

ДЕТЕКТОР СТОХАСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Бугайов М.В.

*Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Україна**E-mail: karunen@ukr.net*

STOCHASTIC SIGNALS DETECTOR

Robust for signal structure and noise power uncertainty detector for stochastic signal detection and time parameters estimation was proposed. For threshold calculation in given frequency channel detector uses energy estimates of received signal.

Через стрімкий розвиток радіосистем із використанням технології програмно-визначеного радіо з'явилася можливість формувати сигнали практично будь-якої форми [1-2]. Даний факт призводить до ускладнення радіоелектронної обстановки і стимулює теоретичні та практичні дослідження щодо удосконалення методів та алгоритмів виявлення стохастичних сигналів. При невідомій структурі сигналу найбільш доцільно розробляти модифікації енергетичного детектора. Такий підхід забезпечить швидке оцінювання зайнятості частотного каналу для систем когнітивного радіо [3].

Рішення про виявлення сигналу в енергетичному детекторі може прийматися шляхом порівняння кожного відліка енергії прийнятого комплексного сигналу з порогом, значення якого визначається необхідною ймовірністю хибної тривоги P_F . Значення енергії E відліка комплексної суміші x сигналу s та шуму ξ будемо розраховувати за таким виразом:

$$E = x_I^2 + x_Q^2, \quad (1)$$

де $x_I = s_I + \xi_I$ – синфазна складова;

$x_Q = s_Q + \xi_Q$ – квадратурна складова.

Значення E для шуму підпорядковане експоненціальному розподілу щільності ймовірностей (РЩЙ). Тоді поріг для значення ймовірності хибної тривоги P_F розраховується за таким виразом:

$$\gamma = -\sigma_\xi^2 \ln(P_F), \quad (2)$$

де $\sigma_\xi = \sqrt{\sigma_{\xi_I}^2 + \sigma_{\xi_Q}^2} = \sqrt{2}\sigma_{\xi_I} = \sqrt{2}\sigma_{\xi_Q}$ – середньоквадратичне відхилення шуму (СКВ). Причому значення σ_ξ перед початком спостережень невідоме і потребує оцінювання.

У даній роботі рішення про виявлення сигналу запропоновано приймати не за кожним відліком E , а за енергією, що міститься в L відліках відповідно до такого виразу:

$$E_L = \sum_{i=1}^L (x_I^2(i) + x_Q^2(i)). \quad (3)$$

Вибіркові значення енергії E_L будуть підпорядковані гамма-розподілу [4]. Значення порогу γ для E_L можна розрахувати як квантиль гамма-розподілу

рівня $p = 1 - P_F$. Для цього використаємо апроксимацію квантиля гамма-розподілу із використанням розподілу хі-квадрат χ^2 :

$$\gamma_p = \chi_p^2(2(L+1)), \quad (4)$$

де $\chi_p^2(2(L+1))$ – значення квантиля рівня p для розподілу χ^2 з $K = 2(L+1)$ ступенями свободи.

Із використанням апроксимації Вілсона-Хілферті квантилів розподілу χ^2 [5] значення порогу γ можна розрахувати за таким виразом:

$$\gamma = C \left(1 - \frac{2}{9K} + u \sqrt{\frac{2}{9K}} \right)^3, \quad (5)$$

де C – уточнене значення енергії E_L і

$$u = \frac{1,24 + 0,85H^{0,657}}{1 + 0,0001H^{-3} + \frac{2,38}{H}}, \quad H = -0,96 \ln \left(\frac{P_F}{1 - P_F} \right). \quad (6)$$

Значення C розраховується як середнє арифметичне значень енергії E_L для тих інтервалів сигналу, де поріг не перевищено. Там де поріг перевищується значення C не уточнюється.

При аналізі виділеного частотного каналу в момент початку спостереження сигнал у досліджуваному частотному каналі може бути відсутній або присутній. Оскільки рівень шуму невідомий, тому його значення замінюється оцінкою значення енергії в каналі. В такому разі для другого випадку ми зможемо виявити лише закінчення сигналу за ознакою зменшення рівня енергії в каналі. Для великих L (більше 30) РЦЙ значень E_L можна наближено вважати нормальним. Тоді за ознаку закінчення сигналу можна прийняти зменшення СКВ енергії E_L у 6 разів. Це з ймовірністю близько 0,997 свідчитиме про те, що різка зміна енергії в каналі пов'язана саме із закінченням сигналу.

На рис. 1 наведено результати оброблення прийнятих відліків у частотному каналі для випадків, коли сигнал відсутній (а) та присутній (б).

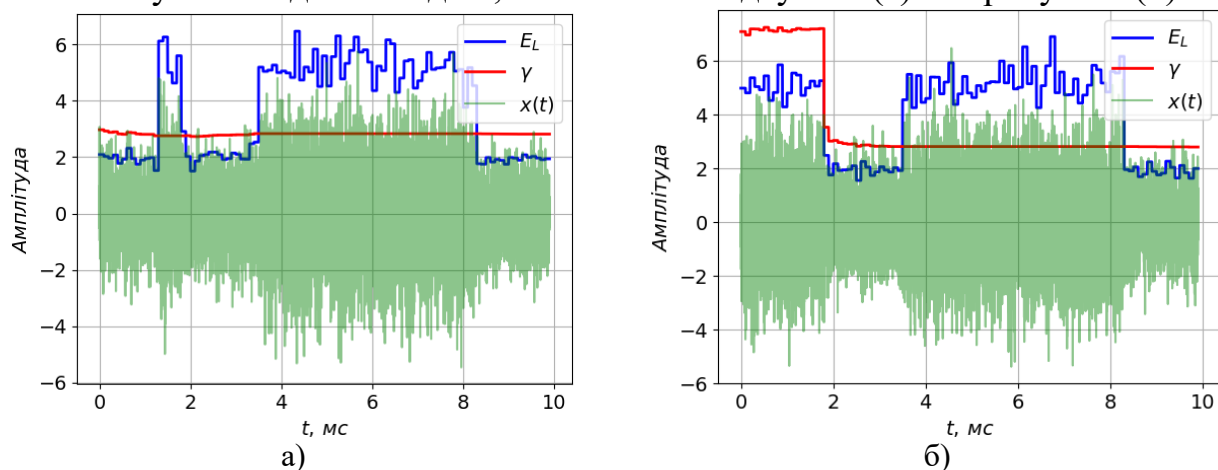


Рис. 1. Оброблення прийнятих відліків у частотному каналі для випадку відсутнього (а) та присутнього (б) на момент початку спостереження сигналу.

Значення ймовірності хибної тривоги складало при цьому $P_F = 10^{-4}$, довжина інтервалу інтегрування $L = 100$, частота дискретизації становила 10 МГц, відношення сигнал-шум складало 2 дБ. Як сигнал використано імпульси з прямокутною обвідною, що заповнені білим гауссівським шумом. З даних рисунків видно, що на початковому етапі роботи детектора значення порогу коливається. Причому дані коливання зменшуються при збільшенні L . Проте вибір великих значень L призведе до погіршення точності оцінювання часу початку та закінчення сигналу.

На рис. 2 наведено криві виявлення для розробленого детектора, що використовує статистику E_L для порівняння з порогом (5) та статистику E для порівняння з порогом (2). Довжина вікна інтегрування при цьому складала 100,

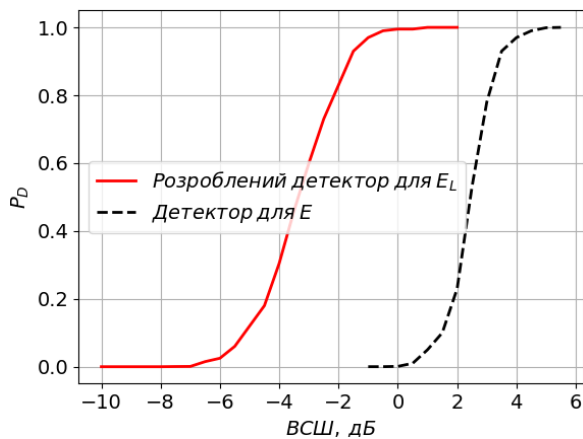


Рис. 2. Криві виявлення для детекторів при $P_F = 10^{-4}$ і $L = 100$

а ймовірність хибної тривоги для обох детекторів була задана на рівні 10^{-4} . Як бачимо, розроблений детектор потребує приблизно на 5 дБ меншого відношення сигнал-шум для забезпечення такої ж ймовірності правильного виявлення P_D що і детектор на основі статистики E . Причому для роботи останнього потужність шуму повинна бути відомою. Уточнення розрахованого значення порогу за відсутності сигналу проводити рекомендовано не постійно,

а протягом деякого інтервалу часу. Після чого накопичене значення скидати і уточнення проводити заново.

Запропонований детектор дозволяє виявляти та визначати часові межі стохастичних сигналів на фоні невідомого і змінного значення потужності шуму. Детектор може бути реалізований в системах когнітивного радіо, автоматичних комплексах радіомоніторингу та інших радіосистемах, де необхідно проводити швидко оцінювання зайнятості частотних каналів. Перспективи подальших досліджень в даному напрямку доцільно зосередити в розробленні алгоритмів уточнення часових меж виявлених сигналів.

Література

1. Liang Y.-C. Dynamic Spectrum Management. From Cognitive Radio to Blockchain and Artificial Intelligence. Springer, 2020. 180 p.
2. Elmasry F. G. Dynamic Spectrum Access Decisions. Local, Distributed, Centralized, and Hybrid Designs. JohnWiley & Sons Ltd., 2021. 728 p.
3. Captain K. M., Joshi M. V. Spectrum Sensing for Cognitive Radio. Fundamentals and Applications. CRC Press. 2022. 256 p.
4. Kay S. M. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Practical Algorithm Development. New York: Prentice Hall, 2013. 475 p.
5. Zar J. H. Approximations for the Percentage Points of the Chi-Squared Distribution. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). Vol. 27, No. 3, 1978. pp. 280-290.