

DOI: 10.18372/2310-5461.47.14866

УДК 621.395.721.5

О. Г. Плющ, канд. техн. наук, доц.
Державний університет телекомунікацій
orcid.org/0000-0001-5310-0660
e-mail: opliusch@yahoo.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАДІЄНТНОГО АЛГОРИТМУ НАЛАШТУВАННЯ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

Вступ

Адаптивні антенні решітки (ААР) знаходять широке використання в різноманітних галузях науки та техніки. У першу чергу до цих областей застосування багато авторів відносять радіолокацію та телекомунікаційні мережі. Головною метою використання ААР є підвищення завадозахищеності, збільшення пропускної здатності та поліпшення якості передачі інформації.

Характеристики антенних решіток поділяються на два типи: ті що визначають перехідні процеси та ті, що описують їх сталий стан. Під перехідними процесами розуміється час необхідний ААР для успішного налаштування з моменту її вмикання до досягнення сталого стану, або успішного переналаштування до зміни у завадовій ситуації.

Сталий стан позначає довготривалий процес після того, як вагові вектори закінчили змінюватися. Характеристиками сталого стану є форма діаграми направленості антени та вихідне відношення корисного сигналу до суміші завади та внутрішнього шуму. Швидкість налаштування ААР залежить від вибраного типу алгоритму налаштування та природи сигнального середовища.

Існує базовий компроміс між швидкістю налаштування в перехідному процесі та характеристиками адаптивної системи в сталому режимі. ААР повинна оптимізувати співвідношення між швидкістю адаптації та точністю налаштування у сталому режимі.

Існує велика кількість градієнтних алгоритмів налаштування ААР, але майже всі вони потребують формування опорного сигналу. Автором було синтезовано градієнтний алгоритм, який не потребує формування опорного сигналу [1] та продемонстрував гарні адаптаційні властивості в телекомунікаційному середовищі [2]. Але його перехідні характеристики не були досліджені повною мірою, особливо порівняно з класичним градієнтним алгоритмом адаптації для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки.

Виходячи з наведеного, проведення порівняльного аналізу характеристик перехідного процесу синтезованого алгоритму та відомого і широко розповсюдженого градієнтного алгоритму для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки є важливим та актуальним завданням, що потребує свого вирішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

ААР можуть значно сприяти задоволенню вимог, що висуваються до показників різноманітних пристроїв у телекомунікаційних мережах та радіолокації. Через це, інтенсивно проводяться дослідження щодо поліпшення характеристик ААР і це знаходить своє висвітлення в науково-технічній літературі [3; 4; 5]. У праці [6] є однією з самих удалих в області антенних решіток. У ній системно викладені основні типи ААР, описані їх характеристики як у сталому так і у перехідному режимах.

У праці [6] представлені різні алгоритми налаштування, від самих простих до самих складних, при цьому в подробицях описано градієнтний алгоритм для критерію мінімальної середньоквадратичної помилки. Але, нажаль, у цій роботі не приділено уваги пошуку тих градієнтних алгоритмів, що не потребують формування опорного сигналу. Крім того, автори праці [6] окремо наголошують, що поведінка ААР при зміні завадової ситуації знаходиться поза зоною їхньої уваги.

У джерелах [7; 4] висвітлюється використання градієнтного алгоритму найскорішого спуску для досягнення оптимуму за критерієм середньоквадратичної помилки та демонструється роль власних чисел кореляційної матриці допоміжних каналів у визначенні динамічних характеристик системи. У той же час, у цих працях не досліджено в повному обсязі характеристики градієнтних алгоритмів методами комп'ютерного моделювання, які є найбільш наочними серед інших.

У праці [8] представлено декілька нових алгоритмів налаштування, але не приділено достатньої уваги пошуку алгоритмів налашту-

вання, що не потребують присутності опорного сигналу.

У працях [1; 2] синтезовано оригінальний градієнтний алгоритм налаштування адаптивної антенної решітки за критерієм мінімуму дисперсії шуму та проведено його дослідження в телекомунікаційному середовищі. Але в цих джерелах не проведено порівняння перехідних характеристик синтезованого алгоритму з відомим градієнтним алгоритмом найшорішого спуску для критерію мінімальної середньоквадратичної помилки.

Постановка завдання

Одним з широко розповсюджених алгоритмів адаптації ААР є градієнтний алгоритм найшорішого спуску для критерію мінімальної середньоквадратичної помилки. Але він потребує формування опорного сигналу, що може призводити до певних труднощів. У той же час синтезовано оригінальний градієнтний алгоритм, що не потребує формування опорного сигналу. Характеристики перехідних процесів в ААР визначаються рознесенням власних чисел кореляційної матриці сигналів решітки.

Виникає необхідність порівняння розробленого оригінального алгоритму налаштування антенної решітки та того, що є загально відомим, при різних значеннях числа обумовленості кореляційної матриці ААР. При цьому вважається, що найкращим шляхом порівняння є проведення імітаційного комп'ютерного моделювання.

У цій статті зроблена спроба вирішити ці нагальні питання.

Метою статті — проведення порівняльного аналізу перехідних характеристик оригінального алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму та відомого градієнтного алгоритму найшорішого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки в заводових ситуаціях із різними числами зумовленості кореляційної матриці заводових сигналів решітки.

Для досягнення цієї мети розв'язуються такі наукові завдання:

- аналіз впливу різних заводових ситуацій на число обумовленості кореляційної матриці решітки;
- розробка імітаційних комп'ютерних моделей градієнтного алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму та градієнтного алгоритму найшорішого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки;
- вивчення поведінки зазначених алгоритмів в різних заводових ситуаціях та проведення порівняння їх перехідних характеристик.

Виклад основного матеріалу

Градієнтний алгоритм найшорішого спуску для критерію мінімальної середньоквадратичної помилки

Спочатку розглянемо відомий градієнтний алгоритм найшорішого спуску для ААР у якій реалізується критерій мінімальної середньоквадратичної помилки [6]. Функціональна схема антенної решітки що працює за критерієм мінімальної середньоквадратичної помилки наведена на рис. 1.

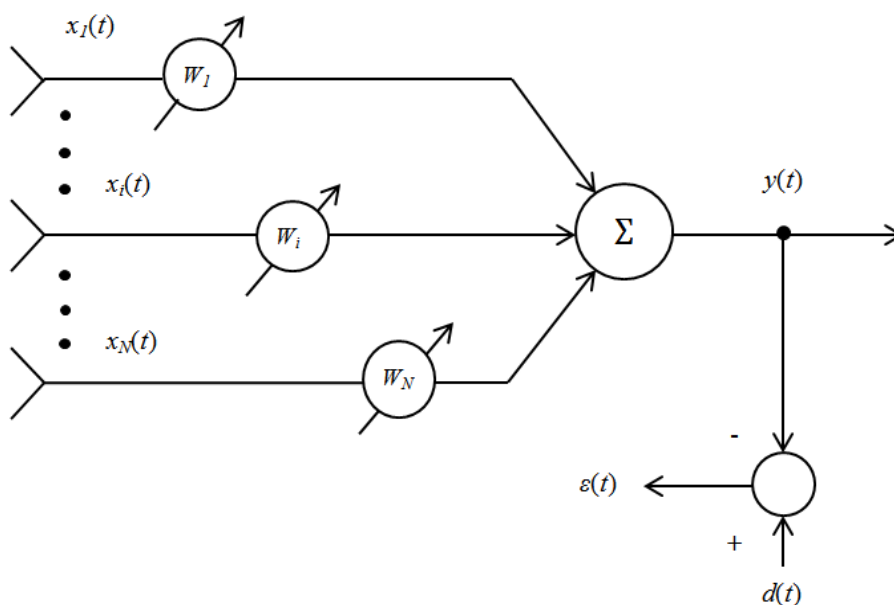


Рис. 1. Функціональна схема вузько-смугової антенної решітки, що реалізує критерій мінімуму середньоквадратичної помилки

На рис. 1 зображена вузько-смугова ААР що складається з N елементів, при цьому $x_i(t)$ позначає прийнятий сигнал в i -му елементі антенної решітки; w_i — ваговий коефіцієнт у i -му елементі антенної решітки; $d(t)$ — опорний сигнал, який має велику ступень кореляції з корисним сигналом; $\varepsilon(t)$ — сигнал помилки.

Вихідним сигналом такої системи є $y(t)$.

Головними умовами ефективної роботи ААР, що працює за критерієм мінімальної середньоквадратичної помилки, є такі:

- Завадові сигнали повинні мати практично нульову кореляцію з опорним сигналом та бажано мінімальну, якщо не нульову, кореляцію один з одним.
- Опорний сигнал являє собою копію корисного сигналу або, у крайньому випадку, має високу ступень кореляції з ним.

Добре відомий градієнтний алгоритм найшвидшого спуску для налаштування схеми на рис. 1 в комплексному вигляді може бути представлений таким чином [6]:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + 2\Delta_s \varepsilon(k) \mathbf{x}^*(k), \quad (1)$$

де $\mathbf{w}(k+1)$ — нове значення вагового вектору в проміжок часу kT ; $\mathbf{w}(k)$ — значення вагового

вектору в проміжок часу $(k+1)T$; Δ_s — константа що визначає крок налаштування; * — позначає комплексне спряження.

Головною проблемою при налаштуванні вузько-смугової решітки, що реалізує критерій мінімуму середньоквадратичної помилки, на рис. 1 є необхідність формування опорного сигналу з дуже високою ступеню кореляції зі корисним сигналом.

Для подолання цього недоліку автором був синтезований градієнтний алгоритм найшвидшого спуску для адаптивних решіток, що реалізує критерій мінімуму дисперсії шуму [1].

Градієнтний алгоритм налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму

Функціональна схема вузькосмугової решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму зображена на рис. 2.

В схемі відсутній опорний сигнал, а інформація про кут приходу корисного сигналу закладена в фазові зсуви що формуються фазообертачами Φ_i .

Інакше кажучи, можливо що кут падіння корисного сигналу відомий і ААР є попередньо налаштований на корисний сигнал.

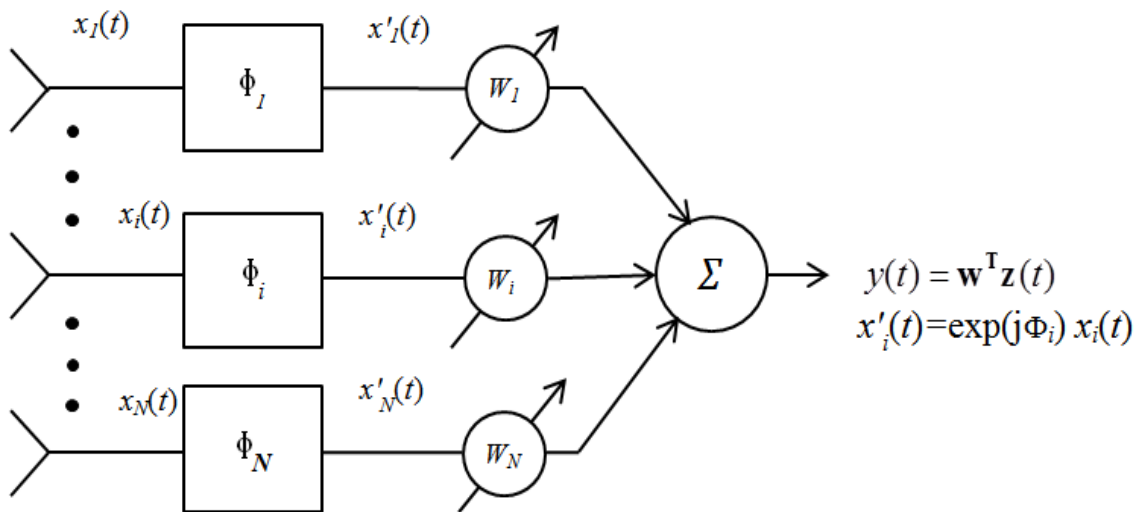


Рис. 2. Функціональна схема вузько-смугової ААР, що попередньо налаштована на корисний сигнал

Саме тому, що кут падіння корисного сигналу є відомим, постає можливість у ААР на рис. 2 використовувати критерій мінімуму дисперсії (або потужності) шуму. Сигнальний вектор на виході фазообертачів може бути представлений так:

$$\mathbf{x}'(t) = \Phi \mathbf{x}(t),$$

де Φ є діагональна матриця наступного типу:

$$\Phi = \begin{pmatrix} e^{j\Phi_1} & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\Phi_N} \end{pmatrix}.$$

Градієнтний алгоритм налаштування антенної решітки синтезований у праці [1] для критерію

мінімуму дисперсії шуму виглядає так:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) - \Delta_s (\mathbf{x}'(k)\mathbf{x}^T(k)\mathbf{w}(k) - y(k)y(k)^* \mathbf{1})$$

$$w_i(k+1) = \frac{w_i(k+1)}{\sum_{n=1}^N w_n(k+1)}, \quad (2)$$

де $\mathbf{w}(k+1)$ — нове значення вагового вектору в проміжок часу kT ; $\mathbf{w}(k)$ — значення вагового вектору в проміжок часу kT ; Δ_s — константа що визначає крок налаштування; * позначає комплексне спряження; $\mathbf{1} = [1, 1, \dots, 1]^T$ — вектор, що складається з N одиниць.

Доцільним є ще раз підкреслити, що головною перевагою алгоритму (2) над виразом (1) є відсутність необхідності формувати

опорний сигнал, що в телекомунікаційних застосуваннях може складати великі труднощі. Для порівняння перехідних характеристик (1) та (2) доцільним є застосування імітаційного комп'ютерного моделювання.

Комп'ютерне моделювання алгоритмів налаштування ААР

Імітаційне комп'ютерне моделювання для алгоритмів (1) та (2), що використовуються для налаштування ААР зображених відповідно на рис. 1 та 2, було здійснено для лінійної вузько-смугової антенної решітки з наступними параметрами: кількість елементів в решітці — 5; відстань між елементами — півтривалості хвилі; всі антени є ненаправленими.

Завадові ситуації, що використовувалися для моделювання перелічені в таблиці.

Завадові ситуації для моделювання

№ з/п	Параметри корисного сигналу	Кути падіння завадових сигналів, град.	Відносні потужності завадових сигналів	Власні числа кореляційної матриці	Потенціальне відношення корисний сигнал/завада, дБ
1	Кут падіння: 0 град. Відносна потужність: 100	-60,0 -45,0 -30,0	100 200 150	1,0, 1,0, 42,3, 579,2, 1631,5	26,19
2	Кут падіння: 30 град. Відносна потужність: 100	-60,0 -45,0 -30,0	100 200 150	1,0, 1,0, 42,3, 579,2, 1631,5	26,44
3	Кут падіння: 0 град. Відносна потужність: 100	-60,0 -45,0 -30,0 20,0	100 200 150 100	1,0, 32,1, 496,8, 581,1, 1643,9	25,26
4	Кут падіння: 30 град. Відносна потужність: 100	-60,0 -45,0 -30,0 20,0	100 200 150 100	1,0, 32,1, 496,8, 581,1, 1643,9	21,06

На рис. 3. і 4 наведено результати моделювання для завадової ситуації № 1 з таблиці відповідно для градієнтного алгоритму найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки та для оригінального алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму.

На рис. 3, 4, як і на всіх подальших рисунках, літера А позначає відношення корисний сигнал/завада в дБ, у той час як літера В позначає кількість ітерацій під час налаштування. Цифра 1 на цих рисунках, і на всіх

наступних, позначає відповідну залежність відношення корисний сигнал/завада для певної ААР, відповідного алгоритму налаштування та певної завадової ситуації.

Результати імітаційного комп'ютерного моделювання для завадової ситуації № 2 відповідно для градієнтного алгоритму найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки та для оригінального алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму наведені на рис. 5 і 6.

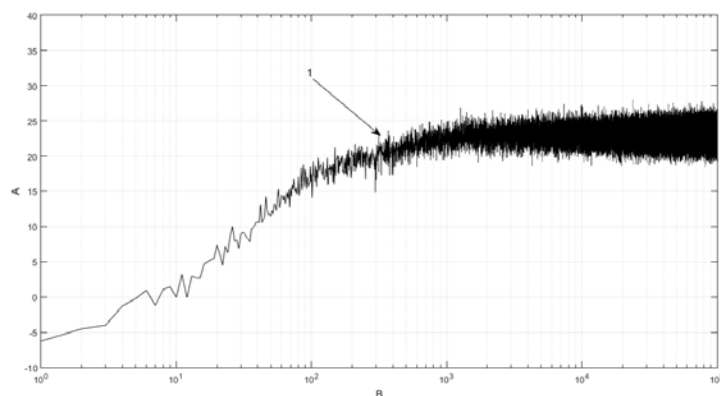


Рис. 3. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 1 з алгоритмом налаштування (1) для заводої ситуації № 1

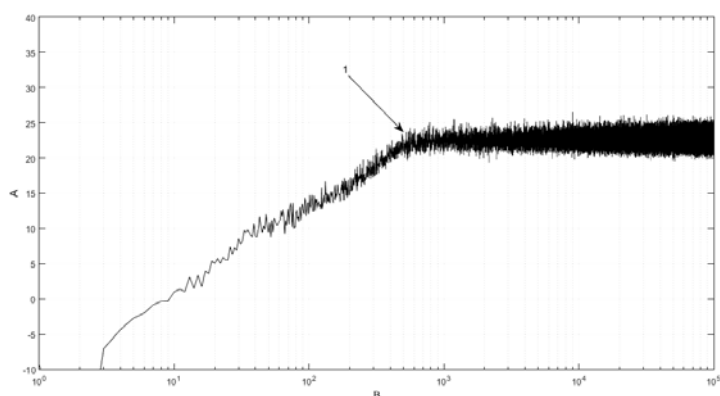


Рис. 4. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 2 з алгоритмом налаштування (2) для заводої ситуації № 1

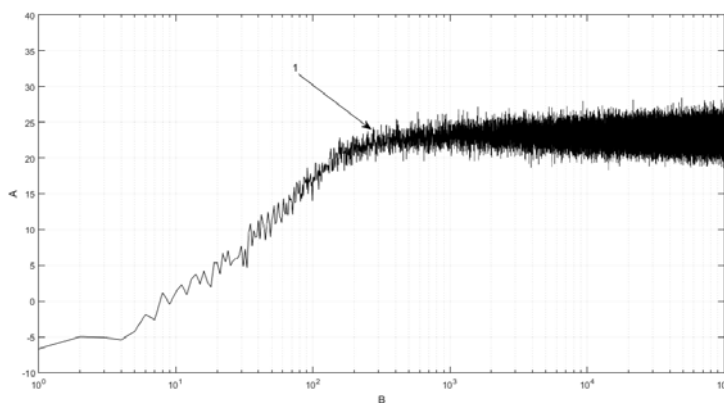


Рис. 5. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 1 з алгоритмом налаштування (1) для заводої ситуації № 2

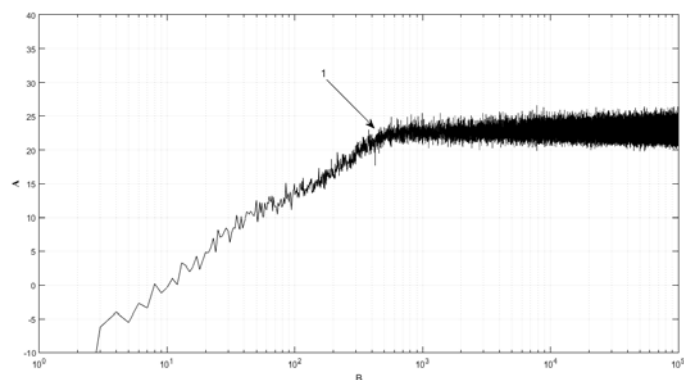


Рис. 6. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 2 з алгоритмом налаштування (2) для заводої ситуації № 2

Хоча заводові ситуації № 1 та № 2 із таблиці, криві налаштування для яких для обох алгоритмів наведені на рис. 3, 4, 5 і 6, відрізняються тільки кутом падіння корисного сигналу на ААР, що призводить до дещо повільнішого налаштування для ситуації № 2.

Це зумовлено тим, що у ситуації № 2 корисний сигнал знаходиться подальше від трьох джерел завод і відповідно ААР має менше зв'язаності, що і призводить до більш швидкого налаштування.

Цікаво зазначити, що криві налаштування для алгоритму (2), що зображені на рис. 4 та 6 мають чіткі три ділянки з різною крутизною, які відповідають трьом власним числам кореляцій-

ної матриці. У той самий час, криві на рис. 3 і 5 є більш гладкими з плавними переходами.

Головним є те, що загалом швидкість налаштування для алгоритмів (1) та (2), так само як і помилка у сталому режимі (різниця між оптимальним значенням сигнал/завада, що наведено в таблиці та досягнутим після завершення адаптації) є приблизно однаковими.

Рис. 7 і 8 являють собою результати імітаційного моделювання для заводової ситуації № 3 із таблиці відповідно для градієнтного алгоритму найшорішого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки та для оригінального алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму.

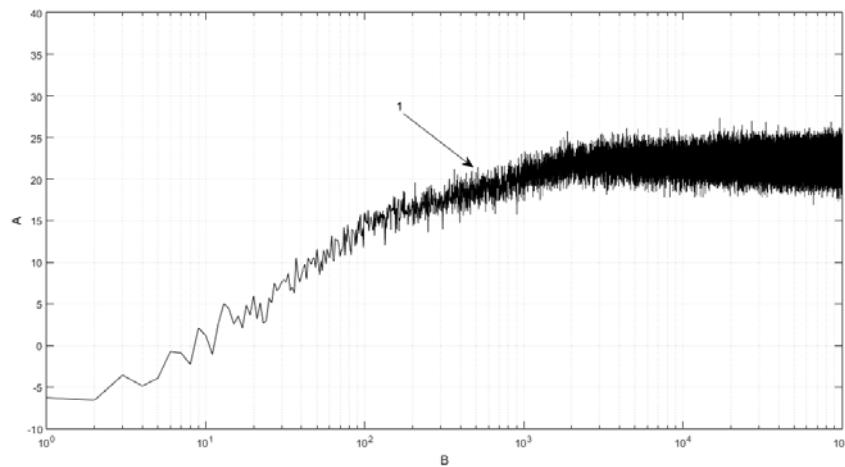


Рис. 7. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 1 з алгоритмом налаштування (1) для заводової ситуації № 3

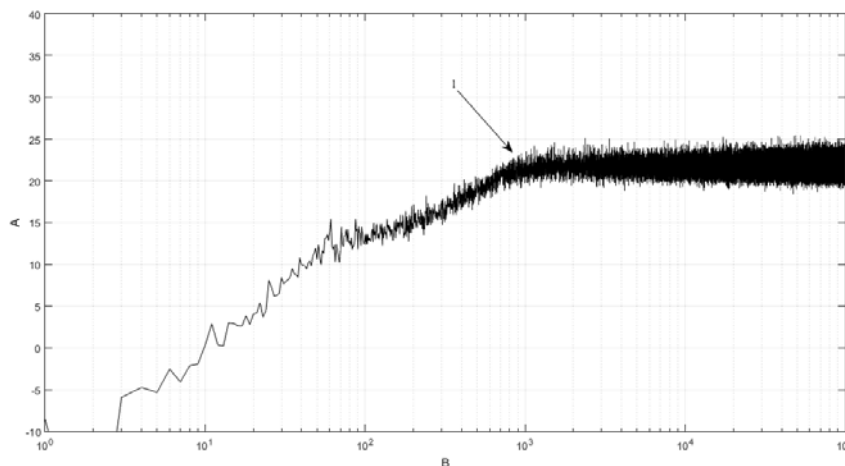


Рис. 8. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 2 з алгоритмом налаштування (2) для заводової ситуації № 3

Заводова ситуації № 3 відрізняється від заводової ситуації № 1 наявністю четвертого джерела завади. Завдяки цьому, як показано в таблиці, погіршилося число зумовленості кореляційної матриці. Зазначена обставина відразу викликала суттєве погіршення характеристик перехідного процесу, а саме його затягу-

вання. Це уповільнення відбулося як для алгоритму (1) так і алгоритму (2) в однаковому ступені. Знову потрібно підкреслити, що крива на рис. 8, яка відповідає алгоритму (2) складається з 4 ділянок, що відповідають чотирьом власним числам кореляційною матриці антенної решітки, у той час як крива на рис. 7 є більш гладкою.

Головним висновком з аналізу графіків на рис. 7 та 8 є те, що в заводській ситуації № 3 швидкість налаштування та помилка налаштування у сталому режимі є приблизно однакові.

Рис. 9 та 10 демонструють дані комп'ютерного моделювання для заводської ситуації № 4 з таблиці відповідно для градієнтного алгоритму найкорішого спуску для критерію мінімуму

середньоквадратичної помилки та для оригінального алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму.

Заводська ситуація № 4 відрізняється від заводської ситуації № 3 тим, що кут падіння корисного сигналу наблизився до цього параметру четвертого джерела завади.

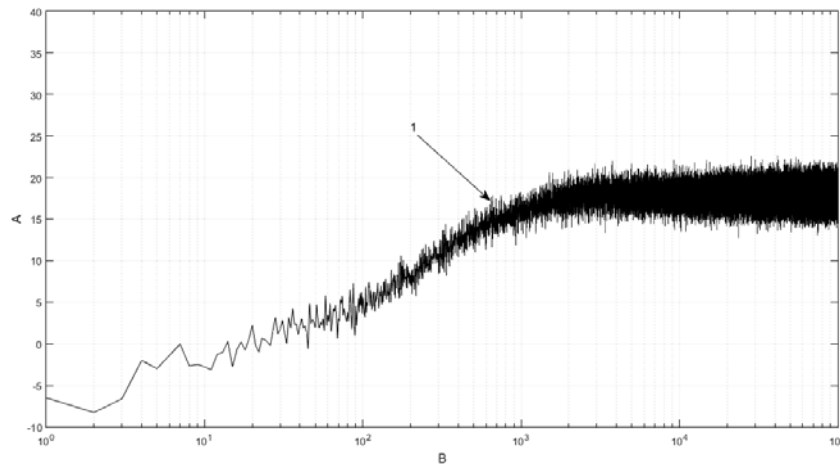


Рис. 9. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 1 з алгоритмом налаштування (1) для заводської ситуації № 4

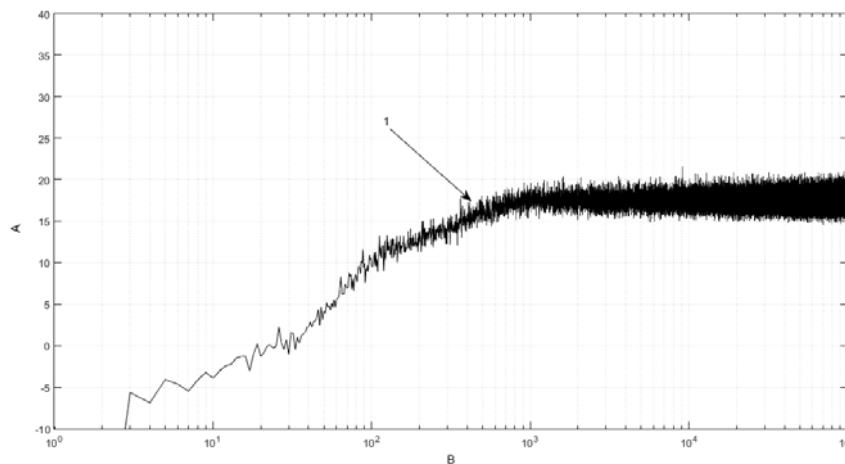


Рис. 10. Залежність від кількості ітерацій відношення корисний сигнал/завада для ААР на рис. 2 з алгоритмом налаштування (2) для заводської ситуації № 4

Зазначені зміни призвели до різкого погіршення досяжного і реального значення відношення корисний сигнал/завада в сталому режимі 21,06 проти 25,6 дБ, відповідно. При цьому швидкість налаштування майже не змінилася, що зумовлено тим, що кореляційна матриця заводських сигналів залишилася тією самою.

Тенденція, що для алгоритму (2) перехідний процес складається з певної кількості ділянок, що відповідають числу власних значень кореляційної матриці проявляє себе і в цій ситуації.

Головний же висновок залишається незмінним — характеристики як у сталому так і у перехідному режимах алгоритмів (1) і (2) залишаються приблизно однаковими.

Висновки

Перехідні характеристики градієнтних алгоритмів налаштування ААР значно визначаються заводською ситуацією та характеристиками корисного сигналу. Чисельно спрогнозувати поведінку в перехідному режимі ААР можливо за допомогою аналізу власних чисел кореляційної матриці.

Проведене імітаційне комп'ютерне моделювання продемонструвало що, не зважаючи на деякі особливості перехідного процесу, загально відомий, та такий що широко використовується на практиці, градієнтний алгоритм найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки та градієнтний алгоритм налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму показали приблизно однакові характеристики в різних заводових ситуаціях.

Цікавою відмінністю градієнтного алгоритму налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії є те, що крива перехідного процесу складається з чітко виражених ділянок з різною крутизною, кількість яких відповідає кількості власних чисел кореляційної матриці.

Результати дослідження довели, що замість градієнтного алгоритму найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки може широко використовуватися оригінальний градієнтний алгоритм налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії, особливо в тих застосуваннях, де формування опорного сигналу є неможливим або проблематичним.

Плющ О. Г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАДІЄНТНОГО АЛГОРИТМУ НАЛАШТУВАННЯ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

У статті проведено дослідження перехідних характеристики оригінального градієнтного алгоритму для критерію мінімуму дисперсії шуму. Синтезований під час попередніх досліджень, оригінальний градієнтний алгоритм для критерію мінімуму дисперсії шуму вигідно відрізняється тим, що він не потребує формування опорного сигналу для налаштування адаптивної антенної решітки. Підкреслено, що для повної оцінки можливостей практичної реалізації розробленого алгоритму необхідним є проведення його порівняльного аналізу з класичним градієнтним алгоритмом найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки. Порівняння двох алгоритмів здійснювалося для чотирьох різних заводових ситуацій шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання. Аналізуючи результати моделювання, встановлено, що час налаштування обох градієнтних алгоритмів в значній мірі визначається параметрами кореляційної матриці заводових сигналів антенної решітки, а саме розподілом її власних чисел. При оцінці перехідного процесу відкрито таку закономірність, що крива налаштування для оригінального градієнтного алгоритму для критерію мінімуму дисперсії шуму складається з чітко виражених сегментів з різною крутизною. Зроблено припущення, що ці ділянки визначаються кількістю та значеннями власних чисел кореляційної матриці заводових сигналів решітки.

Головним висновком є те, що оригінальний градієнтний алгоритм для критерію мінімуму дисперсії шуму та класичний градієнтний алгоритм найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки продемонстрували приблизно однакові результати в різних заводових ситуаціях. Виходячи з результатів моделювання, наголошено, що оригінальний градієнтний алгоритм налаштування антенної решітки для критерію мінімуму дисперсії шуму може використовуватися замість градієнтного алгоритму найшвидшого спуску для критерію мінімуму середньоквадратичної помилки, особливо в тих застосуваннях, де формування опорного сигналу є неможливим або проблематичним.

Ключові слова: адаптивна антенна решітка; градієнтний алгоритм; комп'ютерне моделювання; телекомунікаційні мережі.

ЛІТЕРАТУРА

- 1. Pliushch O. G.**, "Gradient Signal Processing Algorithm for Adaptive Antenna Arrays Obviating Reference Signal Presence," presented at the IEEE International Scientific-Practical Conference PIC S&T, Kyiv, Ukraine, October 8–11. 2019. Paper 190.
- 2. Oleksandr Pliushch**, Viktor Vyshnivskiy, Serhii Toliupa, Anatolii Rybydajlo. "Studying behavior of the Gradient Signal Processing Algorithm for Adaptive Antenna Arrays in Telecommunication Environment"// Proceedings of the 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET - 2020). Lviv-Slavske, Ukraine, February 25–29. 2020. P. 107.
- 3. Гепко И. А.**, Олейник В. Ф., Чайка Ю. Д., Бондаренко А. В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. Киев. 2009. 672 с.
- 4. John Volakis**, Antenna Engineering Handbook. 5th ed. New York. 2018. 1755 p.
- 5. Robert J. Mailloux**, Phased Array Antenna Handbook. 3rd ed. Boston. 2018. 506 p.
- 6. Robert A. Monzingo**, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. Introduction to adaptive arrays, 2nd ed. New York. 2011. 553 p.
- 7. Радиоэлектронные системы:** Основы построения и теория. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп.; под ред. Я. Д. Ширмана. Москва. 2007. 512 с.
- 8. Григорьев В. А.**, Щесняк С. С., Гулюшин В. Л., Распаев Ю. А., Лагутенко О. И., Щесняк А. С. Адаптивные антенные решетки: учеб. пособие в 2-х частях. Часть 1. СПб. 2016. 179 с.

Pliushch O.

TRANSIENT PERFORMANCE STUDY OF GRADIENT ALGORITHM OF ANTENNA ARRAY ADAPTATION

The paper presents a study into transient performance of the original gradient algorithm for the criterion of minimal noise dispersion. Synthesized during previous research, original gradient algorithm for the criterion of minimal dispersion shows an advantage in that it does not require formation of a reference signal for the adaptive antenna array adjustment. It is stressed, that to fully assess the possibility of practical implementation of the designed algorithm, it is necessary to carry out its comparative analysis with classical gradient algorithm of the steepest descent for root mean square error criterion. Comparison for the two algorithms is done for four interference situations by the way of computer simulation. While analyzing simulation results, it is found that adaptation of the both algorithms to a large extent is determined by the interfering signals correlation matrix parameters of antenna array, namely its eigenvalues spread. During transient performance estimation, it is revealed a tendency that the curve of adaptation for the original gradient algorithm for minimal noise dispersion criterion consists from some distinct segments with different steepness. It is postulated that these segments are determined by the number and the magnitudes of the eigenvalues of the interfering signals correlation matrix of the antenna array. The main conclusion is the one that the original gradient algorithm for minimal noise dispersion criterion and the classical gradient algorithm of the steepest descent for root mean square error criterion demonstrated pretty equal performances in the different interference environments. From the computer simulation, it is stressed that original gradient algorithm for antenna array adaptation for the noise minimum dispersion criterion can be used instead of the gradient algorithm of the steepest descent for the root mean square error criterion, especially in those applications where formation of the reference signal is impossible or problematic.

Keywords: adaptive antenna array; gradient algorithm; computer simulation; telecommunication networks.

Плющ А. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАДИЕНТНОГО АЛГОРИТМА НАСТРОЙКИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В статье проведено исследование переходных характеристик оригинального градиентного алгоритма для критерия минимума дисперсии шума. Синтезированный во время предыдущих исследований, оригинальный градиентный алгоритм для критерия минимума дисперсии шума выгодно отличается тем, что он не нуждается в формировании опорного сигнала для настройки адаптивной антенной решетки. Подчеркнуто, что для полной оценки возможностей практической реализации разработанного алгоритма необходимым есть проведение его сравнительного анализа с классическим градиентным алгоритмом наискорейшего спуска для критерия минимума среднеквадратической ошибки. Сравнение двух алгоритмов осуществлялось для четырех разных помеховых ситуаций путем компьютерного имитационного моделирования. Анализируя результаты моделирования, установлено, что время настройки обоих градиентных алгоритмов в значительной степени определяется параметрами корреляционной матрицы помеховых сигналов антенной решетки, а именно распределением ее собственных чисел. При оценке переходного процесса выявлено такую закономерность, что кривая настройки для оригинального градиентного алгоритма для критерия минимума дисперсии шума состоит из четко выраженных сегментов с разной крутизной. Сделано предположение, что эти участки определяются количеством и величинами собственных чисел корреляционной матрицы помеховых сигналов решетки. Главным выводом есть то, что оригинальный градиентный алгоритм для критерия минимума дисперсии шума и классический градиентный алгоритм наискорейшего спуска для критерия минимума среднеквадратичной ошибки показали приблизительно одинаковые результаты в разных помеховых ситуациях. Исходя из результатов моделирования, подчеркнуто, что оригинальный градиентный алгоритм настройки антенной решетки для критерия минимума дисперсии шума может использоваться вместо градиентного алгоритма наискорейшего спуска для критерия минимума среднеквадратической ошибки, особенно в тех применениях, где формирование опорного сигнала есть невозможным или проблематичным.

Ключевые слова: адаптивная антенная решетка; градиентный алгоритм; компьютерное моделирование; телекоммуникационные сети.

Стаття надійшла до редакції 18.07.2020 р.
Прийнято до друку 14.08.2020 р.