

5. Андрушко Л. М. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи. – К.: Техника, 1988. – 239 с.
6. Krehlik P. Directly modulated lasers in negative dispersion fiber links. -Warsaw: Opto-Electronics Review 15, 2007. - p. 71-77.
7. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 267 с.

*Власенко А.О. Визначення гранично допустимої дальності передавання інформації волоконно-оптичними лініями зв'язку. Наведено результати дослідження обмежуючого впливу дисперсії та загасання сигналу на допустиму відстань передавання інформації в залежності від параметрів функціонування волоконно-оптичної системи.*  
**Ключові слова:** дисперсія, загасання, гаусівський імпульс, супергаусівський імпульс.

*Власенко А.А. Определение предельно допустимой дальности передачи информации в волоконно-оптических линиях связи. Приведены результаты исследования ограничивающего влияния дисперсии и затухания сигнала на допустимое расстояние передачи информации в зависимости от параметров функционирования волоконно-оптической системы.*  
**Ключевые слова:** дисперсия, затухание, гауссовский импульс, супергауссовский импульс.

*Vlasenko A.O. The determination of ultimate data transmitting range of fiber-optic system. The results of research of limiting influence of dispersion and fading of signal on possible distance of data transmission depending on the fiber optic system functioning parameters are presented.*  
**Key words:** dispersion, fading, Gaussian pulse, Super-gaussian pulse.

УДК 621.376.4

## **ЗМЕНШЕННЯ ПІК ФАКТОРУ В КАНАЛАХ З OFDM ЗА ДОПОМОГОЮ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ І БЛОЧНОГО КОДУВАННЯ.**

**Білоконь О.В., Головін В.А.**

Технологія OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) являється однією з перспективних в сучасних системах передачі даних. Вона є основною в стандарті 802.16d/e – WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) і визнана як пріоритетна у новому стандарті LTE (Long Term Evolution). Основна перевага – це робота в каналах зв'язку Райса, Релея. Ведуться розробки для використання OFDM в мобільних пристроях, але значний пік фактор(ПФ) вимагає лінійних підсилювачів потужності.

Загальний вигляд сигналу з OFDM:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ a_k \cdot \cos \left[ 2 \cdot \pi \left( f_0 + \frac{k}{T} \right) t \right] + b_k \cdot \sin \left[ 2 \cdot \pi \left( f_0 + \frac{k}{T} \right) t \right] \right\}, \quad (1)$$

де  $T$  - тривалість тактового інтервалу;  $N$  - кількість носійних коливань;

$f_0$  - частота носійної. Значення пікфактора:

$$PAPR = \frac{\max_{t \in [0; T]} \{|s(t)|^2\}}{P_{cp}}, \quad (2)$$

де  $P_{cp} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |s(t)|^2 dt$ , PAPR (peak-to-average power ratio) – пік фактор.

Основні методи, алгоритми зменшення ПФ розглянуті в [1].

В даній статті розглянуто метод зменшення ПФ, за допомогою медіанного фільтру[2] та блочного кодування.

Медіанні фільтри застосовуються як для одномірних так і для двомірних масивів, для зменшення аномальних значень в масивах даних, зменшення викидів. Медіанний фільтр являє собою віконний фільтр, який послідовно рухається по масиву сигналу, повертає на кожному кроці один з елементів, тим самим згладжує викиди сигналу (рис.1).

Вхідний сигнал  $y_k$  по якому рухається медіанний фільтр шириною  $2 \cdot n + 1$  для поточного значення відліку  $k$  формується із вхідного часового ряду  $\dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots$  у відповідності з формулою :

$$y_k = med(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}, \dots, x_{k+n-1}, x_{k+n}), \quad (3)$$

де  $med(x_1, \dots, x_m, \dots, x_{2n+1}) = x_{n+1}$ ,  $x_m$  - елементи варіаційного ряду, тобто ранжирувані у порядку зростання значень  $x_m$  :

$$x_1 = \min(x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}) \leq x_{(2)} \leq x_{(3)} \leq \dots \leq x_{(2n+1)} = \max(x_1, x_2, \dots, x_{2n+1}) \quad (4)$$

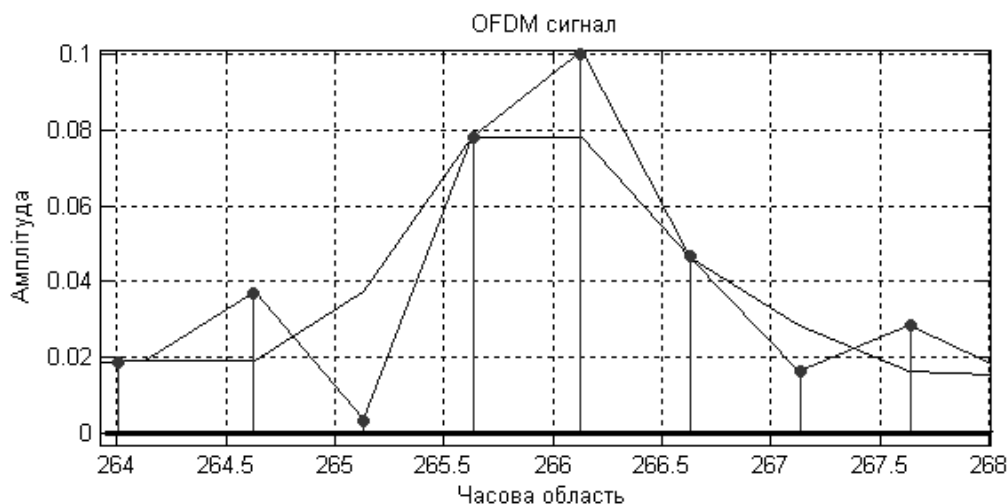


Рис.1

Таким чином, медіанна фільтрація виконує заміну значень відліків в центрі апертури медіанним значенням початкових відліків у середині апертури фільтра. В OFDM символі (рис.1) пік сигналу формується одним відліком, а ширина апертури фільтру буде дорівнювати  $2 \cdot n + 1 = 2 \cdot 1 + 1 = 3$ .

При збільшенні апертури ефективність фільтру зменшується, розширюється спектр, спотворюються сигнал. Для зменшення негативних ефектів, будемо використовувати фільтрацію не для всього сигналу а тільки для локальних максимумів.

Алгоритм:

1) Формується сигнал OFDM у вигляді одномірного масиву. Розраховується ПФ.

2) У даному масиві проводиться пошук максимального значення сигналу.

3) Задається  $L$  – інтервал на якому буде проводитися фільтрація.

4) Масив даних  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , де  $N = 2 \cdot L$ , Першими проходять значення  $x_1, x_2, x_3$  через апертуру фільтра і розміщуються у порядку зростання. В апертурі обирається середнє значення і записується у сигнал. Після чого беруться наступні три значення  $x_2, x_3, x_4$  і так поки не дійдемо до останніх трьох значень  $x_{N-2}, x_{N-1}, x_N$ .

5) Після обробки фільтром розраховуємо значення ПФ і порівнюємо із початковим. Записуємо або передаємо сигнал.

6) Якщо ПФ не задовольняє заданим вимогам, повернутися до пункту

Для зменшення ПФ використовується алгоритм блочного кодування з використанням спектрально-ефективних методів модуляції[5]. Запропоновано алгоритм методу зменшення ПФ в якому використовуються частоти захисних інтервалів OFDM сигналу або частоти основної смуги.

Алгоритм:

1) Для формування OFDM символу по вихідним даним вибираємо  $N - M$  частот,  $M$  частот залишаємо вільними, тобто  $a_i = b_i = 0, i = 1, 2, \dots, M$ .

2) За допомогою зворотнього перетворення Фур'є формуємо символ OFDM  $S(t)$  згідно (1).

3) Розраховуємо ПФ згідно формулі (2). Якщо значення ПФ менше заданої величини то переходимо в пункт 7, в іншому випадку в пункт 4.

4) Розраховуємо функцію  $y(t)$  на символному інтервалі таку, щоб ПФ функції  $S_N(t) = S(t) + y(t)$  задовольняв вимогам.

5) Знаходимо коефіцієнти ряду Фур'є для функції  $y(t)$  по  $M$  гармонікам (5).

6) Додаємо розраховані коефіцієнти ряду до вхідних даних та знову формуємо OFDM символ.

7) Виконуємо передачу символу.

Коефіцієнти ряду для функції  $y(t)$  знайдемо прямим перетворенням Фур'є, або методом мінімізації функції:

$$\min \Phi(a_i, b_i) = \left| \left( y(t) - \sum_{i=0}^{M-1} a_i \cdot \cos(\omega_i \cdot t) + b_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t) \right) \right|, \quad (5)$$

Перевагою даного методу є зменшення ПФ без розширення смуги частот, досить простий алгоритм обробки сигналу, тому не потребує великих обчислювальних затрат. Недоліком даного методу є затримка сигналу в один OFDM символ, зменшення швидкості передачі.

Моделювання алгоритму медіанної фільтрації виконуємо у середовищі MatLab[3] за допомогою GUI(Graphics User Interface). Для моделювання використовувався сигнал OFDM з QAM модуляцією і 1024 піднесучими згідно формули (1). ПФ розраховувався згідно формули (2). Отримані такі результати :

1. При використанні однієї ітерації і інтервалу у десять відліків ПФ було зменшено на 1,1 дБ; рівень бокових пелюсток спектра збільшився на 4 дБ. Початковий ПФ=7,1642 дБ після обробки ПФ=6,0542 дБ. Сигнал і спектр OFDM показані на (рис. 2).

2. При використанні двох ітерацій і тому самому інтервалі значення ПФ зменшилося на 1,7085 дБ при збільшенні бокових пелюсток спектра на 8 дБ. Початковий ПФ=7,1642 дБ після обробки ПФ=5,4556 дБ. Сигнал і спектр OFDM показані на (рис.3).

3. При використанні десяти ітерацій і тому самому інтервалі значення ПФ зменшилося на 2,1387 дБ при збільшенні бокових пелюсток спектра на 10 дБ. Початковий ПФ=7,1642 дБ після обробки ПФ=5,0255 дБ. Сигнал і спектр OFDM показані на (рис.4).

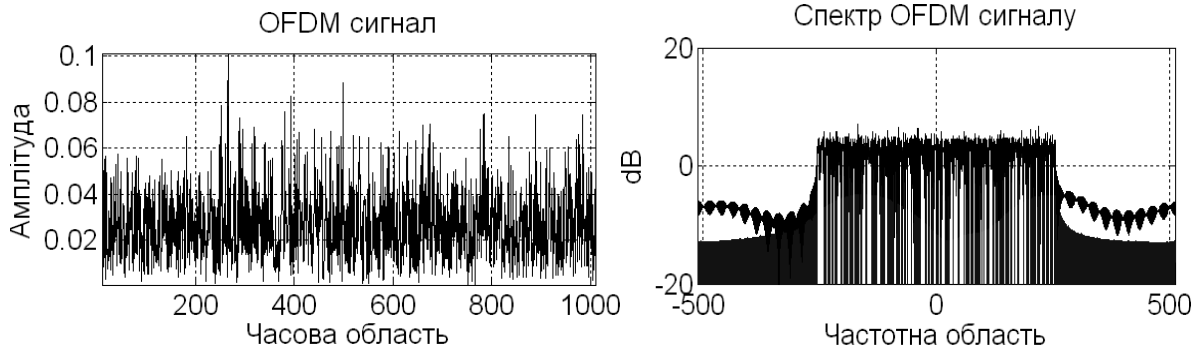


Рис.2

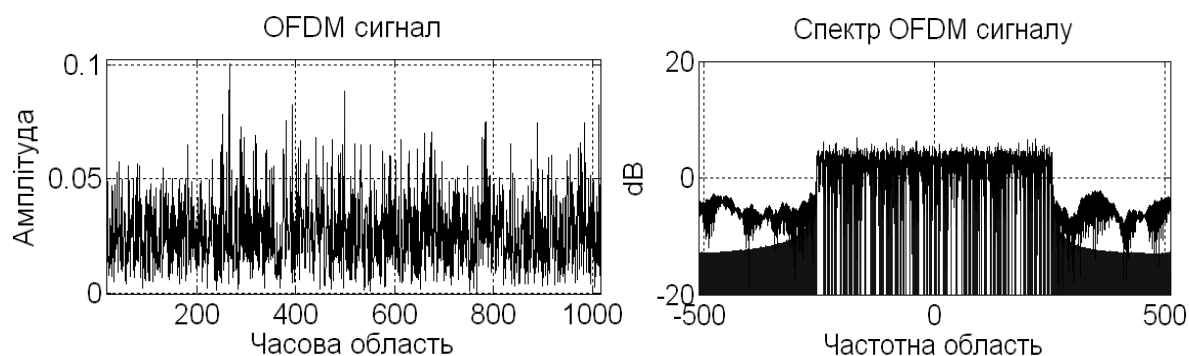


Рис.3

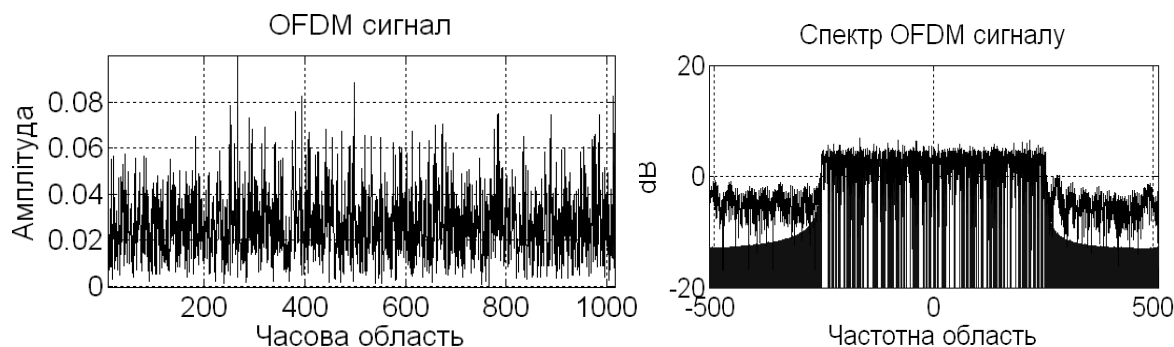


Рис.4

За результатами оптимальною кількістю ітерацій використання медіанної фільтрації є десять, так як подальша обробка приведе до більшого спотворення спектру і при цьому не будемо отримувати значного зменшення ПФ. Даний метод дає можливість зменшити ПФ в середньому на 2,1 дБ. Алгоритм досить простий тому складності у реалізації не виникає. Недоліком такого методу є затримка сигналу в один OFDM символ.

#### Висновки

Медіанний фільтр дозволяє зменшити ПФ без значного розширення спектру сигналу в захисних смугах OFDM сигналу, простий в реалізації.

#### Література

1. Білоконь О.В., Головін В.А. Методи зменшення пік фактору в каналах з OFDM. Вісник Національного технічного Університету України "КПІ" 2009,-№39.
2. Одномерный цифровой медианный фильтр с трехотсчетным окном [Электронный ресурс]: научн. техн. журнал ChipNews. – Электрон. журн. –: <http://www.chipnews.ru>.
3. Яровой Н.И. «Адаптивная медианная фильтрация». <http://prodav.narod.ru/dsp/doc/dsp16.doc>
4. <http://matlab.exponenta.ru/gui/index.php>.
5. Рашич А. В. Метод формирования спектрально-эффективных OFDM-сигналов на основе неортогональных базисных функций / А. В. Рашич, С. Б. Макаров // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 2(76)/2009. — СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. — С. 94—98.

*Білоконь О.В., Головін В.А. Зменшення пік фактору в каналах з OFDM за допомогою медіанної фільтрації і блочного кодування. В даній статті розглянуто алгоритм медіанної фільтрації і алгоритм блочного кодування для зменшення пікфактору в системах, які використовують OFDM сигнали.*

**Ключові слова:** OFDM, пікфактор, модуляція.

*Белоконов А.В., Головин В.А. Уменьшения пик фактора в каналах с OFDM с помощью медианной фильтрации и блочного кодирования. В данной статье рассмотрено алгоритм медианной фильтрации и алгоритм блочного кодирования для уменьшения пик фактора в системах, которые используют OFDM сигналы.*

**Ключевые слова:** OFDM, пикфактор, модуляция.

*Bilokon A.V., Golovin V.A. Reduction of the peak factor in channels with OFDM using median filtering and block coding. In given ar-*

*title the algorithm of median filtering and algorithm of block coding to reduction of the peak-factor in systems which use OFDM signals.*

*Key words: OFDM, peak-to-average, modulation.*

УДК 621.37:621.391

## **МЕТОД КОРЕЛЯЦІЙНО-ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОГО РАДІОПЕЛЕНГУВАННЯ З ДИСПЕРСІЙНОЮ ОБРОБКОЮ КОМПЛЕКСНИХ ВЗАЄМНИХ СПЕКТРІВ СИГНАЛІВ**

*Ципоренко В.В.*

### **Вступ. Постановка задачі.**

На сьогодні радіомоніторинг радіоелектронних засобів повинен здійснюватися в умовах складної електромагнітної обстановки, великої апріорної невизначеності щодо параметрів радіовипромінювань, а також в умовах реального масштабу часу реалізації. Перспективним напрямком реалізації радіомоніторингу для вказаних умов є використання широкосмугових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів із застосуванням цифрової обробки комплексних спектрів прийнятої суміші радіовипромінювань [1].

Зазвичай пеленгування реалізується пошуковим методом з пошуком такого значення компенсуючої затримки, яке забезпечує максимум взаємної кореляційної функції, недоліком якого є великі часові або апаратурні витрати. Тому дослідження по підвищенню швидкодії кореляційно-інтерферометричного пеленгування при забезпеченні високої точності є актуальною задачею.

### **Аналіз досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної задачі**

В роботах [2, 3, 4] виконано дослідження аналогових кореляційно-інтерферометричних методів та засобів радіопеленгування, що реалізують неперервне пошукове визначення напрямку на джерело радіовипромінювання (ДРВ). Визначені алгоритми та побудова відповідних засобів кореляційно-інтерферометричного аналогового пеленгування та їх точносні характеристики. Однак, вказані методи використовують послідовний пошук екстремального напрямку, що визначає їх відносно низьку швидкодію.

В роботах [5, 6, 7] виконано дослідження цифрових кореляційно-інтерферометричних методів та засобів радіопеленгування, що реалізують дискретне пошукове визначення напрямку на ДРВ шляхом обробки часових та спектральних реалізацій прийнятих випромінювань. Визначені алгоритми та побудова відповідних засобів кореляційно-інтерферометричного цифрового пеленгування та їх точносні характеристики. Однак, вказані методи використовують послідовний дискретний пошук екстремального напрямку, що визначає їх відносно низьку швидкодію