



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118680** (13) **U**  
(51) МПК  
**H04B 1/62** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2017 00222</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>06.01.2017</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>28.08.2017</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>28.08.2017, Бюл.№ 16</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Слюсар Вадим Іванович (UA), Шишацький Андрій Володимирович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Слюсар Вадим Іванович, Повітрофлотський проспект, 28, м. Київ-49, 03049 (UA), Шишацький Андрій Володимирович, бул. Перова, 44, кв. 16, м. Київ-139, 02139 (UA)</b></p>
--	---

**(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД ТА ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНИХ ЗАВМИРАНЬ**

**(57) Реферат:**

Спосіб формування сигналів в умовах впливу навмисних завад та частотно-селективних завмирань включає формування сигналів, яке відбувається шляхом поєднання двох способів формування сигналів, а саме: способу псевдовипадкової перестройки робочої частоти та способу ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (OFDM). Попередньо вибирають смуги робочих частот для передачі інформації, шляхом рішення задачі лінійного програмування, а потім OFDM-символ передають на піднесучій на *i*-й часовий проміжок часу, за рахунок розширення спектра методом псевдовипадкової перестройки робочої частоти. Для кожного стрибка OFDM-символу здійснюють оптимальний підбір сигнально-кодових конструкцій.

**UA 118680 U**



Корисна модель належить до галузі радіозв'язку і може бути використана в перспективних системах радіозв'язку, що функціонують в умовах впливу різних дестабілізуючих факторів, таких як завади та завмирання сигналу.

Відомий спосіб формування сигналів в системах радіозв'язку, суть якого полягає у псевдовипадковій перестройці робочої частоти (ППРЧ) передавача, в якому використовуються вузькосмугові сигнали з частотною модуляцією.

Перевагами зазначеного способу є висока енергетична ефективність та скритність, проте зазначений спосіб має ряд суттєвих недоліків, що обмежує функціональність та сферу застосування зазначеного способу формування сигналів: низька частотна ефективність, неефективні механізми компенсації впливу завмирань сигналу внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль (зміна швидкості перестройки робочої частоти), відсутність можливості зміни сигнально-кової послідовності для кожного частотного елемента [1].

Найближчим аналогом за своєю суттю до корисної моделі, що заявляється, є спосіб формування сигналів, відомий як ортогональне частотне розділення з мультиплексуванням (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM), суть якого полягає у тому, що потік переданих даних розподіляється по множині частотних підканалів і передача ведеться паралельно у всіх підканалах. При цьому висока швидкість передачі досягається саме за рахунок одночасної передачі даних по всіх підканалах, а швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою. Зазначений спосіб на цей час розглядається як один з найбільш перспективних для побудови широкосмугових систем цифрового радіозв'язку в багатопроменевих каналах, що забезпечує досить високу частотну ефективність цих систем. Основними перевагами даного способу є відносно висока стійкість відносно частотно-селективних завмирань і вузькосмугових завад, а також висока спектральна ефективність.

Зазначений спосіб знайшов широке застосування в стандартах IEEE 802.11, 802.16, Hiper LAN 2. Основна особливість OFDM сигналів - їх інваріантність до явища багатопроменевості в каналі. Однак зазначений спосіб також має ряд власних недоліків, а саме: пік-фактор, нелінійні спотворення в радіотракті, помилки синхронізації, низька завадо захищеність [2].

Також відома інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрішньобітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот, суть якої полягає у зміні піднесучих частот OFDM-сигналу за псевдовипадковим законом.

Перевагами зазначеної інформаційної технології є підвищення завадозахищеності OFDM-систем від впливу шумових завад, проте система з OFDM стає чутливою до завад у відповідь, які характерні для систем радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти [3].

В основу корисної моделі поставлена задача, що полягає у розробці способу формування сигналів, що поєднає використання ортогональних сигналів з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти і отримує найбільшу кількість переваг від обох способів формування сигналів.

Суть запропонованої корисної моделі полягає у тому, що попередньо вибирають смуги робочих частот для передачі інформації, шляхом рішення задачі лінійного програмування, а потім OFDM-символ передається на піднесучій на  $i$ -й часовий проміжок часу, за рахунок розширення спектра методом псевдовипадкової перестройки робочої частоти, при цьому для кожного стрибка OFDM-символу здійснюють оптимальний підбір сигнально-кодових конструкцій.

Розглянемо детальніше принцип вибору смуг робочих частот для передачі інформації. В основу роботи алгоритму покладено представлення процесу функціонування засобу радіозв'язку (ЗРЗ) та комплексу радіоелектронної боротьби (РЕБ) за допомогою методів теорії ігор. На основі інформації, про реальний стан сторін протисторова  $Z_S(Z_R)$  (де  $Z_S$  - набір параметрів засобу радіозв'язку,  $(Z_R)$  - набір параметрів комплексу РЕБ) та апріорної інформації про ЗРЗ та РЕБ  $I_S(I_R)$  шляхом операції оцінювання системою управління ЗРЗ, системою управління РЕБ здійснюється оцінка теперішнього стану ЗРЗ  $Z_R^{(S)}$ ,  $Z_R^{(S)}$  та комплексу РЕБ  $Z_R^{(R)}$ ,  $Z_R^{(S)}$ .

Отримані оцінки  $Z_R^{(S)}$ ,  $Z_R^{(S)}$ ,  $Z_R^{(R)}$ ,  $Z_R^{(S)}$  спільно з апріорною інформацією відносно множини стратегій сторін протисторова використовуються для формування стратегій управління  $U_S^{(S)}$  та  $U_R^{(R)}$ , які отримуються на основі рішення оптимізаційних задач, що забезпечують досягнення екстремуму вибраного функціоналу  $\Phi_U^{(S)}$ . Враховуючи те, що у сучасних ЗРЗ використовуються дискретні сигнали, то як критерій ефективності функціонування ЗРЗ виберемо ймовірність бітової помилки  $P_{\text{пом}}$ .

Враховуючи протилежність функціонування ЗРЗ та РЕБ, як критеріальний функціонал при управлінні ЗРЗ будемо використовувати:

$$\Phi_U^{(S)} = \Phi_U^{(R)} = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_{\text{РЕБ}}.$$

5 Фізично це означає, що якщо стратегії, що формуються управління ЗРЗ  $U_S^{(S)}$  направлені на максимізацію функціонала  $\Phi$ , то керуючий вплив РЕБ направлений на його мінімізацію:

$$U_S^{(S)} : \Phi_U^{(S)} \rightarrow \max_{U_S}$$

$$U_R^{(R)} : \Phi_U^{(R)} \rightarrow \max_{U_R}.$$

10 Стратегії управління  $U_S^{(S)}$  залежать від виду навмисних завод, тактико-технічних характеристик комплексу РЕБ, виду каналів радіозв'язку та визначаються вектором коефіцієнта (вагою) використання частот  $A = \|\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\|$ . Таким чином, для реалізації процесу управління вибором робочих частот ЗРЗ визначимо вектор коефіцієнтів (вагу) використання частот  $A^*$ , при якому функціонал  $\Phi = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}})_{\text{РЕБ}}$  приймає екстремальне значення. При цьому розглянемо функціонування ЗРЗ в умовах впливу різноманітних завод: випадкові заводи, одночасного впливу випадкових та шумових завод, полігармонічних, імітаційних навмисних завод. Особливістю задачі управління вибором робочих частот ЗРЗ в умовах радіоподавлення є необхідність врахування впливу РЕБ. При цьому цілі ЗРЗ при передачі інформації та РЕБ є протилежними. Нехай випромінювання здійснюється по  $m$  робочих частотах. При цьому  $U_i$  стратегія ЗРЗ зводиться у використанні для передачі інформації  $i$ -ї частоти,  $i=1,2,\dots,m$ . Сукупність можливих стратегій управління ЗРЗ являє собою множину  $\{U_i\}$  потужністю  $|\{U_i\}| = m$ , а стратегія РЕБ  $V_j$ , що зводиться до постановки заводи на  $j$ -тій частоті, а множина  $\{V_j\}$  потужністю  $|\{V_j\}| = m$ . Будемо вважати, що при впливі на ЗРЗ комплекс РЕБ використовує шумову, гармонічну або імітаційну навмисну заводу на частотах роботи радіолінії. При цьому швидкість програмної перестройки навмисної заводи та ЗРЗ, а також випадковий час випромінювання навмисної заводи і сигналів співпадають. ЗРЗ та комплексу РЕБ відомі множина стратегій управління протилежної сторони, проте відсутня інформація про використовувані на даний момент часу стратегії управління. Крім цього задані: вид навмисної заводи; тактико-технічні характеристики комплексу РЕБ та апаратури радіозв'язку; координати кінцевих точок пунктів прийому та постановки навмисної заводи; час проведення сеансу радіозв'язку.

30 Визначимо стратегію управління вибором робочих частот для ЗРЗ в умовах радіоподавлення у вигляді вектора коефіцієнтів використання частот  $A = \|\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\|$ , де значення  $\alpha_i$ , що характеризує ймовірність використання ЗРЗ стратегії  $U_i, i=1,2,\dots,m$ , а стратегію впливу РЕБ, що полягає в постановці навмисних завод у вигляді сигналу РЕБ, суть якої полягає у постановці навмисних завод у вигляді імітаційної заводи, з вектором  $B = \|\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\|$ , де значення  $\beta_j$  характеризує ймовірність використання РЕБ стратегії  $V_j, j=1,2,\dots,m$ .

Як функціонал при формуванні оптимальних стратегій управління процесом вибору робочих частот беремо ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої при  $i$ -тій стратегії управління ЗРЗ  $U_i$  та  $j$ -ї стратегії впливу РЕБ  $V_j$   $\Phi(U_i, V_j) = P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j)$ .

40 При формуванні оптимальних стратегій управління процесом вибору робочих частот будемо вважати, що стратегія управління  $U_i \in \{U_i\}$  направлена на максимізацію функціонала  $\Phi(U_i, V_j)$ , а стратегія  $V_j \in \{V_j\}$  на його мінімізацію. В такій постановці завдання управління процесом вибору робочих частот є задачею теорії ігор. При цьому оптимальною стратегією управління процесом вибору робочих частот, що формується в умовах невизначеності, яка використовується в зазначений момент стратегії впливу РЕБ є стратегія  $U_i \text{ опт} = \text{Arg} \max_{U_i} \min_{V_j} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j)$ .

45 Ймовірність  $P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j)$  представимо наступним чином:

$$P(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}} / U_i, V_j) = P_{ij} = \begin{cases} P_{\text{Зрзі}} = \text{при } i \neq j \\ P_{\text{РЕБі}} = \text{при } i = j \end{cases}$$

Тоді ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для ЗРЗ при умовах активного впливу РЕБ визначимо матрицею  $P_{ij} = \|P_{ij}\|_{m \times n}$ . Для формування оптимальної стратегії управління процесом вибору робочих частот для ЗРЗ при функціонуванні в конфліктній ситуації з РЕБ представимо процес взаємодії ЗРЗ та РЕБ антагоністичною матричною грою

5

$\Gamma = \langle \{U_i\}, \{V_j\} (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) \rangle$ . Згідно з основної теореми теорії ігор кінцева гра має хоча б одне рішення, можливе в області змішаних стратегій. Оптимальна стратегія управління процесом вибору робочих частот має таку властивість, що при будь-якій стратегії РЕБ противника забезпечує гарантований виграш не менше, ніж ціна гри  $v$ .

Таким чином:

$$10 \left. \begin{aligned} \alpha_{1\text{опт}} P_{1\text{крп}} + \alpha_{2\text{опт}} P_{2\text{зрз}} + \dots + \alpha_{m\text{опт}} P_{m\text{зрз}} &\geq v \\ \alpha_{1\text{опт}} P_{1\text{зрз}} + \alpha_{2\text{опт}} P_{2\text{крп}} + \dots + \alpha_{m\text{опт}} P_{m\text{зрз}} &\geq v \\ \dots & \\ \alpha_{1\text{опт}} P_{1\text{зрз}} + \alpha_{2\text{опт}} P_{2\text{зрз}} + \dots + \alpha_{m\text{опт}} P_{m\text{крп}} &\geq v \end{aligned} \right\}.$$

Розділимо нерівність на позитивну величину  $v$  та позначимо  $\xi_1 = a_{1\text{опт}}/v$ ;  $\xi_2 = a_{2\text{опт}}/v$ ;

$$\xi_m = a_{m\text{опт}}/v.$$

Тоді умови запишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 P_{1\text{крп}} + \xi_2 P_{2\text{зрз}} + \dots + \xi_m P_{m\text{зрз}} &\geq 1 \\ \xi_1 P_{1\text{зрз}} + \xi_2 P_{2\text{крп}} + \dots + \xi_m P_{m\text{зрз}} &\geq 1 \\ \dots & \\ \xi_1 P_{1\text{зрз}} + \xi_2 P_{2\text{зрз}} + \dots + \xi_m P_{m\text{крп}} &\geq 1 \end{aligned} \right\}$$

15

Крім цього  $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m = 1/v$ .

Задачею управління процесом вибору робочих частот для ЗРЗ є отримання максимально можливого гарантованого виграшу ( $v$ ). Таким чином, рішення задачі теорії ігор призводить до рішення задачі лінійного програмування: мінімізація функціоналу при обмеженнях наведених в попередньому виразі:

20

$$F(\xi) = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m \rightarrow \min_{\xi}$$

На підставі наведених вище виразів, вирішимо задачу теорії ігор для супротивника: максимізуючи функціонал:  $F(\gamma) = \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_m \rightarrow \max_{\gamma}$ , при обмеженнях:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 P_{1\text{крп}} + \gamma_2 P_{2\text{зрз}} + \dots + \gamma_m P_{1\text{зрз}} &\leq 1 \\ \gamma_1 P_{1\text{зрз}} + \gamma_2 P_{2\text{крп}} + \dots + \gamma_m P_{2\text{зрз}} &\leq 1 \\ \dots & \\ \gamma_1 P_{1\text{зрз}} + \gamma_2 P_{2\text{зрз}} + \dots + \gamma_m P_{m\text{крп}} &\leq 1 \end{aligned} \right\},$$

$$\text{де } \gamma_1 = \beta_{1\text{опт}}/v; \gamma_2 = \beta_{2\text{опт}}/v; \dots; \gamma_m = \beta_{m\text{опт}}/v.$$

25

Рішення гри  $\langle \Gamma \rangle$  визначає гарантоване значення ймовірності радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для ЗРЗ:  $P^*(P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) = \text{Val} \Gamma$ , а також вектор коефіцієнтів  $A^* = \|a_{1\text{опт}}, a_{2\text{опт}} \dots a_{m\text{опт}}\|$  та вектор коефіцієнтів  $B^* = \|\beta_{1\text{опт}}, \beta_{2\text{опт}} \dots \beta_{m\text{опт}}\|$ , що задає оптимальну стратегію управління процесом вибору робочої частоти та навмисної завади.

30

Якщо стратегія управління РЕБ противника не оптимальна, то значення ймовірності радіозв'язку для ЗРЗ перевищує гарантоване значення  $\text{Val} \Gamma$  при оптимальній стратегії управління процесом вибору робочих частот. При довільній стратегії управління процесом вибору робочих частот ЗРЗ та РЕБ противника ймовірність радіозв'язку з достовірністю не гірше заданої для ЗРЗ визначимо виразом:

$$P = (P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом доп}}/U_i, V_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_{ij}$$

35

Значення коефіцієнта (ваги) використання частоти визначаємо часом реакції РЕБ. При малих значеннях часу реакції на робочих частотах РЕБ противника може використовувати більш ефективну заваду. Тому, при прийнятті рішення на управління процесом вибору робочих

частот методом теорії ігор необхідно обмежити отримані значення коефіцієнтів (ваг) використання частот  $a_i \leq a_{\max}$  при виконанні умов нормування  $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ .

На другому етапі зазначеного способу відбувається передача OFDM символу на піднесучу частоту, відповідно до псевдовипадкового закону. У класичних ЗРЗ з OFDM передача інформації відбувається на всіх піднесучих (окрім пілотних), проте в зазначеному способі OFDM символ передається на  $k$ -піднесучій  $\text{mod}[k+n, (N-1)]$  протягом  $n$  проміжку часу. Тоді матриця зворотного перетворення Фур'є буде мати вигляд:

$$[W_F^{-1}]_{k,n} = e^{j2\pi n[\Xi]_{k,n}/N}, k, n = \overline{0, (N-1)}$$

Де  $[\Xi]_{k,n} = \text{mod}[(f_n + k), (N-1)]$  - матриця, що формує закон псевдовипадкової перестройки OFDM-символу.

Зазначений спосіб формування сигналів дозволить підвищити завадозахищеність засобів військового радіозв'язку при впливі навмисних завад та є інваріантним до впливу завад у відповідь.

Практична реалізація заявленого способу зводиться до застосування способу формування сигналів в умовах впливу навмисних завад та частотно-селективних завмирань у засобах військового радіозв'язку, в яких за концепцією розвитку військових засобів зв'язку передбачене застосування саме гібридних інформаційних технологій зв'язку для забезпечення заданого рівня завадозахищеності та пропускну здатності [4].

Технічний результат, що досягається при здійсненні запропонованого способу, полягає у підвищенні енергетичної ефективності засобів радіозв'язку, а як наслідок підвищення стійкості функціонування системи військового зв'язку.

#### ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ:

1. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. - СПб.: Свое издательство, 2013. - 166 с.: ил.

2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович]. - М.: Техносфера, 2005. - 592 с. – найближчий аналог.

3. С.В. Зайцев. Інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрішньобітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот в умовах впливу навмисних завад / С.В. Зайцев, В.В. Приступа, А.В. Яриловець // Вісник Чернігівського Державного технологічного університету // № 4 (61), 2012-131-140.

4. Пермяков О.Ю. Застосування сучасних інформаційних технологій в збройній боротьбі / О.Ю. Пермяков // Modern information technologies in the Sphere of security and Defence. - 2008. - № 2. – С. 69-74.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб формування сигналів в умовах впливу навмисних завад та частотно-селективних завмирань, що включає формування сигналів, яке відбувається шляхом поєднання двох способів формування сигналів, а саме: способу псевдовипадкової перестройки робочої частоти та способу ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (OFDM), який **відрізняється** тим, що попередньо вибирають смуги робочих частот для передачі інформації, шляхом рішення задачі лінійного програмування, а потім OFDM-символ передається на піднесучій на  $i$ -й часовий проміжок часу, за рахунок розширення спектра методом псевдовипадкової перестройки робочої частоти, при цьому для кожного стрибка OFDM-символу здійснюють оптимальний підбір сигнально-кодівих конструкцій.

---

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601