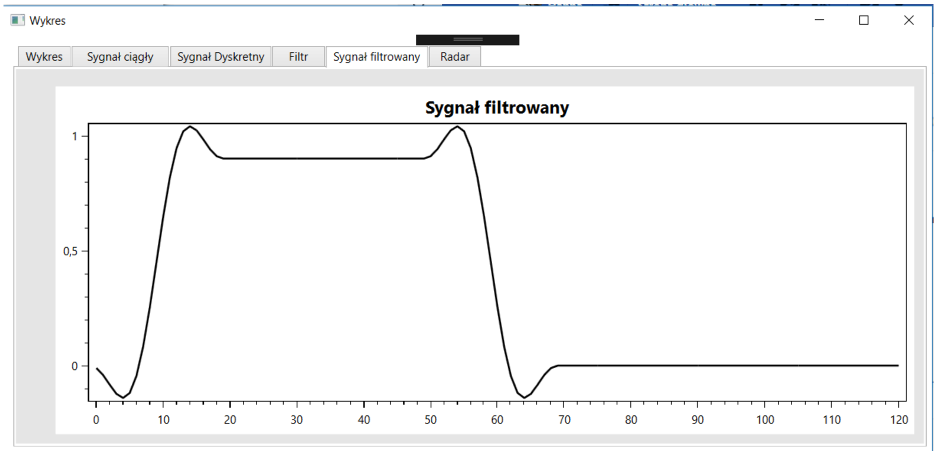
Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu.

Okno prostokątne



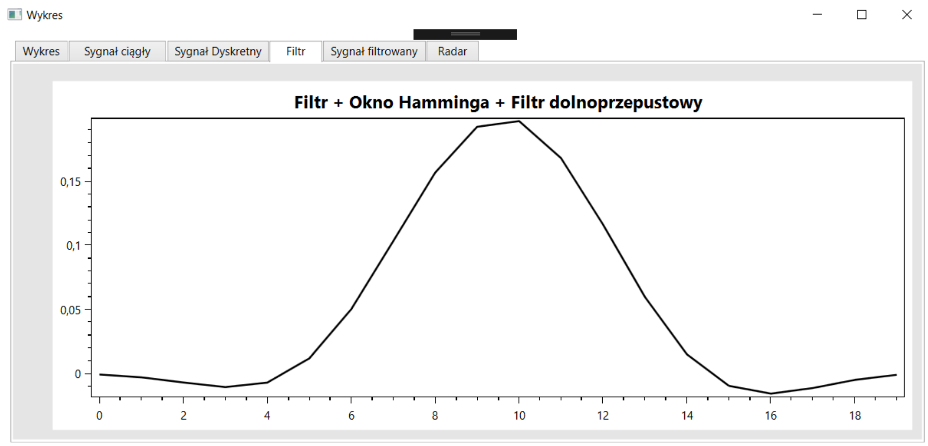
Rysunek 8: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



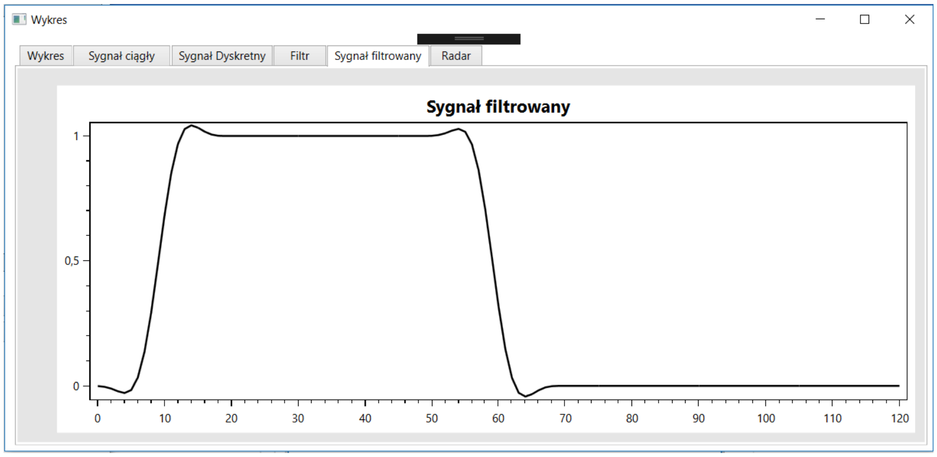
Rysunek 9: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Hamminga



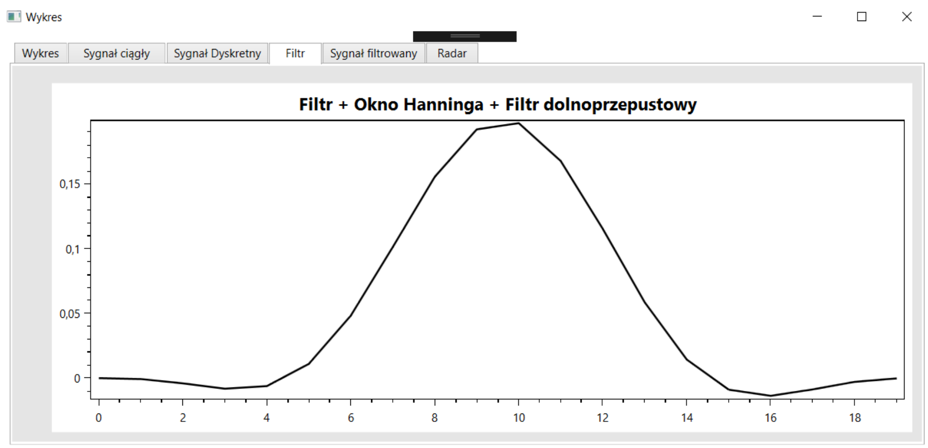
Rysunek 10: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



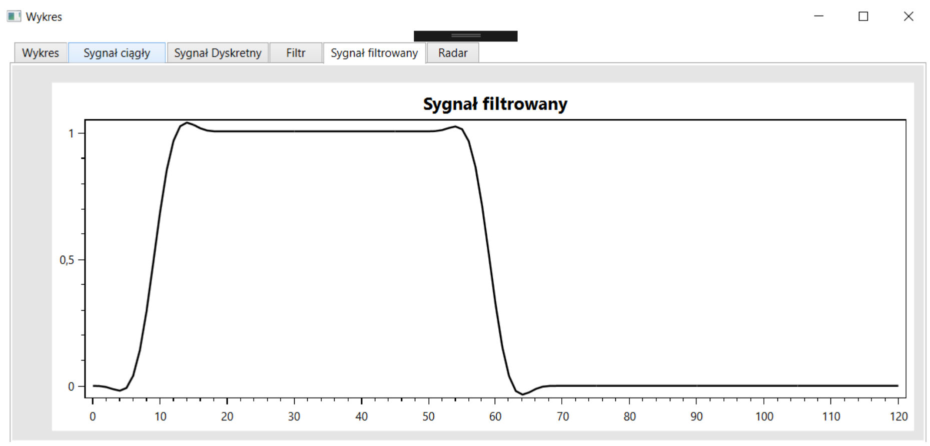
Rysunek 11: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Hanninga



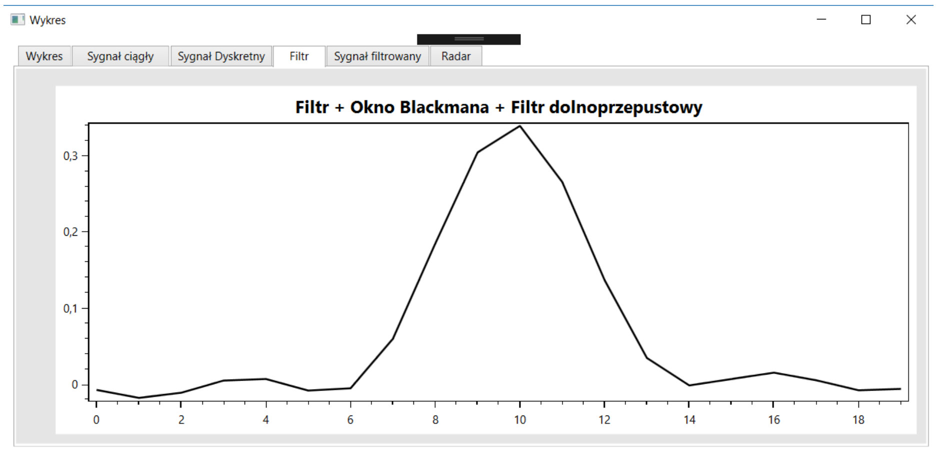
Rysunek 12: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



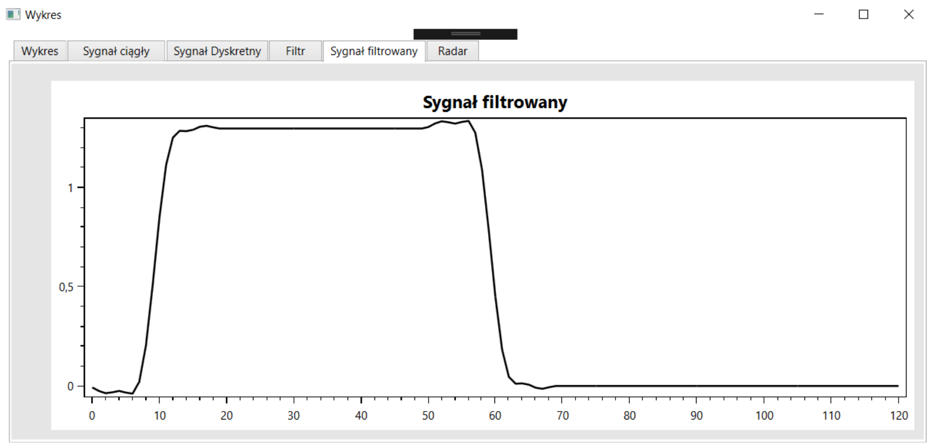
Rysunek 13: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Blackmana



Rysunek 14: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 15: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

3.3 Eksperyment nr 3

Eksperyment nr 3 - Filtracja z filtrem srodkowoprzepustowym

3.3.1 Założenia

Z wykorzystaniem twierdzenia o modulacji przekształcamy odpowiedź impulsową filtru dolnoprzepustowego do odpowiedzi filtru srodkowoprzepustowego: współczynniki h(n) są mnożone przez sygnał sinusoidalny o częstotliwosci f = fp/4

Wtedy fd = fp/4-f0 i fg = fp/4 + f0.

3.3.2 Przebieg

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

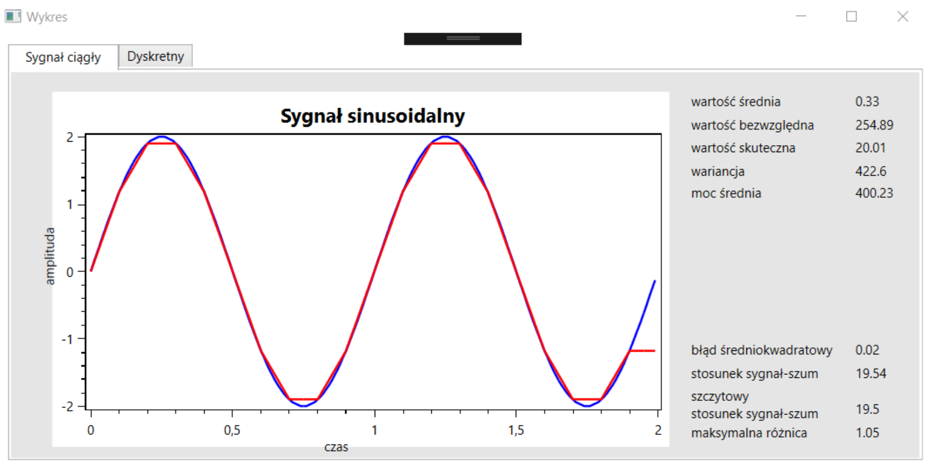
Amplituda (A): 1

Czas trwania (t1): 100 s

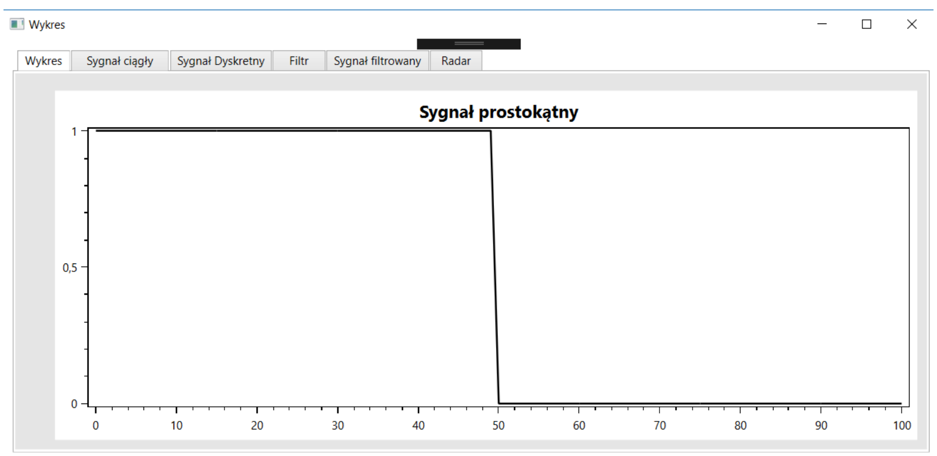
Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

Współczynnik wypełnienia: 0,5



Rysunek 16: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu



Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:
Parametry filtracji:

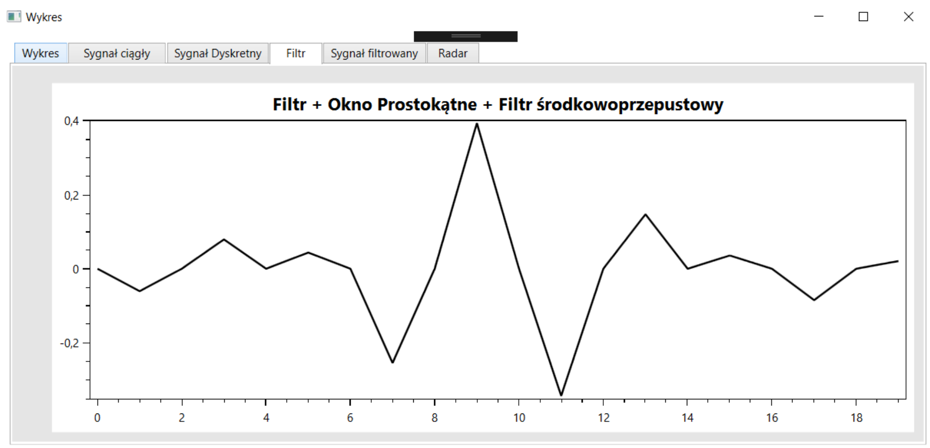
K:] 10

M: 20 s

3.3.3 Rezultat

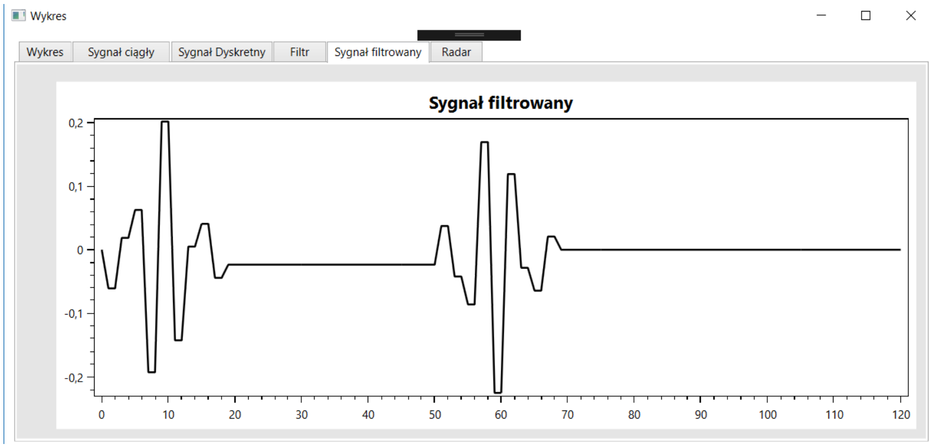
Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu.

Okno prostokątne



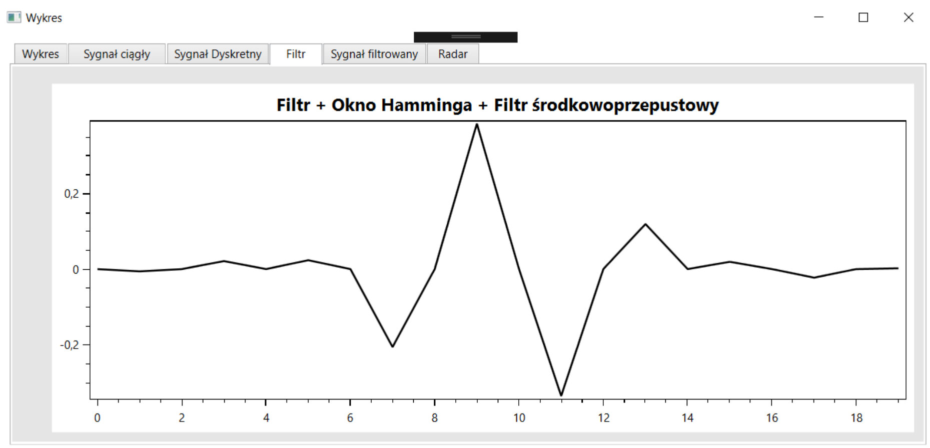
Rysunek 17: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



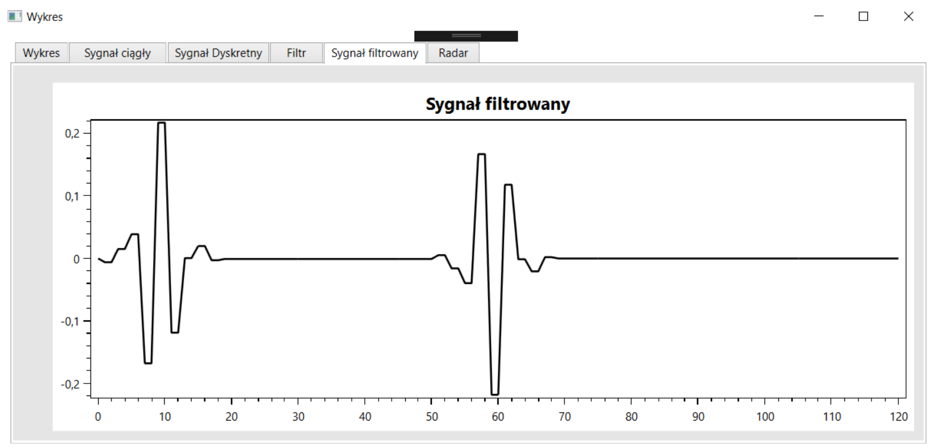
Rysunek 18: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Hamminga



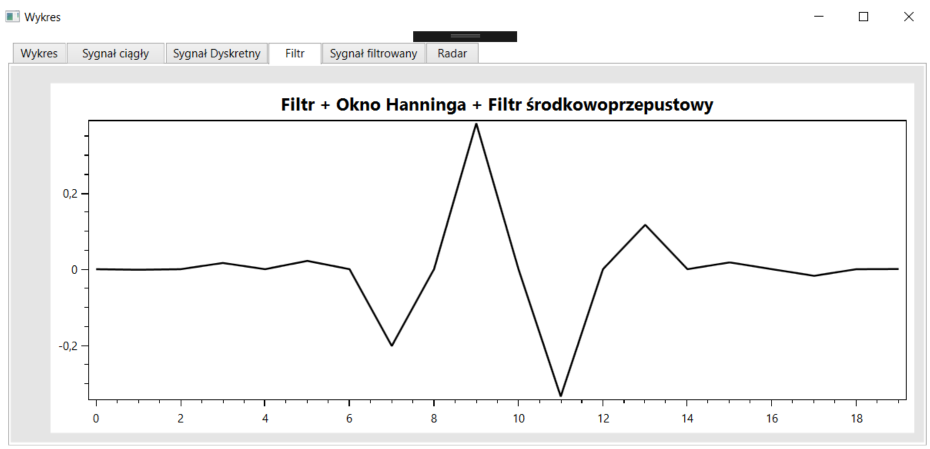
Rysunek 19: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



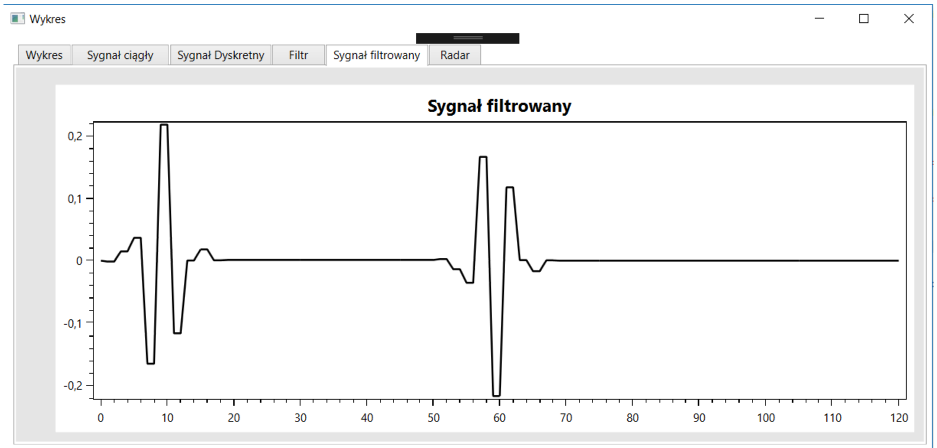
Rysunek 20: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Hanninga



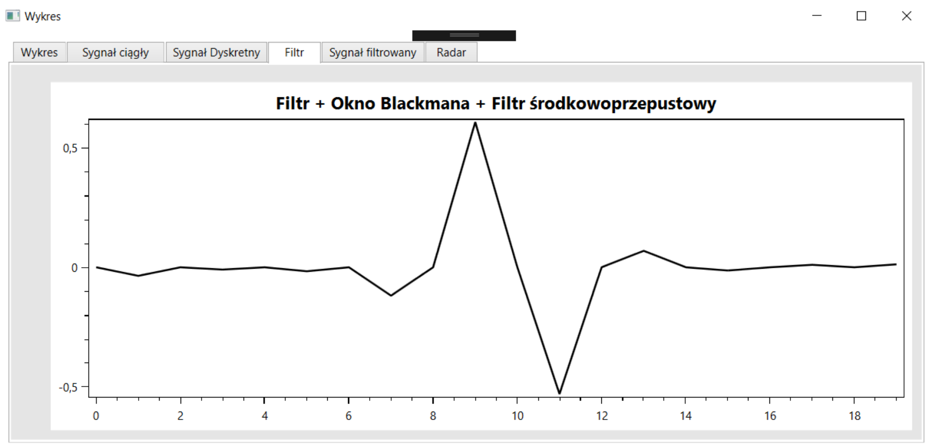
Rysunek 21: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



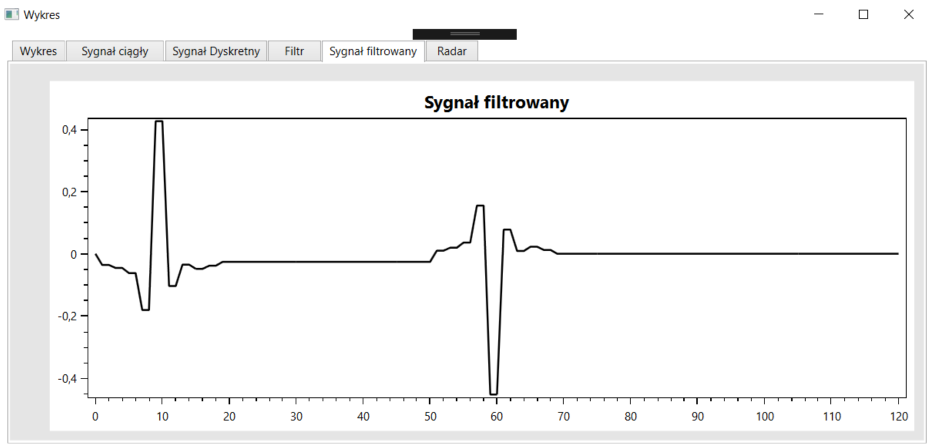
Rysunek 22: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Blackmana



Rysunek 23: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 24: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

3.4 Eksperyment nr 4

Eksperyment nr 4 - Filtracja z filtrem górnoprzepustowym

3.4.1 Założenia

Z wykorzystaniem twierdzenia o modulacji przekształcamy odpowiedź impulsową filtru dolnoprzepustowego do odpowiedzi filtru górnoprzepustowego: współczynniki h(n) są mnożone przez sygnał sinusoidalny o częstotliwosci f = fp/2

Wtedy f0 = fp/2-f0 (f0 - nowa częstotliwość odcięcia).

3.4.2 Przebieg

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

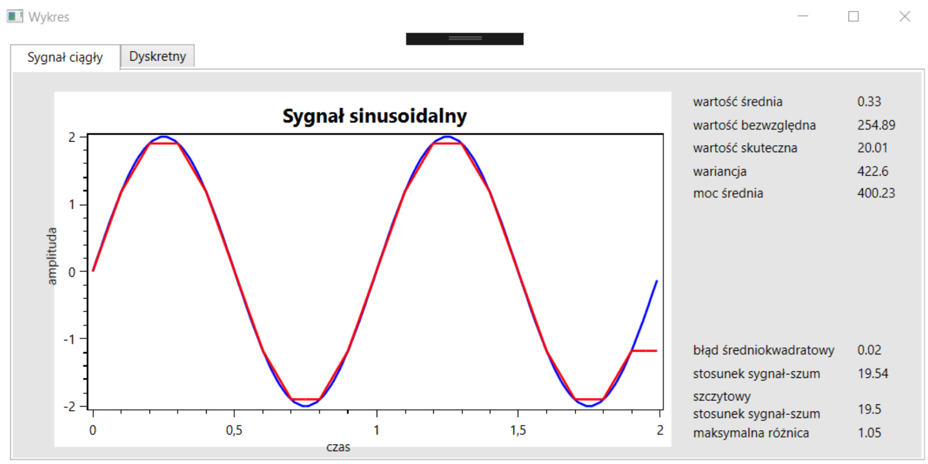
Amplituda (A): 1

Czas trwania (t1): 100 s

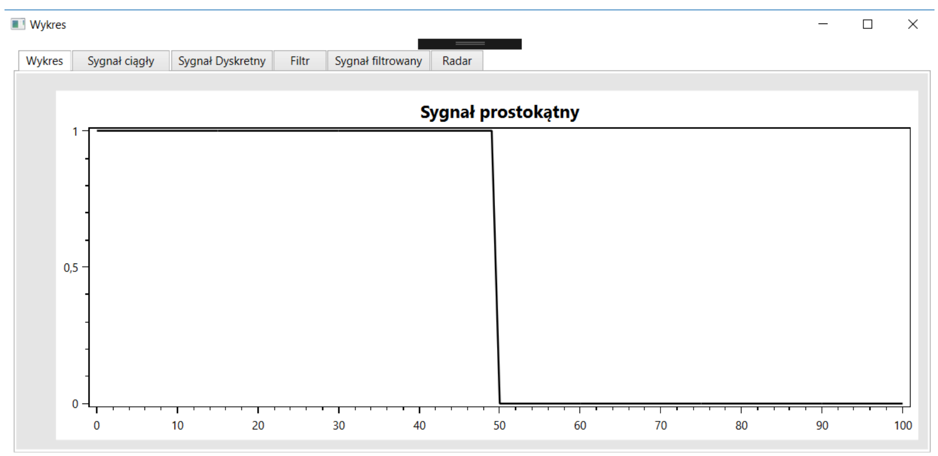
Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

Współczynnik wypełnienia: 0,5



Rysunek 25: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu



Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:
Parametry filtracji:

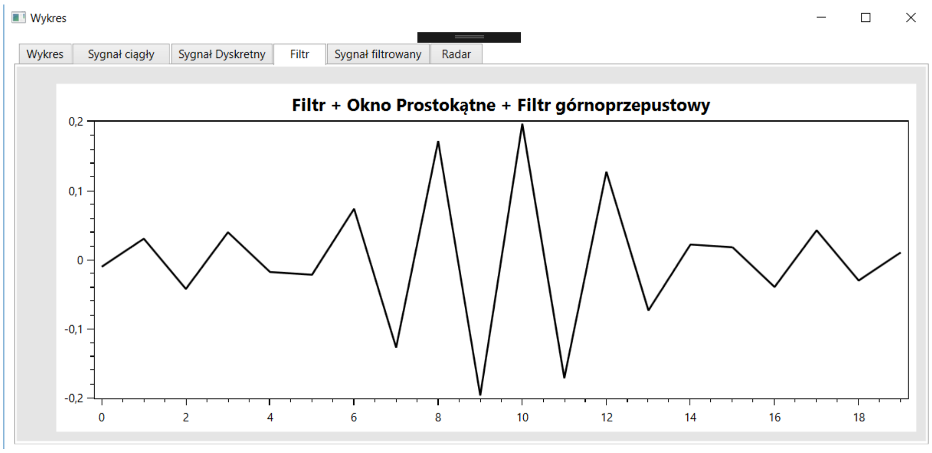
K:] 10

M: 20 s

3.4.3 Rezultat

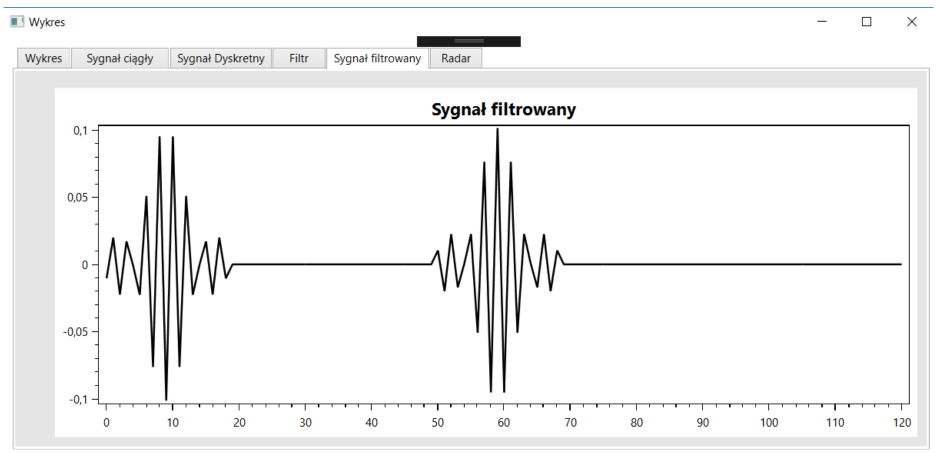
Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu.

Okno prostokątne



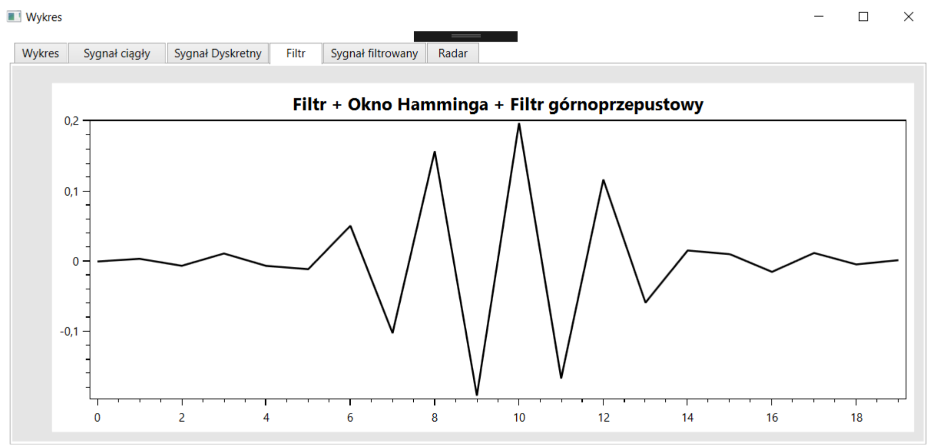
Rysunek 26: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



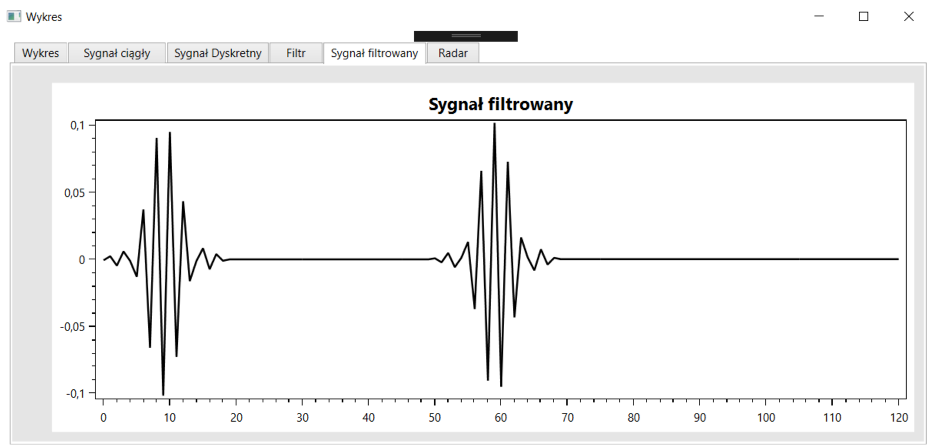
Rysunek 27: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Hamminga



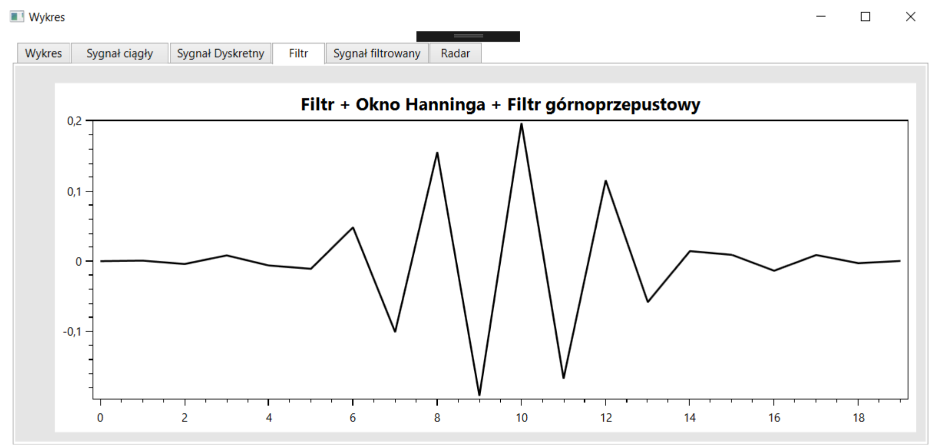
Rysunek 28: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



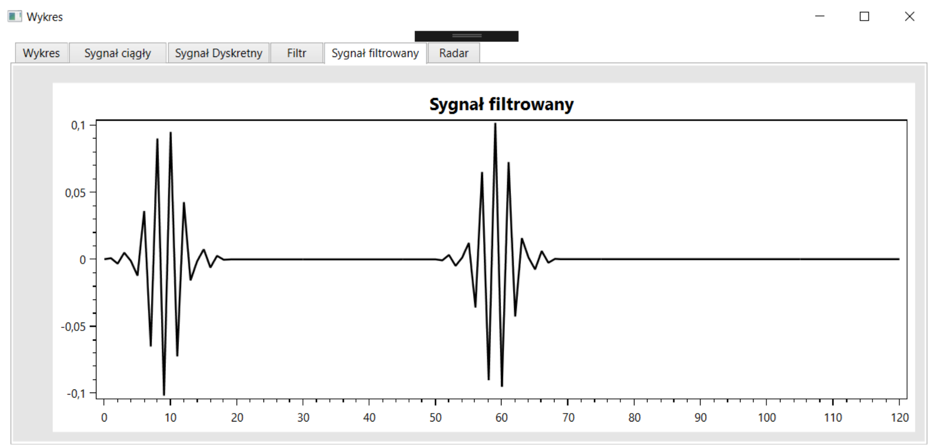
Rysunek 29: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Hanninga



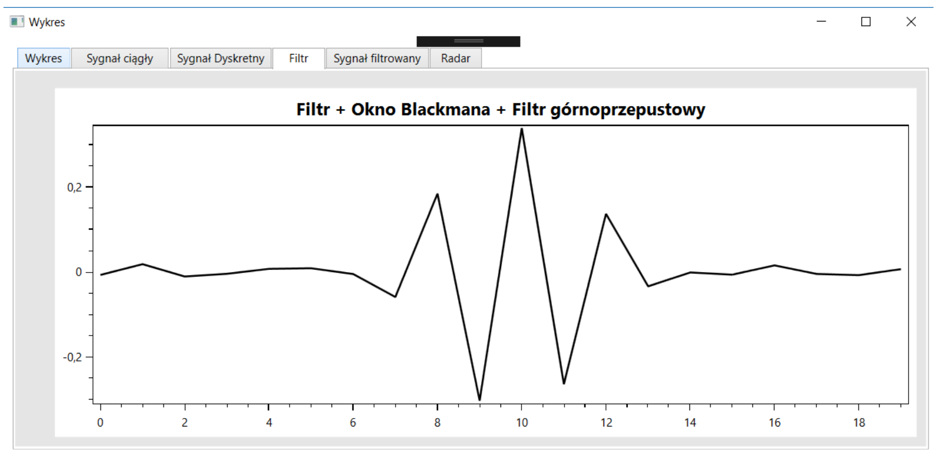
Rysunek 30: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



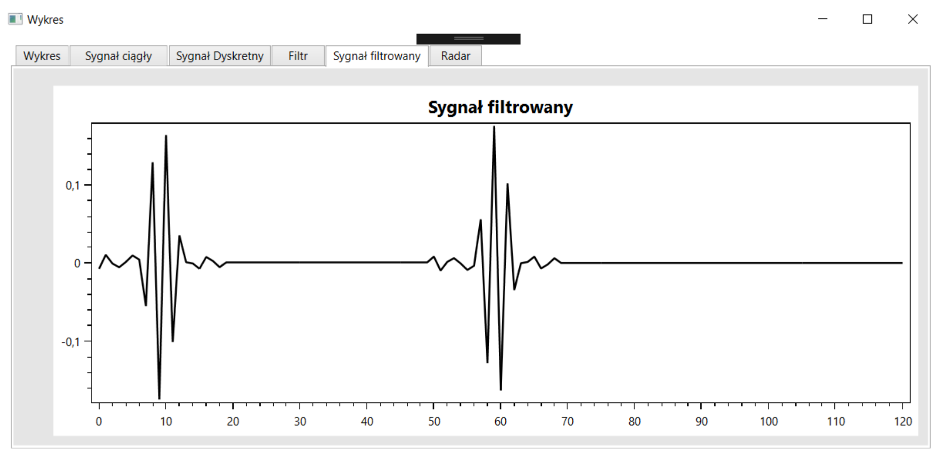
Rysunek 31: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Okno Blackmana



Rysunek 32: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 33: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z zaokrągleniem, interpolacja pierwszego rzędu

3.5 Eksperyment nr 3

Eksperyment nr 3 Korelacja

3.5.1 Teoria

Ekstrapolacja zerowego rzędu jest najprostszą metodą rekonstrukcji sygnału. W niej wartość próbki jest pamiętana i definiuje stałą wartość sygnału wyjsciowego aż do następnej próbki. Do tej metody potrzeba dużo wiekszej częstotliwosci próbkowania niż wynikałoby z "Twierdzenia o próbkowaniu".

3.5.2 Założenia

ghg

3.5.3 Przebieg

Do generacji synału zostały podane parametry:

Amplituda (A): 2

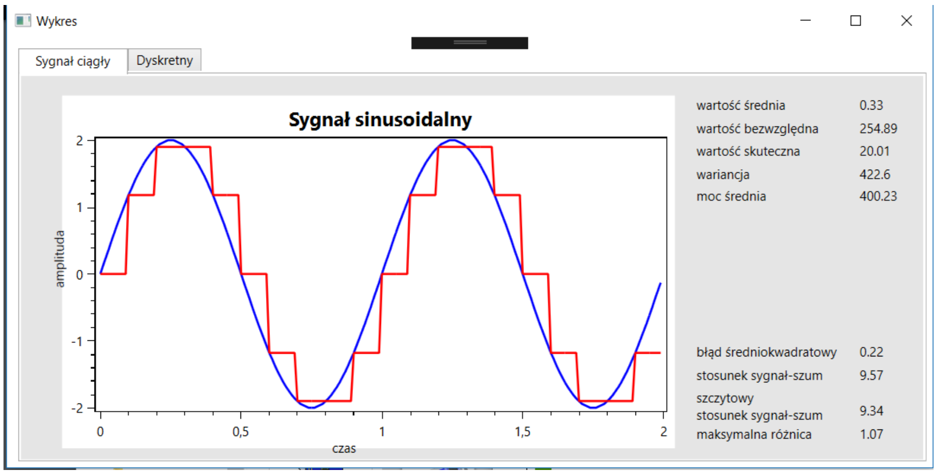
Czas trwania (t1): 2 s

Częstotliwość próbkowania (d): 10 Hz

Okres podstawowy : 1 s

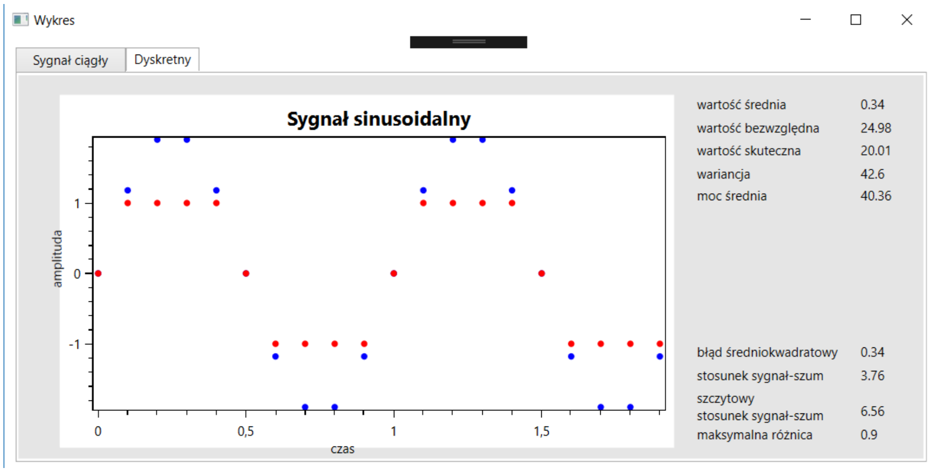
3.5.4 Rezultat

Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 34.



Rysunek 34: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, ekstrapolacja zerowego rzędu

Rys. 35 przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 35: Wykres sygnału sinusoidalnego dyskretny: kwantyzacja z obcięciem, ekstrapolacja zerowego rzędu

3.6 Eksperyment nr 4

Eksperyment nr 4 - Korelacja

3.6.1 Założenia

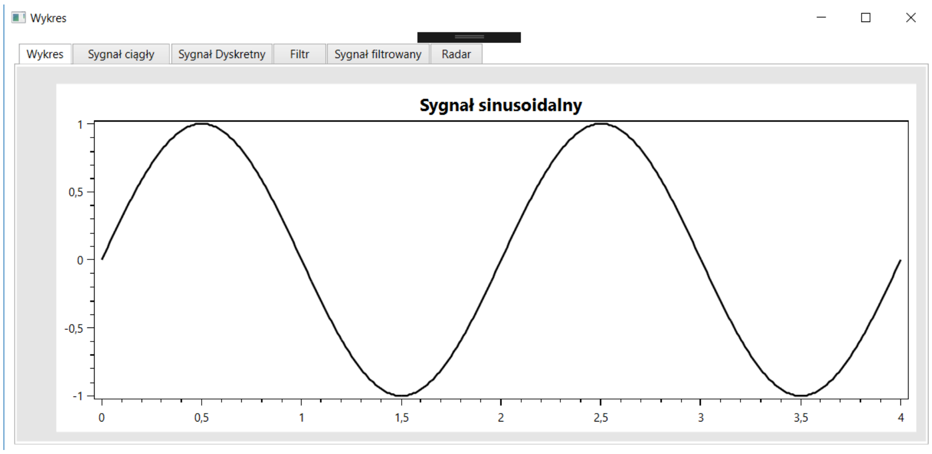
Operacja splotu jest przeprowadzana dla dwóch dowolnych sygnałów dyskretnych o wczeniej podanych (niekonieczcnie jednakowych) ilosciach próbek. W tym celu jest wykorzystany wzór 2.1.

3.6.2 Przebieg

Do generacji synału zostały podane parametry:

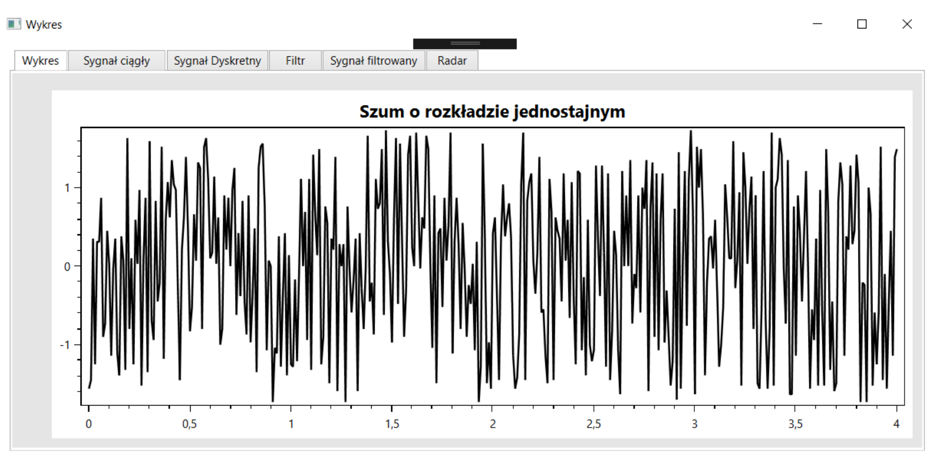
Sygnał 1: [Amplituda (A):] 1
[Czas trwania (t1):] 5 s
[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz
[Okres podstawowy :] 2 s

Sygnał 2: [Amplituda (A):] 1
[Czas trwania (t1):] 5 s



Rysunek 36: Wykres sygnału sinusoidalnego

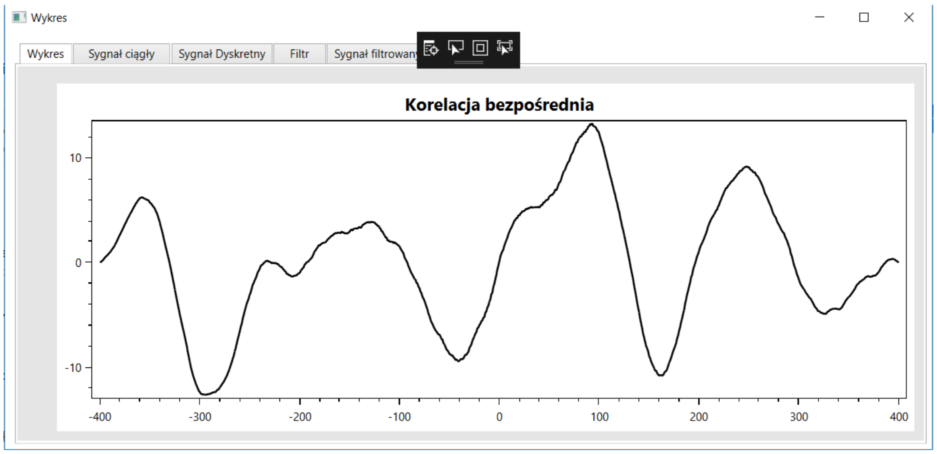
[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz



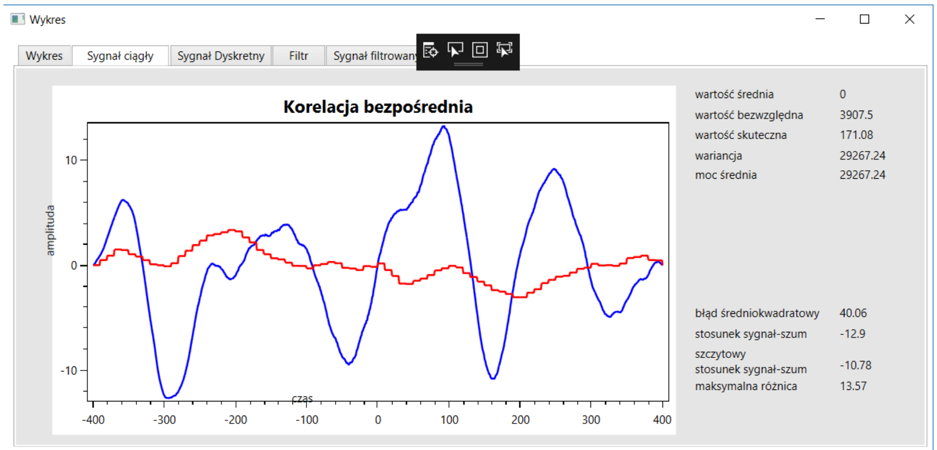
Rysunek 37: Wykres szumu gausowskiego

3.6.3 Rezultat

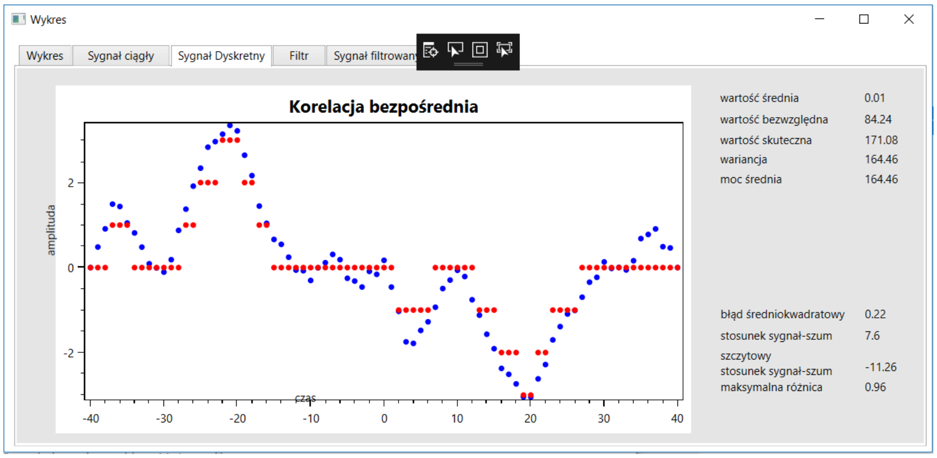
Korelacja bezposrednia:
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 43.



Rysunek 38: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu

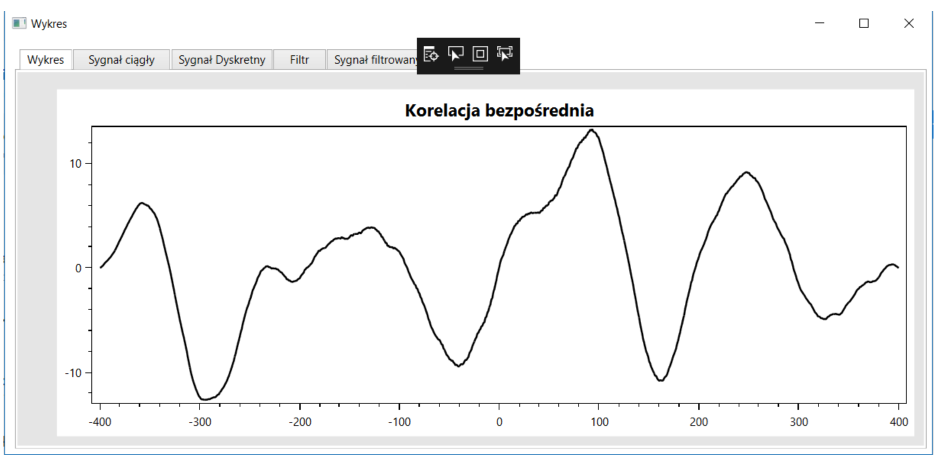


Rysunek 39: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu

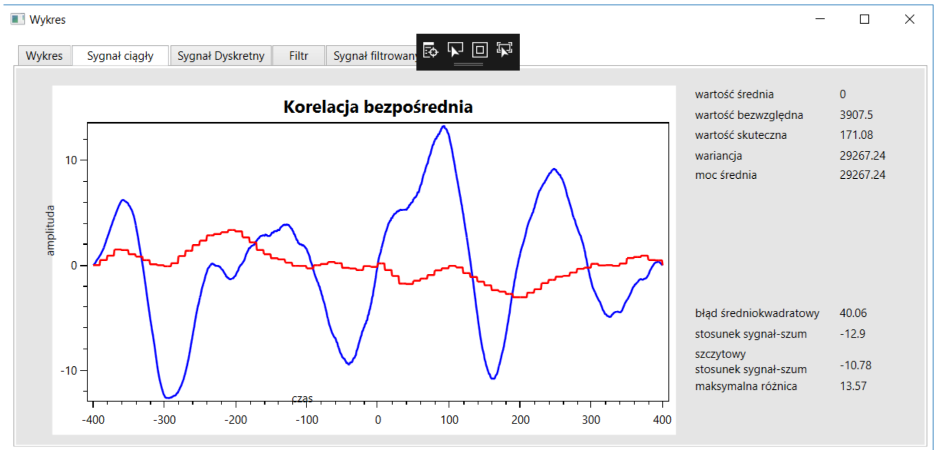


Rysunek 40: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu

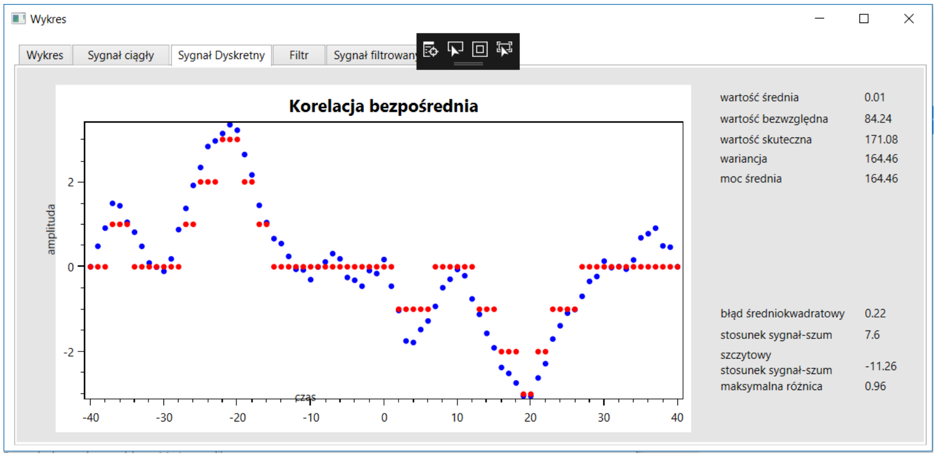
Korelacja z wykorzystaniem splotu:
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 43.



Rysunek 41: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu



Rysunek 42: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu



Rysunek 43: Wykres sygnału sinusoidalnego ciągły: kwantyzacja z obcięciem, interpolacja pierwszego rzędu

4 Wnioski

Przeprowadzone eksperymenty dowodzą, że Interpolacja pierwszego rzędu jest bardziej dokładna niż ekstrapolacja rzędu zerowego. Dzieje się tak ponieważ między próbkami sygnał się zmienia zatem interpolowanie między kolejnymi próbkami daje lepsze odwzorowanie, niż przepisywanie tej samej wartości do czasu napotkania następnej próbki. Aby uzyskać wyniki ekstrapolacji zbliżone do wyników ekstrapolacji należy przyjąć bardzo dużą częstotliwość próbkowania. Są znaczące różnice w błędach odtworzenia sygnałów przez interpolację i ekstrapolację. Interpolacja jest dużo bardziej dokładna - błąd sredniokwadratowy o ok 0,2, stosunek sygnał-szum i szczytowy stosunek sygnał-szum różnią się nawet o 10 jednostek. Co ciekawe maksymalna różnica między sygnałem analogowym, a odtwarzanym sygnałem jest minimalnie większa dla interpolacji. W przypadku kwantyzacji dużo lepiej sprawdza się kwantyzacja z zaokrągleniem. W przypadku kwantyzacji z obcięciem jeżeli próbkowaniem nie trafimy w szczyt amplitudy to maksymalna jej wartość po kwantowaniu będzie mniejsza niż ta w oryginale. Przy kwantyzacji z zaokrągleniem unikamy takiej sytuacji. Podczas próbkowania trzeba bardzo uważać przy podawaniu częstotliwości. Jeśli podamy ją zbyt mała sygnał nie zostanie odtworzony, a czasem wręcz możemy uzyskać inny sygnał.

Literatura

[1] FTIMS Politechnika Łódzka. *Przetwarzanie sygnałów, pojęcia podstawowe Plik*, Wikamp.

[2] FTIMS Politechnika Łódzka. *Zadanie 2 Generacja sygnału i szumu*, Wikamp.