

Piotr KARDASZ\*

## ALGORYTM DETEKCJI ZAKŁÓCEŃ IMPULSOWYCH W ARCHIWALNYCH NAGRANIACH DŹWIĘKU NA PŁYTACH ANALOGOWYCH

Sygnal dźwiękowy zapisany na płytach analogowych podatny jest na zakłócenia impulsowe, słyszalne jako trzaski. Powstają one zarówno na skutek uszkodzeń materiału, związanych z procesem wielokrotnego odtwarzania tych płyt, jak również na skutek niewłaściwego obchodzenia się z tego rodzaju nośnikiem. Jednym z problemów związanych z redukcją tego rodzaju zakłóceń jest ich detekcja na tle sygnału o wysokiej amplitudzie. W celu poprawy jakości tego procesu zaproponowany został algorytm opierający się na możliwości oddzielenia wolnozmiennych składowych harmonicznych od pozostałej części rekonstruowanego sygnału. Część ta zawiera wówczas większość energii zakłóceń impulsowych. Artykuł przedstawia algorytm detekcji zakłóceń impulsowych opierający się na powyższych spostrzeżeniach, wyniki testów proponowanego algorytmu oraz kierunki dalszych badań.

SŁOWA KLUCZOWE: algorytm, nagrania archiwalne, rekonstrukcja, płyty analogowe

### 1. WPROWADZENIE

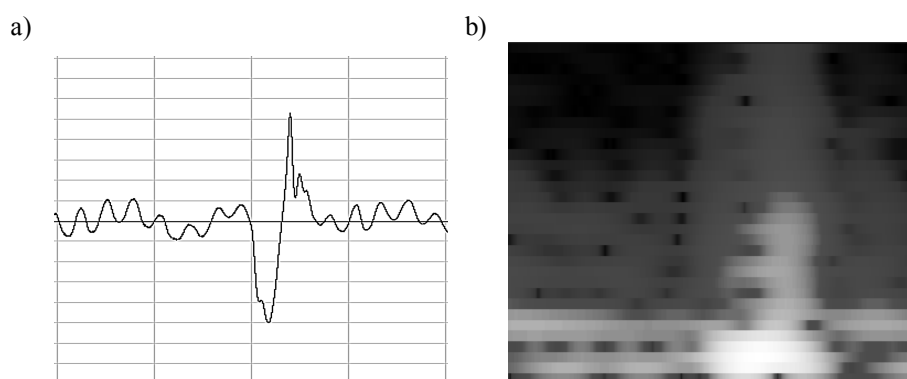
Nagrania dźwięku na płytach analogowych podatne są na uszkodzenia nośnika, powstające zarówno na skutek jego wielokrotnego odtwarzania, jak również nieodpowiedniego obchodzenia się z nim [1]. Uszkodzenia takie powodują powstawanie zakłóceń o charakterze impulsowym, słyszalnych w nagraniu jako charakterystyczne trzaski. Problem ten dotyczy zwłaszcza starszych nagrań, odtwarzanych za pomocą gramofonów o dużym nacisku igły i małej precyzji wykonania. Przy tym, o ile nagrania wykonane w ostatnich kilku dziesięcioleciach dostępne są na ogół również w formie cyfrowej [2] lub zapisu analogowego wysokiej jakości („taśmy-matki”), o tyle w przypadku starszych nagrań często występuje zniszczony nośnik, na którym oprócz wspomnianych już zakłóceń impulsowych, pojawiają się także inne ich rodzaje (szum, ograniczenie pasma przenoszenia, itp.) [1].

Nagrania takie poddawane są procesom rekonstrukcji, mającym za zadanie usunięcie jak największej części zakłóceń i przywrócenie im pierwotnego

---

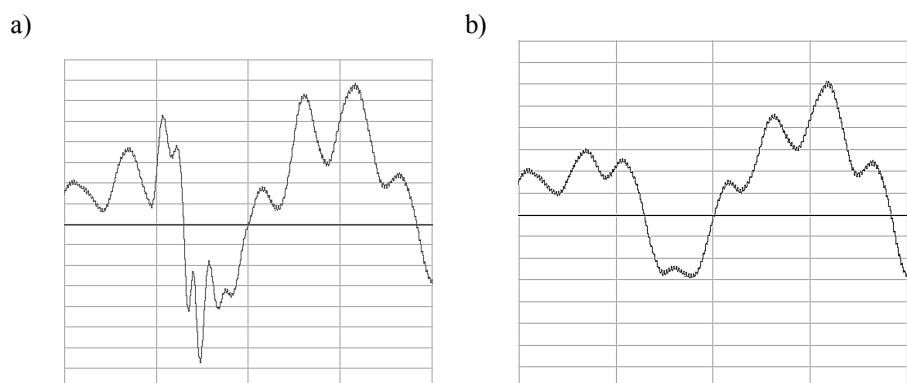
\* Politechnika Białostocka.

brzmienia. Aby można było dokonać redukcji zakłóceń impulsowych, muszą być one najpierw odnalezione w nagraniu. W celu zrealizowania tego rodzaju detekcji można wykorzystać charakterystyczny kształt takiego impulsu (rys. 1a), krótkotrwałe zaburzenie widma sygnału (rys. 1b) oraz innego rodzaju anomalie w dziedzinie czasu bądź częstotliwości.



Rys. 1. Typowe zakłócenie impulsowe w nagraniu z płyty analogowej produkcji ZSRR z lat pięćdziesiątych XX wieku – przebieg czasowy (a) i widmo (b). Płyta produkcji ZSRR z lat pięćdziesiątych XX wieku

Algorytmy detekcji zakłóceń impulsowych wymagają bardzo starannego doboru parametrów decydujących o ich czułości. Zbyt wysoka czułość takiego algorytmu może powodować „fałszywe alarmy” – niektóre rodzaje dźwięków traktowane są wówczas jako zakłócenia. Przykładem takich fałszywych alarmów może być wysoki głos kobiecy (rys. 2).



Rys. 2. Uszkodzenie sygnału w rezultacie zbyt wysokiej czułości algorytmu detekcji zakłóceń impulsowych. Fragment sygnału (głos kobiecy - śpiew) przed (a) i po (b) redukcji zakłóceń impulsowych

Tego rodzaju fałszywych alarmów można by uniknąć poprzez rozdzielenie sygnału na dwie części, z których jedna zawierałaby wyłącznie wolnozmiennie składowe harmoniczne, zaś pozostała – składowe szybkozmiennie oraz stochastyczne (określane przez muzyków jako szmery [4]). Wolnozmiennie składowe harmoniczne niosą znaczną część mocy sygnału dźwiękowego. Dzięki temu – ponieważ cała moc zakłóceń impulsowych znalazłaby się wtedy w pozostałej części sygnału – można by było wykryć je ze znacznie większym prawdopodobieństwem, spadłoby zaś prawdopodobieństwo uzyskania „fałszywego alarmu”.

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było zaprojektowanie, implementacja i przetestowanie działania algorytmu detekcji zakłóceń impulsowych, opracowanego z wykorzystaniem idei rozdzielenia sygnału na dwie części, z których pierwsza zawiera wyłącznie wolnozmiennie składowe harmoniczne. Algorytm tego rodzaju po dokonaniu podziału sygnału dźwiękowego powinien następnie na podstawie analizy w dziedzinie czasu i/lub częstotliwości wskazać te miejsca w nagraniu, które mogą zawierać zakłócenia impulsowe. Zakłócenia te mogłyby być następnie usunięte przy użyciu odpowiednich do tego celu metod.

Algorytm tego rodzaju został opracowany, zaimplementowany i przetestowany przy użyciu kilku sygnałów testowych, zarówno przygotowanych w drodze syntezy, jak i rzeczywistych nagrań na płytach analogowych pochodzących z lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku, zniszczonych odtwarzaniem przy użyciu sprzętu amatorskiego o niskiej jakości. Została oceniona jakość działania algorytmu oraz możliwości jego dalszego udoskonalania.

## 3. DZIAŁANIE ALGORYTMU

Pierwszym etapem pracy proponowanego algorytmu jest oddzielenie od sygnału składowych wolnozmiennych. W tym celu pobierane są z sygnału fragmenty o długości 65536 próbek. Uzyskane w ten sposób ciągi mnożone są przez funkcję okna typu  $\sin^2$ :

$$f_o(n) = \sin^2\left(\frac{\pi n}{65536}\right) \quad (1)$$

Tak przygotowany ciąg próbek poddawany jest następnie szybkiej transformacie Fouriera (FFT) [3]. Rozdzielczość częstotliwościowa takiej transformaty wynosi 0,673 Hz (dla częstotliwości próbkowania 44100 Hz). W celu poprawy tej rozdzielczości, analizowany ciąg po przemnożeniu przez funkcję okna, uzupełniany jest zerami, aby uzyskać  $2^{18}$  próbek. Liczba ta jest kompromisem pomiędzy dokładnością, a szybkością pracy algorytmu, zaś rozdzielczość częstotliwościowa wynosi wówczas 0,168 Hz.

W kolejnym etapie poszukiwane są maksima amplitudy, spośród których pozostawiane są te, których wartość przekracza zadany przez użytkownika próg. Na ich podstawie przeprowadzana jest synteza sygnału harmonicznego:

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

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

Procedura taka powoduje uśrednienie amplitudy składowych harmonicznym w czasie trwania jednego fragmentu sygnału, poddawanego transformacji. Czas trwania takiego fragmentu dla częstotliwości próbkowania 44100 Hz wynosi 1,49 s. Otrzymuje się więc w ten sposób sygnał, zawierający wolnozmiennie składowe harmoniczne o wysokiej amplitudzie. Po odjęciu go od pierwotnego sygnału otrzymuje się sygnał, który będzie zawierał składowe harmoniczne szybkozmiennie, składowe harmoniczne o małej amplitudzie oraz składowe stochastyczne. W sygnale tym zawarta będzie większość mocy zakłóceń impulsowych

W tak otrzymanym sygnale poszukuje się następnie anomalii, mogących stanowić zakłócenia impulsowe. Najprostszym kryterium mogącym być podstawą do wykrycia takiej anomalii jest chwilowe maksimum amplitudy. Można na przykład obliczyć współczynnik  $a$ :

$$a = \frac{A_n}{A_{n-1} + A_{n+1}} \quad (3)$$

gdzie  $A_n$  jest n-tym maksimum amplitudy, zaś  $A_{n-1}$  oraz  $A_{n+1}$  są maksimami sąsiednim i uznać, że jeśli współczynnik ten jest wyższy niż założony próg, mamy do czynienia z zakłóceniem impulsowym. Tak proste kryterium jest oczywiście podatne na fałszywe trafienia, ale może dzięki temu stanowić dobre narzędzie testujące. Jeśli bowiem zaproponowana metoda podziału sygnału na dwie składowe miałaby przynieść poprawę trafności wykrywania zakłóceń impulsowych, powinno być to zauważalne już dla najprostszych metod takiej detekcji. W tej sytuacji zostało ono wybrane do tego celu.

Po dokonaniu detekcji algorytm zapisuje do wynikowego pliku tekstowego numery próbek, będące początkiem i końcem obszaru zawierającego zakłócenie impulsowe, przy czym za obszar taki uznawana jest część sygnału pomiędzy maksimami  $A_{n-1}$  oraz  $A_{n+1}$ .

#### 4. PRZEBIEG BADAŃ

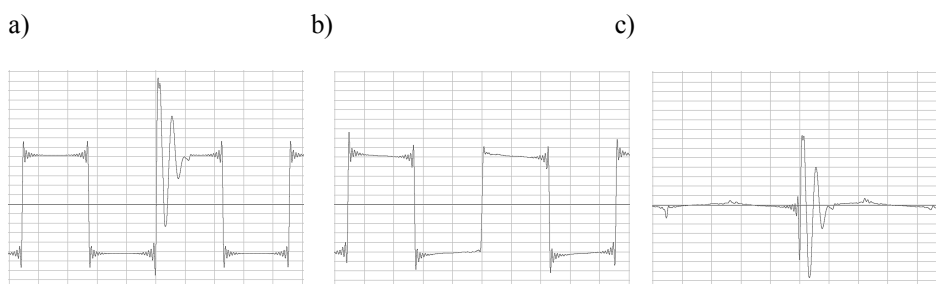
Opracowany algorytm został przetestowany za pomocą przygotowanych w tym celu sygnałów testowych (tabela 1).

Tabela 1. Sygnały testowe

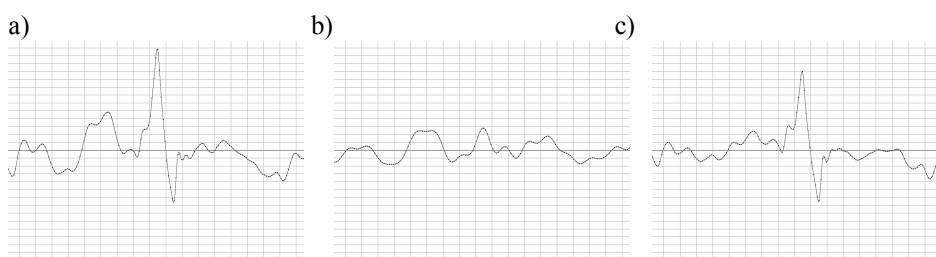
Lp.	Sygnał	
	Kształt	Uwagi
1	Prostokątny z nałożonymi zakłóceniami	Zakłócenie o postaci gasnącego sygnału sinusoidalnego $Z(n) = A \sin\left(\frac{\pi n}{L_1}\right) e^{-\frac{n}{L_2}}$
2	Próbka muzyki pochodzącej ze zniszczonej płyty analogowej	Płyta produkcji ZSRR, drobnorowkowa, monofoniczna, lata pięćdziesiąte XX w.

Został wykonany podział sygnałów testowych na dwa sygnały składowe, po czym wykonano detekcję zakłóceń impulsowych w sygnale oryginalnym oraz w sygnale zawierającym składowe szybkozmiennne oraz stochastyczne. Dla sygnału będącego próbką muzyki wykonano test odsłuchowy.

Na rys. 3 i 4 przedstawiono przebiegi czasowe fragmentów sygnałów: oryginalnych sygnałów testowych a także ich części „wolnozmiennnej” oraz „szybkozmiennnej” otrzymanych w wyniku działania badanego algorytmu.



Rys. 3. Przebieg czasowy fragmentu sygnału testowego 1 (a) oraz jego części „wolnozmiennnej” (b) i „szybkozmiennnej” (c) uzyskanej w wyniku działania badanego algorytmu



Rys. 4. Przebieg czasowy fragmentu sygnału testowego 2 (a) oraz jego części „wolnozmiennnej” (b) i „szybkozmiennnej” (c) uzyskanej w wyniku działania badanego algorytmu

## 5. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Przeprowadzone badania wykazały, że część sygnału, zawierająca wolnozmiennie składowe harmoniczne niesie ze sobą większość jego energii. Testy odsłuchowe tego sygnału pokazały z kolei, że nie zawiera on słyszalnych trzasków. Nie można niestety traktować tego sygnału jako końcowego wyniku procesu redukcji zakłóceń impulsowych. Został on bowiem pozbawiony również istotnych składowych użytecznych, co również jest wyraźnie słyszalne.

Pozostała część sygnału zawiera praktycznie całą energię zakłóceń impulsowych. Pozwala to na ich detekcję ze znacznie większym prawdopodobieństwem prawidłowego ich wykrycia w porównaniu z sygnałem pierwotnym. Dlatego też kolejnym etapem rozwoju opisanego algorytmu będzie zastosowanie bardziej zaawansowanych kryteriów detekcji takich zakłóceń oraz opracowanie skutecznego algorytmu ich redukcji. Zarówno detekcja, jak i rekonstrukcja takich zakłóceń może odbywać się wyłącznie na „szybkoszmiennej” części sygnału. W następnej kolejności obie części powinny zostać zsumowane. Powinno to pozwolić na osiągnięcie lepszej jakości rekonstrukcji archiwalnych nagrań z płyt analogowych.

## LITERATURA

- [1] Vademecum techniki audio-video – zapisywanie i odtwarzanie dźwięku. Praca zbiorowa pod red. Z. Dackiewicz, WNT, Warszawa 1991.
- [2] Urbański B., Magnetofony i gramofony cyfrowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.
- [3] Zieliński T. P., Cyfrowe przetwarzanie sygnałów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [4] Wesołowski F., Zasady muzyki, Polskie Wydawnictwo Muzyczne, Kraków, 1998.

## THE ALGORITHM FOR THE IMPULSE NOISE DETECTION IN ARCHIVAL RECORDINGS ON ANALOG RECORDS

The sound signal recorded on analog records is susceptible to impulse noise, which can be heard as crackling. These cracklings arise either as a result of damage to the material while playing those records on the low quality equipment, as well as due to incorrect handling of them. One of the problems associated with the reduction of such distortion is the crackle detection in high amplitude signal. The proposed algorithm is based on the separation of the slowly varying harmonic components of the signal being reconstructed. The remaining part of the signal contains the majority of the impulse noise energy. The article presents the crackle detection algorithm based on the above observations, the test results of the proposed algorithm and directions for further research.