

Настройка параметров адаптивного фильтра на критерии серий

Сухорукова И.Г., Оробей И.О., Гринюк Д.А.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

e-mail: hryniuk@tut.by

Аннотация — Адаптация основана на применении известного критерия серий. Исследования проводились моделированием в MATLAB. Анализировалось использование критерия для фильтров скользящего среднего, низкой частоты первого порядка, Баттерворта третьего и восьмого порядков, Чебышева третьего порядка первого рода. Алгоритм и методика настройки могут использоваться в измерительной технике для обработки информативных сигналов, в системах идентификации неизвестных устройств и т. д.

Ключевые слова: Адаптация, MATLAB, критерия серий, цифровая фильтрация

I. ВВЕДЕНИЕ

Для процесса адаптации цифрового фильтра можно использовать критерий серий [1]. Предложенный алгоритм автоподстройки цифровых фильтров может быть применен в измерительной технике для обработки информативных сигналов, в системах идентификации неизвестных устройств и системах адаптивного управления технологическими процессами, в шумоподавителях, эквалайзерах и подавителях сигнала эхо, в детекторах модулированных сигналов для систем телеметрии и т. д. Использование критерия серий (критерия Вальда - Вольфовица) при адаптации фильтров позволяет снизить требования к вычислительной мощности реализующих микропроцессорных структур и ограничиться малой длиной выборки [2].

II. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние параметров критерия Вальда - Вольфовица и поиск их оптимальных значений в адаптивном фильтре анализировались с помощью математического моделирования в пакете MATLAB.

Для последовательности N наблюдений случайной величины y каждое наблюдение значения y_i ($i = 1, 2, \dots, N$) можно отнести к одному из двух классов, обозначаемых как (+) и (-) [2, 3].

Считается, что если последовательность N наблюдений состоит из независимых исходов одной и той же случайной величины, т. е. если вероятность отдельных исходов ((+) или (-)) не меняется от наблюдения к наблюдению, то выборочное распределение числа серий r является случайной величиной, распределенной по нормальному закону [3], со средним значением, определяемым по одной из формул

$$\mu_1 = \frac{2N^+N^-}{N} + 1 \text{ или } \mu_2 = \frac{N}{2} + 1, \quad (1)$$

где N^+ , N^- – число исходов, относящихся к классам (+) и (-) соответственно; и дисперсией

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

Стандартный алгоритм критерия серий после нахождения μ , σ^2 и r требует задания уровня значимости и сравнения экспериментально

определенного числа серий r с границами принятия гипотезы статистической независимости процесса, определяемыми относительно μ по уровню значимости.

Вероятность статистической независимости и стационарность процесса можно определять по ряду критериев

$$\gamma = \gamma_1 = \exp\left(-\frac{(r - \mu)^2}{K\sigma^2}\right), \quad (3)$$

$$\gamma = \gamma_2 = \frac{r}{\mu}, \quad (4)$$

где K – коэффициент сжатия-растяжения вероятности статистической независимости.

Критерий серий работает в случае, когда необходимо установить наличие или отсутствие стационарности процесса, что использовалось в [1]. Представляет интерес возможности идентификации с помощью этого критерия степени нестационарности процесса. Для этого генерировались ряды постоянно нарастающих сигналов с разной скоростью нарастания S ($0,0001 \div 1 \text{ с}^{-1}$) с наложением на них случайной составляющей сигнала. Полученные данные анализировались с помощью критерия серий, и устанавливалась корреляция между γ и S .

Для исследования был выбран ряд фильтров, и в частности фильтр бегущего среднего, фильтр низкой частоты (ФНЧ) первого порядка, фильтр Баттерворта третьего и восьмого порядков, а также фильтр Чебышева третьего порядка второго рода.

На следующем этапе устанавливались диапазон скоростей, параметры шума и значения оптимальных параметров фильтров, при которых минимизируются интегральные критерии качества

$$I_1 = \int (x - x_f)^2 dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$I_2 = \int |x - x_f| dt \rightarrow \min, \quad (6)$$

где x – эталонное значение параметра; x_f – значение параметра после фильтра.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Количество результатов, полученных в рамках моделирования, достаточно велико, поэтому выделим только некоторые.

На рис.1–2 приведены зависимости $\gamma_2(S)$ при $N = [4 \ 16 \ 32 \ 64 \ 256 \ 1024]$ для квадратичного критерия. Отличия зависимости $\gamma_1(S)$ по критериям для I_2 и I_1 наблюдаются только в области предельных скоростей и носят случайный характер.

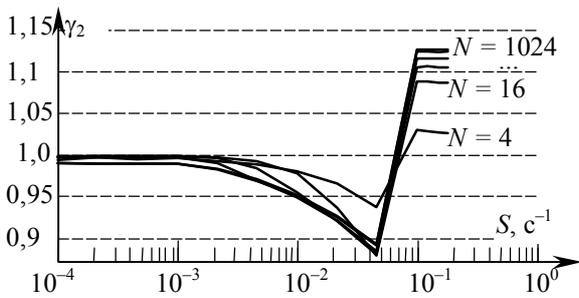


Рис. 1. Зависимость γ_2 от S для фильтра Баттерворта восьмого порядка при оптимальной частоте среза по критерию (5)

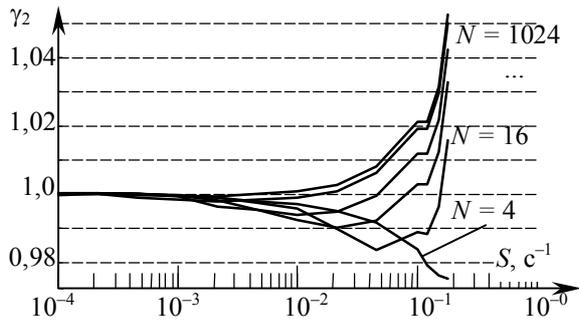


Рис. 2. Зависимость γ_2 от S для скользящего среднего при оптимальной длине усреднения по критерию (5)

Как указывалось ранее, показатель нестационарности γ может быть рассчитан по разным формулам, что существенно влияет на диапазон определения нестационарности.

При фиксированном значении $f_{0,7}$ фильтров зависимость $\gamma_2(S)$ имеет одинаковой вид: с увеличением скорости значение γ_2 переходит из 1 в 0. Однако скорость и интенсивность, при которой наблюдается падение, зависят от типа фильтра и от N (рис. 3). На рис. 3 приведены графики при одинаковой частоте среза фильтров $f_{0,7} = 0,1$ Гц и вычислении скользящего среднего по 16 значениям.

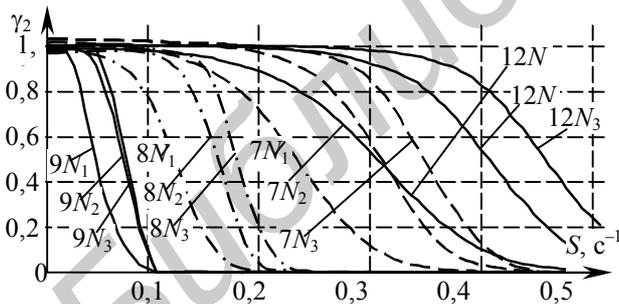


Рис. 3. Зависимость γ_2 от скорости сигнала при фиксированных параметрах фильтров (7 – ФНЧ первого порядка; 8, 9 – фильтр Баттерворта соответственно третьего и восьмого порядков; 12 – фильтр скользящего среднего) и трех значениях N : $N_1 = 24$; $N_2 = 256$; $N_3 = 1024$

Графики демонстрируют, что выбранная формула расчета нестационарности и математического ожидания существенно влияет на чувствительность адаптации по методу серий. Расчет по расширенной формуле (3) хорош при скачкообразной перестройке фильтра. В этом случае влияние расчетных аспектов минимизируется. При необходимости плавной перенастройки фильтра предпочтительнее формула (4),

сохраняющая чувствительность критерия в широком диапазоне. Более эффективное использование критерия серий для адаптации цифровых фильтров требует тщательного выбора величины N . В случае широкого изменения скоростей стоит изменять эту величину.

Результаты проверки Жарка - Бера и Лиллифорса на соответствие величины r нормальному распределению для различных фильтров отражены на (рис. 4).

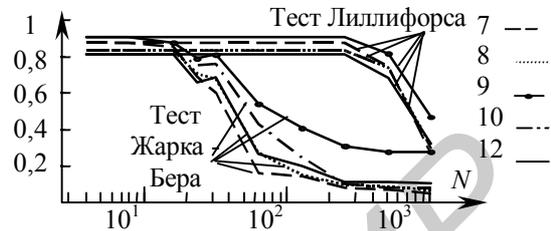


Рис. 4. Зависимости среднего значения теста от количества наблюдений N (7 – ФНЧ первого порядка; 8, 9 – фильтры Баттерворта соответственно третьего и восьмого порядков; 12 – фильтр скользящего среднего)

Общим является только то, что тест выполняется в случае анализа в векторе r значений, кратных N . Тесты формируют 0 в случае соответствия нормальному распределению и 1 в случае несоответствия. Чем больше N , тем выше вероятность прохождения теста.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Результаты моделирования подтвердили широкие возможности критерия серий для использования в цифровой адаптации. Выбор параметров настройки критерия следует производить в каждом отдельном случае в зависимости от требований к качеству фильтрации и свойств объекта. Если в качестве критерия выступает минимизация квадратичного отклонения или другого интегрального критерия, то алгоритм может быть построен на поддержании γ_2 в области 1. При $N > 256$ в большинстве случаев количество серий соответствует нормальному распределению.

[1] Способ адаптивной фильтрации и устройство для его осуществления: пат. 9322 Респ. Беларусь, МПК7 G01F17/10, H04B1/10 / И. О. Оробей, С. Е. Жарский, Д. А. Гринюк, И. Ф. Кузьмицкий, Д. А. Медяк, В. В. Сарока, М. Ф. Лукашевич; заявитель БГТУ. – № а 0002317; заявл. 11.12.2003; опубл. 30.06.2005 // Афишыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Респ. Беларусь. – 2006. – № 1. – С. 16

[2] Дерфель, К. Статистика в аналитической химии. / Дерфель К. – М.: Мир, 1994. – 170 с.

[3] Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.