

## АНАЛІЗ ШВИДКОДІ КОРЕЛЯЦІЙНО-ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО ПЕЛЕНГАТОРА З ПОДВІЙНИМ КОРЕЛЯЦІЙНИМ ОБРОБЛЕННЯМ

На сьогодні пеленгування радіоелектронних засобів здійснюється в умовах складної електромагнітної обстановки (ЕМО), що характеризується багатопроменевим поширенням радіовипромінювань та перекриванням за частотою корисного сигналу і завад, апріорної невизначеності щодо параметрів радіовипромінювань. Перспективним напрямком реалізації пеленгування для вказаних умов є використання цифрових ширококутових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів з антенною решіткою (АР) та цифровим синтезом її діаграми спрямованості (ДС). Недоліками відомих методів кореляційно-інтерферометричного пеленгування є неможливість пеленгування джерел ширококутових радіовипромінювань у реальному масштабі часу або необхідність застосування багатоканального корелятора та низька точність пеленгування джерел радіовипромінювань (ДРВ), спектри яких повністю перекриваються за частотою. Тому розробка безошукових цифрових методів ширококутового кореляційно-інтерферометричного пеленгування з використанням АР, що мають високу точність та можливість попередньої просторової селекції, а також їх дослідження є актуальною задачею.

Виконано аналіз швидкодії радіопеленгатора з мінімальними апаратними витратами, що працює згідно безошукового цифрового методу кореляційно-інтерферометричного пеленгування з подвійним кореляційним обробленням.

Нехай в горизонтальній площині з випадкового невідомого напрямку приймається неперервне випадкове стаціонарне гаусове радіовипромінювання точкового ДРВ з рівномірним енергетичним спектром двоелементною АР радіопеленгатора. Елементи АР рознесені у просторі на величину антенної бази і підключені до двох відповідних ідентичних радіоканалів пеленгатора, що мають власні адитивні гаусові стаціонарні шуми і з нульовим математичним очікуванням і однаковою спектральною густиною потужності, постійною в межах смуги пропускання радіоканалів пеленгатора. Будемо вважати, що власні шуми радіоканалів пеленгатора не мають міжканальної кореляції та кореляції з випромінюванням, ДРВ, яке пеленгується, знаходиться в дальній зоні, а фазові флуктуації на шляху поширення випромінювання відсутні.

Для аналізу швидкодії радіопеленгатора оцінимо часові витрати  $T_D$  на оброблення прийнятих сумішей  $U_1(t)$  та  $U_2(t)$  радіовипромінювань в смузі пропускання приймача радіопеленгатора. Особливістю алгоритму оброблення прийнятих радіовипромінювань є використання алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Оскільки основною операцією, що виконується при такій реалізації кореляційно-інтерферометричного пеленгування є множення з накопичуванням, то тривалість пеленгування доцільно оцінювати через загальну кількість операцій множення з накопичуванням, що необхідно виконати для оцінки пеленгу на ДРВ. Швидкодію пеленгування будемо оцінювати через кількість пеленгів  $N_\theta$  яку можна отримати за секунду при заданій тривалості процесу аналізу  $T_a$ .

Тривалість виконання ШПФ та кореляційного аналізу доцільно визначати через кількість операцій комплексного множення. В результаті для оцінки одного пеленгу сумарні часові витрати  $T_p$  складаються з витрат часового спектрального аналізу  $T_{SA}$  сумішей  $U_1(t)$  та  $U_2(t)$  радіовипромінювань, що виконується на проміжній частоті, витрат  $T_C$  подвійного кореляційного оброблення, що складається з першого перемноження комплексних спектрів сумішей  $U_1(t)$  та  $U_2(t)$ , другого перемноження отриманого взаємного комплексного спектра на його зсунуту за частотою копію:

$$T_p = T_{SA} + T_C. \quad (1)$$

Для мінімізації часових витрат часового спектрального аналізу його доцільно реалізувати на основі швидких алгоритмів, наприклад, алгоритму ШПФ.

В цьому випадку тривалість  $T_{SA}$  часового спектрального аналізу дорівнює:

$$T_{SA} = N_s \cdot \log_2 N_s \cdot T_1, \quad (2)$$

де  $T_1$  – тривалість однієї операції комплексного множення з накопичуванням;

$N_s$  – кількість набраних часових відліків прийнятої суміші радіовипромінювань.

Часові витрати подвійного кореляційного оброблення:

$$T_C = (0,5 \cdot N_s + 0,5 \cdot N_s) \cdot T_1 = N_s \cdot T_1. \quad (3)$$

Таким чином, загальні часові витрати  $T_p$  на здійснення оброблення прийнятої суміші сигналів згідно безошукового цифрового методу кореляційно-інтерферометричного пеленгування з подвійним кореляційним обробленням з урахуванням рівнянь (1) – (3) дорівнюють:

$$T_p = N_s \cdot \log_2 N_s \cdot T_1 + N_s \cdot T_1. \quad (4)$$

Швидкодія пеленгування  $N_\theta$  при  $T_p < T_a$  буде визначатися згідно рівняння:  $N_\theta = M / T_a$  пеленгів/секунду, де  $M$  – кількість сигналів у прийнятій суміші  $U_1(t)$ .

Виконаємо дослідження відносної часової ефективності  $\mu_T$  реалізації безпошукового цифрового методу кореляційно-інтерферометричного пеленгування з подвійним кореляційним обробленням порівняно з відомим цифровим кореляційним пошуковим методом пеленгування, що також використовує цифрові методи спектрального аналізу.

Відмінністю відомих методів пеленгування є знаходження кореляційної функції з кількістю кроків  $(D_\theta / h_\theta)$  перемножування  $N_s$  спектральних відліків двох сигналів, де  $D_\theta$  – робочий сектор пеленгування,  $h_\theta$  – дискретність просторового кореляційного аналізу.

З урахуванням цього загальні часові витрати  $T_V$  відомого цифрового кореляційного методу пеленгування дорівнюють:

$$T_V = T_1 \cdot (N_s \cdot \log_2 N_s + 0,5 N_s \cdot (D_\theta / h_\theta)). \quad (5)$$

Аналіз рівняння (5) показує, що часові витрати  $T_V$  суттєво залежать від дискретності  $h_\theta$  просторового кореляційного аналізу можливих напрямків на ДРВ. Цей фактор зумовлює велику тривалість оброблення та загальні часові витрати  $T_V > T_a$ , що робить неможливим пеленгування в реальному масштабі часу з високою точністю за умови застосування одноканальної системи оброблення даних, наприклад, сучасного сигнального процесора типу TMS320. Можливе також суттєве збільшення дискретності оцінки пеленгу  $h_\theta$ , що погіршує точність пеленгування, або застосування багатопроекторної схеми оброблення, що суттєво збільшує вартість пеленгатора.

Швидкодія пеленгування  $N_\theta$  при  $T_V > T_a$  буде визначатися згідно рівняння:  $N_\theta = M / T_V$  пеленгів/секунду. В результаті відносна часова ефективність  $\mu_T$  безпошукового цифрового методу кореляційно-інтерферометричного пеленгування з подвійним кореляційним обробленням з урахуванням (4) та (5) визначається згідно з рівнянням:

$$\mu_T = \frac{T_V}{T_p} = \frac{\log_2 N_s + 0,5 \cdot (D_\theta / h_\theta)}{\log_2 N_s + 1}. \quad (6)$$

Аналіз рівняння (6) показує, що оскільки  $(D_\theta / h_\theta) \gg \log_2 N_s$ , то  $\mu_T \gg 1$ , що підтверджує високу часову ефективність та швидкодію досліджуваного пеленгатора.