

УДК 681.5.015

Р.Н. КВЕТНИЙ, Я.А. КУЛИК

АНАЛІЗ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,
Тел. (+380) (0432)598 525, E-mail: Yaroslav_Kulik@i.ua*

Анотація. В даній статті розглянуто перетворення сигналу, заданого у вигляді множини точок. При перетворенні в базисі Фур'є (або іншому базисі) визначаються числові коефіцієнти (енергетичний спектр), які передаються лінією зв'язку. Спектр може бути діапазону видимого світла та ультрафіолетових хвиль для оптичних ліній зв'язку чи радіохвиль для провідних ліній, але незалежно від діапазону методи обробки залишатимуться незмінними. Оскільки більша частина енергії зосереджена на невеликій частині спектру, то сигнал не буде сильно спотворений за формою при передаванні тільки цієї частини сигналу. В статті проводиться порівняння спотворення дискретних сигналів без урахування їх природи при передаванні тих коефіцієнтів спектру, які містять в собі 95%, 90%, 85% та 80% енергії всього сигналу. Аналіз проводився в середовищі MathCAD при розкладі в базисі Фур'є, Уолша, вейвлетів.

Аннотация. В данной статье рассмотрены преобразования сигнала, заданного в виде множества точек. При преобразовании в базисе Фурье (или другом базисе) определяются числовые коэффициенты (энергетический спектр), которые передаются по линии связи. Спектр может быть диапазона видимого света или ультрафиолетовых волн для оптических линий связи, или радиоволн для проводных линий, но вне зависимости от диапазона методы обработки остаются неизменными. Поскольку большая часть энергии сосредоточена на небольшой части спектра, то сигнал не будет сильно искажен по форме при передаче только этой части сигнала. В статье проводится сравнение искажения дискретных сигналов без учета их природы при передаче тех коэффициентов спектра, которые содержат в себе 95%, 90%, 85% и 80% энергии всего сигнала. Анализ проводился в среде MathCAD при разложении в базисе Фурье, Уолша, вейвлетов.

Annotation. In this article examines the transformation of the signal given in the form of a set of points. When converting to the Fourier basis (or other basis) calculating the numerical coefficients (energy spectrum), which are passed through communication channels. The spectrum can be a range of visible and ultraviolet light for optical communication lines or radio waves for wire lines, but regardless of the range, the methods of processing remain unchanged. Since most of the energy is concentrated on a small portion of the spectrum, the signal will be not highly distorted in shape, if transmit only this part of the signal. The article compares the distortion discrete signals without consideration their character in the transmission coefficients of the spectrum, which contain 95%, 90%, 85% and 80% of the energy of the signal. The analysis has done in environment MathCAD with decomposition in the basis of Fourier, Walsh, wavelets.

Ключові слова: Стиснення інформації, спектральний аналіз, передавання через лінію зв'язку

ВСТУП

В багатьох джерелах [1 – 3] розглянуто розклад в ряд Фур'є прямокутних імпульсів. При цьому утворюється безкінечне число членів ряду, а оскільки пропускна здатність лінії обмежена, доводиться пропускати частину коефіцієнтів. Завдяки цьому на приймачі отримується спотворений сигнал. Часто в такому випадку пропускають ефективну ширину спектра сигналу-частину спектру, в якій зосереджено 95% енергії [3].

В демонстраційних прикладах середовищ MathCAD і MATLAB показано спотворення сигналу в залежності від кількості вейвлет-коефіцієнтів, які використовуються для відновлення (синтезу) сигналу.

Також в багатьох джерелах зроблене порівняння перетворення в різних базисах: Фур'є, вейвлетів [4] та Уолша [5], а також порівняння їх енергетичного спектру, але не показані спотворення при оберненому їх перетворенні.

В [1] було розглянуто аналіз інформаційних сигналів з позиції потрібної ширини лінії зв'язку.

Аналіз проводився в базисі Фур'є для 1-байтного повідомлення біполярного сигналу, оскільки повідомлення частіше всього передаються в байтовому форматі. Якщо кількість бітів в повідомленні яке потрібно передавати, менша, то решта заповнюється нулями.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В системах передавання інформації завжди існує проблема ефективного використання зв'язку, тобто потреби передавати великий обсяг інформації за малий час, оскільки час передавання інформації лінійно зв'язку впливає на швидкість системи в цілому.

В цій статті розглядається задача зменшення обсягу даних, які потрібно передавати, тобто їх стиснення. Це досягається шляхом опису сигналу за допомогою системи ортогональних функцій, і в мережу передаються не самі відрахунки сигналу, а коефіцієнти цих функцій. Обсяг інформації, яку потрібно передати, при цьому скорочується, оскільки вектор цих коефіцієнтів містить багато нулів.

Якщо за допомогою цих функцій описувати сигнал наближено, то цей вектор міститиме значно більше нулів, і обсяг інформації, яку потрібно буде передати, значно зменшиться. Сигнал після приймання буде спотвореним. Для повного опису сигналу потрібні всі коефіцієнти, а для наближеного – лише їх частина. При цьому немає чітких рекомендацій, скільки потрібно зберігати значень, щоб в мережу потрібно було передавати якнайменший обсяг даних, спотворення сигналу були мінімальними, і за допомогою якої системи ортогональних функцій (або базису) краще описувати сигнал.

Серед усіх базисів найбільш ефективним є базис вейвлет-функцій, в оптиці в тому числі, про що освідчать дані, отримані в даній статті, та дослідження інших авторів, наприклад [6]. Найбільш широко вейвлети знайшли застосування для задач класифікації, кластеризації, обробки зображень та сигналів, але через те, що цей апарат виник порівняно недавно, не всі аспекти його використання досліджені.

ПОРІВНЯЛЬННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СТИСНЕННЯ ДАНИХ ТА СПОТВОРЕННЯ СИГНАЛУ

Для аналізу доцільно розглянути кодову комбінацію 11111101(BFH), сигнал якої містить найбільшу кількість гармонік.

Графічно вона зображена на рис. 1. Як було показано [1], найширший спектр мають повідомлення 10111111(BFH) та 11111101(FDH).

Математично квазіперіодичний сигнал BFH можна описати:

$$s(t) = \begin{cases} U, & 0 < t < 6\tau \\ -U, & 6\tau < t < 7\tau \\ U, & 7\tau < t < 8\tau \\ 0 & \end{cases} \quad (1)$$

де U – амплітуда сигналу, τ – період сигналу.

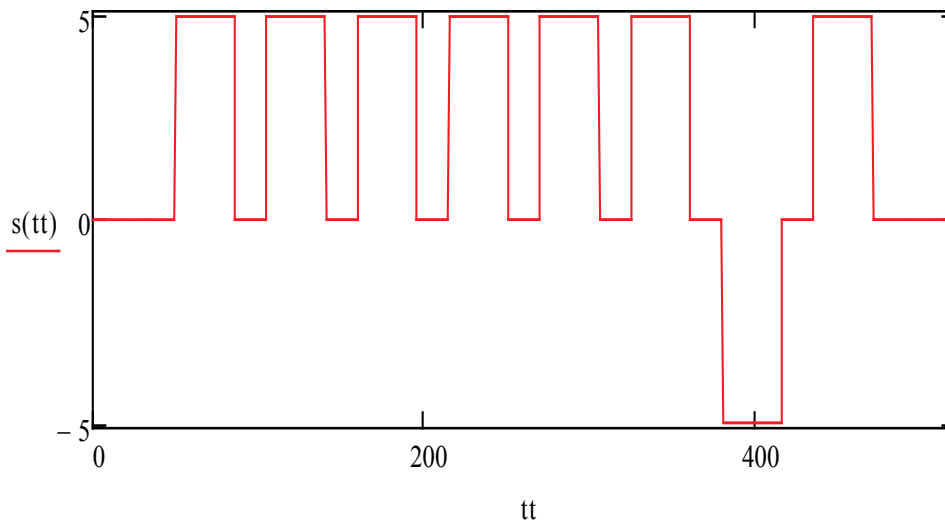


Рис. 1. Біполярний сигнал кодової комбінації FDH

Для здійснення вейвлет-перетворення в MathCAD передбачена функція wave(x) та iwave(x). В

якості фільтра функція використовує вейвлет Добеші 4-го порядку.

Результат цього перетворення показаний на рис. 2. Оскільки в отриманому векторі багато нулів, для кращої наочності показано перші 150 значень.

Для вейвлет-перетворення існує аналог теореми Парсеваля [5]:

$$\int_{\mathbb{R}} s_1(t) \cdot s_2^*(t) = C_{\psi} \int_{\mathbb{R}} a^{-2} C(a,b) C^*(a,b) da db. \quad (2)$$

Чим більша величина i -го вейвлет-коефіцієнта, тим більша енергія на нього припадає. Взявши ті коефіцієнти, які сумарно містять 95% енергії сигналу, та відкинувши інші, формуємо новий вектор значень, який зображений на рис. 3. Оскільки в лінію зв'язку будуть передаватись лише ненульові коефіцієнти, навантаження на лінію зв'язку буде зменшуватись пропорційно зменшенню їх кількості. Порівняння їх кількості при 95% та при повному сигналі зроблене в табл. 1. При виконанні зворотного вейвлет-перетворення за допомогою функції $iwave(x)$, на рис. 4 бачимо, що сигнал містить помітні спотворення.

Спотворення характерні наявністю гострих викидів (ефект Гіббса), які виникають внаслідок того, що розклад виконується вейвлетом Добеші 4-го порядку, який має подібну форму, і з вектору забрані високочастотні складові, на які припадає невелика частка енергії. На рис. 5 зроблено порівняння для сигналів з різними ступенями спотворення.

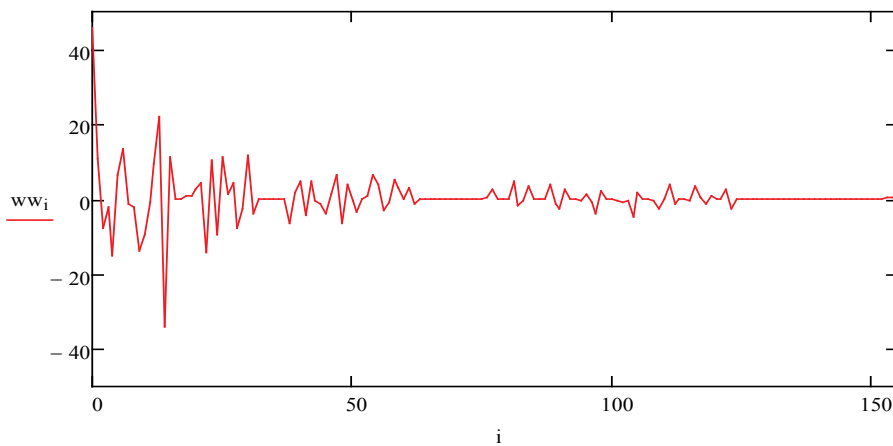


Рис. 2. Вейвлет-коефіцієнти для сигналу кодової комбінації FDH

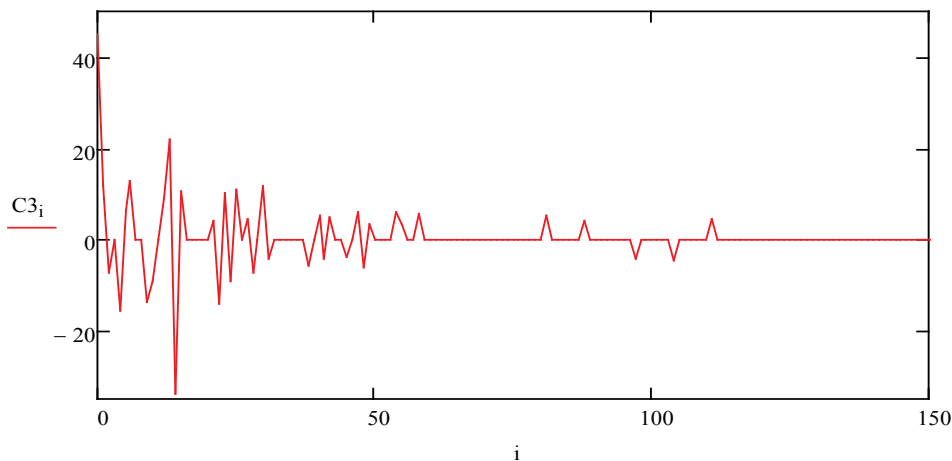


Рис. 3. Вейвлет-коефіцієнти, які містять в собі 95% енергії сигналу

Якщо залишати коефіцієнти, які містять 95% енергії, спотворення порівняно незначні, і їх легко позбутися за допомогою фільтра. При 90% енергії спотворення більш суттєві, спотворюються фронт і спад імпульсів. При 85% спотворення імпульсів більш серйозні, і для їх надійного виявлення потрібно складніше обладнання.

Залишати 80% енергії не рекомендується, оскільки складно ідентифікувати інформативні імпульси. Кількість ненульових коефіцієнтів при різних частинах енергії наведена в таб. 1. Найкраще

використовувати перший випадок (95% енергії). При другому випадку (90% енергії) потрібно передати майже в 2 рази менше значень, але зменшення навантаження на лінію буде меншим від цього числа, оскільки треба буде забезпечити надійне передавання інформації, тобто правильне розпізнавання всіх імпульсів на приймачі. Цього можна досягти або повторним передаванням сигналу, або ускладненням апаратури приймача.

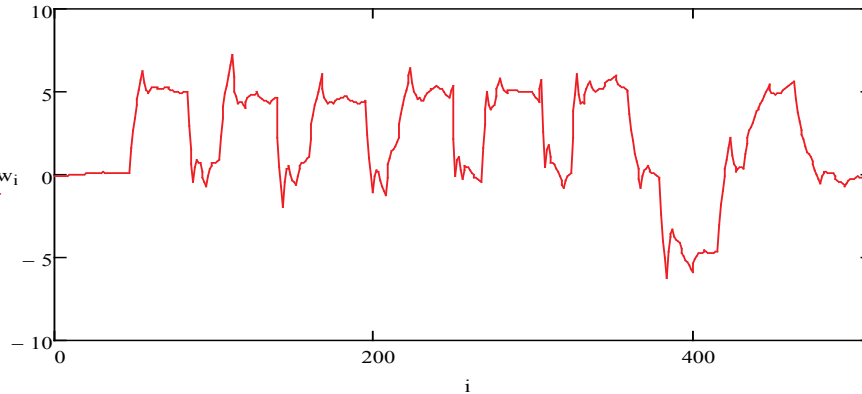


Рис. 4. Сигнал після оберненого вейвлет-перетворення (залишено 95% енергії)

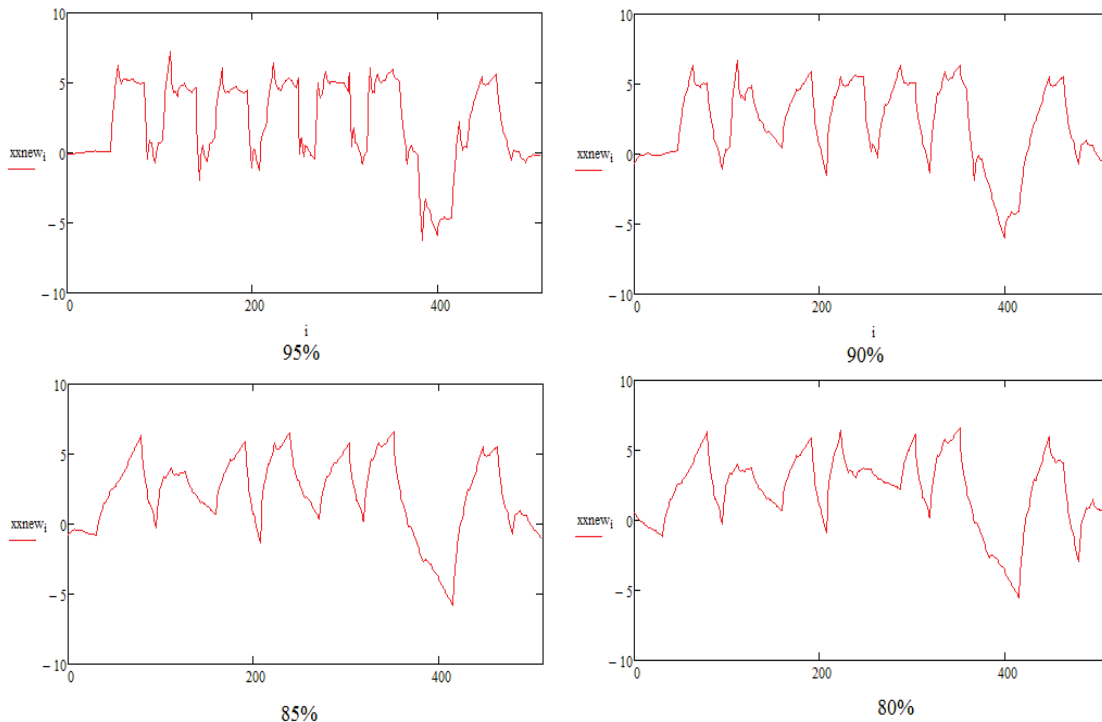


Рис. 5. Порівняння відновленого сигналу, який містить 95%, 90%, 85% та 80% енергії від початкового сигналу

Аналогічне порівняння можна провести в базисі Уолша. Функції Уолша прямокутні за формою, а тому повинні добре описувати прямокутні імпульси. Для перетворення в цьому базисі MathCAD вміщує функцію $walsh(i,n)$, яка має параметри: i - кількість точок в векторі значень сигналу, n - порядок функції Уолша, який використовується для перетворення. Параметр i має дорівнювати 2^n . Для 512 значень потрібно використовувати функцію Уолша 9-го торядку, тобто $n = 9$. Результат перетворення в базисі Уолша показаний на рис. 6.

Аналогічно до попереднього випадку за [5] розраховується енергетичний спектр сигналу в базисі Уолша і залишаються ті коефіцієнти, на які припадає 95, 90, 85 та 80% енергії. Результати наведені в таблиці 1. Для зворотного перетворення використовується функція $walsh(i,n)$, і отримується відновлений сигнал. Результат відновлення показаний на рис. 7. Як видно з рисунку, прямокутні за формою функції Уолша добре описують аналогічні імпульси.

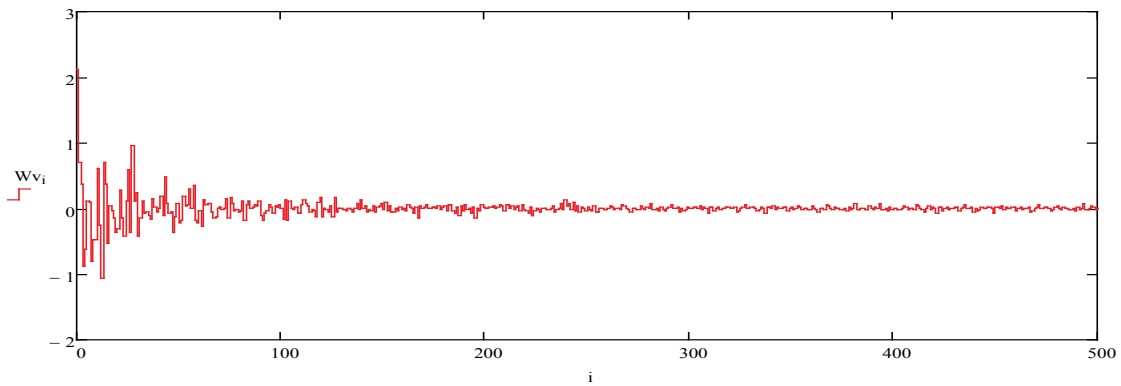


Рис. 6. Коефіцієнти розкладу в базисі Уолша

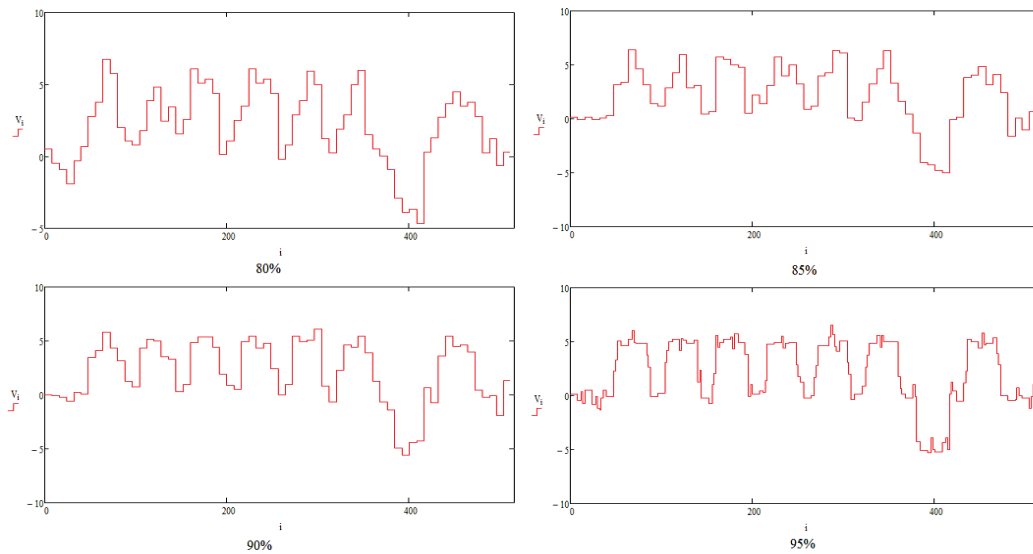


Рис. 7. Порівняння сигналу після оберненого перетворення Уолша, який містить 95%, 90%, 85% та 80% енергії від початкового сигналу

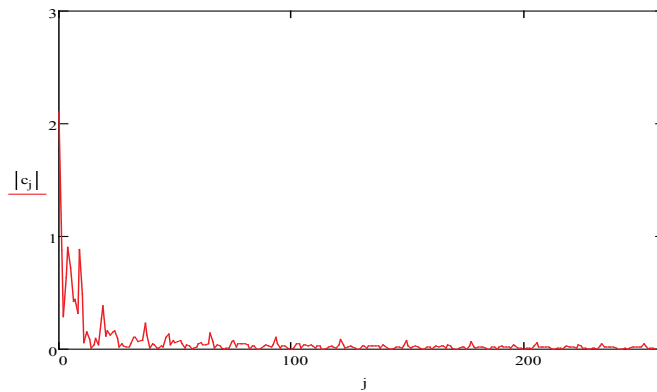


Рис. 8. Модуль від значень, отриманих внаслідок швидкого перетворення Фур'є

Спотворення (добре видно при 95%) також у вигляді різких викидів, але на відміну від вейвлет-перетворення, вони часто виникають на середині імпульсу.

Ця особливість дуже важлива, оскільки для цифрового фільтра простіше всього усунути викид, який знаходиться посередині імпульсу. Функції Уолша краще описують сигнал порівняно з вейвлетами, оскільки навіть при 80% енергії на сигналі ще можна виділити 8 імпульсів, але кількість ненульових коефіцієнтів більша в середньому на третину. Ще одна особливість, яка для попереднього випадку не характерна - фронти та спади імпульсів краще зберігають крутість.

Для порівняння доцільно розглянути також перетворення Фур'є, вважаючи сигнал

квазіперіодичним. Оскільки сигнал заданий дискретно (у вигляді набору точок), то перетворення необхідно виконувати чисельними методами. Один з таких методів є метод швидкого перетворення Фур'є. В MathCAD для цього передбачена функція FFT(x). Ця функція визначає комплексні коефіцієнти Фур'є. Позаяк цікавить їх абсолютне значення, доцільно знаходити модуль від них. На відміну від попередніх випадків, ця функція дає результатом не 512, а 256 значень. На рис. 8 видно ряд гострих піків на спектрі. Ці величини є основою в спектрі сигналу.

Використовуючи теорему Парсеваля [3]:

$$W = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S(\omega)^2 d\omega, \quad (3)$$

проведемо аналогічне дослідження і порівняємо сигнали, якщо залишити 95, 90, 85 та 80% енергії спектру.

Порівняння зроблене на рис. 9 та в табл. 1. Як видно з рисунку, перетворення Фур'є добре описує сигнал, але при достатній кількості коефіцієнтів.

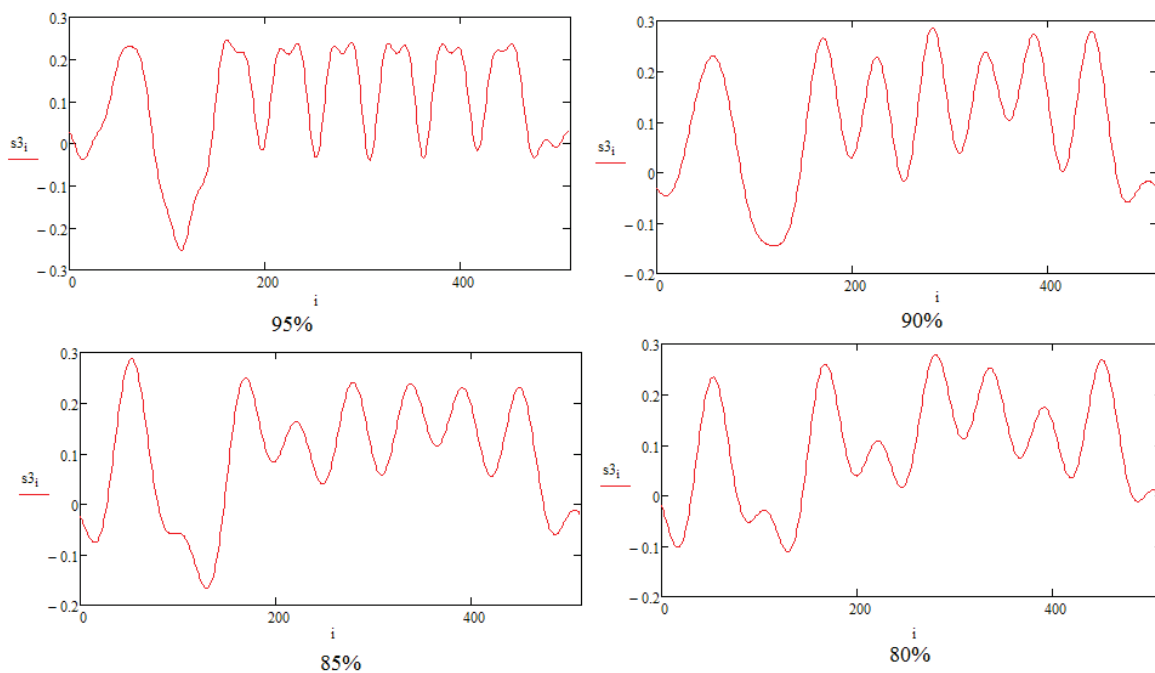


Рис. 9. Порівняння сигналу після зворотного перетворення Фур'є, який містить 95%, 90%, 85% та 80% енергії від початкового сигналу

Сигнал, який містить 80 та 85% енергії, використовувати не можна. Тобто для опису сигналу потрібно хоча б 10 коефіцієнтів. При 95% енергії сигнал має спотворені фронти і спади, але коливання амплітуди від початкової – незначні. Сигнал від початкового відрізняється тим, що імпульси не прямокутні, а згладжені. Це означає, що приймачу буде досить легко їх розпізнати. Але суттєвим недоліком перетворення Фур'є є те, що спектр для симетричних повідомлень (наприклад 111111101 та 101111111) мало відрізнятиметься.

Таблиця. 1.

Порівняння сигналів при різних видах перетворення							
Частина енергії / Базис	Всього коефіцієнтів	Ненульових чисел при 80%	Частка від всього масиву	Ненульових чисел при 85%	Частка від всього масиву	Ненульових чисел при 90%	Частка від всього масиву
Фур'є	256	5	0,019	6	0,023	8	0,031
Уолша	512	16	0,031	21	0,041	30	0,058
Вейвлети	512	11	0,021	14	0,027	22	0,043

(продовження таблиці 1)

	Всього коефіцієнтів	Ненуллових чисел при 90%	Частка від всього масиву	Ненуллових чисел при 95%	Частка від всього масиву	Ненуллових чисел при 100%	Частка від всього масиву
Фур'є	256	8	0,031	13	0,05	254	0,992
Уолша	512	30	0,058	69	0,134	392	0,765
Вейвлети	512	22	0,043	42	0,082	320	0,625

ВИСНОВКИ

У всіх випадках сигнал мало спотворюється, якщо залишити 95% енергії. В цьому випадку спотворення можна згладити цифровим фільтром. Подальше зменшення спектру призводить до більш суттєвих спотворень, що ускладнює розпізнавання імпульсів на приймачі. Якщо сигнал містить 80% енергетичного від початкового, то використовувати його вже не можна. Це підтверджує перетворення в будь-якому базисі.

Серед різних базисів для стиснення інформації найкраще використовувати базис Фур'є, який 95% енергії сигналу вміщає в 13 коефіцієнтів, які описуються з порівняно невеликим відхиленням 512 значень сигналу і передаються в мережу. Функції Уолша добре описуються сигнал, але при цьому цей опис потребує більше значень, ніж в інших базисах. Для функцій Уолша та вейвлетів характерно те, що їхні матриці містять багато нулів навіть при повному описі сигналу.

Для опису дискретних сигналів не рекомендується вейвлети Добеші. Більш ефективними є описання вейвлетами Хаара, що підтвердилось на практично при перевірці на тестових сигналах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кветный Р.Н. Спектральный анализ информационных сигналов / Р.Н. Кветный, А.Я. Кулик, Д.С. Кривоугубченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – № 9. – С. 65 – 68.
2. Кулик А.Я. Аналіз впливу каналу зв'язку на процес передавання інформації / А.Я. Кулик // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2002. – № 1(13). – С. 170 – 173.
3. Кузьмин И.В. Основы теории информации и кодирования: учебн. [для студ. высш. уч. зав.] / И.В. Кузьмин, В.А. Кедрус. – К.: Вища школа, 1986 – 238 с.
4. Вейвлетные преобразования сигналов [Электронный ресурс] / А.В. Давыдов. – Екатеринбург: УГГУ, ИГиГ, ГИН, Фонд электронных документов. – 2005. – 180 с. – Режим доступа: <http://prodav.narod.ru/index.htm>
5. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями: Пер. с англ. / Х.Ф. Хармут. – М.: Связь, 1975. – 272 с.
6. Optical wavelet de-noising applied in multi-span nonlinear fiber links [Электронный ресурс] / Qunfeng Shao, Xiaoping Zhang, Xiaoqiong Qi, Hu Li, Lian Xiang // Optical communications. – Vol. 283, Issue 7. - 1 April 2010. - Pp. 1261-1267/ – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030401809011997>

Надійшла до редакції 22.10.2011р.

КВЕТНИЙ РОМАН НАУМОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматички та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КУЛИК ЯРОСЛАВ АНАТОЛІЙОВИЧ – студент кафедри автоматички та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Україна.