

Б. В. Молодецький, В. В. Павлюк, О. А. Нагорнюк

МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ КОРОТКОТРИВАЛИХ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ РАДІОМОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ПРОГРАМНО ВИЗНАЧЕНОГО РАДІО

У статті запропоновано методику виявлення короткотривалих сигналів для її реалізації у системах радіомоніторингу на базі програмно визначеного радіо (SDR-приймачах). Дана методика може використовуватись на первинному етапі радіомоніторингу, а саме на етапі пошуку сигналів. Особливістю цього етапу є відсутність інформації про частотно-часові параметри сигналів. При здійсненні пошуку сигналів у системах радіомоніторингу на базі програмно визначеного радіо необхідно враховувати той факт, що смуга пропускання SDR-приймачів перевищує ширину спектра сигналу. Це призводить до можливості одночасного приймання сигналів, кількість яких невідома. Відомі методи виявлення сигналів потребують хоча б мінімальної апріорної інформації. Новизна розробленої методики полягає у використанні методів статистичної обробки вимірювань для значень амплітудно-частотного спектра в поєднанні з енергетичним методом виявлення сигналу. Рішення про наявність/відсутність сигналів приймається шляхом обробки двох сусідніх вибірок сигналу. Особливістю запропонованої методики полягає в її інваріантності до моменту виникнення сигналів, їх ширини та розміщення на осі частот.

Ключові слова: *короткотривалий сигнал, енергетичний метод виявлення сигналу, статистична обробка вимірювань, програмно визначене радіо.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Сучасний розвиток науки і техніки характеризується інтенсивним впровадженням радіотехнічних систем різних типів в усі галузі народного господарства. У таких умовах актуалізується необхідність здійснення радіомоніторингу та контролю за відповідністю використання радіочастотного ресурсу вимогам законодавства, різноманітним міжнародним угодам і правилам [1]. Вирішення завдань радіомоніторингу та радіоконтролю ускладнюється завантаженням радіочастотного ресурсу та складною частотно-часовою структурою сигналів сучасних радіотехнічних систем. Тому доцільно реалізовувати автоматизовані системи радіомоніторингу, побудовані на базі програмно визначеного радіо (SDR-приймачів) [2]. Таким чином, розробка та вдосконалення математичного забезпечення для технологій SDR є важливим та актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Первинними завданнями радіомоніторингу є пошук та визначення частотних параметрів сигналів у смузі частот аналізу. Особливістю виконання цих завдань є те, що вид сигналу невідомий, а значення частотних параметрів його спектра можуть змінюватись у широких межах. Задачу пошуку сигналів з мінімальною кількістю апріорної інформації розглянуто в роботах [3–5]. Для виявлення сигналу на фоні адитивної завади у вигляді білого шуму використовуються фільтрові, кореляційні та кореляційно-фільтрові методи [4, 5]. Для часової локалізації та

© Б. В. Молодецький, В. В. Павлюк, О. А. Нагорнюк, 2017

виявлення короткотривалих сигналів розроблено методи, які основані на використанні вейвлет-перетворень [6]. У роботі [7] запропоновано вдосконалений енергетичний метод виявлення шумоподібних сигналів. Проте згадані вище роботи забезпечують виявлення сигналу за наявності апріорної інформації про значення одного або декількох його параметрів. Аналіз можливих варіантів побудови автоматизованих систем радіомоніторингу на базі технології програмно визначеного радіо виявив особливості їх роботи під час пошуку сигналів [2], яка полягає в значному перевищенні смуги огляду приймача ширини спектра сигналу. Це призводить до того, що до смуги огляду приймача може потрапляти значна кількість сигналів з невідомою частотно-часовою структурою. Таким чином, завдання пошуку короткотривалих сигналів у системах радіомоніторингу на базі програмно визначеного радіо потребує подальших досліджень.

Метою статті є розробка методики пошуку короткотривалих сигналів з невідомими параметрами в широкій смузі частот приймача програмно визначеного радіо. Мету досліджень можна досягти послідовним виконанням таких операцій: визначення моделі групового спектра вхідного сигналу; обґрунтування допущень та обмежень досліджень; розробка методики пошуку короткотривалих сигналів; експериментальне дослідження якості функціонування розробленої методики.

Виклад основного матеріалу дослідження. Система радіомоніторингу на базі програмно визначеного радіо являє собою сукупність програмно-апаратних засобів. У загальному вигляді систему радіомоніторингу на базі програмно визначеного радіо пропонується зобразити у вигляді структурної схеми, зображеної на рис. 1.

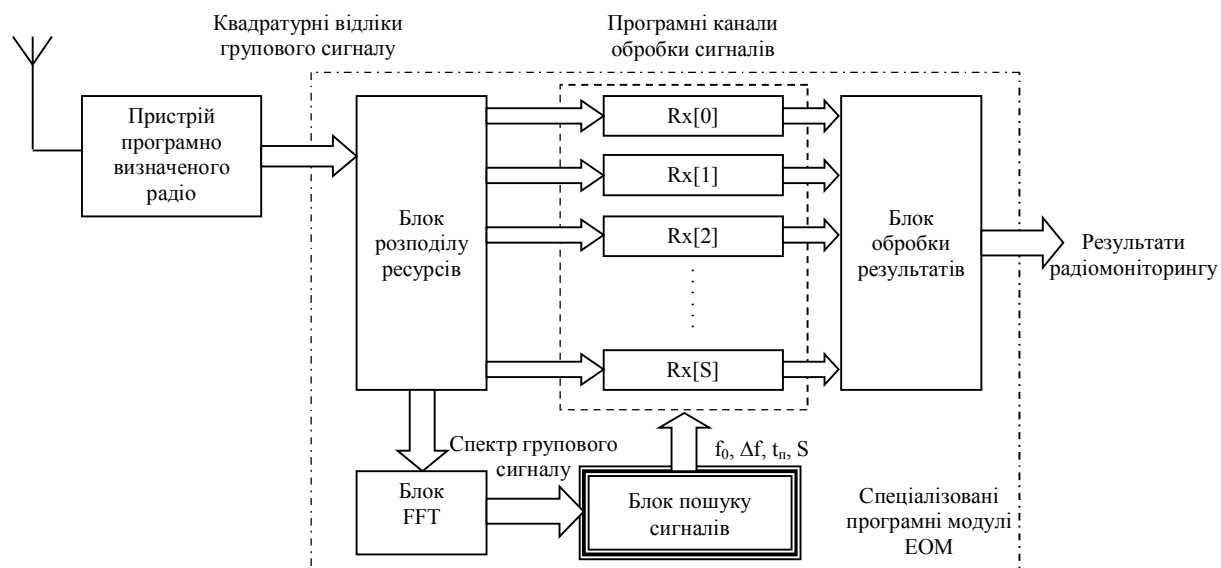


Рис. 1. Структурна схема системи радіомоніторингу на базі програмно визначеного радіо

Апаратна частина системи складається з антени, пристрою програмно визначеного радіо та електронно-обчислювальної машини (ЕОМ). Пристрій програмно визначеного радіо формує квадратурні відліки групового сигналу, які передаються до ЕОМ та обробляються спеціалізованими програмними модулями. Завдання блока пошуку полягає у виявленні сигналів та визначення їх частотно-часових параметрів для автоматичного налаштування програмних каналів $Rx[i]$. Пошук сигналів здійснюється на основі обробки спектра групового сигналу, який надходить із блока швидкого перетворення Фур'є (FFT).

Вихідними даними блока швидкого перетворення Фур'є є масив значень дискрет групового спектра сигналу довжиною N , які надходять для обробки з періодичністю T . Пошук сигналу здійснюється для кожної j -ї вибірки вхідного сигналу. Модель спектра вхідного групового сигналу $y(f)$ являє собою адитивну суміш M спектрів корисних сигналів та спектра шуму $n(f)$. Модель групового спектра сигналу в такому разі визначається таким виразом:

$$y(f) = \sum_{k=0}^M x_k(A_k, f_k^0, \Delta f_k) + n(f), \quad (1)$$

де $x_k(A_k, f_k^0, \Delta f_k)$ – частотний спектр корисного сигналу з невідомою амплітудою A_k , центральною частотою f_k^0 , шириною смуги сигналу Δf_k .

Кількість сигналів у смузі частот роботи приймача невідома, а їх максимальна кількість становить M значень. Спектр шуму $n(f)$ є випадковим процесом з нормальним законом розподілу ймовірності, постійним значенням математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення σ .

Для зменшення впливу шуму на першому етапі роботи методики здійснюється розрахунок масиву арифметичних ковзних середніх значень SMA_j для кожної i -ї дискрети частотного спектра сигналу в смузі приймання для j -ї вибірки вхідного сигналу за виразом [4]:

$$SMA_j[i] = \begin{cases} \frac{1}{i} \sum_{l=0}^{i-1} y_j[l], i < m, \\ \frac{1}{m} \sum_{l=0}^{m-1} y_j[l], i \geq m, \end{cases} \quad (2)$$

де $y_j[l]$ – дискрета частотного спектра вхідного сигналу, $l \in [0, N]$;

m – величина вікна для ковзного середнього.

Далі за розрахованим масивом SMA_j слід розрахувати масив арифметичних ковзних середньоквадратичних відхилень значення амплітуди SMA_j^σ дискрет частотного спектра вхідного групового сигналу за виразом [4]:

$$SMA_j^\sigma[i] = \begin{cases} \frac{1}{i} \cdot \sum_{l=0}^{i-1} \sqrt{(y_j[l] - SMA_j[l])^2}, i \leq m \\ \frac{1}{m} \cdot \sum_{l=0}^{m-1} \sqrt{(y_j[l] - SMA_j[l])^2}, i \geq m \end{cases} \quad (3)$$

Розрахунок масиву SMA_j^σ необхідний для подальшого врахування нерівномірного спектрального розподілу потужності шуму при встановленні рівня пошукового порогу $ПП_j$.

Пошук сигналів здійснюється на основі значень ковзного середнього для двох сусідніх вибірок сигналу. Для цього наступним етапом виконання методики є розрахунок масиву ΔSMA_j , елементами якого виступають абсолютні значення різниці арифметичних середніх для поточної та попередньої вибірки вхідного сигналу:

$$\Delta SMA_j [i] = |SMA_j [i] - SMA_{(j-1)} [i]|. \quad (4)$$

Рішення про наявність сигналу в поточній вибірці групового спектра необхідно приймати на основі значення рівня пошукового порогу $ПП_j$ для кожної дискрети вхідного сигналу, який розраховується за виразом:

$$ПП_j [i] = C SMA_j^c [i], \quad (5)$$

де C – деякий коефіцієнт, який обирається оператором відповідно до сигнально-завадової обстановки на інтервалі від 0,1 до 1. Його значення збільшується із збільшенням відношення сигнал/шум. Питання адаптивної корекції цього коефіцієнта потребує подальших досліджень.

Рішення про наявність сигналу на частоті, яка відповідає i -й дискреті спектра вхідного сигналу, приймається при виконанні такої умови:

$$\Delta SMA_j [i] \geq ПП_j [i]. \quad (6)$$

За результатами пошуку у смузі приймання програмно визначеного радіо формується масив, у якому зберігаються значення початкової та кінцевої частоти виявлених сигналів. Сформований масив додатково обробляється та відсіюються аномальні виміри та сигнали, частотні параметри яких не відповідають умовам пошуку.

Якість функціонування розробленої методики пошуку короткотривалих сигналів оцінено шляхом математичного моделювання. На рис. 2 наведено залежність імовірності виявлення сигналу від відношення сигнал/шум.

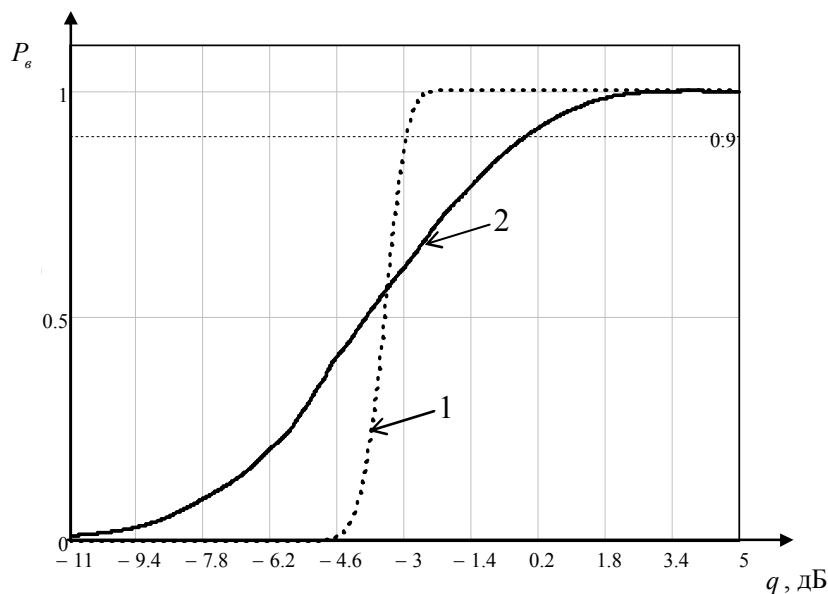


Рис. 2. Залежність імовірності виявлення сигналу від відношення сигнал/шум

Крива 1 є результатом моделювання для вдосконаленого енергетичного методу [8], а крива 2 – для розробленої методики виявлення короткотривалих сигналів. Аналіз графіків (рис. 2) показав, що розроблена методика забезпечує виявлення сигналів з імовірністю $P_g \geq 0,9$ при значенні відношення сигнал/шум більше - 0,5 дБ, що на 2,9 дБ менше, ніж для вдосконаленого енергетичного методу.

Висновки. Таким чином, у результаті проведених досліджень розроблено методику, яка забезпечує пошук короткотривалих сигналів у смузі огляду приймача програмно визначеного радіо. Наукова новизна розробленої методики полягає у використанні апарату статистичної обробки значень дискрет амплітудно-частотного спектра. Рішення про наявність або відсутність сигналів приймається шляхом обробки двох сусідніх вибірок вхідної суміші сигналу та шуму. Працездатність розробленої методики перевірена математичним моделюванням. Розроблена методика дозволяє виявляти сигнали з імовірністю не менше 0,9 для відношення сигнал/шум від - 0,5 дБ при апріорно невідомих частотно-часових параметрах сигналів. Методика пошуку короткотривалих сигналів може бути використана при створенні автоматичних та автоматизованих постів радіомоніторингу на базі пристроїв програмно визначеного радіо. Особливість запропонованої методики полягає в її інваріантності до моменту появи сигналів, ширини їх спектра та значення несучої частоти.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні даної методики в напрямку зменшення відношення сигнал/шум при збереженні ймовірності виявлення сигналів на достатньому рівні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Слободянюк П. В. Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра (Теория и практика построения системы радиомониторинга) / П. В. Слободянюк, В. Г. Благодарный. – Прилуки: ООО «Изд-во «Аір-поліграф», 2010. – 296 с.
2. Программно-определяемая радиосистема [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
3. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 640с.
4. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. –М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.
5. Трифонов А. П. Обнаружение стохастических сигналов с неизвестными параметрами / А. П. Трифонов, Е. П. Нечаев, В. И. Парфенов. – Воронеж : ИПЦ Воронежского гос. ун-та, 1991. – 245 с.
6. Репин В. Г. Обнаружение сигнала с неизвестными моментами появления и исчезновения / В. Г. Репин // Проблемы передачи информации. – 1991. – Т. 27. – № 1. – С. 61–72.
7. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами/ Л. Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
8. Борисов П. С. Удосконалений енергетичний метод виявлення шумоподібних сигналів / П. С. Борисов // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 1. – 86 с.

Подано 27.03.2017

Б. В. Молодецкий, В. В. Павлюк, А. А. Нагорнюк

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ КРАТКОСРОЧНЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ РАДИОМОНИТОРИНГА НА БАЗЕ ПРОГРАММНО ОБУСЛОВЛЕННОГО РАДИО

В статье предложена методика выявления краткосрочных сигналов для реализации в системах радиомониторинга на базе программно определенного радио (SDR-приемниках). Данная методика может использоваться на первоначальном этапе радиомониторинга, а именно на этапе поиска сигналов. Особенностью этого этапа является отсутствие информации о частотно-временных параметрах сигналов. При осуществлении поиска сигналов в системах радиомониторинга на базе программно определенного радио необходимо учитывать тот факт, что полоса пропускания SDR-приемников превышает ширину спектра сигнала. Это приводит к возможности одновременного приема сигналов, количество которых неизвестна. Известные методы обнаружения сигналов требуют хотя бы минимальной априорной информации. Новизна разработанной методики заключается в использовании методов статистической обработки измерений для значений амплитудно-частотного спектра в сочетании с энергетическим методом обнаружения сигнала. Решение о наличии / отсутствии сигналов принимается путем обработки двух соседних выборок сигнала. Особенность предложенной методики заключается в ее инвариантности к моменту возникновения сигналов, их ширины и размещения на оси частот.

Ключевые слова: краткосрочный сигнал, энергетический метод обнаружения сигнала, статистическая обработка измерений, программно определенное радио.

B. V. Molodetskyi, V. V. Pavliuk, O. A. Nahorniuk

METHOD OF DETECTION OF SHORT-TERM SIGNALS IN RADIO MONITORING SYSTEMS ON THE PROGRAM-BASED RADIO BASIS

The article proposes a technique for detecting short-term signals for its implementation in radio-monitoring systems on the basis of programmed radio (SDR receivers). This technique can be used at the initial stage of the radio monitoring, namely at the stage of the search of signals. The peculiarity of this stage is the lack of information about the frequency-time parameters of the signals. When searching for signals in radio-monitoring systems on the basis of programmed radio, it is necessary to take into account the fact that the bandwidth of SDR receivers exceeds the width of the spectrum of the signal. This leads to the possibility of simultaneous reception of signals, the number of which is unknown. Well-known methods for detecting signals require at least minimal a priori information. The novelty of the developed methodology is to use methods of statistical processing of measurements for the values of the amplitude-frequency spectrum in combination with the energy method of detecting the signal. The decision on the presence / absence of signals is taken by processing two neighboring signal samples. The feature of the proposed method is its invariance to the moment of the occurrence of signals, their width and positioning on the frequency axis.

Keywords: short-current signal, energy method of signal detection, statistical measurement processing, software radio definition.