

В. І. Солодка, к.т.н., О. В. Тимошевський*Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, м. Одеса***АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ В ЗАДАЧАХ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ**

В роботі проводиться аналіз за допомогою спектральних перетворень для отримання показників стиснення та відношення сигнал/шум, найкращим вейвлет базисом, а саме окремий випадок перетворення Фур'є для стиснення зображень за значенням відношення сигнал/шум. Також проводиться проектування сіткового об'ємного об'єкта в двовимірні координати, для видалення невидимих вершини і відрізків. Показано, що з метою зменшення потоку даних доцільно перед перетворенням тривимірного сіткового зображення в двовимірне проводити спектральне вейвлет-перетворення. При видаленні незначних вейвлет-коефіцієнтів можливо досягти стиснення в 5 разів, при цьому якість зображення, представлене ставленням сигнал/шум, досягає значення 35 дБ – оцінка показника прийнятного візуальної якості для комфортного перегляду.

Ключові слова: спектральне перетворення, стиснення зображення, об'ємне зображення, відношення сигнал/шум, аналіз методів.

V. I. Solodka, Phd, O. V. Tymoshevskyi**ANALYSIS OF WAVELET TRANSFORMATION METHODS IN IMAGE COMPRESSION PROBLEMS**

In this work, an analysis is carried out using spectral transformations to obtain compression indicators and signal-to-noise ratio, the best wavelet basis, namely, a special case of the Fourier transform for image compression according to the signal-to-noise ratio criteria. The increase in the compression ratio with increasing Dobeshi order is shown due to the fact that increasing the order increases the scaling function, which allows to increase the degree of compression of the image, obtaining a satisfactory quality of this image. But with increasing scaling function, the length of the filter increases, which complicates the implementation of this method.

Spectral transformations in the problems of image compression in modern algorithms are shown that they can increase the compression ratio of black and white and color images with a comparative visual quality in relation to the algorithms of the previous generation, based on discrete cosine transform. Also, the design of a mesh volumetric object in two-dimensional coordinates is carried out to remove invisible vertices and segments. A study of the transfer of the remainder in the two-dimensional field of vertices during alternation and sequential television scans. It is shown that in order to reduce the data flow, it is advisable to perform a spectral wavelet transform before transforming a three-dimensional grid image into a two-dimensional one.

By removing insignificant values of the wavelet coefficients, it is possible to achieve compression by a factor of 5, while the image quality represented by the signal-to-noise ratio reaches 35 dB – an estimate of the indicator of acceptable visual quality for comfortable viewing.

Keywords: spectral transformation, image compression, volumetric image, signal-to-noise ratio, analysis methods.

DOI 10.32684/2412-5288-2022-1-20-44-51

Вступ

У загальному вигляді проблема та завдання даної теми полягає у зменшенні надмірності статистичних, динамічних та об'ємних даних зображень шляхом спектральних перетворень (вейвлет-перетворень) та подальшого стиснення коефіцієнтів.

Спектральне вейвлет-перетворення у зада-

чах стиснення зображень в сучасних алгоритмах дозволяє значно підвищити ступінь стиснення чорно-білих і кольорових зображень при порівняльній візуальній якості по відношенню до алгоритмів попереднього покоління, заснованим на дискретно-косинусному перетворенні, таких, наприклад, як JPEG [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проведено аналіз сучасних методів стиснення, які використовуються у сучасному цифровому телебаченні. Розробка цих методів праця багатьох вчених у тому числі комітетів ISO, ITU [2-4], IBU, JPEG та MPEG основними діячами у цьому напрямку є Leonardo Chiariglione, Gary J. Sullivan, Touraj Ebrahimi.

Майже усі ці методи використовують дискретне косинусне перетворення Фур'є (ДКП), яке вносить багато недоліків. Однак, якщо замінити його більш ефективним перетворенням, можна отримати більший коефіцієнт стиснення та чіткість зображення.

Дослідження були представлені методами вейвлет перетворення як: Добеши 4, 6, 8, 10, 24 порядку, Хаар, койфлети 1, 2, 3, 4, 5 порядку, Майєра [5]. В сьогоденні використовується більш високий рівень перетворення, як Біор 9.7, який не досліджувався у методах стиснення заснованих на алгоритмі JPEG/MPEG.

Для аналізу та отримання показників стиснення, а саме коефіцієнта стиснення та відношення сигнал/шум використовуються такі методи вейвлет перетворення як: Добеши 4, 6, 8, 10, 24 порядку, Хаара, койфлети 1, 2, 3, 4, 5 порядку, Майєра, біортогональні 1.1, 2.6, 3.3, 4.4, 9.7 (рис. 1-4).

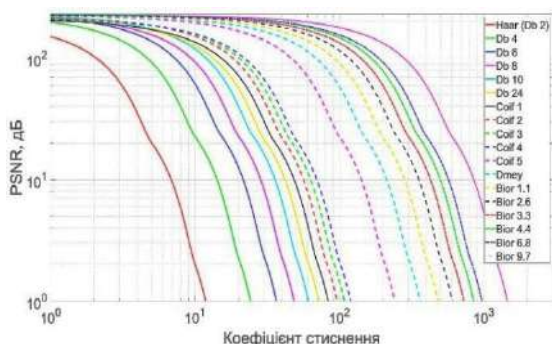


Рисунок 1 – Графік залежності коефіцієнта стиснення від відношення сигнал/шум

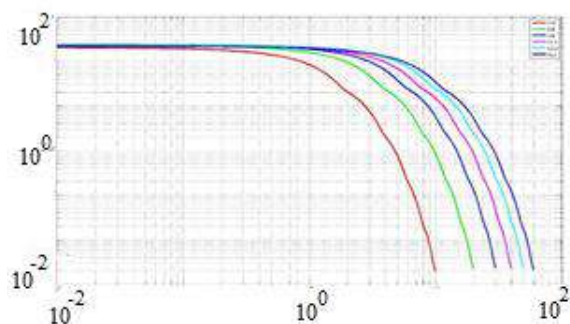


Рисунок 2 – Графік залежності коефіцієнта стиснення від відношення сигнал/шум для вейвлетів Добеши і Хаара

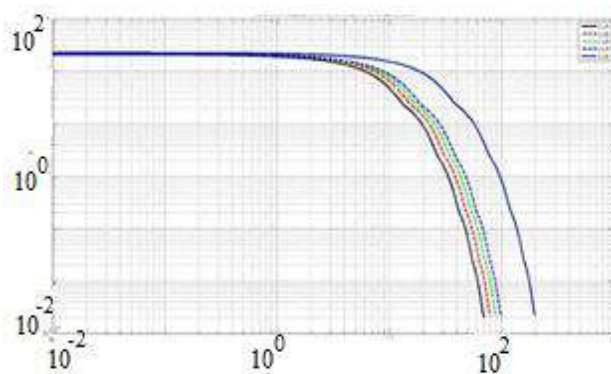


Рисунок 3 – Графік залежності коефіцієнта стиснення від відношення сигнал/шум для койфлетів

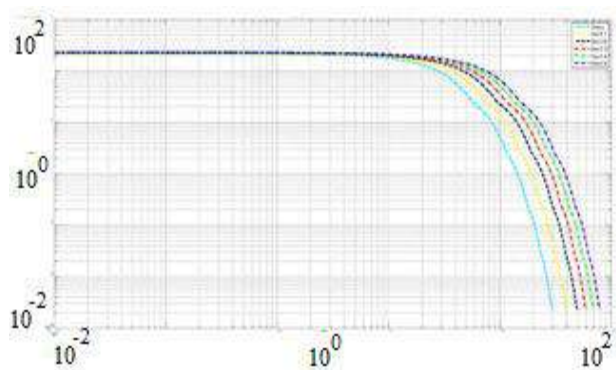


Рисунок 4 – Графік залежності коефіцієнта стиснення від відношення сигнал/шум для Мейєра, біортогональних вейвлетів

Метою роботи є аналіз методів спектральних вейвлет-перетворень в задачах стиснення зображень та отримання якісного («добре» та «відмінне») зображення при максимальному коефіцієнті стиснення.

Задача цієї роботи отримати показники стиснення та відношення сигнал/шум з обранням найкращого вейвлет базису для стиснення зображень за критерієм відношення сигнал/шум.

Дані цієї роботи є визначення оптимальне значення відношення сигналу до перешкоди на границі зображення EPSNR, і за значенням СКВ.

Для обчислення відношення сигнал/шум на границях зображення EPSNR використовується градієнтний метод виділення границь, застосовуваний спочатку до вихідного зображення, а потім до зображення після попередньої фільтрації із застосуванням віконної функції.

Для наочності розділимо графік (рис. 1) на групи і проаналізуємо їх окремо.

Будемо розглядати ступінь стиснення за рівнем оптимальної якості, тобто відношення сигнал/шум 40 дБ.

Зростання коефіцієнта стиснення при збільшенні порядку вейвлетів Добеші пояснюється тим, що при цьому збільшується масштабуюча функція. Це дозволяє збільшити ступінь стиснення зображення, отримуючи його задовільну якість. Але при збільшенні масштабуючої функції збільшується довжина фільтра, що приводить до ускладнення реалізації цього методу [6].

На цьому графіку ми бачимо, що залежно від методу вейвлет на рівні відношення сигнал/шум 40 дБ коефіцієнт стиснення різний. Кількісне відношення коефіцієнта стиснення від ставлення сигнал шум наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнту стиснення в залежності від виду компресії

Вид стиснення	Коефіцієнт стиснення
<i>Db4</i>	2
<i>Db6</i>	3
<i>Db8</i>	4
<i>Db10</i>	7
<i>Haar</i>	1

Розглянемо та проаналізуємо перетворення Хаара. Це пара фільтрів, які поділяють сигнал на низькочастотну і високочастотну складові. Ступінь стиснення можна збільшити, застосовуючи перетворення Хаара багаторазово. Але вони мають суттєві недоліки, які заважають їх широкому застосуванню: це погані аналітичні властивості з різким перепадом на кордонах інтервалів (тобто їх погана гладкість); вони не ортогональні ніяким поліномам, крім тривіальної константи; також не володіють досить хорошою локалізацією по частоті.

На цьому графіку теж спостерігається зріст коефіцієнту стиснення в залежності від порядку койфлетів, на оптимальному рівні відношення сигнал/шум 40 дБ. Значення коефіцієнта стиснення наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнту стиснення в залежності від виду компресії

Вид стиснення	Коефіцієнт стиснення
<i>Coif1</i>	10
<i>Coif2</i>	12
<i>Coif3</i>	13
<i>Coif4</i>	15
<i>Coif5</i>	31

Велика кількість нульових моментів призводить до кращого стиснення, тому що вейвлет-коефіцієнти функції для малих масштабів будуть переважно нульовими там, де функція гладка. Койфлети більш симетричні ніж вейвлет Добе-

ши. Розкид по гладкості у койфлетів більше, ніж у вейвлетів Добеши. Але недоліком є те, що койфлети довше, ніж вейвлети Добеши. Якщо для останніх довжина області завдання одно $2M-1$, то для койфлетів вона стає рівною $3M-1$, у 3 рази більше ніж у вейвлетів Хаара. Значення коефіцієнта стиснення наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнту стиснення в залежності від виду компресії

Вид стиснення	Коефіцієнт стиснення
<i>Dmey</i>	47
<i>Bior 1.1</i>	62
<i>Bior 2.6</i>	78
<i>Bior 3.3</i>	94
<i>Bior 4.4</i>	111
<i>Bior 9.7</i>	125

Біортогональні вейвлети використовуються, щоб забезпечити повну симетрію і точну реконструкцію. При цьому використовуються два дуальних вейвлет-базиси, пов'язані з двома різними багатомасштабними сходами. На відміну від вейвлетів Добеши, у яких регулярність тісно пов'язана з числом нульових моментів, біортогональні вейвлети мають більшу свободу вибору.

Якщо один з них володіє гладкістю порядку r , то дуальний йому вейвлет автоматично має, принаймні, r нульових моментів. Велике число нульових моментів призводить до кращих результатів при стисненні інформації для досить гладкої функції [7]. Симетричні ортогональні вейвлети, близькі до ортонормального базису, схожі на койфлети. У разі застосування біортогональних вейвлетів виникає додаткова складність, яка полягає у нерівності середньоквадратичного відхилення (СКВ).

При вейвлет-перетвореннях у задачах опису складних об'ємних реальних об'єктів сітками необхідно рухатися в напрямку зменшення обчислювальних потужностей, оскільки в класичному вигляді кожна вершина об'єкта піддається математичному перетворенню, що збільшує на порядок обчислювальні витрати. Для зменшення обчислювальної складності полігонально-гратчастої моделі пропонується перехід в спектральну область, шляхом розбиття об'єкта на суб-смугові області з подальшою фільтрацією за допомогою вейвлет-перетворень [8].

Для цього необхідно розглянути тривимірні об'єкти, в тому числі проведемо дослідження над об'єктом «Обличчя», який містить 1258 вершин і 3774 координат.

Над цим об'єктом проводилася деформація – поворот навколо довільної осі щодо центру координат

$$\begin{aligned} X' &= x \cos \alpha + y \sin \alpha + z \sin \alpha, \\ Y' &= x \sin \alpha + y \cos \alpha - z \sin \alpha, \\ Z' &= -x \sin \alpha + y \sin \alpha + z \cos \alpha, \end{aligned}$$

де x, y, z – вихідні координати точки;

X', Y', Z' – нові координати точки.

Для збільшення швидкості обробки реальних об'єктів були використані вейвлет-перетворення таких типів: Daubechies 4, Wavelet Coiflets 2, Symlets 4, Discrete Meyer, Biorthogonal 2.4, Biorthogonal 4.4 [2]. Досліджувані об'єкти для подальшої обробки не піддавалися додатковим спотворень. Наприклад, для досліджуваного сіткового об'ємного об'єкта «Обличчя» при використанні Daubechies 4, на виході виходять такі коефіцієнти розкладання:

- коефіцієнти апроксимації;
- коефіцієнти розкладання по горизонталі;
- коефіцієнти розкладання по вертикалі;
- коефіцієнти розкладання по діагоналі.

Для підвищення швидкодії алгоритму необхідно відфільтрувати незначущі коефіцієнти (які фактично не впливають на відновлення об'єкта). Даний поріг значущості визначається аналітично, при цьому глибина вейвлет-перетворення $n = \log_2(\max(C_{i,j}))$, де $C_{i,j} \geq 2^n$ – це заданий поріг. Отже, ті коефіцієнти, які не є меншими за поріг, залишаються, а інші обнуляються.

При зворотному вейвлет-перетворенні враховуються всі коефіцієнти розкладання (рис. 5-8), в тому числі і обнулені.

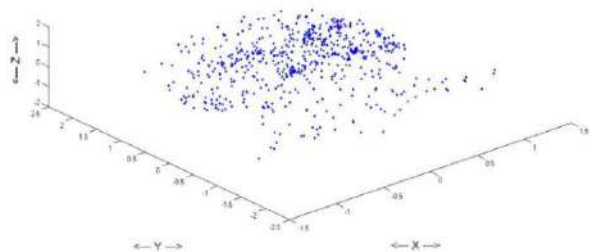


Рисунок 5 – Коефіцієнти розкладання апроксимації

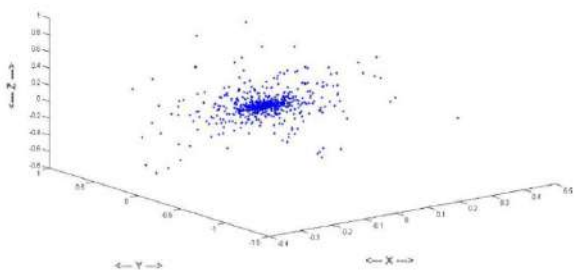


Рисунок 6 – Коефіцієнти розкладання по горизонталі

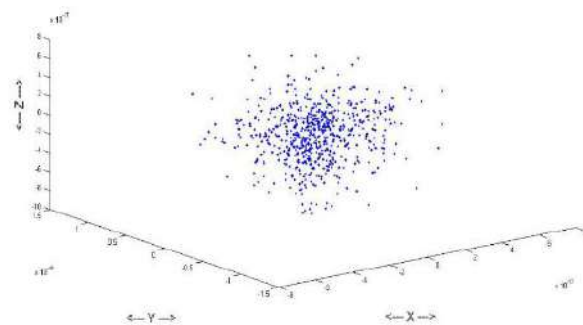


Рисунок 7 – Коефіцієнти розкладання по вертикалі

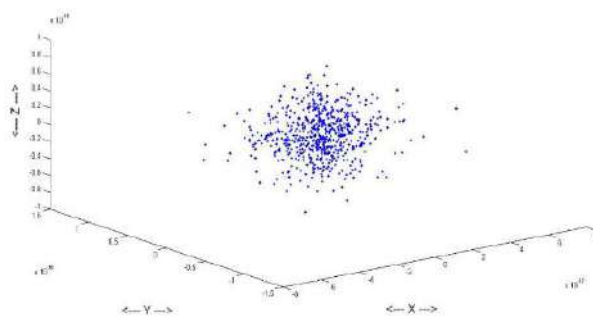


Рисунок 8 – Коефіцієнти розкладання по діагоналі

Кількість елементів відновленого об'єкта збігається з вихідними даними (рис. 9).

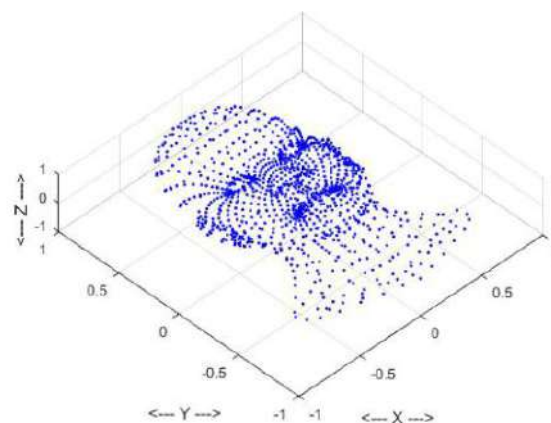


Рисунок 9 – Відновлений об'єкт «Обличчя»

Для відновленого об'єкта «Обличчя» були отримані залежності відношення сигнал/шум при повороті об'ємного сіткового об'єкта навколо довільної осі щодо центру координат. Залежності відношення сигнал/шум від кута повороту координат нашого об'єкта «Обличчя» представлені на рис. 10 та рис. 11. Також визначені абсолютні похибки координат відновленого об'єкта «Обличчя» після вейвлет-перетворень, і обчислені відносні похибки вершин для нових координат об'єкту по осях X, Y, Z :

$$\delta_x = \frac{\Delta}{X'} \cdot 100 \% ;$$

$$\delta_y = \frac{\Delta}{Y'} \cdot 100 \% ;$$

$$\delta_z = \frac{\Delta}{Z'} \cdot 100 \% ;$$

де Δ – абсолютна похибка;

X', Y', Z' – відновлені координати об'єкта.

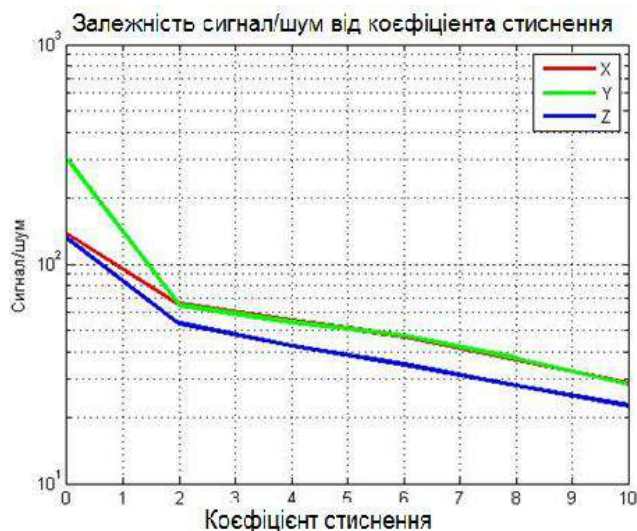


Рисунок 10 – Залежність відношення сигнал/шум від коефіцієнта стиснення

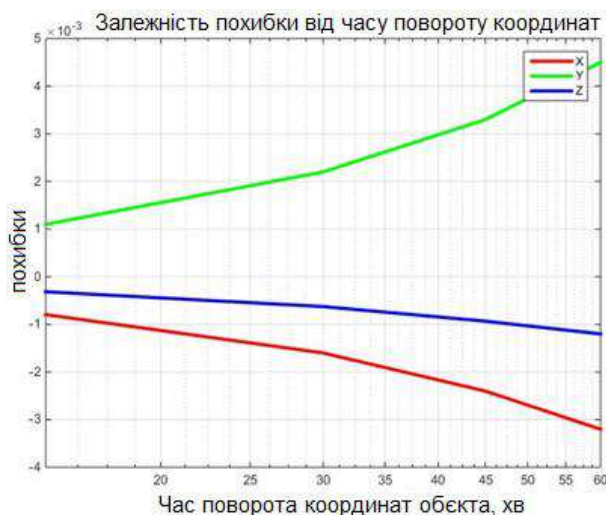


Рисунок 11 – Залежність похибки від часу повороту координат

Розрахунок відносини сигнал/шум виконується за формулою:

$$PSNR = \frac{mn \cdot \max_{W,N} (I_{W,N})^2}{\sum_{W,N} (I_{W,N} - K_{W,N})^2},$$

де m, n – розмір зображення;

$I_{W,N}$ – значення пікселя зображення оригіналу;

$K_{W,N}$ – значення пікселя зображення після додавання шуму.

При передачі цифрових зображень вкрай необхідно забезпечити високу якість відтворення для глядача. У пункті 5.5 ДСТУ 55696-2013 Телебачення мовне цифрове. Передавальне обладнання для цифрового наземного мовлення DVB-T/T2. Технічні вимоги. Основні параметри. Методи вимірювання. У цьому міжнародному стандарті обмовляється, що значення відносини сигнал/шум не повинно бути нижче 35 дБ для комфортного перегляду глядача [3].

Тому для даного дослідження було взято поріг відношення сигнал/шум 35 дБ, це також доведено і показано в роботі [4], як мінімально допустимого для щодо комфортного перегляду. Чим вище відношення сигнал/шум, тим краще якість зображення. Обраний поріг був орієнтиром для дослідження якості сіткового зображення для поворотів по осях X, Y, Z щодо центру координат. Для осі X при повороті на 150 відношення сигнал/шум становить 35,43 дБ, а похибка – 0,0079 %. При повороті по осі Y на 240 відношення сигнал/шум приймає значення 35,37 дБ, а похибка – 0,018 %. При повороті по осі Z наближення до Пороговому значенням відносини сигнал/шум в 35 дБ, досягається при повороті на 180, при відношенні сигнал/шум 35,33 дБ, а похибка – 0,0035 %.

Також розглянемо оцінку якості стиснення зображень при різних швидкостях цифрового потоку для нашого об'єкта «Обличчя». Для дослідження швидкості передачі даних тривимірних об'єктів використовуємо цифрові відео стандарти 4: 2: 2 і 4: 4: 4. Швидкість передачі для обраних відео стандартів 4: 2: 2 (1) і 4: 4: 4 (2) і для параметрів досліджуваних об'єктів виглядають наступним чином [9]:

$$V_p = R \cdot 2 \cdot W \cdot H \cdot F ; \quad (1)$$

$$V_p = R \cdot 3 \cdot W \cdot H \cdot F , \quad (2)$$

де V_p – швидкість передача даних об'єкта, біт/с;

W і H – ширина і висота кадру в пікселях;

R – розрядність для кожної компоненти, біт;

F – кадрова частота, кадрів/с.

Оскільки досліджуються тривимірні об'єкти, необхідно перейти з тривимірного в двовимірний простір.

Координати мають такий вигляд:

$$X_c = x + kx \cdot z; \quad (3)$$

$$Y_c = y + ky \cdot z, \quad (4)$$

де X_c і Y_c – координати на площині;

x, y, z – координати в просторі;

kx, ky – коефіцієнти, які беруться за модулем і не перевищують значення одиниці. Коефіцієнти обиралися рівними 0,5.

При переході з тривимірного простору в двовимірне треба врахувати той факт, що використовується децимація і кліппинг вершин об'єкта (рис. 12), тобто проріджування кожної повторюваної вершини. Це дозволяє відновлювати об'єкт в двовимірному просторі з високою чіткістю [10].

Відповідно, ширину і висоту кадру досліджуваного об'єкта розраховуємо таким чином:

$$W = X_{max} - X_{min}, \quad (5)$$

$$H = Y_{max} - Y_{min}, \quad (6)$$

де X_{max} і Y_{max} – максимальна кількість елементів розкладання в двовимірному просторі по осях X і Y .

X_{min} і Y_{min} – мінімальна кількість елементів розкладання в двовимірному просторі по осях X і Y .

Для дослідження швидкості цифрового потоку від 3D об'єкта використовуємо пряме і обернене вейвлет-перетворення Daubechies 4-го порядку, задаємося обраним порогом відношення сигнал/шум в 35 дБ.

Розраховуємо швидкість передачі об'єкта для обраного відеостандарту 4: 2: 2. Координати об'єкта попередньо були перетворені в двовимірний простір з нормованими розмірами по ширині в межах від -1 до 1 і по висоті від -1,5 до 1,5.

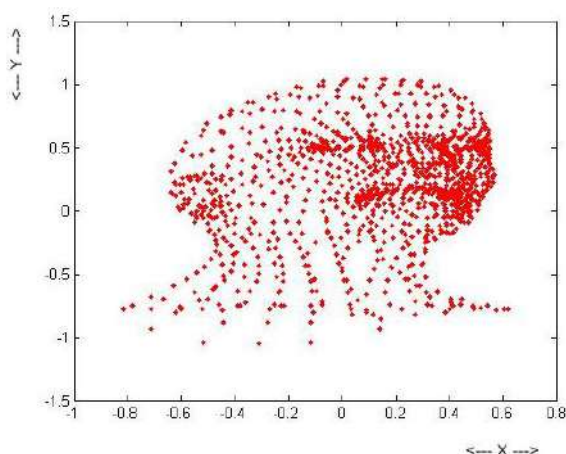


Рисунок 12 – Об'єкт «Обличчя» в двовимірному вигляді

В табл. 4 представлена розрахункова швидкість передачі даних об'єкта «Обличчя», для фо-

рмату 4: 2: 2 для варіантів чергуванням і порядкової розгортки з розрядних від 8 до 64 біт.

Аналогічно розрахуємо швидкість передачі даних досліджуваного об'єкта для відеостандарту формату 4: 4: 4, використовуючи формули.

Таблиця 4 – Розрахункова швидкість передачі даних об'єкта «Обличчя», для формату 4: 2: 2 для варіантів чергуванням і порядкової розгортки з розрядних від 8 до 64 біт

Кадрів в секунду Кількість біт	25 (черезрядкова)	50 (порядкова)
8	0,158 кбіт/с	0,308 кбіт/с
16	0,166 кбіт/с	0,316 кбіт/с
32	0,182 кбіт/с	0,332 кбіт/с
64	0,214 кбіт/с	0,364 кбіт/с

Розрахункова швидкість для цього випадку представлена в табл. 5. Для визначення швидкості передачі даних 3D об'єктів при відношенні сигнал/шум 35 дБ для ефірного наземного цифрового телебачення другого покоління DVB-T2 необхідно знати максимальну швидкість передачі даних, відповідну 45,5 Мбіт/с [10].

Таблиця 5 – Розрахункова швидкість передачі даних об'єкта «Обличчя», для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кількість біт	25	50
8	1,8 кбіт/с	3,6 кбіт/с
16	3,6 кбіт/с	7,2 кбіт/с
32	7,2 кбіт/с	14,4 кбіт/с
64	14,4 кбіт/с	28,8 кбіт/с

Для цифрового Інтернет-телебачення IP-швидкість передачі даних можна прийняти рівною 100 Мбіт/с.

Загальна швидкість цифрового потоку досліджуваних об'єктів є сумою всіх швидкостей передачі досліджуваних об'єктів.

Визначаємо кількість каналів, які можна передати через цифровий потік для DVB-T2 (7) і IP TV (8):

$$\frac{45,5 \text{ Мбіт/с}}{V_{\Sigma}} = n_{\text{каналов}}; \quad (7)$$

$$\frac{100 \text{ Мбит/с}}{V_{\Sigma}} = n_{\text{каналов}} \quad (8)$$

Для розрахунків коефіцієнтів стиснення тривимірних об'єктів необхідно дотримуватися підтримки переконливого рівня реалізму об'ємних сіткових об'єктів багато додатків вимагають високої деталізації складних моделей. Такі моделі вимагають широкої смуги частот і великих витрат для передачі. Для вирішення цих проблем було запропоновано багато алгоритмів стиснення об'ємної сітки. В якості одного з відомих методів кодування тривимірної сітки (3D МК) були введені в стандарти MPEG-4 і MPEG-7. 3D МК забезпечує подання та стиснення вершин об'ємних сіткових об'єктів, а також забезпечує такі додаткові функції, як високий ступінь стиснення, рендеринг, і стійкість до помилок. Стиснення вершин сіткових об'єктів в сцені розроблені в ISO / IEC 14496-2, ISO / IEC 14496-11 і ISO / IEC 14496-16.

Висновки

В роботі проведено аналіз методів спектральних вейвлет перетворень. Отримані показники стиснення та відношення сигнал/шум, де обирається найкращий вейвлет базис для стиснення зображень по критеріям відношення сигнал/шум.

Розглянуті популярні методи спектральних вейвлет перетворення як: Добеши 4, 6, 8, 10, 24 порядку, Хаар, койфлети 1, 2, 3, 4, 5 порядку, Майєра. Науковою новизною даної роботи є використання більш високого рівня перетворення, як Biog 9.7, яке не досліджувалося у методах стиснення заснованих на алгоритмі JPEG/MPEG.

Також необхідно відмітити, що при дослідженні проектування сіткового об'ємного об'єкта в двовимірні координати було виявлено, що частина вершин накладається одна на іншу. Такі вершини видаляються методом децимації, а також проводиться кліппінг для видалення невидимих вершин і відрізків при передачі залишок у двовимірному полі вершин при чергуванні і порядкових телевізійних розгортки. Показано, що з метою зменшення потоку даних доцільно перед перетворенням тривимірного сіткового зображення в двовимірне проводити спектральний вейвлет-перетворення. При видаленні незначних вейвлет-коефіцієнтів можливо досягти стиснення в 5 разів, при цьому якість зображення, оцінювана за відношенням сигнал/шум, досягає значення 35 дБ – оцінка показника прийнятності візуальної якості для комфортного перегляду. Отже, нижче 35 дБ недоцільно стискати сіткові тривимірні об'єкти. Достовірність результатів дослідження підтверджується методом дисперсійного аналізу.

Список використаних джерел

1. Ошаровская Е. В., Патлаенко Н. А., Ошаровский И. В., Гурченко Н. П. Моделирование оконных функций для обработки цифровых изображений высокой четкости. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2017. № 3(62). Т. 1. С. 206-210.
2. Recommendation ITU-R BT.2020-2:2015 "Parameter Values for Ultra-high Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange".
3. Report ITU-R BT.2381-0:2016 "Requirements for High Dynamic Range Television (HDR-TV) Systems".
4. Recommendation ITU-R BT.2020-2:2015 "Parameter Values for Ultra-high Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange".
5. Osharovska O. V., Patlaenko M. O. Fractal Coding of Video Sequences by Genetic Algorithm. *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*. Одеса, 2017. Вип. 2. С. 131-138.
6. Patlaenko M., Gofaizen O., Osharovska O., Pyliavskiy V. Adaptive Fractal Coding UHD Images with Parametric Algorithm. Матеріали конференцій IEEE PIC S&T 2018, конференція IEEE XHURE 9-12 жовтня 2018. Харків, 2018. С. 17-21.
7. Ошаровская Е. В., Патлаенко Н. А., Ошаровский И. В., Гурченко Н. П. Алгоритмы выбора порогов ограничения спектральных коэффициентов при обобщенном Фурье-анализе текстур изображений высокой четкости. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2018. № 3(66). С. 338-345.
8. Патлаенко Н. А. Анализ методов сжатия цифровых изображений с помощью фрактальных преобразований. Матеріали 68-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів. Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, 4-6 грудня 2013. С. 20-21.
9. Патлаенко М. А., Ошаровская О. В., Самусь Н. С. Адаптивная тряска порогов квантования вейвлет-коэффициентов. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТП-16-2016). Матеріали 16-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 10-15.06.2016 г.: тези доповідей. Одеса. 2016. С. 173.
10. Patlayenko M., Osharovska O., Pyliavskiy V., and Solodka V. Wavelet Feature Family for Image Compression. 27-th National conference "Telecom 2019", 30-31 October 2019, National science and Technical Center, Sofia, Bulgaria, pp. 15-18.

References

1. Osharovskaya E. V., Patlaenko N. A., Osharovskij I. V., Gurchenko N. P. Modelirovanie okonnykh funktsij dlya obrabotki cifrovyykh izobrazhenij vysokoy chetkosti. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. Kherson, 2017. # 3(62). T. 1. S. 206-210.
2. Recommendation ITU-R BT.2020-2:2015 "Parameter Values for Ultra-high Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange".
3. Report ITU-R BT.2381-0:2016 "Requirements for High Dynamic Range Television (HDR-TV) Systems".
4. Recommendation ITU-R BT.2020-2:2015 "Parameter Values for Ultra-high Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange".
5. Osharovska O. V., Patlaenko M. O. Fractal Coding of Video Sequences by Genetic Algorithm. *Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova*. Odesa, 2017. Vyp. 2. S. 131-138.
6. Patlaenko M., Gofaizen O., Osharovska O., Pyliavskiy V. Adaptive Fractal Coding UHD Images with Parametric Algorithm. *Materialy konferencij IEEE PIC S&T 2018, konferenciya IEEE XNURE 9-12 zhovtnya 2018*. Xarkiv, 2018. C. 17-21.
7. Osharovskaya E. V., Patlaenko N. A., Osharovskij I. V., Gurchenko N. P. Algoritmy vybora porogov ograniceniya spektral'nykh koeffitsientov pri obobshhenom Fur'e-analize tekstur izobrazhenij vysokoy chetkosti. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. Kherson, 2018. # 3(66). S. 338-345.
8. Patlaenko N. A. Analiz metodov szhatiya cifrovyykh izobrazhenij s pomoshh'yu fraktal'nykh preobrazovaniy. *Materialy 68-yi naukovo-tekhnichnoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu, naukovtsiv, aspirantiv ta studentiv*. Odeska natsionalna akademiia zviazku im. O. S. Popova, 4-6 hrudnia 2013. S. 20-21.
9. Patlaenko M. A., Osharovskaya O. V., Samus' N. S. Adaptivnaya tryaska porogov kvantovaniya vejvlet-koeffitsientov. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh (VOTTP-16-2016). *Materialy 16-yi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 10-15.06.2016 h.: tezy dopovidei*. Odesa. 2016. S. 173.
10. Patlayenko M., Osharovska O., Pyliavskiy V., and Solodka V. Wavelet Feature Family for Image Compression. 27-th National conference "Telecom 2019", 30-31 October 2019, National science and Technical Center, Sofia, Bulgaria, pp. 15-18.

Надійшла до редакції 15.07.2022