

СЕКЦИЯ 9 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

УДК 621.391

АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПО КРИТЕРИЮ СЕРИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ИССЛЕДУЕМОМ ПРОЦЕССЕ

Оробей И.О., Гринюк Д.А., Анкуда М.А., Олиферович Н. М.
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Беларусь

Для обработки в режиме реального времени слабых сигналов с нестационарным характером шумов и помех в измерительной технике [1], в системах исследования конденсированных сред методами ядерного магнитного резонанса [2], 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). Весовые коэффициенты выбирают по вектору ошибки из перестраиваемой матрицы, рассчитывают на основе минимизации ошибок градиентным методом или определяют методом наименьших квадратов.

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 [3,4].

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 [4]:

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

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.

Проведенный анализ метода адаптивной фильтрации на основе критерия серий показал, что при появлении нестационарности запаздывание, соответствующее установлению нового значения, не превышает 2 - 3 тактов. После чего фильтр переходит в новое состояние с наращиванием времени усреднения. Временные диаграммы, характеризующие работу АФ, показывают, что наряду с высокой скоростью установления в динамическом режиме при скачке входных данных разработанный фильтр обеспечивает возрастающее с течением времени ослабление случайных погрешностей в статическом режиме, что позволяет обеспечить снижение динамических и случайных погрешностей.

Литература

1. Ростами Х. Р. Высококонтрастный холловский магнитометр // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 2. С. 112-116.
2. О возможности регистрации спектров ядерного магнитного резонанса жидких сред в слабых полях в экспресс-режиме / В. В. Давыдов [и др.] // Журнал технической физики. 2018. Т. 88, вып. 12. С. 1885-1889.
3. Сухорукова И. Г., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Влияние условий фильтрации и сглаживания в информационных каналах на критерий серий // Труды БГТУ. 2016. №6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 117-121
4. Сухорукова И. Г., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Адаптация критерия серий к применению в управлении технологическими процессами // Труды БГТУ. 2014. №6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 92-95.