Методы и средства обработки сигналов и изображений

УДК 621.37:621.391

В.В.Палагин, д.-р. техн. наук

Черкасский государственный технологический университет,

бул.Шевченко, 460, Черкассы, 18006, Украина.

Использование моментного критерия качества для синтеза полиномиальных алгоритмов обнаружения сигналов на фоне аддитивно-мультипликативных негауссовских помех

Предложены модели и методы обработки случайных величин для синтеза и анализа полиномиальных алгоритмов обнаружения сигналов на фоне аддитивно-мультипликативных негауссовых помех при моментно-кумулянтном описании случайных процессов. Показано, что нелинейная обработка выборочных значений и учет параметров негауссовского распределения случайных величин позволяет повысить эффективность решающих правил. Библ. 10, рис. 2.

Ключевые слова: *полиномиальные решающие правила; моментные критерии качества; аддитивно-мультипликативные негауссовские помехи.*

Введение

Системы приема и обработки данных являются неотъемлемой и, во многих случаях, определяющей частью современных систем наблюдения, диагностики, мониторинга, контроля, управления, развитие которых характеризуется повышенными требованиями к качеству обработки информации, увеличением уровня сложности и расширением функциональных возможностей. Проблемы, которые возникают при усовершенствовании систем этого класса связаны не только с технологическим обновлением, но и в значительной мере с созданием усовершенствованных методов обработки сигналов, которые представляют собой случайные процессы [1-3].

Наиболее полной моделью взаимодействия сигналов и помех является аддитивно-мультипликативная модель, которая характерна для многих практических случаев прохождения сигналов по каналам связи. Аддитивно-мультипликативные помехи обусловлены случайными изменениями параметров канала связи, случайными изменениями коэффициента затухания физической среды, переотражениями сигнала от различных объектов и т.д. [4].

Задача обработки сигналов существенно усложняется при рассмотрении негауссовских помех, причем как аддитивного, так и мультипликативного характера, имеющих место в большинстве случав [4, 5]. Поэтому актуальной задачей остается разработка методов и средств статистической обработки сигналов на фоне аддитивно-мультипликативных негауссовских помех в радиолокации, гидролокации, геофизике, системах связи.

Использование традиционного подхода [5, 6] к исследованию и разработке систем обработки случайных негауссовских процессов при аддитивно-мультипликативном взаимодействии сигналов и помех характеризуется значительными ограничениями, связанными со сложностью их алгоритмической реализации, увеличением вычислительных ресурсов, что приводит к соответствующим сложностям при создании качественных программно-алгоритмических и аппаратных средств обработки сигналов.

Исследования последних лет свидетельствуют о том, что для решения задач обработки негауссовых процессов перспективным является другой подход, который для описания статистических свойств случайных величин использует моменты и кумулянты (семиварианты) и позволяет с приемлемым приближением характеризовать статистические свойства негауссовых процессов [7]. Такой подход позволяет повысить точность обработки негауссовых сигналов по сравнению с традиционным корреляционным подходом при заданных ограничениях на их сложность, уменьшить сложность алгоритмов обнаружения и различения сигналов.

Целью работы является создание и реализация моделей процессов обнаружения сигналов на фоне аддитивно-мультипликативных негауссовых помех на основе моментно-кумулянтного представления случайных величин с формированием моментного критерия качества асимптотической нормальности проверки статистических гипотез и полиномиальных решающих правил для обеспечения построения эффективных методов приема и обработки данных.

Постановка задачи

Пусть на входе системы наблюдается случайный сигнал $\xi(t)$. Обработке подлежит выборка $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ размерностью n из последовательности независимых и неодинаково распределенных случайных величин, по результатам которой необходимо принять решение о реализации одной из двух гипотез H_1: - принят сигнал $\xi(t) = (a_0 + \Delta(t))S(t) + \eta(t)$ или H_0 - принята помеха $\xi(t) = \eta(t)$, где $S(t) = a \cdot r(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ - полезный радиосигнал с амплитудой a, огибающей $r(t)$, частотой ω_0 и фазой φ_0 соответственно, который аддитивно связан со стационарной негауссовской помехой $\eta(t)$ с нулевым математическим ожиданием, которая характеризуется дисперсией χ_2 и кумулянтными коэффициентами $\gamma_3, \gamma_4, \ldots, \gamma_{2s}$, а также мультипликативно связан с негауссовской помехой $\Delta(t)$, которая имеет отличное от нуля математическое ожидание a_0, характеризуется дисперсией μ_2 и кумулянтными коэффициентами $\beta_3, \beta_4, \ldots, \beta_{2s}$.

Заменив непрерывное время наблюдения t на дискретные отсчеты v объемом n для наблюдаемого сигнала $\xi(t)$ в предположении стационарности негауссовых помех можем записать:

$$H_1:\ \xi_v = (a_0 + \Delta)S_v + \eta,$$

$$S_v = a \cdot r_v \cdot \cos(\omega_0 v + \varphi_0),$$

$$H_0:\ \xi_v = \eta.$$

По результатам обработки $\mathbf{X}$ необходимо вынести решение о реализации одной из гипотез H_i, $i = 0,1$.

Показано, что логарифм отношения правдоподобия для независимых неодинаково распределенных выборочных значений $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ при проверке гипотез H_i, $i = 0$, можно представить в виде стохастических полиномов степени s для обработки выборочных значений x_v размерности n из ансамбля реализаций L [8]:

$$\Lambda(\mathbf{X})_{sn} = \sum_{p=1}^{L}\sum_{i=1}^{s}\sum_{v=1}^{n} k_{iv} x_{vp}^{i} + k_0 \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} 0 \quad, \tag{1}$$

где неизвестные коэффициенты k_0 задаются в виде:

$$k_0 = -\frac{E_1 G_0^{0,5} + E_0 G_1^{0,5}}{G_0^{0,5} + G_1^{0,5}} \tag{2}$$

а оптимальные коэффициенты k_{iv} находятся из условия минимума моментного критерия качества асимптотической нормальности, представляющего асимптотические вероятности ошибок первого и второго рода полиномиального РП (1), который имеет вид

$$Yu(E,G) = \frac{\left[G_0^{0.5} + G_1^{0.5}\right]^2}{\left[E_m - E_r\right]^2}, \tag{3}$$

где E_i, G_i – математическое ожидание и дисперсия РП (1) при гипотезе H_i, $i = 0,1$ [8-10].

Система уравнений для определения оптимальных коэффициентов k_{iv} РП (1) имеет вид:

$$\sum_{j=1}^{s} k_{jv}\left[(1+c)F_{(i,j)v}(H_0) + \left(1+\frac{1}{c}\right)F_{(i,j)v}(H_1)\right] = ,$$
$$= m_{iv} - u_{iv}$$
$$c = \left(\frac{G_1}{G_0}\right)^{0.5}, \quad i = \overline{1,s}, \quad v = \overline{1,n}, \tag{4}$$

где $F_{(i,j)v}(H_0) = u_{(i+j)v} - u_{iv}u_{jv}$,

$F_{(i,j)v}(H_1) = m_{(i+j)v} - m_{iv}m_{jv}$ – коррелянты размерностью (i,j) при гипотезе H_i, $i = 0,1$ соответсвенно для v-го выборочного значения, m_{iv}, u_{iv} – начальные моменты при гипотезе H_i, $i = 0,1$ соответственно.

Для анализа эффективности синтезированных РП используется значение критерия $Yu(E,G)$ (3). Чем меньше его значение, тем меньше асимптотические вероятности ошибок первого и второго рода РП и, соответственно, эффективнее алгоритм обработки выборочных значений. Величина, обратная критерию качества, называется количеством извлекаемой информации из выборочных значений о различении гипотез, которая также может использоваться для анализа эффективности РП [8-10].

Используя полиномиальные РП и моментно-кумулянтное описание случайных величин проведен синтез и анализ полиномиальных алгоритмов обнаружения радиосигналов на фоне аддитивно-мультипликативных негауссовских помех.

Синтез алгоритмов обнаружения

Рассмотрим задачу построения полиномиальных РП обнаружения радиосигналов на фоне аддитивно-мультипликативных негауссовских помех. Приведем модели случайных процессов, характеризующие задачу обнаружения радиосигналов на фоне аддитивно-мультипликативного взаимодействия с негауссовской асимметрично-эксцесной помехой, которая характеризуется отличными от нуля коэффициентами асимметрии γ_3 и эксцесса γ_4 [7]. В этом случае моментно-кумулянтное описание случайных величин до шестого порядка при реализации гипотезы H_0 имеет вид:

$$u_1 = 0,\ u_2 = \chi_2,\ u_3 = \gamma_3 \chi_2^{3/2},$$

$$u_4 = \chi_2^2\left(3+\gamma_4\right),\ u_5 = \chi_2^{5/2}\left(10\gamma_3+\gamma_5\right),$$

$$u_6 = \chi_2^3\left(10\gamma_3{}^2+15\gamma_4+\gamma_6+15\right).$$

Начальные моменты наблюдаемой случайной величины при реализации гипотезы H_1 имеют вид:

$$m_{1v} = a_0 e_v \sqrt{q}\sqrt{\chi_2},$$

$$m_{2v} = \chi_2\left(1+qa_0^2e_v^2+qe_v^2\mu_2\right),$$

$$m_{3v} = \chi_2^{3/2}\left(q^{3/2}a_0^3e_v^3+\gamma_3+q^{3/2}e_v^3\beta_3\mu_2^{3/2}+3\sqrt{q}a_0e_v\left(1+qe_v^2\mu_2\right)\right),$$

$$m_{4v} = \chi_2^2\left(3+6qa_0^2e_v^2+q^2a_0^4e_v^4+4\sqrt{q}a_0e_v\gamma_3+\gamma_4+6qe_v^2\mu_2+6q^2a_0^2e_v^4\mu_2+4q^2a_0e_v^4\beta_3\mu_2^{3/2}+q^2e_v^4\mu_2^2\left(3+\beta_4\right)\right),$$

$$m_{5v} = \chi_2^{5/2}\Big(q^{5/2}a_0^5e_v^5+\gamma_5+10q^{3/2}e_v^3\beta_3\mu_2^{3/2}+10q^{5/2}e_v^5\beta_3\mu_2^{5/2}+q^{5/2}e_v^5\beta_5\mu_2^{5/2}+$$
$$10q^{3/2}a_0^3e_v^3\left(1+qe_v^2\mu_2\right)+10\gamma_3\left(1+qe_v^2\mu_2\right)+10qa_0^2e_v^2\left(\gamma_3+q^{2/3}e_v^2\beta_3\mu_2^{3/2}\right)+$$
$$+5\sqrt{q}a_0e_v\left(3+\gamma_4+6qe_v^2\mu_2+q^2e_v^4\mu_2^2\left(3+\beta_4\right)\right)\Big),$$

$$m_{6v} = \chi_2^3\Big(15+15q^2a_0^4e_v^4+q^3a_0^6e_v^6+20q^{3/2}a_0^3e_v^3\gamma_3+10\gamma_3^2+15\gamma_4+15qa_0^2e_v^2\times$$
$$\times\left(3+\gamma_4\right)+6\sqrt{q}a_0e_v\left(10\gamma_3+\gamma_5\right)+\gamma_6+90q^2a_0^2e_v^4\mu_2+15q^3a_0^4e_v^6\mu_2+60q^{3/2}\times$$
$$\times a_0e_v^3\gamma_3\mu_2+15qe_v^2\mu_2\left(3+\gamma_4\right)+60q^2a_0e_v^4\beta_3\mu_2^{3/2}+20q^3a_0^3e_v^6\beta_3\mu_2^{3/2}+q^{3/2}\times$$
$$\times 20e_v^3\beta_3\gamma_3\mu_2^{3/2}+15q^2e_v^4\mu_2^2\left(3+\beta_4\right)+15q^3a_0^2e_v^6\mu_2^2\left(3+\beta_4\right)+6q^3a_0e_v^6\mu_2^{5/2}\times$$
$$\times\left(10\beta_3+\beta_5\right)+q^3e_v^6\mu_2^3\left(15+10\beta_3^2+15\beta_4+\beta_6\right)\Big),$$

где $e_v = r_v\cdot\cos\left(\omega_0 v+\varphi_0\right)$, $q=\dfrac{a^2}{\chi_2}$ – отношение сигнал/шум по мощности.

Рассмотрим построение РП обнаружения радиосигналов при различных значениях степени полинома s. Линейное РП при степени стохастического полинома $s=1$ имеет вид:

$$\Lambda\left(X\right)_{1n} = \sum_{p=1}^{L}\sum_{v=1}^{n}k_{1v}x_{vp}+k_0 \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} 0, \qquad (5)$$

где неизвестный коэффициент k_{1v} находится из системы уравнений (4) и примет вид:

$$k_{1v} = \frac{a_0e_vc\sqrt{q}}{\left(1+c\right)\left(1+c+qe_v^2\mu_2\right)\sqrt{\chi_2}}.$$

Неизвестный коэффициент k_0 для линейного РП (5), согласно (2), имеет вид:

$$k_0 = -L\frac{\sum_{v=1}^{n}\left[k_{1v}a_0e_v\sqrt{q\chi_2}\right]\left(\sum_{v=1}^{n}k_{1v}^2\chi_2\right)^{0,5}}{\left(\sum_{v=1}^{n}k_{1v}^2\chi_2\right)^{0,5}+\left(\sum_{v=1}^{n}k_{1v}^2\chi_2\left(1+qe_v^2\mu_2\right)\right)^{0,5}}.$$

Количество извлекаемой информации из выборочных значении о различении гипотез определяется как

$$I_{1n} = L\sum_{v=1}^{n} \frac{(a_0 e_v)^2 cq}{(1+c)\left(1+c+qe_v^2\mu_2\right)} . \qquad (6)$$

Тогда асимптотические вероятности ошибок первого α и второго β рода линейного РП (5) примут вид:

$$(\alpha+\beta)_{1n} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{I_{1n}}}^{\infty} \exp\left(\frac{-z^2}{2}\right) dz . \qquad (7)$$

Синтезированное линейное РП не учитывает негауссовское распределение помех, так как для описания случайных величин использовались начальные моменты только до второго порядка. Проведем синтез нелинейного РП при степени стохастического полинома $s=2$. В общем случае, согласно (1), РП примет вид:

$$\Lambda(\mathbf{X})_{2n} = \sum_{p=1}^{L}\sum_{\nu=1}^{n} k_{1v} x_{vp} + \sum_{p=1}^{L}\sum_{\nu=1}^{n} k_{2v} x_{vp}^2 + k_0 \underset{H_0}{\overset{H_1}{\gtrless}} 0 , \qquad (8)$$

где неизвестные коэффициенты k_{1v} и k_{2v} находятся из системы уравнений (4) и имеют вид:

$$k_{1v} = \{\sqrt{q} e_v c(\sqrt{q} a_0^2 e_v \gamma_3 (c-3) + \sqrt{q} e_v \gamma_3 \mu_2 (1+c) - 2qa_0^3 e_v^2 (1+qe_v^2\mu_2) -$$

$$-2a_0(1+c+qe_v^2\mu_2))\} / \{\sqrt{\chi_2}(1+c)[(1+c)^2\gamma_3^2 + 4q^{3/2} ca_0 e_v^3 \gamma_3 \mu_2 - 4qca_0^2 \times$$

$$\times e_v^2 (1+qe_v^2\mu_2) - 2(1+c+qe_v^2\mu_2)(1+c+qe_v^2\mu_2(2+qe_v^2\mu_2))\} ,$$

$$k_{2v} = \{\sqrt{q} a_0 ce_v \gamma_3 (1+c) + qca_0^2 e_v^2 (1-c+qe_v^2\mu_2) - qce_v^2\mu_2(1+c+qe_v^2\mu_2)\} /$$

$$/\{\sqrt{\chi_2}(1+c)[(1+c)^2\gamma_3^2 + 4q^{3/2} ca_0 e_v^3 \gamma_3 \mu_2 - 4qca_0^2 e_v^2 (1+qe_v^2\mu_2) -$$

$$-2(1+c+qe_v^2\mu_2)(1+c+qe_v^2\mu_2(2+qe_v^2\mu_2))\} .$$

Количество извлекаемой информации из выборочных значении о различении гипотез определяется как

$$I_1 = L\begin{pmatrix} \sum_{v=1}^{n} k_{1v} a_0 e_v \sqrt{q\chi_2} + \\ + \sum_{v=1}^{n} k_{2v} \chi_2 (qa_0^2 e_v^2 + qe_v^2 \mu_2) \end{pmatrix} . \qquad (9)$$

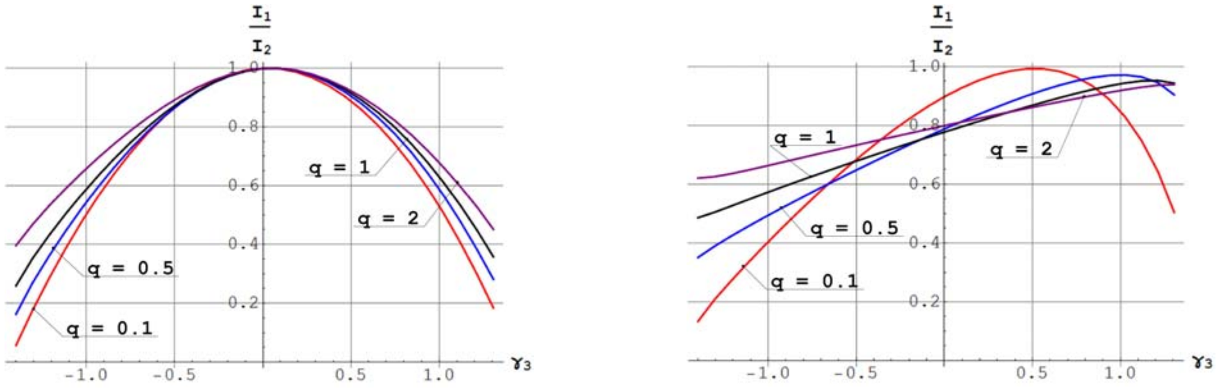
Тогда асимптотические вероятности ощибок первого и вторго рода нелинейного РП (8) примут вид (7) с заменой предела интегрирования на (9):

Полученое нелинейное РП учитывает негауссовский характер помех в виде коэффициентов асимметрии и эксцесса, причем как для аддитивной составляющей, так и для мультипликативной. Анализ эффективности алгоритмов обработки будет приведен ниже. Аналогично были синтезированы нелинейные РП при степени полинома $s=3$.

Анализ результатов исследований

Анализ эффективности синтезированных полиномиальных РП можно проводить, сравнивая значения критериев качества (3) для различных степеней полинома РП, либо сравнивая значения количества извлекаемой информации о различении гипотез. Анализ этих выражений показывает, что их значения зависят не только от параметров отношения сигнал/шум q, мощности мультипликативной составляющей μ_2 помехи, но и от значений, которые характеризуют негауссовость аддитивной и мультипликативной составляющей в виде коэфициентов асимметрии γ_3, β_3 и эксцесса γ_4, β_4 соответсвенно.

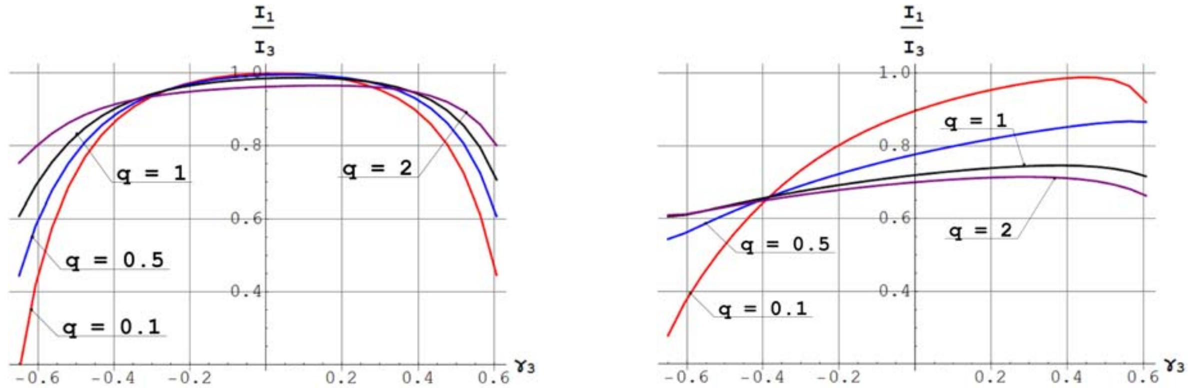
Анализ эффективности синтезированных РП проводился для различных комбинаций типов и видов аддитивной и мультипликативной негауссовской помехи. На рисунках 1, 2 приведены результаты сравнения эффективности линейных и нелинейных РП для негауссовской асимметричной аддитивной составляющей помехи первого типа первого вида, которая характеризуется коэффициентом асимметрии γ_3. Из результатов исследований видно, что с учетом коэффициента асимметрии и увеличением степени полинома РП получаются принципиально новые результаты. Нелинейные РП при степени полинома $s = 2{,}3$ характеризуются большими значениями количества извлекаемой информации из выборочных значений о различении гипотез, следовательно, меньшими значениями вероятностей ошибок первого и второго рода по сравнению с линейными РП при степени полинома $s = 1$, которые являются оптимальными для гауссовских моделей помех. С увеличением учета степени негауссовости, а именно с увеличением коэффициента асимметрии γ_3, вероятности ошибок первого и второго рода нелинейных РП уменьшаются по сравнению с линейными и зависят от параметров аддитивной и мультипликативной составляющей помехи. Например, при степени полинома $s = 2$ и $\gamma_3 = 1$ увеличение количества извлекаемой информации из выборочных значений о различении гипотез составляет от 1.4 до 2 раз в зависимости от параметра q (рис.1.а), что в свою очередь, согласно (7), приведет к уменьшению вероятностей ошибок нелинейных РП.



(а) $\mu_2 = 0{,}1$ (б) $\mu_2 = 2$

Рис. 1. Графики зависимости отношения количества извлекаемой информации из выборочных значений о различении гипотез I_1/I_2 от коэффициента асимметрии γ_3 при $\beta_3 = 1$, $a_0 = 1$.

При дальнейшем увеличении степени полинома РП до $s = 3$ (рис.2) также наблюдается тенденция об увеличении эффективности обработки данных с одновременным сужением области допустимых значений для исследуемого кумулянтного коэффициента γ_3 [7].



(а) $\mu_2 = 0{,}1$ (б) $\mu_2 = 2$

Рис. 2. Графики зависимости отношения количества извлекаемой информации из выборочных значений о различении гипотез I_1/I_3 от коэффициента асимметрии γ_3 при $\beta_3 = 1$, $a_0 = 1$.

Аналогичные результаты увеличения эффективности обнаружения радиосигналов нелинейными полиномиальными РП по сравнению с линейными РП проявляются при учете других кумулянтных коэффициентов высших порядков.

Выводы

Сложность описания негауссовских коррелированных процессов в теории проверки статистических гипотез требуют применения нового подхода к решению задач обнаружения сигналов. Основой такого подхода может являться применение моментного критерия качества асимптотической нормальности для проверки статистических гипотез.

Исследования показали, что на основе моментно-кумулянтного описания случайных величин, использования свойств стохастических полиномов, нелинейной обработки выборочных значений, учете параметров аддитивной и мультипликативной составляющей негауссовской помехи в виде коэффициентов асимметрии и эксцесса, можно увеличить эффективность обнаружения радиосигналов по сравнению с известными результатами, что проявляется в уменьшении вероятностей ошибок первого и второго рода. Например, при значении коэффициента асимметрии $\gamma_3 = 0,6$ для РП при $s = 2$ количество извлекаемой информации увеличивается от 1,2 до 1,4 раз, а при $s = 3$ от 1,3 до 2 раз в зависимости от параметра q. Дальнейшие исследования состоят в изучении влияния степени полинома РП и других параметров помех на эффективность обработки данных.

Список использованных источников

1. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
2. *Van Trees H.L.* Detection, Estimation, and Modulation Theory. Part IV: Optimum Array Processing. — John Wiley, 2002. - 1470 pp.
3. *Tuzlukov V. P.* Signal Processing Noise. – USA, Florida: CRC Press LLC, 2002. – 688 p.
4. *Васильев К.К.* Прием сигналов при мультипликативных помехах. — Саратов: Изд. СГУ, 1983. – 128 с.
5. *Шелухин О.И.* Негауссовские процессы в радиотехнике. – М.: Радио и связь, 1999. – 310 с.
6. *D.Rousseau., G.V.Anand, F. Chapeau-Blondeau.* Noise-enhanced nonlinear detector to improve signal detection in non-Gaussian noise. // IEEE Signal Process. Vol. 86, Issue 11 (2006) 3456-3465.
7. *Kunchenko Y.* Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables. —Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002. — 396 p.
8. *Палагин В.В.* Адаптация моментного критерия качества для многоальтернативной проверки гипотез при спользовании полиномиальных решающих правил. // Электронное моделирование – 2010. – Т.32. №4. – С. 17 – 33.
9. *Палагин В.В., Гончаров А.В., Уманец В.М.* Полиномиальные алгоритмы совместного различения сигналов и оценивания их параметров на фоне асимметричных негауссовых помех. // Международный научно-теоретический журнал «Электронное моделирование». – 2014. – №4. – С. 51–67.
10. *В.В. Палагін, А.В. Гончаров, В.М. Уманець.* Комп'ютерне моделювання поліноміальних алгоритмів розрізнення радіосигналів та оцінювання їх параметрів. // Східно-Європейський журнал передових технологій – Т. 5. - № 9 (71). - 2014. - С. 31-39. - ISSN 1729-3774

Поступила в редакцию 19 мая 2015 г.

УДК 621.37:621.391

В.В. Палагін, д.-р. техн. наук

Черкаський державний технологічний університет,

бул.Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна.

Використання моментного критерію якості для синтезу поліноміальних алгоритмів виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних негаусових завад

Запропоновано моделі та методи обробки випадкових величин для синтезу та аналізу поліноміальних алгоритмів виявлення сигналів на фоні адитивно-мультиплікативних негаусових завад при моментно-кумулянтному описі випадкових процесів. Показано, що нелінійна обробка вибіркових значень і врахування параметрів негаусового розподілу випадкових величин дозволяє підвищити ефективність розвязувальних правил. Бібл. 10, рис. 2.

Ключові слова: *поліноміальні розв'язувальні правила; моментні критерії якості; адитивно-мультиплікативні негаусові завади.*

UDC 621.37:621.391

V. Palahin, Dr.Sc.
Cherkasy State Technological University,
bul.Shevchenko, 460, Cherkassy, 18006, Ukraine.

Use of moment quality criterion for synthesis polynomial algorithms signal detection on background additive and multiplicative non-Gaussian nose

The models and methods for processing of random variables for the synthesis and analysis of polynomial algorithms signal detection on background additive-multiplicative non-Gaussian noise at the moment-cumulant description of random processes are developed. It is shown that the nonlinear processing sample values and taking into account the parameters of non-Gaussian distribution of random variables can improve the efficiency of decision rules. Reference 10, figures 2.

Keywords: *polynomial decision rules; moment quality criterion; additive and multiplicative Non-Gaussian noise.*

References

1. *Levin, B. R.* (1989). Theoretical foundations of statistical radio engineering. 3rd ed., Rev. and add. M .: Radio and Communications. P.656. (Rus)
2. *Van, Trees H. L.* (2002). Detection, Estimation, and Modulation Theory. Part IV: Optimum Array Processing. John Wiley. P.1470.
3. *Tuzlukov, V. P.* (2002). Signal Processing Noise. USA, Florida: CRC Press LLC. P.688.
4. *Vasilyev, K. K.* (1983). Receiving signals with multiplicative noise. Saratov Univ. SGU. P.128. (Rus)
5. *Shelukhin, O. I.* (1999). Non-Gaussian processes in radio engineering. M.: Radio and Communications. P.310. (Rus)
6. *Rousseau, D., Anand, G. V., Chapeau-Blondeau, F.* (2006) Noise-enhanced nonlinear detector to improve signal detection in non-Gaussian noise. IEEE Signal Process. Vol. 86, Issue 11 3456-3465.
7. *Kunchenko, Y.* (2002). Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables. Germany, Aachen: Shaker Verlag. P.396.
8. *Palahin, V.* (2010). Adaptation of the moment multialternative quality criterion for testing hypotheses using polynomial decision rules. Electronic modeling. Vol.32. No4. Pp.17-33. (Rus)
9. *Palahin, V., Goncharov, A., Umanets, V.* (2014). Polynomial algorithms for joint estimation of distinguishing signals and their parameters on the background of asymmetric non-Gaussian noise. International scientific-theoretical journal. Electronic modeling. No.4. Pp.51-67. (Rus)
10. *Palahin, V., Goncharov, A., Umanets, V.* (2014). Computer simulation of polynomial algorithms distinction radiosignals and evaluating their parameters. Eastern European Journal of advanced technologies. Vol. 5. No 9 (71). Pp. 31-39. (Ukr)