УДК 621.392

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ РОЗПІЗНАВАННЯ ГАУСОВИХ ЗАВАД ЗА ОЗНАКОЮ МОДУЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МІЖПЕРІОДНОГО КОЕФІЦІЄНТА КОРЕЛЯЦІЇ

Сакович А.А., доктор філософії [1]; Цевух І.В., к.т.н., доц.[2]
[1,2]Національний університет «Одеська політехніка»
[1,2]Україна, Одеса
[1]9903025@stud.op.edu.ua; [2]itsevukh@op.edu.ua

Анотація. *Розроблено оптимальний за критерієм максимальної правдоподібності алгоритм розпізнавання класів гаусових завад за ознакою модуля комплексного міжперіодного коефіцієнта кореляції. Для дослідження ефективності розробленого алгоритму використано імовірності хибного і правильного розпізнавання. Наведено результати розрахунків характеристик розпізнавання завад в залежності від обсягу навчальної виборки.*

Ключові слова: *алгоритм розпізнавання; максимальна правдоподібність; завада.*

Вступна частина. Важливою складовою частиною дискретно-адаптивної системи обробки сигналів є класифікатор завадової обстановки [1], структура якого реалізує, у загальному випадку, оптимальний за критерієм максимальної правдоподібності алгоритм, а саме, приймається рішення про приналежність вхідного процесу до одного з M класів завад за результатами аналізу вирішальних функцій, які потребують обчислювання оцінки коваріаційної матриці завади на вході системи [2]. Обчислювальна складність оптимального алгоритму класифікації завадової обстановки обмежує можливості застосування дискретно-адаптивних систем. На практиці часто віддають перевагу пристроям, які не є оптимальними, а використовують більш прості, в обчислювальному плані, алгоритми розпізнавання класів завад що потребують вимірювання та аналізу значень обмеженої кількості інформативних ознак, наприклад, потужності та міжперіодного коефіцієнта кореляції. Якщо оцінка дисперсії/потужності описує енергію процесу в окремі моменти часу, то коефіцієнт кореляції описує часову структуру процесу — те, наскільки тісно пов'язані між собою відліки сигналу в різні моменти часу. З огляду на актуальність цього питання, **метою роботи** є синтез та дослідження алгоритму розпізнавання класів завад за інформативною ознакою модуля комплексного міжперіодного коефіцієнта кореляції.

Основна частина. Для стаціонарного вхідного процесу з гаусовою щільністю розподілу ймовірностей оцінку інформативної ознаки можна одержати за допомогою методу максимальної правдоподібності. Так, оцінка максимальної правдоподібності модуля комплексного міжперіодного коефіцієнта кореляції, що використовує інформацію про інтенсивність вхідного процесу в n елементах дозволу по дальності у двох (першому $m=1$ та другому $m=2$) періодах зондування ($N = 2$) і невідомої потужності завади, має вигляд [3]

$$\hat{r} = \frac{\left|\sum_{i=1}^{n} X_{1i}^{*} X_{2i}\right|}{n\,\hat{\sigma}_{12}^{2}} = \frac{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(X_{1i}^{д} X_{2i}^{д} + X_{1i}^{м} X_{2i}^{м}\right)\right]^{2} + \left[\sum_{i=1}^{n}\left(X_{1i}^{д} X_{2i}^{м} - X_{1i}^{м} X_{2i}^{д}\right)\right]^{2}}}{n\hat{\sigma}_{12}^{2}}, \quad (1)$$

де

$$\hat{\sigma}_{12}^{2} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(|X_{1i}|^{2} + |X_{2i}|^{2}\right)}{2n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(X_{1i}^{д}\right)^{2} + \left(X_{1i}^{м}\right)^{2} + \left(X_{2i}^{д}\right)^{2} + \left(X_{2i}^{м}\right)^{2}\right]}{2n}, \quad (2)$$

$X_{mi}^{д}$, $X_{mi}^{м}$- дійсна та мнима частини елемента вектору вхідного процесу X_{mi} (m=1,2).

Оцінка модуля комплексного коефіцієнта кореляції є асимптотично незміщеною та ефективною. Нижня границя дисперсії оцінки має вигляд $M_2[\hat{r}] = \frac{(1-r^2)^2}{2n}$.

Оптимальний за критерієм максимальної правдоподібності алгоритм розпізнавання двох класів вхідного процесу, з різними коефіцієнтами кореляції $(r_{w_2} > r_{w_1})$ (ω_1 – завада 1, ω_2- завада 2) при $N = 2$ має вигляд

$$\hat{r} \underset{\omega_1}{\overset{\omega_2}{\lessgtr}} C_0, \tag{3}$$

де $\mathrm{C}_0 = \frac{C(1-r_{\omega_1}^2)(1-r_{\omega_2}^2)}{2(r_{\omega_2}-r_{\omega_1}+r_{\omega_1}r_{\omega_2}^2-r_{\omega_2}r_{\omega_1}^2)} - \frac{r_{\omega_1}^2-r_{\omega_2}^2}{r_{\omega_2}-r_{\omega_1}+r_{\omega_1}r_{\omega_2}^2-r_{\omega_1}^2r_{\omega_2}}$; за $\left(\sigma_{w_1}^2 = \sigma_{w_2}^2 = 1\right)$,

або з урахуванням (1)

$$\frac{2\left|\sum_{i=1}^{n} X_{1i}^* X_{2i}\right|}{\left[\sum_{i=1}^{n}|X_{1i}|^2+\sum_{i=1}^{n}|X_{2i}|^2\right]} \underset{\omega_1}{\overset{\omega_2}{\lessgtr}} C_0 \quad . \tag{4}$$

Тобто, оптимальна процедура розпізнавання двох класів завад з нормальною щільністю розподілу імовірностей і різними модулями комплексного коефіцієнта кореляції зводиться до порівняння оцінки максимальної правдоподібності модуля коефіцієнта кореляції з деяким порогом. При цьому, якщо $\hat{r}$ перевищує поріг, то приймається рішення про приналежність вхідного процесу до першого класу, а якщо ні - до другого класу.

Для дослідження ефективності розробленого алгоритму використаємо імовірності хибного P_X та правильного P_Π розпізнавання [4].

Імовірність правильного розпізнавання можна визначити таким чином

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{2(1-r^2)^n}{(n-1)!\,(n-2)!}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{[(n+k-1)!]^2}{(k!)^2}r^{2k}\int_{Z_0}^{1}\hat{r}^{2k+1}(1-\hat{r}^2)^{n-2}d\hat{r} = \\ &= \frac{2(1-r^2)^n}{(n-1)!\,(n-2)!}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{[(n+k-1)!]^2}{(k!)^2}r^{2k}\sum_{i=0}^{k}\frac{(-1)^i}{2(n+i-1)}\binom{k}{i}(1-Z_0)^{n+i-1} \end{aligned} \tag{5}$$

де Z_0 - граничне значення, що визначається виходячи із заданої імовірності хибного розпізнавання, зокрема, при $r_{w_1} = 0$ з виразу

$$Z_0 = \sqrt{1 - P_x^{\frac{1}{n-1}}}. \tag{6}$$

На рисунку 1 наведено результати розрахунків характеристик розпізнавання за формулами (5) і (6). Дані графіки дозволяють оцінити необхідний для досягнення заданої імовірності правильного розпізнавання некорельованого та корельованого процесів об'єм навчальної вибірки n.

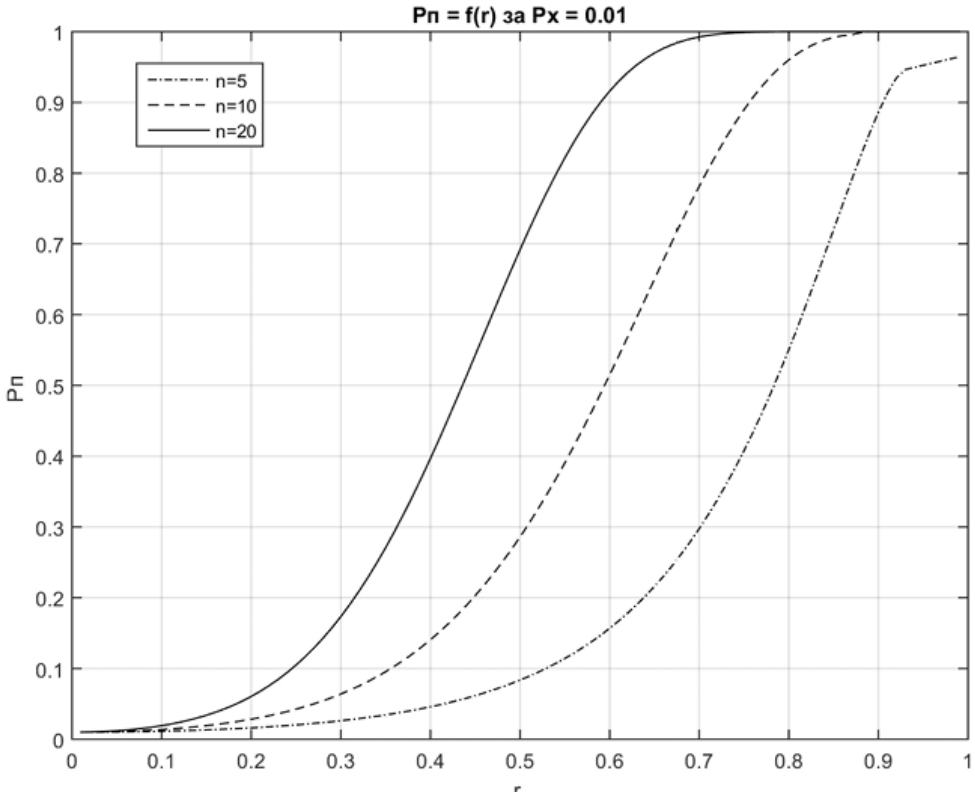


Рисунок 1 – Характеристики розпізнавання за модуля комплексного міжперіодного коефіцієнта кореляції за $P_X=10^{-2}$

Висновки. В роботі синтезовано оптимальний за критерієм максимальної правдоподібності алгоритм розпізнавання двох класів гаусових завад за ознакою модуля комплексного міжперіодного коефіцієнта кореляції. Проведене за отриманими точними математичними виразами для імовірності хибного і правильного розпізнавання дослідження розробленого алгоритму дозволило оцінити необхідний для досягнення заданої ефективності розпізнавання некорельованої та корельованої гаусових завад об'єм навчальної вибірки n.

Використання інструментів ШІ. Інструменти ШІ в роботі не використовувалися.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Цевух, І., Сакович А., Соколов А. (2017) Параметричний синтез дискретно-адаптивної одноканальної за доплерівською частотою системи обробки сигналу в умовах гаусових завад. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*, №4, 291-299, *http://immm.op.edu.ua/files/archive/n4_v7_2017/immm_n4_v7_2017.pdf*

[2] Steven M. (1998) *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory,* Prentice Hall.

[3] Skolnik, M. (2008) *Radar Handbook,* McGraw-Hill.

[4] Richards, M. (2014) *Fundamentals of Radar Signal Processing,* McGraw-Hill Education.

Sakovich A.A., Tsevukh I.V.

Investigation of an Algorithm for Detecting Gaussian Interference Based on the Magnitude of the Complex Inter-Period Correlation Coefficient.

Annotation. *An algorithm for classifying Gaussian interference types has been developed based on the maximum likelihood criterion, utilizing the modulus of the complex inter-period correlation coefficient as a feature. The effectiveness of the proposed algorithm is evaluated using the probabilities of false and correct classification. Results are presented for the interference classification performance characteristics as a function of the training sample size.*

Keywords: *classification algorithm; maximum likelihood; noise.*