

Algorytm redukcji szumów w nagraniach dźwiękowych z wykorzystaniem podziału sygnału na składowe harmoniczne i stochastyczne

Piotr Kardasz

Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka, 15-351 Białystok ul. Wiejska 45A

Streszczenie: W artykule przedstawiono algorytm redukcji szumów w nagraniach dźwięku, wykorzystujący podział sygnału dźwiękowego na składowe harmoniczne i stochastyczne. Tego rodzaju podział sygnału na składowe pozwala na obniżenie poziomu szumów w nagraniu przy ograniczeniu występowania zjawiska znanego jako *musical noise*. Proponowany algorytm został przetestowany przy użyciu kilku sygnałów, w tym fragmentu rzeczywistego nagrania zapisanego na nośniku magnetycznym. Przedstawione zostały wyniki testów oraz zarysowane zostały kierunki dalszych badań.

Słowa kluczowe: algorytm, dźwięk, redukcja szumów, nagrania, składowe harmoniczne

1. Wprowadzenie

Analogowe nagrania dźwięku charakteryzują się szumami, które powstają na różnych etapach procesu zapisu oraz odczytu takich nagrań. Źródłem szumów są niedoskonałości zarówno układów elektronicznych (wzmacniacze zapisu i odczytu) użytych w celu przetwarzania sygnałów dźwiękowych, jak również niedoskonałości nośnika [1], używanego w celu zapisu sygnału.

O ile analogowe nagrania powstałe w latach 80. i 90. ubiegłego wieku charakteryzują się, dzięki wykorzystaniu zaawansowanych technologii, odstępem sygnału od szumu przekraczającym 60 dB [2], co jest wartością na ogół akceptowalną przez słuchacza [3], o tyle nagrania wcześniejsze, dokonywane sprzętem klasy amatorskiej, na nośnikach niskiej jakości, mają ten parametr znacznie mniejszy. W krańcowych przypadkach, jeśli nagranie było dokonywane w złych

warunkach, za pomocą niskiej jakości mikrofonu wbudowanego w amatorski magnetofon kasetowy, lub było wielokrotnie kopiowane z kasety na kasetę, może on nie przekraczać nawet kilkunastu decybeli.

Standardowe metody redukcji szumów w nagraniach dźwiękowych polegają na podziale pasma sygnału na wiele (do kilku tysięcy) podpasm. W następnej kolejności sprawdza się, czy poziom sygnału w danym podpasmie jest wyższy, niż poziom szumów, a jeśli nie – podpasmo to jest tłumione. Metody te radzą sobie dobrze, jeśli odstęp sygnału od szumu wynosi kilkadziesiąt dB. W takich sytuacjach artefakty powstające podczas procesu są na ogół niezauważalne, zaś redukcja szumów daje słyszalną poprawę jakości sygnału. Metody tego rodzaju źle sobie radzą w przypadkach bardziej zaszumionych nagrań. Powstają wtedy charakterystyczne artefakty określone jako *musical noise*. Brzmiały one jak dźwięk dzwoneczków o stale zmieniającej się częstotliwości. Dźwięk ten jest obcy dla odszumianego nagrania i tego rodzaju zakłócenia, niemożliwe do późniejszego usunięcia, bywają bardziej irytujące niż pierwotny szum. Powstają one w ten sposób, że niektóre składowe szumu, pozostają nie tłumione, podczas gdy inne są tłumione o kilkadziesiąt dB. Zmienia to charakter sygnału ze stochastycznego na harmoniczny powodując powstanie charakterystycznych zakłóceń.

Jeżeli, w celu uniknięcia wyżej opisanego zjawiska podnieśmy próg zadziałania takiego algorytmu, znacznie on tłumić również użyteczne składowe sygnału, co także nie jest pożądanym efektem. Tak przetworzony dźwięk brzmi głucho, brak mu na ogół składowych o wysokich częstotliwościach, dla których odstęp sygnału od szumu jest niewielki.

Autor korespondujący:

Piotr Kardasz, pik@we.pb.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 18.11.2014 r., przyjęty do druku 26.01.2015 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Aby uniknąć obu wymienionych problemów, niezbędny jest bardzo staranny dobór parametrów tego rodzaju algorytmów. Dobre rezultaty można osiągnąć również przez zastosowanie ich zmodyfikowanych wersji, które zamiast zupełnego wyciszenia sygnału w danym podpasmie tłumią go w niewielkim, wybranym przez użytkownika stopniu – na ogół od 2 dB do 6 dB. Procedura taka, powtórzona kilkakrotnie, pozwala uzyskać w miarę dobre rezultaty, jest jednak czasochłonna i wymaga doświadczenia posługującej się nią osoby.

Ponieważ pojawiające się podczas redukcji szumów artefakty wynikają ze zmiany charakteru sygnału ze stochastycznego (szum) na harmoniczny (dźwięk), celowym wydaje się podejście polegające na rozdzieleniu obu tych części sygnału i traktowania ich niezależnie.

2. Składowe sygnału dźwiękowego

Muzycy wyróżniają w sygnale dźwiękowym dźwięki i szmery [4]. Dźwięki są składowymi harmonicznymi sygnału. Można je rozłożyć na sinusoidalny sygnał o częstotliwości podstawowej oraz na szereg harmonicznych o częstotliwościach równych całkowitej wielokrotności tej częstotliwości [5]. Niektóre instrumenty muzyczne (takie jak dzwony czy bębny) generują dźwięki składające się ze składowych nie będących względem siebie w stosunku liczb całkowitych, można jednak w takich przypadkach każdą taką składową wraz z jej harmonicznymi traktować niezależnie.

Szmary są składowymi stochastycznymi sygnału. Ich widmo jest ciągłe i nie można wyróżnić w nim ani częstotliwości podstawowej, ani harmonicznych. Obwiednia widma szmerów jest na ogół łagodną krzywą, rozciągającą się na całe pasmo akustyczne.

Losowy charakter takiego sygnału powoduje, że moc, niesiona przez jego poszczególne składowe podlega fluktuacjom. Istnieją więc chwile, w których jest ona dużo większa, niż średnia, zmierzona przez algorytm oceniający tło szumów. Taka pojedyncza częstotliwość może zostać przez ułamek sekundy przepuszczona przez algorytm redukcji szumów. Jest ona wtedy słyszalna już nie jako szmer, a jako dźwięk o określonej częstotliwości.

Efekt *musical noise* nie wystąpi, jeżeli podpasma, na jakie dzielony jest odszumiany sygnał, będą wystarczająco szerokie. W takim przypadku, jeśli algorytm redukcji szumów uzna sygnał za wystarczająco silny, pozostawi wystarczającą liczbę nie stłumionych składowych, aby zachować stochastyczny charakter sygnału. Niestety, wadą takiego rozwiązania jest fakt, że jeśli w zakresie danego podpasma wystąpi silna składowa harmoniczna, zostanie ona przepuszczona w całości, wraz z szumem, którego składowa ta nie jest w stanie zamaskować i algorytm nie spełni swego zadania – szum będzie nadal słyszalny.

W tej sytuacji można dojść do wniosku, że algorytm redukcji szumów powinien pracować niezależnie dla składowych harmonicznych i stochastycznych odszumianego sygnału. Składowe harmoniczne z definicji nie zawierają szumu i po ich oddzieleniu powinny być pozostawione bez zmian. Pozostała część sygnału powinna zostać poddana algorytmowi redukcji szumów, w którym zastosowany zostanie podział na szerokie podpasma, tak, aby stłumienie któregoś z nich nie zaburzyło stochastycznego charakteru takiego sygnału.

3. Proponowany algorytm

Opisane spostrzeżenia były podstawą do skonstruowania algorytmu redukcji szumów opierającego się na podziale sygnału na składowe harmoniczne i stochastyczne.

Pierwszym etapem pracy algorytmu jest określenie tła szumów. Docelowa wersja takiego algorytmu powinna być wyposażona w możliwość automatycznego określania tła szumów danego nagrania na podstawie analizy jego najcichszych partii. W celu opracowania wersji testowej przyjęte zostało założenie, że dysponujemy kilkusekundowym fragmentem nagrania zawierającym jedynie szum. Szum taki, podany na wejście algorytmu, poddawany jest następnie transformacji FFT. Na podstawie jej wyników zapisywane są dane o mocy tego szumu niesionej w poszczególnych pasmach częstotliwości. Algorytm określający tło szumów uruchamiany jest kilkadziesiąt razy dla różnych fragmentów szumu, a wyniki są uśredniane.

Kolejnym etapem pracy proponowanego algorytmu jest identyfikacja składowych harmonicznych odszumianego sygnału. W tym celu pobierane są fragmenty sygnału o długości 2048 próbek. Pobrany ciąg próbek mnożony jest następnie przez funkcję okna typu \sin^2

$$o(n) = \sin^2(\pi \cdot n / 2048) \quad (1)$$

Funkcja ta została wybrana jako najprostsza, pozwalająca osiągnąć oczekiwane rezultaty. Opisane dalej testy zaimplementowanego algorytmu wskazują na celowość rozważenia zastosowania w tym celu bardziej zaawansowanych funkcji [5].

Po wymnożeniu przez funkcję okna ciąg próbek uzupełniany jest zerami tak, aby uzyskać 2^{18} próbek, a następnie poddawany szybkiej transformacji Fouriera. Rozdzielczość częstotliwościowa takiej transformaty przy częstotliwości próbkowania 44 100 Hz wynosi 0,168 Hz. Ciąg liczb zespolonych, będących wynikami transformaty Fouriera, przeliczany jest na amplitudy i fazy sygnału dla poszczególnych częstotliwości, po czym algorytm poszukuje maksimum amplitudy. Parametry tych maksimum (amplituda, faza i częstotliwość) są zapisywane w celu wykorzystania w kolejnym etapie.

W etapie tym analizowana jest amplituda odnalezionych maksimum i jeśli jest wystarczająco duża (próg, w stosunku do mocy tła szumów w danym paśmie, może być zadawany przez użytkownika) są one pozostawiane do dalszego przetwarzania. Pozostałe są zerowane.

Parametr, jakim jest próg zadziałania algorytmu podczas etapu identyfikacji składowych harmonicznych decyduje, które składowe zostaną pozostawione w części harmonicznej sygnału. W opracowanej, wstępnej wersji algorytmu, jest on ustawiany przez użytkownika. Docelowo powinien być on określany automatycznie, na podstawie analizy sygnału poddawanego redukcji szumów.

W kolejnym etapie algorytm przeprowadza syntezę sygnału na podstawie zapisanych danych. W ten sposób zostają odtworzone wybrane składowe harmoniczne sygnału. Sygnał, będący wynikiem tej syntezy jest następnie odejmowany od sygnału wejściowego. W wyniku takiego postępowania otrzymujemy dwa sygnały: sygnał harmoniczny, złożony z na ogół kilkudziesięciu składowych sinusoidalnych, oraz pozostałość, zawierająca składowe stochastyczne oraz składowe harmoniczne o niewielkiej amplitudzie, które zostały odrzucone podczas pierwszego etapu działania algorytmu.

Sygnał harmoniczny, jako nie zawierający szumów, nie podlega już dalszemu przetwarzaniu. Zostanie on później dodany do sygnału, będącego wynikiem działania kolejnych etapów algorytmu.

Pozostała część sygnału, zawierająca składowe stochastyczne jest teraz przepuszczana przez bank dziewięciu filtrów. Są to proste filtry [5] drugiego rzędu o paśmie przepustowym obejmującym jedną oktawę. W rezultacie takiego postępowania otrzymujemy 9 sygnałów. Dla każdego z tych sygnałów pobierane są fragmenty o długości 1024 próbki. Obliczana jest moc niesiona przez dany fragment sygnału i porównywana z mocą tła szumów dla danego podpasma. Następnie fragment ten jest tłumiony ze współczynnikiem tłumienia

$$k = \frac{\sqrt{P_s} - \sqrt{P_n}}{\sqrt{P_s}} \quad (2)$$

gdzie P_s jest mocą sygnału, a P_n mocą tła szumu. Takie postępowanie zapewnia, że tam, gdzie moc sygnału w danym podpaśmie nie przekracza mocy tła szumów, zostanie on stłumiony całkowicie, zaś te jego fragmenty, dla których moc sygnału przekracza moc tła szumów, a co za tym idzie, przenoszą sygnał użyteczny, zostaną stłumione tak, aby niesiona przez nie moc zmniejszyła się o wartość mocy tła szumu.

Ostatnim etapem pracy algorytmu jest synteza sygnału z otrzymanych składowych. Dziewięć sygnałów otrzymanych na wyjściu poprzedniego etapu sumowanych jest z sobą oraz z sygnałem pochodzącym z syntezy składowych harmonicznych. Otrzymana suma jest zapisywana jako wynik pracy algorytmu.

4. Przebieg i wyniki badań

Proponowany algorytm został zaimplementowany w środowisku uruchomieniowym Lazarus. Pierwsza wersja tego algorytmu używała transformaty FFT o długości 2^{20} próbek, co pozwalało na większą dokładność identyfikacji składowych harmonicznych. Tak duża liczba próbek powodowała jednak zbyt powolną pracę tej wersji algorytmu. Liczba próbek została więc ograniczona do 2^{18} . Rozdzielczość analizy przy tej liczbie próbek, wynosząca 0,168 Hz okazała się wystarczająca do przeprowadzenia testów działania algorytmu.

W celu umożliwienia badań i testów omawianego algorytmu, wszystkie sygnały, będące pośrednimi wynikami jego pracy zapisywane są na dysku twardym. Dzięki temu mogą one być później analizowane. Na podstawie tych analiz były odnajdywane i poprawiane błędy i niedostatki badanego algorytmu.

Opracowany algorytm został przetestowany przy użyciu kilku sygnałów testowych. (tab. 1), zarówno przygotowanych sztucznie, jak i pochodzących z rzeczywistych, archiwalnych nagrań dźwięku.

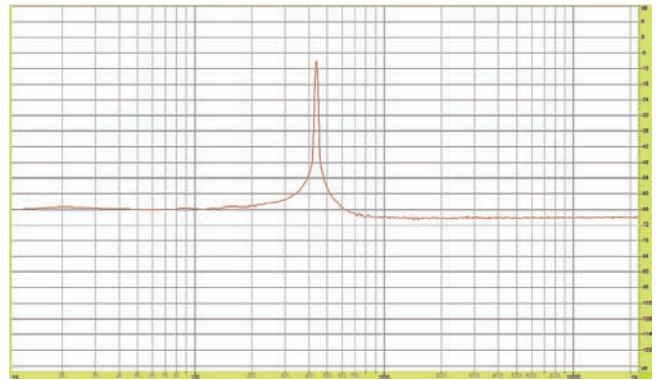
Najprostszym z użytych sygnałów testowych był sygnał 1. Był to sygnał sinusoidalny o częstotliwości 440 Hz. Sygnał ten został zaszumiony addytywnie szumem białym, tak, że stosunek mocy sygnału do mocy szumu wynosił w przybliżeniu 30 dB (zmierzony SNR dla tego sygnału to 30,4 dB). Wielkość ta odpowiada nagraniom na nośniku magnetycznym (kaseta magnetofonowa) niskiej jakości [1, 2]. Celem badań wykonanych przy zastosowaniu tego sygnału była ocena pracy algorytmu i usunięcie ewentualnych błędów.

Sygnał 2 składał się z przebiegu prostokątnego o częstotliwości 440 Hz oraz szumu białego poddanego filtracji pasmowoprzepustowym filtrem Butterwortha [5] drugiego rzędu.

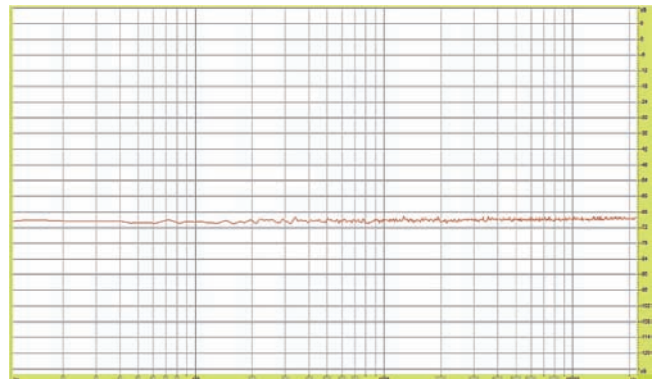
Tabela 1 Sygnały zastosowane do testowania algorytmu

Table 1. Signals used for testing

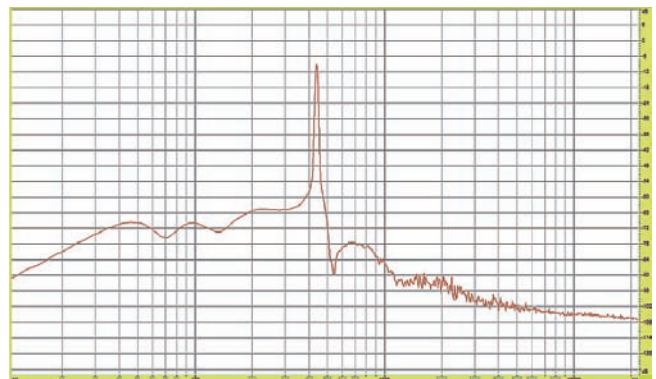
Lp.	Rodzaj sygnału	SNR [dB]
1	Sygnał sinusoidalny o częstotliwości 440 Hz zaszumiony addytywnie szumem białym	30,4
2	Sygnał prostokątny o częstotliwości 440 Hz, z dodatkiem szumu kolorowego, zaszumiony addytywnie szumem białym	33,4
3	Nagranie muzyki (niskiej jakości zapis na kasecie magnetofonowej)	poniżej 24



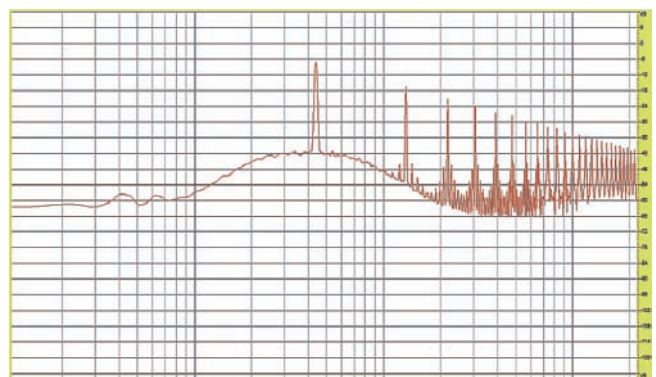
Rys. 1. Widmo sygnału testowego 1
Fig. 1. A spectrum of the test signal 1



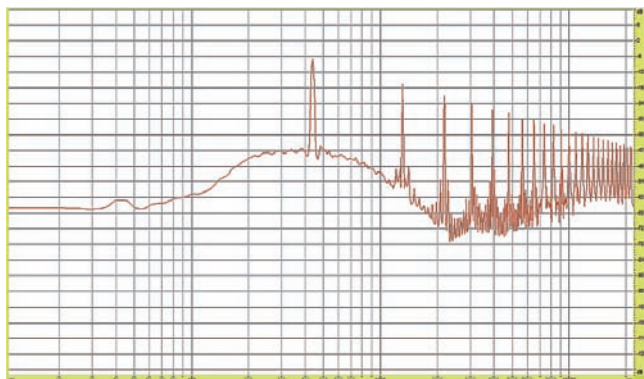
Rys. 2. Tło szumów sygnałów testowych 1 i 2
Fig. 2. A noise floor of the test signals 1 and 2



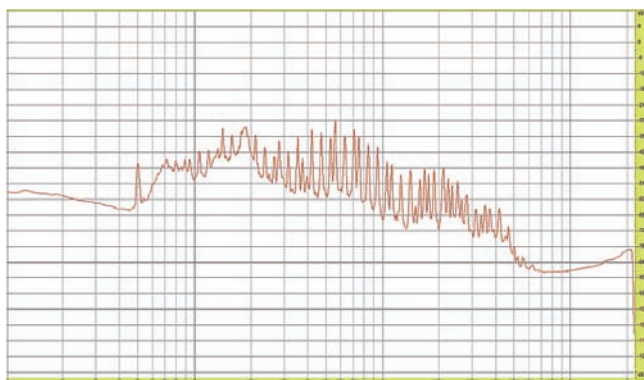
Rys. 3. Widmo sygnału testowego nr 1 po redukcji szumów
Fig. 3. A spectrum of the test signal 1 after the noise reduction



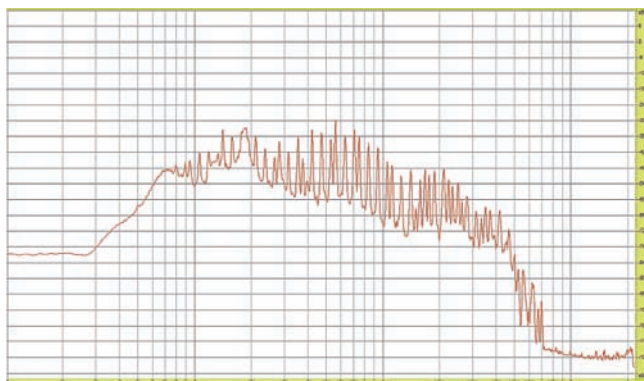
Rys. 4. Widmo sygnału testowego nr 2
Fig. 4. A spectrum of the test signal 2



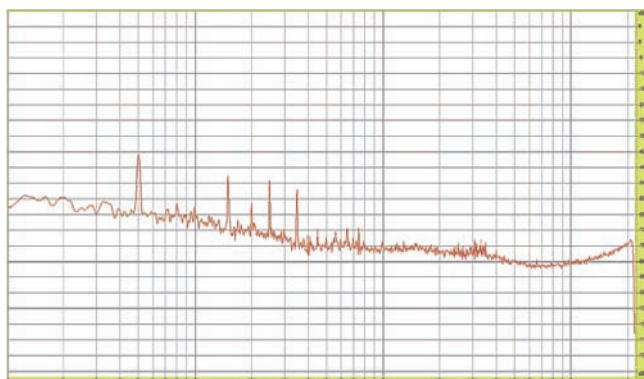
Rys. 5. Widmo sygnału testowego nr 2 po redukcji шумов
Fig. 5. A spectrum of the test signal 2 after the noise reduction



Rys. 6. Widmo sygnału testowego nr 3
Fig. 6. A spectrum of the test signal 3



Rys. 7. Widmo sygnału testowego nr 3 po redukcji шумов
Fig. 7. A spectrum of the test signal 3 after the noise reduction



Rys. 8. Tłó шумов sygnału nr 3
Fig. 8. A noise floor of the test signal 1

Częstotliwości graniczne tego filtra wynosiły 200 Hz (dolna) i 800 Hz (górną). Szum ten miał za zadanie symulować składowe stochastyczne w nagraniu dźwiękowym.

Celem badań z użyciem tego sygnału było przetestowanie działania proponowanego algorytmu na sygnale składającym się zarówno z wielu składowych harmonicznych, jak i składowej stochastycznej. Został on zaszumiony tym samym szumem białym, co sygnał 1. Ze względu na większą moc sygnału 2 w porównaniu do sygnału 1, wzrósł w tym przypadku do 33,4 dB stosunek mocy sygnału do mocy szumu.

Sygnał 3 został pobrany z kasety magnetofonowej nagranej za pomocą sprzętu o niskiej jakości. Stosunek mocy tego sygnału do mocy szumu nie przekracza 24 dB w najgłośniejszych jego partiach. Nagranie to zostało wybrane do testów ze względu na to, że typowe algorytmy nie radzą sobie z jego odszumieniem i albo pozostawiają słyszalne artefakty typu *music noise*, albo tłumią użyteczne składowe sygnału. Sygnał ten posłużył również do przeprowadzenia testów odsłuchowych mających za zadanie wstępną ocenę jakości algorytmu, jak również dobór progów zadziałania modułu analizy składowych harmonicznych.

Sygnały testowe zostały poddane algorytmowi redukcji шумов, po czym zostały przeanalizowane zarówno pliki będące końcowym wynikiem działania algorytmu, jak też zawierające wyniki pośrednie. Na rysunkach 1–8 przedstawiono widma badanych sygnałów przed i po redukcji шумов, jak również widmo tła шумов dla poszczególnych sygnałów.

Testy odsłuchowe pokazały że algorytm radzi sobie dobrze z redukcją шумов w rzeczywistym nagraniu. Algorytm, zastosowany dla sygnału 3, pozwolił na redukcję шумов o kilkadziesiąt dB (rys. 6, 7) nie wprowadzając przy tym zauważalnych podczas odsłuchu artefaktów.

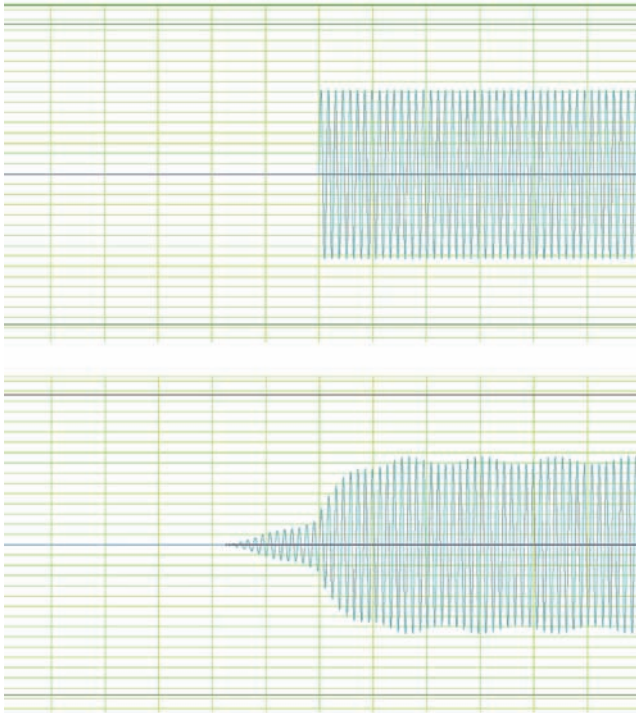
Można zauważyć, że badany algorytm usunął z sygnału 3 także zakłócającą go częstotliwość przydzwięku sieciowego 50 Hz. Tego rodzaju quasistacjonarne zakłócenia powinny być jednak redukowane innymi metodami [6], mogą one także być źródłem informacji cennych dla rekonstrukcji tego rodzaju nagrań, takich jak wahania prędkości przesuwu nośnika lub jej odchylenie od normy [7].

Badania proponowanego algorytmu wykonane przy użyciu prostych sygnałów testowych wykazały jednak istnienie problemów, których rozwiązanie będzie tematem dalszych badań. Najważniejsze spośród nich to tłumienie impulsów dźwięku o szybkim narastaniu, „fałszywe trafienia” podczas etapu wykrywania składowych harmonicznych oraz niska dokładność zastosowanego banku filtrów.

Najprostszym do rozwiązania problemem będzie przeprojektowanie banku filtrów. Filtry te, użyte w celu podzala sygnału stochastycznego na podpasma, mają niewielkie nachylenie charakterystyki (12 dB/oktawę), co powoduje, że przepuszczają one znaczną część sygnału również poza podpasmem, dla którego zostały zaprojektowane. Powoduje to obniżenie efektywności redukcji шумов.

Celowym wydaje się więc przeprowadzenie testów przy użyciu filtrów o większym nachyleniu charakterystyki, zaprojektowanych w ten sposób, aby suma wszystkich sygnałów na wyjściu banku filtrów była równa sygnałowi przed filtracją.

Tłumienie impulsów dźwięku o szybkim narastaniu jest wynikiem pracy algorytmu na fragmentach sygnału o długości 2048 próbek, co daje ok. 46 milisekund przy częstotliwości próbkowania 44 100 Hz. Wszelkie zmiany amplitudy sygnału, które zachodzą szybciej, zostaną przez algorytm uśrednione. Ponieważ w kolejnym etapie wykonywane jest odejmowanie zsynchronizowanego sygnału harmonicznego od sygnału oryginalnego, impulsy te zostaną pozostawione w części stochastycznej sygnału. Wprowadzają one w błąd algorytm odpowiedzialny za tłumienie sygnału stochastycznego powodując słyszalne efekty w postaci krótkotrwałych „wybuchów” шумов.



Rys. 9. Błędy związane z przetwarzaniem fragmentów sygnału o długości 2048 próbek. Na górze oryginalny sygnał, poniżej wynik działania algorytmu wykrywania składowych harmonicznych
Fig. 9. Errors caused by signal processing in 2048 samples chunks. Upper part – the original signal, lower part – the signal after processing by harmonic detection algorithm

„Falszywe trafienia” dla prostych sygnałów testowych wynikają z wpływu częstotliwości funkcji okna na widmo badanego sygnału. Widmo takiego sygnału oprócz maksimum związanego z jego częstotliwością zawiera również maksima lokalne wynikające z modulacji sygnału przez funkcję okna [5]. W przypadku zapisu rzeczywistych sygnałów dźwiękowych o złożonym widmie zjawisko to jest na ogół maskowane, dla prostych sygnałów jednak powoduje powstawanie zniekształceń sygnału wyjściowego. W celu poprawy tej sytuacji można rozpatrzyć zastosowanie innej niż \sin^2 funkcji okna, docelowo algorytm redukcji szumów ma się jednak opierać o bardziej zaawansowane algorytmy identyfikacji składowych harmonicznych [8]. Pozwoli to również uniknąć podstawowej wady badanego algorytmu – jego powolnej pracy. Najbardziej czasochłonną częścią badanego algorytmu jest bowiem analiza używająca transformaty FFT o bardzo dużej liczbie próbek. Zastąpienie jej bardziej zaawansowanymi algorytmami może przyspieszyć pracę algorytmu.

Oba wspomniane błędy uwidocznione zostały na rys. 9. Można na nim zauważyć zarówno „rozmycie” początku sygnału, jak też zmiany amplitudy, wynikające z dodania do niego „fałszywych” harmonicznych powstałych wskutek modulacji tego sygnału przez funkcję okna. Błędy te, jak już było wspomniane, uwidaczniają się jedynie w przypadku prostych sygnałów testowych. Ponieważ zmiany amplitudy nie są zauważalne w przypadku zsumowanego sygnału, w celu uwidocznienia tego zjawiska użyty został czysty sygnał sinusoidalny o częstotliwości 440 Hz.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Proponowany algorytm jest w stanie podwyższyć odstęp sygnału od szumu o kilkadziesiąt decybeli, ograniczając jednocześnie powstawanie artefaktów typu *musical noise*. Przedstawiona wersja algorytmu jest pierwszą wersją, w której udało

się uzyskać jego poprawne działanie. Podczas projektowania tej wersji zastosowano szereg uproszczeń, które w kolejnych wersjach będą zastępowane bardziej zaawansowanymi algorytmami.

W miejsce transformaty FFT o bardzo dużej liczbie próbek można zastosować bardziej wyrafinowane algorytmy identyfikacji składowych sygnału [8]. Są one w stanie przeprowadzać identyfikację składowych harmonicznych sygnału także przy ograniczonej liczbie próbek. Algorytmy tego rodzaju mogą być także uruchamiane wielowątkowo, dzięki czemu ich praca jest znacznie szybsza.

Problem modulacji sygnału wejściowego przez funkcję okna będzie występował niezależnie od zastosowanej metody identyfikacji składowych harmonicznych [5]. Dlatego też powinna ona zostać starannie dobrana jako kompromis między używaną rozdzielczością a dynamiką.

Proponowany algorytm powinien również zostać uzupełniony o metody wykrywania szybkich zmian poziomu poszczególnych składowych sygnału, dzięki czemu można będzie uniknąć rozmywania sygnałów o krótkim czasie narastania.

W testowanym algorytmie użyto filtrów pasmowoprzepustowych o nachyleniu charakterystyki 12 dB na oktawę i paśmie przepustowym obejmującym w przybliżeniu jedną oktawę. Parametry te nie muszą być optymalne, a ich właściwy dobór wymaga przeprowadzenia testów odsłuchowych przy użyciu wielu różnych rodzajów nagrań dźwięku. Filtry te powinny być tak skonstruowane, aby suma przefiltrowanych sygnałów była dokładnie równa sygnałowi przed filtracją – zastosowany bank filtrów spełnia ten warunek jedynie w przybliżeniu. W celu przyspieszenia obliczeń tego rodzaju bank filtrów może również zostać zaimplementowany w postaci procedur współbieżnych, wykorzystując wielowątkową architekturę współczesnych komputerów bądź układów programowalnych FPGA.

Oddzielenie składowych harmonicznych od składowych stochastycznych sygnału, prócz poprawy jakości procesu redukcji szumów, może również pozwolić na implementowanie innych algorytmów poprawy jakości dźwięku, na przykład syntezy brakujących harmonicznych, jak również algorytmów zmiany częstotliwości dźwięku niezależnie od zmiany jego tempa.

Wydzielenie składowych harmonicznych zapisanego dźwięku daje również możliwość korekcji zakłóceń wynikającej z krótkotrwałych zaników (*dropout*) sygnału zapisanego na taśmie. Zaniki takie są znacznie bardziej zauważalne dla składowych harmonicznych, niż dla szumu [3] i powinny być korygowane przede wszystkim w tej dziedzinie.

Podziękowanie

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

Bibliografia

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. Wesołowski F., *Zasady muzyki*, Polskie Wydawnictwo Muzyczne, Kraków 1998.
5. Zieliński T.P., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
6. Kardasz P., *Algorytm redukcji zakłóceń quasistacjonarnych w zabytkowych nagraniach dźwięku.*, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, Nr 80 (2014), 101–108.

7. Kardasz P., *Wykorzystanie zakłóceń quasistacjonarnych w celu redukcji nierównomierności przesuwu taśmy w nagraniach dźwięku na nośnikach magnetycznych*. Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, Nr 80 (2014), 109–114.
8. Kardasz P., *Alorytm identyfikacji składowych sinusoidalnych złożonego sygnału na podstawie jego losowo pobranych próbek*. Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, nr 76 (2013), 197–203.

A Noise Reduction Algorithm Using Division of the Signal Into Harmonic and Stochastic Components

Abstract: This article presents the method of determining the relative slip of the pneumatic wheel of car on a single-roller of chassis dynamometer. It was established that the relative slip can be treated as a systematic error, which substantially affects the measurement of power on a chassis dynamometer. Relative slip was determined by using specially developed measurement system which is based on microcontroller STM32. It presents problems associated with calibration of counting systems, where the objective is to obtain the smallest measurement uncertainty.

Keywords: algorithm, sound, noise reduction, recording, harmonics

mgr inż. Piotr Kardasz

pik@we.pb.edu.pl

Doktorant Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. Zajmuje się badaniami związanymi z inteligentnymi algorytmami kompresji, rekonstrukcji i przetwarzania sygnałów.

