

Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук,  
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;  
И.Г. Сухорукова, ст. преп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНФОРМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ УПРАВЛЕНИЯ**

Термин Индустрия 4.0 придумали немецкие промышленники к Ганноверской ярмарке в 2011 году. Тогда они заявили о том, что сейчас начинается четвертая промышленная революция, в которой Германия должна сыграть ведущую роль через усиленную интеграцию «киберфизических систем», или CPS, в заводские процессы. Для ускорения интернетизация заводских машин и станков была разработана стратегия развития промышленности «Платформа Индустрии 4.0» и государственная программа «Промышленность 4.0».

К 2030 году Германии планирует полностью перейти на систему интернетизированной промышленности. Немецкое правительство инвестирует в эту область около 200 миллионов евро.

Аналогичные программы также запущены в Нидерландах, Франции, Великобритании, Италии, Бельгии и других странах. В США в 2012 году была создана некоммерческая Коалиция лидеров умного производства. В нее входят промышленники, поставщики, ИТ-компании, госведомства, университеты и лаборатории. Цель организации – создать открытую умную платформу для промышленных ИТ-приложений

В 2014 году компании General Electric, AT&T, Cisco, IBM и Intel создали Консорциум промышленного интернета (Industrial Internet Consortium). Сегодня в него входят 170 организаций. Цель некоммерческого объединения – устранение барьеров между различными технологиями для того, чтобы обеспечить максимальный доступ к большим данным и усовершенствовать интеграцию физической и цифровой среды. Основные тезисы «Индустрии 4.0»:

Новые тренды автоматизации, которые ощущаются в Беларуси. Переход на новые стандарты сетевого обмена информации. Беспроводные сети. Ethernet все больше проникает на полевой уровень. Повышенное внимание к безопасности информации как на полевом и на офисном уровне. Интеллектуальные приборы становятся обыденным делом (автокалибровка, дублирование информации при передаче, удаленное изменение характеристики). Все больше устройств полевого уровня имеют встроенные

web-server. Построение систем распределенного сбора технологической информации с минимальным использованием аналоговых интерфейсов. Силовая аппаратура управления электродвигателями все больше становится интеллектуальной. Уход от специализированных языков программирования станками в сторону ИЕС 61131-3 (последняя редакция 2012).

Динамика временных рядов в цифровой фильтрации может быть обнаружена критерием серий или критерием Вальда – Вольфовица (ВВ) [1]. Данный критерий относится к непараметрическим и широко используется в биологических, физических, социальных и экономических исследованиях. В работе [2] были проведены исследования использования ВВ с целью оптимизации его работы, а в [3] выполнена апробация на промышленном логическом контроллере.

Одним из актуальных вопросов является работа принципа адаптации при условии не гауссовского распределения шумов на входе фильтра. В метрологической практике при анализе работы измерительных приборов используют ограниченный ряд стандартных аппроксимирующих функций распределения [4]: нормальную, равномерную, треугольную, арксинусоидальную, экспоненциальную и Рэлея.

Математическое моделирование производилось в Matlab. При постановке математического эксперимента случайные данные выбранных распределений генерировались таким образом, чтобы их мощности на фиксированном периоде времени отличались не более чем на 1%.

Помехи смешивались с гармоническим сигналом (ГС) с частотами от 0 до 0,03 Гц и пропускались через фильтры. Соотношение между амплитудой полезного сигнала и величиной дисперсии помехи не ниже 10 по нормальному распределению. В качестве фильтров анализировался фильтр бегущего среднего и медианной выборкой [1] с длиной от 3 до 7 и цифровые фильтры 1–3 порядков, фильтр Баттерворта. Производилась оценка влияния эффекта квантования сигнала по уровню на параметры критерия серий.

$$\mu_1 = \frac{2N^+N^-}{N} + 1; \quad (1)$$

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

$$\gamma = \gamma_1 = \exp\left(-\frac{(r-\mu)^2}{K\sigma^2}\right); \quad \gamma = \gamma_2 = \frac{r}{\mu}, \quad (3)$$

где  $N^+$ ,  $N^-$  – количество положительных и отрицательных разниц до и после фильтра;  $K$  – коэффициент сжатия-растяжения вероятности статистической независимости.

Выбор коэффициента сжатия-растяжения вероятности статистической независимости значения  $K$  зависит от структуры адаптации и той гипотезы (стационарный процесс или нестационарный), которая в данный момент интересует. Увеличение  $K$  склоняет  $\gamma_1$  в сторону гипотезы стационарности, а уменьшение – нестационарности. Путем изменения  $K$  можно реализовать триггерную структуру с зоной нечувствительности для уменьшения зависимости от шума  $\gamma_1$ .

При одинаковом входном сигнале фильтры по разному формируют серии и их показатели. Даже близкие по принципу работы МФ и БС дают разную картину. Цифровые фильтры имеют более узкий диапазон частот, при котором можно говорить о стабильном определении динамики ввиду большей зависимости фазы от частоты. БС и МФ имеют больший диапазон детектирования динамики, но хуже сглаживают. Возможен вариант построения наблюдателя слежения за динамикой для своевременной перенастройки фильтра основного канала. Для этого можно использовать и ФНЧ с автоподстраиваемой в зависимости от динамики малой постоянной времени по сравнению с основным каналом. Данный подход вместе с изменением  $K$ , как было указано выше, скорее всего окажется более выигрышным, чем поиск зависимости между  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\mu$ ,  $r$ ,  $\sigma$  и  $s$  динамикой тренда.

Производилась оценка корреляции между  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\mu$ ,  $r$ ,  $\sigma$  и  $s$ . Коэффициент корреляции (КК) выше между  $s$  и  $\gamma_1$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  в среднем на четверть чем между  $\gamma_2$ ,  $r$  и  $s$ . При этом для МФ и БС КК при частотах  $10^{-4}$  начинает быстро подниматься и остается на одном уровне до  $10^{-2}$ , а затем резко возрастает, когда количество серий  $r$  сдвигается ближе к нулю, чем к значению  $N/2$ . Если длина БС на среднем диапазоне частот незначительно влияет на корреляцию, то при больших частотах при некоторой длине БС коэффициент корреляции достигает максимума для  $\mu$  и  $\sigma$ , а затем начинает падать, тогда как для остальных параметров КК начинает резко расти. Для ФНЧ при частотах  $10^{-4}$  в зависимости КК от постоянной времени фильтра имеется пологий максимум. По мере роста частоты максимум становится резким и смещается в сторону малых постоянных времен. На больших частотах КК для  $\gamma_2$ ,  $r$  становятся выше, чем для остальных параметров.

Для трендов  $r$  на среднем значении частот для ФНЧ, где параметр колеблется в широком диапазоне, выполнено разложение в ряд Фурье. Основная гармоника больше по амплитуде остальных, однако вторая и последующие имеют сравнимое с ней значение, что говорит о нелинейности преобразования. В целом тренд  $r$  для ФНЧ при некоторых частотах напоминает модуль гармонического сигнала.

При прохождении через квантователь по уровню критерий стационарности  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  сдвигается в сторону 1 со снижением амплитуды вариации, его зависимость от динамики уменьшается. Тренд  $r$  смещается в сторону  $N/2$ , снижает амплитуду и меньше реагирует на характеристику шума. Тренды  $\mu$  и  $\sigma$  также очищаются от шума, но увеличивают амплитуду, становятся более подобны на модуль гармонического сигнала. Случайные процессы с экспоненциальным распределением ввиду больших отклонений менее подвержены влиянию квантования.

Критерий серий показал слабую зависимость от распространенных распределений шумов в радиоэлектронике. Ненулевое математическое ожидание шума оказывает воздействие на параметры распределение серий. Ввиду подверженности основных показателей серий влиянию шума адаптацию лучше строить на основании триггерных схем, которые были предложены выше. В условиях работы с малым количеством разрядов АЦП на диапазоне шума лучше использовать  $\mu$  или  $\sigma$  для адаптации фильтров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
2. Гринюк Д. А., Оробей И. О., Сухорукова И. Г. Эффективность работы адаптации фильтра на критерии серий // Труды БГТУ. Физ.-мат. науки и информатика. 2011. № 6: С. 107–111.
3. Гринюк Д. А., Оробей И. О., Сухорукова И. Г. Адаптация критерия серий к применению в управлении технологическими процессами // Труды БГТУ. Физ.-мат. науки и информ. 2014. № 6: С. 92–95.
4. Басов В. Г. Информационно-измерительные системы. Основы проектирования. В 3 ч. Ч. 2. Минск: БГУИР, 2007. 78 с.