УДК 519.218

ЗАБОЛОТНЫЙ С.В., к.т.н., доцент (Черкасский государственный технологический университет)

Полиномиальная процедура CUSUM для последовательного обнаружения разладки по дисперсии негауссовских случайных процессов

Для решения задачи последовательного обнаружения разладки по дисперсии негауссовских процессов с дискретным временем использовано разложение логарифма отношения правдоподобия в стохастический степенной ряд. Для нахождения коэффициентов разложения использован моментный критерии минимума верхней границы суммы вероятностей ошибок. Предлагаемое решение является семипараметрическим вариантом процедуры CUSUM, поскольку использует информацию не о законе распределения, а о значениях статистик высших порядков. Проведено статистическое моделирование.

Ключевые слова: *разладка, последовательное обнаружение, стохастический полином, дисперсия, кумулянтные коэффициенты.*

Вступление

Одной из актуальных задач вероятностной диагностики является обнаружение резкого изменения свойств наблюдаемых случайных процессов, так называемой «разладки». В отличие от ретроспективных (апостериорных) методов статистической обработки, используемых при анализе выборок фиксированного объема, содержащих всю полученную информацию об объекте диагностирования, последовательное обнаружение ориентировано на задачи диагностирования в реальном времени. Это накладывает свои специфические требования к критериям построения алгоритмов принятия решения, основным из которых является минимизация времени на обнаружение разладки при фиксированной вероятности ложных тревог [1-3].

Последовательное обнаружение момента изменений параметров случайных процессов возникает в различных практических приложениях, например, при контроле качества продукции, технологических, биомедицинских и эконометрических процессов, экологическом и социальном мониторинге и т.д. Разнообразие задач требует большого количества разных вероятностных моделей и методов их обработки. При этом необходимо отметить, что большинство теоретических работ, посвященных решению задач, связанных с «разладкой», сосредоточено на классе случайных процессов, который описывается гауссовским законом распределения. Однако реальные статистические данные часто отличаются от подобной модели. Используемые при этом классические методы, базирующиеся на аппарате плотности распределения вероятностей, называют параметрическими.

Основной проблемой параметрического подхода является требование к наличию априорной информации о виде законов распределения, высокая сложность как их алгоритмической реализации, так и анализа свойств. Это привело к тому, что значительная часть современных исследований связаны с построением прикладных статистических методов, которые направлены на минимизацию либо полное исключение требований к наличию априорной информации. Однако реализационно-простые непараметрические методы, не учитывающие вероятностный характер негауссовских процессов, могут иметь значительно меньшую точность сравнительно с оптимальными параметрическими методами [4].

Таким образом, актуальной остается проблема построения таких статистических моделей и методов, которые с одной стороны позволяли бы учитывать вероятностный характер негауссовских случайных процессов, т.е. были потенциально адаптивными. С другой стороны, они должны характеризоваться простотой как с точки зрения механизмов обучения и настройки, так и при непосредственной алгоритмической реализации.

Одним из перспективных направлением является использование статистик высоких порядков: моментов, кумулянтов или их функций. Как правило, использование кумулянтного описания является более предпочтительным, поскольку гауссовская модель теоретически имеет отличные от нуля лишь кумулянты первых двух порядков. Следовательно, кумулянтные коэффициенты третьего и выше порядков характеризуют степень негауссовости. Поскольку моментно-кумулянтное описание является частичным, то для базирующихся на нем статистических методов существует лишь асимптотическая (с ростом количества параметров) возможность получения оптимальных результатов. В контексте выше сказанного, такие методы можно трактовать как семипараметрические. Примерами использования этого описательного аппарата в различных предметных областях, связанных с обнаружением разладки, являются: определение момента прихода сигналов акустической эмиссии [5], детектирования видеопотоков [6], обнаружение мошенничества в телекоммуникационных сетях [7].

Один из новых подходов к решению задач, связанных с обработкой негауссовских сигналов при их моментно-кумулянтном описании, базируется на разработанном Кунченко математическом аппарате стохастических полиномов [8]. В работе [9] применен новый метод статистического оценивания (метод максимизации полинома) для синтеза адаптивных алгоритмов апостериорного оценивания момента разладки дисперсии негауссовских случайных последовательностей. В данной работе применяется другое направление этой теории, основанное на разложении логарифма отношения правдоподобия (ЛОП) в стохастический ряд. Это разложение было использовано для построения решающих правил, оптимизируемых по т.н. моментным критериям качества, предназначенных для проверки статистических гипотез при фиксированном объеме выборок [10].

Известно, что одними из наиболее распространенных подходов для решения задачи последовательного обнаружения разладки является группа методов, использующих алгоритм кумулятивных сумм (CUSUM). Основу этого подхода, идея которого принадлежит Пейджу, составляет статистика кумулятивной суммы, представляющая собой многократно применяемый последовательный анализ Вальда [1]. Примером применения параметрического алгоритма CUSUM является задача обнаружения сигналов контроля состояния рельсовой линии автоматической системы автоблокировки в условиях действия негауссовских помех, рассмотренная в [11]. Существуют также непараметрические варианты CUSUM, ориентированные на обнаружение разладки случайных последовательностей с произвольным законом распределения [4].

Целью данной работы является модификация на основе приближения логарифма отношения правдоподобия стохастическим полиномом процедуры CUSUM, предназначенной для последовательного обнаружения разладки дисперсии негауссовских случайных последовательностей, а также исследования эффективности полученного решения путем статистического моделирования.

Постановка задачи

Пусть наблюдается последовательность $x_1, x_2, \ldots x_n, \ldots$ независимых случайных величин, вероятностный характер которых описывается средним (математической ожиданием) θ, дисперсией σ^2 и кумулянтными коэффициентами асимметрии γ_3 и эксцесса γ_4. До некоторого (априорно неизвестного) момента дискретного времени $\tau - 1$ величина дисперсии равна σ_0^2, а затем, в момент τ, резко изменяет свое значение на величину σ_1^2. Задача состоит в том, чтобы путем последовательного анализа выборочных значений x_v как можно быстрее обнаружить факт возникновения разладки при обеспечении фиксированной вероятности (среднего времени возникновения) ложной тревоги.

Результаты

Процедура CUSUM

Классический вариант алгоритма кумулятивных сумм, используемого для последовательного обнаружения разладки, базируется на статистике, формируемой на основе ЛОП [1]

$$\Lambda_v = \sum_{j=1}^{v} \ln \frac{f_1(x_j)}{f_0(x_j)}, \ v = 1, \ldots, n, \tag{1}$$

где $f_r(\cdot)$, $r = 0{,}1$ - плотности распределения до и после разладки.

Правило, предложенное Пейджем, фиксирующее момент остановки при возникновении разладки, имеет вид

$$\hat{\tau} = \inf\left\{ n \ge 1 : \Lambda_n - \min_{0 \le j \le n} \Lambda_j \ge h \right\}, \tag{2}$$

где $h > 0$ - порог обнаружения.

На основе теории последовательного анализа Вальда получены асимптотические соотношения, позволяющие выбирать порог принятия решений:

$$E_0\{\tau\} = \left| e^h - h - 1 \right| / \left| M_0 \right|,$$
$$E_1\{\tau\} = \left(e^{-h} + h - 1 \right) / M_1, \tag{3}$$

где $E_0\{\tau\}$ - среднее время наблюдения до ложной тревоги; $E_1\{\tau\}$ - среднее время запаздывания в обнаружении;

$$M_r = E_r\left\{\ln\frac{f_1(x)}{f_0(x)}\right\},\ r = 0,1.$$

С прикладной точки зрения, более удобным является модифицированный алгоритм CUSUM с т.н. отражающим экраном, который использует рекуррентную статистику вида

$$g_n = \left(g_{n-1} + \ln\frac{f_1(x_n)}{f_0(x_n)}\right)^+, \quad (4)$$

где $g_0 = 0$, $(A)^+ = \max\{0, A\}$.

Обнаружение разладки дисперсии при гауссовской модели

Для случая, когда плотность распределения элементов случайной последовательности x_n описывается гауссовским законом, рекуррентный алгоритм CUSUM для обнаружения разладки дисперсии представляется в виде

$$g_n = \left(g_{n-1} + \ln\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right) + \frac{\sigma_1^2 - \sigma_0^2}{2\sigma_1^2\sigma_0^2}[x_n - \theta]^2\right)^+. \quad (5)$$

Поскольку статистика (5) не зависит от иных вероятностных параметров кроме среднего и дисперсии, то ее можно трактовать как «непараметрический вариант» процедуры CUSUM, который может быть использован для обнаружения разладки среднего для случайных последовательностей с произвольным распределением (при известном и неизменном среднем).

Разложение логарифма отношения правдоподобия в стохастический ряд

В данной работе для построения семипараметрического варианта CUSUM, учитывающего негауссовость статистических данных в виде кумулянтных коэффициентов высших порядков, используется разложение логарифма отношения правдоподобия в стохастический степенной ряд [9]

$$\Lambda = \ln\frac{f_1(\vec{x})}{f_0(\vec{x})} = k_0 + \sum_{v=1}^{n}\sum_{i=1}^{\infty} k_i x_n^i. \quad (6)$$

Для нахождения коэффициентов разложения (6) используются так называемые моментные критерии формирования решающих правил для проверки статистических гипотез. Одним из таких критериев является критерий минимума верхней границы суммы вероятностей ошибочных решений, используемый в данной работе, который определяется соотношением

$$Ku = \frac{D_0\{\gamma\} + D_1\{\gamma\}}{[E_1\{\gamma\} - E_0\{\gamma\}]^2},$$

где $E\{\gamma\}$ и $D\{\gamma\}$ - соответствующие математические ожидания и дисперсии некоторого решающего правила $\gamma(\vec{x})$ проверки статистической гипотезы H_0 против альтернативы H_1.

Если в качестве такого решающего правила использовать сравнение ЛОП с порогом $\frac{E_1\{\gamma\} + E_0\{\gamma\}}{2}$, то данный вероятностный критерий будет иметь минимальное значение, которое может быть записано в виде

$$Ku_{min} = \frac{\sum_{v=1}^{n}(D_{0v} + D_{1v})}{\left[\sum_{v=1}^{n}[I_v(1:0) + I_v(0:1)]\right]^2} = \frac{D_{0v} + D_{1v}}{nI_v(1:0)} = J_n^{-1}, \quad (7)$$

где $I_v(1:0)$ - средняя информация Кульбака-Лейблера, содержащаяся в v-ом выборочном значении для принятия решения в пользу гипотезы H_0 против гипотезы H_1, а величина D_{rv} равна дисперсии ЛОП v-го выборочного значения при соответствующей гипотезе H_r, $r = 0,1$.

Величину J_n называют максимальным количеством информации, содержащейся в выборке объема n значений, о различении гипотез H_0 и H_1 по выбранному моментному критерию качества.

Аппроксимации логарифма отношения правдоподобия стохастическим полиномом

При ограничении количества членов ряда (6) имеет место аппроксимация ЛОП полиномом степени s, т.е.

$$\Lambda^{(s)} = k_0 + \sum_{v=1}^{n}\sum_{i=1}^{s} k_i x_n^i. \quad (8)$$

Коэффициенты k_i, $i = \overrightarrow{1,s}$, оптимизируемые за критерием Ku, должны находятся из решения системы линейных алгебраических уравнений [9]:

$$\sum_{j=1}^{s} k_j F_{i,j} = m_i - u_i \,,\; i = \overrightarrow{1,s}\,,$$

где $F_{i,j} = m_{i+j} - m_i m_j + u_{i+j} - u_i u_j$, а $m_i = E_0\{x_v^i\}$ и $m_i = E_1\{x_v^i\}$ - начальные моменты случайных последовательностей при гипотезах H_r, $r = 0{,}1$.

Оптимальное (при соответствующей степени s) значение коэффициента k_0 имеет вид

$$k_0 = -\frac{n}{2}\sum_{i=1}^{s} k_i\left(m_i + u_i\right). \qquad (9)$$

Поскольку ограничение степени полинома приводит к ошибкам представления ЛОП, то замена в решающем правиле его полиномиальной аппроксимацией приводит к уменьшению количества информации о различении гипотез, которое при оптимальных значениях коэффициентов k_i определяется выражением

$$J_n^{(s)} = n\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} k_i k_j F_{i,j} = n\sum_{i=1}^{s} k_i\left(m_i - u_i\right). \qquad (10)$$

Показано, что с ростом степени полинома s, справедлив предел

$$\lim_{s\to\infty} J_n^{(s)} = J_n\,.$$

Таким образом, величину $J_n^{(s)}$ можно трактовать как информационный критерий сходимости стохастического полинома (8) к величине ЛОП с точки зрения его использования при построении решающих правил, оптимальных за выбранным моментным критерием.

Полиномиальная процедура CUSUM

Используя приближенное представление ЛОП в виде стохастического полинома (8), и учитывая оптимальное, согласно критерию Ku, значение коэффициента k_0 вида (9), по аналогии с (4) можем записать рекуррентную полиномиальную статистику вида

$$p_n^{(s)} = \left(p_{n-1}^{(s)} + \sum_{i=1}^{s} k_i\left[x_n^i - \frac{m_i + u_i}{2}\right]\right)^{+}. \qquad (11)$$

Очевидно, что статистика (11) представляет собою семипараметрический вариант процедуры CUSUM, поскольку при своем построении не использует информацию о законах распределения вероятностей случайной последовательности, а базируется на неполном вероятностном описании в виде последовательности моментов до $2s$-го порядка.

Полиномиальный алгоритм CUSUM для обнаружения разладки дисперсии

Поскольку порядок вариативного параметра (дисперсии) равен 2, то построение полиномиальной процедуры обнаружения разладки по данному параметру возможно лишь с использованием стохастических полиномов степени $s \ge 2$.

При использовании стохастического полинома степени $s = 2$ оптимальные за выбранным критерием качества Ku коэффициенты k_1 и k_2, находимые из решения системы (8), могут быть представлены в виде:

$$k_1 = -\frac{\left(\sigma_1^2 - \sigma_0^2\right)\left[2\theta\left(\sigma_1^2 + \sigma_0^2\right) + \gamma_3\left(\sigma_1^3 + \sigma_0^3\right)\right]}{\left(\sigma_1^6 + \sigma_0^6\right)\left(2 + \gamma_4 - \gamma_3^2\right) + \left(\sigma_1^2\sigma_0^4 + \sigma_1^4\sigma_0^2\right)\left(2 + \gamma_4\right) - 2\gamma_3^2\sigma_1^3\sigma_0^3}\,,$$

$$k_2 = \frac{\sigma_1^4 - \sigma_0^4}{\left(\sigma_1^6 + \sigma_0^6\right)\left(2 + \gamma_4 - \gamma_3^2\right) + \left(\sigma_1^2\sigma_0^4 + \sigma_1^4\sigma_0^2\right)\left(2 + \gamma_4\right) - 2\gamma_3^2\sigma_1^3\sigma_0^3}\,. \qquad (12)$$

Используя общую формулу (11), с учетом $m_2 = \sigma_1^2 + \theta^2$ и $u_2 = \sigma_0^2 + \theta^2$, представим полиномиальную статистику при $s = 2$ в виде

$$p_n^{(2)} = \left(p_{n-1}^{(2)} + k_1\left[x_n - \theta\right] + k_2\left[x_n^2 - \left(\theta^2 + \frac{\sigma_1^2 + \sigma_0^2}{2}\right)\right]\right)^{+}. \qquad (13)$$

Анализ полиномиальной статистики (13) показывает, что ее существенным отличием от классической статистики (5) является дополнительная зависимость от кумулянтных коэффициентов асимметрии и эксцесса, учет которых, как будет показано ниже, дает возможность увеличивать эффективность обнаружения разладки.

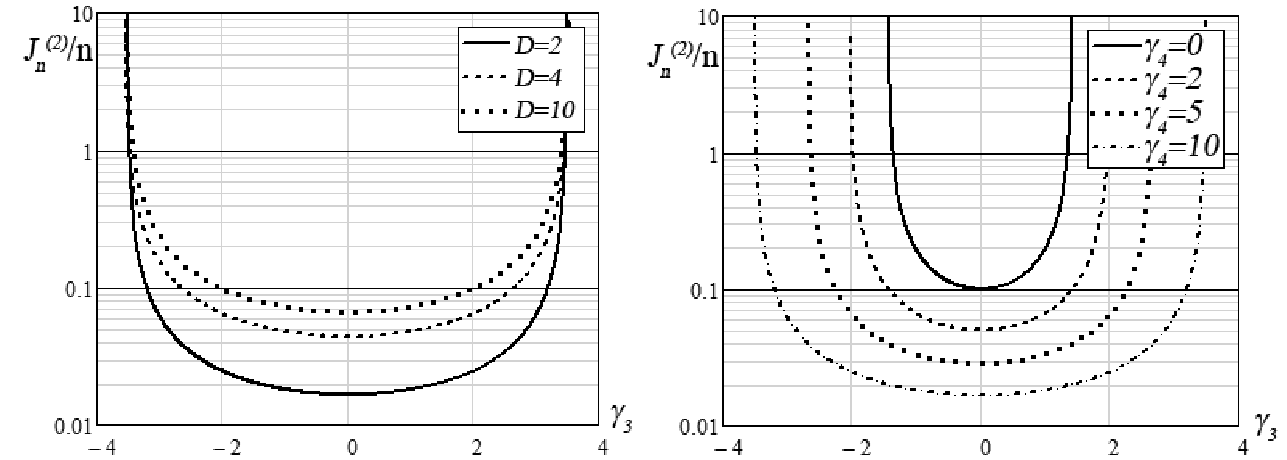
Теоретический анализ потенциальной точности полиномиального алгоритма

Используем представленный выше информационный критерий (7) сходимости стохастического полинома к величине ЛОП для анализа изменений количества извлекаемой информации о различимости гипотез для каждого выборочного значения в зависимости от характеристик негауссовской случайной последовательности.

Для случая построения алгоритма последовательного обнаружения разладки по дисперсии с использованием стохастического полинома степени $s = 2$ величина $J_n^{(2)}$ может быть найдена с использованием общей формулы (10), а также полученных выражений для оптимальных коэффициентов (12), и представлена в виде

$$J_n^{(2)} = n\frac{\left(\sigma_1^4-\sigma_0^4\right)\left(\sigma_1^2-\sigma_0^2\right)}{\left(\sigma_1^6+\sigma_0^6\right)\left(2+\gamma_4-\gamma_3^2\right)+\left(\sigma_1^2\sigma_0^4+\sigma_1^4\sigma_0^2\right)\left(2+\gamma_4\right)-2\gamma_3^2\sigma_1^3\sigma_0^3}. \qquad (14)$$

На рис. 1 представлены графики, построенные согласно (14), демонстрирующие изменение количества извлекаемой информации для одного выборочного значения $J_n^{(2)}/n$ (в логарифмическом масштабе) в зависимости от коэффициента асимметрии γ_3 при различных значениях относительной величины разладки $D=\sigma_1^2/\sigma_0^2$ при $\gamma_4=10$ (рис. 1, *а*) и коэффициента эксцесса γ_4 при $D = 2$ (рис. 1, *б*).



а) б)

Рис. 1. Зависимость изменений количества извлекаемой информации от характеристик случайной последовательности и величины разладки

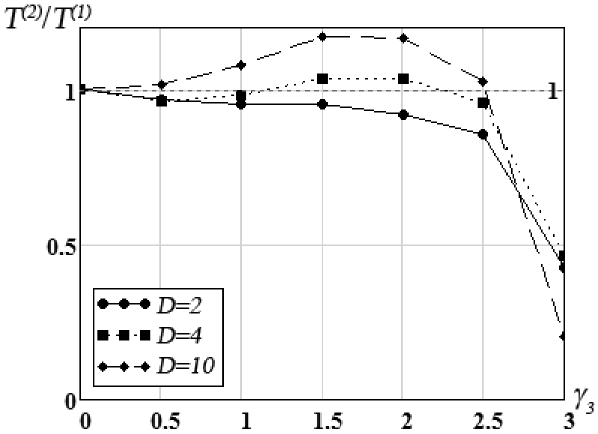
Полученное аналитическое выражение (14) показывает, что изменение количества извлекаемой информации не зависит от значений среднего θ, а представленные на рис. 1. графические зависимости свидетельствуют о потенциальном росте эффективности полиномиального алгоритма при увеличении степени негауссовости случайной последовательности. Величина роста наиболее существенным образом зависит от асимметрии распределения, и может быть очень значительной при приближении абсолютных значений коэффициента асимметрии к границе своей области допустимых значений, определяемой известным неравенством $\gamma_3^2 \le \gamma_4 + 2$.

Статистическое моделирование алгоритмов CUSUM

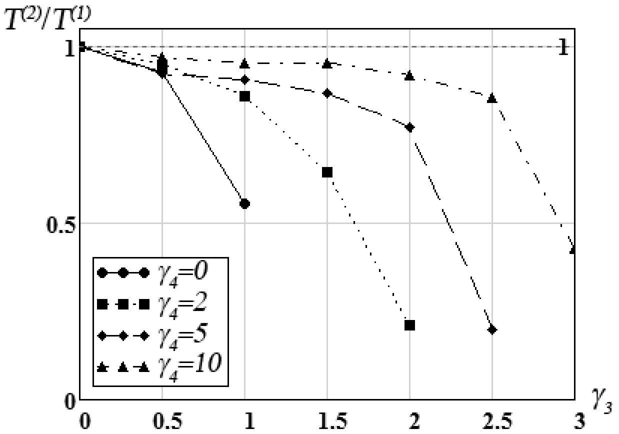
На основании полученных результатов разработан программный комплекс, позволяющий осуществлять статистическое моделирование работы предложенного полиномиального алгоритма CUSUM для обнаружения разладки дисперсии негауссовских случайных последовательностей. Данный комплекс позволяет производить как однократные эксперименты по обнаружению разладки, так многоразовые испытания (метод Монте-Карло), позволяющие экспериментально оценить точность предложенных решений.

Как уже отмечалось выше, основным критерием эффективности алгоритмов последовательного обнаружения является величина среднего значения времени на обнаружение разладки при обеспечении одинаковой вероятности (среднего времени возникновения) ложной тревоги. Известно, что результаты однократных экспериментов не позволяют адекватно сопоставлять точность алгоритмов принятия решений. Поэтому эмпирической оценкой величины выигрыша является усредненное время задержки $T = \tau - \hat{\tau}$ на обнаружение разладки, которое может быть получено путем многократных экспериментов с одинаковыми исходными значениями параметров модели.

На рис. 2 показаны усредненные (для $W = 2000$ экспериментов) отношения $T^{(2)}/T^{(1)}$ задержек полиномиального (13) и непараметрического (5) алгоритмов CUSUM. Данные зависимости получены дня тех же параметров модели, что и теоретические характеристики количества извлекаемой информации о различимости гипотез (см. рис. 1). Они построены при дискретных значениях коэффициента асимметрии (с шагом $\Delta\gamma_3 = 0.5$) с учетом выбора порогов принятия решений, обеспечивающих одинаковую для обоих алгоритмов вероятность ложной тревоги $\alpha = 10^{-3}$. Ограничения на диапазоне значений зависимостей, представленных на рис. 2, *б*, обусловлены неравенством $\gamma_3^2 \le \gamma_4 + 2$.



а)



б)

Рис. 2. Зависимость экспериментальных значений уменьшения среднего времени на обнаружение разладки от характеристик случайной последовательности и величины разладки

Сопоставление экспериментальных зависимостей, представленных на рис. 2, с теоретическими характеристиками изменений количества извлекаемой информации (рис. 1) указывает на их тесную взаимосвязь. Приведенные и другие полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что эффективность синтезированного полиномиального алгоритма CUSUM прежде всего зависит от величины асимметрии распределения (при малых абсолютных значениях γ_3 уменьшения времени на обнаружение разладки не наблюдается, а при большой относительной величине D может даже наблюдаться некоторый проигрыш). Таким образом, синтезированный полиномиальный алгоритм является более точным при обнаружении слабых структурных сдвигов случайных последовательностей, имеющих существенную асимметрию.

В целом, результаты статистического моделирования подтверждают теоретическое предположение об эффективности предлагаемого подхода для построения полиномиальных процедур типа CUSUM. Рост достигается благодаря учету дополнительной информации о вероятностном характере случайных последовательностей в виде значений кумулянтных коэффициентов асимметрии и эксцесса. Платой за этот эффект является определенное усложнение алгоритма (нелинейная обработка), а также требование к наличию дополнительной априорной информации для его настройки.

Выводы и направления дальнейших исследований

Совокупность результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать общий вывод о потенциально высокой эффективности применения аппарата разложения ЛОП для синтеза реализационно-простых алгоритмов последовательного обнаружения разладки, ориентированных на работу в условиях асимметричного вероятностного характера случайных последовательностей.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке принципиально нового подхода к построению семипараметрических процедур принятия решений при последовательном анализе негауссовских статистических данных, базирующихся на аппарате стохастических полиномов. Среди большого количества возможных направлений дальнейшего развития исследований по применению данного аппарата для построения процедур последовательного обнаружения разладки можно выделить следующие:

- увеличение степени стохастического полинома, необходимое для получения более эффективных решений (особенно при симметрии распределения негауссовских последовательностей);
- синтез полиномиальных алгоритмов типа CUSUM для обнаружения разладки по другим параметрам или при одновременном изменении нескольких параметров (например, среднего и дисперсии и т.п.);
- использование других моментных критериев формирования решающих правил (например, моментного критерия типа Неймана-Пирсона);
- модификация других классических процедур, базирующихся на логарифме отношения правдоподобия (например, алгоритма GRSh).

Литература

1. Никифоров И. В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. – М.: Наука, 1983. – 199 с.
2. Бассвиль М. Обнаружение изменения свойств сигналов в динамических системах. – М.: Мир, 1989. – 278 с.
3. Chen J., Gupta A. K. Parametric statistical change point analysis. – Birkhaeuser, 2012, 273 p.
4. B. Brodsky and B. Darkhovsky. Nonparametric Methods in Change-Point Problems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 1993.
5. Lokajicek T, and Klima K. A First Arrival Identification System of Acoustic Emission (AE) Signals by Means of a Higher-Order Statistics Approach. Measurement Science and Technology. 2000, Vol. 17, p.2461-2466.
6. Yih-Ru Wang. The signal change-point detection using the high-order statistics of log-likelihood difference functions. International Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP 2008. IEEE International Conference, pp.4381-4384.
7. Constantinos S. Hilas, Ioannis T. Rekanos, and Paris Ast. Mastorocostas. Change Point Detection in Time Series Using Higher-Order Statistics: A Heuristic Approach, Mathematical Problems in Engineering, vol. 2013 , Article ID 317613, 10 pages, 2013.
8. Кунченко Ю. П. Стохастические полиномы. – К. : Наук. думка, 2006. – 275 с.
9. Кунченко Ю.П. Використання стохастичних поліномів для перевірки простих стохастичних гіпотез // Вісник ЧІТІ – Черкаси: ЧІТІ, – 1996, – № 2. – С.37-47.
10. Заболотный С.В., Салыпа С.В., Плаксенков Ю.Ю. Полиномиальные алгоритмы апостериорного оценивания момента разладки дисперсии негауссовских случайных последовательностей // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013, – № 5. – С.62-67.
11. Беляков И. В. Обнаружение сигналов контроля состояния рельсовой линии в негауссовских помехах методом поиска разладки // Транспорт Урала. – 2011. – № 4. – С. 26-28.

Заболотній С.В. Поліноміальна процедура CUSUM для послідовного виявлення розладки по дисперсії негаусових випадкових процесів. Для вирішення задачі послідовного виявлення розладки по дисперсії негаусових процесів з дискретним часом, використано розклад логарифма відношення правдоподібності в стохастичний степеневий ряд. Для знаходження коефіцієнтів розкладу використано моментний критерії мінімуму верхньої межі суми ймовірностей помилок. Запропоноване рішення є семіпараметричним варіантом процедури CUSUM, оскільки використовує інформацію не про закон розподілу, а про значення статистик вищих порядків. Здійснено статистичне моделювання.

Ключові слова: розладка, послідовне виявлення, стохастичний поліном, дисперсія, кумулянтні коефіцієнти.

Zabolotnii S.V. Polynomial CUSUM procedure for sequential detection of dispersion imbalance of Non-Gaussian random processes. Decomposition of a likelihood ratio logarithm into stochastic power series has been used to solve the task of sequential detection of dispersion imbalance of Non-Gaussian processes with discrete time. A moment criterion of likelihood of mistake high bound minimum has been used to detect expansion coefficient. The proposed solution is semi-parametric variant of CUSUM procedure, since it uses the information not about the distribution law but about higher order statistics values. Statistical modeling has been conducted.

Key words: imbalance, sequential detection, stochastic polynomial, dispersion, cumulant coefficients.

Рецензент д.т.н., профессор Лукашенко В.М. (Черкасский государственный технологический университет)

Поступила 28.02.2014г.