

Технологии

■ АСУ ТП

Использование фильтров при обработке аналоговых сигналов

BY 🧑 LOGADM © 01.03.2017

Использование фильтров при обработке аналоговых сигналов.

Использование сигнала после масштабирования без их обработки накладывает определенные сложности в процессе реализации систем автоматического управления.

В случае использования необработанного сигнала с шумовой составляющей в контурах ПИД регулирования, возникают случайные колебания регулирующего органа (РО) исполнительного механизма (ИМ). Что, в свою очередь, приводит к ухудшению качества регулирования и уменьшению ресурса ИМ.

При наличии импульсных возмущений, -Д составляющая ПИД регулятора, обрабатывая их, приводит к резкому изменению положения РО с последующим затянутым тылом управляющего воздействия на ИМ.

При реализации систем управления, масштабированный сигнал разделяют на две части: передаваемый для визуализации в HMI и используемый в контурах управления. Для HMI используют не обработанные сигналы, так как, во-первых это позволяет визуально определять наличие шумов, во-вторых, при использовании SCADA систем используется более сложные алгоритмы обработки сигналов. Сигналы, используемые в контурах управления, предварительно обрабатываются с целью сглаживания шумовой составляющей и устранения всплесков.

1. Линейные фильтры

Линейные фильтры, как правило, используются для устранения шумов. При обработке сигнала используют, к примеру, следующие фильтры:

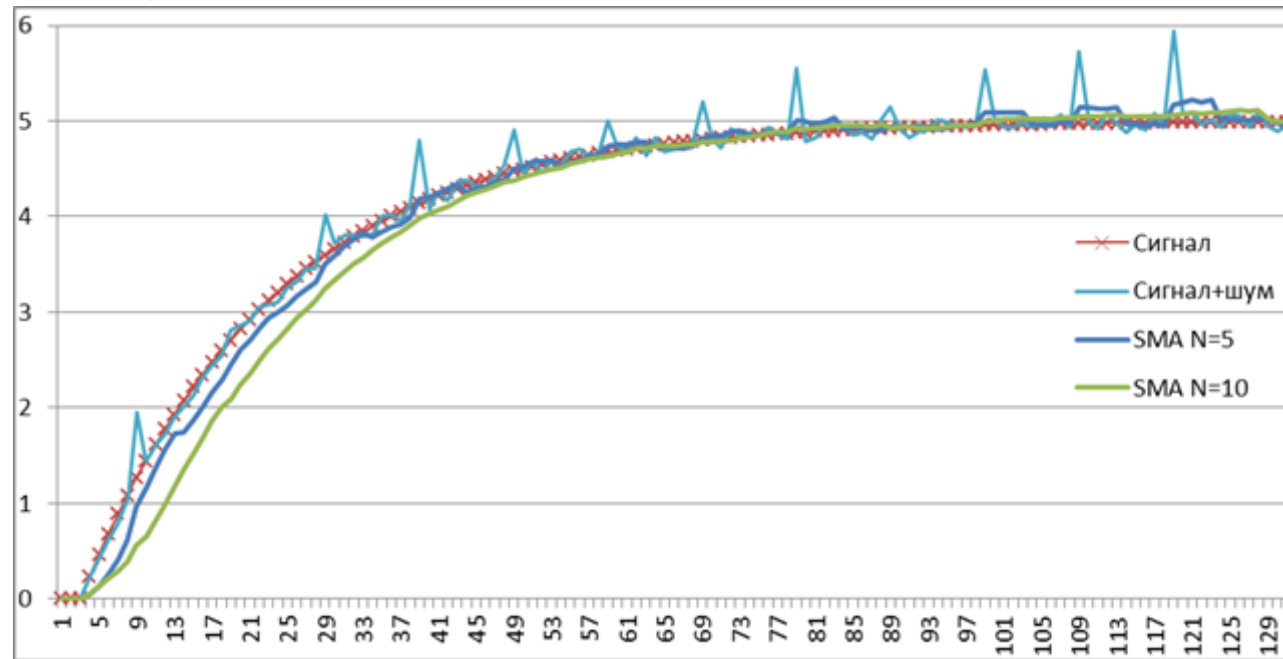
- простое скользящее среднее – SMA (*simple moving average*)
- линейно взвешенное скользящее среднее – WMA (*weighted moving average*)
- экспоненциально взвешенное скользящее среднее – EMA (*exponential moving average*)

Простое скользящее среднее численно равно среднему арифметическому значению исходной функции за установленный период и в общем виде вычисляется по формуле

$$SMA_t = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} A_IN_{t-i}$$

$A_{IN_{t-i}}$ – значение функции в t-i момент времени (входное значение)

n – количество значений используемых при расчете скользящего среднего



Из графика видно, что с увеличением количество значений используемых при расчете простого скользящего среднего снижается влияние шумов, но при этом увеличивается задержка.

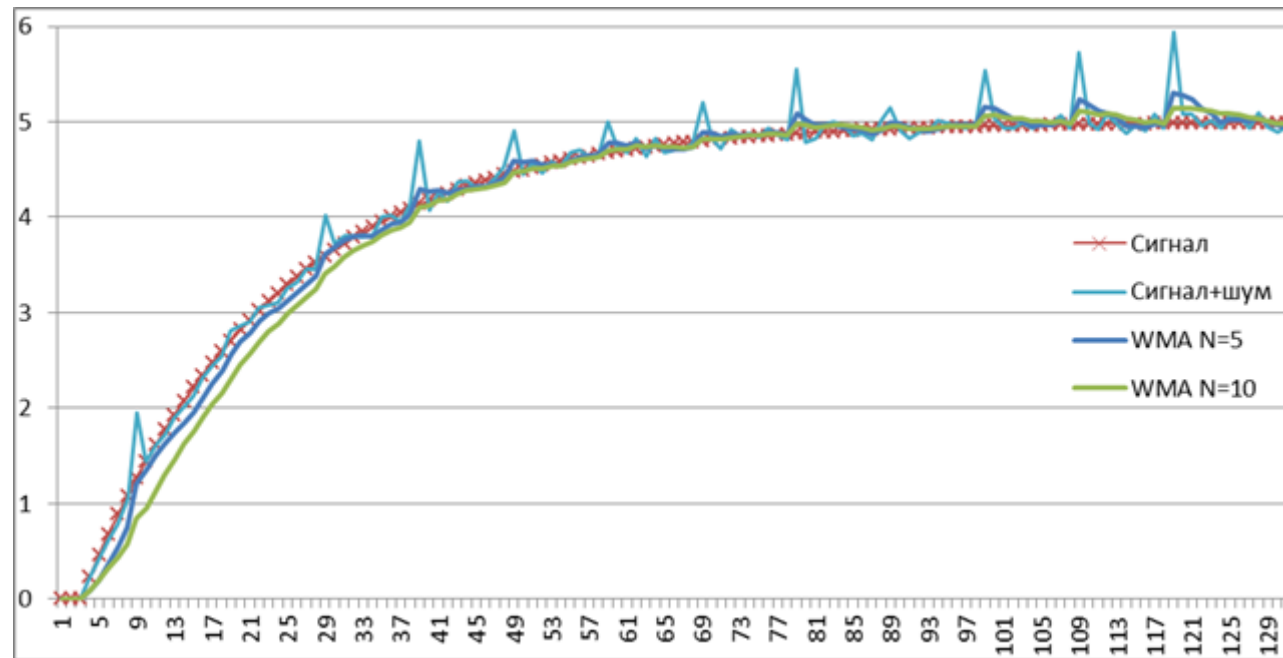
При реализации данного типа фильтра необходимо выделять объем памяти для хранения значений входных величин, объем выделяемой памяти соответствует объему выборки.

Линейно взвешенное скользящее среднее определяется исходя из весового значения каждого члена в выборке, то есть, каждому следующему члену добавляется весовое значение большее, чем у предыдущего. Причем весовая функция линейно убывающая – чем дальше измеренное значение, тем меньше его вес. В общем виде, взвешенное скользящее среднее определяется по формуле

$$WMA_t = \frac{2}{n \cdot (n + 1)} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (n - i) \cdot A_{IN_{t-i}}$$

$A_{IN_{t-i}}$ – значение функции в t-i момент времени (входное значение)

n – количество значений используемых при расчете скользящего среднего



Из графика видно, что, как и в случае с SMA, с увеличением количества значений используемых при расчете взвешенного скользящего среднего снижается влияние шумов, но при этом увеличивается задержка. При этом, увеличение выборки влияет на задержку в меньшей степени чем при использовании простого скользящего среднего. Так же, данный тип фильтра менее чувствителен к импульсной помехе по длительности ее влияния на выходную величину, но сами выбросы на выходе имеют большее значение, чем для SMA.

Так же как и для SMA, необходимо выделение объема памяти соответствующего объему выборки.

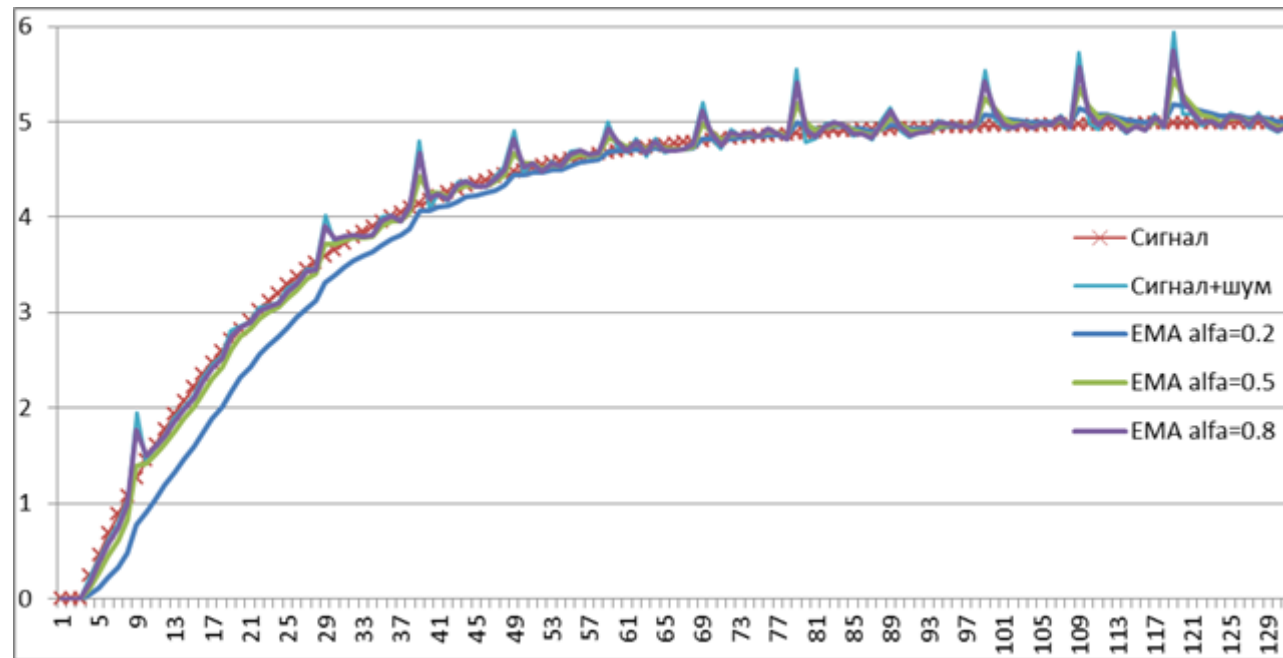
Экспоненциально взвешенное скользящее среднее, фактически является разновидностью взвешенной скользящей средней, для которой вес члена в выборке имеет экспоненциальную зависимость. В общем виде, экспоненциально взвешенное скользящее среднее определяется по формуле

$$EMA_t = \alpha \cdot A_IN_t + (1 - \alpha) \cdot EMA_{t-1}$$

A_IN_t – значение функции в текущий момент времени (входное значение)

α – коэффициент, характеризующий скорость уменьшения весов, значения в диапазоне 0-1

EMA_{t-1} – экспоненциально взвешенное скользящее среднее вычисленное на предыдущей итерации



Из графика видно, что с уменьшением значения α снижается влияние шумов, но при этом увеличивается задержка. Так же, видно, что фильтр хуже справляется с импульсной помехой по величине выброса по сравнению с SMA или WMA, но по снижению длительности влияния импульсной помехи EMA превосходит WMA.

Данный тип фильтра не требует выделения дополнительной памяти, рассчитанное значение на предыдущей итерации подается на отдельный вход фильтра как обратная связь.

К разновидностям экспоненциально взвешенное скользящее среднее относятся экспоненциально взвешенные произвольного порядка и нелинейные экспоненциально взвешенные. В случае экспоненциально взвешенных произвольного порядка, порядок фильтра обычно ограничиваются 2-, 3-м, так как большие порядки вносят дополнительные задержки в прохождения сигнала. Для нелинейных α определяется, либо функцией, либо графически, в зависимости от величины рассогласования между новым входным значением и значением, рассчитанным на предыдущей итерации.

В общем виде, двукратное экспоненциально взвешенное скользящее среднее определяется по формуле

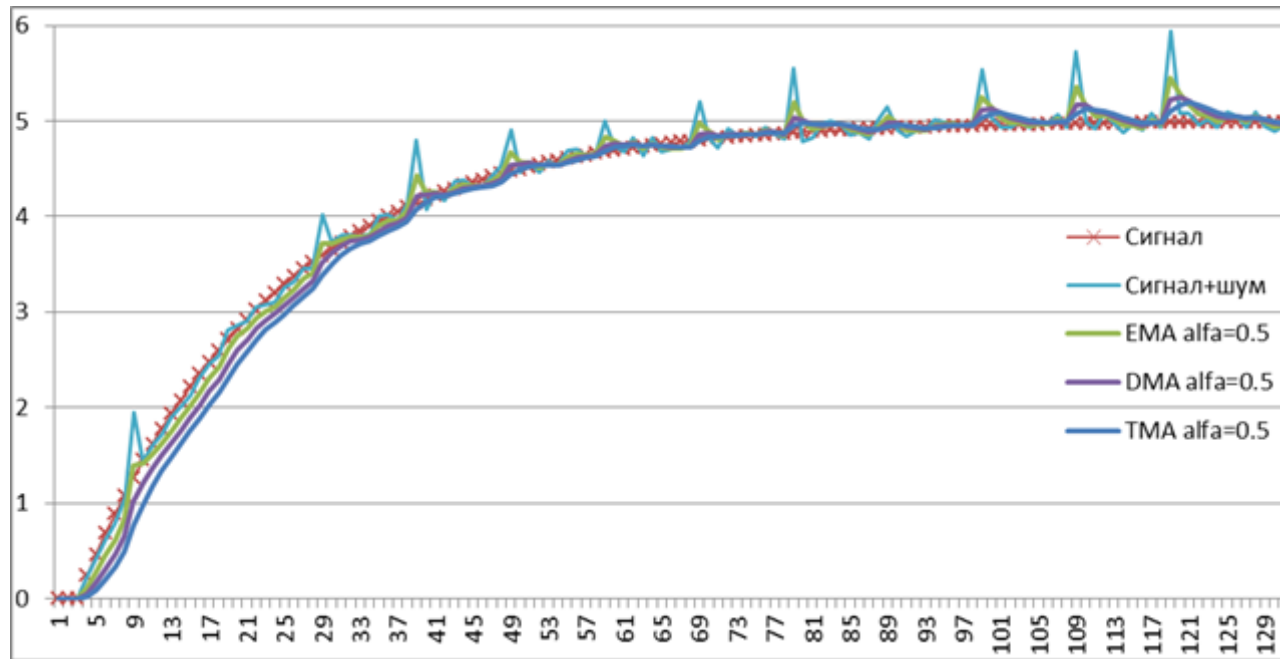
$$DMA_t = \alpha \cdot EMA_t + (1 - \alpha) \cdot DMA_{t-1}$$

EMA_t – значение экспоненциально взвешенного скользящего среднего

α – коэффициент, характеризующий скорость уменьшения весов, значения в диапазоне 0-1.

DMA_{t-1} – двукратное экспоненциально взвешенное скользящее среднее вычисленное на предыдущей итерации

Данный тип фильтра повторяет свойства ЕМА. При увеличении порядка фильтра увеличивается задержка, снижается выброс и затягивается тыл при импульсной помехе. При его использовании можно комбинировать различные значения α при расчете ЕМА и DMA.



На графике представлены значения на выходе экспоненциальных фильтров 1-, 2- и 3-го порядков.

2. Нелинейные фильтры

Нелинейные фильтры используются для минимизации влияния импульсных помех. При обработке сигнала используют, к примеру, следующие фильтры:

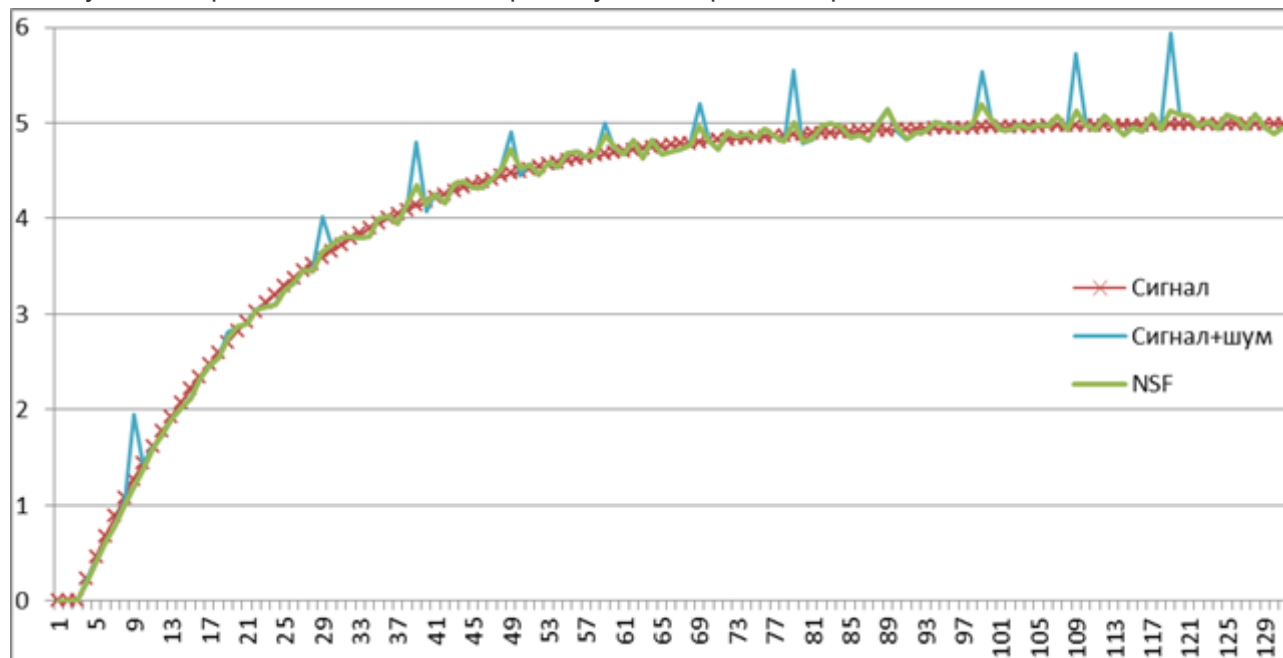
- «фильтр от импульсных помех» – NSF (*noise spike filter*)
- медианные фильтры – MF (*median filter*)

«Фильтр от импульсной помехи» наиболее прост в реализации. Алгоритм работы фильтра построен на сравнении разности нового значения за вычетом значения с предыдущей итерации с заданной дельтой.

В общем виде данный фильтр можно представить в виде следующего выражения

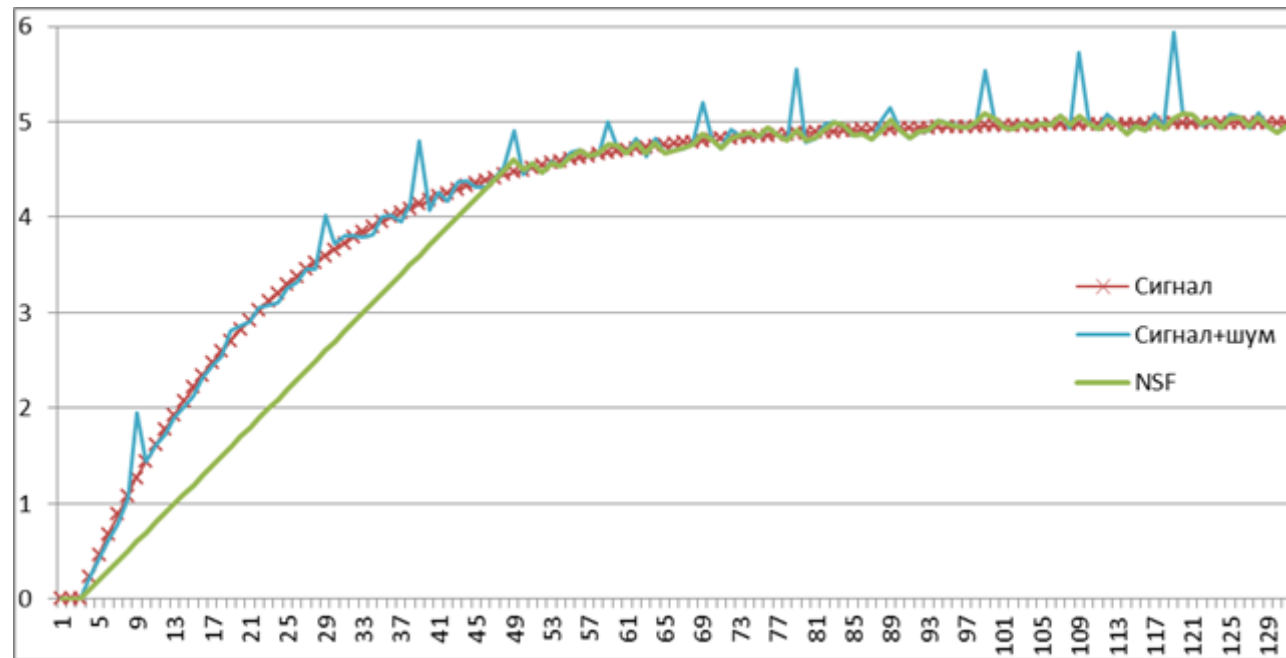
$$NSF_t = \begin{cases} NSF_{t-1} - \Delta, & \text{то } NSF_{t-1} - A_{IN_t} > \Delta, \\ A_{IN_t}, & \text{то } A_{IN_t} - NSF_{t-1} > \Delta, \\ NSF_{t-1} + \Delta, & \text{иначе} \end{cases}$$

Из формулы следует, что фильтр действует только на одно значение при условии, что разница между текущим значением и значением на предыдущей итерации больше чем заданный предел. При выполнении условия, и в зависимости от знака разницы, текущее значение на выходе фильтра определяется как сумма или разность значения на предыдущей итерации и предела.



Из графика видно, что фильтр «срезает» выбросы, превышающие заданный предел и при этом не вносит временные задержки в обрабатываемый сигнал

При использовании импульсного фильтра данного типа, необходимо тщательно подбирать предел. При некорректном выборе, входная функция может вырождаться в линейную зависимость.



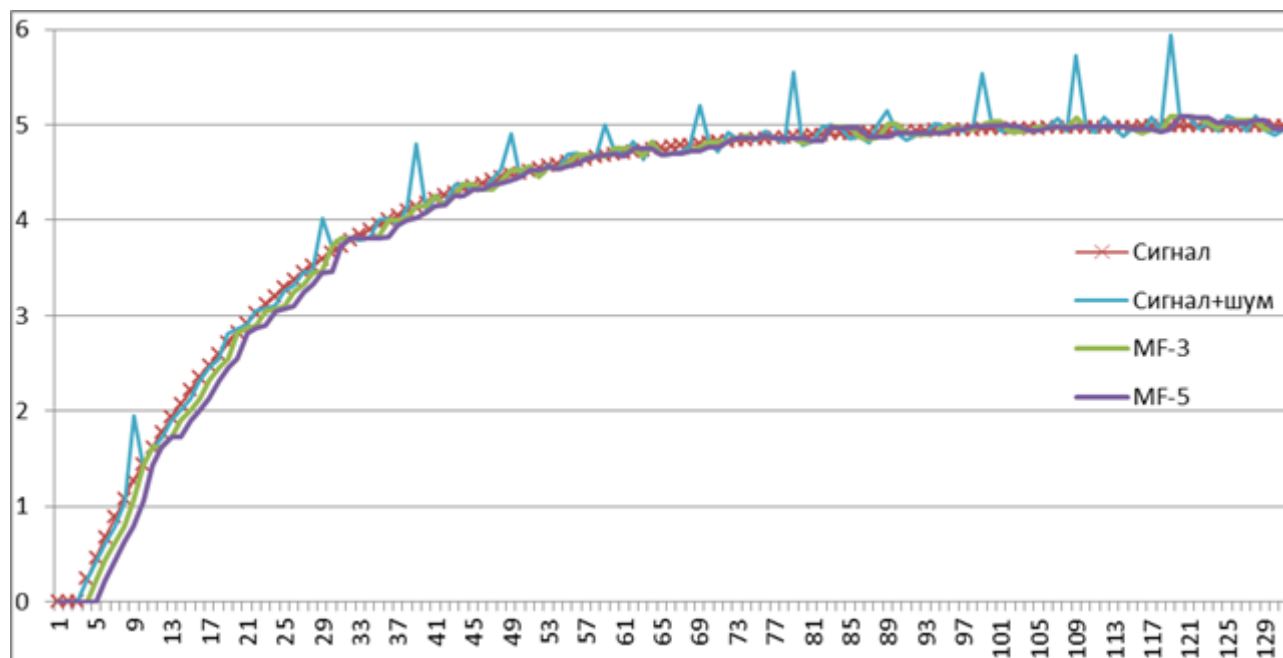
Медианные фильтры основаны на алгоритме выбора среднего значения из объема выборки.

К примеру, для медианного фильтра с объемом выборки 3 (MF-3) на вход подается функция со следующим рядом: $A_IN = [0; 3; 5; 10; 8; 11; 12]$, тогда для каждой итерации:

- 1 такт – MF-3 = [0];
- 2 такт – MF-3 = [0; 3];
- 3 такт – MF-3 = [0; 3; 5];
- 4 такт – MF-3 = [3; 5; 10];
- 5 такт – MF-3 = [5; 10; 8] => [5; 8; 10];
- 6 такт – MF-3 = [10; 8; 11];
- 7 такт – MF-3 = [8; 11; 12].

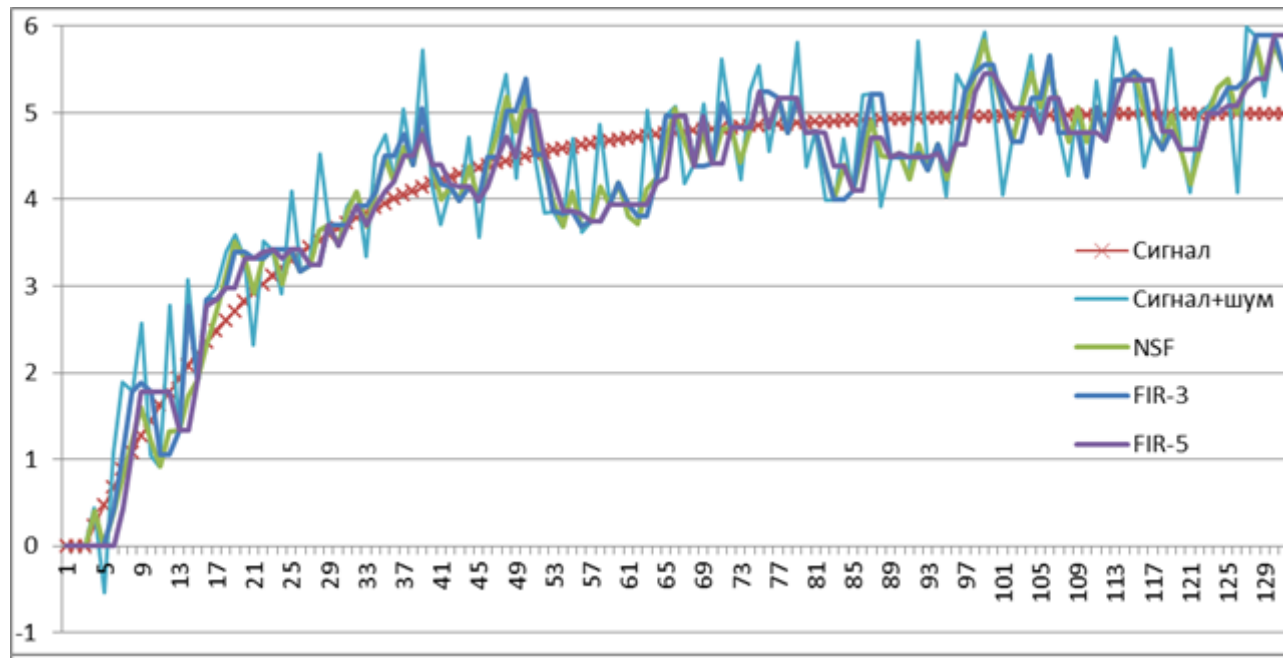
Результирующий массив на выходе медианного фильтра MF-3 = [0; 0; 3; 5; 8; 8; 11]

Медианные фильтры разделяют на фильтры с массивом данных равным 3 и массивом данных более 3. Разделение, в большей степени связано с алгоритмом реализации. Для реализации медианного фильтра с массивом равным 3 достаточно произвести сравнение величин и выбрать среднее, а для массива 5 и более, для определения среднего целесообразно выполнять сортировку данных. При выполнении процедуры сортировки требуется выделение дополнительных объемов памяти, длительность сортировки зависит от выбранного алгоритма.



Из графика видно, что медианные фильтры устраняют импульсные выбросы, при этом вносят задержку в обрабатываемый сигнал и практически не влияют на форму сигнала в части устранения шума. Задержка для MF-3 составляет 1 такт, для MF-5 – 2 такта.

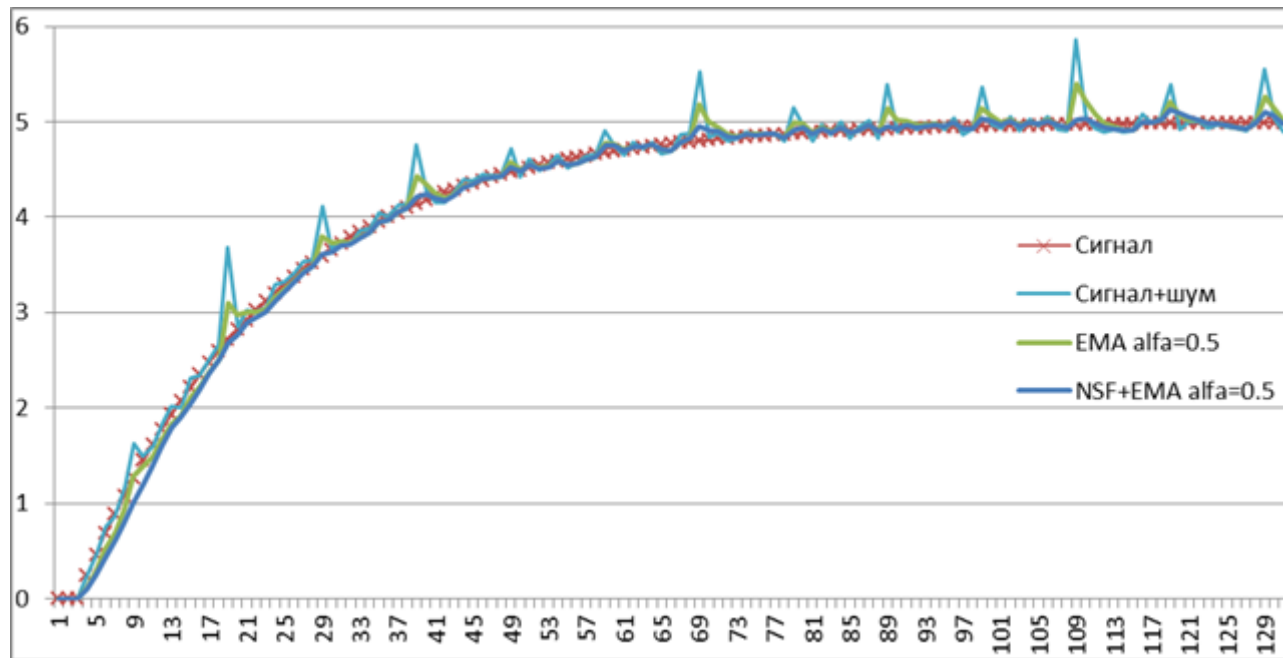
Необходимо учесть, что описанные типы фильтров выполняют свою функцию только при ограниченном количестве помех, если помех много, то они заполняют выборку и фильтр воспринимает их как полезный сигнал.



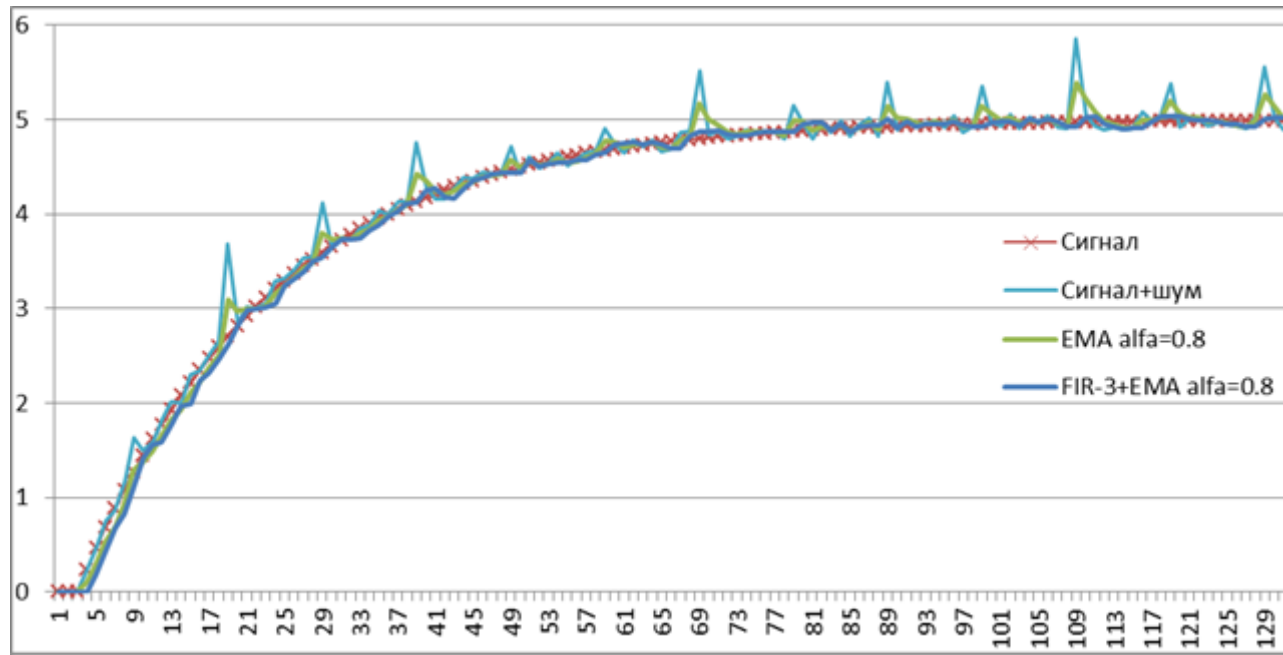
Совмещение фильтров.

Учитывая особенности работы описанных фильтров, при обработке сигнала, целесообразно комбинировать нелинейные и линейные фильтры.

К примеру, последовательное соединение NSF и EMA с $\alpha=0.5$, по сравнению с EMA с $\alpha=0.5$



Или, к примеру, последовательное соединение FIR-3 и EMA с $\alpha=0.8$, по сравнению с EMA с $\alpha=0.8$



Из графиков видно, что последовательная комбинация нескольких фильтров, улучшает степень фильтрации от помех. Причем первым целесообразно ставить фильтр от импульсной помехи.

This article was written by [logadm](#)

← [Применение стандарта NAMUR NE43 при масштабировании аналогового входного сигнала](#)

[Фильтр простое скользящее среднее, реализация](#) →



Рубрики

- [АСУ ТП](#)
- [АУПС / АУПТ](#)
- [Технологии разделения газа](#)

Недавние статьи

- [Расчет влагосодержания и температуры точки росы по влаге в соответствии с ГОСТ 20060-83. 09.06.2018](#)
- [Температура точки росы и концентрация влаги в газах. Часть 1. 14.05.2018](#)
- [Управление скоростью движения пневматического исполнительного механизма. Часть 1 11.01.2018](#)

Последние комментарии