

# Исследование и разработка алгоритма минимизации звуковой петли в системах громкоговорящей связи

А.А. Колпаков

Владимирский государственный университет  
Владимир, Россия  
desT.087@gmail.com

Д.В. Бейлекчи

Владимирский государственный университет  
Владимир, Россия  
dmibeil@yandex.ru

А.Ю. Проскураков

Владимирский государственный университет  
Владимир, Россия  
alexander.prosk.murom@gmail.com

А.А. Белов

Владимирский государственный университет  
Владимир, Россия  
aleks.murom@mail.ru

**Аннотация**—Работа посвящена разработке методов минимизации звуковой петли в телекоммуникационных системах громкоговорящей связи. Результатами исследования является алгоритм минимизации звуковой петли в системах громкоговорящей связи и параметры его практического применения.

**Ключевые слова**— телекоммуникационные системы, диспетчерская связь, громкоговорящая связь, звуковая петля, обработка звука.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При проектировании телекоммуникационных систем громкоговорящей связи основным критерием качества является отсутствие помех при передаче и приеме голосовых сообщений. Одной из таких помех является эффект звуковой петли, когда микрофон и громкоговоритель взаимодействуют друг с другом [1-2]. Такую проблему можно решить двумя способами: аппаратными решениями или программными алгоритмами. Аппаратные решения не всегда являются экономически оправданными, поэтому в данной работе рассматривается решение проблемы звуковой петли программным способом.

Основной сценарий использования устройства громкоговорящей связи выглядит следующим образом: оператор находится на своем рабочем месте, обычно за столом, устройство связи расположено на столе в непосредственной близости от оператора, но не ближе 30 см. Оператор произносит фразы во время сеанса связи в нормальном темпе и с нормальной громкостью, не повышая голоса. Принятый сигнал воспроизводится обратно на громкоговоритель. Фоновый шум не превышает 60 дБ [3-4].

Для обеспечения приемлемого уровня разборчивости речи требуется обеспечить следующие параметров качества звукового сигнала:

- отсутствие эффекта звуковой петли;
- при устранении эффекта звуковой петли исключить обрывание речевых фраз;
- уверенный прием речевого сигнала с расстояния до 50 см от микрофона [2].

## 2. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ЗВУКОВОЙ ПЕТЛИ

Для подавления эффекта звуковой петли в режиме дуплекс был разработан алгоритм и программный модуль на языке с++, реализующий фильтрацию входных и выходных сигналов с учетом текущего уровня сигнала, обеспечивающий приглушение сигнала входного или выходного сигнала на одном из абонентских устройств при встречном разговоре.

Схема модуля подавления эффекта звуковой петли в режиме связи дуплекс приведена на рисунке 1.

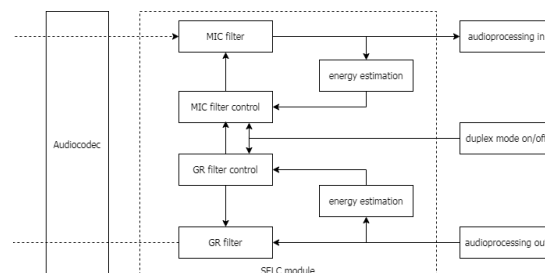


Рис. 1. Структурная схема программного модуля подавления эффекта звуковой петли

В обычном режиме входные и выходные аудиосигналы обрабатываются независимо. Однако расположение динамика и микрофона в непосредственной близости друг от друга вызывает появление эффекта петли акустической обратной связи. Решение этой проблемы может быть обеспечено несколькими методами. Во-первых, можно установить шумозащитный микрофон, который будет фильтровать звук из громкоговорителя. Однако такой подход может значительно увеличить стоимость устройства и сложность его компоновки. Во-вторых, можно отключить громкоговоритель при обнаружении сигнала на микрофоне. Это делает устройство более простым и универсальным, но усложняет программное обеспечение. В данной работе рассматривается второй подход.

Так как регулировка чувствительности аппаратно выполняется на входе до применения к входному сигналу алгоритма подавления звуковой петли, для исключения обрывания речевых фраз при заданном уровне

чувствительности, необходимо выполнять автоматическое задание параметров порогового уровня детектора сигнала с микрофона.

Для оценки требуемого порогового уровня проведены экспериментальные исследования параметров принимаемого сигнала на расстоянии 45 см с разными уровнями чувствительности. Оценка проводилась при измерении фонового шума, а также источника тестовых сигналов.

Оценка энергии входного сигнала в цифровых единицах выполняется по формуле:

$$E_{est} = \frac{\sum_{i=0}^{SAI\_BUF\_N} s_{in}^2(i)}{256} \quad (1)$$

где  $s_{in}(i)$  – отсчеты входного сигнала в формате int16,

$SAI\_BUF\_N$  – количество отчетов в буфере интерфейса аудиокодека, равное 160 и соответствующее отрезку сигнала 20мс.

При этом получаемое значение  $E_{est}$  пропорционально энергии сигнала на входе с коэффициентом 160/256 [3, 4].

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА И РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ДЕТЕКТОРА

В ходе экспериментальных исследований, было установлено, что для обеспечения работы алгоритма без обрывания речевых фраз при источнике звука на расстоянии до 50 см при настройках чувствительности по умолчанию при 0 дБ пороговое значение  $L_{thmic0}$  должно соответствовать  $E_{est}$  при  $E_{est} = 400000$  [5].

Пороговые уровни детектора для остальных уровней чувствительности микрофона могут быть рассчитаны по формуле:

$$L_{thmicL} = L_{thmic0} \cdot 10^{\frac{L-L_{st}}{10}} \quad (2)$$

где  $L$  – требуемый уровень,  $L_{st}$  – шаг изменения уровня в дБ,  $L_{thmic0}$  – пороговое значение для уровня 0 дБ.

Были рассчитаны уровни порога детектора с учетом текущего шага регулировки чувствительности  $L_{st} = 1,5$  дБ для требуемых уровней [6]:

ТАБЛИЦА I. УРОВНИ ПОРОГА ДЕТЕКТОРА С УЧЕТОМ ТЕКУЩЕГО ШАГА РЕГУЛИРОВКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Уровень	Усиление, дБ	Порог
0	0	400000
-1	-1,5	283200
-2	-3	200505
-3	-4,5	141957
-4	-6	100506
-5	-7,5	71158
-6	-9	50380
+1	1,5	35669
+2	3	25253
+3	4,5	564971
+4	6	797982
+5	7,5	1127094
+6	9	1591940

### 4. ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований были определены уровни усиления с исключением перегрузок в аналоговой части аппаратного обеспечения по входу и выходу и обеспечивающие прием сигнала на микрофон с расстояния до 50 см, разработан программный код для устранения эффекта звуковой петли в режиме дуплекса и рассчитаны параметры алгоритма для исключения обрывания речевых фраз, что в совокупности обеспечивает требуемые параметры качества звукового сигнала.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Директоров, Н.Ф. Современные системы внутрикорабельной связи. / Н.Ф. Директоров, А.А. Катанович. – СПб.: Судостроение, 2001. – 256 с.
- [2] Кондратьев, К.В. Ограничительные условия реализации метода адаптивной компенсации акустической обратной связи / К.В. Кондратьев, О.В. Непомнящий, А.Ф. Шишкина, В.Н. Сергеевич // Инженерная физика. – 2016. – № 11. – С. 32-38.
- [3] Hänsler E. Topics in Acoustic Echo and Noise Control: Selected Methods for the Cancellation of Acoustical Echoes, the Reduction of Background Noise, and Speech Processing / E. Hänsler, G. Schmidt. – 2006. – DOI: 10.1007/3-540-33213-8.
- [4] Громоздин, В.В. Имитация внешних акустических шумов при испытаниях качества громкоговорящей связи / В.В. Громоздин, Е.А. Надобенко, Т.В. Панина // 28-я Международная Крымская Конференция "Свч-Техника и Телекоммуникационные Технологии". Материалы конференции. – 2018. – С. 459-465.
- [5] Cohen, I. Speech Processing in Modern Communication-Challenges and Perspectives / I. Cohen, J. Benesty, Sh. Gannot // Springer-Verlag, 2010. – DOI: 10.1007/978-3-642-11130-3.
- [6] Кропотов, Ю.А. Исследование и разработка систем громкоговорящей связи в условиях воздействия акустических помех / Ю.А. Кропотов, А.А. Быков. – Муром: МИ ВлГУ, 2011. – 107 с.
- [7] Кондратьев, К.В. Особенности адаптации фильтров акустической обратной связи в микрофонных блоках систем громкоговорящей связи / К.В. Кондратьев, О.В. Непомнящий, В.Н. Сергеевич // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Уфимский государственный авиационный технический университет, 2013. – Р. 87-91.
- [8] Ермолаев, В.А. Обработка акустических сигналов методами локального анализа в телекоммуникационных системах / В.А. Ермолаев, Ю.А. Кропотов, Д.В. Бейлекчи // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – № 1(17). – С. 49-56.
- [9] Kropotov, Yu.A. On the transmission of asynchronous data streams over packet switched networks with random multiple access / Yu.A. Kropotov, A.A. Kolpakov // International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC). – 2018. – Vol. 10(1). – P. 107-117. DOI: 10.5121/ijcnc.2018.10108.
- [10] Rabiner, L. Theory and application of digital signal processing / L. Rabiner, B. Gould. – Moscow, Russia: WORLD, 1978. – 848 p.
- [11] Kropotov, Yu.A. Mathematical models of telecommunication systems with acoustic feedback / Yu.A. Kropotov, A.A. Belov, A.Y. Proskuryakov, A.A. Kolpakov // International Multi-conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. – 2019. – P. 8934203.