

УДК 621.396.967

Вік.Г. Смоляр<sup>1</sup>, О.М. Симоненко<sup>1</sup>, А.В. Тройко<sup>1</sup>, Д.О. Горобець<sup>1</sup>, Вол.Г. Смоляр<sup>2</sup><sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава<sup>2</sup> Адміністрація Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації, Київ

## СПЕКТРАЛЬНЕ ДЕТЕКТУВАННЯ ІМПУЛЬСІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ БІЛОГО ШУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОЦЕДУРИ «КОВЗНОГО ВІКНА» ТА ПРИЙНЯТТЯМ РІШЕННЯ ЗА МАЖОРИТАРНИМ ПРИНЦИПОМ

Представлені результати імітаційного моделювання методу спектрального детектування з використанням еталонної бази прийнятих сигналів на основі процедури "ковзного вікна". Запропонований підхід дозволив проаналізувати кожен біт інформаційного потоку в складі декількох різних пакетів та за різної реалізації шуму, що змінювався разом з додаванням нових бітів та пов'язаним з ними шумом до складу пакету. Для прийняття рішення про остаточне значення біту, використано мажоритарний метод із вилученням з аналізу найгіршого результату. Визначені напрямки подальших досліджень.

**Ключові слова:** швидке перетворення Фур'є, «ковзаюче вікно», імпульсний (цифровий) сигнал, білий гаусівський шум, спектр, еталонний пакет.

### Вступ

Методи цифрової обробки сигналів, що використовують додаткові властивості математичних процесів, надали змогу отримати нові більш точні, результати при визначенні характеристик сигналів [1-6]

В раніше опублікованій роботі [1] авторами був запропонований метод спектральної демодуляції, з використанням еталонної бази прийнятих сигналів. В наступних публікаціях [2, 3] авторами були представлені результати імітаційної моделі процесу демодуляції імпульсного сигналу в умовах впливу білого гаусівського шуму (БГШ) та вузько смугової немодульованої та модульованої завади. Результати цього моделювання підтверджують дієвість запропонованого методу і дають можливість припустити про більш високу його ефективність забезпечення завадостійкості у порівнянні з традиційними методами обробки сигналів.

Ця стаття є продовженням досліджень, наведених в [1 – 3], і присвячена вдосконаленню запропонованого методу обробки (демодуляції) сигналу шляхом використання процедури "ковзного вікна".

**Метою роботи** є розгляд результатів імітаційного моделювання методів спектрального детектування сигналів з використанням процедури «ковзного вікна» та прийняттям рішення за мажоритарним принципом.

### Основна частина

Особливістю алгоритму, використаного в [1 – 3], є те, що вході виконання процедури швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) робиться припущення, що спостереження за сигналом проводиться протягом обмеженого інтервалу часу (в конкретному

випадку – рівний тривалості чотирьох бітів), а за межами цього інтервалу сигнал повторюється безкінечну кількість разів. Так як сигнал приймається разом з шумом, то після проведення процедури ШПФ шум перестає бути стохастичним процесом, набуваючи періодичних властивостей, що погіршує результати розпізнавання сигналу. Для мінімізації вказаного негативного ефекту, на відміну від алгоритму, запропонованого в [1], коли, проводився аналіз пакету з чотирьох імпульсів, за результатами якого приймалось рішення, про значення конкретного біту у цьому пакеті, пропонується використання процедури "ковзного вікна" [6]. Відмінність полягає в тому, що після аналізу пакету, відбувається зміщення на один біт, в результаті чого три попередні біти повторно приймають участь в аналізі, але в складі іншого пакету(вікна) і за іншої реалізації шуму, оскільки при кожному зміщенні додається шум що входить до складу наступного імпульсу, а перший імпульс попереднього пакету відкидається.

Таким чином, кожен біт інформаційного потоку аналізується чотири рази в складі різних пакетів і за різної реалізації шуму. Для прийняття рішення про остаточне значення біту використаний мажоритарний метод.

Для побудови нової моделі досліджуваного методу за основу був узятий алгоритм, докладно описаний в роботі [1]. Нова модель повторює попередню на етапі аналізу пакету з чотирьох імпульсів. Наступним етапом є процес прийняття рішення про значення кожного біту на основі чотирьох реалізацій пакетів за мажоритарним принципом.

Як і в попередній роботі був використаний пакет Mathcad [7].

На початковому етапі моделювання в пакеті Mathcad формувалася вектор  $W$ , що містить комбіна-

цію 3-ох пакетів із 4-ох відеоімпульсів з 64-ма відліками із загальною довжиною вибірки, що дорівнює 256 відліків і амплітудою імпульсів рівною 1.

Приклад однієї з таких комбінацій (розглянута послідовність 10111001101) представлений на рис. 1.

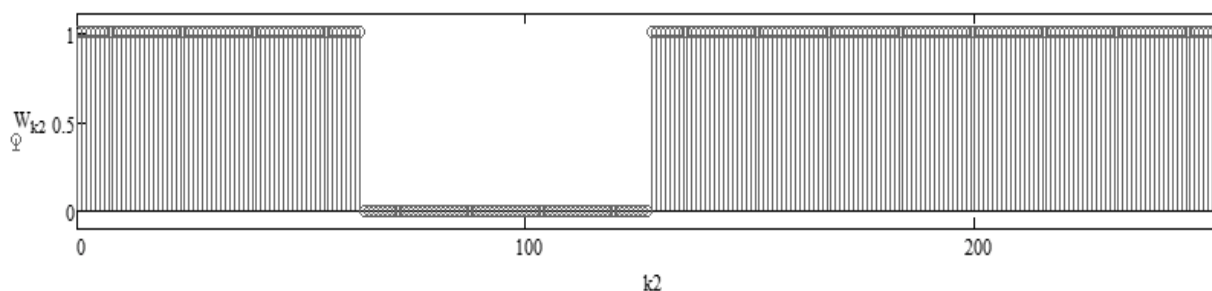


Рис. 1. Послідовність відеоімпульсів одного з пакету, що передаються

При моделюванні було використане дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) яке є більш універсальним в порівнянні з ШПФ і завдяки цьому зберігається можливість проведення додаткових досліджень з використанням вже розроблених моделей.

Після перетворення вектору  $U$  з часової області в частотну за допомогою процедури ДПФ, було отримано 9-ть вікон, що дозволило провести порівняння послідовності прийнятих відеоімпульсів з еталонними спектрами ДПФ чотири рази кожного з імпульсів другого пакету. Еталони спектральних комбінацій були обчислені заздалегідь і при проведенні розрахунків зчитувалися за допомогою стандартних функцій Mathcad з файлів \*.rpn на жорсткому диску.

Детектування вихідної комбінації послідовності  $W$  проводилося шляхом порівняння реальної складової ДПФ прийнятого вектору сигналу, за методом найменших квадратів (МНК) [8]. Лістинг алгоритму обчислення функціоналу МНК представлений авторами в [1].

Результат виконання алгоритму по МНК кожного вікна представлено в таблиці 1. Як видно з рисунка, мінімальне значення функціоналу МНК відповідає порядковим номерам еталонних комбінацій №7, №15, №14, №12, №9, №3, №6, №13, що відповідають кожному з вікон 0111, 1111, 1110, 1100, 1001, 0011, 0110, 1101 в двійковій послідовності, а отже і значенню біта в складі вікна, що розглядається.

Нульове вікно 1011 не береться до уваги. Воно служить початком формування вікон за процедурою «ковзного вікна» і не впливає на подальший результат.

Вікна 1-7 дозволяють провести аналіз кожного біта другого пакету загальної комбінації чотири рази.

Отже, в подальших операціях для спрощення процесу моделювання, береться лише другий пакет чотирьох бітів загальної комбінації, тобто 1100, так як біти першого пакету 1011 аналізувалися неповну кількість разів.

Після цього отримуємо чотири варіанти пакетів в складі яких кожен з аналізованих бітів займає позиції від першої до останньої.

В табл. 2 показано результати вибору мінімальних значень суми найменших квадратів пакетів табл. 1.

Кожне найменше значення суми квадратів у стовпці табл. 2 відповідає значенню порядкового номера еталонного пакету (ЕП) з файлів \*.rpn, а його двійкова комбінація є прийнятим пакетом в складі якого аналізований біт почергово займає позиції з першої до останньої за процедурою «ковзного вікна» (символ виділений шрифтом). Для прикладу, розглядається комбінація 1100. Перший її біт «1». В стовпці табл. 2, який знаходиться під першим символом аналізованого пакету, по діагоналі будуть всі «1», отже в усіх чотирьох прийнятих пакетах на позиціях першого символу аналізованого пакету знаходиться «1», приймається рішення, що була передана «1».

За таким методом аналізується решта символів пакету.

В тому разі, коли одне з цих значень буде дорівнювати нулю, то остаточне рішення про значення біту приймається за мажоритарним принципом.

В розглянутій моделі був обраний пакет з чотирьох бітів, тому не виключеною є ситуація «невизначеності» можливих значень «два на два». В цьому випадку пропонується використовувати один з двох методів:

- відкидається найбільше значення суми квадратів із стовпця табл. 2 під аналізованим символом, а для решти трьох використовується мажоритарний принцип;
- підсумовуються значення суми квадратів окремо для «1» та «0», а остаточне рішення приймається за найменшою сумою.

Даний метод обраний через простоту його реалізації.

В подальших статтях будуть представлені результати застосування інших методів та проведений їх порівняльний аналіз.

Суми квадратів значень  
еталонних та прийнятих пакетів

ПН Еталон. комб ПН вікна	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	40960	41088	65536	40960	16512	32640	16512	32640	41088
1	16640	32639,99	40960,01	32768,01	8320,027	8320,012	8319,988	40576	16512,02
2	32639,98	16640	41087,98	16511,97	8703,948	40959,96	8192,003	8191,997	33279,95
3	8320	8192	16512	8320	512	16640	0	16128	8704
4	32768,01	16512,02	40960,01	16640	8319,988	40576	8320,027	8320,012	32639,99
5	8704	8320	16640	8704	384	16512	384	16512	8320
6	40574,52	8191,503	32639,01	8319,51	16639,02	65022,03	16127,01	5,54E-05	40958,52
7	16511,98	5,83E-05	8319,976	383,9726	8703,948	40959,96	8192,003	8191,997	16639,95
8	16511,97	33279,95	41087,98	32639,98	8192,003	8191,997	8703,948	40959,96	16640
9	8319,51	40958,52	32639,01	40574,52	16127,01	5,54E-05	16639,02	65022,03	8191,503
10	8192	8832	16640	8192	384	16512	384	16512	8832
11	5,88E-05	16511,99	8192,007	16128,01	8320,027	8320,012	8319,988	40576	384,0195
12	8320	8704	16512	8320	0	16128	512	16640	8192
13	383,9726	16639,95	8319,976	16511,98	8192,003	8191,997	8703,948	40959,96	5,83E-05
14	16128,01	384,0195	8192,007	5,88E-05	8319,988	40576	8320,027	8320,012	16511,99
15	8192	8320	0	8192	16512	32640	16512	32640	8320

Таблиця 2

Результати вибору значень  
суми найменших квадратів прийнятих пакетів

Аналізований пакет											
	1			1			0			0	
ПН ЕП з найменшою сумою відносно прийнятого	Двійкове значення ЕП	Суми найменших квадратів прийнятих пакетів	ПН ЕП з найменшою сумою відносно прийнятого	Двійкове значення ЕП	Суми найменших квадратів прийнятих пакетів	ПН ЕП з найменшою сумою відносно прийнятого	Двійкове значення ЕП	Суми найменших квадратів прийнятих пакетів	ПН ЕП з найменшою сумою відносно прийнятого	Двійкове значення ЕП	Суми найменших квадратів прийнятих пакетів
7	0111	5,83E-05	15	1111	0	14	1110	5,83E-05	12	1100	0
15	1111	0	14	1110	5,88E-05	12	1100	0	9	1001	5,54E-05
14	1110	5,88E-05	12	1100	0	9	1001	5,54E-05	3	0011	0
12	1100	0	9	1001	5,54E-05	3	0011	0	6	0110	5,54E-05

## Висновки

Таким чином, в роботі проведено імітаційне моделювання методу спектральної демодуляції, з використанням еталонної бази прийнятих сигналів, процедури «ковзного вікна» та мажоритарного методу прийняття рішення про значення кожного біту. Результати моделювання свідчать про працездатність запропонованого методу.

Метод «ковзного вікна» дозволив зменшити негативні ефекти процедури ШПФ (ДПФ), а саме надання періодичних властивостей шуму, який присутній в складі сигналу.

Надалі, дослідження будуть спрямовані на вивчення інших шляхів розв'язання проблеми «невизначеності», що виникла при використанні мажоритарного методу, аналітичної оцінки потенційної завадостійкості методів спектральної демодуляції без використання процедури «ковзного вікна» та з нею.

## Список літератури

1. Смоляр В.Г. Метод спектральної демодуляції з використанням еталонної бази приймаємих сигналів [Текст] / В.Г. Смоляр, С.А. Тьшико, І.І. Слюсарь // Зб. наук. пр. Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації та зв'язку, 2013. – № 1 (21), Т. 2. – С. 268-270.
2. Смоляр В.Г. Экспериментальное подтверждение работоспособности метода спектрального детектирования сигнала [Текст] / В.Г. Смоляр, С.А. Тьшико, І.І. Слюсарь, К.А. Васильев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – № 6 (113). – С. 134-136.
3. Смоляр В.Г. Вычислительный эксперимент приема сигнала методом спектрального детектирования в условиях воздействия узкополосной помехи [Текст] /

В.Г. Смоляр, С.А. Тьшико, І.І. Слюсарь, К.А. Васильев // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2015. – № 4. – С. 94-97.

4. Смоляр В.Г. Результати дослідження середньоквадратичної помилки визначення амплітуд сигналів N-OFDM при блочному розміщенні під несучих. [Текст] / В.Г. Смоляр, І.І. Слюсар, С.В. Дружинін, В.О. Ольховський // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – № 1 (50). – С. 161-165.

5. Смоляр В.Г. Аналіз характеру зміни величини помилки визначення амплітуд сигналів неортогональної частотної дискретної модуляції при їх частотному ущільненні. [Текст] / В.Г. Смоляр // Зб. наук. пр. – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2004. – № 25. – С. 209-219.

6. Смоляр В.Г. Застосування алгоритмів N-OFDM для боротьби з вузькосмуговими завадами в спектрі OFDM. [Текст] / В.Г. Смоляр // Сб. тр. по матеріалам 8-го Міжнародного форуму «Радиоелектроніка і молодь в ХХІ столітті». – Х.: ХНУРЕ, 2004. – С. 89.

7. Официальный сайт MathCad [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mathcad.com>. – Дата доступа: 29.06.16.

8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 576 с.

Надійшла до редколегії 26.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.І. Слюсар, Центральний науково-дослідний інститут озброєння і військової техніки Збройних Сил України, Київ.

## СПЕКТРАЛЬНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ БЕЛОГО ШУМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ «СКОЛЬЗЯЩЕГО ОКНА» И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО МАЖОРИТАРНОМУ ПРИНЦИПУ

Вик.Г. Смоляр, О.М. Симоненко, А.В. Тройко, Д.О. Горобець, Вол.Г. Смоляр

Представлены результаты имитационного моделирования метода спектрального детектирования с использованием эталонной базы принимаемых сигналов на основе процедуры "скользящего окна". Предложенный подход позволил проанализировать каждый бит информационного потока в составе нескольких различных пакетов и в другой реализации шума, который менялся вместе с добавлением новых битов и связанным с ними шумом в составе пакета. Для принятия решения об окончательном значении бита, использован мажоритарный метод с изъятием из анализа наихудшего результата. Определены направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** быстрое преобразование Фурье, «скользящее окно», импульсный (цифровой) сигнал, белый гауссовский шум, спектр, эталонный пакет.

## SPECTRAL SENSING PULSES UNDER INFLUENCE OF WHITE NOISE WITH PROCEDURES "SLIDING WINDOW" AND A DECISION BY THE MAJORITY PRINCIPLE

Vik.G. Smolyar, A.M. Simonenko, A.V. Troyko, D.A. Gorobets, Vol.G. Smolyar

The results of the simulation method of spectral detection using a "sliding window" reference base of the received signals on the basis of the procedure. The proposed approach has allowed to analyze every bit of information flow as part of a number of different packages and in another embodiment, the noise, which is changed with the addition of new bits and associated noise in the package. To make a decision on the final value of the bit, the majority used the method with the withdrawal from the analysis of the worst results. The directions for further research.

**Keywords:** FFT "sliding window" pulse (digital) signal white Gaussian noise spectrum, a standard package.