

# СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ESP32 LYRA

Лобацевич С.С., студент

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

Порхун М.И. – маг. техн. наук, старший преподаватель

В рамках данной работы рассмотрена система подавления акустической обратной связи в аудиотракте на основе адаптивного алгоритма NLMS. Выполнено моделирование эффекта акустической обратной связи и его компенсации в среде Matlab, проведён анализ временных и спектральных характеристик сигналов, а также подготовлена аппаратно-программная база для последующей реализации алгоритма в реальном времени на платформе ESP32-LyraT.

Система подавления акустической обратной связи — это программно-аппаратная система, предназначенная для уменьшения или устранения паразитного сигнала, возникающего при передаче части выходного сигнала акустической системы обратно на вход микрофона. Возникновение акустической обратной связи приводит к появлению узкополосного свиста, искажению полезного сигнала и снижению устойчивости системы. Поэтому задача её подавления является актуальной для аудиотрактов, слуховых аппаратов, переговорных устройств и встраиваемых аудиосистем [1].

Структурная схема алгоритма представлена на рисунке 1.

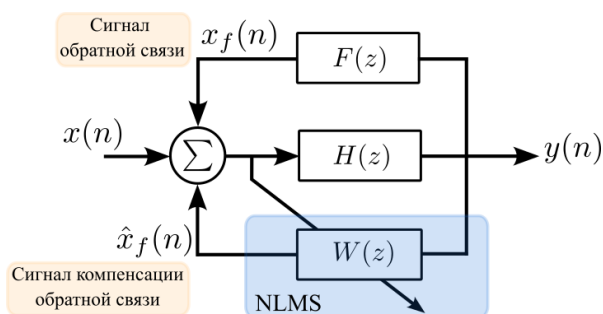


Рисунок 1 – Структура разработанного алгоритма

Структурно система включает входной сигнал  $x(n)$ , тракт обработки  $H(z)$ , путь акустической обратной связи  $F(z)$  и адаптивный фильтр  $W(z)$ . Здесь  $F(z)$  описывает путь, по которому часть выходного сигнала снова попадает на вход системы,  $H(z)$  соответствует основному тракту обработки и усиления сигнала, а  $W(z)$  является адаптивным фильтром, который формирует оценку сигнала обратной связи для его последующей компенсации. Часть выходного сигнала через акустический канал снова попадает на вход и образует паразитную составляющую. Для её подавления используется адаптивный FIR-фильтр, который оценивает сигнал обратной связи и вычитает его из входного сигнала, формируя компенсированный сигнал [1]–[3].

Идея компенсации может быть записана в виде [1]–[3]:

$$x_{in}(n) = x(n) + x_f(n) - \hat{x}_f(n), \quad (1)$$

где  $x(n)$  – полезный входной сигнал,  $x_f(n)$  – сигнал акустической обратной связи, а  $\hat{x}_f(n)$  – его оценка, формируемая адаптивным фильтром. Чем точнее оценивается паразитный компонент, тем эффективнее работает компенсация и тем выше устойчивость системы.

В работе был использован алгоритм NLMS. Его выбор обусловлен сравнительно простой реализацией, устойчивостью и невысокой вычислительной сложностью, что особенно важно при последующем переносе алгоритма на встраиваемую платформу [1], [3]. На каждой итерации формируется сигнал ошибки как разность между текущим входным сигналом и оценкой сигнала обратной связи, после чего коэффициенты адаптивного фильтра корректируются по следующему выражению [1], [3]:

$$w(n+1) = w(n) + \frac{\mu}{y^T(n)y(n) + \delta} e(n)y(n), \quad (2)$$

где  $w(n)$  – вектор коэффициентов адаптивного фильтра,  $\mu$  – шаг адаптации,  $e(n)$  сигнал ошибки,  $y(n)$  – вектор отсчётов сигнала,  $\delta$  – малый положительный параметр, предотвращающий деление на ноль. Таким образом, алгоритм NLMS позволяет подстраивать модель пути обратной связи в процессе работы системы и уменьшать уровень паразитной составляющей.

На первом этапе была построена модель системы подавления акустической обратной связи в среде Matlab. Для моделирования использовались речевой сигнал и импульсная характеристика пути

обратной связи из открытого набора данных RWTH Aachen [6]. На их основе была реализована модель, воспроизводящая возникновение акустической обратной связи и её компенсацию с помощью адаптивного фильтра NLMS. В ходе экспериментов подбирались параметры адаптации и исследовалась работа системы при различных значениях коэффициента усиления.

Результаты показаны на рисунке 2:

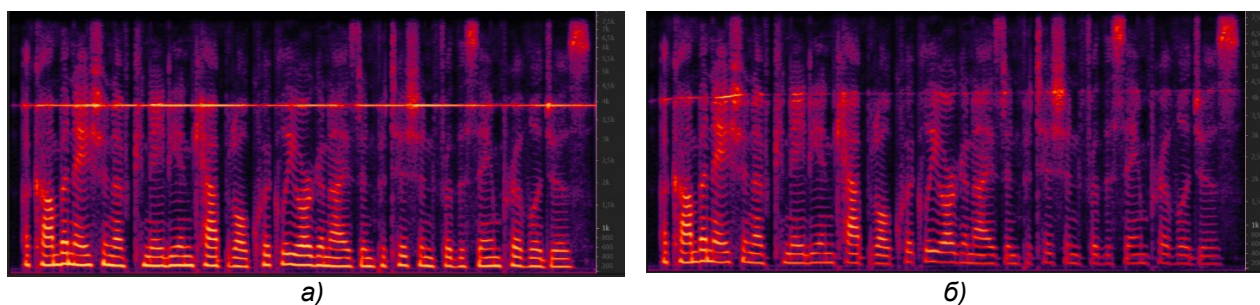


Рисунок 2 – Спектрограммы выходного сигнала: а) без компенсации акустической обратной связи; б) при использовании NLMS (коэффициент усиления равен 100)

Анализ полученных спектрограмм показал, что без компенсации в выходном сигнале наблюдается выраженная узкополосная составляющая, характерная для акустической обратной связи. При использовании адаптивного компенсатора на основе NLMS интенсивность данной составляющей уменьшается, а работа системы становится более устойчивой.

На следующем этапе была начата подготовка платформы для реализации алгоритма в реальном времени. В качестве основы использована плата ESP32-LyraT, предназначенная для разработки аудиоприложений в составе фреймворка ESP-ADF. В процессе работы были успешно реализованы и протестированы два базовых режима: запись звукового сигнала на карту памяти microSD и вывод аудиосигнала в наушники. Полученные результаты подтвердили работоспособность звукового ввода и вывода и показали возможность дальнейшей интеграции алгоритма подавления акустической обратной связи в режим обработки [4], [5].

Результаты тестирования показаны на рисунке 3:

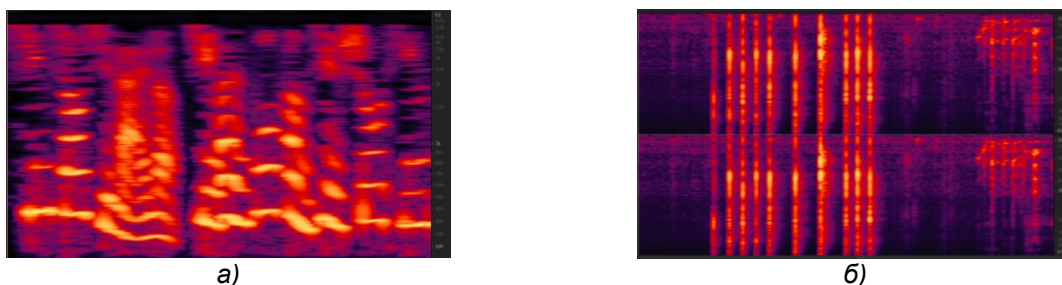


Рисунок 3 – Спектрограммы сигнала на платформе ESP32-LyraT: а) вывод звука в наушники; б) запись сигнала на SD-карту

В ходе выполнения моделирования системы подавления акустической обратной связи на основе алгоритма NLMS, получены временные и спектральные характеристики сигналов, подтверждающие работоспособность выбранного подхода, а также подготовлена аппаратно-программная основа для последующей реализации на платформе ESP32-LyraT. Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем переносе модели из Matlab на встраиваемую систему реального времени [1]–[5].

**Список использованных источников:**

1. Вашкевич, М. И. Косинусно-модулированные банки фильтров с фазовым преобразованием: реализация и применение в слуховых аппаратах / М. И. Вашкевич, И. С. Азаров, А. А. Петровский. – Минск : БГУИР, 2014. – 210 с.
2. Вашкевич, М. И. Подавление эффекта акустической обратной связи в слуховых аппаратах с использованием неравнополосного банка фильтров / М. И. Вашкевич, И. С. Азаров, А. А. Петровский // Информатика. – 2012. – № 2(34). – С. 50–60.
3. Akhtar, M. T. Howling and Entrainment in Hearing Aids: A Review / M. T. Akhtar, A. Nishihara // Engineering Journal. – 2016. – Vol. 20, Issue 5. – P. 5–13.
4. Espressif Audio Development Framework Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.espressif.com/projects/esp-adf/en/latest/esp-adf-en-master.pdf>
5. ESP-ADF examples: recorder and CLI examples [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/espressif/esp-adf/blob/release/v2.x/examples/README.md>
6. Paths for Active Noise Cancellation Development and Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iks.rwth-aachen.de/en/research/tools-downloads/databases/paths-for-active-noise-cancellation-development-and-research/>