

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОЇ ПОМИЛКИ ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУД СИГНАЛІВ N-OFDM ПРИ БЛОЧНОМУ РОЗМІЩЕННІ ПІДНЕСУЧИХ**

В.Г. Смоляр, І.І. Слюсар, С.В. Дружинін, В.О. Ольховський  
(Полтавський військовий інститут зв'язку)

*Проведено порівняння результатів визначення середньоквадратичної помилки амплітуд сигналів N-OFDM при блочному рівномірному та нерівномірному розміщенні піднесучих.*

*середньоквадратична помилка, амплітуда сигналів N-OFDM, блочне розміщення піднесучих*

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** Збільшення кількості електронно-обчислювальних засобів, їх швидке проникнення у всі сфери людської діяльності призвело до зростання потоків інформації, яку необхідно передавати по різноманітним лініях зв'язку. Таке зростання призвело до необхідності пошуку нових, спектрально-ефективних методів модуляції. Одним з напрямків таких пошуків є розробка та дослідження методів надрелеївського ущільнення сигналів за частотою на основі відомих методів ортогональної частотної модуляції (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing), які отримали назву неортогональної частотної дискретної модуляції (N-OFDM). Докладно ці способи формування та обробки сигналів розглянуті у [1 – 7] тому зупинятися на розкритті їх сутності не будемо.

**Метою статті** є порівняння результатів визначення середньоквадратичної помилки амплітуд сигналів N-OFDM при блочному рівномірному та нерівномірному розміщенні піднесучих.

У ході досліджень методів N-OFDM була встановлена залежність значення середньоквадратичної помилки (СКП) визначення амплітуд сигналів у залежності від ступеня частотного ущільнення сигналів, взятого в частках ширини фільтру, сформованого в результаті застосування операції швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [5].

В результаті аналізу вказаних залежностей було виявлено, що для кількості підканалів, (більше чотирьох – шести) доцільним є блочне компонування піднесучих, коли ущільнення частотних компонент у кожному блоці здійснюється так, як показано на рис. 1 [5, 6].

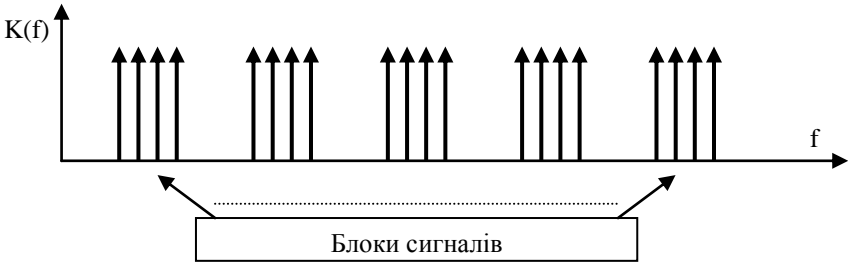


Рис. 1. Сутність блочного компонентування сигналів

При цьому рознесення блоків за частотою вибирається не менше 2-х інтервалів між підканалами в блоці, що дозволить зменшити помилки виміру амплітуд внутрішніх сигналів пакету (рис. 1).

Подальшим розвитком цієї ідеї стало використання блочного нерівномірного розміщення піднесучих.

Для ілюстрації ефективності блочного розташування частот сигналів в табл. 1 приведені результати статистичного моделювання процесу обробки 32-частотного пакету сигналів N-OFDM при блочному та рівномірному ущільненні піднесучих до величини, рівної 0,5 ширини фільтру ШПФ. За даними табл. 1 був побудований графік (рис. 2).

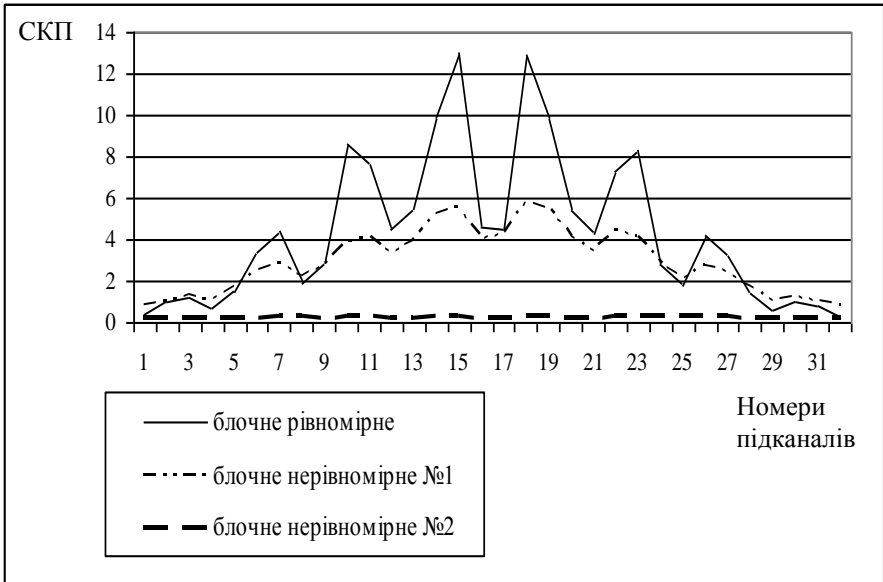


Рис. 2. Залежність СКП визначення амплітуд сигналів від номера частотного

підканалу при їх блочному рівномірному та нерівномірному (1 та 2) розташуванні

Таблиця 1

Результати статистичного моделювання процесу обробки 32-х частотного пакету сигналів N-OFDM при блочному та безблочному ущільненні

№ підканалу	СКП при блочному рівномірному N-OFDM	СКП при безблочному N-OFDM	СКП при блочному нерівномірному N-OFDM	
1	2	3	4	5
1.	0,365336	286,6889	0,775873	0,205613
2.	0,988287	3283,049	1,03313	0,218847
3.	1,187328	22068,53	1,283743	0,234309
4.	0,670657	87225,97	0,984152	0,198666
5.	1,458172	302665,1	1,705367	0,216705
6.	3,381838	714195,5	2,450764	0,24356
7.	4,437388	1643235	2,754173	0,259545
8.	1,948593	2661207	2,193208	0,25007
9.	2,91541	4377585	2,681103	0,229996
10.	8,629581	5066434	3,886125	0,277538
11.	7,57896	5954487	4,135008	0,275864
12.	4,462173	4792243	3,294703	0,235116
13.	5,465939	3632277	3,905709	0,245347
14.	9,906229	1792371	5,195418	0,287167
15.	<b>12,97636</b>	<b>654490,4</b>	<b>5,499527</b>	<b>0,295937</b>
16.	4,573884	237193,2	4,016854	0,245899
17.	4,539201	413051,7	4,196677	0,239556
18.	<b>12,85752</b>	<b>967759</b>	<b>5,751696</b>	<b>0,288814</b>
19.	9,802728	948861,1	5,470809	0,279452
20.	5,377376	291746,6	4,115979	0,248804
21.	4,333681	970615,3	3,423631	0,246445
22.	7,318539	1791600	4,428804	0,26923
23.	8,332556	2372978	4,148695	0,276012
24.	2,775187	2039024	2,945826	0,258346
25.	1,847033	1624055	2,111615	0,250332
26.	4,186677	936348,1	2,708581	0,300039
27.	3,153243	499908,3	2,382688	0,291939
28.	1,379857	196110,8	1,682415	0,245068
29.	0,59613	66494,24	0,97264	0,221405
30.	1,044569	15777,22	1,21877	0,242623
31.	0,849147	2655,304	1,030162	0,232576
32.	0,325489	223,5817	0,759869	0,210797

При блочному ущільненні були сформовані пакети по чотири піднесучі, з інтервалом між блоками рівним, подвоєній ширині фільтрів ШПФ

(другий стовпчик табл. 1 та суцільна лінія графіку рис. 2). Аналіз результатів моделювання дає змогу зробити висновок про правильність ідеї блочного розташування сигналів.

Ще більш цікаві результати отримано при застосуванні нерівномірного розміщення частотних підканалів в межах блоку (четвертий та п'ятий стовпчики табл. 1). Ідею такого розташування ілюструє рис. 3.

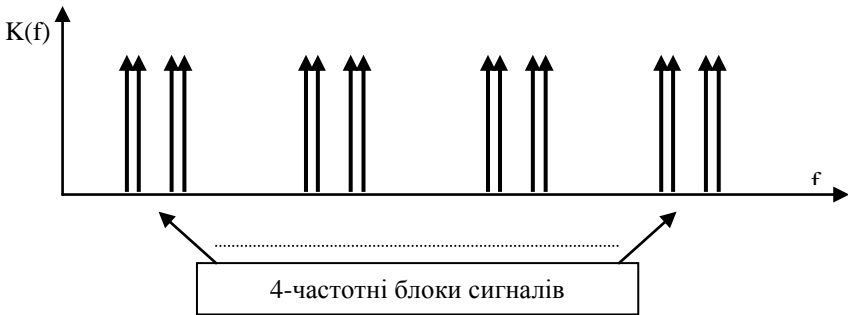


Рис. 3. Сутність блочного компонування сигналів при нерівномірному розміщенні частотних підканалів у блоці

Так, штрих-пунктирною лінією на графіку рис. 2 представлений варіант, коли частотні підканали розташовані за схемою:  $0,2$  ширини фільтру  $\Delta F_0$ , утвореного в результаті операції ШПФ, а далі  $0,8\Delta F_0 - 0,2 \Delta F_0 - 1,6 \Delta F_0$  (блочне нерівномірне №1). Якщо порівняти ці результати з варіантом рівномірного розташування сигналів в межах блоку (суцільна лінія графіка рис. 2), розташованих з інтервалами  $0,5$  ширини фільтра  $\Delta F_0$  в межах блоку та  $2$  ширини фільтра  $\Delta F_0$  між блоками, то можна помітити, що зменшилось як максимальне значення величини похибки визначення амплітуд сигналів, так і її нерівномірність між підканалами при зменшенні загальної смуги частот сигналу N-OFDM.

Штриховою лінією на графіку рис. 2 показано значення СКП частотних підканалів, які розміщені за схемою: „ $0,25 \Delta F_0 - 1 \Delta F_0 - 0,25 \Delta F_0 - 2 \Delta F_0$ ” (блочне нерівномірне №2).

При такому розміщенні підканалів загальна смуга сигналу зменшилась на 12%, шумова смуга каналу при додатковій фільтрації може бути зменшена більше, ніж у два рази, а СКП стала майже рівномірною для всіх підканалів й, головне не перевищує половини кванта АЦП. Подальше вдосконалення розглянутого підходу може йти шляхом використання попереднього фільтрового розділення пакетів з подальшою їх індивідуальною обробкою, що дозволить наблизити значення СКП оцінок амплітуд багаточастотних блочних пакетів до відповідних значень СКП

при обробці окремого блоку.

Крім того, розвинувши ідею використання нееквідистантного розташування сигналів в середині блоку, неважко прийти до адаптивної зміни інтервалів між частотами у блоках та міжблокових інтервалів, залежно від конкретного каналу бездротового доступу, а також навмисної маніпуляції частотними інтервалами для маскування повідомлень.

**Висновки.** У цілому, наведені результати свідчать про можливість збільшення пропускнуєї спроможності вузькосмугових каналів зв'язку або ж звуження смуги передачі при незмінній швидкості трафіка на основі використання методу N-OFDM у процедурах цифрової обробки сигналів. Однак, ще більшого значення методи N-OFDM набувають при застосуванні алгоритмів адаптації та утримання зв'язку у складній завадовій обстановці, коли при використанні традиційних методів модуляції сигналів втрачається можливість передачі інформації з необхідною ймовірністю помилки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України № 47918 А, МПК<sup>7</sup> Н 04J 1/00. Спосіб частотного ущільнення вузькосмугових інформаційних каналів. // В.І. Слюсар, В.Г. Смоляр, А.М. Степанець, І.І. Слюсар. – Заявка № 2001117512; Заявлено 05.11.01; Опубл. 15.07.02, Бюл. №7, 2002.
2. Патент України № 47835 А, МПК<sup>7</sup> Н 04J 1/00. Спосіб частотного ущільнення вузькосмугових інформаційних каналів. // В.І. Слюсар, В.Г. Смоляр. – Заявка № 2001106761; Заявлено 03.10.01; Опубл. 15.07.02, Бюл. №7, 2002.
3. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Метод неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов для узкополосных каналов связи. // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. – 2004. – № 4. – С. 53-59.
4. Слюсар В.І., Слюсар І.І. Частотне ущільнення сигналів з додатковим стробуванням відліків АЦП. // Збірник наукових праць. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2003. – Вип. 7. – С. 161-168.
5. Слюсар І.І. Аналіз потенційної точності методу частотного ущільнення сигналів при додатковому стробуванні відліків АЦП// Збірник наукових праць "Труди академії". – К.: НАОУ. – 2003. – № 41. – С. 190-196.
6. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Частотное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов. // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. – 2003. – № 7. – С. 30-39.
7. Смоляр В.Г. Аналіз характеру зміни величини похибки визначення амплітуд сигналів неортогональної частотної дискретної модуляції при їх частотному ущільненні // Збірник наукових праць. – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – 2004. – Вип. 25. – С. 209-219.

Надійшла 16.01.2006

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор В.С. Харченко,

