

УДК 621.391

Использование фильтра Винера для подавления помех в речевом сигнале

Никитин О.Р., Левин Е.К., Лабзина Е.А.

В данной работе рассматривалась задача шумоподавления с помощью фильтра Винера, который обеспечивает наилучшую по критерию минимума среднеквадратичную ошибку фильтрации полезного сигнала. Как известно, оптимальным подходом к осуществлению поставленной задачи является «метод прямого решения» или DD-метод (decision-directed approach), направленный на уменьшение уровня музыкального шума. Однако, здесь проявляется нежелательный эффект реверберации (процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях), который обуславливается тем, что фильтр Винера относится к предыдущему фрейму, в то время как корректируется текущий. Чтобы этого избежать, применяется двухэтапный алгоритм определения частотной характеристики TSNR (two-step noise reduction), который имеет свои недостатки: проявление гармонических искажений в речевом сигнале, обусловленных маленькой величиной оценки отношения С/Ш; непростая задача определения оценки спектральной плотности мощности шума. Наилучшие параметры достигаются методом гармонической генерации HRNR (harmonic regeneration noise reduction), с помощью которого осуществляется уточнение отношения С/Ш. Результатом данной работы является определение МЧКК чистого и пораженного помехой сигнала, максимального значения относительной разности МЧКК с помощью указанных методов и анализ полученных экспериментальных данных.

Ключевые слова: фильтр Винера, подавление помех, речевой сигнал, МЧКК, зашумленный сигнал, метод гармонической генерации, двухступенчатый алгоритм определения частотной характеристики, программное обеспечение Matlab.

В центре внимания данной работы стоит анализ и исследование шумоподавления с помощью фильтра Винера. Его реализация основана на определении частотной характеристики, которая непосредственно зависит от величины отношения сигнал-шум (далее С/Ш).

Как известно, оптимальным подходом к осуществлению поставленной задачи является «метод прямого решения» или DD-метод (decision-directed approach), направленный на уменьшение уровня музыкального шума. Однако, здесь проявляется нежелательный эффект реверберации (процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях), который обуславливается тем, что фильтр Винера относится к предыдущему фрейму, в то время как корректируется текущий. Чтобы этого избежать, применяется двухэтапный алгоритм определения частотной характеристики TSNR (two-step noise reduction), который имеет свои недостатки:

– проявление гармонических искажений в речевом сигнале, обусловленных маленькой величиной оценки отношения С/Ш;

– непростая задача определения оценки спектральной плотности мощности шума.

Наилучшие параметры достигаются методом гармонической генерации HRNR (harmonic regeneration noise reduction), с помощью которого осуществляется уточнение отношения С/Ш.

Таким образом, цель данной работы состоит в том, чтобы убедиться в эффективности данного метода подавления помех путем анализа полученных данных эксперимента, проведенного с помощью программного обеспечения MATLAB.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

– прочитать по одному звуковому файлу каждой из двух команд «Ноль» и «Один»;

– определить мел-частотные спектральные коэффициенты (МЧКК) для полученных звуковых данных каждого файла;

– добавить в начале звуковых данных паузу длительностью 0,25 сек;

– прибавить к полученным данным с паузой помеху – белый нормальный шум. Мощность шума должна быть меньше мощности сигнала без паузы на 20 дБ;

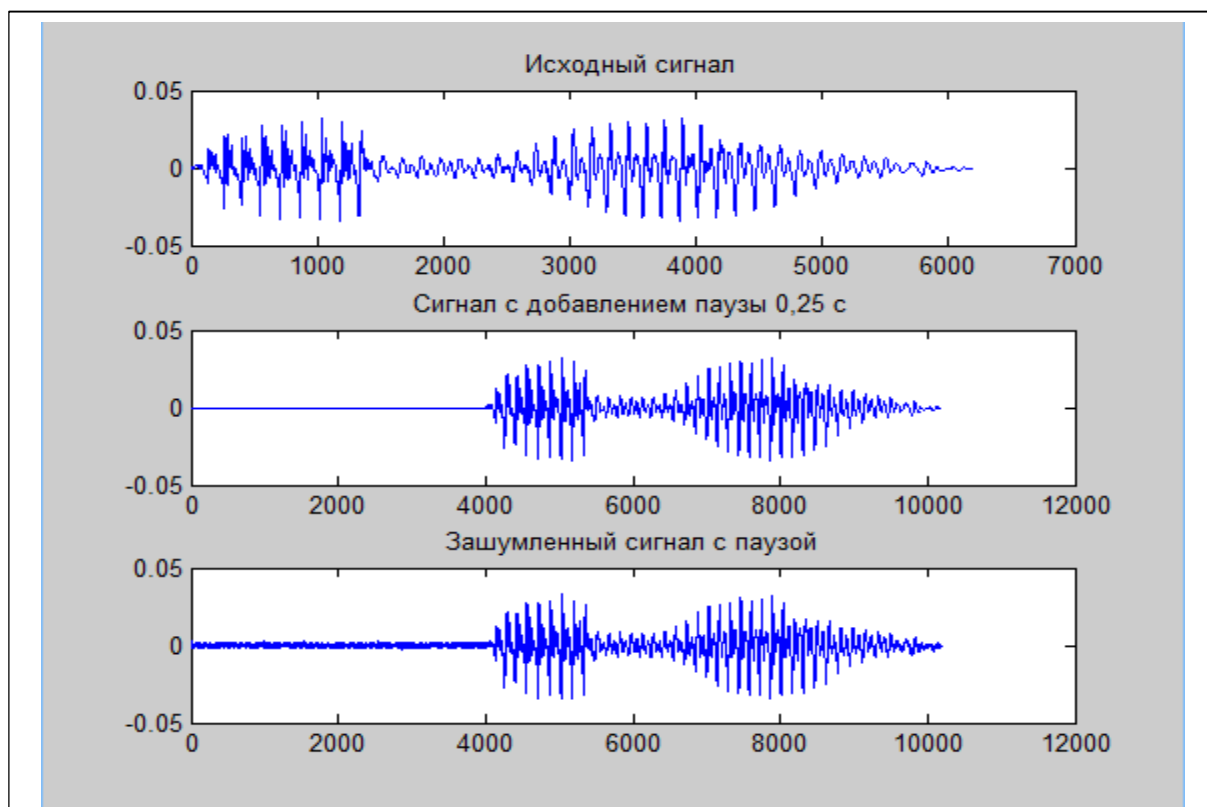


Рис. 1. Исследование звукового файла «odin.wav»

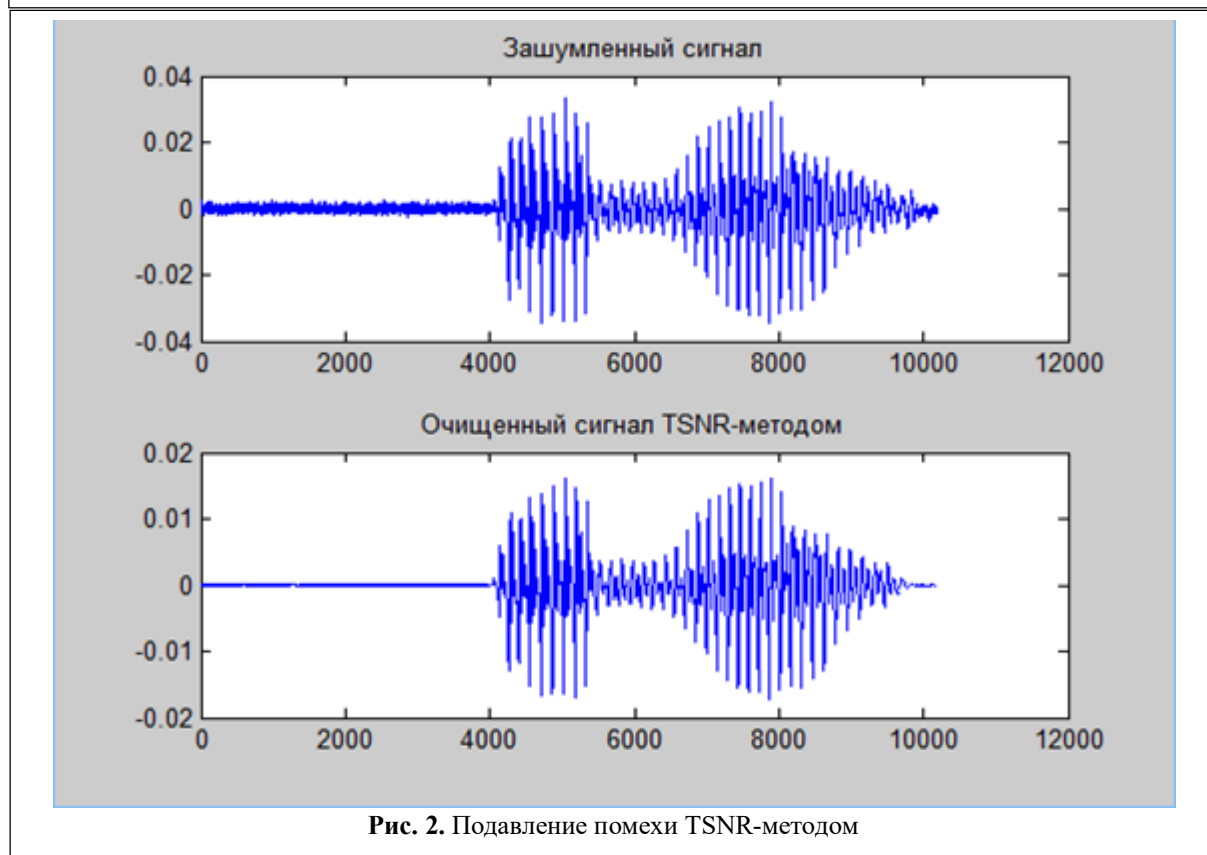
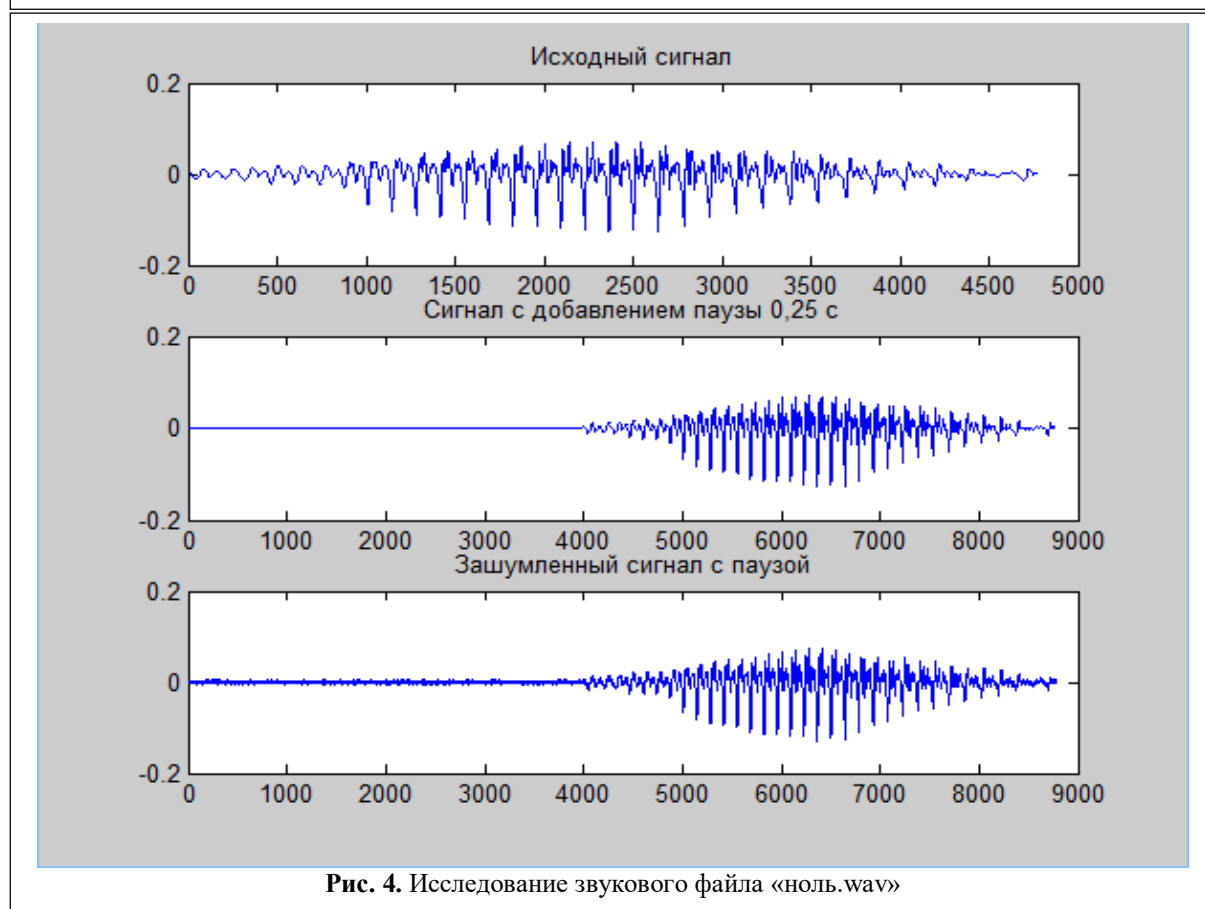
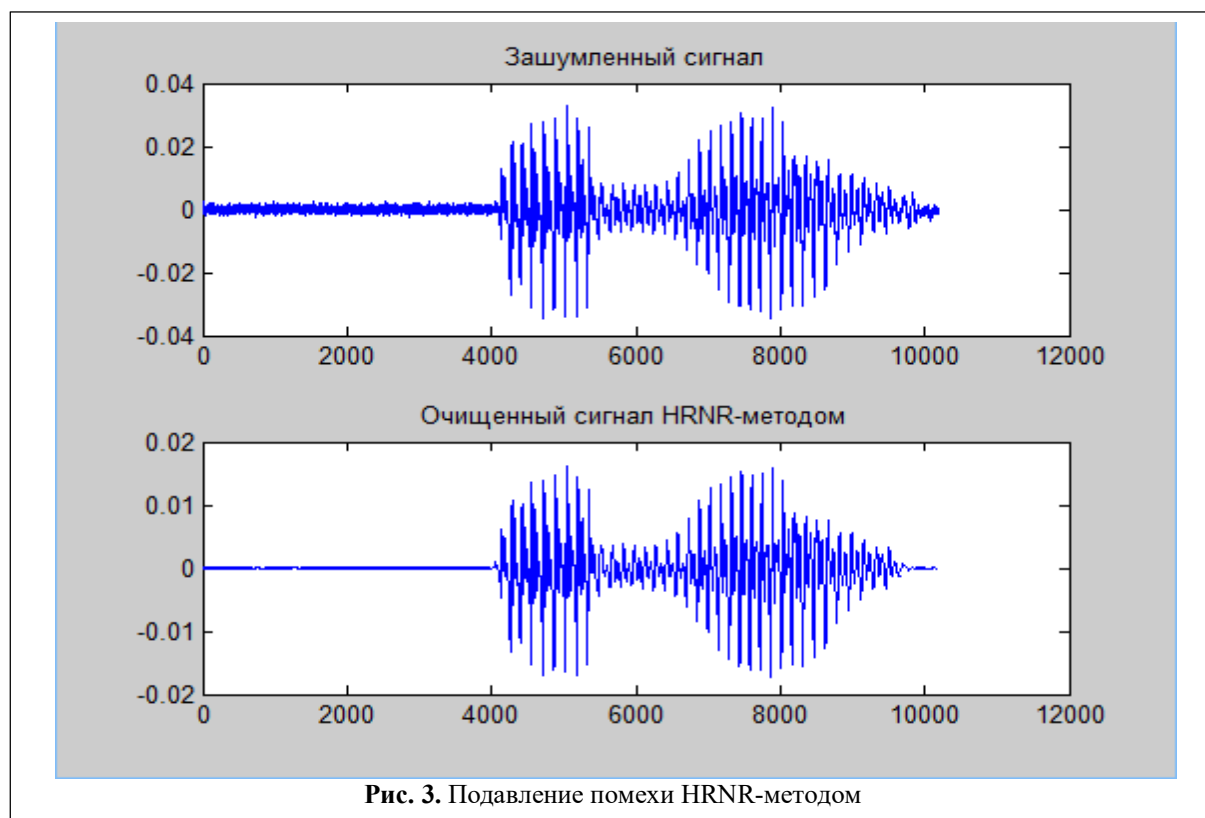


Рис. 2. Подавление помехи TSNR-методом

– определить мел-частотные кепстральные коэффициенты (МЧКК) для полученных зашумленных звуковых данных каждого

файла (МЧКК определяются только для части сигнала без паузы);



– определить разность между МЧКК для сигнала без помехи и для зашумленного сигнала;

– определить относительное значение разности для каждого коэффициента относительно МЧКК «чистого» сигнала;

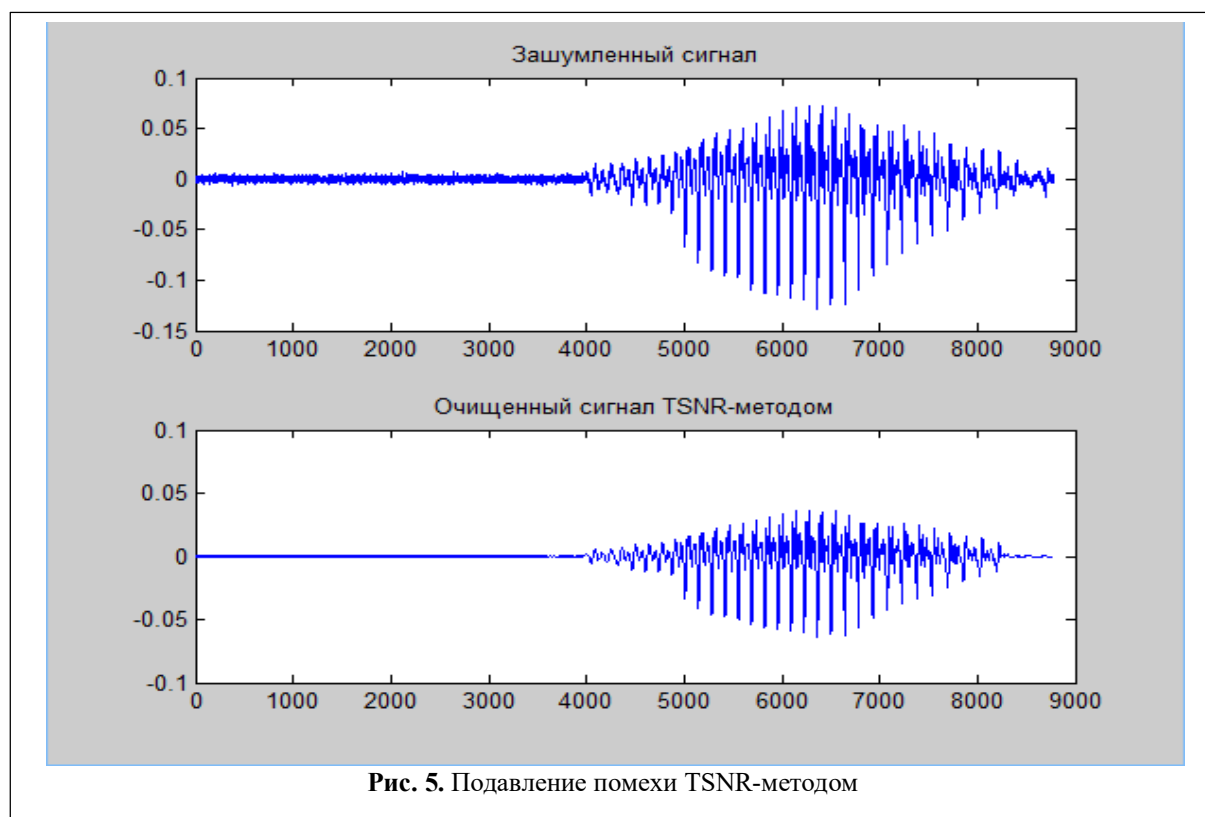


Рис. 5. Подавление помехи TSNR-методом

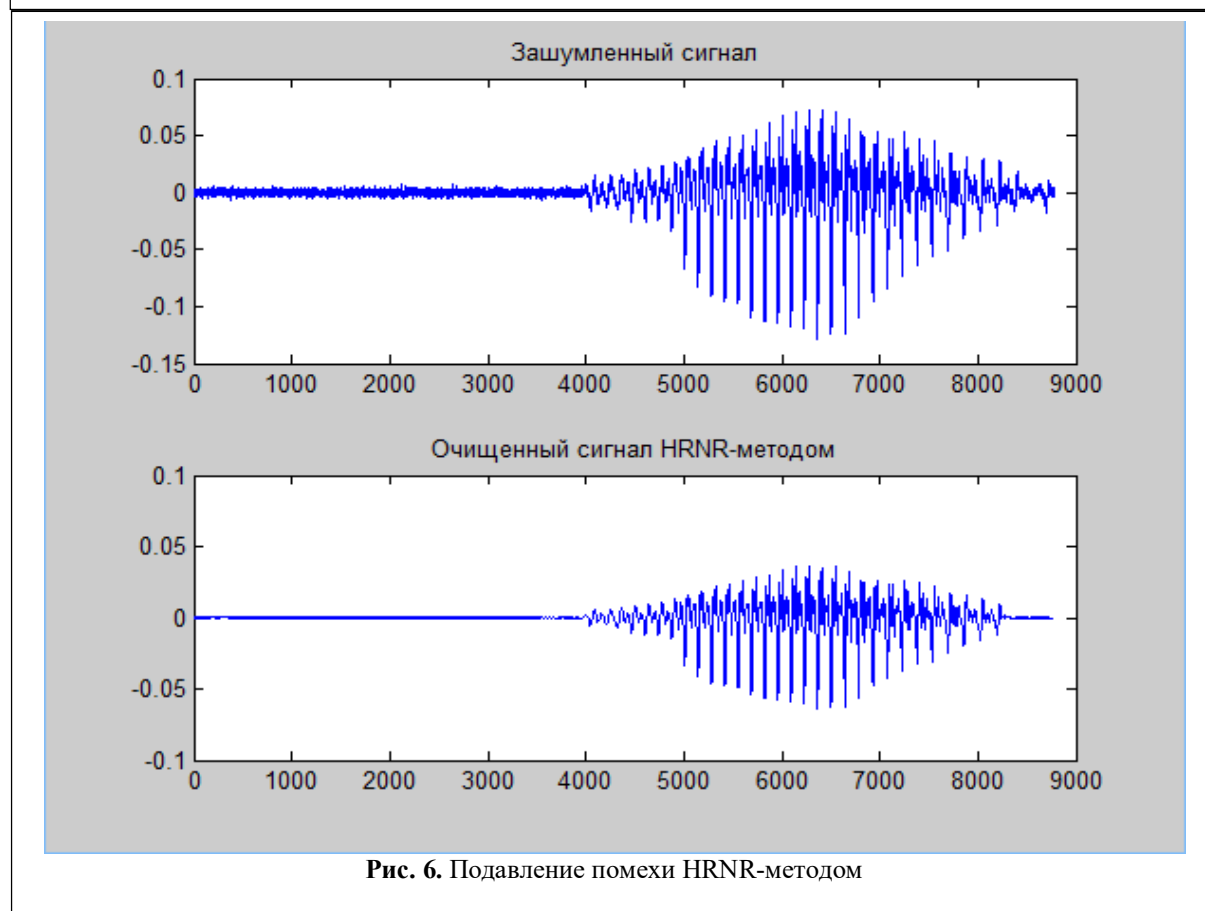


Рис. 6. Подавление помехи HRNR-методом

– для каждого коэффициента определить среднее для всех сегментов сигнала значение абсолютной относительной разности;

– зафиксировать максимальное значение средней абсолютной разности среди всех коэффициентов;

- применить к зашумленному сигналу метод подавления помехи;
- определить для очищенного сигнала МЧКК и зафиксировать максимальную относительную разность коэффициентов (относительно чистого сигнала);
- уменьшая отношение сигнал-шум и

Расчет средней относительной разности МЧКК звуковых файлов представлен в таблицах 1 и 2 соответственно.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что очистка зашумленного сигнала была эффективно выполнена с помощью фильтра Винера, реализация которого осу-

Таблица 1. Средняя максимальная относительная разность МЧКК при очистке звукового файла «один.wav»

С/Ш, дБ	mean_otnoshenie_MchKK	mean_otnoshenie_MchKK_ochish_signal (TSNR)	mean_otnoshenie_MchKK_ochish_signal (HRNR)
10	4,56614	4,58039	4,6545
11	5,46066	4,1126	3,1882
12	5,69524	3,648467	4,4052
13	4,70648	3,47635	4,627067
14	4,5596	4,645133	4,023067
15	4,68825	3,71833	4,1813
16	3,9801	3,985933	3,4239
17	8,84702	3,886633	4,213867
18	4,0942	4,5893	3,651533
19	4,08332	4,474467	3,721167
20	3,9813	2,7743	3,231033

Таблица 2. Средняя максимальная относительная разность МЧКК при очистке звукового файла «ноль»

С/Ш, дБ	mean_otnoshenie_MchKK	mean_otnoshenie_MchKK_ochish_signal (TSNR)	mean_otnoshenie_MchKK_ochish_signal (HRNR)
10	5,603133	2,502	2,28867
11	5,912967	3,132067	3,1409
12	4,788933	4,269233	4,984433
13	4,590433	2,3222	3,232467
14	5,301667	3,380433	2,7516
15	4,702733	2,4721	2,625267
16	4,090433	2,420767	2,4809
17	4,735233	2,403867	3,7567
18	4,5416	2,1547	2,4606
19	3,288633	2,026233	2,593967
20	3,020267	3,208967	2,770367

применяя метод подавления шума, найти такое значение отношения сигнал-шум, при котором максимальная относительная разность МЧКК станет равной максимальной разности для неочищенного сигнала при отношении сигнал-шум равном 20 дБ.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1 – 6.

осуществлялась двумя способами: TSNR- и HRNR-методом.

Были взяты два звуковых файла «один.wav» и «ноль.wav», которые подверглись воздействию белого шума (требование по уровню шума выполнено: отношение С/Ш для первого звукового файла составляет $8,1834 \cdot 10^{-5} / 5,0571 \cdot 10^{-7}$; для второго – $6,6813 \cdot 10^{-4} / 3,4858 \cdot 10^{-6}$).

Из полученных результатов эксперимента видно, что звуковые файлы избавлены от музыкального шума и эффекта реверберации, которые имелись при прослушивании зашумленных сигналов.

Следующим шагом являлось уменьшение отношения С/Ш до такого уровня, при котором усредненные значения МЧКК очищенного сигнала были бы эквивалентны МЧКК неочищенного сигнала при уровне шума 20 дБ. Из таблиц 1 и 2 можно сделать вывод, что условие выполняется при уровне шума 16 дБ (TSNR-метод) и 14 дБ (HRNR-метод) для звукового файла «один.wav», 11 дБ для звукового файла «ноль.wav». Разброс параметров, который наблюдается при каждом запуске, объясняется различной реализацией шума, поэтому необходимо было усреднение полученных значений.

Литература

- 1 Васильев, К.К. Теория автоматического управления (следающие системы): Учебное пособие. – 2-е изд. – Ульяновск, 2001. – 98 с.
- 2 Зюко, А.Г. Теория электрической связи: Учебник для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
- 3 Левин, Е.К. Адаптивная компенсация помех с использованием обратной связи по решению / Е.К. Левин // Электросвязь, 1998. – № 3. – С. 32 – 34.
- 4 Левин, Е.К. Адаптивная компенсация широкополосных радиопомех / Е.К. Левин // Проектирование и технология электронных средств. – 2013. – №1. – С. 2 – 6.
- 5 Левин, Е.К. Моделирование процесса создания эталонов голосовых команд для систем автоматического распознавания речи / Е.К. Левин, К. Е. Левин // Цифровая обработка сигналов. – 2002. – №2. – С. 21 – 22.
- 6 Левин, Е.К. О тестировании систем автоматического распознавания голосовых команд / Е.К. Левин // 8-я Международная НТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», 2008г. – Владимир. – Книга 2 – С.140 – 145.
- 7 Левин, Е.К. Оценка вероятности ложного срабатывания системы автоматического распознавания голосовых команд / Е.К. Левин, П.С. Рагузин, М.Ю. Татарникова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика, телекоммуникации, управление – 2011. – № 5 – С. 7 – 13.
- 8 Левин, Е.К. Оценка помехоустойчивости автоматического распознавания голосовых команд в телефонии / Е.К. Левин, О.Р. Никитин // Радиотехнические и телекоммуникационные системы – 2011. – №4 – С. 75 – 80.
- 9 Левин, Е.К. Разработка средств исследования и повышения помехоустойчивости систем автоматического распознавания голосовых команд в телефонии: диссертация доктора технических наук: 05.12.13 / Левин Евгений Калманович; [Место защиты: Владимир. гос. ун-т им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых], Владимир, 2014.
- 10 Левин, Е.К. Средства исследования помехоустойчивости систем распознавания голосовых команд в телефонии. Монография. / Е.К. Левин – Владимир: Рост, 2014. – 234с.
- 11 Левин, Е.К. Экспериментальные исследования системы распознавания голосовых команд / Е.К. Левин, К.Е. Левин, О.Р. Никитин // Проектирование и технология электронных средств. – 2005. – № 3. – С.38-44.
- 12 Сеславин, А.И. Фильтры Калмана. Методические указания для студентов специальности «Управление и информатика в технических системах». – М.: МИИТ, 2011. – 16 с.
- 13 Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стирнз; пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 440 с.
- 14 Шахтарин, Б.И. Случайные процессы в радиотехнике: Цикл лекций. – М.: Радио и связь, 2000. – 584 с. ил. ISBN 5-256-01571-0.
- 15 Levin, E. K. The Noise Suppression for Automatic Speech Commands Recognition [Text] / E. K. Levin, K.E. Levin // SPECOM'2005. – University of Patras, Patras, Greece, - 2005. - P. 507-509.
- 16 Plapous, C. Improved Signal-to-Noise Ratio Estimation for Speech Enhancement / Cyril Plapous, Claude Marro, Pascal Scalart

Поступила 07 августа 2018 г.

In this project addressed the problem of noise reduction using Wiener filter, which provides the best by the criterion of minimum mean square error filtering of the useful signal. As is known, the optimal approach to the implementation of the task is "the method of direct solution" or the DD-method (decision-directed approach), aimed at reducing the level of musical noise. However, this is an unwanted reverb effect (the process of gradually reducing the intensity of sound in its multiple reflections), which is caused by the fact that the Wiener filter applies to the previous frame, while the current is adjusted. To avoid this, apply a two-step algorithm for determining the frequency characteristics of the TSNR (two-step noise reduction), which has its drawbacks: manifestation of harmonic distortion in the speech signal due to a small value estimate the ratio of S/N; difficult task

determining the estimation of the spectral power density of noise. The best parameters are achieved by the method of harmonic generation HRNR (harmonic regeneration noise reduction), which is used for the clarification of the relationship S/N. The result of this work is to determine MFCC clean and amazed by the disturbance signal, the maximum value of the relative MFCC using these methods and experimental data analysis.

Key words: Wiener filter, noise reduction, speech signal, MFCC, noisy signal, harmonic regeneration noise reduction (HRNR), two-step noise reduction (TSNR), software Matlab.

Никитин Олег Рафаилович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем института информационных технологий и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: olnikitin@mail.ru

Левин Евгений Калманович – кандидат технических наук, преподаватель ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: eklevi@gmail.com

Е.А. Лабзина – магистр ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: katerinka.labzina@mail.ru

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.