

УДК 621.391

ШИМКІВ М.В., магістрант,
ЛИСЕЧКО В.П., к.т.н., доцент,
ГУМЕНЮК А.В., студент (Українська державна академія залізничного транспорту)

Статистична оцінка методу моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації

У статті здійснюється оцінка результатів реалізації методу моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації. Оцінка основана на статистичному аналізі максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції та функції автокореляції від зміни рівня завадостійкості. Результати статистичного дослідження дозволяють оцінити зайнятість радіочастотного спектру в складних завадових умовах.

Ключові слова: цифрова узгоджена фільтрація, функція взаємної кореляції, функція автокореляції, завадостійкість, бокові пелюстки, радіочастотний спектр, статистичний аналіз, максимальні викиди, статистична оцінка.

Постановка проблеми

Існує гостра потреба в більш динамічному використанні спектру радіочастот, який забезпечував би гнучкий і рівномірний спосіб використання доступних ресурсів. Застосування кореляційних властивостей складних широкосмугових сигналів, з мінімальною енергетичною взаємодією [2] у системах радіозв'язку множинного доступу при здійсненні результатів узгодженої фільтрації дає можливість значно знизити рівень внутрішньосистемних завад і тим самим спростити процедуру прийняття рішення про наявність очікуваного сигналу. Знання статистичних характеристик функцій взаємної кореляції та автокореляції таких сигналів від рівня завадостійкості дає можливість оптимізувати процес оцінки зайнятості радіочастотного спектру.

Аналіз літератури

У літературі наводяться статистичні характеристики кореляційних властивостей різних типів складних сигналів [2, 3, 6, 7], однак статистична оцінка кореляційних властивостей сигналів, отриманих при здійсненні узгодженої фільтрації спектрів послідовностей широкосмугових сигналів з малою енергетичною взаємодією [1], вимагають більше докладного дослідження.

Мета статті

Метою статті є проведення статистичної оцінки методу моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації шляхом статистичного аналізу кореляційних властивостей характеристик максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції та функції автокореляції від рівня сигнал/шум, що дасть можливість оптимізувати оцінку процедури прийняття рішення про наявність очікуваного сигналу.

Основний матеріал

Для статистичної оцінки кореляційних властивостей характеристик максимальних викидів бічних пелюсток кореляційних функцій було застосовано класичну методику оцінки статистичних характеристик, викладену в [1]. В її основі лежить статистичний аналіз максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції та функції автокореляції, які залежать від зміни рівня завадостійкості. Статистичний аналіз включає ряд методик, що дозволяють оцінити, зіставити показники і виявити закономірності між досліджуваними ВКФ та АКФ. Отримані результати дозволять порівняти функції, що аналізуються і встановити чітку межу для їх розпізнавання.

1. Розраховуються математичне очікування (МО) максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції сигналів $[\max R_{ij}]$ та функції автокореляції $[\max R_a]$ [1] при зміні значень рівня сигнал/шум

$$m[X] = \frac{\sum_{k=1}^N |X(k)|}{N}, \quad (1)$$

де N – кількість пар сигналів, що взаємодіють, а X – випадкові величини ($\max R_{ij}$, $\max R_a$).

2. Здійснюється розрахунок середніх квадратичних відхилень (СКВ) максимальних викидів бічних пелюстків функцій взаємної кореляції $\sigma_{\max ij}$ а також максимальних викидів функцій автокореляції $\sigma_{\max a}$ сигналів щодо їхніх математичних очікувань [1]

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (|X(k)| - m[X])^2}{N}} \quad (2)$$

3. Виконується розрахунок асиметрії розподілу максимальних викидів бічних пелюстків функцій взаємної кореляції сигналів $S_{\max ij}$ і функцій автокореляції сигналів $S_{\max a}$ залежно зміни значень відношення сигнал/шум

$$S_X = \frac{\sum_{k=1}^N (|X(k)| - m[X])^3}{N \cdot (\sigma_X)^3} \quad (3)$$

4. Здійснюється розрахунок ексцесу розподілу максимальних викидів бічних пелюстків функцій взаємної кореляції $E_{\max ij}$ і функції автокореляції $E_{\max a}$ сигналів залежно від зміни значень відношення сигнал/шум

$$E_X = \frac{\sum_{k=1}^N (|X(k)| - m[X])^4}{N \cdot (\sigma_X)^4} - 3 \quad (4)$$

Згідно наведених формул було проведено розрахунок статистичних характеристик максимальних викидів бічних пелюстків ФВК і ФАК, утворених з ділянок спектрів 21-ти послідовності широкосмугових сигналів з мінімальною енергетичною взаємодією, сформованих згідно алгоритму [1]. Відповідні значення статистичних характеристик значень математичного очікування максимальних викидів ВКФ і ФАК наведені в таблиці 1, а на рис. 1, 2 представлені їхні вигляд, залежно від зміни значень відношення сигнал/шум.

Таблиця 1

Значення статистичних характеристик значень максимальних викидів ВКФ і ФАК

	SN(дБ)						
	0	5	10	15	20	25	30
[Rmaxij]	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.09	0.1
$\sigma_{\max ij}$	0.030	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.009
S[maxij]	0,761	0.784	0.737	0.918	0.971	0.724	0.858
E[maxij]	2.1	1.6	0.95	2.55	2.3	1.16	1.51
[Rmaxa]	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8
$\sigma_{\max a}$	0,383	0.243	0.491	0.445	0.524	0.648	0.741
S[maxa]	-0.009	-0.779	-0.124	0.679	-0.071	0.224	0.262
E[maxa]	-0.196	0.56	-1.53	-0.49	-0.29	-1.28	-1.03

Для того, щоб правильно вибрати потрібний рівень завадостійкості, який буде оптимальним для прийняття рішення про наявність очікуваного сигналу побудуємо залежність математичного очікування максимальних значень викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції від зміни значень завадостійкості. При цьому, для порівняння побудуємо графіки залежностей значень максимальних викидів функції автокореляції, при різних значеннях рівня завадостійкості.

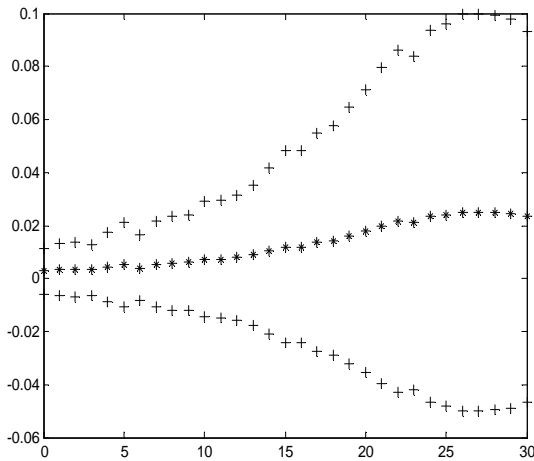


Рис. 1. Залежності статистичних характеристик математичного очікування максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ від зміни значень рівня SN.

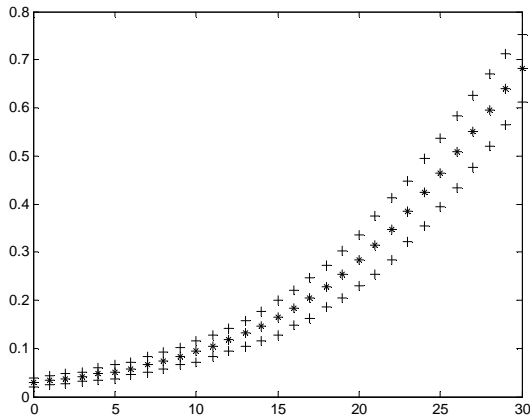


Рис. 2. Залежності статистичних характеристик математичного очікування максимальних викидів бічних пелюсток АКФ від зміни рівня SN.

З рисунків видно, що зі збільшенням завадостійкості покращуються кореляційні властивості сигналів. Видно, що в цілому, математичне очікування максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ не перевищує значення функції автокореляції.

Побудуємо залежність середнього квадратичного відхилення максимальних значень викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції та автокореляції від значень математичного очікування

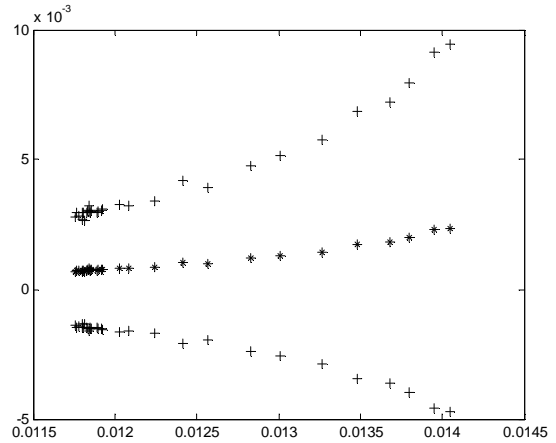


Рис. 3. СКВ максимальних викидів бічних пелюсток ВКФ відносно його математичного очікування

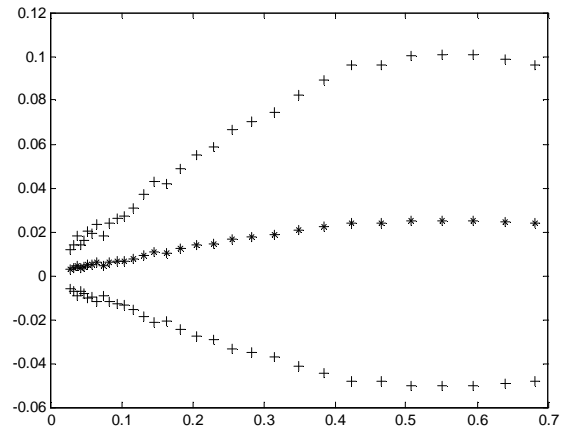


Рис. 4. СКВ максимальних викидів бічних пелюсток АКФ відносно його математичного очікування

Із рисунків видно, що значення СКВ математичного очікування збільшується відповідно зі збільшенням власне математичного очікування, це відповідає теоретичним положенням. Відповідно стає простішою процедура прийняття рішення щодо наявності очікуваного сигналу під час проведення узгодженої фільтрації.

Гістограма розподілу максимальних значень викидів бічних пелюсток ФВК при зазначеному значенні рівня завадостійкості ($sn=20$ дБ) наведена на рис. 5. З неї видно, що розкид максимальних значень бічних пелюсток ФВК перебуває у відповідності з розрахованими значеннями, закон їхнього розподілу близький до нормального закону.

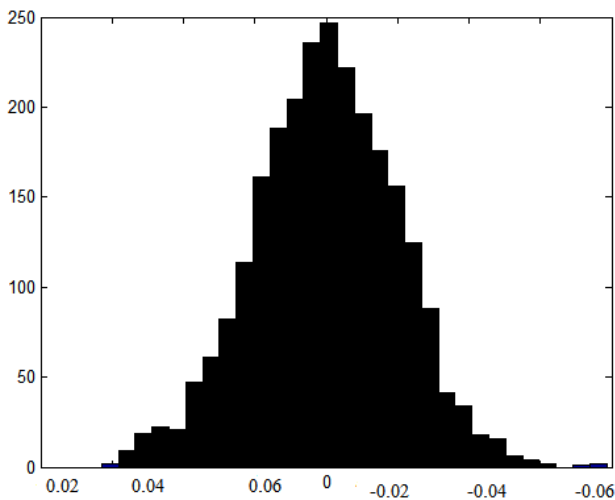


Рис. 5. Гістограма розподілу максимальних викидів бічних пелюстків ВКФ

Тому, порівнюючи значення математичних очікувань максимальних викидів бічних пелюстків при фіксованому значенні рівня завадостійкості, можна досягти оптимального рішення завдання узгодженої фільтрації аналізованих сигналів. При цьому одночасно будуть виконуватися умови по відповідності необхідних рівнів максимальних викидів бічних пелюстків ВКФ необхідних, при задовільних значеннях математичного очікування досліджуваних функцій взаємної кореляції а автокореляції.

Висновки

Проведені дослідження статистичних характеристик максимальних викидів бічних пелюсток функції взаємної кореляції та функції автокореляції методу моніторингу на основі цифрової узгодженої фільтрації. Запропонована статистична оцінка методу моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації дозволяє спростити процедуру прийняття рішення про наявність очікуваного сигналу.

Література

1. В.П. Лысечко, В.Н. Харченко. Метод борьбы с внутрисистемными радиопомехами // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ –2004. – Вип. 2. – С.232-237.
2. Л.Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Защита от радиопомех. Под ред. М.В.Максимова. – М.: Советское радио, 1999, 496 с.
4. Бернард Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е испр.: Пер. с англ. – Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104с.
5. И.М. Пышкин. Теория кодового разделения сигналов. – М.: Связь, 1980. – 208с.

6. Статистическая радиотехника: примеры и задачи. Под ред. В.И. Тихонова. – М.: Сов. радио, - 1980. – 544 с.
7. НТ. Петрович, М.К. Размахнин. Системы связи с шумоподобным исигналами. – М.: Советское радио, 1969. – 232с.
8. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами, под ред. Г.И. Тузова. - М.: «Радио и связь», 1985 г. – 284 с.
9. Шимків М.В. Метод моніторингу спектру на основі цифрової узгодженої фільтрації. Вісник Національного технічного університету //М.В. Шимків, В.П. Лисечко, О.М. Прогонний, А.В. Гуменюк // Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.НТУ «ХП». – 2013. - №60(1033).- С.127 - 135.

Шимків М.В., Лысечко В.П., Гуменюк А.В. Статистическая оценка метода мониторинга спектра на основе цифровой согласованной фильтрации. В статье проводится оценка результатов реализации метода мониторинга спектра на основе цифровой согласованной фильтрации. Оценка основана на статистическом анализе максимальных выбросов боковых лепестков функции взаимной корреляции и функции автокорреляции от изменения уровня помехоустойчивости. Результаты статистического исследования позволяют оценить занятость радиочастотного спектра в сложных помеховых условиях.
Ключевые слова: цифровая согласованная фильтрация, функция взаимной корреляции, функция автокорреляции, помехоустойчивость, боковые лепестки, радиочастотный спектр, статистический анализ, максимальные выбросы, статистическая оценка.

Shymkiv M.V., Lysechko V.P., Humeniuk A.V. Statistical evaluation of spectrum monitoring method based on digital matched filtering. The paper assesses the results of the implementation of a spectrum monitoring method based on digital matched filtering. The assessment is based on statistical analysis of the maximum emission of cross-correlation function and the autocorrelation function sidelobes depending on the change in the level of noise immunity. The results of statistical studies allow us to estimate radio frequency spectrum occupancy in complex interference conditions.

Key words: digital matched filtering, cross-correlation function, autocorrelation function, noise immunity, sidelobes, radio frequency spectrum, statistical analysis, maximum emission, statistical assessment.

Рецензент д.т.н., професор Приходько С.І. (УкрДАЗТ)

Поступила 26.09.2014 г.