

Piotr KARDASZ\*

## ALGORYTM REDUKCJI ZAKŁÓCEŃ QUASISTACJONARNYCH W ZABYTKOWYCH NAGRANIACH DŹWIĘKU

W artykule przedstawiono algorytm redukcji zakłóceń w nagraniach dźwięku, takich jak przydźwięk sieciowy lub częstotliwość odchylenia poziomego telewizji analogowej. Zakłócenia tego rodzaju są często spotykane w starych nagraniach na nośnikach magnetycznych. Ze względu na niepożądane zjawiska, takie jak odkształcenia nośnika i nierównomierność prędkości przesuwu, częstotliwość i amplituda tego rodzaju zakłóceń nie jest stała, co utrudnia ich redukcję z zastosowaniem filtrów pasmowozaporowych. W artykule zostało przedstawione zachowanie się opracowanego algorytmu oraz jakość redukcji zakłóceń w zależności od parametrów testowanego sygnału. Działanie algorytmu zostało zbadane na przykładach kilku sygnałów testowych. Zostały również zarysowane kierunki dalszych badań nad udoskonaleniem algorytmu.

SŁOWA KLUCZOWE: redukcja zakłóceń, analiza sygnału, zapis magnetyczny

### 1. WPROWADZENIE

Wprowadzone do powszechnego użytku w latach osiemdziesiątych XX wieku cyfrowe metody zapisu dźwięku [1] w ostatnich latach prawie całkowicie wyparły metody analogowe. Cyfrowo zapisany sygnał dźwiękowy, ze względu na zastosowanie zaawansowanych metod korekcji błędów, jest znacznie bardziej odporny na uszkodzenia nośnika i zakłócenia podczas transmisji, niż sygnał zapisany analogowo.

Nagrania, które powstawały w latach wcześniejszych, zapisywane były analogowo bądź to na nośnikach magnetycznych [2], bądź za pomocą zapisu mechanicznego na płytach. O ile nagrania pochodzące z ostatnich dziesięcioleci XX wieku, zapisywane na wysokiej jakości sprzęcie i nośnikach studyjnych, niewiele odbiegają jakością od tego, co udostępnia nam dziś zapis cyfrowy, o tyle nagrania wcześniejsze reprezentują sobą jakość znacznie niższą. Nierzadko spotykane są pojedyncze zapisy mające wartość historyczną, których jakość jest bardzo słaba ze względu bądź to na zastosowany do ich zapisu niskiej jakości sprzęt, bądź uszkodzenia nośnika po jego zapisaniu.

---

\* Politechnika Białostocka.

W domowych archiwach wielu rodzin spoczywają nagrania stanowiące pamiątkę czasów, które minęły. Były one często nagrywane na amatorskim sprzęcie o bardzo niskiej jakości, na najtańszych dostępnych wówczas nośnikach i choć zaszumione i zniekształcone, przechowywane są jako cenne pamiątki.

Nagrania tego rodzaju są prawie zawsze zakłócone przydźwiękiem sieciowym. Istnieją różne źródła tego przydźwięku: źle odfiltrowane zakłócenia zasilaczy sieciowych, napięcia indukujące się w nieekranowanych lub źle ekranowanych przewodach połączeniowych, a także, w przypadku nagrań dokonywanych z płyt, mechaniczne drgania niskiej jakości gramofonu napędzanego silnikiem prądu przemiennego. Na przydźwięk ten składa się częstotliwość podstawowa 50 Hz oraz jej harmoniczne, przy czym zdarza się, że w widmie zakłóceń dominuje druga harmoniczna (100 Hz) częstotliwości sieciowej.

W przypadku nagrań dokonywanych z telewizji, jeśli tylko magnetofon był w stanie przenieść szersze pasmo częstotliwości, często można spotkać zakłócenie o częstotliwości odchyłania poziomego – 15625 Hz. Po przeniesieniu takiego nagrania na współczesny nośnik cyfrowy i odtworzeniu na współczesnym sprzęcie częstotliwość ta bywa słyszalna. Jej obecność może także zaburzać pracę algorytmów kompresji [3] lub poprawy jakości dźwięku.

Najczęściej stosowaną metodą redukcji tego rodzaju zakłóceń jest zastosowanie filtrów pasmowozaporowych [4] o wąskim paśmie zaporowym. Podejście to jednak nie zawsze się sprawdza. Nośnik magnetyczny podlega bowiem odkształceniom (na ogół rozciąganiu), a nierówność prędkości przesuwu taśmy podczas zapisu na amatorskim sprzęcie może przekraczać 1 %. W tej sytuacji podstawowa częstotliwość przydźwięku sieciowego (50 Hz) może wahać się w zakresie ponad 1 Hz, a jego harmonicznych odpowiednio więcej. Wymaga to poszerzenia pasma zaporowego filtrów, a to z kolei prowadzi do wycięcia przez nie również sygnału użytecznego. W tej sytuacji istnieje potrzeba opracowania algorytmów, które będą w stanie skutecznie redukować takie zakłócenia jak najmniej ingerując w sygnał użyteczny.

## **2. CEL I ZAKRES PRZEPROWADZONYCH BADAŃ**

Celem przeprowadzonych badań było zaprojektowanie, implementacja i przetestowanie działania algorytmu redukcji zakłóceń quasistacjonarnych, takich jak przydźwięk sieciowy lub częstotliwość odchyłania poziomego telewizji w nagraniach na nośnikach magnetycznych, na których, wskutek nierównomierności przesuwu i odkształceń nośnika, przestały mieć one stałą częstotliwość i amplitudę. Jako podstawa do opracowania proponowanego algorytmu posłużył algorytm identyfikacji składowych sinusoidalnych złożonego sygnału, opisany w [5]. Opracowany na jego bazie algorytm identyfikacji i redukcji zakłóceń został następnie przetestowany przy użyciu kilku sygnałów testowych. Na podstawie testów oceniona została jakość opracowanego algorytmu oraz możliwości jego dalszego udoskonalania i zastosowania do celów praktycznych.

### 3. PODSTAWY TEORETYCZNE

Iloczyn dwóch funkcji sinusoidalnych jest funkcją okresową, przyjmującą wartości z zakresu  $\langle -1, 1 \rangle$ :

$$\sin(t) \cdot \sin(at) = \frac{\cos(1-a)t}{2} - \frac{\cos(1+a)t}{2} \quad (1)$$

z wyjątkiem sytuacji, w której  $a = 1$ :

$$\sin(t) \cdot \sin(t) = \frac{1}{2} - \frac{\cos(2t)}{2} \quad (2)$$

Mamy tu do czynienia z niezerową składową stałą, a w związku z tym całka

$$\int \sin(t) \cdot \sin(at) dt = \frac{\sin(1-a)t}{2} - \frac{\sin(1+a)t}{2} + C \quad (3)$$

która w ogólnej postaci jest funkcją okresową, dla  $a = 1$  staje się funkcją niemalejącą:

$$\int \sin(t) \cdot \sin(t) dt = \frac{t}{2} - \frac{\sin(2t)}{4} + C \quad (4)$$

Całka oznaczona:

$$\int_{t_1}^{t_2} \sin(t) \cdot \sin(at) dt \quad (5)$$

powinna więc przyjmować wartości zbliżone do maksymalnej wtedy, gdy  $a=1$ .

Dla  $t_1=0, t_2=2\pi$  w przypadku ogólnym:

$$\int_0^{2\pi} \sin(t) \cdot \sin(at) dt = \frac{\sin(2\pi a)}{a^2 - 1} \quad (6)$$

Funkcja ta nie ma wartości dla  $a = 1$ , można jednak w tym przypadku skorzystać z zależności (4). Po dokonaniu odpowiednich podstawień otrzymuje się:

$$\int_0^{2\pi} \sin(t) \cdot \sin(t) dt = \pi \quad (7)$$

Wartość ta jest obustronną granicą funkcji (6) dla  $a = 1$ .

Maksimum tej funkcji występuje dla  $a \approx 0,96$  (rys. 1a). Funkcja ta nie ma wartości dla  $a = 1$ , a jej obustronną granicą w tym punkcie jest  $\pi$ .

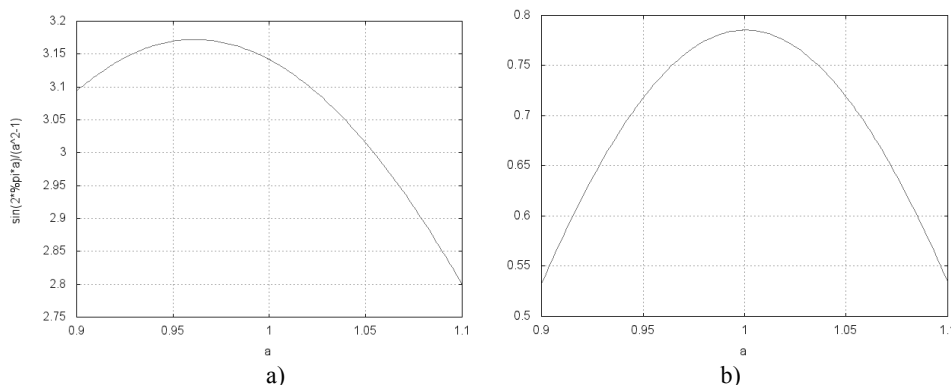
Lepszy rezultat można osiągnąć, mnożąc wstępnie badany sygnał przez funkcję okna typu:

$$f_o(t) = b \sin^2(bt) \quad (8)$$

i obliczając całkę oznaczoną w czasie od 0 do  $\pi/b$ :

$$\int_0^{\pi/b} b \sin^2(bt) \sin(t) \cdot \sin(at) dt \quad (9)$$

Odpowiednie obliczenia zostały wykonane w programie WxMaxima. Otrzymana funkcja, o bardzo złożonej postaci, również nie ma wartości dla  $a = 1$ , ale dla  $b$  dążącego do zera jej obustronna granica w tym punkcie równa jest  $\pi/4$  i staje się niewłaściwym maksimum tej funkcji (rys. 1b).



Rys. 1. Wykresy funkcji określonych wzorami (6) (po lewej) i (9) (po prawej) dla  $a \in <0,9, 1, 1>$  i  $b = 0,2$

Funkcja ta dla sygnału w postaci dyskretnej przyjmie postać:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N \sin^2\left(\frac{\pi}{N} nT\right) \cdot \sin(nT) \cdot \sin(anT) \quad (10)$$

i może zostać wykorzystana w algorytmie identyfikacji częstotliwości zakłóceń.

#### 4. DZIAŁANIE ALGORYTMU

Opracowany na podstawie algorytmu program pobiera z pliku  $N=4096$  próbek sygnału  $S(nT)$ , co przy częstotliwości próbkowania 44100 Hz odpowiada 92.9 milisekundom. Sygnał ten jest wstępnie mnożony przez funkcję okna:

$$f_o(n) = \sin^2\left(\frac{\pi n}{4096}\right) \quad (11)$$

a następnie przez sygnały testowe o częstotliwościach zmieniających się w zakresie od 48,5 Hz do 51,5 Hz co 0,1 Hz. W celu odnalezienia fazy sygnału zakłócającego użyte zostały sygnały testowe o postaci:

$$F_{\sin} = \sin(2\pi f nT) \quad (12)$$

$$F_{\cos} = \cos(2\pi f nT) \quad (13)$$

Algorytm oblicza wartość funkcji:

$$A_{\sin} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N f_o(n) \cdot S(nT) \cdot F_{\sin}(anT), \quad A_{\cos} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N f_o(n) \cdot S(nT) \cdot F_{\cos}(anT) \quad (14)$$

dla sygnałów testowych (11, 12) oraz ich harmonicznych (od drugiej do dwudziestej), po czym odnajduje wartości maksymalne  $A_{sin}$  i  $A_{cos}$  dla każdej z częstotliwości i na tej podstawie estymuje amplitudę, fazę i częstotliwość sygnału zakłócającego:

$$A = \sqrt{A_{sin}^2 + A_{cos}^2} \quad (15)$$

$$\varphi = \arctg \frac{A_{sin}}{A_{cos}} \quad (16)$$

Na podstawie obliczonych  $A$  oraz  $\varphi$  procedura przeprowadza syntezę estymaty sygnału zakłócającego, po czym odejmuje tak wygenerowany sygnał od zakłóconego sygnału.

## 5. PRZEBIEG BADAŃ

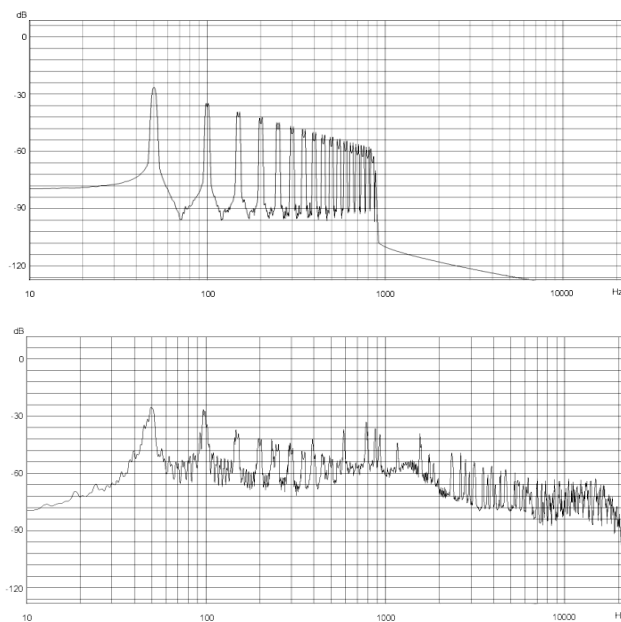
Opracowany algorytm został przetestowany za pomocą przygotowanych w tym celu sygnałów testowych (Tabela 1).

Tabela 1. Charakterystyka sygnałów testowych

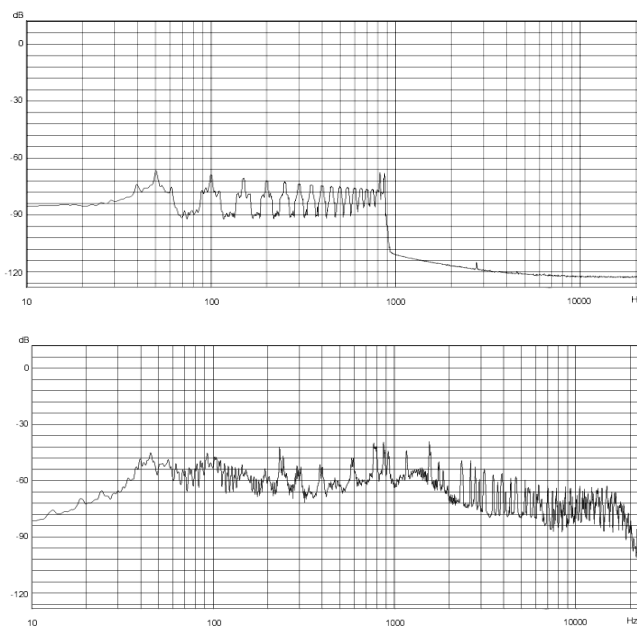
Lp.	Sygnał		
	Kształt	Amplituda pierwszej harmonicznej	Zakres zmian częstotliwości
1.	sinusoidalny	- 6 dB	stała częstotliwość 50 Hz
2.	piłokształtny (przefiltrowany filtrem dolnoprzepustowym o częstotliwości granicznej 880 Hz)	- 24 dB	49-51 Hz z okresem 2 s.
3.	próbka muzyki zakłócona sygnałem testowym 2		

Testy przy użyciu sygnału 1 miały za zadanie sprawdzenie poprawności działania algorytmu. Za pomocą sygnału testowego nr 2 została przetestowana możliwość redukcji zakłóceń o zmieniającej się częstotliwości i niesinusoidalnym kształcie. Sygnał 3 miał za zadanie przetestowanie pracy algorytmu w warunkach zbliżonych do jego docelowego zastosowania.

Widma sygnałów testowych przed oraz po zastosowaniu algorytmu zostały przedstawione są na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Widma sygnałów testowych 2 i 3



Rys. 3. Widma sygnałów testowych 2 i 3 poddanych działaniu proponowanego algorytmu

## 6. OCENA WYNIKÓW I PODSUMOWANIE

Algorytm radzi sobie dobrze z detekcją zmieniającej się częstotliwości zakłócającej i jej harmonicznym, i jest w stanie stłumić te zakłócenia o około 40 dB. Test odsłuchowy przeprowadzony na próbce zakłóconej muzyki pokazał jednak, że tłumione są również składowe sygnału użytecznego o częstotliwościach zbliżonych do harmonicznym sygnału zakłócającego. Badany algorytm wymaga w tej sytuacji uzupełnienia o metody, pozwalające uniknąć tego zjawiska. Mogą być one oparte o fakt, że amplituda zakłóceń quasistacjonarnych jest w przybliżeniu stała, a w związku z tym szybkie jej zmiany powinny zostać przez algorytm odrzucone. Będzie to przedmiotem dalszych badań.

*Publikację sfinansowano w ramach pracy własnej W/WE/8/2013*

### 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] Multimedia – Algorytmy i standardy kompresji, pod redakcją W. Skarbka, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
- [4] Zieliński T. P., Cyfrowe przetwarzanie sygnałów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [5] Kardasz P., Algorytm identyfikacji składowych sinusoidalnych złożonego sygnału na podstawie jego losowo pobranych próbek. *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, nr 76 (2013), s. 197-203.

### QUASI STATIONARY NOISE REDUCTION ALGORITHM IN HISTORICAL SOUND RECORDINGS

The paper presents the noise reduction algorithm in audio recordings, capable of reducing noises such as 50 Hz hum or analog television horizontal deflection frequency. Disturbances of this kind are often found in old recordings on magnetic media. Because of phenomena such as the deformation and the unevenness of the carrier feed speed, frequency and amplitude of such interference is not constant, which hampers their reduction with band-rejection filters. The article presents the behavior of the developed algorithm and the quality of noise reduction depending on the parameters of the test signal. The algorithm has been tested on several examples of test signals. Directions for further research to improve the algorithm are outlined