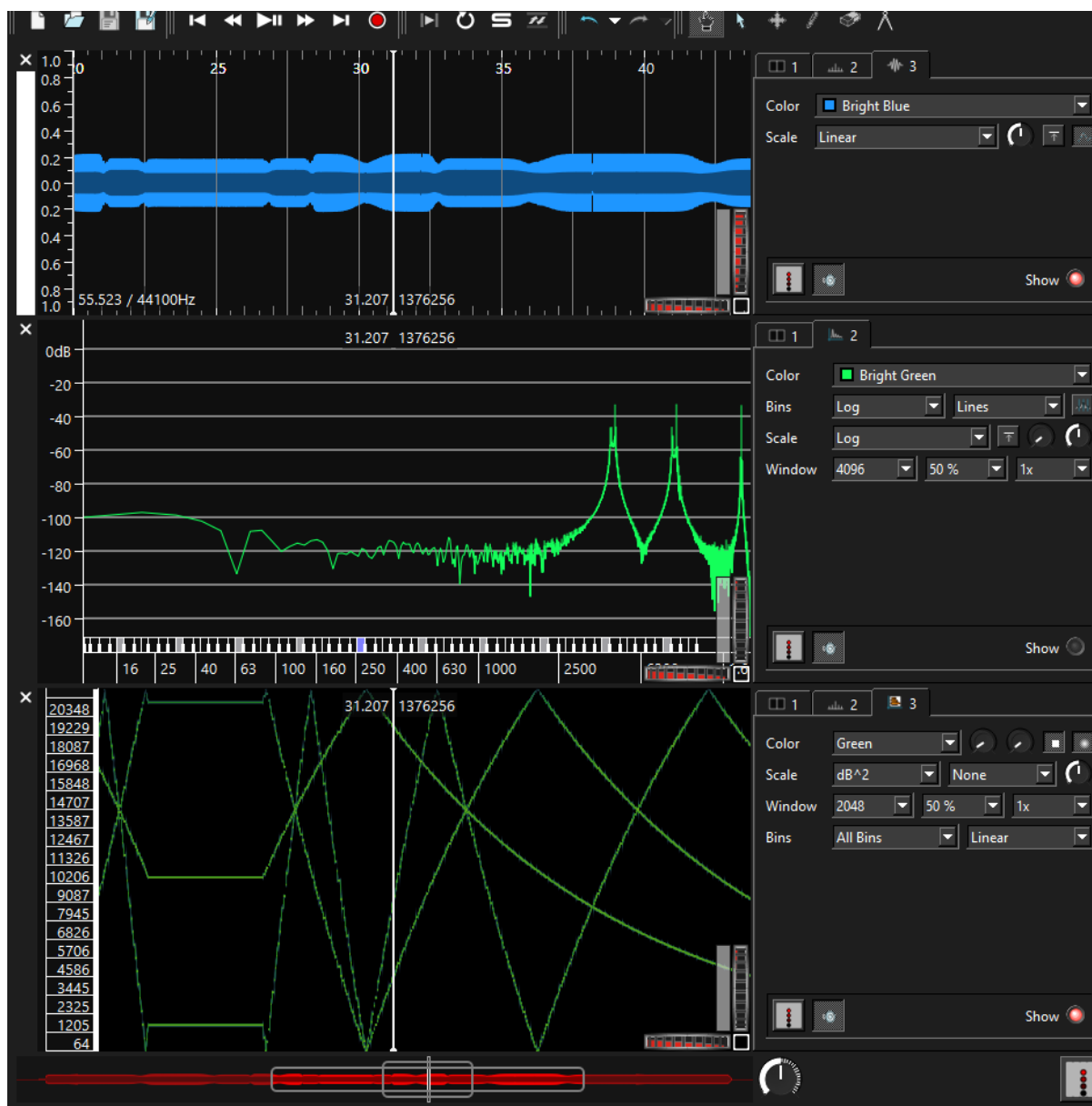


Zadanie 1. Próbkowanie



Na początku odtłuchu na drugim wykresie (widma) możemy zauważyć 4 piki dla 2kHz, 4kHz, 8kHz i 16kHz. Widać je też na spektrogramie poniżej jako 4 nieprzecinające się linie. Wraz z odtwarzaniem się pliku audio widać jak widma przesuwają się wzdłuż zakresu częstotliwości. W momentach gdy dwa widma nachodzą na siebie na spektrogramie widać jak ich linie przecinają się. Gdy widma przesuwają się w stronę rosnących częstotliwości odpowiadające im linie na spektrogramie można opisać funkcją rosnącą. Funkcją malejącą gdy widma przesuwają się w drugą stronę.

Porównanie Original_piano.wav, Original_piano_sampled_at8kHz_sample1.wav oraz Original_piano_sampled_at8kHz_sample2.wav

Oryginał

W oryginale ścieżce dźwiękowej słychać szumy.

Sample1

W drugiej ścieżce słychać spłaszczony dźwięk oraz szumy. Szum może być spowodowany brakiem użycia filtru antyaliasingowego

Sample2

Jest to najprzyjemniejszy do odsłuchiwania utwór. Brak szumów i brak spłaszczonego dźwięku sugerują poprawne próbkowanie z użyciem filtru antyaliasingowego

Zadanie 1. Kwantyzacja

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik [quantization_sinus_mono_loweringBitDepth.wav](#). Proszę dokonać analizy w dziedzinie czasu (przybliżenie w czasie umożliwiające obserwację przebiegu czasowego próbek) oraz dziedzinie częstotliwości (zobrazowanie widma Pane -> Spectrum) i widma w czasie (Pane -> Spectrogram) z domyślnymi ustawieniami. Plik dźwiękowy rozpoczyna się od sygnału skwantowanego do 16 bitów i co pewien czas rozdzielczość bitowa jest zmniejszana o 1 bit, aż do docelowej. Następnie rozdzielczość jest ponownie zwiększana aż do 24 bitów.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać, w której sekundzie trwania pliku dźwiękowego kwantyzacja jest 3 bitowa, w jaki sposób to określono oraz w jaki sposób objawia się błąd kwantyzacji w dziedzinie częstotliwości, czasu i wrażeniowo podczas odsłuchiwania?



Jak widać około 21 sekundy możemy zauważyć już kwantyzację 3 bitową. Można łatwo to zauważyć ponieważ oznacza to że liczba unikalnych poziomów amplitudy wynosi $2^3 \rightarrow 8$ w dziedzinie czasu. Dodatkowo słychać znaczne pogorszenie jakości dźwięku.

Wnioski:

- Błąd kwantyzacji w dziedzinie czasu jest widoczny jako ograniczona liczba poziomów amplitudy, co prowadzi do zniekształceń.
- W dziedzinie częstotliwości błędy te są reprezentowane jako szum, który wzrasta wraz ze zmniejszaniem liczby bitów.
- Podczas odsłuchu jakość dźwięku drastycznie spada wraz z obniżeniem liczby bitów, co powoduje, że dźwięk staje się szumiący i zniekształcony.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik

[Piano 16b to 2b to 16b quantizer1.wav](#) oraz

[Piano 16b to 2b to 16b quantizer2.wav](#). Proszę dokonać analizy podobnej jak w punkcie 1. Plik jest skonstruowany tak, że oryginalne nagranie partii fortepianu jest skwantowane do 16 bitów, następnie rozdzielczość kwantyzatora jest zmniejszana do 2 bitów i ponownie zwiększana do 16 bitów.

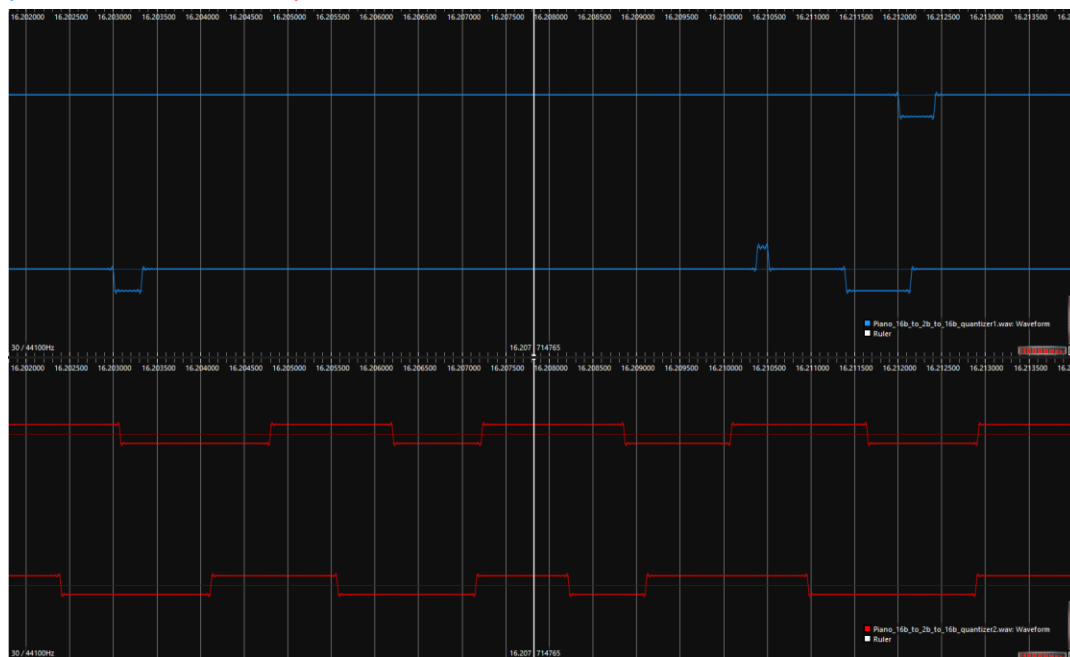
W **sprawozdaniu** proszę określić, jakiego rodzaju kwantyzator został wykorzystany w przygotowaniu próbki dźwiękowej (mid-tread czy mid-rise?).

Można określić kwantyzator dzięki analizie w dziedzinie czasu

Oto następujące kroki:

- Przybliż sygnał (zoom), aby zaobserwować przebieg czasowy próbek.
- Skup się na momentach, w których liczba bitów została zredukowana do 2 bitów. Powinieneś zauważyć:
 - Ograniczoną liczbę poziomów amplitudy (dla 2-bitowej kwantyzacji 4 poziomy).
- Sprawdź, czy zero znajduje się dokładnie na jednym z poziomów kwantyzacji (charakterystyka **mid-tread**) czy pomiędzy dwoma poziomami (charakterystyka **mid-rise**).

Bardzo dobrze można to zauważyć na ilustracji poniżej gdzie na **niebiesko** jest pokazany **plik 1** a na **czerwono** **plik 2**



A więc **mid-tread** to **quantizer1** a **mid-rise** to **quantizer2**

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik `quantization_music_1_8bit_fade_error_compensated.wav` oraz `quantization_music_2_8bit_fade_error_compensated.wav`. Proszę dokonać analizy podobnej jak w punkcie 1. Plik jest skonstruowany tak, że oryginalne nagranie muzyki jest skwantowane do 8 bitów i w miarę trwania utworu jest zmniejszany poziom sygnału przed kwantyzatorem (docelowo do -28dB) i jednocześnie za kwantyzatorem poziom sygnału jest kompensowany tak, aby było wyraźnie słychać błąd kwantyzacji na tle sygnału oryginalnego.

W idealnych warunkach (np. dla równomiernego rozkładu sygnału wejściowego i kwantyzacji z dużą liczbą bitów) błąd kwantyzacji można traktować jako:

- Addytywny szum: Dodany do sygnału jako losowy komponent.
- Niezależny od sygnału wejściowego: Przy założeniu równomiernego rozkładu amplitud sygnału.

Jednakże w rzeczywistych warunkach, gdy sygnał ma niski poziom amplitudy, błąd kwantyzacji przestaje być równomierny i zaczyna zależeć od sygnału wejściowego.

W momentach wysokiego poziomu sygnału wejściowego (przed fade-out) błąd kwantyzacji jest maskowany i mało słyszalny. W miarę zmniejszania poziomu sygnału wejściowego błąd kwantyzacji staje się wyraźnie słyszalny jako szum, a wrażenie jakości dźwięku ulega pogorszeniu.

Wnioski

Wysokie poziomy sygnału maskują błąd kwantyzacji, co pozwala traktować go jako szum addytywny i niezależny. Przy niskich poziomach sygnału błąd kwantyzacji staje się zależny od sygnału wejściowego, a jego charakterystyka zmienia się w zależności od kształtu sygnału. W takich warunkach nie można w pełni traktować błędu kwantyzacji jako addytywnego ani niezależnego od sygnału.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik `quantization_music_3_8bit_to_16b_downto_3_andback_to_24b.wav`. Proszę dokonać analizy podobnej jak w punkcie 1. Plik jest skonstruowany tak, że oryginalne nagranie muzyki jest skwantowane do 8 bitów, od pewnego momentu w czasie kwantyzator jest ustawiony od 16 bitów i rozdzielczość jest zmniejszana do 3 bitów. Następnie rozdzielczość jest zmieniana do 24 bitów. W sprawozdaniu proszę opisać wrażenia słuchowe oraz wnioski dot. tego czy błąd kwantyzacji może być traktowany jako addytywny i niezależny od sygnału wejściowego o parametrach niezmiennych w czasie. Proszę również wyjaśnić skąd bierze się dodatkowa informacja wysokoczęstotliwościowa, której w pewnych momentach w czasie nie ma w sygnale oryginalnym.

Wrażenia słuchowe:

1. Przy 16-bitowej kwantyzacji:

- Dźwięk jest wysokiej jakości, brak słyszalnych zniekształceń.
- Błąd kwantyzacji jest dobrze maskowany przez oryginalny sygnał muzyczny.

2. Przy 3-bitowej kwantyzacji:

- Słyszalny jest znaczący spadek jakości dźwięku.
- Sygnał staje się szumiący i zniekształcony, co wynika z ograniczonej liczby poziomów amplitudy.
- Dźwięk brzmi źle i szumi.

3. Przy 24-bitowej kwantyzacji:

- Jakość dźwięku jest znacznie lepsza, błędy kwantyzacji są niemal niesłyszalne.
- Dźwięk brzmi bardzo naturalnie, dzięki wysokiej rozdzielczości amplitudy.

Czy błąd kwantyzacji może być traktowany jako addytywny i niezależny od sygnału wejściowego?

Przy wysokich rozdzielczościach kwantyzacji (16-bit i 24-bit) błąd kwantyzacji może być traktowany jako addytywny i niezależny od sygnału.

Przy 3-bitowej kwantyzacji błąd kwantyzacji jest silnie zależny od sygnału wejściowego, co skutkuje powtarzalnymi wzorcami zniekształceń i brakiem równomiernego rozkładu szumu.

Skąd bierze się dodatkowa informacja wysokoczęstotliwościowa?

- **Źródło dodatkowych składników wysokoczęstotliwościowych:**
 - Przy niskiej rozdzielczości kwantyzacji (np. 3-bitowej) błąd kwantyzacji wprowadza **nieliniowe zniekształcenia**, które generują dodatkowe harmoniczne i artefakty wysokoczęstotliwościowe.
 - Te harmoniczne nie są obecne w oryginalnym sygnale i pojawiają się jako efekt ograniczonej liczby poziomów amplitudy oraz nieliniowego charakteru procesu kwantyzacji.
- **Dlaczego są bardziej zauważalne w określonych momentach?**
 - Przy niskich amplitudach sygnału wejściowego błąd kwantyzacji staje się bardziej dominujący, ponieważ sam sygnał jest zbyt słaby, aby skutecznie maskować zakłócenia.
 - Wysokie częstotliwości są bardziej widoczne w widmie, ponieważ szum kwantyzacji ma charakter szerokopasmowy i jest łatwiej zauważalny przy ograniczonej liczbie bitów

Wnioski

Błąd kwantyzacji jest mniej zauważalny przy wysokich rozdzielczościach (16-bit i 24-bit), ale bardzo słyszalny przy 3-bitowej kwantyzacji, co powoduje znaczące zniekształcenia i szumy.

W wysokiej rozdzielczości błąd kwantyzacji może być traktowany jako addytywny i niezależny od sygnału.

Przy niskiej liczbie bitów (np. 3-bitowej) błąd kwantyzacji staje się zależny od sygnału i generuje nieliniowe zniekształcenia.

Dodatkowe składniki wysokoczęstotliwościowe powstają w wyniku nieliniowego charakteru procesu kwantyzacji i są szczególnie widoczne przy niskiej liczbie bitów.

Zadanie 3. Dithering i kształtowanie szumu rekwantyzacji

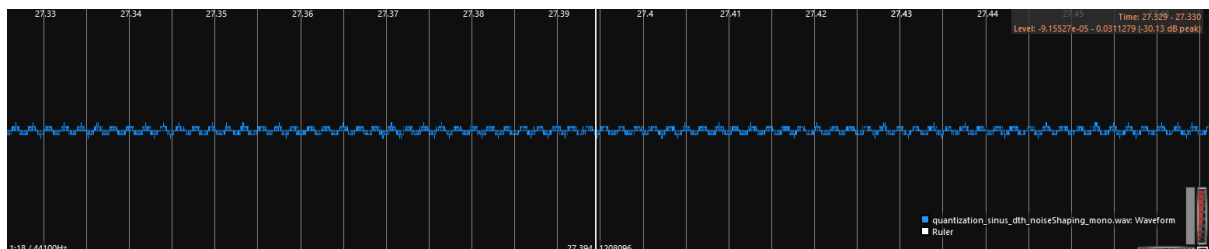
Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik [quantization_sinuso_dth_noiseShaping_mono.wav](#). Proszę dokonać analizy w dziedzinie czasu (przybliżenie w czasie umożliwiające obserwację przebiegu czasowego próbek) oraz dziedzinie częstotliwości (zobrazowanie widma Pane -> Spectrum) i widma w czasie (Pane -> Spectrogram) z domyślnymi ustawieniami. Plik dźwiękowy rozpoczyna się od sygnału skwantowanego do 8 bitów i w miarę trwania jest zmniejszany poziom sygnału przed kwantyzatorem (docelowo do -28dB) i jednocześnie za kwantyzatorem poziom sygnału jest kompensowany tak, aby było wyraźnie słychać błąd kwantyzacji na tle sygnału oryginalnego. Następnie włączany jest pierwszy typ sygnału dither'a, potem kolejny, a następnie zostawiony zostaje dither pierwszy, a zmianie ulegają ustawienia kształtowania błędów kwantyzacji - najpierw jest to ustawienie łagodnego kształtowania, potem większego i na końcu błąd kwantyzacji jest kształtowany za pomocą najbardziej stromego filtra $H(z)$.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać wnioski i obserwacje dotyczące tego, co zmienia się w sygnale w trakcie dodawania różnych rodzajów sygnału dither'a oraz różnych ustawień kształtowania błędu kwantyzacji.

Początek

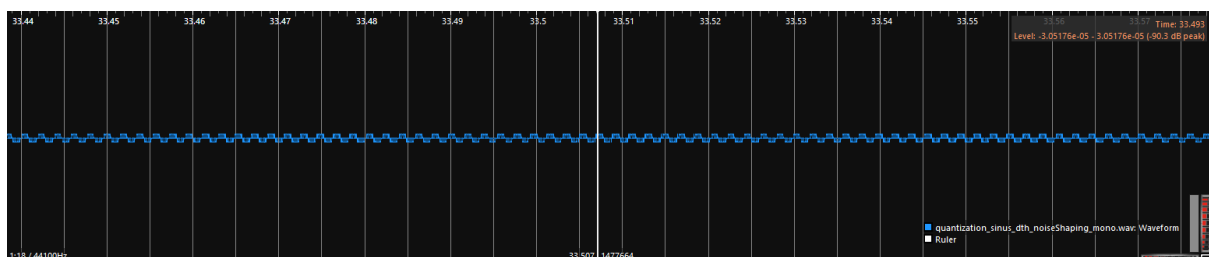
Do około 21 pierwszej sekundy możemy zaobserwować spadek mocy sygnału przed skwantowania.

pierwszy typ sygnału dither'a



Od około 21 oraz potem od 35 do 40 sekundy Widać dodane zakłócenia. Jest on również widoczny w spektrum oraz na przebiegu. Trwa to do około 29 sekundy.

kolejny typ sygnału dither'a



od 29 do 35 sekundy możemy usłyszeć że słychać przetączenie się na drugi typ dither'a. Jest on słyszalny jako szum lecz trochę łżej niż w poprzednim przypadku.

Wydaje się on natomiast generować mniejszy rozrzucone punkty które po oddaleniu bardziej przypominają początkowy sygnał

pierwszy typ sygnału dither'a - łagodne ustawienia kształtowania błędów kwantyzacji

Od 40 znów można zauważyć zmianę znów słyszalny jest szum i widoczny jest szum w spektrum oraz na przebiegu czasowym. W widmie można zauważyć, że energia szumu jest skoncentrowana w górnych partiach zakresu częstotliwości. To sprawia, że szum jest mniej słyszalny

pierwszy typ sygnału dither'a - średnie ustawienia kształtowania błędów kwantyzacji

Od 47 sekundy Większa ilość energii błędu kwantyzacji jest przesunięta do jeszcze wyższych częstotliwości. W spektrogramie można zauważyć wyraźne podniesienie poziomu szumu w wysokich częstotliwościach.

pierwszy typ sygnału dither'a - najbardziej strome ustawienia kształtowania błędów kwantyzacji

Od 57 Szum kwantyzacji jest prawie całkowicie przeniesiony do najwyższego zakresu częstotliwości. Wrażeniowo szum jest praktycznie niesłyszalny w większości przypadków, co poprawia jakość percepcji sygnału.

Wnioski

Dodanie dither'a skutecznie eliminuje deterministyczne artefakty błędu kwantyzacji, czyniąc szum bardziej neutralnym i równomiernym.

Kształtowanie błędu kwantyzacji pozwala na przeniesienie energii szumu do zakresów mniej słyszalnych, co znacząco poprawia jakość dźwięku.

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

$H(z)$ jest najbardziej skuteczne w minimalizowaniu percepcji błędu kwantyzacji, ale zwiększa energię w bardzo wysokich częstotliwościach.

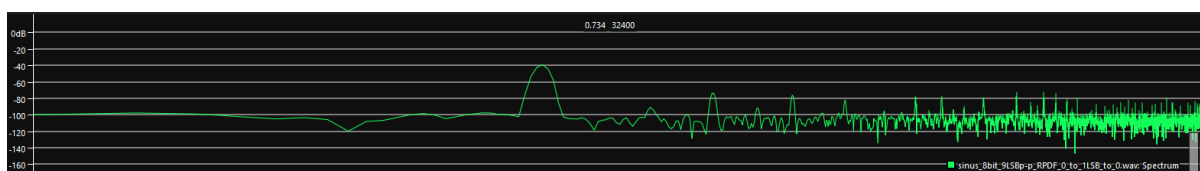
Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik [sinus_8bit_9LSBp-p_RPDF_0_to_1LSB_to_0.wav](#). Proszę dokonać analizy jak w punkcie 1. Plik dźwiękowy zawiera sygnał sinusoidalny o częstotliwości 300Hz skwantowany do 8 bitów z wykorzystaniem dither'a o równomiernym rozkładzie RPDF i amplitudzie zmieniającej się od 0 do 1LSB i z powrotem do 0. Dla lepszego zobrazowania efektu plik dźwiękowy [error_sinus_8bit_9LSBp-p_RPDF_0_to_1LSB_to_0.wav](#) zawiera tylko sygnał błędów kwantyzacji.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać wnioski i obserwacje dotyczące tego przy jakiej amplitudzie sygnału dither'a można zauważyć skuteczną eliminację zniekształceń harmoniczných.

Wnioski do sprawozdania

1. Obserwacje przed dodaniem dither'a (amplituda 0 LSB):

- Błąd kwantyzacji ma charakter deterministyczny, co oznacza, że zniekształcenia harmoniczne. Są one widoczne w widmie i spektrogramie.



- Zniekształcenia harmoniczne wynikają z nieliniowości procesu kwantyzacji, co prowadzi do dodania nowych składowych częstotliwościowych.

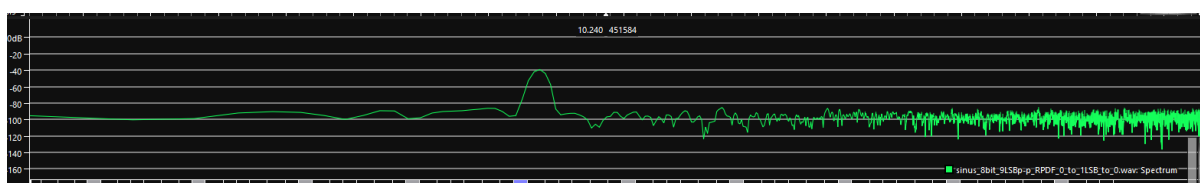
2. Obserwacje dla amplitudy dither'a od 0 do 1 LSB:

Amplituda dither'a 0.5 LSB:

- Składowe harmoniczne w widmie zaczynają zanikać, ale mogą być jeszcze widoczne w widmie i spektrogramie.
- Szum wprowadzony przez dither staje się zauważalny, ale nie eliminuje jeszcze w pełni zniekształceń harmoniczných.
- Błąd kwantyzacji staje się bardziej losowy, co eliminuje deterministyczne wzorce w sygnale.

Amplituda dither'a 1 LSB:

- Składowe harmoniczne praktycznie zanikają w widmie.



- W spektrogramie widać, że energia szumu dither'a równomiernie wypełnia cały zakres częstotliwości, co skutecznie maskuje błąd kwantyzacji.

3. Obserwacje przy zmniejszaniu amplitudy dither'a z powrotem do 0:

- Przy zmniejszaniu amplitudy dither'a z powrotem do 0 LSB zniekształcenia harmoniczne stopniowo powracają.

4. Wnioski dotyczące eliminacji zniekształceń harmonicznych:

- Skuteczna eliminacja zniekształceń harmonicznych następuje przy amplitudzie dither'a zbliżonej do 1 LSB (czyli maksymalnej amplitudzie szumu równomiernego).
- Dodanie dither'a o amplitudzie 1 LSB zmienia błąd kwantyzacji z deterministycznego na losowy, dzięki czemu zniekształcenia harmoniczne są skutecznie eliminowane zarówno w widmie, jak i wrażeniowo podczas odsłuchu.

Podsumowanie

Dither o równomiernym rozkładzie RPDF i amplitudzie 1 LSB jest najbardziej skuteczny w eliminacji zniekształceń harmonicznych wynikających z kwantyzacji. Wprowadzenie dither'a powoduje, że błąd kwantyzacji staje się szumem o równomiernym rozkładzie energii w widmie, co czyni go mniej słyszalnym i maskuje efekty kwantyzacji.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik piano_8bit_9LSBp-p_RPDF_0_to_1LSB_to_0.wav. Proszę dokonać analizy jak w punkcie 1. Plik dźwiękowy zawiera nagranie fortepianu skwantowane do 8 bitów z wykorzystaniem dither'a o równomiernym rozkładzie RPDF i amplitudzie zmieniającej się od 0 do 1LSB i z powrotem do 0. Dla lepszego zobrazowania efektu plik dźwiękowy error_piano_8bit_9LSBp-p_RPDF_0_to_1LSB_to_0.wav zawiera tylko sygnał błędów kwantyzacji. W sprawozdaniu proszę zapisać wnioski i obserwacje dotyczące tego przy jakiej amplitudzie sygnału dither'a można zauważyć skuteczną eliminację zniekształceń harmoniczných w przypadku sygnału muzycznego.

Wnioski

1. Obserwacje dla amplitudy dither'a 0 LSB:

- Przy braku dither'a (amplituda 0 LSB) sygnał fortepianu zawiera wyraźne zniekształcenia harmoniczne.
- Zniekształcenia harmoniczne wynikają z deterministycznego charakteru błędów kwantyzacji, co powoduje dodanie niepożądanych składowych częstotliwościowych do sygnału muzycznego.
- Podczas odsłuchu można zauważyć sztuczne brzmienie dźwięku, szczególnie w cichszych fragmentach.

2. Obserwacje dla amplitudy dither'a 0.5 LSB:

- Gdy amplituda dither'a osiąga około 0.5 LSB, zniekształcenia harmoniczne zaczynają być mniej widoczne w widmie.
- W spektrogramie widać, że część energii harmoniczných jest maskowana przez równomiernie rozłożony szum.
- Podczas odsłuchu dźwięk staje się bardziej płynny i mniej sztuczny, ale zniekształcenia harmoniczne są jeszcze słyszalne w cichszych fragmentach.

3. Obserwacje dla amplitudy dither'a 1 LSB:

- Przy amplitudzie dither'a równej 1 LSB zniekształcenia harmoniczne zanikają praktycznie całkowicie w widmie.
- W spektrogramie widoczny jest równomierny rozkład szumu, który skutecznie maskuje błędy kwantyzacji.
- Podczas odsłuchu sygnał brzmi naturalnie, bez słyszalnych zniekształceń harmoniczných. Szum dalej jest słyszalny, ale samo brzmienie pianina jest naturalne.

4. Obserwacje przy zmniejszaniu amplitudy dither'a z powrotem do 0 LSB:

- Wraz z ponownym zmniejszaniem amplitudy dither'a do 0 LSB zniekształcenia harmoniczne zaczynają się pojawiać a dźwięk staje się bardziej sztuczny i mniej naturalny, szczególnie w cichszych fragmentach nagrania.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj

plik [piano_faded_8bit_RPDF1LSB_rampDCOffset_changing.wav](#). Proszę dokonać analizy jak w punkcie 1. Plik dźwiękowy zawiera nagranie fortepianu skwantowane do 8 bitów z wykorzystaniem dither'a o równomiernym rozkładzie RPDF i amplitudzie 1LSB.

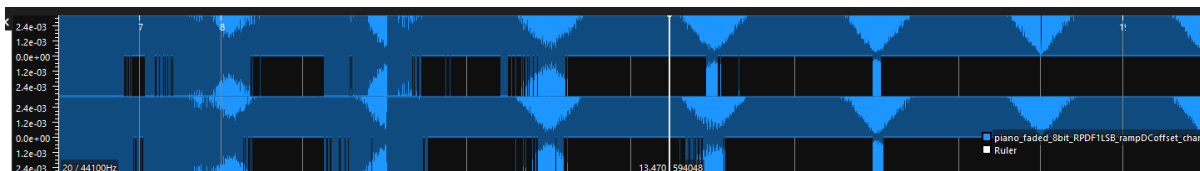
Dodatkowo do sygnału jest dodany sygnał wolnozmienny trójkątny o zmiennej amplitudzie od 0 do +1 z okresem 2 sekund. Dla lepszego zobrazowania efektu plik dźwiękowy [error_piano_faded_8bit_RPDF1LSB_rampDCOffset_changing.wav](#) zawiera tylko sygnał błędu kwantyzacji.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać wnioski i obserwacje.

Wnioski do sprawozdania

1. Wpływ dodania wolnozmiennego offsetu DC:

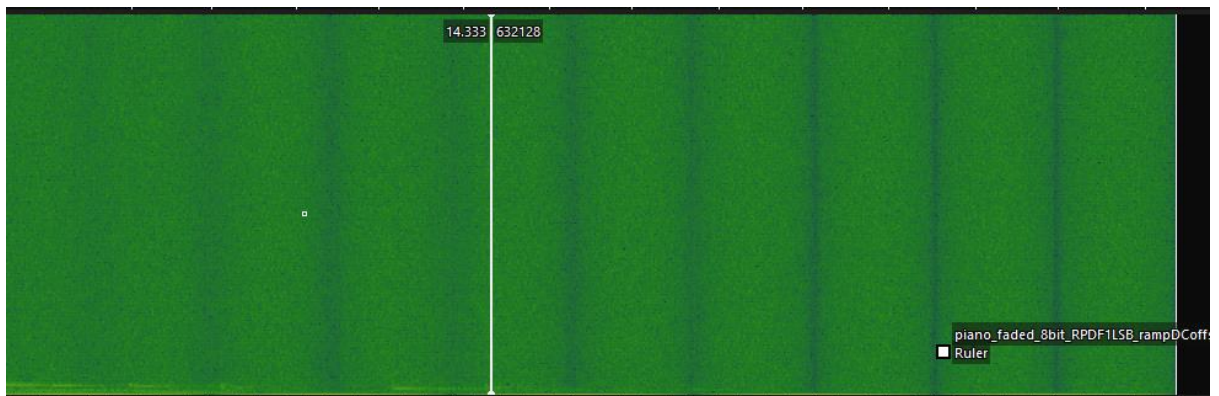
- Sygnał wolnozmienny trójkątny o zmiennej amplitudzie powoduje, że wartość średnia sygnału (DC offset) dryfuje w czasie.
- W dziedzinie czasu offset DC objawia się jako przesunięcie sygnału w górę osi poziomej.



2. Obserwacje dotyczące błędu kwantyzacji:

- Dla offsetu DC bliskiego 0 LSB błąd kwantyzacji rozkłada się równomiernie, co potwierdza obecność ditheringu z rozkładem RPDF (Random Probability Density Function).
- W miarę wzrostu amplitudy offsetu DC (blisko +1 LSB) w sygnale błędu kwantyzacji można zaobserwować pewne zmiany w rozkładzie energii widmowej. Na sam koniec utworu zostaje tylko szum i nie słychać już dźwięku pianina. Słychać jak co 1 sekundy szum staje się głośniejszy po czym znów wraca do

początkowej głośności. Widać te momenty na spektrogramie poniżej



3. Charakterystyka błędu kwantyzacji:

- Przy zastosowaniu ditheringu błąd kwantyzacji pozostaje losowy i równomiernie rozłożony, niezależnie od zmiany offsetu DC.
- Zmiany widoczne w spektrogramie oraz widmie sygnału wynikają z samej obecności wolnozmiennego offsetu i jego wpływu na dynamikę sygnału.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj

plik [piano_faded_8bit_TPDF1LSB_rampDCoffset_changing.wav](#). Proszę dokonać analizy jak w punkcie 1. Plik dźwiękowy zawiera nagranie fortepianu skwantowane do 8 bitów z wykorzystaniem dither'a o trójkątnym rozkładzie TPDF i amplitudzie 2LSB. Dodatkowo do sygnału jest dodany sygnał wolnozmienny trójkątny o zmiennej amplitudzie od 0 do +1 z okresem 2 sekund. Dla lepszego zobrazowania efektu plik dźwiękowy [error_piano_faded_8bit_TPDF1LSB_rampDCoffset_changing.wav](#) zawiera tylko sygnał błędu kwantyzacji.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać wnioski i obserwacje. Czy inny rodzaj dither'a skutecznie eliminuje błędy modulacji szumu?

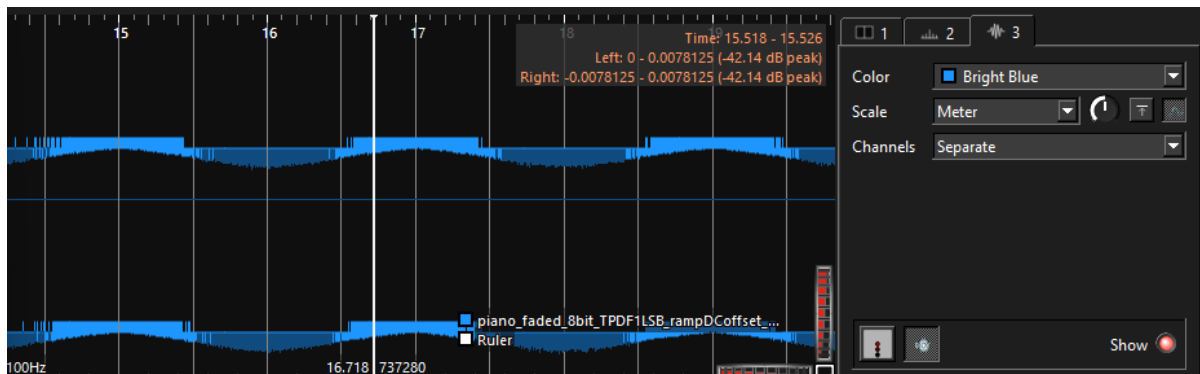
Ponownie jak ostatnio przez to że do sygnału oryginalnego dodawany jest sygnał wolnozmienny trójkątny o zmiennej amplitudzie od 0 do +1 z okresem 2 sekund z czasem słysząc już tylko szum

Dithering o trójkątnym rozkładzie prawdopodobieństwa (TPDF) różni się od równomiernego (RPDF) tym, że jego wartość średnia wynosi zero i ma bardziej równomierny wpływ na eliminację nieliniowych błędów kwantyzacji.

PDF skuteczniej eliminuje błędy modulacji szumu, ponieważ nie wprowadza korelacji między sygnałem a błędem kwantyzacji.

Analiza w dziedzinie czasu:

- Wolnozmienny offset DC objawia się jako stopniowe przesunięcie sygnału w górę i w dół względem osi czasowej.



- W sygnale błędu kwantyzacji offset DC zmienia sposób, w jaki szum jest dystrybuowany w czasie, ale dzięki zastosowaniu TPDF ditheringu błąd pozostaje losowy i niezależny od sygnału.

Analiza w dziedzinie częstotliwości:

- W widmie sygnału błędu kwantyzacji brak jest wyraźnych składowych harmoniczných, które mogłyby wskazywać na zniekształcenia deterministyczne.
- Dithering TPDF skutecznie maskuje błędy kwantyzacji, co objawia się równomiernym rozkładem energii szumowej w paśmie częstotliwości.

Analiza widma w czasie:

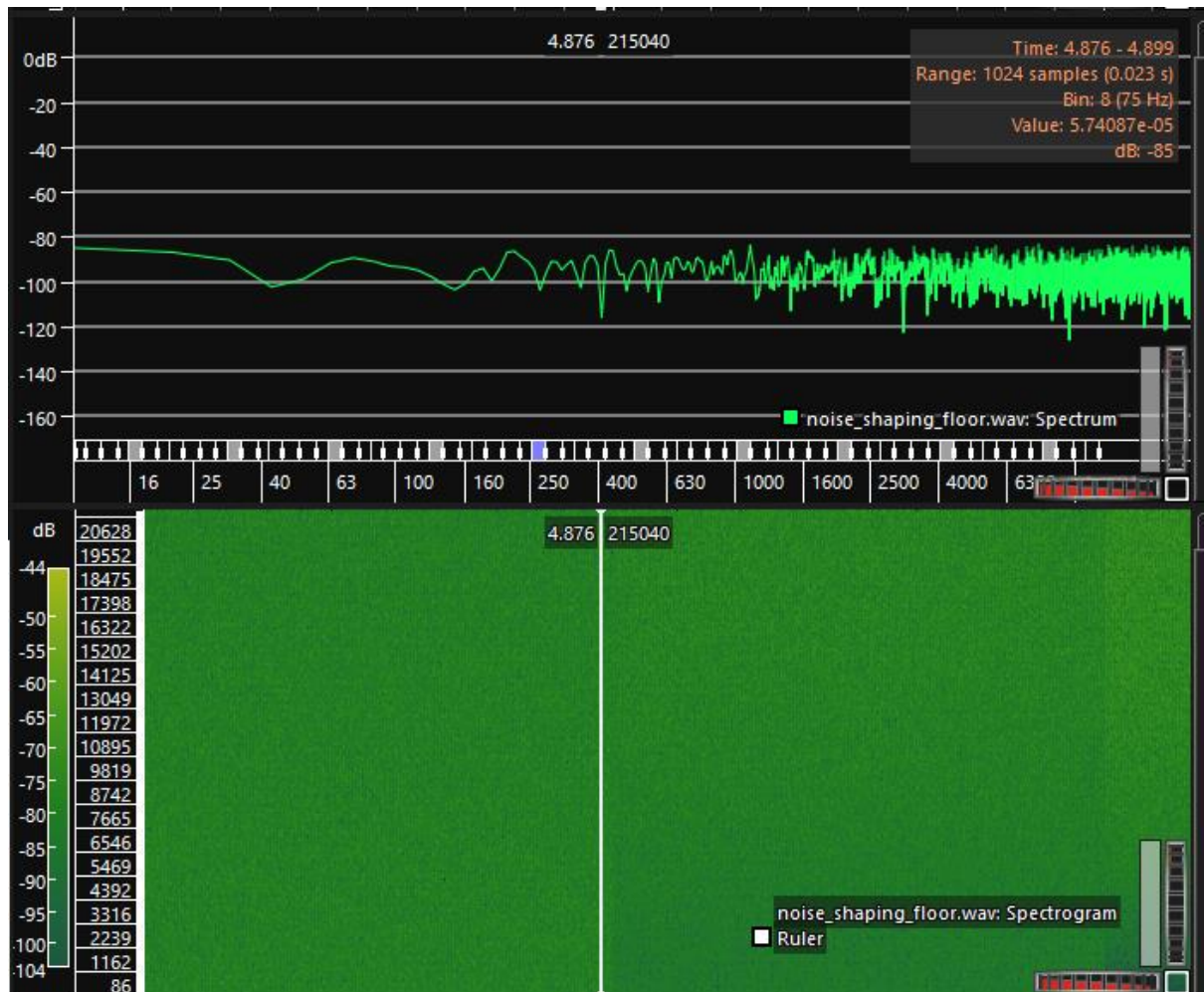
- Modulacja szumu (obserwowana przy użyciu RPDF) jest zredukowana, co sugeruje, że dithering TPDF eliminuje błędy modulacji w większym stopniu.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj plik noise_shaping_floor.wav. Proszę dokonać analizy jak w punkcie 1. Plik dźwiękowy zawiera cyfrową ciszę zapisaną na 8 bitach w 5-sekundowych blokach, z których w kolejności: dither TPDF 2LSB, filtrowany górnoprzepustowo dither TPDF 2LSB, dither TPDF 2LSB kształtowany filtrem 1-szego rzędu i dither TPDF 2LSB kształtowany funkcją 9-tego rzędu ważoną charakterystykami odwrotnymi do krzywych izofonicznych. Taka sekwencja jest powtórzona 2 razy.

W sprawozdaniu proszę zapisać wnioski i obserwacje.

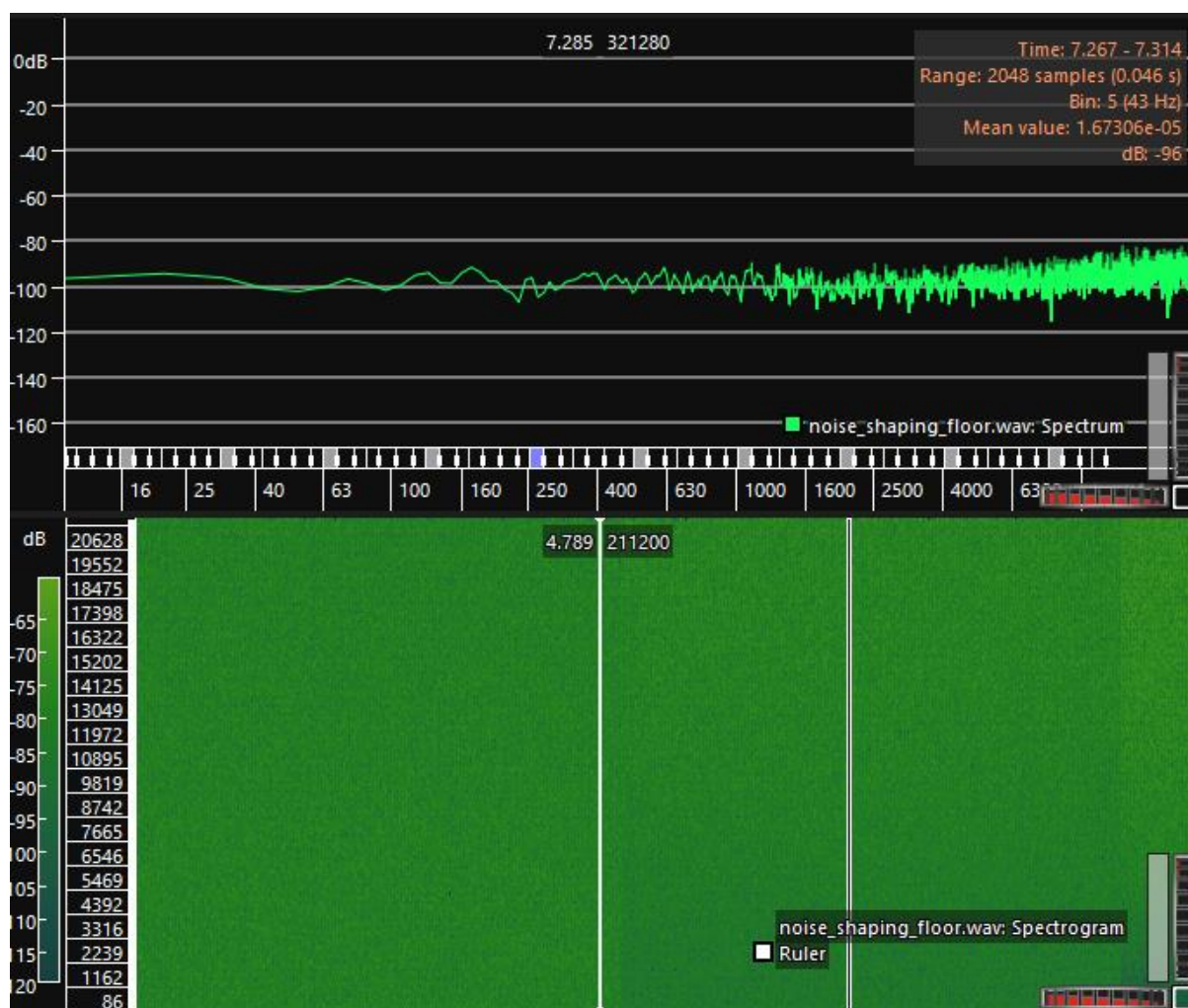
Dither TPDF 2LSB:

- Szum ma równomierny rozkład w całym paśmie częstotliwości.
- W widmie widać jednolitą dystrybucję energii, bez dominacji określonych pasm.
- Dźwięk subiektywnie odbierany jako jednorodny, zbliżony do „białego szumu”.



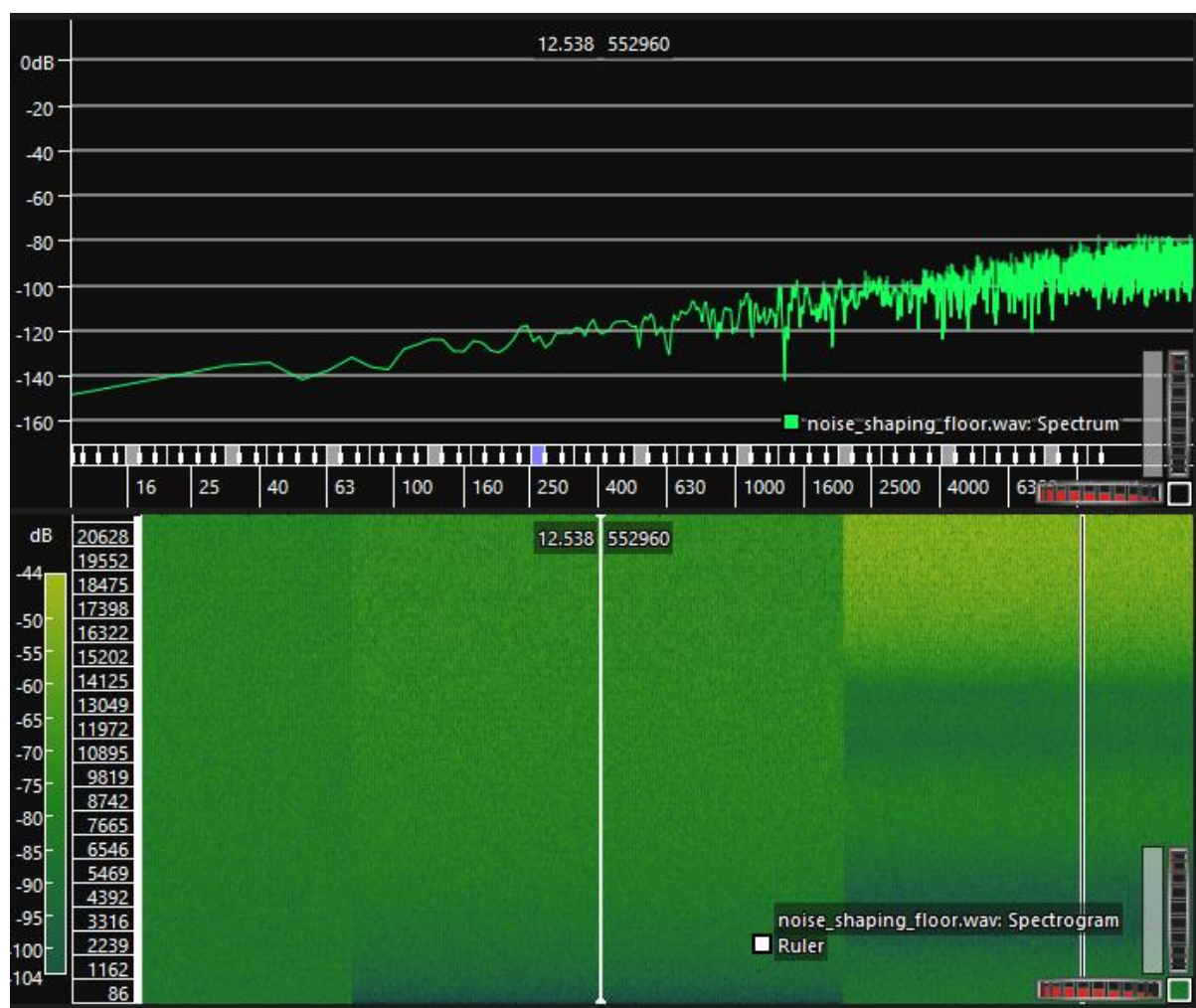
Filtrowany górnoprzepustowo dither TPDF 2LSB:

- W widmie widać znaczne obniżenie energii w niskich częstotliwościach.
- Szum wydaje się „cieńszy” i bardziej „lekki” podczas odsłuchu, co wynika z usunięcia niższych tonów.
- Efektywnie redukuje subiektywną słyszalność szumu w cichych fragmentach, ponieważ ludzki słuch jest bardziej wrażliwy na niskie częstotliwości.



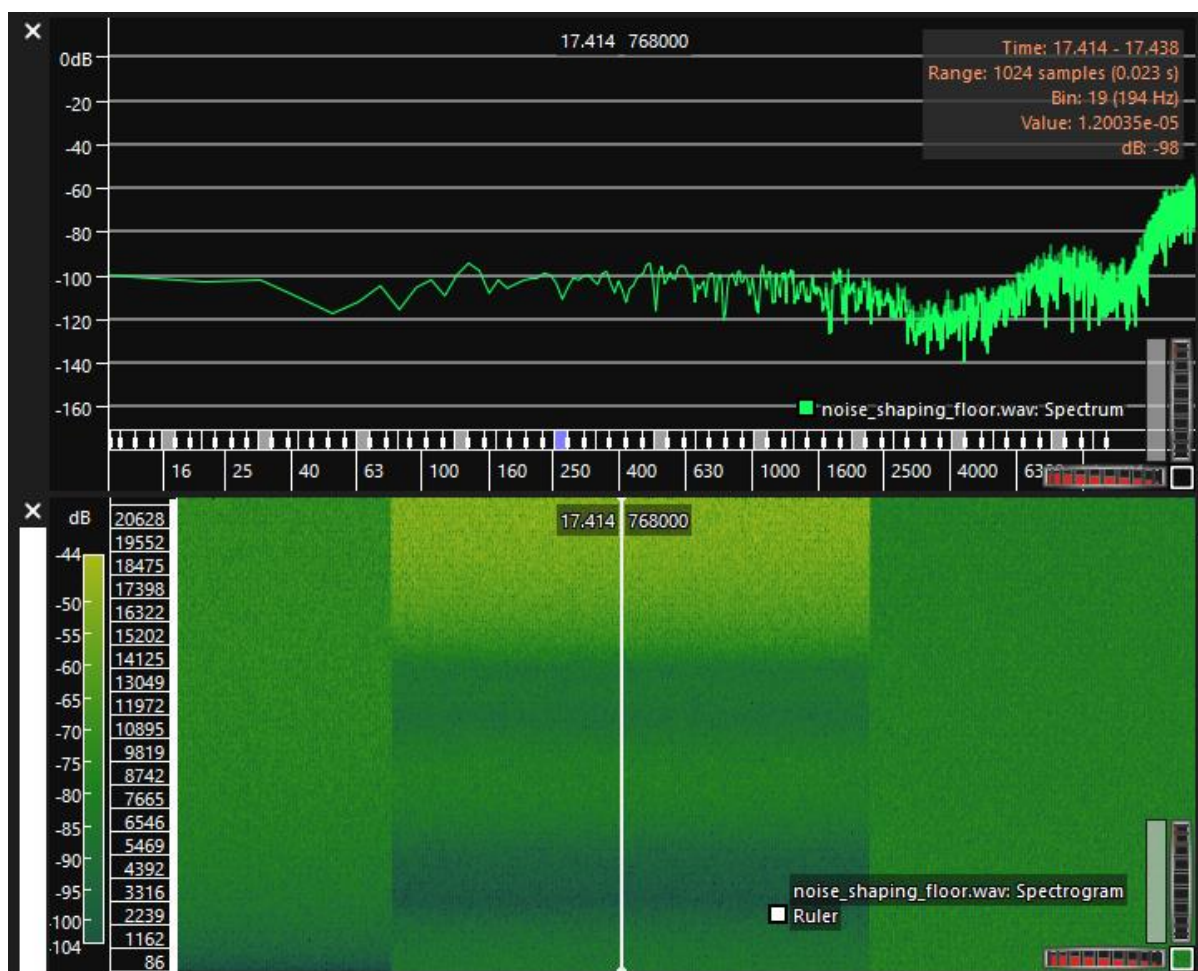
Dither TPDF 2LSB z kształtowaniem błędów filtrem 1-szego rzędu:

- Szum jest przesunięty w stronę wyższych częstotliwości.
- Widmo ukazuje stopniowy wzrost energii w średnich i wysokich częstotliwościach.
- W porównaniu do bloku 2, szum jest bardziej intensywny w średnim zakresie częstotliwości, co może być bardziej słyszalne przy cichym materiale audio.



Dither TPDF 2LSB kształtowany filtrem 9-tego rzędu (ważony krzywymi izofonicznymi):

- Widmo pokazuje znaczne przesunięcie energii szumu w zakres wysokich częstotliwości, z minimalną energią w paśmie słyszalnym (ok. 20 Hz–20 kHz).
- Podczas odsłuchu szum jest praktycznie niesłyszalny, co potwierdza skuteczność ważenia izofonicznego w ukrywaniu szumu w pasmach mniej wrażliwych dla ludzkiego ucha.



Subiektywne wrażenia słuchowe:

- Szum z TPDF w pierwszym bloku jest najbardziej wyraźny i równomierny.
- Filtrowanie górnoprzepustowe i kształtowanie błędów w kolejnych blokach znacząco obniżają subiektywną słyszalność szumu.
- Blok z filtrem 9-tego rzędu zapewnia praktycznie niesłyszalny szum, co jest idealne dla zastosowań wymagających najwyższej jakości dźwięku.

Wnioski:

- Kształtowanie błędów kwantyzacji jest kluczowe dla redukcji subiektywnej słyszalności szumu, zwłaszcza w cichych fragmentach nagrań.
- Wysokorzędowe filtry (np. 9-tego rzędu) w połączeniu z ważeniem charakterystyką izofoniczną skutecznie przenoszą energię szumu poza pasmo słyszalne, minimalizując jego wpływ na jakość dźwięku.
- Porównanie metod pokazuje, że im bardziej zaawansowane kształtowanie błędów, tym bardziej efektywne jest ukrycie szumu przed ludzkim słuchem.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj pliki jitter1.wav, jitter2.wav i jitter3.wav. Pliki dźwiękowe to zarejestrowane sinusoidy (o częstotliwości 13kHz) za pomocą przetwornika a/c, w którym zegar taktujący został zmodulowany sygnałem prostokątnym o częstotliwości 8kHz (jitter1), sygnałem szumowym (jitter2) oraz sygnałem o niskiej częstotliwości (jitter3). Sygnał sinusoidy 13kHz został stłumiony tak, aby lepiej były słyszalne zniekształcenia.

W sprawozdaniu proszę zapisać wnioski i obserwacje.

jitter1.wav (modulacja prostokątna 8 kHz):

Widmo sygnału zawiera dodatkowe harmoniczne związane z częstotliwością modulacji (8 kHz oraz jej wielokrotnościami). Są one wyraźnie widoczne w widmie i na spektrogramie. Zniekształcenia w dźwięku są słyszalne jako nieprzyjemny metaliczny efekt.

jitter2.wav (modulacja szumowa):

Widmo sygnału pokazuje szerokopasmowy wzrost poziomu szumu, co jest efektem losowej natury jittera. Zniekształcenia te odbierane są jako szумы lub trzaski o nieokreślonym charakterze.

jitter3.wav (modulacja niską częstotliwością):

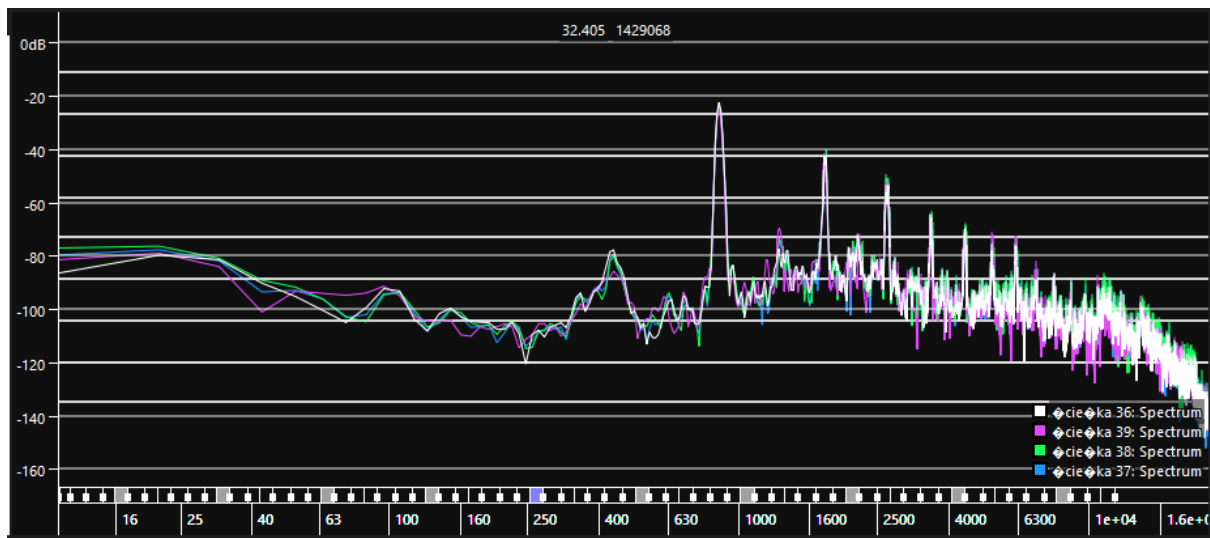
Ścieżka staje się stopniowo coraz głośniejsza i nie bardzo nie przyjemna w odsłuchu. Słychać dziwnych zniekształceń w równych odstępach czasowych

Modulacja zegara taktującego wpływa na widmo sygnału, wprowadzając dodatkowe harmoniczne w przypadku jittera okresowego oraz szerokopasmowy szum w przypadku jittera losowego.

Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj pliki [jitter4.wav](#) - oryginał bez jitter'a, [jitter5.wav](#), [jitter6.wav](#) i [jitter7.wav](#). Pliki dźwiękowe to sygnał fletu zarejestrowany za pomocą przetwornika a/c, w którym zegar taktujący został zmodulowany tak samo jak w poprzednim punkcie.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać wnioski i obserwacje.

Te zadanie sprawiło mi duży problem ponieważ nie byłem w stanie znaleźć różnicy. Postanowiłem nałożyć na siebie wszystkie spektra ale dalej nie byłem w stanie usłyszeć znaczących różnic między ścieżkami audio.



Wniosek

Przy dźwiękach harmonicznym takich jak stały sygnał sinusoidy (o częstotliwości 13kHz jest to bardziej problematyczne natomiast podczas słuchania utworów muzycznych ten problem nie staje się tak łatwo wykrywalny dla ludzkiego ucha.

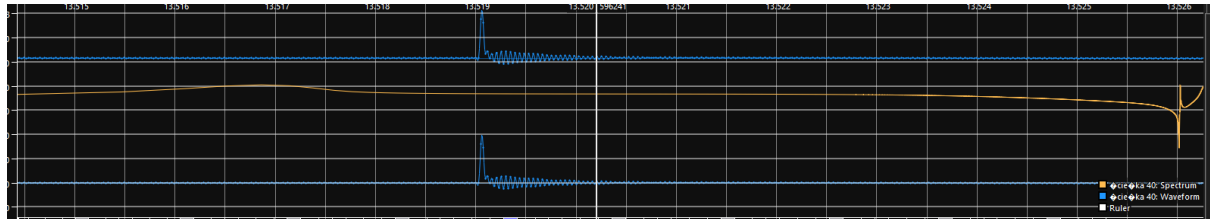
Uruchom oprogramowanie Sonic Visualiser i wczytaj pliki [sync1.wav](#), [sync2.wav](#) i [sync3.wav](#). Pliki dźwiękowe to sinusoidy (o częstotliwości 19kHz i 13kHz) przetworzone za pomocą konsoli mikserskiej bez synchronizacji z zegarem przetwornika a/c oraz sygnał nagrany fletu. Sygnały sinusoidy zostały stłumione tak, aby lepiej były słyszalne zniekształcenia.

W **sprawozdaniu** proszę zapisać wnioski i obserwacje. W przypadku której sinusoidy zniekształcenia są bardziej słyszalne i dlaczego?

Plik sync1.wav (sinusoida 19 kHz):

Niestety nic nie słyszę 19kHz znajduję się poza moim zakresem słyszalności.

Jedyne co to da się usłyszeć (pięć razy) to coś w stylu przepięcia między innymi w 13,5 sekundzie.



Plik sync2.wav (sinusoida 13 kHz):

W tym pliku słychać już sygnał i ponownie stuknięcia tak jak ostatnio.

Plik sync3.wav (sygnał fletu):

W tym pliku ponownie nie słyszałem czegoś dziwnego natomiast można zauważyć że oba kanały nie są synchronizowane

