

И. О. Оробей, к.т.н., доцент;
Д. А. Гринюк, к.т.н., доцент;
М. А. Анкуда, ассистент;
Н. М. Олиферович, ассистент
(БГТУ, г. Минск)

**АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ СЕРИЙ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РЕЖИМЕ
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ
ИССЛЕДУЕМОМ ПРОЦЕССЕ**

Для обработки в режиме реального времени слабых сигналов с нестационарным характером шумов и помех в измерительной технике, в системах исследования конденсированных сред методами ядерного магнитного резонанса а также при измерении электрохимических характеристик можно использовать цифровые адаптивные фильтры (АФ), обеспечивающие увеличение количества усредняемых значений при стационарном процессе либо снижение при появлении нестационарности. Применение АФ актуально при использовании для обработки сигнала контроллеров с быстродействующим аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). В существующих методах цифровой адаптивной фильтрации применяют фильтры скользящего среднего с изменяемыми весовыми коэффициентами, имеющие конечную импульсную характеристику (КИХ).

Для реализации алгоритмов оценивания и расчета весовых коэффициентов требуется высокая вычислительная мощность, определяемая размерностью системы уравнений. Фильтр с КИХ требует большого объема памяти для хранения усредняемых значений и матрицы весовых коэффициентов и имеет ограниченное возрастание точности с течением времени даже при соблюдении модельных и реальных значений сигнала и шума.

Сущность предложенного цифрового АФ основывается на использовании критерия серий для оценки статистической независимости или тренда данных с АЦП. Нестационарность вероятностных характеристик потока данных приводит к появлению тренда, т.е. к отсутствию статистической независимости. Поскольку данные с АЦП могут иметь разные функции распределения, то их исследования удобно проводить на основе свободных от распределений непараметрических методов, например, с помощью критерия серий или инверсий, причем первый вариант является более предпочтительным, поскольку не требует хранения всей выборки значений [1, 2].

Серией называется последовательность однотипных наблюдений, перед и после которой следуют наблюдения противоположного типа или таковые вообще отсутствуют. Для последовательности N наблюдений случайной величины каждое наблюдение y_i ($i=1,2,\dots,N$) можно отнести к одному из двух классов (+) или (-). При выполнении условия $y_i \geq Y_{\text{ср}}$, где $Y_{\text{ср}}$ – среднее значение или медиана последовательности y_i , наблюдение можно отнести к классу (+) (с ошибкой $e \geq 0$); в противном случае наблюдение относится к классу (-) ($e < 0$). Наблюдения с $e = 0$ можно отбрасывать или относить к классу предыдущего наблюдения. Число серий r в последовательности позволяет выяснить являются ли отдельные результаты статистически независимыми наблюдениями одной случайной величины. Если последовательность N наблюдений состоит из независимых исходов случайной величины, т.е. вероятность отдельных исходов (+) или (-) не меняется, то число серий r является случайной величиной, распределенной по нормальному закону, со средним значением и дисперсией [2]:

$$\mu = \frac{2N^+N^-}{N} + 1; \sigma^2 = \frac{2N^+N^-(2N^+N^- - N)}{N^2(N-1)}, \quad (1)$$

где N^+ , N^- - число исходов, относящихся к классам (+) и (-) соответственно.

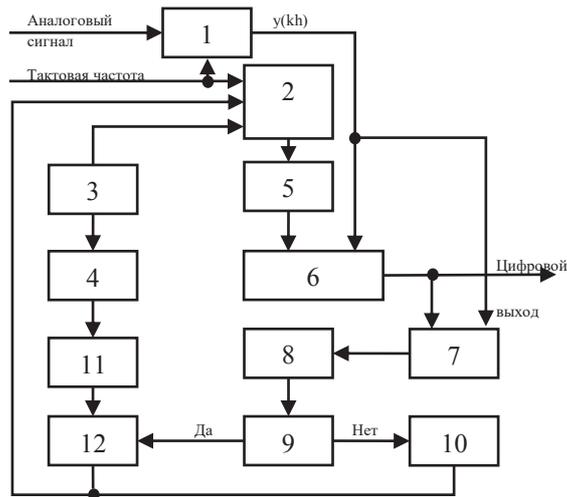
При статистической независимости $N^+ = N^- = N/2$, что позволяет преобразовать среднее значение и дисперсию к виду

$$\mu = \frac{N}{2} + 1; \sigma^2 = \frac{N^2 - 2N}{4(N-1)}. \quad (2)$$

Для малых N среднее число серий имеет вид

$$\mu = \frac{2N^+N^-}{N} + 0,5; \mu = \frac{N}{2} + 0,5. \quad (3)$$

После определения μ , σ^2 и r задается уровень значимости и сравнивается экспериментальное число серий r с границами принятия гипотезы статистической независимости, определяемыми относительно μ по уровню значимости. Если r окажется вне этой области, то гипотезу статистической независимости отвергают с принятым уровнем значимости, в противном случае процесс считают статистически независимым. В разработанном АФ использовано определение уровня значимости, соответствующего принятию гипотезы статистической независимости по μ , σ^2 и r , т.е. уровня значимости, соответствующего границам $[\mu-r; \mu+r]$. Через уровень значимости или связанные с ним величины можно определить вероятность статистической независимости данных.



- 1 – АЦП.; 2 - наращивание переменной состояния; 3 – инициализация начальных установок; 4 - расчет среднего и дисперсии для N наблюдений при статистической независимости отсчетов; 5 - вычисление весового коэффициента; 6 - авторегрессивная фильтрация скользящего среднего; 7 - определение ошибки и ее знака; 8 - подсчет числа серий; 9 - проверка конца наблюдений; 10 - наращивание переменной наблюдений при сохранении переменной состояния; 11 - определение вероятности статистической независимости; 12 - сброс переменной наблюдений с изменением переменной состояния

Рисунок 1 - Адаптивный фильтр

Функциональная схема АФ приведена на рис. 1. В нем применен непосредственный подсчет серий r в блоке 8, причем наблюдение с $e = 0$ получает знак ошибки предыдущего наблюдения (блок 7). Вместо непосредственного подсчета r можно определять N^+ и N^- за N наблюдений в реальном процессе с последующим расчетом r по формуле (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухорукова, И. Г. Эффективность работы адаптации фильтра на критерии серий / И. Г. Сухорукова, И. О. Оробей, Д. А. Гринюк // Труды Белорусского государственного технологического университета. Физико-математические науки и информатика. - Минск: БГТУ, 2011. - № 6 (144). - С. 107-111.
2. Сухорукова, И. Г. Адаптация критерия серий к применению в управлении технологическими процессами / И. Г. Сухорукова, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. - Минск: БГТУ, 2014. - № 6 (170). - С. 92-95.