

# ВИСОКОПРОДУКТИВНИЙ МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ РАДІОСИГНАЛІВ НА БАЗІ СПЕКТРАЛЬНО-КОВАРІАЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ СИГНАЛІВ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У роботі запропоновано високопродуктивний метод класифікації радіосигналів на базі спектрально-коваріаційного оцінювання сигналів. При цьому здійснюється багатоступеневе оброблення перекривних підпоследовностей відліків досліджуваного радіосигналу у часовій і частотній області. Оцінювання параметрів радіосигналів виконується на базі знайденої спектральної густини потужності досліджуваних цифрових реалізацій. Аналіз ефективності запропонованого методу підтвердив, що завдяки розробленому методу вдається підвищити продуктивність спектрально-коваріаційного оцінювання радіосигналів у 2,0÷8,9 разів залежно від обсягу аналізованої реалізації радіосигналу та числа перекривних підпоследовностей.

**Ключові слова:** швидке перетворення Фур'є, радіосигнали, продуктивність, спектр сигналу

## Abstract

The paper proposes a high-performance method of radio signal classification based on spectral-covariance evaluation of signals. At the same time, multi-stage processing of overlapping subsequences of readings of the investigated radio signal in the time and frequency domain is carried out. The evaluation of radio signal parameters is performed on the basis of the found power spectral density of the investigated digital implementations. The analysis of the effectiveness of the proposed method confirmed that thanks to the developed method, it is possible to increase the productivity of the spectral-covariance evaluation of radio signals by 2.0÷8.9 times, depending on the volume of the analyzed implementation of the radio signal and the number of overlapping subsequences.

**Keywords:** fast Fourier transform, radio signals, performance, signal spectrum

## Вступ

Проблематика цифрового оброблення радіосигналів (ЦОРС) у реальному часі зумовлена обмеженою швидкістю програмно-апаратних засобів радіоконтролю. Традиційний метод вирішення такої проблеми вимагає наявності потужних обчислювальних засобів, які здатні реалізувати алгоритми ЦОРС з високою швидкістю. Але реалізація такого підходу обмежує частотний діапазон аналізованих радіосигналів. Тому, незважаючи на певні результати, досягнуті при застосуванні методів ЦОРС, питання підвищення продуктивності засобів радіоконтролю для класифікації радіосигналів у реальному масштабі часу як і раніше залишається актуальним.

Метою роботи є підвищення продуктивності процесу класифікації радіосигналів за рахунок зменшення числа операцій при реалізації алгоритмів спектрально-коваріаційного оцінювання радіосигналів.

## Результати дослідження

Реальні показники засобів радіоконтролю не досягають своїх потенційно теоретичних можливостей внаслідок низької продуктивності методів ЦОРС [1,2]. Для класифікації радіосигналів у спектральній області використовують процедури дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Запропоновано ряд способів швидкого визначення ДПФ, що дозволяють знизити обсяг обчислень порівняно з безпосереднім використанням ДПФ. Такі способи базуються на реалізації алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Але, як показали дослідження, резерв підвищення продуктивності методів ЦОС в засобах радіоконтролю існує.

Процес класифікація радіосигналів при виконанні радіоконтролю виконується за декілька етапів. На першому етапі пропонується здійснювати оцінку параметрів радіосигналу на базі знайденої спек-

тральної густини потужності досліджуваного сигналу. Протягом наступних етапів виконується зіставлення форми спектра радіосигналу, що аналізується, зі зразками спектрів, що задаються оператором системи радіоконтролю.

Для визначення спектральної густини радіосигналу необхідно відповідним чином сформувати під-последовності відліків, що отримані з масиву вхідних відліків досліджуваного сигналу. Обирається максимальний зсув між двома сусідніми підпоследовностями, тобто початкова реалізація сигналу представляється у вигляді перекривних підпоследовностей. При цьому зсув між двома сусідніми під-последовностями менший довжини всієї реалізації. Потім в існуючих методах спектрального оцінювання виконується визначення коефіцієнтів ДПФ шляхом повторення ШПФ для кожної підпоследовності вхідної реалізації.

Враховуючи те, що дві сусідні підпоследовності мають частину спільних оброблюваних відліків, в роботі пропонується вираз, який для кожної нової підпоследовності вхідних відліків використовує коефіцієнти ДПФ, що були визначені для попередньої підпоследовності вхідного сигналу. На завершальному етапі потрібно здійснити оцінювання взаємної коваріаційної функції шляхом виконання зворотного ДПФ последовності взаємної спектральної густини потужності  $\hat{S}_{XY}(k)$ :

$$\hat{R}_{XY}(m) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{S}_{XY}(k) \cdot e^{j \frac{2\pi k m}{N}}.$$

Критерієм ефективності запропонованого методу є коефіцієнт продуктивності, який демонструє ви-граш у кількості „довгих” операцій множення при застосуванні запропонованого методу на базі спек-трально-коваріаційного оцінювання радіосигналів порівняно з методом на базі спектрального оціню-вання. Аналіз коефіцієнта продуктивності показує, що при збільшенні числа оброблюваних підпослед-ностей цей показник зростає і знаходиться у межах 2,0÷8,9 для максимального обсягу реалізації радіосигналу. Максимальний коефіцієнт продуктивності досягається за умови, коли початкова реалі-зація радіосигналу розбивається на 64 перекривні підпоследовності.

### Висновки

У роботі запропоновано високопродуктивний метод класифікації радіосигналів на базі спектрально-коваріаційного оцінювання сигналів. Використання у запропонованому методі комбінованого оброб-лення перекривних підпоследовностей у часовій і частотній області призводить до зменшення числа необхідних операцій і як наслідок – до підвищення продуктивності процесу класифікації радіосигна-лів. Запропонований метод можна використовувати в автоматизованих системах радіотехнічного контролю для моніторингу радіообстановки у реальному масштабі часу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. Методи та засоби первинного цифрового об-роблення радіосигналів : монографія. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с.

2. Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. Методи та засоби цифрового оброблення ви-сокочастотних сигналів для систем безпеки та моніторингу : монографія. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 126 с.

**Бортник Геннадій Григорович** – канд. техн. наук, професор кафедри інфокомунікаційних систем і техноло-гій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [bgen88@gmail.com](mailto:bgen88@gmail.com)

**Бортник Олександр Геннадійович** – аспірант кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінниць-кий національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [alex.bortnik.it@gmail.com](mailto:alex.bortnik.it@gmail.com)

**Бриль Михайло Романович** – аспірант кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький націо-нальний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [mishkabrill@gmail.com](mailto:mishkabrill@gmail.com)

**Bortnyk Gennadiy Grygorovych** – Ph.D., Professor of the Department of Infocommunication Systems and Tech- nologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [bgen88@gmail.com](mailto:bgen88@gmail.com)

**Bortnyk Olexandr Gennadiiovych** – postgraduate of the Department of Infocommunication Systems and Technolo- gies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [alex.bortnik.it@gmail.com](mailto:alex.bortnik.it@gmail.com)

**Bryl Mykhailo Romanovych** – postgraduate of the Department of Infocommunication Systems and Technolo- gies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mishkabrill@gmail.com](mailto:mishkabrill@gmail.com)