

УДК 621.396.965.81

І.Л. Колодчак, А.Й. Семенюк, О.Є. Чудяк

ДП «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут», м. Львів

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛІ В НЕКОГЕРЕНТНИХ ІМПУЛЬСНИХ РАДАРАХ ГСН МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

Наведена аналітична оцінка виграшу у співвідношенні сигнал/шум при реалізації алгоритму виявлення сигналу від цілі на фоні підстильної поверхні та характерного інтенсивного шуму власного приймача, з використанням статистичної обробки модулів або їх квадратів синтезованої двовірної дискретної сигнальної функції невизначеності комплексної обвідної радіосигналу. Дана також кількісна оцінка виграшу для різних вхідних енергетичних співвідношень.

Ключові слова: алгоритм виявлення сигналу, співвідношення сигнал/шум, комплексна обвідна радіосигналу, функція невизначеності, густина розподілу імовірності, головка самонаведення.

Постановка проблеми

З метою зменшення масогабаритів в імпульсних радарях сучасних головок самонаведення (ГСН) (англ. – seeker) міліметрового діапазону хвиль використовуються твердотільні некогерентні приймально-передавальні модулі з досить значним коефіцієнтом шуму приймального тракту ($K_{ш} = 8 \div 9$ дБ для $\lambda \approx 3$ мм). За таких умов, а також зважаючи на переважно шумоподібний характер відбиття від підстильної поверхні, здійснення виявлення сигналів від цілі із заданими ймовірностями правильного виявлення та хибної тривоги є актуальною та складною проблемою. Як відомо [1], в якості оптимальної процедури виявлення сигналів при некогерентній локації з наступною оцінкою часу затримки та частоти Доплера, які є неенергетичними параметрами, використовується метод оцінки взаємкореляції по часу і частоті комплексних обвідних прийнятого (відбитого від цілі) та опорного (випроміненого) радіосигналу. В результаті після статистичної обробки необхідної кількості радіоімпульсів формується двовірний дискретний сигнальний комплексна функція невизначеності $\Psi(\tau, F)$, максимальне значення модуля якої після порівняння з адаптивним порогом фіксує наявність сигналу та величину його відхилення по шкалах часу затримки та частоти Доплера. Враховуючи велику швидкість руху ракети, початкову апріорну невизначеність місцезнаходження цілі по дальності та кутових координатах, що передбачає потребу в просторовому скануванні антеною, а також можливу багатоканальність радару, реалізація алгоритму виявлення є високодинамічним процесом і вимагає відповідної обчислювальної потужності, що навіть при використанні сучасних спеціалізованих потужних сигнальних мікропроцесорів може бути проблематичним.

Враховуючи це, часто при формуванні функції невизначеності $\Psi(\tau, F)$ обчислюють не модуль $|\Psi(\tau, F)|$, а квадрат її модуля, що дає змогу не виконувати велику кількість операцій вирахування радикала, які, як відомо, є дуже ресурсозатратними [3]. Розмірність матриці взаємкореляції $(1 \times k)$ визначається розрізняючою здатністю та апріорною невизначеністю системи по дальності (l) та по частоті Доплера (k) і може бути значною, наприклад, типово $(1 \times k) = (300 \times 128)$ елементів.

Мета статті

Оцінка величини можливих енергетичних втрат в процесі виявлення цілі в некогерентному імпульсному радарі ГСН міліметрового діапазону за умови, що при реалізації конкретного алгоритму виявлення використовуються не модулі функції невизначеності $|\Psi(\tau, F)|$, а їх квадрати.

Виклад основного матеріалу

Проведемо оцінку енергетичних втрат, що можуть мати місце в цьому випадку. Оскільки зондуючий радіосигнал є вузькосмуговим і на вході приймача він являє собою адитивну суміш гармонійного сигналу та шуму приймача з нормальним законом розподілу, то згідно з [2], маємо

$$p_x \mathcal{U} \stackrel{\sim}{=} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} \right) \cdot \exp \left[\frac{-\mathcal{U} - U_m}{2\sigma_x^2} \right], \quad (1)$$

а на виході приймача, смуга якого узгоджена зі смугою вхідного радіосигналу, для дійсної обвідної сигналу справедливо наступне

$$p_o \mathcal{U} \stackrel{\sim}{=} \left(\frac{U}{\sigma_x^2} \right) \exp \left[\frac{-\mathcal{U}^2 + U_m^2}{2\sigma_x^2} \right] \cdot I_0 \left(\frac{U \cdot U_m}{\sigma_x^2} \right), \quad (2)$$

де $p_x(\underline{U})$ – одновірсна густина ймовірності закону розподілу вхідного процесу U з математичним очікуванням U_m та дисперсією σ_x^2 , який є адитивною сумішшю детермінованого гармонійного сигналу з амплітудою U_m та нормального шуму; $p_o(\underline{U})$ – одновірсна густина ймовірності закону розподілу дійсної обвідної сигналу на виході вузько-смугового тракту приймача; $I_0\left(\frac{U \cdot U_m}{\sigma_x^2}\right)$ – модифікована функція Бесселя нульового індексу.

Зауважимо, що вираз (2) описує відомий в радіотехніці закон розподілу Райса (при $U_m = 0$, тобто при відсутності детермінованого сигналу, він переходить в закон Релея, який описує закон розподілу дійсної обвідної чистого шуму, а при $\frac{U_m}{\sigma_x} \gg 1$ стає близьким до нормального, що описується залежністю (1)).

У випадку, коли замість модуля дійсної обвідної сигналу (тобто модуля функції невизначеності $\Psi(\tau, F)$) використовується квадрат модуля, то, згідно з [2], густина ймовірності $p_y(\underline{U})$ для значення функції $y = f(x)$ від випадкової величини (x) виражається наступним чином

$$p_y(\underline{U}) = p_x(\underline{U}) \cdot \left| \frac{dx}{dy} \right| = p_x(\underline{U}) \cdot \left| \frac{dg(\underline{U})}{dy} \right|,$$

де $x = g(y)$ – функція, обернена до функції $y = f(x)$; $\left| \frac{dg(\underline{U})}{dy} \right|$ – Якоб'ян перетворення.

Якщо функціональний зв'язок між випадковими величинами (x, y) в функції $y = f(x)$ неоднозначний і такий, що є декілька обернених функцій $x_1 = g_1(y), x_2 = g_2(y), \dots, x_n = g_n(y)$, то

$$p_y(y) = \sum_{i=1}^n p_i(x_i) \cdot \left| \frac{dx_i}{dy} \right|,$$

позиак ймовірності несумісних подій додаються.

Оскільки в нашому випадку $y = f(x)$, відповідно $x = g(y) = U = \sqrt{y}$,

а $\frac{dg(y)}{dy} = \frac{dU}{dy} = \left| \frac{1}{2\sqrt{y}} \right|$, то враховуючи те, що

обвідна приймає тільки додатні значення, а вхідний процес описується співвідношенням (2), отримаємо

$$p_o(\underline{U}) = p_o(\underline{U}^2) = \left(\frac{1}{2\sigma_x^2} \right) \cdot \exp\left[-\frac{U + U_m^2}{2\sigma_x^2} \right] \cdot I_0\left(\frac{\sqrt{y} \cdot U_m}{\sigma_x^2} \right), \quad (3)$$

де $p_o(\underline{U}^2)$ – одновірсна густина ймовірності закону розподілу квадрата дійсної обвідної на виході вузько-смугового тракту приймача.

Відповідні математичні очікування та середньоквадратичні відхилення модуля та квадрата модуля дійсної обвідної радіосигналу на виході вузько-смугового тракту визначаються як:

$$m_o(U) = \int_0^\infty U \cdot p_o(U) dU;$$

$$\sigma_o(\underline{U}) = \sqrt{\int_0^\infty (U - m_o(\underline{U}))^2 \cdot p_o(\underline{U}) dU};$$

$$m_o(U^2) = m_o(y) = \int_0^\infty y \cdot p_o(y) dy;$$

$$\sigma_o(\underline{U}^2) = \sqrt{\int_0^\infty (y - m_o(\underline{U}^2))^2 \cdot p_o(\underline{U}^2) dy}.$$

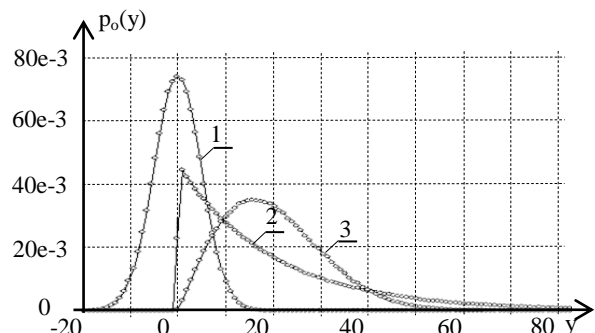
Запишемо вирази для співвідношення сигнал/шум на виході тракту $q_o(\underline{U})$ та $q_o(\underline{U}^2)$:

$$q_o(\underline{U}) = \frac{m_o(\underline{U})}{\sigma_o(U)}; \quad q_o(\underline{U}^2) = \frac{m_o(\underline{U}^2)}{\sigma_o(U^2)}.$$

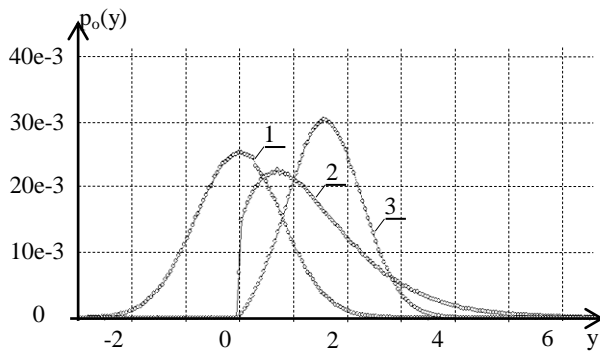
Величину виграшу A обчислимо як

$$A = 20 \log \frac{q_o(U)}{q_o(U^2)}. \quad (4)$$

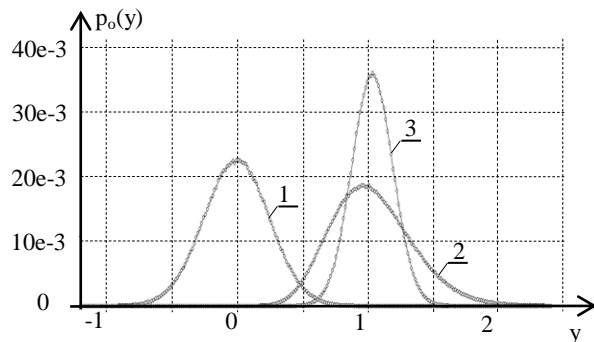
Результати математичного моделювання для різних вхідних співвідношень сигнал/шум наведено на рисунку 1 (а, б, в, г).



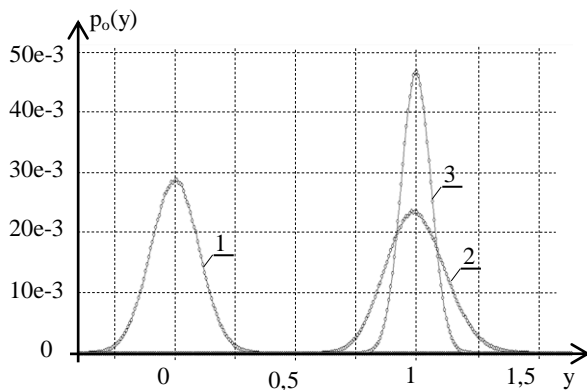
a) $U(t) = U_m \cos \omega t = 1 \cdot \cos \omega t$;
 $m_x = -1,056 \cdot 10^{-3}$; $\sigma_x = 5,002 \cdot 10^0$;
 $m_o(U^2) = 1,996 \cdot 10^1$; $\sigma_o(U^2) = 1,992 \cdot 10^1$;
 $m_o(U) = 3,96 \cdot 10^0$; $\sigma_o(U) = 2,068 \cdot 10^0$;
 $A = 20 \cdot \log [q_o(U)/q_o(U^2)] = +5,52 \text{ дБ}$



$$\begin{aligned}
 \text{б) } U(t) &= U_m \cdot \cos \omega t = 1 \cdot \cos \omega t; \\
 m_x &= -1,689 \cdot 10^{-4}; & \sigma_x &= 8,002 \cdot 10^{-1}; \\
 m_o(U^2) &= 1,475 \cdot 10^0; & \sigma_o(U^2) &= 1,094 \cdot 10^0; \\
 m_o(U) &= 1,128 \cdot 10^0; & \sigma_o(U) &= 4,514 \cdot 10^{-1}; \\
 A &= 20 \cdot \log [q_o(U)/q_o(U^2)] = +5,45 \text{ дБ}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{в) } U(t) &= U_m \cdot \cos \omega t = 1 \cdot \cos \omega t; \\
 m_x &= -5,278 \cdot 10^{-5}; & \sigma_x &= 2,501 \cdot 10^{-1}; \\
 m_o(U^2) &= 1,039 \cdot 10^0; & \sigma_o(U^2) &= 3,103 \cdot 10^{-1}; \\
 m_o(U) &= 1,008 \cdot 10^0; & \sigma_o(U) &= 1,531 \cdot 10^{-1}; \\
 A &= 20 \cdot \log [q_o(U)/q_o(U^2)] = +5,87 \text{ дБ}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{г) } U(t) &= U_m \cdot \cos \omega t = 1 \cdot \cos \omega t; \\
 m_x &= -2,111 \cdot 10^{-5}; & \sigma_x &= 1 \cdot 10^{-1}; \\
 m_o(U^2) &= 9,994 \cdot 10^{-1}; & \sigma_o(U^2) &= 1,23 \cdot 10^{-1}; \\
 m_o(U) &= 9,978 \cdot 10^{-1}; & \sigma_o(U) &= 6,156 \cdot 10^{-2}; \\
 A &= 20 \cdot \log [q_o(U)/q_o(U^2)] = +5,99 \text{ дБ}
 \end{aligned}$$

Рис. 1. Закони розподілу густини ймовірностей, де:
1 – густина ймовірності шуму вхідного процесу (нормальний закон розподілу з параметрами m_x , σ_x);
2 – густина ймовірності «сигнал+шум» вихідного процесу (закон розподілу Райса з параметрами $m_o(U^2)$, $\sigma_o(U^2)$), причому алгоритм виявлення реалізований з використанням квадратів модулів функції невизначеності;

3 – густина ймовірності «сигнал+шум» вихідного процесу (закон розподілу Райса з параметрами $m_o(U)$, $\sigma_o(U)$), причому алгоритм виявлення реалізований з використанням модулів функції невизначеності.

Для більшої наглядності на графіках математичні очікування законів розподілу ймовірності вихідних сигналів ($m_o(U)$ та $m_o(U^2)$) вирівняні, що, очевидно, не впливає на величину виграшу A . При зростанні вхідного співвідношення сигнал/шум закони розподілу обох вихідних процесів прямують до нормального, причому закон розподілу ймовірностей процесу з параметрами $m_o(U)$ та $\sigma_o(U)$ нормалізується значно швидше.

Слід також зауважити, що, як впливає із аналізу форми кривих 2 і 3, для густини розподілу ймовірності вихідних процесів (рисунки 1 а, б, в, г) спостерігається стійка тенденція неоднаковості їх дисперсій, відношення яких і є, власне, величиною виграшу A (вираз (4)).

Висновки

1. При малих співвідношеннях сигнал/шум на вході приймача ($q_x = U_m/\sigma_x < 1$) величина виграшу $A \approx +5,5$ дБ.

2. При великих значеннях співвідношення сигнал/шум на вході приймача ($q_x = U_m/\sigma_x > 10$) величина виграшу $A \approx +6$ дБ.

3. Зауважимо, що в реальних умовах шумоподібний процес, який діє на вході приймального тракту радара, являє собою адитивну суміш ехо-сигналів від цілі, підстильної поверхні (завади) та власного шуму. Оскільки завада такого типу - це також, як правило, хаотичний сигнал, відбитий багатьма елементами підстильної поверхні з різними інтенсивностями та в умовах взаємної інтерференції, можна з допустимою поправкою вважати, що припущення, наведене у формулі (1), а, відповідно, і всі подальші висновки будуть в основному справедливими.

Список літератури

1. В.П.Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов (принципы и приложения), –М., 2007.
2. С.И.Баскаков. Радиотехнические цепи и системы – М., Высшая школа, 1988.
3. Антонюк В.П., Клепфер Є.І., Колодчак І.Л., Мартинів М.С., Семенюк А.Й. Принципи технічної реалізації адаптивної активно-пасивної ГСН 3-мм діапазону хвиль для наведення засобів ураження по наземних цілях. Сборник научных трудов – МРФ '2011, Харьков, 2011, 1 т. – ч.2 – С. 186, ..., 189.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. А.М. Зубков, Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ В НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РАДАРАХ ГСН МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

И.Л. Колодчак, А.И. Семенюк, А.Е. Чудяк

Приведена аналитическая оценка выигрыша в соотношении сигнал/шум при реализации алгоритма обнаружения сигнала от цели на фоне подстилающей поверхности и характерного интенсивного шума собственного приемника, с использованием статистической обработки модулей или их квадратов синтезированной двумерной дискретной сигнальной функции неопределенности комплексной огибающей радиосигнала. Дана также количественная оценка выигрыша для разных входных энергетических соотношений.

Ключевые слова: алгоритм обнаружения сигнала, соотношение сигнал/шум, комплексная огибающая радиосигнала, функция неопределенности, плотность распределения вероятностей, головка самонаведения.

SOME PECULIARITIES OF THE TARGET SIGNAL DETECTION ALGORITHM IMPLEMENTATION IN THE M-BAND TARGET SEEKER INCOHERENT PULSE RADARS

I. Kolodchak, A. Semeniuk, O. Chudiak

The analytical assessment of the signal to noise ratio advantage of the statistical processing of the modulus of envelope in comparison with the square modulus of envelope for the target in clutter and noise signal detection algorithm with using complex envelope sampled ambiguity function was provided. Also the quantitative assessment of the advantage depending on the different input signal to noise ratios was provided.

Key words: signal detection algorithm, signal to noise ratio, complex envelope of radio signal, ambiguity function, probability density function, target seeker.

УДК 347.77/78 (355)

М.Ф. Полторак¹, А.В. Атрохов², О.М. Васильев², В.Б. Звір¹

¹ Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України, Київ

² Департамент військової освіти та науки Міністерства оборони України, Київ

ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ПРАВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті розглянуто зміст понять “об’єкт інтелектуальної власності”, “інтелектуальна власність”, “об’єкт права інтелектуальної власності”, “суб’єкт права інтелектуальної власності”. Проаналізовано особливості видів ліцензій на використання об’єктів права інтелектуальної власності та проблемні питання щодо забезпечення захисту прав інтелектуальної власності у військовій сфері.

Ключові слова: інтелектуальна власність, об’єкт інтелектуальної власності, об’єкт та суб’єкт права інтелектуальної власності, ліцензія на використання об’єкта права інтелектуальної власності.

Актуальність теми

Початок ХХІ століття характеризується стрімким розвитком інноваційних процесів і трансферу технологій, у зв’язку з чим на ринку стає масовою поява наукоємної продукції, яка є об’єктом права інтелектуальної власності, у тому числі і об’єктом права інтелектуальної власності у військовій сфері.

В процесі поширення інноваційних процесів співвідношення між складовими сучасної економіки поступово змінюється таким чином, що сектор

економіки, заснований на споживанні ресурсів, зменшується, а сектор, заснований на залученні інтелектуального капіталу, зростає.

В економіці України історично склалося так, що нематеріальні активи, у тому числі інтелектуальна власність, практично не враховуються ні в собівартості продукції, що випускається, ні в балансовій вартості підприємств (0,5-1,5%, що у 10-15 разів менше, ніж у розвинених країнах). У країнах Європейського союзу інтелектуальні активи промислових підприємств становлять 50-85% у