

УДК 004.73(045)

Швец І. П. Державний університет телекомунікацій, Київ

КОМПЕНСАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД ЗАВАД У БЕЗПРОВОДОВІЙ ЛОКАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Для розв'язання завдання захисту безпроводової мережі від завад, джерела яких рознесені з джерелом корисного сигналу, розроблено метод амплітудної компенсації. Розраховано рівні корисного сигналу з урахуванням шумів у каналах та степеню компенсації завад у залежності у залежності від величини кутового рознесення джерел. Результати розрахунків амплітуд корисного сигналу при переміщенні його джерела будуть корисними для роботи з мобільними абонентами безпроводової мережі при виборі найбільш ефективного режиму компенсації.

Ключові слова: просторово-часова обробка сигналів, амплітудна компенсація, коефіцієнт передавання, кутове рознесення джерел.

Shwets I. P. State University of Telecommunications, Kyiv

COMPENSATIVE METHODS OF HINDRANCES PROTECTING IN WIRELESS LOCAL NETWORK

To solve the problem of protecting the wireless network from interference, the sources of which are separated with the source of the useful signal, the method of amplitude compensation is developed. The levels of the useful signal are calculated taking into account the noise in the channels and the degree of compensation of interferences, depending on the magnitude of the angular diversity of the sources. With the unchanging spatial orientation of the antenna pattern, this dependence is considered for two cases. In the first case, the degree of compensation of interference is analysed at the unchanged position of its source and the displacement of the source of the useful signal. In the second case, the analysis of the degree of compensation of the interference in the direction of change (azimuth and angle of the place) of the arrival of the interference is conducted, when the reception of a useful signal is made at the maximum of the antenna direction diagram on the main channel. In the second case, the compensation is achieved by adjusting the transmission rates of the channels. At the same time, at low angular diversity of sources, the level of the useful signal is reduced in comparison with its nominal value. The results of the work can be used to select the most effective compensation regime.

Keywords: space-time signal processing, amplitude compensation, transmission coefficient, angular diversity of sources.

Швец В. П. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОМЕХ В БЕЗПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Для решения задачи защиты беспроводной сети от помех, источники которых разнесены с источником полезного сигнала, разработан метод амплитудной компенсации. Рассчитаны уровни полезного сигнала с учетом шумов в каналах и степени компенсации помех в зависимости в зависимости от величины углового разнесения источников. Результаты расчетов амплитуд полезного сигнала при перемещении его источника будут полезными для работы с мобильными абонентами беспроводной сети при выборе наиболее эффективного режима компенсации.

Ключевые слова: пространственно-временная обработка сигналов, амплитудная компенсация, коэффициент передавания, угловое разнесение источников.

© Швец І. П., 2017

Вступ. Постановка завдання

Безпроводові мережі, зокрема, безпроводові сенсорні мережі (БСМ) широко використовуються у самих різних областях людської діяльності [1-4]. Завдяки наявності безпроводових мереж будь-який користувач отримує можливість доступу в інформаційно-комунікаційні системи різного масштабу та призначення. Є також багато інших переваг безпроводових мереж стандартів IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network – WLAN) та IEEE 802.16 (Worldwide interoperability for Microwave Access – WiMAX; їх відносять класу MAN – Metropolitan Area Network), у першу чергу – відсутність потреби у великій кількості проводів, що вельми зручно для розгортання, поточної експлуатації та масштабування безпроводових мереж.

З іншого боку, саме зв'язок мережних вузлів безпроводових мереж, включаючи БСМ, через вільне середовище (радіозв'язок) є джерелом уразливості мережі до ненавмисних та навмисних завад. Стандартне обладнання безпроводової мережі не здатне розпізнати завади, створювані пристроями, що не відносяться до стандартів IEEE 802.11 або IEEE 802.16. Завдання контролю середовища розповсюдження електромагнітних хвиль лягає на точки доступу з додатковою функцією аналізу спектра, або спеціалізовані радіо пристрої, що доповнюють інфраструктуру безпроводової мережі.

У деяких випадках цю роль беруть на себе точки доступу, що переводяться в режим аналізу. В цей час вони не обслуговують клієнтів. Після виявлення завади система перебудовує план розподілу точок доступу так, щоб каналам, суміжним завадам, привласнювалися точки доступу, максимально віддаленим від їх джерел. Крім того, система дозволяє фіксувати спроби "глушіння" мережі, і блокувати зловмисні спроби підбору пароля доступу, порушення достовірності та цілісності інформації. У всіх випадках ведеться протоколювання подій і створення звітів із зазначенням локалізації безпроводових загроз на плані приміщення, і рекомендацій щодо їх усунення [5, 6].

Безумовно, всі згадані заходи є такими, що просто реєструють спроби несанкціонованого проникнення у мережу, тобто, по суті, пасивними. Просторово-розподілені загороджувальні завади можуть повністю вивести БСМ з ладу, якщо не прийняти спеціальних заходів з придушення таких завад.

Як правило, джерела завад є просторово-зосередженими. і рознесені у просторі з джерелами корисного сигналу. Тоді захист від заважаючих сигналів може здійснюватися методами компенсації [7-9]. Ці методи є універсальними і забезпечують стійкість рішення по відношенню практично до будь-якого виду завади.

Як показано у роботі [10], початковою умовою реалізації цих способів захисту в умовах невизначеності електромагнітної обстановки (ЕМО) – випадкового місцезнаходження джерел завад і параметрів їх сигналів – є визначення числа рознесених по куту джерел випромінювання, що утворюють сукупний сигнал на вході РЕМ, і кутових координат джерела завад.

У даній роботі розглядається безпроводова мережа стандарту IEEE 802.11 з багатоканальними антенами типу MIMO (Multiple Input – Multiple Output). Не вдаючись у питання теорії таких антен (вичерпне викладення цих питань дано наприклад, в [11, 12]), розглянемо початкові умови компенсації електромагнітних завад. Потенційні можливості визначення числа рознесених по куту джерел випромінювання визначається використовуваними методами просторово-часової обробки сигналів [13, 14].

У комплексі технічних заходів забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) та завадозахищеності радіоелектронних засобів, які працюють поблизу одне від одного, широке застосування знаходить просторова селекція корисних сигналів від завад. Вказана обставина визначається універсальністю даного засобу захисту внаслідок можливості його застосування до широкого класу просторово-зосереджених завад.

У безпроводових телекомунікаційних системах обмін даними здійснюється в широкому діапазоні азимутальних кутів. Просторова селекція реалізується в основному на базі багатоканального прийому з просторово-часовою обробкою сумарного електромагнітного поля, створеного джерелами корисного сигналу і завад. У такій системі обробки розв'язується задача визначення, оцінювання координат та прийому корисного сигналу від джерела (відправника) на фоні множини активних завад на основі використання просторових відмінностей їх джерел.

В роботі [7] отримані алгоритми та розроблені структурні схеми просторово-часових багатоканальних систем (фільтрів) визначення корисних сигналів на фоні активних шумових завад за критерієм максимальної правдоподібності. Розглянуті різні варіанти рішення задачі у залежності від числа джерел, інформації про координати джерел корисного сигналу при випадковому положенні джерел завад, структурі та характеристиках сигналів.

При оцінюванні можливостей просторово-часової фільтрації враховується наступне:

- для точної компенсації L просторово-зосереджених джерел активних шумових завад число незалежних просторових каналів M приймальної частини (просторово-багатоканального фільтра) повинно бути не менш ніж $L : M \geq L$;
- оптимальна обробка сигналів за критерієм максимальної правдоподібності супроводжується змінами форми прийнятого корисного сигналу;
- відношення "корисний сигнал/завада" на виході оптимального фільтра суттєво залежить від параметрів завад;
- при апіорі невідомому положенні джерел завад і його змінах впродовж часу спостереження використовуються рекурентні алгоритми самонастроювання (адаптації) параметрів фільтрів у відповідності з завадовою обстановкою, що змінюється.

Для практичної реалізації розроблених методів фільтрації (компенсації) завад за умов складної електромагнітної обстановки з випадковими змінами параметрів (зокрема, для апіорно невідомих змін координат джерел завад) потрібні вельми складні апаратні або програмні рішення.

Крім того, різниця у спектральних характеристиках корисного сигналу та завад може приводити до перекручень корисного сигналу.

У даній роботі зроблено спробу заповнити цей пробіл.

Метод амплітудної компенсації завади довільної структури

Розглянемо метод компенсації завади при відомих координатах джерела корисного сигналу з використанням алгоритму визначення координат джерела завади.

Захист автономного мережного вузла з двоканальним прийомом сигналу (рознесений прийом, Rx Diversity або Single Input Multiple Output – SIMO 1x2) при наявності завади, потужність якої достатня для ефективного придушення або перекручення корисного сигналу, виконується у такій послідовності:

- визначення наявності кутового рознесення джерел корисного сигналу та завади;
- обчислення кутових координат джерела завад;
- формування нуля (провалу) діаграми спрямованості антени у напрямі на джерело завади.

Потенційні можливості визначення числа рознесених по куту джерел, сигнали яких поступають на приймач, засновані на використанні методів функціональної обробки сигналів [7, 13].

Треба відмітити, що термін "функціональна обробка сигналів", дуже популярний і широко застосовуваний у 70-х – 90-х роках ХХ сторіччя, в наш час відомий лише достатньо вузькому колу спеціалістів з багатоканальних радіотехнічних систем. Нагадаємо, що під ним розуміють сумісну обробку функцій просторового розподілу амплітуд та фаз векторів електромагнітного поля в просторово-багатоканальних антенах (антенних решітках). У такому розумінні ми й будемо тут та далі вживати цей термін.

Розглянемо амплітудний двоканальний кутомірний датчик (моноімпульсний пеленгатор), який вимірює координати одного джерела й дозволяє визначити число рознесених по куту джерел (один чи два).

Для розв'язання останньої задачі в [10] запропоновано використовувати значення показника

$$q = \frac{R_c \left(\overline{\dot{U}_1 \dot{U}_2^*} \right)}{\dot{U}_1 \dot{U}_2^*},$$

де \dot{U}_1 та \dot{U}_2^* – комплексні амплітуди сигналів на виходах першого та другого каналів.

Показник q є функцією кутового рознесення $\Delta\theta_H$ джерел сигналів. Отже, при відомих кутових координатах можна визначити кутові координати джерела завад.

Формування нульової зони прийому (провалу) у напрямі на джерело завад при апріорно відомих координатах джерела корисного сигналу θ_H у двоканальному пеленгаторі забезпечується при виконанні наступних умов:

$$\begin{aligned} \dot{K}_0 \dot{F}_0(\theta_H) + \dot{K}_k \dot{F}_k(\theta_H) &\neq 0; \\ \dot{K}_0 \dot{F}_0(\theta_{\Pi}) + \dot{K}_k \dot{F}_k(\theta_{\Pi}) &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\dot{F}_0(\theta)$ і $\dot{F}_k(\theta)$ – нормовані комплексні ДС основного та компенсаційного каналів;

$\dot{K}_0(\theta)$ і $\dot{K}_k(\theta)$ – комплексні коефіцієнти передавання відповідних каналів.

Коефіцієнти спрямованої дії антен G_0 і G_k враховані в $\dot{K}_0(\theta)$ і $\dot{K}_k(\theta)$.

Для реалізації умов (1) знаходять застосування різні методи: амплітудного віднімання (некогерентний), високочастотний (когерентний), поляризаційний та ін.

На рис. 1 зображено схему амплітудного компенсатора завади.

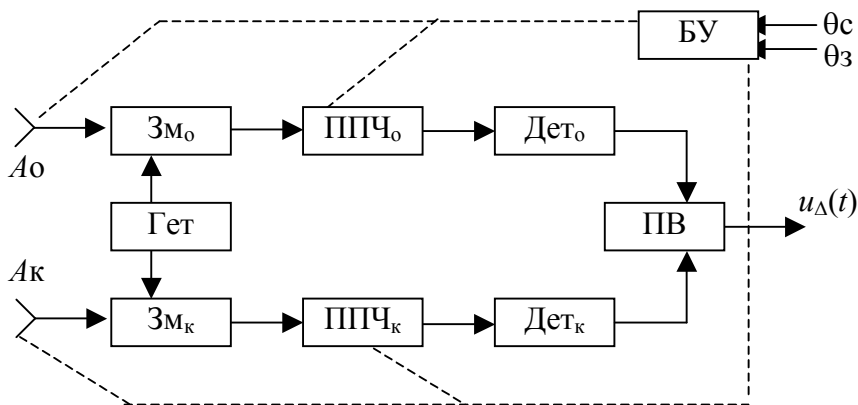


Рис. 1. Амплітудний компенсатор завад.

A_0 та A_k – індекси основного та компенсаційного каналів відповідно; A_0 та A_k – антени; Гет – гетеродин; Z_{M_0} та Z_{M_k} – змішувачі; ППЧ₀ та ППЧ_к – підсилювачі проміжної частоти; Дет – детектори; ПВ – пристрій віднімання; БУ – блок управління

Для дійсних значень $F(\theta)$ і K , лінійних детекторів основного та компенсаційного каналів мають місце наступні умови компенсації:

$$\begin{aligned} K_0 F_0(\theta_H) - K_k F_k(\theta_H) &\neq 0; \\ K_0 F_0(\theta_{\Pi}) - K_k F_k(\theta_{\Pi}) &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

Блок управління в загальному випадку змінює просторове положення ДС антен основного A_0 й компенсаційного A_k каналів та коефіцієнтів посилення приймальних каналів у відповідності зі значеннями θ_C і θ_3 для виконання умови (2).

Положення ДС антен при формуванні нульової зони прийому на джерело завади показано на рис. 2. Амплітуди сигналів на виходах основного та компенсаційного приймачів з урахуванням позначень на рис. 1 та 2 запишуться у виді:

$$\begin{aligned} U_0 &= K_0 F_0(\theta_{01} - \Delta\theta_C) U_C + K_0 F_0(\theta_{01}) U_3 + \sigma_0; \\ U_k &= K_k F_k(\theta_{02} + \Delta\theta_C) U_C + K_k F_k(\theta_{02}) U_3 + \sigma_k, \end{aligned} \quad (3)$$

де U_C і U_3 – амплітуди корисного сигналу та завади відповідно;

θ_{01} і θ_{02} – зміщення максимумів ДС антен основного та компенсаційного каналів відносно рівносигнального напрямку (РСН); цей напрям співпадає з напрямом на джерело завади;

$\Delta\theta_H$ – кутове рознесення джерел сигналу та завади;

σ_0 і σ_k – середньоквадратичні відхилення шумів на виходах приймачів.

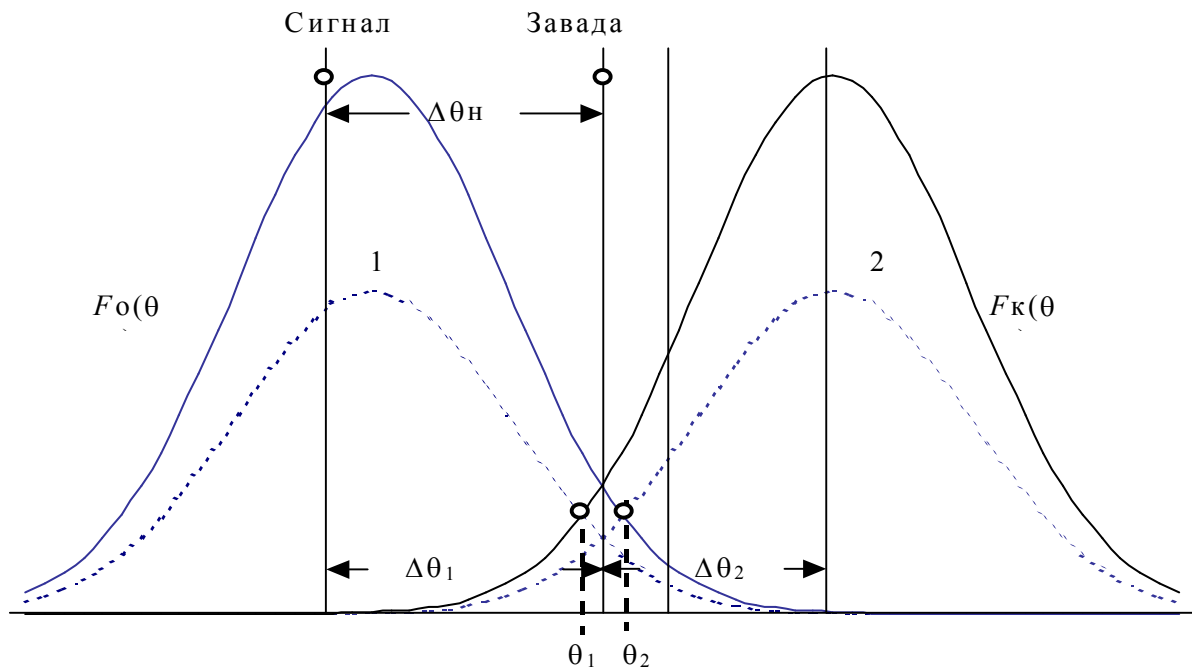


Рис. 2. Геометричні та енергетичні співвідношення у двоканальному амплітудному компенсаторі.

На рис. 2 два варіанти функцій просторової фільтрації при різних величинах коефіцієнтів передачі каналів позначені суцільними та штриховими кривими.

На виході пристрою віднімання у відповідності з (3) при

$$K_0 F_0(\theta_{01}) = K_k F_k(\theta_{02}) \quad (4)$$

має місце компенсація завади.

Значення корисного сигналу з урахуванням внутрішніх шумів дорівнює

$$U_c = K_0 F_0(\theta_{01} - \Delta\theta_H) U_H - K_k F_k(\theta_{01} + \Delta\theta_H) U_H + \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}. \quad (5)$$

Відношення h вихідного сигналу до шуму при $K_0 = K_k = K$, $\sigma_0^2 = \sigma_k^2 = \sigma_{ш}^2$, $\theta_{01} = \theta_{02} = \theta_0$, $F_0(\theta) = F_k(\theta) = F(\theta)$ дорівнює

$$h = \frac{KU_H}{\sqrt{2}\sigma_{ш}} [F(\theta_0 - \Delta\theta_H) - F(\theta_0 + \Delta\theta_H)]. \quad (6)$$

Дамо оцінку впливу складової $Q(\Delta\theta_H) = F(\theta_0 - \Delta\theta_H) - F(\theta_0 + \Delta\theta_H)$ на відношення h у залежності від кутового рознесення джерел $\Delta\theta_H$ при апроксимації ДС антен функцією

$$F(\theta) = \exp\left[-1,4\left(\frac{\theta}{\theta_{0,5}}\right)^2\right].$$

Для ширини ДС антени по половинній потужності $\theta_{0,5} = 60^\circ$ і $\theta_0 = 30^\circ$ значення Q як функції кутового рознесення $\Delta\theta_H$ наведені на рис. 3.

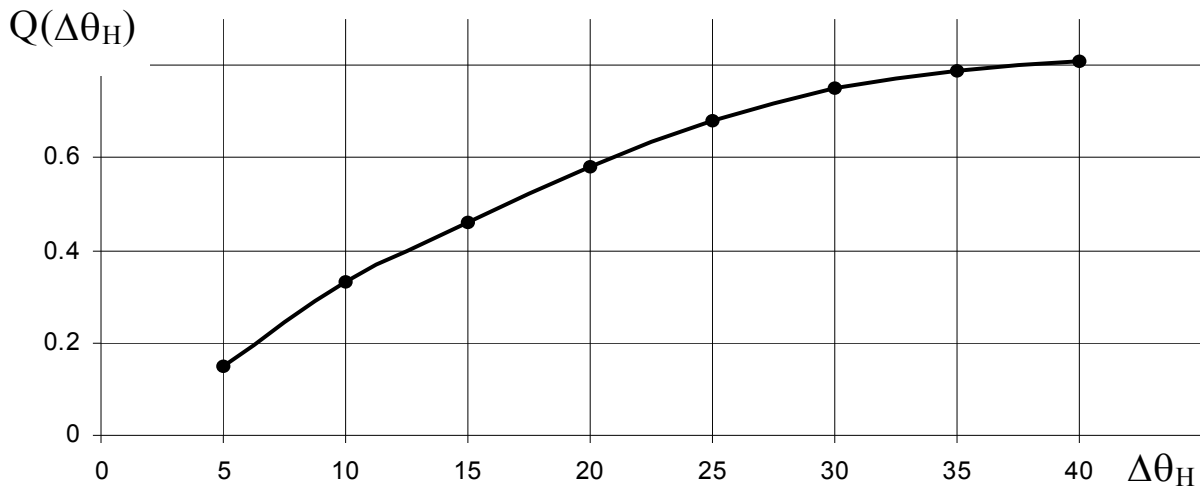


Рис. 3. Залежність вихідного відношення сигнал/шум від кутового рознесення джерел сигналу та завади

Мінімальне значення $\Delta\theta_H$ залежить від рівня корисного сигналу (5) та алгоритму подальшої обробки в умовах урахування шумів.

Поточні кутові координати джерела завади в умовах нестаціонарної електромагнітної обстановки та числа користувачів, що змінюється випадковим чином, також можуть бути змінними. Це необхідно фіксувати спеціальними методами й засобами на приймальній стороні. Зміни РСН (положення нульової зони прийому) для компенсації завади при зміні кутових координат її джерела згідно з умовою (2) може бути забезпечено відповідними регулюваннями при незмінних ДС антен і коефіцієнтах K_0 і K_k .

Переміщення РСН внаслідок регулювання коефіцієнтів K_0 і K_k можна спостерігати на рис. 2, де крива 1 відповідає зменшенню K_0 , що приводить положення РСН в θ_1 , а крива 2 – зменшенню K_k (РСН зміщується в положення θ_2).

Визначимо зміщення рівносигнального напрямку $\theta_{см}$ у відповідності з поточними

координатами θ_{Π} відносно положення джерела корисного сигналу, напрям на який співпадає з максимумом ДС антени A_0 , в залежності від відношення $\frac{K_k}{K_0}$.

З урахуванням (2) маємо:

$$\frac{K_{kT}}{K_{0T}} = \frac{F_0(\theta_{CM})}{F_k(2\theta_0 - \theta_{CM})} = \frac{\exp\left[-1,4\left(\frac{\theta_{CM}}{\theta_{0,5}}\right)^2\right]}{\exp\left[-1,4\left(\frac{2\theta_0 - \theta_{CM}}{\theta_{0,5}}\right)^2\right]}$$

Поточні значення K_{0T} і K_{kT} регулюються для забезпечення потрібної величини θ_{CM} наступним чином: при $0 < \theta_{CM} \leq \theta_0$ коефіцієнт K_{0T} зменшується, тоді як значення K_k лишається незмінним; при $\theta_0 < \theta_{CM} \leq 2\theta_0$ зменшується коефіцієнт K_{kT} , в той час як лишається незмінним K_0 .

На рис. 4 представлено залежність θ_{CM} від відношення K_{kT}/K_{0T}

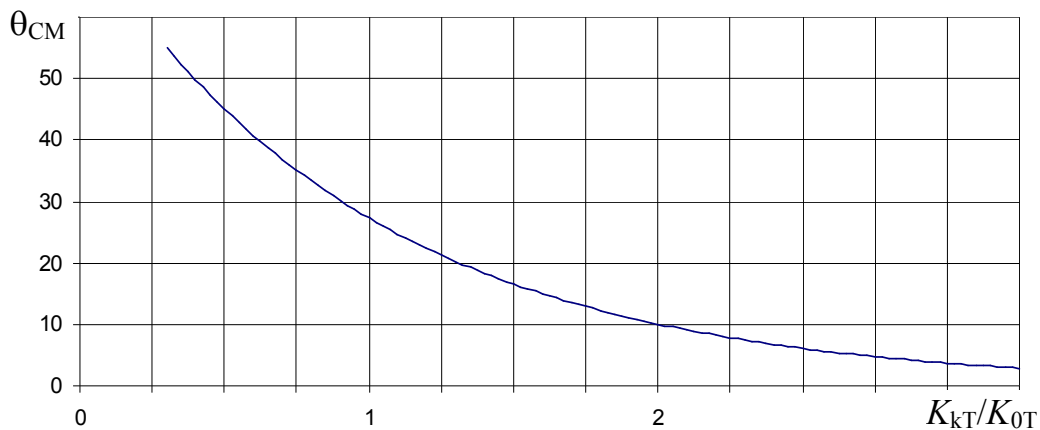


Рис. 4. Залежність зсуву РСН компенсатора від величини відношення коефіцієнтів передачі основного та компенсаційного каналів

Також представляє інтерес вплив регулювань – зміни одного з коефіцієнтів при незмінному іншому – на відношення сигнал/шум на виході пристрою віднімання. Вважаючи, що прийом корисного сигналу здійснюється у напрямі максимуму ДС антени основного каналу, у відповідності до (6) маємо:

$$h = \frac{U_c}{\sigma_{\text{ш}} \sqrt{\left(\frac{K_{0T}}{K_0}\right)^2 + \left(\frac{K_{kT}}{K_k}\right)^2}} [K_{0T}F_0(\theta) - K_{kT}F_k(2\theta)], \quad (7)$$

де $K_{0T} = \frac{K_{kT}F_k(2\theta_0 - \theta_{CM})}{F_0(\theta_{CM})}$; $K_{0T} = \text{var}$, $K_{kT} = K_k = \text{const}$;

$$K_{0T} = \frac{K_{0T}F_0(\theta_{CM})}{F_k(2\theta_0 - \theta_{CM})}$$
; $K_{kT} = \text{var}$, $K_{0T} = K_0 = \text{const}$.

Оцінка h у відповідності до (7) і значеннями K_{0T} і K_{kT} свідчить про зменшення рівня

корисного сигналу у порівнянні з його номінальним значенням при варіаціях $K_0 F_0(\theta)$ у діапазоні кутів зміщення (рознесення джерел) $0 < \theta_{\text{CM}} \leq \theta_0$. По мірі зростання кута θ_{CM} збільшується рівень корисного сигналу. У діапазоні $\theta_0 < \theta_{\text{CM}} \leq 2\theta_0$ рівень корисного сигналу залишається практично незмінним і дорівнює своєму номінальному значенню.

Висновки. На завершення відмітимо, що наведені оцінки для різних варіантів амплітудної компенсації справедливі для завади, яка є не суміщеною по куту приходу з кутом приходу корисного сигналу. Результати розрахунків амплітуд корисного сигналу при переміщенні його джерела будуть корисними для роботи з мобільними абонентами безпроводової мережі при виборі найбільш ефективного режиму компенсації.

У подальшому планується розглянути завдання компенсації при змінному числі джерел завад, при співпадінні кутових координат джерел завад та корисних сигналів та впливу числа джерел завад на результуючу пропускну спроможність безпроводової мережі.

Список використаної літератури

1. Вишнеvский В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. / В. М. Вишнеvский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Ad Hoc and Sensor Wireless Networks: Architectures, Algorithms and Protocols / Eds: Hai Liu, Xiaowen Chu and Yiu-Wing Leung – Sharjah, United Arab Emirates: Bentham Science Publishersence Publishers, 2017. – 140 p.
3. Benslama M. Ad Hoc Networks Telecommunications and Game Theory / M. Benslama, M. L. Boucenna, H. Batatia. – London SW19 4EU UK ISTE: Ltd John Wiley & Sons, Inc. 27-37 St George’s Road, 2015. – 141 p.
4. Заруцкий В. А. Энергосберегающая технология передачи данных в сети радиодатчиков с мобильными агентами / В. А. Заруцкий, Е. В. Толстикова, А. С. Торошанко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2017. – №58. – С. 11-16.
5. Владимиров А. А. WiFi: «боевые» приемы взлома и защиты беспроводных сетей / А. А. Владимиров, К. В. Гавриленко, А. А. Михайловский. – Москва: NT Press, 2005. – 463 с.
6. Беспроводная сеть WiFi для офиса. Безопасность беспроводных сетей // –<https://www.lankey.ru/svyaz/network-solutions/wifi/>.
7. Лазуткин Б. А. Радиотехнічні пристрої з компенсацією завад / Б. А. Лазуткин. – Київ: Техніка, 1972. – 116 с.
8. Защита от радиопомех / Под ред. М. В. Максимова. – Москва: Советское радио, 1976. – 496 с.
9. Вакин С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С. А. Вакин, Л. Н. Шустов. – Москва: Советское радио, 1968 – 448 с.
10. Швець І. П. Визначення числа джерел випромінювання в завданні компенсації завад у безпроводовій локальній мережі / І. П. Швець // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017. – №3(56). – С. 124-129.
11. Бакулин М. Г. Технология MIMO: принципы и алгоритмы / М. Г. Бакулин, Л. А. Варукина, В. Б. Крейнделин. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2014. – 242 с.
12. Paulraj A.J, An Overview of MIMO Communications — A Key to Gigabit Wireless / A. J. Paulraj, D. A. Gore, R. U. Nabar, H. Bolcskei. // Proc. Of the IEEE – February 2004. – Vol. 92, No. 2 – P. 198 – 218.
13. Царьков Н. М. Многоканальные радиолокационные измерители / Н. М. Царьков. – Москва: Советское радио, 1980 – 192 с.

14. Варюхин В. А. Основы теории многоканального анализа / В. А. Варюхин. – Киев: ВА ПВО СВ, 1993. – 171 с.
15. Сигалов Г. Г. Вопросы расчета радиолокационных следящих систем / Г. Г. Сигалов, Е. А. Яшучин, Л. Н. Марков. – Минск, 1969 – 240 с.

References

1. Vishnevskiy V. M., Lyakhov A. I., Portnoy S. L., Shakhnovich I.V. "Broadband wireless communication networks." *Moskva: Tekhnosfera* (2005) 592.
2. "Ad Hoc and Sensor Wireless Networks: Architectures, Algorithms and Protocol." Ed. by Hai Liu, Xiaowen Chu and Yiu-Wing Leung. *Sharjah, United Arab Emirates. Bentham Science Publishersence Publishers* (2017): 140.
3. Benslama M., Boucenna M. L., Batatia H. "Ad Hoc Networks Telecommunications and Game Theory." *London SW19 4EU UK ISTE. Ltd John Wiley & Sons, Inc. 27-37 St George's Road* (2015): 141.
4. Zaruckiy V. O., Tolstikova O. V., Toroshanko O. S. "Energy saving technology of data transmission in the radiosensors network with mobile agents." *Proceedings of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv* 58 (2017): 11-16.
5. Vladimirov A. A., Gavrilenko K. V., Mikhaylovskiy A. A. "WiFi: "military" tricks of hacking and protecting wireless networks". *Moskva: NT Press* (2005) – 463.
6. "Wireless WiFi network for office. Wireless Security." <https://www.lankey.ru/svyaz/network-solutions/wifi/>
7. Lazutkin B. A. "Radio equipment with interference compensation." *Kyiv. Tekhnika* (1972): 116.
8. Maksimov M. V. "Protection against radio interference." *Moskva. Sov.radio* (1976): 496.
9. Vakin S. A., Shustov L. N. "Fundamentals of radio interference and radio technical intelligence." *Moskva: Sovetskoe radio* (1968) – 448.
10. Shwets I. P. "Determination of number of radiants at compensation of hindrances in wireless local network." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 3(56) (2017): 124-129/
11. Bakulin M. G., Varukina L.A., Kreindelin V. B. "MIMO technology: principles and algorithms." *Moskva: Goryachaya Liniya-Telecom* (2014): 242.
12. Paulraj A. J., Gore D. A., Nabar R. U., Bolcskei H. "An Overview of MIMO Communications – A Key to Gigabit Wireless." *Proc. Of the IEEE* 92(2) (February 2004): 198–218.
13. Czar'kov N. M. "Multichannel radar gauges." *Moskva: Sovetskoe radio* (1980): 192.
14. Varyuhin V. A. "Fundamentals of the theory of multichannel analysis." *Kyiv: VA PVO SV* (1993): 171.
15. Sigalov G. G., Yashuchin E. A., Markov L. N. "Questions of calculating radar tracking systems." *Minsk* (1969): 240.

Автор статті

Швец Іван Павлович – магістрант, кафедра інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (95) 338 73 99. E-mail: p.shvetz@gmail.com

Author of the article

Shvets Ivan Pavlovych – student, informative and cybernetic security department, State University of Telecommunications, Kiev. Tel.: +380 (95) 338 73 99. E-mail: p.shvetz@gmail.com.

Дата надходження

в редакцію: 3.09.2017 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор М. М. Степанов
Державний університет телекомунікацій, м. Київ,