

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/01>**Корчинський В.М.**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Козарь І.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПРЕСІЇ СИГНАЛІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛАХ З АДТИВНИМ ШУМОМ

У статті пропонується метод управління швидкістю передачі сигналів у каналах з адитивним шумом. Метод базується на компресії даних оптимізований за двома критеріями: 1) мінімізація інформаційної відстані Махаланобіса між скомпресованим та вихідним сигналами; 2) максимізація відношення сигнальної енергії інформативного сигналу, збереженої у скомпресованому зображенні, до сигнальної енергії залишкового шуму (відношення «сигнал/шум»).

Компресія сигналів реалізована на основі їх розкладів по одному з дискретних ортонормованих функціональних базисів або дискретних біртогональних вейвлет-базисів, обнуленні частини коефіцієнтів розкладу та наступній реконструкції сигналів.

Встановлено, що при збільшенні порогу обнулення за будь-якого варіанту розкладу відношення «сигнал/шум» зростає, а міра схожості між вихідним та скомпресованим інформаційними сигналами зменшується.

Визначення порогів обнулення, яке забезпечує компроміс між вимогами збільшення відношення «сигнал/шум» та мінімізації відстані Махаланобіса між вихідним та скомпресованим інформаційними сигналами, сформульовано у вигляді двокритеріальної оптимізаційної задачі мінімізації відхилень відстані Махаланобіса скомпресованого інформаційного сигналу стосовно вихідного сигналу та відношення «сигнал/шум» у скомпресованому сигналі від наперед заданих значень. Використано метод розв'язання оптимізаційної задачі, який забезпечує можливість задання коефіцієнтів значущості критеріїв оптимізації.

За результатами порівняльного аналізу різних функціональних базисів (Уолша, Хартлі, дискретного косинусного перетворення) та вейвлет-базису Хаара встановлено, що найбільш ефективним за зазначеними критеріями є базис Хартлі.

Показано, що за використання біртогональних вейвлет-базисів збільшення рівня вейвлет-декомпозиції веде до зростання як відношення «сигнал/шум» у реконструйованому сигналі, так й інформаційної відстані між ним та вихідним сигналом.

Встановлено, що при збільшенні порогу обнулення коефіцієнтів розкладів зростає сумісна інформаційна ентропія вихідного та відтвореного сигналів, внаслідок чого збільшується швидкість передачі по каналах з обмеженою частотною смугою.

Ключові слова: інформаційна відстань, відношення «сигнал/шум», дискретне ортогональне перетворення, дискретний біртогональний вейвлет-базис, інформаційна ентропія.

Постановка проблеми. Розглядаються процеси передавання даних по телекомунікаційних каналах з адитивним шумом та обмеженою частотною смугою пропускання каналу. Відомо, що основними шляхами підвищення швидкості передавання даних за гаусівської моделі шуму є збільшення потужності сигналу при фіксованій частот-

ній смузі пропускання каналу або її розширення при фіксованій потужності сигналу [1, с. 394]. Зазначимо, що питання, пов'язані із збереженням часової динаміки прийнятого інформаційного сигналу у порівнянні з переданим сигналом у відомих дослідженнях окремо не розглядалися. У зв'язку з цим постає проблема оптимізації

швидкості передавання для критеріями максимізації схожості вихідного та отриманого інформаційних сигналів та відношення «сигнал/шум» в отриманому сигналі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням пригнічення шумів інформаційних сигналів та компресії сигналів присвячена значна кількість досліджень, у яких ці питання розглядаються окремо – без їхнього зв'язку. Численні алгоритми фільтрації шумів базуються на різних варіантах лінійної та нелінійної обробки сигналів без зв'язку з їх компресією (див., наприклад монографію [2, с. 614–724]).

Більшість відомих методів компресії цифрових сигналів базуються на їх розкладі по одному з ортогональних дискретних функціональних базисів [3, с. 120–172] або біортогональних вейвлет-базисів [4, с. 183–187]. Питання, пов'язані з перетворенням рівня завад за такої компресії не розглядалися.

Метою статті є створення методу визначення швидкості передачі сигналів по каналах з адитивним шумом, оптимізованого за інформаційними та енергетичними критеріями.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основу пропонованого методу покладемо компресію інформаційного сигналу з адитивним шумом шляхом їхнього подання в ортонормованих функціональних базисах.

Маємо дискретизований інформаційний сигнал з відліками $s(n)$, $n = 0, N - 1$. Використаємо його подання у вигляді розкладу по одному з ортонормованих дискретних функціональних базисів:

$$s(n) = \sum_{k=1}^{N-1} c_k \cdot u_k(n), \quad (1)$$

або по одному з біортогональних вейвлет-базисів на j -му рівні декомпозиції:

$$s^{(j)}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k^{(j)} \cdot \phi_k^{(j)}(n) + \sum_{s=1}^{j-1} \sum_{k=0}^{N-1} d_k^{(s)} \cdot \psi_k^{(s)}(n). \quad (2)$$

У виразах (1), (2) $u(n, k)$ – базисні функції дискретного базису; $\phi_k^{(j)}(n)$, $\psi_k^{(j)}(n)$ – відповідно масштабуючі та деталізуючі базисні функції.

Здійснимо обнуління частини коефіцієнтів розкладів (1), (2), починаючи з номеру K :

- за використання розкладів (1): $C_k = c_k$ при $k = 0, \overline{K}$; $C_k = 0$ при $k \geq K$;
- за використання розкладів (2): $D_k^{(s)} = d_k^{(s)}$ при $k = 0, \overline{K}$, $D_k^{(s)} = 0$ при $k \geq K$.

Відновлення скомпресованих сигналів здійснюється перетвореннями, оберненими до (1) та/або (2).

За варіювання порогу обнуління K змінюються як відношення «сигнал/шум» (SNR), так й відмінність між відновленим та вихідним інформа-

ційними сигналами (відповідно S_n та s_n), за міру якої приймаємо відстань Махаланобіса між ними як таку, що враховує кореляцію між сигналами, що аналізуються [1, с. 41].

Визначення порогу обнуління K формулюємо як однопараметричну двокритеріальну оптимізаційну задачу досягнення мети з цільовими функціями $F_1(K)$ – залежність від K відстані Махаланобіса між вихідним та відновленим сигналами; $F_2(K)$ – залежність від K відношення «сигнал/шум» у відновленому сигналі. Значення мети оптимізації: G_1 , G_2 – задані значення відстані Махаланобіса та SNR відповідно.

Для розв'язання поставленої оптимізаційної задачі використовуємо відомий під назвою «goal attain method» [6, с. 322–348], який у наведеній постановці зводиться до визначення порогу K , за якого мінімізується допоміжний параметр γ при обмеженнях

$$F_1(K) - w_1 \cdot \gamma \leq G_1; F_2(K) - w_2 \cdot \gamma \leq G_2. \quad (3)$$

Тут через w_1, w_2 позначені вагові коефіцієнти значущості критеріїв, які належать інтервалу $[0, 1]$. Надалі приймаємо $w_1 = 1$, $w_2 = 1$ (однакова значущість обох критеріїв).

З означення процедури компресії випливає, що відстань Махаланобіса та SNR відновленого сигналу збільшуються при збільшенні порогу обнуління. На рис. 1 наведено відповідні залежності за використання базисів Уолша, Хартлі та вейвлет-базису Хаара першого рівня декомпозиції.

Як випливає з наведених залежностей, вимоги максимізації SNR та мінімізації відмінності вихідного та відновленого інформаційних сигналів є протилежними.

На рис. 2 подано фрагмент залежностей від номеру відліку вихідного та відтвореного інформаційних сигналів за оптимальних значень відстані Махаланобіса та SNR для каналного шуму з гаусівським розподілом. На рисунку 3 наведено аналогічну залежність для релеєвського статистичного розподілу шуму.

Наведені залежності свідчать про високий рівень схожості відновленого та вихідного інформаційних сигналів.

Як відомо, швидкість передачі сигналів по каналах з адитивним шумом пов'язана з взаємною інформаційною ентропією співвідношенням $V = \frac{H(X, Y)}{\tau}$, де X – сигнал на вході каналу, Y – прийнятий сигнал, τ – середня тривалість передачі одного відліку сигналу [1, с. 391; 5, с. 51]. При реалізації пропонованого методу отримано типову залежність взаємної інформаційної ентропії від SNR, наведену на рис. 4 за оптимального

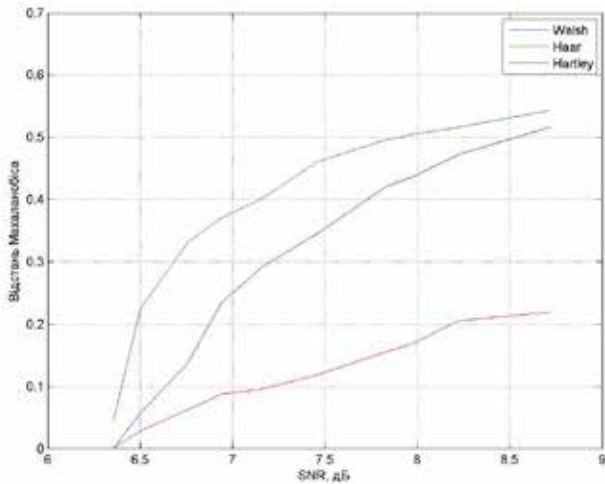


Рис. 1. Залежність відстані Махаланобіса від SNR при збільшенні порогу обнулення коефіцієнтів розкладу сигналів

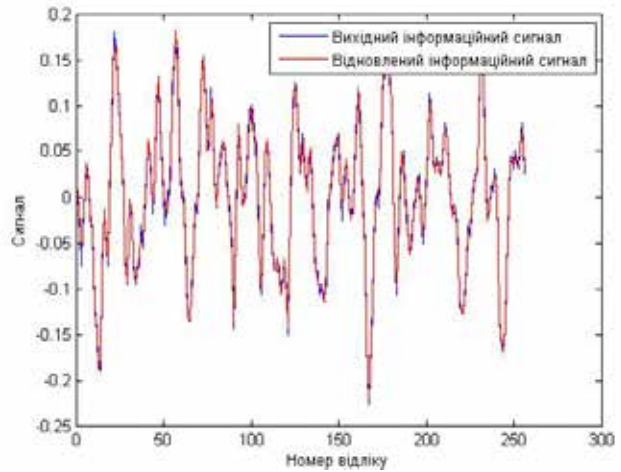


Рис. 2. Динаміка вихідного та відновленого сигналів за гаусівської моделі шуму

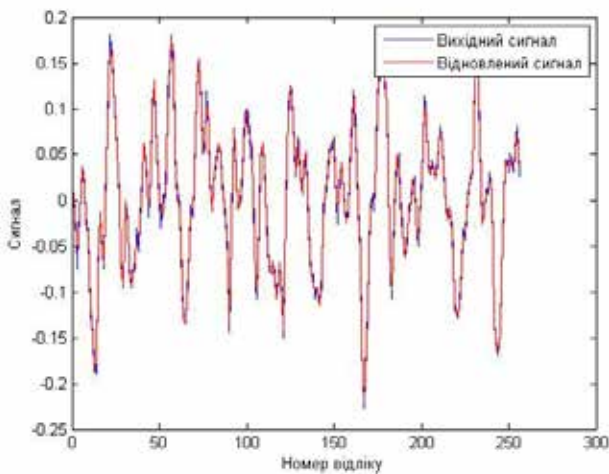


Рис. 3. Динаміка вихідного та відновленого сигналів за релесівської моделі шуму

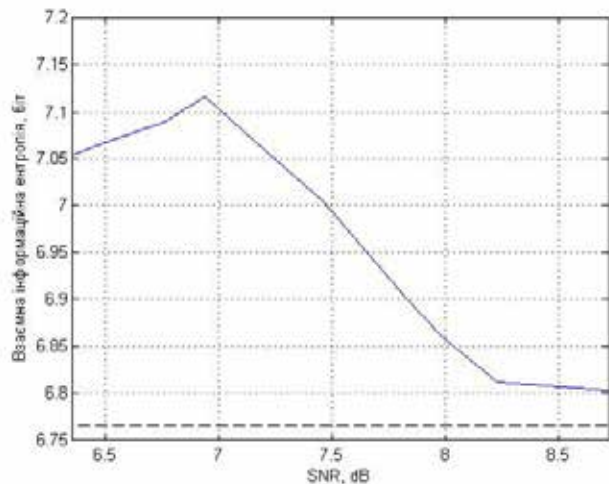


Рис. 4. Залежність взаємної інформаційної ентропії від відношення «сигнал/шум»

значення відстані Махаланобіса між вихідним та відновленим інформаційними сигналами (пунктирна лінія відповідає вихідному сигналу).

Як впливає з наведеної залежності, максимального значення 7.1164 біт взаємна інформаційна ентропія (а внаслідок цього й швидкість передавання) набуває при оптимальному значенні відношення «сигнал/шум» 6.9402 дБ.

Висновки. У статті запропоновано метод визначення швидкості передачі даних у телекомунікаційних каналах з адитивним шумом на основі компресії сигналів, оптимізованої за критеріями мінімізації інформаційної відмінності вихідного

та відновленого сигналів та досягнення заданого значення відношення «сигнал/шум». В основу компресії сигналів покладено їх подання і ортонормованих дискретних функціональних базисах та/або дискретних біортогональних вейвлет-базисах. За результатами комп'ютерного моделювання встановлена найбільша ефективність за зазначеними критеріями функціонального базису Хартлі. Перспективи подальших досліджень за проблематикою статті пов'язані з оптимізацією пропускну здатності інформаційних каналів передачі видових даних дистанційного зондування та їх завадостійким кодуванням.

Список літератури:

1. Proakis J.G. Digital Communications. N.-Y.: McGraw-Hill, 2004. 928 p.
2. Proakis J.G., Manolakis D. Digital Signal Processing. Principles, Algorithms and Application. London: Prentice-Hall International, 2007. 948 p.

3. Ahmed N., Rao K.K. Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1975. 248 p.
4. Chui C.K. An Introduction to Wavelets. San Diego, N.-Y., Boston, London: Academic Press. 1992, 264 p.
5. Жураковський Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування. – Київ: Вища школа, 2001. 255 с.
6. Steur R.E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application. New York: John Wiley & Sons Inc., 1986. 546 p.

Korchynskij V.M., Kozar I.O. APPLICATION OF SIGNAL COMPRESSION TO CONTROL DATA RATES IN ADDITIVE NOISE TELECOMMUNICATION CHANNELS

The article proposes a method for controlling the signal transmission speed in channels with additive noise. The method is based on data compression optimized according to two criteria: 1) minimizing the Mahalanobys information distance between compressed and output signals; 2) maximizing the ratio of the signal energy of the informative signal stored in the compressed image to the signal energy of the residual noise (signal-to-noise ratio).

Compression of signals is realized on the basis of their decompositions on one of the discrete orthonormed functional bases or discrete biorthogonal wavelet bases, zeroing of the decomposition coefficients and subsequent reconstruction of signals.

It was found that with increasing zeroing threshold with any variant of decomposition, the signal-to-noise ratio increases, and the degree of similarity between the output and compressed information signals decreases.

The definition of zeroing thresholds, which provides a compromise between the requirements of increasing the signal-to-noise ratio and minimizing the Mahalanobis distance between the output and compressed information signals, is formulated in the form of a two-criteria optimization problem of minimizing the deviations the Mahalanobis distance of the compressed information signal with respect to the output signal and the signal-to-noise ratio in the compressed signal from predetermined values. The method of solving the optimization problem is used, which provides the possibility of setting the coefficients of significance of optimization criteria.

According to the results of a comparative analysis of various functional bases (Walsh, Hartley, discrete cosine transform) and Haar wavelet basis, it is found that the most effective according to these criteria is the Hartley basis.

It is shown that with the use of bioorthogonal wavelet bases, an increase in the level of wavelet decomposition leads to an increase in both the ratio of «signal/noise» in the reconstructed signal and the information distance between it and the output signal.

It is shown that with increasing the threshold of zeroing of the decomposition coefficients, the compatible information entropy of the output and reproduced signals increases, as a result of which the transmission speed through channels with a limited frequency band increases.

Key words: *information distance, signal-noise ratio, discrete orthogonal transformation, discrete biorthogonal wavelet-basis, information entropy.*