

# Sprawozdanie z Lab 2

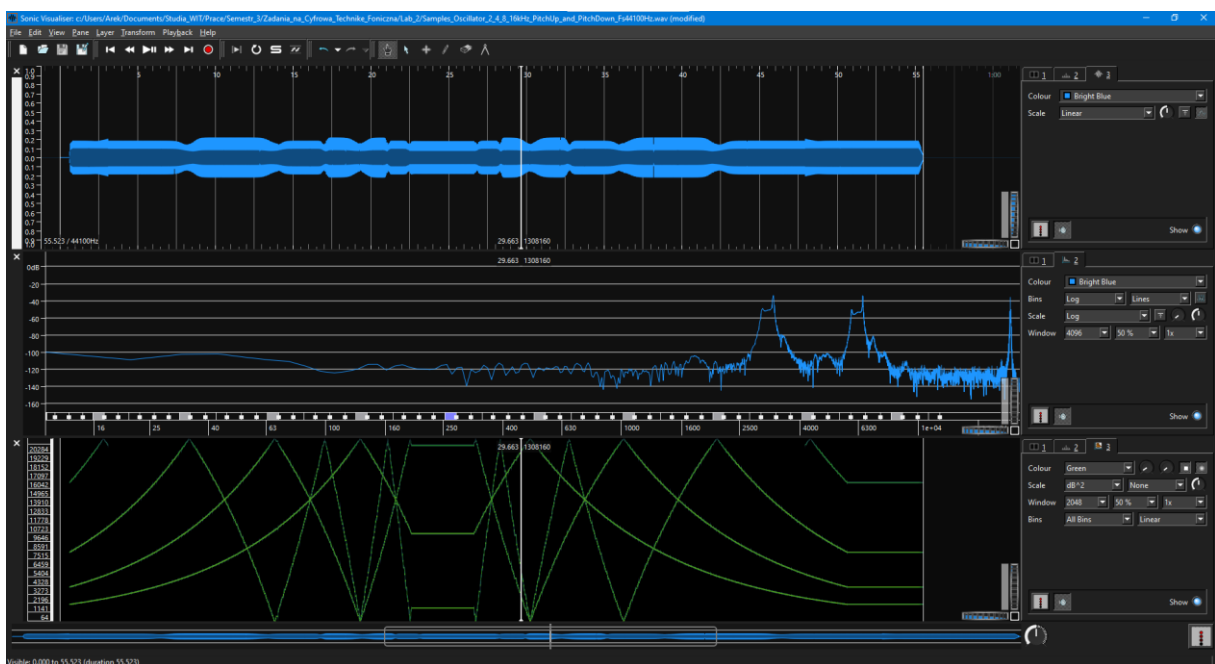
Autor: Arkadiusz Pizon

Numer albumu: 22267

Grupa: MZ03IP1

## Zadanie 1. Próbkowanie

W momencie kiedy sygnał ma próbkowanie nie zgodne z twierdzeniem Nyquista tj. próbkowanie z maksymalną częstotliwością dwa razy wyższą niż częstotliwość sygnału występują anomalie wynikające ze zjawiska aliasingu sygnału.



Gdy częstotliwości przekraczają 22,05 kHz, pojawiają się artefakty aliasingu, które są widoczne jako dodatkowe fałszywe pasma w dolnym zakresie częstotliwości.

Po osiągnięciu maksimum częstotliwości zaczynają się obniżać w dół, wracając do początkowych wartości.

Linie na spektrogramie mają nachylenie odpowiadające liniowemu wzrostowi i spadkowi częstotliwości w czasie. To nachylenie jest identyczne dla każdej harmonicznej.

Przy częstotliwościach wykraczających poza pasmo Nyquista (22,05 kHz) częstotliwości odbijają się w dół w widmie, co daje wrażenie "fałszywych" częstotliwości.

Zjawiska szczególne:

Interferencje: W przypadku nakładania się pasm (np. harmoniczných) dochodzi do powstania zjawiska modulacji, które jest widoczne jako dodatkowe linie na widmie.

### Wrażenia słuchowe:

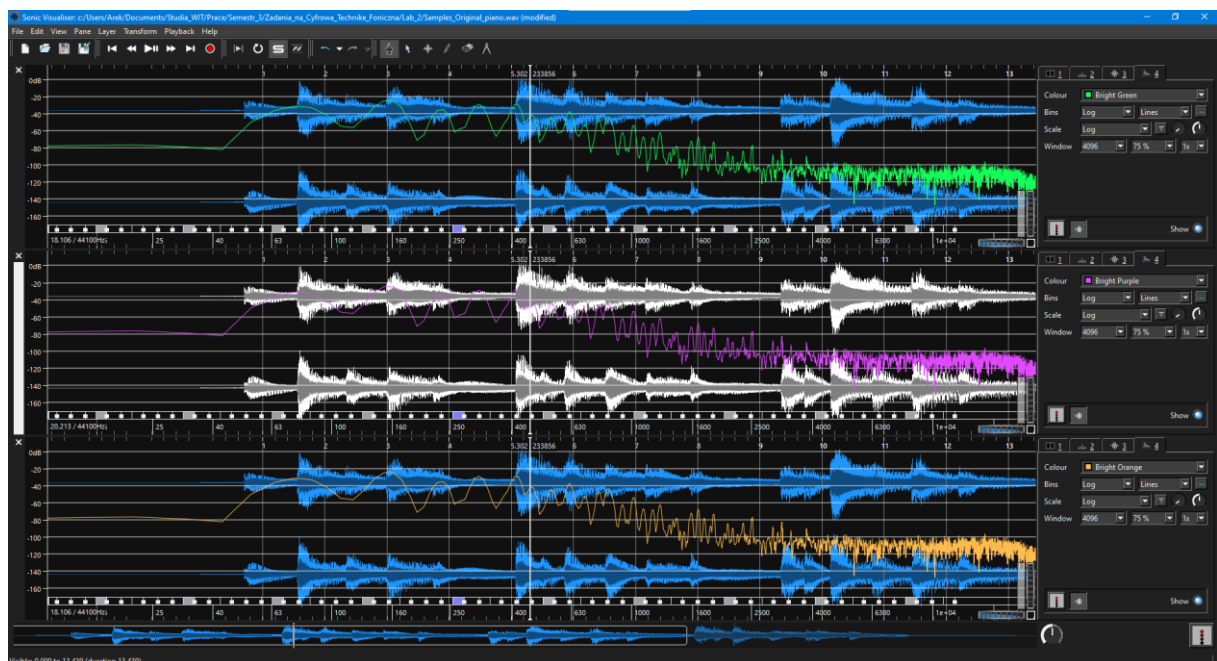
Podczas podnoszenia częstotliwości:

- Dźwięk staje się bardziej "wysoki" i "jasny".

Podczas obniżania częstotliwości:

- Dźwięk staje się coraz bardziej "niski" i "ciemny".
- Przy niskich częstotliwościach bardziej odczuwalne stają się wibracje niż słyszalny ton.

## 5) Sprawozdanie



Różnice między plikami:

Amplituda i dynamika sygnału:

- W pierwszym sygnale (Oryginalnym) widać względnie równomierną dynamikę i czytelne przebiegi harmoniczne, co sugeruje naturalne brzmienie.
- W Próbcie 1 widać zmniejszenie amplitudy w wyższych częstotliwościach (górne pasmo widma jest mniej wyraziste), co może świadczyć o zastosowaniu filtrów dolnoprzepustowych lub kompresji, która obniża jasność dźwięku.
- W Próbcie 2 amplituda wyższych częstotliwości jest bardziej chaotyczna, co może wynikać z efektów aliasingu lub mniej precyzyjnego przetwarzania sygnału.

#### Widmo częstotliwości:

- W widmie Oryginalnego pliku harmoniczne są bardziej czytelne, co wskazuje na pełne brzmienie dźwięku pianina.
- W Próbcie 1 widmo jest wygładzone, co może świadczyć o zastosowaniu redukcji szumów lub stratnej kompresji, która usuwa subtelne składowe dźwięku.
- Próbką 2 ma więcej nieregularności w widmie, co sugeruje artefakty wynikające z obniżonej jakości próbkowania, np. mniejszej częstotliwości próbkowania lub kwantyzacji.

#### Charakterystyka czasowa:

- Oryginalny plik zachowuje płynność przejść między nutami i bardziej naturalną dynamikę czasową.
- W Próbcie 1 zauważalna jest pewna utrata detali w cichszych partiach, co może wynikać z kompresji dynamicznej.
- W Próbcie 2 mogą występować drobne przeskoki lub nienaturalne wzmocnienia w niektórych momentach, co może wynikać z błędów w rekonstrukcji sygnału.

#### **Prawdopodobne źródła różnic w brzmieniu:**

Próbka 1 prawdopodobnie została poddana kompresji stratnej, która usuwa wysokie częstotliwości oraz drobne szczegóły w cichych partiach, aby zmniejszyć rozmiar pliku. Skutkiem tego dźwięk jest mniej „przestrzenny” i „jasny”.

#### Obniżona częstotliwość próbkowania:

Próbka 2 może pochodzić z pliku o niższej częstotliwości próbkowania (np. 22,05 kHz zamiast 44,1 kHz). Skutkuje to utratą wysokich harmonicznymi i artefaktami aliasingu.

#### Kwantyzacja:

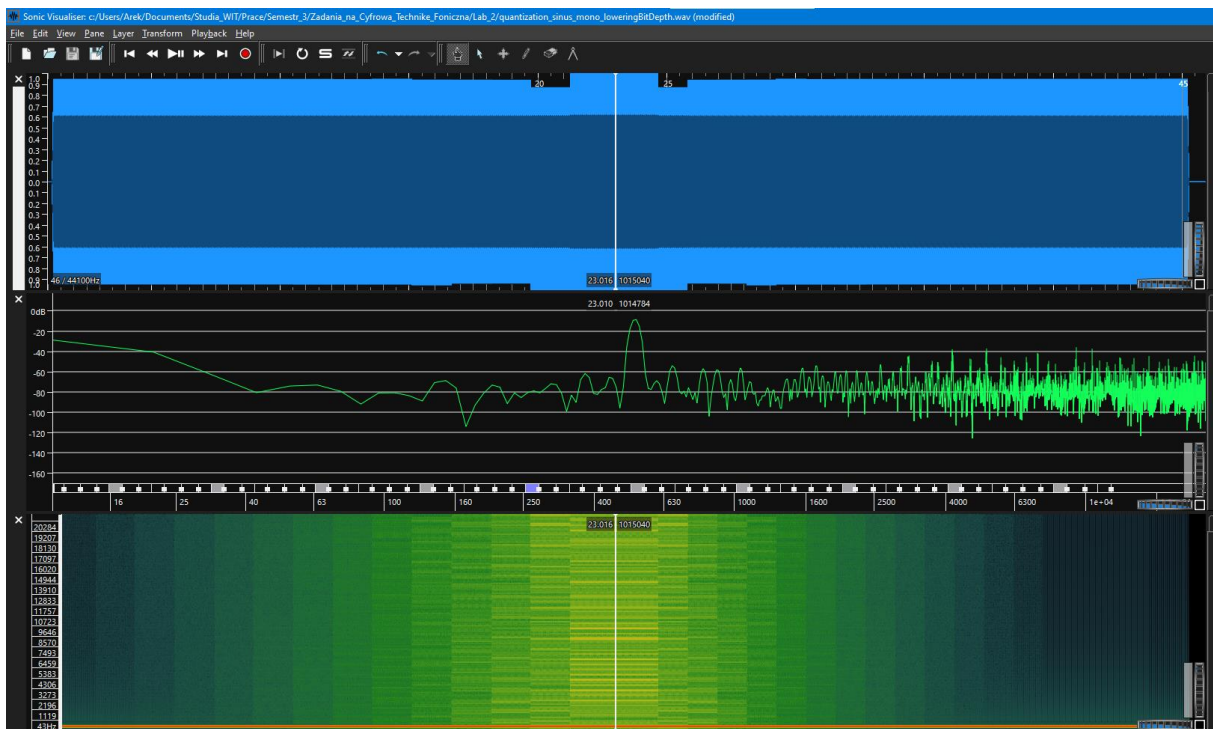
Jeśli Próbką 2 została zapisana z mniejszą rozdzielczością bitową (np. 16 bitów zamiast 32), może występować więcej szumu kwantyzacji, co wpływa na jakość cichych partii i ogólną klarowność dźwięku.

Podsumowanie:

- Oryginalny plik ma najwyższą jakość brzmienia, z pełnym widmem harmonicznym, naturalną dynamiką i płynną charakterystyką czasową.
- Próbką 1 prawdopodobnie została poddana kompresji stratnej, co skutkuje wygładzeniem widma i utratą detali w wysokich częstotliwościach.
- Próbką 2 ma bardziej wyraźne artefakty, które mogą wynikać z aliasingu, niskiej częstotliwości próbkowania lub mniejszej rozdzielczości bitowej, co powoduje „sztuczne” brzmienie.

## Zadanie 2. Kwantyzacja

### 1) 2) Sprawozdanie



Sygnał jest kwantowany 3 bitami w 23 sekundzie.

### **Sposób określenia momentu kwantyzacji 3 bitowej:**

- Z analizy sygnału w dziedzinie częstotliwości: zmniejszająca się liczba bitów powoduje większy błąd kwantyzacji, który jest widoczny jako szum.
- Słuchowo, gdy przy 3 bitach sygnał staje się bardzo uproszczony i zniekształcony.

### **Objawy błędu kwantyzacji:**

W dziedzinie częstotliwości:

- Błąd kwantyzacji powoduje generowanie szumu kwantyzacji, który jest równomiernie rozłożony w całym spektrum częstotliwości (szum biały).
- Przy niższych rozdzielczościach (np. 3 bitach) szum staje się bardziej widoczny, ponieważ różnica między wartością rzeczywistą a skwantowaną jest większa.

W dziedzinie czasu:

- Sygnał staje się bardziej schodkowy, ponieważ mniejsza liczba bitów prowadzi do mniejszej liczby poziomów kwantyzacji.
- Przy 3 bitach widoczne są wyraźne przeskoki w przebiegu sygnału, co przekłada się na jego uproszczenie.

Wrażeniowo podczas odsłuchiwania:

- Przy 3 bitach sygnał staje się silnie zniekształcony i przypomina odgłos "metaliczny" ma charakterystyczne „pisk”.
- Detale dźwięku są niemal całkowicie utracone, a dominujący jest szum kwantyzacji.

### **3) 4) Sprawozdanie**

Mid – tread ze względu na puste obszary pozbawione sygnału.

### **5) 6) Sprawozdanie**

Mid – rise ze względu na fakt, iż w nagraniu nie występują przerwy w sygnale zawsze jest odtwarzany sygnał nawet jeśli jest on o bardzo niskiej wierności.

## **7) 8) 9) Sprawozdanie**

### **Wrażenia słuchowe:**

Plik „quantization\_music\_1\_8bit\_fade\_error\_compensated.wav” - przy niskim poziomie kwantyzacji dźwięk cały czas jest słyszalny pomimo faktu występowania zakłóceń objawiających się głównie szumem.

Plik „quantization\_music\_2\_8bit\_fade\_error\_compensated.wav” – w tej próbce w dźwięku da się usłyszeć charakterystyczne „trzaski” oraz „brzęczenie”.

### **Wnioski:**

Błąd kwantyzacji może być traktowany jako addytywny i niezależny od sygnału wejściowego o parametrach niezmiennych w czasie, pod warunkiem, że spełnione są określone założenia:

- Sygnał wejściowy musi być wystarczająco złożony i losowy, aby błąd kwantyzacji nie był z nim skorelowany. W przypadku prostych sygnałów, takich jak sinusoidy, błąd kwantyzacji może wykazywać korelację z sygnałem.
- Rozdzielczość kwantyzacji powinna być wysoka, aby krok kwantyzacji był mały w stosunku do amplitudy sygnału, co powoduje, że błąd przypomina równomiernie rozłożony szum.
- Proces kwantyzacji powinien być równomierny (liniowy) i symetryczny, a odstępy między poziomami kwantyzacji muszą być stałe.

Jeśli te warunki nie są spełnione (np. przy niskiej rozdzielczości kwantyzacji lub prostych sygnałach), błąd kwantyzacji nie może być traktowany jako addytywny, niezależny szum o stałych parametrach. W takich przypadkach błąd jest skorelowany z sygnałem, co prowadzi do nieliniowych zniekształceń.

## **10) 11) Sprawozdanie**

### **Wrażenia słuchowe:**

W próbce dźwiękowej można usłyszeć płynnie pojawiający się oraz znikający szum jak również trzeszczenie.

### **Wyjaśnienie występowania dodatkowej informacji wysokoczęstotliwościowej:**

Kwantyzacja powoduje, że sygnał staje się "schodkowy" – przyjmuje tylko dyskretne poziomy. Przejścia między tymi poziomami wprowadzają nieliniowość, która generuje dodatkowe komponenty w widmie sygnału.

Nieliniowe operacje na sygnałach (takie jak kwantyzacja) powodują pojawienie się nowych częstotliwości w widmie sygnału. Te częstotliwości są związane z szybkim przejściem między poziomami kwantyzacji.

Jeśli błąd kwantyzacji jest równomiernie rozłożony (przy spełnieniu warunków losowości sygnału), ma on charakter szumu białego, który rozciąga się na całe pasmo częstotliwości, w tym na wysokie częstotliwości.

### **Zadanie 3. Dithering i kształtowanie szumu rekwantyzacji**

#### **1) 2) Sprawozdanie**

##### **Wnioski i obserwacje dotyczące sygnału dźwiękowego:**

W miarę zmniejszania poziomu sygnału przed kwantyzatorem do -28 dB, zniekształcenia stają się coraz bardziej słyszalne na tle oryginalnego sygnału. Dzieje się tak dlatego, że sygnał staje się słabszy, a błąd kwantyzacji, będący procentowo większy w stosunku do sygnału, jest bardziej zauważalny.

Dodanie sygnału dither'a poprawia odczuwalną jakość sygnału poprzez eliminację tonalnych artefaktów błędu kwantyzacji.

##### **Dodanie sygnału dither'a:**

Pierwszy typ dither'a:

Sygnał dither'a powoduje „zamaskowanie” błędów kwantyzacji, rozpraszając je w spektrum częstotliwości.

Zniekształcenia kwantyzacyjne przestają być słyszalne jako stałe zakłócenia, a sygnał staje się bardziej naturalny, choć słychać dodatkowy szum.

Drugi typ dither'a:

Przy zmianie typu dither'a charakterystyka szumu zmienia się. Może być on mniej zauważalny w określonych pasmach częstotliwości, co zależy od charakterystyki spektrum nowego sygnału dither'a.

##### **Kształtowanie błędu kwantyzacji:**

Po powrocie do pierwszego typu dither'a włączane są różne ustawienia kształtowania błędu kwantyzacji:

Łagodne kształtowanie:

Sygnał jest bardziej spójny i mniej zakłócony w słyszalnym zakresie, ale błąd kwantyzacji jest równomierniej rozłożony w całym spektrum częstotliwości.

Silniejsze kształtowanie:

Większa część błędu kwantyzacji jest przesuwana do wyższych częstotliwości, mniej słyszalnych dla ludzkiego ucha. W rezultacie, w słyszalnym zakresie sygnał jest czystszy, ale można usłyszeć delikatne „szumy” o wysokiej częstotliwości.

Najbardziej strome kształtowanie (filtr  $H(z)$ ):

Błąd kwantyzacji jest bardzo agresywnie przesuwany do najwyższych częstotliwości. W słyszalnym zakresie sygnał jest niemal wolny od zniekształceń, ale występuje wyraźny szum w paśmie wysokich częstotliwości.

### **3) 4) Sprawozdanie**

**Skuteczną eliminację zniekształceń harmonicznych w przypadku sygnału muzycznego można zauważyć przy amplitudzie 1 LSB:**

Zniekształcenia harmoniczne są skutecznie eliminowane. Dither o równomiernym rozkładzie i maksymalnej amplitudzie 1 LSB rozprasza błędy kwantyzacji w taki sposób, że przestają one być odbierane jako harmoniczne i stają się nieskorelowanym szumem. W rezultacie sygnał sinusoidalny brzmi czysto, z dodatkiem lekkiego szumu o losowym charakterze.

#### **Wnioski:**

Skuteczna eliminacja zniekształceń harmonicznych zachodzi przy amplitudzie sygnału dither'a zbliżonej do 1 LSB.

Dla amplitud poniżej 0,5 LSB efekt dither'a jest zbyt słaby, aby całkowicie zamaskować błędy kwantyzacji.



## 5) 6) Sprawozdanie

### Wnioski:

Amplituda dither'a równa 1 LSB jest najskuteczniejsza w eliminacji zniekształceń harmonicznym w przypadku sygnału muzycznego. Przy tej wartości błędy kwantyzacji są równomiernie rozproszone i zamienione na losowy szum, który jest mniej uciążliwy dla odbiorcy.

Przy amplitudach poniżej 0,5 LSB efekt maskowania zniekształceń jest niewystarczający, co prowadzi do wyraźniejszego odbioru zniekształceń harmonicznym.

W muzyce akustycznej, takiej jak fortepian, gdzie cichsze fragmenty i wybrzmienia mają istotne znaczenie dla ogólnego odbioru, zastosowanie dither'a o odpowiedniej amplitudzie jest szczególnie słyszalne.

## 7) 8) Sprawozdanie

Dodanie dither'a o równomiernym rozkładzie RPDF i amplitudzie 1 LSB:

Dither z rozkładem RPDF i amplitudą 1 LSB skutecznie rozprasza błędy kwantyzacji, zamieniając je na nieskorelowany szum. W efekcie zniekształcenia harmoniczne są eliminowane, a dźwięk fortepianu brzmi bardziej naturalnie.

Słyszalny jest szum dither'a w tle, który jednak jest mniej uciążliwy niż błędy kwantyzacji.

Dodanie sygnału trójkątnego (wolnozmiennego):

Sygnał trójkątny o zmiennej amplitudzie od 0 do +1 oraz okresie 2 sekund dodany do sygnału fortepianu wprowadza wolnozmienną składową DC (offset), która wpływa na pozycję kwantowania.

Gdy amplituda sygnału trójkątnego jest bliska 0, kwantowanie przebiega w sposób standardowy, a efekty dither'a są najbardziej wyraźne. Sygnał fortepianu brzmi czysto, z dodanym szumem o równomiernym charakterze.

### Wnioski:

Dither z amplitudą 1 LSB skutecznie eliminuje zniekształcenia harmoniczne wynikające z kwantyzacji. Jednakże dodanie wolnozmiennego sygnału trójkątnego powoduje dodatkowe zmiany w sygnale błędu kwantyzacji.

Sygnał trójkątny zmienia charakter kwantowania w sposób periodyczny, co może powodować subtelne efekty modulacyjne w tle, zależne od amplitudy sygnału trójkątnego.

Dla sygnałów muzycznych, takich jak fortepian, zmiany wprowadzane przez sygnał trójkątny są mniej zauważalne, ponieważ są maskowane przez bogatą charakterystykę brzmienia instrumentu.

## **9) 10) Sprawozdanie**

### **Efekt zastosowania dither'a TPDF o amplitudzie 2 LSB:**

Eliminacja zniekształceń harmoniczných:

Dither TPDF o amplitudzie 2 LSB skutecznie eliminuje zniekształcenia harmoniczne w sygnale fortepianu. W odróżnieniu od RPDF, TPDF bardziej równomiernie maskuje błędy kwantyzacji w całym spektrum częstotliwości, co czyni go bardziej efektywnym w usuwaniu tonalnych artefaktów.

Minimalizacja modulacji szumu:

TPDF jest skuteczny w eliminowaniu błędów modulacji szumu. Dzięki swojej charakterystyce rozkładu.

Dither o trójkątnym rozkładzie (TPDF) różni się od dither'a o rozkładzie równomiernym (RPDF) tym, że ma bardziej spłaszczoną energię rozłożoną w całym spektrum częstotliwości.

Dodanie tego typu dither'a sprawia, że szum staje się bardziej jednorodny i pozbawiony cyklicznych zmian, nawet w obecności wolnozmiennego sygnału trójkątnego.

Szum:

Szum generowany przez TPDF jest bardziej „naturalny” i mniej zauważalny, nawet przy zmianach amplitudy offsetu DC. Wolnozmienny sygnał trójkątny nadal wprowadza periodyczne zmiany w błędzie kwantyzacji, ale ich wpływ jest zminimalizowany przez skuteczne maskowanie szumem TPDF.

### **Porównanie z dither'em RPDF:**

W przypadku dither'a RPDF, wolnozmienny offset DC mógł wprowadzać zauważalną modulację szumu, szczególnie w momentach, gdy amplituda sygnału zbliżała się do progu kwantyzacji.

TPDF lepiej radzi sobie z eliminowaniem tych efektów dzięki bardziej efektywnemu rozproszeniu energii szumu, co zapobiega powstawaniu tonalnych artefaktów w tle.

## **Wnioski:**

Dither TPDF o amplitudzie 2 LSB skutecznie eliminuje błędy kwantyzacji oraz redukuje błędy modulacji szumu w przypadku sygnału fortepianu. Jest bardziej efektywny od dither'a RPDF w usuwaniu cyklicznych zmian związanych z wolnozmiennym offsetem DC.

Dzięki zastosowaniu TPDF, błędy kwantyzacji stają się nieskorelowanym, białym szumem, który jest mniej zauważalny dla słuchacza.

W przypadku sygnałów muzycznych, takich jak fortepian, TPDF pozwala zachować naturalny charakter dźwięku, eliminując zniekształcenia harmoniczne oraz minimalizując modulację szumu.

## **11) 12) Sprawozdanie**

### **Omówienie i porównanie:**

#### **Dither TPDF o amplitudzie 2 LSB:**

Najprostszy i najbardziej neutralny, skuteczny w maskowaniu błędów kwantyzacji, ale słyszalny jako biały szum.

Szum jest nieskorelowany z sygnałem, co zapewnia brak zniekształceń tonalnych lub artefaktów.

Dither TPDF skutecznie maskuje błędy kwantyzacji, ale jego obecność jest wyraźnie słyszalna jako szum o neutralnym charakterze.

#### **Filtrowany górnoprzepustowo dither:**

Redukuje szum w dolnym zakresie częstotliwości, co zmniejsza jego zauważalność w cichych partiach.

Szum w niskim zakresie częstotliwości jest redukowany, co sprawia, że jego obecność jest mniej zauważalna w przypadku sygnałów muzycznych lub wrażliwych partii audio.

Wrażenie subiektywnej głośności szumu jest zmniejszone w porównaniu do klasycznego TPDF, ale szum może być bardziej słyszalny na wyższych częstotliwościach, szczególnie w cichym otoczeniu.

#### **Dither kształtowany filtrem 1-go rzędu:**

Zwiększa efektywność maskowania szumu poprzez przesunięcie energii do wyższych częstotliwości.

Szum staje się mniej słyszalny w niższym zakresie częstotliwości, co korzystnie wpływa na subiektywne postrzeganie czystości sygnału w przypadku cyfrowej ciszy.

Kształtowanie filtrem 1-go rzędu jest stosunkowo proste, ale skutecznie zmniejsza zauważalność szumu w dolnym paśmie.

#### **Dither kształtowany filtrem 9-go rzędu:**

Najbardziej zaawansowany, minimalizuje subiektywną słyszalność szumu dzięki uwzględnieniu charakterystyki słuchu ludzkiego.

Szum jest minimalnie zauważalny w najbardziej wrażliwym zakresie częstotliwości (1–5 kHz) i jest bardziej skoncentrowany w wyższych częstotliwościach, gdzie ucho ludzkie jest mniej czułe.

Ten typ kształtowania szumu jest najbardziej efektywny w zmniejszaniu subiektywnego wrażenia obecności szumu, co czyni go idealnym dla zastosowań wysokiej jakości, takich jak mastering audio.

#### **Podsumowanie obserwacji:**

Dither kształtowany filtrem 9-go rzędu jest najbardziej skuteczny w eliminacji błędów kwantyzacji i minimalizacji subiektywnej słyszalności szumu. Dzięki uwzględnieniu krzywych izofonicznych szum staje się niemal niezauważalny w najbardziej wrażliwych częstotliwościach.

### **Zadanie 4. Jitter i błędy synchronizacji zegarów**

#### **1) 2) Sprawozdanie**

Wnioski i obserwacje z obecność zniekształceń wynikających z modulacji zegara taktującego:

Zastosowanie modulacji sygnałem prostokątnym (jitter1) o częstotliwości 8 kHz powoduje wprowadzenie okresowych zniekształceń w sygnale. Są one związane z dodatkowymi harmonicznymi, które pojawiają się w widmie częstotliwościowym.

Modulacja sygnałem szumowym (jitter2) generuje losowe przesunięcia fazowe i częstotliwościowe. Powoduje to rozmycie widma sygnału i trudności w wyodrębnieniu pierwotnej częstotliwości.

Modulacja sygnałem o niskiej częstotliwości (jitter3) prowadzi do powolnych zmian w częstotliwości i fazie sygnału. W efekcie pojawiają się nagłe zmiany wysokości dźwięku, które są bardziej zauważalne dla ludzkiego ucha.

### **Subiektywne odczucia słuchowe:**

Sygnał z jitter1 (8 kHz) ma charakterystykę "metaliczną" oraz "piskliwą" z uwagi na obecność wyraźnych harmonicznnych.

Sygnał z Jitter2 (szum) ma charakterystykę "chropowatą" oraz "nie dokładną".

Sygnał z Jitter3 (niskie częstotliwości) ma charakterystykę powolnych "drgań" oraz "fal".

### **3) 4) Sprawozdanie**

#### **Wpływ modulacji zegara taktującego na dźwięk fletu:**

Modulacja sygnałem prostokątnym (jitter1):

Regularna modulacja o częstotliwości 8 kHz wprowadza harmoniczne do widma dźwięku. W przypadku fletu, którego dźwięk charakteryzuje się bogatym widmem harmonicznnych, dodatkowe składowe harmoniczne są odbierane jako nienaturalne. Powoduje to "metaliczne" zabarwienie dźwięku, które zakłóca jego czystość.

Modulacja sygnałem szumowym (jitter2):

Szumowa modulacja zegara powoduje losowe przesunięcia częstotliwości i fazy, co skutkuje rozmyciem widma dźwięku. Efektem jest pogorszenie klarowności i wyrazistości dźwięku fletu.

Modulacja sygnałem o niskiej częstotliwości (jitter3):

Modulacja o niskiej częstotliwości prowadzi do powolnych fluktuacji częstotliwości i fazy. W przypadku dźwięku fletu słyszalne jest nieregularne "kołysanie" przy zmianie wysokości dźwięku, które zakłócaj płynność melodii.

#### **Odczucia słuchowe:**

Jitter1: Dźwięk ma charakterystykę "metaliczną" trochę "syntetyczną", co powoduje dysonans poznawczy względem naturalnego brzmienia fletu.

Jitter2: Wprowadzenie szumów zmienia charakterystykę dźwięku powodując "ziarnistość", "szorstkość", "rozmycie co obniża klarowność dźwięku.

Jitter3: Fluktuacje o niskiej częstotliwości mają charakterystykę przypominającą "niestabilność" lub też "kołysanie" dźwięku.

## **5) 6) Sprawozdanie**

### **Subiektywne wrażenie słuchowe:**

Sinusoida 19 kHz: Zniekształcenia są bardziej słyszalne i przypominają "brzęczenie" podobne do harmonicznym o niższych częstotliwościach, wynikające z aliasingu.

Sinusoida 13 kHz: Zniekształcenia są mniej intensywne, przypominają "drgania" lub "metaliczność" w sygnale.

**Zniekształcenia są bardziej słyszalne w przypadku sinusoidy o częstotliwości 19 kHz. Dzieje się tak z ze względu na:**

Aliasing:

Wyższa częstotliwość 19 kHz jest bliższa częstotliwości Nyquista. Przy braku synchronizacji łatwiej dochodzi do aliasingu, w wyniku którego powstają niepożądane składowe w niższych częstotliwościach.

Wyższą podatność na jitter:

Wyższe częstotliwości są bardziej wrażliwe na błędy czasowe (jitter) i brak precyzyjnego próbkowania, co skutkuje większymi zniekształceniami.