

DOI: 10.18372/2310-5461.54.16751

УДК 621.395.721.5

О. Г. Плющ, д-р техн. наук, доц.
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
orcid.org/0000-0001-5310-0660
e-mail: oplusch@yahoo.com

А. С. Савченко, д-р техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-8205-8852
e-mail: a.s.savchenko@ukr.net

ШИРОКОСМУГОВИЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИЙ КАНАЛ З АДАПТИВНИМИ АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ З НЕПОВНИМ ЗНАННЯМ СТРУКТУРИ СИГНАЛУ ПРИ БАГАТОПРОМЕНЕВОМУ РОЗПОВСЮДЖЕННІ

Вступ

Адаптивні антенні решітки (ААР) упродовж багатьох десятиліть відіграють велику роль в забезпеченні потрібних показників роботи різного за своїм призначенням обладнання, включаючи і телекомунікаційне [1; 2; 3]. Завдяки ААР розробники телекомунікаційних мереж спромоглися суттєво підвищити характеристики таких мереж. Існують кілька добре відомих критеріїв роботи ААР і ці критерії відрізняються між собою також тим, що вони є більш корисними для різних застосувань антенних решіток.

Критерій середньоквадратичної помилки (СКП) є зручним саме для використання в телекомунікаційних мережах [3], які є в центрі уваги цієї роботи.

Критерій СКП визначає оптимальні характеристики ААР в сталому режимі роботи (після завершення процесу адаптації), в той час як при практичній його реалізації потрібно знайти дієвий алгоритм налаштування до цього оптимального рішення.

Алгоритми налаштування для критерію СКП є добре вивченими в літературних джерелах і, як правило, вони потребують формування опорного сигналу (або його замітника) при практичній імплементації пристроїв [3; 6]. При побудові ААР за критерієм СКП вважають, що корисний сигнал якщо і не є відомим на практиці, тим не менш з певною похибкою є можливість створити його замітник. З іншого боку, ідея щодо створення замітника опорного сигналу піддається критиці, виходячи з того, що сигнал в телекомунікаційних мережах несе в собі нову та невідому інформацію [3].

Для подолання проблеми що пов'язана з формуванням опорного сигналу в певних роботах висунуті пропозиції щодо використання сигналів з прямим розширенням спектру [4; 5] при застосуванні таких сигналів в телекомунікаційних мережах з ААР [6]. Це поєднання вбачається особливо ефективним в багатопрореневому середовищі розповсюдження сигналів, в якому проблеми формування опорного сигналу постають особливо гостро. В праці [6] розглянуті питання щодо здатності використання псевдовипадкових кодових послідовностей (ПКП) отриманих з примітивних поліномів певного порядку для прямого розширення спектру в телекомунікаційному каналі та отримання різних опорних сигналів для ААР з метою обробки сигналів при багатопрореневому розповсюдженні. Хоча в цій роботі і отримано вагомні результати, що доводять можливість використання ПКП для формування опорних сигналів та розділення окремих компонент багатопрореневого розповсюдження, це дослідження має дещо обмежений характер.

Це пов'язано з тим, що в реальному широкосмуговому телекомунікаційному каналі окрім ПКП що розширює спектр сигналу, також є присутніми ПКП що скремблюють корисні біти та також і сама бітова послідовність, що передає потрібну інформацію [3].

Виходячи з наведеного, ця робота зосереджується на вивченні того, як наявність ПКП що скремблюють корисні біти та і самої бітової послідовності корисних сигналів буде впливати на налаштування ААР в широкосмугових телекомунікаційних мережах в

умовах багатопроменевого розповсюдження сигналів розглянутих в [6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Адаптивні антенні решітки були і залишаються однією з ключових технологій в телекомунікаціях та радіотехніці, тому багато науковців та інженерів зосередили свою увагу на їх дослідженні [1; 2; 3]. В поточний час, ці дослідження стають все більш на часі, тому як телекомунікаційні мережі нового покоління опановують все більш високі частоти, на яких реалізація ААР значно спрощується завдяки зменшенню довжини хвилі коливань. У праці [1] приділено велику увагу аналізу основних типів ААР, зроблено кількісний підрахунок їх важливих характеристик для різних критеріїв їх функціонування. Її можливо розглядати як базове джерело для опрацювання підходів до побудови устаткування з ААР. Дійсно, в цій роботі представлено аналіз критерію СКП функціонування адаптивної решітки, але не розглядається питання використання сигналів з прямим розширенням спектру з метою отримання опорного сигналу для ААР з критерієм СКП. Робота [2] відомого фахівця з ААР ґрунтовно викладає підходи до вивчення як стаціонарних так і перехідних процесів в ААР, при цьому не оминаючи питання налаштування антенних решіток за критерієм СКП. Нажаль, хоча автор роботи [2] і наголошує на необхідності формування опорного сигналу для адаптивного налаштування за цим критерієм, питання отримання цього опорного сигналу не зазнали достатнього опрацювання. Праця [3], яка отримала друге перевидання, є одним з самих цікавих джерел в сфері використання ААР завдяки своєму поєднанню теорії з практичними прикладами застосування таких решіток та великій кількості завдань для поглиблення розуміння матеріалу. Важливим надбанням цієї роботи є детальний аналіз тенденцій розвитку галузі ААР та обмежень які при цьому виникають. До недоліків цієї книги потрібно віднести те, що навіть якщо це джерело і розглядає питання отримання опорного сигналу для ААР що функціонують за критерієм СКП і вказує на проблеми формування цього опорного сигналу, воно не заглиблюється в проблеми створення опорного сигналу в телекомунікаційних застосуваннях.

У джерелах [4; 7] приділено глибоку увагу використанню ширококутових сигналів в мережах мобільного зв'язку 3-го покоління (CDMA). В них наголошується, що для прямого розширення спектру доречним є використання

ПКП, що отримуються з примітивних поліномів певного порядку та розглядаються властивості цих послідовностей. До недоліків, як вбачається, цієї роботи потрібно віднести те, що використання ААР в ширококутових телекомунікаційних мережах не розглядається та вивченню можливості застосування ширококутових сигналів для формування опорного сигналу для критерію СКП не приділяється уваги.

Праця [5] присвячена розробці методу побудови ширококутового телекомунікаційного каналу з комплексним використанням псевдовипадкових кодових послідовностей. В ній продемонстровано, що ефективний телекомунікаційний канал може складатися з трьох послідовностей: тривалої ПКП що розширює спектр сигналу, короткої ПКП що додатково скремблює біти корисного сигналу та безпосередньо бітової послідовності корисного сигналу. Ця робота має добре підтвердження своєї працездатності та ефективності шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання, але її недоліком є те, що вона не надає аналіз поведінки каналу в умовах багатопроменевого розповсюдження та використання ААР для протидії цьому явищу.

У праці [6] розглядається використання ширококутових сигналів з прямим розширенням спектру за допомогою тривалої ПКП для протидії ефекту багатопроменевого розповсюдження в телекомунікаційному каналі з ААР. Отримані результати є обнадійливими, так як продемонстрували, що за рахунок використання ПКП стає можливим виокремлювати окремі компоненти багатопроменевого розповсюдження не тільки в часі (добре відомий RAKE приймач), а і в просторі, за рахунок використання тривалої ПКП для отримання опорних сигналів при використанні критерію СКП. Недоліком роботи, або незавершеною частиною цього дослідження, є відсутність вивчення поведінки ААР в умовах неповного знання про комплексний сигнал що передається в ширококутовому телекомунікаційному каналі розглянутому в праці [5]. Таким неповним знанням може бути відсутність інформації про коротку ПКП що додатково скремблює біти корисного сигналу, про бітову послідовність корисного сигналу, або про обидва сигнали разом.

Робота [8] разом з іншими проблемами досліджує застосування ширококутових сигналів для управління безпілотними літальними апаратами для задоволення потреби підвищення завадозахищеності зв'язку.

Нажаль, це джерело не висвітлює використання ширококугових сигналів в ААР безвідносно будь-якого критерію їх роботи. Робота [9] являє собою наріжний камінь щодо генерування та застосування ПКП для прямого розширення спектру сигналу. Ця робота ретельно досліджує підходи до створення систем CDMA на базі таких послідовностей. Нажаль це джерело не торкається використання ширококугових сигналів з прямим розширенням спектру в системах ААР. Також в ньому не розглядаються критерії налаштування ААР та формування опорних сигналів в них.

Підсумовуючи огляд літературних джерел, стає можливим зробити висновок, що проблемі дослідження характеристик ААР що функціонують за критерієм СКП та розгорнуті в ширококуговому телекомунікаційному каналі в умовах багатопроменевого розповсюдження та неповного знання структури ширококугового сигналу, що складається з двох різних ПКП та послідовності корисних бітів, не приділено належної уваги. Цей аналіз створює підґрунтя для формулювання цілей та проведення подальших досліджень.

Постановка завдання

Адаптивні антенні решітки знаходять важливе застосування в галузі телекомунікацій. Критерій СКП постає як основний при використанні зазначених антенних решіток в цих використаннях. Як відомо, цей критерій вимагає отримання опорного сигналу в решітці, що може викликати складності. Ширококугові сигналу з прямим розширенням спектру дозволяють вирішувати проблему з формуванням опорного сигналу і вже проведені дослідження з використанням ПКП для виділення компонент багатопроменевого розповсюдження за допомогою ААР. Але ці дослідження є обмеженими що стосується вивчення впливу неповного знання про складний багатоконпонентний ширококуговий сигнал, що передається. В результаті, виникає нагальна потреба дослідження впливу неповного знання структури ширококугового телекомунікаційного сигналу на ефективність роботи ААР в умовах багатопроменевого розповсюдження. Дана робота і є зосередженою на вирішенню цього важливого та нагального завдання.

Мета статті

Метою роботи є вивчення використання багатоконпонентних ширококугових сигналів з прямим розширенням спектру для формування опорного сигналу в ААР при реалізації критерію СКП при відсутності повного знання про структуру сигналу в умовах багатопроменевого

розповсюдження та опрацювання практичних рекомендацій щодо процесу налаштування ААР.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються наступні наукові задачі:

- синтез багатоконпонентних ширококугових сигналів з прямим розширенням спектру на основі псевдовипадкових кодових послідовностей;
- перевірка впливу неповного знання про компоненти ширококугового сигналу на ефективність функціонування ААР за критерієм СКП при реалізації задачі виокремлення багатопроменевих компонент прийнятого сигналу;
- розробка рекомендацій щодо реалізації результатів досліджень на практиці.

Виклад основного матеріалу

Градiєнтний алгоритм що оптимізує критерій СКП

Згідно з зазначеною метою дослідження в роботі вивчається робота ААР при реалізації критерію СКП. Функціональна схема такої ААР з відомим корисним сигналом представлена на рис. 1 [3; 6], де $x_i(t)$ — позначає прийнятий сигнал в i елементі решітки, w_i — ваговий коефіцієнт в i елементі, $d(t)$ — опорний сигнал що є копією корисного сигналу, $\varepsilon(t)$ — сигнал помилки. Як зрозуміло з рис.1, знання структури корисного сигналу дозволяє легко сформувати опорний сигнал як його копію.

Критерій СКП, що є втіленим в схемі на рис.1, формульним чином може бути представлений як математичне очікування (середнє) квадрата помилки наступним виразом [3;6]:

$$E\{\varepsilon^2(t)\} = S - 2\mathbf{w}^T \mathbf{r}_{xd} + \mathbf{w}^T \mathbf{R}_{xx} \mathbf{w} \quad (1)$$

де: \mathbf{r}_{xd} — вектор кореляції прийнятих сигналів решітки $x_i(t)$ та опорного сигналу $d(t)$; \mathbf{R}_{xx} — кореляційна матриця прийнятих сигналів; S — потужність корисного сигналу.

Загальновідомо [2; 3], що мінімізація (1) і є ціллю адаптації ААР на рис.1 за рахунок вибору вагового вектору \mathbf{w} ; при цьому мінімальне значення (1) отримується в тому випадку, коли градієнт середньоквадратичної помилки досягає значення нуля.

З літературних джерел є відомою формула що реалізує рекурентну процедур спроможну оптимізувати (мінімізувати) (1) і тим самим виконати налаштування ААР на рис.1:

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

де * означає комплексне спряження, Δ_s — константа, що визначає крок налаштування (2).

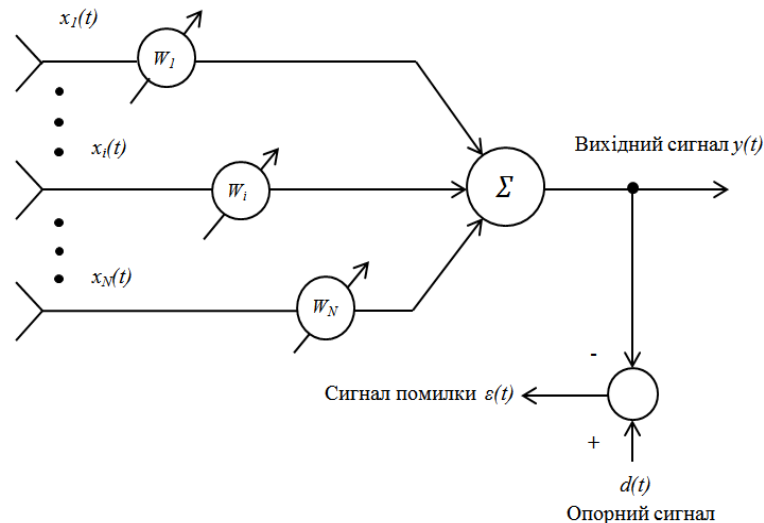


Рис. 1. Структурна схема антенної решітки при реалізації критерію СКП і відомому корисному сигналі

Вираз (2) є зраним як градієнтний алгоритм адаптації найскорішого спуску. Цей алгоритм широко застосовується в ААР в телекомунікаційних застосуваннях і має достатньо велику кількість виграшних ознак, зокрема гарну ефективність при достатній простоті. Саме цей алгоритм і був застосований в [6] для дослідження ААР з широкосмуговими сигналами з прямим розширенням спектру

Потрібно зауважити, що як ААР на рис. 1 так і алгоритм налаштування (2) потребують наявності опорного сигналу у вигляді копії корисного сигналу. Тому, точне знання структури корисного сигналу є необхідним для забезпечення ефективного процесу адаптації згідно з (2). Це постає як негативна риса цієї схеми, що може звужувати можливість застосування цієї рекурентної формули [3]. Проблеми пов'язані з формуванням опорного сигналу стають більш складними в ситуаціях, коли ААР використовується в багатопроменевому середовищі. Це викликано тим фактом, що складові багатопроменевого розповсюдження хоча і подібні одна до одної, тим не менш ці складові мають різні затримки. До того ж, ці затримки постійно варіюють.

Саме широкосмугові сигнали з прямим розширенням спектру за допомогою псевдовипадкових кодових послідовностей є дуже зручними для використання в ААР що працюють за критерієм СКО, виходячи з того, що вказані вище затримки багатопроменевого розповсюдження можуть вимірюватися за допомогою RAKE приймача.

Вибір сигналу з прямим розширенням спектру для дослідження в ААР

У праці [6] проведено дослідження функціонування ААР з широкосмуговими сигналами тільки в умовах присутності однієї відомої ПКП тривалістю 32768 чіпів. І хоча були отримані добрі результати, цей випадок не зовсім відповідає практиці. На практиці додатково є присутніми послідовність бітів корисного сигналу та інші ПКП, що додатково скремблюють біти сигналу.

Виходячи з зазначеного вище, в поточному дослідженні пропонується застосовувати сигнал з широкосмугового телекомунікаційного каналу, що розроблено в [5]. Згідно з [5], кадрова та чіпова структури широкосмугового сигналу телекомунікаційного каналу виглядають так:

- кожний кадр тривалістю 32768 чіпів вміщує в собі 128 біт інформації по 256 чіпів кожний;
- формуються чотири коротких псевдовипадкових кодових послідовностей, які мають період 256 чіпів, що дорівнює тривалості одного біту;
- формується десять псевдовипадкових кодових послідовностей, які мають період 32 768 чіпів, що дорівнює тривалості кадру;
- обирається початкова комбінація «коротка псевдовипадкова послідовність — тривала псевдовипадкова послідовність — циклічний зсув тривалої псевдовипадкової послідовності» і на її основі формується перший кадр телекомунікаційного каналу;
- для розширення спектру усі біти кадру обробляються тривалою кодовою послідовністю довжиною 32768 чіпів зі сформованих триплетів;
- усі біти, окрім першого, піддаються скремблюванню за рахунок короткої кодової

послідовності тривалістю 256 чіпів із вибраного триплету;

- перший біт завжди має значення одиниця і не розширюється короткою кодовою послідовністю тривалістю 256 чіпів а, навпаки, використовується для кадрової синхронізації;
- кадрова синхронізація здійснюється за рахунок перших 256 чіпів тривалої кодової послідовності зі 32768 чіпів;
- зі зміною кадру здійснюється перехід від одного триплету до іншого.

Таким чином, окреслений вище сигнал є трикомпонентним та складається з протяжної ПКП тривалістю 32768 чіпів, що позначає межі кадру та розширює спектр, короткої ПКП тривалістю 256 чіпів, що додатково скремблює кожний біт кадру окрім першого, та послідовності корисних бітових сигналів.

Псевдовипадкова кодова послідовність тривалістю 32768 чіпів може бути сформована за допомогою наступного примітивного поліному 15 ступеня:

$$F(x) = 1 + x^2 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{15}. \quad (3)$$

Для формування ПКП з 256 чіпів необхідно мати поліном 8-го ступеня. Для дослідження пропонується використовувати поліном 8-го ступеня у вигляді [5]:

$$F(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8. \quad (4)$$

Дослідження характеристик ААР при застосуванні наведеного вище трикомпонентного сигналу було проведено методом імітаційного комп'ютерного моделювання. Це моделювання здійснювалося для ширококутового сигналу побудованого згідно з окресленою вище процедурою з використанням виразів (3) та (4).

Комп'ютерне моделювання ААР, що працює за критерієм СКП

Дослідження характеристик ААР що реалізує критерій СКП та налаштовується градієнтним алгоритмом адаптації за участю багатокомпонентного ширококутового сигналу з прямим розширенням спектру за допомогою ПКП здійснюється шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання. В комп'ютерному експерименті ААР має 9-елементів, що розміщені колінеарним чином з відстанями між елементами в пів тривалості хвилі. При проведенні експерименту припускається, що існують три багатопроменеві компоненти того ж самого сигналу які мають різні затримки, кути падіння та потужності. Додатково припускається, що затримки можуть бути визначені з точністю до одного чіпу RAKE приймачем. Це визначення затримок дозволяє створити опорний сигнал для бажаної компоненти.

Перша компонента багатопроменевого розповсюдження є компонентою прямого бачення, що, відповідно, має кут падіння 0 градусів і відносну потужність 100 одиниць. Друга компонента потрапляє до ААР під кутом 45 градусів з відносною потужністю 150 одиниць. Третя, і остання, компонента, що розглядається, має кут падіння 60 градусів та відносну потужність 200 одиниць. Всі потужності компонент вимірюються відносно власного шуму каналів ААР, що дорівнює одиниці.

Імітаційне комп'ютерне моделювання з урахуванням тривалої ПКП, короткої ПКП та бітової послідовності

У попередніх роботах [6] при імітаційному комп'ютерному моделюванні ААР досліджувалися тільки псевдовипадкові кодові послідовності з тривалістю 32768 чіпів, що розширюють спектр сигналу. Але, як вказувалося вище, цей варіант є тільки гіпотетичним, тому що в цьому випадку ніяка інформація не передається. В реальному телекомунікаційному каналі, що ми розглядаємо [5], існує бітова послідовність бажаного сигналу, що переносить корисну інформацію, та псевдовипадкова кодова послідовність тривалістю 256 чіпів у вигляді короткого коду, що скремблює біти в процесі передачі. Напевно, ці дві останні компоненти сигналу обов'язково внесуть деякий дестабілізуючий вплив на перехідні характеристики ААР зображеної на рис. 1, та ті що існують в сталому стані для цієї решітки.

Для вивчення можливих впливів бітової послідовності бажаного сигналу, що переносить корисну інформацію, та псевдовипадкової кодової послідовності тривалістю 256 чіпів у вигляді короткого коду, розглянемо три різні ситуації.

Для першої ситуації, вважається що псевдовипадкові кодові послідовності тривалістю 32768 чіпів, бітова послідовність бажаного сигналу, що переносить корисну інформацію, та псевдовипадкові кодові послідовності тривалістю 256 чіпів у вигляді короткого коду є відомими (ця умова не виконується при передачі корисної інформації, але є такою що відповідає практиці при передачі тренувальної послідовності для налаштування каналу).

Цей сценарій ілюструється кривою наведеною на рис. 2. На цьому рисунку представлено залежність вихідної SNR від кількості ітерацій в процесі адаптації коли всі три вищезгадані послідовності є відомими.

Аналіз даних представлених на рис. 2 демонструє, що в цьому випадку характеристики функціонування ААР є близькими до оптимальних.

В другій ситуації, відомими є тільки ПКП тривалістю 32768 чіпів, що розширює спектр, та ПКП тривалістю 256 чіпів, що скремблює данні, (це стосується їх структур та затримок розповсюдження), що може бути досягнуто використовуючи RAKE приймач (така ситуація є типовою при передаванні невідомого корисного сигналу).

Рис. 3 ілюструє цей сценарій і доводить, що невідома бітова послідовність привносить значні порушення функціонування ААР. Це відбувається в тих випадках, коли бітова послідовність змінює свій знак з мінуса на плюс та навпаки. Хоча ААР швидко відновлюється, вплив цього фактору (помічений стрілкою 1) є суттєвим. Завдяки тому, що в описаному телекомунікаційному каналі перший біт кадру завжди дорівнює одиниці, 256 ітерацій на початку демонструють гарну стабільність перехідного процесу.

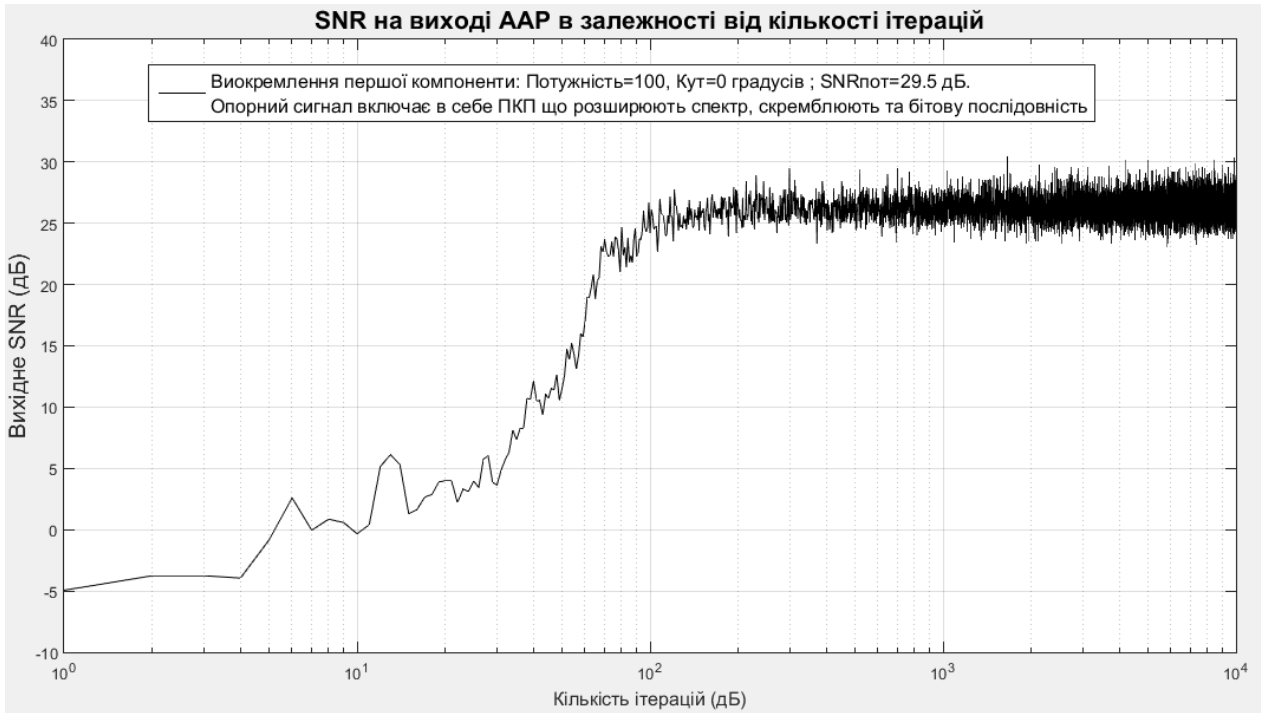


Рис. 2. Залежність вихідного SNR від кількості ітерацій при повному знанні всіх складових сигналу (опорний сигнал включає в себе ПКП що розширюють спектр, скремблюють та бітову послідовність)

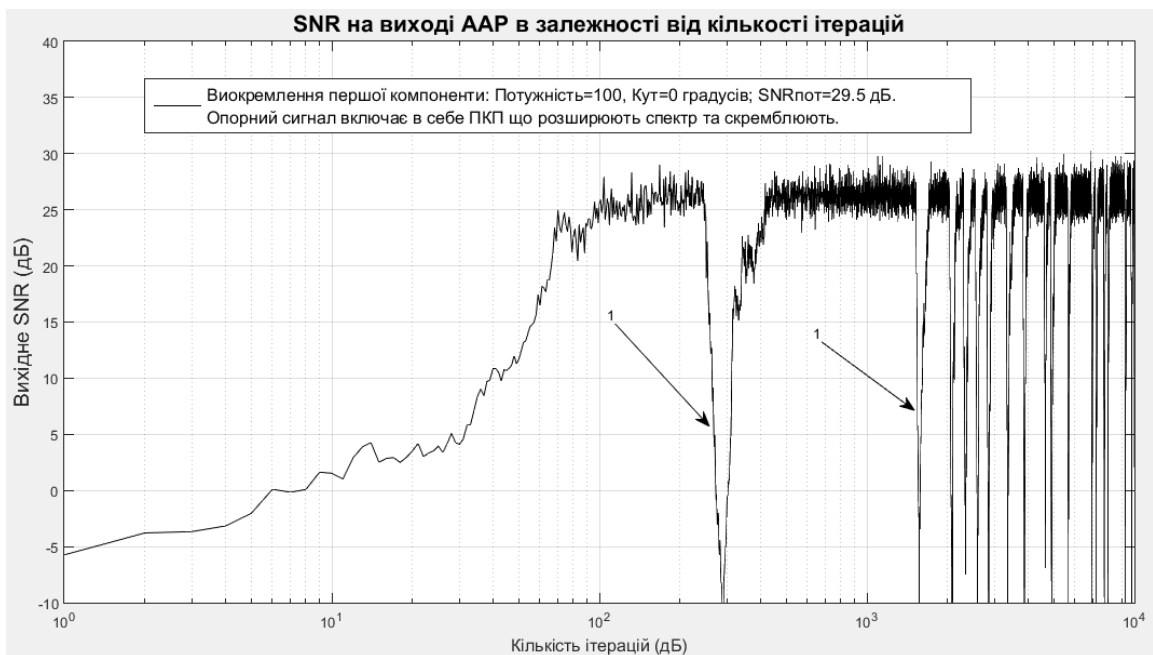


Рис. 3. Залежність вихідного SNR від кількості ітерацій при знанні тільки двох складових сигналу (опорний сигнал включає в себе ПКП що розширюють спектр та скремблюють)

У третій ситуації, відомим є тільки тривала ПКП що розширює спектр (це може бути дійсним в реальних ситуаціях але є тим, чому можливо запобігти).

Рис. 4 демонструє залежність вихідного SNR від кількості ітерацій для цього сценарію роботи. При вивченні даних наведених на рис.4, стає зрозумілим, що відсутність знання про структуру короткої ПКП, що здійснює скремблювання

бітів, призводить до повного руйнування функціонування ААР (як помічено стрілкою 2); тим не менш, потрібно зауважити, що знову на початку перших 256 ітерацій перехідний процес демонструє гарну стабільність. Це пов'язано з тим, що на першому біті кадру скремблювання не виконується, так як біт використовується для кадрової синхронізації телекомунікаційного каналу.

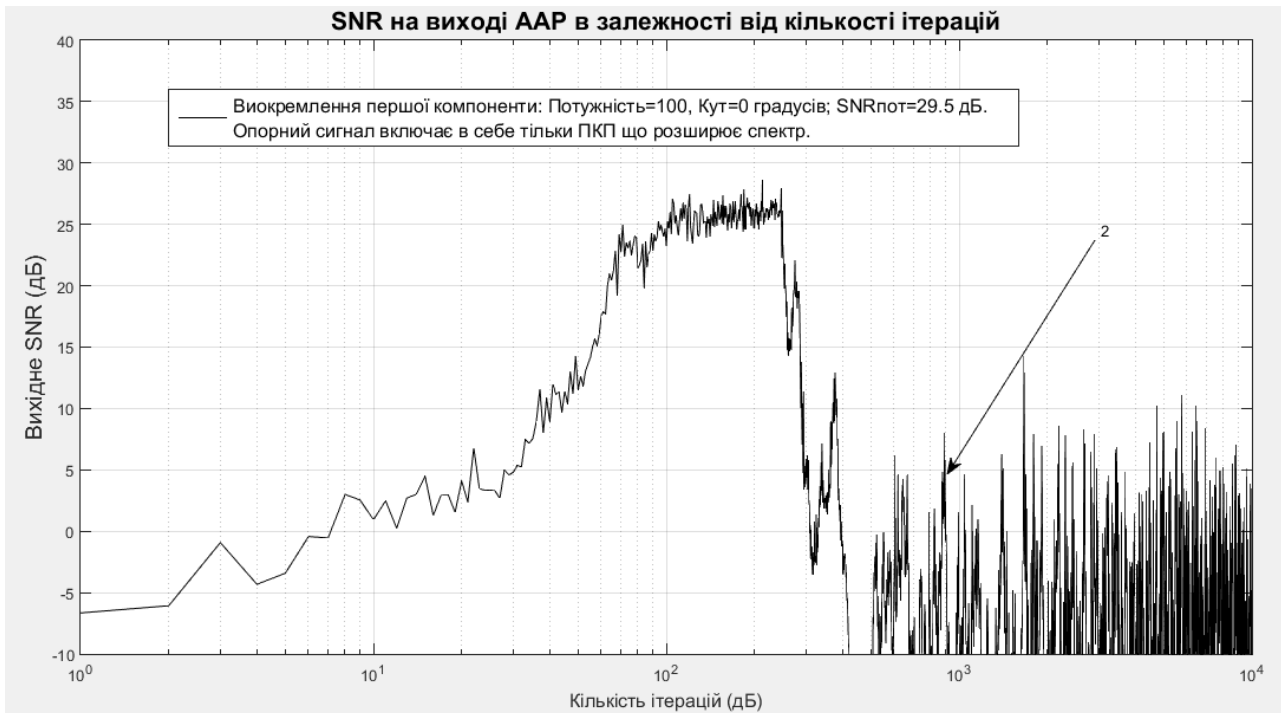


Рис. 4. Залежність вихідного SNR від кількості ітерацій при знанні тільки однієї складової сигналу (опорний сигнал включає в себе тільки тривалі ПКП що розширюють спектр)

Обговорення результатів імітаційного комп'ютерного моделювання

У випадку коли всі три компоненти, тривала ПКП, коротка ПКП та бітова послідовність, широкосмугового сигналу є відомими і що дозволяє створити дієвий опорний сигнал, ААР яка функціонує за критерієм СКП добре виокремлює першу багатопроменеву складову. Це наочно демонструє рис.2.

Коли невідомою є тільки бітова послідовність корисного сигналу, як впливає з рис. 3, процес адаптації має суттєві погіршення характеристик, що пов'язано з тим, що біти в послідовності корисного сигналу змінюють свій знак.

У випадку коли невідомими є як коротка ПКП, так і бітова послідовність корисного сигналу, процес адаптації деградує незворотно, що впливає з рис. 4.

Виходячи з результатів досліджень, пропонується що налаштування ААР відбувається або в переривчастому режимі, або тільки упродовж перших 256 чіпів (перший біт кадрової синхронізації що має завжди значення

єдилиця). Іншим варіантом є налаштування по контрольній (що тренує) та заздалегідь відомій послідовності з наступним фіксуванням результатів налаштування до наступної контрольної послідовності.

Висновки

Телекомунікаційні та мобільні мережі можуть отримати суттєвий вигравш від сумісного використання ААР що працюють за критерієм СКО та сигналів з прямим розширенням спектру за рахунок застосування ПКП сформованих з примітивних поліномів певного ступеня. Таке використання технологій дозволяє виокремити компоненти багатопроменевого розповсюдження прийнятого сигналу для їх подальшого вагового поєднання з компенсацією затримок.

Результати досліджень доводять, що в реальних широкосмугових телекомунікаційних каналах для ефективного налаштування ААР потрібно мати інформацію про всі компоненти сигналу, такі як ПКП що розширюють спектр і скремблюють, а також послідовність корисних

бітів, що передаються. В іншому випадку характеристики ААР суттєво погіршуються.

Таким чином, розумними є підходи до налаштування ААР при яких, або реалізується переривчасте налаштування по першому біту кадру, або адаптація здійснюється з використанням тренувальних та контрольних послідовностей, які є відомими заздалегідь.

Напрямок подальших досліджень повинно бути вивчення характеристик функціонування ААР що реалізують критерій СКП в телекомунікаційних застосуваннях в переривчастому режимі.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Robert J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook, 3rd ed. Boston: Artech House, 2018.
- [2] John Volakis, Antenna Engineering Handbook, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [3] Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. 2nd ed. NC: SciTech Publishing, 2011.
- [4] Andreas Springer, Robert Weigel. UMTS: The Physical Layer of the Universal Mobile Telecommunications System. USA: Springer Science & Business Media, 2013. 298 p.
- [5] Плющ О. Г. Метод підвищення характеристик телекомунікаційного каналу шляхом комплексного використання псевдовипадкових кодових послідовностей. Наукоємні технології. 2020. № 4(48), С. 460–469. DOI: 10.18372/2310-5461.48.15089.
- [6] Плющ О. Г., Савченко А. С. Дослідження використання ширококутових сигналів для покращення характеристик адаптивних антенних решіток при багатопроменевому розповсюдженні. Наукоємні технології. 2022. № 1(53), С. 31–40. DOI: 10.18372/2310-5461.53.16506.
- [7] Byeong G. Lee, Seok C. Kim. Scrambling Techniques for Digital Transmission. USA: Springer Science & Business Media, 2012. 448 p.
- [8] Edited by Kamesh Namuduri, Serge Chaumette, Jae H. Kim, James P. G. Sterbenz. UAV Networks and Communications. UK: Cambridge University Press, 2017. 242 p.
- [9] Lee Jhong S., Miller Leonard E. CDMA systems engineering handbook. Boston, London: Artech House, 1998. 1228 p.

Плющ О. Г., Савченко А. С.

ШИРОКОСМУГОВИЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИЙ КАНАЛ З АДАПТИВНИМИ АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ З НЕПОВНИМ ЗНАННЯМ СТРУКТУРИ СИГНАЛУ ПРИ БАГАТОПРОМЕНЕВОМУ РОЗПОВСЮДЖЕННІ

Робота присвячена дослідженню характеристик ширококутового телекомунікаційного каналу з прямим розширенням спектру в умовах багатопроменевого розповсюдження сигналів при застосуванні адаптивних антенних решіток що працюють за критерієм середньоквадратичної помилки. Зауважено, що для реалізації критерію середньоквадратичної помилки в антенних решітках суттєвим викликом при практичній реалізації є отримання опорного сигналу решітки.

Запропоновано застосовувати для формування опорного сигналу ширококутові сигнали з прямим розширенням спектру сформовані за допомогою псевдовипадкових кодових послідовностей. При застосуванні таких сигналів передбачається використання схеми RAKE приймача для визначення затримок багатопроменевих компонент і, таким чином, отримання опорних сигналів для критерію середньоквадратичної помилки. Підкреслено, що реальний ширококутовий сигнал складається з цюнайменше двох псевдовипадкових кодових послідовностей, що розширюють спектр та скремблюють, та бітової послідовності що передає корисний сигнал.

Проведено комп'ютерне моделювання ширококутового телекомунікаційного каналу в умовах повного знання усіх трьох компонент ширококутового сигналу, двох компонент та тільки однієї з них. Результати комп'ютерного моделювання дозволяють прийти до висновку, що відсутність знання про компоненти ширококутового сигналу призводить до суттєвого погіршення характеристик роботи адаптивних антенних решіток за рахунок неможливості сформуванню точний опорний сигнал.

Запропоновано використовувати два підходи до забезпечення функціонування роботи адаптивних антенних решіток в умовах неповного знання структури ширококутового сигналу що передається в каналі. Перший полягає в використанні переривчастого налаштування адаптивних антенних решіток тільки в період передачі кадрового синхронізуючого імпульсу, який для послідовності, що скремблює та бітової послідовності корисного сигналу завжди дорівнює одиниці. Другий підхід стосується налаштування тільки в проміжки часу з передачею контрольної або тренувальної послідовності, яка є заздалегідь відомою. Пропонується подальші дослідження направити на вивчення характеристик налаштування адаптивних антенних решіток в переривчастому режимі їх налаштування.

Ключові слова: адаптивна антенна решітка; середньоквадратична помилка, ширококутові сигнали; псевдовипадкові кодові послідовності, примітивні поліноми, імітаційне комп'ютерне моделювання.

Pliushch O., Savchenko A.

WIDEBAND TELECOMMUNICATION CHANNEL WITH ADAPTIVE ANTENNA ARRAYS WITH INCOMPLETE SIGNAL STRUCTURE KNOWLEDGE IN MULTIPATH PROPAGATION

The paper deals with research into performance of a wideband telecommunication channel with direct spectrum spreading in multipath signal propagation with deployment of adaptive antenna arrays that function according to root mean square error criterion. It is stressed that for root mean square criterion implementation in adaptive arrays, substantial challenge in practical realization is reference signal formation. It is proposed to use for deriving the reference signals wideband signals with direct spectrum spreading that are formed with the help of pseudo noise coding sequences. In using such signals, it is envisioned to deploy RAKE receiver to determine multipath components delays and, in such a way, to obtain reference signals for root mean square criterion. It is stressed that the real wideband signal comprises at least two pseudo noise coding sequences, which spread and scramble the spectrum, and the bit sequence, which transmits the desired signal. Computer simulation of a wideband telecommunication channel is carried out in the conditions of total knowledge of all three components of the wideband signal, two components and only one of them. Computer simulation results allows one to come to the conclusion that lack of knowledge about wideband signal components leads to substantial performance deterioration of adaptive antenna arrays due to impossibility to form the exact reference signal. It is proposed to deploy two approaches to securing adaptive antenna arrays operation in the conditions of incomplete knowledge about the structure of the wideband signal being transmitted in the channel. The first one envisions using discontinued adjustment of adaptive antenna arrays only in the periods of the frame sync pulse transmission, which for the scrambling sequence and the bit sequence of the desired signal always equals unity. The other approach concerns adaptation only in the time intervals with the training sequence transmission, which is known beforehand. It is proposed to carry out further research on studying adaptive performance of adaptive antenna arrays in the discontinuous mode of their adjustment.

Keywords: adaptive antenna array; root mean square error; wideband signals; pseudo-noise coding sequences, primitive polynomials, computer simulation.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2022 р.

Прийнято до друку 15.06.2022 р.