

Методы программной фильтрации данных для работы с ультразвуковыми датчиками в области робототехники

Д. Г. Чирков¹, А. Д. Стоцкая²

Кафедра систем автоматического управления
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Санкт-Петербург, Россия
¹chirkofun@yandex.ru, ²adstotskaya@etu.ru

Аннотация. Сигналы, получаемые с датчиков, обычно имеют шум из-за различных внешних условий, таких как вибрации, магнитные и электрические поля и другое. По этой причине можно использовать различные типы фильтров: аппаратные и программные. В статье рассматривается программная реализация фильтров для ультразвуковых датчиков MaxBotix: медианный фильтр, фильтр скользящего среднего и фильтр нижних частот. Такие алгоритмы также могут быть использованы с другими типами датчиков. Выбор того или иного типа фильтра зависит от различных факторов: динамики сигнала, точности, предела потерь и других.

Ключевые слова: программная фильтрация; фильтры; датчики; роботы

I. ВСТУПЛЕНИЕ

При работе с датчиками с аналоговым выходом часто возникают проблемы с уровнем шума выходного сигнала. Для решения этой проблемы можно использовать как аппаратные, так и программные фильтры.

В данной работе будут рассмотрены различные программные алгоритмы фильтрации сигнала, полученного от ультразвукового датчика фирмы MaxBotix, а именно: медианный фильтр, фильтр скользящего среднего и фильтр нижних частот. Каждый из представленных способов фильтрации может быть более эффективным в одной ситуации и менее эффективным в другой, но в конкретном случае возникла необходимость сохранить динамику сигнала, устранить высокочастотные помехи и исключить возможность значительного искажения данных.

II. ПРИНЦИП РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА MAXBOTIX

Ультразвуковые датчики MaxBotix посылают в сторону объекта звуковой сигнал с частотой 44 кГц и принимают отраженный от этого объекта сигнал. Датчик отсчитывает время между отправкой звуковой волны и получением отраженной волны. Зная данное время и скорость звука в воздухе, можно рассчитать расстояние до объекта, от которого отразилась волна [1].

Такие датчики могут иметь широкую диаграмму направленности, что приводит к тому, что датчик посылает информацию о расстоянии до ближайшего объекта из зоны распространения волны. Также паттерн направленности может быть узким, что позволяет идентифицировать объекты с небольшой площадью. Датчики с узкой диаграммой направленности дают более точные результаты, чем датчики с широкой диаграммой направленности. Однако в то же время датчики с узкой диаграммой направленности стоят дороже.

Частота передачи данных от ультразвуковых датчиков MaxBotix составляет 10 Гц, что достаточно мало, но вполне достаточно для осуществления измерений расстояния в условиях неподвижности робота и окружающей среды или при низких скоростях движения [1].

Эти датчики имеют несколько режимов передачи данных, а также несколько типов подключения. Данные могут передаваться через интерфейс RS-232 в формате ASCII-кода: RXXXX, где R – первый символ, за которым следует расстояние XXXX, измеряемое в сантиметрах [1].

Дальность обнаружения таких датчиков варьируется от 5 до 10 метров в зависимости от выбранной модели. Минимальное расстояние обнаружения обычно составляет 25 сантиметров. Если объект находится ближе, чем на 25 сантиметров к плоскости излучателя, датчик будет посылать неверную информацию о расстоянии.

III. ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С АНАЛОГОВЫМ СИГНАЛОМ С ДАТЧИКОВ MAXBOTIX

При работе с датчиками MaxBotix часто возникает проблема стабилизации мощности питания. Для решения этой проблемы следует использовать аппаратные фильтры.

Одним из таких решений является установка общего RC-фильтра в силовой цепи датчика. Использование этого фильтра предложено самой компанией MaxBotix. Этот фильтр действительно удаляет большую часть шумов, но сигнал от датчика все равно содержит высокочастотный шум, что не позволяет использовать этот сигнал для

создания мехатронных систем. Схема подключения приведена на рис. 1 [2].

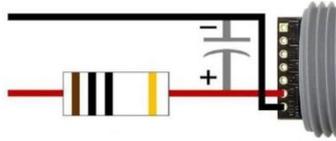


Рис. 1. Фильтр питания ультразвукового датчика

IV. ПРОГРАММНЫЙ ФИЛЬТР НИЖНИХ ЧАСТОТ

Фильтр нижних частот основан на интеграторе. Он устраняет небольшие неровности в сигнале, а также устраняет небольшие колебания [3]. Это самый быстродействующий фильтр из всех рассмотренных в данной статье.

Рассмотрим формулу простейшего программного фильтра нижних частот (1) [4]:

$$y_{(i)}^f = (1 - K) \cdot x_{(i)}^{nf} + K \cdot y_{(i-1)}^f, \quad (1)$$

где $y_{(i)}^f$ – текущее отфильтрованное значение, $x_{(i)}^{nf}$ – текущее неотфильтрованное значение, $y_{(i-1)}^f$ – предыдущее уже отфильтрованное значение.

Коэффициент K определяет степень сглаживания фильтра. Чем выше этот коэффициент, тем более сильная фильтрация будет применена на сигнал.

Применение программного фильтра нижних частот с различными коэффициентами к сигналу от датчика показано на рис. 2.

Как видно из рис. 2, наилучший результат фильтрации сигнала достигается при коэффициенте 0,7, так как происходит небольшая потеря данных, и форма сигнала становится более плавной (то есть без высокочастотных колебаний). В то же время можно заметить небольшой сдвиг, который увеличивает фактическое время отклика датчика. Использование фильтра нижних частот с другими коэффициентами либо не создает должной фильтрации и в сигнале все еще остаются высокочастотные области, либо потери данных слишком велики.

В табл. 1 представлена информация о потерях данных при использовании фильтра нижних частот.

ТАБЛИЦА 1 ПОТЕРИ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ

Значение коэффициента K	Потери данных при фильтрации, %
0,9	41,01%
0,7	21,44%
0,5	8,79%
0,1	1,28%

Расчет потерь данных осуществляется следующим образом: выбирается точка, соответствующая достоверным данным с максимальной потерей данных относительно исходного сигнала. Достоверные данные – это данные там, где нет высокочастотных областей. Эта точка соответствует значению времени 6.59 с.

Как видно из табл. 1, потери при использовании коэффициентов 0.9 и 0.7 достаточно велики, а при использовании коэффициентов 0.5 и 0.1 потери значительно меньше, но в то же время, исходя из графиков на рис. 2, эти значения коэффициентов не дают достаточного уровня фильтрации.

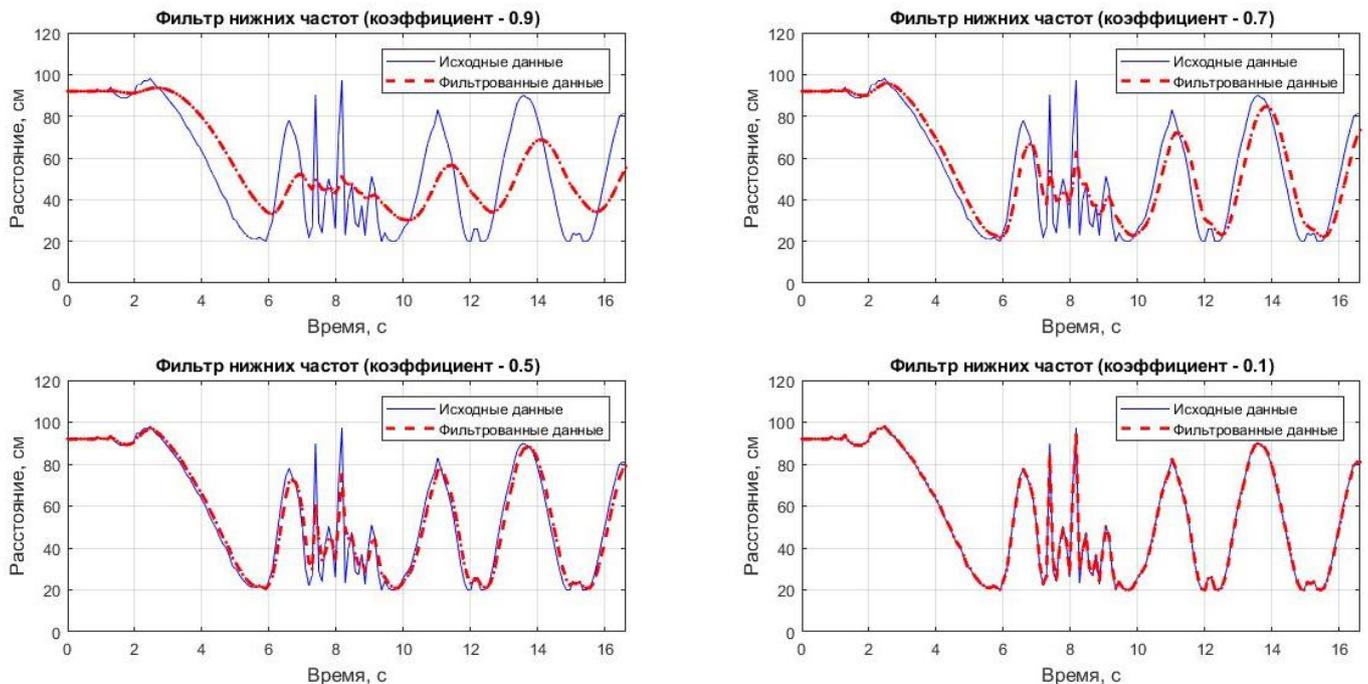


Рис. 2. Применение программного фильтра нижних частот с различными коэффициентами

V. ПРОГРАММНЫЙ МЕДИАННЫЙ ФИЛЬТР

Медианный фильтр – это достаточно распространенный программный цифровой фильтр с довольно простой реализацией. Этот тип фильтра основан на предположении, что шум имеет импульсную форму (большую амплитуду и короткую длительность). Преимущество этого фильтра заключается в том, что он не вносит значительной задержки в монотонную форму полезного сигнала. Алгоритм работы этого фильтра выглядит следующим образом [5]:

1. создается массив из n элементов (массив-окно);
2. этот массив заполняется значениями с датчика;
3. элементы массива сортируются по возрастанию (или по убыванию);
4. выбирается одно значение из середины массива (это отфильтрованное значение).

На рис. 3 показаны графики сравнения необработанного сигнала от датчика с отфильтрованным сигналом медианным фильтром с различными значениями окна.

Как видно из графиков, наиболее адекватные результаты дают отфильтрованные данные с размерами окна 5 и 9. При использовании размеров окна 15 и 19 происходят потери полезной информации (фильтр огрубляет участки графика, где изменяется знак производной, в точках экстремума), что недопустимо, так как фактические значения от датчика и отфильтрованные сильно отличаются.

В табл. 2 представлена информация о потерях данных с использованием медианного фильтра.

ТАБЛИЦА II ПОТЕРИ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕДИАННОГО ФИЛЬТРА

Размер окна	Потери данных при фильтрации, %
5	5,12%
9	16,67%
15	35,89%
19	61,53%

Выбирается та же точка расчета потерь данных, что и в случае фильтра нижних частот.

Можно заметить, что наилучший результат достигается в окне 5, так как потери данных незначительны и динамика сигнала сохраняется. Потери данных при использовании других размеров окна слишком велики.

VI. ПРОГРАММНЫЙ ФИЛЬТР СКОльзяЩЕГО СРЕДНЕГО

Алгоритм фильтра скользящего среднего аналогичен алгоритму медианного фильтра, но вместо сортировки и выбора среднего элемента массива фильтр рассчитывает среднее значение для всего окна [6, 7]. Реализация такого фильтра требует меньше времени, так как нет необходимости сортировать данные.

На рис. 4 показаны графики сравнения необработанного сигнала от датчика и отфильтрованного сигнала с различными значениями окна.

Как видно из графиков, наиболее адекватные результаты дают отфильтрованные данные с размерами окна 5 и 9. При использовании оконных значений 15 и 19 отфильтрованный сигнал теряет динамику в тех областях графика, где динамика слишком высока, а также искажает значения в точках экстремума.

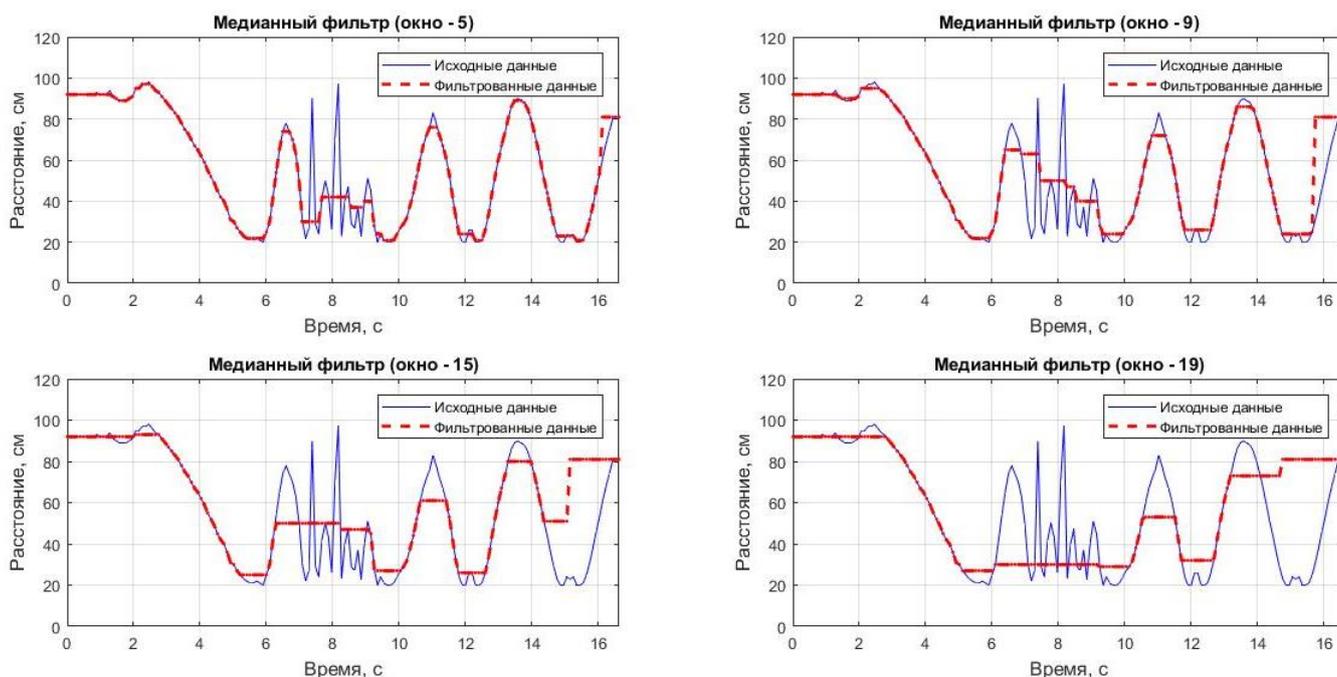


Рис. 3. Применение программного медианного фильтра с различными значениями окон

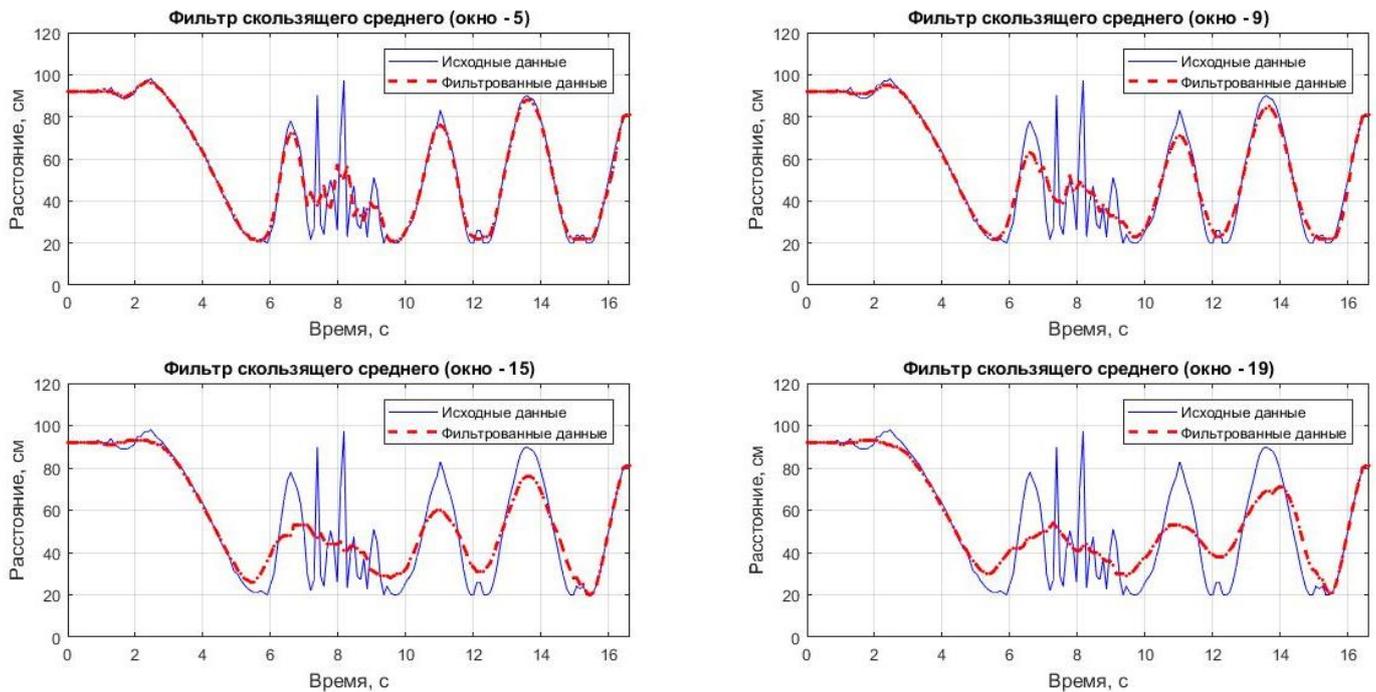


Рис. 4. Применение программного фильтра скользящего среднего с различными значениями окон

VII. КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАССМОТРЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ФИЛЬТРОВ

Основываясь на экспериментальных данных (графики и таблицы), можно сказать, что все фильтры помогают удалять высокочастотные помехи из сигнала, что позволяет предположить, что все эти фильтры можно отнести к классу фильтров нижних частот.

Работая с датчиками MaxBotix, эмпирически было установлено, что медианный фильтр с размером окна, равным 5, является наиболее разумным вариантом использования, так как динамика сохраняется и потери данных минимальны. Фильтр нижних частот создает «сдвиг» между сигналами, что не позволяет работать с этим типом датчика. Фильтр скользящей средней с окном 5 справляется лучше, чем фильтр нижних частот, но хуже, чем медианный (потери данных больше и в то же время высокочастотная область не обрабатывается так же, как с медианным фильтром)

VIII. ВЫВОД

В статье рассматриваются описания и сравнения трех программных методов фильтрации: фильтра нижних частот, медианного фильтра и фильтра скользящего среднего. Рассмотрены и описаны графики с формами сигналов и таблицы, учитывающие информацию о потерях данных. Выбирается оптимальный вариант фильтрации.

Наиболее подходящим методом фильтрации для работы с датчиками MaxBotix является медианный фильтр с размером окна 5. Он обеспечивает наилучшую форму сигнала после фильтрации, а также минимальные потери данных. Другие методы могут быть использованы в других ситуациях с другими датчиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] XL-MaxSonar-WR|WC Datasheet. [Электронный ресурс]. URL: https://www.maxbotix.com/documents/XL-MaxSonar-WR_Datasheet.pdf
- [2] (дата обращения 2 марта 2010)
- [3] Power Supply Filter, MB7961.[Электронный ресурс]. URL:
- [4] https://www.maxbotix.com/documents/MB7961_Datasheet.pdf
- [5] (дата обращения 5 марта 2020)
- [6] Jonathan Y. Stein, Digital Signal Processing: A Computer Science Perspective. John Wiley & Sons, Inc, 2002, 588.
- [7] Low-pass filter. [Электронный ресурс]. URL:
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Low-pass_filter#Simple_infinite_impulse_response_filter
- [9] (дата обращения 6 марта 2020)
- [10] Median filter. [Электронный ресурс]. URL:
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Median_filter
- [12] (дата обращения 8 марта 2020)
- [13] Moving average filters. [Электронный ресурс]. URL:
- [14] https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/dsp-book/dsp_book_Ch15.pdf
- [15] (дата обращения 12 марта 2020)
- [16] Walt Kester, Mixed Signal and DSP Design Techniques. Newnes/Elsevier, 2002, 6.5-6.7.