

МЕТОД РАДІОМОНІТОРИНГУ СИГНАЛЬНО-ЗАВАДОВОЇ ОБСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНДЕКСУ ПЕРЕДБАЧУВАНOSTI

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація

Запропоновано використання Індексу Передбачуваності (I_p), обчисленого на основі непараметричної SG-статистики, як ключового критерію для оцінки структури та динаміки радіосигналів. На відміну від традиційних методів моніторингу, підхід з використанням SG-статистики забезпечує стійку класифікацію сигналів на випадкові, хаотичні та детерміновані. Розроблено метод аналізу сигнально-завадової обстановки, де I_p використовується для класифікації сигналів, що спотворюються адитивними завадами для автоматичного вибору оптимальної стратегії щодо аналізу та класифікації сигналів та завад з використанням SG-статистики. При високому I_p активуються детерміновані методи (наприклад, blanking), а при низькому I_p активуються складні адаптивні алгоритми. Результати мають практичне значення для створення інтелектуальних підсистем моніторингу сигнально-завадової обстановки (СЗО), що підвищує надійність радіомоніторингу при вирішенні задач радіонавігації, радіолокації та засобів зв'язку.

Ключові слова: Індекс Передбачуваності, SG-статистика, сигнально-завадова обстановка, радіомоніторинг.

Надійність сучасних радіотехнічних систем (РТС) критично залежить від своєчасного та точного моніторингу сигнально-завадової обстановки. У сучасних умовах, радіочастотне середовище стає дедалі складнішим через зростання кількості джерел різноманітних невідомих сигналів та завад, що суттєво впливає на ефективність їх моніторингу. Тому обрання методів класифікації сигналів та їх обробки, з урахуванням їх спотворень завадами з невідомими ймовірностями розподілу відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності та надійності радіомоніторингу і є актуальною задачею. Розглядається використання непараметричної SG-статистики, яка додається до класичних методів радіомоніторингу, що дозволяє підвищити ефективність використання радіочастотного спектра, для виявлення несанкціонованих джерел випромінювання, захисту інформаційних систем і підтримки безпеки комунікацій.

Традиційні кореляційно-спектральні методи моніторингу мають суттєве обмеження: вони вимагають апріорного знання щільності розподілу ймовірностей завад, що є недостижним в умовах динамічної зміни СЗО. Новим підходом до радіомоніторингу в зазначених умовах є використання індексу передбачуваності (I_p), який є мірою статистичної залежності елементів часового ряду, що дозволяє оцінити, чи є процес випадковим (непередбачуваним, як білий шум) чи структурованим (передбачуваним, як сигнал або завада зі структурою), що є його основною перевагою над класичними методами кореляційного та спектрального аналізу.

Для обчислення I_p застосовують неklasичні непараметричні критерії, такі як SG-статистика (Savit and Green) або BDS-статистика, причому SG-статистика є більш чутливою до широкого класу залежностей. Чим ближче значення I_p до одиниці, тим більш передбачуваним є процес.

Практичне застосування полягає в оперативному моніторингу динаміки I_p вибірок на виході приймача: різке зниження I_p чистого сигналу або значне зростання I_p загальної суміші сигналів та завад може свідчити про появу навмисної завади, яка вносить нову, структурну, компоненту.

Методи, засновані на I_p (SG-статистиці), є перспективними для впровадження у нові покоління РТС моніторингу, хоча потребують подальших досліджень обчислювальної стійкості до виду завад та складності для їх реалізації в реальному часі.

В загальному випадку задача моніторингу вимагає виявлення сигналів, їх класифікації, визначення виду сигналів та оцінки їх параметрів. Виявлення сигналів полягає у прийнятті однієї з двох гіпотез: наявності сигналу, що позначається H_1 , або його відсутності в спостереженні, що позначається H_0 .

Будемо вважати, що спостережуваний сигнал спотворено шумом:

$$y(t) = \lambda s(t) \cdot n(t) \quad (1)$$

де λ – приймає значення 1 або 0, що відповідає гіпотезі H_1 або H_0 , $s(t)$ – випромінений радіосигнал; $n(t)$ – “білий” шум з нульовим математичним сподіванням, який може мати гаусівський або інший вид розподілу імовірності.

При розв'язанні задачі виявлення будемо використовувати відношення схоже на відношення правдоподібності, а саме:

$$L = \frac{SG_u}{SG_n} \quad (2)$$

та порівняння його з порогом l . Тут SG_u – значення SG-статистики спостереження сигналу, що спотворений шумом; SG_n – значення SG-статистики для шуму, що отримано за допомогою сингулярного розкладання та складання утриманням в ньому відповідної кількості компонент.

Відношення (2) визначається кореляційним інтегралом та має випадковий характер з невідомим розподілом щільності імовірності, яке далі називатимемо відношенням передбачуваності.

Непараметричний метод заснований на SG-статистиці для моніторингу СЗО забезпечує стійку роботу в умовах мультиплікативних та адитивних завад з невідомими статистичними характеристиками. Метод зберігає високу ймовірність правильного виявлення та класифікації сигналів, що робить його перспективним для подальшого розвитку та використання.

Таким чином, дослідження індексу передбачуваності дозволяє використовувати його як надійний непараметричний критерій для моніторингу та діагностики сигнально-завадової обстановки. Його інтеграція в алгоритми обробки сигналів створює основу для розробки радіотехнічних систем, здатних ефективно функціонувати в умовах інтенсивного та складноструктурованого зашумлення сигналів з невідомими структурними властивостями.

Обрання SG-статистики у якості додаткового інструменту до класичних методів радіомоніторингу підвищує їх ефективність. При цьому з'являється можливість виявляти приховану динамічну структуру сигналу, виділяти інформативні компоненти з зашумленого спостереження та класифікувати сигнали.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Костенко П.Ю., Васюта К.С., Слободянюк В.В., Качайло Р.О., Чистов, В.І. Основи статистичної теорії інформаційно-вимірювальних радіотехнічних систем. Навчальний посібник. Харків: ХНУПС, 2021. 54с.
2. Кононенко С. В., Тарасов В. Ю. Радіотехнічні системи посадки повітряних суден: навчальний посібник. Київ: НАУ, 2019. 105 с.
3. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. 255 с.
4. Свид І. В., Обод І. І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. / І. В. Свид, І. І. Обод. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
5. Костенко П.Ю., Васюта К.С., Слободянюк В.В., Чистов, В.І., Альонкін М.І. Застосування індексу передбачуваності для класифікації процесів в інформаційно-комунікаційних системах // Радіоелектроніка та системи зв'язку. 2024.: Стаття в журналі С. 154–158. doi: <https://doi.org/10.3103/S0735272724060013>

Костенко Павло Юрійович — д.т.н., професор, професор кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: kryu@ukr.net

Ігнатів Данило Сергійович — слухач групи 463С, факультет автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: danila02ignatovich@gmail.com

Качайло Руслан Олександрович — ад'юнкт штатний науково-організаційного відділу університету, факультет автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rkacajlo@gmail.com

METHOD OF RADIO MONITORING OF THE SIGNAL-TO-NOISE ENVIRONMENT USING THE PREDICTABILITY INDEX

Abstract

It is proposed to use the Predictability Index (I_p), calculated on the basis of nonparametric SG statistics, as a key criterion for assessing the structure and dynamics of radio signals. Unlike traditional monitoring methods, the approach using SG-statistics provides a stable classification of signals into random, chaotic, and deterministic. A method for analyzing the signal-to-noise environment has been developed, where I_p is used to classify signals distorted by additive noise for the automatic selection of the optimal strategy for analyzing and classifying signals and noise using SG statistics. At high I_p , deterministic methods (e.g., blanking) are activated, and at low I_p , complex adaptive algorithms are activated. The results are of practical importance for the creation of intelligent subsystems for monitoring the signal-to-noise environment, which increases the reliability of radio monitoring when solving problems of radio navigation, radar, and communication means.

Keywords: Predictability Index, SG-statistics, signal-to-noise ratio, radio monitoring.

Supervisor: **Kostenko Pavlo Y.** — Doctor of Engineering, professor, professor of the department of Aviation Radio Navigation and Landing Systems, Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, email: kpyu@ukr.net

Ihnatovych Danylo S. — student of group 463C, Faculty of Automated Control Systems and Ground Support of Aviation, Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, email: danial02ignatovich@gmail.com

Kachailo Ruslan O. — adjunct of the educational and organizational department of the university, Faculty of Automated Control Systems and Ground Support of Aviation, Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, email: rkacajlo@gmail.com