

ЭКВАЛАЙЗЕР НА ОСНОВЕ БАНКА ГАММАТОН-ФИЛЬТРОВ

Терешкова К.Д., студентка гр.150702

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

Порхун М.И. – магистр технических наук

Аннотация. В работе рассмотрена задача разработки эквалайзера на основе кохлеарного банка гамматон-фильтров в среде MATLAB. Функционирование системы базируется на частотно-зависимой субполосной обработке звукового сигнала. Входной сигнал декомпозируется на субполосы банком фильтров. В каждой полосе используется отдельный коэффициент усиления/ослабления. Выходной сигнал синтезируется путём суммирования обработанных субполос. Для проверки работоспособности системы выполнено её MATLAB-моделирование с использованием разработанного графического интерфейса. Результаты моделирования подтвердили корректность работы эквалайзера.

Ключевые слова. Эквалайзер, банк гамматон-фильтров, шкала Барков.

Эквалайзер – система, предназначенная для регулирования частотных характеристик звукового сигнала. С учётом стремительного развития цифровых технологий, распространения смарт-технологий, значимость эквалайзеров значительно возросла. На текущий момент эквалайзеры становятся неотъемлемой частью мобильных приложений и других мультимедийных систем [1].

Разработка эквалайзера представляет значительную актуальность в ряде областей, таких как аудиоинженерия, музыкальное производство, телекоммуникации и потребительская электроника. Рассмотрим несколько важных аспектов, демонстрирующих важность разработки:

1) Улучшение качества звука. Эквалайзеры позволяют регулировать частотные характеристики аудиосигналов, что помогает улучшить качество звучания музыки и речи, что крайне важно в профессиональной аудиоиндустрии, где требуется высокая четкость и чистота звука;

2) Адаптация к условиям прослушивания. Разные условия прослушивания требуют различной обработки звука. Эквалайзеры позволяют адаптировать его к специфическим условиям окружающей акустической среды, что также улучшает восприятие звука;

3) Персонализация звука. Эквалайзер позволяет пользователю самостоятельно настраивать звук согласно собственным предпочтениям, что повышает комфорт при прослушивании;

4) Промышленное и коммерческое применение. Эквалайзеры важны также в системах аудиокommunikаций, где требуется чёткость передачи звука.

Таким образом, разработка эквалайзера является важной и перспективной задачей.

Структура разработанного эквалайзера приведена на рисунке 1.

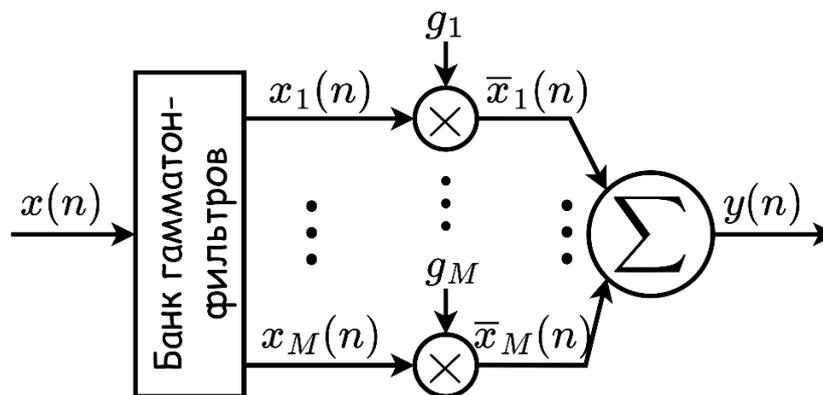


Рисунок 1 – Структура эквалайзера на основе банка гамматон-фильтров

Входной сигнал $x(n)$ декомпозируется на M субполос при помощи кохлеарного банка гамматон-фильтров. Каждая i -я субполоса умножается на соответствующий коэффициент g_i , что позволяет регулировать усиление в полосах. Обработанные субполосы $\bar{x}_i(n)$ образуют выходной сигнал $y(n)$ путём суммирования.

Рассмотрим каждый из блоков системы по отдельности.

Гамматон-фильтр имитирует механизм движения базилярной мембраны улитки человеческого уха. БГФ представляет собой гребёнку гамматон-фильтров и позволяет выполнить декомпозицию входного звукового сигнала на M субполос, ширина которых согласована со слуховой системой человека.

Импульсная характеристика гамматон-фильтра описывается следующим выражением [2]:

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

где t – время, n – номер отсчёта, l – порядок фильтра, b – параметр, регулирующий ширину полосы фильтра, f_c – центральная частота фильтра, $\text{ERB}(f_c)$ – эквивалентная прямоугольная полоса пропускания фильтра.

В данной работе использовались следующие значения: $t = 0 \dots 64$ мс, $l = 4$, $b = 1.019$.

У БГФ можно выделить один существенный недостаток – длина импульсных характеристик фильтров [3]. На рисунке 2 показаны примеры импульсных характеристик (h_i) и соответствующих им АЧХ ($|H_i(e^{j\omega})|$) гамматон-фильтров для центральных частот 100, 1000 и 6000 Гц.

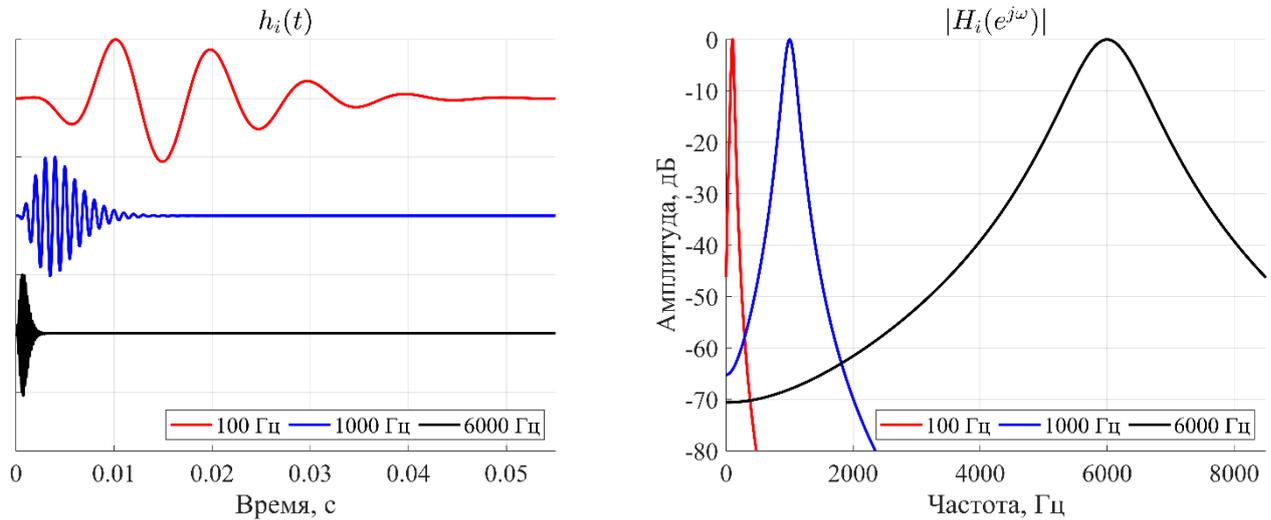


Рисунок 2 – Импульсные характеристики и АЧХ гамматон-фильтров

Из рисунка 2 видно, что с увеличением центральной частоты длительность импульсной характеристики сокращается. Например, для центральной частоты 100 Гц длина импульсной характеристики составляет около 0.055 секунд, что при частоте дискретизации 44100 Гц составляет порядка 2425 отсчётов. А для центральной частоты в 6000 Гц она составляет примерно 0.004 секунды (около 180 отсчётов). Этот факт затрудняет реализацию БГФ для задач обработки звука в реальном времени.

Поскольку в рамках поставленной задачи не требуется обработка в реальном времени, то данным недостатком БГФ можно пренебречь.

Как правило, центральные частоты f_c БГФ распределяются равномерно относительно ERB-шкалы (от англ. **E**quivalent **R**ectangular **B**andwidth). Данная частотная шкала схожа со шкалой критических полос человеческого слуха. Переход от частоты f в Гц к ERB-шкале осуществляется следующим образом [4]:

$$\text{ERB}(f) = 24.673(0.004368f + 1) \quad (2)$$

Для согласования центральных частот (f_c) фильтров со слуховой системой их выбирают в соответствии с психоакустической шкалой Барков. Данная шкала использует концепцию критических полос слуха – весь частотный диапазон разделяется на барки (критические полосы). Например, частотный диапазон 20 Гц...15.5 кГц делится на 24 барка, при этом каждый барк соответствует своему конкретному частотному диапазону (критической полосе). Переход от частоты f к Баркам $bark$ выполняется согласно следующему выражению [5]:

$$bark(f) = 13 \arctan\left(\frac{0.76f}{1000}\right) + 3.5 \left(\left(\frac{0.76f}{1000}\right)^2\right) \quad (3)$$

Таким образом, шкала Барков иллюстрирует нелинейность слуха человека – с увеличением частоты (номера Барка), ширина критической полосы (ΔCB_{bark}) увеличивается (рисунок 2) [5]:

$$\Delta\text{CB}_{bark} = \frac{52548}{f^2 - 52.56f + 690.39} \quad (3)$$

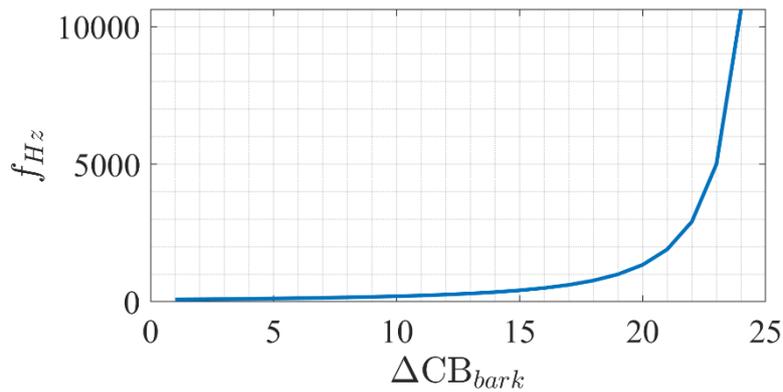


Рисунок 3 – Зависимость ширины критической полосы от номера Барка

В данной работе количество каналов банка фильтра выбрано равным до ($M = 20$), т.е. 20 Барков, что покрывает частотный диапазон от 100 до 7700 Гц.

После разложения входного сигнала на субполосы, каждая полоса умножается на соответствующий коэффициент усиления g_i , что позволяет управлять усилением в каждой субполосе индивидуально.

Поскольку БГФ не имеет структуры банка фильтров синтеза [2], то выходной сигнал синтезируется путём суммирования обработанных субполос.

Для проверки корректности работы эквалайзера выполнено его моделирование в среде MATLAB. С этой целью разработано графическое меню с функциональными кнопками, позволяющими выбрать аудиофайл для обработки, начать воспроизведение и остановить его. Для выбора коэффициентов усиления субполос g_i в меню добавлены ползунки, позволяющие выбрать значение нужного коэффициента в диапазоне -20...20 дБ. Также в соответствующем окне отображается АЧХ БГФ с учётом заданных g_i и спектрограмма выходного сигнала.

Результаты MATLAB-моделирования разработанного эквалайзера показаны на рисунках 4 и 5.

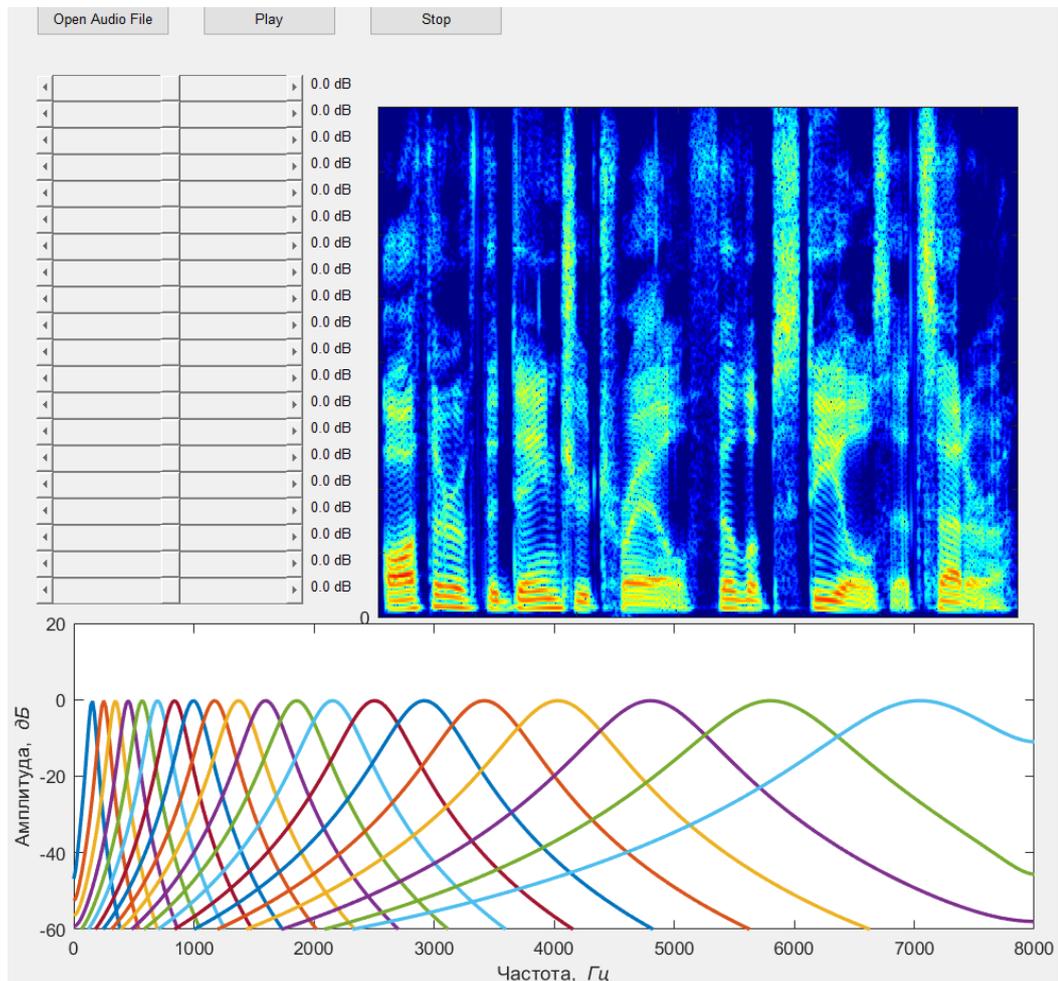


Рисунок 4 – Графическое меню эквалайзера (настройки по умолчанию)

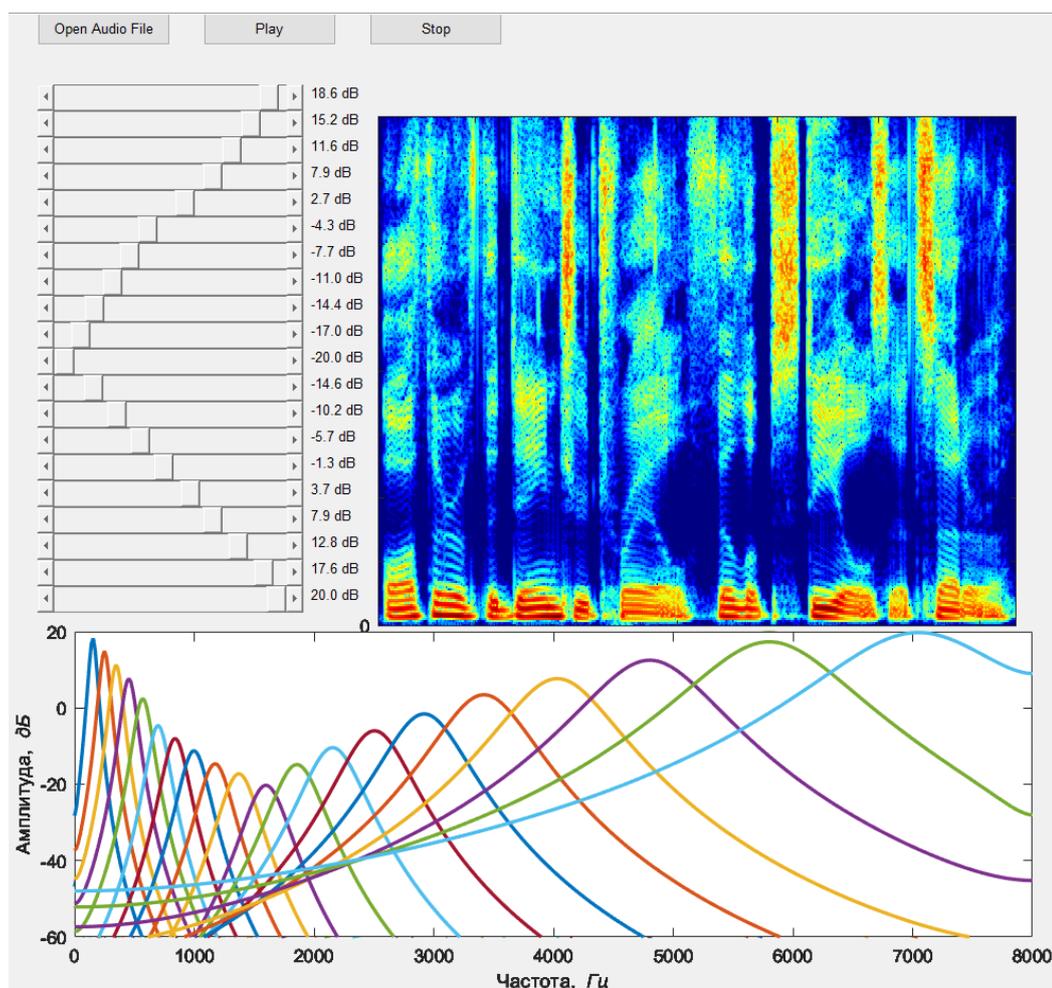


Рисунок 5 – Графическое меню эквалайзера (усиление высоких и низких частот, средние частоты ослаблены)

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод о том, что разработанный эквалайзер функционирует верно.

Таким образом, в работе рассмотрена реализация эквалайзера на основе банка гамматон-фильтров. Приведены основные особенности гамматон-фильтров. Рассмотрен процесс выбора центральных частот фильтров. Проведена проверка корректности БГФ путём MATLAB-моделирования. С этой целью разработано соответствующее графическое меню. Результаты тестирования подтвердили корректность работы системы.

Список использованных источников:

- [1] Zölzer U. DAFX-Digital audio effects / U. Zölzer et al // John Wiley & Sons. – 2002. 613 P.
- [2] An efficient auditory filterbank based on the gammatone function / R. D. Patterson, et al. // Proceeding of the IOC Speech Group on Auditory Modelling at RSRE. – 1987. – vol. 2, №. 7. – P. 1- 34.
- [3] Feldbauer, C. Anthropomorphic Coding of Speech and Audio: A Model Inversion Approach / C. Feldbauer, G Kubin, W.B. Kleijn // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2005. – № 9. – pp. 1334-1349.
- [4] Wang, D. Computational Auditory Scene Analysis: Principles, Algorithms, and Applications / D. Wang, G. Brown. – New Jersey : Wiley-IEEE Press, 2008. – 395 p.
- [5] Zwicker E., Terhardt E. Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency //The Journal of the Acoustical Society of America. – 1980. – T. 68. №. 5. C. 1523–1525.

EQUALIZER BASED ON GAMMATONE FILTERBANK

Tereshkova K.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Porhun M.I. – Master of Engineering sciences

Annotation. The paper considers the problem of developing an equalizer based on a cochlear gammatone filterbank in the MATLAB environment. The functioning of the system is based on frequency-dependent subband processing of the audio signal. The input signal is decomposed into subbands by filterbank. Each band uses a separate gain factor. The output signal is synthesized by summing the processed subbands. To check the performance of the system, MATLAB modeling was performed using the developed graphical interface. The simulation results confirmed the correct working of the equalizer.

Keywords. Equalizer, gammatone filterbank, Bark scale.