

## ЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ ВИКОРИСТАННЯ СПЕКТРУ В КОГНІТИВНІЙ МЕРЕЖІ

Оголюк В.В.

Науковий керівник – д.т.н., проф. Коляденко Ю.Ю.  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
каф. ІКІ ім В.В. Поповського,  
м. Харків, Україна  
e-mail: vadym.oholiuk@nure.ua

A method of centralized spectrum sensing in a cognitive network is proposed, using antennas to detect spectral holes in local regions. This improves the efficiency of frequency utilization by optimizing their distribution in real time. Antenna scanning allows you to accurately determine the available spectrum resources, increasing network performance and facilitating the management of radio frequency resources. This approach facilitates the development of future networks by increasing their efficiency and scalability.

При когнітивному розподілі ресурсів кожна АС мережі повинна безперервно виконувати моніторинг спектра на наявність вільних каналів. Результати аналізу передаються БС, і вона приймає остаточне рішення щодо придатності каналу. При прийнятті рішення БС спирається на результати аналізу спектра, інформацію про місцезнаходження, а також на допоміжну інформацію [1,2]. Необхідно відзначити, що дані задачі повинні бути вирішені в режимі реального часу. Працездатність таких радіомереж в значній мірі залежить від ефективності роботи алгоритмів виявлення незайнятих частотних каналів, при радіомоніторингу [2].

Основною проблемою спектрального зондування є виявлення первинного користувача в зашумленому середовищі. Це складне завдання особливо при низьких значеннях відношення сигнал/шум (SNR) через загасання сигналу та затінення (рис.1) [1].

Задачу зондування можна охарактеризувати як перевірку гіпотези [2]:

$H_0: y(t) = n(t)$  - первинний користувач відсутній,

$H_1: y(t) = h(t)s(t) + n(t)$  - первинний користувач працює зі спектром.

де  $y(t)$  - прийнятий сигнал,  $n(t)$  – шум в момент часу  $t$  з дисперсією  $\delta$ ,  $s(t)$  - переданий сигнал, який є автокорельований  $E[|s(t)|^2] \neq 0$ , а  $h(t)$  -

коефіцієнт підсилення або затухання каналу.  $H_0$  та  $H_1$  - це гіпотези про наявність шуму та сигналу відповідно. Класичні методи використовують виявлену енергію як індикатор присутності сигналу в каналі.

Процес прийняття рішення виглядає наступним чином [2]:

$$\text{Рішення} \{ E[|s(t)|^2] \leq V_T \quad H_0, E[|s(t)|^2] > V_T \quad H_1.$$

де  $V_T$  – потужність (дисперсія) шуму. Енергію часто оцінюють сумою, яка є неточною оцінкою особливо коли є невелика кількість відліків [2]:

$$E[|y(t)|^2] \approx \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |y(t)|^2.$$

Спільні підходи до спектрального зондування використовують інформацію, зібрану всіма приймачами, для визначення наявності сигналу в каналі. Така кооперативна стратегія дозволяє уникнути прихованої термінальної проблеми, в якій передавач когнітивного радіо не в змозі виявити первинного передавача через затінення або затухання, але його передача спричиняє завади для первинної користувачької передачі в первинному приймачеві. Оскільки завади виникають у приймачах, можна уникнути завад від основного приймача. Цей метод виявився практичним лише для телевізійних приймачів.

Спільне зондування спектра потребує декількох датчиків, розподілених на великій площі. Його точність залежить від щільності розміщення сенсорів на площі, оскільки низька щільність призводить до того, що дані, отримані сенсорами, є дуже некорельованими.

На продуктивність схеми прийняття рішень впливає також техніка злиття, що використовується для об'єднання інформації з багатьох джерел.

Припустимо, що:

- є  $K$  базових станцій зондування когнітивного радіо, які розподілені по місцевості випадковим чином, але їх точні просторові координати відомі. Припустимо, що ці базові станції можуть спілкуватися через проводову мережу і підтримка мережі управління не викликає проблем;

- усі вони здатні використовувати одну і ту ж ділянку спектру.

Визначимо  $S$ , матрицю зондування розмірністю  $K \times N$ , яка визначається  $N$  нещодавно зондованих зразків  $K$  базових станцій,  $y_i(k)$  -  $k$ -й зразок, знятий  $i$ -ю антеною:

$$S = (y_1(1) \ y_1(2) \dots \ y_2(1) \ y_2(2) \dots \dots \dots)$$

У випадку  $H_0$ , коли присутній лише шум, внутрішній добуток всіх рядків буде оцінкою автокореляційної функції шуму. Оскільки припускається, що вибірки шуму є взаємно некорельованою, ця величина буде близькою до нуля.

У випадку  $H_1$ , внутрішній добуток рядів буде пропорційний автокореляції переданих сигналів. Визначимо постійний коефіцієнт підсилення каналу для періоду зондування. Оскільки шум є некорельованим з переданим сигналом, то матимемо:

$$\begin{aligned}
S_m \cdot S_n &= \sum_{i=1}^N y_m(i) \times y_n(i) \\
&= \sum_{i=1}^N ((h_m s(i) + N_m(i)) \times (h_n s(i) + N_n(i))) \approx \\
&\approx h_m h_n \times N \times E[|s(t)|^2], \quad m \neq n.
\end{aligned}$$

Таким чином, використовуючи дану схему можливе спільне вимірювання спектру. В цій схемі використано просторову інформацію антен для знаходження спектральних дір в локальних регіонах.

Рис. 2 – Графіки залежності ймовірності помилки від ВСШ

Аналіз ефективності запропонованого методу проведено в середовищі Matlab за допомогою імітаційного моделювання. В якості критерію ефективності обрана ймовірність загальної помилки  $P_{ном}$ , яка за допомогою імітаційного моделювання розраховувалася як сума помилково прийнятих рішень поділена на кількість

дослідів. На рис. 2 надано графіки залежності ймовірності помилки  $P_{ном}$  від відношення сигнал/шум (ВСШ). З даних графіків видно, що при низьких значеннях ВСШ від -5 дБ до -1 дБ ймовірність помилки практично однакові мають що метод децентралізованого зондування, що метод централізованого зондування. Зі збільшенням ВСШ (вище -1 дБ) ймовірність помилки при централізованому зондуванні різко зменшується, і при значеннях ВСШ вище 7 дБ становить менше  $10^{-15}$ .

Список використаних джерел:

1. Cardoso L. S., Debbah M., Bianchi P., Najim J. Cooperative spectrum sensing using random matrix theory. IEEE ISWPC, May 2008. P. 334–338.
2. Поповский В. В., Коляденко А. В. Метод обнаружения сигналов первичных пользователей в когнитивных радиосетях. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. № 2. С. 7–15. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-2-1.