**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра САПР**

Курсовой проект

**по дисциплине «Основы цифровой обработки сигналов»**

Тема: **Адаптивный фильтр шумоподавления**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка гр. 1302 |  | Романова О.В. |
| Студент гр. 1302 |  | Новиков Г.В. |
| Студентка гр. 1302 |  | Марзаева В.И. |
| Преподаватель |  | Пестерев Д.О. |

Санкт-Петербург

2023

**ЗАДАНИЕ**

**на курсовОЙ ПРОЕКТ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка Романова О.В.  Студент Новиков Г.В.  Студентка Марзаева В.И. | | |
| Группа 1302 | | |
| Тема проекта: адаптивный фильтр шумоподавления | | |
| Исходные данные:  Matlab – пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. | | |
| Содержание пояснительной записки:  «Содержание», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» | | |
| Предполагаемый объем пояснительной записки:  Не менее 10 страниц. | | |
| Дата выдачи задания: 14.11.2023 | | |
| Дата сдачи реферата: 25.12.2023 | | |
| Дата защиты реферата: 25.12.2023 | | |
| Студентка |  | Романова О.В. |
| Студент |  | Новиков Г.В. |
| Студентка |  | Марзаева В.И. |
| Преподаватель |  | Пестерев Д.О. |

**Аннотация**

Курсовой проект содержит в себе решение задачи шумоподавления с помощью адаптивных фильтров. В качестве адаптивных фильтров были взяты фильтры LMS и RLS. В качестве среды разработки был взят Matlab. Полученные результаты приведены в работе.

**Summary**

The course project contains a solution to the problem of noise reduction using adaptive filters. LMS and RLS filters were taken as adaptive filters. Matlab was taken as the development environment. The results obtained are presented in the work.

**содержание**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Введение | 4 |
| 1. | Теоретические данные | 5 |
| 2. | Адаптивный фильтр LMS | 0 |
| 3. | Адаптивный фильтр RLS | 0 |
| 2. |  | 0 |
| 2.1. |  | 0 |
| 2.2. |  | 0 |
| 3. |  | 0 |
| 3.1. |  | 0 |
| 3.2. |  | 0 |
|  | Заключение | 0 |
|  | Список использованных источников | 0 |
|  |  |  |

**введение**

Курсовой проект направлен на решение задачи шумоподавления с помощью адаптивных фильтров в Matlab. Используются фильтры LMS (на основе метода наименьших квадратов) и RLS (на основе рекурсивного метода наименьших квадратов).

**Теоретические данные**

Адаптивные фильтры – цифровые фильтры, коэффициенты которых изменяются с целью приведения фильтра в оптимальное состояние.

Критерием оптимизации является функция потер, которая чаще всего представляет собой средний квадрат сигнала ошибки между выходом адаптивного фильтра и требуемым сигналом. По мере того, как фильтр адаптирует свои коэффициенты, среднеквадратичная ошибка (MSE) сходится к своему минимальному значению. В этом состоянии фильтр адаптирован, коэффициенты сходятся к решению. В этом случае говорят, что выходной сигнал фильтра у(k) очень точно соответствует желаемому сигналу d(k). При изменении характеристик входных данных, иногда называемых средой фильтрации, фильтр адаптируется к новой среде, генерируя новый набор коэффициентов для новых данных.

В устойчивом состоянии, когда фильтр адаптировался, ошибка между выходным сигналом фильтра и желаемым сигналом минимальна, а не равна нулю. Эта ошибка известна как ошибка устойчивого состояния. Скорость, с которой фильтр сходится к оптимальному состоянию, известная как скорость сходимости, зависит от множества факторов, таких как природа входного сигнала, выбор алгоритма адаптивного фильтра и размер шага алгоритма.

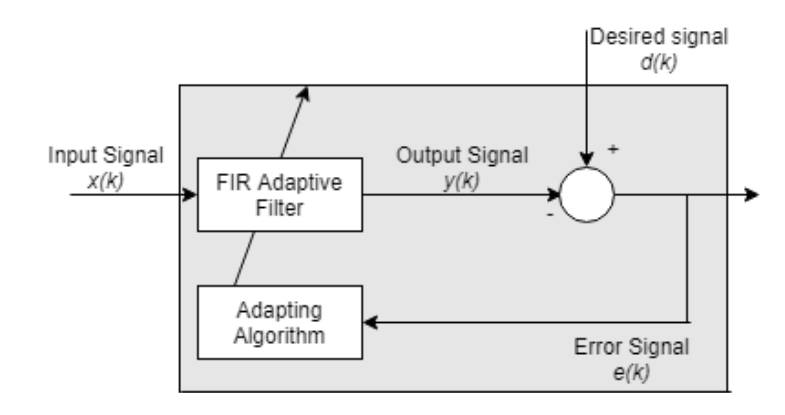


Рисунок – Общий алгоритм адаптивного фильтра

FIR Adaptive Filter (КИХ-адаптивные фильтры) – фильтры с конечной импульсной характеристикой. Один из видов линейных фильтров, характерной особенностью которого является ограниченность по времени его импульсной характеристики (с какого-то момента времени его выходной сигнал становится точно равным нулю). Такой фильтр называют часто не рекурсивным из-за отсутствия обратной связи. Знаменатель передаточной функции такого фильтра — константа. Свойства: КИХ-фильтры всегда устойчивы, у КИХ-фильтры нет обратной связи, зависимость фазового сдвига от частоты входного гармонического сигнала у КИХ-фильтров может быть сделана линейной.

При шумоподавлении адаптивные фильтры позволяют удалять шум из сигнала. Входной сигнал, который нужно очистить, сочетает в себе шум и нужную информацию. Чтобы удалить шум, в адаптивный фильтр подается сигнал, который коррелирует с шумом, который необходимо удалить из входного сигнала.

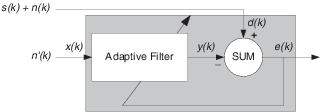


Рисунок . Алгоритм адаптивного фильтра при шумоподавлении

Пока входной шум фильтра остается коррелированным с нежелательным шумом, сопровождающим входной сигнал, адаптивный фильтр корректирует свои коэффициенты, чтобы уменьшить значение разницы между y(k) и d(k), удаляя шум и приводя к чистому сигналу e(k). В этом случае, сигнал ошибки фактически сходится к сигналу входных данных, а не к нулю.

Уравнение Винера-Хопфа – искомое решение для оптимальных коэффициентов (весов) фильтра:

Wopt = R-1p

Здесь: р – это вектор кросс-корреляции между входным вектором и ожидаемым сигналом, R это матрица автокорреляции входного сигнала.

 Фильтр Винера минимизирует среднеквадратическую ошибку между желаемым сигналом и входным сигналом, отфильтрованным фильтром Винера. Большое значение среднеквадратической ошибки указывает на то, что адаптивный фильтр не может точно отслеживать полезный сигнал. Минимальное значение среднеквадратической ошибки обеспечивает оптимальность адаптивного фильтра.

LMS:

Адаптивный фильтр на основе метода наименьших квадратов (разница между желаемым и фактическим сигналом). Это метод стохастического градиентного спуска (оптимизационный алгоритм, отличающийся от обычного градиентного спуска тем, что градиент оптимизируемой функции считается на каждом шаге не как сумма градиентов от каждого элемента выборки, а как градиент от одного, случайно выбранного элемента), в котором фильтр адаптируется только на основе ошибки в текущий момент.  Также может называться МНК (метод наименьшего квадрата). Есть пять разных вариантов реализации: LMS, NLMS (Normalized LMS), Sign-data LMS, Sign-Sign LMS, Sign-error LMS.

Алгоритм LMS прост в реализации, но имеет проблемы со стабильностью. Нормализованная версия алгоритма LMS отличается улучшенной скоростью сходимости и большей стабильностью, но имеет повышенную вычислительную сложность.  Для сходимости нормализованного метода LMS размер шага должен быть больше 0 и меньше 2. Небольшой размер шага обеспечивает небольшую установившуюся ошибку между выходным сигналом и желаемым сигналом. Если размер шага мал, скорость сходимости фильтра уменьшается. Чтобы улучшить скорость сходимости, необходимо увеличить размер шага. Если размер шага велик, фильтр может стать нестабильным.

Основная идея фильтра LMS заключается в достижении оптимального веса фильтра.(р−1п) Обновляя веса фильтра таким образом, чтобы они сходились к оптимальному весу фильтра. Алгоритм начинается с предположения малых весов (в большинстве случаев нулевых), и на каждом этапе путем нахождения градиента среднеквадратической ошибки веса обновляются.

Метод расчета весов фильтра: обычный LMS решает уравнение Винера-Хопфа и находит коэффициенты фильтра для адаптивного фильтра.

Основные характеристики: простота вычислений, N+1 «умножение-сложение», медленная сходимость, значительная дисперсия ошибки в установившемся режиме.

Алгоритм задается следующими уравнениями:

где n – индекс текущего времени, w(n) – вектор весов фильтра оценивающийся на шаге n, u(n) – вектор буферизированных входных выборок на шаге n, y(n) – отфильтрованный выход на шаге n, e(n) – ошибка на шаге n, d(n) – желаемый ответ на шаге n, – размер шага адаптации, – фактор утечки ().

* LMS – решает уравнение Винера-Хопфа и находит коэффициенты фильтра для адаптивного фильтра.

где - комплексно-сопряженный вектор буферизированных входных выборок на шаге n.

* NLMS – Нормализованный вариант алгоритма LMS.

В нормализованном LMS, чтобы преодолеть потенциальную числовую нестабильность при обновлении весов, в знаменателе была добавлена ​​небольшая положительная константа ε. Для ввода с плавающей запятой двойной точности ε — это выход функции eps. Для ввода с плавающей запятой одинарной точности ε является выходом eps("single"). Для ввода с фиксированной точкой ε равно 0.

RLS:

Рекурсивный алгоритм на основе метода наименьших квадратов. В отличии от простых LMS-алгоритмов, RLS представляет собой увеличенную сложность, вычислительную стоимость и точность. В производительности RLS приближается к фильтру Калмана. RLS схож с LMS, но имеет фактор забывания, который определяет, как алгоритм обрабатывает прошлый ввод данных к алгоритму и рассматривает ошибку, не только в текущий момент времени. Алгоритмы RLS очень стабильны, очень хорошо работают в изменяющихся во времени средах, но в вычислительном отношении они более сложны, чем алгоритмы LMS.

Основные характеристики: сложность вычислений, 3N2+4N «умножение-сложение», быстрая сходимость, малая дисперсия ошибки в установившемся режиме.

Алгоритм задается следующими уравнениями:

где – фактор забывания (при память бесконечная, обычно 1-1/2L < ), n – индекс текущего времени, w(n) – вектор весов фильтра оценивающийся на шаге n, u(n) – вектор буферизированных входных выборок на шаге n, y(n) – отфильтрованный выход на шаге n, e(n) – ошибка на шаге n, d(n) – желаемый ответ на шаге n, – вектор усиления на шаге n, – обратная ковариационная матрица на шаге n (чем меньше , �тем меньше вклад предыдущих выборок в ковариационную матрицу).

**Адаптивный фильтр LMS**

**Адаптивный фильтр RLS**

**заключение**

В результате выполнения курсового проекта, были реализованы адаптивные фильтры, такие как LMS и RLS. Была произведена оценка сигнал/шум до и после фильтрации и быстродействие адаптивных фильтров, определен лучший адаптивный фильтр. Полученная информация была оформлена в виде графиков и прокомментирована.

**список использованных источников**

1. Matlab Documentation URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html?s\_tid=CRUX\_lftnav (дата обращения: 10.12.2023)

2. Презентации (теория и некоторые алгоритмы) URL: https://drive.google.com/drive/folders/15L27RV\_7BQmbYm-LSASp4YvWtJ9pQ-OV (дата обращения: 10.12.2023)

3. Адаптивные алгоритмы URL: https://www.mathworks.com/help/dsp/ug/overview-of-adaptive-filters-and-applications.html (дата обращения: 10.12.2023)

5. Адаптивные фильтры URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive\_filter (дата обращения: 10.12.2023)

5. КИХ-адаптивные фильтры URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80\_%D1%81\_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9\_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B9\_%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B9#:~:text=%D0%BE%D1%82%20finite%20impulse%20response%20%E2%80%94%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F,%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%82%D1%81%D1%8F%20%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%20%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%BC%20%D0%BD%D1%83%D0%BB%D1%8E). (дата обращения: 10.12.2023)