

Piotr KARDASZ*

WYKORZYSTANIE ZAKŁÓCEŃ QUASISTACJONARNYCH W CELU REDUKCJI NIERÓWNOMIERNOŚCI PRZESUWU TAŚMY W NAGRANIACH DŹWIĘKU NA NOŚNIKACH MAGNETYCZNYCH

Stare nagrania dźwięku na taśmach magnetycznych charakteryzują się zakłóceniami spowodowanymi nierównomiernością przesuwu taśmy oraz jej mechanicznymi odkształceniami. W celu ich redukcji można wykorzystać zawsze obecne w takich nagraniach zakłócenia quasistacjonarne, takie jak przydźwięk sieciowy. Artykuł przedstawia algorytm, wykorzystujący wahania częstotliwości tych zakłóceń w celu oszacowania nierównomierności przesuwu taśmy i redukcji spowodowanych tym zniekształceń. Przy użyciu sygnału testowego zostało zbadane zachowanie się proponowanego algorytmu i jakość redukcji zakłóceń. Zostały również zarysowane kierunki dalszych badań nad udoskonaleniem i wykorzystaniem opracowanego algorytmu.

SŁOWA KLUCZOWE: redukcja zakłóceń, analiza sygnału, zapis magnetyczny

1. WPROWADZENIE

Szeroko stosowany do niedawna analogowy zapis magnetyczny dźwięku charakteryzuje się małą odpornością na zniekształcenia stosowanych w tym celu nośników. Taśmy magnetyczne, wykonywane z cienkiej folii z tworzyw sztucznych, powleczone lakierem magnetycznym, których całkowita grubość wraz z warstwą lakieru może wynosić zaledwie 9 μm [1] są mało odporne na rozciąganie. Rozciąganie to nigdy nie jest równomierne i dlatego nagranie, odtwarzane ze zużytego nośnika, charakteryzuje się drżeniem i kołysaniem częstotliwości.

Inną przyczyną kołysania dźwięku jest nierównomierność prędkości przesuwu taśmy. Nagrania, często cenne dla ich właścicieli i na ogół niepowtarzalne, stanowiące dla nich pamiątki z czasów, które minęły, były zapisywane często na złej jakości sprzęcie, którego nierównomierność prędkości przesuwu taśmy przekraczała znacznie 1%. Spotykane są także nagrania sprzed lat dokonane z płyt analogowych [2], w których otwór nie jest położony dokładnie centralnie w stosunku do ścieżki zapisu. Nagranie dokonane z takiego nośnika również będzie się charakteryzowało kołysaniem dźwięku.

* Politechnika Białostocka.

Łączne działanie wszystkich wspomnianych przyczyn powoduje nieregularne i bardzo przykre dla ucha zaburzenia dźwięku [3]. Ponieważ dokładne przyczyny i wielkości odchyżeń nie są możliwe do ustalenia, redukcja tych zniekształceń nie jest zadaniem banalnym. Popularne programy do obróbki sygnałów dźwiękowych, zarówno bezpłatne jak i komercyjne, nie dysponują możliwościami redukcji takich zniekształceń.

Istnieje jednak możliwość detekcji i pomiaru opisanych nierównomierności. Związana jest ona z występowaniem w nagraniach dokonywanych niskiej jakości sprzętem, zakłóceń quasistacjonarnych, takich jak przydźwięk sieci zasilającej. Przydźwięk taki, który podczas zapisu miał stałą częstotliwość równą 50 Hz, podlega tym samym zniekształceniom, co sygnał użyteczny. Jeśli możliwy byłby pomiar chwilowej częstotliwości tego sygnału, można by na tej podstawie skorygować sygnał użyteczny tak, aby wyeliminować jego kołysanie. Możliwe jest również wykorzystanie innych stałych częstotliwości zakłócających, które mogły zapisać się wraz z sygnałem użytecznym. Jedną z częściej spotykanych jest częstotliwość odchylenia poziomego telewizji analogowej równa 15625 Hz, która nagrywa się wraz z sygnałem dźwiękowym z telewizora, albo stanowi zakłócenie generowane przez stojący w pobliżu magnetofonu odbiornik.

W tej sytuacji istnieje możliwość opracowania algorytmu, który mógłby zredukować kołysanie i drzenie dźwięku zapisanego na taśmie magnetycznej wykorzystując do tego celu obecne w zapisie zakłócenia quasistacjonarne.

2. CEL I ZAKRES PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było zaprojektowanie, implementacja i przetestowanie działania algorytmu redukcji nierównomierności przesuwu taśmy z wykorzystaniem zakłóceń quasistacjonarnych, takich jak przydźwięk sieciowy lub częstotliwość odchylenia poziomego telewizji. Powinien on dokonywać identyfikacji częstotliwości tych zakłóceń i na tej podstawie skorygować nagranie poprzez jego przepróbkowanie ze zmienną częstotliwością. Algorytm taki został opracowany na bazie algorytmu identyfikacji składowych sinusoidalnych sygnału [4], a następnie przetestowany przy użyciu kilku sygnałów testowych. Oceniona została jakość działania algorytmu oraz możliwości jego implementacji i dalszego udoskonalania

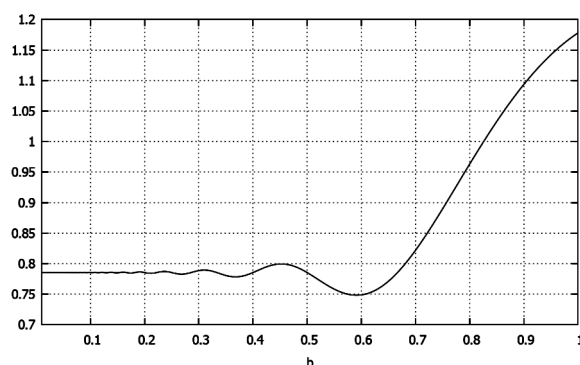
3. PODSTAWY TEORETYCZNE

Stosowana najczęściej metoda analizy sygnału, polegająca na analizie widmowej przy użyciu transformaty Fouriera [5] jest zbyt mało dokładna w przypadku, gdy badane jest widmo w zakresie niskich częstotliwości na podstawie niewielkiej liczby próbek. W celu identyfikacji amplitudy i

częstotliwości zakłóceń quasistacjonarnych może jednak zostać wykorzystana funkcja:

$$f(a) = \int_0^{\pi/b} b \sin^2(bt) \sin(t) \cdot \sin(at) dt \quad (1)$$

Dla b dążącego do zera funkcja ta posiada maksimum niewłaściwe o wartości $\pi/4$ w punkcie $a = 1$ (rys. 1):



Rys. 1. Niewłaściwe maksimum funkcji (1) dla $a = 1$ i $b \in \langle 0,01,1 \rangle$

Jeśli więc wymnoży się badany sygnał $S(t)$ zawierający zakłócenie o pulsacji ω przez funkcję okna:

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

a następnie przez sygnały testowe o postaci:

$$S_t(t) = \sin(\omega_t t) \quad (3)$$

gdzie pulsacje testowe ω_t są zbliżone do oczekiwanej pulsacji zakłócenia ω , po czym scałkuje się wyniki tych mnożeń w czasie od 0 do π/b , otrzyma się maksimum tej całki dla $\omega = \omega_o$.

Powyższe rozważania dotyczą przypadku, gdy sygnał zakłócający jest sygnałem sinusoidalnym nieprzesuniętym w fazie w stosunku do sygnału testowego. Warunek ten nie jest w ogólnym przypadku spełniony. Można jednak wykorzystać ortogonalność funkcji $\sin(\omega t)$ i $\cos(\omega t)$ i dokonać mnożeń przez sygnały testowe:

$$S_{\sin}(t) = \sin(\omega t) \quad (4)$$

$$S_{\cos}(t) = \cos(\omega t) \quad (5)$$

po czym obliczyć amplitudę:

$$A = \sqrt{A_{\sin}^2 + A_{\cos}^2} \quad (6)$$

i poszukiwać maksimum amplitudy w funkcji pulsacji testującej ω_t . Pozwala to na zidentyfikowanie częstotliwości zakłóceń. Zakładając, że w czasie nagrywania

częstotliwość ta była stała i znana (np. częstotliwość przydźwięku sieciowego 50 Hz), można ocenić odchylenie prędkości przesuwu nośnika od standardowej i skorygować związane z tym zniekształcenia.

W przypadku cyfrowej obróbki sygnału jego postać dyskretna wynosi:

$$S(t) = S(nT) \quad (7)$$

i wzór (1) przyjmie postać:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N \sin^2\left(\frac{\pi}{N} nT\right) \cdot \sin(nT) \cdot \sin(anT) \quad (8)$$

W tej postaci może on zostać wykorzystany w celu opracowania algorytmu detekcji częstotliwości zakłóceń quasistacjonarnych i na tej podstawie korekcji wahań prędkości przesuwu nośnika magnetycznego lub zniekształceń sygnału spowodowanych rozciągnięciem nośnika.

4. DZIAŁANIE ALGORYTMU

Opracowany program pobiera z pliku $N = 4096$ próbek sygnału $S(nT)$, co przy częstotliwości próbkowania 44100 Hz odpowiada 92,9 ms. Sygnał ten jest wstępnie mnożony przez funkcję okna:

$$f_o(n) = \sin^2\left(\frac{\pi n}{4096}\right) \quad (9)$$

a następnie przez sygnały testowe o częstotliwościach zmieniających się w zakresie od 48,5 Hz do 51,5 Hz co 0,1 Hz. Użyte zostały sygnały testowe o postaci:

$$F_{\sin} = \sin(2\pi f n T) \quad (10)$$

$$F_{\cos} = \cos(2\pi f n T) \quad (11)$$

Algorytm oblicza wartość funkcji:

$$A_{\sin} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N f_o(n) \cdot S(nT) \cdot F_{\sin}(anT), \quad A_{\cos} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N f_o(n) \cdot S(nT) \cdot F_{\cos}(anT) \quad (12)$$

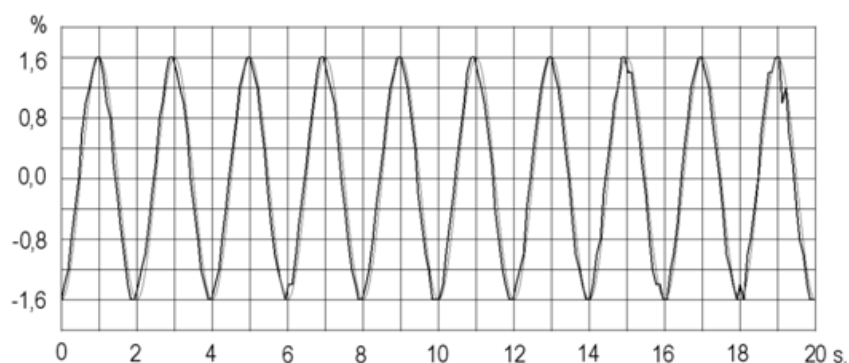
dla sygnałów testowych (10), (11) po czym odnajduje wartości maksymalne A_{\sin} i A_{\cos} dla każdej z częstotliwości i na tej podstawie estymuje częstotliwość sygnału zakłócającego. Jego amplituda, faza i kształt nie są istotne dla dalszej pracy algorytmu. Otrzymuje się w ten sposób wartości częstotliwości zakłóceń dla chwil równych $m \cdot 92,9$ ms., gdzie m jest kolejnym numerem pobranego ciągu próbek. Dla chwil pośrednich procedura przeprowadza aproksymację liniową.

5. PRZEBIEG BADAŃ

Opracowany algorytm został przetestowany za pomocą przygotowanego w tym celu sygnału testowego. Składa się on z próbki muzyki, zakłóconej przebiegiem sinusoidalnym o częstotliwości 50 Hz i poziomie -12 dB. Sygnał ten został następnie przetworzony tak, aby zasymulować odchylenia prędkości przesuwu

taśmy o 1,6% od prędkości standardowej. Czas trwania sygnału testowego wynosił 20 sekund, zaś okres symulowanych zmian prędkości przesuwu nośnika wynosił 2 sekundy.

Tak otrzymany sygnał testowy poddano działaniu opracowanego algorytmu. Uzyskane estymaty odchylenia prędkości przesuwu nośnika zostały porównane z oryginalnym sygnałem sterującym (rys. 2).



Rys. 2. Porównanie estymaty odchylenia prędkości przesuwu nośnika (gruba linia) z rzeczywistym odchyleniem (cienka linia)

6. OCENA WYNIKÓW I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Opracowany algorytm potrafi zidentyfikować częstotliwość sygnału zakłócającego i dzięki jego obecności pozwala na znaczną redukcję zniekształceń pochodzących od nierównomierności przesuwu taśmy magnetycznej lub rozciągnięcia nośnika. Można jednak zauważyć niedoskonałości jego działania, wynikające z przyjętego sposobu aproksymacji (liniowa) i błędów oszacowania częstotliwości sygnału zakłócającego. Aby poprawić pracę algorytmu, można zastosować aproksymację wielomianową, a także uwzględnić fakt, że amplituda i częstotliwość zakłóceń quasistacjonarnych zmieniają się stosunkowo powoli, a zatem szybkie zmiany tych wartości powinny zostać przez algorytm odrzucone.

Opracowany algorytm został przetestowany za pomocą przygotowanego wstępnie sygnału o stosunkowo wysokim poziomie przydzwięku (-12 dB). Po wprowadzeniu wyżej wspomnianych poprawek, algorytm zostanie przetestowany na rzeczywistych próbkach nagrań ze starych taśm magnetycznych, co pozwoli ocenić jego przydatność do zastosowań praktycznych.

LITERATURA

- [1] Iwanicka B., Koprowski E., Kasety magnetofonowe i magnetowidowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1988.
- [2] Vademecum techniki audio-video – zapisywanie i odtwarzanie dźwięku. Praca zbiorowa pod red. Z. Dackiewicz, WNT, Warszawa 1991.
- [3] Lindsay P. H., Norman D. A., Procesy przetwarzania informacji u człowieka, PWN, Warszawa 1991.
- [4] 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.
- [5] Zieliński T. P., Cyfrowe przetwarzanie sygnałów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.

THE USE OF QUASI STATIONARY NOISES FOR TAPE FEED FLUCTUATION REDUCTION IN MAGNETIC MEDIA RECORDINGS

Old audio recordings on magnetic tape are characterized by distortions caused by its mechanical deformations and non-uniformity of the tape feed. In order to reduce these distortions the ever-present quasi stationary noise, such as 50 Hz hum, can be used. The article presents an algorithm that uses this noise fluctuation to estimate the non-uniformity of the tape feed and to reduce the distortions caused by that non-uniformity. The behavior of the proposed algorithm and the quality of non-uniformity tape feed distortions reduction was examined. The directions for further research and refinement of the developed algorithm were outlined.