

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ НА ФОНІ НЕГАУСОВИХ КОРЕЛЬОВАНИХ ЗАВАД

Смірнов Д.О.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Палагін В.В.

Черкаський державний технологічний університет, каф. РТСК,

м. Черкаси, Україна

e-mail: rits@chdtu.edu.ua

The development of high-quality signal detection systems requires complete information about the type of random processes distributions in communication channels with noise. One of the advanced approaches that allows describe random variables is the use of moment and cumulant description of random processes. The article proposes a synthesis of new cumulant models and methods of signal detection in additive correlated non-Gaussian noise. For this purpose, stochastic polynomials of finite degree are used, the optimal coefficients of which are determined according to the adapted new decision-making quality criterion. The nonlinear processing of signals in non-Gaussian noise can increase the signal processing efficiency compared to traditional Gaussian random process models.

Для розробки систем виявлення сигналів необхідно враховувати випадковий характер щільності розподілу під впливом різноманітних завад. Для розв'язання такої задачі використовуються класичні методи статистичної теорії перевірки гіпотез, які теоретично не обмежують клас розподілів досліджуваних процесів [1]. Використання нормального розподілу випадкових величин набуло широкого поширення на практиці при реалізації систем виявлення сигналів, що унеможлиблює відображення реальних процесів з необхідною точністю. Дія на сигнали різноманітних дестабілізуючих факторів породжують складну сигнально-шумову ситуацію, яка описується неганусовими випадковими процесами [2]. Використання традиційного підходу до дослідження та розробки систем обробки випадкових негаусових корельованих процесів характеризується суттєвими обмеженнями, які пов'язаними зі складністю їх алгоритмічної реалізації [3].

В роботі запропоновано інший підхід, який базується на моментно-кумулянтному описі випадкових процесів [4]. Це значно спрощує їх опис і враховує негаусовий характер щільності розподілу.

Метою роботи є підвищення ефективності систем виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад при використанні моментно-кумулянтних моделей представлення випадкових величин із формуванням моментного критерію якості для перевірки статистичних гіпотез та поліноміальних правил для синтезу ефективних методів і комп'ютерних засобів.

Нехай досліджуваний вхідний сигнал $\xi(t)$ складається з корисного постійного сигналу a та негаусової завади $\eta(t)$ і спостерігається на інтервалі часу $[0, T]$:

$$\xi(t) = a + \eta(t),$$

де $\eta(t)$ - корельована стаціонарна негаусова завада з нульовим математичним сподіванням і дисперсією χ_2 та описується послідовністю одномірних та сумісних (багатовимірних) моментів і кумулянтів [3].

Дискретизований сигнал $\xi(t)$ на інтервалі часу $[0, T]$ запишеться як множина дискретних значень $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в моменти часу t_v для гіпотези H_0 та альтернативи H_1 :

$$H_i: \xi_v = s_v(\alpha_k) + \eta_v(\gamma_k, \chi_{i,j}^{(\tau)}), \quad H_0: \xi_v = \eta_v(\gamma_k, \chi_{i,j}^{(\tau)}), \quad v = \overline{1, n}.$$

де $s_v(\alpha_k)$ – корисний сигнал з параметрами α_k , $\eta_v(\gamma_k, \chi_{i,j}^{(\tau)})$ – негаусова випадкова величина, яка описується параметрами у вигляді сумісних кумулянтів $\chi_{i,j}^{(\tau)}$, $k = \overline{1, \mu}$.

При розв'язанні практичних задач статистичної обробки даних можна використати наближення до логарифму відношення правдоподібності у вигляді стохастичного полінома кінцевого ступеня s [3, 4]:

$$\Lambda_{sn}(\mathbf{X}) = k_0 + \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s k_{iv} x_v^i, \quad (1)$$

де вибір невідомих коефіцієнтів k_0 і k_{iv} проводиться таким чином, щоб врахувати статистичні зв'язки між вибірковими значеннями.

Дослідження показали, що статистичні залежності між випадковими величинами можна розглядати через їх багатовимірні моменти і кумулянти, а невідомі коефіцієнти k_0 і k_{iv} знаходяться з адаптованого моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез [3, 4]

$$Ku(E, G) = \frac{G_0[\gamma] + G_1[\gamma]}{(E_1[\gamma] - E_0[\gamma])^2}, \quad (2)$$

де відмінність функціоналу $Ku(E, G)$ для залежних вибіркових значень полягає в тому, що математичні сподівання і дисперсії РП (1) при гіпотезі і альтернативі мають вигляд:

$$E_{0(sn)} = \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s k_{iv} u_i^{(v)}, \quad E_{1(sn)} = \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s k_{iv} m_i^{(v)},$$

$$G_{r(sn)} = \sum_{v=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s k_{iv} k_{jv} F_{(i,j)}^{(v,k)}(H_r), \quad r = 0, 1,$$

а кореляційні моменти для статистично залежних вибіркових значень описуються виразами через одномірні $u_i^{(v)}$, $m_i^{(v)}$ та двомірні $u_{(i,j)}^{(v,k)}$, $m_{(i,j)}^{(v,k)}$ моменти при гіпотезі та альтернативі.

На основі розроблених математичних моделей негаусових корельованих випадкових величин, моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез з урахуванням кореляційних зав'язків і розробленого

методу виявлення сигналів на фоні негаусових завад синтезовано поліноміальні РП виявлення постійного сигналу на фоні негаусових завад при статистично залежних вибіркових значеннях. Аналіз досліджень показує збільшення точності нелінійної обробки сигналів при степені полінома $s \geq 2$ та врахування параметрів негаусових завад порівняно з лінійною обробкою для РП при $s=1$, яка є оптимальною для гаусових моделей завад при застосуванні класичних методів.

Для оцінки ефективності отриманих результатів скористаємося

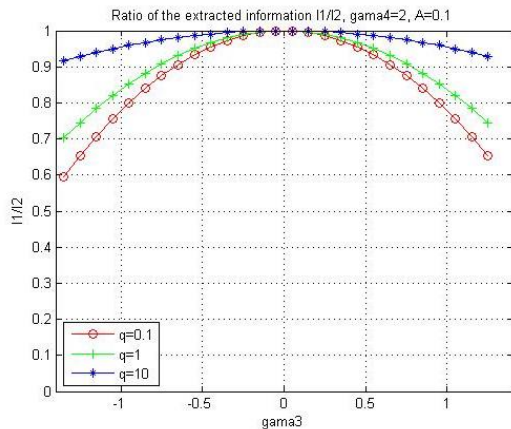


Рис. 1 Залежність кількості добутої інформації про розрізнення гіпотез від коефіцієнта асиметрії γ_3 та ексцесу $\gamma_4=2$ при різних значеннях $q = 0.1; 1; 10$ (відношення сигнал/шум)

поліноміальних розв'язувальних функцій і модифікації моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез отримано новий метод синтезу поліноміальних РП виявлення сигналів на фоні корельованих негаусових завад з кращими характеристиками порівняно з відомими результатами.

виразом, який характеризує ймовірність помилок першого та другого роду отриманих РП, або величиною, яка є зворотна даному функціоналу (2) – кількість добутої інформації про розрізнення гіпотез. На рис.1. наведена залежність відношення кількості добутої інформації I_1 про розрізнення гіпотез РП для гаусової моделі завади ($S=1$) до кількості добутої інформації I_2 ($S=2$) про розрізнення гіпотез РП для негаусової асиметрично-ексцесної моделі завади від коефіцієнта асиметрії γ_3 .

На основі застосування нелінійних

Список використаних джерел:

1. Van Trees, H., Bell, K., Tiany, Z.: Detection Estimation and Modulation Theory. Wiley; 2nd edition, New Jersey (2013).
2. Y.Kunchenko: Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random Variables, Aachen: Shaker Verlag, 2002.
3. Palahina, E., Gamcova, M., Gladisova, I., Gamec, J., Palahin, V.: Signals Detection in Correlated non-Gaussian Noise Using Higher-Order Statistics. Circuits, Systems, and Signal Processing, 37(4), 1704-1723 (2018).
4. D. Smirnov, E. Palahina, V. Palahin. Mathematical Modeling of Signal Detection in Non-Gaussian Correlated Noise // International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering - Proceedings of STUE-2022, Lecture Notes in Networks and Systems - LNNS, volume 536, pp.65-74.