

СИСТОЛІЧНИЙ ПРОЦЕСОР ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУРИ МАЛОРАНГОВОЇ МОДИФІКАЦІЇ ФАКТОРІВ ХОЛЕЦЬКОГО В АЛГОРИТМАХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Колесніков О.М.

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

e-mail: kan1962doka@gmail.com

Abstract

Systolic processor is synthesized that provides the procedure of low-rank modification of the Cholesky correlation matrix of input signals at the rate of receipt of readings from the elements of the antenna array when implementing recurrent algorithms for updating the vector of weighting coefficients using the conjugate direction method.

Поряд з використанням інших методів, ефективним методом забезпечення електромагнітної сумісності є застосування алгоритмів просторово-часової обробки сигналів (ПЧОС) в багатоелементних адаптивних антенних решітках (АР). Реалізація алгоритмів адаптації АР може бути здійснена як на послідовних, так і на паралельних, у тому числі систолічних процесорах (СП).

Використання СП для реалізації алгоритмів ПЧОС має ряд переваг у порівнянні з іншими способами, до основних з яких відноситься висока ступень розпаралелювання і, відповідно, висока швидкодія (швидкодія СП наближається до швидкодії оптичних процесорів), технологічність виготовлення у вигляді надвеликих інтегральних схем, що означає незначні масогабаритні та енергетичні показники, надійність та інше. СП знаходять все більш широке поширення для виконання різних матричних обчислень, в тому числі і алгоритмів ПЧОС.

Метою роботи є синтез структури СП для реалізації обчислювальної процедури малорангової модифікації факторів Холецкого в прямих алгоритмах адаптації АР, які ґрунтуються на рекурентному оновленні вектору вагових коефіцієнтів (ВВК) та оберненні кореляційної матриці (КМ) з використанням методу спряжених напрямків.

Прямі алгоритми адаптації АР включають обчислення КМ та її обернення з наступним множенням на бажаний керуючий вектор, який обирається відповідно до критерію оптимізації процесу ПЧОС, що використовується. При цьому, обчислення оцінки КМ R_{xx} здійснюється шляхом усереднення по кінцевому числу K незалежних вибірок вектору X вхідних сигналів L - елементної АР:

$$R_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K X^*(k)X^T(k), \quad (1)$$

де $X^T(k)$ – k -а вибірка транспонованого вектору X ; * – знак комплексного спряження.

Потім, по оцінці (1), обчислюють обернену матрицю R_{xx}^{-1} та знаходять оптимальний ВВК W_{opt} як добуток матриці R_{xx}^{-1} і керуючого вектору S :

$$W_{opt} = \sigma R_{xx}^{-1} S^*, \quad (2)$$

де σ – довільний комплексний коефіцієнт.

У роботах [1, 2] розглянуті деякі питання проектування СП для реалізації прямих алгоритмів адаптації центральносиметричних АР, у тому числі, коли КМ належить до однієї з спеціальних структур (теплицевої, блочно-теплицевої, циркулянтної, блочно-циркулянтної).

Іншим важливим класом алгоритмів ПЧОС, що мають більш високу швидкодію, є алгоритми адаптації АР, які базуються на рекурентному оновленні ВВК по вхідній вибірці відліків з антенних елементів, у процесі якого відбувається також обчислення оберненої КМ. Серед таких алгоритмів досить конструктивними є алгоритми, що базуються на методі спряжених напрямків [3]. Суть цього методу в задачах ПЧОС складається у тому, що рішення (2) представляється в вигляді лінійної комбінації векторів, ортогональних у метриці, яка пов'язана з КМ R_{xx} .

При формуванні адаптованої діаграми спрямованості АР у масштабі реального часу запишемо (1) у рекурентній формі:

$$R_{xx}(k+1) = \mu R_{xx}(k) + (1-\mu)X(k+1)X^T(k+1), \quad (3)$$

де $X(k)$ – вектор вхідних сигналів антенних елементів на k -й вибірці; μ – константа, що знаходиться в діапазоні (0,1) та яка визначає швидкість оновлення КМ R_{xx} .

Виконуючи перетворення (3) за методом спряжених напрямків, отримуємо процедуру обчислення ВВК W_{opt} у наступному вигляді:

- оновлення фактору Холецького $L_R(k+1)$ матриці R_{xx} (трикутний розклад (триангуляризація) R_{xx});
- знаходження вектору $Z(k+1)$ шляхом розв'язання рівняння

$$[L_R(k+1)L_R^T(k+1)]Z(k+1) = X(k+1) \quad (4)$$

у вигляді

$$L_R(k+1)V_R = X(k+1), \quad L_R^T(k+1)Z(k+1) = V_R; \quad (5)$$

- послідовні обчислення:

$$Z^T(k+1)X(k+1) = a_R; \quad (6)$$

$$X^T(k+1)W(k) = b_R; \quad (7)$$

$$Z^T(k+1)S(k+1) = c_R; \quad (8)$$

$$X^T(k+1)X(k+1) = h_R; \quad (9)$$

$$q_R = h_R/a_R; \quad (10)$$

$$Z_1(k+1) = X(k+1) - q_R Z(k+1); \quad (11)$$

$$\alpha_1 = \mu^{-1} - 1; \quad (12)$$

$$W_1(k+1) = W(k) + \alpha_1 Z_1(k+1); \quad (13)$$

$$\alpha_2 = (c_R - b_R)/a_R; \quad (14)$$

$$W_2(k+1) = W_1(k+1) + \alpha_2 Z(k+1). \quad (15)$$

Вектор $W_2(k+1)$ є оптимальним ВВК на $(k+1)$ -у кроці, тобто $W(k+1) = W_2(k+1)$.

Алгоритм (4) – (15) передбачає використання процедури малорангової модифікації факторів Холецького. Для її реалізації за методом [1] синтезований СП.

Векторизований алгоритм оновлення факторів Холецького має вигляд:

$$t_0 = 1, X^{(1)}(k+1) = X(k+1), \quad (16)$$

для $j = \overline{1, L}$ обчислюються:

$$p_j = x_j^{(j)}(k+1), t_j = t_{j-1} + p_j^2/d_j(k); \quad (17)$$

$$d_j(k+1) = d_j(k)t_j/t_{j-1}, \beta_j = p_j/[d_j(k)t_j]; \quad (18)$$

$$x_r^{(j+1)} = x_r^{(j)} - p_j l_{rj}(k); \quad (19)$$

$$l_{rj}(k+1) = l_{rj}(k) + \beta_j x_r^{(j+1)}, \quad (20)$$

де $r = \overline{j+1, L}$; $l_{rj}(k)$ – r, j -й елемент трикутної матриці L_R на k -у кроці, причому $R_{xx} = L_R L_R^T$.

Представимо алгоритм (16)–(20) у вигляді G -решітчастого графу, який, для випадку чотирьохелементної АР, зображений на рис. 1, а. Вершини графу G відповідають обчислювальним коміркам СП, а ребра – зв’язкам між ними. Синтезований по графу G СП показаний на рис. 1, б, з якого видно, що до складу СП входять три типу процесорних елементів (ПЕ) (рис. 2, а, б, в).

ПЕ виконують такі операції:

$$\beta_{out}^{(1)} = \beta_{in}^{(1)}, \quad l_{out}^{(1)} = l_{in}^{(1)}, \quad p_{out}^{(1)} = p_{in}^{(1)} - \beta_{in}^{(1)} l_{in}^{(1)}$$

у першому ПЕ;

$$\beta_{out}^{(2)} = p_{in}^{(2)}, \quad d_{out}^{(2)} = 1/p_{in}^{(2)}$$

у другому ПЕ;

$$l_{out}^{(3)} = p_{in}^{(3)} \beta_{in}^{(3)}, \quad \beta_{out}^{(3)} = p_{in}^{(3)} / d_{in}^{(3)}$$

у третьому ПЕ.

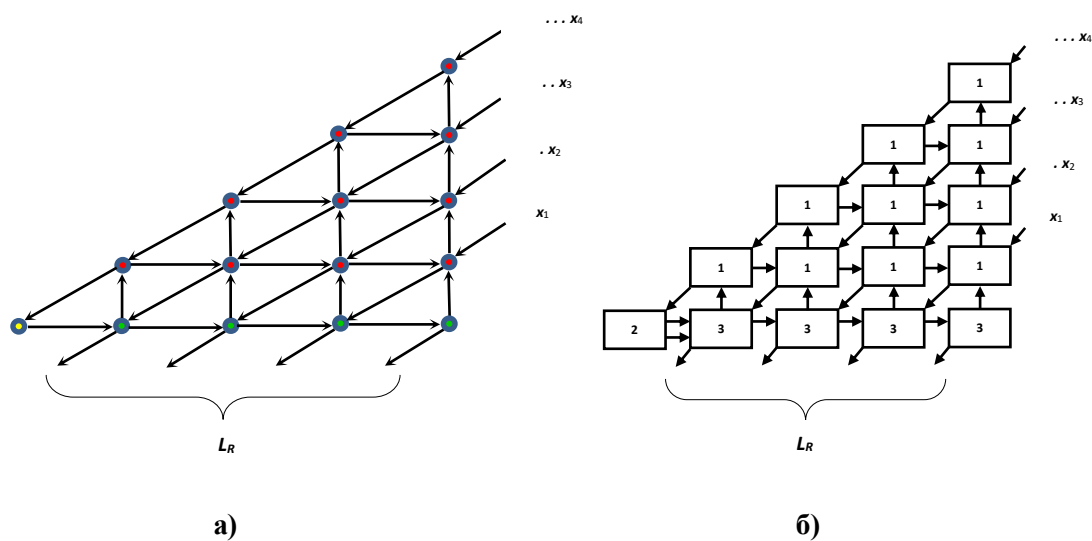


Рис. 1. G -решітчастий граф (а) та систолічний процесор (б) для реалізації процедури малорангової модифікації факторів Холецького

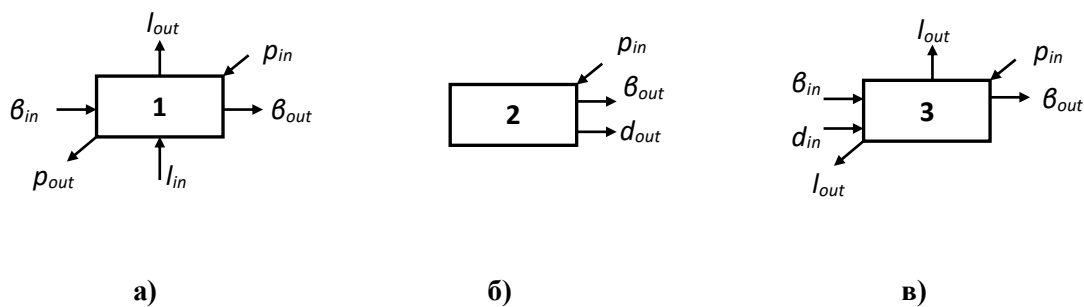


Рис. 2. Процесорні елементи першого типу (а), другого типу (б), третього типу (в)

Таким чином, синтезований СП (рис. 1, б) дозволяє виконувати модифікацію розкладення Холецького (16) – (20) у темпі надходження вхідних відліків з антенних елементів та може бути використаний для реалізації алгоритму адаптації АР за методом спряжених напрямків.

Література

1. Глушанков Е. И., Колесников А. Н. Синтез систолического вычислителя для реализации алгоритма пространственной обработки сигналов // Радиотехника. 1991, № 4. С. 40 – 42.
2. Kolesnikov A.N., Vasilishin V.I. Systolic processor for implementation of antenna arrays adaptation algorithm // Proceedings of International Conference on antenna theory and Techniques II. Kiev, 1997. P. 76 – 77.
3. Golub G.H., Van Loan C.F. Matrix computations. – John Hop King Univ. Press: Baltimore, 1983. – 489 р.