

Piotr KARDASZ*

ALGORYTM POPRAWY JAKOŚCI BRZMIENIA ARCHIWALNYCH NAGRAŃ DŹWIĘKU NA NOŚNIKACH MAGNETYCZNYCH

Archiwalne nagrania dźwięku na nośnikach magnetycznych o niskiej jakości charakteryzują się wysokim poziomem szumów i ograniczonym pasmem przenoszenia dla sygnału użytecznego. Ponieważ poziom składowych sygnału o wyższych częstotliwościach jest w takich przypadkach niższy niż poziom szumów nośnika, proces redukcji szumu powoduje ich utratę. Problem ten dotyczy zarówno składowych sygnału o charakterze harmonicznym (dźwięki), jak i stochastycznym (szmerzy). Aby przywrócić właściwe brzmienie rekonstruowanego nagrania, składowe te powinny zostać odtworzone. Ponieważ metody takiej rekonstrukcji różnią się dla dźwięków i szmerów, proponowany algorytm opiera się o podział sygnału na składowe harmoniczne i stochastyczne. Tak uzyskane dwie części pierwotnego sygnału mogą wtedy zostać poddane rekonstrukcji przy użyciu metod dobranych niezależnie dla każdej z nich.

SŁOWA KLUCZOWE: algorytm, nagrania archiwalne, rekonstrukcja

1. WPROWADZENIE

Dzisiejsze nagrania dźwięku, dokonywane metodami cyfrowymi, dysponują zarówno dużą dynamiką, jak również pasmem przenoszenia obejmującym pełny zakres częstotliwości akustycznych. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod wykrywania i naprawiania błędów zapisu cyfrowego [1] są one odporne zarówno na uszkodzenia nośnika, jak i na proces wielokrotnego odtwarzania.

Cech takich nie posiadają nagrania wykonane w technice analogowej. Nagrania tego rodzaju charakteryzują się niedoskonałościami, związanymi zarówno z samym procesem analogowego zapisu i odczytu, jak również z procesem degradacji tego rodzaju nośników, zarówno związanym z procesem wielokrotnego odtwarzania, jak również ze zjawiskami powstającymi w czasie ich przechowywania.

Nagrania na nośnikach magnetycznych podatne są na procesy rozmagnesowania na skutek działania zewnętrznych pól magnetycznych, zaś proces odtwarzania powoduje ścieranie zewnętrznej warstwy nośnika [2]. Oba te

* Politechnika Białostocka.

zjawiska powodują w pierwszej kolejności obniżenie poziomu składowych o wysokich częstotliwościach.

W domowych archiwach spotkać można nagrania, wykonane kilkadziesiąt lat temu sprzętem amatorskim o niskiej jakości. Nagrania takie charakteryzują się wysokim poziomem szumów oraz ograniczonym pasmem przenoszenia. Składowe dźwięku o częstotliwościach wyższych niż 2-3 kHz zamaskowane są w nich szumem nośnika oraz wzmacniacza zapisu.

Jednym z etapów procesu poprawy jakości tego rodzaju nagrań jest redukcja szumów. Można jej dokonać poprzez podział pasma akustycznego na wiele podpasm i tłumienie tych, w których moc sygnału jest niższa niż założona wartość progowa. Algorytmy wykorzystujące tę metodę wymagają starannego doboru parametrów ich pracy, ale nawet najstaranniejsze dostrojenie takiego algorytmu nie zapobiegnie utracie składowych harmonicznych znajdujących się w tłumionych podpasmach. Otrzymuje się w rezultacie nagranie pozbawione szumów, ale także o głuchym brzmieniu.

Aby poprawić brzmienie tego rodzaju nagrań, niezbędne jest przywrócenie wysokoczęstotliwościowych składowych sygnału dźwiękowego. Zadanie tego rodzaju nie jest proste ze względu na to, że informacja o tych składowych została bezpowrotnie stracona w procesie redukcji szumów. Istnieją algorytmy rekonstrukcji tego rodzaju nagrań oparte na znajomości widma instrumentów oraz głosów ludzkich występujących w rekonstruowanym nagraniu [3]. Informacje takie nie zawsze są jednak osiągalne, a szczegóły tego rodzaju metod nie są na ogół dostępne.

Muzycy wyróżniają w utworze muzycznym dźwięki i szmery [4]. Dźwięki są sygnałami harmonicznymi o widmie w postaci prążków odpowiadających poszczególnym harmonicznym ich częstotliwości podstawowej. Szmery, będące sygnałami o charakterze stochastycznym, mają widmo ciągłe. Ze względu na to proces uzupełniania sygnału dźwiękowego o brakujące składowe wysokoczęstotliwościowe będzie miał inny charakter dla dźwięków i dla szmerów. Wydaje się więc celowe dokonanie podziału sygnału dźwiękowego na dwie części: harmoniczną i stochastyczną, a następnie poddanie tych części algorytmom poprawy brzmienia, zaprojektowanym niezależnie dla każdej z nich, z uwzględnieniem ich specyfiki.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było zaprojektowanie, implementacja i przetestowanie działania prostej wersji algorytmu poprawy brzmienia archiwalnych nagrań na nośnikach magnetycznych. Algorytm taki powinien dokonać podziału sygnału dźwiękowego na składowe harmoniczne (dźwięki) i stochastyczne (szmery), po czym dokonać syntezy brakujących składowych na

podstawie analizy rekonstruowanego nagrania. W przypadku pozytywnych wyników testowania tego algorytmu, mógłby się on stać punktem wyjścia do opracowania bardziej zaawansowanych jego wersji.

Został opracowany prosty algorytm tego rodzaju. Algorytm ten, w części dotyczącej składowych harmonicznym, został przetestowany przy użyciu kilku sygnałów testowych, w tym próbek rzeczywistych nagrań na taśmie magnetycznej nagranych niskiej jakości sprzętem amatorskim. Została oceniona jakość działania algorytmu oraz możliwości jego implementacji i dalszego udoskonalania.

3. DZIAŁANIE ALGORYTMU

Pierwszym etapem pracy proponowanego algorytmu jest rozdzielanie składowych harmonicznym i stochastycznych. Aby osiągnąć ten cel, należy dokonać identyfikacji składowych harmonicznym sygnału. W tym celu fragmenty sygnału o długości 2048 próbek mnożone są przez funkcję okna typu \sin^2 :

$$f_o(n) = \sin^2\left(\frac{\pi n}{2048}\right) \quad (1)$$

po czym tak przygotowany ciąg próbek uzupełniany jest zerami w celu uzyskania ciągu 2^{18} próbek, poddawanych następnie szybkiej transformacji Fouriera [5]. Liczba 2^{18} próbek pozwala na uzyskanie rozdzielczości częstotliwościowej 0,168 Hz dla częstotliwości próbkowania 44100 Hz i została wybrana jako kompromis pomiędzy dokładnością identyfikacji składowych, a szybkością pracy algorytmu. Następnie poszukiwane są maksima amplitudy, spośród których pozostawiane są te, których wartość przekracza zadany przez użytkownika próg.

Na podstawie tak otrzymanych danych przeprowadzana jest synteza sygnału harmonicznego

$$P_n = \sum_{i=0}^M A_i \sin\left(2\pi n \frac{f_i}{F_p} + \varphi_i\right) \quad (2)$$

gdzie P_n jest wartością n-tej próbki, M jest liczbą maksimum wybranych w poprzednim etapie, A_i jest amplitudą i-tego maksimum zaś φ_i – jego przesunięciem w fazie

Sygnał, otrzymany w wyniku syntezy jest następnie odejmowany od pierwotnego sygnału. W ten sposób otrzymuje się dwa sygnały: pierwszy, otrzymany w wyniku syntezy, zawiera składowe harmoniczne, drugi, otrzymany w wyniku odejmowania, zawiera pozostałą część pierwotnego sygnału: składowe stochastyczne oraz składowe harmoniczne o małej amplitudzie.

Spśród wszystkich maksimum odnalezionych w poprzednim etapie badana wersja algorytmu szuka w kolejnym kroku maksimum globalnego. Określona zostaje jego amplituda i częstotliwość. Następnie spośród pozostałych

maksimów poszukiwane są te, które odpowiadają drugiej i trzeciej harmonicznej odnalezionej częstotliwości. Określone są na ich podstawie dwa parametry:

$$d_2 = \frac{A_f}{A_{2f}} \quad (3)$$

$$d_3 = \frac{A_f}{A_{3f}} \quad (4)$$

gdzie A_f jest amplitudą wybranej składowej (maksimum globalnego), zaś A_{2f} i A_{3f} to amplitudy jej drugiej i trzeciej harmonicznej;

Parametr d_2 stosowany jest następnie w celu syntezy parzystych harmonicznych, zaś d_3 w celu syntezy harmonicznych nieparzystych. Algorytm pozwala na wybór jednej z dwóch metod określania amplitudy syntezowanych harmonicznych:

$$A_{2i+1} = 3d_3 \frac{A_f}{2i+1} \quad (5)$$

$$A_{2i} = 2d_2 \frac{A_f}{2i} \quad (6)$$

lub

$$A_{2i+1} = A_f d_3^{\frac{2i+1}{3}} \quad (7)$$

$$A_{2i} = A_f d_2^i \quad (8)$$

gdzie A_{2i+1} – amplituda harmonicznej nieparzystej, A_{2i} – amplituda harmonicznej parzystej.

Algorytm pozwala również na wybór minimalnej częstotliwości powyżej której dokonywana będzie synteza. Uzyskany w jej wyniku sygnał dodawany jest do sygnału harmonicznego, stochastyczna część sygnału jest natomiast poddawana filtracji, mającej za zadanie skorygowanie jej charakterystyki częstotliwościowej w zakresie wysokich częstotliwości. Parametry filtracji w testowanej wersji algorytmu zadawane są przez użytkownika.

W ostatnim etapie pracy algorytmu następuje sumowanie części harmonicznej (z odtworzonymi składowymi) z poddaną filtracji częścią stochastyczną.

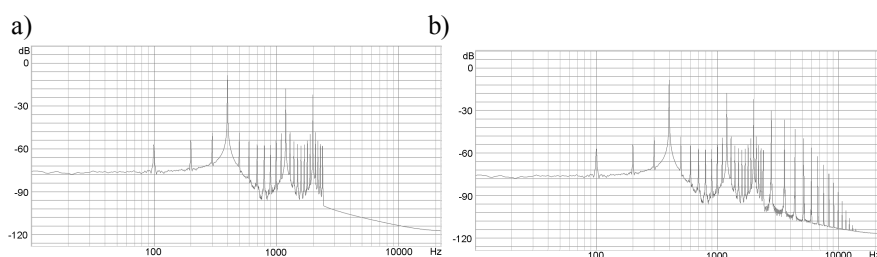
4. PRZEBIEG BADAŃ

Opracowany algorytm został przetestowany za pomocą przygotowanych w tym celu sygnałów testowych (tabela 1).

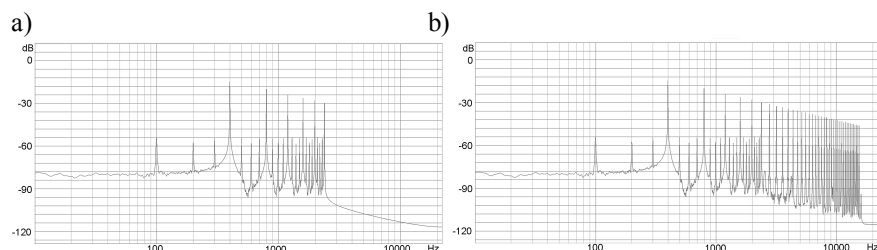
Tabela 1. Sygnały testowe

Lp.	Sygnał	
	Kształt	Uwagi
1	prostokątny	Częstotliwość podstawowa 400 Hz, filtr dolnoprzepustowy 2,5 kHz (rys. 1a)
2	piłokształtny	Częstotliwość podstawowa 400 Hz, filtr dolnoprzepustowy 2,5 kHz (rys. 2a)
3	próbka muzyki nagrana sprzętem amatorskim (SNR<30 dB)	Ograniczone pasmo częstotliwości (rys. 3a)

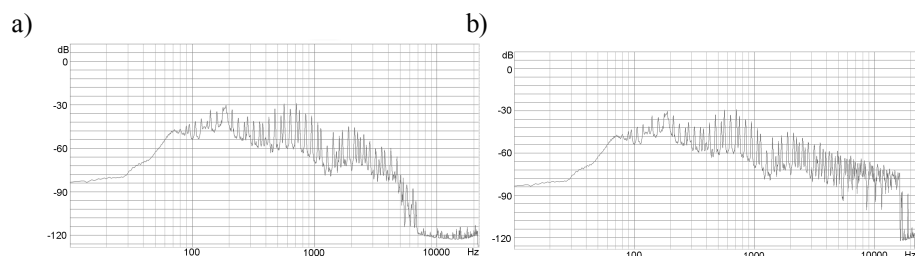
Proste sygnały testowe miały za zadanie sprawdzenie poprawności działania algorytmu. Próbka muzyki została poddana działaniu testowanego algorytmu, po czym wykonana została analiza widmowa oraz test odsłuchowy.



Rys. 1. Widmo sygnału testowego 1 przed (a) i po (b) zastosowaniu proponowanego algorytmu



Rys. 2. Widmo sygnału testowego 2 przed (a) i po (b) zastosowaniu proponowanego algorytmu



Rys. 3. Widmo sygnału testowego 3 przed (a) i po (b) zastosowaniu proponowanego algorytmu

5. OCENA WYNIKÓW I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Badany algorytm został opracowany jako część pakietu algorytmów mających za zadanie rekonstrukcję archiwalnych nagrań dźwięku. Działa on poprawnie dla prostych sygnałów testowych. Również próbka sygnału dźwiękowego poddana działaniu algorytmu wykazuje zauważalną poprawę brzmienia. Testy wykonane na rzeczywistym nagraniu pokazują jednak niedostatki badanego algorytmu. Odtwarza on bowiem harmoniczne tylko jednej składowej dźwięku o najwyższej amplitudzie. Słyszalne są w tej sytuacji „przeskoki” algorytmu, gdy podczas trwania nagrania zmienia się stosunek amplitud dźwięków o różnych częstotliwościach, składających się na to nagranie.

W tej sytuacji w celu uzyskania algorytmu przydatnego do pracy z archiwalnymi nagraniami dźwięku należy opracować i przetestować jego bardziej złożoną wersję, odtwarzającą harmoniczne większej liczby składowych rekonstruowanego nagrania oraz uwzględniającą w tym celu większą liczbę dostępnych w oryginalnym sygnale danych.

LITERATURA

- [1] Urbański B., *Magnetofony i gramofony cyfrowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.
- [2] Iwanicka B., Koprowski E., *Kasety magnetofonowe i magnetowidowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1988.
- [3] Sulikowska E., Walczak J. P., *Rekonstrukcja nagrania Kathleen Ferrier z 1946 roku metodą ASR*. http://www.nina.gov.pl/digitalizacja/digiprzewodnik/w-praktyce/detal//2012/09/20/Rekonstrukcja_nagrania_Kathleen_Ferrier_z_1946_roku_metoda_ASR, dokument elektroniczny, 2012.
- [4] Wesołowski F., *Zasady muzyki*, Polskie Wydawnictwo Muzyczne, Kraków, 1998.
- [5] Zieliński T. P., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.

THE ALGORITHM FOR THE SOUND QUALITY IMPROVEMENT OF ARCHIVAL RECORDINGS ON THE MAGNETIC MEDIA

The archival sound recordings on magnetic media, recorded with low quality equipment have high level of noise and limited bandwidth for the useful signal. The level of high frequency signal components is lower than the medium noise, so they will be lost after the noise reduction process. This problem affects both harmonics components of the signal (sounds) and stochastic components (noises). These components should be then restored to improve the quality of the reconstructed sound recording. Since such reconstruction methods differ for harmonic and stochastic components of the signal, the proposed algorithm is based on splitting this signal into harmonic and stochastic components. These two parts of the original signal can then be reconstructed using methods selected independently for each of them.