



Рис. 2в – Изображение с шумом после обработки алгоритмом.

Табл. 1 – Значения PSNR для обрабатываемых изображений.

Изображение	PSNR (до обработки)	PSNR (после обработки)
Для обучения нейронных сетей	8.676	21.031
Тестовое	9.853	20.017
Тестовое	10.415	20.835

Таким образом была представлена система шумоподавления, использующая вейвлет преобразование и линейные нейронные сети. Нейронные сети ищут зависимость между исходными и зашумленными коэффициентами вейвлет преобразования, что позволяет эффективно подавлять различные шумы на изображениях.

Основные преимущества такого подхода:

- Обработка изображения в вейвлет области занимает значительно меньше времени, чем при обработке исходного изображения из-за возможности параллельной обработки нескольких областей вейвлет преобразования одновременно;
- Вышеописанное свойство также работает и для обучения нейронных сетей, что позволяет значительно сократить время работы.

Основной недостаток – данный алгоритм (как и многие, если не все) не даёт 100% шумоподавления и восстановления исходного изображения. Это объясняется тем, что часть информации теряется необратимо и лишь часть можно восстановить при использовании алгоритмов восстановления и шумоподавления.

Список использованных источников:

1. Donoho D., Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage / D. Donoho, I. Johnstone // *Biometrika* – 1994.
2. Yu H., Image denoising using trivariate shrinkage filter in the wavelet domain and joint bilateral filter in the spatial domain / H. Yu, L. Zhao, H. Wang // *IEEE Trans. Image Proc.* – 2009.
3. Zhang S., Image denoising using a neural network based non-linear filter in wavelet domain / S. Zhang, E. Salari
4. Bhutada G., Image enhancement by wavelet-based thresholding neural network with adaptive learning rate / Bhutada G., Anand R., Saxena S. // *IET Image processing* – 2010.

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭФФЕКТА ПОТЕРИ СЛУХА ПО АУДИОГРАММЕ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Порхун М.И.

Вашкевич М. И. – кандидат технических наук, доцент

Предлагается система моделирования эффекта потери слуха по аудиограмме. Задача моделирования потери слуха сводится к обработке сигнала таким образом, чтобы человек с нормальным слухом услышал звук так, как его воспринимает тугоухий человек. Метод заключается в субполосной обработке сигнала с применением компрессоров динамического диапазона (КДД). Настройка компрессоров выполняется исходя из аудиограммы тугоухого человека.

Введение. Несмотря на то, что за последние годы были разработаны различные системы моделирования потери слуха, ни одна из них не получила широкого распространения. Методы моделирования потери слуха многими специалистами не воспринимается всерьёз, хотя их применение позволяет обеспечить реалистичную демонстрацию как коммуникативных, так и психосоциальных эффектов нарушения слуха. Основная цель моделирования потери слуха заключается в том, чтобы показать людям с

нормальным слухом как тугоухий человек воспринимает окружающую акустическую среду [1]. На основе модели потери слуха может быть оценена эффективность различных способов коррекции слуха.

Моделирование эффекта потери слуха. Для моделирования потери слуха предлагается использовать схему, приведённую на рисунке 1.

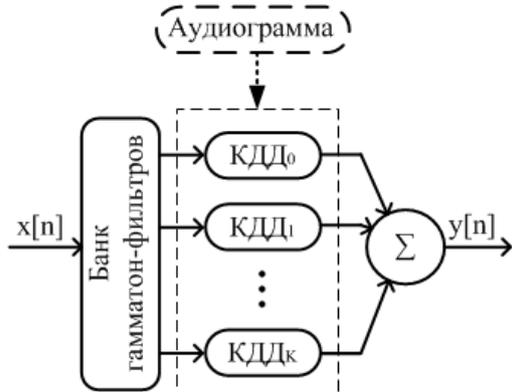


Рис. 1 – Общая структура модели потери слуха

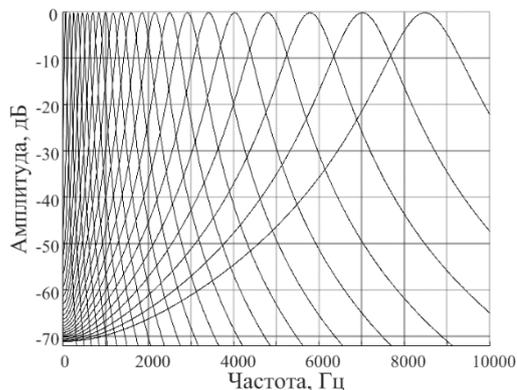


Рис. 2 – АЧХ банка фильтров

Входной сигнал $x[n]$ поступает на банк гамма-фильтров, где разделяется на субполосы. Полученные субполосные компоненты сигнала проходят через соответствующие компрессоры динамического диапазона (КДД). Задачей КДД является автоматический выбор коэффициентов ослабления субполосных компонент сигнала в зависимости от уровня мощности сигнала в данной полосе. Параметры КДД определяются из аудиограммы. Субполосные сигналы, обработанные в КДД, синтезируются путём суммирования субполосных компонент сигнала. Прослушав выходной сигнал $y[n]$ человек с нормальным слухом может получить представление о том, как слышит сигнал $x[n]$ тугоухий человек.

Банк фильтров. Для разделения сигнала на субполосные составляющие в работе используется банк гамма-фильтров, который имитирует механизм частотного разложения звука в улитке уха человека [2]. Импульсная характеристика гамма-фильтра с центральной частотой f_c имеет следующий вид:

$$g(t) = At^{N-1}e^{-2\pi b \text{ERB}(f_c)t} \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad (1)$$

где N – порядок фильтра, $\text{ERB}(f_c)$ – эквивалентная прямоугольная полоса пропускания фильтра, φ – начальная фаза, A – амплитуда, b – параметр, регулирующий ширину эквивалентной прямоугольной полосы пропускания фильтра.

При умеренных уровнях мощности сигнала $\text{ERB}(f)$ описывается следующим выражением [3]:

$$\text{ERB}(f) = 24.7 + 0.108f \quad (2)$$

В данной работе порядок гамма-фильтра равен четырём ($N=4$), а коэффициент $b=1.019$ [4].

Гамма-фильтры могут быть реализованы в виде КИХ- или БИХ-фильтров, а также при помощи преобразований сигнала в частотной области [5]. В настоящей работе использовался 22-канальный банк фильтров (рисунок 2), реализованный в виде гребенки КИХ-фильтров (фильтрация выполнялась с применением БПФ).

Анализ аудиограммы. При моделировании потери слуха, источником информации о слухе является аудиограмма. Для настройки модели необходимо знать пороги слышимости на центральных частотах банка фильтров. Для их определения, на первом этапе, выполняется интерполяция аудиограммы на сетку центральных частот банка фильтров. На следующем этапе рассчитываются пороги слышимости (в норме) на центральных частотах банка фильтра в соответствии со стандартом ISO 226 [6].

На рисунке 3 приведён пример построения КДД для центральной частоты 838 Гц. Аудиограмма интерполируется на сетку центральных частот банка фильтров, что позволяет сформировать пороги слышимости тугоухого человека (рисунок 3, б). В соответствии со стандартом ISO 226, определяются пороги слышимости здорового человека (рисунок 3, а). Исходя из полученных диапазонов слышимости определяется порог компрессии КДД (рисунок 3, в).

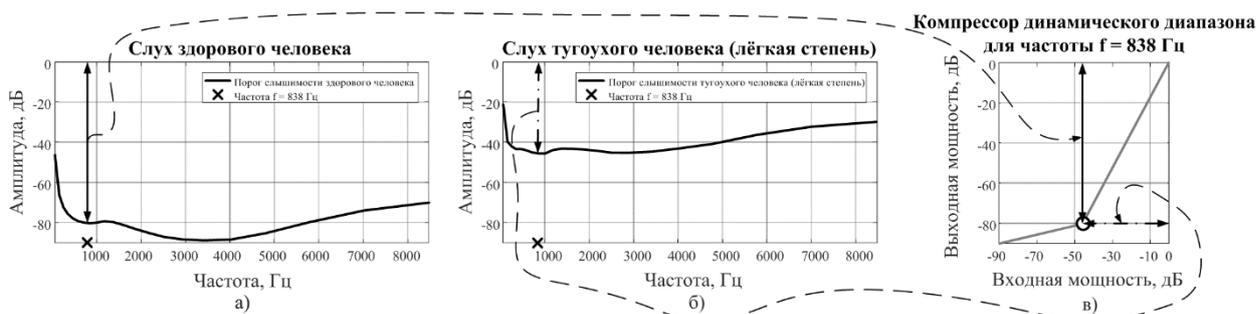


Рис. 3 – Построение компрессора динамического диапазона для частоты 838 Гц

Результаты экспериментов. Проверка предлагаемой системы моделирования эффекта потери слуха производилась на речевом сигнале (рисунок 4, в) и аудиограмме, соответствующей лёгкой степени потери слуха. Частотно-временное представление исходного сигнала приведено на рисунке 4, а. Частотно-временное представление выходного сигнала (рисунок 4, б) демонстрирует особенности восприятия исходного звукового сигнала тугоухим человеком, чья аудиограмма использовалась при моделировании.

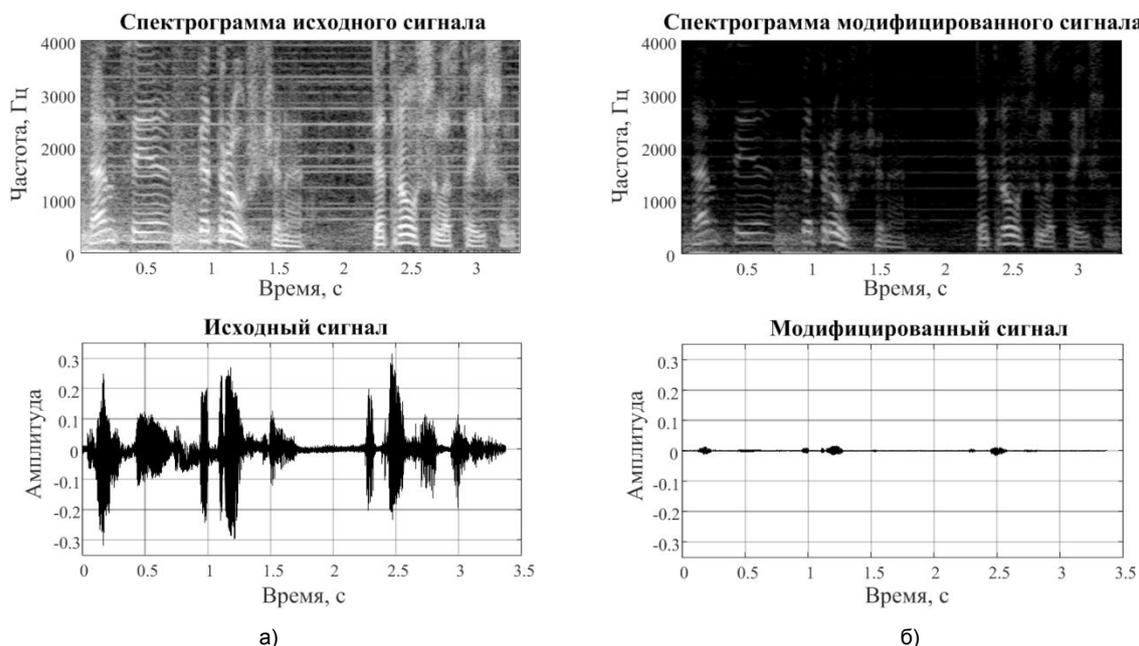


Рис. 4 – Результаты обработки сигнала предложенным методом: а) частотно-временное представление исходного сигнала; б) частотно-временное представление модифицированного сигнала

Вывод. В работе предложена система моделирования эффекта потери слуха. Особенностью системы является применение в ней банка гамматон-фильтров, использование которого позволяет выполнять обработку речевого сигнала, согласованную с работой слуховой системы человека. Другой особенностью предложенной системы является настройка КДД согласно аудиограмме тугоухого человека.

Список использованных источников:

1. Zurek P. M., Desloge J. G. Hearing loss and prosthesis simulation in audiology / The Hearing Journal, – 2007. – Vol. 60, Issue 7. – P. 32 – 33.
2. Cao L. t., Li R. w., Shi Y. q. and Wang S. Loudness compensation method based on human auditory for digital hearing aids / 7th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2014), Dalian, China, – 2014. – P. 335 – 340.
3. Lin L., Holines W.H., Anibikairajah E. Auditory filter bank inversion / IEEE International Symposium Circuits and Systems (ISCAS), Sydney, NSW, Australia, – 2001. – P. 537–540.
4. Jiang Y., Zu Y., Liu L., Wang Q., Ren P. and Zhou H. Gammatone filterbank based energy masking algorithm for active hearing protection system / 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012), Chongqing, China, – 2012. – P. 537–540.
5. Ambikairajah E., Epps J. and L. Wideband Lin Speech and audio coding using gammatone filter banks / IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), Salt Lake City, USA, – 2001. – Vol. 2. – P. 773–776.
6. Порхун М. И., Вашкевич М. И. Моделирование потери слуха / Цифровая обработка сигналов и ее применение: труды 20-й междунар. конф., Россия, Москва. – 2018. – Т. 1. – С. 228–233.
7. ISO 226:2003. Acoustics — Normal Equal-Loudness Level Contours / International Organization for Standardization, – Geneva, Switzerland, – 2003.

СИСТЕМА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Савко Н.Ю.

Станкевич А.В. – к.т.н., доцент

В настоящее время на рынке охранных систем присутствует большое разнообразие продуктов от разных производителей. Все эти системы предоставляют некоторый набор стандартных для такого рода устройств функций, а отдельные экземпляры могут предоставлять также некоторые дополнительные функции. Например, поддержка магнитных карт, или полное управление всеми датчиками из мобильного