

УДК 537

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ ЗА СЧЕТ ПРОГРАММНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ

Бабанов М.Д., студент гр.ИБс-251, I курс

Научный руководитель: Пузынин А.В., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики

Кузбасский государственный технический университет

Имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Введение

В современных измерительных системах, построенных на базе микроконтроллеров, важную роль играет точность получаемых данных.

Несмотря на широкое распространение таких устройств, их измерения подвержены различным источникам погрешностей, включая электрический шум, нестабильность питания и ограничения аналогово-цифрового преобразования, то есть процесс перевода непрерывного сигнала, например напряжения, в набор чисел, которые может обработать микроконтроллер.

Актуальность данной работы связана с необходимостью повышения точности измерений, не усложняя и не увеличивая стоимость аппаратной части устройств. В условиях ограниченных ресурсов микроконтроллеров особенно важно применять программные методы обработки сигналов, которые помогают компенсировать влияние помех и повышают надежность получаемых данных.

Научная новизна работы заключается в систематизации и сравнительном анализе программных методов фильтрации сигналов, а также в разработке рекомендаций по их использованию в зависимости от типа шумов и помех в измерительных системах на базе микроконтроллеров

Целью работы является исследование возможности повышения точности измерений в микроконтроллерах с помощью программной фильтрации сигналов.

Что бы достичь цели работы необходимо решить следующие задачи: анализ принципов измерений сигналов в микроконтроллерах, выявление основных источников ошибок, изучение методов цифровой фильтрации и провести сравнительный анализ методов цифровой фильтрации.

1. Принципы измерения сигналов в микроконтроллерах.

В микроконтроллерах для измерения аналоговых значений используют аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Его основная функция, переводить непрерывный электрический сигнал в цифровой вид, чтобы программное обеспечение могло с ним работать [1]. Процесс преобразования включает два ключевых этапа: дискретизацию и квантование. Дискретизация означает, что сигнал измеряют не постоянно, а через определённые промежутки времени.

Квантование, это процесс, при котором каждое зафиксированное значение округляется до ближайшего возможного уровня [1]. На этом шаге уже появляются погрешности. Микроконтроллеры не могут измерять значения абсолютно точно, они всегда работают с приближенными результатами. В Arduino есть встроенный АЦП. Например, у Arduino Uno преобразование идёт с разрядностью 10 бит: напряжение от 0 до 5 В разбивается на 1024 уровня [2]. Получается, что совсем небольшие изменения, меньше одного шага, не регистрируются. Если рассматривать всё это на практике, становится понятно, что некоторые мелкие колебания сигнала просто не будут замечены. Кроме этого, на одно измерение уходит примерно 100 микросекунд.

2. Источники погрешностей измерений в микроконтроллерах

На точность измерений в микроконтроллерах влияет сразу несколько факторов. Ошибки возможны на разных этапах, начиная с преобразования сигнала и заканчивая внешними условиями работы устройства [1].

Одна из основных причин погрешности, квантование. При переводе аналогового сигнала в цифровой он делится на определённое количество уровней [1], и каждое значение округляется до ближайшего из них [1]. Например, в Arduino Uno установлен 10-битный АЦП: диапазон напряжения разбит на 1024 уровня [2]. В результате небольшие изменения сигнала иногда не замечаются системой. Так появляется ошибка квантования, разница между реальным значением и тем, что фиксирует микроконтроллер. Полностью устранить её не получится, это связано с самой сутью цифрового измерения.

Влияет и электрический шум: он выражается в случайных колебаниях даже при стабильном сигнале [3]. Одинаковые измерения иногда дают разные результаты. Есть и импульсные помехи, это короткие всплески, которые также могут повлиять на точность измерений. Поэтому для повышения точности обычно требуется дополнительная обработка данных. Какой именно метод выбрать, зависит от того, какие помехи присутствуют, поэтому анализ их природы становится особенно важным.

3. Методы программной фильтрации сигналов.

Как было показано ранее, измерения в микроконтроллерах сопровождаются шумами, выбросами и ошибками квантования. В связи с этим для повышения точности широко применяются методы цифровой фильтрации, основной задачей которых является подавление помех и выделение полезной составляющей сигнала [4].

Метод скользящего среднего

Метод скользящего среднего это один из самых простых и популярных способов цифровой фильтрации сигнала, он относится к классу цифровых фильтров и находит широкое применение в обработке сигналов. Суть метода заключается в усреднении значений сигнала в окне фиксированной длины, которое последовательно перемещается по данным. Такой подход позволяет эффективно уменьшать случайные колебания сигнала, вызванные шумом [5].

Скользящее среднее особенно хорошо работает с сигналами, которые содержат аддитивный шум, что делает его удобным для использования в

микроконтроллерных системах, однако у данного метода есть и недостаток, усреднение может сглаживать резкие изменения сигнала, что приводит к задержке реакции системы

Таким образом, скользящее среднее эффективно подавляет шум, но может исказить быстрые изменения сигнала.

Медианный фильтр

Медианный фильтр относится к нелинейным методам обработки сигналов и широко применяется для уменьшения шума.

Принцип его работы заключается в том, что значения сигнала внутри окна сортируются, после чего выбирается центральное значение, то есть медиана [6].

Такой подход делает медианный фильтр устойчивым к выбросам, в отличие от усреднения, одиночные резкие скачки практически не влияют на результат фильтрации. Это подтверждается практическими исследованиями, где медианная фильтрация применяется для удаления артефактов в реальных сигналах [7].

В то же время, медианный фильтр менее эффективен при наличии постоянного шума, так как не учитывает все значения сигнала. Таким образом, медианный фильтр наиболее полезен при наличии импульсных помех и выбросов.

Экспоненциальное сглаживание

Экспоненциальное сглаживание является разновидностью скользящего среднего, в которой значения сигнала имеют различные веса. Более новым значениям придаётся больший вес, что позволяет быстрее реагировать на изменения [8].

Этот метод объединяет сглаживание сигнала с возможностью отслеживания его динамики, в отличие от обычного усреднения, экспоненциальное сглаживание снижает задержку, при этом сохраняя способность подавлять шум. Эффективность этого метода зависит от коэффициента сглаживания: при низких значениях сигнал становится более плавным, но инерционность возрастает, а при высоких значениях фильтр быстрее реагирует на изменения, но хуже справляется с шумом.

Таким образом этот метод более гибок, по сравнению с простым скользящим средним.

Сравнение методов фильтрации

Рассмотренные методы фильтрации применяются для решения одной задачи, а именно повышения точности измерений за счёт подавления помех. Однако их эффективность зависит от типа искажений сигнала.

Метод скользящего среднего эффективно снижает влияние случайного шума, но вызывает задержку сигнала, медианный фильтр хорошо устраняет выбросы и импульсные помехи, однако хуже справляется с равномерным шумом. Экспоненциальное сглаживание позволяет достичь компромисса между скоростью реакции и степенью сглаживания.

Результаты исследований показывают, что использование различных методов фильтрации действительно позволяет повысить точность обработки сигналов, особенно при моделировании и анализе данных [5].

Таким образом, универсального метода фильтрации не существует. Выбор алгоритма должен зависеть от характеристик сигнала и типа помех. В некоторых случаях имеет смысл применять комбинированные методы фильтрации.

4. Заключение

В работе была рассмотрена проблема повышения точности измерений в микроконтроллерах, связанная с наличием различных видов погрешностей, возникающих при аналого-цифровом преобразовании сигналов.

В ходе исследования рассмотрели работу аналого-цифровых преобразователей и выяснили, что ограниченная точность измерений для них неизбежна. На результаты влияют квантование, электрический шум, импульсные помехи, нестабильность опорного напряжения.

В основной части работы разбирались программные методы фильтрации сигналов: скользящее среднее, медианный фильтр, экспоненциальное сглаживание. Анализ показал, что у каждого метода есть свои особенности и сферы, где их удобнее применять. Скользящее среднее хорошо убирает случайный шум, но задерживает сигнал. Медианный фильтр помогает бороться с выбросами и импульсными помехами, хотя хуже работает при равномерном шуме. Экспоненциальное сглаживание позволяет настраивать баланс между фильтрацией и динамикой сигнала.

Для дальнейшей работы можно рассмотреть моделирование сигналов и экспериментальное сравнение разных методов фильтрации, в том числе их сочетания.

Список литературы:

1. Одинец, А.И. Цифровые устройства: АЦП и ЦАП: учебное пособие/ А.И. Одинец, А.П. Наumenко. – Омск: Изд-во ИРСИД, 2006 – 48 с.
2. Arduino.ru: сайт. – URL: <https://arduino.ru/>
3. Ким, Е. В. Изучение аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на примере светодиодного индикатора напряжения: учебное пособие / Е. В. Ким, К. Н. Муракаева. – Текст : электронный // ТУСУР. – URL: <https://storage.tusur.ru/files/10958/ГПЮ.pdf>
4. Морозов, Р. О. Методы обработки навигационной информации в целях повышения точности / Р. О. Морозов, Д. В. Девитт. – Текст: электронный // КиберЛенинка: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-obrabotki-navigatsionnoy-informatsii-v-tselyah-povysheniya-tochnosti>
5. Скользящая средняя (фильтр) // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Скользящая_средняя_\(фильтр\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Скользящая_средняя_(фильтр)) (дата обращения: 30.03.2026). – Текст: электронный.

6. Медианный фильтр // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Медианный_фильтр– Текст: электронный.
7. Ляхов, П. А. Применение медианной фильтрации для очистки сигналов электроэнцефалограмм от окулярных артефактов / П. А. Ляхов, М. Р. Киладзе. – Текст: электронный // Электронный научный журнал. – URL: <https://journals.eco-vector.com/2073-3909/article/view/112190>
8. «Как работает цифровой фильтр скользящего среднего // TechAttribute : [сайт]. – URL: <https://techattribute.ru/kak-rabotaet-cifrovoj-filtr-skolzjashhie-srednie/> (дата обращения: 30.03.2026). – Текст : электронный.