

**І.І. Слюсар, ад'юнк**  
 Полтавський військовий інститут зв'язку

**ВРАХУВАННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ КАНАЛІВ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ  
 З АДАПТИВНИМИ АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ**

(Представлено к.т.н., проф. Є.А. Якорновим)

Наведено аналітичний огляд шляхів усунення негативних факторів, які впливають на якість обробки сигналів в системах з цифровим діаграмоутворенням.

Розвиток сучасних і поява нових форм інформаційної боротьби посилюють вимоги до існуючих систем управління військами й об'єктами військового призначення. Для забезпечення їх ефективного функціонування необхідне радикальне вдосконалення засобів зв'язку. Це можливо шляхом впровадження нових технологій, серед яких ключовою є цифрове діаграмоутворення (ЦДУ) на основі цифрових антенних решіток (ЦАР). Не випадково за кордоном останнім часом інтенсивно фінансується ціла низка проектів, що демонструють можливості такого підходу до побудови систем зв'язку [1–6]. Оскільки використання ЦДУ пов'язане з певними труднощами, на думку провідних фахівців світу [7–9], крім технічних аспектів створення перспективних систем зв'язку, не меншої уваги заслуговують нові підходи до алгоритмічної обробки сигналів.

Як відомо, принцип функціонування базових станцій з ЦДУ полягає в тому, що на основі обробки даних, отриманих ЦАР, визначається краща можлива оцінка напрямків на абонентів. Як варіант, вона пов'язана з пошуком максимуму функції правдоподібності. Іноді ця функція має складний вигляд (при наявності потужних завад або близько розташованих адресатів), що може призвести до збільшення обчислювальних та апаратних витрат. До того ж, використання існуючих методів оцінки напрямків на кореспондентів призводить до помилок обробки, отже, потрібна точна система калібровки. Оптимальність обробки сигналів в системах з ЦДУ залежить від багатьох негативних факторів. Ігнорування їхнього паразитного впливу призводить до втрат енергетики і навіть може супроводжуватись порушенням зв'язку. Тому надалі доцільно розглядати спрощену модель ЦАР з урахуванням найвпливовіших чинників (рис. 1).

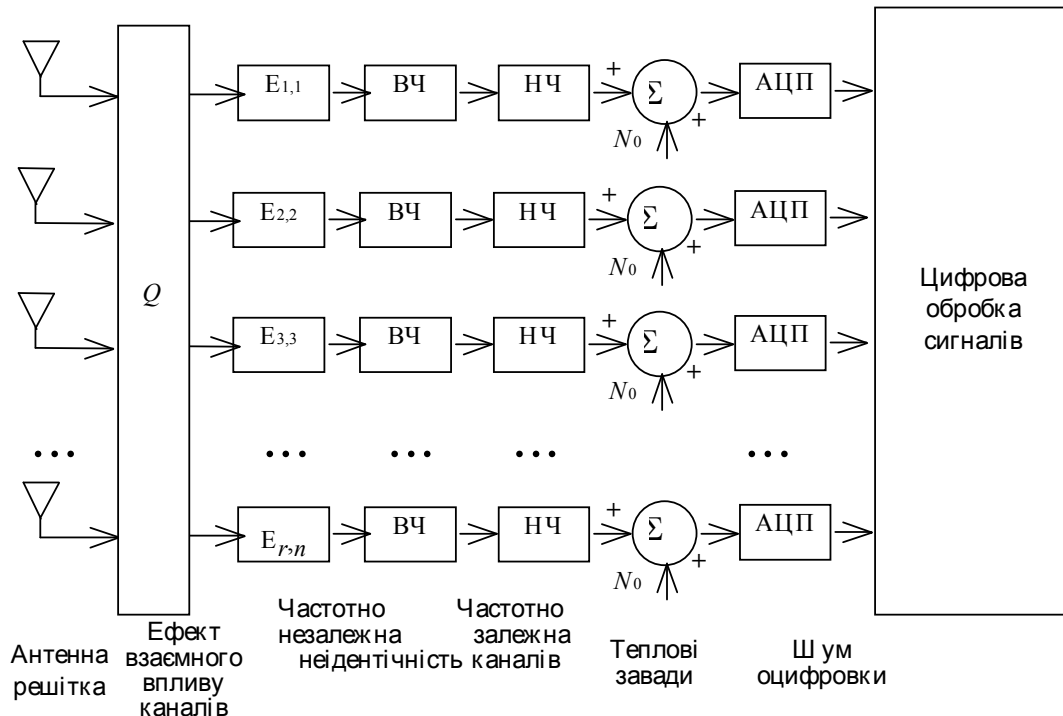


Рис. 1

Найбільший негативний вплив на процедури обробки сигналів має явище взаємного впливу антенних елементів каналів ЦАР (далі – взаємний вплив каналів). Для його згладжування існує кілька підходів. Зупинимося докладно на більш вдалих з них.

Перші спроби врахування електромагнітних властивостей ЦАР [10–12] призвели до високих обчислювальних витрат, а отримані результати стосувалися лише окремих випадків, які рідко зустрічаються на практиці. В свою чергу, аналіз досвіду проектування систем зв'язку множинного доступу з кодовим розподілом каналів (Code-Division Multiple-Access, CDMA) поставив питання про необхідність пошуку нових шляхів вирішення даної проблеми. Варіант її рішення пропонується в [13]. В [14] використовується градувальний метод калібрування плоскої ЦАР з використанням трьох експериментальних джерел випромінювання. В окремому випадку може використовуватися один рухомий випромінювач. Але для пропонуваної процедури калібрування завжди необхідний вимір сигнальних параметрів із трьох різних напрямків. Цей метод, на відміну від попередніх, має нижчі погрішності.

Розглянуті процедури врахування взаємного впливу каналів [13, 14] мають низку істотних недоліків. Обмеження, що накладені при синтезі, роблять їх вузькоспрямованими. Наприклад: орієнтація на приймальні ЦАР, електричні помилки градування інваріантні до напрямку прийому, необхідність знання параметрів експериментальних джерел випромінювання (азимут і кут місця, частота переданого сигналу, характеристики масиву антенних елементів) тощо. Крім того, в реальному масштабі часу вони можуть працювати лише з неоптимальними методами обробки сигналів, які використовуються в системах з ЦДУ. Все це звужує галузь задач, що можуть розв'язуватися за їх допомогою.

В [9] запропоновано згладжування взаємного впливу каналів відповідно до методів MUSIC, ROOT-MUSIC та їх модифікацій. На рис. 2 зображений відгук ЦАР, яка складається з 15-ти напівхвильових диполів, при нехтуванні взаємним впливом каналів (суцільна лінія) та при його врахуванні (пунктирна лінія). По вертикалі відкладено рівень відгуку решітки, а уздовж горизонтальної осі – кутову координату абонента радіозв'язку в градусах. В обробці сигналів здійснено обмеження 10 сусідніми каналами (рівень впливу інших каналів дуже малий). На відміну від раніше розглянутих процедур, було досягнуто зниження обчислювальних витрат. Однак орієнтація на метод MUSIC обмежує можливості системи зв'язку при корельованих шумах або низькому відношенні сигнал/шум.

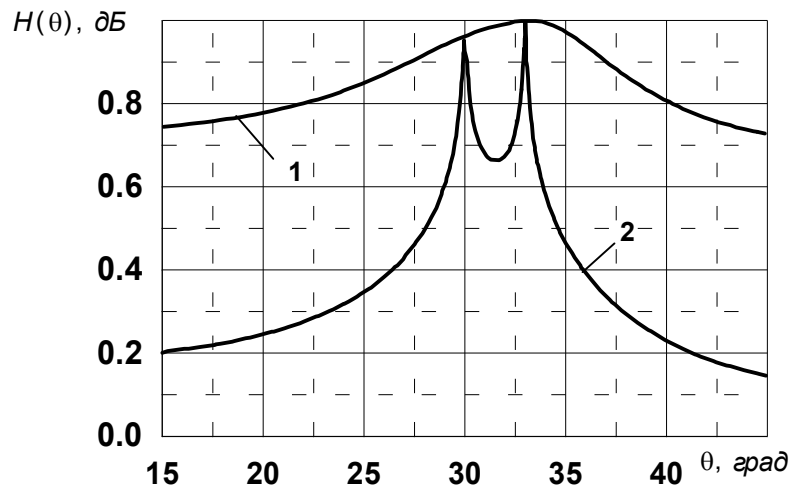


Рис. 2

Аналіз існуючих методів урахування взаємного впливу каналів дозволяє зробити висновок про їх недосконалість і невисоку ефективність. Це пов'язано з такими факторами: високі обчислювальні витрати, що не завжди прийнятно при обробці сигналів у реальному масштабі часу; орієнтація на порівняно прості та, як наслідок, неоптимальні процедури оцінки напрямку і надрозрізнення; поява додаткового зсуву отриманої оцінки та зниження її варіабельності; інваріантність до напрямку на кореспондента; розрахованість на високе відношення сигнал–шум, неадаптивність до заводої обстановки. Звідси виникає необхідність у комплексному підході до розробки таких методів врахування взаємного впливу каналів, які були б максимально вільні від перерахованих вище недоліків. Основні методологічні засади для їхнього синтезу наведені в [7]. Ця теоретична база дозволяє вести наукові дослідження в напрямку вдосконалення процедур виміру сигнальних параметрів. При урахуванні взаємного впливу каналів слід зосередитися на зниженні обчислювальних витрат, адаптації щодо заводої обстановки.

Один з таких підходів спирається на застосування модифікованої функції правдоподібності оцінки напрямків на мобільних кореспондентів. Для випадку комплексних значень напруги каналу решітки, характеристики каналу, коефіцієнтів взаємного впливу вона має вигляд:

$$L = \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R \sum_{k=Z}^P \left\{ a_m^c \left( q_k^c (B1_m U_r^c + B2_m U_r^s) + q_k^s (B1_m U_r^s - B2_m U_r^c) \right) \right\} + \tag{1}$$

$$+ \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^R \sum_{k=Z}^P \left\{ a_m^s \left( q_k^c (B1_m U_r^s - B2_m U_r^c) - q_k^s (B1_m U_r^c + B2_m U_r^s) \right) \right\} \rightarrow \max,$$

де

$$B1 = F_k^c(X_m) \cos(X_m(K-1)) - F_k^s(X_m) \sin(X_m(K-1));$$

$$B2 = F_k^c(X_m) \sin(X_m(K-1)) + F_k^s(X_m) \cos(X_m(K-1));$$

$$Z = \begin{cases} r-K/2, \\ 0, \end{cases} \text{ при } (r-K/2) \leq 0; \quad P = \begin{cases} r+K/2, \\ R, \end{cases} \text{ при } (r+K/2) \geq R;$$

$$x_m = \frac{2pd}{l} \sin(u_m) - \text{узагальнена кутова координата; } L - \text{довжина хвилі; } d - \text{відстань між елементами ЦАР; } \theta_m - \text{напрямок на кореспондента; } U_r^{c,s} - \text{квадратурні складові напруги } r\text{-го каналу; } a_m^{c,s} - \text{квадратурні складові оцінки амплітуд сигналу від } m\text{-го кореспондента; } F_k^{c,s}(X_m) - \text{квадратурні складові характеристики } k\text{-го каналу; } q_k^{c,s} - \text{квадратурні складові коефіцієнтів взаємного впливу } k\text{-го каналу; } M - \text{кількість кореспондентів; } R - \text{кількість каналів ЦАР; } K - \text{кількість каналів, вплив яких враховується.}$$

При обробці сигналів доцільно обмежитись урахуванням взаємодії між 10...20 каналами (K = 10...20). Ця кількість може адаптивно змінюватись в залежності від завадових обставин. При такому підході знижуються обчислювальні витрати та об'єм пам'яті (не потрібно зберігати значення характеристик всіх каналів). До того ж, можливий варіант обробки сигналів, в якому характеристики всіх каналів припускаються однаковими, з заданим рівнем неідентичності. Використання математичного апарату торцевих добутоків матриць [7] призводить до ще більшого скорочення обчислювальних витрат.

Таким чином, спираючись на проведений аналіз підходів щодо вирішення проблеми компенсації ефекту взаємного впливу каналів ЦАР, далі неважко передбачити шляхи розробки конкретних алгоритмів функціонування систем зв'язку з ЦДУ, синтез яких є актуальною науковою задачею найближчої перспективи.

Таким чином, спираючись на проведений аналіз підходів щодо вирішення проблеми компенсації ефекту взаємного впливу каналів ЦАР, далі неважко передбачити шляхи розробки конкретних алгоритмів функціонування систем зв'язку з ЦДУ, синтез яких є актуальною науковою задачею найближчої перспективи.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. В.И. Слюсар. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58–59.
2. www.sedssystems.ca/phfars.htm.
3. www.dnd.ca/commelec/nwsletr/vol39/naadm\_f.htm.
4. www.project-sunbeam.org.
5. www.trio.ca/research/asp-7.htm.
6. G.Fettweis, K.Iversen, M.Bronzel, H.Shubert, V.Aue, D.Mampel, J.Voigt, G.Wolf, and J.-P.Ebert. A Closed Solution For An Integrated Broadband Mobile Systems (IBMS) // ICUPC 1996, Boston, USA.
7. V.I. Slyusar, V.I. Buryachok. Model of signals for digital antenna array with mutual coupling on the basis of face-splitting matrices product // Proc. 1998 International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET' 98). Kharkov State University, June 2–5, 1998. – Vol. 1. – P. 424–425.
8. С.Л. Марпл. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – Москва: Мир, 1990. – 584 с.
9. T.Svantesson. Direction Finding in the Presence of Mutual Coupling. – [http://db.s2.chalmers.se/download/theses/lic\\_307.pdf](http://db.s2.chalmers.se/download/theses/lic_307.pdf).
10. G.Colman. An investigation into the capacity of cellular CDMA communications systems with beamforming in environments with scatter. Master's thesis, Queen's University at Kingston, 1998.
11. A.M. Earnshaw. An Investigation into Improving Performance of Cellular CDMA Communication Systems with Digital Beamforming. PhD thesis, Queen's University at Kingston, 1998.
12. J.Malherbe. Analysis of a linear antenna array including the effects of mutual coupling. IEEE Transactions on Education, 32(1): 29–34, February, 1989.
13. A.M. Wiglinski & S.D. Blostein. Antenna Array Mutual Coupling Effects on Cellular CDMA Communications Systems. – [http://ipcl.ee.qcensu.ca/papers/qbsc00\\_aw\\_sdb.pdf](http://ipcl.ee.qcensu.ca/papers/qbsc00_aw_sdb.pdf).
14. N.Fistas & A.Manikas. A new General Global Array Calibration Method. – <http://skynet.ee.ic.ac.uk/papers/Am1994010ICASSPcal.pdf>.

СЛЮСАР Ігор Іванович – ад'юнкт Полтавського військового інституту зв'язку.

Наукові інтереси:  
– цифрова обробка сигналів.

Подано 26.05.2001