

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Технологія структурно-біноміального кодування для підвищення
ефективності функціонування комп'ютерних систем
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСм-21-1

Бараннік В.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна
інженерія
(код і повна назва спеціальності)

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


Освітня програма Спеціалізовані

комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник Хаханова Г.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри


(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва)

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

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Баранніку Валерію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технологія структурно-біноміального кодування для підвищення ефективності функціонування комп'ютерних систем

затверджена наказом по університету від 14 листопада 2022 р. № 1478 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи розробка методу структурно-біноміального кодування.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі огляд літератури за темою дослідження; розробка методу структурно - позиційного кодування; оцінка характеристик ефективності функціонування розробленого методу структурно - позиційного кодування.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____
 слайди презентації _____

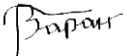
6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

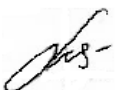
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2022-05.09.2022	
2	Аналіз предметної області	07.09.2022-21.09.2022	
3	Аналіз джерел з теми	22.09.2022-05.10.2022	
4	Розробка методу структурно-біноміального кодування	06.10.2022-19.10.2022	
5	Оцінка характеристик ефективності функціонування розробленого методу структурно-біноміального кодування	20.10.2022-27.11.2022	
6	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	28.11.2022-30.11.2022	
7	Перевірка виконаного проекту керівником	06.12.2022-11.12.2022	

Студент _____  _____
 (підпис)

Керівник роботи _____  _____ доц. Хаханова Г.В. _____
 (підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 63 сторінки, 33 рисунки, 3 таблиці та 19 джерел за переліком посилань.

КОДУВАННЯ, МЕТОД, СТРУКТУРНО-БІНОМІАЛЬНЕ КОДУВАННЯ, СИСТЕМА СЧИСЛЕННЯ, АЛГОРИТМ КОДУВАННЯ.

Науково-прикладна полягає в усуненні дисбаланса між значними темпами зростання інформаційної інтенсивності та обмеженим зростанням продуктивності функціонування інфокомунікаційних систем.

Мета роботи полягає в створенні методу ефективного кодування відеознімку для підвищення ефективності функціонування комп'ютерних систем.

Об'єкт дослідження: процеси обробки відеозображень для збільшення ефективності функціонування комп'ютерних систем

Предмет дослідження: методи кодування для зменшення об'єму відеоданих в комп'ютерних системах.

Проведений аналіз тенденцій розвитку комп'ютерних технологій та сервісів. Обґрунтовані проблемні аспекти функціонування комп'ютерних мереж, які перш за все зумовлені дисбалансом між рівнями інтенсивності відеопотоку та пропускною здатністю мережевих технологій. Проведений аналіз технологій сучасних систем кодування. Розглянуті існуючі методи кодування. Розроблена технологія структурно-біноміального кодування. Проведений порівняльний аналіз розробленого методу з існуючими технологіями кодування.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work contains: 64 pages, 3 figures, 3 tables and 19 sources according to the list of links.

CODING, METHOD, STRUCTURAL-BINOMIAL CODING, COMPRESSION SYSTEM, CODING ALGORITHM.

Scientific and applied task: Increasing the efficiency of the functioning of computer systems.

The purpose of the work is to create a method of effective coding of a video image to increase the efficiency of the functioning of computer systems.

Object of research: Processes of processing video images to increase the efficiency of the functioning of computer systems

Research subject: Coding methods for reducing the volume of video data in computer systems.

The analysis of trends in the development of computer technology and services was carried out. Problematic aspects of the functioning of computer networks, which are primarily caused by an imbalance between the levels of video flow intensity and the bandwidth of network technologies, are substantiated. An analysis of the technologies of modern coding systems was carried out. Existing coding methods are considered. The technology of structural-binomial coding has been developed. A comparative analysis of the developed method with existing coding technologies was carried out.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Аналіз тенденцій щодо технологій комп'ютерних мереж	10
1.2. Дисбаланс в інформаційно-телекомунікаційних системах.	23
2 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЙ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПРЕСИВНОГО КОДУВАННЯ.....	27
2.1 Обґрунтування критеріїв оцінювання якості функціонування методів кодування	27
2.2 Дослідження існуючих концепцій створення кодогенеруючих систем.	37
3 МЕТОД СТРУКТУРНО-БІНОМІАЛЬНОГО КОДУВАННЯ.....	39
3.1 Обґрунтування напрямку вдосконалення технологій кодування	39
3.2 Розробка методу структурно-биноміального кодування	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПИСИЛАННЯ	61
ДОДАТОК А.....	64
ДОДАТОК Б	67

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БП – біномінально-поліадичний;

ДВІР – динамічний відеоінформаційний ресурс;

КІФ – критична інфраструктура;

ОКІФ – об'єкт критичної інфраструктури;

РВ – реконструйовані відеодані;

ІоТ – Internet of things;

ПВСШ – пікове відношення сигнал/шум.

ВСТУП

Стабільний розвиток соціуму, особистості і держави в цілому залежить від рівнів: забезпечення національної безпеки, зростання економіки, соціально-політичної стабільності та інформаційної культури. У сучасному світі стан справ за цими напрямками визначається ступенем інформатизації різних галузей життєдіяльності держави, впровадження наукоємних технологій і забезпечення інформаційної безпеки, як з позиції інтересів особистості і соціуму, так і з позиції функціонування системи критичної інфраструктури.

Це висуває необхідність розробки і просування цілого ряду пріоритетних (багатогалузових, наскрізних) наукоємних інфокомунікаційних технологій. Виділяються наступні технології: методи обробки "великих даних" (big data), технології бездротового зв'язку (включаючи 5G), технології віртуальної і доповненої реальності (VR / AR), системи розподіленого реєстру (блокчейн), квантові технології, нові виробничі технології, промисловий інтернет, компоненти робототехніки і сенсоріка, нейротехнології і штучний інтелект. По суті, перелічені пріоритетні технології впливають одночасно на розвиток цілого ряду галузей.

Загальним значущим аспектом таких технологій є необхідність формування, обробки, зберігання, передачі, забезпечення інформаційної безпеки (кібербезпека), систематизації та семантичного аналізу, включаючи консолідацію, великих інформаційних ресурсів від різних джерел. Дані процеси в усьому циклі від формування інформації до підготовки і прийняття рішень займають до 90% від усього тимчасового і обчислювального ресурсу. При цьому в залежності від класу вирішуваних завдань і ступеня критичності інформації висуваються різні вимоги щодо своєчасності, достовірності, якості, повноти та безпеки інформаційних ресурсів. З таких позицій найбільш жорсткі вимоги застосовуються в системах критичної інфраструктури. Тут

процес прийняття рішень необхідно забезпечувати в реальному часі з мінімізацією ймовірності помилкових дій. У той же час використовується режим досягнення найбільшої повноти, достовірності та безпеки інформації. В таких умовах організовується формування значних обсягів інформації від великої кількості джерел. Одночасно можуть використовуватися різні фізичні канали формування цифрових зображень і відеоконтенту (видимий діапазон, інфрачервоний діапазон, радіолокаційний діапазон, гіперспектральні зображення), аудіоканали, і цифрові дані. Інформація повинна бути систематизовані, зберігатися, передаватися, консолідуватися і аналізуватися в реальному часі. Відповідно для доставки інформації використовуються комплекс інформаційно-комунікаційних технологій бездротової передачі даних, наземного і аерокосмічного сегментів, включаючи супутникові технології, Wi-Fi, Wi-Max, 4G, 5G. Звідси ключовим етапом цифрової обробки інформації є її синтаксичне уявлення. Формат синтаксичного представлення інформації надає значущий вплив на всі подальші процеси її переробки, аналізу та прийняття рішень, а саме: процеси передачі інформації по бездротових мережах мобільного сегменту інфокомунікаційних систем (4G, 5G); ефективність big data систем і семантичного аналізу, в тому числі з використанням нейротехнологій і штучного інтелекту; якість функціонування систем комп'ютерного зору і 3D віртуальної реальності (VR / AR); забезпечення інформаційної безпеки в так званій пост-квантовий період.

Значить розробка принципово нових теоретичних основ і модифікація існуючих концептів щодо синтаксичного кодування інформаційних ресурсів різних джерел для створення умов забезпечення комплексу життєво-важливих інтересів особистості, соціуму і держави є актуальною науково-прикладною проблематикою.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз тенденцій щодо технологій комп'ютерних мереж

Потреба користувачів у нових сервісах визначають розвиток сучасних технологій та виникнення нових наукових (наукомістних) концепцій. Даний фактор є наслідком розвитку прикладного аспекту впроваджуваних інформаційних технологій, на основі яких будується безліч сфер діяльності особистості, соціуму і держави. Комп'ютерні мережеві технології продовжують розвиватися.

Розглянемо тенденції розвитку технологій IoT-гаджетів. У 2022 році конкуруватиме безліч продуктів, підключених до Інтернету. Інтернет речей (IoT) — це назва «провідних» елементів, і деякі категорії будуть особливо цікавими:

- носімі. Операційні покращення, у тому числі швидкість обробки та час автономної роботи. Годинник буде, як і раніше, орієнтований на відстеження здоров'я та фізичної форми;

- розумні кухні. Такі речі, як розумні кружки з регульованою температурою, мікрохвильові печі, якими ви можете керувати за допомогою голосу, блендери, які знають точну кількість інгредієнтів, які потрібно додати, та покращене розпізнавання продуктів у підключеному холодильнику;

- розумні лампочки. Системи освітлення з підтримкою Wi-Fi або Bluetooth, додаткові покращення якості ламп, можливості програмування та простоти інтеграції;

- загальнодоступні програми. Крім обладнання в наших будинках, функціональність IoT більше проявлятиметься в магазинах, ресторанах та муніципальних установах.

За даними дослідження Ericsson, у 2026 році на частку IoT-пристроїв ближньої дії буде припадати більше половини підключених пристроїв (рисунок 1.1). Згідно з звітом Ericsson Mobility Report, кількість очікуваних пристроїв, що використовують цю технологію, збільшиться на 92%, з 10,7 млрд у 2020 році до 20,6 млрд. З точки зору зростання, ще однією категорією Інтернету речей, яка має вибухнути, є глобальний IoT, який збільшиться на 235% з 1,8 мільярда до 6,3 мільярдів пристроїв за той же період часу.

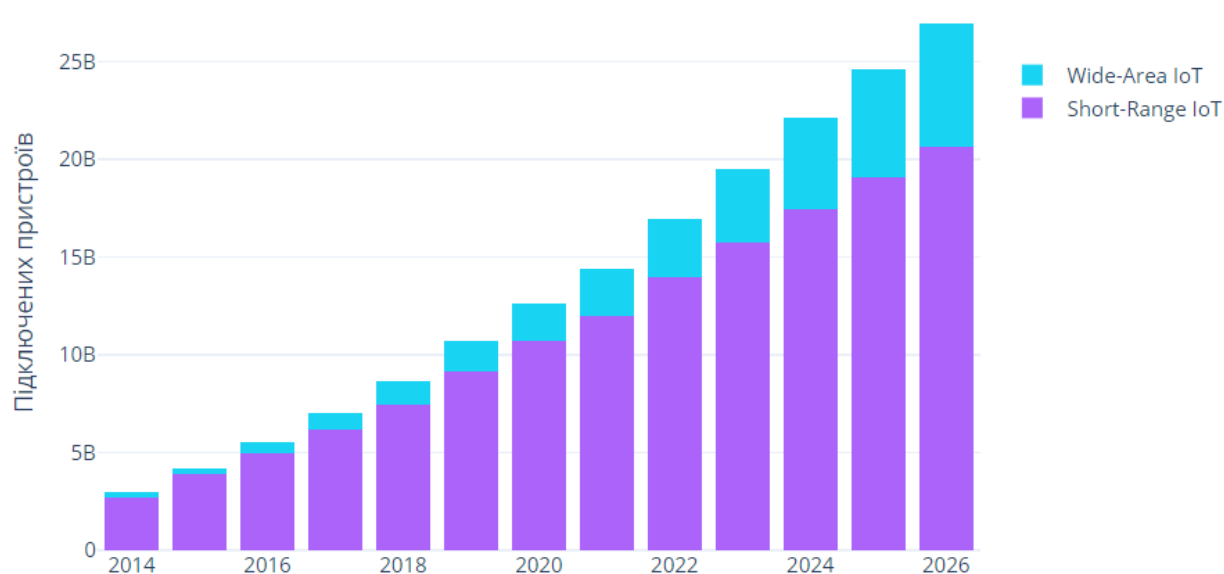


Рисунок 1.1 – Зростання використання IoT-гаджетів

Пристрої IoT, підключені з використанням мобільних технологій, таких як LTE та 5G, також поширюватимуться. Очікується, що ця категорія зросте з 1,7 мільярда пристроїв у 2020 році до 5,9 мільярда у 2026 році (рисунок 1.2). Саме на стільникових технологіях працюватиме більшість варіантів використання майбутніх мереж, включаючи віддалену хірургію, автономні транспортні засоби та інтелектуальну промисловість.

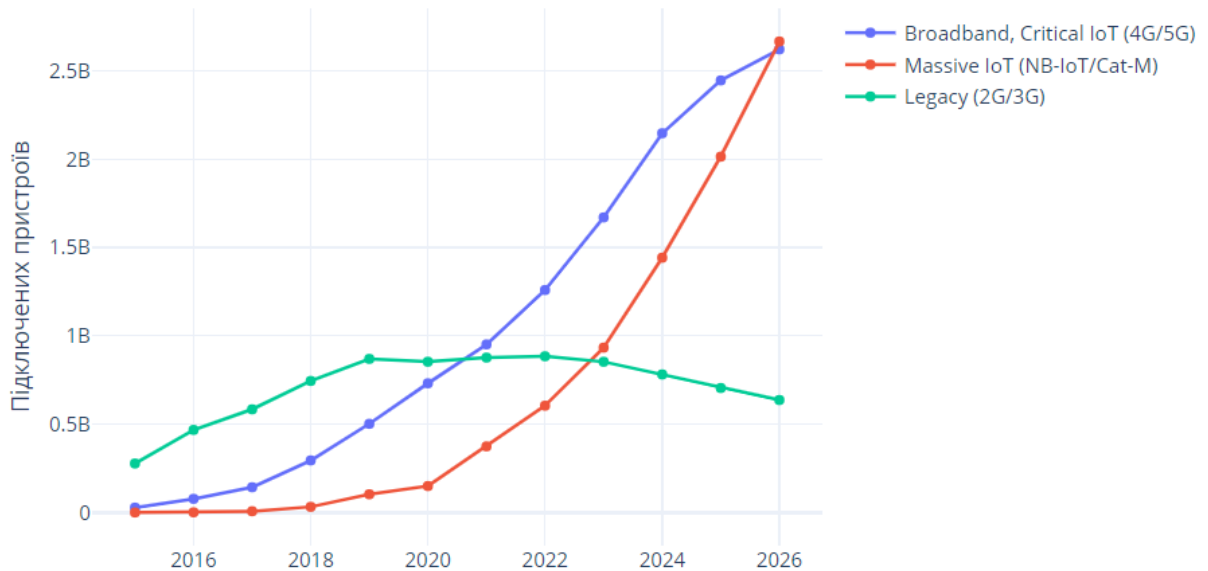


Рисунок 1.2 – Використання технологій G при користуванні IoT-гаджетами

Поряд із цими нововведеннями є супутні проблеми безпеки – ризики для конфіденційності, які супроводжують пристрої IoT, враховуючи їх доступ до будинків, дій та особистих даних користувачів.

Розглянемо тенденції в мобільних мережах (технології G). Незважаючи на те, що мобільні мережі 4G LTE не досягають багатьох частин світу (і не будуть доступні протягом багатьох років), телекомунікаційна галузь працює над розробкою технології стільникового зв'язку наступного покоління 5G.

5G покликаний різко підвищити швидкість мобільного з'єднання. Як і при початковій розробці 4G, компанії не рекламували свої зусилля в області 5G. Дослідники продовжать тестувати зразки того, що може стати частиною стандартних мереж 5G.

Порівняння технологій 4G та 5G. Новий тип мобільної мережі не був би новим, якби він у чомусь принципово не відрізнявся від існуючих. Однією з основних відмінностей є використання 5G унікальних радіочастот для досягнення того, чого не можуть 4G мережі.

Радіоспектр, розбитий на смуги, кожна з яких має унікальні особливості з просуванням до вищих частот. 4G використовує частоти нижче 6 ГГц, у той час як деякі мережі 5G використовують вищі частоти, наприклад, близько 30 ГГц і вище. Високі частоти хороші з низки причин, одне з найважливіших у тому, що вони підтримують величезну ємність для швидких даних. Вони не тільки менше перевантажені існуючими стільниковими даними і тому можуть використовуватися в майбутньому для підвищення вимог до смуги пропускання, вони також вузьконаправлені і можуть використовуватися поряд з іншими бездротовими сигналами без перешкод. Це сильно відрізняється від вишок 4G, які передають дані у всіх напрямках, потенційно витрачаючи як енергію, так і потужність на передачу радіохвиль у місця, які навіть не вимагають доступу до Інтернету.

5G також використовує більш короткі довжини хвиль, що означає, що антени можуть бути набагато менше, ніж існуючі антени, але забезпечувати точне управління напрямом. Оскільки одна базова станція може використовувати навіть більше спрямованих антен, це означає, що 5G може підтримувати більш ніж 1000 пристроїв на метр більше, ніж підтримується 4G.

Все це означає, що мережі 5G можуть передавати надшвидкі дані набагато більшій кількості користувачів з високою точністю та невеликою затримкою.

Однак, більшість цих надвисоких частот працюють тільки за наявності прямої видимості між антеною та пристроєм, що приймає сигнал. Більше того, деякі з цих високих частот легко поглинаються вологістю, дощем та іншими об'єктами, а це означає, що вони не поширюються так далеко.

Саме з цих причин сильне з'єднання 5G прямо там, де ви знаходитесь, може знизитися до швидкості 4G, коли ви проходите всього за кілька футів. Одним із способів вирішення цієї проблеми є використання стратегічно розміщених антен, або крихітних у певних кімнатах або будинках, які їх потребують, або великих, розташованих по всьому місту.

У міру розширення 5G виникає потреба у багатьох ретрансляційних станціях, які повинні максимально поширювати радіохвилі, щоб забезпечити підтримку 5G на великій відстані.

Ще одна різниця між 5G і 4G полягає в тому, що нові мережі можуть легше зрозуміти тип запитуваних даних і можуть перемикатися в режим нижчого енергоспоживання, коли вони не використовуються, або при подачі низьких швидкостей на певні пристрої, але потім перемикатися на більш високий. Режим живлення для таких речей, як потокове відео високої чіткості. Насправді, згідно з деякими дослідженнями, 5G на 90 відсотків енергоефективніший, ніж старіші мережі, такі як 4G.

Порівняння технологій 5G та 6G. Швидкість та затримка будуть найчіткішою відмінністю між 6G та 5G. Це те, що відрізняє 5G і 4G з точки зору продуктивності, тому ми також можемо очікувати, що 6G буде набагато швидше, ніж 5G.

Якщо початкові цілі зрештою буде досягнуто, мережі 6G імовірно матимуть пропускну здатність у 50-100 разів більше, ніж мережі 5G. Крім того, там, де 5G має підтримувати 1 мільйон пристроїв на кожен квадратний кілометр, 6G пропонується підтримувати 10 мільйонів пристроїв.

Наскільки швидким буде 6G. Зараз важко сказати, але навіть із 5G ми бачимо швидкість до 1 Гбіт/с в ідеальних умовах. 6G абсолютно перевершить це, але скільки ще залишається питань. Ми можемо побачити швидкості кілька сотень гігабіт в секунду або навіть діапазони в терабайтах. Samsung Electronics протестувала технологію 6G у 50 разів швидше, ніж 5G.

Що стосується того, наскільки 6G буде швидше, ніж 5G, все ще висить у повітрі, але ми можемо припустити, що це буде пов'язане з використанням надвисоких частот (міліметрових хвиль) радіоспектру. Пропускна здатність 5G полягає у тому, що він використовує високі радіочастоти; Чим вище ви піднімаєтеся в радіоспектрі, тим більше даних ви можете передати. 6G може в кінцевому підсумку наблизитися до верхніх меж радіочастотного спектру і

досягти надзвичайно високих частотних рівнів 300 ГГц або навіть терагерцових діапазонів.

Однак, так само, як ми бачимо зараз, коли варіанти надшвидких мереж 5G надзвичайно локалізовані через властиві їм обмеження міліметрових хвиль, та сама проблема буде спостерігатися в мережах 6G. Наприклад, діапазон терагерцового випромінювання становить близько 10 метрів, що замало значного покриття 6G.

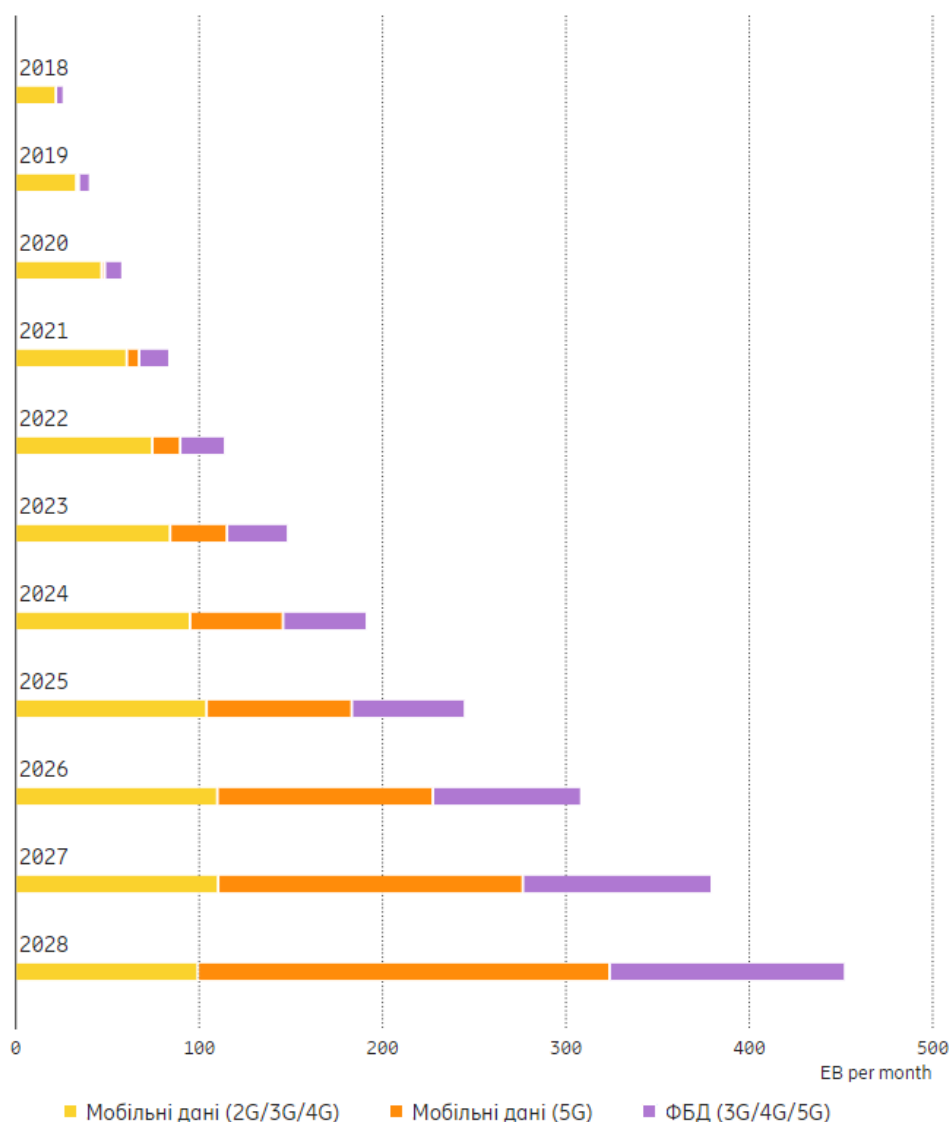


Рисунок 1.3 – Глобальний трафік даних мобільної мережі

З аналізу графіка на рисунку 1.3 бачимо, що загальний глобальний трафік мобільних даних, за винятком трафіку, що генерується фіксованим

бездротовим доступом (ФБД), до кінця 2022 досяг приблизно 90 ЕБ на місяць і, за прогнозами, зросте приблизно в 4 рази і досягне 325 ЕБ на місяць в 2028 році. Включно з ФБД, до кінця 2022 р. загальний трафік мобільної мережі складе приблизно 115 ЕБ на місяць до кінця 2022 р. і до 453 ЕБ на місяць до кінця 2028 р. Зростання трафіку до 2028 р. включає припущення, що почнеться ширше використання послуг типу XR, включаючи AR, VR та змішана реальність (MR).

Технологія інтернет-протоколу IPv6. Інтернет-протокол версії 6 (IPv6) одного разу замінить традиційну систему адресації інтернет-протоколу, з якою ми знайомі, IPv4. Сторінка Google IPv6 Adoption (рисунок 1.4) показує, наскільки швидко просувається розгортання IPv6. Як показано, темпи розгортання IPv6 продовжують прискорюватися з 2013 року, але для повної заміни IPv4 буде потрібно ще багато років. В 2022 році IPv6 буде частіше використовуватися, особливо щодо корпоративних комп'ютерних мереж.

IPv6 прямо чи опосередковано приносить користь усім. Завдяки розширеній кількості доступного простору IP-адрес для розміщення майже необмеженої кількості пристроїв інтернет-провайдерам буде простіше керувати обліковими записами абонентів. У IPv6 додані й інші покращення, що підвищують ефективність та безпеку керування трафіком TCP/IP в Інтернеті.

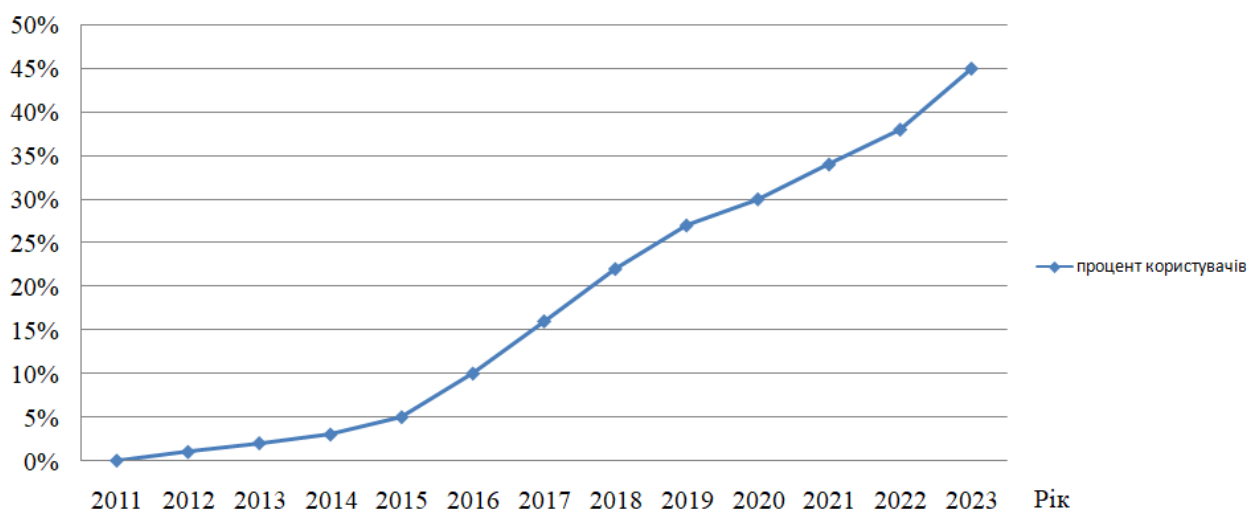


Рисунок 1.4 – Використання протоколу IPv6

Однією з відмінностей IPv6 від IPv4 є структура адреси. Замість 32-бітових адрес, таких як IPv4, IPv6 підтримує 128-бітові адреси. Крім цифр від 0 до 9, що підтримуються IPv4, IPv6 приймає літери від а до f. З кожним додатковим бітом адресний простір (загальна кількість унікальних IP-адрес) подвоюється. Більший адресний простір — не єдина різниця між IPv4 та IPv6. Ось деякі інші відмінності:

Таблиця 1.1 – Відмінності Pv6 та IPv4

Відмінності Pv6 та IPv4		
	IPv6	IPv4
Поля заголовка	8	12
Довжина поля заголовка	40	20
Наявність поля контрольної суми	Ні	Так
Типи передач	Одноадресний, багатоадресний, будь-який	Одноадресний, широкомовний, багатоадресний

Підтримка VLSM	Ні	Так
Типи завдань	DHCPv6 і статичні	DHCP і статичні
Безпека	Вбудована підтримка IPSec	Залежить від програми
Автоматична конфігурація	Так	Ні
Метод картографування	NDP (протокол виявлення сусідів)	ARP (протокол розпізнавання адрес)
Прямі P2P з'єднання	Так	Ні (через трансляцію мережевих адрес)

Розглянемо тенденції розвитку та використання штучного інтелекту. Здатність комп'ютерних систем, таких як Deep Blue, грати в шахи на рівні чемпіонів світу, допомогла узаконити штучний інтелект (ШІ) кілька десятиліть тому. З того часу як швидкість комп'ютерної обробки, і можливості її використання значно зросли.

Одним із ключових перешкод для більш універсального штучного інтелекту були обмеження здатності систем ШІ спілкуватися та взаємодіяти із зовнішнім світом. З набагато вищими швидкостями бездротового зв'язку, доступними сьогодні, можна додати датчики та мережеві інтерфейси до систем штучного інтелекту, які дозволять використовувати нові вражаючі програми.

Обчислення вимірюються в петафлопс, що становить 10^{15} операцій з плаваючою комою.

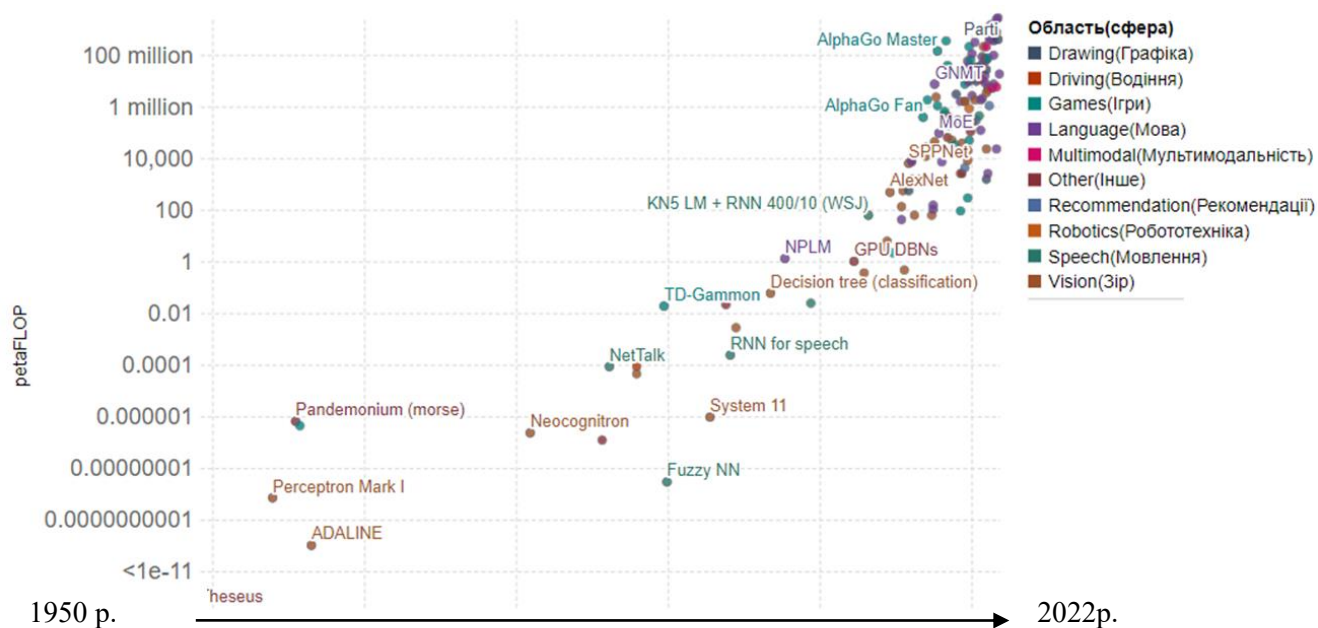


Рисунок 1.5 – Обчислення, які використовуються для навчання відомих систем штучного інтелекту

З графіка на рисунку 1.5 бачимо значне підвищення розробок технологій в сферах ігор, мовлення та комп'ютерного зору.

Платформи та програми штучного інтелекту дозволяють розробникам корпоративних додатків використовувати можливості машинного навчання для підвищення точності, зручності користувачів, ефективності та можливостей. Прогнозується, що ШІ використовуватиметься повсюдно, від периферії до ядра та хмар. Постачальники технологій повинні продовжувати співпрацювати та підтримувати швидке розгортання, функціональну сумісність та стандартизацію рішень ШІ.

Таблиця 1.2 – Впровадження штучного інтелекту та процент використання

Сфера (варіанти використання)	Процент використання
Системи контролю якості	29%
Автоматизоване обслуговування клієнтів	25%
Цифрові помічники в високоінтелектуальній сфері	23%

Програмне забезпечення для робототехніки	21%
Рекомендації та автоматизація процесу продажів	21%
Автоматизована обробка заяв	20%
Адаптивне навчання (в освіті)	19%
Рекомендації щодо покупок та товарів	16%
Громадська безпека та реагування на надзвичайні ситуації	16%
Програмне забезпечення для керування самокерованими автомобілями	15%
Системи рекомендацій	14%
Діагностика та лікування (охорона здоров'я)	13%
Системи оборони, тероризму, розслідування та розвідки	11%

Технологія SD-WAN. Програмно визначена глобальна мережа (SD-WAN) – це мережна технологія, яка пропонує компаніям більшу гнучкість, ніж попередні системи WAN. У той час як традиційна глобальна мережа дозволяє компаніям, розташованим у кількох місцях, надавати співробітникам доступ до даних, файлів та додатків у домашньому офісі за допомогою багатопротокольної комутації за мітками (MPLS), SD-WAN просуває цей процес ще далі, використовуючи Long Term Evolution (LTE) та послуги широкосмугового доступу до Інтернету для забезпечення доступу. SD-WAN додає до набору хмарні програми, дозволяючи співробітникам віддалено отримувати доступ до загальнокорпоративних програм, таких як Salesforce, Amazon Web Services та Microsoft 365.

Темпи середньорічного приросту трафіку програмно-визначених глобальних мереж (SD-WAN) становитимуть 44%, традиційних мереж WAN – 5%.

Тенденції щодо продуктивності сучасних систем. На рисунку 1.6 показано збільшення кількості транзисторів в процесорах.

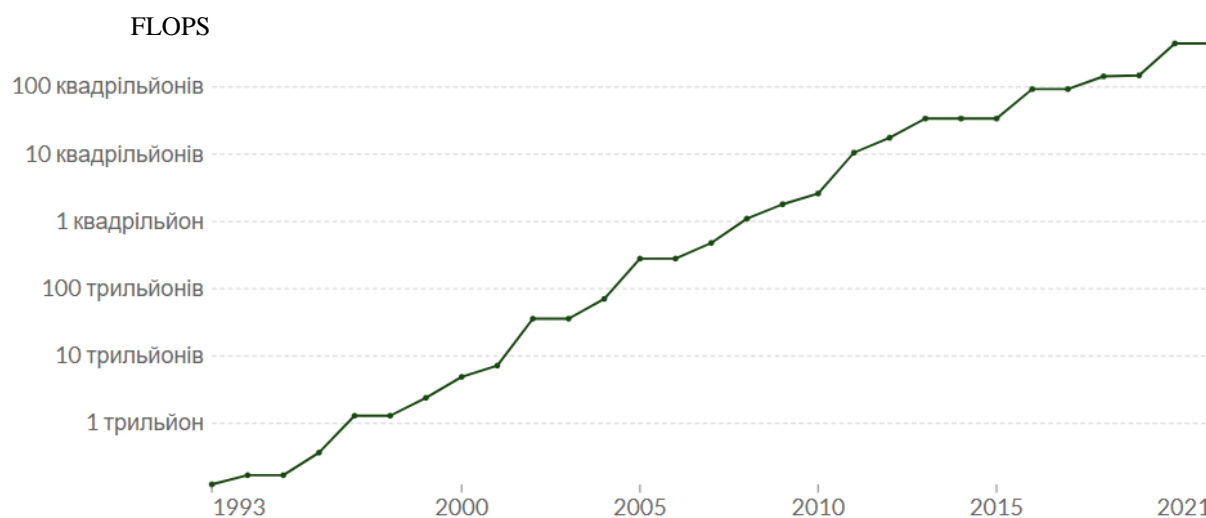


Рисунок 1.7 – Експоненційний прогрес у ефективності обчислень

Вартість підтримки машини у робочому стані також має значення. Ефективність обчислень вимірює обчислювальну потужність на одиницю енергії.

Прогрес у цьому відношенні був дуже суттєвим: дослідники виявили, що за останні шість десятиліть потреба в енергії для фіксованого обчислювального навантаження зменшувалась удвічі кожні 18 місяців.

На рисунку 1.8 приведені загальні тенденції розвитку інформаційно-телекомунікаційних систем.



Рисунок 1.8 – Загальні тенденції розвитку в інформаційно-телекомунікаційних системах

1.2. Дисбаланс в інформаційно-телекомунікаційних системах.

Бачимо, що набирає попит щодо надання відеосервісів з використанням бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій, відповідна тенденція представлена в таблиці 1.3, та з'являється можливість надання нових відеосервісів, в першу чергу пов'язаних з інтелектуалізацією процесів обробки, в тому числі:

- семантичний пошук і семантичний аналіз даних по фрагментах відеоряду; розпізнавання даних;
- ідентифікація об'єктів в рамках відеосцен, що фіксуються;

- комп'ютерний зір.

Таблиця 1.3 – Тенденції розвитку відеоінформаційних послуг в залежності від покоління мережних технологій

Набір відеопослуг, що надаються	1G	2G	3G	4G	5G
Служба мультимедійних повідомлень - MMS (Multimedia Messaging Service)	-	+	+	+	+
Передача стаціонарних зображень (низької/високої якості або роздільної здатності)	+/-	+/+	+/+	+/+	+
Відеотелефонний зв'язок (Videotelephony)	-	-	+	+	+
Відеоконференція (Videoconference)	-	-	+	+	+
Потокове мультимедіа (Stream Media)	-	-	+	+	+
			(низької якості)	(високої якості)	
Системи інтелектуальної обробки відеоінформації в робото-технічних системах	-	-	-	-	+(низької якості)
Комп'ютерний зір в 3 D	-	-	-	-	+(низької якості)
Додатки віртуальної та доповненої реальності (VR и AR)	-	-	-	-	+(низької якості)

В той самий час розвиток та введення нових технологій призводить (введе) до зростання об'єму відеоінформації, зростання складності та інформативності відеоінформації, зростання вимог до оперативності та достовірності. На рис. 1.9 тенденції розбиті на групи в залежності від вимог.

До зростання об'єму відеоінформації

- Ріст об'єму трафіку
- Більша кількість пристроїв
- Збільшення роздільної здатності відео
- Збільшення кількості мобільних додатків
- Збільшення кількості точок доступу Wi-Fi
- Ріст об'єму даних в режимі реального часу
- Впровадження штучного інтелекту
- Збільшення кількості користувачів VR/AR
- Збільшення кількості користувачів відеосервісів
- Збільшення відеоінформації в системах управління КІФ
- Розвиток робототехніки
- Нові науковоємкі відеосервіси

До зростання складності та інформативності відеоінформації

- Збільшення роздільної здатності відео
- Ріст об'єму даних в режимі реального часу
- Впровадження штучного інтелекту
- Збільшення кількості користувачів VR/AR
- Збільшення відеоінформації в системах управління КІФ
- Розвиток робототехніки
- Нові науковоємкі відеосервіси

До зростання вимог до оперативності та достовірності

- Ріст об'єму даних в режимі реального часу
- Впровадження штучного інтелекту
- Збільшення кількості користувачів VR/AR
- Ріст об'єму критичної інформації (збільшення відеоінформації в управлінні КІФ)

Рисунок 1.9 – Вимоги до інформаційно-телекомунікаційних систем

Між вимогами до сучасних відеосервісів та показниками новітніх інформаційно-телекомунікаційних систем виникає дисбаланс між необхідною бітовою швидкістю (від 2 до 300 Гбіт/с.) та існуючою та перспективною бітовою швидкістю (до 10 Гбіт/с).

Отже, науково-прикладна задача, яка полягає в усуненні дисбаланса між значними темпами зростання інформаційної інтенсивності та обмеженим зростанням продуктивності функціонування інфокомунікаційних систем, є актуальною.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЙ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПРЕСИВНОГО КОДУВАННЯ

2.1 Обґрунтування критеріїв оцінювання якості функціонування методів кодування

В процесі інформаційного забезпечення систем управління об'єктами КІФ виникає протиріччя між збільшенням обсягу даних через ріст інтенсивності джерел відеоданих, збільшення кількості відеосервісів та користувачів з одного боку та необхідності зменшення інформаційного навантаження інфокомунікаційних систем для підвищення показників якості надання (відео)сервісів(часова затримка, джипер, втрата пакетів) з іншого.

Поведемо оцінку часу $T_{п}$ передачі стиснених кадрів залежно від швидкості (рисунок 2.1), для $P_t = 1$

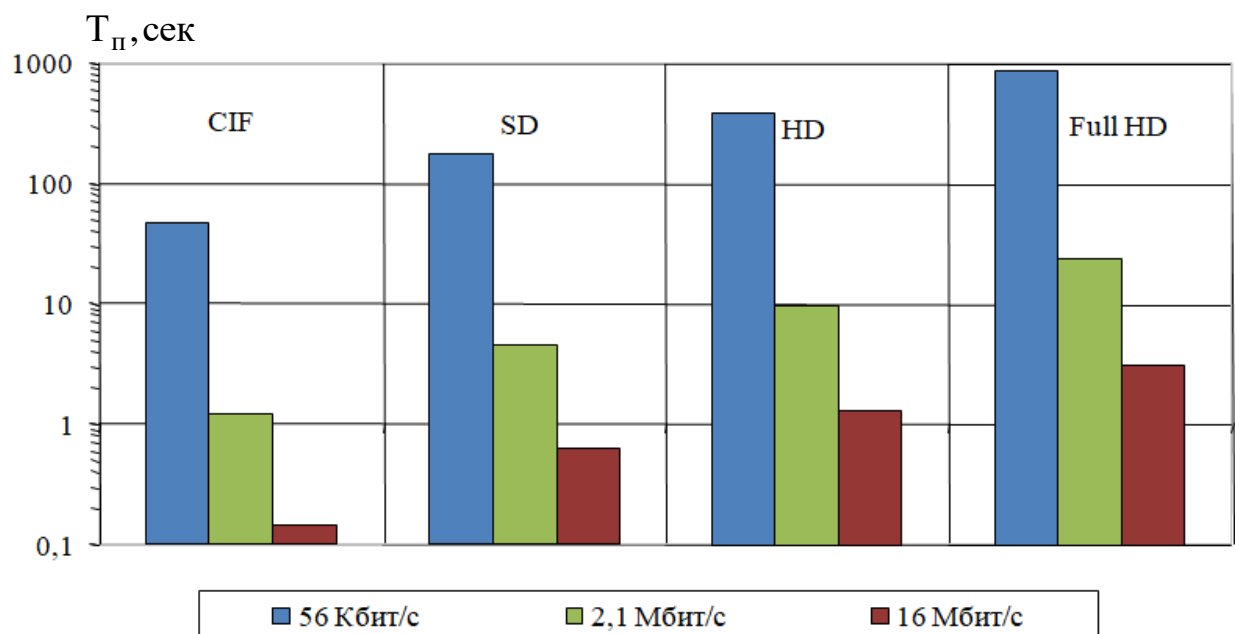


Рисунок 2.1 – Оцінка часу передачі стиснених відеоданих

Аналіз діаграм на рисунку 2.1 показав, що час передачі стиснених відеоданих досягає десятки хвилин.

Причиною тому, що пропускні можливості телекомунікаційних систем набагато нижчі, ніж швидкості стиснених відеоданих. В реальному часі швидкість передачі стиснутих відео даних здійснюється тільки для невеликих обсягів таких форматів як CIF, SD.

З цього можна зробити висновок, що для передачі відеоданих в реальному часі, потрібно скоротити їх обсяг.

Для скорочення часу доставки відеоінформаційного потоку використовують технології стиснення. У процесі стиснення (компресії) даних усувається надмірність зображень, унаслідок чого зменшується його вихідний обсяг. Іншими словами, компресія відеоданих відбувається за рахунок застосування ефективного кодування з усунення різного роду надмірності. Перед отриманням даних споживачем відбувається їх відновлення (декомпресія) [10, 20, 21, 25,31, 42, 46, 53, 56, 57, 63, 73, 82, 92, 100, 103, 117, 122, 127].

Для вирішення задачі забезпечення зменшення бітового об'єму без втрати семантичного змісту відеопотока пропонується використовувати методи кодування(стиснення).

Існуючі методи кодування поділяються на два типи:

- без втрат якості відеозображення;
- з внесенням корекцій значень пікселів.

Виходячи з цього якість функціонування методів стиснення визначаються наступними показниками:

- пікове відношення сигнал/шум (ПВСШ);
- коефіцієнт стиснення.

Пікове відношення сигнал/шум (ПВСШ). Вплив спотворень в процесі обробки зображень на якість їх візуального сприйняття оцінюється як суб'єктивними, так і об'єктивними (кількісними) методами. Для кількісної оцінки найбільшого застосування отримали середньоквадратичні метрики. Найчастіше практично використовується величина δ пікового відношення

сигнал/шум (ПВСШ). Чим більше значення ПВСШ, тим більше схожість між реконструйованим зображенням та вихідним зображенням.

ПВСШ визначається через середньоквадратичну помилку δ СКП (MSE) (mean square error) за формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_{i,j} - y_{i,j})^2}{N \times M}},$$

де $x_{i,j}$ – значення компонент матриці вихідного зображення;

$y_{i,j}$ значення компонентів матриці відновленого зображення;

$N \times M$ – розмірність зображення.

Тоді ПВСШ можна визначити за формулою:

$$\rho = 10 \lg \frac{255^2 \times N^2 \times M^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (x_{i,j} - y_{i,j})^2}.$$

Слід зазначити, що ПВСШ не має абсолютного значення, їх величини використовують лише порівняння продуктивності різних методів стиснення.

Типові значення ПВСШ для стиснення зображень варіюються в межах від 20 до 40 дБ. Через те, що використовується логарифм, величина ПВСШ вимірюється в децибелах (дБ) [80, 90, 94, 112, 113].

Аналіз графіка на рисунку 2.2 свідчить про те, що:

а) найбільш високі ступені стиснення досягаються для методів із втратою якості, тобто, для нижчих значень ПВСШ. З іншого боку з позиції психофізіологічних властивостей зорового апарату не допускається наявність втрат якості зображень нижче за рівень відповідного ПВСШ дорівнює 30 дБ;

б) За рахунок використання систем стиснення відеоданих за наявності втрат якості зображень, що реконструюються на рівні пікового відношення сигнал/шум рівного 30дБ, забезпечується передача зображень нормальної SD якості та зображень формату CIF по високошвидкісних каналах зв'язку ($S_c \geq 10$ Мбіт/с) на невеликі відстані. У разі необхідності забезпечити ПВСШ на рівні 50 дБ, бітову швидкість необхідно додатково знизити в 2 рази.

V_c , Мбіт/с

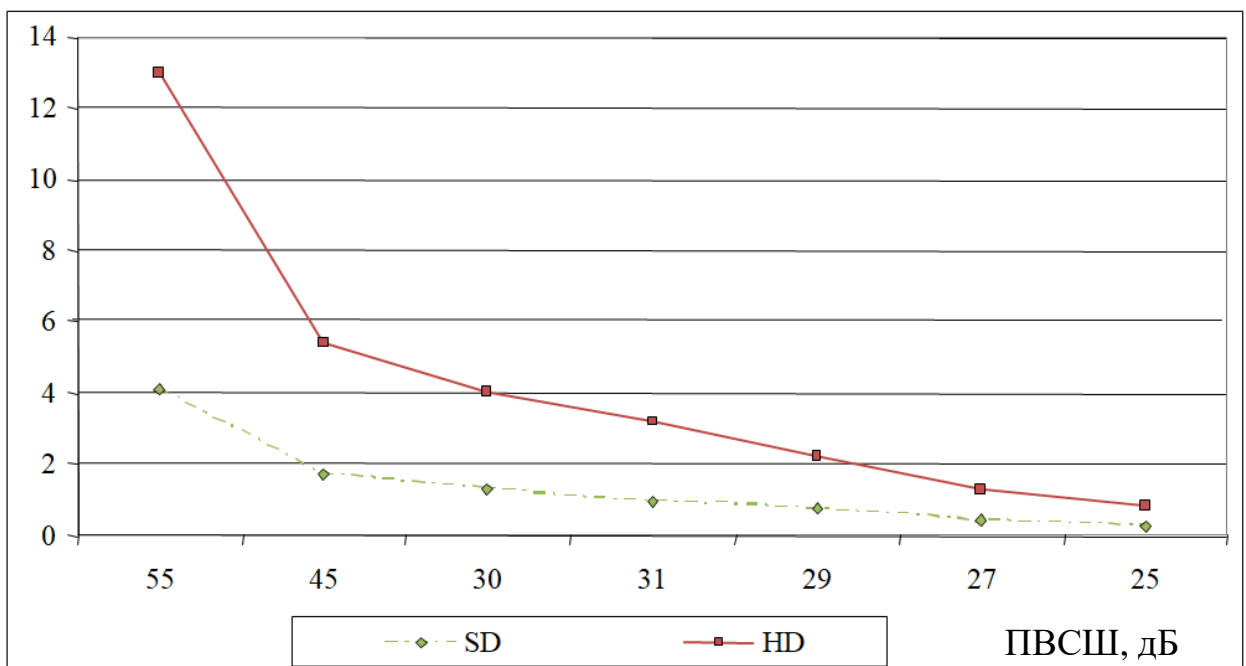


Рисунок 2.2 – Графіки залежності біткової швидкості кадру від ПВСШ для різного просторового дозволу

Коефіцієнт стиснення η . Коефіцієнт стиснення η дорівнює відношенню вхідного(початкового) обсягу V_t відео-потoku до стисненого $V(t)_c$, тобто.

$$\eta = V_t / V(t)_c.$$

В результаті стиснення має забезпечити умову $V(t)_c < V_t$ і як наслідок $\eta > 1$.

Порівняльний аналіз систем стиснення в різних режимах втрати якості показує, що найбільші коефіцієнти компресії досягаються для методів втрати якості (рис. 2.3, 2.4). Залежність коефіцієнта стиснення від класу зображень наведено на рис. 2.3 для методів без втрати якості та на рис. 2.4 відповідно для методів із втратою якості відновлених зображень.

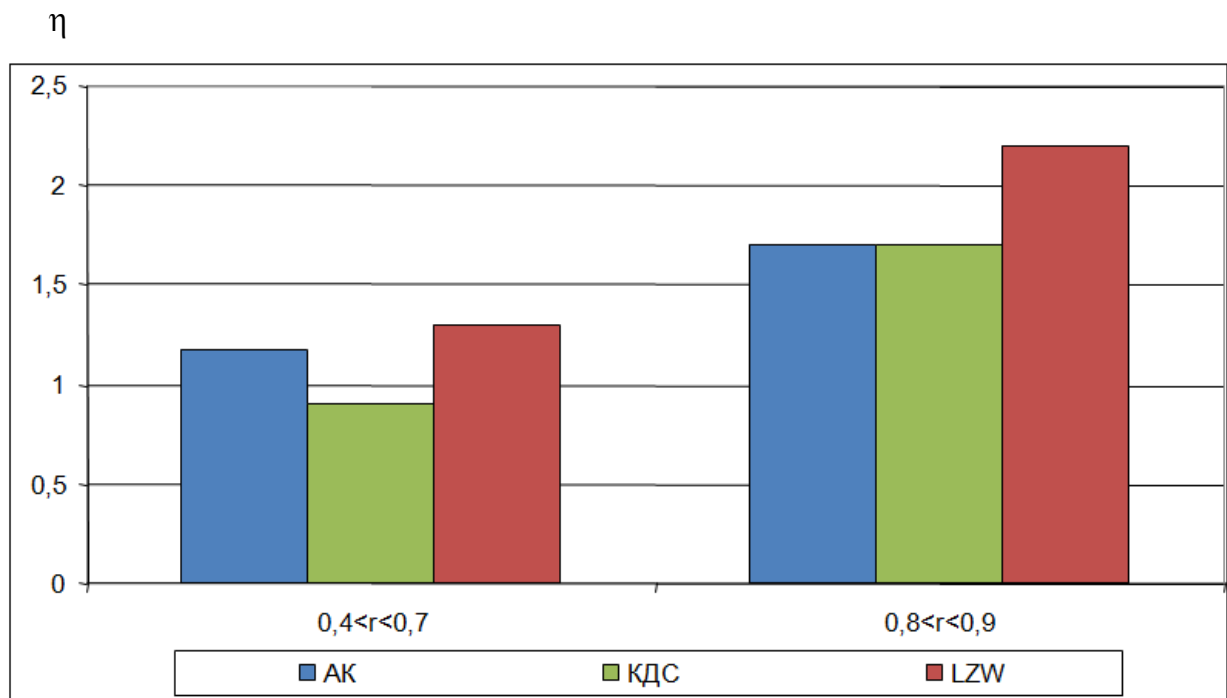


Рисунок 2.3 – Діаграми залежності η від рівня когерентності зображень для методів стиснення без втрати якості

Ступінь когерентності оцінюється на основі коефіцієнта взаємної кореляції r . У цьому випадку пропонується використовувати таку класифікацію: для сильнокогерентних зображень- $0,4 \leq r \leq 0,7$, для середньокерентних - $0,8 \leq r \leq 0,9$ і для слабокогерентних- $r \geq 0,95$.

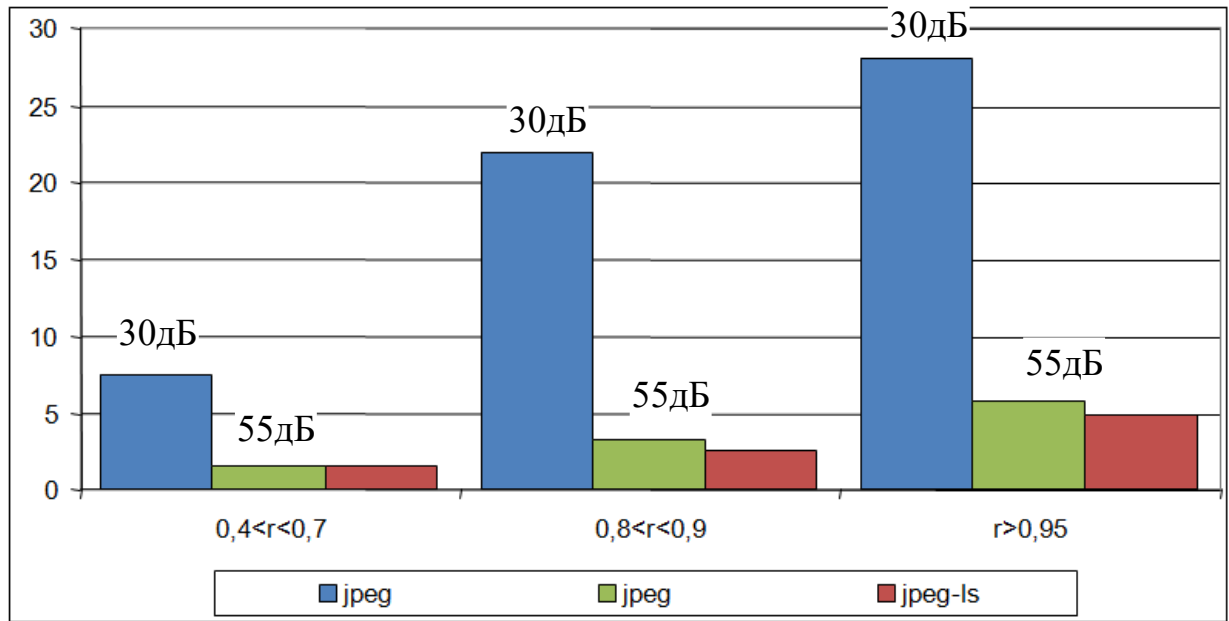


Рисунок 2.4 – Діаграми залежності η від ступеня когерентності зображень для JPEG орієнтованих методів при $\delta = 30$ дБ та $\delta = 55$ дБ

Аналіз діаграм на цих малюнках дозволяє зробити висновок, що для методів без втрати якості середнє значення ступеня стиснення при обробці середньокерентних зображень не перевищує 2 разів. Для методів із втратами якості середнє значення ступеня стиснення не перевищує 3 разів для $\delta = 55$ дБ і не перевищує 20 разів для $\delta_{\text{ген}} = 30$ дБ.

Отже, методи з наявністю втрат якості розжатих зображень забезпечують набагато вищі ступеня компресії, ніж методи без втрати якості. Величина ступеня стиснення η стисненого відео-потoku залежить від рівня внесених спотворень, що відбувається у процесі скорочення психовізуальної надмірності.

Для відеокадрів з високою просторовою роздільною здатністю, щоб забезпечити своєчасну передачу з використанням ІКС із пропускною здатністю $S_c \geq 100$ Мбіт/с, за наявності спотворень на рівні ПВСШ 30 дБ значення бітової швидкості стисненого відеопотoku необхідно зменшити щонайменше 2 рази.

Отже, підвищення роздільної здатності стисканого відеопотоку призводить до появи дисбалансу між його бітовою швидкістю та пропускною здатністю мережі. Не досягається своєчасної доставки необхідних обсягів відеоінформації із заданим дозволом та якістю сприйняття. Існуючі технології компресії зображень із використанням JPEG орієнтованих технологій не забезпечують необхідного рівня бітової швидкості стисненого відеопотоку. Залежно від доступної швидкості передачі даних та якості зображень, що реконструюються, ступінь стиснення необхідно підвищити в середньому на 10 – 50%.

Отже, існуючі технології компресії зображень не забезпечують необхідної бітової швидкості стислих відеопотоків для заданого візуального рівня якості сприйняття відеокадрів.

Отже виникає протиріччя між, з одного боку необхідністю забезпечення достатньої достовірності відеопотоку, в тому числі шляхом збереження необхідної роздільної здатності, та необхідністю збільшення швидкості потоку та зменшення об'єму відеоінформації шляхом зменшення психовізуальної надмірності з іншого.

Для управління ОКІФ потрібна достовірна інформація отже шляхом вирішення цього протиріччя є розвиток методів кодування першого класу.

Методи без втрати якості здійснюють обробку без урахування психовізуальних особливостей сприйняття зображень зорової системи. Представниками методів даного класу є методи статистичного кодування методом Хаффмана, методи статистичного арифметичного кодування (АК), метод виявлення структурних характеристик з урахуванням кодування довжин серій (КДС, RLE), метод словникового кодування сімейства LZW.

Для того, щоб коректніше оцінити ступінь стиснення, зображення класифікуються як: сильнонасичені, середньонасичені та слабонасичені зображення. До сильнонасичених відносяться зображення з великою кількістю дрібних об'єктів та деталей. Коефіцієнт кореляції між елементами зображення у цьому класі менше 0,7. У середньонасиченому класі зображень

коефіцієнт кореляції між елементами зображення знаходиться в межах від 0,7 до 0,9. До даного класу відносяться зображення, в яких є великі однорідні колірні ділянки. До слабонасичених зображень відносяться зображення, в яких відбуваються плавні переходи між ділянками зображень. Тут коефіцієнт кореляції між елементами зображення понад 0,95.

При виборі допустимого значення ПВСШ враховуються:

а) психофізіологічні особливості зорового апарату щодо сприйняття, обробки та аналізу інформації;

б) вплив якості інформації на оперативність та безпомилковість прийняття рішень.

Допустимий рівень якості сприйняття зображень у режимі втрати якості відповідає значенню ПВСШ, що дорівнює не менше $\delta = 55$ дБ. Помірний рівень візуалізації досягається для $\delta = 30$ дБ. Для значення ПВСШ на рівні $\delta = 20$ дБ можуть виявлятися не адекватне співвідношення між піковим ставленням сигнал/шум та якістю візуального сприйняття.

На рисунку 2.5 представимо залежність коефіцієнта стиснення для різних класів зображень за рівня квантування $Q=3$.

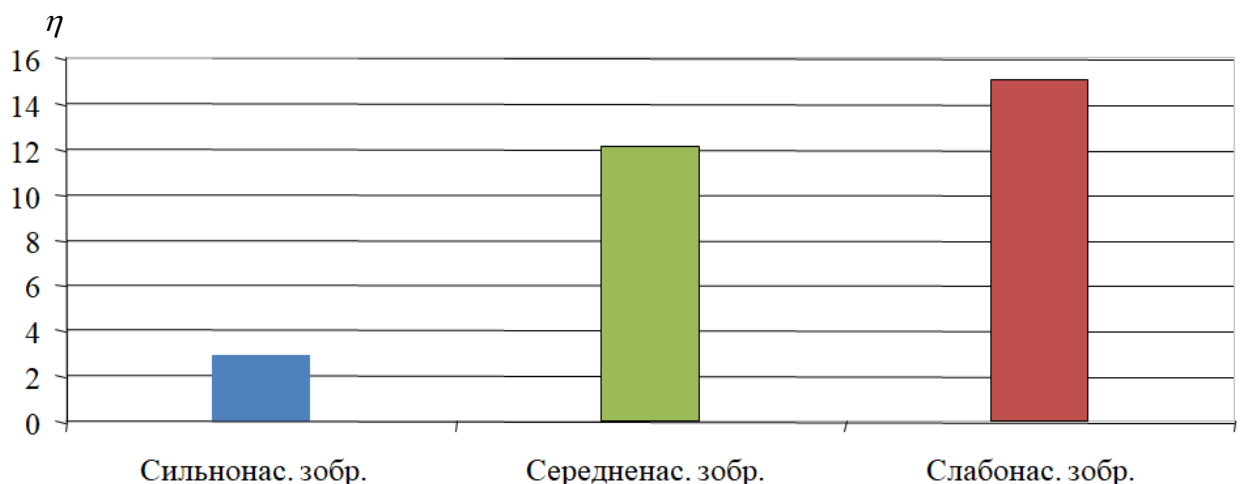


Рисунок 2.5 – Залежність коефіцієнта стиснення від ступеня насиченості зображень у JPEG

З аналізу рисунка 2.5 випливає, що:

- а) зі збільшенням насиченості зображень значення коефіцієнта стиснення зменшуються в середньому від 2,9 до 15,1 разів;
- б) найбільші значення коефіцієнта стиснення для слабонасичених та середньонасичених зображень у середньому від 12,1 до 15,1 разів;
- в) найменші значення коефіцієнта стиснення для сильнонасичених зображень у середньому 2,9 разів.

Можна зробити висновок, що ступінь стиснення в режимі регульованих втрат якості залежить від класу зображень (ступеня насиченості зображення дрібними деталями різного кольору).

JPEG є методом стиснення даних реалістичних зображень із глибиною до 24 біт/піксель. На всіх етапах роботи алгоритму відбувається попередня підготовка (трансформування) даних зображення до стиснення. В результаті такого підходу досягається стиск із коефіцієнтом η , значення якого залежить від насиченості зображень та рівня квантування Q (рисунок 2.6).

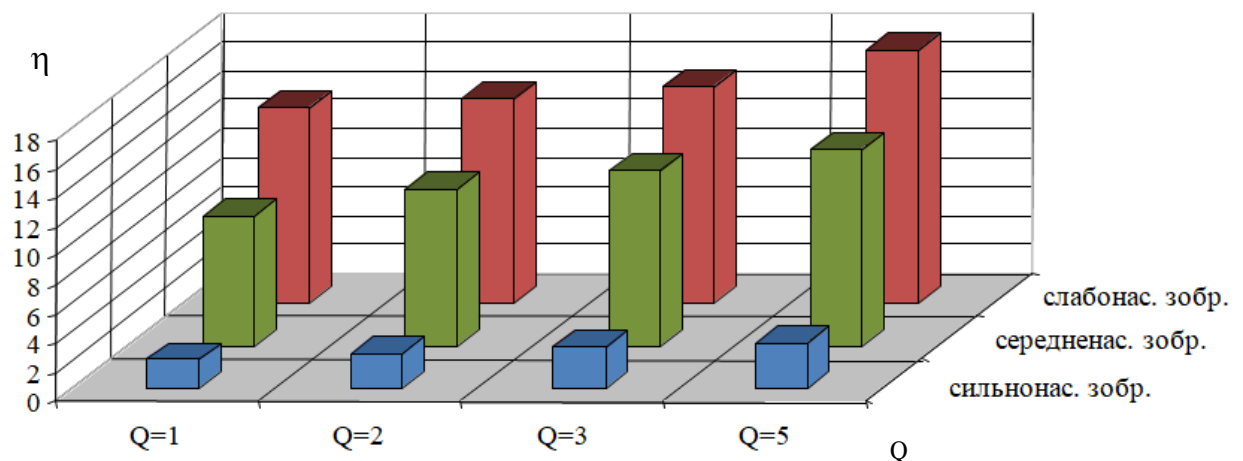


Рисунок 2.6 – Значення коефіцієнта стиснення формату JPEG для різних класів зображень в залежності від рівня квантування

З рисунку 2.6. слідує, що:

– для всіх класів зображень зі збільшенням рівня квантування значення коефіцієнта стиснення зростають у середньому від 2 до 17,5 разів;

– для сильнонасичених зображень значення коефіцієнта стиснення найменші в середньому від 2 до 3,2 разів, для слабонасичених зображень значення η найбільші в середньому від 13,5 до 17,5 разів.

Можна зробити висновок, що максимальна ступінь стиснення досягається у разі підвищення рівня квантування, тобто. відбувається втрата інформації.

З аналізу даних бачимо що існуючі методи кодування мають низьку ефективність у випадку:

а) обробки складних за структурно семантичним змістом відеозображень;

б) у разі скорочення на попередніх етапах обмеженої кількості психовізуальної надмірності.

Отже виникає протиріччя між з одного боку збільшенням складності трафіка у сучасних відеосервісів та необхідністю для ефективного використання існуючих методів кодування використовувати трафік з меншою складністю та наявністю більшої кількості надмірностей різних типів з іншого.

Для вирішення цього протиріччя пропонується розвивати методи кодування першого класу у напрямку усунення структурно комбінаторних видів надмірностей. В той самій час в процесі розробки таких методів кодування необхідно врахувати можливість кризових ситуацій та можливість працювати в умовах військового часу, з чого витікає притиріччя між необхідністю резервування даних через можливість DDoS-атак та каналних перешкод з одного боку та необхідністю виключати резервне копіювання даних для зменшення об'єму з іншого.

Отже, мета кваліфікаційної роботи є створення методу ефективного кодування для зниження об'єму відеознімку.

2.2 Дослідження існуючих концепцій створення кодогенеруючих систем

Розглянемо аналіз існуючих базових концепцій для створення форматів синтаксичного кодування (подання) великих інформаційних ресурсів.

Розвиток наукомістких технологій неминуче супроводжується колосальним зростанням обсягів даних і інтенсивності бітових потоків від різних джерел інформації, підвищенням вимог щодо тимчасових характеристик на обробку та передачу, конфіденційність, достовірність, стійкість щодо дії кібератак. З'являються нові вимоги пов'язані із забезпеченням обробки даних в багатопозиційних системах, в системах штучного інтелекту і розпізнавання об'єктів. Все це призводить до необхідності створення нових кодових структур синтаксичного і семантико-синтаксичного представлення даних. Тому є потреба в розробці нових кодоутворюючих систем числення і технологій кодування. Можливо слід говорити про формування такої прикладної сфери як кодова інженерія (кодоінженерінг).

Один із ефективних напрямків створення таких кодоутворюючих концепцій полягає в побудову (синтезі) принципово нових систем числення. На цьому шляху створюється такий клас нових кодоутворюючих систем числення як біноміально-поліадичні. Становлення і розвиток базової концепції таких кодових систем почалося зі створення на початку 2000-х років теоретичних основ біноміально-поліадичної системи числення [3]. У роботі [5] показані принципово нові властивості щодо процесів обробки даних, які характерні для таких кодових структур. У той же час даний клас БП кодових конструкцій відрізняється значною складністю обчислювального процесу. Для більш гнучкого варіанту розроблялися концепції біноміально-поліадичного кодування в довічнім просторі [5]. Однак на ряду з рядом таких переваг, як підвищення достовірності, конфіденційність і зниження обсягу переданих даних без внесення помилок, з ростом розмірів масивів

даних і підвищенням структурної складності для них характерні значні витрати кількості арифметичних операцій. Для спрощення обробки генерувався клас комплексних кодових конструкцій з послідовним біномінальним і поліадичним (позиційним кодуванням) [6]. У той же час такі системи поряд зі зниженням вимог щодо складності обчислювального процесу втрачають ряд властивостей унікальних систем.

У зв'язку з чим, виникає необхідність створення методів формування БП кодових конструкцій в спрощеному вигляді за рахунок переходу від поліадичного базису до адаптивного позиційного, і використання одноструктурної біномінальної системи. Як одноозначових біномінальних структур пропонується вибирати обмеження на кількість серій одиниць і кількість ненульових елементів[5]. Такий підхід є компромісом між обчислювально-витратними біномінально-поліадичними кодовими конструкціями і комплексними кодовими конструкціями на основі послідовного використання типових систем кодоосвіти.

Тому, мета досліджень даної роботи полягає в розробці методу біноміально-позиційного кодування з урахуванням обмеженої кількості ненульових елементів в адаптивному позиційному базисі (базисі однієї основи).

3 МЕТОД СТРУКТУРНО-БІНОМІАЛЬНОГО КОДУВАННЯ

3.1 Обґрунтування напрямку вдосконалення технологій кодування

Сучасні системи кодування мають в своїй основі однакові принципи.

Один піксель може бути представлений у двох різних кольірних просторах: RGB і YCbCr. Робота алгоритму починається з перетворення кольірної моделі RGB, кольірну модель YCbCr. Де Y – luminance, Cb – Chrominance-blue, Cr – Chrominance-red, що у перекладі «Яскравість – Кольоровість синього – Кольоровість червоного». Це пов'язано з тим, що моделі RGB властива велика надмірність і для стиснення відео, не найефективніший спосіб опису кольору. Причина в тому, що всі три кольори: червоний, зелений, синій, у моделі RGB рівнозначні та характеризуються яскравістю (інтенсивністю), яка може набувати 256 дискретних значень від 0 до 255. Перехід до кольірної моделі YCbCr дозволяє виділити більш важливу інформацію. Кольорове перетворення з RGB YCbCr і назад виконується за наступними формулами

З RGB до YCbCr:

$$\begin{aligned} Y &= (77/256)R + (150/256)G + (29/256)B, \\ Cb &= -(44/256)R + (87/256)G + (131/256)B + 128, \\ Cr &= (131/256)R - (110/256)G - (21/256)B + 128. \end{aligned}$$

З YCbCr до RGB:

$$\begin{aligned} R &= Y + 1,371(Cr - 128), \\ G &= Y - 0,698(Cr - 128) - 0,336(Cb - 128), \\ B &= Y + 1,732(Cb - 128). \end{aligned}$$

Та представлено на рисунку 3.1.

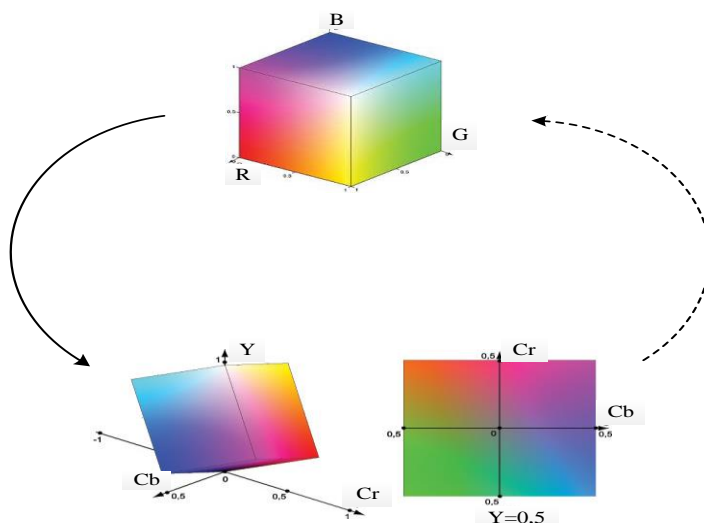


Рисунок 3.1 – Перехід колірного простору з RGB до YCbCr і назад

Це пов'язано з тим, що людське око найбільш чутливе до зміни складності зображення яскравості, ніж до колірних. Зі складових кольоровості можна видалити частину інформації для досягнення більшої ефективності стиснення без помітного візуального погіршення якості рисунку 3.2.

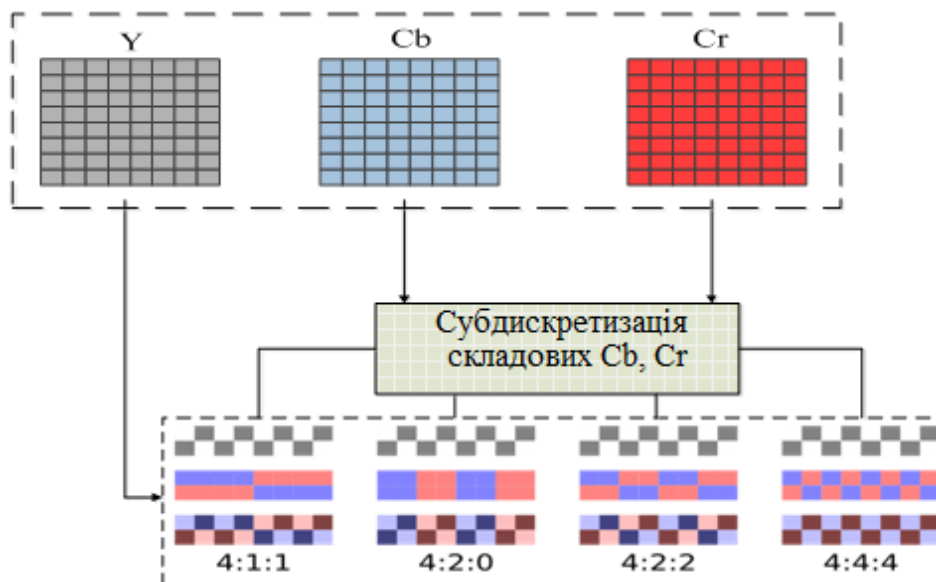


Рисунок 3.2 – Субдискретизація складових Cb, Cr

Цей крок не є обов'язковим, але важливим, оскільки подальша робота

алгоритму дозволить незалежно обробляти кожен колірну складову.

У цифровому відео (аналогові) значення трьох компонентів Y, Cb та Cr (або R, G і B) квантуються до 8-бітових представлень, тобто є три байти, що представляють кожен піксель. Людське око набагато чутливіше до змін яскравості, ніж до двох компонентів кольоровості. Тому загальноприйнято скорочувати інформацію, яка зберігається для кожного зображення, за допомогою кольорової субдискретизації. У форматі YCbCr без дискретизації, який також називають форматом YCbCr 4:4:4, кожен піксель представлено трьома байтами, як щойно було зазначено. З субдискретизацією співвідношення кольоровості до байтів яскравості зменшується. Точніше, субдискретизація представляє групу з типово чотирьох пікселів за їх чотирма компонентами яскравості (байтами) і одним набором з двох значень кольоровості. Кожне з цих двох значень кольоровості зазвичай отримують шляхом усереднення відповідних значень кольоровості в групі.

Загалом цифрове відео не обробляється, не зберігається, не стискається та не передається на піксельній основі, а в ієрархії, як показано на рисунку 3.3. На вершині цієї ієрархії знаходиться відеопослідовність, яка розділена на групи зображень. Кожна група зображень, в свою чергу, складається з кількох відеокадрів. Один кадр ділиться на фрагменти. Кожен фрагмент складається з кількох макроблоків (MB), кожен з яких зазвичай складається з блоків 4×4 . Кожен Блок зазвичай складається з 8×8 пікселів.

Через високі бітрейти цифрове відео майже завжди кодується (стискається) перед передачею через пакетно-орієнтовану мережу. Обмежена пропускна здатність бездротових каналів робить стиснення особливо важливим. Стиснення відео зазвичай використовує три типи надмірностей. На основі кожного кадру (тобто одного зображення) сусідні пікселі мають тенденцію бути корельованими і, отже, мати просторову надмірність. Внутрішньокадрове кодування використовується для зменшення просторової надмірності в даному кадрі. Крім того, послідовні кадри мають схожість і, отже, тимчасову надмірність. Ці часові надмірності зменшуються методами

міжкадрового кодування. Результатом зменшення цих двох надмірностей є потік кодових слів (символів), який має деяку надмірність на рівні символу. Надмірність між цими символами зменшується за допомогою кодування змінної довжини перед тим, як двійковий код буде переданий у вихідний канал.

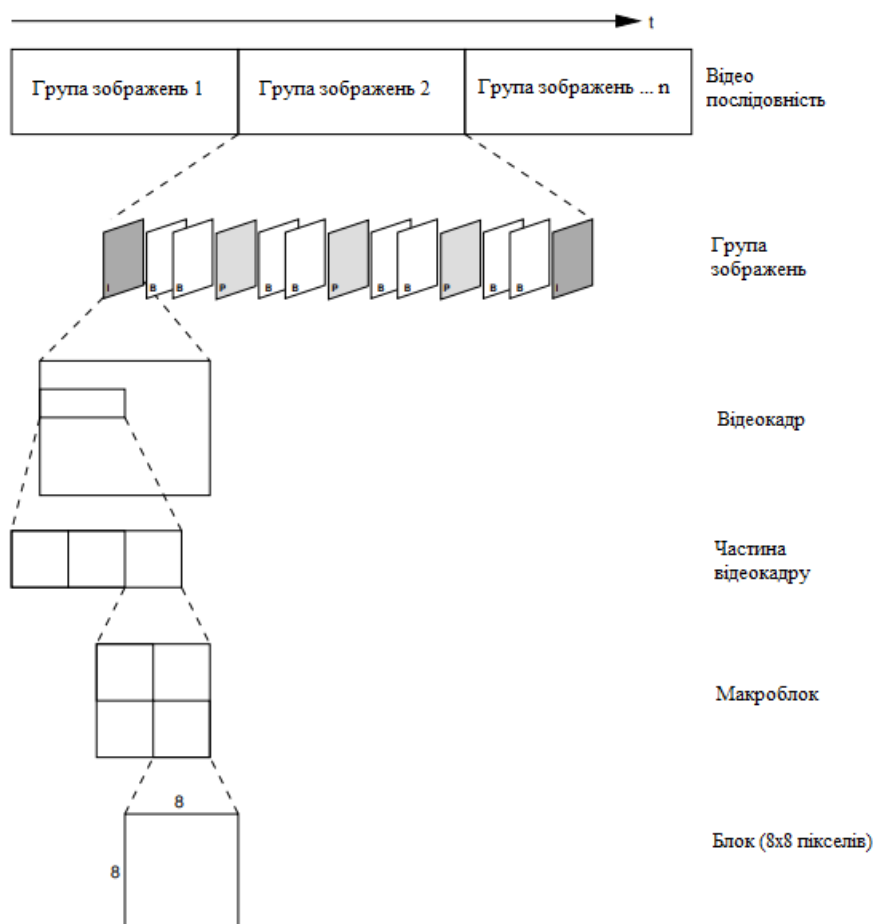


Рисунок 3.3 – Типова композиція відеоряду

Внутрішнє кодування (стиснення) окремого відеокадру нагадує кодування нерухомого зображення. Зазвичай він базується на дискретному косинусному перетворенні (ДКП) (рисунок 3.4).

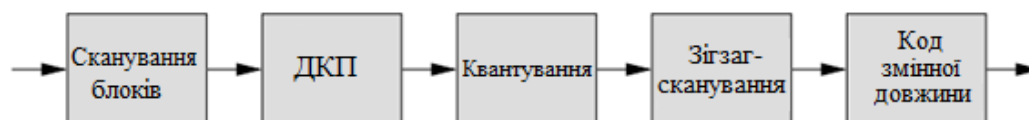


Рисунок 3.4 – Концепція кодування для JPEG

Щоб зменшити обчислювальну потужність, необхідну для ДКП, вихідний кадр розбивається на блоки, оскільки існують ефективні алгоритми для ДКП на основі блоків. Використання форм блоків для кодування є одним із обмежень для систем стиснення на основі ДКП. Типові форми об'єктів на природних зображеннях є неправильними, тому їх не можна помістити в прямокутні блоки, як показано на рисунку 3.5. Щоб підвищити ефективність стиснення, можна використовувати різні розміри блоків ціною збільшення складності .

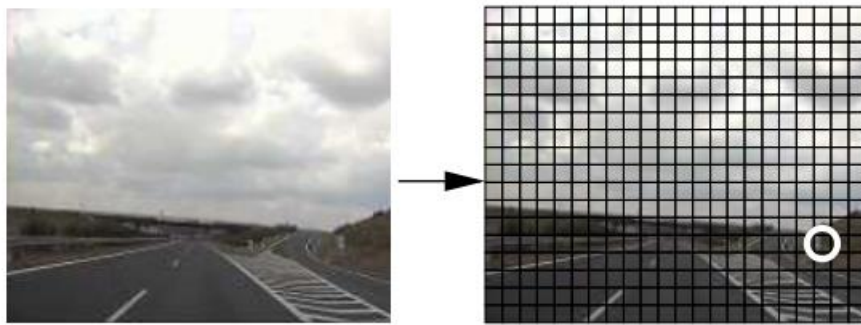


Рисунок 3.5 – Поділ відеокадру на блоки

ДКП використовується для перетворення блоку пікселів (наприклад, для компонента яскравості 8×8 пікселів, представлених 8 бітами кожен, загалом 256 біт) у блок коефіцієнтів перетворення. Коефіцієнти перетворення представляють компоненти просторової частоти вихідного блоку. Приклад цього перетворення блоку, позначеного на рисунку 3.5, проілюстровано на рисунку 3.6. Це перетворення виконується без втрат, воно просто змінює представлення блоку пікселів або, точніше, блоку значень яскравості (колірності). Воно дозволяє переходити від просторового уявлення зображення до його спектрального уявлення та назад. Двовимірний ДКП для $N \times N$ блоку пікселів можна описати як два послідовних одновимірних ДКП(тобто горизонтальний і вертикальний). З $f(i, j)$, що позначає значення пікселів, і $F(u, v)$, що позначає коефіцієнти перетворення.

Пряме та зворотне двовимірне ДКП обчислюється за формулами:

Пряме ДКП:

$$C_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{2n}} C_i C_j \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} P_{x,y} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{2n}\right),$$

при $0 \leq i, j \leq n-1$,

де $P_{x,y}$ – блок пікселів розміром $z_1 \times z_2$ (8×8),

Зворотне ДКП:

$$P_{x,y} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 C_i C_j C_{i,j} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{16}\right),$$

$$\text{де } C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & f = 0 \\ 1, & f > 0 \end{cases}.$$

Ми маємо коефіцієнти перетворення ДКП (рисунок 3.4).

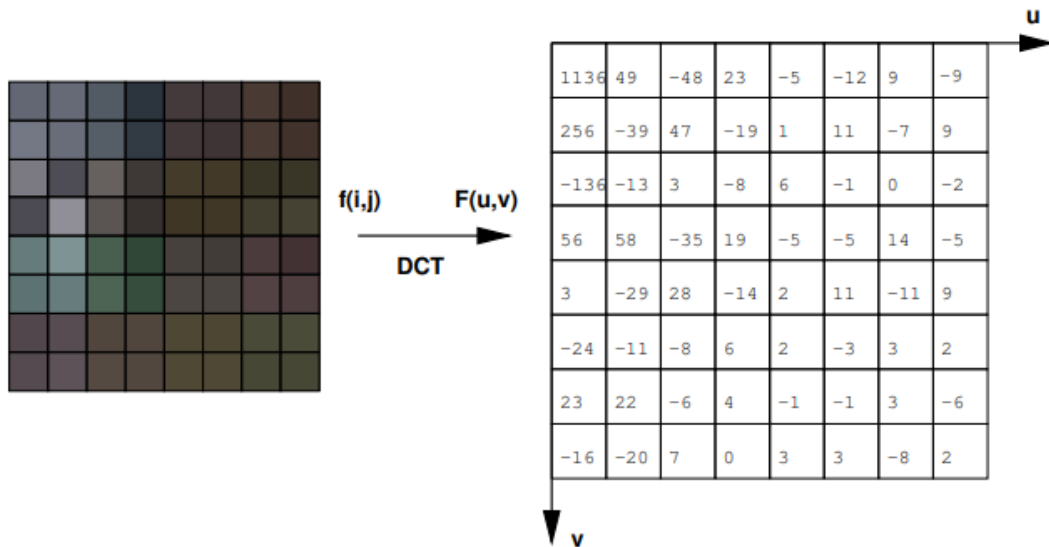


Рисунок 3.6 – Отримані коефіцієнти перетворення ДКП

Внаслідок такого перетворення відбувається перерозподіл енергії (рисунок 3.7). При цьому у сформованій трансформанті, основна інформація про зображення концентрується у лівому верхньому кутку, найбільш вагома компонента називається DC, їй відповідає найнижча частота. Решта компонентів – це високочастотні компоненти AC. Вони містяться незначна інформація про зображення. Тобто кілька коефіцієнтів з u і v , мають високу значимість для представлення вихідного блоку. З іншого боку, більшість вищих частотних коефіцієнтів (тобто $F(u, v)$ для більших u і v) малу.

DC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC

Рисунок 3.7 – Перерозподіл енергії

Таким чином, ДКП дозволяє визначити, яку частину інформації можна відкинути, не вносячи серйозних спотворень у зображення.

Щоб стиснути це просторово-частотне представлення блоку, виконується квантування коефіцієнтів.

Два фактори визначають ступінь стиснення та втрату інформації в цьому квантуванні:

а) коефіцієнти $F(u, v)$ з абсолютним значенням, меншим за поріг квантователя T , встановлюються рівними нулю, тобто вважаються такими, що знаходяться в так званій «мертвій зоні»;

б) коефіцієнти $F(u, v)$ з абсолютним значенням, більшим або рівним

порогу T квантователя, діляться на розмір Q кроку квантувача та округлюються до найближчого цілого числа.

Процес формування компонента трансформанти графічно показано на рисунок 3.8.

Для кожної складової (Y , S_b , S_r) задається своя матриця квантування і відбувається ділення компонентів трансформанти $F_{i,j}$ на коефіцієнти відповідної матриці квантування $X_{i,j}$ поелементно. Що задається такою формулою:

$$\bar{F}_{i,j} = \frac{F_{i,j}}{X_{i,j}}.$$

Результат округляється до найближчого цілого. Тут здійснюється управління ступенем стиснення та відбуваються найбільші втрати. Задаючи великі коефіцієнти квантування, отримаємо більше нульових компонентів, а отже більший ступінь стиснення.

Можна використовувати два підходи:

- таблиця квантування, прийнята за умовчанням;
- обчислюється таблиця коефіцієнтів квантування за такою формулою:

$$X_{i,j} = 1 + (i + j) \times Q,$$

де $X_{i,j}$ – значення матриці квантування;

i, j – координати елементів матриці квантування;

Q – крок (рівень) квантування, задається користувачем.

Значення елементів матриці квантування зростають по діагоналі з верхнього лівого кута, в правий нижній кут. Звідси гарантується зменшення коефіцієнтів трансформанти з лівого верхнього кута, в правий нижній кут.

Приклади квантування з різним рівнем квантування показані на рисунках 3.9.-3.11.

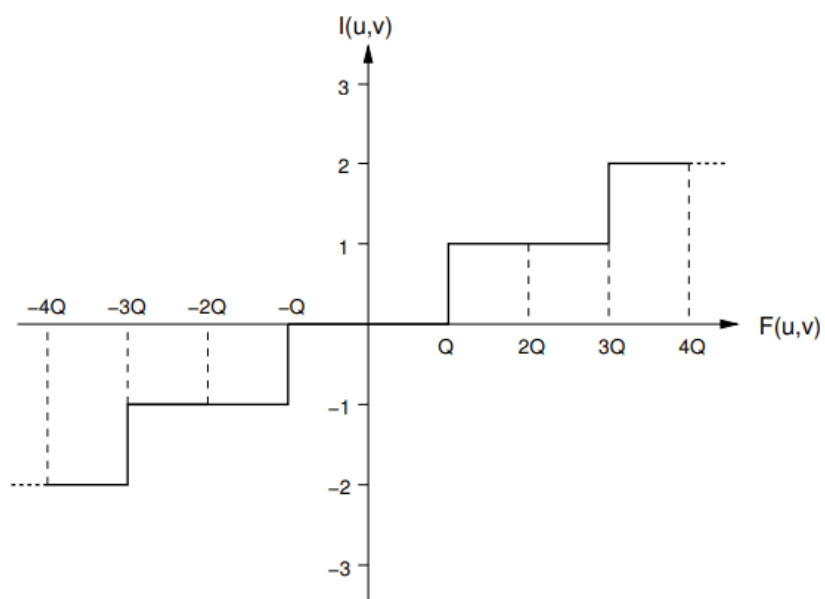


Рисунок 3.8 – Графік функції квантування у пороговому кодуванні



Рисунок 3.9 – Приклад результату квантування при $Q=16$

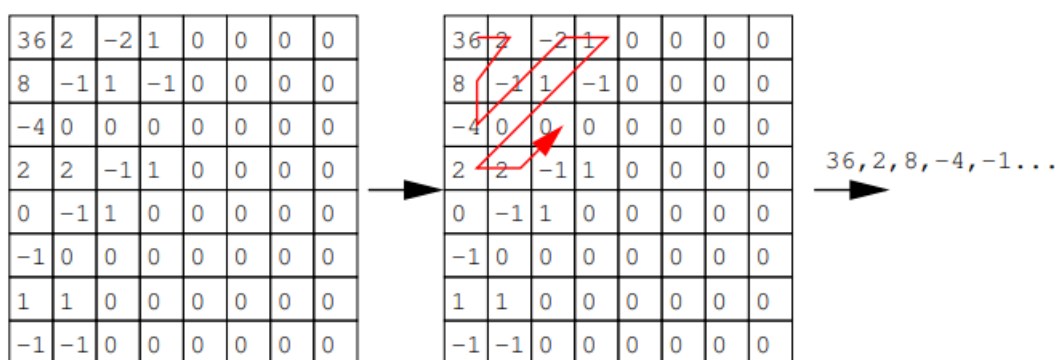


Рисунок 3.10 – Приклад результату квантування при $Q=35$

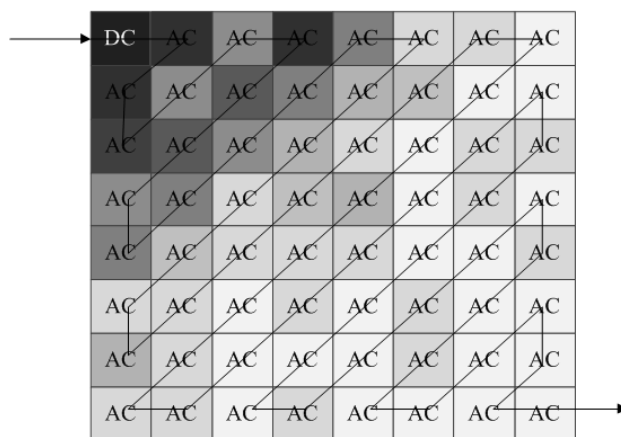


Рисунок 3.11 – Приклад результату квантування при $Q=40$

Наступний етап, це переведення проквантованої трансформанти в одновимірний масив компонент за допомогою зигзаг-сканування як показано на рис. 3.12(А) чи іншого методу сканування. У JPEG значення коефіцієнтів, отримані в результаті квантування, скануються, починаючи з DC-компонента і потім переходячи до більш високочастотних компонентів зигзагоподібним чином, як показано на рисунку 3.12(Б). Зигзагоподібне сканування полегшує подальше кодування змінної довжини, виявляючи швидше за все спочатку ненульові елементи. Після сканування всіх ненульових коефіцієнтів, отримана послідовність значень додатково кодується для зменшення надмірності кодів слів.



а)



б)

Рисунок 3.12 – Зігзаг-сканування (а – приклад для числових значень, б – для DC та AC компонент)

У запропонованому методі структурно-біноміального кодування використовується система сканування по стовпцях.

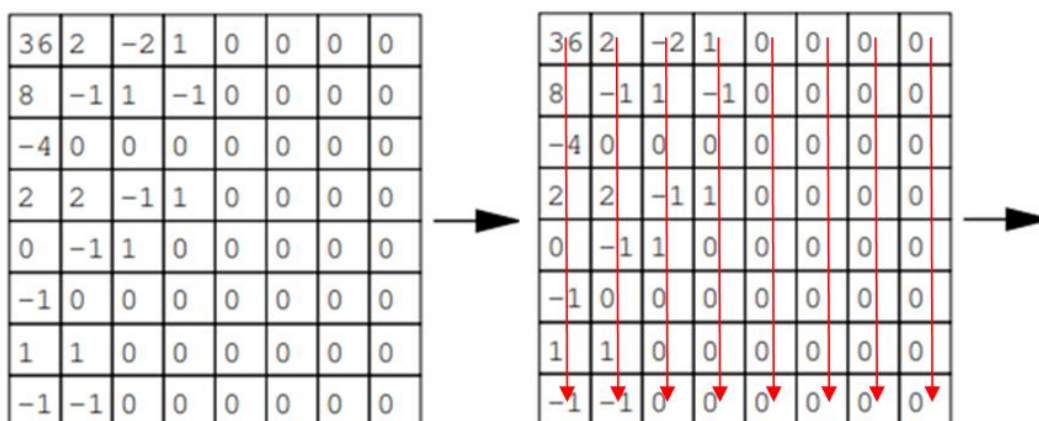


Рисунок 3.13 – Сканування по стовпцях

Метод JPEG. Часто у складних схемах стиснення для досягнення максимального ефекту використовується поєднання простіших алгоритмів. Одним з найпоширеніших і найпопулярніших методів стиснення зображень є метод JPEG. Популярність цього стандарту пов'язана з наступними причинами. Перш за все, оскільки це підтримується всіма веб - браузерами та за статистичними оцінками, у мультимедійних базах даних до 80% зображень

представлені у форматі JPEG або похідних з нього (JBIG, JFIF, SPIFF, MPEG).

Стандарт JPEG можна використовувати для звичайних та повних кольорів. Цей метод із втратою якості дозволяє регулювати співвідношення між ступенем стиснення та якістю відновленого зображення.

Основні етапи роботи процедури стиснення зображення відповідно до стандарту JPEG представлені у вигляді блокової схеми на рисунку 3.14.

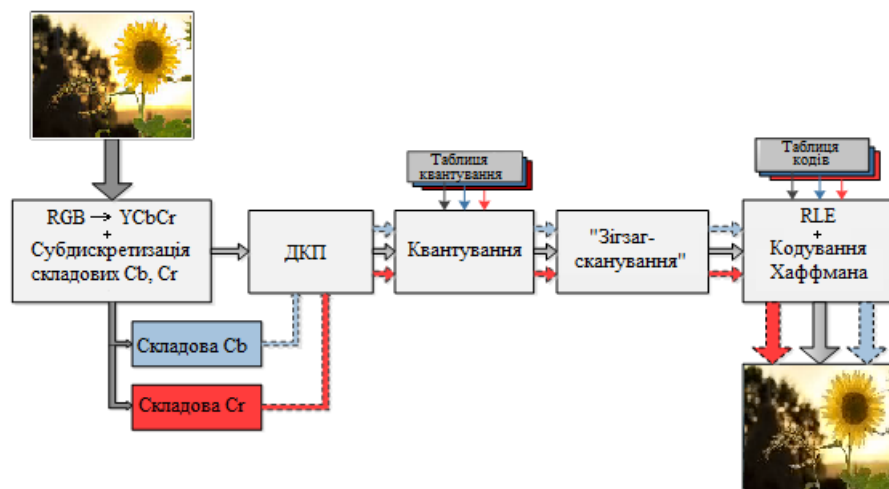


Рисунок 3.14 – Блок – схема алгоритму стиснення в JPEG

У JPEG передача керованого трансформатора в одновимірний масив компонента виробляється за допомогою “зигзагоподібного сканування”

В результаті такого трансформаційного обходу отримують лінійний вектор, що характеризується тим, що:

- а) на початку вектора існує низька частота компонента постійного струму, всі наступні високочастотні компоненти змінного струму;
- б) утворюються максимально можлива довжина серії нульових компонентів змінного струму;
- в) можливість заміни останніх компонентів Zero Series AC, із спеціальним кодом, що позначає кінець блоку (КБ).

На завершальній стадії алгоритму стиснення в стандарті JPEG кодується компонент одногровимірного трансформатора. Кожен компонент трансформації кодується за допомогою комбінації алгоритму кодування групи RLE та методу Хаффмана.

Основна ідея технології кодування Хаффмана полягає у кодуванні окремих символів з бітовими лініями різної довжини, а найпоширеніші символи кодуються лініями найменшої довжини. Це означає, що елементу, що виникає найчастіше, присвоюється найменша довжина коду, а довший код присвоюється елементу з найменшою частотою повторень. Потім, на основі статистичних даних, будується таблиця кодів.

На практиці використовуються різновиди реалізації алгоритму Хаффмана. У деяких випадках таблиці з фіксованим кодом використовуються в інших, таблиця коду будується на основі статистичного аналізу наявних даних (рисунок 3.15 а, б). Таблиці фіксованого коду скорочують час обробки. Коди Huffman - це коди префіксів, що дозволяє безумовно розшифрувати їх із безперервного потоку біта.

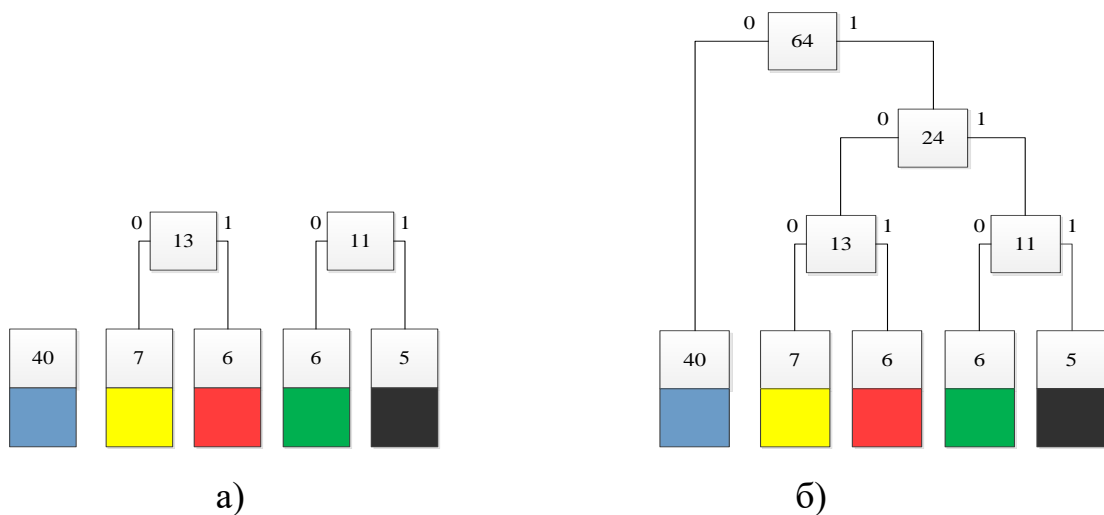


Рисунок 3.15 – Кодування Хаффмана (а) - початок кодування, б) - кінець кодування

Одним з варіантів підвищення ефективності технології може бути заміна кодування Хаффмана на структурно-біноміальне кодування.

3.2 Розробка методу структурно-біноміального кудування

Для удосконалення інформаційно-телекомунікаційних систем пропонується використовувати технологічний підхід на основі виявлення нових типів закономірностей, та виключення відповідної надмірності. Він базується на обробці відеокадрів ДВІР з використанням структурно-біноміального підходу, який враховує кількість і позиції ненульових елементів в послідовності, а також динамічний діапазон елементів.

Розглянемо двовимірний масив $A^{(2)}$, який в загальному випадку є фрагментом інформаційного ресурсу, отриманого від довільного джерела інформації, тобто

$$A^{(2)} = \begin{vmatrix} a(1,1) & \dots & a(1,j) & \dots & a(1,n) \\ & & \vdots & & \\ a(1,i) & \dots & a(i,j) & \dots & a(i,n) \\ & & \vdots & & \\ a(m,1) & \dots & a(m,j) & \dots & a(m,n) \end{vmatrix}.$$

Значення елементів такого масиву даних в загальному випадку можуть задовольняти одній або декільком з наступних систем обмежень:

$$0 \leq a(i,j) \leq \lambda \geq 1; \quad (2.1)$$

$$0 \leq a(i,j) \leq \lambda(j) \geq 1; \quad (2.2)$$

$$0 \leq a(i,j) \leq \lambda(i) \geq 1; \quad (2.3)$$

$$0 \leq a(i,j) \leq \lambda(i,j) \geq 1; \quad (2.4)$$

$$i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}.$$

Де λ – максимальне значення для всіх елементів масиву $A^{(2)}$;

$\lambda(i)$, $\lambda(j)$ – максимальні значення елементів масиву $A^{(2)}$ відповідно в i -му рядку j -м стовпці;

$\lambda(i, j)$ – максимальне значення для (i, j) -го елемента. Величини $\lambda, \lambda(i), \lambda(j)$ і $\lambda(i, j)$ перебувають відповідно з використанням таких формул:

$$\lambda = \max_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq n}} \{a(i, j)\};$$

$$\lambda(i) = \max_{1 \leq j \leq n} \{a(i, j)\}; \quad \lambda(j) = \max_{1 \leq i \leq m} \{a(i, j)\};$$

$$\lambda(i, j) = \min\{\lambda(i); \lambda(j)\}.$$

Для обмежень, описуваних виразами (2.1) (2.4), масиву $A^{(2)}$ може бути:

- фрагментом, як вихідного цифрового зображення (відеокадра), так і деякою його проміжною формою подання в процесі кодування, наприклад, трансформанти дискретного косинусного перетворення або вейвлет перетворення, масив довжин серій однакових елементів;

- фрагментом оцифрованого аудіопотоку;
- фрагментом (абзацом) електронного текстового документа;
- масивом службових даних;
- складової багатовимірної структури даних;
- ключовою інформацією, використовуваної в системах криптографічних та стеганографічних перетворень.

У загальному випадку кожен елемент $a(i, j)$ масиву $A^{(2)}$ представляється на нижньому синтаксичному рівні (фізичному рівні – рівні зберігання в інформаційній системі) у вигляді двійковій послідовності рівномірної довжини, тобто .:

$$[a(i, j)]_2 = \{a_1(i, j); \dots a_b(i, j); \dots; a_B(i, j)\},$$

де $a_b(i, j)$ – значення b -го біта для (i, j) -го елемента.

На рівні інтерпретації даних елемент може представлятися як елемент певної системи числення. Наприклад, як елемента $a(i, j) = [a(i, j)]_{10}$ в десятковій, $a[i, j]_{16}$ шістнадцятковій системі числення або в поліадичній системі числення.

Тоді кодовий еквівалент $E(B; 2)$ послідовності елементів в залежності від її розмірності, класу системи числення, буде здаватися таким чином:

– для двійкової системи числення:

$$\begin{aligned} E(B; 2) &= a_1(i, j) * 2^{B-1} + \dots + a_b(i, j) * 2^{B-b} + \dots + a_{B-1}(i, j) * 2^1 + 1 = \\ &= \sum_{b=1}^B a_b(i, j) * 2^{B-b} \quad , \end{aligned}$$

де $E(B; 2)$ – кодовий еквівалент (кодове значення) для двійкової послідовності, довжиною рівній біт;

– для одновимірної позиційної системи числення з основою $\lambda(i) + 1$, (рядок $A(i)$ масиву $A^{(2)}$):

$$\begin{aligned} E(n; \lambda(i)) &= a_{\lambda((i)+1)^{n-1}}(i, 1) + \dots + a_{\lambda((i)+1)^{n-j}}(i, j) + \dots + a_{\lambda((i)+1)}(i, n-1) + \\ &+ 1 = \sum_{j=1}^n a_{\lambda((i)+1)^{n-j}}(i, j) ; \end{aligned}$$

– для одновимірної позиційної системи числення з основою $\lambda(j) + 1$, (стовпець $A(j)$ масиву $A^{(2)}$):

$$\begin{aligned} E(m; \lambda(j)) &= a_{\lambda((j)+1)^{m-1}}(1, j) + \dots + a_{\lambda((j)+1)^{m-i}}(i, j) + \dots + \\ &+ a_{\lambda((j)+1)}(m-1, j) + 1 = \sum_{i=1}^m a_{\lambda((j)+1)^{m-i}}(i, j) ; \end{aligned}$$

Спільною особливістю поліадичних систем числення як узагальнення

класу позиційних систем числення є те, що ваговий коефіцієнт елемента визначається на основі добутку основ молодших елементів. В даному випадку в якості структурних ознак виступають величини λ , $\lambda(i)$, $\lambda(j)$ і $\lambda(i, j)$ обмежень на динамічний діапазон елементів масиву $A^{(2)}$.

Іншим класом систем числення є біномінальні системи числення в просторі структурних ознак. Особливість таких кодових конструкцій полягає в тому, що їх вагові коефіцієнти формуються з використанням біномінальних співвідношень.

Встановимо порядок старшинства чисел в БП множені. Для цього пропонується використовувати наступне лексикографічне правило.

Лексикографічне правило нумерації СБ чисел. З двох послідовностей $A_{q;m;\lambda}(\xi)$ і $A_{q;m;\lambda}(l)$ таких, що $A_{q;m;\lambda}(\xi), A_{q;m;\lambda}(l) \in \Omega_{q;m;\lambda}$, буде виконуватися нерівність

$$\xi < l, \quad (2.5)$$

тобто послідовність $A_{q;m;\lambda}(\xi)$ передуватиме послідовності і $A_{q;m;\lambda}(l)$ в допустимій множені, якщо виконуються наступні умови:

– для значень перших $(i-1)$ старших елементів послідовностей $A_{q;m;\lambda}(\xi)$ і $A_{q;m;\lambda}(l)$ виконується рівність, тобто :

$$a(v, \xi) = a(v, l), \\ v = \overline{1, (i-1)};$$

– для значень елементів послідовностей $A_{q;m;\lambda}(\xi)$ і $A_{q;m;\lambda}(l)$ з індексом i виконується нерівність:

$$a(i, \xi) < a(i, l).$$

При цьому відповідно до нерівності (2.5) для кодових значень $E(A_{q;m;\lambda}(\xi))$ і $E(A_{q;m;\lambda}(l))$ послідовностей $A_{q;m;\lambda}(\xi)$, $A_{q;m;\lambda}(l)$, буде виконуватися нерівність:

$$E(A_{q;m;\lambda}(\xi)) < E(A_{q;m;\lambda}(l)).$$

Графічно це зображено на рисунку 3.16.

$A(q;m;\lambda)_\xi$	знак	$A(q;m;\lambda)_l$	
0	=	0	$a(v, \xi) = a(v, l) \quad v = \overline{1, (i-1)}$
2	=	2	
1	=	1	
3	<	4	$a(i, \xi) < a(i, l)$
4		2	
5		1	

Рисунок 3.16 – Лексикографічне правило нумерації БП чисел

Для підвищення ефективності синтаксичного представлення масиву і створення більш ефективних генераторів багатовимірних структур даних із заданими властивостями створюються нові системи числення. Одним з таких класів систем числення є структурно-біномінальна система.

Формула для структурно-біномінальної нумерації і кодування:

$$E(q; m; \lambda) = \sum_{i=1}^m V((m-i); q(i)) (\lambda-1)^{q(i)} (\text{sign}(a(i, j)) \frac{(m-i-q(i))}{(q(i)+1)} (\lambda-1) + (a(i, j)-1)).$$

Прийняті такі позначення:

$V((m-i); q(i))$ – ваговий коефіцієнт елемента $a(i, j)$ в залежності від наступних величин на i -му кроці обробки: кількості $(m-i)$ необроблених елементів і кількості $q(i)$ ненульових елементів, а саме:

$$V((m-i); q(i)) = \frac{(m-i)!}{(q(i))!(m-i-q(i))!} = \binom{m-i}{q(i)}.$$

$sign(a(i,j))$ – функціонал для встановлення факту того, що значення поточного оброблюваного елемента дорівнює нулю, $a(i,j) = 0$. Якщо значення елемента $a(i,j)$ дорівнює нулю, то $sign(a(i,j)) = 0$, в іншому випадку для $a(i,j) = 1$, буде $sign(a(i,j)) = 1$;

λ – адаптивна основа позиційної (моноадіческої) системи числення.

Наукова новизна.

Вперше розроблена структурно-біноміальна нумерація на основі лексикографічного підходу. Відмінні риси нумерації полягають в тому, що формується єдине кодове значення (код-номер) для всього БП числа з одночасним урахуванням обмежень на кількість і позиції ненульових елементів (біноміальне обмеження) і динамічний діапазон елементів (позиційне обмеження). Це дозволяє без внесення помилок створити умови для забезпечення зниження обсягу даних, підвищення завадостійкості і криптостійкості в системах кріптокомпресії.

3.3 Порівняльне оцінювання технологій кодування відеопотоків

Порівняльна оцінка відомих і розробленого методів зниження бітового обсягу відеознімка з урахуванням рівня його візуальних оцінок за величиною η (бітовий об'єм) наводиться у вигляді діаграм на рис. 3.17. Тут обробка проводиться з використанням реалістичних зображень з різним рівнем насиченості структурними деталями.

Для отримання порівняльних оцінок за рівнем зниження бітового обсягу використовувалися методи на платформі JPEG, які допускають корекції візуальних оцінок РВ. Такими методами є JPEG, JPEG2000 і

гібридний методом (ГМ), викладений в роботі [Претт]. Гібридний метод зниження бітового обсягу відеознімка використовує комбінацію технологій виявлення областей когерентності і ортогональних перетворень. При цьому рівень σ візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що реконструюються кількісно оцінюється показником пікового відношення сигнал / шум (ПВСШ) і вибирається рівним 40 дБ достатню якість візуальних оцінок РВ і 55 дБ висока якість візуальних оцінок РВ.

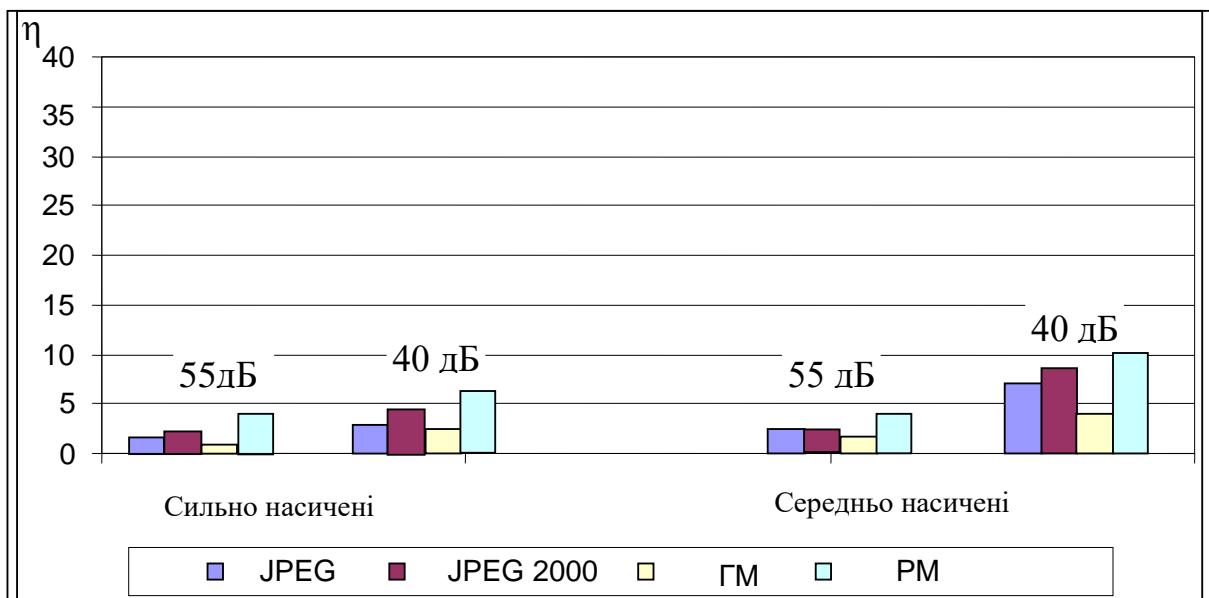


Рисунок 3.17 – Залежність η для різних методів і рівнів насиченості відеознімків структурними деталями

Аналіз діаграм на рисунку 3.17, дозволяє зробити висновок, що рівень зниження бітового обсягу для створеного методу перевищує рівень зниження бітового обсягу, що досягається з використанням відомих методів, в середньому на 10% в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок РВ за показником пікового відношення сигнал / шум на рівні 40 дБ та 55 дБ, як для сильно насиченого так и для середньо насиченого зображення. Отже дисбаланс між значними темпами зростання інформаційної інтенсивності та

обмеженим зростом продуктивності функціонування інфокомунікаційних систем, зменшився на 10 %.

Зниження бітового обсягу досягається шляхом більш ефективного методу стиснення інформації після етапу квантування. Завдяки зміні стандартизованої технології кодування трансформант на структурно-біноміальній метод кодування досягається більший коефіцієнт стиснення при однакових пікових відношеннях сигнал/шум (ПВСШ) та рівнях насиченості зображення або більше пікове відношеннях сигнал/шум (ПВСШ) при однакових коефіцієнтах стиснення та рівнях насиченості зображення. На рисунку 3.18 приведено приклади порівняння процесів формування кодограм для перетворення Хаффмана та структурно-біноміального методу кодування.

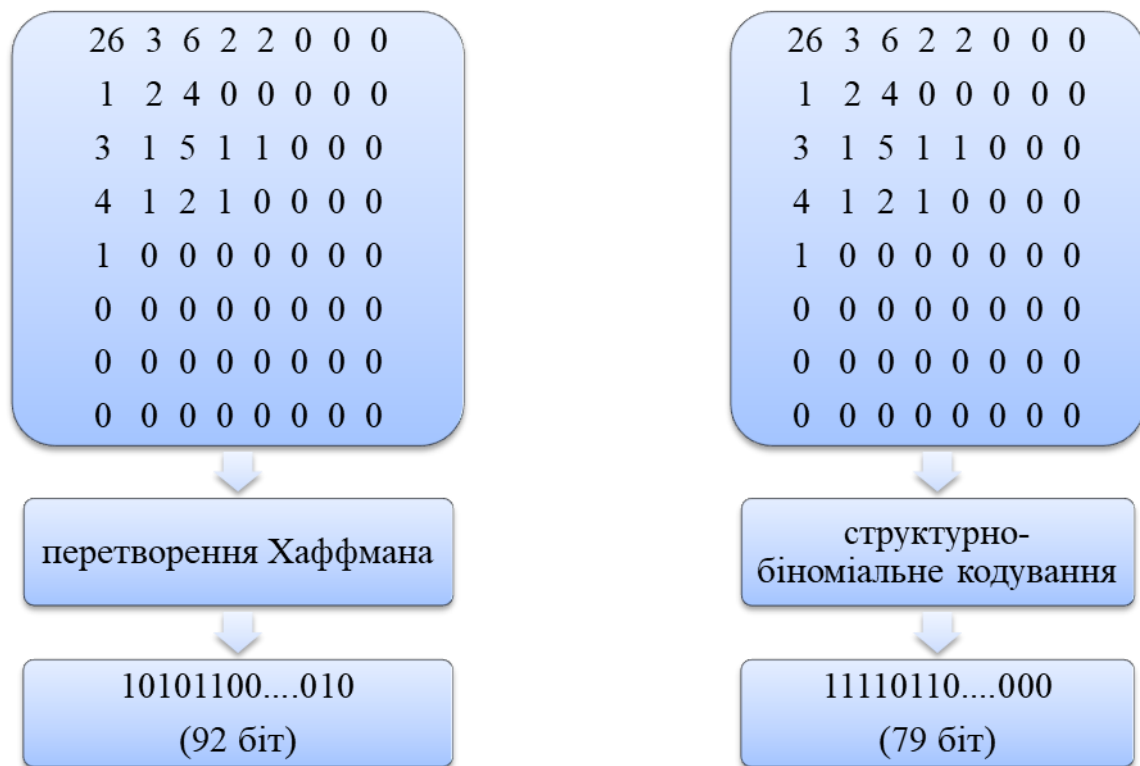


Рисунок 3.18 – Порівняння процесів формування кодограм для перетворення Хаффмана та структурно-біноміального методу кодування

Результуючий коефіцієнт стиснення дорівнює 512: 92, або близько 5,6 : 1 та 512: 79, або близько 6,5 : 1 відповідно.

ВИСНОВКИ

Розроблений метод структурно-біноміальної нумерації на основі лексикографічного підходу. Відмінні аспекти методу полягають в безпосередньому отриманні елементів БП числа на основі декодування кодового значення і використання параметрів кількості ненульових елементів і обмеження на динамічний діапазон (основа позиційної системи числення), з використанням вагових коефіцієнтів елементів БП числа.

Зниження бітового обсягу досягається шляхом більш ефективного методу стиснення інформації після етапу квантування. Завдяки зміні стандартизованої технології кодування трансформант на структурно-біноміальний метод кодування досягається більший коефіцієнт стиснення при однакових пікових відношеннях сигнал/шум (ПВСШ) та рівнях насиченості зображення або більше пікове відношеннях сигнал/шум (ПВСШ) при однакових коефіцієнтах стиснення та рівнях насиченості зображення.

Проведені експерименти показали, що рівень зниження бітового обсягу для створеного методу перевищує рівень зниження бітового обсягу, що досягається з використанням відомих методів, в середньому на 10% в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок РВ за показником пікового відношення сигнал / шум на рівні 40 дБ та 55 дБ, як для сильно насиченого так и для середньо насиченого зображення. Отже дисбаланс між значними темпами зростання інформаційної інтенсивності та обмеженим зростанням продуктивності функціонування інфокомунікаційних систем, зменшився на 10 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПИСИЛАННЯ

1. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.
2. Barannik V., Barannik V., Havrylov D., Sorokun A. Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*: proceedings of 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019), Lviv, 2019. P.54-57. DOI:10.1109/AIACT.2019.8847897.
3. Akimov D., Shestov A., Voronov A., Vatolin D. Occlusion Refinement for Stereo Video Using Optical Flo. International Conference on 3D Imaging. 2012. P. 115-138.
4. Dameri, R. Smart City Implementation, Progress in IS, Springer International Publishing AG, 2017. 154 p.
5. Ding Z., Chen H., Gua Y., Peng Q. GPU accelerated interactive space-time video matting. In *Computer Graphics International*. 2010. P. 163-168.
6. Gonzales R. C., Woods R. E. Digital image processing. Prentice Inc. Upper Saddle River. New Jersey, 2002. 779 p.
7. Gopinath R. A., Burrus C. S. On cosine-modulated wavelet orthogonal bases. *IEEE Trans. Image Proc.* 1995. Vol. 4. No. 2. P. 162-177.
8. Grundmann M., Kwatra V., Han M., Essa I. Efficient hierarchical graph based video segmentation. *IEEE CVPR*. 2010. P. 85-91.
9. Habibi A., Wintz P. F. Image coding by linear transformation and block quantization. *IEEE Trans. Commun. Tech.* 1971. Vol. COM – 19. No. 1. P. 5-63.
10. Barannik N., Yudin O., Babenko M., Bekirov A., Manakov V. and Yroshenko V.. The Method of Embedding Information in the Noise Domain Based on the Modification of Elements in the Pseudo-Spatial Domain. *IEEE Advanced Trends in*

Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 77-82. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349266.

11. Barannik V., Barannik D., Fustii V., Parkhomenko M. Evaluation of Effectiveness of Masking Methods of Aerial Photographs. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*: proceedings of 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019), Lviv, 2019. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847820.

12. Barannik V., Babenko Y., Kulitsa O., Barannik V., Khimenko A. and Matviichuk-Yudina O. Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 52-56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.

13. Barannik V., Barannik V., Havrylov D., Sorokun A. Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. *Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*: proceedings of 3rd Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019), Lviv, 2019. P. 54-57. DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847897.

14. Barannik V., Shulgin S. The method of increasing accessibility of the dynamic video information resource. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of 13th Intern. Conf. (Lviv, Ukraine, February 23-26, 2016), Lviv, 2016. P. 621-623. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452133.

15. Barannik V., Tarasenko D. Method coding efficiency segments for information technology processing video. *Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*: proceedings of 4th International Scientific-Practical Conference. (Kharkov, Ukraine, October 10-13, 2017), Kharkov, 2017. P. 551-555. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246460.

16. Method of Binary Polyadic Sequences Structural Coding (Дата публікації 2022/2/22), Vladimir Barannik, Valeriy Barannik, Roman Lazuta,

Andrii Yermachenkov, Dmytro Zhurbynskiy, Conference 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Страницы 507-510)

17. МЕТОД КОДУВАННЯ ЗНАЧИМИХ ЗА ВПЛИВОМ НА СЕМАНТИЧНУ ЦІЛІСНІСТЬ ВІДЕОСЕГМЕНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТУПНОСТІ, Володимир Бараннік, Юрій Бабенко, Валерій Бараннік, Віталій Колесник, (Дата публікації 2022/4/1, Journal Наукоємні технології, Страницы 118-126)

18. Метод реструктуризації відеоданих в системах компресійного кодування для підвищення достовірності, VV Barannik, AO Krasnorutsky, KM Pasynchuk, Yu M Babenko, OS Stepanko, IM Turpitsa, (Дата публікації 2022/6/30, Journal Visnyk NTUU KPI Seria-Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, Страницы 50-59)

19. METHOD OF COMPRESSION AND ENSURING THE FIDELITY OF VIDEO IMAGES IN INFOCOMMUNICATION NETWORKS, /V. Barannik , A. Krasnorutsky, V. Kolesnik, V. Barannik, S. Pchelnykov, P. Zeleny, (2022 Radioelectronic and Computer Systems, Страницы 10 – 24.)

20. V. Barannik and V. Barannik, "Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2020, pp. 775-780, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.

21. V. Barannik, "Fast Coding of Irregular Binary Binomial Numbers with a Set Number of Units Series," *2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, 2020, pp. 72-76, doi: 10.1109/ATIT50783.2020.9349356.

22. Barannik V. METHOD OF COMPRESSION AND ENSURING THE FIDELITY OF VIDEO IMAGES IN INFOCOMMUNICATION NETWORKS /V. Barannik , A. Krasnorutsky, V. Kolesnik, V. Barannik, S. Pchelnykov, P. Zeleny // Radioelectronic and Computer Systems, 2022, no 4(100). – pp.10 – 24.