

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВОГО АДАПТИВНОГО ФІЛЬТРУ З ПАРАЛЕЛЬНИМ ВАГОВИМ ПІДСУМОВУВАННЯМ СИГНАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛГОРИТМІВ УІДРОУ І КАЛМАНА

Семібаламут К. М.¹; Жук С. Я.², д.т.н., проф.

¹Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка, м. Київ, Україна

²Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Успіх рішення задачі виявлення і оброблення корисного сигналу на фоні потужних завадових випромінювань залежить від ефективності роботи компенсаторів завад з відокремленим основним і керованими додатковими каналами прийому на основі адаптивних антенних решіток. Алгоритмічна схема багатоканального (по числу додаткових каналів) цифрового адаптивного фільтру (ЦАФ) з паралельним ваговим підсумовуванням (ПВП) сигналів представлена на рис. 1 [1].

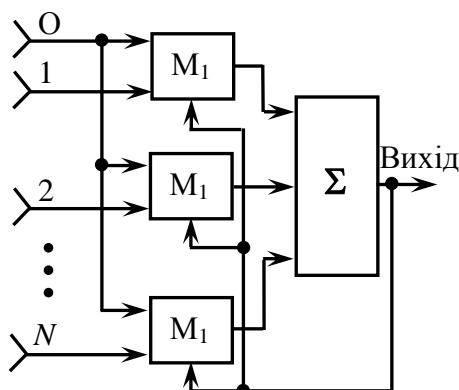


Рисунок 1. Алгоритмічна схема N -канального ЦАФ з ПВП: M_1 — простіший одноканальний компенсатор

Задача оптимізації полягає у обчисленні вагових коефіцієнтів з ціллю зміни форми та просторової орієнтації діаграми спрямованості антенної решітки для зменшення впливу завад.

Серед відомих градієнтних алгоритмів обчислення вагових коефіцієнтів, алгоритм мінімуму середньоквадратичної помилки (алгоритм Уїдроу) дозволяє використовувати оцінку градієнта зміни вектора вагових коефіцієнтів. Це особливо важливо при невідомих і незмінних статистиках сигналів,

які зазвичай мають місце на практиці. Перевагою цього алгоритму є найменша кількість арифметичних операцій порівняно з іншими алгоритмами.

Однак, алгоритм Уїдроу відноситься до класу квазіоптимальних. Недоліком є залежність швидкості його збігу від обумовленості кореляційної матриці (КМ) завадових сигналів [2]. Під обумовленістю КМ розуміють відношення її максимального власного значення до мінімального сигнального власного значення

$$\eta = \lambda_{\text{макс.}} \cdot \lambda_{\text{сигн. мін.}}^{-1} \cdot$$

З урахуванням квазіградієнтного алгоритму [3] обчислення вагових коефіцієнтів у модулях M_1 , для випадку двох джерел завадового випромінювання, потужність завади на виході еквідистантної антенної решітки буде

$$P_{з.вих}(n) \approx p_{\min} + 2p_1 \left\{ \frac{\lambda_1 - 1}{\lambda_1} (1 - \mu\eta\lambda_2)^{2(n-1)} \cos^2 \left[0,5\pi(N+1) \sin \left(\frac{63,2}{N\sqrt{\eta}} \right) \right] + \frac{\lambda_2 - 1}{\lambda_2} (1 - \mu\lambda_2)^{2(n-1)} \sin^2 \left[0,5\pi(N+1) \sin \left(\frac{63,2}{N\sqrt{\eta}} \right) \right] \right\}$$

де p_{\min} — потужність завади на виході ЦАФ після закінчення процесу налаштування ($n \rightarrow \infty$); p_1 — потужність завади на першому додатковому вході ЦАФ; λ_i — власні сигнальні значення КМ, $i = 1 \dots l$; l — число джерел завад.

Співвідношення (1) отримано з урахуванням вибору крокового множника μ за умови мінімального рівня шуму градієнта [4].

Результати аналітичних розрахунків по співвідношенню (1) та моделювання для класичної організації обчислень в модулі ЦАФ з ПВП [2] наведені на рис. 2. Видно, що погана (20 дБ) обумовленість КМ знижує швидкість градієнтних ЦАФ з ПВП.

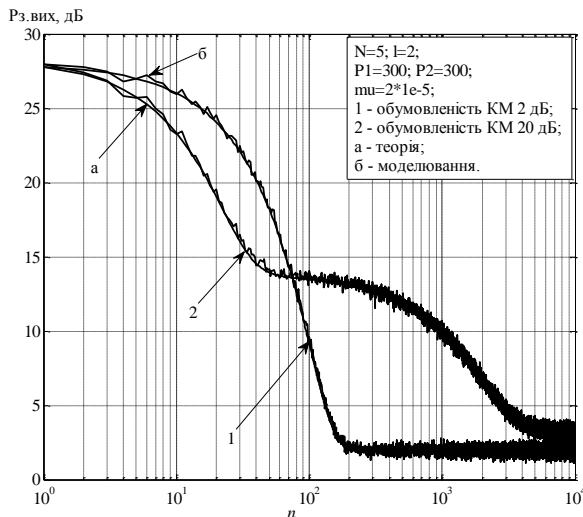


Рисунок 2. Потужність завади на виході ЦАФ з ПВП від кількості ітерацій

Час адаптації збільшується на 1...2 порядки (в порівнянні з випадком доброї обумовленості КМ – 2 дБ). У складних умовах заводової ситуації це може привести до втрати працездатності ЦАФ.

Найбільш складними з точки зору обчислювальних затрат є адаптивні алгоритми на основі калмановської фільтрації, які дозволяють отримати оптимальні характеристики як у перехідному, так і сталому режимах роботи фільтру [2].

Виходячи з отриманих вище результатів, представляє практичний інтерес проведення порівняльного аналізу ефективності роботи ЦАФ з ПВП на основі алгоритмів Уідроу та Калмана в умовах поганої обумовленості КМ завад.

У алгоритмі Калмана, обчислення вагових коефіцієнтів k буде

$$k(n) = k(n-1) + K(n) \left[U_o^*(n) - (U_d^*(n))^T k(n-1) \right],$$

де $k(n), k(n-1)$ — комплексні вагові коефіцієнти додаткових каналів прийому ЦАФ для n -ї та $(n-1)$ -ї вибірки; $K(n)$ — матриця коефіцієнтів передачі фільтру Калмана; $U_o(n), U_d(n)$ — складові сигналу на основному та додатковому вході ЦАФ; * — знак комплексної спряженості; T — знак ермітового транспонування. Матриця $K(n)$ алгоритму Калмана буде

$$K(n) = \frac{P(n) \cdot U_d(n)}{U_d^T(n) \cdot P(n) \cdot U_d(n) + R_v},$$

де $P(n) = P(n-1) - K(n) \cdot U_d^T(n) \cdot P(n-1)$ — коваріаційна матриця помилки прогнозу; R_v — діагональна матриця з елементами дисперсії шуму апроксимації сигналу основного каналу додатковими каналами прийому.

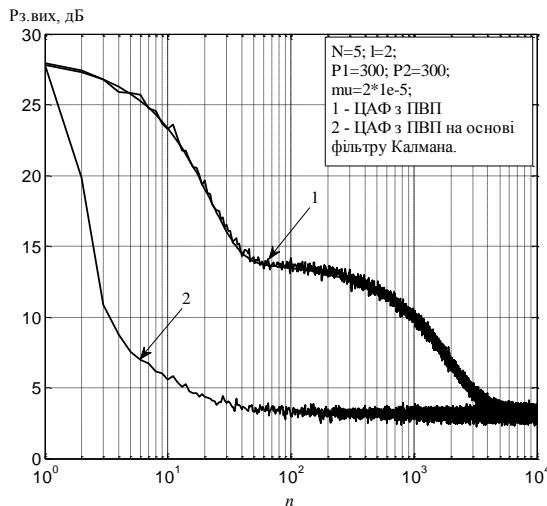


Рисунок 3. Потужність сигналу завади на виході ЦАФ з ПВП від кількості ітерацій для поганої (20 дБ) обумовленості КМ

Результати статистичного моделювання при використанні алгоритму Калмана у ЦАФ з ПВП представлено на рис. 3. Аналіз графіку (крива 2) підтверджує робастність алгоритму до поганої обумовленості КМ та свідчить про підвищення швидкодії ЦАФ з ПВП на основі алгоритму Калмана у 50 раз.

Перелік посилань

1. Кузьмін С. З. Цифровая радиолокация / С. З. Кузьмин. – К. : Изд-во КВіЦ, 2000 – 428 с.
2. Монзинго Р. Адаптивные антенные решетки / Р. Монзинго, Т. Миллер. – Пер. с англ. Под ред. Лекса-

ченко М. А. – М. : Радио и связь, 1986. – 448 с.

3. Бондаренко Б. Ф. Організація обчислення у цифровому адаптивному фільтрі / Б. Ф. Бондаренко, К. М. Семібаламут // Зб. наукових праць. – Вип. 2. – К. : КВІУЗ, 1998. – С. 3-13.

4. Бондаренко Б. Ф. Мощность шумов градиента в цифровых компенсаторах помех / Б. Ф. Бондаренко, К. М. Семібаламут // Известия ВУЗов. – Радиоэлектроника. – 1998, – Т. 41, № 11. – С. 62-66.

Анотація

Представлено порівняльний аналіз ефективності ЦАФ з ПВП на основі алгоритмів Уїдроу та Калмана у випадку поганої обумовленості КМ завад.

Ключові слова: Цифровий адаптивний фільтр з паралельним ваговим підсумовуванням, квазіградієнтний алгоритм Уїдроу, алгоритм Калмана.

Аннотация

Представлен сравнительный анализ эффективности ЦАФ с ПВС на основе алгоритмов Уидроу и Калмана при плохой обусловленности КМ помех.

Ключевые слова: Цифровой адаптивный фильтр с параллельным весовым суммированием, квазиградиентный алгоритм Уидроу, алгоритм Калмана.

Abstract

A comparative analysis of the effectiveness of digital adaptive filters (DAF) in parallel weighted summation of signals based on algorithms and Kalman Widrow in poor conditioning KM interference.

Keywords: digital adaptive filter with a parallel summation weight, quasigradient algorithm Widrow, Kalman algorithm.