Projektowanie cyfrowych układów elektronicznych  
Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia

*Ćwiczenie 7 – Procesory Blackfin, technologia audio*

Prowadzący: mgr inż. Łukasz Kirchner

Jan Baranowski (89719), zajęcia czwartkowe o godz. 10:00

W ramach ćwiczenia należało zaimplementować szereg cyfrowych filtrów dźwięku implementowanych na płytce ewaluacyjnej *EZ-KIT Lite* procesora DSP *AD Blackfin BF537*.

**Środowisko uruchomieniowe**

Testowy tor audio składał się z przetwornika A/C *AD1871*, procesora DSP oraz przetwornika C/A *AD1854*. Źródłem dźwięku podającym sygnał na przetwornik był komputer wyposażony w oprogramowanie dedykowane do generacji określonych przebiegów audio (*Audacity*). Połączenie A/C-procesor realizowane było przy użyciu interfejsu szeregowego SPORT0 działającego w trybie DMA (odbiór). Przesłanie danych na linii procesor-C/A zachodziło jako efekt obsługi zdarzenia zakończenia odbioru danych od przetwornika A/C. Interfejs szeregowy SPORT0 pracujący w trybie DMA (nadawanie) skonfigurowany był tak, by podawać do przetwornika dane zgodnie ze standardem *I2S*. Odbiornik portu SPORT0 działał w trybie *slave*. By można było zweryfikować działanie filtru, do wyjścia przetwornika C/A podłączono słuchawki.

**Środowisko programistyczne**

Ćwiczenie zostało wykonane z wykorzystaniem IDDE AD VisualDSP++ 5.0 w oparciu o projekt demonstrujący działanie toru audio, dostarczony przez producenta płytki testowej.

**Założenia**

Przetwornik A/C został skonfigurowany do generowania 24-bitowego wyniku. Funkcja odbioru wyniku konwersji zapewnia poprawną reprezentację wartości próbki w 32-bitowej zmiennej ze znakiem. W efekcie wynik próbki będzie liczbą o zmiennym znaku, a zatem sygnał można potraktować jako przebieg okresowy o składowej stałej równej 0.

**Zadania**

1. **Poszerzacz charakterystyki stereo**

Jest to przykład efektu z grupy tzw. efektów 3D dla sygnału stereofonicznego. Efekty z tej grupy mają za zadanie wprowadzić iluzję źródła dźwięku zlokalizowanego w dowolnym miejscu otoczenia słuchacza przy wykorzystaniu dwóch głośników. Poszerzacz charakterystyki stereo ma za zadanie osłabić wrażenie punktowości źródła dźwięku, „rozpraszając” je na pewnym obszarze.

Podstawowym mechanizmem wykorzystanym podczas implementacji było dodanie osłabionego sygnału z kanału prawego do lewego kanału wyjściowego i odwrotnie. Dodatkowo sygnały dodawane do oryginałów należało odwrócić w fazie. Zostało to osiągnięte przez odbicie funkcji względem osi poziomej, tj. przemnożenie wartości próbki przez -1.

1. **Bramka szumowa**

Bramkę taką zaimplementowano w oparciu o zadany próg amplitudy sygnału, który może być traktowany jako szum. Jeżeli wartość próbki przekracza próg, próbka jest przepisywana na wyjście bez zmian. Jeżeli jednak próbka ma za małą wartość, na wyjście trafia wartość 0. Dla testów wykonanych na zajęciach przyjęto, że próg szumu wynosi 500;

1. **Kompresor dynamiki**

Dynamika dźwięku to innymi słowy częstotliwość i stopień zmian jego głośności. Kompresja dynamiki wprowadzana jest po to, by zniwelować różnicę pomiędzy cichymi a głośnymi dźwiękami, wypełnia tym samym możliwie równomiernie cały zakres głośności.

Efekt kompresji uzyskuje się poprzez pozostawienie bez zmian wartości próbek, które nie wykraczają poza pewien zakres (*threshold*) oraz liniowe zmniejszenie wartości sponad progu zgodnie z zadanym współczynnikiem. W dokładnie takim ujęciu kompresja zwie się kompresją w dół, podczas gdy kompresja w górę zwiększa głośność cichych dźwięków, pozostawiając głośniejsze niezmienione.

1. **Filtry cyfrowe**

Należało zaimplementować trzy filtry cyfrowe o nieskończonej odpowiedzi impulsowej w oparciu o podane współczynniki: środkowo zaporowy oraz dwa dolnoprzepustowe o różnych częstotliwościach odcięcia.

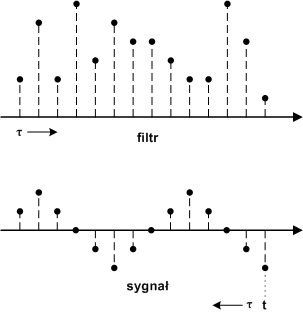
W przyjętej metodzie filtracji cyfrowej kluczowym pojęciem jest splot funkcji. Matematycznie splot definiuje się jako następującą operację:

Przy czym w powyższym zapisie przyjęto, że funkcje są określone w dziedzinie czasu.

Dodatkowo twierdzenie o splocie mówi, że splot dwóch funkcji w dziedzinie czasu jest równy iloczynowi ich odpowiedników dla dziedziny częstotliwości, a zatem charakterystyk częstotliwościowych.

W ostateczności odfiltrowanie sygnału sprowadza się zatem do obliczenia jego splotu z czasowym odpowiednikiem charakterystyki częstotliwościowej filtra. Dla dyskretnej dziedziny czasu odpowiednik ten stanowić będą współczynniki filtra FIR określone dla n kolejnych próbek, przy czym w treści zadania n=100.

Przyjmując, że f1 będzie funkcją filtra, a f2 funkcją filtrowaną, obliczanie splotu w dyskretnej dziedzinie czasu można graficznie przedstawić jako:



Przy czym dla dyskretnej dziedziny czasu:

Dla dostarczonego kodu źródłowego odwoływanie się do tego samego indeksu w tablicy *x* (buffer\*[i]) i *FIR* (FIR\_\*[i]) podczas obliczania składników sumy wynika z odwrócenia kierunku odświeżania bufora (próbka najnowsza znajduje się pod indeksem 0) i techniki optymalizacji kodu programu polegającej na maksymalnym upraszczaniu wyrażeń indeksujących tablice.

1. **Efekt echo**

By nie obciążać nadmiernie pamięci procesora, efekt echo generowany jest dla sygnału monofonicznego powstałego z uśrednienia próbek z obu kanałów. Utrzymywany jest bufor takich wartości o pojemności znacznie większej niż to wymagane dla filtrów FIR. Stworzenie tablicy dla 5000 próbek pozwala na wprowadzenie opóźnienia rzędu 110ms[[1]](#footnote-2) przy częstotliwości próbkowania 48kHz. Bufor o wielkości 10000 powoduje przepełnienie pamięci. Implementacja sprowadza się do wyprowadzenia uśrednionej wartości próbki aktualnej i próbki zlokalizowanej w czasie tak daleko wstecz jak tylko pozwala pojemność bufora.

1. **Efekt reverb (pogłos)**

Efekt ten jest niemal identyczny jak efekt echo. Będzie miał jednak więcej składowych średniej, a także składowe te, w miarę cofania się w czasie, będą posiadać malejące wagi. W implementacji przyjęto, że brane są pod uwagę 4 wartości: wartość bieżąca (początek bufora) i wartości oddalone o , , bufora wstecz z wagami odpowiednio , , i .

Proponowane implementacje przedstawiono w załączonym do sprawozdania pliku Process\_data.c

**Bibliografia**

* http://en.wikipedia.org/wiki/3D\_audio\_effect
* http://www.wikirecording.org/index.php/Compression
* http://en.wikipedia.org/wiki/Reverberation
* Dokumentacja płytki prototypowej i układów toru audio (fragmenty)

1. Ponieważ przetwornik AC pracuje z nominalną częstotliwością 48kHz niezależnie od ilości kanałów, można uzyskać 48 000 uśrednionych próbek na sekundę, co daje odległość między kolejnymi próbkami ok. 0,000021 s. W wyniku użycia bufora można zwiększyć tę odległość 5000 razy co daje ok. 0,11 s. [↑](#footnote-ref-2)