

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów 2023/2024

Projekt 2. Próbkowanie i kwantyzacja

Amadeusz Sitnicki, 242524

Adam Rosiak, 242511

Prowadzący: dr hab. inż. Bartłomiej Stasiak

18 kwietnia 2024

1 Cel projektu

Celem poprzedniej części zadania było stworzenie programu umożliwiającego generowanie sygnałów zadaną częstotliwością próbkowania oraz implementacja podstawowych operacji pozwalających na generowanie nowego sygnału na podstawie 2 sygnałów bazowych. Dodatkowym celem było stworzenie interfejsu użytkownika oraz wizualizacji w postaci wykresów wraz z podsumowaniem prezentującym podstawowe wartości opisujące sygnał.

Celem bieżącej części zadania jest dodanie do aplikacji funkcjonalności pozwalających na kwantyzację i rekonstrukcję sygnału przy użyciu różnych metod interpolacji. Wpływ parametrów przetwarzania A/C i C/A zostanie zbadany w sekcji analizy wyników (??).

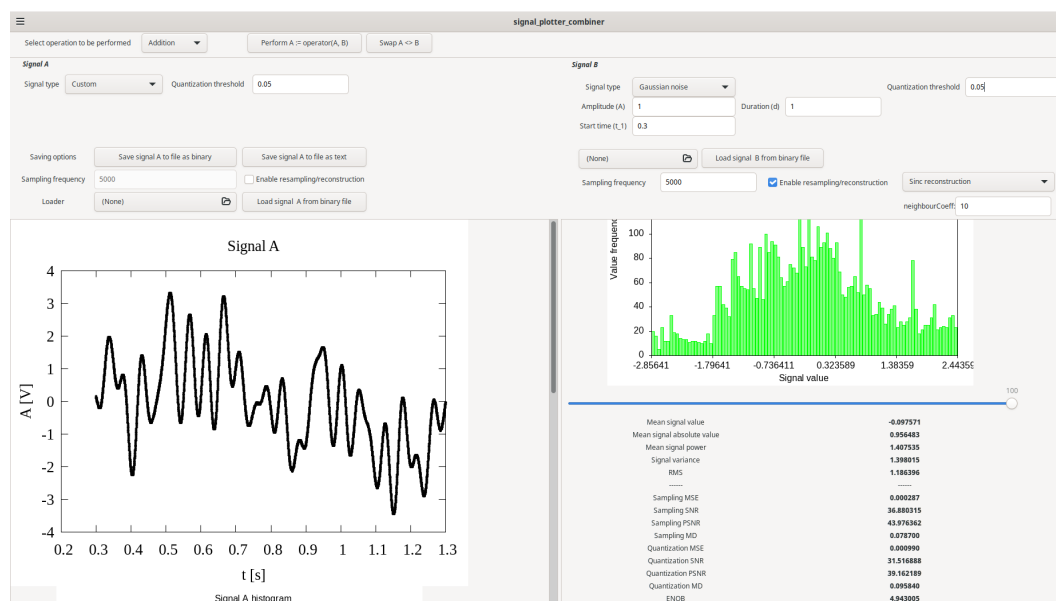
2 Instrukcja korzystania z aplikacji

W pierwszej części zadania, użytkownik korzysta z podwójnego menu pozwalającego na modyfikowanie parametrów wybranego typu sygnału - dostępne menu dla sygnału A oraz menu dla sygnału B. Dla obu sygnałów użytkownik korzysta z odpowiedniego dla sygnału okna przewijanego zawierającego w pierwszej kolejności wykres wartości sygnału w zależności od czasu, a następnie histogram prezentujący dla ilu próbek sygnału, jego wartość znajdowała się w określonych przedziałach. Możliwe jest ustawienie z osobna dla obu sygnałów rozdzielczości histogramu przy użyciu suwaka. Poniżej suwaka znajduje się podsumowanie zawierające obliczoną średnią wartość sygnału, średnią wartość bezwzględną sygnału, średnią mocą sygnału, wariancją i wartością skuteczną sygnału.

W bieżącej części zadania, do zawartości okien przewijanych obu sygnałów, dołączyły kontrolki graficznego interfejsu użytkownika, pozwalające na wybór progu kwantyzacji - ustawienie wartości większej od 0, spowoduje skwantyzowanie wybranego sygnału. Obok pola tekstowego przeznaczonego do wpisywania

częstości próbkowania sygnału, dodany został checkbox, pozwalający na przełączanie się między trybem regeneracji sygnału, a trybem rekonstrukcji sygnału z użyciem metod interpolacji. Po aktywacji trybu rekonstrukcji, pojawia się widget rozwijanej listy, pozwalający na wybór dostępnych metod rekonstrukcji spróbkowanego sygnału. W przypadku metody opartej na funkcji *sinc*, konieczne jest ustawienie parametru określającego liczbę sąsiadujących próbek po każdej ze stron punktu na osi czasu, które mają być uwzględniane przy rekonstrukcji sygnału. W trybie rekonstrukcji, każda zmiana częstotliwości próbkowania lub parametru rekonstrukcji, powoduje uruchomienie algorytmu interpolacji, który przekształca sygnał. Dla dużej wyjściowej częstotliwości próbkowania, rekonstruktor/interpolator zachowuje się jak układ DAC przekształcający sygnał dyskretny w analogowy.

Rysunek 1 przedstawia graficzny interfejs użytkownika wraz zawierający wspomniane w tej sekcji elementy interfejsu.



Rysunek 1: Graficzny interfejs użytkownika programu

3 Opis implementacji oraz metod generowania danych do wykresów

Aplikacja wykorzystuje otwartoźródłową bibliotekę graficznego interfejsu użytkownika GTK3 [1]. Do implementacji wykorzystano język C wraz z kompilatorem GCC [2] i systemem budowania Meson [3], zapewniającym uproszczoną

integrację z biblioteką GTK3. W celu generowania wykresów, aplikacja posiada interfejs (`_gcall.h`, `gnuplot.h`) dedykowany uruchamianiu procesu `gnuplot` - otwartoźródłowego narzędzia [4] pozwalającego na tworzenie wykresów z wykorzystaniem skryptów w dedykowanym skryptowym języku `gnuplot`. Proces jest uruchamiany z przekazaniem parametrów zależnych od ustawień kontrolowanych przez użytkownika. Wykorzystano programowanie reaktywne - aplikacja reaguje na każdą zmianę parametrów sygnału i aktualizuje wykresy oraz podsumowania. `Gnuplot` pobiera dane generowane poprzez utworzenie przez aplikację pliku danych zawierającego specjalnie sformatowane dane sygnału i przekazanie jego ścieżki jako jeden z argumentów uruchomieniowych procesu `gnuplot`. Przykład zbioru parametrów przekazanych do biblioteki znajduje się poniżej.

```
gnuplot -e "max=1." -e "min=-1." -e "n=10" -e "outfile='foo.png'"\
-e "infile='data.txt'" -e "plottitle='Signal A histogram'" script.plt
```

Plik z danymi (odpowiadający plikowi `data.txt` w powyższym przykładzie) zawiera pary wartości (numer próbki, wartość próbki - oddzielone spacją) po jednej na linię.

Jak wspomniano, aplikacja umożliwia eksport i import sygnału z wykorzystaniem specjalnego formatu zawartości pliku sygnału. Format ten specyfikuje 24 bajty nagłówka, po których następują ośmiobajtowe grupy odpowiadające wartościom sygnału (typ `double`) dla poszczególnych próbek. Poniższe struktury języka C określają wspomniany format zawartości pliku sygnału (por. `signal_fio.h`, `signal.h`)

```
typedef struct {
    double start_time;
    double sampling_frequency;
    uint64_t num_samples;
} signal_info_t;

typedef struct {
    union {
        signal_info_t info;
        uint64_t raw[3];
    } header;
    double* pData;
} real_signal_file_payload_t;
```

Do całokształtu implementacji wykorzystano wzorzec MVC w celu odseparowania warstw modelu, widoku i kontrolera widoku. Warstwa widoku została zaimplementowana z użyciem pliku XML generowanego przez otwartoźródłowe narzędzie `Glade`, dedykowane projektowaniu graficznych interfejsów użytkownika dla biblioteki GTK3. W celu generowania wartości losowej o standardowym rozkładzie normalnym, użyto metody Marsaglia [5], której przykładową, uproszczoną implementację przedstawiono poniżej.

```
/**
```

```

    * Uses Marsaglia polar method and rand() to generate a standard-normally
    distributed pseudo-random floating-point value
    *
    */
double __standard_gaussian_rand() {
    double x; double y;
    double s;
    do {
        x = -1.0 + 2 * ((double)rand()) / (double)RAND_MAX;
        y = -1.0 + 2 * ((double)rand()) / (double)RAND_MAX;
        s = x*x + y*y;
    } while (s >= 1.0);
    return x * sqrt(-2.0 * log(s) / s);
}

```

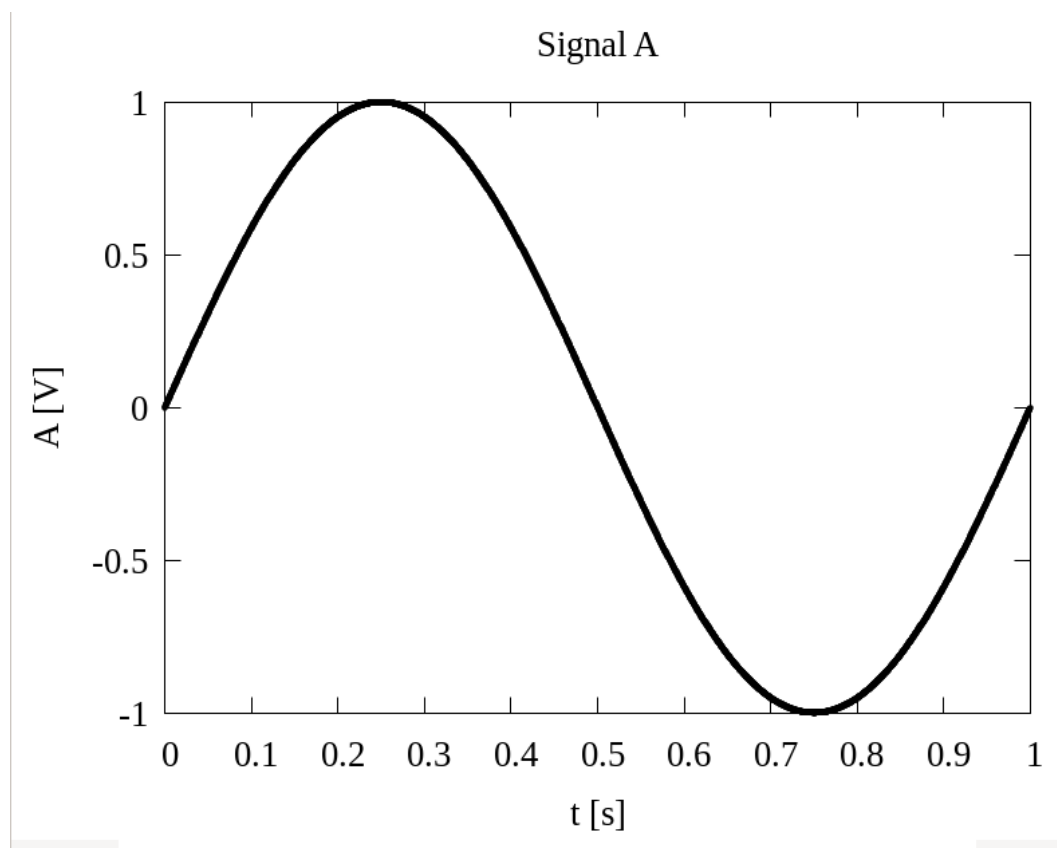
4 Przykłady i wnioski z analizy działania programu - część 1

4.1 Przykład A - sygnał sinusoidalny

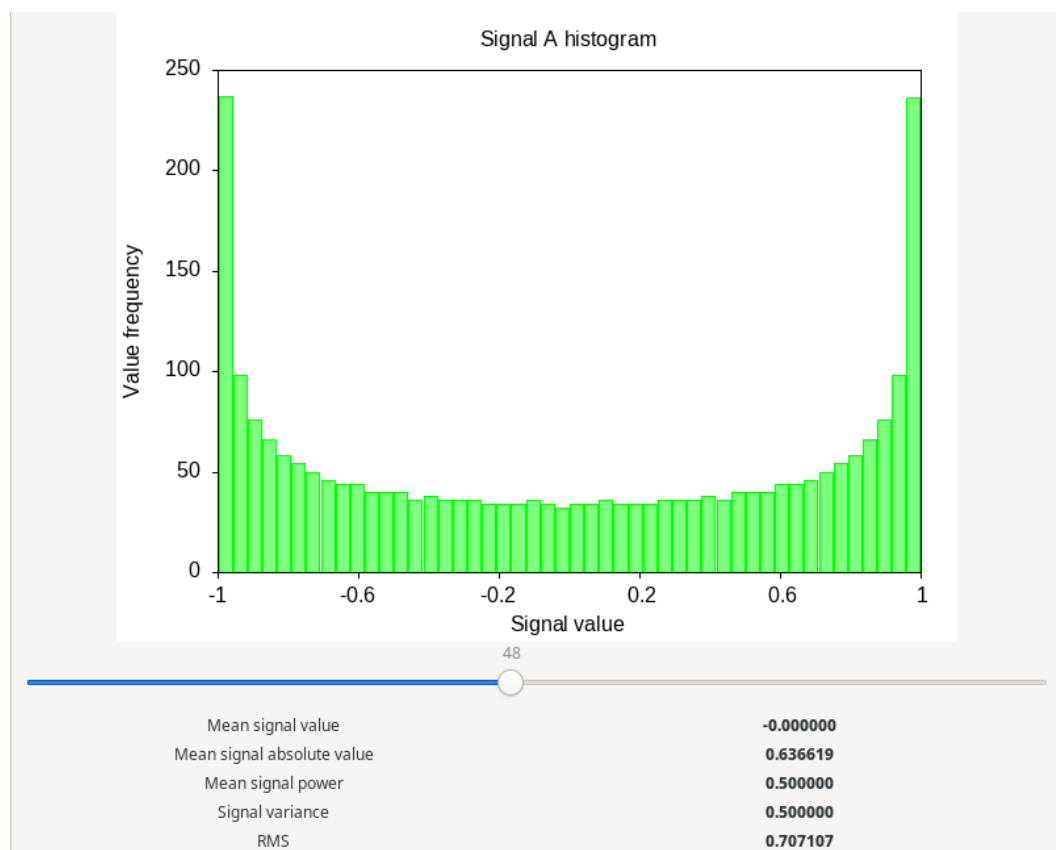
The image shows a software interface for configuring a signal, titled "Signal A". The interface includes several input fields and buttons:

- Signal type:** A dropdown menu set to "Sine".
- Amplitude (A):** A text input field containing the value "1".
- Start time (t₁):** A text input field containing the value "0".
- Period (T):** A text input field containing the value "1".
- Duration (d):** A text input field containing the value "1".
- Saving options:** Two buttons: "Save signal A to file as binary" and "Save signal A to file as text".
- Sampling frequency:** A text input field containing the value "2560".
- Loader:** A dropdown menu set to "(None)" with a folder icon, and a button "Load signal A from binary file".

Rysunek 2: Konfiguracja dla przykładowego sygnału sinusoidalnego



Rysunek 3: Wykres wartości sygnału sinusoidalnego

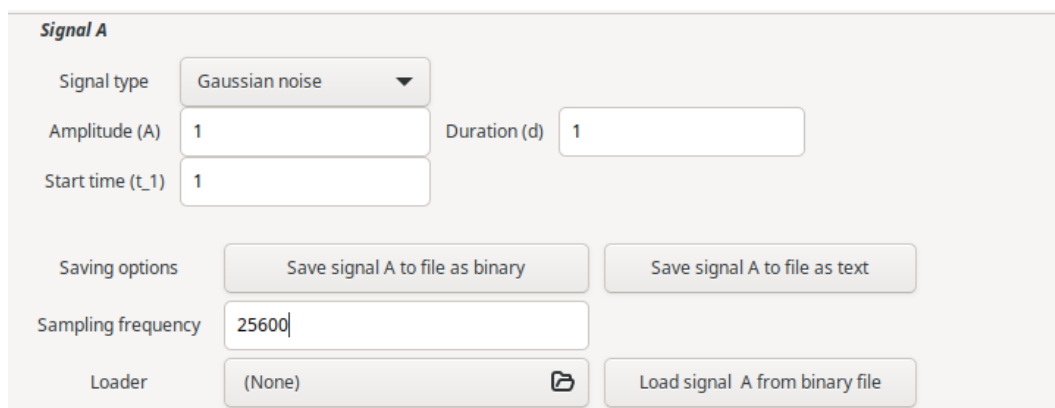


Rysunek 4: Histogram i wartości agregatów dla sygnału sinusoidalnego

4.2 Wniosek do przykładu A

Skrajne wartości sygnału występują wśród próbek sygnału częściej, jest to spowodowane faktem, że w pobliżu ekstremów, funkcja sinus zmienia się wolniej, zatem jest więcej próbek przypadających na zadany przedział wartości. Dodatkowo warto zwrócić uwagę, że średnia wartość sygnału sinusoidalnego na przedziale o długości będącej wielokrotnością długości okresu, jest równa 0. Wariancja wartości sygnału oraz średnia moc sygnału mają wartość 0,50. Wartość skuteczna sygnału jest odwrotnością pierwiastka kwadratowego liczby 2.

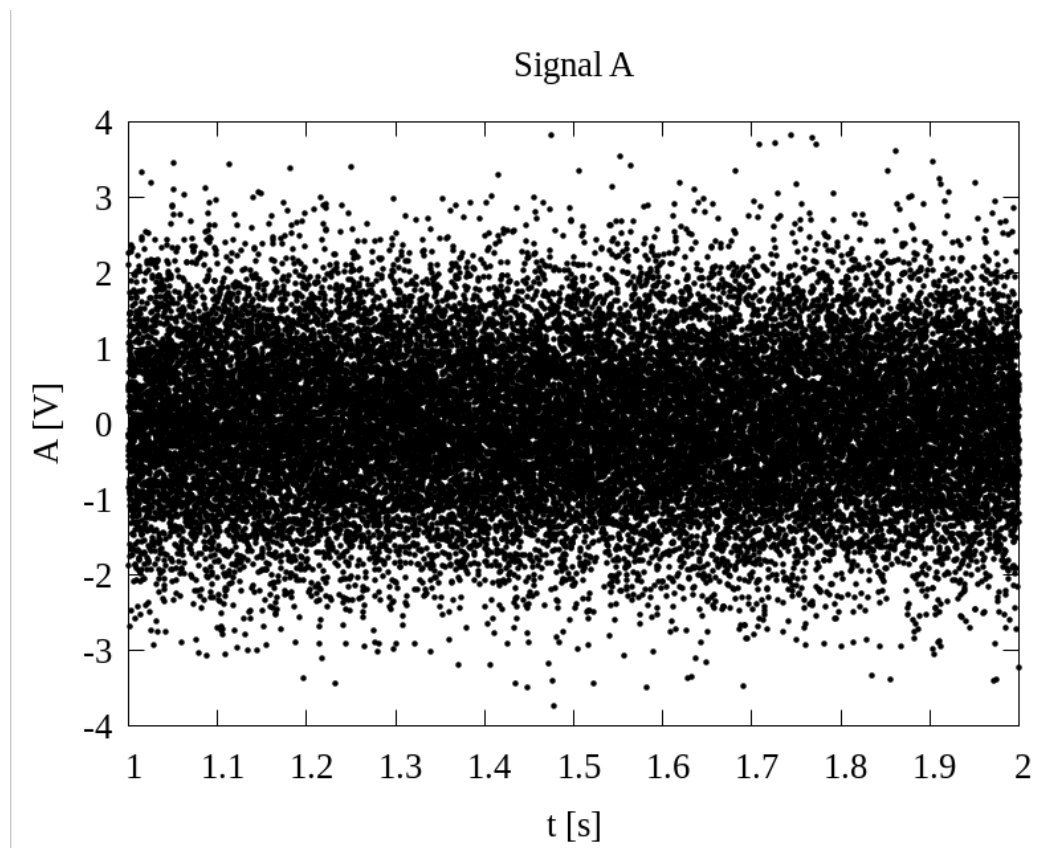
4.3 Przykład B - szum gaussowski



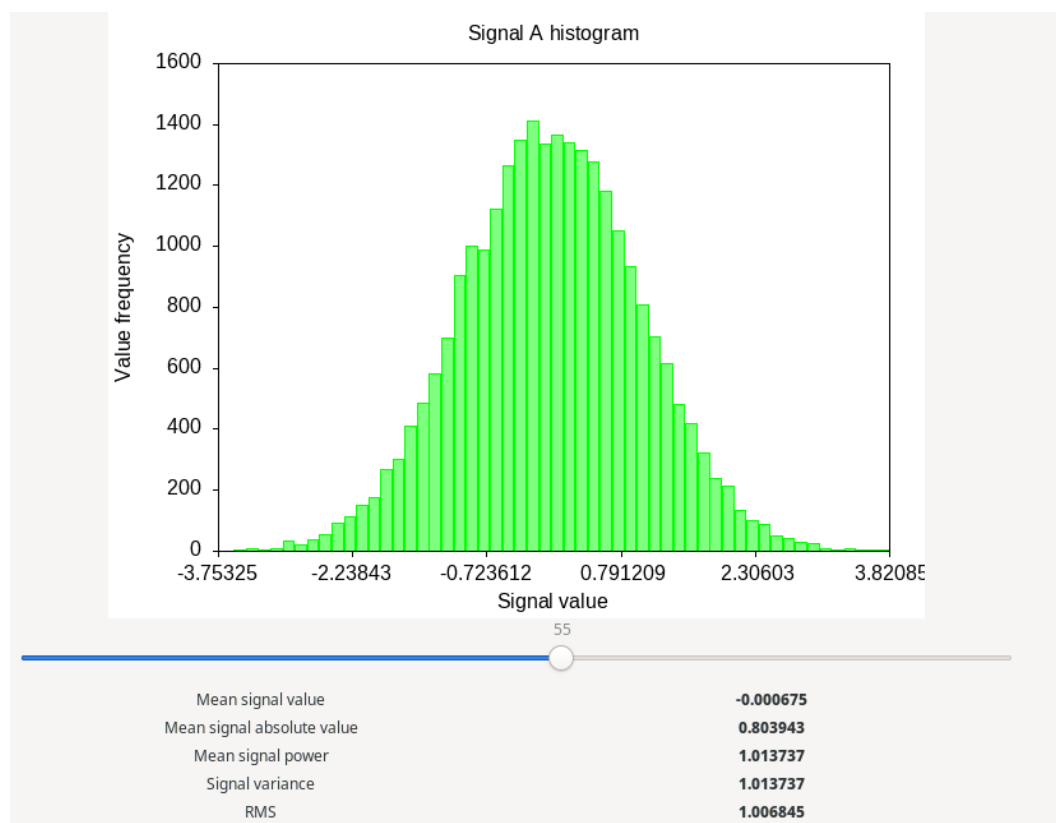
The image shows a web-based configuration interface for a signal named "Signal A". The interface includes several input fields and buttons:

- Signal type:** A dropdown menu currently set to "Gaussian noise".
- Amplitude (A):** A text input field containing the value "1".
- Duration (d):** A text input field containing the value "1".
- Start time (t_1):** A text input field containing the value "1".
- Saving options:** Two buttons: "Save signal A to file as binary" and "Save signal A to file as text".
- Sampling frequency:** A text input field containing the value "25600".
- Loader:** A dropdown menu currently set to "(None)", a folder icon, and a button "Load signal A from binary file".

Rysunek 5: Konfiguracja dla standardowego szumu gaussowskiego



Rysunek 6: Wykres wartości standardowego szumu gaussowskiego

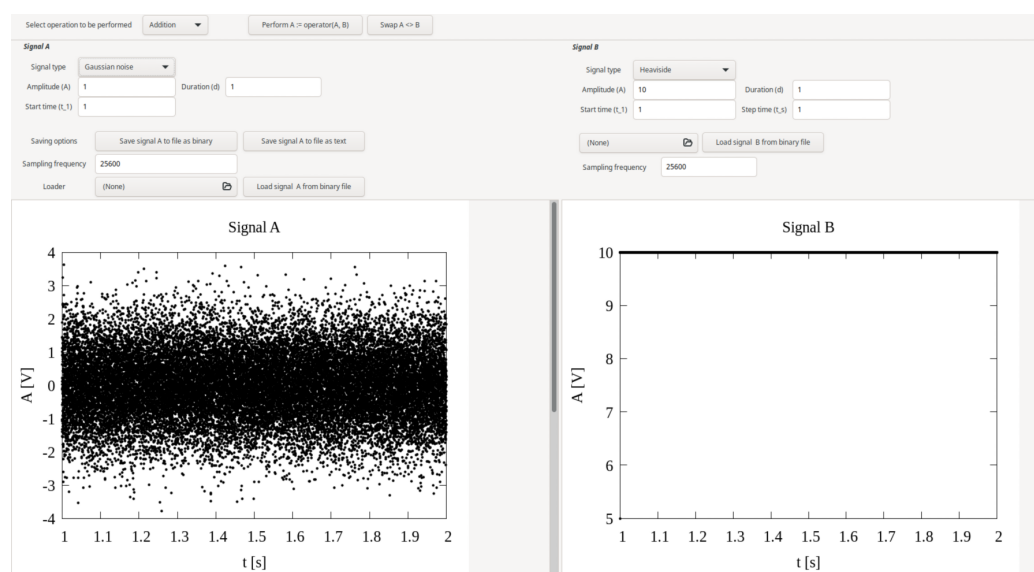


Rysunek 7: Histogram i wartości agregatów dla standardowego szumu gaussowskiego

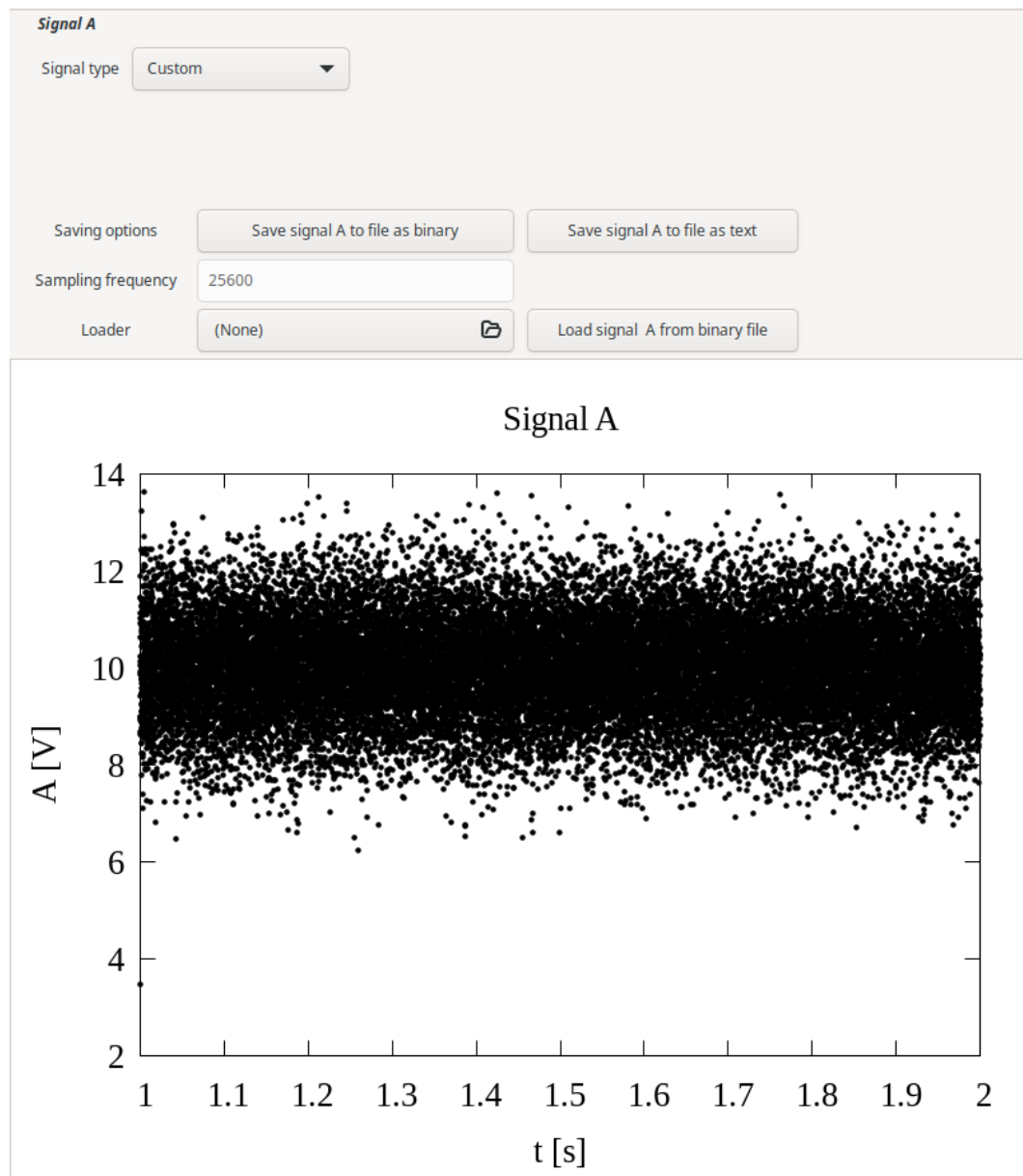
4.4 Wniosek do przykładu B

Metoda polarna Marsaglia jest skutecznym sposobem na otrzymanie przybliżonego standardowego rozkładu normalnego pseudo-losowej wartości zmienno-przecinkowych. Wartość skuteczna szumu jest bliska 1. Zgodnie z definicją użytego rozkładu, wartość oczekiwana dla sygnału jest bliska 0, a wariancja wynosi w przybliżeniu 1.

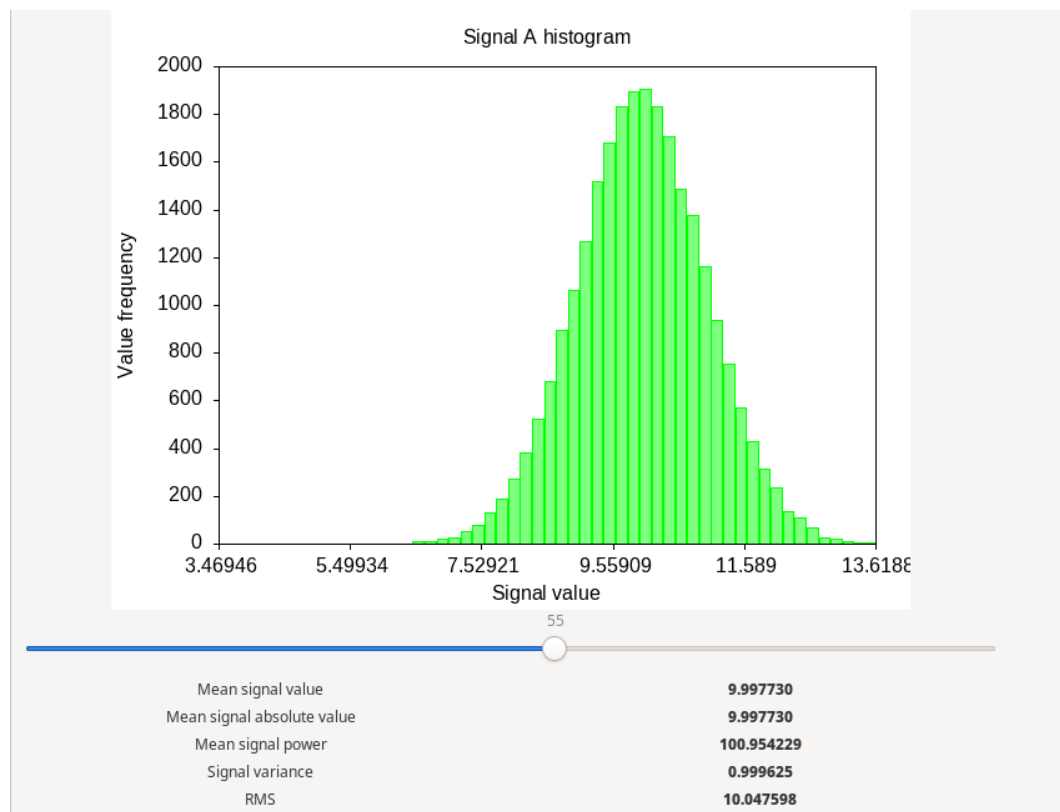
4.5 Przykład C - kombinacja sygnałów z użyciem prostej operacji dodawania



Rysunek 8: Konfiguracja dla dodawania sygnału o stałej wartości 10 do szumu gaussowskiego



Rysunek 9: Wykres wartości sygnału wynikowego operacji dodawania - przesunięty standardowy szum gaussowski



Rysunek 10: Histogram dla sygnału wynikowego operacji dodawania - przesunięty standardowy szum gaussowski

4.6 Wniosek do przykładu C

Dodanie dodatniego sygnału stałego do szumu gaussowskiego powoduje przesunięcie wykresu na histogramie w prawo - operacja dodawania zachodzi pomyślnie. Zaobserwować można ustalenie się wartości skutecznej oraz średniej wartości sygnału i średniej absolutnej wartości sygnału na poziomie o 10 wyższym niż w przypadku standardowego rozkładu gaussowskiego bez przesunięcia - liniowa zmiana względem przesunięcia wartości sygnału. Wariancja sygnału nie uległa zmianie względem szumu bez przesunięcia, zaś średnia moc wzrosła o kwadrat przesunięcia wartości szumu.

5 Przykłady i wnioski z analizy działania programu - część 2

W ramach przykładu, analizy dokonano dla funkcji będącej sumą 2 funkcji sinusoidalnych o różnych częstotliwościach: $f(x) = \sin(2\pi t) + \sin(8\pi t)$. Przyjęto przybliżenie sygnału analogowego z wykorzystaniem częstotliwości próbkowania 250000.

5.1 Analiza - próbkowanie

Wykorzystano interpolację zero-hold, a także rekonstrukcję z wykorzystaniem znormalizowanej funkcji *sinus cardinalis*.

5.1.1 Interpolacja zero-hold

f_s	MSE	SNR	$PSNR$	MD
25	0.192	7.165	12.681	1.139
50	0.053	12.775	18.360	0.579
75	0.048	13.151	18.847	0.413
100	0.013	18.974	24.675	0.295
200	0.003	24.905	30.606	0.157

Tabela 1: Miary podobieństwa sygnału dyskretnego i sygnału zrekonstruowanego dla różnych wartości częstotliwości próbkowania f_s .

5.1.2 Rekonstrukcja z użyciem funkcji *sinc*

f_s	<i>sincCountCoeff</i>	<i>MSE</i>	<i>SNR</i>	<i>PSNR</i>	<i>MD</i>
25	5	0.000	88.107	93.623	0.000
25	10	0.000	88.202	93.718	0.000
50	5	0.000	90.493	96.078	0.000
50	10	0.000	89.120	94.705	0.000

Tabela 2: Miary podobieństwa sygnału dyskretnego i sygnału zrekonstruowanego dla różnych wartości częstotliwości próbkowania f_s i dla różnych wartości parametru współczynnika liczby próbek branych do rekonstrukcji z użyciem znormalizowanej funkcji *sinc*.

5.2 Analiza - kwantyzacja

Wykorzystano kwantyzację równomierną z obcięciem.

<i>quant. threshold</i>	<i>MSE</i>	<i>SNR</i>	<i>PSNR</i>	<i>MD</i>	<i>ENOB</i>
0.05	0.001	30.854	36.557	0.050	4.833
0.10	0.003	24.898	30.601	0.100	3.843
0.15	0.007	21.439	27.142	0.150	3.269
0.20	0.013	18.809	24.512	0.200	2.832
0.25	0.019	17.230	23.003	0.250	2.581

Tabela 3: Miary podobieństwa sygnału zkwantyzowanego i sygnału oryginalnego dla różnych wartości progu kwantyzacji oraz wartości współczynnika *effective-number-of-bits*.

Literatura

- [1] GTK3, strona projektu, <https://docs.gtk.org/gtk3/>
- [2] GCC, strona projektu, <https://gcc.gnu.org/>
- [3] Meson Build, strona projektu, <https://mesonbuild.com/>
- [4] Gnuplot, strona główna projektu, <http://www.gnuplot.info/>
- [5] Marsaglia G., Bray T.A. (1964), A Convenient Method for Generating Normal Variables

Literatura zawiera wyłącznie źródła recenzowane i/lub o potwierdzonej wiarygodności, możliwe do weryfikacji i cytowane w sprawozdaniu.