

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТЕРИ СЛУХА НА БАЗЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID

Филич А.А., студент гр.050701

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

Порхун М.И. – магистр техн. наук

Аннотация. В работе представлена система моделирования эффекта потери слуха на базе операционной системы Android. Функционирование системы основано частотно-зависимой субполосной обработке аудиосигнала. Для разделения сигнала на полосы используется банк гамматон-фильтров. Каждая субполоса проходит через свой компрессор динамического диапазона, настраиваемый по аудиограмме слабослышащего человека. Компрессоры используются для автоматического выбора коэффициента ослабления субполос. Выходной сигнал синтезируется путём суммирования обработанных субполос. Для проверки работоспособности алгоритма проведено моделирование на языке Python.

Ключевые слова. Моделирование потери слуха, гамматон-фильтр, компрессор динамического диапазона, аудиограмма, Android.

По данным ВОЗ на начало февраля 2024 года около 1.5 миллиарда человек в мире имеют проблемы со слухом (около 20%). Из них около 430 миллионов человек (в том числе 34 миллиона детей) имеют степень потери слуха, которая негативно отражается на их повседневной жизни. Из этого следует, что 5% населения мира нуждаются в различных формах реабилитации для решения проблемы частичной потери слуха. По оценкам ВОЗ, к 2050 году численность людей, нуждающихся в помощи с проблемой, связанной с потерей слуха, превысит 700 миллиона человек [1]. Это значит, что задача слуховой реабилитации ещё не решена и требует активных усилий со стороны научного и медицинского сообщества для разработки новых и эффективных методов диагностики, лечения и поддержки людей с потерей слуха.

Основная идея данной работы – разработка Android-приложения, которое может имитировать работу человеческого уха с определенными типами потери слуха. Это позволит человеку с нормальным слухом ощутить на себе влияние тугоухости. Подобного рода приложение может быть полезно, например, учителям, работающим с детьми с особыми потребностями для того, чтобы проверить насколько их речь будет понятна детям. Помимо того, система моделирования потери слуха может быть использована для проверки методов коррекции слуха.

В данной работе рассмотрена система моделирования потери слуха на основе банка гамматон-фильтров и автоматически настраиваемых компрессоров динамического диапазона для ослабления заданных субполос сигнала.

Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

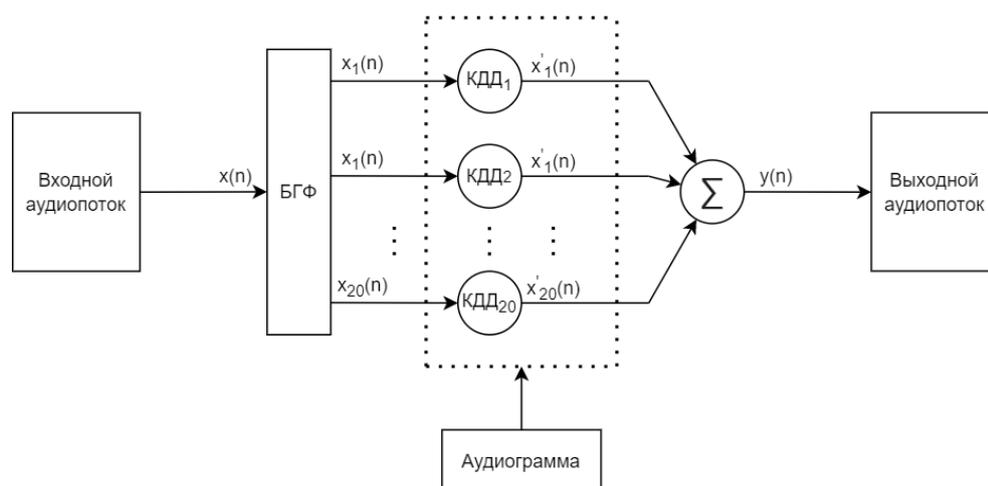


Рисунок 1 – Структура системы моделирования эффекта потери слуха

Для работы с входным и выходным аудиопотоками будет использоваться библиотека `oboe`. Она предоставляет интерфейс для создания высокопроизводительных аудиопотоков, которые работают с минимальной задержкой. Так же библиотека позволяет настроить каждый аудиопоток, установив ему желаемое количество каналов, частоту дискретизации и глубину сигнала. При несовпадении каких-либо заданных желаемых параметров аудиопотока библиотека сама конвертирует входные/выходные значения в формат, заданный пользователем.

Входной сигнал $x(n)$ выделяется из буфера входного аудиопотока, после чего блоком БГФ (банк гамматон-фильтров) разделяется на 20 субполос. Каждая субполоса проходит через свой блок КДД (компрессор динамического диапазона), задача которого – ослабить субполосу в соответствии с заданной аудиограммой слабослышащего человека. Выходной сигнал $y(n)$ составляется путём суммирования субполос.

В данной схеме за разделение сигнала на субполосы отвечает банк гамматон-фильтров. БГФ имитирует работу человеческого уха. Импульсная характеристика банка гамматон-фильтров с центральной частотой f_c описывается следующим выражением:

$$g(t) = t^{l-1} e^{-2\pi b ERB(f_c)t} \cos(2\pi f_c t), t > 0 \quad (11)$$

где t – время; l – порядок фильтра; b – параметр, регулирующий ширину полосы фильтра, $ERB(f_c)$ – эквивалентная полоса пропускания слухового фильтра. В данном случае для параметров l и b приняты значения 4 и 1.019 соответственно [2].

$ERB(f)$ можно получить, используя следующую формулу:

$$ERB(f) = 24.673 \cdot (0.004368 \cdot f + 1) \quad (2)$$

Значения центральных частот выбираются в соответствии с психоакустической шкалой Барков [3]. АЧХ 20-полосного БГФ представлена на рисунке 2.

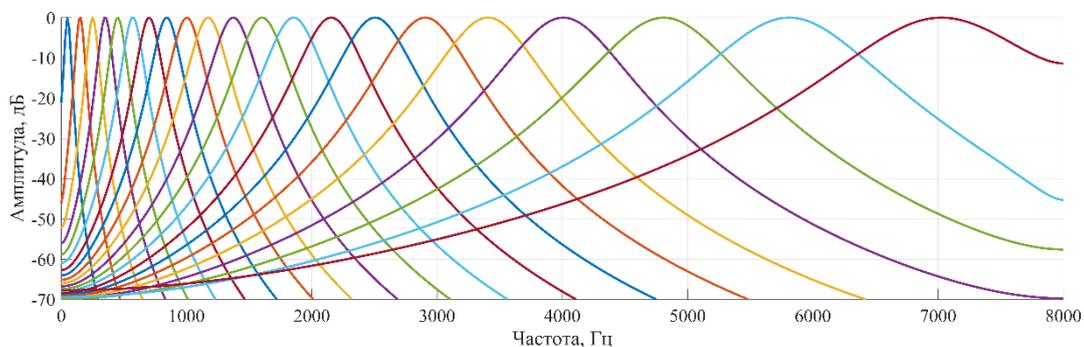


Рисунок 2 – АЧХ 20-полосного БГФ

Одним из основных плюсов банка гамматон-фильтров является то, что он хорошо моделирует работу слуховой системы. Но при этом он имеет один большой недостаток – высокая вычислительная сложность, обусловленная длинными импульсными характеристиками фильтров на низких частотах.

Потеря слуха проявляется в изменении динамического диапазона, слышимого человеком. У человека с проблемами со слухом он уже, чем у человека с хорошим слухом. Поэтому для имитации проблем со слухом необходимо отобразить узкий диапазон человека, с проблемами со слухом на широкий диапазон человека без проблем со слухом. Для этого для каждой субполосы разделенного входного сигнала ставится блок КДД. Роль КДД в данной системе – автоматический расчет коэффициентов ослабления субполос в зависимости от мощности сигнала.

Для того, чтобы подобрать правильные коэффициенты для КДД, необходимо провести анализ аудиограммы. Пример аудиограммы представлен на рисунке 3. Первым шагом нужно получить порог слышимости для нормального слуха в соответствии со стандартом ISO226. После этого нужно получить порог слышимости для слуха с патологией, для чего выполняется смещение абсолютного порога слышимости согласно данным аудиограммы. На рисунке 4 приведен пример порогов слышимости в норме и с патологией.

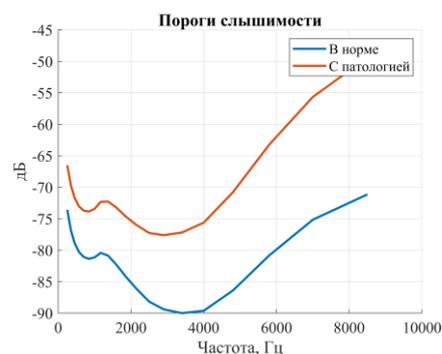
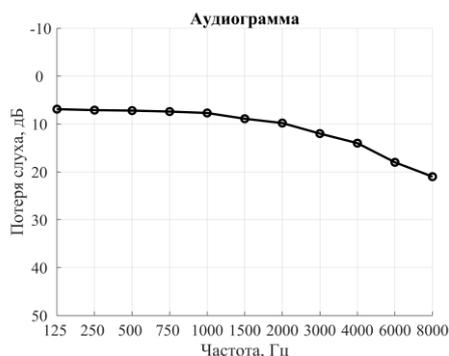


Рисунок 3 – Пример аудиограммы

Рисунок 4 – Пороги слышимости в норме и с патологией

Далее необходимо выполнить интерполяцию полученных порогов слышимости на сетку центральных частот банка фильтров. После этого выполняется перевод значений из УЗД (уровень звукового давления) в цифровые дБ.

Имея пороговые значения в точке f_c можно составить входную/выходную характеристику КДД. Используя данную характеристику можно определить точку перегиба. Пример характеристики КДД представлен на рисунке 5. Точку перегиба на характеристике КДД можно построить, если отложить по осям абсцисс и ординат значения амплитуд нормального слуха и слуха с патологией для нужной частоты [4].

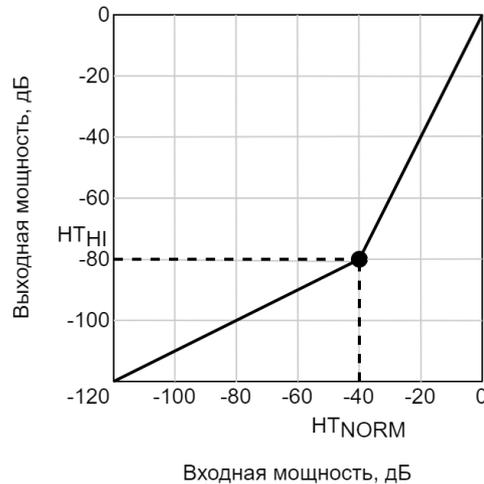


Рисунок 5 – Характеристика КДД

Далее рассматривается процесс создания блока КДД для одной из полос. Нумерация полос опущена, но стоит иметь в виду, что эти расчеты должны проводиться для каждой из субполос с использованием значения f_c каждой отдельной субполосы. Для создания блока КДД необходимо провести оценку мощности сигнала на выходе банка фильтров:

$$P_{in}(n) = P_{in}(n - 1) \cdot \beta + (1 - \beta) \cdot x(n)^2 \quad (3)$$

где $P_{in}(n)$ – мощность сигнала на выходе БГФ, $x(n)$ – сигнал на выходе БГФ, n – номер отсчёта, β – коэффициент. В данной работе значение коэффициента β принято равным 0.995.

Далее, полученная мощность переводится в дБ:

$$P_{in,dB}(n) = 10 \cdot \log_{10}(P_{in}(n)) \quad (4)$$

После чего, используя входную/выходную характеристику блока КДД и линейную интерполяцию необходимо получить значение выходной мощности $P_{out,dB}$ в децибелах.

Имея значения входной и выходной мощности, можно получить коэффициент ослабления в субполосе в децибелах, после чего, полученное значение нужно перевести в линейный масштаб:

$$g = 10^{\frac{P_{out,dB} - P_{in,dB}}{20}} \quad (5)$$

Итоговая схема блока КДД для субполосы представлена на рисунке 6. Рассчитанный в формуле 5 коэффициент является выходным значением блока «Расчёт коэффициента». Значение коэффициента перемножается со значением выходного сигнала БГФ для формирования выходного сигнала блока КДД.

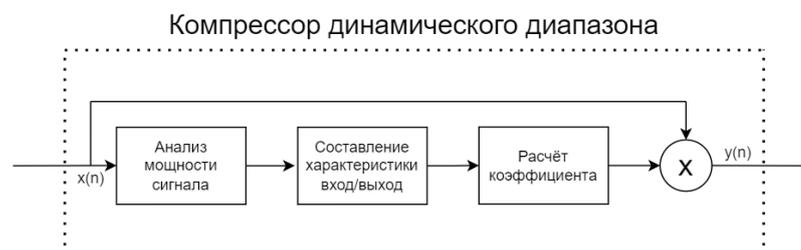


Рисунок 6 – Схема КДД

Итоговый выходной сигнал формируется суммированием сигналов выходных сигналов КДД всех субполос.

Для валидации работы системы было проведено моделирование системы и использованием языка программирования Python и библиотек numpy, scipy и matplotlib. В качестве входного сигнала была использована запись речевого сигнала. На рисунке 7 показаны временное представление и спектрограмма входного сигнала и сигнала, полученного после работы системы.

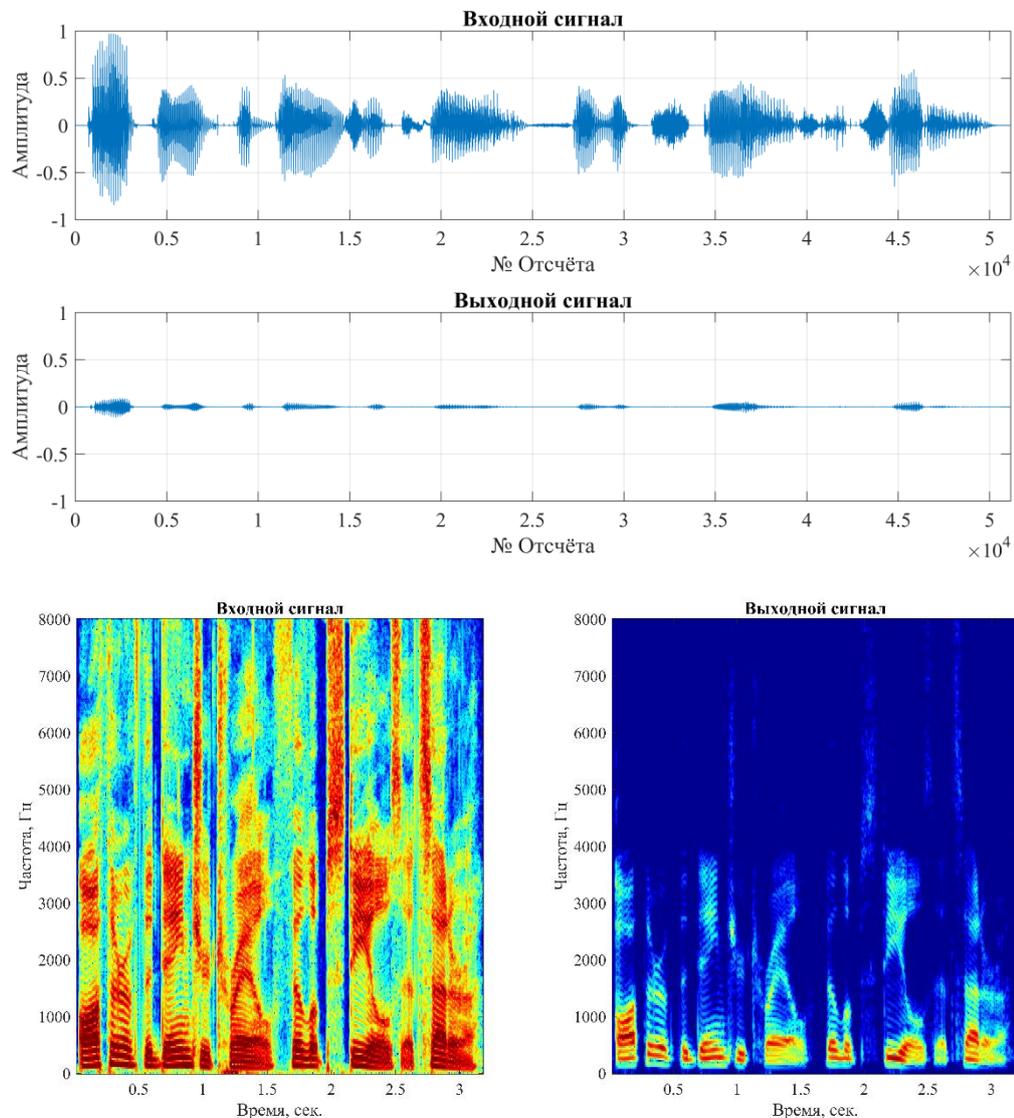


Рисунок 7 – Результат моделирования

Анализ спектрограмм показывает, что компоненты системы КДД снижают интенсивность сигнала, что приводит к уменьшению первоначальной громкости звука. В данной работе представлена система для моделирования ухудшения слуха. Особенностью системы является использование гамма-тон-фильтров, которые воспроизводят процесс разложения звука на частоты, происходящий в ухе. Система также адаптируется автоматически к индивидуальным аудиограммам пользователей с нарушениями слуха. Эффективность системы была продемонстрирована на примере моделирования с применением языка программирования Python. Следующим этапом будет перенос существующей модели под операционную систему Android.

Список использованных источников:

1. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] / Глухота и нарушения слуха – Режим доступа: <https://www.who.int/health-topics/hearing-loss>. Дата доступа – 16.04.2024.
2. 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.
3. E. Zwicker, E. Terhardt. Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency / Institute of Electroacoustics, Technical University Munich – 1980.

UCD 534.77, 004.942

HEARING LOSS SIMULATION SYSTEM BASED ON THE ANDROID OPERATING SYSTEM

Filich A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Porhun M.I. – Master of Engineering Sciences

Annotation. The paper presents a hearing loss simulation system based on the Android operating system. The system's operation is based on frequency-dependent sub-band processing of the audio signal. A bank of gammatone filters is used to divide the signal into bands. Each sub-band passes through its own dynamic range compressor, which is adjusted according to the audiogram of a person with hearing impairment. The compressors are used for the automatic selection of the sub-band attenuation coefficient. The output signal is synthesized by summing the processed sub-bands. To verify the algorithm's functionality, simulation was conducted in Python programming language.

Keywords. Hearing loss simulation, gammatone-filter, dynamic range compressor, audiogram, Android.

HEARING LOSS SIMULATION SYSTEM BASED ON THE ANDROID OPERATING SYSTEM

Filich A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Porhun M.I. – Master of Engineering Sciences

Annotation. The paper presents a hearing loss simulation system based on the Android operating system. The system's operation is based on frequency-dependent sub-band processing of the audio signal. A bank of gammatone filters is used to divide the signal into bands. Each sub-band passes through its own dynamic range compressor, which is adjusted according to the audiogram of a person with hearing impairment. The compressors are used for the automatic selection of the sub-band attenuation coefficient. The output signal is synthesized by summing the processed sub-bands. To verify the algorithm's functionality, simulation was conducted in Python programming language.

Keywords. Hearing loss simulation, gammatone-filter, dynamic range compressor, audiogram, Android.