

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ОБЕРТАНЬ ГІВЕНСА

Колесніков О.М.

Північно-східна філія Державного підприємства
«Український державний центр радіочастот», Україна

E-mail: kolesnikov@ucrpf.gov.ua

Abstract

Some design issues of systolic processors for the implementation of antenna array adaptation algorithms with degenerate or ill-conditioned correlation matrices using the method of Givens rotations were considered.

Використання в електронних комунікаційних мережах (ЕКМ) методів просторово-часової обробки сигналів (ПЧОС) на основі адаптивних антенних решіток (ААР) робить аналіз електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) в таких мережах достатньо складним, тому що при цьому значно зростає розмірність задач, що вирішуються.

Розглянемо ЕКМ, яка складається з ретранслятору зв'язку (РЗ) та N РЕЗ, на яких використовуються L_i - елементні ААР ($i = \overline{0, N}$, де $i = 0$ відповідає параметрам РЗ, $i = \overline{1, N}$ - параметрам РЕЗ).

Будемо вважати, що на вході кожної ААР присутній корисний сигнал та декілька сигналів від інших РЕЗ, які є джерелами небажаних електромагнітних завад.

У випадку відсутності завад, ЕКМ виконує свої функції з якістю, яка потрібна (такому випадку дамо назву випадком ізольованої поведінки мережі). При впливі завад умови функціонування окремих РЕЗ ЕКМ та, в цілому ЕКМ, можуть порушуватися.

Критерій ефективності функціонування ЕКМ можливо представити у вигляді [1]

$$\sum_{i=0}^N \beta_i \max_{t \in [0, T]} \left| \overset{\vee}{F}_i(t) - F_i(t) \right| \rightarrow \min_{\omega}, \quad (1)$$

де $\beta_i > 0$ – коефіцієнти, які характеризують пріоритети окремих РЕЗ; $T < \infty$; $\overset{\vee}{F}_i(t)$ – оператор, що характеризує якість функціонування i -го РЕЗ у випадку ізольованої поведінки радіообладнання; $F_i(t)$ – оператор, що характеризує якість функціонування i -го РЕЗ, коли на нього крім корисного сигналу впливають завади; ω – оператор керування діаграмою спрямованості ААР, що характеризує вектор вагових коефіцієнтів (ВВК) всіх ААР.

У випадку, коли $\overset{\vee}{F}_i(t)$, $F_i(t)$ є показниками завадостійкості (ймовірність помилки, відношення сигнал/(завада + шум) та інше), критерій (1) тотожний відомим критеріям ЕМС.

Розглянемо оптимізацію алгоритмів адаптації ААР по критеріям ЕМС (ω в (1)), що дозволяє здійснити придушення небажаних завад та, таким чином, забезпечити ЕМС РЕЗ.

Припустимо, що $\check{F}_i(t)$ та $F_i(t)$ в (1) характеризують потужність сигналу з виходу ААР.

Прийmemo $\check{F}_i(t) = W^T R_S W$, $F_i(t) = W^T R_{XX} W$, де R_S - кореляційна матриця (КМ) сигналів; R_{XX} - КМ сигналів та завад.

Визначимо обмеження на напрямок приходу корисного сигналу:

$$W^T S = k, \quad (2)$$

де $k > 0$ - значення коефіцієнта підсилення діаграми спрямованості в напрямку, що задається вектором S ; S - вектор хвильового фронту корисного сигналу.

При $\beta_i = 1$ перепишемо (1) у вигляді

$$|W^T R_{XX} W - W^T R_{XX} W| \rightarrow \min_{\omega}.$$

У даному випадку $R_{XX} = R_S + R_P$, де R_P - КМ завад. У такому випадку

$$W^T R_P W \rightarrow \min_{\omega} \quad (3)$$

при обмеженнях згідно (2).

Використовуючи метод множників Лагранжа, перепишемо (3) з урахуванням (2) у вигляді

$$\frac{1}{2} W^T R_P W - \lambda [W^T S - k] \rightarrow \min_{\omega}, \quad (4)$$

де $\lambda > 0$ - множник Лагранжа.

Після обчислення градієнту (4) по ВВК отримуємо

$$W = \lambda R_P^{-1} S. \quad (5)$$

Шляхом підстановки (5) у (2), визначимо значення множника Лагранжа

$$\lambda = \frac{k}{S^T R_P^{-1} S}.$$

З врахуванням цього отримуємо

$$W = \frac{k R_P^{-1} S}{S^T R_P^{-1} S}. \quad (6)$$

Для визначення ВВК з (6) можливе використання різних прямих алгоритмів ПЧОС, які ґрунтуються на оберненні або псевдооберненні КМ R_P та використовують відповідні методи лінійної алгебри. Складність та стійкість таких алгоритмів залежить від структури КМ та при її приналежності до матриць спеціального виду може бути суттєво покращена.

Деякі питання проектування систолічних процесорів для реалізації алгоритмів адаптації центральносиметричних антенних решіток (АР) розглянуті в [2].

Часто в алгоритмах ПЧОС доводиться оперувати з виродженими або погано обумовленими КМ. Для того, щоб матриця R_P була невиврождена, необхідно мати число вибірок $M \geq L$. Однак, при значному числі елементів АР виконати цю вимогу не завжди можливо. Крім того, погана обумовленість КМ R_P може виникати як наслідок обчислювальних похибок.

Одним з конструктивних підходів вирішення задачі адаптації АР з виродженими або погано обумовленими КМ є використання методу регуляризації [3] та обчислення (6) з КМ, що регуляризована, а саме

$$R_{pez} = \alpha I + R_p, \quad (7)$$

де $\alpha > 0$ – параметр регуляризації.

З використанням роботи [4], виконаємо ортогоналізацію регуляризованої, приведені до трикутної КМ (7), з використанням методу обертань Гівенса [5].

Як показано в [4], для реалізації алгоритму ПЧОС з ортогоналізацією КМ (7) необхідно два типу процесорних елементів (ПЕ) (рис. 1): зовнішній ПЕ (рис. 1, а), що генерує обертання з виконанням таких операцій:

при $a_{in}^{(1)} = 0$

$$c_{out}^{(1)} = 1, \quad d_{out}^{(1)} = 0, \quad b_{out}^{(1)} = b_{in}^{(1)};$$

у інших випадках

$$b_{out}^{(1)} = (b_{in}^{(1)^2} + a_{in}^{(1)^2})^{1/2}; \quad c_{out}^{(1)} = b_{in}^{(1)} / b_{out}^{(1)};$$

$$d_{out}^{(1)} = a_{in}^{(1)} / b_{in}^{(1)}$$

та внутрішній ПЕ (рис. 1, б), що розповсюджує обертання, виконуючи такі операції

$$b_{out}^{(2)} = c_{in}^{(2)} b_{in}^{(2)} + d_{in}^{(2)} a_{in}^{(2)}, \quad a_{out}^{(2)} = -d_{in}^{(2)} b_{in}^{(2)} + c_{in}^{(2)} a_{in}^{(2)}.$$

ПЕ об'єднуються у синхронну мережу. Структура систолічної мережі з розглянутими ПЕ, у випадку коли $L = 4$, представлена на рис. 1, в.

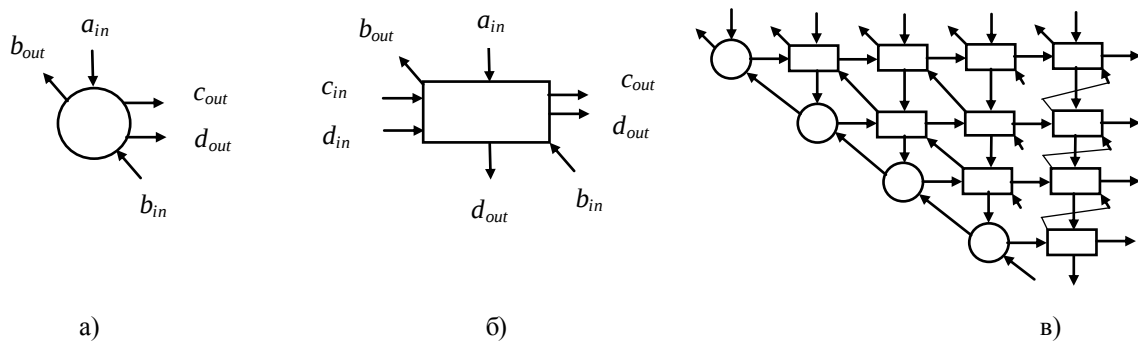


Рис. 1.

Література

1. Kontorovich V.Ja., Glushankov E.I. EMC analysis of multiple access systems using transmit-receive arrays // 9th Int. Zurich Symp. And Techn. Exhibition on EMC. – Zurich: 1991. – P. 203-207.
2. Глушанков Е.И., Колесников А.Н. Синтез систолического вычислителя для реализации алгоритма пространственной обработки сигналов // Радиотехника. 1991, № 4. С. 40-42.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. – 288 с.
4. Eldent L., Schreiber R. An application of systolic arrays to linear discrete ill-posed problems // SIAM J. Sci. Stat. Comput. – 1986. – V. 7. – N 3. P. 892 – 203.
5. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1967. – 576 с.