Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет *кібербезпеки*
(повна назва)

Кафедра *інформаційно-мережної інженерії*
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Використання методу стиснення інформаційних даних цифрових зображень в цифровій мережі зв'язку
(тема)

Виконав:
здобувач 4 курсу, групи ТРІМІ-22-1
Максим СОКОЛОВ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма інформаційно-мережна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Дмитро БОНДАР
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

В.о. зав. кафедри _____ Дарія ЧЕБОТАРЬОВА
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

20 26 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент / Максим СОКОЛОВ /

Керівник / Дмитро БОНДАР /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет *кібербезпеки*
Кафедра *інформаційно-мережної інженерії*
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність *172 Електронні комунікації та радіотехніка*
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«____»_____ 20 ___ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві *Соколову Максиму Костянтиновичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Використання методу стиснення інформаційних даних цифрових зображень в цифровій мережі зв'язку*

затверджена наказом університету від 02 червня 2026 р. № 466-Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 07 липня 2026 р.
3. Вихідні дані до роботи
Огляд методу уявлення інформації в цифровій інформаційній мережі зв'язку; Опис методу уявлення цифрових зображень;Огляд методів стиснення зображень; Опис методу прямого та зворотного перетворення Хаара Опис принципу стиснення зображень; Комп'ютерна модель методу стиснення зображень за допомогою; перетворення Хаара; Результати випробувань комп'ютерної моделі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
Вступ;
1. Уявлення інформації, що передається, в цифровій формі;
2. Роль методів стиснення інформації для забезпечення ефективної передачі;
3. Метод стиснення даних зображень за допомогою ортогонального перетворення;
4. Розробка та випробування комп'ютерної моделі стиснення даних зображень;
Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Слайди презентації: оглядові слайди; слайди пояснення способу; слайди розробки методу; слайди результатів випробування.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доцент Дмитро БОНДАР		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	04.05	виконано
2	Пошук джерел за темою та ознайомлення	05.05 − 10.05	виконано
3	Розробка оглядової частини	11.05 − 17.05	виконано
4	Розробка методу поданнч цифрових зображень	18.05 − 24.05	виконано
5	Розробка методу перетворення Хаара	25.05 − 31.05	виконано
6	Створення та випробуванння комп'ютерної моделі методу	01.06 − 10.06	виконано
7	Розробка та виконання текстової частини	11.06 − 30.06	виконано
8	Розробка графічної частини	01.07 − 06.07	виконано
9	Надання пояснювальної записки на рецензування		
	та для захисту	07.07	виконано

Дата видачі завдання 04 травня 2026 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ Дмитро БОНДАР
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок – 65, рисунків – 60, джерел – 13, додатків – 1.

ІНФОРМАЦІЙНА МЕРЕЖА ЗВ'ЯЗКУ, ЦИФРОВИЙ СИГНАЛ, ЦИФРОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ, ІНФОРМАЦІЙНА НАДЛИШКОВІСТЬ, СТИСНЕННЯ ДАНИХ, ПЕРЕТВОРЕННЯ ХААРА, КОЕФІЦІЄНТИ ПЕРЕТВОРЕННЯ.

Розглянуто спосіб уявлення цифрових зображень та метод стиснення візуальних даних за допомогою методу ортогонального перетворення Хаара. Розроблено та надано опис алгоритму Хаара для стиснення як лінійних цифрових сигналів так і цифрових зображень в форматі градацій сірого та кольорових. Показано яким чином та за рахунок чого можна усувати інформаційну надлишковість цифрових сигналів та цифрових зображень.

Розроблено та побудовано комп'ютерну модель для дослідження особливостей використання методу стиснення цифрових зображень. Проведено комп'ютерне моделювання. Отримано результати, які підтверджують коректність виконаної роботи.

THE ABSTRACT

Explanatory slip: pages − 65, figures − 60, sources − 13, appendices − 1.

INFORMATION COMMUNICATION NETWORK, DIGITAL SIGNAL, DIGITAL IMAGE, INFORMATION REDUNDANCY, DATA COMPRESSION, HAAR TRANSFORM, TRANSFORMATION COEFFICIENTS.

The method of representing digital images and the method of compressing visual data using the Haar orthogonal transformation method are considered. The Haar algorithm for compressing both linear digital signals and digital images in grayscale and color formats is developed and described. It is shown how and by what means information redundancy of digital signals and digital images can be eliminated.

A computer model is developed and built to study the features of using the digital image compression method. Computer modeling is carried out. Results are obtained that confirm the correctness of the work performed.

ЗМІСТ

С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 7
ВСТУП 8
1 УЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ, ЩО ПЕРЕДАЄТЬСЯ, В ЦИФРОВІЙ ФОРМІ 9
2 РОЛЬ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПЕРЕДАЧІ 12
3 МЕТОД СТИСНЕННЯ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ 15
4 РОЗРОБКА ТА ВИПРОБУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СТИСНЕННЯ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ 37
ВИСНОВКИ 51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ 52
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ 54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДКП	−	дискретне косинусне перетворення;
ДПФ	−	дискретне перетворення Фур’є;
ДСП	−	дискретне синусне перетворення;
ФНЧ	−	фільтр низьких частот;
ШПФ	−	швидке перетворення Фур’є.

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку інфокомунікаційних технологій вимагає обов'язкового використання великих обсягів передачі візуальної інформації. Високоякісні цифрові зображення стали основою сучасного трафіку в усіх типах телекомунікаційних мереж, в тому числі мережах мобільних операторів зв'язку, системах відеонагляду, та багатьох інших галузях. Потоки відеоінформації в своєму первинному вигляді вимагають каналів зв'язку з широкою смугою пропускання, що тягне за собою появу складних технічних проблем та погану економічну ефективність в разі відсутності методів обмеження потоків передачі даних.

Перед розробниками та виробниками обладнання інформаційних мереж зв'язку встала проблема узгодження високих вимог до якості зображень, які треба передавати, з обмеженими можливостями пропускної здатності каналів зв'язку. Вирішенню цієї проблеми сприяє впровадження ефективних алгоритмів стиснення інформаційних потоків зображень.

Свою ефективність в розв'язанні цієї задачі доводять методи, засновані на ортогональних перетвореннях, зокрема перетворенні Хаара. Ці методи надають можливість усунути інформаційну надлишковість візуальних даних без суттєвої втрати візуальної якості. Тому методи, засновані на ортогональних перетвореннях, є дуже важливими для оптимізації функціонування сучасних цифрових мереж зв’язку.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та обґрунтування ефективності застосування методів стиснення цифрових зображень на базі перетворення Хаара для забезпечення передачі даних у цифрових мережах зв’язку з обмеженою пропускною здатністю.

1 УЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ, ЩО ПЕРЕДАЄТЬСЯ, В ЦИФРОВІЙ ФОРМІ

Передавання інформації в мережах зв'язку ґрунтується на використанні сигналів електромагнітної природи. В більшості своїй сигнали мають форму коливань електричного струму або напруги. Відомо, що електричний струм та електрична напруга нерозривно пов'язані фізичні величини. Сучасні мережі зв'язку для транспортування та обробки використовують цифрову форму сигналів. Цифрові сигнали складаються з дискретних рівнів напруги або струму, які умовно позначають як 0 (нуль) та 1 (одиниця) в термінах двійкової арифметики або булевської алгебри.

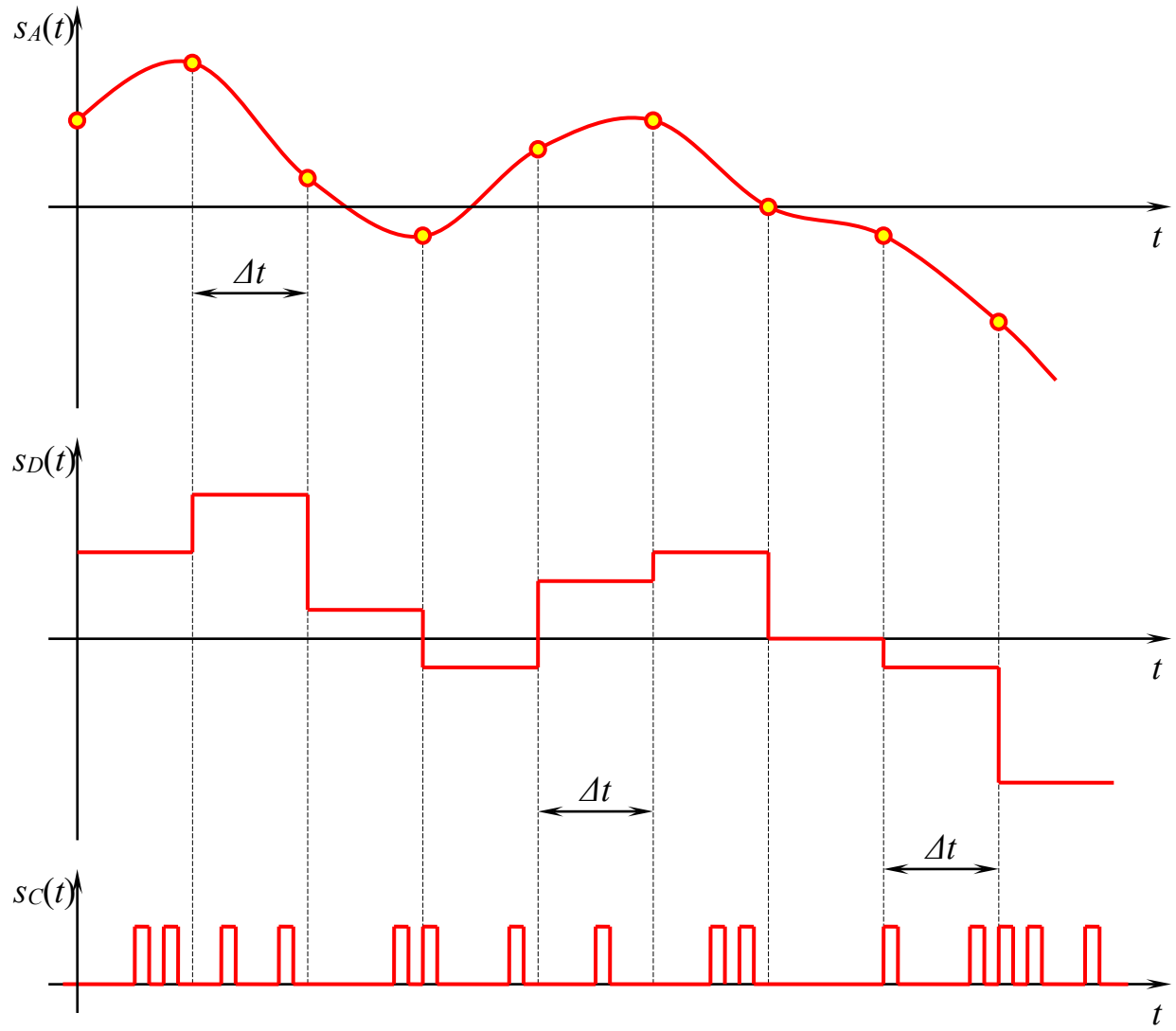


Рисунок 1.1 – Утворення цифрового сигналу

На рис. 1.1 показана послідовність дій по перетворенню аналогового інформаційного сигналу в цифровий сигнал, який представлений послідовністю двійкових імпульсів.

Перетворення аналогового сигналу на цифровий грунтується на теоремі відліків, яка регламентує величину інтервалу часу, через який треба проводити вимірювання миттєвих значень інформаційного аналогового сигналу. Ця умова виражається співвідношенням наступного вигляду.

$$\Delta t \le \frac{1}{2F_B},$$

де F_B − верхня гранична частота спектру аналогового сигналу.

Принцип формування цифрового сигналу можна пояснити за допомогою пристрою, спрощена схема якого наведена на рис. 1.2.

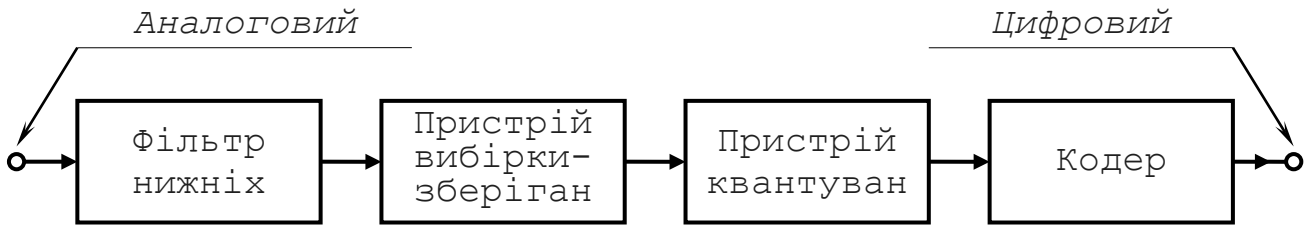


Рисунок 1.2 − Спрощена схема пристрою формування цифрового сигналу

Аналоговий сигнал проходить через фільтр низьких частот (ФНЧ), де додатково придушується високочастотний "хвіст" його спектру. В пристрої вибірки-зберігання фіксується миттєвий рівень сигналу для подальшого квантування та кодування. В пристрої квантування рівень сигналу притягується до дозволеного значення, яке потрібне кодеру. Кодер вже формує цифровий сигнал у вигляді послідовності двійкових імпульсів (рис. 1.2).

Цифровий сигнал у формі послідовності двійкових імпульсів здатний представляти будь-які інформаційні повідомлення, в тому числі і зображення як чорно-білі так і кольорові. Слід лише визначити метод перетворення.

Цифрове зображення формується за допомогою спеціальних оптоелектронних пристроїв як наприклад цифрова фотокамера у вигляді матриці растру. Растр складається з елементів, що мають назву пікселів. Пікселі несуть інформацію про колір та яскравість певної точки зображення, яка задається координатами по вертикалі та горизонталі (рис. 1.3).

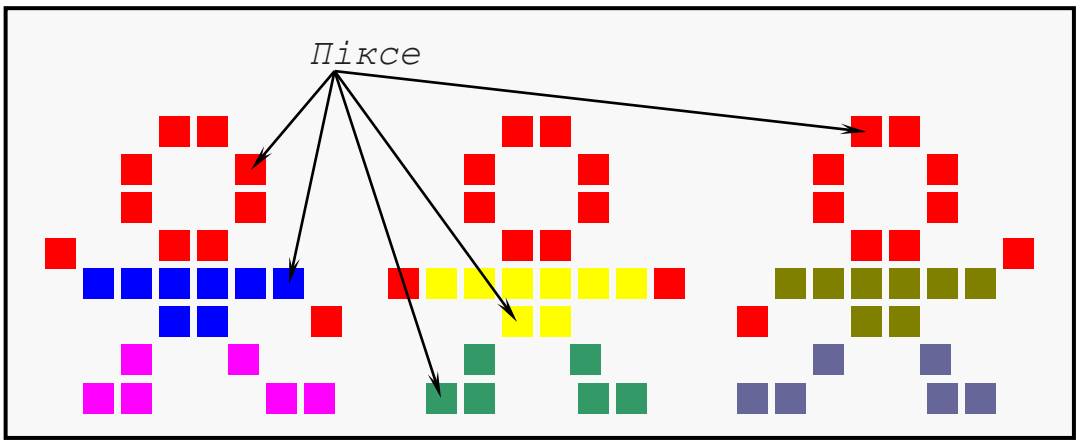


Рисунок 1.3 – Приклад простого цифрового зображення

Колір пікселів кодується у відповідності з обраною моделлю кольороутворення. Наприклад при моделі RGB створюються три окремих файли, що визначають інтенсивність червоної, зеленої та синьої складових зображення. Приклад розкладення зображення з рис. 1.3 надано на рис. 1.4.

Червона (red) складова Зелена (green) складова Синя (blue) складова

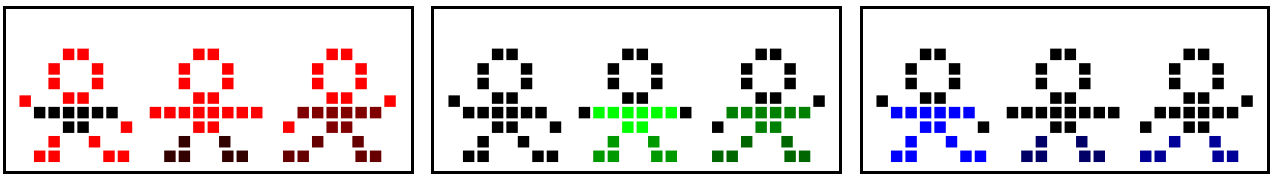


Рисунок 1.4 – Приклад розкладення кольорового зображення на RGB-складові

Далі кожен піксель кодується певною двійковою посилкою, наприклад у вісім двійкових розрядів, що забезпечує 255 градацій яскравості.

2 РОЛЬ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПЕРЕДАЧІ

Оскільки у сучасних цифрових мережах зв’язку інформація набуває форми послідовності двійкових символів (імпульсів), то виникає можливість застосування математичних методів стиснення, які вкрай необхідні для оптимізації використання обмежених ресурсів каналів зв’язку.

Стиснення стає можливим завдяки тому, що дані з джерел інформації мають певний рівень надлишковості. Методи стиснення дозволяють усунути цю надлишковість, трансформуючи потік даних у компактніший вигляд без помітної втрати якості.

Методи стиснення інформаційних потоків слід поділити на дві основні групи:

− методи стиснення без втрат, які дозволяють відновити початкові дані повністю;

− методи стиснення з втратами, які забезпечують зменшення обсягу інформаційних потоків за рахунок відкидання малозначущих даних за допомогою відповідних алгоритмів.

Методи стиснення з втратами забезпечують зазвичай значно вищі коефіцієнти стиснення порівняно з методами стиснення без втрат.

Методика стискання цифрових зображень ґрунтується на трьох основних типах надлишковості:

− статистична надлишковість;

− просторова надлишковість;

− психовізуальна надлишковість.

Статистична надлишковість виникає через те, що цифрові зображення це не випадковий набір кольорових точок. На реальному зображені пікселі, що локалізовані в певних сусідніх областях мають однакові або схожі кольори, освітленість та текстури. У більшості зображень певні значення кольорів зустрічаються значно частіше, ніж інші.

Просторова надлишковість виникає через високу кореляцію між сусідніми пікселями: у реальних сценах сусідні ділянки майже завжди мають схожий колір, яскравість та текстуру.

Психовізуальна надлишковість полягає в особливості людського зору не помічати певні типи спотворень або втрат інформації на зображенні. Людське сприйняття візуальної інформації має обмеження, які можна використовувати

для стиснення, а саме: низька чутливість до різких переходів в деталях; більша чутливість до змін інтенсивності світла, ніж до змін відтінків кольору; наявність ефекту маскування.

На рис. 2.1 надано пояснення стиснення зображення за рахунок усунення просторової надлишкшвості.

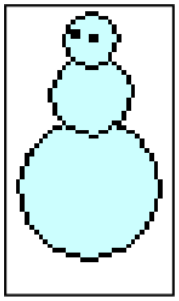
Рисунок	№	Перелік кольорів
	1	36 FFFFFF
	2	17 FFFFFF 3 000000 16 FFFFFF
	3	15 FFFFFF 2 000000 3 CCFEFE 2 000000 14 FFFFFF
	4	14 FFFFFF 1 000000 7 CCFEFE 1 000000 13 FFFFFF
	5	13 FFFFFF 1 000000 9 CCFEFE 1 000000 12 FFFFFF
	6	13 FFFFFF 3 000000 7 CCFEFE 1 000000 12 FFFFFF
	7	12 FFFFFF 1 000000 1 CCFEFE 2 000000 2 CCFEFE 2 000000 4 CCFEFE 1 000000 11 FFFFFF
	8	12 FFFFFF 1 000000 5 CCFEFE 2 000000 4 CCFEFE 1 000000 11 FFFFFF
	9	12 FFFFFF 1 000000 10 CCFEFE 1 000000 12 FFFFFF
	10	13 FFFFFF 1 000000 9CCFEFE 1 000000 12 FFFFFF

Рисунок 2.1 − Пояснення стиснення зображення за рахунок усунення просторової надлишкшвості

Рисунок складається з пікселів білого (FFFFFF), блакитного (CCFEFE) та чорного (000000) кольорів. В рисунку показано як можна закодувати верхні десять рядків растру цього зображення. В кожному рядку кодуються ланцюжки пікселів з однаковим кольором. Це дозволяє зменшити обсяг файлу зображення.

Методи стиснення з втратами ґрунтуються на видаленні візуально або малозначущої інформації та дозволяють значно знизити бітрейт в процесі передавання по каналах зв'язку з обмеженим ресурсом.

Найбільш поширеним є метод перетворення на основі ортогональних базисних функцій. Суть методу полягає в тому що зображення розділяють на блоки. До блоків застосовується перетворення на ортогональному базисі функцій. Дані кольору пікселів перетворюються на сукупності коефіцієнтів перетворення. В результаті з'являється можливість відкинуті коефіцієнті з надмалими значеннями, за рахунок чого досягається стиснення

Основу ортогональних перетворень складають:

− дискретне косинусне перетворення (ДКП);

− перетворення Хаара;

− перетворення Уолша;

− вейвлет-перетворення.

Також знаходять застосування методи:

− субдискретизація кольоровості;

− квантування зниження точності представлення даних;

− диференціальне кодування з втратами;

− фрактальне стиснення.

В роботі буде приділена увага методу стиснення чорно-білих та кольорових зображень на основі методу перетворення Хаара.

3 МЕТОД СТИСНЕННЯ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Одним зважливих та потужних методів стиснення сигналів та зображень є використання розкладенню за ортогональними функціональними базисами. Метод передбачає використання прямого та зворотного ортогональних перетворень. Ортогональні перетворення дозволяють перейти з просторової області, яка відображається координатами пікселів зображення, до спектральної області, яка виглядає як сукупність коефіцієнтів.

Ортогональні перетворення можна розрізняти по виду базисних функцій:

− такі, що базуються на гармонічних функціях;

− такі, що базуються на функціях прямокутної форми;

− спеціалізовані та адаптивні перетворення.

Перетворення, що базуються на гармонічних функціях поширені в задачах стиснення мультимедійної інформації, оскільки мають здатність концентрувати енергію сигналу. Представниками такого перетворення є:

− дискретне косинусне перетворення (ДКП або DCT);

− дискретне синусне перетворення (ДСП або DST) як доповнення до ДКП;

− дискретне перетворення Фур’є (ДПФ або DFT), особливо завдяки існування процедури : швидкого перетворення (ШПФ або FFT).

Перетворення, що базуються на функціях прямокутної форми мають низьку обчислювальну складність, оскільки ґрунтуються тільки на арифметичних операціях додавання та віднімання. Представниками такого перетворення є:

− перетворення Хаара;

− перетворення Волша-Адамара.

Спеціалізовані та адаптивні перетворення мають менше поширення, оскільки використовуються для вирішення специфічних науково-дослідних задач. Представниками такого перетворення є:

− перетворення Карунена-Лоева, яке вважається найкращим перетворенням, базис якого адаптується до статистичних властивостей сигналу, що обробляється, але має високу обчислювальну складність;

− перетворення Слеша, яке покращує результат порівняно з ДКП для певного класу зображень

− перетворення Хартлі, яке дозволяє використання арифметики дійсних чисел на противагу до ДПФ де потрібна арифметика комплексних чисел для деякого обмеженого класу сигналів.

В роботі увага буде приділена стисненню зображень за допомогою перетворення Хаара. Використання ортогонального перетворення Хаара є ефективним інструментом для вирішення завдання забезпечення балансу між якістю переданого контенту та обмеженою пропускною здатністю каналу завдяки низці технічних переваг:

− низька обчислювальна складність;

− висока енергетична компактність;

− мінімізація часових затримок;

− зворотність та стійкість до похибок.

Перетворення Хаара полягає у перетворенні вектору значень сигналу на дані апроксимації та дані деталізації. Апроксимація проявляється як зважене усереднення двох суміжних даних вектору сигналу, а деталізація проявляється як зважена різниця цих двох даних. Ваговий коефіцієнт в обох випадках однаковий та дорівнює величині, оберненій до квадратному кореню з двійки.

Процес апроксимації та деталізації ґрунтується на формулах:

$$s_i = \frac{x_{2i} + x_{2i+1}}{\sqrt{2}}; \tag{3.1}$$

$$d_i = \frac{x_{2i} - x_{2i+1}}{\sqrt{2}}; \tag{3.2}$$

$$i = 0,1,2,\ldots,n$$

де n − довжина вектору сигналу x.

Таким чином на базі первинного вектору даних можна утворити вектор коефіцієнтів апроксимації та коефіцієнтів деталізації. Після обробки всіх пар даних утворюється новий вектор, який складається з блоку апроксимації та блоку деталізації:

$$y = \left\{ s_0, s_1, s_2, \ldots, s_{\frac{n}{2}-1}, d_0, d_1, d_2, \ldots, d_{\frac{n}{2}-1} \right\}.$$

В результаті відбувається пряме перетворення Хаару на глибину в один крок. Цей процес проілюстровано на рис. 3.1.

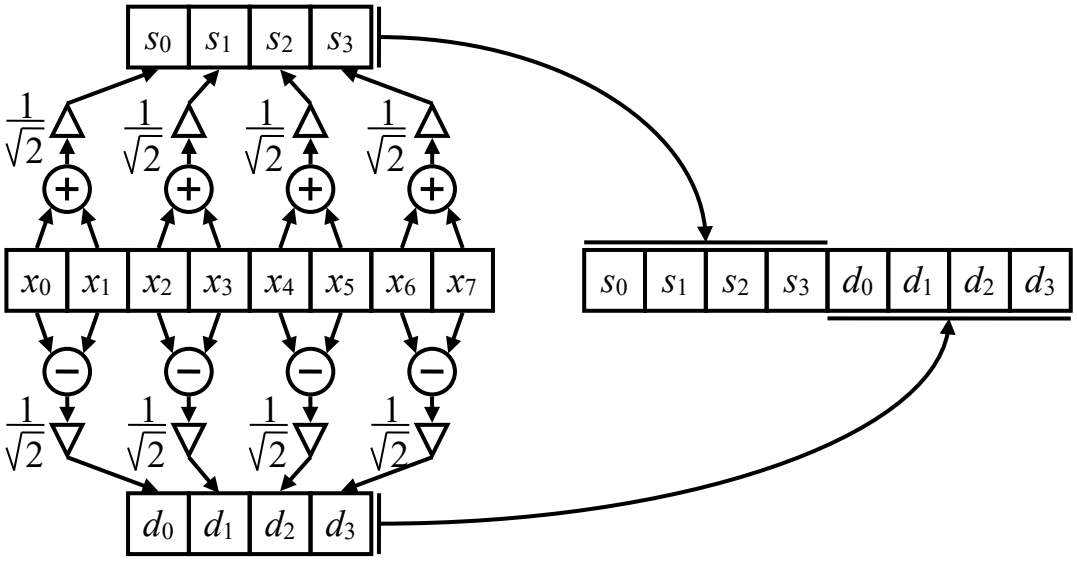


Рисунок 3.1 − Процес утворення вектору, який складається з блоку апроксимації та блоку деталізації

Можна повернутися до вектору первинних значень, виконавши зворотне перетворення Хаара на один крок. Зворотне перетворення дозволяє відновити оригінальні дані $\{x_{2i}, x_{2i+1}\}$ за значеннями s_i та d_i. Цей процес проілюстровано на рис. 3.2.

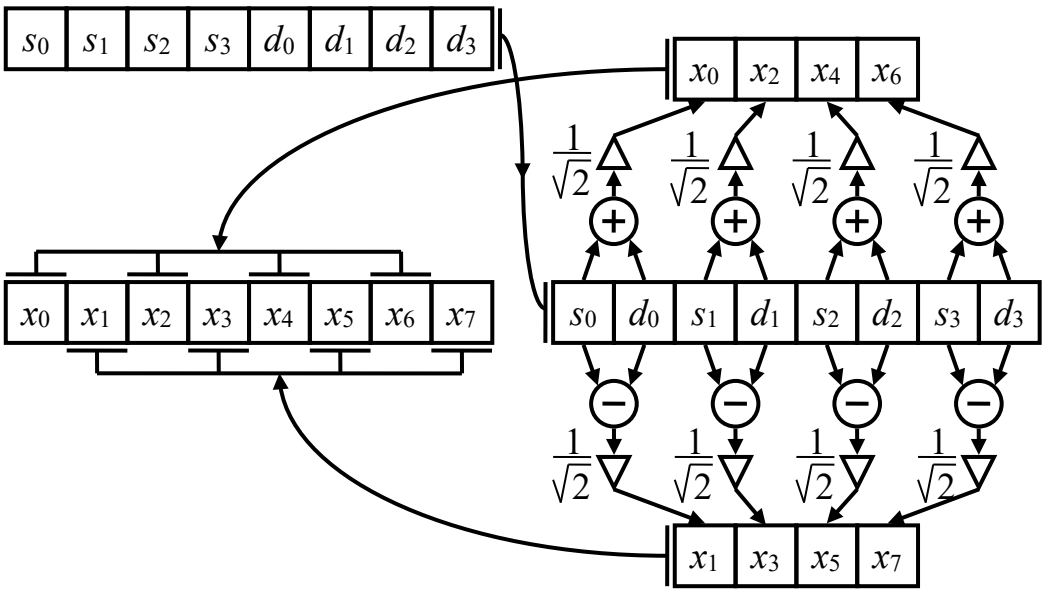


Рисунок 3.2 − Процес відновлення первинного вектору даних з вектору, який складається з блоку апроксимації та блоку деталізації

Зворотне перетворення Хаара виконується за формулами:

$$x_{2i} = \frac{s_i + d_i}{\sqrt{2}}; \tag{3.3}$$

$$x_{2i+1} = \frac{s_i - d_i}{\sqrt{2}}; \tag{3.4}$$

$$i = 0,1,2,\ldots,n$$

Далі можна виокремити блок коефіцієнтів апроксимації і вже до нього застосувати пряме перетворення Хаара згідно з формулами (3.1) та (3.2).

Ці кроки можна повторювати допоки в результуючому векторі не залишиться лише один коефіцієнт апроксимації при умові, що довжина первинного вектору даних виражалася числом цілого степеню двійки. Приклад такого багатокрокового перетворення при довжині первинного вектору даних $8 = 2^3$ наведено на рис. 3.3.

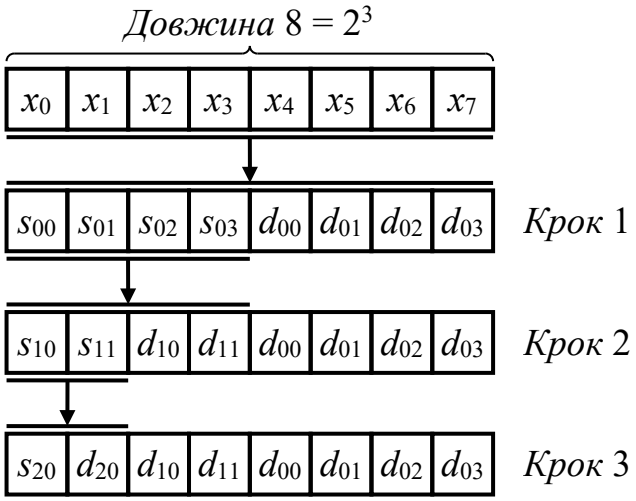


Рисунок 3.3 − Приклад багатокрокового прямого перетворення Хаара при довжині первинного вектору даних $8 = 2^3$

Пряме перетворення Хаара можна послідовно застосовувати до вектору даних декілька разів. Кількість разів розраховується за формулою:

$$n = \log_2 N,$$

де N − довжина вектору даних.

Відновлення вектору даних відбувається у зворотному порядку згідно з формулами (3.3) та (3.4), як це проілюстровано на рис. 3.4.

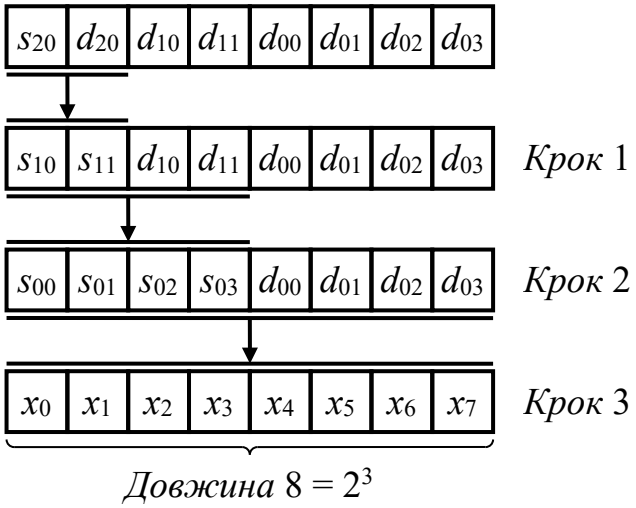


Рисунок 3.4 − Приклад багатокрокового зворотного перетворення Хаара при довжині первинного вектору даних $8 = 2^3$

Наведені відомості стосуються роботи з одновимірними масивами даних. Це може бути будь-який цифровий сигнал, що розгортаються в часі, наприклад − оцифрована мова. Цифрові зображення мають складнішу структуру. Цифрове зображення можна подати як матрицю, тобто двовимірний сигнал.

Таким чином, зображення у цифровій формі на електронному носії інформації набуває вигляду прямокутної матриці, елементами якої є величини інтенсивності яскравості пікселя. Розміри зображення за висотою та шириною, виражені в кількості пікселів Визначають розміри матриці. Координати пікселів, що відраховуються зазвичай від верхнього лівого кута відіграють роль індексів елементів матриці зображення.

Для того щоб застосувати перетворення Хаара треба двовимірний сигнал подати сукупністю одновимірних сигналів. Це означає, що треба розділити матрицю зображення на рядки та застосувати до кожного з них перетворення Хаара, створивши матрицю перетвореного зображення. Наступним етапом слід подібним способом обробити стовбці отриманої на першому етапі матриці. В результаті буде утворена матриця прямого перетворення Хаара цифрового зображення. Цей процес можна назвати двовимірним перетворенням Хаара.

Двовимірне перетворення Хаара утворює матрицю, поділену на чотири прямокутні зони або субдіапазони (рис. 3.5):

I. Апроксимуюча частина або середні значення, що позначають LL (Low-Low). Ця частина виглядає як зменшена копія зображення, що містить основну інформацію про яскравість та структуру.

II. Деталізуюча частина по горизонталі або вертикальні контури та межі, що позначають LH (Low-High).

III. Деталізуюча частина по вертикалі або горизонтальні контури та межі, що позначають HL (High-Low).

IV. Деталізуюча частина по діагоналі або шуми та дрібні текстурні зміни, що позначають HL (High-Low)HH (High-High).

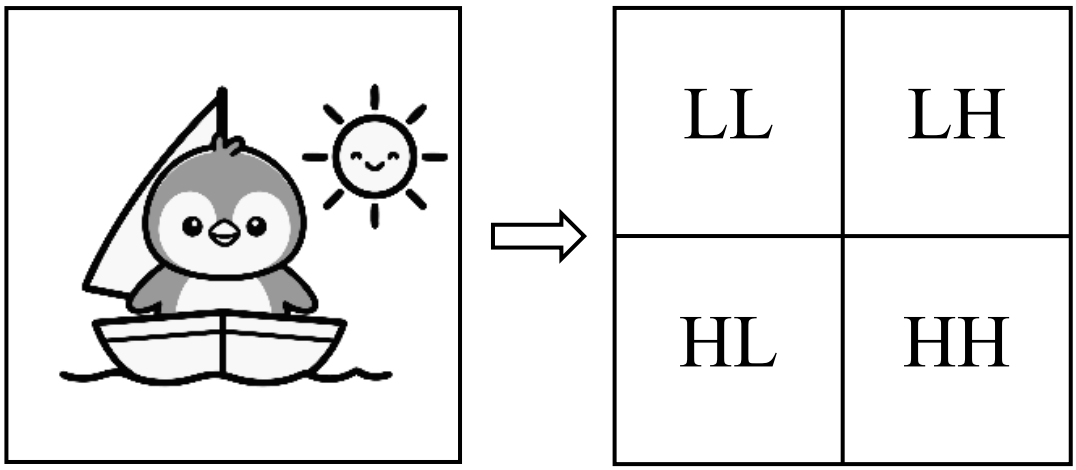


Рисунок 3.5 − Приклад матриці, поділеної на чотири прямокутні зони

Більшість енергії зображення знаходиться в апроксимуючій частині (зона LL). Коефіцієнти в зонах LH, HL, HH після перетворення часто мають дуже малі близькі до нуля значення, оскільки реальні зображення є "плавними". Саме наявність зон з малими величинами коефіцієнтів відкриває шлях до стиснення сигналів та зображень.

Для того щоб створити алгоритм перетворення Хаарра представимо рівняння (3.1), (3.2) та (3.3), (3.4) в матричній формі:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{2i} \\ x_{2i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_i \\ d_i \end{bmatrix}; \tag{3.5}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_i \\ d_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{2i} \\ x_{2i+1} \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

Враховуючи спільний множник, формули (3.5) та (3.6) можна переписати у вигляді:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{2i} \\ x_{2i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_i \\ d_i \end{bmatrix}; \tag{3.7}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_i \\ d_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{2i} \\ x_{2i+1} \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

Рівняння (3.7) визначає пряме перетворення Хаара, а рівняння (3.8) визначає зворотне перетворення Хаара.

Таким чином, обробляючи пари суміжних значень з векторів рядків матриці цифрового зображення, а потім пари суміжних значень з векторів стовбців матриці отримаємо пряме та зворотне перетворення Хаара.

З метою подальшого моделювання алгоритмів стиснення сигналів та зображень треба створити певні програмні модулі. Моделювання буде здійснене в середовищі математичного пакету MathCad. Цей пакет дозволяє в режимі реального часу проводити складні в тому числі і матричні математичні операції, будувати графіки та надавати візуалізацію чорно-білим та кольоровим цифровим зображенням. Також є можливість створювати програмні модулі, які мають назву макросів. Долі в листінгу 3.1 надано програмні коди макросів, необхідних для перетворення Хаара одновимірних сигналів. Ці макроси надають можливість виконання прямого та зворотного перетворення Хаара та для підготовки векторів даних для перетворення.

Листінг 3.1 − Сукупність макросів, необхідних для перетворення Хаара одновимірних сигналів

Макрос підготовляє одновимірний вектор цифрового сигналу до одного кроку прямого перетворення Хаара. Макрос формує матрицю суміжних пар елементів вектору.

A - одновимірний вектор цифрового сигналу.

```
formPair(A) := fl ← 1
               y ← (0  0)^T
               while fl
                   x ← submatrix(A, 0, 1, 0, 0)
                   y ← augment(y, x)
                   fl ← 0  on error A ← submatrix(A, 2, rows(A) − 1, 0, 0)
               return submatrix(y, 0, rows(y) − 1, 1, cols(y) − 1)
```

Макрос підготовляє одновимірний вектор коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу до одного кроку зворотного перетворення Хаара. Макрос формує матрицю суміжних пар елементів вектору.

w - одновимірний вектор цифрового сигналу.

```
decim(w) := N ← rows(w)/1 − 1
            for i ∈ 0..N
                p_i ← w_(i/2)                          if mod(i, 2) = 0
                p_i ← w_((rows(w)−1+i)/2)              otherwise
            return p
```

Макрос виконує один крок прямого перетворення Хаара одновимірного вектору цифрового сигналу.

x - одновимірний вектор цифрового сигналу.

```
transformOneDir(x) := H ← (1/√2) · [1   1]
                                   [1  −1]
                      x ← formPair(x)
                      z ← H·x
                      return stack[(z^T)^⟨0⟩, (z^T)^⟨1⟩]
```

Макрос виконує один крок зворотного перетворення Хаара одновимірного вектору коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу.

x - одновимірний вектор коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу.

```
transformOneInv(x) :=
    H ← (1/√2)·[1  1; 1  −1]
    x ← decim(x)
    x ← formPair(x)
    z ← H·x
    if cols(z) ≠ 1
        q ← 0
        N ← cols(z) − 1
        for i ∈ 0..N
            q ← stack(q, z^⟨i⟩)
        q ← submatrix(q, 1, rows(q) − 1, 0, 0)
    q ← z otherwise
    return q
```

Макрос виконує пряме перетворення Хаара на задану глибину одновимірного вектору цифрового сигналу.

x - одновимірний вектор цифрового сигналу;
N - глибина перетворення.

```
transformOneFullDir(x, N) :=
    M ← log(rows(x), 2)
    y ← transformOneDir(x)
    z ← submatrix(y, rows(y)/2, rows(y) − 1, 0, 0)
    K ← N − 1
    z ← y if N = 1
    otherwise
        for i ∈ 1..K
            y ← submatrix(y, 0, rows(y)/2 − 1, 0, 0)
            y ← transformOneDir(y)
            z ← stack(submatrix(y, rows(y)/2, rows(y) − 1, 0, 0), z)
        z ← stack(submatrix(y, 0, rows(y)/2 − 1, 0, 0), z)
    return z
```

Макрос виконує зворотне перетворення Хаара на задану глибину одновимірного вектору коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу.

x - одновимірний вектор коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу;
N - глибина перетворення.

```
transformOneFullInv(x, N) :=
    len ← rows(x)
    lim ← log(len, 2)
    beg ← lim − N
    end ← lim − 1
    fl ← 1
    y ← x
    for i ∈ beg .. end
        y ← submatrix(y, 0, 2^(i+1) − 1, 0, 0)
        z ← transformOneInv(y)
        if 2^(i+1) ≤ len − 1
            z ← stack(z, submatrix(x, 2^(i+1), len − 1, 0, 0))
            y ← z
    return z
```

Макрос формує одновимірний вектор, заповнений нульовими значеннями для приєднання до усіченого вектору коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу.

y - вектору цифрового сигналу, який буде усічено;
lim - кількість значень вектору коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу, які треба залишити на початку.

```
tailGen(y, lim) :=
    N ← rows(y) − lim − 1
    for i ∈ 0.. N
        x_i ← 0
    return x
```

Проведемо випробування моделі перетворення Хаара одновимірних масивів даних.

Розглянемо сигнал, що лінійно зростає.

Задати довжину вектору (кількість елементів одновимірного масиву-стовбця) $M := 64$

Згенерувати вектор сигналу

```
x :=
    for i ∈ 0.. M − 1
        x_i ← i
    return x
```

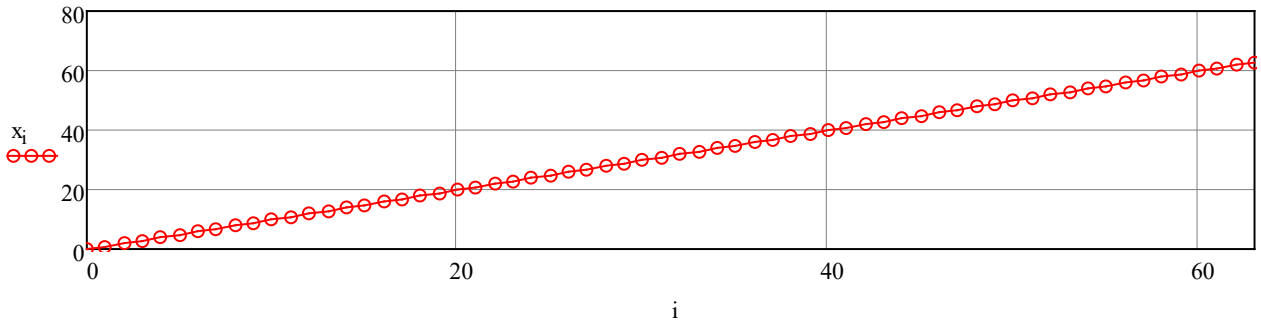


Рисунок 3.6 – Графік сигналу, що лінійно зростає

Розрахувати питому енергію сигналу $\frac{\sum_{i=0}^{rows(x)-1} (x_i)^2}{rows(x)} = 1.333 \times 10^3$

Задати глибину перетворення $n := 1$

Пряме перетворення Хаара $dir := transformOneFullDir(x, n)$

Розрахувати питому енергію вектору прямого перетворення сигналу

$Edir := \frac{\sum_{i=0}^{rows(dir)-1} (dir_i)^2}{rows(dir)} = 1.333 \times 10^3$

Зворотне перетворення Хаара $inv := transformOneFullInv(dir, n)$

Розрахувати питому енергію вектору зворотного перетворення сигналу $\frac{\sum_{i=0}^{rows(inv)-1} (inv_i)^2}{rows(inv)} = 1.333 \times 10^3$

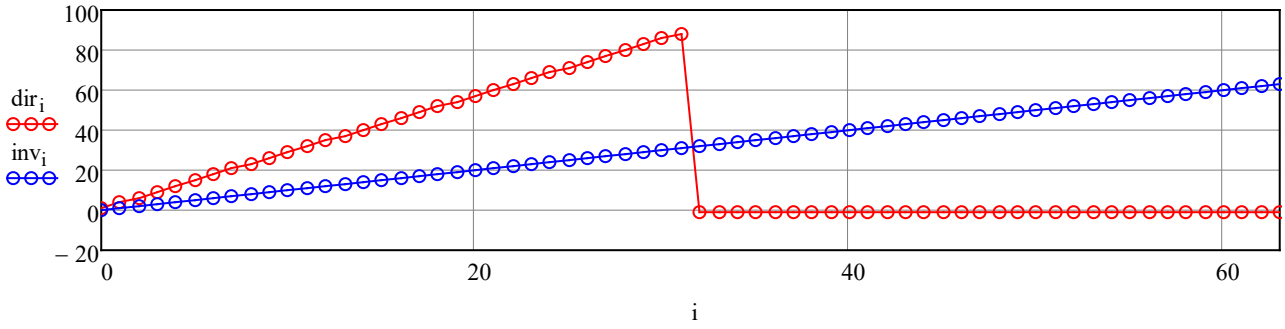


Рисунок 3.7 – Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.5$

Розрахувати значущу довжину вектору перетвореного сигналу $lim := floor(w \cdot rows(dir)) = 32$

Отримати значущий вектору перетворення сигналу $inpExp := submatrix(dir, 0, lim - 1, 0, 0)$

Згенерувати нульовий хвіст до вектору перетворення сигналу $tail := tailGen(dir, lim)$

Створити вектор для стиснення сигналу $inpExp := stack(inpExp, tail)$

Розрахувати питому енергію вектору передстиснутого сигналу

$$EinpExp := \frac{\sum_{i=0}^{rows(dir)-1} (inpExp_i)^2}{rows(dir)} = 1.333 \times 10^3$$

Розрахувати величину співвідношення питомих енергій векторів сигналів $\frac{EinpExp}{Edir} \cdot 100 = 99.981$

Зворотне перетворення Хаара передстиснутого сигналу $out := transformOneFullInv(inpExp, n)$

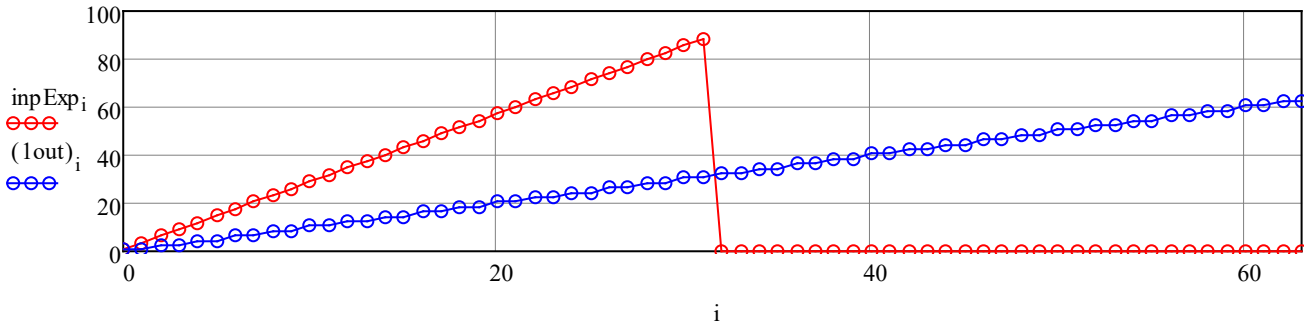


Рисунок 3.8 – Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

Встановимо максимально можливу глибину перетворення та поглянемо на результати.

Задати глибину перетворення $n := 6$

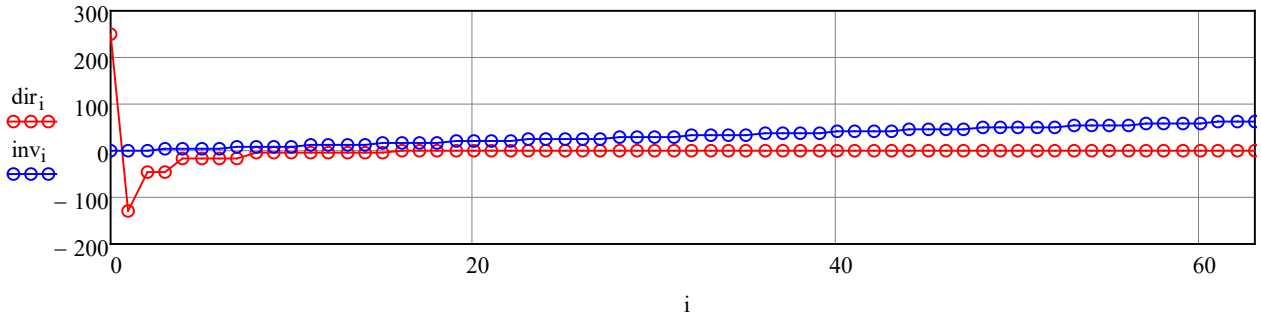


Рисунок 3.9 – Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

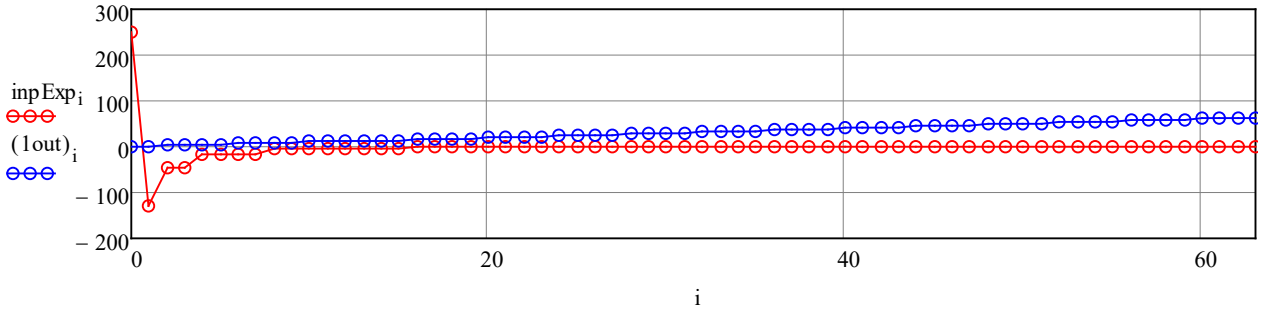


Рисунок 3.10 – Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

Розглянемо сигнал, утворений сумою двох гармонічних сигналів.

Задати довжину вектору (кількість елементів одновимірного масиву-стовбця) $M := 64$

Задати період гармонічного сигналу $T := 1$

Задати функцію гармонічного сигналу $y(t) := \sin\left(\frac{2\pi}{T}\cdot t\right) + \sin\left(\frac{4\pi}{T}\cdot t\right)$

Задати крок для відліків гармонічного сигналу $\Delta z := \frac{T}{M}$

Згенерувати вектор сигналу

$$x := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..M-1 \\ \quad x_i \leftarrow y(i\cdot\Delta z) \\ \text{return } x \end{array} \right.$$

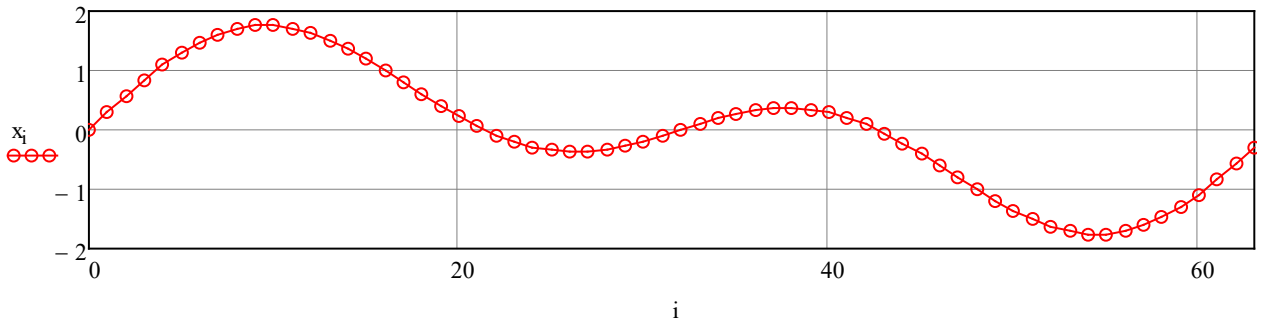


Рисунок 3.11 – Графік суми двох гармонічних сигналів

Розрахувати питому енергію сигналу $\frac{\sum_{i=0}^{rows(x)-1} (x_i)^2}{rows(x)} = 1$

Задати глибину перетворення $n := 1$

Пряме перетворення Хаара $dir := transformOneFullDir(x, n)$

Розрахувати питому енергію вектору прямого перетворення сигналу $Edir := \frac{\sum_{i=0}^{rows(dir)-1} (dir_i)^2}{rows(dir)} = 1$

Зворотне перетворення Хаара $inv := transformOneFullInv(dir, n)$

Розрахувати питому енергію вектору зворотного перетворення сигналу $\frac{\sum_{i=0}^{rows(inv)-1} (inv_i)^2}{rows(inv)} = 1$

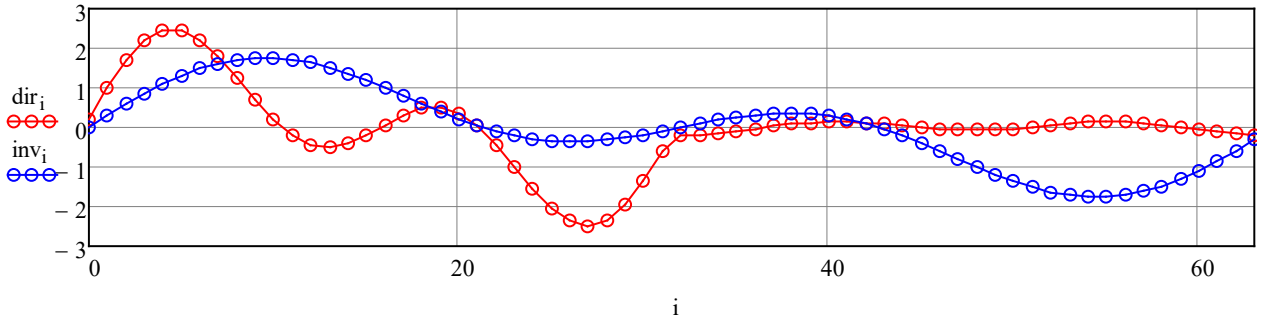


Рисунок 3.12 – Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.5$
Розрахувати значущу довжину вектору перетвореного сигналу $lim := floor(w \cdot rows(dir)) = 32$
Отримати значущий вектору перетворення сигналу $inpExp := submatrix(dir, 0, lim - 1, 0, 0)$
Згенерувати нульовий хвіст до вектору перетворення сигналу $tail := tailGen(dir, lim)$
Створити вектор для стиснення сигналу $inpExp := stack(inpExp, tail)$

Розрахувати питому енергію вектору передстиснутого сигналу $EinpExp := \frac{\sum_{i=0}^{rows(dir)-1} (inpExp_i)^2}{rows(dir)} = 0.994$

Розрахувати величину співвідношення питомих енергій векторів сигналів $\frac{EinpExp}{Edir} \cdot 100 = 99.399$

Зворотне перетворення Хаара передстиснутого сигналу $out := transformOneFullInv(inpExp, n)$

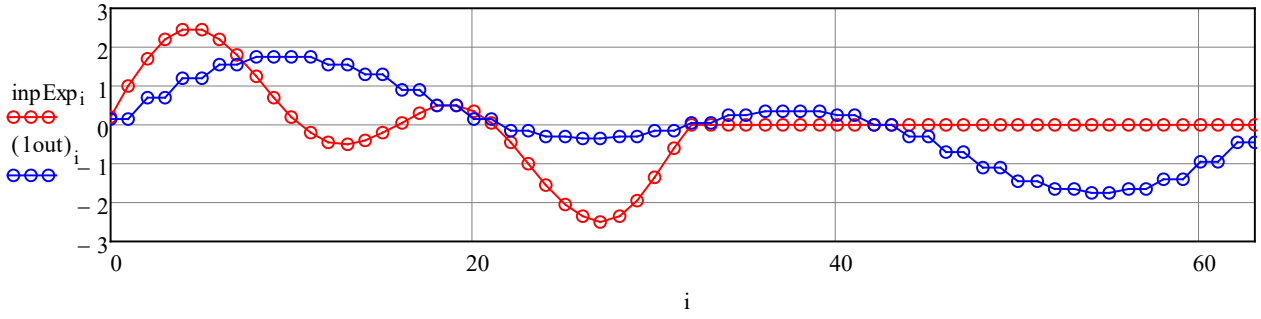


Рисунок 3.13 – Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

Встановимо максимально можливу глибину перетворення та поглянемо на результати.

Задати глибину перетворення $n := 6$

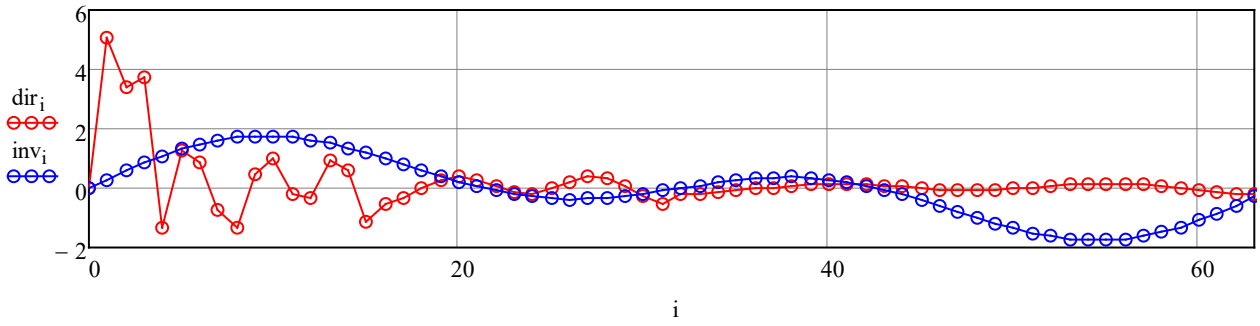


Рисунок 3.14 − Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

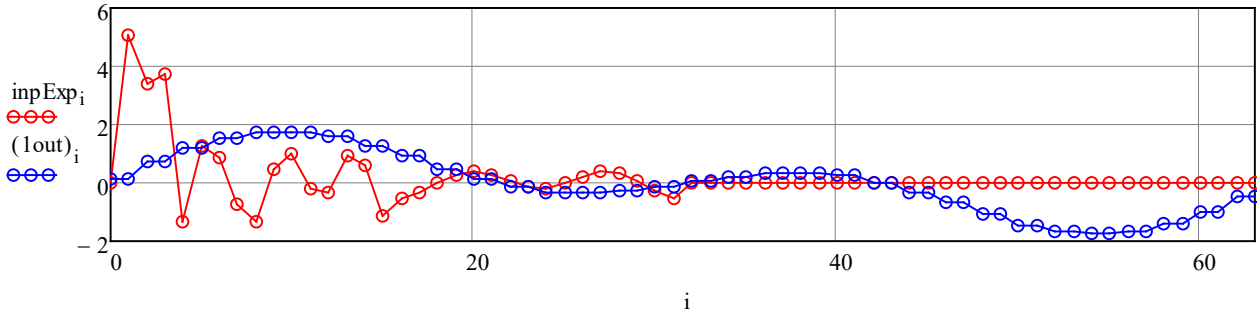


Рисунок 3.15 − Графіки результуючих векторів прямого та зворотного перетворень Хаара

На основі одновимірного перетворення Хаара створюється перетворення даних у формі квадратних матриць. З цією метою розроблено ряд макросів, зібраних в листінгу 3.2.

Листінг 3.2 − Сукупність макросів, необхідних для перетворення Хаара двовимірних сигналів

Макрос виконує пряме перетворення Хаара на задану глибину всіх стовбців двовимірної матриці цифрового сигналу (зображення).

x-двовимірної матриці коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу;
n-глибина перетворення.

$$\text{transOneDir}(x,n) := \left| \begin{array}{l} \text{row} \leftarrow \text{rows}(x) - 1 \\ \text{for } i \in 0..\text{row} \\ \quad z^{\langle i \rangle} \leftarrow \text{transformOneFullDir}\left(x^{\langle i \rangle}, n\right) \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос виконує пряме перетворення Хаара на задану глибину двовимірної матриці цифрового сигналу (зображення).

x-двовимірної матриці цифрового сигналу;
n-глибина перетворення.

$$\text{transOneFullDir}(x,n) := \left| \begin{array}{l} z \leftarrow \text{transOneDir}(x,n) \\ z \leftarrow \text{transOneDir}\left(z^{T}, n\right) \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос виконує зворотне перетворення Хаара на задану глибину всіх стовбців двовимірної матриці коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу (зображення).

x-двовимірної матриці коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу;
n-глибина перетворення.

$$\text{transOneInv}(x,n) := \left| \begin{array}{l} \text{row} \leftarrow \text{rows}(x) - 1 \\ \text{for } i \in 0..\text{row} \\ \quad z^{\langle i \rangle} \leftarrow \text{transformOneFullInv}\left(x^{\langle i \rangle}, n\right) \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрос виконує зворотне перетворення Хаара на задану глибину двовимірної матриці коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу (зображення).

x-двовимірної матриці коефіцієнтів перетворення цифрового сигналу;
n-глибина перетворення.

$$\text{transOneFullInv}(x,n) := \left| \begin{array}{l} z \leftarrow \text{transOneInv}(x,n) \\ z \leftarrow \text{transOneInv}\left(z^{T}, n\right) \\ \text{return } z \end{array} \right.$$

Макрорс формує одновиміірний вектор із стовбців двовимірної матриці коефіцієнтів перетворення Хаара цифрового зображення. .

x-матриця коефіцієнтів перетворення Хаара цифрового зображення.

```
expand(x) := | N ← cols(x) − 1
             | y ← x^⟨0⟩
             | for i ∈ 1..N
             |   y ← stack(y, x^⟨i⟩)
             | return y
```

Макрорс формує двовимірну матрицю коефіцієнтів перетворення Хаара цифрового зображення з одновиміірного вектору по стовбцях.

x-одновиміірний вектор коефіцієнтів перетворення Хаара цифрового зображення.

```
collapse(x) := | lim ← 2^(log(rows(x),2)/2)
               | len ← lim − 1
               | for i ∈ 0..len
               |   y^⟨i⟩ ← submatrix[x, i·lim, (i+1)·lim − 1, 0, 0]
               | return y
```

Для випробувань слід створити прототип зображення у формі числової квадратної матриці, елементи якої будуть знаходитися в діапазоні від 0 до 255, що відповідає моделі градацій сірого.

Для цього знадобляться макроси, що наведені в листінгу 3.3.

Листінг 3.3 − Сукупність макросів, необхідних для створити прототип зображення в градаціях сірого

Макрос реалізує послідовний циклічний зсув одновимірного вектору.

x-вхідний одновимірний вектор.

```
Shift(x) := | N ← rows(x) − 1
            | inp ← x_N
            | for i ∈ N..1
            |   x_i ← x_(i−1)
            | x_0 ← inp
            | return x
```

Макрос віддзеркалює рядки матриці та проводить транспонування матриці результату..

q-вхідна двовимірна матриця.

```
mirror(q) := | N ← rows(q) − 1
             | for i ∈ 0..N
             |   p^⟨i⟩ ← q^⟨N−i⟩
             | return p^T
```

Проведемо обробку тестового зображеннч.

Створюю тестову картинку

```
M := 64
x := | for i ∈ 0..M − 1
     |   x_i ← i·4
     | return x
z := | for i ∈ 0..M − 1
     |   | z^⟨i⟩ ← x
     |   | x ← Shift(x)
     | return z
z_1 := mirror(z)
z_2 := mirror(z_1)
z_3 := mirror(z_2)
q := stack(augment(z, z_1), augment(z_3, z_2))
```



Рисунок 3.16 − Тестова картинка

Визначити висоту картинки $row := rows(q)$

Розрахувати питому енергію картинки $Eq := \frac{\sum_{i=0}^{row-1}\sum_{j=0}^{row-1}\left(q_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 2.134 \times 10^4$

Задати глибину перетворення $n := 1$

Пряме перетворення Хаара $p := transOneFullDir(q, n)$



Рисунок 3.17 – Матриця коефіцієнтів прямого перетворення Хаара тестової картинки

Розрахувати питому енергію перетвореної картинки $Ep := \frac{\sum_{i=0}^{row-1} \sum_{j=0}^{row-1} \left(p_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 2.134 \times 10^4$

Зформувати одновимірний вектор з перетвореної картинки $pChan := expand(p)$

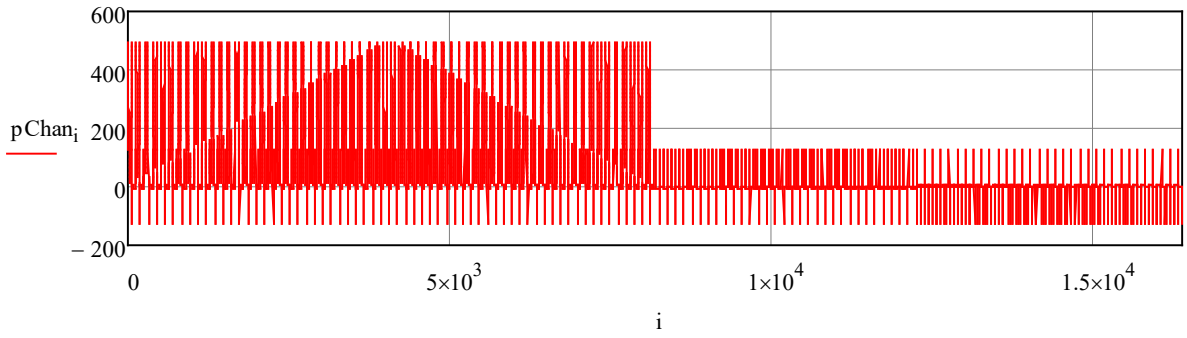


Рисунок 3.18 – Графік одновимірного вектору з перетвореної тестової картинки

Розрахувати питому енергію вектору передстиснутого сигналу

$$EinpExp := \frac{\sum_{i=0}^{rows(pChan)-1} \left(pChan_i\right)^2}{rows(pChan)} = 2.134 \times 10^4$$

Підготувати дані для зворотного перетворення Хаара $pNew := collapse(pChan)$

Зворотне перетворення Хаара $b := transOneFullInv(pNew, n)$



Рисунок 3.19 – Відновлена тестова картинка

Розрахувати питому енергію відновленої картинки $Eb := \frac{\sum_{i=0}^{row-1}\sum_{j=0}^{row-1}\left(b_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 2.134 \times 10^4$

Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.5$

Розрахувати значущу довжину вектору перетвореного сигналу $lim := floor(w \cdot rows(pChan)) = 8.192 \times 10^3$

Отримати значущий вектору перетворення сигналу $inpExp := submatrix(pChan, 0, lim - 1, 0, 0)$

Згенерувати нульовий хвіст до вектору перетворення сигналу $tail := tailGen(pChan, lim)$

Створити вектору для стиснення сигналу $inpExp := stack(inpExp, tail)$

Розрахувати питому енергію вектору передстиснутого сигналу

$$Edir := \frac{\sum_{i=0}^{rows(inpExp)-1}\left(inpExp_i\right)^2}{rows(inpExp)} = 2.108 \times 10^4$$

Розрахувати величину співвідношення питомих енергій вектору сигналів $\frac{Edir}{EinpExp} \cdot 100 = 98.819$

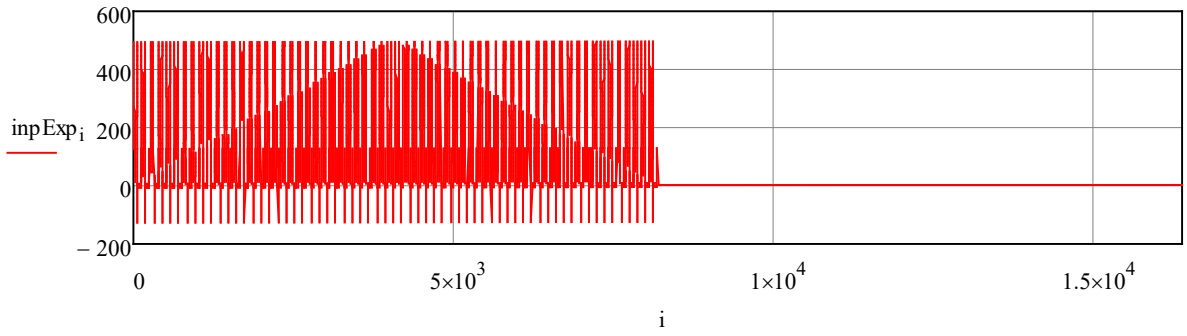


Рисунок 3.20 – Графік скороченого одновимірного вектору з перетвореної тестової картинки

Підготувати дані для зворотного перетворення Хаара $pNew := collapse(inpExp)$

Зворотне перетворення Хаара $b := transOneFullInv(pNew, n)$



Рисунок 3.21 – Відновлена тестова картинка по скороченому вектору даниих

Задати глибину перетворення $n := 6$

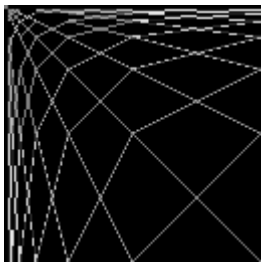


Рисунок 3.22 − Матриця коефіцієнтів прямого перетворення Хаара тестової картинки

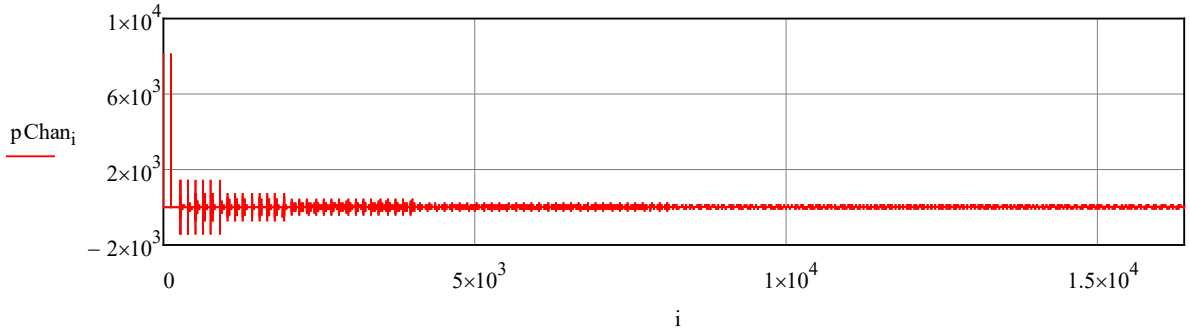


Рисунок 3.23 − Графік одновимірного вектору з перетвореної тестової картинки



Рисунок 3. 24 − Відновлена тестова картинка

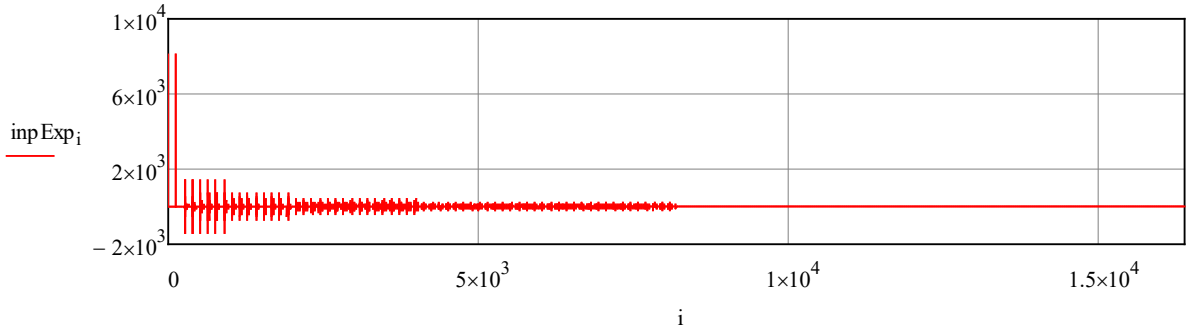


Рисунок 3.25 − Графік скороченого одновимірного вектору з перетвореної тестової картинки



Рисунок 3.26 − Відновлена тестова картинка по скороченому вектору даних

пакет макросів для моделювання процесу стиснення цифрових сигналів та зображень розроблено. Тепер його можна використати для обробки реальних як чорно-білих так і кольорових картинок.

4 РОЗРОБКА ТА ВИПРОБУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СТИСНЕННЯ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Проведемо випробування моделі стиснення на прикладах чорно-білих та кольорових зображень, які зберігаються в пам'яті комп'ютера у файлах відповідного графічного формату.

Почнемо з чорно-білих зображень. Першим буде зображення, що зберігається в файлі з іменем "images128.jpg".

Зчитати картинку з файлу $pict := READ_IMAGE("images128.jpg")$

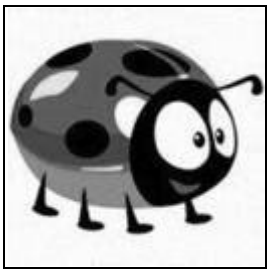


Рисунок 4.1 − Чорно-біле зображення для обробки

Визначити висоту картинки $row := rows(pict)$

Розрахувати питому енергію картинки $Epict := \frac{\sum_{i=0}^{row-1}\sum_{j=0}^{row-1}\left(pict_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 3.835 \times 10^4$

Створити негативне зображення картинки $pictNeg := 255 - pict$

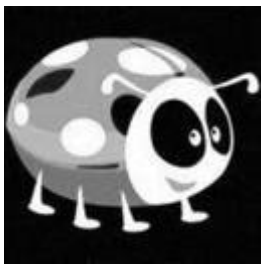


Рисунок 4.2 − Чорно-біле зображення для обробки, перетворене на негатив

Розрахувати питому енергію негативної картинки $Epict := \frac{\sum_{i=0}^{row-1}\sum_{j=0}^{row-1}\left(pictNeg_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 1.64 \times 10^4$

Задати глибину перетворення $n := 1$

Пряме перетворення Хаара $pictDir := transOneFullDir(pictNeg, n)$

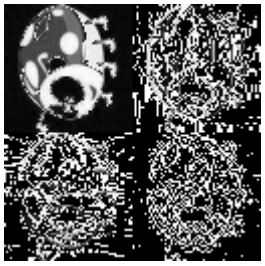


Рисунок 4.3 – Зображення матриці коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого

Розрахувати питому енергію перетвореної картинки $Ep := \frac{\sum_{i=0}^{row-1} \sum_{j=0}^{row-1} \left(pictDir_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 1.64 \times 10^4$

Зформувати одновимірний вектор з перетвореної картинки $pChan := expand(pictDir)$

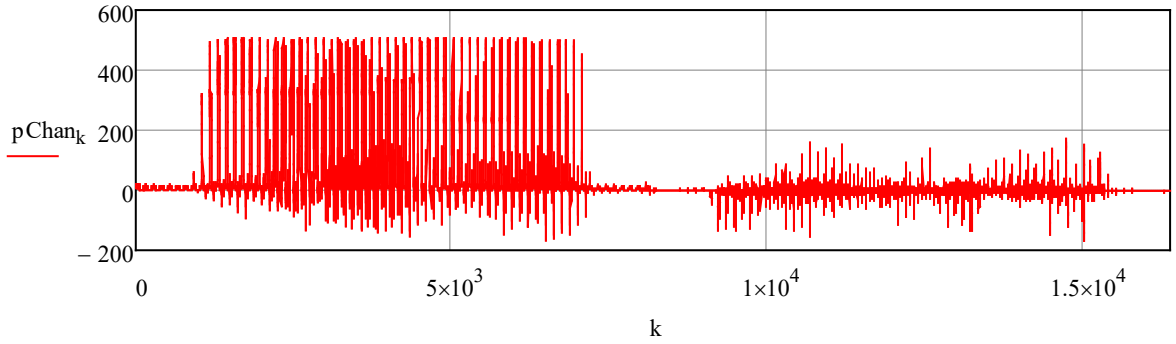


Рисунок 4.4 – Графік одновимірного вектору коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення

Розрахувати питому енергію вектору передстиснутого сигналу

$$EinpExp := \frac{\sum_{i=0}^{rows(pChan)-1} \left(pChan_i\right)^2}{rows(pChan)} = 1.64 \times 10^4$$

Підготувати дані для зворотного перетворення Хаара $pNew := collapse(pChan)$

Зворотне перетворення Хаара $pictInv := transOneFullInv(pNew, n)$



Рисунок 4.5 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару негативне чорно-біле зображення

Розрахувати питому енергію відновленої картинки $Eb := \dfrac{\sum_{i=0}^{row-1}\sum_{j=0}^{row-1}\left(pictInv_{i,j}\right)^2}{row \cdot row} = 1.64 \times 10^4$

Повернути позитивне зображення картинки $pictPoz := 255 - pictInv$

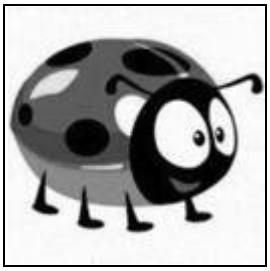


Рисунок 4.6 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару первинне чорно-біле зображення

Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.5$

Розрахувати значущу довжину вектору перетвореного сигналу $lim := floor(w \cdot rows(pChan)) = 8.192 \times 10^3$

Отримати значущий вектору перетворення сигналу $inpExp := submatrix(pChan, 0, lim - 1, 0, 0)$

Згенерувати нульовий хвіст до вектору перетворення сигналу $tail := tailGen(pChan, lim)$

Створити вектор для стиснення сигналу $inpExp := stack(inpExp, tail)$

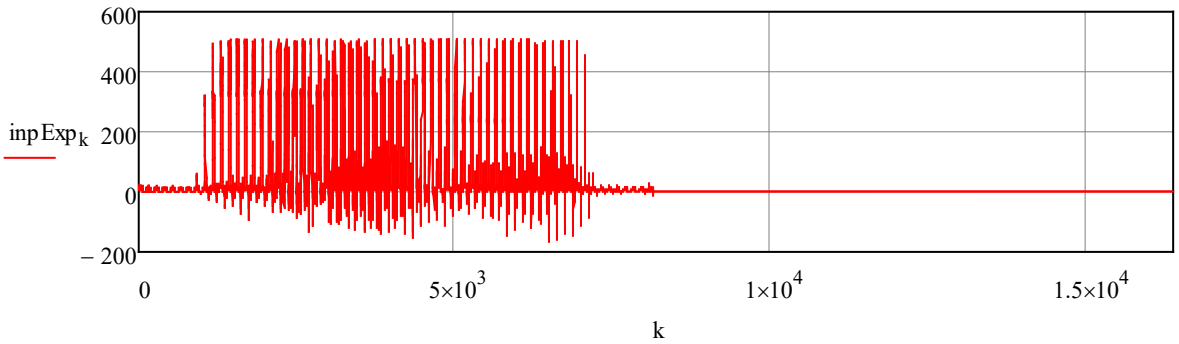


Рисунок 4.7 − Графік усіченого вектору коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення (коефіцієнт усічення 0,5)

Розрахувати питому енергію вектору передстиснутого сигналу

$$Edir := \frac{\sum_{i=0}^{rows(pChan)-1} \left(inpExp_i\right)^2}{rows(pChan)} = 1.624 \times 10^4$$

Розрахувати величину співвідношення питомих енергій вектору сигналів $\frac{Edir}{EinpExp} \cdot 100 = 99.026$

Підготувати дані для зворотного перетворення Хаара $pNew := collapse(inpExp)$

Зворотне перетворення Хаара $pictInv := transOneFullInv(pNew, n)$



Рисунок 4.8 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару стиснуте негативне чорно-біле зображення

Повернути позитивне зображення картинки $pictPoz := 255 - pictInv$

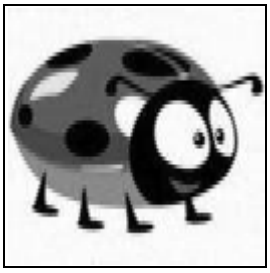


Рисунок 4.9 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару стиснуте первинне чорно-біле зображення

Задамо максимально можливу для даного зображення глибину перетворення.

Задати глибину перетворення $n := 6$

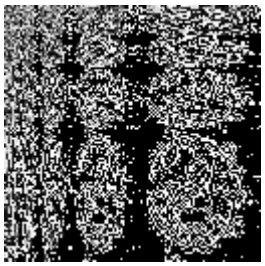


Рисунок 4.10 − Зображення матриці коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення

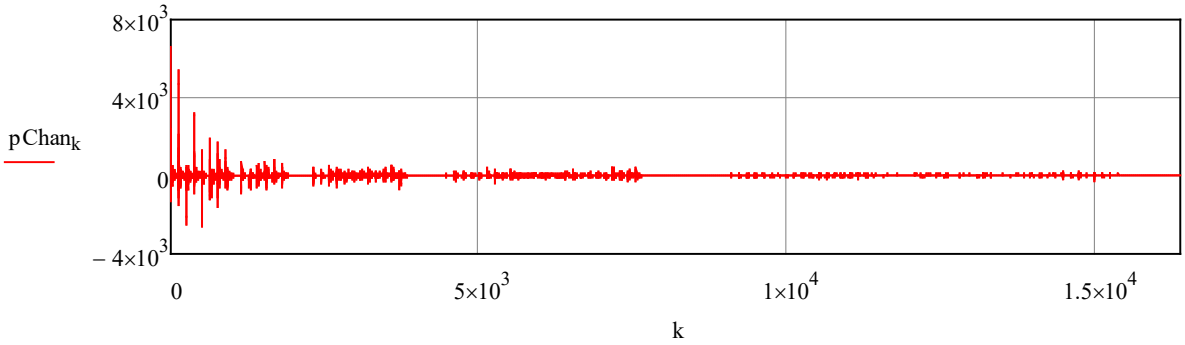


Рисунок 4.11 − Графік одновимірного вектору коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення

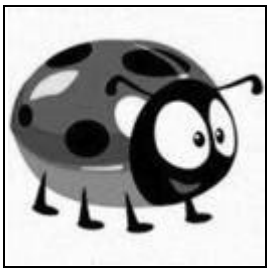


Рисунок 4.12 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару первинне чорно-біле зображення

Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.5$

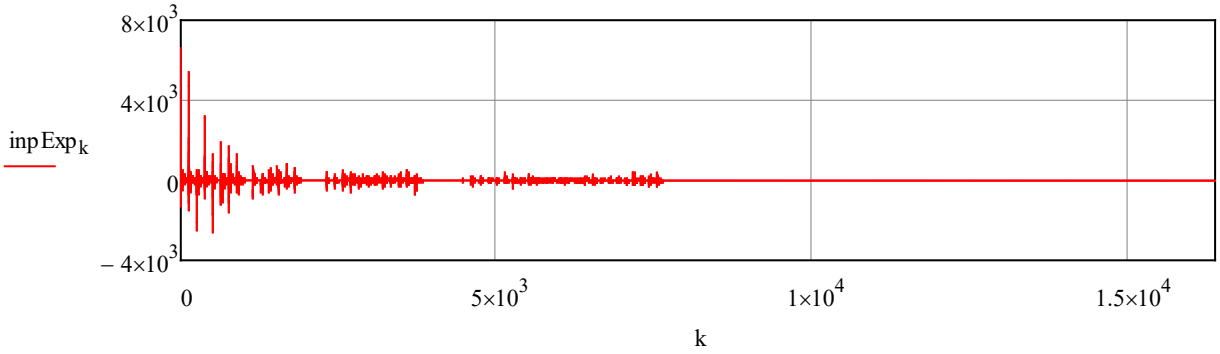


Рисунок 4.13 − Графік усіченого вектору коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення (коефіцієнт усічення 0,5)

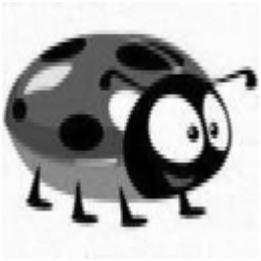


Рисунок 4.14 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару стиснуте первинне чорно-біле зображення

Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.25$

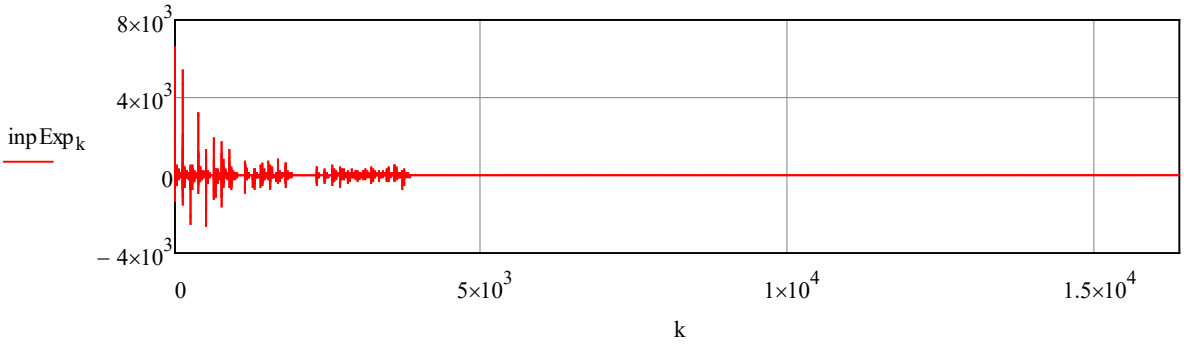


Рисунок 4.15 − Графік усіченого вектору коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення (коефіцієнт усічення 0,25)



Рисунок 4.16 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару стиснуте первинне чорно-біле зображення

Другим буде чорно-біле фотографічне зображення, що зберігається в файлі з іменем "black-white-02.jpg".

Зчитати картинку з файлу pict := READ_IMAGE("black-white-02.jpg")



Рисунок 4.17 − Чорно-біле фотографічне зображення для обробки



Рисунок 4.18 − Чорно-біле зображення для обробки, перетворене на негатив

Це зображення буде оброблено через проміжне перетворення в негатив.

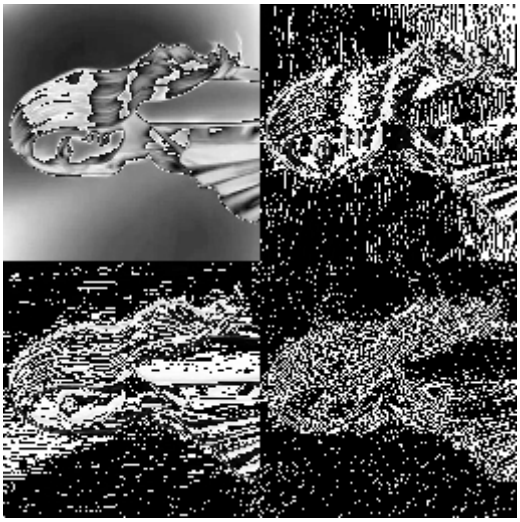


Рисунок 4.19 − Зображення матриці коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення

Відновлення без стиснення



Відновлення після стиснення



Рисунок 4.20 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару чорно-біле фотографічне зображення

Задамо максимально можливу для даного зображення глибину перетворення.

Задати глибину перетворення $n := 7$

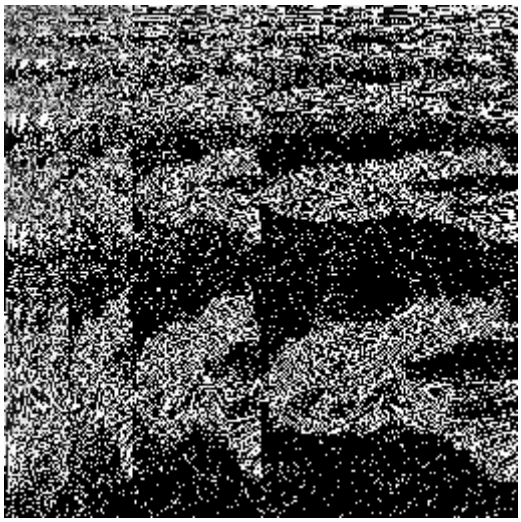


Рисунок 4.21 − Зображення матриці коефіцієнтів прямого перетворення Хаара негативу чорно-білого зображення

Відновлення без стиснення



Відновлення після слабкого стиснення



Відновлення після помірного стиснення



Відновлення після сильного стиснення



Рисунок 4.22 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару чорно-біле фотографічне зображення

Стиснення кольорового зображення за допомогою перетворення Хаара відбувається за тим ж принципом, що чорно-білого. Кольорова модель RGB передбачає композицію трьох зображень у форматі градацій сірого для відображення червоної (red), зеленої (green) та синьої (blue) складових кольорового зображення. Тому при стисканні треба розділити одне кольорове зображення та три чорно-білих, стиснути їх вже відомим способом за допомогою наявних макросів та потім з'єднати назад. В результаті буде стиснуте кольорове зображення.

Першим буде зображення, що зберігається в файлі з іменем "images.jpg".

Зчитати картинку з файлу $pictColor := READRGB("images.jpg")$



Рисунок 4.23 − Кольорове зображення для обробки

Виділити червону складову зображення

$$redColor := submatrix\left(pictColor, 0, rows(pictColor) - 1, 0, \frac{1}{3}\cdot cols(pictColor) - 1\right)$$

Виділити зелену складову зображення

$$\left(greenColor := submatrix\left(pictColor, 0, rows(pictColor) - 1, \frac{1}{3}\cdot cols(pictColor), \frac{2}{3}\cdot cols(pictColor) - 1\right)\right)$$

Виділити синю складову зображення

$$blueColor := submatrix\left(pictColor, 0, rows(pictColor) - 1, \frac{2}{3}\cdot cols(pictColor), cols(pictColor) - 1\right)$$



redColor
червона складова



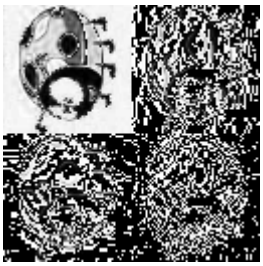
greenColor
зелена складова



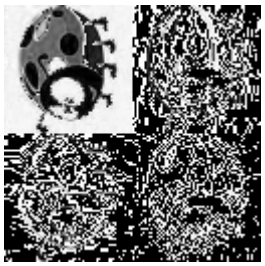
blueColor
синя складова

Рисунок 4.24 − Кольорові складові зображення

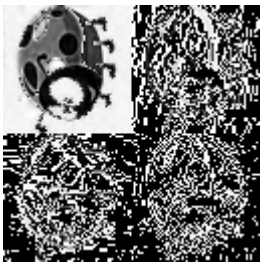
Коефіцієнти прямого перетворення Хаара



червона складова



зелена складова



синя складова

Відновлені зображення (зворотне перетворення Хаара)



redColor

червона складова



greenColor

зелена складова



blueColor

синя складова

Відновлене кольорове зображення (зворотне перетворення Хаара)



Рисунок 4.25 − Результати прямого та зворотного перетворень Хаара кольорових складових зображення

Проведемо стиснення даного кольорового зображення.

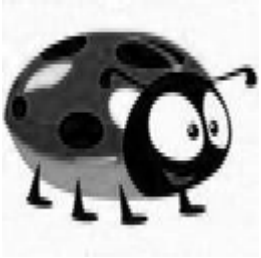
Задати множник для скорочення довжини вектору перетвореного сигналу $w := 0.5$

Відновлені зображення (зворотне перетворення Хаара)



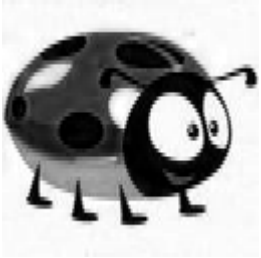
redCo

червона складова



greenCo

зелена складова



blueCo

синя складова

Відновлене кольорове зображення (зворотне перетворення Хаара)



redCo , greenCo , blueCo

Рисунок 4.26 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару стиснуте первинне кольорове зображення

Другим буде кольорове фотографічне зображення, що зберігається в файлі з іменем "black-white-02.jpg".



Рисунок 4.27 − Кольорове зображення для обробки

Зчитати картинку з файлу pictColor := READRGB("color-01.jpg")

Розділяємо зображення на RGB-складові кольору (рис. 4.27).



Red

червона складова



Green

зелена складова



Blue

синя складова

Рисунок 4.28 − Кольорові складові зображення

Результати стиснення кольорового фотографічного зображення, що обробляється, наведені на рис. 4.29.

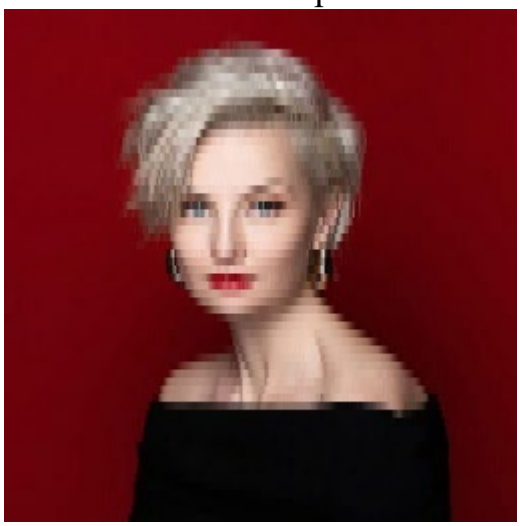
Відновлення без стиснення



Відновлення після слабкого стиснення



Відновлення після помірного стиснення



Відновлення після сильного стиснення

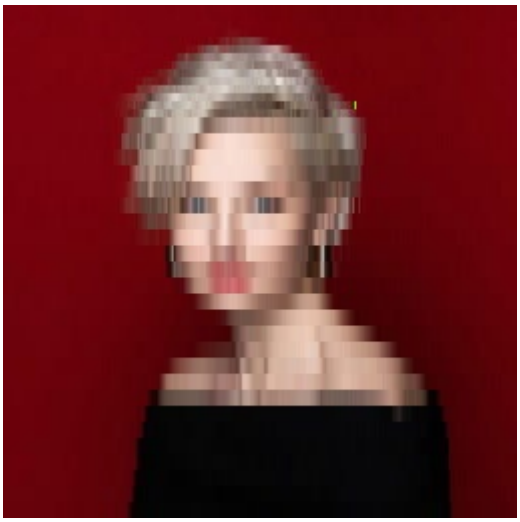


Рисунок 4.29 − Відновлене після зворотного перетворення Хаару кольорове фотографічне зображення

На рис. 4.16, рис. 4.20, рис. 4.22, рис. 4.26 та рис. 4.29 видно як ступень стиснення впливає на якість відновленого зображення.

ВИСНОВКИ

Економіка сучасного світу ґрунтується не тільки на використанні матеріальних ресурсів та людській праці для виробництва товарів та матеріальних благ. Потужним ресурсом стає інформація, великі обсяги якої потрібні в усіх галузях народного господарства. Відповідно з'явилася потреба в зберіганні та передаванні цих великих обсягів інформації. Саме для передавання інформації призначені розгалужені інформаційні мережі зв'язку.

Не зважаючи на те, що обладнання інформаційних мереж зв'язку невпинно покращується та набуває нових потужних можливостей, все одно не втрачає актуальності проблема усунення надлишковості даних інформаційних потоків, які треба передавати між абонентами та вузлами зв'язку. Стрімке зростання обсягів мультимедійного трафіку в сучасних мережах робить передачу нестиснених даних технічно та економічно недоцільною. Цифрові зображення володіють значною статистичною, просторовою та психовізуальною надлишковістю, усунення якої є головним завданням для підвищення пропускної здатності каналів зв’язку.

Робота присвячена використанню методу стиснення цифрових зображень методом перетворення Хаара з побудовою відповідної комп'ютерної моделі.

По результатах виконаної роботи можна сформулювати наступні висновки:

− цифрові способи уявлення дозволяють представити для обробки та передавання інформаційних потоків будь-якої природи, в тому числі візуальної;

− методи стиснення інформаційних потоків при передаванні по каналах сучасних мереж зв'язку не втрачають актуальності;

− методи стиснення з втратами візуальних даних мають значні переваги порівняно з іншими;

− стиснення кольорових зображень є розширенням методів стиснення зображень, утворених градаціями сірого;

− метод стиснення на основі перетворення Хаара має тісний зв'язок з алгеброю афінних перетворень комп'ютерної геометрії;

− метод стиснення на основі перетворення Хаара використовує прості арифметичні операції, що є його незаперечною перевагою;

− метод стиснення на основі перетворення Хаара може бути цілком реалізований засобами цифрової фільтрації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Прокис Дж. Цифровая связь [Текст]. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с. 1988, – 272 с.

2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

3. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра [Текст]. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

4. Цифровые и аналоговые системы передачи. В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов [Текст]. – М.: Радио и связь, 1996. – 369 с.

5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]. – М.: Высш. шк., 1988 – 448 с.

6. Прикладная теория кодирования: Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-39 01 01 «Радиотехника»/ Сост. Р.П. Богуш, А.В. Курилович; Под общей редакцией Р.П. Богуша. – Новополоцк: ПГУ, 2005. – 256 с.

7. Основы теории передачи информации. Ч. І. Экономное кодирование /В.И. Шульгин. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003

8. Основы теории передачи информации. Ч. 2. Помехоустойчивое кодирование /В.И. Шульгин. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003

9. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. − М.: Ралио и связь, 1985. − 384 с., ил.

10. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации/В.Б. Пестряков, В.П. Афанасьев, В.Л. Гурвич и др.; Под ред. В.Б. Пестрякова. − М.: Сов. ралио, 1973. − 424 с.

11. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 1, Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов [Текст]. – Новосибирск: Наука, 1998. – 415 с.

12. Скалин Ю.В. Цифровые системы передачи [Текст]. – М.: Радио и связь, 6. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 2, Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов [Текст]. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2000. – 387 с.

13. Методичні вказівки до дипломного проектування бакалаврів для студентів усіх форм навчання напряму 6.05903 «Телекомунікації» по кафедрі

«Мережі зв’язку» [Текст] / Упоряд. В.В.Ємельянов, Ю.М. Бідний, І.А. Філіппенко. – Харків: ХНУРЕ, 2009. – 36 с.