

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

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ НАДШИРОКОСМУГОВОГО РАДІОМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ КОНТРОЛЮ ПРИБЕРЕЖНИХ АКВАТОРІЙ

Вирішена задача структурного синтезу радіометричного комплексу контролю прибережних акваторій. Імітаційним моделюванням досліджуються ймовірності виявлення надводних об'єктів у заданій зоні огляду. Порівняльним шляхом обґрунтовується доцільність обробки надширокосмугових сигналів. Розробляється методика зменшення імовірності хибного виявлення об'єктів.

Ключові слова: радіометричний комплекс, структурний синтез, прибережні акваторії, імітаційне моделювання, надводні об'єкти, надширокосмугові сигнали.

Постановка проблеми. Сучасні досягнення теорії щодо синтезу та аналізу пасивних радіотехнічних комплексів є достатньо розвинутими і можуть бути покладені в основу структурного синтезу систем контролю прибережних акваторій. Для вирішення цієї важливої наукової задачі необхідно розробити радіометричну систему виявлення та оцінювання параметрів руху надводних об'єктів у визначеній області акваторій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чимало вітчизняних та зарубіжних науковців приділяло увагу питанню сучасної теорії ПРТК. Серед них Єсепкіна Н.О., Королькова Д.В., Парійський Ю.М., К. Ван Схонвелд, Томпсон А.Р., Уилсон Т. та ін. Слід зазначити, що підґрунтям для цих робіт стали статті Мартіна Райла, у яких описано метод пасивного синтезу та його практичну реалізацію.

Мета дослідження. Розробити радіометричну систему виявлення та оцінювання параметрів руху надводних об'єктів у визначеній області акваторій.

Основні результати дослідження. Постійний контроль прибережних зон річкових та морських акваторій є важливою складовою комплексної системи ефективної протидії різним видам порушень. Наразі до складу таких комплексів входять гідроакустичні, радіолокаційні, оптико-електронні, магнітометричні, сейсмічні та інші системи. При цьому чільне місце серед таких систем посідають саме радіолокаційні системи, які забезпечують стає вирішення задач у будь-яких метеоумовах, незалежно від часу доби та сезону. Основними радарями, які пропонуються на ринку відповідних послуг, є берегова радіолокаційна станція міліметрових хвиль «Нева-Б» [1], радіолокаційна система охорони «Orwell-R» [1], радіолокаційна станція «MP-2GD» («Балтика-М») [1] і інші. Характерним для цих та подібних до них систем є те, що це радіолокаційні станції активного типу, тобто вони випромінюють радіосигнал і за результатами обробки відбитого об'єктами та середовищем сигналу приймають рішення щодо наявності чи відсутності об'єктів у заданій зоні простору. Такі станції є досить високоточними, проте меншою мірою відповідають сучасним тенденціям створення обліку перспективних радіосистем, а саме ідеології «GreenEngineering» [2]. Ця ідеологія передбачає створення енергоефективних, біологічно безпечних та нешкідливих для навколишнього середовища систем. Цим вимогам відповідають пасивні радіолокаційні системи, які оброблюють власне радіотеплове випромінювання об'єктів.

Зважаючи на попередні результати досліджень [3, 4], можна зробити висновок, що сучасні досягнення теорії щодо синтезу та аналізу пасивних радіотехнічних комплексів є достатньо розвинутими і можуть бути покладені у основу структурного синтезу систем

контролю прибережних акваторій. Вирішенню цієї важливої наукової задачі присвячено статтю.

Необхідно розробити радіометричну систему виявлення та оцінювання параметрів руху надводних об'єктів у визначеній області акваторій.

Для цього необхідно вирішити такі завдання: виявлення та обчислення кількості надводних об'єктів на поверхні моря; визначення координат цих об'єктів в заданому секторі сканування системи (оцінювання параметрів руху можливо реалізувати за рахунок послідовного у часі порівняння координат об'єктів).

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; робоча зона огляду не менше 60 градусів.

Геометрія задачі показана на рис. 1. На рис. 1 введено наступні позначення: AP1 та AP2 – антенні решітки; d – база (відстань між фазовими центрами AP1 та AP2); R_{\min} , R_{\max} – мінімальна та максимальна дальність дії радіометричного комплексу.

При дослідженні обмежимося розгляданням принципової можливості вирішення задачі радіометричним комплексом.

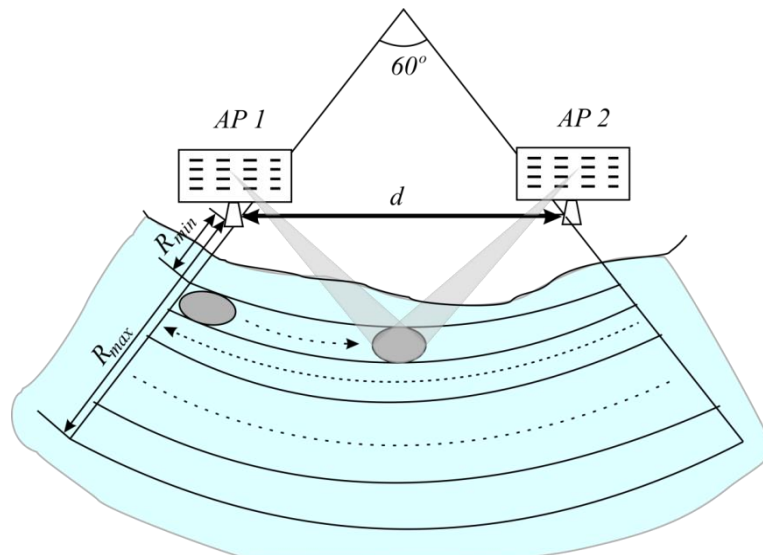


Рисунок 1 – Геометрія задачі

Моделі випромінювання моря і металу

Як модель моря будемо використовувати модель плоскої поверхні [5]:

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

де T° – термодинамічна температура моря,

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

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

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

У розглядуваному 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 [5]:

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

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 такими виразами:

$$\epsilon_0 = 5,5,$$

$$\epsilon_s = 88,2 - 0,40885 \cdot T^\circ + 0,00081 \cdot T^{\circ 2}, \quad (7)$$

$$\lambda_s = 1,8735116 - 0,027296 \cdot T^\circ + 0,000136 \cdot T^{\circ 2} + 1,662 \exp(-0,0634 \cdot T^\circ).$$

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

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

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

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

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

Для дослідження виберемо робочу смугу частот $2\Delta f = 4$ ГГцз центральною частотою $f_0 = 10$ ГГц.

Розрахуємо параметри для морської води ($S_w = 35\%$) при температурі 20° на частоті $f = 10$ ГГц (табл. 1).

Розрахунок параметрів для морської води

Висота розміщення системи, м	Кут спостереження θ_i , град.	$T_{вода,Г}$, К	$T_{вода,В}$, К	$\Delta T_{sГ}$, К	$\Delta T_{sВ}$, 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

Як відомо, металеві об'єкти (надводні кораблі, човни) повністю відображають температуру неба, тому в подальших розрахунках застосуємо температуру яскравості об'єкта, рівну 70°K (температура, характерна для центральної частоти $f_0 = 10 \text{ ГГц}$). 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.

Визначення бази антенної системи

Для визначення положення об'єкта за допомогою двоантенної пасивної радіотехнічної системи необхідно, щоб об'єкт знаходився в ближній зоні Френеля щодо системи. Це еквівалентно тому, що максимальна дальність дії системи повинна задовольняти такій умові [6]:

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

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

З аналізу вихідних даних і виразу (10) випливає, 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 системи

Для виявлення надводного об'єкту(корабля, човна) на тлі води методом максимальної правдоподібності синтезовано оптимальний алгоритм обробки сигналів у такому вигляді (аналогічно синтезу алгоритму, наведеному у [3]):

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

де k_B – постійна 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 та правильного виявлення знайдемо таким 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 тривоги 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 за заданим значенням ймовірності хибної тривоги $L \approx 10^{-7}$. Далі побудуємо криву виявлення для необхідної ймовірності хибної тривоги (рис. 3).

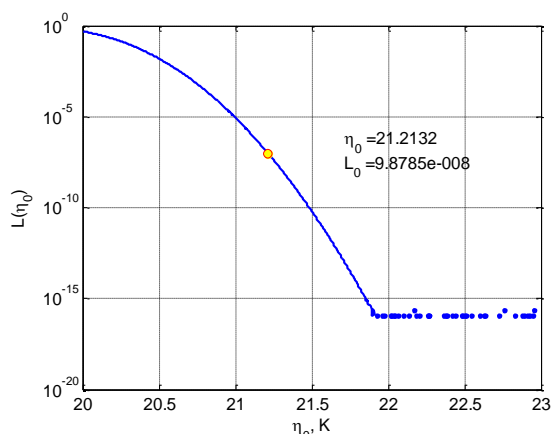


Рисунок 2 – Залежності ймовірності хибної тривоги від величини порога

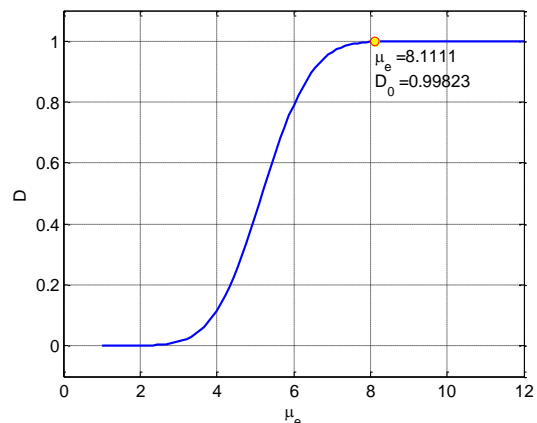


Рисунок 3 – Крива виявлення для ймовірності хибної тривоги $L \approx 10^{-7}$

З аналізу результатів випливає, що для виявлення надводного об'єкту (корабля) на тлі моря з ймовірністю правильного виявлення $D \approx 0,998$ при заданій ймовірності хибної тривоги $L \approx 10^{-7}$ необхідне значення відношення сигнал/шум $\mu_e \approx 8,11$.

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).

Розробка структурної схеми

Структурна схема пасивної радіотехнічної системи показана на рис. 4. Тут A_1, A_2 – антени радіотехнічної системи, G – генератор моделюючої 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.

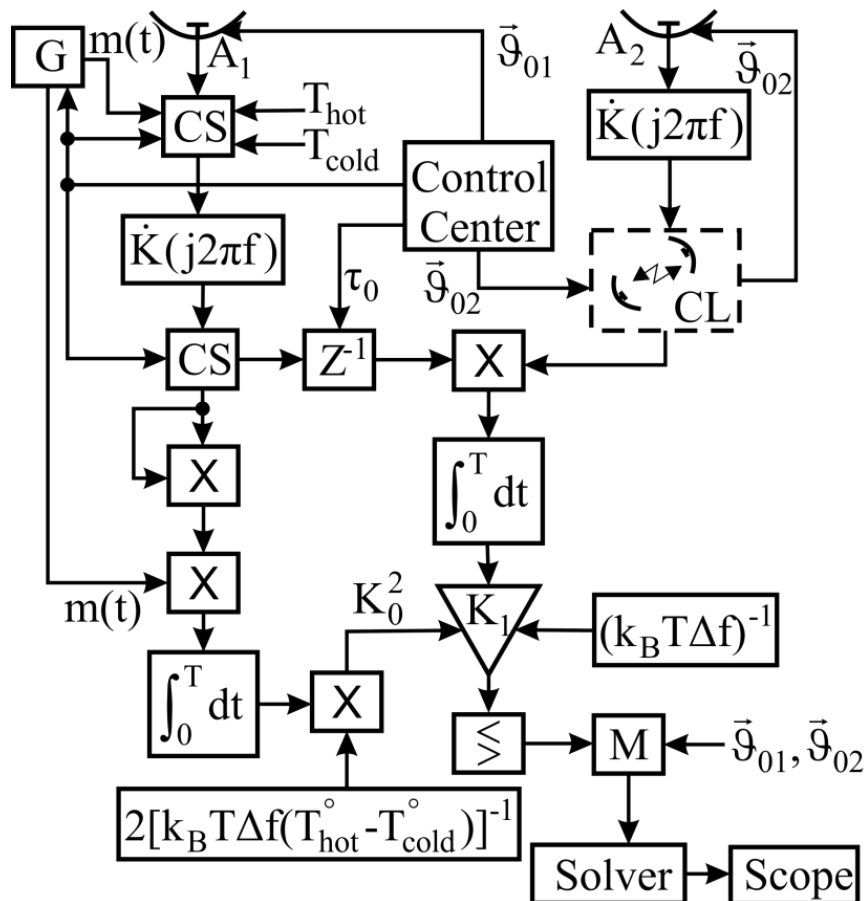


Рисунок 4 – Структурна схема виявлювача

Режим «Калібрування» передбачає визначення коефіцієнта підсилення згідно (12). 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

частини приймача з частотною 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.

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 $\vec{\mathcal{G}}_{01}$. Сигнал після ЛЧП проходить лінію затримки (Z^{-1}) і надходить на блок множення. 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 $\vec{\mathcal{G}}_{02}$ згідно з формулою:

$$\vec{\mathcal{G}}_{02} = \overline{O_2 S} / |\overline{O_2 S}|.$$

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 і поступає 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, яка показується в індикаторі (Score). Координати об'єкта в декартовій системі O_1 хуз визначаються згідно з наступною формулою:

$$(x_{S(O_1)}, y_{S(O_1)}, z_{S(O_1)}) = -h / \mathcal{G}_{01z} (\mathcal{G}_{01x}, \mathcal{G}_{01y}, \mathcal{G}_{01z}). \quad (19)$$

Результати імітаційного моделювання

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

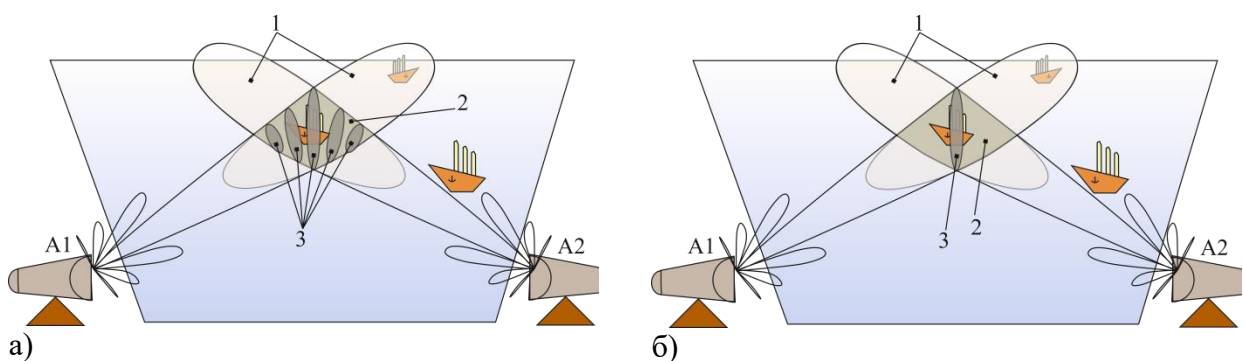


Рисунок 5 – Геометрія імітаційного моделювання: а) – вузькосмугова ПРТС; б) – надширокосмугова ПРТС

На рис. 6 введено наступні позначення: A1, A2 – антенні решітки; область 1 – область пересічення ДС з підстильною поверхнею (акваторією), з якої надходить сигнал у кожну 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 більше як 0,5).

З аналізу рис. 5 випливає, 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 щодо фазового центру ПРТС).

На рис. 6.а показана карта істинного розміщення надводних об'єктів. На рис. 6.б – результат моделювання виявлення та оцінювання координат при використанні вузькосмугової ПРТС ($2\Delta f = 0,3$ ГГц, задовольняє умові (17)), а на рис. 6.в – при використанні надширокосмугової ПРТС.

З аналізу рис. 6 робимо висновок, що використання вузькосмугової ПРТС призводить до наявності хибних об'єктів – невеликий об'єкт розпізнано безпосередньо біля найбільшого об'єкту. Фізично це пояснюється тим, що ФН вузькосмугових ПРТС є багатопелюстковий, а багатопелюстковість породжує хибні максимуми на зображенні. Використання ж надширокосмугової ПРТС (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. 6 наведено результати вимірювання кількості виявлених об'єктів при використанні вузькосмугової ПРТС (при використанні НШС ПРТС 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 експеримента. При проведенні моделювання проведено 1000 імітацій експерименту. Реальна кількість надводних об'єктів – 3.

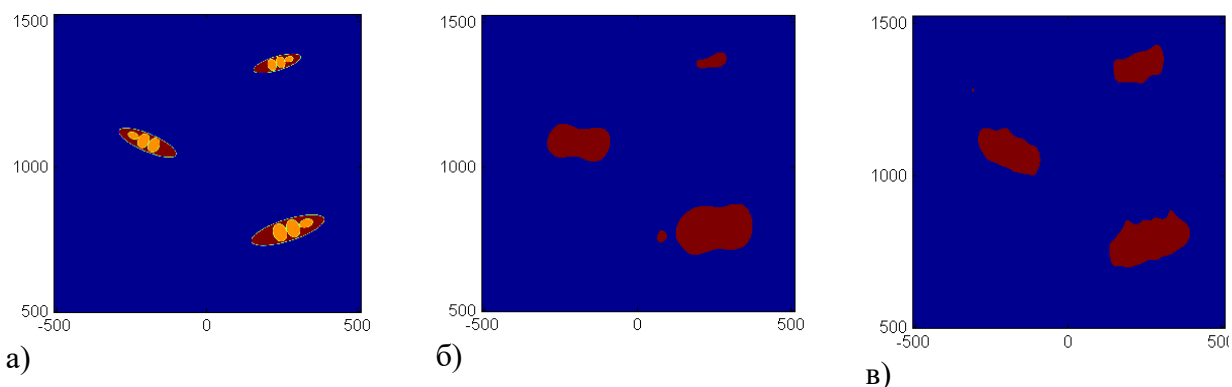


Рисунок 6 – Розміщення об'єктів: а) – істинне розміщення водного транспорту, б) – карта розміщення об'єктів, отримана з використанням вузькосмугової радіометричної системи, в) – карта розміщення об'єктів, отримана з використанням надширокосмугової радіометричної системи

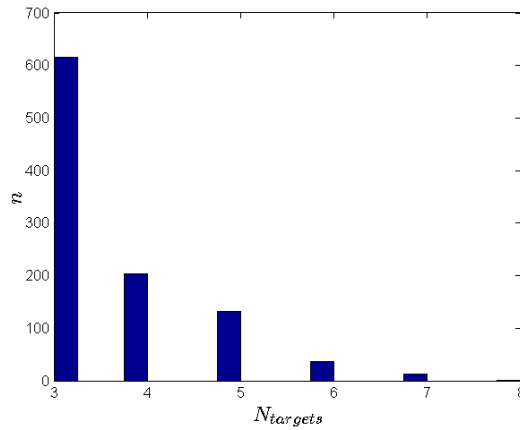


Рисунок 7 – Частота n визначення кількості $N_{targets}$ цілей при проведенні 1000 імітаційних експериментів (істинне значення $N_{targets} = 3$) з використанням вузькосмугової ПРТС

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 як основний при зменшенні ймовірності появи «фантомів», оскільки 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'єкта, що визначається причиною його утворення
- багатопелюстковістю ФН вузькосмугових ПРТС. Близькість при цьому визначається відповідно до розміру самого хибного об'єкта;
- розміри фантома (у переважній більшості випадків) не перевищують третьої частини меж основного об'єкта.

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.

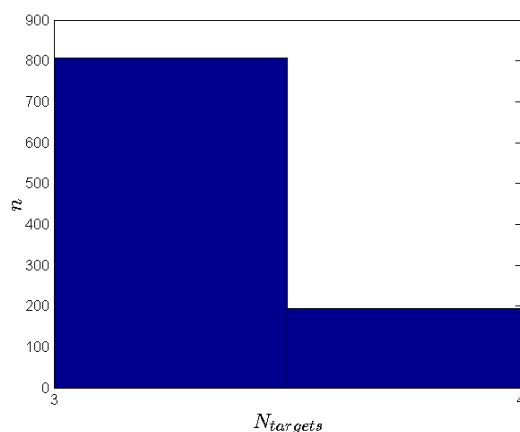


Рисунок 8 – Частота n визначення кількості $N_{targets}$ цілей при проведенні 1000 імітаційних експериментів (істинне значення $N_{targets} = 3$) з використанням вузькосмугової ПРТС (застосовано програмне коригування карт)

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.

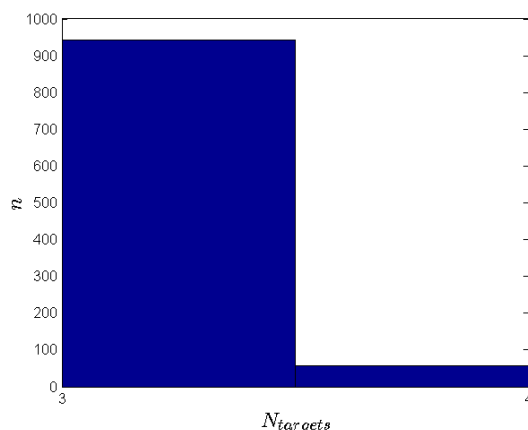


Рисунок 9 – Частота n визначення кількості $N_{targets}$ цілей при проведенні 1000 імітаційних експериментів (істинне значення $N_{targets} = 3$) з використанням вузькосмугової ПРТС (застосовано програмне коригування карт та усереднення за трьома суміжними за часом формування картами)

З аналізу рис. 7–9 випливає, що застосування обох вказаних методів дозволяє зменшити ймовірність виникнення хибних об'єктів більше як 6 разів.

Висновки. У статті вирішена задача структурного синтезу радіометричного комплексу та досліджено його основні характеристики у т.ч. шляхом імітаційного моделювання.

Зокрема з аналізу результатів моделювання можна зробити такі висновки:

- 1) реалізація пасивних радіотехнічних систем контролю водного транспорту у прибережних акваторіях має цілком реальне фізичне підґрунтя. Проведений аналіз вказує на те, що такі системи повинні обробляти сигнали вертикальної поляризації, оскільки при цьому спостерігається максимальний контраст «метал-вода» (метал при цьому перевищує ефективну температуру неба);
- 2) 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'єкта. 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, але при малому часі спостереження це не завжди зручно;
- 3) для зменшення кількості «фантомів» запропоновано використати т.з. метод «ознак» разом з методом усереднення карт, які сформовано 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;
- 4) перехід до обробки НШС сигналів у ПРТС дозволяє отримати достатнє усереднення і ймовірність появи «фантомів» суттєво зменшується, що демонструється результатами моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комплексы инженерно-технических средств охраны акваторий [каталог продукции] / Комплексные системы защиты акваторий. – 2015. – 98 с.
2. P. G. Ranky, "Sustainable green product design and manufacturing / assembly systems engineering principles and rules with examples," Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, Arlington, VA, 2010, pp. 1-6. doi: 10.1109/ISSST.2010.5507706.

-
3. Синтез оптимального обнаружителя в многоантенной радиометрической системе / В. К. Волосюк, Кыонг Ву Та, Е. Н. Тимощук, С. С. Жила // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник «Радиотехника». – Вып. 182. – Х., 2015. – С. 5–12.
 4. Нгуен Ван Киём. Оптимальная оценка радиояркости протяженного источника радиотеплового излучения в двухантенной сверхширокополосной радиометрической системе / Нгуен Ван Киём, Е.Н. Тимощук // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2015. – №4(74). – С.13–18.
 5. Волосюк В. К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации [Текст] : монография / В. К. Волосюк, В. Ф. Кравченко ; под ред. В. Ф. Кравченко. – М. : Физматлит, 2008. – 704 с.
 6. Пространственно-временная обработка сигналов / И. Я. Кремер, А. И. Кремер, В. М. Петров и др.; Под ред. И. Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.

Тимощук Е.Н., Даки Е.А., Коломиец О.М.

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ

Решена задача структурного синтеза радиометрического комплекса контроля прибрежных акваторий. Имитационным моделированием исследуются вероятности обнаружения надводных объектов в заданной зоне обзора. Сравнительным путем обосновывается целесообразность обработки сверхширокополосных сигналов. Разрабатывается методика уменьшения вероятности ложного обнаружения объектов.

Ключевые слова: *радиометрический комплекс, структурный синтез, прибрежные акватории, имитационное моделирование, надводные объекты, надширокополосные сигналы.*

Tymoshchuk O.M., Daki O.A, Kolomiyets O.M.

STRUCTURAL SYNTHESIS OF UWB (ULTRA WIDE BAND) RADIOMETRIC SURVEILLANCE OF COASTAL WATERS

The coastal waters UWB (ultra wide band) radiometric surveillance structural synthesis issue is solved. A research of probability of obtaining surface objects in predetermined coverage area is done basing on imitation modelling. Ultra-wideband signals processing feasibility is justified by comparative way. A working out of methodology for decreasing objects false obtaining is in process.

Keywords: *radiometric surveillance system, structural synthesis, coastal waters, imitation modelling, surface objects, over-UWB signals.*