

Тимошук О.М., Коломієць О.М., Горбань А.В., Дакі О.А.

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЮ ВОДНИХ АКВАТОРІЙ

Наводяться приклади застосування розробленої теорії пасивних радіотехнічних комплексів (ПРТК) для вирішення практичних задач виявлення об'єктів у зонах водних акваторій морської поверхні, річок, великих озер та водосховищ. Цей клас задач є вельми актуальний на сьогодні для України як морської держави.

Ключові слова: пасивні радіотехнічні комплекси, контроль водних акваторій, виявлення, оцінювання параметрів руху

Актуальність. Зважаючи на постійно зростаючий рівень терористичних атак варто врахувати можливість реалізації ПРТК, які б забезпечили високу точність виявлення водних суден у прибережних зонах водних акваторій.

Формулювання мети: необхідно розробити ПРТК виявлення та оцінювання параметрів руху надводних об'єктів у визначеній області акваторій.

Для вирішення поставленого завдання, необхідно вирішити такі завдання:

- виявлення та обчислення кількості надводних об'єктів на поверхні водних акваторій (на прикладі моря);
- визначення координат цих об'єктів в заданому секторі сканування системи.

Вихідні дані: в результаті синтезу радіометричного виявника надводних об'єктів повинні бути досягнуті наступні показники якості:

- ймовірність правильного виявлення не менше 0,99 при ймовірності хибної тривоги 10^{-7} ;
- дальність дії системи: від 150 м до 10 км;
- сектор сканування не менше 60 градусів.

Геометрія задачі показана на рис.1. При дослідження обмежимося розгляданням принципової можливості вирішення задачі радіометричним комплексом.

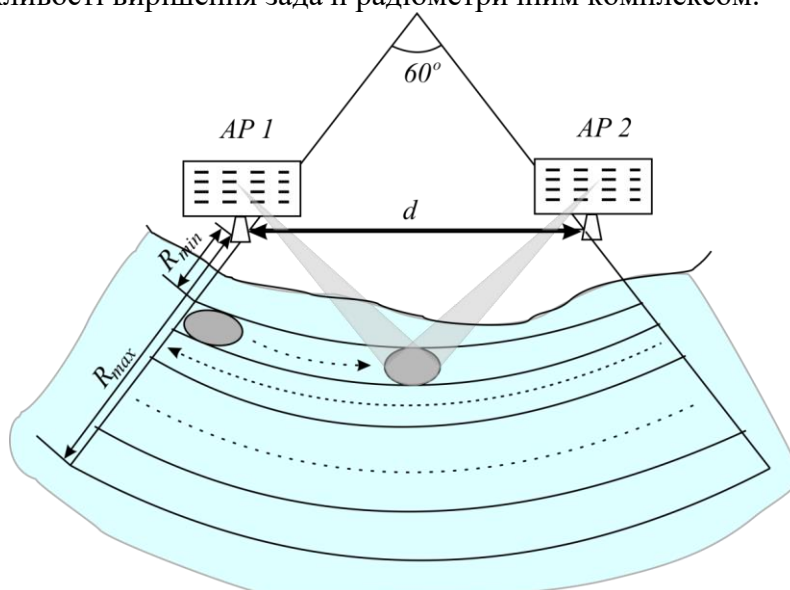


Рис.1. Геометрія задачі

Моделі випромінювання водної поверхні

В якості моделі моря будемо використовувати модель плоскої поверхні

$$T_s^\circ = [1 - |\dot{K}_{f\Gamma(B)}|^2] T^\circ, \quad (1)$$

де T° – термодинамічна температура водної поверхні,

$$\dot{K}_{f\Gamma} = \frac{\sqrt{\dot{\epsilon}_1} \cos \theta_i - \sqrt{\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1 \sin^2 \theta_i}}{\sqrt{\dot{\epsilon}_1} \cos \theta_i + \sqrt{\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1 \sin^2 \theta_i}}, \quad (2)$$

$$\dot{K}_{fB} = \frac{\dot{\epsilon}_2 \cos \theta_i - \sqrt{\dot{\epsilon}_1} \sqrt{\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1 \sin^2 \theta_i}}{\dot{\epsilon}_2 \cos \theta_i + \sqrt{\dot{\epsilon}_1} \sqrt{\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1 \sin^2 \theta_i}} \quad (3)$$

$\dot{K}_{f\Gamma}$ – коефіцієнти відбиття Френеля для коливань плоских хвиль горизонтальної та вертикальної поляризації, $\dot{\epsilon}_1$, $\dot{\epsilon}_2$ – діелектрична проникність першого і другого середовищ, θ_i – кут спостереження.

У тому випадку, коли середовище над поверхнею розділу – повітря ($\dot{\epsilon}_1 = 1$, $\dot{\epsilon}_2 = \dot{\epsilon}$), коефіцієнти відбиття (2) і (3) приймають вигляд

$$\dot{K}_{f\Gamma} = \frac{\cos \theta_i - \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2 \theta_i}}, \quad (4)$$

$$\dot{K}_{fB} = \frac{\dot{\epsilon} \cos \theta_i - \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2 \theta_i}}{\dot{\epsilon} \cos \theta_i + \sqrt{\dot{\epsilon} - \sin^2 \theta_i}}. \quad (5)$$

З аналізу (4) і (5) випливає, що для розрахунку коефіцієнтів Френеля необхідно знати величину комплексної діелектричної проникності. Для прісної води цю величину можна визначити згідно з формулою Дебая

$$\dot{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon'(1 - j \cdot \operatorname{tg} \delta) = \left[\epsilon_0 + \frac{\epsilon_s - \epsilon_0}{1 + (\lambda_s / \lambda)^2} \right] - j \frac{\lambda_s}{\lambda} \cdot \frac{\epsilon_s - \epsilon_0}{1 + (\lambda_s / \lambda)^2}, \quad (6)$$

де ϵ_0 – оптична діелектрична проникність води, ϵ_s – статистична діелектрична проникність води, λ_s – критична довжина хвилі, пов'язана з часом релаксації молекул води, а $\operatorname{tg} \delta = \epsilon'' / \epsilon'$ – тангенс кута втрат.

Параметри ϵ_0 , ϵ_s і λ_s визначаються наступними виразами

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 5,5, \\ \epsilon_s &= 88,2 - 0,40885 \cdot T^\circ + 0,00081 \cdot T^{\circ 2}, \\ \lambda_s &= 1,8735116 - 0,027296 \cdot T^\circ + 0,000136 \cdot T^{\circ 2} + 1,662 \exp(-0,0634 \cdot T^\circ). \end{aligned} \quad (7)$$

Для морських вод, як окремого випадку солоних і солонуватих розчинів, крім температурної залежності, необхідно враховувати також і залежність ε_s і λ_s від значення солоності розчину S_w

$$\begin{aligned}\varepsilon_s(S_w) &= \varepsilon_s - 17,2 \cdot S_w / 60, \\ \lambda_s(S_w) &= \lambda_s - 0,206 \cdot S_w / 60.\end{aligned}\quad (8)$$

Проаналізуємо розміщення двоантенної радіометричної система на різних висотах $h = (2,5 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20)$ м відносно рівня моря. При цьому кути спостереження будуть дорівнювати

$$\begin{aligned}\theta_{\min} &= \arctg(R_{\min}/h) \approx (89,045 \ 88,091 \ 86,186 \ 84,289 \ 82,405) \text{ град}; \\ \theta_{\max} &= \arctg(R_{\max}/h) \approx (89,986 \ 89,971 \ 89,943 \ 89,914 \ 89,885) \text{ град},\end{aligned}\quad (9)$$

а комплексна діелектрична проникність води $\dot{\varepsilon} = 54,146 - j \cdot 28,044$.

Для дослідження виберемо робочу смугу частот $2\Delta f = 4$ ГГц з центральною частотою $f_0 = 10$ ГГц. Розрахуємо параметри для морської води ($S_w = 35\%$) при температурі 20°C на частоті $f = 10$ ГГц (табл. 1).

Як відомо, металеві об'єкти (надводні кораблі, човни) повністю відображають температуру неба, тому в подальших розрахунках застосуємо температуру яскравості об'єкту, рівну 70°K . Тоді з аналізу табл. 1 випливає, що приріст яскравісної температури корабля на тлі моря завжди позитивний по горизонтальній поляризації і може бути позитивним і негативним по вертикальній поляризації. Тому для спрощення процесу розробки системи будемо оброблювати сигнали горизонтальної поляризації.

Таблиця 1

Розрахунки ефективних температур моря на горизонтальній та вертикальній поляризаціях

Висота розміщення системи, м	Кут спостереження θ_i , град.	$T_{\text{вода},G}$, К	$T_{\text{вода},B}$, К	ΔT_{sG} , К	ΔT_{sB} , К
2,5	$\theta_{\min} = 89,045^\circ$	2,435	117,443	67,565	-47,443
	$\theta_{\max} = 89,986^\circ$	0,037	2,233	69,963	67,767
5	$\theta_{\min} = 88,091^\circ$	4,849	189,234	65,151	-119,234
	$\theta_{\max} = 89,971^\circ$	0,073	4,449	69,927	65,551
10	$\theta_{\min} = 86,186^\circ$	9,601	260,253	60,399	-190,253
	$\theta_{\max} = 89,943^\circ$	0,147	8,83	69,853	61,17
15	$\theta_{\min} = 84,289^\circ$	14,245	284,558	55,755	-214,558
	$\theta_{\max} = 89,914^\circ$	0,22	13,145	69,78	56,855
20	$\theta_{\min} = 82,405^\circ$	18,767	288,801	51,233	-218,801
	$\theta_{\max} = 89,885^\circ$	0,293	17,394	69,707	52,606

Визначення параметрів антенної системи

Для визначення положення об'єкта за допомогою двоантенної пасивної радіотехнічної системи, як це визначено у розділі 5, необхідно, щоб об'єкт знаходиться в ближній зоні щодо системи. Це еквівалентно тому, що максимальна дальність дії системи повинна задовольняти наступній умові [9]

$$R_{\max}^2 \leq 0,38 \frac{d^3}{\lambda}, \quad (10)$$

де d – база системи (відстань між антенами), λ – довжина хвилі.

З аналізу вихідних даних і виразу (10) слідує, що мінімальна база системи дорівнює

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{R_{\max}^2 \cdot \lambda_{\max}}{0,38}} \approx 202,5 \text{ м}.$$

Алгоритмічна основа роботи ПРТК

Для виявлення надводного об'єкту (корабля, човна) на тлі води доцільно використовувати наступний вираз

$$Z = \frac{1}{k_B K_0^2 T \Delta f} \int_0^T u_1(t - \tau_0) u_2(t) dt \geq Z_0, \quad (11)$$

де k_B – стала Больцмана, K_0 – коефіцієнт підсилення приймача, T – час інтегрування, $2\Delta f$ – смуга пропускання вхідного тракту приймача, τ_0 – час затримки сигналу, прийнятого першою антеною, відносно сигналу, прийнятого другою антеною, Z_0 – значення порогу.

Коефіцієнт підсилення приймача K_0 визначається до початку роботи системи (під час калібрування)

$$\hat{K}_0^2 = \frac{2}{k_B T \Delta f [T_{hot}^\circ - T_{cold}^\circ]} \int_0^T m(t) u^2(t) dt, \quad (12)$$

де $m(t)$ – меандр, амплітуда якого змінюється від -1 до 1 .

Ймовірності хибної тривоги і правильного виявлення знайдемо наступним чином

$$L(\eta_0) = 0,5 \left[1 - \Phi\left(\eta_0 / \sigma_{\eta(\bar{u}|0)}\right) \right], \quad (13)$$

$$D(\eta_0) = 0,5 \left[1 - \Phi\left(\eta_0 / \sigma_{\eta(\bar{u}|1)} - \mu_e\right) \right], \quad (14)$$

де

$$\Phi(x_0) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad (15)$$

– інтеграл Лапласа,

$$\mu_e = \frac{\Delta T_s^\circ \sqrt{T 2\Delta f}}{\sqrt{(2T_{s_0}^\circ + T_n^\circ)(T_{s_0}^\circ + T_n^\circ)}} \quad (16)$$

– відношення сигнал/шум.

Побудуємо графік залежності ймовірності хибної похибки від порогу (рис. 2) для наступних значень: $T_s^\circ = 20K$, $T_{s_0}^\circ = 70K$, $T_n^\circ = 300K$, $2T\Delta f_r = 2 \cdot 10^6$. Після цього, визначимо величину порога по заданому значенню ймовірності хибної тривоги $L \approx 10^{-7}$. Далі побудуємо криву виявлення для необхідної ймовірності хибної тривоги (рис. 3). З аналізу результатів випливає, що для виявлення надводного об'єкту (корабля) на тлі моря з імовірністю правильного виявлення $D \approx 0,998$ при заданій ймовірності хибної тривоги $L \approx 10^{-7}$ необхідне значення відношення сигнал/шум $\mu_e \approx 8,11$.

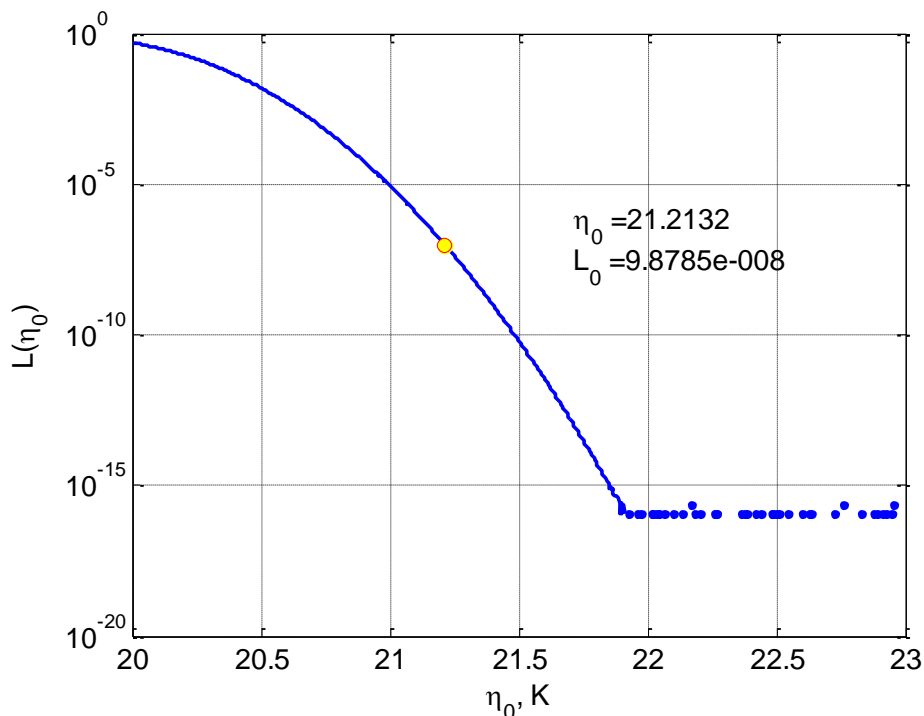


Рис.2. Залежності ймовірності хибної тривоги від величини порога

Вважаючи, що час інтегрування $T = 0,01c$, знайдемо мінімально необхідну смугу пропускання вхідного тракту приймача, яка задовольнить заданому відношенню сигнал/шум

$$2\Delta f \geq \frac{1}{T} \frac{\mu_e (2T_{s_0}^\circ + T_n^\circ)(T_{s_0}^\circ + T_n^\circ)}{(\Delta T_s^\circ)^2} \approx 0,428 \text{ МГц} . \quad (17)$$

Слід зазначити, що попередньо обрана ширина смуги 4 ГГц, повністю задовольняє виразу (17).

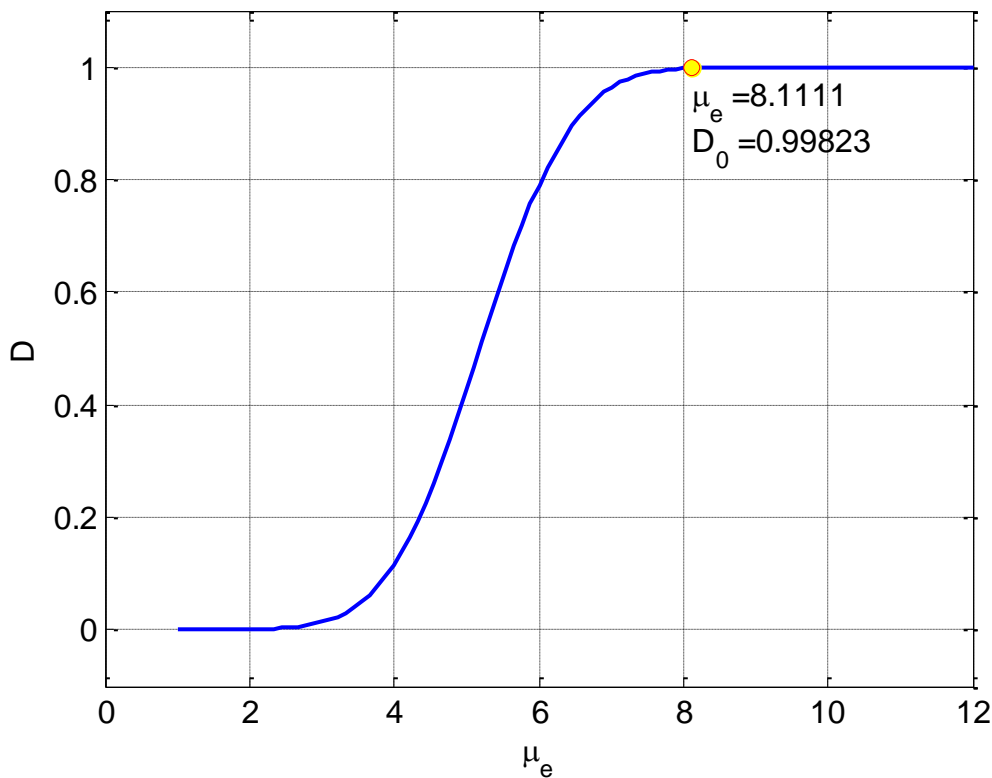


Рис. 3. Крива виявлення для ймовірності хибної тривоги $L \approx 10^{-7}$

Розробка структурної схеми ПРТК

Структурна схема пасивного радіотехнічного комплексу показана на рис. 4. Тут A_1, A_2 – антени радіотехнічного комплексу, G – генератор модулюючої напруги, CS – керований перемикач (Control Switch), Z^{-1} – лінія затримки, CL – лінія зв'язку (Communication Line), \times – помножувач, $\int_0^T dt$ – інтегратор, \lesseqgtr – пороговий пристрій, M – блок пам'яті (Memory).

Розглянемо принцип дії схеми, наведеної на рис. 4 у різних режимах її роботи.

Режим «Калібрування» передбачає визначення коефіцієнта підсилення згідно (17). При цьому центр управління (Control Center) формує сигнал управління першим керованим перемикачем (CS), який відключає від входу приймача антени. Синхронно цей сигнал передається на генератор напруги, що модулює (блок G) для періодично підключення до входу першого каналу гарячого і холодного еталонних джерел з температурами T_{hot} , T_{cold} , відповідно, і на другий перемикач для подачі сигналу після лінійної частини приймача (ЛЧП) на квадратичний детектор. Шуми "гарячого" і "холодного" джерела проходять детекторні частина приймача з частотної характеристикою $\dot{K}(j2\pi f)$, де змішуються з внутрішніми шумами $n(t)$ і підсилюються у K_0 разів. Після квадратичного детектора, сигнали послідовно проходять синхронний детектор, інтегратор і підсилюються у $2[k_B T \Delta F (T_{hot}^\circ - T_{cold}^\circ)]^{-1}$ разів.

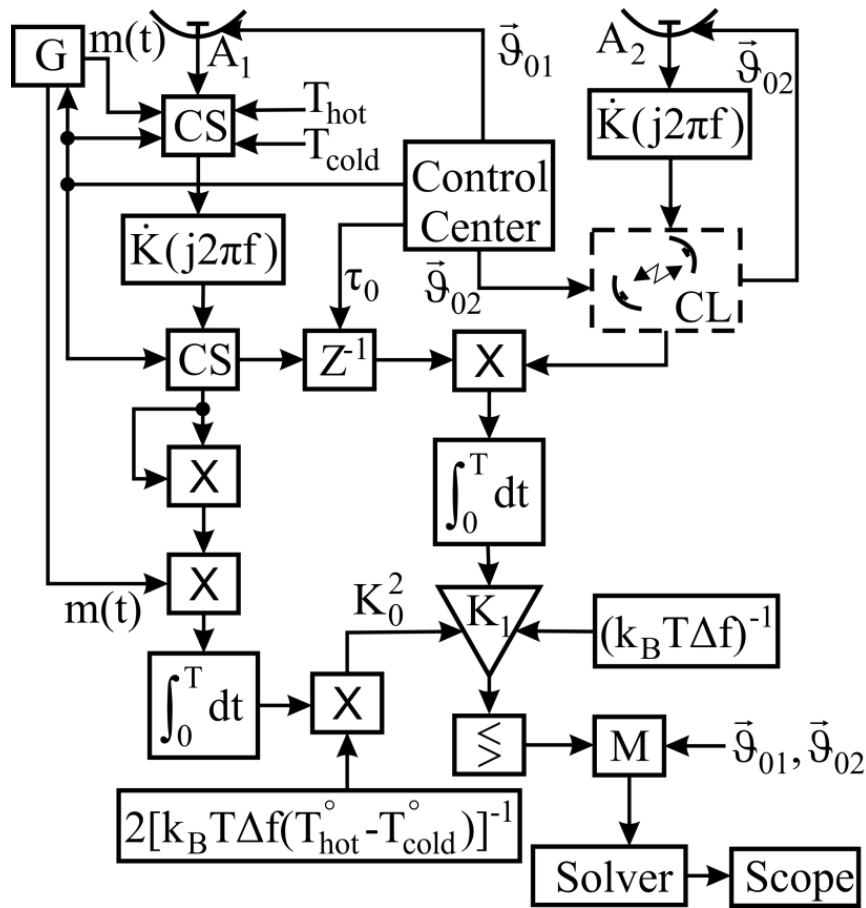


Рис. 4. Структурна схема виявлювача

Режим «виявлення» і «оцінювання координат» слідує за режимом калібрування і є основним режимом роботи радіотехнічної системи. Центр управління подає сигнали управління першим і другим перемикачами для підключення антен до входу приймача і формує сигнал керування напрямком першої антени \vec{g}_{01} . Сигнал після ЛЧП проходить лінію затримки (Z^{-1}) і надходить на блок перемноження. Лінія затримки налаштовується сигналом, отриманим з центру управління згідно наступного виразу

$$\tau_0 = (O_1 S - O_2 S) c^{-1}, \quad (18)$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження радіохвиль.

Центр управління формує і сигнали управління напрямком антени \vec{g}_{02} згідно формули

$$\vec{g}_{02} = \overline{O_2 S} / |\overline{O_2 S}|. \quad (19)$$

Друга антена отримує сигнал управління від центру управління через лінію зв'язку (Communication Line). Сигнал на виході ЛЧП другого каналу передається через лінію зв'язку на другий вхід блоку множення. Далі сигнал проходить інтегратор, підсилюється в K_1 і $(K_0^2 k_B T \Delta f)^{-1}$ разів і надходить до порогового пристрою. В пороговому пристрої здійснюється порівняння величини Z з порогом для встановлення факту наявності чи відсутності об'єкта на ділянці, де перехрещуються діаграми спрямованості. Результат виявлення буде зберігатися в блоці пам'яті (Memory) разом зі значеннями напрямків антен і

подається в обчислювальну машину для визначення координат виявлених об'єктів і побудови карти, яку показується в індикаторі (Scope). Координати об'єкта в Декартовій системі O_1xyz визначаються згідно наступної формули: $(x_{S(O_1)}, y_{S(O_1)}, z_{S(O_1)}) = -h/\vartheta_{01z} (\vartheta_{01x}, \vartheta_{01y}, \vartheta_{01z})$.

Результати імітаційного моделювання

Проведемо імітаційне моделювання роботи схеми ПРТК, показаної на рис. 5.

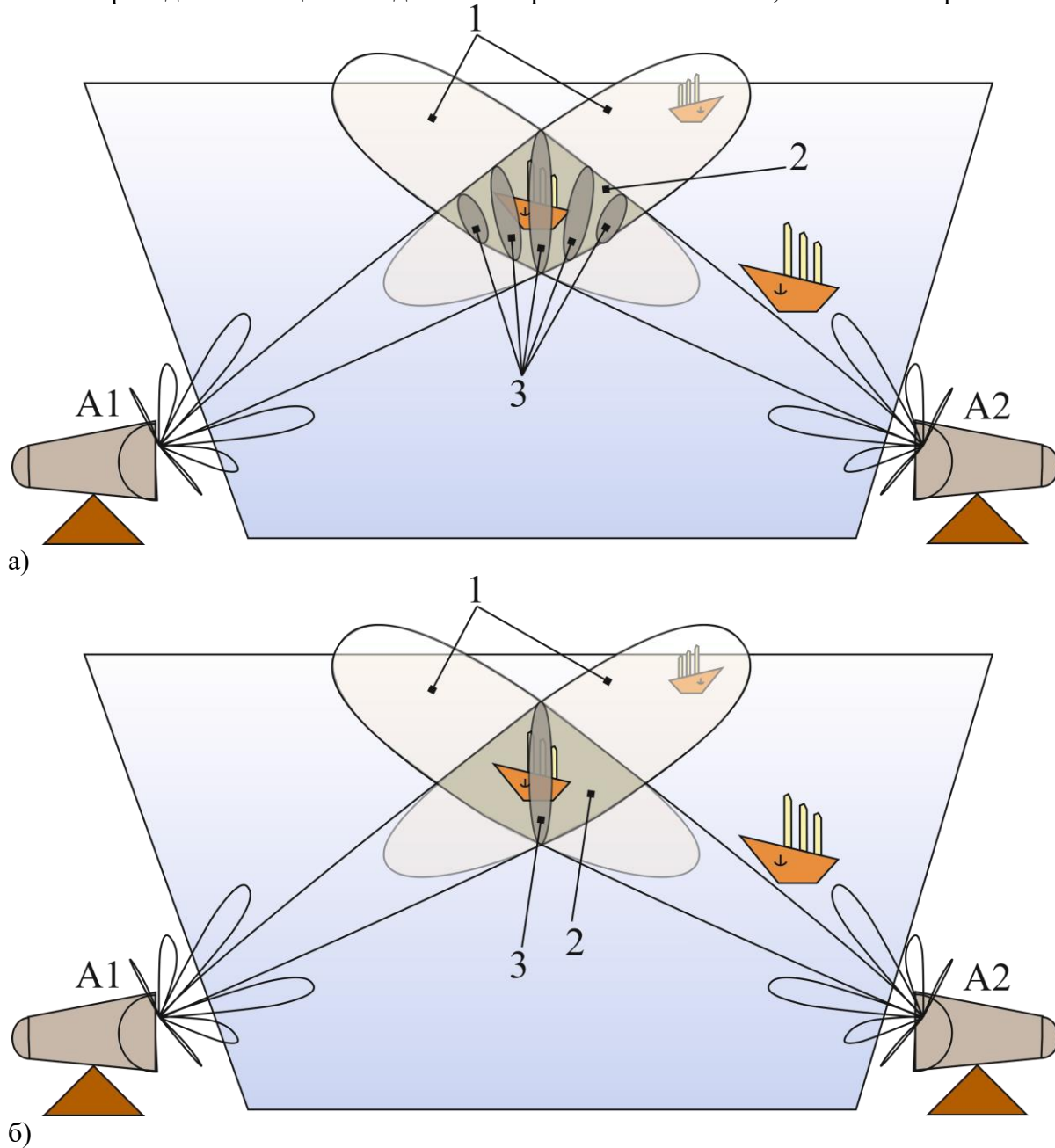


Рис.5. Геометрія імітаційного моделювання: вузькосмугова ПРТК – а); надширокосмугова ПРТК – б)

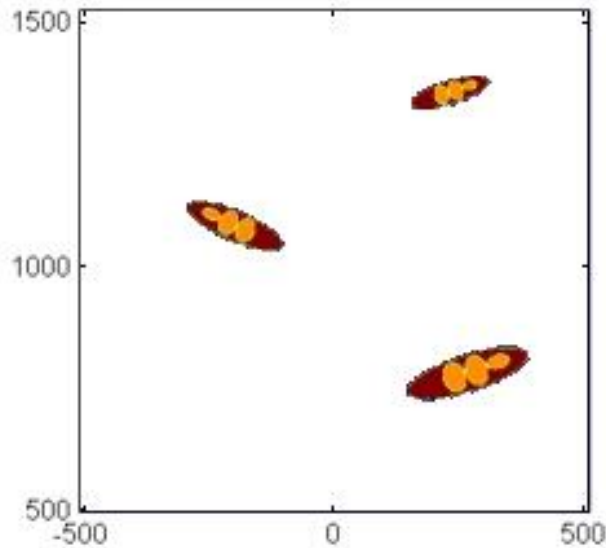
На рис. 5 введено наступні позначення: A1, A2 – антени решітки; область 1 – область пересічення ДС з підстильною поверхнею (акваторією) з якої надходить сигнал у кожен з антен; область 2 – область пересічення діаграм спрямованості обох антен; область 3 – область високої кореляції (сигнали, які надходять на обидві антени з області 3 корелюють між собою з коефіцієнтом кореляції більш як 0,5).

З аналізу рис. 5 витікає, що область високої кореляції у випадку обробки вузькосмугових сигналів багатозначна (див. рис. 5.а) і не дозволить однозначно визначити

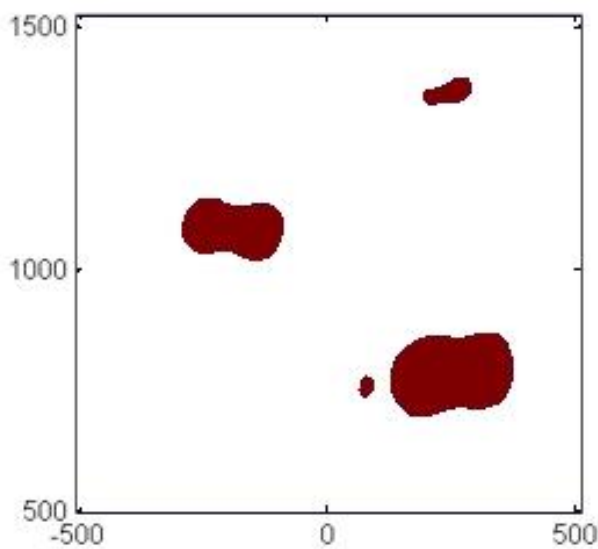
положення об'єкту. У той же час, обробка НШС значно звужує область високої кореляції (див. рис. 5.б), що дозволяє провести однозначні вимірювання.

На рис. 6 показано результати моделювання, яке містить результати наступних досліджень:

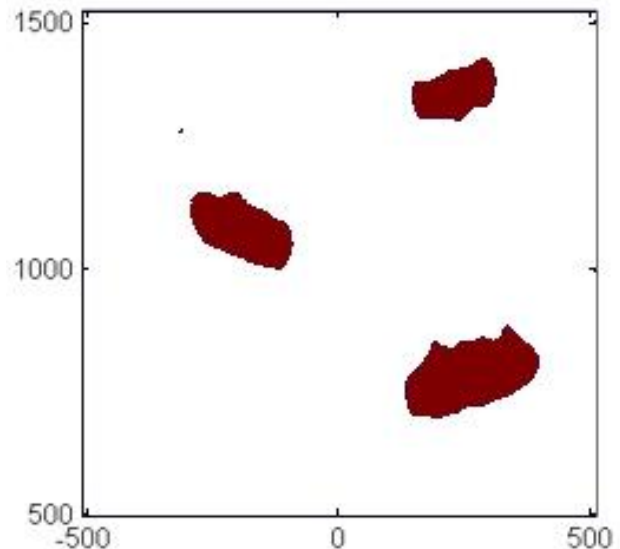
- моделювання алгоритму виявлення;
- моделювання алгоритму визначення координат (замінено прив'язуванням алгоритму до карти місцевості в координатах дальностей відносно фазового центру ПРТК).



а)



б)



в)

Рис. 6. Істинне розміщення водного транспорту –а), карта розміщення об'єктів, отримана з використанням вузько смугової радіометричної системи – б) і карта розміщення об'єктів, отримана з використанням надширокосмугової радіометричної системи – в)

На рис. 6.а показана карта істинного розміщення надводних об'єктів. На рис. 6.б – результат моделювання виявлення та оцінювання координат при використанні вузькосмугової ПРСТ ($2\Delta f = 0,3$ ГГц, задовольняє умові (17), а на рис. 6.в – при використанні надширокосмугової ПРТК. При моделюванні вважалося, що час спостереження кожного елементу розрізнення

З аналізу рис. 6 слідує, що використання вузькосмугової ПРТК призводить до нявності хибних об'єктів – невеликий об'єкт розпізнано безпосередньо біля найбільшого об'єкту.

Фізично це пояснюється тим, що ФН вузькосмугових ПРТК є багатопелюсткові, а багатопелюстковість породжує хибні максимуми на зображенні. Використання ж надширокосмугової ПРТК (див. рис. 6.в) позбавляє хибних виявлень. Це пояснюється суттєво більшим усередненням незалежних відліків (розширення смуги збільшує число незалежних відліків у часовій області).

На рис. 7 наведено результати вимірювання кількості виявлених об'єктів при використанні вузькосмугової ПРТК (при використанні НШС ПРТК багатопелюстковість ФН не спостерігається, тому для них не досліджена частота «фантомів»). На рис. 6 введено наступні позначення осей: $N_{targets}$ – кількість виявлених цілей; n – частота повторення результату експерименту. При проведенні моделювання проведено 1000 імітацій експерименту. Реальна кількість надводних об'єктів – 3.

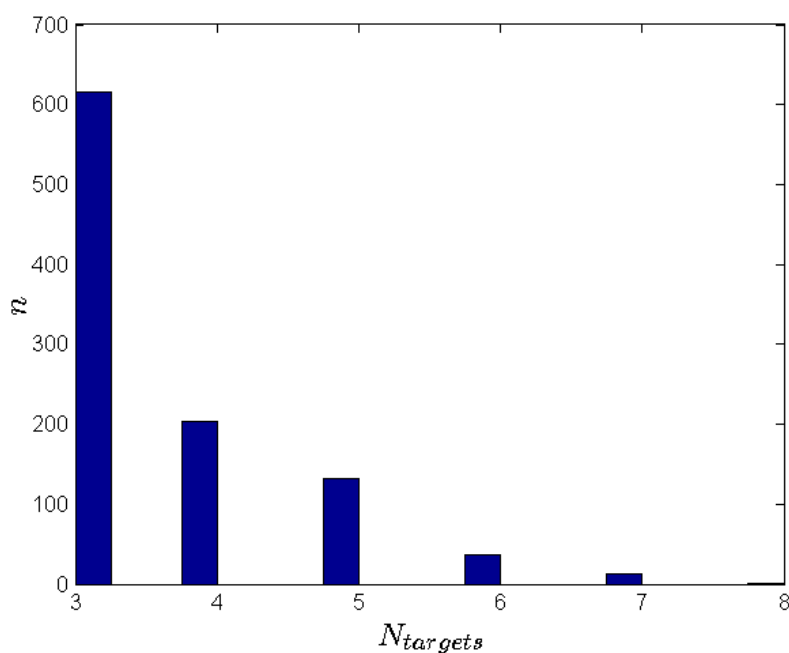


Рис.7. Частота n визначення кількості $N_{targets}$ цілей при проведенні 1000 імітаційних експериментів (істинне значення $N_{targets} = 3$) з використанням вузькосмугової ПРТК

Ймовірність появи хибних об'єктів – «фантомів» можна зменшити за рахунок усереднення карт водних акваторій з об'єктами, які побудовані на суміжних оглядах визначеного простору. Проте метод не доцільно використовувати у якості основного при зменшенні ймовірності появи «фантомів», так як він потребує значного часу. Пропонується дослідити основні ознаки «фантомів» і використати їх для наступної фільтрації. Серед таких ознак виділяємо наступні:

- «фантом» з'являється поблизу реального об'єкту, що визначається причиною його утворення – багатопелюстковістю ФН вузькосмугових ПРТК. Близькість при цьому визначається відповідно до розміру самого хибного об'єкту;
- розміри фантому (у переважній більшості випадків) не перевищують третьої частини меж основного об'єкту.

Враховуючи ці ознаки (розробка відповідного методу «ознак» і його реалізацію Software) проведено серію з 1000 імітаційних експериментів. Результати цих експериментів оброблено аналогічно результатам, які склали основу рис. 7, та показано на рис. 8.

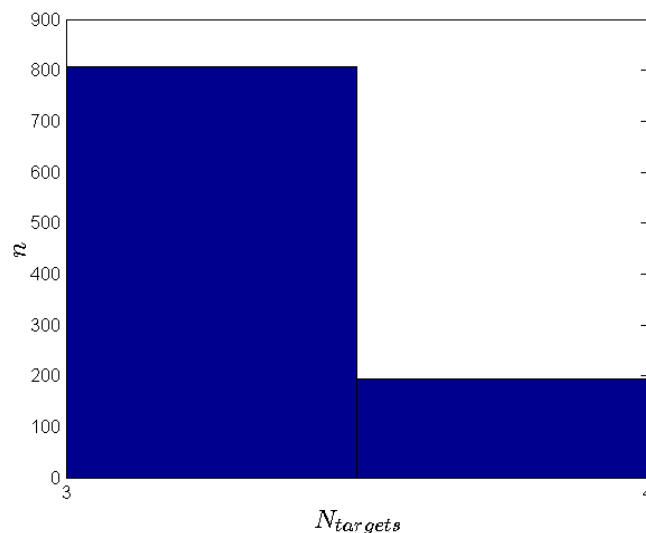


Рис.8. Частота n визначення кількості $N_{targets}$ цілей при проведенні 1000 імітаційних експериментів (істинне значення $N_{targets} = 3$) з використанням вузькосмугової ПРТК (застосовано програмне коригування карт)

З аналізу рис.8 слідує, що програмним способом вдалося видалити значну кількість (майже 50%) «фантомів». Проте повністю позбутися цього ефекту не вдалося. Доцільно використати подвійну обробку методами «ознак» та усереднення карт, отриманих на суміжних інтервалах спостереження. На рис. 9 наведено результати імітаційного моделювання з наступним застосуванням обох методів.

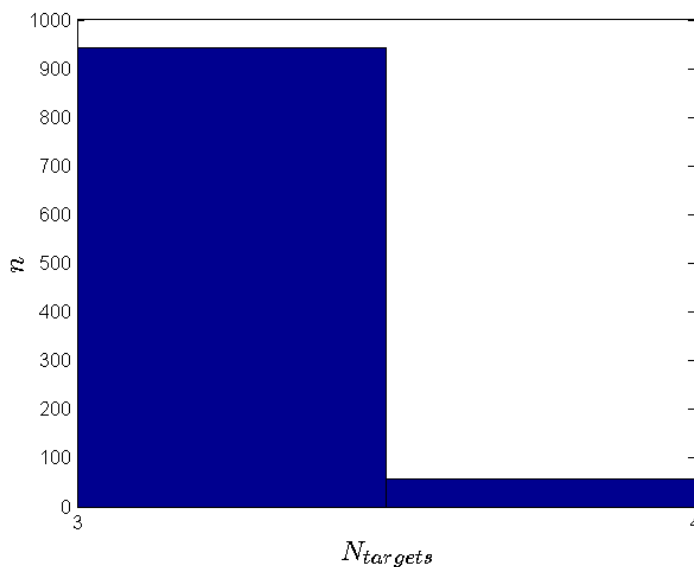


Рис.9. Частота n визначення кількості $N_{targets}$ цілей при проведенні 1000 імітаційних експериментів (істинне значення $N_{targets} = 3$) з використанням вузькосмугової ПРТК

З аналізу рис. 7–9 слідує, що застосування обох вказаних методів дозволяє зменшити імовірність виникнення хибних об'єктів у більш як 6 разів.

Висновки

Загалом, з аналізу цих та інших результатів моделювання можна зробити наступні висновки:

– реалізація ПРТК контролю водного транспорту у акваторіях має цілком явне фізичне підґрунтя. Проведений аналіз вказує на те, що такі системи повинні обробляти сигнали вертикальної поляризації, так як при цьому спостерігається максимальний контраст «метал-вода» (метал при цьому перевідбиває ефективну температуру неба);

– для вирішення задачі достовірного виявлення достатньо не надто широкої смуги пропускання – див. умову (17), проте ця умова не є достатньою для однозначного визначення положення об'єкту. Зокрема, багатопелюстковість ФН призводить до появи «фантомів» у безпосередній близькості до реальних об'єктів. Вочевидь, такі об'єкти будуть з'являтися на різних картах у різних місцях і при усередненні не будуть продетектовані, але при малому часі спостереження це не завжди зручно;

– для зменшення кількості «фантомів» запропоновано використати метод «ознак» разом з методом усереднення карт, які зформовано на сусідніх інтервалах часу. Застосування лише одного методу «ознак» дає зниження помилкового виявлення об'єктів лише у 2 рази. Застосування ж обох методів зменшує кількість помилок у 6 разів;

– перехід до обробки НШС сигналів у ПРТК дозволяє отримати достатнє усереднення і ймовірність появи «фантомів» суттєво зменшується, що демонструється результатами моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vu Ta, Кыонг. Оптимальное обнаружение в заданной зоне обзора пространственно-протяженного источника радиотеплового излучения / Кыонг Vu Та, Е. Н. Тимощук // Прикладная радиоэлектроника. – 2015. – Т. 14, № 2. – С. 151–155.
2. Синтез оптимального обнаружителя в многоантенной радиометрической системе / В. К. Волосяк, Кыонг Vu Та, Е. Н. Тимощук, С. С. Жила // Радиотехника : Всеукр. межвед. научно-техн. сб. – Харьков, 2015. – Вып. 182. – С. 5–12.
3. Волосяк, В. К. Математическая формализация основных понятий и определений для решения задач пространственно-временной обработки сверхширокополосных сигналов / В. К. Волосяк, В. В. Павликов, Е. Н. Тимощук // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. / Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава, 2015. – Вип. 2 (34). – С. 32–38.
4. Tymoshchuk, O. M. Mathematical Models of Stochastic Radiothermal Signals / O. M. Тимощук // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2016. – № 5 (102). – С. 65–72.
5. Тимощук О. М. Структурний синтез надширококуткового радіометричного комплексу контролю прибережних акваторій / О.М. Тимощук // Водний транспорт. – 2016. – Вип. 2(25). – С.107–112.
6. Тимощук, Е. Н. Синтез оптимального алгоритма оценки радиометрических изображений в радиометрических комплексах / Е. Н. Тимощук, В. В. Павликов, Нгуен Ван Киём // Новітні технології. – 2016. – № 2 (2). – С. 68–74.
7. Optimal algorithm for 3D imaging of spatially extended object / V. K. Volosyuk, V. V. Pavlikov, Vu Ta Cuong, O. M. Tymoshchuk // X Anniversary International Conference on Antenna Theory and Techniques ICATT'2015 : proceedings, April 21–24, 2015, Kharkiv, Ukraine. – Kharkiv, 2015. – P. 182–184.
8. Cuong, Vu Ta. Optimal Detection of Elements of Spatially Extended Object at the Intersection of Antenna Patterns of Passive Two-Element Radiointerferometer / Cuong Vu Ta, S. S. Zhyla, O. M. Tymoshchuk // International Young Scientists Forum on Applied Physics (YSF'2015) : proceedings, Sept. 29 – Oct. 2, 2015. – Dnipropetrovsk, 2015. – RAA-7.
9. Рытов, С. М. Корреляционная теория электрических флуктуаций и теплового излучения / С. М. Рытов // Успехи физических наук. – 1957. – Т. 63, вып. 4. – С. 657–672.

Тимошук А.Н., Коломиец О.Н., Горбань А.В., Даки Е.А.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПАССИВНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ КОМПЛЕКСОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ

Приводятся примеры применения разработанной теории пассивных радиотехнических комплексов (ПРТК) для решения практических задач обнаружения объектов в зонах водных акваторий морской поверхности, рек, больших озер и водохранилищ. Этот класс задач весьма актуальной сегодня для Украины как морской державы.

Ключевые слова: пассивные радиотехнические комплексы, контроль водных акваторий, выявления, оценки параметров движения

Timoshchuk O.M., Kolomiets O.M., Gorban A.V., Daki O.A.

APPLIED ASPECTS OF APPLICATION OF PASSIVE RADIO ENGINEERING COMPLEXES TO SOLVING THE WATER AQUATIC CONTROL PROBLEM

Examples of application of the developed theory of passive radio engineering complexes (PRTK) for solving practical tasks of detecting objects in the zones of water areas of the sea surface, rivers, large lakes and reservoirs are given. This class of tasks is very relevant today for Ukraine as a maritime state.

Key words: passive radio engineering complexes, control of water areas, detection, estimation of parameters of motion

Рецензент: д.т.н., профессор Богомья В.І., ПВНЗ УНТ