

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження методу кодування та захисту відеоданих
в інформаційних системах
(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання, групи ІМІм-23-2
Пушкарьов Р.Б.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Електронні комунікації
та радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф., д.т.н. Бараннік В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ Безрук В.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2025 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Здобувач _____ / Пушкарьов Р.Б. /
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник _____ / Бараннік В.В. /
(підпис) (прізвище, ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Пушкарьову Роману Борисовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методу кодування та захисту відеоданих в інформаційних системах

затверджена наказом університету від 28 жовтня 2024 р. № 1148 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 17 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідити напрями підвищення ефективності функціонування інформаційно-мережних систем. Вибрати показники якості та сформулювати критерії ефективності процесу стиснення та передачі відеоінформації. Дослідити методи скорочення надмірності в даних. Розробити метод статистичної обробки сукупності кодів-довжин.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
Вступ.

1. Обґрунтування необхідності і збільшення якості інформаційно-мережних систем.

2. Дослідження підходів щодо скорочення надмірності в даних.

3. Розробка методу статистичної обробки сукупності кодів-довжин.

Висновки.

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

Слайди у форматі Power Point (назва, мета і задачі роботи, основні результати роботи, висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	28.10.24	Виконано
2	Підбір літератури за темою роботи.	29.10 - 18.11.24	Виконано
3	Обґрунтування необхідності і збільшення якості інформаційно-мережних систем.	19.11 - 02.12.24	Виконано
4	Дослідження підходів щодо скорочення надмірності в даних.	03.12 - 16.12.24	Виконано
5	Розробка методу статистичної обробки сукупності кодів-довжин.	17.12 - 31.12.24	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	01.01 - 10.01.25	Виконано
7	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	11.01.25 - 17.01.25	Виконано

Дата видачі завдання 28 жовтня 2024 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф., д.т.н. Бараннік В.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 72 стор., 13 рис., 8 табл., 33 джерела.

Об'єкт дослідження – процеси кодування відеоданих в інформаційних системах для стиснення об'єму та захисту даних.

Предмет досліджень – метод кодування з використанням довжин серій для скорочення надмірності та захисту даних в інформаційних системах.

Мета роботи – удосконалення методу для скорочення обсягів даних, та їх захисту що постачаються та передаються в інформаційних системах (ІФС).

Метод дослідження – кодування довжин серій методом Хаффмана. Досліджуються статистичні характеристики довжин серій елементів зображень. Оцінюється коефіцієнт стиснення відеоданих для методу кодування довжин серій в залежності від класу зображень та методу компресії.

Розвиток інформаційно-мережних систем пов'язаний з розширенням мультимедійних додатків, що надаються як окремим користувачам, так і відомствам. При цьому темп зростання обсягів переданих по ІФС даних перевищує темп підвищення швидкості передачі по мережі. Це призводить до виникнення часових затримок у процесі доставки відеоданих в інформаційно-мережних системах. У свою чергу даний недолік є причиною того, що знижується достовірність інформації внаслідок її старіння і приймаються запізнілі рішення, які не відповідають дійсній обстановці. Окрім того, збільшуються ризики несанкціонованого доступу до корпоративних даних.

Тому актуальним є скорочення обсягів переданих по ІФС відеоданих та їх захист. Один з напрямків рішення полягає в стисненні відеоданих за рахунок скорочення надмірності з описом серій. Звідси виникає необхідність розробки і дослідження характеристик методів стиснення зображень.

КОДУВАННЯ БЕЗ ВТРАТ; СКОРОЧЕННЯ НАДМІРНОСТІ, ДОВЖИНИ СЕРІЙ, СПЕКТР ЗОБРАЖЕННЯ, ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ.

THE ABSTRACT

Explanatory note to degree work: 72 p., 13 fig., 8 tab., 33 sources.

The object of the study is the processes of encoding video data in information systems for volume compression and data protection.

Subject of research encoding method using series lengths to reduce redundancy and protect data in information systems.

The purpose of the work is to improve the method for reducing the amount of data supplied and transmitted in information systems (IFS).

The research method is the coding of series lengths by the Huffman method. The statistical characteristics of the lengths of series of image elements are investigated. The compression ratio of video data for the method of encoding series lengths is evaluated depending on the class of images and the compression method.

The development of information and network systems is associated with the expansion of multimedia applications provided to both individual users and departments. At the same time, the growth rate of the volume of data transmitted through the IFS exceeds the rate of increase in the speed of transmission over the network. This leads to time delays in the process of delivering video data in information and network systems. In turn, this drawback is the reason that the reliability of information decreases due to its aging and belated decisions are made that do not correspond to the actual situation. In addition, the risks of unauthorized access to corporate data are increasing.

Therefore, it is important to reduce the volume of video data transmitted through the IFS and protect them. One of the directions of the solution is to compress video data by reducing redundancy with series description. Hence the need to develop and study the characteristics of image compression methods.

LOSSLESS CODING; REDUCTION OF REDUNDANCY, SERIES LENGTHS, IMAGE SPECTRUM, INFORMATION PROTECTION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ І ЗБІЛЬШЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-МЕРЕЖНИХ СИСТЕМ	12
1.1 Дослідження напрямів підвищення ефективності функціонування інформаційно-мережних систем.....	12
1.2 Вибір показника якості та формулювання критерію ефективності процесу стиснення та передачі відеоінформації.....	19
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ НАДМІРНОСТІ В ДАНИХ	25
2.1 Дослідження особливостей функціонування методів скорочення надмірності відеоданих	25
2.2 Дослідження характеристик функціонування методів скорочення надмірності даних	41
2.3 Обґрунтування напряму вдосконалення процесів скорочення надмірності даних	44
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	44
3 РОЗРОБКА МЕТОДУ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ СУКУПНОСТІ КОДІВ-ДОВЖИН.....	46
3.1 Принцип формування довжин серій	46
3.2 Підхід до обрання порогу щодо величини код-довжина піксель-серії	48
3.3 Етапи префіксного кодування сукупностей код-довжин піксель-серій за методом Хаффмана.....	51
3.4. Порівняння розробленого методу з методом код-довжин серій за коефіцієнтом стиснення відеозображень	55

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ІФС - інформаційні системи

ДКП - дискретне косинус перетворення

ЕОМ - електронні обчислювальні машини

ТКС - телекомунікаційні системи

ВСТУП

Протягом останніх двадцяти років спостерігається стрімке збільшення кількості використовуваних комп'ютерів, що супроводжується неухильним зростанням їх можливостей. Це призвело до значного розширення як кола користувачів ЕОМ, і сфери застосування комп'ютерів. Одночасний розвиток телекомунікаційних систем, зростання пропускнуєї спроможності та загальної кількості ліній зв'язку, поява та розвиток глобальних комп'ютерних мереж, в даний час доступних сотням мільйонів користувачів, викликали швидке збільшення обсягів інформації, що зберігається і передається. У зв'язку з зростанням глобальних мереж, що продовжується, і розширенням спектру наданих ними послуг при експоненційному зростанні числа користувачів мереж, а також успішно виконуваними проектами з перекладу в цифровий вигляд вмісту величезних сховищ інформації, зокрема бібліотек, виставкових залів і художніх галерей, слід очікувати, що обсяги інформації, що зберігається і передається по системах зв'язку, продовжуватимуть збільшуватися з такою ж або навіть ще більшою швидкістю. Таким чином, у зв'язку з безперервним збільшенням обсягу інформації, що накопичується у всіх галузях людської діяльності, все більшого значення набувають технології її компактного представлення.

Мета роботи полягає у розробці та дослідженні методу кодування серій для скорочення надмірності даних у системах передачі інформації. Особливого значення надається дослідженню підходів щодо збереження надмірності даних.

У першому розділі проаналізовано процеси збору, обробки, передачі та відображення інформації та визначено основні вимоги до них. Досліджується роль підсистем стиснення відеоданих в процесі вирішення завдань управління складними системами. Формулюється показник якості та критерій ефективності підсистем стиснення та передачі відеоданих.

У другому – досліджуються підходи щодо скорочення надмірності у даних. Проводиться аналіз існуючих методів стиснення відео. Розглядаються питання щодо ефективності систем кодування зображень. Досліджуються характеристики функціонування методів скорочення надмірності даних. Робиться висновок про можливість підвищення оперативності та достовірності доведення відеоінформації за рахунок скорочення надмірності зображень.

У третьому розділі розробляється метод стиснення зображень з урахуванням кодування довжин серій статистичними кодами. Розписуємо основні етапи побудови кодів Хаффмана щодо довжин серій з урахуванням особливостей того, що ці коди формуються саме для довжин серій та розробляємо методи декодування довжин серій. Визначаємо час кодування та передачі відеоінформації, стиснутої розробленим методом. Наводиться теоретичний та експериментальний аналіз ефективності системи, що базується на кодуванні довжин серій з урахуванням методу Хаффмана.

1 ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ І ЗБІЛЬШЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-МЕРЕЖНИХ СИСТЕМ

У розділі проаналізовано процеси збирання, обробки, передачі та відображення інформації та визначено основні вимоги до них. Досліджуються процеси стиснення відеоданих під час вирішення завдань управління складними системами. Формулюється показник критерій якості підсистем кодування та захисту передачі відеоданих.

1.1 Дослідження напрямів підвищення ефективності функціонування інформаційно-мережних систем

Один із підходів підвищення ефективності управлінської та експлуатаційної діяльності складних систем є підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) [1, 2, 3, 6, 10, 22, 23, 32]. Вони являють собою складний комплекс технічних та програмних засобів, в основу яких входять інформаційно-обчислювальні комплекси та обчислювальні мережі, що об'єднують ці комплекси. З використанням ІТС та обчислювальних засобів здійснюється управління рухомими та стаціонарними об'єктами та підсистемами. За допомогою обчислювальних мереж виконується обмін інформацією між обчислювальними засобами різних рівнів керування.

Однією з важливих ланок для складних систем є ланка оператор – інформаційно-обчислювальний комплекс (рис. 1.1) [5 – 15]. Від їхньої взаємодії залежить оперативність та правильність прийняття рішення оператором, продуктивність та безпека управління різними об'єктами та підсистемами. Тому необхідно підвищувати ефективність та якість функціонування ІТС, які залежать від того, як повно, достовірно та оперативно представлено поточну інформацію про стан об'єктів управління та контролю. Для цього необхідно розв'язати задачі [22]:

- *створити розвинену інфраструктуру*, тобто структура телекомунікаційної обчислювальної мережі повинна забезпечувати підготовку, передачу, зберігання, обробку та видачу інформації всім користувачам по всіх аспектах діяльності транспорту;

- *сформувати інформаційне середовище*, що включало структури даних, представлених у відповідних базах, доступних всім користувачам;

- *підвищити інформаційну ємність*, яка має задовольнити вимоги щодо інформаційного забезпечення всіх користувачів системи;

- *забезпечити необхідну достовірність та оперативність* інформації, що надається.

При створенні підсистем ІТС найважливішими питаннями, які необхідно вирішити насамперед, є питання отримання, формування та передачі [3, 17-19, 32]. Як джерела інформації у складних системах виступають датчики. З їх допомогою оператор отримує інформацію про стан об'єктів управління та контролю. Точність і надійність роботи датчиків багато в чому визначають можливість отримання достовірної інформації оператором складної системи [26, 28, 30, 33]. Збільшити можливість отримання інформації про стан об'єктів можна за рахунок:

- 1) підвищення чутливості та точності датчиків та якості каналів зв'язку;
- 2) збільшення кількості сенсорів отримання інформації, а, отже, і каналів зв'язку.

Якість каналу зв'язку можна підвищити за рахунок застосування завадостійкого кодування інформації, що передається з дискретних датчиків.

Як додаткові джерела інформації можуть застосовуватись датчики візуальної інформації про стан об'єктів. Застосування датчиків візуальної інформації розширює можливості контролю стану тих об'єктів, які не можна проконтролювати за допомогою інших датчиків. Наприклад, у разі розгляду як складної системи - системи управління стратегічно-важливими галузями, в тому числі залізничним транспортом такими об'єктами є [25, 33]: залізничний переїзд (контроль визволення переїзду автомобільним транспортом); штучні

будови (контроль справного стану); шляхи сортувального парку (контроль заповнення шляхів сортувального парку); номери вагонів (списування складу поїзда з натури); рухомий склад (здійснення комерційного та технологічного огляду); платформи та шляхи, що прилягають до платформ (контроль відсутності пасажирів на коліях) тощо.

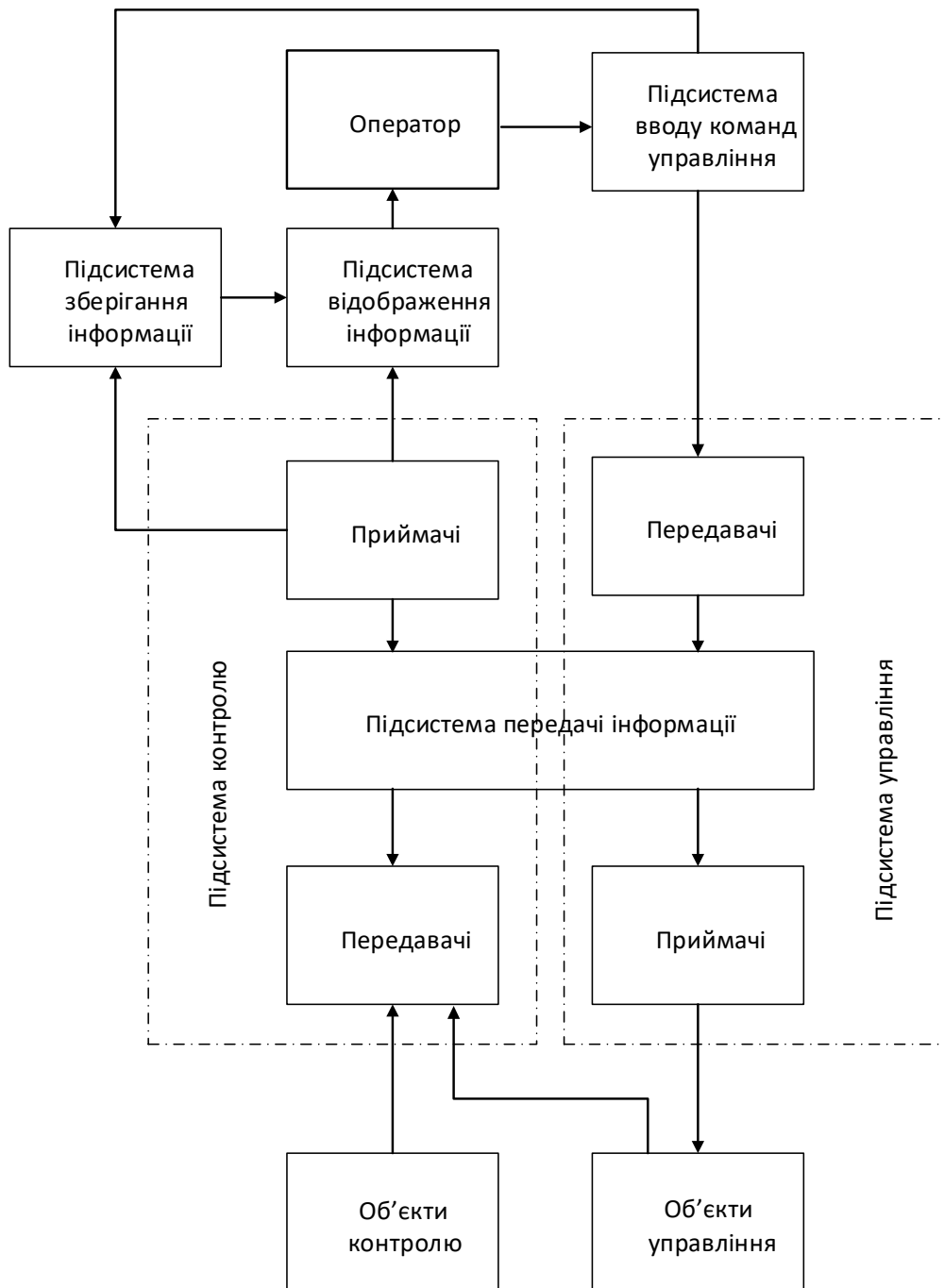


Рисунок 1.1 – Спрощена структурно-функціональна схема складної системи

Якщо використовувати в підсистемі контролю вимірювальні датчики та датчики корисної відеоінформації, необхідно визначити методи формування даних і потік даних. Під час передачі вимірювальної інформації спочатку виконується дискретизація сигналу та квантування. Квантування проводиться із заданою точністю, яка визначається залежно від вимог, що висуваються до конкретної прикладної задачі. Потік даних розраховується за допомогою виразу

$$W_{И_t} = \frac{1}{t_0} \log_2 A_{\max}, \quad (1.1)$$

де t_0 – час дискретизації;

A_{\max} – максимальна амплітуда аналогового сигналу, що вимірюється з датчика.

Найбільш розповсюдженим є растровий метод формування візуальної та графічної інформації. При растровому методі як повідомлення виступає блок даних, що містить інформацію про колір кожного пікселя, що подається у вигляді кодового еквівалента. Візуальна інформація подається, як кольорові (Color) зображення. Кольорові, у свою чергу, логічно поділяються на синтетичні та реалістичні зображення.

Растровий метод дозволяє широко використовувати як широкий спектр існуючих технологічних рішень. Місткість кадру зображення при растровому методі подання визначається виразом:

$$W_k = N_k \log_2 N_{Ц}, \quad (1.2)$$

де $N_{Ц}$ – кількість градацій яскравості або кількість відтінків кольорів, що використовуються в системі відображення;

N_k – кількість елементів відображення на екрані.

При передачі та відображенні відеоінформації, що динамічно змінюється, необхідно також враховувати час формування кадру зображення, яке визначається за формулою

$$t_{\phi} = \frac{1}{f_{\text{кр}}}, \quad (1.3)$$

де $f_{\text{кр}}$ – частота кадрової розгортки, значення якої визначається вимогами, що висуваються до пристрою відображення (табл. 1.1).

Знаючи час формування та інформаційну ємність кадру зображення, можна розрахувати потік відео в одиницю часу

$$W_{\text{вт}} = W_{\text{к}} t_{\phi}. \quad (1.4)$$

Застосування вимірювальних та візуальних датчиків інформації створює умови для підвищення інформативності систем управління складними системами, в тому числі які відносяться до критичної інфраструктури. Головним же недоліком використання додаткових датчиків інформації та цифрового способу подання відеоінформації є те, що цифровий обсяг даних може в кілька разів перевищувати пропускну здатність каналів передачі даних, що використовуються у існуючій інформаційній мережі. Хоча, наприклад, обчислювальні центри (центри управління) між собою можуть бути пов'язані прямими (виділеними) каналами, що забезпечують передачу інформації зі швидкостями порядку 100 – 10000 М біт/с.

Швидкість передачі даних, що застосовується в даний час і планується до використання в перспективі апаратури передачі даних (АПД), наведено в таблиці 1.2. Час, необхідний для передачі повнокольорових (24 бітний параметр візуалізації) зображень типових розмірів, за допомогою сучасної АПД, наведено у таблиці 1.3. Порівнюючи потоки інформації, наведені у табл. 1.1

швидкість передачі існуючих систем передачі інформації (табл. 1.2) і час передачі зображень (табл. 1.3) можна зробити висновок, що можливості цих систем не задовольняють вимогам сучасних технологій передачі інформації.

Заміна існуючих систем передачі інформації на сучасні волоконно-оптичні системи передачі інформації також не дозволить ефективно вирішити задачу передачі відеоінформації.

Таблиця 1.1 – Необхідні параметри приймачів в залежності від рівня якості зображення

Якісні рівні кольорового телебачення	Кількість рядків	Частота кадрів/сек	Середня швидкість потоку інформації (Мбіт/сек)
Підвищений (EDTV)	1250	50	6-8
Високий (HDTV)	1250	50	20-40
Full HD	1920 x 1080	1	49
4K Ultra HD	3840 x 2160	1	199

Маючи на увазі, що швидкість передачі даних обмежена, то для підвищення продуктивності систем передачі інформації необхідно застосовувати методи подання (кодування) інформації, що дозволяють зменшити обсяг даних, але зберігати змістовний обсяг інформації (контент). Розв'язання цього завдання нерозривно пов'язане з розробкою та застосуванням нових методів та засобів компактного представлення (кодування) даних.

Таблиця 1.2 – Швидкість передачі даних сучасних систем зв'язку

ІФС	Середня швидкість передачі	Дальність дії	Середовище передачі
IMT2020/5G	порядку 10 Гбіт/с	0,5-1 км	Бездротові, радіоканал
LTE-A	порядку 1 Гбіт/с	0,5-1 км	
WiMax2	порядку 1 Гбіт/с	0,5-1 км	
UMTS	2 Мбіт/с	10-15 км	
WiFi	150 Мбіт/с	до 3,5 км	
ADSL	24 Мбіт/с	до 0,9 км	

Таблиця 1.3 – Час передачі зображень, с

Швидкість передачі даних, біт/с	Об'єм відео з параметром візуалізації 24 біта, байт (розмір число точок по горизонталі x вертикалі)				
	921600 (640x480)	1440000 (800x600)	2230272 (1024x726)	5760000 (1600x1200)	9120000 (1900x1600)
9600	768	1200	1858,56	4800	7600
57344	128,57	200,89	311,14	803,57	1272,32
100000	73,72	115,2	178,42	460,8	729,6
131072	56,25	87,89	136,12	351,56	556,64
1000000	7,37	11,52	17,84	46,08	72,96
1572864	4,68	7,32	11,34	29,29	46,38
2000000	3,68	5,76	8,92	23,04	36,48
2097152	3,51	5,49	8,50	21,97	34,79
2147483	3,43	5,36	8,30	21,45	33,97
4000000	1,84	2,88	4,46	11,52	18,24

Стиснення даних дозволяє не тільки скоротити їх обсяг, а й мінімізувати час передачі інформації по каналах зв'язку та формування її графічної моделі у пристроях відображення у реальному масштабі часу. Застосування методів та засобів стиснення даних дозволить збільшити також продуктивність та якість загалом усієї інформаційної підсистеми та підсистеми зберігання інформації. На підтвердження цього можна навести приклади, подані в роботах [9, 18, 23, 39, 51, 56, 58], в яких розглянуті способи підвищення ефективності передачі інформації в телемеханічних системах за рахунок застосування методів компактного представлення даних.

1.2 Вибір показника якості та формулювання критерію ефективності процесу стиснення та передачі відеоінформації

У загальному вигляді вираз для показника якості $F_{\text{ПК}}$ процесу управління (прийняття рішення та доведення інформації по прямому та зворотному каналу зв'язку) має вигляд

$$F_{\text{ПК}} = f(k_{\text{ст}}, h, \mu_r, \mu_d, p_0, U_k, T_{\text{д.ін}}, T_{\text{д.доп}}, T_{\text{пр.ріш}}), \quad (1.5)$$

де $k_{\text{ст}}$ - значення коефіцієнта стиснення зображень;

h - кількісний показник якості відновленого зображення;

μ_r, μ_d - кількість обчислювальних витрат на стиснення та відновлення зображень;

p_0 - ймовірність випадкової події, що полягає в тому, що при передачі каналу зв'язку в розряді кодової комбінації виникне помилка;

$T_{\text{д.ін}}, T_{\text{д.доп}}, T_{\text{пр.ріш}}$ - відповідно час доведення інформації, доповідей та прийняття рішення;

U_k - швидкість передачі каналом зв'язку;

$f(\bullet)$ - деякий функціонал від параметрів процесу стиснення: $k_{\text{ст}}, h, \mu_r, \mu_d, p_0, U_k, T_{\text{д.ін}}, T_{\text{д.доп}}, T_{\text{пр.ріш}}$.

Визначимо вид функціоналу $f(\bullet)$ для процесу стиснення та передачі відеоінформації у складних системах. Рішення завдань управління полягає в отриманні інформації (збір та передача), її обробці та доведенні прийнятих рішень. При цьому безпомилкове та своєчасне вирішення завдань залежить від швидкості обробки та обміну інформацією між рівнями управління, її достовірності.

Розглянемо виведення показників, що характеризують безпомилковість та своєчасність вирішення завдань. Цикл управління у процесі функціонування

складних систем залежить від такої складової, як час T_{var} , складова $T_{var} = T_k + T_d + T_{пр./зп}$ є змінною величиною, яка залежить від процесу стиснення. Отже, показником якості процесу стиснення та передачі відеоінформації у складних системах є час T_{var} .

З іншого боку, для зниження ймовірності помилкового прийняття рішення (підвищення ймовірності правильного вирішення завдання управління) потрібно забезпечити заданий рівень достовірності одержуваної відеоінформації. У статистичній теорії зв'язку як показник достовірності інформації використовують значення відношення енергії сигналу до енергії шуму h (ОСШ) [20, 32, 33]. Тому як узагальнений показник ефективності функціонування інформаційної підсистеми виберемо часову складову T_{var} , а ОСШ буде використано як обмеження на можливі варіанти підсистем стиснення та передачі:

$$\begin{aligned} T_{var} &= T_k + T_d + T_{пр./зп}; \\ h &\geq h_3. \end{aligned} \tag{1.6}$$

де h - значення відношення сигнал/шум;

h_3 - задане значення відношення сигнал/шум.

В цьому разі витрати часу на пряме перетворення та зворотне обчислюються виразами:

$$T_k = v_k / U_{МП} \text{ і } T_d = v_d / U_{МП},$$

де v_k , v_d – середня кількість апаратно-програмних операцій на пряму та зворотну обробку відповідно;

$U_{МП}$ - швидкодія мікропроцесора (МП).

Оцінка витрат часу T_{Π} передачі компактного-зображення обсягом V_k визначається, як:

$$T_{\Pi} = v_k / U_{\text{ПК}} \quad (1.7)$$

де v - кількість кодо-слотів у компакт-зображенні;

$U_{\text{ПК}}$ - швидкість передачі каналом зв'язку (виражається як число біт за секунду).

Тоді, коефіцієнт стиснення $k_{\text{ст}}$ знаходиться за формулою

$$k_{\text{ст}} = \frac{V_{\text{вих}}}{V_k}, \quad (1.8)$$

де $V_{\text{вих}}$ - вихідне зображення.

Розглянемо випадкову подію, що полягає в тому, що значення величини сигналу на вході системи передачі дорівнює x . Дисперсія сигналу дорівнює σ_x^2 . Введемо на розгляд випадкову подію, яка полягає в тому, що в результаті перешкод у процесі квантування, стиснення та передачі каналом зв'язку на приймальній стороні значення сигналу дорівнюватиме x^* . Відповідно до цього сформулюємо випадкову величину e як похибку, що дорівнює різниці між вихідним x і відновленим x^* сигналами. Дисперсія $D[e]$ випадкової величини e дорівнює

$$D[e] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (e_{ij} - m[e])^2}{n^2 - 1}, \quad (1.9)$$

де $e_{ij} = x_{ij} - x_{ij}^*$;

$m[e]$ - математичне очікування випадкової величини e .

Перетворимо формулу (1.14) на вигляд

$$D[e] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij}^2}{n^2 - 1} - \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 - 1} \right) m[e]. \quad (1.10)$$

При цьому на правильність розпізнавання зображень переважно впливає величина відносного відхилення відновленого елемента від вихідного. Тому найбільший інтерес становить перша частина виразу (1.15):

$$\sigma_{\text{ш}}^2 = D[e] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij}^2}{n^2 - 1} = \frac{1}{n^2 - 1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{ij}^*)^2. \quad (1.11)$$

Значення відношення сигнал/шум (ОСШ) h на виході підсистеми передачі даних дорівнює

$$h = 10 \lg \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{\text{ш}}^2}. \quad (1.12)$$

З урахуванням незалежності появи подій (помилки квантування, стиснення та каналу зв'язку) сумарна дисперсія $\sigma_{\text{ш}}^2$ похибок дорівнюватиме [92, 115]:

$$\sigma_{\text{ш}}^2 = \sigma_{\text{кв}}^2 + \sigma_{\text{ст}}^2, \quad (1.13)$$

де $\sigma_{\text{кв}}^2$, $\sigma_{\text{ст}}^2$ - дисперсії величин похибок, що вносяться відповідно до шумів квантування, незворотністю процесу стиснення (якщо стиснення цифрового масиву проводиться без втрат, то $\sigma_{\text{ст}}^2 = 0$).

Сформулюємо критерій ефективності процесу стиснення та передачі відеоінформації.

З безлічі порівнюваних методів, що задовольняють обмеження на ОСШ більш ефективним (переважним) є той метод, для якого час обробки та передачі менший, тобто $T_{\text{var}}=T(\mathbf{h})_{\text{min}}$:

$$T(\mathbf{h})_{\text{min}} = \min_{1 \leq j \leq \Psi} \{T(\mathbf{h})_{\text{var}_j}\} \quad (1.14)$$

$$\mathbf{h} \leq \mathbf{h}_3,$$

де $T(\mathbf{h})_{\text{min}}$ - мінімальний час, що витрачається на обробку та передачу даних;

$T(\mathbf{h})_{\text{var}}$ - сумарний час обробки та передачі даних для j -го методу стиснення;

Ψ - кількість порівнюваних методів стиснення;

Таким чином, вибрано показник якості та сформульовано критерій ефективності процесу стиснення та передачі відеоінформації.

Аналіз існуючих методів за вибраним критерієм ефективності розглядається у наступному розділі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

На основі аналізу представленого матеріалу можна зробити такі висновки:

1. Час та правильність розв'язання завдань управління у складних системах залежить від часу обробки та передачі інформації, її достовірності.

2. Скорочення часових витрат на кодування, захист та транспортування інформації в інформаційних мережах може бути досягнуто шляхом використання процесів ком пакт-перетворення цифрованих відеопотоків. Це ґрунтується на можливості скорочення різних видів надмірності відеоданих в

реальному часі з обмеженими похибками. Також потрібно враховувати, що незважаючи на необхідність використання для стиснення зображень методів без втрати якості, вони мають гірші характеристики в порівнянні з методами стиснення зі втратою якості.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ НАДМІРНОСТІ В ДАНИХ

У цьому розділі наведено класифікацію методів кодування зображень. Проводиться аналіз існуючих методів стиснення відео. Розглядаються питання щодо ефективності систем кодування зображень, а також дослідження характеристик функціонування методів скорочення надмірності даних. Робиться висновок про можливість підвищення ефективності часових характеристик та якості відеоінформації за рахунок зниження просторової надмірності відеозображень.

2.1 Дослідження особливостей функціонування методів скорочення надмірності відеоданих

Класифікація цифрових систем кодування зображень може бути проведена різними способами, такими як:

1. Категорія зображуваних об'єктів:

- сцени природного походження;
- документація, візуалізовані дані.

2. Фотометричний зміст зображень:

- одноколірні зображення;
- кольорові зображення;
- спектрональні зображення.

3. Шкала рівнів яскравості:

- дво-градаційні зображення;
- багатоградаційні зображення.

4. Категорія засобів обробки сигналів:

- аналогові системи обробки;

- цифрові системи обробки.
5. Метод обробки сигналів:
- рядкова (одномірна) обробка;
 - внутрішньокадрова (двовимірна) обробка;
 - міжкадрова (тривимірна) обробка.

Також можлива класифікація методів кодування за принципом усунення надмірності інформації. Розрізняють такі види надмірності:

1. Смыслова надмірність. У цьому випадку цікавить змістовий зміст зображення [3, 36].

2. Імовірно-статистична надмірність – обумовлена наявністю імовірно-статистичних особливостей в пікселях зображень.

3. Візуальна надмірність. Це особливості чутливості характеристик зорової системи людини щодо аналізу типових сцен зображень.

4. Структурна надмірність стосується особливостей опису структурних параметрів сцен відеозображень. Звісно для цього залучаються математичні функції.

З технічного боку нас цікавитимуть методи, що скорочують надмірності, що стосуються кількісної сторони поняття інформації (структурна, статистична, психовізуальна).

Основна частина відеоданих представляється, як відео-реалістичні 2D-зображення з нестационарним контентом. Вони мають структурні властивості, що швидко змінюються. Тому найбільший інтерес становлять методи стиснення, які потребують знання апріорних даних.

Взагалі можна вказати щодо наявності двох типових напрямки методів кодування. Це тип стиснення без втрати якості відео-сцен та тип – стиснення з внесенням втрат та/або спотворень щодо якості відеозображень в процесі стискання.

Методи без втрат дозволяють зберегти початковий опис відеозображення. Тут виконується умова по-бітової відповідності (збігу). Навпаки, методи з

втратами супроводжуються скороченням надмірності з внесенням розбіжності між початковим та тим відеозображенням, яке відновлюється після стиснення.

Для другого типу методів переважно використовується скорочення візуальної надмірності. Проводиться перетворення під модель зорової системи.

Обидва підходи в різних режимах та типових конфігураціях реалізуються в методі стиснення формату JPEG та для відео потоків – формату MPEG. Це дозволяє обіграти дві можливості. Перше – використати спотворення на рівні несуттєвих змін та збільшити рівень стиснення. Другий – зберегти текстурно-важливі деталі та забезпечити необхідний рівень достовірності інформації. Останнє реалізується методами кодування без втрат. Ці ж методи застосовується у всіх інших випадках – для текстів, файлів, що виконуються, високоякісного звуку і графіки і т.д. і т.п.

Розглянемо методи кодування цифрових зображень, що дозволяють зменшити обсяг даних, необхідний для представлення зображень без спотворення якості:

- ДІКМ;
- адаптивний код Хаффмана – Галлагера;
- адаптивний код Зіва;
- швидкий код за частотним аналізом;
- нерівномірні літерні коди;
- арифметичні коди.

Ці методи є поелементними, що скорочують статистичну надмірність.

Інші методи, тобто:

- код довжини серії (КДС);
- модифіковані методи довжин серій (ММДС);
- методи LZW та їх модифікації – є блоковими та скорочують структурну надмірність.

Зупинимося саме на цих методах докладніше.

Принцип диференціальної імпульсно-кодової модуляції.

Серед систем кодування з передбаченням, у яких сигнал помилки передбачення піддається квантуванню, диференціальної імпульсно-кодової модуляції (ДІКМ), запропонована Катлером може розглядатися як базовий елемент. В основі такого методу полягає диференціація сусідніх елементів відеозображення або компонент спектру сусідніх кадрів. В цьому разі стиснення будується шляхом скорочення просторової статистичної надмірності або кореляційної надмірності між сусідніми кадрами у потоці. Іноді для поліпшення якості таких методів додатково застосовуються спеціальні моделі оцінки передбачених значень.

Структурна блок-схема цифрової ДІКМ системи наведена на рис. 2.1.

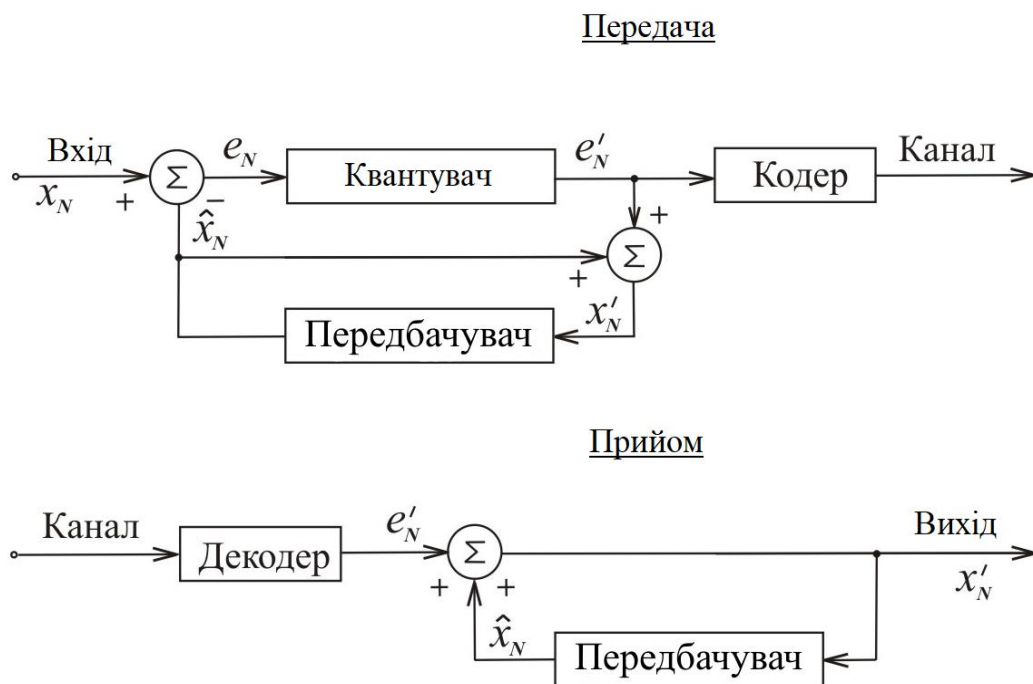


Рисунок 2.1 – Структурна схема будовання диференційного опису з прогнозуванням відліків

Вхідним сигналом x_N цифрової ДІКМ системи є сигнал нерухомого зображення чи послідовності кадрів. Відліки вихідного сигналу зображення кодуються методом 8-розрядної рівномірної піксельної-ІКМ. Для кожного

вхідного відліку x_N лінійний провісник за $N-1$ попередніми відліками визначає передбачене значення \hat{x}_N на основі наступного виразу:

$$\hat{x}_N = \sum_{i=1}^{N-1} a_i x_N, \quad (2.1)$$

де i - номер відліку, що використовується під час передбачення;

N - число використовуваних для передбачення відліків;

a_i - ваговий коефіцієнт.

В наведеному виразі (2.1) вага кожного елементу прогнозу моделі найчастіше обчислюється за методом мінімізації середньоквадратичного відхилення. Зрозуміло, що такі вирази для обраної глибини моделі існують завчасно. Найчастіше тут застосовується модель множинної лінійної регресії. Тоді маємо для обчислення різницевого значення таку формулу:

$$e_N = x_N - \hat{x}_N. \quad (2.2)$$

Далі помилка передбачення квантується нерівномірним оптимальним квантувачем, який забезпечує або мінімальну середньоквадратичну помилку квантування, або узгоджується з властивостями сприйняття шумів квантування зоровим аналізатором людини. При квантуванні, наприклад, до рівнів кожна квантована помилка передбачення e'_N представляється числом двійкових символів, рівним $\log_2 K$, і далі передається в канал зв'язку.

Шляхом додавання \hat{x}_N до квантованої помилки передбачення e'_N як на приймальній, так і на сторонах, що передають, можна відновити елемент зображення x'_N :

$$x'_N = \hat{x}_N + e'_N. \quad (2.3)$$

Незважаючи на те, що величина x'_N знову буде представлена 8-розрядним двійковим кодом, вона відрізнятиметься від вихідного відліку на помилку квантування:

$$q_N = e_N - e'_N = x_N - \hat{x}_N - (x'_N - \hat{x}_N) = x_N - x'_N. \quad (2.4)$$

При кодуванні низько корельованих сигналів з урахуванням ступеня їх короткочасної когерентності для передбачення враховується не більше двох – трьох елементів.

Якість таких систем кодування визначається кількістю біт, які застосовуються для опису різницевих елементів. Для додаткового покращення диференційних систем будуються адаптивні моделі прогнозування та моделі, що враховують контекст повідомлень. В загалі в середньому системи ДКМ можуть забезпечити зниження кількості біт ком пакт-зображення до 2 разів. На цьому етапі захист даних може бути забезпечено шляхом спеціального вибору ваги елементів, які входять до визначення прогнозної моделі.

Метод статистичного кодування з компонентою гнучкості.

Гнучкість стосується зміни статистичної моделі в залежності від кореляційних особливостей відеоданих, які подаються на кодування. Зазначена особливість надає більші переваги щодо підвищення рівня стиснення та захисту відеоданих. Для врахування таких особливостей подалі використовується гнучке модифіковане кодування префіксним методом Хаффмана. Цей метод лежить в основі програми *compract* операційної системи UNIX.

Основна ідея у тому, що спочатку кодер будує порожнє дерево Хаффмана. Ніякому символу код ще не надано. Перший вхідний символ просто записується у вихідний файл у стиснутій формі. Потім цей символ міститься на дерево і йому присвоюється код. Якщо він зустрінеться наступного разу, його поточний код буде записано у файл, а його частота буде збільшена на одиницю. Оскільки ця операція модифікувала дерево, його треба перевірити, чи воно є

деревом Хаффмана (що дає найкращі коди). Якщо ні, то це тягне за собою перебудову дерева та зміну кодів.

Декомпресор дзеркально повторює цю дію. Коли він читає стиснутий символ, він додає його на дерево і надає йому код. Коли він читає стислий код (змінної довжини), він використовує поточне дерево, щоб визначити, який символ відповідає даному коду, після чого модифікує дерево так само, як і кодер.

Однак є одне вразливе місце. Воно стосується потреби знати, чи є цей зразок просто стиснутим символом (зазвичай, це 8-бітний код ASCII) або код довжини, яка є перемінною. Виходом з такої ситуації є додаткове застосування спеціального указника `esc` (escape). Такий указник передує елементу коду. Тоді декодер буде розуміти, що після такого вказника йдуть 8 біт коду ASCII. Однак необхідно облікувати те, що код `esc` не повинен бути змінним кодом, що використовується для символів алфавіту. Оскільки ці коди постійно зазнають змін, то й код для `esc` слід також модифікувати. Природний шлях - це додати до дерева ще один порожній лист із постійною нульовою частотою, щоб йому весь час присвоювалася гілка з одних нулів. Оскільки цей лист буде весь час бути присутнім на дереві, йому весь час присвоюватиметься код змінної довжини. Це і буде код `esc`, що передує кожному новому символу. Дерево весь час модифікуватиметься, змінюватиметься положення на ньому порожнього аркуша та його коду, але сам цей код ідентифікуватиме кожен новий стиснутий символ у стислому файлі. На рис. 2.2 показано рух цього коду `esc` у міру зростання дерева.

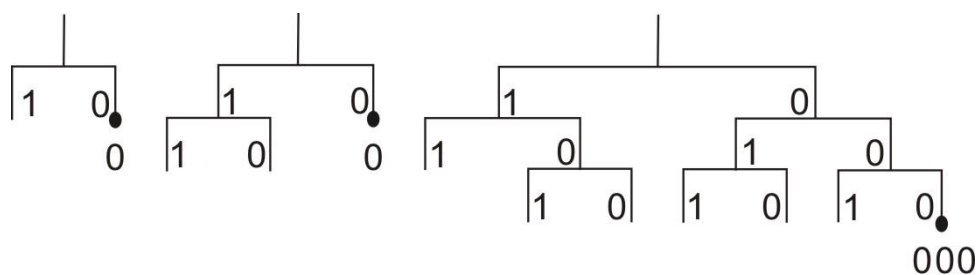


Рисунок 2.2 – Коди `esc`.

Нерівномірні літерні коди-елементи

Такі коди будуються окремо для кожного елементу відеоповідомлення. Тут обліковується різні частотні характеристики елементів у відеопослідовності. В середньому зменшення обсягу біт можна досягти у разі, коли довжина коду-елементу обирається зворотно пропорційно його ймовірності (частоті) у відеоповідомленні. Найчастіше для цього застосовуються групи методів префіксного кодування, наприклад метод Хаффмана та його модифікації.

Побудова кодового дерева з дотриманням правила префіксності реалізується в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Побудова кодового дерева нерівномірного коду Хаффмана

Елемент	Відносна частота, p_i	Варіант префіксного дерева	Код-елемент	Частота, n_i	Вага елемента у префіксному дереві, $n_i \cdot P_i$
A	0.6		1	1	0.6
B	0.2		01	2	0.4
C	0.1		001	3	0.3
D	0.04		0001	4	0.16
E	0.025		00001	5	0.125
Z	0.01		0000001	7	0.07
3	0.01		00000001	8	0.08

Алгоритм побудови кодового дерева коду Хаффмана:

Крок 1. Упорядковуємо всі літери вхідного алфавіту до порядку зменшення ймовірності.

Крок 2. Будується механізм об'єднання частот. Тут застосовується таке правило. Два елемента, які є останніми у варіаційному ряді об'єднуються за своїми ймовірностями (складаються ймовірності). Формується таким чином укрупнений елемент.

Крок 3. На цьому проводиться зворотній обхід по таблиці з будуванням кодового дерева.

Завершується алгоритм спуском по дереву та побудовою кодів усіх символів.

Арифметичне кодування

Такий тип кодування є прикладом коду, що скорочує статистичну надмірність у відеопослідовності. Код теж є кодом змінної довжини. Але на відміну від коду Хаффмана є блоковим. Тобто кодова послідовність будується для сукупності елементів відеозображення.

Код-довжин серій

Цей алгоритм надзвичайно простий у реалізації. Кодування довжин серій або повторів. Стандартизований варіант позначається, як RLE-код (англійської Run Length Encoding). Суть кодування полягає у заміні послідовності елементів-пікселів, що мають однакові значення, їх довжиною або код-довжина. Стиснення реалізується на тому, що кількість біт в загальній серії-елементів є більшою, ніж кількість біт на двійкове уявлення код-довжини. Такий тип надмірності найчастіше позначається, як структурна. Код-довжина в типових варіаціях використовується в різних специфікаціях формату JPEG.

У разі потреби закодувати двійкове (двоколірне) зображення, наприклад масив розміром 8×8 , матимемо на рис. 2.3.

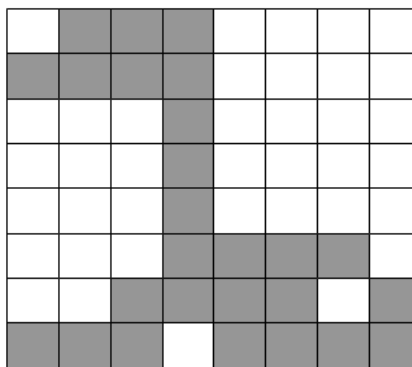


Рисунок 2.3 – Приклад будування кодів-довжин для масиву двійкового уявлення

Відеопослідовність перетворюється на першому кроці у ланцюг. Тут логічно припустити, що зустрічаються ланцюги (послідовності) однакових байтів. Найпростішим способом, який дозволяє зменшити об'єм файлу, є пошук повторюваних кодів (символів, кольору тощо) – кодів-довжин.

Тоді серія пікселів (або двійкових елементів) фіксується двома значеннями. Перше значення це код-довжина. Друге значення – указник на значення пікселя серії (*пiксель-серія*).

На першому кроці згідно наведеного прикладу маємо таку лінійну послідовність двійкових елементів-пікселів:

$$X = \{ \underline{0}; \underline{111}; \underline{0000}; \underline{1111}; \underline{0000000}; \underline{1}; \underline{0000000}; \underline{1}; \underline{0000000}; \underline{1}; \underline{0000000}; \underline{1}; \underline{0000000}; \underline{1111}; \underline{000}; \underline{1111}; \underline{0}; \underline{1111}; \underline{0}; \underline{1111} \}.$$

Загальна довжина такої послідовності складає 64 біта.

На другому кроці проведемо окреслення послідовностей, які мають однакові значення двійкових-пікселів. Після чого на третьому кроці будемо код-довжина для кожної окресленої послідовності піксель-елементів. Звідси послідовність X замінюється послідовністю D:

$$D = \{ 1; 3; 4; 4; 7; 1; 7; 1; 7; 1; 7; 4; 3; 4; 1; 4; 1; 4 \}.$$

На останньому кроці варіантом може бути врахування ймовірнісних особливостей послідовності D. Це відноситься до того, що розподіл появи значень код-довжина буде мати нерівномірний одно-піковий характер. З аналізу наведеної послідовності код-довжин бачимо, що окремі елементи мають значно більшу частоту. Тоді можна для послідовності D застосувати префіксний код – варіант методу Хаффмана. Приклад префіксної таблиці префікс-код для довжина-серії представлено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Приклад префікс-коду за методом Хаффмана

Код-потік	
Код-довжина, d_i	Префікс-код, $l(d_i)$
4 →	$l(d_1) = (0)$
1 →	$l(d_2) = (1\ 0)$
7 →	$l(d_3) = (1\ 1\ 0)$
3 →	$l(d_4) = (1\ 1\ 1)$

Результат застосування префікс-кодів до елементів послідовності D представлено кодовою послідовністю $l(D)$. Тут додатково застосовується указник першого двійкового пікселя. По домовленості вважаємо, що таким елементом є 0. Звідси

$$l(D) = \{ (1\ 0); (1\ 1\ 1); (0); (0); (1\ 1\ 0); (1\ 0); (1\ 1\ 0); (1\ 0); (1\ 1\ 0); (1\ 0); (1\ 1\ 0); (0); (1\ 1\ 1); (0); (1\ 0); (0); (1\ 0); (0) \}$$

З аналізу такої послідовності бачимо, що кількість біт (довжина послідовності $l(D)$) становить 36 біт. Отже рівень стиснення складає приблизно 1,8 рази.

Приклад використання методу код-довжина для стиснення спектрального опису наведено на рис. 2.4. Тут обліковуються тільки серії з нульових значень.

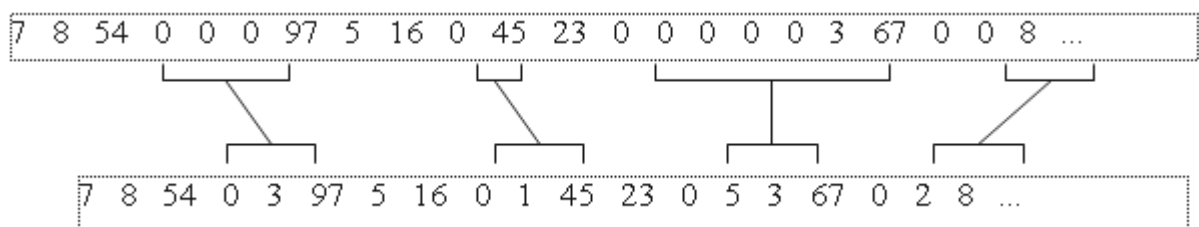


Рисунок 2.4 – Варіант застосування код-довжина до спектру з описом серій нулів

Потрібно обліковувати те, що для кожної такої серії будується два значення. Перше значення це указник на наявність серії нулів. Тут використовується указник зі значенням 0. Друге значення це безпосередньо код-довжина. Захист відеоданих у разі методу код-довжина реалізовується шляхом додаткового криптографічного шифрування коду-довжини. В якості методів криптографічного шифрування можуть використовуватися методи AES 256, AES 512. Використання попередньо коду-довжина дозволяє скоротити час криптографічного шифрування та забезпечити потрібну стійкість з меншою довжиною ключа.

Однак ефективність такого методу буде падати у разі низької окреслюваності структурної надмірності. Тобто у разі, низьких за довжиною серій-пікселів або серій-нулів. Тому такий метод застосовується в сукупності з іншими перетвореннями. Взагалі для стиснення та захисту відеоданих використовується комплексний підхід. Основа тут – методи скорочення візуальної надмірності. Тобто варіант кодування з додаванням спотворень.

Основні методи стиснення, які спотворюють якість зображень:

- комбінований метод стиснення (КМС);
- зонально-порогове кодування компонентів трансформант ДКП (ЗПК);
- апертурні методи;
- метод LBG;
- фрактальні методи стиснення (ФМС);
- методи стиснення, що ґрунтуються на ортогональному або хвильовому перетвореннях.

Ці методи, крім інших видів надмірності, додатково скорочують просторову візуальну надмірність.

Порогове кодування нерівномірних зон трансформант ДКП (ПКНЗ)

Кодування компонентів трансформант на основі зонально-порогового перетворення радикально відрізняється від класичних методів кодування, таких, як ІКМ або кодування з передбаченням, які застосовуються безпосередньо до відеосигналу. Зонально-порогове кодування – один з методів

квантування та скорочення візуальної надмірності з обліком нерівномірного вкладу зон трансформанти. Тут вклад розуміється з точки зору внесення спотворень з обліком зорової системи. Зображення піддається математичному перетворенню; отримані в результаті коефіцієнти перетворення квантуються та кодується для передачі каналом зв'язку. Цей метод утвердився як ефективний та практично зручний засіб кодування одноколірних, кольорових та спектрональних зображень, у тому числі й у телевізійних системах, що діють у реальному масштабі часу.

Існують два способи відбору спектральних коефіцієнтів: зональний та пороговий. Перший полягає у виділенні сукупності коефіцієнтів, котрі посідають деякі заздалегідь окреслені, фіксовані області спектра, зазвичай відповідні низькочастотним складовим. По аналоговим лініях зв'язку передаються значення коефіцієнтів, які у зону відбору. При передачі цифровими лініями зв'язку значення відібраних коефіцієнтів квантуються і їм присвоюються кодові комбінації. Число рівнів квантування береться пропорційно до очікуваної дисперсії відповідного коефіцієнта.

Другий спосіб відбору зберігає ті коефіцієнти, величина яких перевищує заздалегідь встановлений поріг. У зв'язку з необхідністю повідомляти при цьому дані про розташування відібраних коефіцієнтів граничний відбір застосовується тільки для цифрової передачі.

Для теоретичного аналізу процесу зонального відбору представимо сукупність елементів всього зображення або його блоку у вигляді N -компонентного вектора f , що розглядається як реалізація випадкового процесу з нульовим середнім та відомою квіаційною матрицею K_f [25]. Цей вектор піддається лінійному перетворенню, заданому матрицею розміру $N \times N$, де N -компонентний вектор f позначає результат одномірного перетворення вектора f :

$$f = A_f, \quad (2.9)$$

де A_f – матриця унітарного перетворення вектора f .

На рис. 2.5 наведено схему процесу обчислення та відбору спектральних коефіцієнтів. Вектор f , що складається зі всіх спектральних компонент, піддається впливу матриці S розміру $P \times Q$ ($P < Q$), що виділяє певні компоненти вектора f . В результаті виходить P -компонентний вектор f_T .

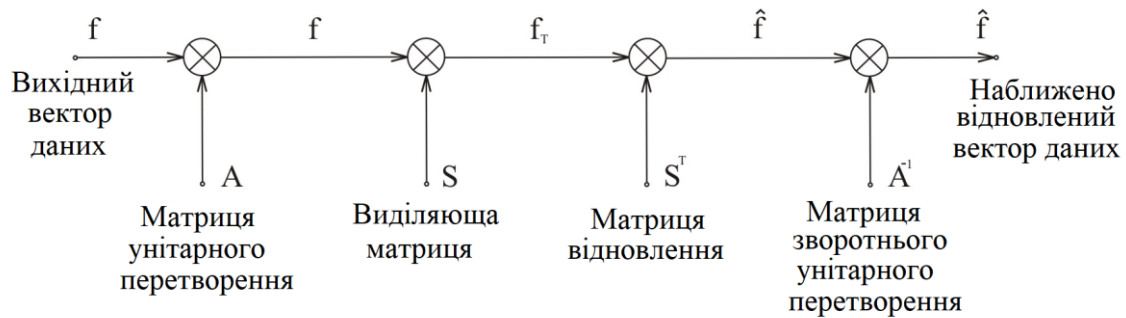


Рисунок 2.5 – Послідовність операцій при зональному кодування спектру

Матриця S містить тільки одиниці та нулі, і її одиничний елемент з номером (i, j) переводить j -ю компоненту вектора f_T в i -ю компоненту вектора f .

В системі кодування типу показаної на рис.2.7 вектор f_T множиться потім на матрицю S^T розміру $Q \times P$, в результаті чого відібраним компонентам, що склали вектор \hat{f} , повертаються їх колишні номери, а всі інші компоненти замінюються нулями. Зрештою, операція $S^T S$ лише замінює непотрібні компоненти вектора f нулями. Зрештою, дає відновлений сигнал:

$$\hat{f} = A^{-1} S^T S A_f, \quad (2.10)$$

де A^{-1} – матриця зворотнього унітарного перетворення,

S^T – матриця відновлення.

Для кодування зображення потрібно в загальній складності двійкових одиниць:

$$N_B = \sum_u \sum_v N_B(u, v). \quad (2.11)$$

Якщо для N_B встановлена мала величина, то в результаті квантування деяким коефіцієнтам будуть приписані нульові значення, що рівнозначно відсіканню таких коефіцієнтів (подібно до того, як це відбувається при зональному відборі). Типовий розподіл двійкових розрядів між спектральними коефіцієнтами блоку розміром 16×16 елементів показано на рис. 2.6.

Оптимальна шкала квантування, що містить задану кількість рівнів, інакше кажучи, розташування порогових рівнів та рівнів квантування, при якому виходить мінімальна середньоквадратична помилка.

У системі порогового кодування всім спектральні коефіцієнтів, перевищують за величиною заданий поріг, встановлюється єдина шкала квантування. При передачі значних коефіцієнтів, що пройшли пороговий відбір, необхідно вказувати їхнє місце розташування.

8	8	8	7	7	7	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
8	8	7	6	5	5	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
8	7	6	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
7	6	4	3	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0
7	5	4	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	5	4	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2.6. – Типовий розподіл двійкових одиниць при зональному кодуванні з перетворенням блоків розміром 16×16 елементів; у середньому елемент відводиться 1,5 дв.од.

Простий, але досить ефективний метод кодування позицій полягає у вказівці числа виключених коефіцієнтів, що розділяють сусідні значущі коефіцієнти. Загальній схемі кодування довжин серій стосовно даного випадку можна надати наступного вигляду:

1. Першому коефіцієнту кожного рядка, яка б не була величина, завжди ставиться у відповідність кодове слово, певна частина якого містить тільки одиниці або тільки нулі. Ця частина служить маркером для малої синхронізації та процесу передачі.

2. Друге та наступні кодові слова в тій частині, яка відведена на передачу рівня, вказують квантовану величину відповідного коефіцієнта. У позиційній частині вказується виражена двійковим числом кількість виключених коефіцієнтів, що відокремлюють цей значний коефіцієнт від попереднього.

3. Якщо в межах заздалегідь встановленої максимальної довжини серії не зустрівся черговий значний коефіцієнт, то обидві частини кодового слова заповнюються лише одиницями або нулями, щоб вказати появу серії максимальної довжини.

Введення кодової комбінації для малої синхронізації дозволяє обходитися без кодування номера рядка, а також обмежити розповсюдження будь-якої помилки, що виникла під час передачі каналом зв'язку, межами відповідного рядка.

Зображення, отримані шляхом цифрового моделювання процесу зонально-порогового кодування: кількість значущих коефіцієнтів, а тим самим обсяг даних, що передаються звичайною системою зонально-порогового кодування, змінюються від одного зображення до іншого. Для ліній зв'язку, що передбачають передачу двійкових цифр із постійною швидкістю, розроблено спеціальну систему зонально-порогового кодування. У кожному блоці відбирається передачі фіксоване кількість N найбільших коефіцієнтів. Тим самим для кожної послідовності встановлюється свій поріг, що забезпечує підтримку бажаної швидкості передачі.

Захист даних може забезпечуватись шляхом псевдовипадкового обирання таблиці квантування, або захисту такої інформації. Найчастіше тут будуються методи вибіркового захисту. Відповідно для захисту відеоінформації обирається кількість компонент зі зони низьких частот. Потім такі компоненти підпадають під криптографічне шифрування. Для цього застосовується метод симетричного блочного шифрування.

2.2 Дослідження характеристик функціонування методів скорочення надмірності даних

Розрахункові значення коефіцієнта стиснення для основних представників методів стиснення двох класів отримані на основі виразу (1.7). При цьому для методу КМС приймалося, що відношення сигнал/шум дорівнює 45 дБ, число градацій яскравості $L = 256$, лінійний розмір блоку зображення $n = 16$.

Значення часу T_{var} визначається виразом (1.7).

Значення $k_{\text{ст}}$ з виразу (1.5) розмір фрагмент-кадру 5120×5120 елементів по 24 розряду кожен, швидкість передачі $U_{\text{п}} = 50 \left(\frac{\text{Мбіт}}{\text{с}} \right)$.

Таблиця 2.3 – Значення $k_{\text{ст}}$ для різних методів стиснення та класів зображень

Метод стиснення	Реалістичні зображення		Середньо насичені штучні зображення
	Сильно насичені	Середньо насичені	
КМС	7,2	12	50
ФМС	4,2	4,3	30
ММДС	1,5	3	40
LZW	2,2	5	42

З аналізу даних у табл. 2.3, 2.4 можна зробити такі висновки:

1. Рівень стиснення відеозображень методами з спотвореннями у середньому на порядок більший, відносно випадку кодування методами без втрат. Для штучних зображень ступінь стиснення методами без втрати якості не значимо відрізняється від методу зі втратою якості КМС (20%), і перевищують за ступенем стиснення в 1.5 рази метод ФМС.

2. Для кадру 5120×5120 елементів 24-біт кожен, та швидкості передачі даних $U_{\Pi} = 50 \left(\frac{\text{Мбіт}}{\text{с}} \right)$ сумарний час T_{var} доставки методами без втрати, щонайменше в 4 рази більше, ніж час T_{var} для методів з втратами. Максимальний час обробки та передачі відеоданих методами ММДС досягається для реалістичних зображень (до порядку декількох хвилин). До зображень такого типу належать: фото з БПЛА, інформація на картографічному, лісовому та гірському тлі.

Таблиця 2.4 – Значення T_{var} (у хвилинах) для різних методів стиснення, класів зображень та розмірів кадру, швидкість передачі даних

$$U_{\Pi} = 50 \left(\frac{\text{Мбіт}}{\text{с}} \right)$$

Метод стиснення	Реалістичні зображення		Середньо насичені штучні зображення
	Сильно насичені	Середньо насичені	
КМС	1,5	1	0,22
ФМС	1,4	1,4	1,4
ММДС	5,7	3,6	0,27
LZW	4,8	2,2	0,26

Таким чином, можна зробити висновок про те, що методи з внесенням спотворень мають більшу ефективність у порівнянні з методами без втрат. Сучасні методи без втрат не забезпечують передачі зображень в

інформаційно-мережних системах (ІФС) в реальному масштабі часу. Це зумовлено такими недоліками методів код-довжина:

- зменшенням структурної надмірності серій в наявних відеозображеннях;
- низькою перешкодостійкістю стислих відеоданих до помилок у каналі зв'язку. Так для ймовірності помилки більше 10^{-4} відношення сигнал/шум (ОСШ) не перевищує 10дБ, що відповідає незадовільній якості.

В той же час найбільша ефективність методів стиснення по класу (обсяг – якість) досягається в комплексній варіації процесів стиснення. Тобто у разі комплектування методами обох класів.

Тому є такі причини:

- 1) потреба в окремих випадках забезпечити високу якість інформації. Це зумовлено прикладами застосування в інтересах критичної інфраструктури;
- 2) застосуванням кодеків без втрат в сучасних протоколах уявлення відеоданих. При цьому для цих форматів характерно збільшення стисненого об'єму у разі зростання рівня насиченості;
- 3) методи кодування з внесенням спотворень витрачають значно більший час на обробку;
- 4) найчастіше виникає проблема у стисненні масивів код-довжин реалістичних відеозображень в режимі потрібної якості;
- 5) потребою додаткового стиснення масивів службової інформації, саме з використанням методів код-довжина. Тому для додаткового збільшення коефіцієнта стиснення потрібно стискати довжини серій.

Таким чином, виходячи з аналізу відомих методів стиснення, можна зробити висновок, що існує необхідність використання для обробки відеоінформації в ІФС методів без втрати якості. У той же час вони не дозволяють обробляти і передавати відеодані в реальному масштабі часу і не забезпечують необхідної стійкості перешкод стиснутих відеоданих до помилок у каналі зв'язку.

2.3 Обґрунтування напряму вдосконалення процесів скорочення надмірності даних

Проведемо аналіз напрямів розробки методів стиснення без втрати якості з метою підвищення оперативності обробки, передачі відео.

Зменшити сумарний час обробки та передачі T_{var} (1.7) можна за рахунок подальшого вдосконалення існуючих методів стиснення. З проведеного аналізу відомих методів стиснення випливають такі варіанти їх удосконалення:

1. Підвищення ефективності методів LZW-код пов'язане зі зростанням складності апаратно-програмної реалізації.

2. Додаткове по-елементне кодування довжин серії. Необхідно враховувати, що довжини серій містять ключову інформацію щодо топології відео-сцен у відеозображеннях. Така інформація є визначальною в процесі аналізу відеоінформаційних масивів. Звідси виникає обмеження щодо застосування механізмів скорочення візуальної надмірності для сукупностей код-довжина.

Таким чином, використання існуючих методів, що виключають візуальну надмірність, для забезпечення збільшення рівня стиснення є обмеженим. Звідси висувається напрямок збільшення ефективності опису масивів код-довжина шляхом збільшення продуктивності методів, які усувають просторову статистичну надмірність.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

На основі аналізу наведеного матеріалу можна навести підсумок:

1. Матеріал цього розділу дає уявлення про основи стиснення цифрових зображень, яке досягається шляхом скорочення та видалення кодової, міжпіксельної та візуальної надмірності при обробці зображень. Надається

огляд популярних стандартів стиснення зображень із втратами, а також без втрат.

2. Аналіз існуючих методів стиснення без втрати виявив ряд вразливих факторів реалізації процесів кодування та захисту відеоданих в реальному часі. Хоча надмірність стиснених зображень щодо теоретичної межі може сягати значень 90%.

3. Аналіз структурних властивостей масивів довжин серій виявив можливість додаткового збільшення ступеня стиснення зображень за рахунок використання методів статистичного кодування.

Тому методи стиснення зображень шляхом усунення статистичної надмірності в сукупностях код-довжин серій становлять інтерес для дослідження щодо відповідності вимогам до підсистем обробки, передачі та відображення відеоінформації в ІФС, а саме, обробці відеоданих в реальному часі при збереженні вихідної якості оцифрованих зображень.

3 РОЗРОБКА МЕТОДУ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ СУКУПНОСТІ КОДІВ-ДОВЖИН

У цьому розділі розробляється метод стиснення зображень з урахуванням усунення статистичної надмірності в сукупності кодів-довжин префіксним методом Хаффмана.

Розписуємо основні етапи побудови кодів Хаффмана щодо довжин серій з урахуванням особливостей того, що ці коди формуються саме для довжин серій та розробляємо методи декодування довжин серій.

3.1 Принцип формування довжин серій

Довжини для піксель-серій можуть утворюватися рядками, стовпцями і блоками відеозображення. Подалі пропонується проводити виявлення піксель-серій в напрямку рядків фрагментів. Відповідний варіант показано на рис. 3.1.

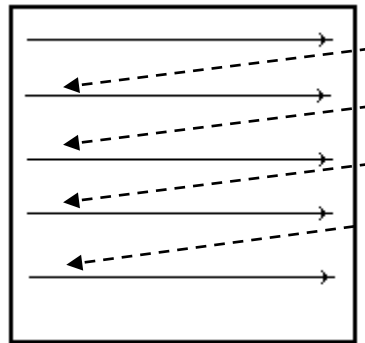


Рисунок 3.1 – Варіант будування піксель-серій за рядками.

Пропонується виявляти серії однакових елементів по рядках у напрямку ліворуч – праворуч. Для запропонованого принципу виявлення серій математичний запис процесу формування масивів $L(D)$ код-довжин серій та масивів $S(D)$ указників піксель-серія відеозображення має вигляд:

$$c_{ij} = \begin{cases} a_{i1}, & \text{якщо } j=1 \text{ (початковий елемент в блоці)}; \\ a_{ij}, & \text{якщо } a_{ij} \neq a_{i,j-1}, \end{cases} \quad (3.1)$$

де c_{ij} – елемент масиву указників піксель-серія c ;

a_{ij} – елемент вихідного зображення;

$a_{i,j-1}$ – елемент зображення, що стоїть у рядку зліва від елемента a_{ij} ;

$$l_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a_{i,j-1} \neq a_{ij}; \\ \xi + 1, & \text{якщо } a_{i,j} = a_{ik} \text{ и } a_{i,j} \neq a_{i,j+\xi+1}; k = \overline{j+1, j+\xi}, \\ l_{\max}, & \text{якщо } a_{i,j} = a_{i,j+\xi+1} \text{ и } \xi + 1 = l_{\max}, \end{cases} \quad (3.2)$$

де l_{ij} – елемент масиву L код-довжин піксель-серій;

ξ – різниця (зміщення) між значеннями індексів початкового та останнього елементів у піксель-серії;

l_{\max} – заздалегідь встановлений поріг на величину код-довжини піксель-серії.

Узагальнена система за формулами (3.1), (3.2) набирає такого вигляду

$$\begin{cases} c(D)_{ij} = a_{ij}, & \text{якщо буде умова} \\ a_{i,j-1} \neq a_{ij}; \\ l(D)_{i,j-\xi-1} = \xi + 1, & \text{якщо буде умова} \\ a_{i,j-1} = a_{ij} \text{ и } a_{i,j-1} = a_{i,j-\xi-1}; \\ l(D)_{i,j-1} = 1, & \text{якщо буде умова} \\ a_{i,j-2} = a_{i,j-1} = a_{i,j}. \end{cases} \quad (3.3)$$

Система (3.3) забезпечує для кожної піксель-серії формування сукупностей код-довжина та указників.

Формування послідовності указників піксель-серія проводиться з вихідного зображення з урахуванням зсуву на кількість елементів, що дорівнює

довжині піксель-серії. Якщо довжина $(i; j)$ -ї піксель-серії дорівнює ξ , то поточний елемент $c_{i,j+\xi}$ її указників знаходиться на відстані l_{ij} від попереднього елемента c_{ij} сукупності указників піксель-серії.

3.2 Підхід до обрання порогу щодо величини код-довжина піксель-серії

Існують такі підходи щодо обрання порогу l_{\max} :

а) значення l_{\max} дорівнює кількості елементів у кадрі

$$l_{\max} = Z_r \times Z_b, \quad (3.4)$$

де Z_r, Z_b – відповідно кількість рядків та стовпців у кадрі;

б) величина l_{\max} дорівнює максимально можливому значенню, яке може зберігатися у машинному слові довжини M :

$$l_{\max} = 2^M - 1; \quad (3.5)$$

в) найбільше значення порогу l_{\max} щодо величин код-довжини піксель-серії формується числом елементів у блоці (для побічного принципу формування):

$$l_{\max} = m_g \times n_v, \quad (3.6)$$

де m_g, n_v – відповідно число рядків та стовпців у блоці.

Ці підходи найефективніші при по-елементному кодуванні довжин.

Схема утворення масивів код-довжин піксель-серій постійного числа рядків m_{dc} представлена на рис. 3.2. При цьому передбачається, що розглянутий фрагмент зображення не є крайнім у кадрі.

На рис. 3.2 показано, що піксель-серії l_{ij} виявляються по рядковій розгортці та заповнюють масив $L(D)$ по стовпцях. Для прикладу, що розглядається, довжина стовпця $m_{dc} = 4$. Важливо, що, якщо не вдалося повністю сформувати масив $L(D)$ для одного рядка зображення, то цей масив продовжують формувати на основі інших рядків.

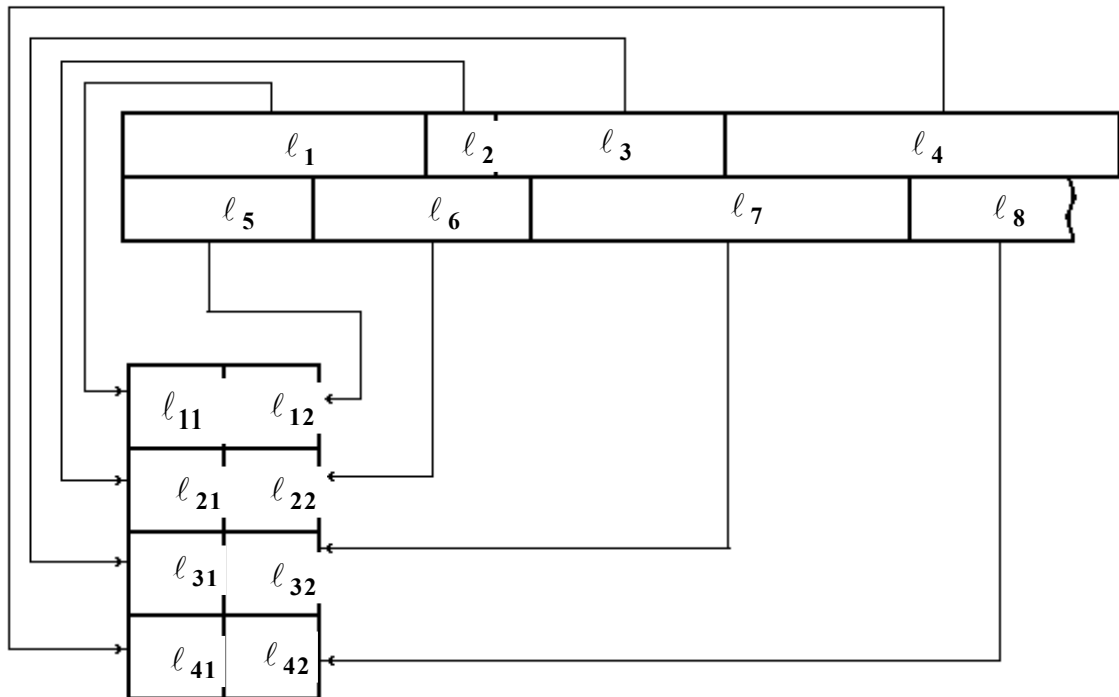


Рисунок 3.2 – Варіант будування сукупності код-довжин піксель-серій частини відеокадру

Процес виявлення піксель-серій у рядках зображення триває до тих пір, поки не буде повністю сформований масив $L(D)$. Черговий масив $L(D)$ починає утворюватися з того елемента рядка зображення, перед яким було закінчено формування попереднього масиву код-довжин піксель-серій. Оскільки масиви довжин серій мають рівні розміри для всього кадру, можливі випадки, коли код-довжин піксель-серій не вистачить, щоб повністю заповнити масив $L(D)$. Такі випадки характерні при формуванні масивів $L(D)$ для крайніх фрагментів відеозображень. Тоді відсутні елементи прирівнюються 0. Оскільки мінімальне значення код-довжини піксель-серії дорівнює 1 (за визначенням), то під час

декодування маркер з нульовим значенням сприйматиметься як додаткова піксель-серія.

Схема формування масиву $L(D)$ для останнього фрагмента кадру наведена на рис. 3.3. Передбачається, що у масиві $L(D)$ кількість рядків $m = 4$. На рис. 3.3 для завершення формування масиву код-довжин піксель-серій не вистачає двох елементів, які прирівнюються 0: $l_{32} = 0$; $l_{42} = 0$.

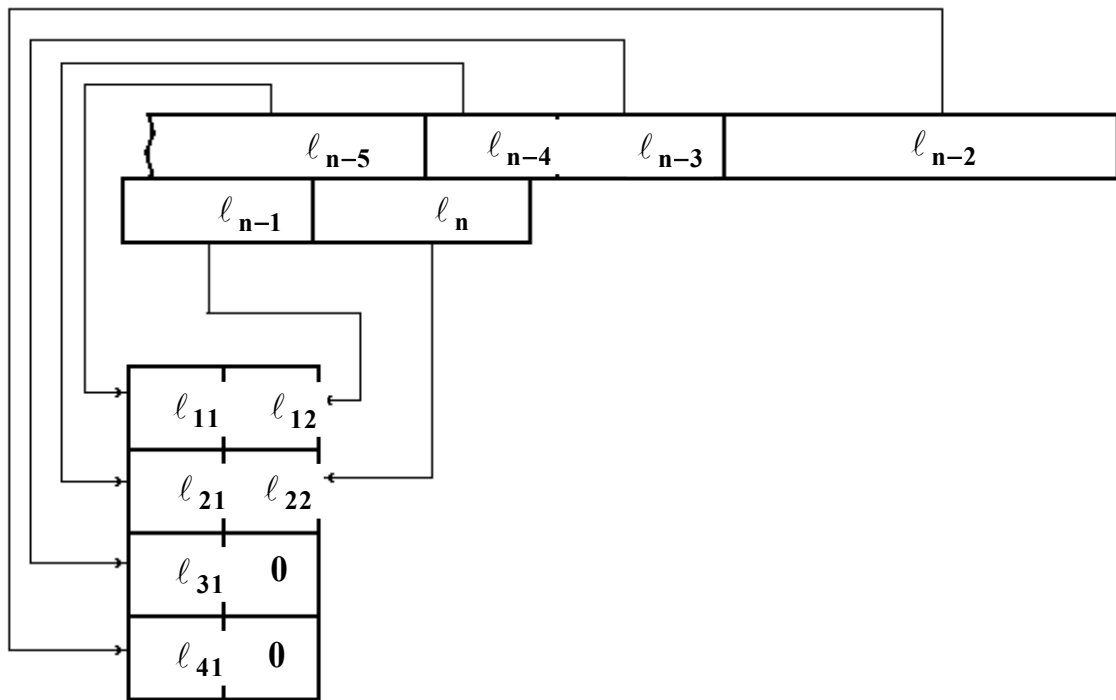


Рисунок 3.3 – Варіант будовання сукупності код-довжин піксель-серій для останньої частини відеозображення

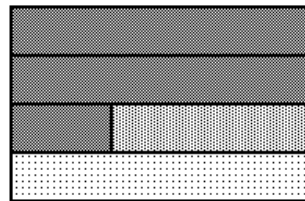
Така організація сукупності код-довжин піксель-серій дозволить:

- підвищити оперативність відображення інформації;
- спростити процес кодування сукупності $L(D)$.

В результаті формування масивів код-довжин піксель-серій для запропонованої організації кожен фрагмент зображення замінюється на масив $L(D)$. Оскільки зображення нестационарне, то ступінь насиченості його дрібними деталями змінюється для різних ділянок кадру. Тоді фрагменти будуть мати змінні розміри для різних частин кадру. Тому можна сказати, що в

результаті утворення всіх масивів $L(D)$ вихідне відеозображення, що розрізає на нерівномірні фрагменти, замінюється блоками (сукупностями код-довжин піксель-серій) рівних розмірів (в межах одного кадру, рис. 3.4).

Зображення, розрізане на три фрагменти






-  - фрагмент 1
-  - фрагмент 2
-  - фрагмент 3

Рисунок 3.4 – Приклад зображення розрізаного на три нерівні фрагменти

При цьому кожна частина відеозображення може складатися з одного, кількох рядків або його частини. На рис. 3.4 кількість рядків у частині відеозображення позначено як $v_{\text{стр}}$. Тоді $v_{\text{стр}} > 1$, якщо фрагмент складається з більш ніж одного рядка (фрагмент 1 на рис. 3.4); $v_{\text{стр}} = 1$ - фрагмент містить один рядок (фрагмент 3 рис. 3.5); $v_{\text{стр}} < 1$ - фрагмент утворюється як частина рядка (фрагмент 2 на рис. 3.4).

3.3 Етапи префіксного кодування сукупностей код-довжин піксель-серій за методом Хаффмана

Префіксне кодування за методом Хаффмана дозволяє скоротити статистичну надмірність за нерівномірністю розподілу в сукупності кодів-довжин піксель-серій. Відповідно забезпечується стиснення.

Розглянемо послідовність етапів, які демонструють особливості методу кодування. Це показано також на рис. 3.5.

Отже маємо п'ять символів з відомим законом розподілу (рис. 3.5).

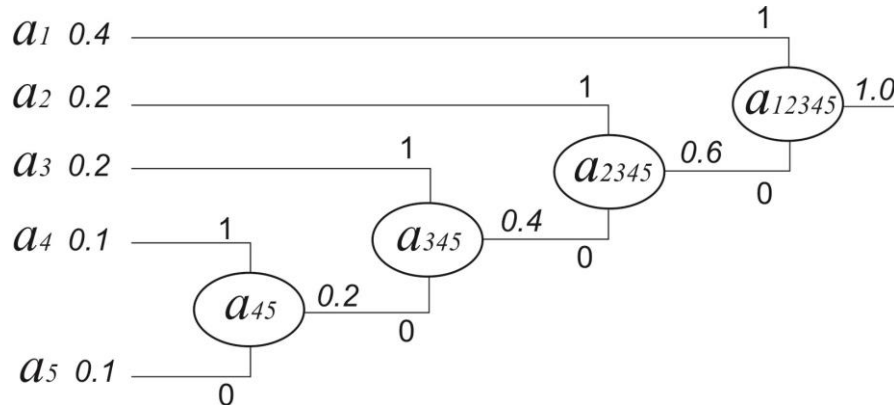


Рисунок 3.5 – Варіант будування префіксного графу за методом Хаффмана

Елементи укрупнюються до пар за таким правилом:

1) елемент a_4 поєднується з a_5 . Тобто в цьому разі вони укрупнюються елементом a_{45} . Відповідно ймовірність появи нового елемента буде визначатися сумою попередніх, та дорівнюватиме 0,2;

2) на другому кроці маємо сукупність з 4 елементів, тобто: елемент a_1 з ймовірністю 0,4 та елементи a_2 , a_3 і a_{45} , які мають однакові ймовірності появи, тобто 0,2. Звідси, наприклад, укрупнюємо подалі два елементи, тобто a_3 та a_{45} . Відповідно утворюється укрупнений елемент a_{345} . Його ймовірність будується сумою ймовірностей попередніх елементів, та дорівнюватиме 0,4;

3) на третьому кроці маємо три елементи, тобто: a_1 , a_2 та a_{345} . Відповідно їх ймовірності появи дорівнюють – 0,4; 0,2 та 0,4. Тоді поділа укрупнюємо елементи a_2 та a_{345} . Будується елемент a_{2345} . Відповідно його ймовірність дорівнюватиме 0,6;

4) на останньому кроці узагальнено будується елемент a_{12345} . В цьому разі поєднуються елемент a_1 та елемент a_{2345} .

Префікс-граф зображено на рис. 3.5. Індексування ребер (вузлів) будується умовним чином. Наприклад, верхній напрямок вказуємо «1», навпаки нижній – «0».

Результат префіксного розподілу кодів для кодів-довжини піксель-серій наведено у табл. 3.1. Тут L_i – довжина кодового слова i -го елемента (у кількості розрядів).

Таблиця 3.1 – Таблиця розподілу кількості біт для код-довжин піксель-серій

Елемент (код-довжина піксель-серії)	Ймовірність появи код-довжина у сукупності, P_i	Довжина префікс-коду, L_i	Зміст нерівномірних кодограм
α_1	0,4	1	1
α_2	0,2	2	01
α_3	0,2	3	001
α_4	0,1	4	0001
α_5	0,1	4	0000

Середня довжина L_{cp} префіксного коду може бути отримана відповідно до формули:

$$L_{cp} = \sum_{i=1}^N p_i L_i. \quad (3.7)$$

Для розглянутої послідовності середня довжина коду становить:

$$L_{cp} = 0,4 \times 1 + 0,2 \times 2 + 0,2 \times 3 + 0,1 \times 4 + 0,1 \times 4 = 2,2 \text{ (біт/елемент).}$$

У разі, якщо б не було вилучено надмірність, кількість біт на кожен код-довжина піксель-серії складало б не менш ніж 3 біта. Звідси рівень зменшення обсягу в бітах складає 26%.

Зауваження. Важливим є те, що варіантів побудови префіксних кодів за методом Хаффмана буває декілька. При цьому в залежності від варіанту можна обрати біль ефективніший розподіл біт. Тут найкращим буде такий розподіл Хаффмана, який для даного алфавіту забезпечує найменшу дисперсію.

Дисперсія показує, наскільки сильно відхиляються довжини індивідуальних кодів від їх середньої величини. Отже правило обрання найкращого варіанту буде таке: коли на дереві є більше двох вузлів із найменшою ймовірністю, слід поєднувати елементи з найбільшою та найменшою ймовірністю; це скорочує загальну дисперсію коду.

Якщо кодер просто записує стислий файл на диск, дисперсія коду не має значення. Коди Хаффмана з малою дисперсією кращі лише у випадку, якщо кодер буде передавати цей стислий файл по лініях зв'язку. Тоді для такого варіанту код з великою дисперсією змушує кодер генерувати біти зі змінною швидкістю. Зазвичай дані передаються каналами зв'язку з постійною швидкістю, тому кодер використовуватиме буфер. Біти стиснутого файлу поміщаються в буфер у міру їхньої генерації і подаються до каналу з постійною швидкістю для передачі. Легко бачити, що код з нульовою дисперсією подаватиметься в буфер з постійною швидкістю, тому знадобиться короткий буфер, а велика дисперсія коду вимагатиме використання довгого буфера.

Розробка методу декодування кодів-довжин піксель-серій

Зображення, закодовані за Хаффманом, будуть марними, поки їх не можна декодувати і отримати вихідні відеозображення, якими вони були побудовані. Тому декодер повинен спочатку побудувати відповідний код Хаффмана, за яким кодувалося вихідне відеозображення. Потім зробити зворотне відображення закодованих даних для реконструкції.

Це робиться за допомогою наявного розподілу ймовірностей (або частот появи) елементів. Така службова інформація міститься у стислому файлі. Звідси

маючи цю інформацію можна побудувати префіксний граф (дерево) за методом Хаффмана на приймальній стороні. Відповідно будемо мати розподіл та зміст кодових слів за кожним елементом. Це забезпечує відповідне декодування сукупностей код-довжин піксель-серій.

Захист відеоданих в цьому разі забезпечується шляхом застосування криптографічного кодування для сукупності ймовірностей кодів-довжин піксель-серій. Це забезпечує унеможливлення декодування початкових даних у разі, коли ми не будемо мати інформацію щодо розподілу ймовірностей. Водночас такий варіант захисту забезпечує скорочення часу на шифрування. Це зумовлено тим, що криптографічному захисту подаються не всі елементи початкового відеозображення, а тільки ймовірності побудованих для них кодів-довжин піксель-серій.

3.4. Порівняння розробленого методу з методом код-довжин серій за коефіцієнтом стиснення відеозображень

Визначення часу кодування та передачі відеоінформації, стиснутої розробленим методом

Для отримання значень часу кодування та передачі відеоінформації потрібно:

1. Визначити середній обсяг стисненого кадру, що дозволить отримати середній час передачі каналом зв'язку $T_{\text{п}}$.

2. Визначити середню кількість машинних операцій, що витрачаються на кодування. Звідси буде знайдено середній час на кодування $T_{\text{к}}$ зображення.

Розглянемо кожне з перерахованих підзавдань.

1. Визначення коефіцієнта стиснення $k_{\text{ст}}$ зображень з урахуванням розробленого методу. Значення $k_{\text{ст}}$ знаходиться за формулою:

$$k_{\text{ст}} = \frac{W_{\text{вих}}}{W_{\text{ст}}}, \quad (3.8)$$

де $W_{\text{вих}}$, $W_{\text{ст}}$ - цифрові обсяги відповідно для вихідного та стисненого зображень.

Із (3.8) слід, що з визначення $k_{\text{ст}}$ необхідно спочатку обчислити обсяг $W_{\text{ст}}$. Об'єм $W_{\text{ст}}$ стисненого зображення дорівнює

$$W_{\text{ст}} = W_1 + W_2 + W_3, \quad (3.9)$$

де W_1 - сумарна кількість розрядів, необхідних для надання статистичних кодів довжин серій;

W_2 - обсяг кодового представлення матриць колірних координат послідовностей однакових елементів зображення;

W_3 - цифровий обсяг службової інформації.

Для порівнюваних методів як значення параметрів будемо використовувати такі значення, при яких для обох методів досягається найбільший ступінь стиснення.

Для методу код-довжин піксель-серій найбільший ступінь стиснення $k_{\text{дс}}$ забезпечуються, коли максимальне значення код-довжина піксель-серії заздалегідь вибирається рівним $\ell_{\text{max}} = 128$.

Для методу стиснення відеозображень на основі модифікованого кодування код-довжин піксель-серій найбільший ступінь стиснення $k_{\text{м}}$ досягається за наступних значень параметрів: максимальне значення код-довжина піксель-серії $\ell_{\text{max}} = 128$, довжина машинного слова $M = 64$ розряди.

Значення коефіцієнтів стиснення $k_{\text{дс}}$ і $k_{\text{м}}$ (в логарифмічному масштабі) для зазначених параметрів залежно від ймовірності перепаду кольору p представлені на рис. 3.6.

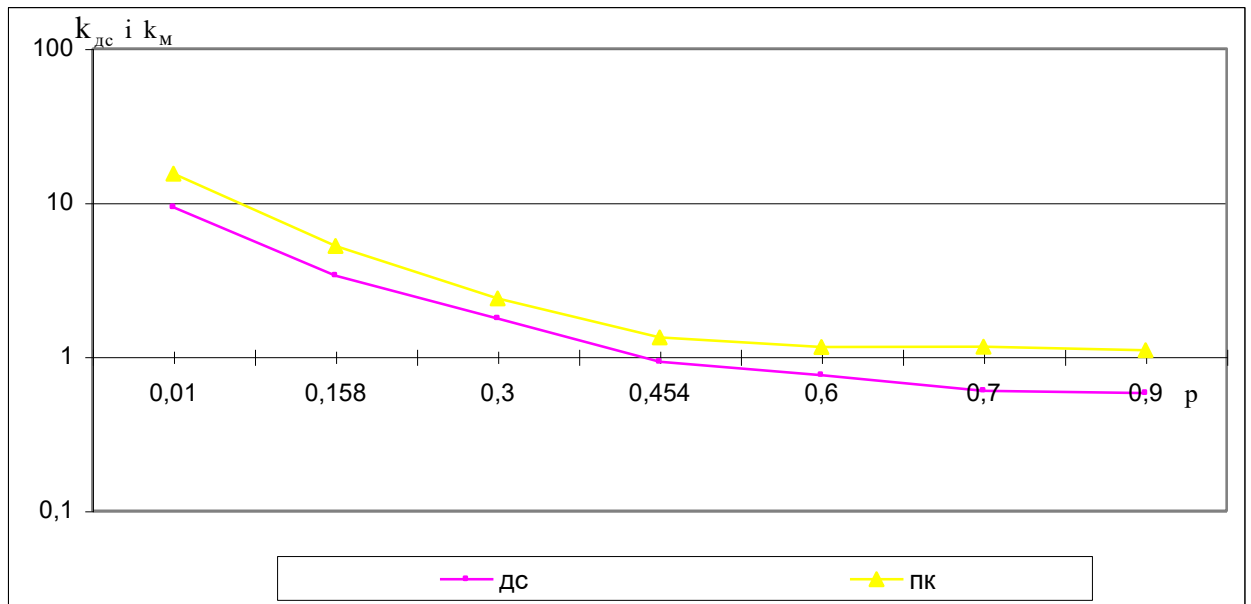


Рисунок 3.6 – Графіки значень коефіцієнтів стиснення $k_{дс}$ і $k_{м}$ для порівнюваних методів залежно від ймовірності перепаду кольору p

Аналіз графіків на рис. 3.6 показує, що розроблений метод стискає зображення від 1,1 до 1,3 разів більше, ніж існуючий метод обробки код-довжин піксель-серій.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

На основі аналізу даного розділу можна зробити висновки:

1. Розроблено метод стиснення зображень на основі префіксного кодування та скорочення статистичної надмірності в сукупності код-довжина піксель-серія за методом Хаффмана з використанням правила зменшення дисперсії розподілу кількості біт. Цей метод стиснення дозволив:

- зберегти вихідну якість зображення;
- забезпечити коефіцієнт стиснення від 1/2 рази для сильнонасичених зображень до 1/4 разів для слабонасичених зображень.

Для розробленого методу стиснення зображень досягається за рахунок виключення статистичної надмірності в сукупності код-довжин піксель-серій від 10% до 30% залежно від ступеня насиченості дрібними деталями.

2. Сумарний час на кодування та передачу відеоданих по каналу зв'язку скоротився щодо часу передачі не стислих даних до трьох разів.

3. Захист відеоданих в цьому разі забезпечується шляхом застосування криптографічного кодування для сукупності ймовірностей кодів-довжин піксель-серій. Це забезпечує унеможливлення декодування початкових даних у разі, коли ми не будемо мати інформацію щодо розподілу ймовірностей. Водночас такий варіант захисту забезпечує скорочення часу на шифрування. Це зумовлено тим, що криптографічному захисту подається не всі елементи початкового відеозображення, а тільки ймовірності побудованих для них кодів-довжин піксель-серій.

4. Розроблений метод стискає зображення від 1,1 до 1,3 разів більше, ніж існуючий метод обробки код-довжин піксель-серій.

ВИСНОВКИ

Матеріал даної роботи дає уявлення про основи стиснення цифрових відеозображень, що досягається шляхом скорочення та видалення кодової, міжпиксельної та візуальної надмірності при обробці відеозображень. Надається огляд популярних стандартів стиснення відеозображень із втратами, а також без втрат.

Отримані такі основні наукові та практичні результати:

1. Розроблено метод стиснення зображень на основі префіксного кодування та скорочення статистичної надмірності в сукупності код-довжина піксель-серія за методом Хаффмана з використанням правила зменшення дисперсії розподілу кількості біт. Цей метод стиснення дозволив:

- зберегти вихідну якість зображення;
- забезпечити коефіцієнт стиснення від 1/2 рази для сильнонасичених зображень до 1/4 разів для слабонасичених зображень.

Для розробленого методу стиснення зображень досягається за рахунок виключення статистичної надмірності в сукупності код-довжин піксель-серій від 10% до 30% залежно від ступеня насиченості дрібними деталями.

2. Сумарний час на кодування та передачу відеоданих по каналу зв'язку скоротився щодо часу передачі не стислих даних до 3 разів.

3. Захист відеоданих в цьому разі забезпечується шляхом застосування криптографічного кодування для сукупності ймовірностей кодів-довжин піксель-серій. Це забезпечує унеможливлення декодування початкових даних у разі, коли ми не будемо мати інформацію щодо розподілу ймовірностей. Водночас такий варіант захисту забезпечує скорочення часу на шифрування. Це зумовлено тим, що криптографічному захисту подається не всі елементи початкового відеозображення, а тільки ймовірності побудованих для них кодів-довжин піксель-серій.

4. Розроблений метод стискає зображення від 1,1 до 1,3 разів більше, ніж існуючий метод обробки код-довжин піксель-серій.

Тому методи стиснення зображень шляхом усунення статистичної надмірності в сукупностях код-довжин піксель-серій становлять інтерес для дослідження щодо відповідності вимогам до підсистем обробки, передачі та відображення відеоінформації в ІФС, а саме, обробці відеоданих в реальному часі при збереженні вихідної якості оцифрованих зображень.

Мета роботи досягнута.

За матеріалами магістерської роботи опубліковано одну наукову працю (тези-доповіді у міжнародній конференції під егідою міжнародної організації IEEE, що індексуються у міжнародній науково-метричній базі Scopus).

Roman Pushkarov, Oleksandr Slobodianiuk, Pavlo Hurzhii, Pavlo Onypchenko, Borys Teliatnyk. Least Significant Bit Methods for Concealing Messages in Telecommunication Systems. *2024 IEEE 5th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Lviv, Ukraine, 2024

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов и др. *Труды Украинского научно-исследовательского института радио и телевидения*. Одесса, 2000. № 3. С. 3-40.
2. Баранник В.В., Поляков В.П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. Харьков: ХУПС, 2010. 234 с.
3. Баранник В.В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, О.С. Куліца // Монографія. – Черкаси, 2015. – 143 с.
4. Баранник В.В., Поляков В.П., Слободянюк А.В. Кодирование трехмерных моделей видеокадров в инфотелекоммуникационных системах: монография / под ред. В.В. Баранника. Каменец-Подольский, 2011. 210 с.
5. Баранник В.В., Корольова Н.А. Структурно-комбинаторное представление данных в автоматизированных система управления: монография / под ред. В.В. Баранника; Харьков. ун-т. Возд. Сил. Харьков, 2009. 252 с.
6. Блаттер К. Вейвлет-аналіз. Основи теорії: навчальний посібник, 2004. 280 с.
7. Вентцель Е.С. Теорія ймовірності. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
8. Бурячок В.Л., Гулак Г.М., Хорошко В.О. Завдання, форми та способи ведення воєн у кібернетичному просторі. Наука і оборона. 2011. № 3. С. 35-42.
9. Буров Є., Пасічник В. Комп'ютерні мережі: підручник / ред. Пасічник В. 2-ге вид., оновл. і доп. Львів: Бак, 2003. 584 с.
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: монография, 2005. 1073 с.
11. Гургенидзе А.Т., Корше В.І. Мультисервісні мережі та послуги широкополосного доступу: підручник, 2003. 434 с.

12. Джервіс Б., Айфічер Є. Цифрова обробка сигналів: практичний підхід / пер. з англ. видавництво: Видавничий дім "Вільямс", 2004. 992 с.
13. Комолов Д.И., Лукин В.В., Власов А.В. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. *Радиоэлектроника и информатика*. 2013. № 2. С. 44–48.
14. Красильников М.М. Цифрова обробка зображень: підручник, 2011. 320 с.
15. Лідовський В.В. Теорія інформації: Наукова думка, 2004. 111 с.
16. Претт У. Цифрова обробка зображень: Том 1, 2. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
17. Претт У. Методи передачі зображень. Скорочення надмірності. – М.: Радіо та зв'язок, 1983. – 263 с.
18. Рябко Б.Я. Швидкий алгоритм адаптивного кодування // Проблеми передачі. – 1990. – №4. – С. 24 – 37.
19. Рябко Б.Я. Стиснення даних за допомогою уявного ковзного вікна // Проблеми передачі інформації. – 1996. – №2. – С. 7 – 10.
20. Цифрові телекомунікаційні мережі / Г.В. Горелов, Н.А. Казанский, В.А. Кудряшов, О.Н. Ромашкова / Під ред. Г.В. Горелова, Г.И. Загарія. – Харків: ХФІ "Транспорт України", 2000. – 216 с.
21. Adaptive cartooning for privacy protection in camera networks [Text] / A. Erdelyi, T. Barat, P. Valet, T. Winkler, B. Rinner // *Advanced Video and Signal Based Surveillance* : proc. 11th IEEE Int. Conf. (AVSS), 26-29 August 2014. – Seoul, Korea, 2014. – P. 44–49. DOI: 10.1109/AVSS.2014.6918642.
22. Auer, S. and Bliem, A. and Engel, D. and Uhl, A. and Unterweger, A.: Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time. In.: *International Journal of Digital Crime and Forensics* (2013) DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.
23. Barnsley M.F. Hurd L.P. Fractal Image Compression / A.K. Peters Ltd. Wellesley Massachusetts, 1993.

24. Bitstream-based JPEG Encryption in Real-time [Text] / S. Auer, A. Bliem, D. Engel, A. Uhl, A. Unterweger // International Journal of Digital Crime and Forensics. – 2013. – Vol. 5, Iss. 3. – P. 1–14. DOI: 10.4018/jdcf.2013070101.
25. *Cryptographic and Information Security Approaches for Images and Videos [Text] / S. Ramakrishnan, et al. – CRC Press, 2018. – 962 p. DOI: 10.1201/9780429435461.*
26. Cartooning for Enhanced Privacy in Lifelogging and Streaming Videos [Text] / E. T. Hassan, R. Hasan, P. Shaffer, D. Crandall, A. Kapadia // Computer Vision and Pattern Recognition Workshops: proc. IEEE Conf. (CVPRW). 21-26 July 2017. – Honolulu, USA, 2017. – P. 1333–1342. DOI: 10.1109/CVPRW.2017.175.
27. Chigorin A., Krivovyaz G., Velizhev A., Konushin A. A method for traffic sign detection in an image with learning from synthetic data. *Digital Signal Processing and its Applications: the 14th Intern. conf. 2012.* Vol 2. P. 316-335.
28. Ieremeiev, O. Combined visual quality metric of remote sensing images based on neural network / O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Okarma // Radioelectronic and computer systems. – 2020. – № 4. – P. 4-15. DOI: 10.32620/reks.2020.4.01.
29. Information technology – JPEG 2000 image coding system: Secure JPEG 2000. International Standard ISO/IEC 15444-8; ITU-T Recommendation T.807, 108 p. (2007).
30. Farajallah, M. Chaos-based crypto and joint crypto-compression systems for images and videos [Electronic resource] / M. Farajallah. – 2015. – 211 p. – Access mode: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01179610>. – 11.01.2022.
31. Kobayashi, H. Bitstream-Based JPEG Image Encryption with File-Size Preserving [Text] / H. Kobayashi, H. Kiya // Consumer Electronics : proc. 7th IEEE Global Conf. (GCCE), 9-12 Oct. 2018. – Nara, Japan, 2018. – P. 1–4. DOI: 10.1109/gcce.2018.8574605.
32. Phatak, A. A Non-format Compliant Scalable RSA-based JPEG Encryption Algorithm [Text] / A. Phatak // International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. – 2016. – Vol. 8, No. 6. – P. 64–71. DOI: 10.5815/ijigsp.2016.06.08.

33. Slobodyanyuk O., Krasnorutsky A., Bezruk V., Onyshchenko R., Kolesnyk V. and Podlesny S., "Approach to Coding with Improved Integrity of Video Information for Transmission in Wireless Infocommunication Networks," 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 38-42, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024245.