УСЕРЕДНЕНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЯВНИКА ГОТЕЛІНГА ПРИ ВИЯВЛЕННІ СИГНАЛУ З НЕВІДОМИМ ДОПЛЕРІВСЬКИМ ЗСУВОМ ЧАСТОТИ

С. К. Єнакі, к. т. н. В. О. Аверочкін

Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
averochkin@yahoo.com

Виявник Готелінга в умовах гаусівських завад з довільними кореляційними властивостями забезпечує стабілізацію рівня хибної тривоги. З огляду на те, що невизначеність стосовно доплерівського зсуву частоти сигналу притаманна більшості систем радіолокаційного визначення, в роботі аналізуються потенційні усереднені характеристики виявлення виявника Готелінга в умовах довільно корельованих гаусівських завад.

Ключові слова: виявник Готелінга, невідомий доплерівський зсув частоти, усереднені характеристики виявлення.

Під час виявлення сигналу з довільним доплерівським зсувом частоти його структура залишається незмінною й одноканальною, оскільки вирішальна статистика виявника Готелінга [1]

$$U^2 = X^T B_X^{-1} X \tag{1}$$

не залежить від сигналу, що виявляється. З огляду на вельми типову для радіолокації ситуацію апріорної невизначеності щодо доплерівського зсуву частоти сигналу, що виявляється, представляє інтерес аналіз усереднених за доплерівським зсувом частоти характеристик виявлення процедури Готелінга.

В роботі проведено порівняльний аналіз усереднених за доплерівськім зсувом частоти сигналу характеристик виявлення багатоканальної процедури Неймана – Пірсона та одноканальної процедури Готелінга при виявленні сигналу з невідомим доплерівським зсувом частоти.

Усереднені характеристики виявлення багатоканальної процедури Неймана – Пірсона розглядалися у [2], де було показано, що в кожному частотному каналі залежно від відповідного набігу доплерівської частоти формується вирішальна статистка виду $z_i(X) = S_i^T B_X^{-1} X$, де S_i — сигнал, що виявляється в *i*-му частотному каналі. Імовірності хибної тривоги та правильного виявлення в цьому випадку визначаються, відповідно, співвідношеннями

$$F = \int_{G_0}^{+\infty} \omega_{1,\,\max\limits_i z_i}(y \mid H_0)\,dy; \qquad D\left[\varphi_0(T)\right] = \int_{G_0}^{+\infty} \omega_{1,\,\max\limits_i z_i}\left[y \mid \varphi_0(T), H_1\right]dy; \tag{2}$$

де G_0 — поріг процедури виявлення; $\omega_{1,\,\max\limits_i z_i}(y \mid H_0)$, $\omega_{1,\,\max\limits_i z_i}\left[y \mid \varphi_0(T), H_1\right]$ — умовні щільності розподілу ймовірностей вирішальної статистики $\max\limits_i z_i$ на виході схеми добору максимуму за відсутності H_0 та наявності H_1 сигналу $S\left[\varphi_0(T)\right]$; $\varphi_0(T)$ — істинне значення невідомого доплерівського набігу фази сигналу за період повторення зондованих імпульсів.

Усереднене за невідомою доплерівською фазою сигналу значення ймовірності правильного виявлення дорівнює

$$D_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} D\left[\varphi_0(T)\right]d\varphi_0. \tag{3}$$

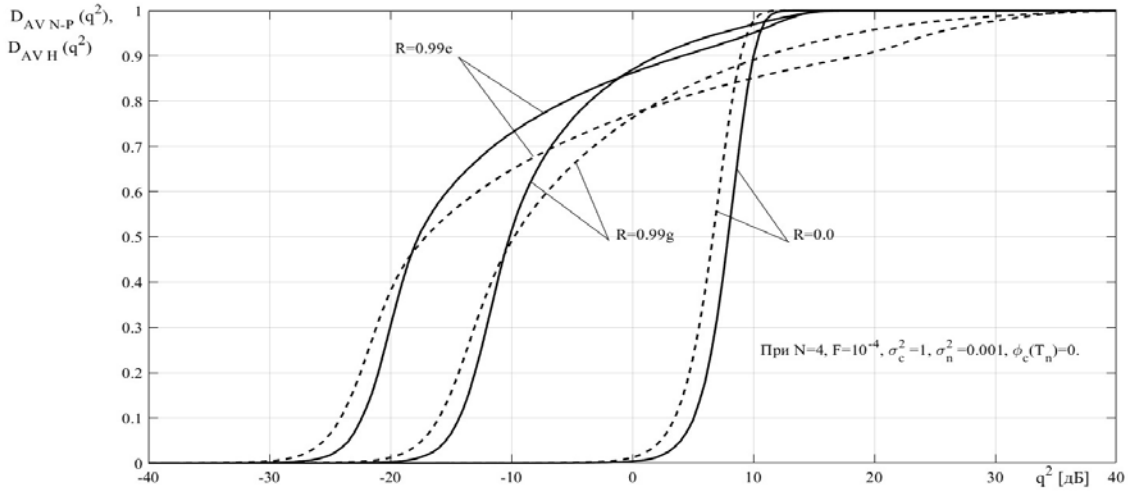
У разі виявника Готелінга, коли вирішальна статистика не залежить від параметрів сигналу, що виявляється, ймовірність хибної тривоги та правильного виявлення визначаються співвідношеннями

$$F = \int_{\Gamma_0}^{+\infty} \omega_{1,U^2}\left(y \mid H_0\right) dy, \qquad D\left[\varphi_0(T)\right] = \int_{\Gamma_0}^{+\infty} \omega_{1,U^2}\left[y \mid \varphi_0(T), H_1\right] dy,$$

де Γ_0 — поріг процедури виявлення; $\omega_{1,U^2}\left(y \mid H_0\right)$, $\omega_{1,U^2}\left[y \mid \varphi_0(T), H_1\right]$ — умовні щільності розподілу ймовірностей вирішальної статистики U^2 за відсутності H_0 та наявності H_1 сигналу $S[\varphi_0(T)]$ наведені в [3]; $\varphi_0(T)$ — істинне значення невідомого доплерівського набігу фази сигналу за період повторення імпульсів що зондуються.

Усереднене за невідомою доплерівською фазою сигналу значення ймовірності правильного виявлення визначається за співвідношенням (3).

З урахуванням викладеного були розраховані наведені на рисунку усереднені характеристики багатоканального виявляча Неймана – Пірсона $D_{AV\,N-P}$ та усереднені характеристики Готелінга $D_{AV\,H}$ для кількості імпульсів, що приймаються, $N = 4$.



Усереднені характеристики виявлення багатоканального виявника Неймана – Пірсона (*пунктирні лінії*) і виявника Готелінга (*суцільні лінії*) умовах некорельованих і нерухомих корельованих завад з гаусівською (g) та експоненціальною (e) формами енергетичного спектра і межперіодним коефіцієнтом кореляції R

З наведених залежностей випливає, що в умовах некорельованих завад ефективність одноканального виявника Готелінга практично співпадає з ефективністтю багатоканального виявника Неймана – Пірсона, а в умовах корельованих завад вона може й перевищувати її.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Anderson T.W. *An introduction to multivariate statistical analysis.* NJ : John Wiley & Sons, 2003.

2. Медведик А. Д., Єнакі С. К., Аверочкін В. О. Потенційні характеристики багатоканального виявника Неймана – Пірсона при виявленні сигналу з невідомим доплерівським зсувом частоти. *Труди 24-ї МНПК «СІЕТ-2023»*, Україна, м. Одеса, 2023, с. 21–22.

3. Єнакі С. К., Аверочкін В. О., Медведик А. Д. Потенційні ймовірнісні та числові характеристики статистики Готелінга, побудованої на основі квадратурних складових довільно корельованого гаусового випадкового процесу. *Труди 24-ї МНПК «СІЕТ-2023»,* Україна, м. Одеса, 2023, с. 17–18.

S. K. Enaki, V. A. Averochkin

Averaged characteristics of the Hoteling detector when detecting signal with an unknown Doppler frequency shift

Using the Hoteling detector in the conditions of Gaussian interference with arbitrary correlation properties allows stabilizing the false alarm level. Given that uncertainty in the Doppler shift of the signal frequency is inherent in most radar detection systems, the report analyzes the potential averaged detection characteristics of the Hoteling detector under conditions of arbitrarily correlated Gaussian interference.

Key words: Hoteling detector, unknown Doppler frequency shift, averaged detection characteristics.