

Мезенцев Олексій Вікторович (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)¹

Шовкошитний Ігор Іванович (кандидат військових наук, старший науковий співробітник)²

Капась Михайло Андрійович³

¹ Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, Київ, Україна

² Національний університет оборони України, Київ, Україна

³ Група компаній Fozzy Group

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Відомо, що ефективність сучасних літальних апаратів (керованих засобів ураження) залежить від типу систем наведення їх швидкодії та перешкодостійкості. Адаптивні системи захисту дають змогу подолати апріорну невизначеність статистичних характеристик сигналів і радіоперешкод, що потребує пошуку нових технічних рішень для адаптивної обробки сигналів на фоні перешкод. Ефективність цих рішень можна підвищити за рахунок використання в системах захисту від перешкод надійної апріорної інформації. Метою статті є розроблення способу підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів радіолокаційних головок самонаведення літальних апаратів (зокрема, кореляційно-екстремальної системи наведення) в умовах навмисних радіозавад. У дослідженні застосовано методи теорії радіолокації, матричного аналізу та теорії адаптивних систем. У публікаціях розглянуто математичні моделі, що описують роботу антенних решіток в умовах радіоперешкод, зроблено висновки про можливість прискорення їх адаптації до середовища перешкод. Однак, деякі припущення в обґрунтуванні висновку є статистично невірними, що пов'язано з неврахуванням кількості каналів прийому. У статті висвітлено алгоритми підвищення швидкодії систем захисту від перешкод для головок самонаведення літальних апаратів. Ці алгоритми доведено до схемних рішень. Показано спосіб підвищення швидкодії адаптивних систем захисту від радіоперешкод завдяки врахуванню апріорної інформації про центральну симетрію приймальних каналів радіолокаційної головки самонаведення літального апарату. Врахування цієї інформації призводить до зміни структури пристроїв адаптивної обробки сигналів в умовах перешкод і, як наслідок, до підвищення їх швидкодії. Новим є спосіб врахування апріорної інформації про центральну симетрію приймальних каналів антенної решітки, який полягає в тому, що при ідентичності амплітудних діаграм спрямованості центральносиметричних елементів антенної решітки просторова кореляційна матриця активних перешкод є не тільки ермітовою, але й має персиметрію – симетрію відносно бічної діагоналі. Введення персиметричної матриці, яка є вдвічі меншою за ермітову позитивно визначену матрицю, сприяє зменшенню розмірності вектора оцінюваних параметрів і підвищенню швидкодії (ефективності) систем захисту від перешкод, адже для отримання значення вагового вектора, що вносить «провал» в діаграму спрямованості антенної решітки на джерело перешкод, кореляційна матриця має обернутися в реальному часі. Практичне значення результатів полягає в підвищенні ефективності та швидкодії систем наведення літальних апаратів в умовах перешкод та доведенні теоретичних положень до схемних рішень, які можуть бути практично реалізовані. Використання персиметричної кореляційної матриці разом із сумарно-різницеvim перетворенням вхідних впливів дозволяє скоротити обсяг обчислень майже в 4 рази. Подальші дослідження будуть присвячені використанню методів адаптивної гратчастої фільтрації з урахуванням їхніх переваг таких, як: придатність для вирішення широкого кола задач; універсальність; висока стійкість; простота врахування апріорної інформації; легкість контролю відмов (збоїв).

Ключові слова: радіолокаційні головки самонаведення, апріорна інформація, персиметрична матриця, центральна симетрія, швидкодія адаптивних систем.

Вступ

Постановка проблеми. В сучасних умовах у військовій справі зростає значення літальних апаратів (далі – ЛА), зокрема ударних безпілотних літальних апаратів, керованих балістичних і аеробалістичних ракет,

високоточних снарядів тощо) для ураження цілей противника.

Результативність (точність) цих ЛА залежить від типу використовуваних систем наведення та їхньої стійкості до впливу радіоперешкод природного, штучного походження, а особливо до впливу навмисних перешкод, створюваних

противником. Найефективнішими у боротьбі з цими перешкодами є адаптивні системи захисту від перешкод.

Під час наведення літального апарату, оснащеного радіолокаційною (далі – РЛ) головкою самонаведення (далі – ГСН), особливо на кінцевій ділянці польоту, проблема точності наведення ЛА безпосередньо пов'язана з проблемою швидкодії захисту РЛ ГСН від перешкод різного походження (активних, пасивних або їхньої суміші) [1; 3]. Високі вимоги до швидкодії систем захисту від перешкод обумовлені не лише нестаціонарністю і динамічністю перешкодової обстановки, але й вкрай обмеженим часом на виправлення похибок систем наведення та навігації, що виникають унаслідок впливу радіоперешкод.

Використання апріорної інформації дозволяє розраховувати на підвищення швидкодії систем обробки сигналів та ефективності систем захисту від перешкод [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Радіолокаційні головки самонаведення у сучасних ЛА частіше розглядаються як багатоелементні антенні решітки (далі – АР).

Математичні моделі, що описують побудову та функціонування цих АР в умовах перешкод, розглядаються у багатьох публікаціях. Зокрема, в [4; 5] авторами показано, що у випадку, коли приймальні елементи АР (у кількості M) є симетричними відносно її геометричного центру, тобто за однакової різниці відстаней d між p -им і q -им приймальними елементами та різниці відстаней між $(M+1-q)$ -им і $(M+1-p)$ -им елементами, тобто за

$$d_p - d_q = d_{M+1-q} - d_{M+1-p}, p, q \in 1, M, \quad (1)$$

а також за умови ідентичності амплітудних діаграм спрямованості елементів, симетричних відносно цього центру, просторова кореляційна матриця (далі – КМ) активних перешкод є не лише ермітовою, але й має додаткову симетрію відносно побічної діагоналі (так звану персиметрію). Це стосується і часових КМ пасивних перешкод, якщо в АР ГСН використовується центрально-симетричний закон зондування [4; 5].

З курсу теорії матриць відомо, що основною властивістю персиметричних матриць є:

$$P\Phi^T P = P\Phi^\circ P, \quad \Phi_{pq} = \Phi_{M+1-q, M+1-p}, \quad (2)$$

де P – ортогональна симетрична матриця перестановок ($PP=1, P=P^{-1}$), яка містить одиниці на побічній діагоналі і нулі в інших позиціях;

$^\circ$ – знак комплексного сполучення;

T – знак транспонування матриці;

Φ – персиметрична матриця;

Φ_{pq} – pq -ий елемент матриці Φ .

Також авторами зазначається, що персиметрична матриця (2) цілком визначається $(M^2 + 2M)/4$ елементами, що за $M \gg 1$ майже

вдвічі менше, ніж у випадку ермітової позитивно визначеної матриці загального виду [2; 4].

Таке зменшення розмірності вектора оцінюваних параметрів і дозволяє забезпечити подальше підвищення швидкодії та ефективності систем захисту від перешкод. Зазначене пояснюється тим, що для отримання значення вагового вектору, який дозволяє утворювати «провал» у діаграмі спрямованості приймальної антени у напрямку на джерело радіоперешкоди (в чому саме й полягає ідея адаптивної обробки сигналів на фоні радіоперешкод), треба забезпечити обертання кореляційної матриці у реальному масштабі часу.

Центральна симетрія приймальної АР РЛ ГСН породжує специфіку структури КМ (персиметрію). Така властивість може бути врахована під час удосконалення адаптивних систем обробки сигналів та відповідної зміни структури пристроїв адаптивної обробки сигналів в умовах перешкод в РЛ ГСН.

Вперше максимально правдоподібну оцінку персиметричної матриці було отримано у [7], де було зроблено припущення, що виграш у швидкодії порівняно із застосуванням звичайної матриці становить до 2 разів. У роботі [8] стверджується про можливість істотного прискорення процедури адаптації на підставі матриці (2). Спроба точного оцінювання цього виграшу зроблена у [9], де його визначено в точності рівним 2. Цей висновок потім неодноразово цитувався у [10; 11]. Однак припущення, зроблені під час обґрунтування цього висновку, були статистично некоректними. Зокрема, розрахунки було здійснено лише на прикладі двоканальної антенної решітки ($M=2$). Тобто треба було б зняти обмеження на число приймальних каналів.

Враховуючи вищезазначене, обрана тематика є актуальним напрямом досліджень.

Метою статті Метою статті є розроблення способу підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів радіолокаційних головок самонаведення літальних апаратів, зокрема, кореляційно-екстремальної системи наведення в умовах навмисних радіозавад.

Виклад основного матеріалу дослідження

Отже, з аналізу низки публікацій у галузі теорії радіолокації та антенних систем видно, що підвищення швидкодії кореляційно-екстремальної системи наведення (далі – КЕСН) літальних апаратів можливе за рахунок використання апріорної інформації щодо центрально-симетричних приймальних систем АР РЛ ГСН, яка повинна використовуватись у відповідних пристроях адаптивної обробки сигналів в умовах перешкод.

Як відомо з [1], адаптація під час просторово-часової обробки сигналів на фоні радіоперешкод

передбачає обчислення достатньої статистики за виразом:

$$\hat{\xi} = V_{BX}^* \hat{\psi} X, \quad (3)$$

де \wedge – символ оцінки,

* – символ ермітового сполучення.

Якщо в РЛ ГСН просторово-часова обробка сигналів здійснюється сумісно, то компоненти у виразі (3) означають наступне:

V_{BX} – ML -мірний вектор комплексних амплітуд вхідної вибірки суміші корисного сигналу, перешкод і шумів (L – кількість часових каналів прийому);

$\hat{\psi}$ – $(ML \times ML)$ матриця, яка є оберненою відносно оцінювальної КМ радіоперешкод $\hat{\Phi}$;

X – ML -мірний вектор корисного сигналу.

У випадку роздільної (лише просторової або лише часової) обробки сигналів на фоні перешкод формування достатньої статистики (3) також працює [1], змінюється лише змістовне наповнення складових у виразі (3). Так, під час просторової обробки в якості V_{BX} приймаємо M -мірний вектор $Y = Y_M + \gamma X$,

де: Y_M – M -мірний вектор вхідних виборок;

$\hat{\psi}$ – матриця $(M \times M)$, яка є оберненою відносно оцінювальної просторової КМ на вході пристрою просторової обробки сигналів на фоні перешкод;

X – M -мірний просторовий вектор корисного сигналу виду

$$X = x(t)X(\alpha), \quad X(\alpha) = \{x_i^{(nm)}\}_{n=1}^M,$$

де $X(\alpha)$ – просторовий вектор амплітудно-фазового розподілу корисного сигналу;

$x(t)$ – випадковий амплітудний множник.

У разі часової (міжперіодної) обробки V_{BX} – це L -мірний вектор комплексних амплітуд Y_i , $\hat{\psi}$ – матриця $(L \times L)$, яка є оберненою відносно оцінювальної КМ міжперіодних (пасивних) перешкод $\hat{\Phi}$ на вході пристрою часової (міжперіодної) обробки, а X – L -мірний часовий вектор корисного сигналу виду $X = x(t)X_x$, де $X_x = \{x_i^{(\times)}\}_{i=1}^L$ – є позначенням вектора корисного сигналу з часовим амплітудно-фазовим розподілом.

Такий підхід може застосовуватись для усіх розглянутих варіантів обробки сигналів в РЛ ГСН, якщо відповідна КМ перешкод $\hat{\Phi}$ на їхніх входах АР є персиметричною.

Введемо деяку матрицю [5] (наприклад, розміром $(M \times M)$):

$$T = \{t_{il}\}_{i,l=1}^M = \frac{1}{\sqrt{2}} [I_M - j\Pi_M], \quad (4)$$

яка має такі властивості:

$$\begin{aligned} T &= T^T = \Pi_M T \Pi_M = -jT^* \Pi_M = \\ &= -j\Pi_M T^*, \quad T T^* = I_M, \end{aligned} \quad (5)$$

де I_M – одинична матриця $(M \times M)$;

Π_M – $(M \times M)$ матриця перестановок.

Якщо комплексну КМ Φ подати за допомогою її дійсної і уявної частин:

$$\Phi = \{\varphi_{il}\}_{i,l=1}^M = \Phi' + j\Phi'',$$

то завдяки матриці T ермітова персиметрична матриця Φ переходить у дійсну симетричну матрицю розміром $(M \times M)$:

$$\Phi_{\Delta} = T\Phi T^* = \Phi' + \Phi''^T \Pi_M.$$

Тому вираз (3) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \hat{\xi} &= Y^* \hat{\psi} X = Y^* T^* T \hat{\psi} T^* T X = \\ &= V^* \hat{\psi}_V X_T = V^* \hat{R}, \end{aligned} \quad (6)$$

де

$$V = \{v_i\}_{i=1}^K = TY = V_{\Sigma} + jV_{\Delta} - \quad (7a)$$

перетворений вектор вхідної вибірки,

$$V_{\Sigma} = \{v_{\Sigma i}\}_{i=1}^K = \frac{1}{\sqrt{2}} (Y' + \Pi_M Y''),$$

$$V_{\Delta} = \{v_{\Delta i}\}_{i=1}^K = \frac{1}{\sqrt{2}} (Y'' - \Pi_M Y'), \quad (7b)$$

$$X_T = TX = (X_{\Sigma} + jX_{\Delta}) - \quad (8a)$$

перетворений вектор корисного сигналу в комплексному вигляді.

З виразу (8a) значення X_{Σ} і X_{Δ} цього вектору визначаються:

$$X_{\Sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} (X' + \Pi X''), \quad X_{\Delta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (X'' - \Pi X'). \quad (8b)$$

Дійсна матриця $\hat{\Psi}_V = T\hat{\Psi}T^* = \hat{\Phi}_V^{-1}$ є оберненою відносно перетвореній дійсній оціночній КМ:

$$\hat{\Phi}_V = T\hat{\Phi}T^*. \quad (9)$$

Оцінка вагового вектора \hat{R} визначається так:

$$\hat{R} = T^* \hat{\Phi}_V^{-1} X_T = T^* \hat{R}_T, \quad \hat{R}_T = \hat{\Psi}_V X_T. \quad (10)$$

Схема формування вагового вектора \hat{R} згідно з (10) зображена на рис. 1, де вектори позначені подвійними стрілками, а матриці – заштрихованими стрілками. На вході векторно-матричного перемножувача (далі – ВМП), який має матрично-імпульсну характеристику, пропорційну матриці $\hat{\Psi}_V$ (вказана в дужках у блоці ВМП), надходить перетворений опорний вектор корисного сигналу X_T , визначений за виразом (8a).

У блоці оцінювання (далі – БО) завдяки обробленню перетвореної за виразом (7) k -мірної вибірки перешкоди V здійснюється оцінювання параметрів цього ВМП.

Оцінку вектора \hat{R} отримуємо шляхом домноження вектора \hat{R}_T на матрицю T^* на виході ВМП.

Залежно від структури блока ВМП структура БО і алгоритми оцінювання необхідних параметрів можуть бути різноманітними.

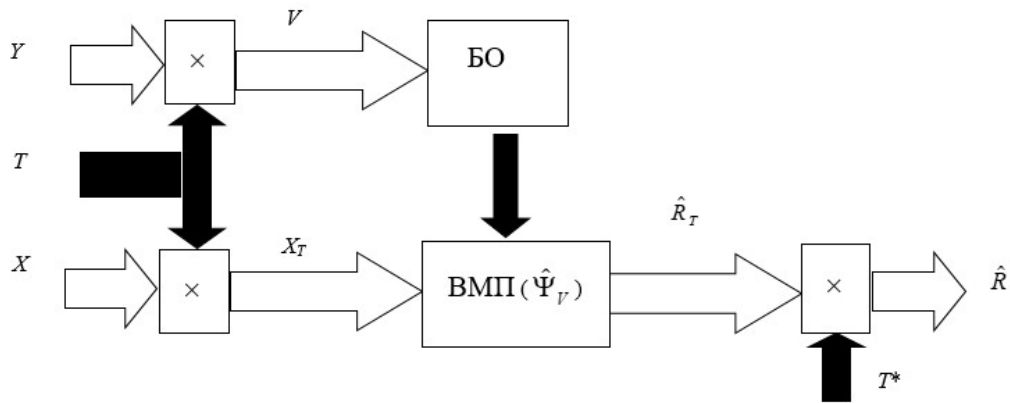


Рисунок 1– Схема формування вагового вектора \hat{R}

На рис. 2 наведена схема, подібна до тієї, що зображена на рис. 1, але із додатковим розкриттям структури блоків перетворення з матрицею T , що визначена за виразом (4). У цих

блоках входні комплексні вектори, які мають вид сукупності своїх дійсних і уявних частин, перетворюються у вихідні сумарні і різнісні вектори, які визначаються за виразами (7) і (8).

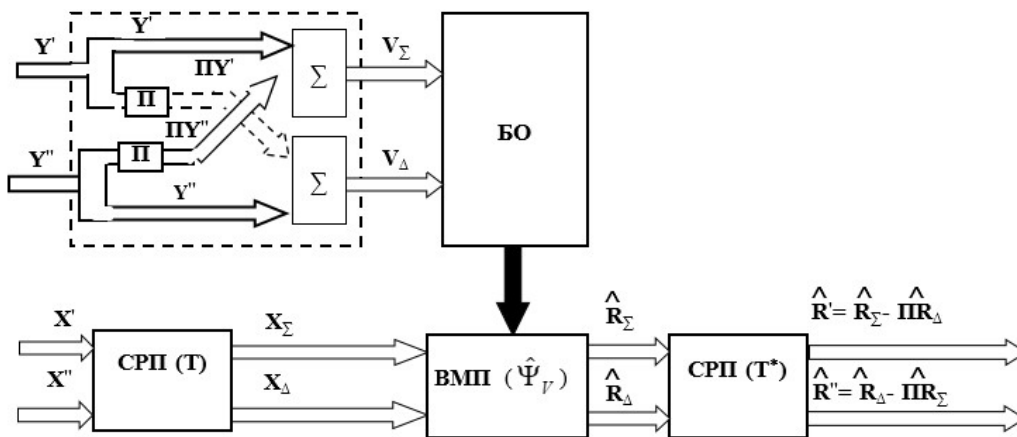


Рисунок 2 – Внутрішня структура схеми (рис. 1) з розкриттям структури блоків перетворення з матрицею T

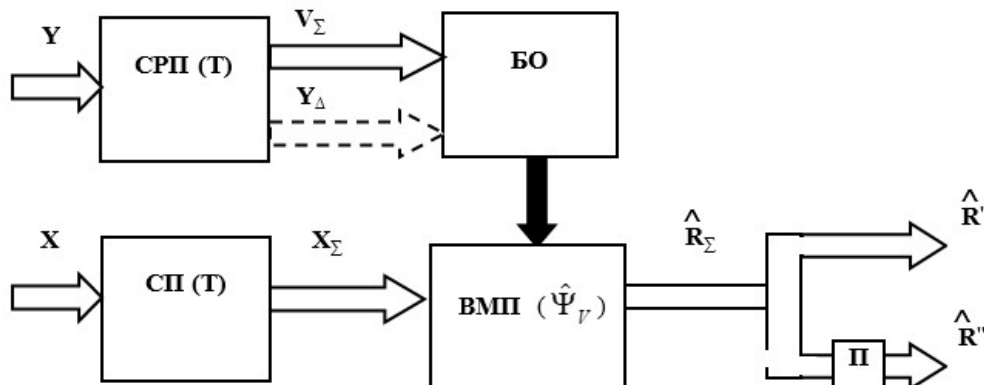


Рисунок 3 – Спрощений варіант схеми (рис. 2), що реалізує запропонований спосіб підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів РЛ ГСН ЛА з урахуванням $X(\alpha) = nX(\alpha)^\circ$

Через це зазначені блоки мають назву блоків сумарно-різнісного перетворення (СПП). За таких

умов дійсна (\hat{R}') та уявна (\hat{R}'') частини вектора \hat{R} визначаються так:

$$\begin{aligned}\hat{R} &= \hat{R}' + j\hat{R}'' = \hat{\Psi}_V X_T, \\ \hat{R}' &= \hat{R}_\Sigma - n\hat{R}_\Delta, \quad \hat{R}'' = \hat{R}_\Delta + n\hat{R}_\Sigma, \\ \hat{R}_\Sigma &= \hat{\Psi}_V X_\Sigma, \quad \hat{R}_\Delta = \hat{\Psi}_V X_\Delta.\end{aligned}\quad (11)$$

На рис. 3 зображено спрощений варіант схеми, що реалізує запропонований спосіб підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів РЛ ГСН літальних апаратів (зокрема, кореляційно-екстремальної системи наведення) в умовах навмисних радіозавад. Завдяки використанню апріорної інформації щодо центральносиметричних приймальних каналів АР РЛ ГСН [4; 5] маємо $X(\alpha) = PX(\alpha)^\circ$. Тому:

$$X_\Delta = -X_\Sigma, \quad (12)$$

що з урахуванням виразів (4), (8) і (11) дає змогу розглянути вектор \hat{R} у вигляді:

$$\hat{R} = \frac{1-j}{2}(\hat{R}_\Sigma + jn\hat{R}_\Sigma). \quad (13)$$

Отже для повного завдання комплексного вектора достатньо сформувати лише вектор:

$$\hat{R}_\Sigma = \hat{\Psi}_V X_\Sigma, \quad (14)$$

що і застосовано у схемі на рис. 3.

Таким чином процедура оброблення сигналів спрощується завдяки вилученню операцій, пов'язаних з формуванням векторів X_Δ , \hat{R}_Δ і наступних операцій, які пов'язані з ними. За відсутності потреби в урахуванні вектора X_Δ блок СРП(Т) замінюється на блок сумарного перетворення СП(Т). Значення \hat{R}' і \hat{R}'' у схемі (рис. 3) відрізняються від таких самих значень у схемі (рис. 2) на постійний множник $[1-j]/2$, що на вихідне співвідношення сигнал/шум не впливає.

Список бібліографічних посилань

1. Толюпа С. В., Дружинін В. А., Наконечний В. С., Цьопа Н. В., Батрак Є. О. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією. Київ : Логос. 2014. 230 с. 2. Савастру О. В., Яковлєва О. М., Драганюк С. В., Болдарєва О. М. Матриці та системи лінійних рівнянь : навч. посіб. / під ред. О. В. Савастру. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. 2019. 120 с. 3. Свид І. В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору : монографія. Дніпро : ЛІРА ЛТД. 2022. 224 с. 4. Бондаренко І. М., Глухов О. В., Кравчук О. О. Електронні системи : навч. посіб. для студентів ВНЗ. Харків : ХНУРЕ. 2019. 240 с. 5. Spencer J. C. A Compact Phased Array Radar for UAS Sense and Avoid. Brigham Young University. Provo, 2015. 96 p. 6. Братченко Г. Д., Перелигін Б. В., Банзак О. В., Казакова Н. Ф., Григор'єв Д. В. Методи та засоби обробки сигналів : навч. посіб. Одеса : Типографія-видавництво «Плутон». 2014. 452 с. 7. Nitzberg R.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Отже, у статті запропоновано спосіб підвищення швидкодії адаптивних систем обробки сигналів радіолокаційних головок самонаведення літальних апаратів, зокрема, кореляційно-екстремальної системи наведення в умовах навмисних радіозавад.

Показано, що використання апріорної інформації щодо центрально-симетричних приймальних каналів антенної решітки радіолокаційної головки самонаведення дає змогу скоротити обсяг обчислень (за наближеними оцінками майже в 4 рази). Зазначене дає можливість підвищити ефективність (швидкодію) систем оброблення сигналів у радіолокаційній головці самонаведення літального апарату, що є важливим в умовах мінливої завадової обстановки та жорсткого ліміту часу на процес наведення літальних апаратів на цілі.

Запропонований спосіб доведено до схемних рішень просторової, часової і просторово-часової обробки сигналів на фоні перешкод різного походження для антенної решітки радіолокаційної головки самонаведення з центральною симетрією каналів прийому.

З огляду на перспективи подальших досліджень, то в якості векторно-матричних перемножувачів та блоків оцінювання найбільший практичний інтерес становить використання методів адаптивної гратчастої фільтрації, перевагами яких є [6]:

застосовність до розв'язання широкого кола задач;

регулярність структури;

висока стійкість до відмов;

простота контролю роботи (збоїв);

простота врахування апріорної інформації і т.д.

Application of maximum like lihood estimation of persymmetric covariance matrices to adaptive hrocessing.- *IEEE Trans Aerosp. And Electr. Syst.*, 1980, AES-16. № 1. P. 124–127. 8. Лифанов Е. И., Лихарев В. А. Оценка ковариационной матрицы стационарной помехи. *Радиотехника*. 1983. №5. С. 53–55. 9. Зарицкий В. И., Кокін В. Н., Леховицкий Д. И., Саламатин В. В. Рекуррентные алгоритмы адаптивной обработки при центральной симметрии пространственно-временных каналов приема. Изд. Вузов. *Радиофизика*. 1985. Т. 23. № 7. С. 863–871. 10. Кошевой В. М., Родионов В. В. Оценка предельной скорости сходимости алгоритмов адаптивной обработки сигналов для одного класса структур корреляционных матриц помех. *Радиотехника*. 1991. № 6. С. 36. 11. Свердлик М. Б., Шпатаковский В. Э. Оценка предельной скорости сходимости алгоритмов адаптивной обработки сигналов в эквидистантных пространственных каналах. *Радиотехника и электроника*. 1989. Т. 34. № 4. С. 160.

A METHOD FOR INCREASING THE PERFORMANCE OF ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING SYSTEMS FOR RADAR HOMING HEADS OF AIRCRAFT

Mezentsev Oleksiy (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)¹Shovkoshytnyi Ihor (Candidate of Military Science, Senior Research Fellow)²Kapas Mykhailo³¹ Institute of Information Registration Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine² National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine³ Group of companies Fozzy Group

Formulation of the problem in general. The effectiveness of modern aircraft (guided weapons) depends on the type of guidance systems, their speed and immunity. Adaptive interference protection systems allow overcoming a priori uncertainty of statistical characteristics of signals and radio interference, which requires the search for new technical solutions for adaptive processing of signals against the background of interference. The effectiveness of such solutions can be significantly increased due to the use of reliable a priori information in anti-interference systems. The purpose of the article is to develop a method of increasing the speed of adaptive signal processing systems of radar homing heads of aircraft (in particular, the correlation-extreme guidance system) in the conditions of intentional radio interference. During the research, the methods of radar theory, matrix analysis and theory of adaptive systems were applied.

Analysis of recent researches and publications. Mathematical models describing the operation of antenna arrays in conditions of radio interference have been considered in many publications, conclusions have been drawn about the possibility of significantly accelerating the procedure of their adaptation to the interference environment. However, certain assumptions in the justification of this conclusion were statistically incorrect, which is due to the failure to take into account the number of receiving channels.

Presenting the main material. The article highlights the method of increasing the speed of adaptive signal processing systems of radar homing heads of aircraft in the conditions of intentional radio jamming. The method is brought to schematic solutions. It is shown that increasing the speed of adaptive protection systems against radio interference is possible due to taking into account a priori information about the central symmetry of the reception channels of the radar homing head of the aircraft. It was determined that taking into account this a priori information leads to a change in the structure of adaptive signal processing devices in conditions of interference and, as a result, to an increase in their speed.

Elements of scientific novelty. A new method of taking into account the a priori information about the central symmetry of the receiving channels of the antenna array is that, with the identity of the amplitude directional diagrams of the centrally symmetrical elements of the antenna array, the spatial correlation matrix of active interference is not only Hermitian, but also has perisymmetry – symmetry with respect to the lateral diagonal. The introduction of a persymmetric matrix, which is half the size of the Hermitian positive definite matrix, helps to reduce the dimension of the vector of the estimated parameters and increase the speed (efficiency) of the protection systems against interference, because to obtain the value of the weight vector, which introduces a «failure» into the antenna array's directional diagram at the source interference, the correlation matrix must rotate in real time.

Practical significance of the article. The practical significance of the obtained research results lies in increasing the efficiency and speed of protection against interference of aircraft guidance systems and in bringing the theoretical provisions of the article to a number of schematic solutions that can be implemented in practice. The use of the evaluation of the persymmetric correlation matrix in combination with the sum-difference transformation of the input influences allows to reduce the volume of calculations by almost 4 times.

Conclusion and the perspectives of future researches. Further research will be devoted to the use of adaptive lattice filtering methods, taking into account such advantages as: suitability for solving a wide range of problems; regularity of construction; versatility; high resistance; simplicity of taking into account a priori information; ease of control of failures.

Keywords: radar homing heads, a priori information, persymmetric matrix, central symmetry, performance of adaptive systems

References

1. Tolyupa, S. V., Druzhynin, V. A., Nakonechniy, V. S., Tsyopa, N. V., Batrak, E. O., (2014). Methods and algorithms of radar information processing in multi-position systems with variable spatial configuration. Kyiv : Lohos.
2. Savastru, O. V., Yakovlyeva, O. M., Drahanyuk, S. V., Boldaryeva, O. M., (2019). Matrices and systems of linear equations : navch. posib. / pid red. O. V. Savastru. Odesa : Odes. nats. un-t im. I. I. Mechnykova.
3. Svyd, I. V. Processing of radar information from airspace surveillance systems : monohrafiya. Dnipro : LIRA LTD. 2022.
4. Bondarenko, I. M., Hlukhov, O. V., Kravchuk, O. O. (2019). Electronic systems : navch. posib. dlya studentiv VNZ. Kharkiv : KHNURE. 240.
5. Spencer, Jonathan Cullinan. (2015). A Compact Phased Array Radar for UAS Sense and Avoid. Brigham Young University. Provo, 96.
6. Bratchenko, H. D., Perelyhin, B. V., Banzak, O. V., Kazakova, N. F., Hryhor'yev, D. V., (2014). Methods and tools for signal processing : navch. posib. Odesa : Typhografiya-vydavnytstvo «Pluton».
7. Nitzberg, R., (1980). Application of maximum like lihood estimation of persymmetric covariance matrices to adaptive hrocessing. *IEEE Trans Aerosp. And Electr. Syst.*, AES-16, 1, 124-127.
8. Lifanov, Ye. I., Likharev, V. A., (1983). Estimation of the covariance matrix of the stationary disturbance. *Radiotekhnika*, 5, 53-55.
9. Zaritskiy, V. I., Kokin, V. N., Likhovitskiy, D. I., Salamatin, V. V., (1985). Recurrence algorithms of adaptive processing under central symmetry of spatio-temporal receive channels. *Izd. Vuzov. Radiofizika*. 23, 7, 863-871.
10. Koshevoy, V. M., Rodionov, V. V., (1991). Estimation of the ultimate convergence rate of adaptive signal processing algorithms for one class of correlation matrix interference structures. *Radiotekhnika*, 6, 36.
11. Sverdlik, M. B., Shpatkovskiy, V. E., (1989). Estimation of the ultimate convergence rate of adaptive signal processing algorithms in equidistant spatial channels. *Radiotekhnika i elektronika*. 34, 4, 160.