

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИХ МЕЖ ЗАЙНЯТИХ ДІЛЯНОК РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ

Бугайов М.В.

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна

E-mail: karunen@ukr.net

METHOD FOR DETERMINING OCCUPIED TIME-FREQUENCY SPECTRUM REGIONS

Proposed robust for noise power uncertainty method for determining occupied time-frequency spectrum regions. The essence of the method is two stage signal consecutive processing in frequency and time domain based on test statistics.

На сьогоднішній день спостерігається постійне зростання кількості радіосистем, що використовують технологію когнітивного радіо. Основою таких систем є динамічне використання радіочастотного спектру [1-2]. Для визначення вільних ділянок радіочастотного спектру (РЧС) необхідно постійно аналізувати визначену смугу частот [3]. З іншого боку стрімкий розвиток

бездротових технологій стимулює процес подальшого удосконалення систем радіомоніторингу. Тому розроблення методів визначення частотно-часових меж зайнятих ділянок РЧС в умовах апріорної невизначеності та динамічної зміни радіоелектронної обстановки є актуальним завданням сьогодення.

Формалізація завдання дослідження: задано ділянку РЧС, в якій може розміщуватися деяка кількість сигналів з невідомими параметрами. Рівень шуму в заданому діапазоні частот є невідомим, практично однаковим на усіх частотах і може змінюватися в часі. Необхідно знайти частотно-часові межі зайнятих ділянок РЧС.

Сутність запропонованого методу полягає у двоетапному обробленні фрагмента сигналу: спочатку в частотній, а потім в часовій області. На рис. 1 наведено блок-схему алгоритму аналізу РЧС, що реалізує запропонований метод.

Спочатку з вхідного потоку відліків сигналу береться вибірка довжиною N і зберігається в буфер (блок 1). Для цієї вибірки розраховується енергетичний спектр P_{xx} на основі періодграми Уелча, а



Рис. 1. Блок-схема алгоритму аналізу РЧС.

сигналу береться вибірка довжиною N і зберігається в буфер (блок 1). Для цієї вибірки розраховується енергетичний спектр P_{xx} на основі періодграми Уелча, а

також обчислюється значення тестової статистики (блок 3). Як тестову статистику використано коефіцієнт варіації частотних відліків. При перевищенні значенням тестової статистики деякого порогу вважається, що у

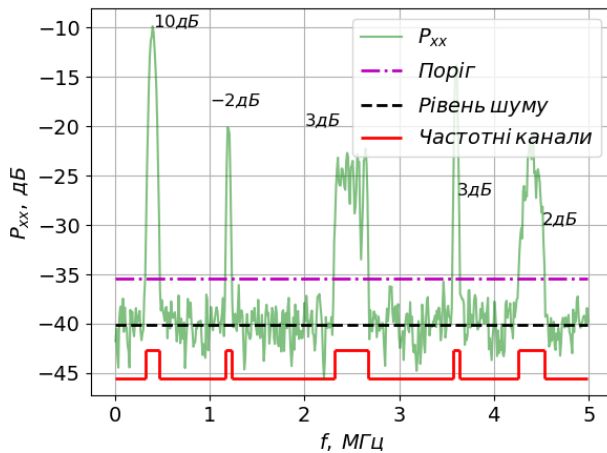


Рис. 2. Оброблення ділянки РЧС в частотній області.

заданій смузі частот є сигнали (блок 4) і в такому разі визначаються частотні межі зайнятих каналів (блок 5) відповідно до описаного в [4] алгоритму. На рис. 2 наведено результати оброблення фрагменту сигналу з такими параметрами періодограми Уелча: довжина вікна швидкого перетворення Фур'є – 1024 відліки, тип віконної функції – Хеммінга, перекриття між сусідніми вікнами – 512 відліків, кількість вибірових спектрів які усереднюються – 7, довжина

фрагмента сигналу, що аналізується – 4096 відліків. Якщо значення тестової статистики менше порогового, то обробляється наступний фрагмент сигналу і дані в буфері оновлюються. У блоці 6 формується оцінка рівня шуму на основі значень потужності шуму у вільних частотних каналах, розраховується відношення сигнал-шум (ВСШ) в кожному каналі, а також розраховується стандартне відхилення шуму σ_ξ в часовій області із використанням теореми Парсеваля [5]. Для визначення початку сигналу в активних частотних каналах необхідно розрахувати комплексну обвідну (блок 7). Для гауссівського шуму з нульовим середнім і стандартним відхиленням σ_ξ розподіл щільності ймовірностей комплексної обвідної підпорядкований закону Релея. Тоді значення порогу в часовій області для заданої ймовірності хибної тривоги P_F можна розрахувати за таким виразом [6]:

$$\gamma_1 = -\sigma_\xi \sqrt{2 \ln P_F}. \quad (1)$$

Для ненульового значення P_F можливе хибне визначення початку сигналу. При зменшенні P_F зменшуватиметься також ймовірність правильного виявлення P_D початку сигналу. Тому критерієм виявлення початку сигналу можна обрати перевищення заданого порогу кількома (3-5) послідовними відліками. В такому випадку для трьох незалежних відліків шуму значення ймовірності хибної тривоги наближено становитиме P_F^3 . Такий підхід забезпечить необхідне значення ймовірності правильного визначення початку сигналу при досить низькій ймовірності хибного виявлення. Аналогічно визначається закінчення сигналу (блок 8). При низьких значеннях ВСШ (менше 10 дБ) для надійного визначення часових меж сигналів необхідно проводити додаткове згладжування комплексної обвідної за допомогою вікна з ковзаючим середнім. Причому при зниженні ВСШ довжину вікна L необхідно збільшувати. Тому алгоритм оброблення сигналу в кожному каналі залежить від ВСШ. Такий

підхід забезпечить оптимальний розподіл обчислювальних ресурсів, оскільки згладжування обвідної сигналу потребує додаткових обчислень. Значення порогу після згладжування комплексної обвідної можна наближено розрахувати за таким виразом:

$$\gamma_2 \approx \sigma_{\xi} (1,25 + 3L^{-1/2}). \quad (2)$$

На рис. 3 показано оброблення сигналів у часовій області для частотних каналів із ВСШ 10 дБ (а) та 2 дБ (б). Довжина вікна ковзаючого середнього складала при цьому $L = 100$. На виході алгоритму (блок 9) формуються потоки сигнальних відліків у виявлених частотно-часових каналах.

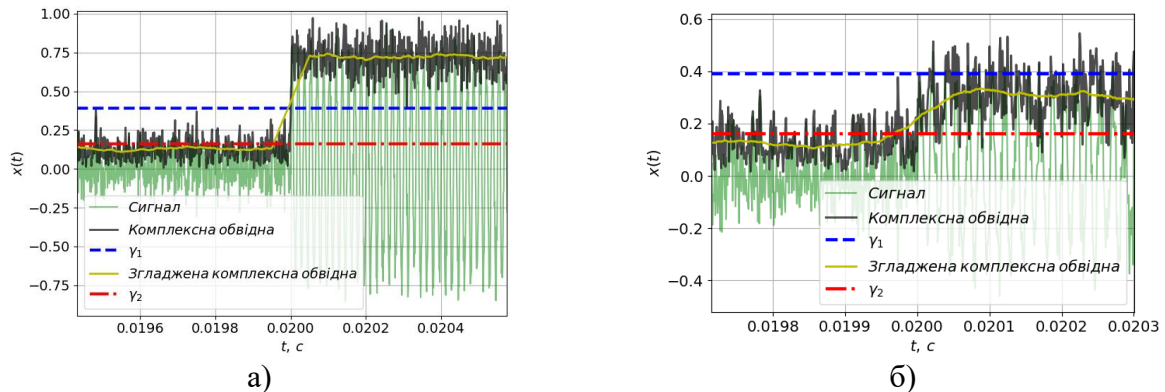


Рис. 3. Оброблення частотних каналів в часовій області для ВСШ = 10 дБ (а) та 2 дБ (б).

Виявлення зайнятих частотних каналів у частотній області можливе навіть при таких значеннях ВСШ, при яких в часовій області початок сигналу виявлятися не буде. В такому разі часові межі сигналів можна визначити з точністю приблизно N відліків.

Таким чином, розроблений метод дозволяє виявляти та визначати частотні межі зайнятих каналів, а також початок і закінчення сигналу в каналі при невідомому і змінному значенні потужності шуму. Запропонований алгоритм може бути реалізований в автоматичних комплексах радіомоніторингу для запису сигналів в активних каналах із їх подальшим аналізом у відкладеному масштабі часу та поповненням бази даних. Перспективи подальших досліджень в даному напрямку доцільно зосередити в розробленні швидких методів попередньої класифікації сигналів в частотних каналах.

Література

1. Elmasry F. G. Dynamic Spectrum Access Decisions. Local, Distributed, Centralized, and Hybrid Designs. JohnWiley & Sons Ltd., 2021. 728 p.
2. Liang Y.-C. Dynamic Spectrum Management. From Cognitive Radio to Blockchain and Artificial Intelligence. Springer, 2020. 180 p.
3. Captain K. M., Joshi M. V. Spectrum Sensing for Cognitive Radio. Fundamentals and Applications. CRC Press. 2022. 256 p.
4. Buhaiov M. V. Iterative method of radiosignals detection based on decision statistics. Visnik NTUU KPI. Ser. Radiotekh. Radioaparaturbuduv, 2020. № 81. pp. 11-20. DOI: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.18.11-20>.
5. Moon K. T., Stirling W. C. Mathematical methods and algorithms for signal processing. New Jersey: Prentice Hall Inc., 2000. 937 p.
6. Kay S. M. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Practical Algorithm Development. New York: Prentice Hall, 2013. 475 p.