

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет радіоелектроніки

За загальною редакцією
професора В.В. Баранніка

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОДУВАННЯ
ДИНАМІЧНИХ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ**

Монографія

Харків
2021

УДК 004.056.55
ББК 32.97-018.2
Б24

*Рекомендовано науково-технічною радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
Протокол № 6/6 від 21.05.2021*

Рецензенти:

В. М. Безрук, доктор техн. наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки; **П. М. Гуржій**, кандидат техн. наук, доцент, Військовий інституту телекомунікацій та інформатизації

Автори:

В.В. Бараннік, Г.В. Хаханова, Ю.М. Рябуха, С.В. Туренко,
Н.А. Харченко, А.А. Леках, А.В. Власов

Бараннік В.В.

Б24 Інформаційні технології кодування динамічних відеоінформаційних потоків: монографія / В.В. Бараннік, Г.В. Хаханова, Ю.М. Рябуха та ін. – Х. : ФОП Бровін О.В., 2021. – 316 с.
ISBN 978-617-8009-24-3

У монографії розглядаються актуальні питання щодо підвищення якості відеоінформаційного сервісу з використанням телекомунікаційних систем. Розроблено метод керування бітовою швидкістю відтрафіку на кінцевих вузлах телекомунікаційної системи. Створено метод кодування та реконструкції передбачених кадрів на основі блочних кодів. Запропонована стратегія керування бітовою швидкістю відеопотоку, що дозволяє знайти оптимальні параметри стиснення методом лагранжевих релаксацій. Розроблено метод вибору типу обробки блоків передбачених кадрів, який базується на використанні в якості вирішуючого правила оцінки кількості структурної надмірності. Розроблено метод кодування передбачених кадрів на основі попереднього трансформування. Він проводиться з попередньою ідентифікацією типу обробки блоків і подальшим формуванням блочних кодових конструкцій. Це дозволяє додатково зменшити бітову швидкість без втрат якості та надати можливість контролю бітової швидкості стисненого відеопотоку по відношенню до заданих вимог, тобто у порівнянні зі стандартом MPEG забезпечується вигаш по ступеню зниження бітової швидкості при заданому параметрі PSNR та зменшення часу при обробці відеопотоку. Розроблено базовий метод керування бітовою швидкістю відеопотоку на основі використання методу Лагранжевих релаксацій. Він працює на основі таких механізмів як: вибір формату кольорової субдискретизації, вибір типу обробки для кожного блоку в кадрі з урахуванням його інформативності та можливості контролю і зміни фактору якості при квантуванні. На основі чого розроблено стратегію керування бітовою швидкістю відеопотоку при обробці Р-кадрів, яка дозволяє виконувати корекцію інтенсивності відеопотоку у відповідності до поточних параметрів ТКС та КС. Таким чином, є можливість підвищити ефективність процесу керування бітовою швидкістю на етапі кодування відеопотоку, що дає змогу зменшити коефіцієнт використання вузла комутації при максимальній інтенсивності відеотрафіку та зменшити ймовірність втрати пакетів.

Книга представляє інтерес для фахівців в області телекомунікаційних технологій, кібербезпеки, інформаційних систем, комп'ютерних наук.

ISBN 978-617-8009-24-3

УДК 004.056.55
ББК 32.97-018.2

© В.В. Бараннік, Г.В. Хаханова, Ю.М. Рябуха, С.В. Туренко,
Н.А. Харченко, А.А. Леках, А.В. Власов, 2021

© Харківський національний університет радіоелектроніки, 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	16
1.1. Аналіз комп'ютерних систем та мереж щодо надання відеоінформаційних сервісів.....	17
1.2. Аналіз вимог до відеододатків у сучасних комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.....	25
1.3. Обґрунтування вимог до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.....	37
Висновки за розділом 1.....	39
РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	41
2.1. Технічний опис диференційного подання кадру з використанням порогу фільтрації.....	42
2.2. Обґрунтування основних принципів побудови технології компактного подання відеокадрів у диференційному вигляді.....	44
2.3. Вибір показників оцінки ефективності, структура та методологія проведення дослідження.....	50
Висновки за розділом 2.....	55
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ КОДУВАННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ З УРАХУВАННЯМ УПРАВЛЯЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ.....	56
3.1. Дослідження особливостей обробки відеопотоку стандартом MPEG.....	57
3.2. Обґрунтування значущості прогнозованих кадрів.....	65

3.3. Дослідження механізму обробки прогнозованих кадрів в технології компресії трансформованих зображень.....	69
3.4. Розробка методу компресії відеопотоку на основі обробки прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах.....	77
3.5. Розробка методу реконструкції прогнозованих кадрів в технологіях кодування відеотрафіка для комп'ютерних систем та мереж.....	83
Висновки за розділом 3.....	93
РОЗДІЛ 4 МЕТОД ОБРОБКИ СЕГМЕНТІВ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДВОРІВНЕВОГО ЗРОСТАННЯ КОДУВАННЯ ВЕКТОРІВ КОРТЕЖІВ ТРАНСФОРМАНТИ.....	95
4.1. Розробка принципів кодування вектора двокomпонентних кортежів.....	96
4.2. Розробка методу формування компактного представлення сегментованих зображень	102
4.3. Розробка методу обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант.....	127
Висновки за розділом 4.....	139
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ДИНАМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ.....	141
5.1. Розробка методу кодування диференційно-поданих кадрів відеоінформаційного потоку.....	142
5.2. Розробка методу відновлення динамічних зображень стаціонарного фону.....	154
5.3. Розробка методу представлення масиву стаціонарної складової диференційно-поданого кадру.....	166
5.4. Розробка методу обробки динамічної складової диференційно-поданого кадру.....	177

5.5. Розробка методу подання службових даних диференційно □ поданого кадру.....	190
Висновки за розділом 5.....	201
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ВИХІДНИХ ВІДЕОПОТОКІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ.....	203
6.1. Розробка методологічної бази управління бітовою швидкістю вихідного відеопотоку при формуванні прогнозованих кадрів.....	204
6.2. Розробка методу контролю бітової швидкості при обробці прогнозованих кадрів у відеопослідовності.....	221
6.3. Розробка методу управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів для підвищення доступності та цілісності інформаційних ресурсів.....	231
Висновки за розділом 6.....	240
РОЗДІЛ 7 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОТРАФІКА.....	242
7.1. Обґрунтування концептуальної бази каскадної технології диференційного маскування з класифікацією семантичної складності зображень.....	243
7.2. Оцінка узгодженості характеристик комп'ютерних систем та мереж з відеотрафіком.....	255
7.3. Оцінка технологій управління зменшенням надмірності відетрафіку на базі MPEG-технологій.....	267
7.4. Реалізації методу управління інтенсивністю відеотрафіка.....	271
7.5. Оцінка впливу інтенсивності відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах.....	279
Висновки за розділом 7.....	291
ВИСНОВКИ.....	293

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	298
Додаток А. Функціональні схеми методу управління бітовою швидкістю відеопотоку в умовах прийнятих обмежень.....	312

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- CBR (Constant Bit Rate) – постійна бітова швидкість;
- DiffServ (Differentiated Service) – диференційне обслуговування;
- IntServ (Integrated Service) – інтегрований сервіс;
- JPEG (Joint Photographic Experts Group) – метод компресії зображень та відповідний графічний формат;
- MPEG (Moving Picture Experts Group) – експертна група, сформована для вироблення стандартів компресії та передачі цифрової відео та аудіо інформації;
- OLA (Operational Level Agreement) – угода про рівень експлуатаційної підтримки;
- PSNR (Peak signal-to-noise ratio) – пікове відношення сигнал / шум;
- QF (Quality Factor) – фактор якості;
- QoS (Quality of Service) – сервіс забезпечення якості обслуговування;
- RGB (Red, Green, Blue) – адитивна кольорова модель, що описує спосіб синтезу кольорів;
- RLE (Rn-Length Encoding) – групове кодування;
- RSVP (Resource ReSerVation Protocol) – протокол резервування мережевих ресурсів;
- SLA (Service Level Agreement) – угода про рівень обслуговування;
- SRC (Scalable Rate Control) – масштабований контроль швидкості;
- VBR (Variable Bit Rate) – змінна бітова швидкість;
- VLC (Variable Length Codes) – коди змінної довжини;
- YCrCb – кольорний простір, який використовується для передачі кольорових зображень в компонентному відео і цифровій фотографії;
- ВІС – відеоінформаційна система;
- ДКП – дискретно косинусне перетворення;
- ДК - двухкомпонентный кортеж;

КДС - кодирование длин серий;

КС та М СП – комп'ютерні системи та мережі спеціального призначення;

ЛТ - линиаризированная трансформанта;

МК - матрица квантизации;

СКИ - система компрессии изображений;

ТКС – телекомунікаційна система;

УЛТ - усеченная линиаризированная трансформанта;

УПЧ - укрупненное позиционное число.

ВСТУП

Розвиток інфокомунікаційних технологій, які визначаються зростанням об'ємів відеотрафіку і потребою суспільства в появі нових послуг та сервісів, приводить до необхідності постійного зростання і модернізації телекомунікаційних, інформаційних та комп'ютерних систем. Найбільш популярними останнім часом стають відеоінформаційні послуги [1]. Проблемними особливостями надання відеоінформаційних послуг [2, 3] є :

- висока інтенсивність відеопотоку;
- нерівномірність відеопотоку за часом;
- чутливість до затримок пакетів при передачі в інформаційно-телекомунікаційних мережах (ТКС) та комп'ютерних системах (КС);
- чутливість до втрат пакетів при передачі в ТКС.

Отже підвищення якості відеоінформаційних сервісів з використанням інформаційно-телекомунікаційних мережах та комп'ютерних системах є актуальною проблематикою науково-прикладних досліджень.

Тому при формуванні відеотрафіку насамперед необхідно контролювати відповідність бітовій швидкості джерела щодо пропускнуої спроможності телекомунікаційних мереж. У цьому напрямку одним з ключових підходів до зниження інтенсивності є використання методів управління механізмами і параметрами обробки і кодування відеокадрів [4, 5]. Це надає можливість адаптувати бітову швидкість інформаційного потоку на етапі його кодування щодо поточних характеристик пропускнуої спроможності телекомунікаційної мережі.

Одним з ефективних напрямків підвищення продуктивності телекомунікаційних систем можливо при зниженні інтенсивності вхідного відеопотоку на основі його компресії [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13; 16; 33; 63; 77; 90]. В цьому випадку знижується завантаження вузлів комутації, час затримки і

ймовірність втрат пакетів на вузлах телекомунікаційних систем. [14, 15, 16, 17, 18, 19].

В теж час щодо адаптації інтенсивності відеопотоку до пропускної спроможності каналів телекомунікаційної мережі існують деякі проблемні питання. Це стосується того що існуючі механізми впливу на інтенсивність трафіку будуються в рамках використання таких технологій як Motion JPEG; Mpeg-2; H.261/h.263; MPEG-4 part 2 (visual); H.264/mpeg-4 part 10 та подальших технологій сімейства H26*. Залежно від вимог, що пред'являються до якості відновлюваного відеопотоку, всі методи компактного представлення розділяються на два базові класи [20]. Перший клас складають методи з внесенням безповоротних змін. На виході процесу стиснення відеопотоку формуються семантичні описові конструкції. Методи другого класу здійснюють обробку без внесення погрішності. В даному випадку початковий відеопотік відновлюється на приймальній стороні з нульовою погрішністю (не враховуються інші види погрішностей, наприклад, квантування, каналу зв'язку). Основними представниками методів даного класу є кодування Хаффмана, арифметичне кодування (АК), метод кодування довжин серій (КДС), метод LZW [21, 22, 23, 24].

Основні недоліки таких методів полягають в тому, що :

- часові витрати на стиснення, відновлення і передачу зображень досягає декількох хвилин [25];
- коефіцієнт стиснення при прийнятній якості відновлених зображень не забезпечує істотного зниження об'єму передаваних даних [26];
- навіть при 1 % втрат пакетів в ході передачі трафіку відеоінформаційних послуг психовізуальне сприйняття відновлених відеозображень на приймальній стороні стає неприйнятним [27, 28, 29].

Тому існуючі механізми забезпечують вплив на інтенсивність відеоінформаційного потоку за рахунок не контрольованих та непередбачених втрат інформації та значних затримок на обробку.

Отже необхідно : досліджувати умови і причини зменшення ефективності методів кодування та управління відео потоком в процесі його компресії; здійснювати розробку нових методів управління відеотрафіком в процесі його компресії; створювати методи компресійного кодування базових та передбачених кадрів для динамічного відеоресурсу в умовах забезпечення потрібного рівня достовірності (якості відновлених відеозображень) та часових обмежень на їх обробку.

Сучасні технології компресії є комплексними, і базуються на сукупності методів, механізмів і технологій, направлених на : створення умов для виявлення різних закономірностей в умовах заданої якості реконструкції зображень [1 - 3; 6; 8; 19; 22; 26; 30; 32 - 34; 50 - 52; 54; 56; 57; 70; 71; 79; 82 - 85; 91 - 93; 95 - 123]. Порівняльний аналіз систем стиснення в різних режимах втрати якості показує, що найбільші коефіцієнти компресії досягаються для методів з втратою якості [7; 10; 24; 47; 48; 59; 68; 73; 74; 86 - 89]. Базовими тут є JPEG орієнтовані технології. Але проведений аналіз залежності бітової швидкості від пікового відношення сигнал/шум дозволив укласти що : умови своєчасної передачі потоку відеокадрів в мережах не виконуються. Отже, необхідно розробити метод зниження бітової швидкості компресованих відеоданих для підвищення якості надання послуг, в тому числі з використанням бездротових інфокомунікаційних технологій. Для цього потрібно створити метод стиснення, що характеризується такою функціональною залежністю, для якої забезпечується вимога щодо зниження бітової швидкості за умови виконання обмежень на затримки на кодування і якості зображень в процесі їх реконструкції.

У цих методах не враховується наявність стаціонарних фонових областей, а для динамічної складової зменшується кількість простої структурної надмірності та існує проблема обробки колірних координат серій однакових зображень. На основі проведеного аналізу недоліків існуючих методів стиснення витікає, що для підвищення оперативності компактного представлення відеоданих необхідно розробити метод кодування, що

забезпечує : виявлення областей стаціонарного фону, яке дозволить враховувати наявність міжкадрової надмірності між сусідніми відеокадрами; роздільну обробку виділених стаціонарної та динамічної складових з використанням операції накладення бінарної маски.

Таким чином, тематика досліджень монографії щодо розробки методу управління інтенсивністю відеопотоку для підвищення якості надання відеоінформаційних послуг з використанням телекомунікаційних систем є актуальною.

Структура монографії.

Монографія складається із семи розділів. Розподіл вкладу авторів монографії по її структурним складовим представлено в таблиці.

В першому розділі здійснюється дослідження щодо надання відеосервісів. Обґрунтовується необхідність застосування технологій узгодження бітової інтенсивності відеотрафіка та швидкості передачі в мережі. Показується потреба в удосконалення таких технологій в процесі компресійного кодування відеопотоків.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню напрямку обробки потоку кадрів з врахуванням виділення та окремого кодового представлення динамічної та стаціонарної складових.

Науково-прикладні дослідження третього розділу монографії стосуються розробки базової технології управління бітовою інтенсивністю відеопотоку в процесі їх стиснення.

В четвертому розділі викладається матеріал щодо результатів досліджень відносно внутрішньо-кадрової обробки, а саме : розроблено метод формування компактного представлення сегментованих зображень на основі виявлення вектора двокомпонентних кортежів для лінеаризованих трансформант; побудована технологія формування кодових конструкцій стисненого сегменту зображення в умовах інтеграції послідовності кодограм, що містять інформацію про кодові значення складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів.

Табл. Відповідність розробок авторів за структурними складовими монографії

Зміст матеріалів монографії	Автори (посилання на наукові праці)
Розділ 1	
1.1. Аналіз комп'ютерних систем та мереж щодо надання відеоінформаційних сервісів	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 1.1]; [40])
1.2. Аналіз вимог до відеододатків у сучасних комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 1.2]; [40])
1.3. Обґрунтування вимог до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 2.1]; [66])
Висновки за розділом 1	
Розділ 2	
2.1. Технічний опис диференційного подання кадру з використанням порогу фільтрації	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 2.2]; [70]; [74])
2.2. Обґрунтування основних принципів побудови технології компактного подання відеокадрів у диференційному вигляді	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 2.3]; [70]; [74])
2.3. Вибір показників оцінки ефективності, структура та методологія проведення дослідження	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 1.2, стор. 29]; [41]; [43])
Розділ 3 Розробка методу кодування прогнозованих кадрів з урахуванням управляючих механізмів	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, розділ 2]; [41]; [43]; [45])
Розділ 4 Метод обробки сегментів зображень на основі дворівневого зростання кодування векторів кортежів трансформанти	Бараннік В.В., Туренко С.В. ([128, розділ 3] [81]; [87]; [93]; [94]; [98]; [99])
Розділ 5	
5.1. Розробка методу кодування диференційно-поданих кадрів відеоінформаційного потоку	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 3.1]; [67]; [70]; [74]; [78]; [74]; [80])
5.2. Розробка методу відновлення динамічних зображень стаціонарного фону	Бараннік В.В., Леках А.А. ([129, параграф 3.2]; [67]; [70]; [74]; [78]; [74]; [80])
5.3. Розробка методу представлення масиву стаціонарної складової диференційно-поданого кадру	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 2.4]; [70]; [74]; [78]; [74]; [80])

продовження таблиці

5.4. Розробка методу обробки динамічної складової диференційно-поданого кадру	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 2.5]; [70]; [74]; [78]; [74]; [80])
5.5. Розробка методу подання службових даних диференційно-поданого кадру	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. ([129, параграф 2.6]; [70]; [74]; [78]; [74]; [80])
Висновки за розділом 5	Бараннік В.В., Леках А.А., Хаханова Г.В. [129, висновки за розділами 2 та 3]
Розділ 6 Розробка методу управління швидкістю передачі вихідних відеопотоків при обробці прогнозованих кадрів	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, розділ 3]; [41]; [43 – 47])
Розділ 7	
7.1. Обґрунтування концептуальної бази каскадної технології диференційного маскування з класифікацією семантичної складності зображень	Бараннік В.В., Власов А.В., Рябуха Ю.М. ([130, параграф 2.3 та висновки за розділом 2]; [31]; [36]; [52]; [57]; [64])
7.2. Оцінка узгодженості характеристик комп'ютерних систем та мереж з відеотрафіком	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 1.3]; [41]; [43 – 47])
7.3. Оцінка технологій управління зменшенням надмірності відеотрафіку на базі MPEG-технологій	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 1.4]; [41]; [43 – 47])
7.4. Реалізація методу управління інтенсивністю відеотрафіка	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 4.1]; [41]; [43 – 47])
7.5. Оцінка впливу інтенсивності відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, параграф 4.2]; [41]; [43 – 47])
Висновок за розділом 7	Бараннік В.В., Харченко Н.А., Хаханова Г.В. ([127, висновок за розділом 4])
Висновок дисертації	([127, загальний висновок]; [127 – 129, наукова новизна])

П'ятий розділ монографії присвячено розробці методів роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових диференційно-поданого (передбаченого, прогнозованого) відеокадру. Розробляється метод стиснення зображень з контрольованою втратою якості потоку відеозображень за рахунок роздільної обробки стаціонарної складової на основі двохалфавітного коду потужності та динамічної складової на основі позиційного кодування з адаптивним вибором основи. Створюється метод стиснення, який забезпечує додаткове підвищення ступеня компресії відеозображень і зменшення часу їх обробки та доведення для автоматизованих систем відеоконтролю

Основні результати шостого розділу монографії стосуються розробки методу управління швидкістю передачі вихідних відеопотоків при обробці прогнозованих відеокадрів. Створюється стратегія керування бітовою швидкістю відеопотоку, що дозволяє знайти оптимальні параметри стиснення методом Лагранжевих релаксацій

Сьомий розділ монографії включає до себе наступні результати науково-прикладних досліджень: технологію кількісної оцінки рівня семантичної насиченості відеозображень з врахуванням ідентифікації контурної складності їх фрагментів; оцінку узгодженості характеристик телекомунікаційних мереж, комп'ютерних систем з бітовою інтенсивністю відеотрафіка; реалізацію методу управління інтенсивністю відеотрафіка; оцінку впливу інтенсивності відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вибухоподібне зростанням трафіку і потреби споживачів у появі нових телекомунікаційних послуг призводить до постійної зміни та модернізації комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. Найбільш затребуваними в останні роки стають відеоінформаційні послуги – відеотелефонія, відеоконференцзв'язок, трансляція програм телебачення, відео “за запитом”, тощо. Особливістю відеотрафіка є великі обсяги передаваних даних, чутливість до часу затримки і втрат пакетів при передачі по каналу зв'язку. З урахуванням наведених вимог особливу увагу необхідно приділяти якості надаваних сервісів, що в комп'ютерних системах та мережах забезпечується за допомогою сервісу QoS. Однак його можна застосовувати тільки з позицій підстроювання параметрів транспортної мережі під задану категорію якості переданого трафіку, що може призводити до помилок або втрат передаваних даних. Тому для підвищення якості відеоінформаційного сервісу необхідно також здійснювати контроль за умовами відповідності бітової швидкості джерела відносно пропускної спроможності каналу зв'язку. Найбільш перспективними методами зниження інтенсивності є спеціальні механізми управління параметрами обробки відеокадрів, які дозволяють гнучко підстроювати бітову швидкість джерела під поточні параметри комп'ютерної мережі.

1.1. Аналіз комп'ютерних систем та мереж щодо надання відеоінформаційних сервісів

Розвиток комп'ютерних систем та мереж визначається трьома факторами: ростом трафіку, потребою суспільства в нових послугах і досягненнями в області технологій. Зрозуміло, ці фактори не є незалежними, проте кожен з них визначає ідеологію розвитку комп'ютерних мереж. Так, конкуренція серед постачальників устаткування і технологічні досягнення циклічно призводять до зниження вартості обладнання, що, в свою чергу, стимулює зростання трафіку і розробку нових послуг.

Представлені в монографії результати науково-прикладних досліджень стосуються подальшого вдосконалення теоретичних основ та методів структурно-комбінаторного кодування (компресії) відеозображень в інформаційно-телекомунікаційних системах та АСУ, які створені професором Баранніком В.В., та представлені в роботах [4; 16; 20; 29; 32; 33; 63; 77; 79; 90; 123]. Комплексна інтеграція створених та наданих в монографії результатів дозволяє побудувати інформаційну технологію кодування (ІТК) динамічних відеоінформаційних ресурсів (ДВІР). Структура складових розробляємої інформаційної технології кодування ДВІР представлено в табл. 1.1. Базова концепція досліджень стосується комплексного поєднання розробок, що представлені в таких наукових працях, як [30; 31; 36; 40 – 47; 52; 57; 64; 66; 67; 70; 74; 78; 80; 81; 87; 93; 94; 98; 99; 127 – 130]. Ядром ІТК є технологія управління відео потоком та методи кодування послідовності передбачених (прогнозних) відеокадрів з врахуванням областей стаціонарного фону та областей динамічних об'єктів з послідуочим їх кодуванням в позиційному нерівноваговому просторі та усунення різних видів надмірності. В четвертому стовбці табл. 1.1 представлено перспективи подальшого використання методів управління та кодування динамічними відео ресурсами в єдиній інформаційній технології. Це дозволяє локалізувати недоліки окремих підходів та забезпечити умови для підвищення якості надання відеосервісів.

Таблиця 1.1. - Аналіз досліджень щодо надання відеоінформаційних сервісів в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення (структура науково-прикладних досліджень, що представлено у даній монографії)

Автори (публікації)	Напрямок науково- прикладних досліджень	Основні науково-прикладні результати	Перспективи по- дальшого викорис- тання в ІТК ДВІР, яка розробляється в монографії
1	2	3	4
Баранік Володимир Вікторович Харченко Наталія Андріївна Хаханова Ганна Володимирівна ([30; 40 – 47; 127])	Створення систем та методів управління бітровою швидкістю відеопотоків в інформаційних та телекомунікаці йних системах	<p>Розроблено метод керування бітровою швидкістю відеотрафіку на кінцевих вузлах телекомунікаційної системи.</p> <p>Створено метод кодування та реконструкції передбачених кадрів на основі блочних кодів.</p> <p>Побудована стратегія керування бітровою швидкістю відеопотоку, що дозволяє знайти оптимальні параметри стиснення методом Лагранжевих релаксацій.</p> <p>Наукова новизна одержаних результатів :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вдосконалено метод вибору типу обробки блоку передбачених кадрів в технологіях кодування відеопотоку. Відмінностями даного методу у порівнянні з існуючими являється використання в якості вирішуючого правила оцінки кількості структурної надмірності. Це дозволяє створити механізм для керування бітровою швидкістю на основі вибору кількості блоків різних типів за інформаційним навантаженням. 2. Вдосконалено метод кодування передбачених кадрів на основі попереднього трансформування. На відміну від існуючих методів кодування блоків проводиться з попередньою ідентифікацією типу обробки блоків і подальшим формуванням блочних кодівих конструкцій. Це дозволяє додатково зменшити бітову швидкість без втрат якості. 3. Вперше розроблено метод керування бітровою швидкістю відеопотоку на основі використання алгоритму релаксацій Лагранжа. Відмінними характеристиками даного методу від існуючих є забезпечення керування бітровою швидкістю на основі таких механізмів як: вибір формату кольорової субдискретизації, вибір типу обробки для кожного блоку в кадрі з урахуванням його інформативності і можливості контролю та зміни фактору якості при квантуванні. Це дозволяє підвищити ефективність процесу керування бітровою швидкістю на етапі кодування відеопотоку. 	<p>Створення структурного підходу відносно класифікації (класифікації) блоків передбачених відеокадрів в залежності від степені їх насиченості дрібними деталями та рівня інформативності</p> <p>Розроблення режиму кодування передбачених кадрів у разі наявності областей постійного фону</p> <p>Підвищення ефективності кодування базових кадрів (кадрів I-типу) в локальній послідовності (групі) відеокадрів</p>

продовження табл. 1.1.

1	2	3	4
<p>Баранік Володимир Вікторович Лека Альберт Анатолійович Хаханова Ганна Володимирівна ([66; 67; 70; 74; 78; 80; 129])</p>	<p>Технології та методи диференційов аного (диференційн ого) кодування відеопотоків с наявністю областей постійного фону</p>	<p>Розроблено методи роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових диференційованого (передбаченого) відеокадру</p> <p>Розроблений метод стиснення зображень з контрольованою втраченою якістю потоку відеозображень за рахунок роздільної обробки стаціонарної складової на основі двошалфавітного коду потужності та динамічної складової на основі позиційного кодування з адаптивним вибором основи. Створений метод стиснення забезпечує додаткове підвищення ступеня компресії відеозображень і зменшення часу їх обробки та доведення для автоматизованих систем відеоконтролю.</p> <p>Наукова новизна одержаних результатів:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отримали подальший розвиток методи стиснення кадрів у потоці зображень на основі диференціального представлення. Відмінності від відомих методів полягають у тому, що: формується двійкова маска динамічної та стаціонарної складових, яка кодується на основі двошалфавітного коду потужності; сегментована по масивах динамічна складова стискається шляхом інтегрованого коду з врахуванням порогу фільтрації. Це дозволяє адаптувати процес стиснення до умов стаціонарного формування відеоінформаційного потоку, скоротити кількість кодової надмірності та часові витрати на кодування; - вперше створений метод кодування матриці знаків на основі структурної подібності з двійковою маскою шляхом формування кодів потужності алфавіту. Це забезпечує скорочення обсягу на представлення службових даних; - отримали подальший розвиток методи відновлення стиснених кадрів у потоці зображень на основі диференціального представлення. Відмінності від відомих методів полягають у тому, що спочатку відновлюється матриця двійкової маски, потім динамічна складова і матриця знаків. Це дозволяє адаптувати процес відновлення до умов стаціонарного формування відеоінформаційного потоку, скоротити час на обробку; - вперше створений метод відновлення поточного кадру у відеопослідовності на основі реконструкції диференціально-представленого кадру, інформації про базовий кадр та використання двошалфавітного декодування для відновлення інформації про стаціонарну і динамічну складові. Це дозволить скоротити час доставки інформації об'єктивного відеоконтролю на залізничному транспорті. 	<p>Розробка методів кодування та стиснення передбачених та базових кадрів у разі динамічного фону відеокадру</p> <p>Управління пороговими параметрами у процесі визначення фонової (стаціонарної) складової відеокадру в залежності від зміни швидкості передачі даних в мережі.</p> <p>Удосконалення технології ідентифікації блоків відеокадрів в залежності від рівня структурної інформативності та насиченості</p>

1	2	3	4
<p>Баранік Володимир Вікторович Туренко Сергій Вікторович ([81; 87; 93; 94; 98; 99; 128])</p>	<p>Підвищенні якості надання відеоінформа ційних сервісів використання М бездротових інфокомуніка ційних технологій</p>	<p>Розроблено метод компактного подання трансформанти ДКП в результаті дворівневого рекурентного кодування. Побудова кодограм з врахуванням обмежень на максимальну довжину. Побудовані позиційні числа с адаптивним вибором значень основ. Розроблено метод формування компактного представлення сегментованих зображень на основі виявлення вектора двокомпонентних кортежів для ліаризованих трансформант. Побудована технологія формування кодових конструкцій стисненого сегменту зображення в умовах інтеграції послідовності кодограм, що містять інформацію про кодові значення складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів.</p> <p>Наукова новизна одержаних результатів:</p> <p>1. Вперше отримано кодоутворююче співвідношення для компактного представлення усіченого вектору двокомпонентних кортежів, як комбінаторного об'єкту. Відмінність полягає у тому, що кодове значення формується за дворівневою схемою для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною, елементами якого є коди біадичних чисел, утворених для двокомпонентних кортежів. Це дозволить сформувати без втрат інформації компактне представлення для ліаризованої трансформанти.</p> <p>2. Вперше створено метод формування кодограм кодових значень укрупнених позиційних чисел за комбінованим принципом. Відмінність полягає у тому, що кодова конструкція включає кодограми, які сформовані в умовах установлених обмежень на максимальну довжину кодограми, і кодограму змінної довжини. Це дозволить з однієї сторони виключити неконтрольовані втрати інформації в умовах невизначеної кількості кортежів, а з другої сторони уникнути появу кодової надлишковості і необхідності використання додаткової службової інформації.</p> <p>3. Отримали подальший розвиток методи стиснення кадрів зображення на основі трансформування. Відмінність полягає в тому, що компактне представлення трансформанти досягається в результаті рекурентного дворівневого кодування складових укрупнених позиційних чисел і формування кодограми за комбінованим принципом. Це забезпечить зниження бітової швидкості потоку відеокадрів для заданого рівня якості візуального сприйняття.</p>	<p>Адаптація кодування окремих передбачених кадрів Кодування динамічних складових послідовності передбачених кадрів</p>

продовження табл. 1.1.

<p>Баранік Володимир Вікторович Власов Андрій Володимирович ([31; 36; 52; 57; 64; 130])</p>	<p>Повышения доступности информацион ного ресурса видеоконфере нцсвязи в условиях сохранения его семантическо й целостности на основе технологий компрессии видеоизображ ений</p>	<p>Технологія кількісної оцінки рівня семантичної насиченості відеозображень з врахуванням ідентифікації контурної складності їх фрагментів.</p> <p>Научная новизна результатов:</p> <p>Вперше розроблено метод визначення ступеня семантичної насиченості відеозображень. Відмінна риса методу полягає в тому, що застосовуються кількісні структурні показники для оцінки контурної складності фрагментів відеозображень. Це забезпечує проведення автоматичної класифікації ступеня семантичної насиченості відеозображень.</p>	<p>Інтеграція в комплексні інформаційні технології кодування відеоінформаційних потоків</p>

Таким чином, проблема вдосконалення програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації для систем спеціального призначення остаточно не вирішена.

Комп'ютерна система, як показано на рисунку 1.1, в загальному випадку включає такі компоненти [11, 97 – 100, 133 – 135]:

- транспортна мережа (core network) – об'єднує окремі мережі доступу, забезпечуючи транзит трафіку між ними по високошвидкісним каналам;

- інформаційні центри або центри управління сервісами (data centers) – це власно інформаційні ресурси мережі, на основі яких здійснюється обслуговування користувачів;

- мережа доступу (access network) – призначена для концентрації інформаційних потоків, що надходять по численних каналах зв'язку від обладнання користувачів в сторону вузлів транспортної мережі;

- абоненти мережі доступу є споживачами інформації та її джерелами. Вони створюють навантаження на мережу доступу, відсилаючи запити на надання тих чи інших послуг, а також є активними учасниками джерела для пірінгових мереж (torrent, skype, direct connection та ін.).

Мережа доступу являє собою нижній рівень ієрархії комп'ютерної мережі. У таблиці 1.2 наведено порівняльний аналіз сучасних технологій абонентського доступу.

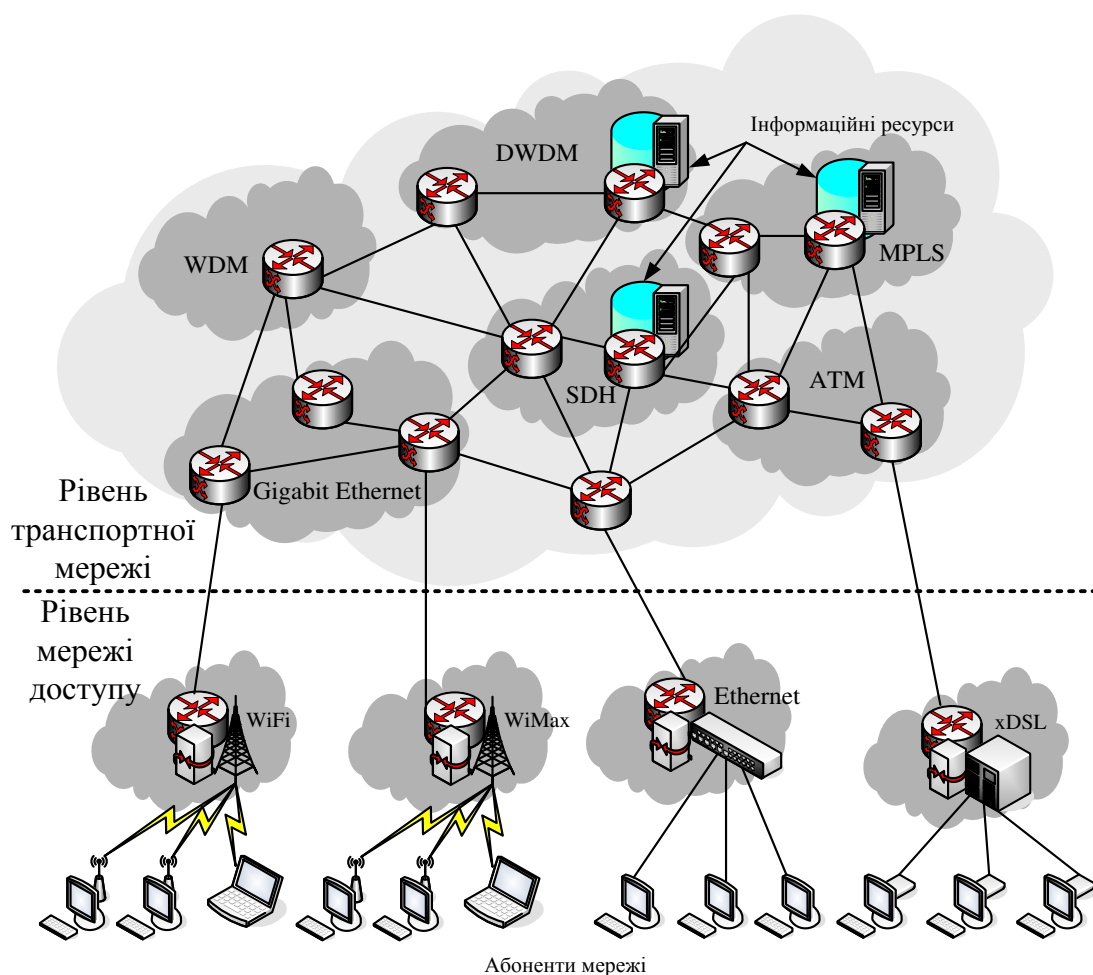


Рисунок 1.1 – Загальна структура комп'ютерної мережі

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз сучасних технологій абонентського доступу

Характеристики для порівняння	Технології абонентського доступу			
	xDSL (ADSL2 +)	Ethernet (FastEthernet)	WiFi (802.11n)	WiMax (802.16d)
Швидкість передачі, Мбіт / с	24 Мбіт / с upstream 1,4 Мбіт / с downstream	100 Мбіт / с	150 Мбіт / с	75 Мбіт / с
Використання	POTS / ISDN	LAN / WLAN	WLAN	WMAN
Радіус / дальність дії	900 м	100-150 м	100-3500 м	6-13 км
Вид доступу	кабель	кабель	бездротовий	бездротовий

Серед представників технологій xDSL слід виділити дві: асиметричні і симетричні, що володіють високими пропускними спроможностями. Серед асиметричних технологій виділяють VDSL і ADSL, які забезпечують довжину лінії до 1,3 км, а серед симетричних технологій виділяють SDSL і HDSL, які організують передачу на відстані до 4,5 км.

У теперешній час серед мереж абонентського доступу агресивно розвивається напрямок технологій бездротового зв'язку. Розвиток бездротових систем зв'язку, їх можливостей і набору послуг, що надаються, та сервісів відносять до різних поколінь. Порівняльна характеристика за швидкістю передачі наведена на рисунку 1.2.

Швидкість передачі, кбіт/с

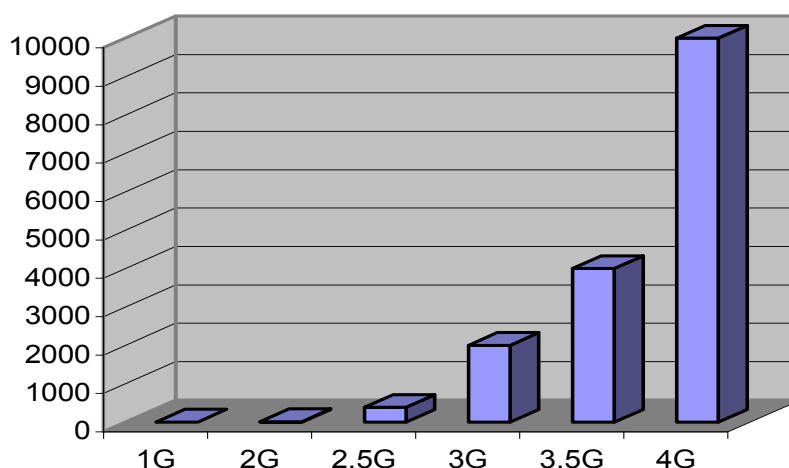


Рисунок 1.2 – Порівняльна характеристика поколінь технологій бездротового зв'язку за швидкістю передачі

Технології WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) та LTE (Long-Term Evolution) використовують нові ефективні схеми мультиплексування – множинний доступ з ортогональним частотним розділенням каналів (OFDMA – Orthogonal Frequency-Division Multiple Acces), та в них обох відсутній канал для передачі голосу.

Виходячи із різноманіття технологій, як мереж доступу, так і транспортних мереж, актуальним є створення відкритої, стандартної пакетної

інфраструктури, яка здатна ефективно підтримувати всю гаму існуючих додатків та послуг, забезпечувати необхідну масштабованість і гнучкість, також дозволяють реагувати на нові вимоги за функціональністю та пропускну спроможністю. Такою інфраструктурою є мережі наступного покоління – NGN (Next Generation Network). Вони являють собою комплексну мультисервісну мережу зв'язку, ядром якої є опорна IP-мережа, що підтримує повну або часткову інтеграцію послуг передачі мови, даних і мультимедіа. Реалізується принцип конвергенції послуг електрозв'язку з відкритою стандартною пакетною інфраструктурою, яка здатна ефективно підтримувати всю гаму існуючих додатків та послуг.

Постійне зростання і розвиток комп'ютерних мереж СП дозволяє операторам найбільш ефективно використовувати пропускні спроможності каналів зв'язку, вводити більшу кількість нових послуг, покращуючи при цьому їх якість. У сфері надання комп'ютерних послуг також спостерігається активне зростання і в бездротових мережах доступу. Тому необхідно провести аналіз характеристик передаваного трафіку і можливості надання доступу користувачам до різних класів послуг та додатків [45, 175].

1.2 Аналіз вимог до відеододатків у сучасних комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Як основні критерії класифікації трафіку прийняті три характеристики [40, 101 – 103]: відносна передбачуваність швидкості передачі даних, чутливість трафіку до затримок пакетів та чутливість трафіку до втрат і спотворень пакетів (рис. 1.3).

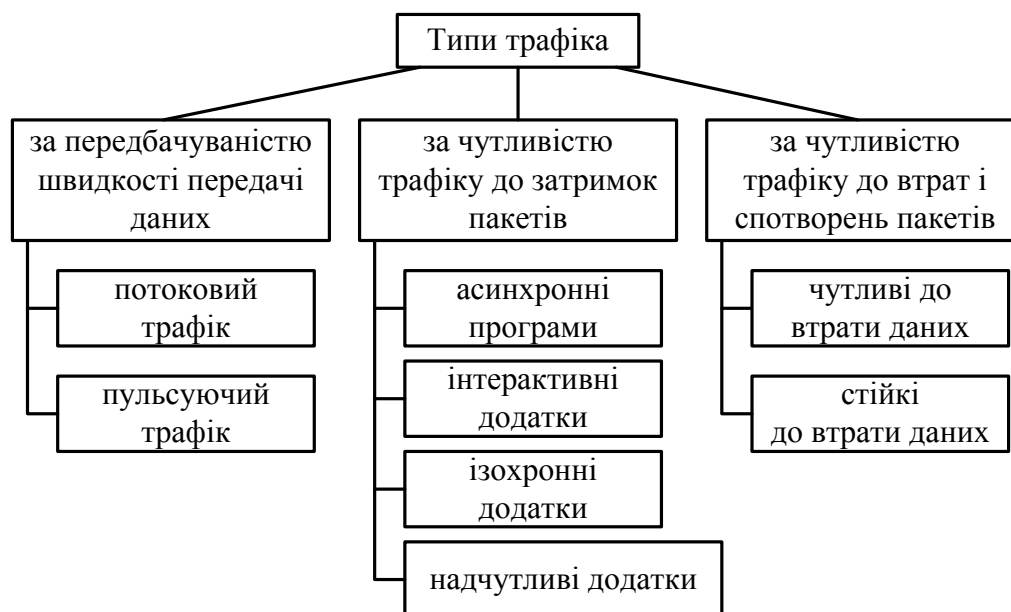


Рисунок 1.3 – Класифікація типів мережевого трафіку

Незважаючи на відмінності існуючих додатків і протоколів управління трафіком, в кожному з них окремим пунктом виділяють мультимедійний трафік. Його особливістю є чутливість до часових затримок, а в деяких випадках – чутливість до втрат пакетів і великий обсяг переданих даних.

Під мультимедійним трафіком розуміється цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, які сприймаються органами сприйняття людини (зазвичай звукова та / або відеоінформація). Мультимедійні потоки даних передаються по комп'ютерній мережі з метою надання віддалених інтерактивних послуг [47, 104, 167]. Найбільш поширеними на сьогоднішній день мультимедійними послугами, які надаються користувачам мережі, є:

- IP-телефонія;
- високоякісний звук;
- відеотелефонія;
- відеоконференція;
- дистанційне медичне обслуговування;
- відеомоніторинг;
- мовлення радіо і телевізійних програм;
- цифрове телебачення.

Трафік фіксованих мереж зростає з високою і постійною швидкістю з початку 1980-х років. Так, світовий трафік Інтернет ріс в світі в останні роки на 60 – 80% щорічно, а кількість абонентів широкосмугових мереж збільшувалася з середньою швидкістю 60%. Стабільно, темпом 42 - 43% на рік, розвивається за останні чотири роки і мережева галузь. Аналогічна ситуація і з темпами розвитку мобільного зв'язку. З 2003 р кількість абонентів стільникових мереж збільшилася в 2 рази, ще швидше (180% на рік) ріс трафік Інтернет.

За прогнозами Cisco щодо розвитку всесвітньої мережі на 2017 – 2022 р.р., опублікованими в «Visual Networking Index Global Forecast», збільшення числа інтернет-користувачів, зростання кількості інтернет-пристроїв і швидкостей широкосмугового доступу в поєднанні зі збільшенням кількості переглядів відео в мережі призведе до масивного сплеску обсягів IP трафіку (рис. 1.4).

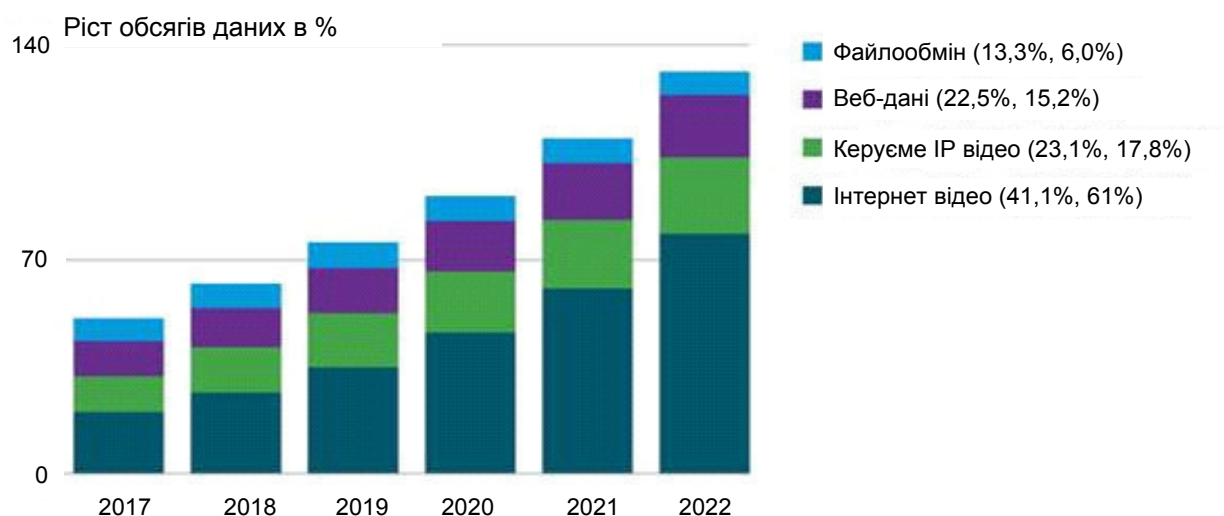


Рисунок 1.4 – Процентне співвідношення різних видів відеотрафіка в IP-мережах для 2017-2022 рр.

Експерти компанії також стверджують, що в найближчі кілька років відео у форматі високої чіткості буде генерувати більшу кількість трафіку, ніж відео стандартного розрізнення, значна частина трафіку буде виходити

від пристроїв, які не є персональними комп'ютерами, а WiFi трафік вперше перевищить трафік у порівнянні з проводовими мережами.

Відсотки, зазначені в дужках поруч з типом трафіку (див. рис. 1.4), позначають частки даних видів трафіку в 2017 і 2022 роках відповідно.

До 2022 року, як прогнозують в Cisco, 79% всього інтернет-трафіку буде створювати передача відео через IP, в той час як в 2017 р обсяги такого трафіку становили 66%.

Частка відео в форматі Ultra HD до 2022 року складе приблизно 11% всього обсягу передачі відео через IP, в той час як в 2017 році вона становила лише 0,1%. У той же час частка HD відео складе до 2022 року 52%, а SD відео – близько 37%. Для порівняння – в минулому році частка HD відео складала 36%, а частка SD відео – 64%.

Сфері онлайн-відео також пророкують статус найбільш динамічного сегмента інтернету з річним зростанням доходу на рівні 10% в період з 2017 по 2022 р. За цей період сектор виросте за прогнозами з 1,2 мільярда користувачів до 1,9 мільярда користувачів.

Для надання послуг відеозв'язку важливим аспектом є показник швидкості передачі в обох напрямках. На рис. 1.5 наведені характеристики залежності мінімальної та рекомендованої швидкості з'єднання від виду відеопослуг для провайдерів голосових і відео послуг Skype.

Очевидно, що тенденції зростання пропускної спроможності каналів комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення призводять до збільшення можливостей з надання відеоінформаційних послуг, підвищуючи при цьому попит на них, так як дані послуги в даний момент є найбільш затребуваними.

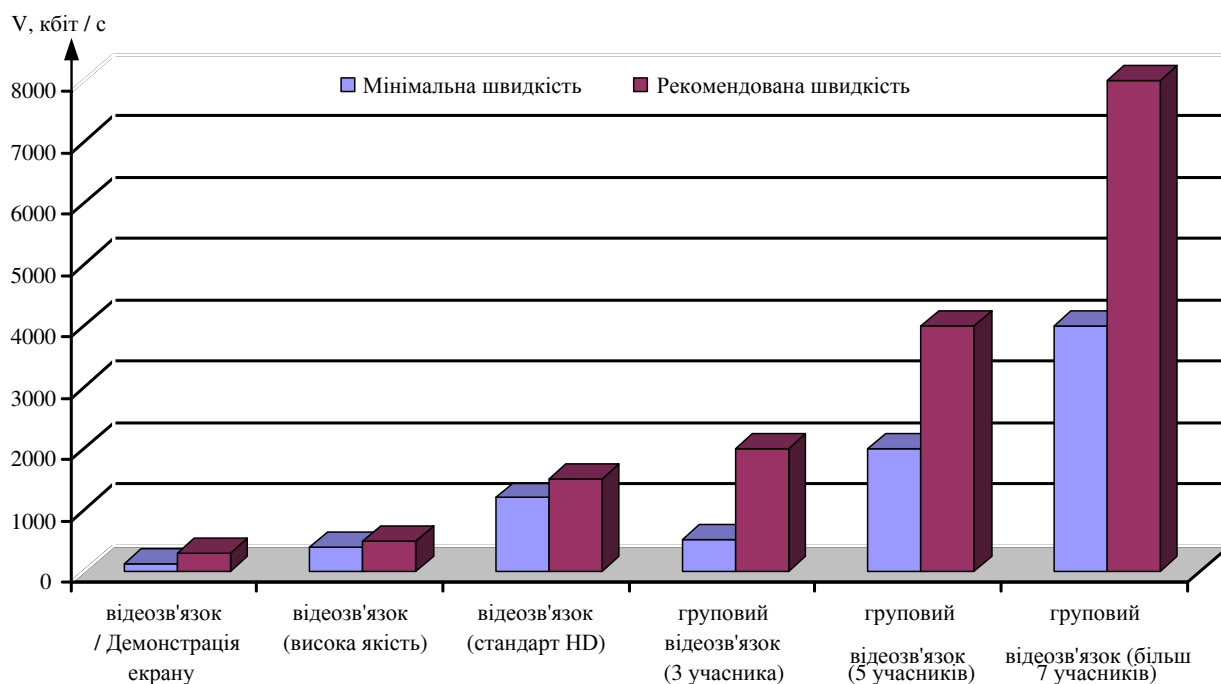


Рисунок 1.5 – Характеристики залежності мінімальної та рекомендованої швидкості з'єднання для різних відеослужб

Виходячи з вимог, що пред'являються мультимедійними службами до параметрів комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення, необхідно ввести сервіс забезпечення якості обслуговування (QoS англ. Quality of Service), який дозволить контролювати дотримання заданих вимог на всіх ділянках функціонування комп'ютерної мережі.

Необхідна якість послуг забезпечується такими механізмами контролю трафіку: QoS, NBAR (Network Based Application Recognition), RSVP, стандарт IEEE 802.1Q та стандарт IEEE802.1D, що використовуються у певних мережах та мають як переваги, так і недоліки. Тому існує загальний механізм контролю трафіку, за допомогою якого можливий контроль якості при будь-якій технології передачі – QoS.

Якість обслуговування QoS можна визначити як сукупність характеристик послуг зв'язку, по відношенню до його можливості задовольняти встановлені і прогнозовані потреби користувача послуги.

Для більшості випадків якість зв'язку визначається чотирма параметрами [12, 13, 106 – 111]:

- смуга пропускання S_k (Bandwidth), описує номінальну пропускну спроможність середовища передачі інформації, визначає ширину каналу, вимірюється в bit / s (bps), kbit / s (Kbps), Mbit / s (Mbps), Gbit / s (Gbps);
- затримка при передачі пакета T_p (Delay), вимірюється в мілісекундах;
- коливання J (тремтіння) затримки під час передачі пакетів – джиттер;
- втрата пакетів P_{PLR} (Packet loss), визначає кількість пакетів, втрачених в мережі під час передачі.

У таблиці 1.3 наведено аналіз чутливості різних додатків до мережевих характеристик.

У разі передачі відеотрафіка у часі близькому до реального в першу чергу необхідно забезпечувати мінімальну затримку при передачі пакетів, що висуває значні вимоги до характеристик як мережі передачі даних, так і до обладнання кінцевих вузлів, на яких відбувається обробка відеопотоку.

Норми на показники функціонування мереж зв'язку передачі даних наведено у таблиці 1.4 з диференціацією за типом передаваного трафіку.

Для простоти розуміння канал зв'язку можна представити у вигляді умовної труби [14, 112, 113], а пропускну спроможність описати як функцію двох параметрів: діаметра труби та її довжини.

Для розв'язання проблеми «пляшкового горлечка» для прийому і відправки пакетів на маршрутизаторах, зазвичай використовують метод FIFO – перший прийшов – перший пішов (First In – First Out). При інтенсивному трафіку це створює затори, які вирішуються вкрай просто: всі пакети, які не ввійшли до буфер черги FIFO (на вхід або на вихід), ігноруються маршрутизатором і, відповідно, губляться безповоротно.

Таблиця 1.3 – Чутливість різних додатків до мережевих характеристик

Тип трафіку	Рівень чутливості до мережевих характеристик			
	Смуга пропускання	Втрати	Затримка	Джиттер
Голос	дуже низький	середній	високий	високий
Електронна комерція	низький	високий	високий	низький
Транзакції	низький	високий	високий	низький
Електронна пошта	низький	високий	низький	низький
Telnet	низький	високий	середній	низький
Пошук в мережі "від випадку до випадку"	низький	середній	середній	низький
Постійний пошук в мережі	середній	високий	високий	низький
Пересилання файлів	високий	середній	низький	низький
Відео конференція	високий	середній	високий	високий
Мультикастінг	високий	високий	високий	високий

Таблиця 1.4 – Технічні норми на показники функціонування мереж передачі даних

№	Найменування показника	Тип трафіка				
		Інтерактивний	Інтерактивний при використанні супутникової лінії зв'язку	Сигнальний	Потоковий	Трафік передачі даних, за винятком інтерактивного, сигнального і потокового трафіку
1	Середня затримка передачі пакетів інформації, мс	не більше 100	не більше 400	не більше 100	не більше 400	не більше 1000
2	Відхилення від середнього значення затримки передачі пакетів інформації, мс	не більше 50	не більше 50	не нормується	не більше 50	не нормується
3	Коефіцієнт втрати пакетів інформації	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}	не більше 10^{-3}
4	Коефіцієнт помилок в пакетах інформації	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}	не більше 10^{-4}

Уникнути цього можна, використовуючи «розумну» чергу, в якій пріоритет у пакеті даних, який вже несе мітку типу сервісу, залежить від типу сервісу – ToS (англ. Type of Service).

Сервіси QoS можуть бути представлені такими моделями обслуговування:

- негарантована доставка – Best Effort Service;
- інтегрований сервіс – Integrated Service (IntServ), який забезпечує наскрізну (End-to-End) якість обслуговування, гарантуючи необхідну пропускну спроможність;
- диференційоване обслуговування – Differentiated Service (DiffServ) забезпечує QoS на основі розподілу ресурсів в ядрі мережі і певних класифікаторів та обмежень на кордоні мережі, комбінованих з метою надання необхідних послуг.

DiffServ є найбільш підходящим прикладом «інтелектуального» управління пріоритетом трафіку відеододатків реального часу.

У комп'ютерних мережах питання реалізації QoS лежать у площині управління ресурсами мереж [15, 114, 176].

Для регулювання відносин між учасниками, ресурси мереж яких задіяні при наданні послуг, для забезпечення заданих параметрів якості обслуговування при міжоператорській взаємодії, служить Угода про рівень обслуговування (Service Level Agreement – SLA), і, у виняткових випадках – Угода про рівень експлуатаційної підтримки (OLA) як механізм забезпечення якості відповідно до SLA:

- SLA визначає показники якості кожної послуги і встановлює норми на них;
- OLA визначає відповідальність служб технічної експлуатації за стійкість функціонування мережі, що забезпечує, в кінцевому рахунку, якість послуг зв'язку, яке визначається в SLA.

На рисунку 1.6 наведена архітектурна модель, яка характеризує необхідні компоненти і елементи для підтримки якості обслуговування та зв'язки між ними.



Рисунок 1.6 – Архітектурна модель для підтримки якості обслуговування

Площина адміністративного управління містить механізми QoS, що мають відношення до експлуатації, адміністрування та управління мережею стосовно доставки призначеного для користувача трафіку. До механізмів QoS на цій площині входять:

- вимірювання (Metering);
- задані правила доставки (Policy);
- відновлення трафіку (Traffic restoration);
- Угода про рівень обслуговування (Service Level Agreement).

Мережеві механізми QoS (блоки QoS) можуть бути специфіковані стосовно до мережевих вузлів (наприклад, управління буферами вузлів) або до мережевих сегментів (маршрутизація QoS), де поняття "мережевий сегмент" може відноситися до міжкінцевого з'єднання, ділянки доступу, міжвузлових ділянок або ділянки, що з'єднує дві та більше мереж.

Розглянемо механізми QoS у площині даних. Ця група механізмів оперує безпосередньо з призначеним для користувача трафіком і містить:

- управління буферами (Buffer management);
- запобігання перевантажень (Congestion avoidance);
- маркування пакетів (Packet marking);
- організація і диспетчеризація черг (Queuing and scheduling);
- формування трафіку (Traffic shaping);
- правила обробки трафіку (Traffic policing);
- класифікація трафіку (Traffic classification).

Управління буферами (Buffer management) або чергами складається в управлінні пакетами, що стоять у вузлах у черзі на передачу, з метою мінімізації середньої довжини черги при одночасному забезпеченні високого використання каналу та справедливого розподілу буферного простору між різними потоками даних. Схеми управління чергами розрізняються, в основному, критерієм, за яким відкидаються пакети, і місцем (початок або кінець) у черзі, звідки здійснюється скидання пакетів. Найпростішим критерієм для скидання пакетів є досягнення чергою так званої максимальної довжини черги.

При використанні так званих механізмів активного управління чергами, наприклад, алгоритму RED (Random Early Detection – раннє випадкове виявлення перевантаження), пакети, які надходять до буферу, скидаються на підставі оцінки середньої довжини черги. Імовірність скидання пакетів зростає з ростом середньої довжини черги.

Запобігання перевантажень (Congestion avoidance). Механізми запобігання перевантажень підтримують рівень навантаження в мережі нижче її пропускної спроможності. Звичайний спосіб запобігання перевантажень полягає в зменшенні трафіку, що надходить до мережі. Як правило, команда зменшити трафік впливає, в першу чергу, на фонові джерела. Одним із прикладів механізмів запобігання перевантажень є механізм «вікна» в протоколі TCP.

Маркування пакетів (Packet marking). Пакети можуть бути промарковані відповідно до певного класу обслуговування. Маркування зазвичай проводиться у вхідному прикордонному вузлі, де в спеціальне поле заголовка (Type of Service в заголовку IP або DS-байт в заголовку DiffServ) вводиться певне значення. Крім того, маркування застосовується для тих пакетів, які можуть бути видалені в разі перевантаження мережі.

Організація і планування черг (Queuing and scheduling) має на меті вибір пакетів для передачі з буфера до каналу. Більшість дисциплін обслуговування (або планувальників) засновані на схемі "перший прийшов – перший обслуговується". Для забезпечення більш гнучких процедур виведення пакетів з черги був запропонований ряд схем, заснованих на формуванні кількох черг, наприклад, схеми пріоритетного обслуговування; механізм зваженої справедливої буферизації (Weighted Fair Queuing, WFQ), коли обмежена пропускна спроможність на виході вузла розподіляється між декількома потоками (чергами) залежно від вимог до пропускної спроможності з боку кожного потоку; класифікація потоків за класом обслуговування (Class-Based Queuing, CBQ), коли потоки класифікуються відповідно до класів обслуговування і потім розміщуються в буфері в різних чергах. Кожній черзі виділяється певний відсоток вихідної пропускної спроможності залежно від класу, і черги обслуговуються за циклічною схемою.

Формування трафіку (Traffic shaping) або управління характеристиками трафіку передбачає контроль швидкості передачі пакетів і обсягів потоків, що надходять на вхід мережі. В результаті проходження через спеціальні буфери зменшується вихідний трафік, і його характеристики стають більш передбачуваними. Відомі два механізми обробки трафіку – Leaky Bucket ("диряве відро") і Token Bucket ("відро з жетонами"). Алгоритм Leaky Bucket регулює швидкість пакетів, які покидають вузол. Незалежно від швидкості вхідного потоку, швидкість на виході вузла є величиною постійною. Коли відро переповнюється, зайві пакети скидаються.

На противагу цьому, алгоритм Token Bucket не регулює швидкість на виході вузла і не скидає пакети. Швидкість пакетів на виході вузла може бути такою ж, як і на вході, якщо тільки у відповідному накопичувачі («відрі») є жетони. Жетони генеруються з певною швидкістю і накопичуються у відрі. Алгоритм характеризується двома параметрами – швидкістю генерації жетонів і розміром пам'яті («відра») для них. Пакети не можуть покинути вузол, якщо у відрі немає жетонів. І навпаки, відразу пачка пакетів може покинути вузол, витративши відповідну кількість жетонів.

Правила обробки трафіку (Traffic policing) дозволяють приймати рішення про те, чи відповідає трафік, що надходить від одного транзитного вузла до іншого, заздалегідь узгодженим правилам обробки або контрактам. Зазвичай невідповідні пакети відкидаються. Відправники можуть бути повідомлені про відкинуті пакети та виявлені причини, а також про дотримання відповідності в майбутньому, обумовленій угодами SLA.

Класифікація трафіку (Traffic classification) може бути проведена на потоковому або пакетному рівні. На вході в мережу у вузлі доступу (прикордонному маршрутизаторі) виділяються пакети одного потоку, які характеризуються загальними вимогами до якості обслуговування. Потім трафік піддається процедурі нормування (механізм Traffic Conditioning), що передбачає вимірювання параметрів трафіку і порівняння результатів вимірювань з параметрами, обумовленими в SLA. Якщо умови SLA порушуються, то частина пакетів може бути відкинута. Магістральні маршрутизатори, що становлять ядро мережі, забезпечують пересилання пакетів відповідно до необхідного рівня QoS.

1.3 Обґрунтування вимог до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Затримки при обробці та передачі інформації відеоконтролю призводять до затримки обробки ресурсу не тільки в звичайних умовах, але й при надзвичайних та кризисних ситуаціях. Затримка в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення в середньому складає 10-15%. Додатково це є причиною несвоєчасного виконання завдань з управління та великих затримок при оцінці обстановки і прийняття рішень.

Отже, методи з втратою якості забезпечують більший рівень компресії, ніж методи без втрати якості. Але в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення необхідно використовувати обидва типи методів для обробки та передачі відеоінформації. Це пояснюється такими причинами:

1) для деяких практичних завдань управління методи з втратою якості, засновані на скороченні психовізуальної надмірності, не можуть гарантовано забезпечити високу якість зображень;

2) методи без втрати якості в різних форматах зображень (TIFF, GIF, BMP, ART і т.п.) характеризуються збільшенням обробленого обсягу для реалістичних зображень, сильнонасичених дрібними деталями;

3) методи компресії з втратою якості мають в десятки разів більший час кодування даних, ніж методи без втрати якості, що в загальному випадку призводить до збільшення сумарного часу на обробку та передачу даних;

4) розроблена група методів, спрямованих в основному на компресію кольорних координат. Але ж масиви довжин серій передаються без додаткового кодування, що знижує ступінь стиснення зображень і збільшує час передачі у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;

5) у багатьох комплексних методах компресії з підсистемою обробки службової інформації додаткове збільшення коефіцієнта компресії потребує додаткової обробки довжини серій.

У той самий час існуючі методи без втрати якості не забезпечують передачу зображень в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення у часі близькому до реального. Це обумовлено такими недоліками методів довжин серій і методу LZW:

- 1) не врахування наявності стаціонарних фонових областей;
- 2) для динамічної складової:
 - зменшення кількості найпростішої структурної намірності (зміна довжини серій однакових елементів) для реалістичних зображень, а отже, зниження ефективності методів RLE та LZW;
 - наявністю проблеми обробки кольірних координат серій однакових зображень.

Аналіз відомих методів компресії показав, що для обробки зображень в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення необхідно використовувати методи без втрати якості [16, 115 – 117, 177]. Разом з тим дані методи не дозволяють обробляти та передавати відеодані в часі, близькому до реального.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. Зниження сумарного часу обробки та передачі інформації T_{var} за допомогою методів компресії без втрати якості, можна за рахунок їх подальшого вдосконалення [17, 118 – 120]. Основними шляхами вдосконалення відомих методів компресії є:

- урахування наявності стаціонарного фону зображень при обробці шляхом виявлення компенсації руху та використання тривимірного дискретного косинусного перетворення, що ускладнює обчислювальний процес обробки інформації;

- виключення внутрішньокадрової надмірності шляхом:

- а) кодування довжин серій, що, з одного боку, підвищує ефективність виявлення структурних закономірностей, а з іншого, різко знижує ефективність кодування довжин серій при обробці багатоградаційних даних з високою ймовірністю наявності перепаду яскравості;

- б) скорочення структурної та статистичної надмірності в результаті компресії зображень методами КДС і LZW, що несуттєво впливає на ступінь компресії;

- в) невеликих спотворень в значеннях довжин серій, що призводять до часткового або повного руйнування зображення об'єктів;

- г) обмеженості використання для компресії довжин серій існуючих методів, заснованих на скороченні психовізуальної надмірності, що несуть основну інформацію про форми та розміри об'єктів зображення;

- д) підвищення ефективності методів LZW, пов'язаного з додатковим збільшенням кількості операцій на кодування, що витрачаються на:

- обчислення статистичних характеристик елементів зображень у кожному "ковзному вікні";

- збільшення часу пошуку елементів зображення великого розміру у вікні.

2. Подання довжин серій нерівномірними кодами незначно, приблизно у 1,5 рази, збільшує ступінь компресії, але ускладнює практичну реалізацію методу обробки:

- необхідна додаткова кількість операцій для обчислення статистичних характеристик кожного блоку;
- необхідно передавати дані про статистичні характеристики;
- неможливість відновлення всіх повідомлень при помилці в кодовому слові.

Отже, використання методів, що виключають ймовірнісно-статистичну та психовізуальну надмірність, для додаткового підвищення ефективності методів без втрати якості в процесі внутрішньокадрової обробки недоцільно.

3. Подальше збільшення коефіцієнта компресії в процесі обробки зображень стаціонарного фону на основі виявлення стаціонарної складової кадру $I_{ст}$ дозволить:

- виявити область стаціонарності щодо попереднього кадру;
- сформувати бінарну маску динамічних областей i , тим самим, забезпечити потенціал для скорочення структурної надмірності в результаті виявлення довжин двійкових серій;
- скоротити розмірність масиву, який містить елементи динамічних об'єктів.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [40, 45, 47, 167, 175, 176, 177].

РОЗДІЛ 2

ПОСТАНОВКА НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

У розділі запропонована концепція з формування технологічного подання динамічних зображень стаціонарного фону. Визначено, що диференційне подання кадру з використанням порогу фільтрації дозволяє виявити області стаціонарного фону та області, які містять динамічні об'єкти. Обґрунтовано головні принципи побудови технології компактного подання відеокадрів, представлених в диференціальному вигляді.

В кінці розділу робиться висновок про актуальність питань вдосконалення програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення, здійснюється постановка науково-технічної проблеми.

2.1 Технічний опис диференційного подання кадру з використанням порогу фільтрації

Кадр диференційного подання формується на основі поточного та попереднього кадрів в умовах стаціонарного подання відеоінформації:

$$e_{i,j}^{(\xi+1)} = a_{i,j}^{(\xi)} - a_{i,j}^{(\xi+1)},$$

де $e_{i,j}^{(\xi+1)}$ – (i; j) -ий елемент поточного диференційно-поданого кадру;

$a_{i,j}^{(\xi)}$ – (i; j) -ий елемент попереднього кадру;

$a_{i,j}^{(\xi+1)}$ – (i; j) -ий елемент поточного кадру в відеопослідовності.

Формат диференційно-поданого кадру дозволяє виділити дві складові, які описують стаціонарний фон і динамічні об'єкти. Для отримання стаціонарного фону необхідно визначити, які позиції елементів належать динамічній складовій. Очевидно, що кадр формується в умовах зміни освітленості об'єктів в русі, вібрації відеокамери в результаті флуктуацій при її кріпленні, спотворення при перетворенні аналогового сигналу в цифровий.

Врахування цього в процесі формування стаціонарної складової диференційно-поданого кадру пропонується використовувати поріг фільтрації ΔP . Суть фільтрації полягає у виявленні елементів диференційно-поданого кадру, які містять імпульсну заваду. Це дозволить визначити, належить елемент до стаціонарної або динамічної складової. Для скорочення кількості операцій на обробку використовується скалярна порогова фільтрація. Вона проводиться за правилом, де кожен оброблюваний елемент e_{ij} порівнюється з величиною порога ΔP . Якщо значення елемента менше величини порога ($e_{ij} \leq \Delta P$), то даний елемент вважається елементом стаціонарної складової $e_{ij} \in I_{ст}$. Навпаки, якщо значення елемента перевищує

величину порога $e_{ij} > \Delta P$, то даний елемент належить динамічній складовій $e_{ij} \in I_{\text{дин}}$.

З урахуванням роздільної обробки для диференційно-поданого кадру формуються дві компоненти (рис. 2.1).

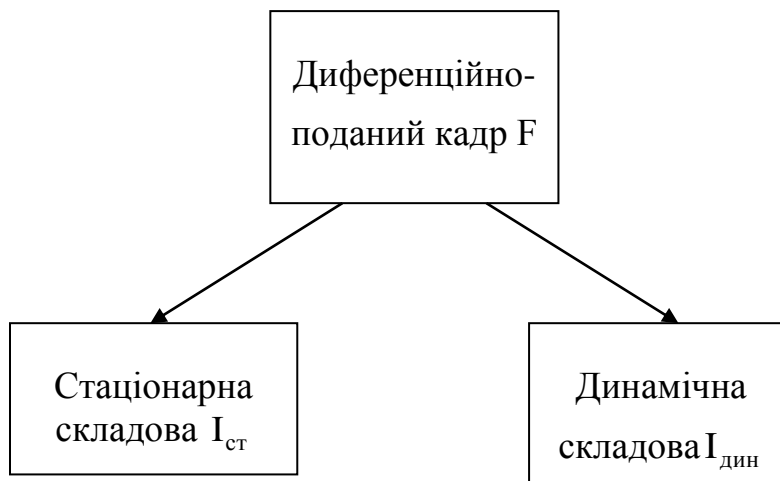


Рисунок 2.1 – Схема формування двох складових диференційно-поданого кадру

Диференційно-поданий кадр після фільтрації задається так:

$$e'_{i,j} = \begin{cases} 0, & \rightarrow |e_{ij}| \leq \Delta P; \\ e_{i,j} - \Delta P, & |e_{ij}| > \Delta P \ \& \ e_{ij} > 0; \\ e_{i,j} + \Delta P, & |e_{ij}| > \Delta P \ \& \ e_{ij} < 0. \end{cases}$$

Таким чином [43, 46, 49, 121 – 123, 171, 178], диференційне подання кадру з використанням порогу фільтрації дозволяє виявити області стаціонарного фону (стаціонарну складову) і області, що містять динамічні об'єкти (динамічну складову).

2.2 Обґрунтування основних принципів побудови технології компактного подання відеокадрів у диференційному вигляді

Для компактного подання двійкових масок кадрів у диференційному вигляді доцільний підхід, який базується на виявленні та описі довжин одновимірних двійкових серій [18, 50, 124, 125, 179]. Під двійковою серією розуміється послідовність поспіль двійкових елементів з однаковим значенням. У цьому випадку послідовності однакових двійкових елементів замінюються величинами їх довжин. Елементи двійкових масок Q кадрів, поданих у диференційному вигляді, приймають значення 0 або 1. Пропонується формувати довжини двійкових серій без вказівки їх рівня, а для правильної ідентифікації на приймальній стороні чергувати довжини серій. При цьому вважається, що кожному рядку двійкової маски кадру, поданого в диференційному вигляді, передують серія нульових елементів довжиною 1. У цьому випадку $r_{i,\varphi}$ – довжина φ -ої двійкової серії, сформованої для i -го рядка двійкової маски кадру. Формування довжин двійкових серій у прийнятих обмеженнях має такий вигляд:

1) оскільки $q_{01}=0$, де q_{01} – двійковий елемент, що передують першому елементу першого рядка двійкової маски, тоді, якщо $q_{11}=0$, то $r_{i,1}=2$. В іншому випадку $r_{i,1}=1$;

2) припустимо, що $r_{i,\varphi}=\gamma$. Тоді, якщо $q_{i,r(i/\varphi)+\gamma}=q_{i,r(i/\varphi)+\gamma+1}$, то довжина серії збільшується на одиницю, $r_{i,\varphi}=\gamma+1$. Навпаки, для $q_{i,r(i/\varphi)+\gamma} \neq q_{i,r(i/\varphi)+\gamma+1}$ формується нова серія $r_{i,\varphi=1}=1$.

Використовуються такі позначення:

$r_{i/\varphi}$ – кількість двійкових елементів i -го рядка двійкової маски кадру, що передували початку φ -ої двійкової серії (тобто кількість двійкових елементів $\sum_{\phi=1}^{\varphi-1} r_{i,\phi}$, які містяться в $\Phi_{i/\varphi}$ двійкових серіях);

$\Phi_{i/\varphi}$ – кількість двійкових серій сформованих для i -го рядка двійкової маски кадру, які передують φ -ій серії;

$\sum_{\phi=1}^{\Phi_i-1} r_{i,\phi} + r_{i,\Phi_i} = m_M$ – кількість двійкових елементів у рядку масиву двійкової маски кадру;

Φ_i – кількість двійкових серій утворених для i -го рядка двійкової маски кадру, $1 \leq \varphi \leq \Phi_i$.

Формування двійкових серій закінчується, коли оброблено елемент q_{m_M, n_M} .

Ступінь компресії η_M масиву двійкової маски кадру з виявленням довжин двійкових серій дорівнює:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{L_M}, \quad (2.1)$$

де L_M – кількість розрядів, які відводяться на подання послідовності довжин двійкових серій, утворених для масиву двійкової маски диференційного кадру, який задається виразом:

$$L_M = \sum_{i=1}^{n_M} \sum_{\phi=1}^{\Phi_i} \ell \log_2 r_{i,\phi},$$

де $\ell \log_2 r_{i,\phi}$ – кількість розрядів на подання серії $r_{i,\phi}$.

У загальному випадку вираз (2.1) не може використовуватися для оцінки ступеня компресії через різні значення величин $r_{i,\phi}$. Тому для їх подання потрібна різна кількість розрядів. Якщо на приймальній стороні не відома кількість розрядів під кожен серію, то процес відновлення буде неоднозначним. Можливі такі стратегії виділення кількості розрядів під довжини серій.

Перший підхід. Виділяється кількість розрядів, виходячи із заздалегідь заданого максимального значення r_{\max} довжини серії для двійкової маски диференційного кадру (або для всього бітового подання стаціонарної складової). Тоді для кодового подання довжин двійкових серій виділяється однакова максимальна кількість розрядів (рівномірний режим) $\log_2 r_{\max}$. У цьому випадку коефіцієнт компресії дорівнює:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\Phi \log_2 r_{\max}},$$

де Φ – кількість двійкових серій, утворених для двійкової маски кадру.

Основні недоліки підходу:

- між мінімальним та заздалегідь обраним максимальним значенням довжини бітової серії може бути істотна різниця;
- не враховується нерівномірність значень довжин серій;
- існує неоднозначність вибору величини r_{\max} .

Це призводить до нераціонального розподілу розрядів, і, як наслідок, до збільшення початкового об'єму на подання двійкової маски кадру.

Другий підхід. Нерівномірно розподіляється кількість розрядів під довжини двійкових серій (нерівномірним режим). Враховується можлива наявність нерівномірності розподілу ймовірностей появи значень довжин серій. Така стратегія реалізується шляхом арифметичного кодування, в якій немає однозначної відповідності між символами джерела та кодovими

словами. Замість цього вся послідовність символів джерела (тобто весь вектор двійкових серій) співвіднесена з одним арифметичним кодовим словом. Кодове слово задає інтервал дійсних чисел між 0 і 1. Зі збільшенням кількості символів у повідомленні, інтервал, необхідний для їх подання, зменшується, а кількість одиниць інформації, необхідних для подання інтервалу, збільшується.

Величина ступеня компресії двійкової маски диференційного кадру для запропонованої технології кодування залежить від:

- ймовірності зміни двійкових послідовностей;
- точності побудови статистичної моделі джерела довжин двійкових серій;
- довжини маркера між нерівномірними кодовими конструкціями.

Дані характеристики для двійкової маски диференційного кадру залежать від наявності і кількості динамічних об'єктів. Чим більше насиченість об'єктами з динамічно змінюємою сценою (тобто чим менше кореляція між суміжними кадрами), тим більші неоднорідні і нестационарні статистичні та структурні характеристики двійкової маски диференційного кадру. Тому ступінь компресії на основі нерівномірного статистичного кодування буде мінімальною. Залежність ступеня компресії $\eta(\max)_M$ від кореляції між суміжними кадрами ρ наведена на діаграмі (рис. 2.2).

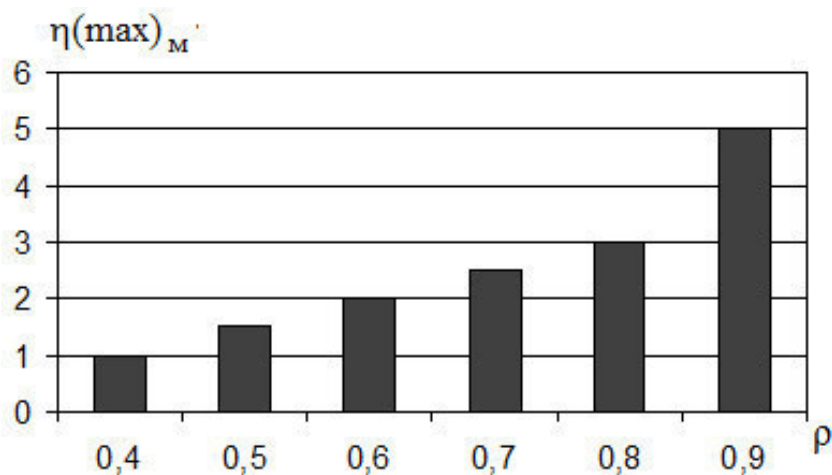


Рисунок 2.2 – Залежність величини $\eta(\max)_M$ від коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами ρ

Як випливає з аналізу рис. 2.2, величина теоретичного максимуму ступеня компресії різко знижується при зменшенні ступеня кореляції між суміжними кадрами. Такий результат пояснюється збільшенням ймовірності зміни двійкових послідовностей для масок кадрів і збільшенням концентрації одиничних елементів в разі обробки кадрів з високою динамічною зміною сцен. Навпаки, зі зростанням розмірів стаціонарної складової величина ступеня компресії збільшується.

Однак реальна ступінь компресії на основі побудови арифметичних кодів буде меншою внаслідок:

- неточності вибору статистичної моделі, що особливо проявляється при обробці сильнонасичених динамікою кадрів;
- додаткової витрати кількості розрядів на подання інформації про можливість розподілу двійкових серій.

Додатковим чинником, що обмежує рівень компресії, є необхідність включення деякого символу закінчення, що дозволяє відокремлювати одну кодову послідовність від іншої.

Практична реалізація технології арифметичного кодування двійкових масок диференційних кадрів має певні труднощі:

- 1) додаткові операції на обчислення статистики, на побудову кодових таблиць і організацію подвійного проходу по оброблюваних даних;
- 2) залежність подальших кодових частин арифметичного коду від попередніх;
- 3) кількість операцій на виконання арифметичного кодування двійкових масок диференційних кадрів досягає 90% від сумарної кількості операцій, які витрачаються на отримання обробленого подання диференційного кадру.

Вказані вище недоліки обмежують прикладні області ефективного використання технологій компресії на основі нерівномірного статистичного кодування.

Третій підхід. Використання обмежень у динамічному діапазоні для довжин двійкових серій. Дана обробка здійснюється з використанням методу Бодо (локально-рівномірний режим кодування). Коефіцієнт компресії щодо представлення довжин серій $\Phi \log_2 r_{\max}$ дорівнює:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\sum_{i=1}^{n_M} (\Phi \log_2 r_{\max})}$$

де r_{\max} – максимальне значення довжини серії для двійкової маски диференційного кадру.

Недоліками даного підходу є:

- використання роздільників;
- неповне усунення недоліків стратегії поелементного кодування рівномірним кодом, а саме, не враховуються особливості структурного змісту масивів двійкових масок диференційних кадрів.

Звідси технологія кодування двійкових масок стаціонарної складової диференційно-поданих кадрів повинна базуватися на таких принципах:

- 1) можливість адаптації до структурних особливостей двійкових масок кадрів;
- 2) організація процесу кодування, заснованого на принципі гарантованої компресії;
- 3) додаткове скорочення часу обробки, в тому числі і на основі розпаралелювання процесу кодування;
- 4) блокове кодування масивів двійкової маски шляхом адаптації до особливостей їх структурного змісту. Під блоковим кодом розуміється код потужності алфавіту для довжини двійкової серії, тобто блоком є двійкова серія.

2.3 Вибір показників оцінки ефективності, структура та методологія проведення дослідження

Розглянутий сервіс забезпечення якості обслуговування функціонує тільки з позицій підстроювання параметрів транспортної мережі: смуги пропускання S_k , затримки при передачі T_p , джиттера J та втрати пакетів P_{PLR} під задану категорію трафіку, що може бути неприпустимим. Це, в свою чергу, може привести до помилок або навіть втрати даних при передачі.

Вимоги до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення:

- зниження інтенсивності відеопотоку;
- модернізація відеоінформаційних сервісів в КСМ спеціального призначення;
- зменшення обсягів трафіку;
- рівномірне розподілення відеопотоку за часом;
- чутливість до затримок пакетів при передачі;
- чутливість до втрат пакетів при передачі;
- контроль відповідності бітової швидкості джерела відносно пропускнуої спроможності каналів зв'язку;
- врахування поточних характеристик пропускнуої спроможності комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Можливості існуючих методів обробки відеоінформації в КСМ спеціального призначення:

- обмежені обчислювальної потужності комп'ютерних систем та мереж СП при одночасному спрощенні методів їх експлуатації;
- швидке збільшення обсягів інформаційних потоків даних, які обробляються і передаються в КСМ спеціального призначення;
- стрімке збільшення кількості розподілених БД різного призначення, їх стандартизація та інтеграція до сучасного інформаційного простору;

- розширення кількості джерел інформації і кола користувачів, які мають безпосередній доступ до інформаційних ресурсів та широкого спектру послуг, які надають комп'ютерні системи та мережі СП.

Але існує протиріччя між обмеженими можливостями існуючих методів обробки відеоінформації і вимогами щодо оперативності, якості та повноти надання відеоінформаційних сервісів у КСМ спеціального призначення.

Отже актуальною науковою проблемою є розвиток теоретичних основ вдосконалення програмно-апаратних компонентів обробки відеоінформації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

Тому процес підвищення якості відеоінформаційного сервісу в КСМ спеціального призначення описується так:

$$Q(S_k, T_p, J, P_{PLR}, V(t)_{comp}) \rightarrow Q_{allowable},$$

де $Q(S_k, T_p, J, P_{PLR}, V(t)_{comp})$ – параметрична функція якості надання відеоінформаційні сервісу;

S_k – смуга пропускання каналу зв'язку;

T_p – затримка при передачі пакетів;

J – джиттер затримки;

P_{PLR} – втрати пакетів при передачі;

$V(t)_{comp}$ – бітова швидкість джерела після компресії;

$Q_{allowable}$ – допустима якість надання відеоінформаційного сервісу.

Тому для вирішення поставленої проблеми необхідно здійснювати контроль за умовами відповідності бітової швидкості $V(t)_{comp}$ джерела щодо пропускної спроможності V_k каналу зв'язку такими, щоб $V(t)_{comp} \rightarrow V_k$ при $T_p \rightarrow \min$, $P_{PLR} \rightarrow \min$, $S_k = \text{const}$, $J = \text{const}$.

Результати проведеного аналізу методів обробки відеоінформації свідчать, що зазначені фактори недостатньо враховані при проектуванні комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. Так, у роботах [19, 20, 126 – 132, 136, 137, 190] показано основні напрямки розробки комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення, розвиток яких відбувається в рамках наступних протиріч (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Протиріччя між існуючими методами обробки відеоінформації і вимогами до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

Логічний структура та взаємозв'язок методів для вирішення обґрунтованого протиріччя наведений на рис.2.4.

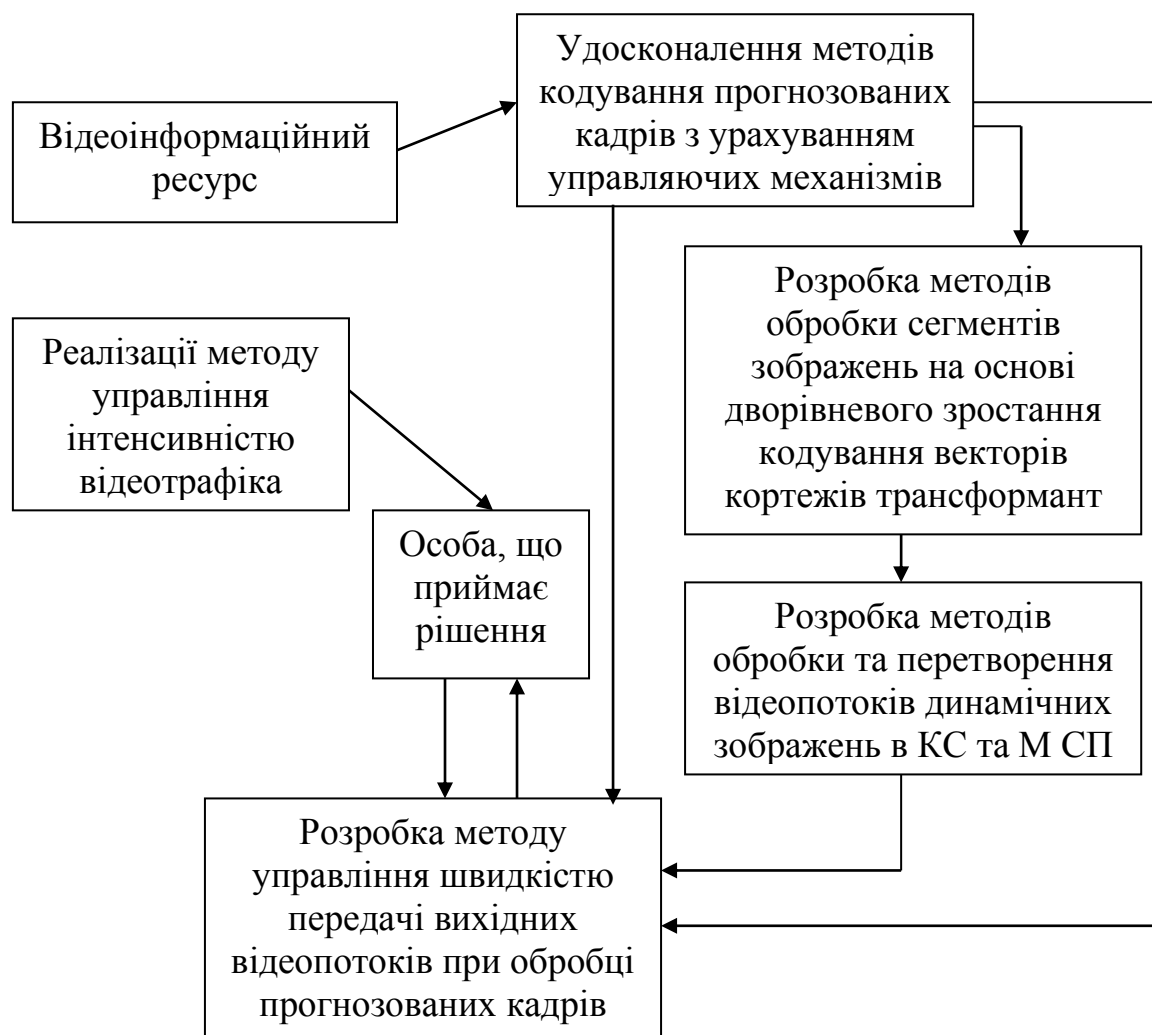


Рисунок 2.4 – Логічна структура та взаємозв'язок методів, що пропонуються в роботі

Для досягнення цілей дослідження в роботі вирішено наступні завдання:

- обґрунтовані вимоги до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення;
- удосконалено метод компресії відеопотоку на основі обробки прогнозованих кадрів у комп'ютерних системах та мережах;
- удосконалено метод реконструкції прогнозованих кадрів у технологіях кодування відеотрафіка для комп'ютерних системах та мереж;
- розроблено метод формування компактного подання сегментованих зображень;

- розроблено метод обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант;
- розроблено методи обробки складових диференційно-поданих кадрів відеоінформаційні потоку;
- розроблено метод обробки службових даних диференційно-поданого кадру;
- розроблено метод контролю бітової швидкості при обробці прогнозованих кадрів у відеопослідовності;
- розроблено метод управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів;
- оцінено ефективність методу управління інтенсивністю відеотрафіка в комп'ютерних системах та мережах СП;
- оцінено узгодженість характеристик комп'ютерних систем та мереж з трафіком відеоданих.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Обґрунтовано основні принципи побудови технології компактного подання двійкових масок кадрів у диференційному вигляді, що містять такі етапи:

- формування бітового подання двійкової маски диференційного кадру;
- виявлення довжин двійкових серій у двійкових масках диференційного кадру;
- блокове кодування масивів двійкової маски з урахуванням виявлення обмежень в динамічному діапазоні довжин двійкових серій;

2. Обґрунтовано засади для створення методу кодування довжин двійкових серій, що забезпечують потенційні можливості для додаткового збільшення ступеня компресії та скорочення часу на обробку.

3. Протиріччя між обмеженими можливостями існуючих методів обробки відеоінформації і вимогами щодо оперативності, якості та повноти надання відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення зумовлює наявність актуальної наукової проблеми. Її змістом є підвищення якості відеоінформаційного сервісу в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення.

4. Запропоновано методологію проведення досліджень, виявлені суперечності між існуючими методами обробки відеоінформації і вимогами до відеоінформаційних сервісів у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення. Представлено логічну структуру та взаємозв'язок методів, що пропонуються в роботі для вирішення наукової проблеми.

Результати досліджень другого розділу опубліковані в роботах [43, 46, 49, 50, 171, 178, 179, 190].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОДУВАННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ З УРАХУВАННЯМ УПРАВЛЯЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ

Основною складністю при роботі з відео є великі обсяги передаваної відеоінформації і чутливість до її затримок при передачі. Для усунення максимальної надмірності при формуванні відеопослідовності використовується три типи кадрів: I, P і B, які формують групу кадрів [51 – 53]. Для типового відеоряду невисокої складності вага кожного P-кадру в потоці приблизно в 3 рази менше ваги I-кадру. Однак при обліку кількості P-кадрів у групі саме вони вносять основний внесок в загальний обсяг відеоданих. Тому можливо модернізувати методи кодування для P-кадрів на основі попередньої ідентифікації типу блоків з подальшим формуванням блокових кодових конструкцій.

Аналіз обробки прогнозованих кадрів у стандарті MPEG дозволив виявити недоліки при компресії відео даних та розробити метод кодування P-кадрів з можливістю вибору типу обробки блоків, де в якості вирішального правила використовується оцінка структурної надлишковості блоку. Таким чином можна додатково управляти бітовою швидкістю відеотрафіка шляхом зміни кількості блоків I- та P-типу.

Удосконалюється метод кодування і реконструкції прогнозованих кадрів шляхом використання блочного кодування, який на відміну від кодів Хаффмана, має більшу завадостійкість і менші бітові та часові витрати при обробці блоків даних.

3.1 Дослідження особливостей обробки відеопотоку стандартом MPEG

Відео формату 720x576 пікселів 25 кадрів за секунду в системі RGB вимагає потоку даних приблизно в 240 Мбіт/с. Тому необхідні різні технології компресії. Однак традиційні алгоритми компресії зображень, орієнтовані на окремі кадри, не рятують ситуації. Так, навіть зменшення потоку в 10 разів, не дозволяє в повній мірі підлаштуватися під динамічно змінюємі характеристики комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

Основою всіх алгоритмів компресії є усунення різних видів надмірності відеозображення [64, 168, 172, 173, 179, 182].

1. Структурна надмірність – підсумок особливостей стандарту розкладання зображення в цифровий сигнал. Усунення зі складу цифрового відеосигналу затухаючих імпульсів рядків та полів, які не відновлюються в декодері по опорних сигналах синхронізації, підвищує швидкість передачі відеоданих приблизно на 23% [21, 138 – 143].

2. Спектральна надмірність є результатом надмірно високої частоти дискретизації. Зокрема, прийнята ортогональна структура дискретизації відеозображення в загальному випадку не є оптимальною в частотному просторі. Використовуючи інтерполяцію і передискретизацію певним чином обраних груп відліків відеосигналу, можна, в принципі, видозмінити спектральний склад і знизити частоту дискретизації. Така обробка зазвичай незворотня і, як правило, веде до деякого зниження якості відновленого зображення.

Ці два види надмірності враховуються при формуванні відеопослідовності. Переважна більшість алгоритмів компресії відео є алгоритмами з втратою даних, які використовують при компресії перерахованих нижче типів надмірності.

3. Надмірність за сприйняттям (психофізіологічна) викликана особливістю сприйняття зображення зоровою системою людини, яка нечутлива до дуже високих або дуже низьких просторових частот. Усунення такої надмірності здійснюється спеціальними методами подфільтрації і квантування.

4. Статистична надмірність заснована на подібності значень сусідніх елементів рядка матриці або кадру. Для її скорочення застосовуються статистичні коди, в основному код Хаффмана або арифметичне кодування.

5. Часова надмірність (подібність між кадрами) враховує, що на швидкості 25 кадрів за секунду, як правило, сусідні кадри змінюються незначно. Усунення часової надмірності досягається використанням блокової компенсації руху, яка є різновидом кодування з передбаченням.

6. Просторова надмірність – незначне редагування кольору зображення в сусідніх пікселях. Для скорочення просторової надмірності застосовується кодування з перетворенням і кодування з передбаченням.

Найбільша увага при формуванні обробленого відеопотоку приділяється усуненню просторової та часової надмірності. Два сусідні кадри в більшості випадків відрізняються один від одного незначно (рис. 3.1). Це дозволяє передавати лише частину інформації про наступний кадр де відбулися зміни (рис. 3.2) [22].



Рисунок 3.1 – Сусідні кадри з послідовності, розміри блоків 16x16 - 4x4



Рисунок 3.2 – Міжкадрова різниця

Саме такі кадри (з урахуванням поправки на компенсацію руху) і оброблює кодек. Їх більше 99% в потоці (амплітуди – малі, зображення практично однорідне).

Для задоволення необхідним вимогам та збільшення гнучкості алгоритму і досягнення необхідного ступеня компресії при обробці відео застосовують три типи кадрів (рис. 3.3).

Основу стандартної відеопослідовності складають І-кадри (Initial, опорні). Зазвичай вони виділяються з фіксованим інтервалом, наприклад, 2 рази за секунду (кожні 12, 15 або 30 кадрів). Компресія опорних кадрів виконується тільки із застосуванням внутрішньокадрового прогнозування для усунення просторової надмірності. Надмірність таких кадрів в відеопотоці зменшується найменше.

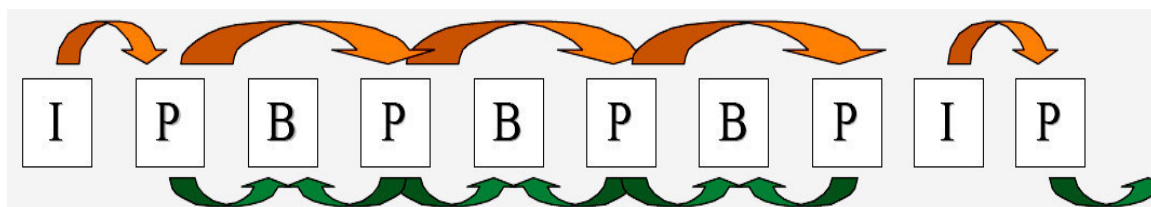


Рисунок 3.3 – Типи кадрів та їх послідовність

Кожен I-кадр розбивається на незалежні макроблоки, всередині яких для блоків виконується ДКП (дискретно-косинусне перетворення) [144 – 146]. За отриманою матрицею спектра відбувається її усічення (зважування елементів, квантизація). Далі проводиться лінеаризація даних і подальша статистична компресія, а отриманий пакет вживлюється безпосередньо в потік. Останній захід забезпечує швидкий доступ до ключового кадру.

Кодування Р-кадрів (Predicted, передбачені) виконується за допомогою алгоритмів компенсації руху і міжкадрового прогнозування вперед по попередніх I або Р-кадрах до тих пір, поки в блоці не буде іншого об'єкту. Після його виявлення знову відбувається перехід до алгоритмів, що використовуються для кодування I-кадрів, тобто до внутрішньокадрового прогнозування. У таких кадрах, крім просторової, усувається також і часова надмірність. Щодо опорних Р-кадри компресуються сильніше за рахунок використання подібності сусідніх кадрів у відеопослідовності. Таким чином, будь-який Р-кадр можна відновити за допомогою попереднього I-кадру, тобто при передачі Р-кадру передається тільки та частина зображення, в якій присутні зміни щодо попереднього опорного кадру.

Залежно від кодувальника, виділяються Р-кадри або з фіксованою частотою (щоб кожен I- або Р-кадр був оточений двома В-кадрами, наприклад, ІВВРВВРВВРВВІВ ...), або автоматично (за складністю відеоряду). Для типового відеоряду невисокої складності вага кожного Р-кадру в потоці приблизно в 3 рази менше ваги I-кадру. У динамічних сценах або у потоках високої складності (рухомих макроблоків так багато, що їх прогнозувати важко) вага Р-кадрів наближається до ваги ключових.

В-кадри є похідними від найближчих Р- або I-кадрів і складаються виключно з передбачених макроблоків. Виходять ці кадри в результаті "інтерполяції" – двонаправленого прогнозування. При відтворенні зліва послідовність В-кадрів прогнозується щодо найближчого (лівого) I- або Р-кадру. А праворуч послідовність В-кадрів (після прямого прогнозування) піддається корекції помилок прямого прогнозування за результатами

зворотного прогнозування щодо найближчого (правого) P- або I-кадру. При кодуванні від кадрів, визначених як B, залишається фактично тільки матриця координат векторів руху, отриманих в результаті аналізу переміщення макроблоків. Таким чином, для більшості варіантів відеоряду невисокої складності вага B-кадру в потоці даних не перевищує вагу P-кадру більш ніж в 2 рази.

Максимальний ступінь компресії забезпечується в кадрах B-типу. Але такі алгоритми є найбільш ресурсоемними, що при роботі з потоковою передачею може призвести до значних часових затримок у КСМ спеціального призначення. Тому можливі варіанти використання тільки перших двох типів кадрів.

Весь конвеєр перетворень відеопослідовності можна представити за допомогою таких пунктів (рис 3.4).

1. Підготовка макроблоків. Для кожного макроблоку визначається, як він буде оброблений. В I-кадрах всі макроблоки обробляються незалежно. У P-кадрах блок зменшує об'єм незалежно або являє собою різницю з одним з макроблоків у попередньому опорному кадрі, на який посилається P-кадр.

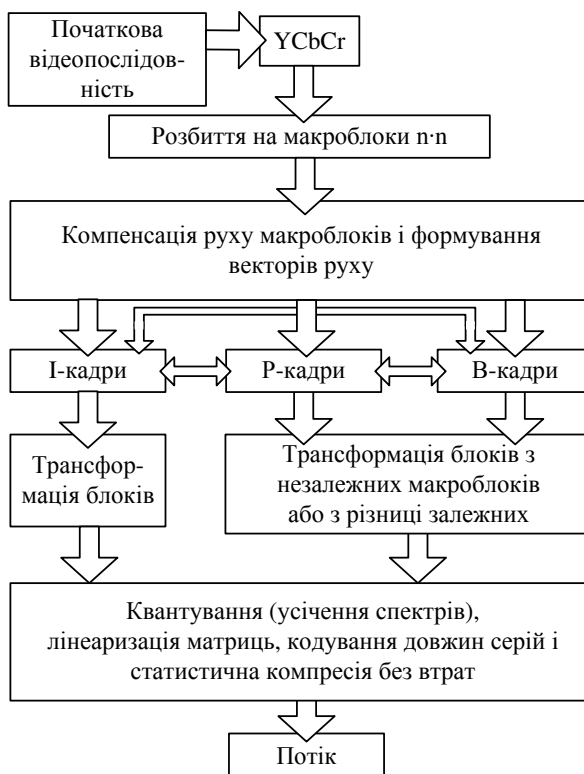


Рисунок 3.4 – Загальний алгоритм кодування відеопотоку

2. Перехід макроблоку в колірний простір YCbCr. Отримання потрібної кількості матриць 8·8.

3. Обчислення різниці для P- та B-блоків з відповідним макроблоком в опорному кадрі або кодування з прогнозуванням.

4. Трансформація блоків у матриці ДКП або вейвлет-перетворення [64, 65, 66, 67].

5. Квантування.

6. Зигзаг-сканування.

7. Групове кодування.

8. Статистичне стиснення без втрат (кодування Хаффмана або арифметичне).

При декодуванні весь контейнер перетворень повторюється в зворотньому порядку.

Маніпуляція якістю реконструкції і часом обробки відеопотоку досягається на наступних етапах.

Етап 1. Перетворення в колірний простір: при переході до колірного простору YCbCr складові кольоровості (Cb та Cr) містять високочастотну колірну інформацію, яка частково може бути відкинута [23, 147, 148]. У результаті зменшується кількість врахованих пікселів для каналів кольоровості, що веде до підвищення ступеня компресії. Відкидаючи частину інформації можна знизити якість відновленого зображення.

Етап 2. Сегментація зображення спрощує буферизацію даних для їх передачі по каналу зв'язку [24]. Відомі три типи сегментації зображень: проста, пірамідальна та комбінована (рис. 3.5). Залежно від типу сегментації може втрачатися до половини потрібної інформації, що веде до значного скорочення обсягів даних. Зі зменшенням розміру сегмента підвищується швидкість обробки, збільшуються спотворення в підсумковому зображенні.

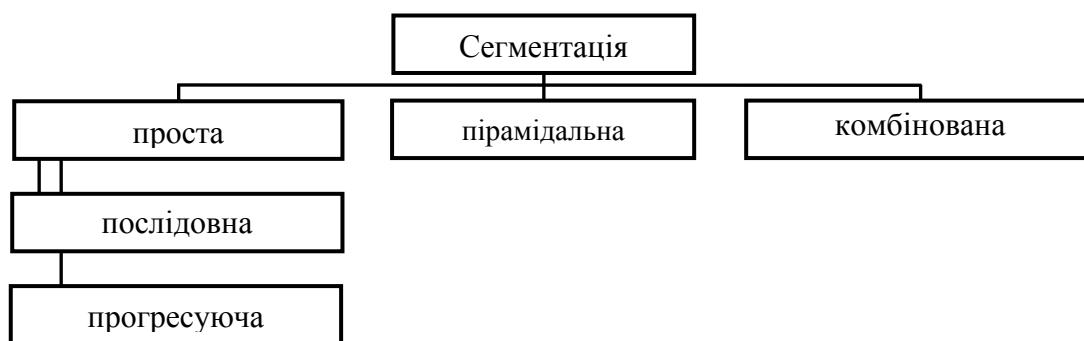


Рисунок 3.5 – Типи сегментації зображення

Етап 3. ДКП [149]. Час необхідний для обчислення кожного елемента матриці ДКП сильно залежить від її розміру через використання двох вкладених циклів. У табл. 3.1 наведені дані щодо кількості операцій (часу виконання) ДКП для кадрів різного розміру з урахуванням яскравості компонент, розмір блоку 8·8.

Таблиця 3.1 - Залежність кількості машинних операцій від розміру кадру

Розмір кадру	Кількість арифметичних операцій для однієї трансформанти	Кількість арифметичних операцій з урахуванням всіх трансформант
512·512	419 430 4	125 829 12
800·600	768 000 0	230 400 00
1024·768	125 829 12	377 487 36

Етап 4. Квантування – ділення робочої матриці на матрицю квантування поелементно. Особливості, властиві етапу квантування: 1) задається ступінь компресії, відбуваються найбільші втрати інформації; 2) задаючи матрицю квантування з великими коефіцієнтами, отримаємо більше нулів (відкидаємо частину інформації), отже, задаємо велику ступінь компресії; 3) до формату JPEG включені рекомендовані матриці квантування, побудовані дослідним шляхом, матриці для більшого або меншого коефіцієнтів стиснення отримують шляхом множення вихідної матриці на

деяке число QF (фактор якості); 4) при великих значеннях коефіцієнта QF втрати в низьких частотах можуть бути настільки великими, що зображення розпадеться на квадрати $8 \cdot 8$; 5) втрати у високих частотах можуть проявитися в "ефекті Гіббса".

Етап 5. Кодування. Застосування методів статистичного кодування (алгоритму Хаффмана і арифметичного кодування), виявляє характерні для них недоліки:

1) підвищення складності програмної та технічної реалізації у зв'язку з необхідністю синхронізації і маркування нерівномірних кодових комбінацій;

2) труднощі паралельної реалізації статистичних кодів;

3) збільшення кількості операцій на обчислення статистики, побудову кодових таблиць і організацію подвійного проходу по оброблюваних даних;

4) кількість операцій кодування може перевищувати кількість операцій на виконання перетворень (для режимів, які забезпечують високу якість зображення);

5) при відновленні весь фрагмент обробляється тільки після перекодування всіх нерівномірних кодових слів;

6) необхідність зберігання кодових таблиць і розділяючих маркерів, які знижують ступінь компресії для кодів Хаффмана;

7) для невеликих довжин нульових ланцюжків характерний рівномірний розподіл окремих елементів. Тому статистичне кодування не забезпечить додаткової компресії трансформанти;

8) низька завадостійкість як кодів довжин серій, так і статистичних кодів до помилок в каналах зв'язку;

9) збільшення часу обробки, особливо для середньо- і сильнонасичених зображень.

Перейдемо до розгляду важливості Р-кадрів в процесі побудови відеопослідовності в КСМ спеціального призначення.

3.2 Обґрунтування значущості прогнозованих кадрів

При формуванні стандартної відеопослідовності групи кадрів можуть становити або фіксований набір з одного опорного I-кадру та 11, 14 або 29 кадрів P- і B-типу, або вибиратися адаптивно залежно від складності відеоряду [151]. Тому для подальшої модернізації методів кодування та управління, необхідно в першу чергу визначити тип кадрів, що найбільше впливає на підсумковий обсяг обробленої відеопослідовності. Для цього проведемо порівняльну оцінку механізму обробки всіх типів кадрів.

Кожен I-кадр розбивається на незалежні макроблоки, всередині яких для 6 або 5 (залежно від моделі YUV: 4: 2: 2 або 4: 2: 0) блоків виконується ДКП. По отриманню матриці спектра відбувається її усічення (зважування елементів, квантизація) При цьому швидкість наростання значення елемента матриці квантування (для MPEG-1 та MPEG-2) або значення всіх елементів матриці (для H.264) буде встановлено залежно від кодувальника. Сам процес зважування полягає, як і в JPEG, в цілочисельному розподілі (з похибкою молодшого розряду) елементів матриці спектра на відповідні елементи матриці квантування. Потім проводиться лінеаризація даних і подальша статистична компресія, а отриманий пакет вставляється безпосередньо в потік. Останній захід забезпечує швидкий доступ до ключового кадру. Схему кодування I-кадрів наведено на рисунку 3.6.

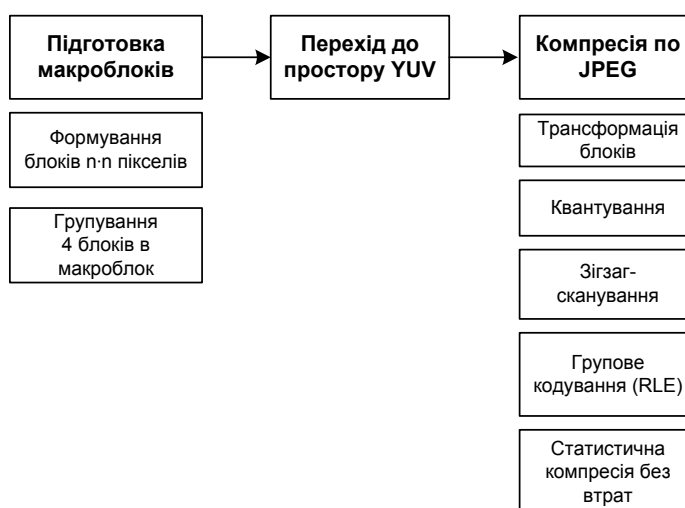


Рисунок 3.6 – Схема кодування I-кадру

P-кадри фактично містять зміни щодо попереднього I- або P-кадру. До числа всіх макроблоків для ДКП в цих кадрах входить невелика кількість незалежних (не піддаються прогнозуванню), основну ж частину кадру складають прогнозовані макроблоки. При відтворенні (також приблизно) для відновлення P-кадру необхідно відновити всі попередні P-кадри та найближчий попередній I-кадр. Результат кодування кожного P-кадру також піддається обробці алгоритмом статистичної компресії і вставляється в потік окремо від I-кадрів та інших P-кадрів. Це так само пов'язано з необхідністю швидких переходів до довільного кадру і перебудови послідовності кадрів у потоці. Схему кодування P-кадрів наведено на рисунку 3.7, вага P-кадрів наближається до ваги ключових.

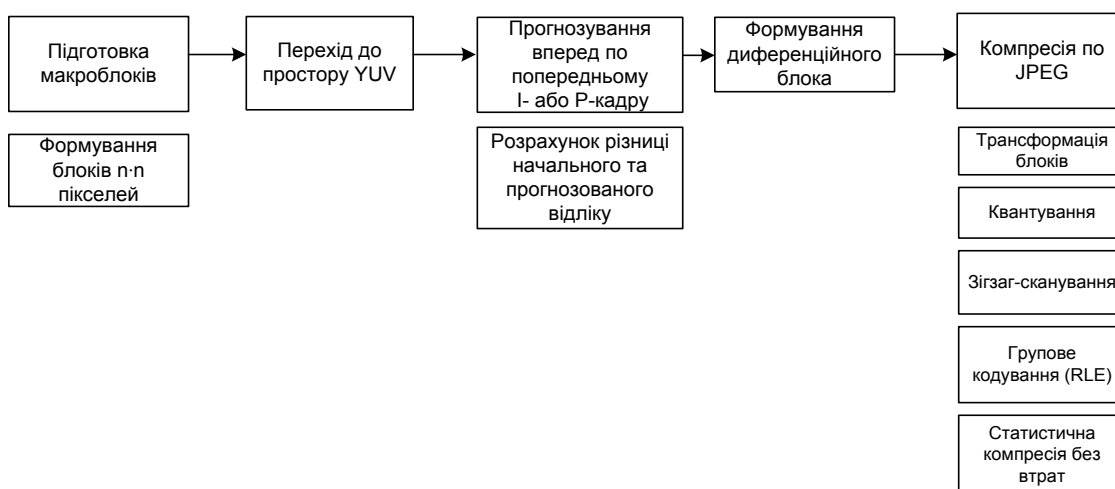


Рисунок 3.7 – Схема кодування P-кадру

B-кадри є похідними від найближчих P- або I-кадрів. Кількість B-кадрів є найбільшою. Тому алгоритми для компресії не дуже динамічних сцен набагато перевершують за ефективністю алгоритми, де всі кадри інтерпретуються як незалежні. У потоці B-кадри зберігаються окремо від P- та I-кадрів. Схему кодування B-кадрів наведено на рисунку 3.8.

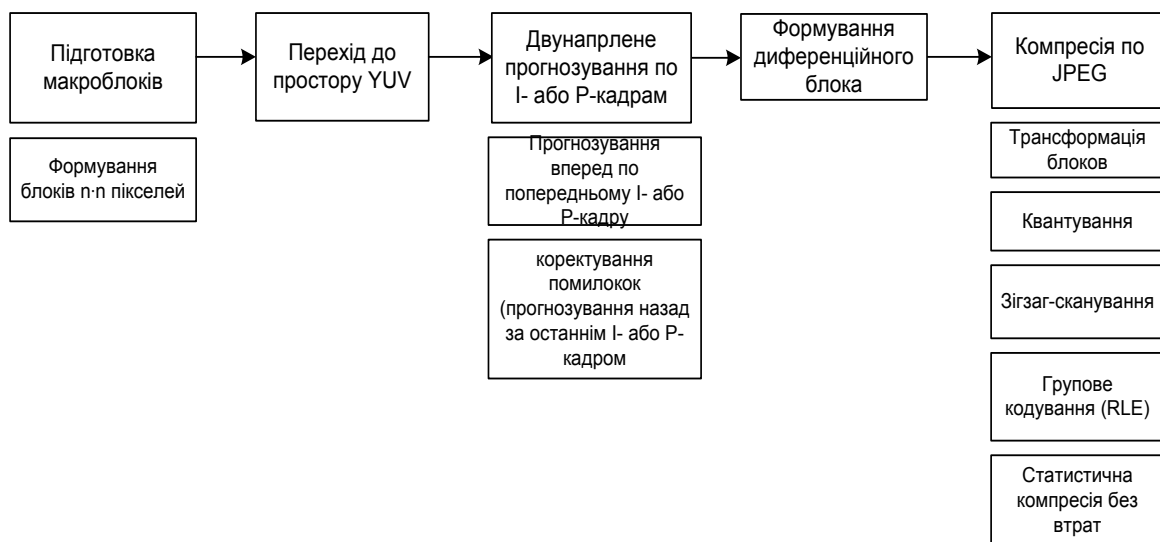


Рисунок 3.8 – Схема кодування В-кадра

Метод обробки відеопослідовності стандарту MPEG відрізняється тим, що кадри перестають бути незалежними: неможливо відновити P- і B-кадри без ключового I-кадру. Ця обставина накладає умову невіддільності на кадри в межах групи одного ключового кадру (рис. 3.9). Крім цього, в стандартах передачі потокового відео після обробки алгоритмом компресії дані кадрів подаються не в порядку відтворення, а у порядку зручності для швидкого потокового декодування [152, 183].

Перш за все, для відновлення необхідні I-кадри (рис. 3.9). Якщо передати перший ключовий кадр, то другий I-кадр потрібний тільки для відновлення всіх кадрів другої групи і двох останніх B-кадрів першої групи, тобто відразу передати досить тільки перший I-кадр.

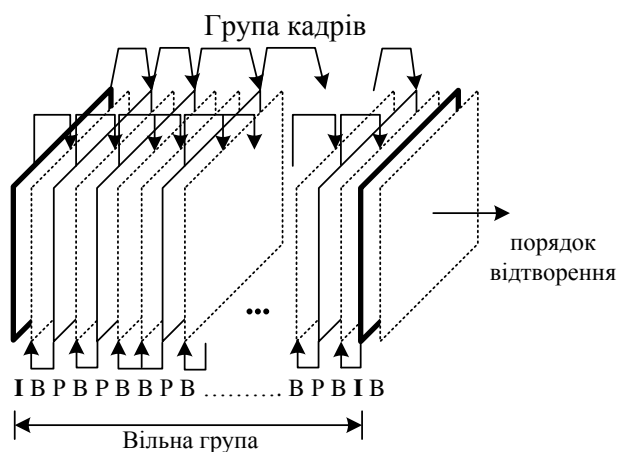


Рисунок 3.9 – Формування групи ключового кадру

Коли відновлюється І-кадр, знадобляться Р-кадри, але, знову-таки, не всі відразу – достатньо передати і відновити тільки перший Р-кадр для початку декодування першого В-кадру. Так завершується перший цикл.

Далі треба передати і відновити другий Р-кадр, від якого залежать другий, третій і четвертий В-кадри, потім вже можна буде і самі ці В-кадри передати для відновлення і т.д. В результаті, для монтажу відеоряду необхідно змінювати порядок послідовності кадрів, а різання та зшивання фрагментів можливо виробляти виключно без розбивки вільно відокремлюваних груп, що розташовані між двох І-кадрів і містять у себе ці І-кадри.

Незважаючи на, те що найбільший обсяг кадру мають опорні І-кадри (рис. 3.10), відеопослідовність складається переважно з Р- та В-кадрів. У результаті найбільший вплив на загальний обсяг трафіку, що передається, мають Р-кадри (рис. 3.11).

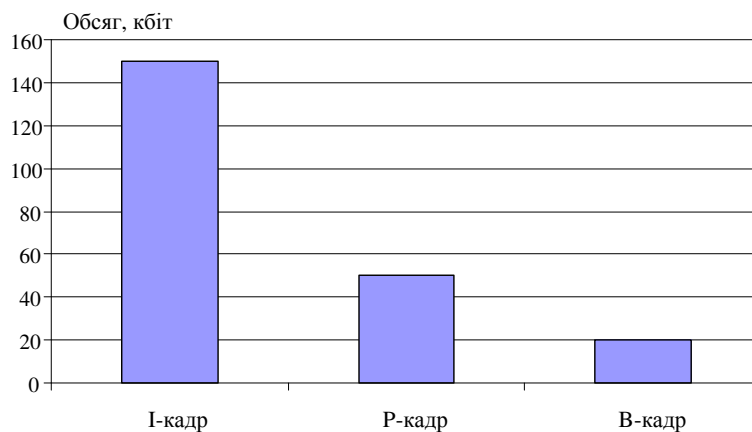


Рисунок 3.10 – Співвідношення обсягів І-, Р-, В-кадрів

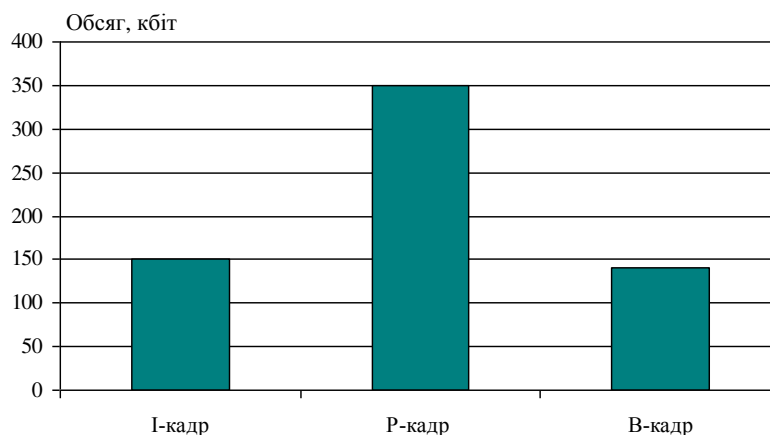


Рисунок 3.11 – Співвідношення обсягів I-, P-, B-кадрів у групі кадру

Можливості при компресії опорних I-кадрів обмежені. Тому для забезпечення достатнього рівня якості при подальшому підвищенні рівня компресії відеоданих детальніше розглянемо процес обробки трансформованих кадрів P-типу.

3.3 Дослідження механізму обробки прогнозованих кадрів у технології компресії трансформованих зображень

У P-кадрах усуваються: просторова (мала зміна кольору в сусідніх пікселях) та часова (подібність між сусідніми кадрами) надмірності. Для скорочення просторової надмірності застосовується кодування з перетворенням, а для часової – кодування з прогнозуванням. Результат кодування кожного P-кадру, також як і в опорних кадрах, піддається обробці алгоритмом статистичної компресії та вставляється в потік окремо від I-кадрів та інших P-кадрів. Це пов'язано з необхідністю швидких переходів до довільного кадру та перебудови послідовності кадрів у потоці.

Залежно від кодувальника, кількість P-кадрів у відеопослідовності може бути фіксованої частоти або визначатися автоматично. При відтворенні відеоряду для реконструкції поточного P-кадру необхідно відновити всі

попередні Р-кадри та найближчий попередній І-кадр. Алгоритм кодування Р-кадрів наведено на рисунку 3.12.

Конвеєр перетворень представляється такими кроками:

1. Підготовка макроблоків. Все зображення розбивається на блоки розміром $8 \cdot 8$, 4 блоки об'єднуються в 1 макроблок $16 \cdot 16$. Для кожного макроблоку визначається порядок обробки, тобто порівнюються блоки в поточному і попередньому кадрах. Якщо різниця не перевищує заданого значення порога ΔD , то в блоці використовується кодування з прогнозуванням (Р-блок). Якщо в блоці з'явився новий об'єкт і різниця перевищує ΔD , то відбувається перехід до алгоритмів, які використовуються для кодування І-кадрів, тобто блок кодується незалежно (І-блок). При виборі типу блоку враховуються умови роботи алгоритму компресії: бітова швидкість, обчислювальна спроможність системи та необхідна якість розглянутого кадру. Відповідно до цих умов вибирається як кількість І-, Р-кадрів у відеопотоці, так і кількість І-, Р-блоків всередині Р-кадру.

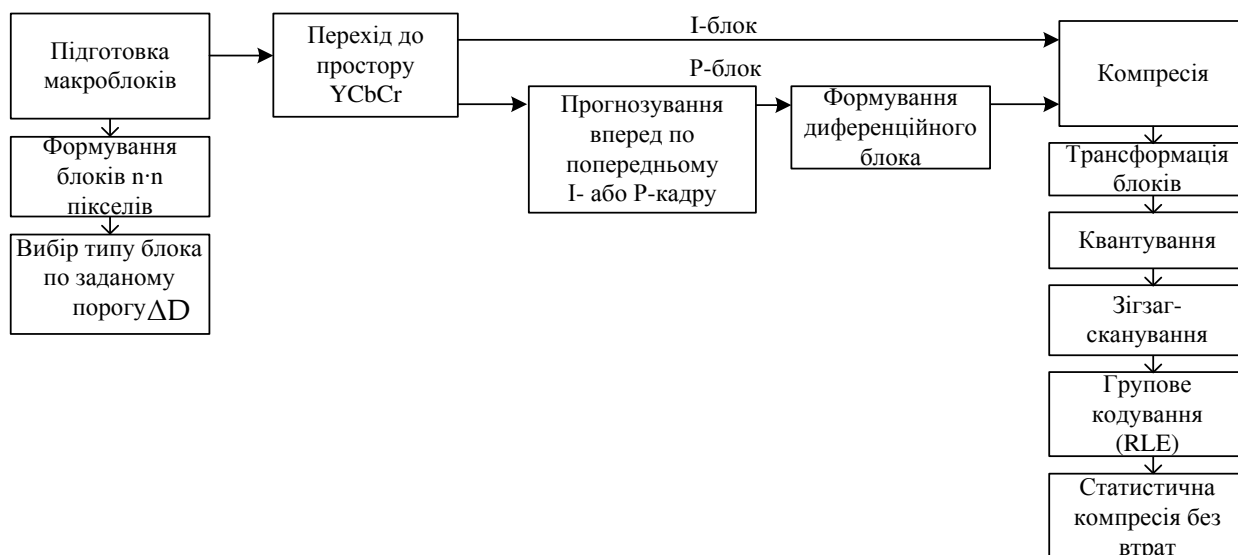


Рисунок 3.12 – Алгоритм кодування Р-кадру

2. Перехід макроблоку до колірному простору YCbCr. Перевага простору YCbCr порівняно з RGB полягає в тому, що кольорорізнісні

компоненти C_b та C_r можна представляти з меншим розрізненням, ніж яскравісну Y .

3. Для P -блоків обчислюється різниця з відповідним блоком в опорному кадрі або кодування з прогнозуванням. Найпростішим варіантом кодування P -блоку є рівномірне кодування, при якому від значення рівня яскравості одного відліку віднімається рівень яскравості наступного та кодується їх різниця. Для їх передачі потрібно менше біт в кодових словах. Різницевий блок формується за формулою:

$$\Delta x_{ij} = x_{ij} - x'_{ij},$$

де x_{ij} – значення пікселя поточного кадру з координатами i та j ;

x'_{ij} – значення пікселя попереднього кадру.

На практиці частіше використовуються методи кодування різниці відліків з прогнозом як у чистому вигляді, так і в поєднанні з іншими видами кодування [25, 150].

Принцип прогнозування показаний на рис. 3.13. На передавальній стороні встановлюється екстраполятор, який за отриманим у попередньому моменті відліку $x(n)$ виробляє (прогнозує) наступний відлік. При надходженні відліку від передавача прогнозоване і справжнє значення порівнюються (віднімаються), і передається помилка прогнозування $e(n)$. У граничному випадку, коли прогнозування повністю вірно, сигнал "помилка - прогнозування" дорівнює нулю. На приймальному кінці встановлюється екстраполятор, який за попереднім відліком, виробляє послідовні значення сигналу (ті ж самі, що й екстраполятор передавача) і коригує (підсумовує) з отриманим сигналом помилки. На виході з урахуванням помилок при передачі формується $x'(n) \approx x(n)$.

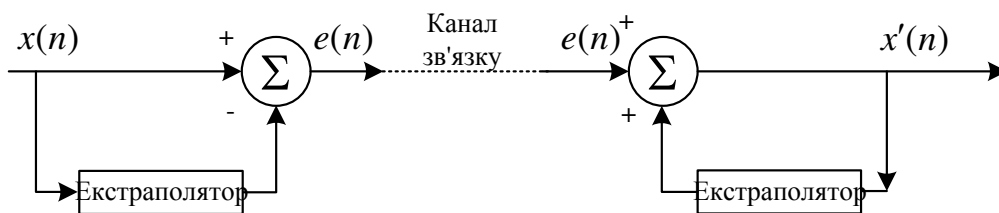


Рисунок 3.13 – Модель прогнозування

Передача диференційного сигналу для когерентних сегментів вимагає меншого числа розрядів. Виграш від обробки вимірюють відношенням потужності кодування при рівномірному і при різницевому квантуванні.

Для прогнозування форми сигналу, яка має досить очікувані ділянки, використовується кодування з адаптивним прогнозуванням. Воно ґрунтується на апроксимації форми сигналу, тобто кодування кривої за допомогою значень цієї кривої в окремих позиціях і відновлення її форми на приймальному кінці з цим окремих відліком. Така апроксимація відображається формулою:

$$x(T) = \sum_{t=1}^p a_t x(T-t), \quad (3.1)$$

де $x(T)$ – відлік на виході в наступний момент часу;

a_t – коефіцієнт апроксимації;

p – порядок моделі.

У процесі прогнозування важливо "збереження попереднього значення", тобто значення попереднього відліку має зберігатися і у наступний момент часу. Тоді вираз (3.1) прийме вигляд:

$$x(T) = a_t x(T-1); a_t = 1. \quad (3.2)$$

А для кодування подається різниця між поточним та попереднім значеннями

$$\Delta x = x(T) - x(T-1), \quad (3.3)$$

де $x(T)$ – апроксимоване значення сигналу.

Відновлення сигналу на прийомі полягає в тому, що до попереднього значення сигналу додається різниця [153]:

$$x(T) = x(T-1) + \Delta x.$$

Екстраполятор являє собою простий регістр, який накопичує значення попереднього відліку, а в лінію передається різницевий сигнал. Для визначення наступного різницевого відліку сигнал відновлюється в суматорі складанням цього відліку з попереднім значенням сигналу.

На рис. 3.14 показана одна з реалізацій цього методу.

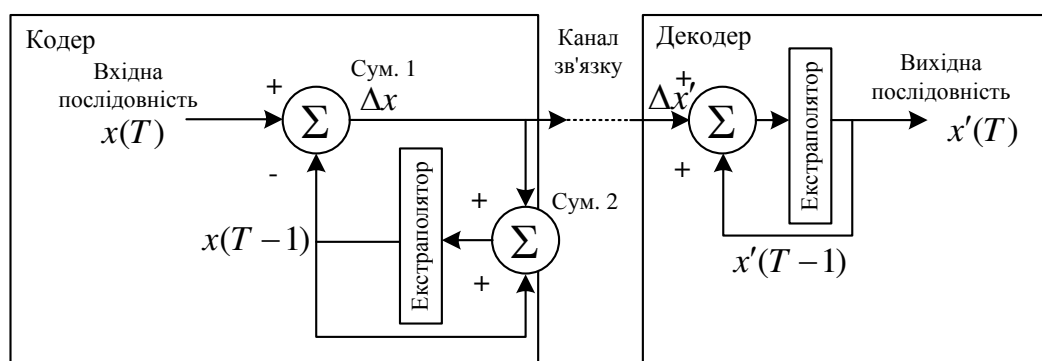


Рисунок 3.14 – Структурно-функціональна схема адаптивного кодування з прогнозуванням

Різновидом цього методу є апроксимування на основі декількох відліків. Збільшення точності апроксимації вимагає пам'яті більшого об'єму для накопичення декількох відліків. При прогнозі, заснованому на припущенні "збереження попереднього значення", коефіцієнти не

змінюються. Тому на приймальному кінці вони ті ж самі, що дозволяє передавати по каналу зв'язку не їх, а лише різницю апроксимованого сигналу.

Ефективність такого кодування оцінюється виграшем від кодування η та вимірюється різницею потужності сигналу, представленого кодами рівномірного кодування різницевого сигналу. При кодуванні з прогнозом такий виграш досягає 5 дБ. Однак це значення змінюється від характеру сигналу і система з різницевим прогнозуванням стає неефективною при великому значенні диференційного сигналу. Це може статися через зростання різниці сусідніх відліків або через порушення системи прогнозування.

Втрата або спотворення значення різницевих відліків призводять до повного спотворення відновлюваних значень, оскільки помилка в попередньому значенні сигналу викликає розмноження помилок у визначенні наступних. Тому все це вимагає передачі на приймальний кінець величини виграшу η (для контролю якості сигналу) і періодичного оновлення значень коефіцієнтів a_t (при стійкій зміні характеру сигналу).

Реалізація методу прогнозування показана на рис. 3.15 та 3.16.

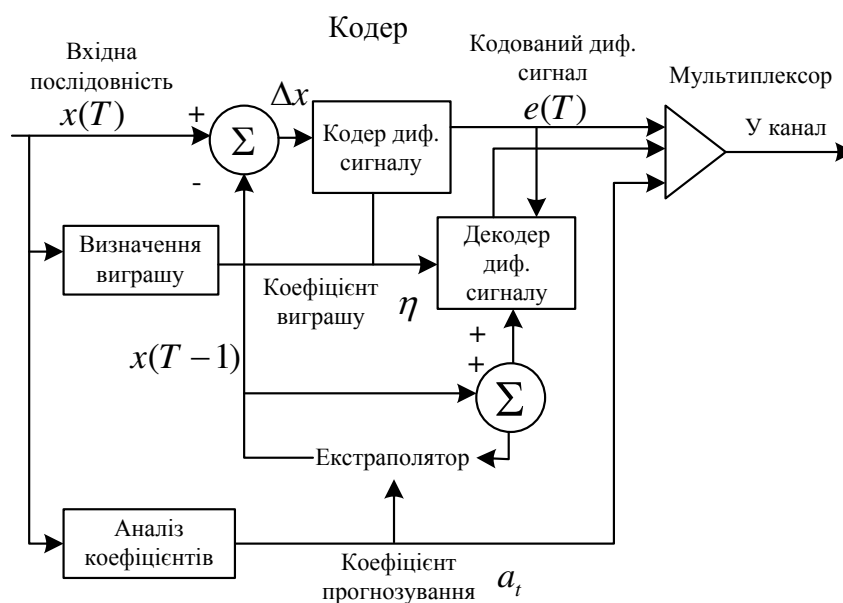


Рисунок 3.15 – Кодер з адаптивним прогнозуванням

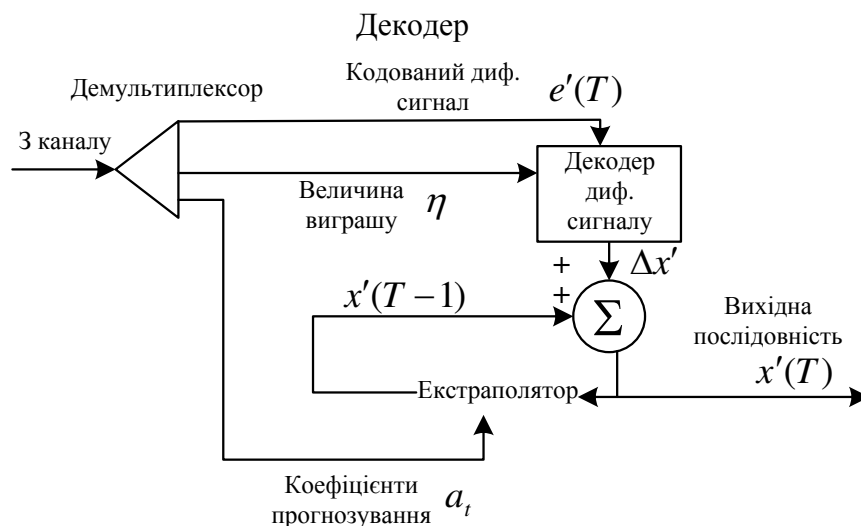


Рисунок 3.16 – Декодер з адаптивним прогнозуванням

Кодер та декодер здатні передавати три блоки інформації: кодований різницевий сигнал $e(T)$, значення виграшу η , коефіцієнти апроксимації a_t . Така схема дозволяє періодично перевіряти якість диференційного кодування та підлаштовувати коефіцієнти апроксимації. У цьому сенсі схема є адаптивною.

Ефективність кодування з адаптивним прогнозуванням залежить від складності адаптивної логіки та кількості відліків для наступного прогнозування. Але є оптимальна точка ефективності прогнозування між великим накопиченням статистики (обережна робота) і швидкістю реакції на зміну (швидке реагування).

Для організації компресії потокового відео в основному застосовуються методи, реалізовані в форматі JPEG. Їх основу складає ДКП, що дозволяє реалізувати кодування з втратами при забезпеченні достатньо високого ступеня компресії при заданій якості зображення.

4. Трансформація блоків зображення здійснюється за допомогою ДКП.

5. Рівномірне скалярне квантування частотних коефіцієнтів. Процедура квантування полягає в порівнянні номера кванта кожному символу

матриці x_{ij} : $z_{ij} = \left\lfloor \frac{x_{ij} + q/2}{q} \right\rfloor$, де q – крок квантування; $\lfloor x_{ij} \rfloor$ – операція

округлення до найближчого цілого, що не перевищує x_{ij} . При цьому низькочастотні компоненти квантуються з більшою детальністю, а високочастотні – з меншою.

6. Зігзаг-сканування або перехід матриці 8·8 до 64-елементного вектора $z_{ij} \rightarrow z_{[n]}$.

7. Групове кодування (RLE). Компресія відбувається за рахунок того, що в отриманій кодовій групі зустрічаються ланцюжки однакових байт. Заміна їх на пари <лічильник повторень, значення> зменшує надмірність даних. Однак такий тип кодування ефективний тільки для чорно-білого зображення, де варіантів кольору всього 2, і кодова послідовність складається з ланцюжків 0 і 1. Таким чином, чим більша колірна гамма переданого зображення та чим більше на ньому неоднорідностей, тим менше ефективність даного коду.

8. Статистична компресія без втрат (кодування Хаффмана або арифметичне). Метод кодування змінної довжини зіставляє потоку вхідних символів певну послідовність кодових слів (коди змінної довжини, VLC – Variable Length Codes). Кожен символ відображається в кодове слово, яке може мати змінну довжину, але кожне з них має цілу кількість біт. Ефект компресії даних починає проявлятися після кодування досить великої кількості вхідних символів. Для досягнення оптимальної компресії необхідно використовувати різні таблиці для послідовностей, що мають різний розподіл ймовірностей векторів. Так як цей код характеризується змінною довжиною, то його застосування вимагає буферного накопичувача даних для вирівнювання швидкості передачі. Таблицю ймовірностей для довгої відеопослідовності (необхідну для побудови дерева Хаффмана) можна визначити тільки після перегляду всієї відеопослідовності. Це може призвести до неприпустимої затримки процесу кодування, передачі і відтворення відео на приймальному кінці. Також даний метод ґрунтується на певних припущеннях про розподіл ймовірностей, що характеризує джерело повідомлень. У тому випадку, коли ці припущення не виконуються, в роботі

кодуєчої системи може настати різке погіршення, що в разі поганого узгодження з джерелом коду може призвести до збільшення середньої витрати двійкових цифр.

Серйозним недоліком кодів, побудованих на основі схеми Хаффмана є їх чутливість до помилок. Спотворення в одному біті послідовності цих кодів може привести до повної втрати синхронізації при декодуванні і до неможливості подальшого правильного декодування послідовності.

З урахуванням описаних недоліків кодування Хаффмана, для необхідного збільшення ступеня компресії і швидкості обробки в Р-кадрах потрібна модернізація існуючих методів обробки відеопослідовностей. Тому пропонується модернізувати метод обробки Р-кадрів, який базується на використанні блокових кодів.

3.4 Розробка методу компресії відеопотоку на основі обробки прогнозованих кадрів в комп'ютерних системах та мережах

Початкове зображення являє собою масив пікселів розмірністю $M \times N$, який перед компресією розбивається на блоки розмірністю $m_\zeta \times n_\gamma$ (рис. 3.17).

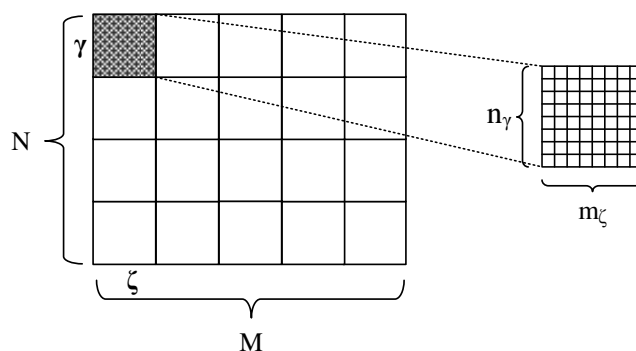


Рисунок 3.17 – Розбиття зображення на блоки

(ζ, γ) – координати блоків в просторі зображення;

m_ζ – розмірність блоку в стовпці;

n_γ – розмірність блоку в рядку.

Основою для формування прогнозованих кадрів є усунення часової надмірності шляхом адаптивного кодування з прогнозуванням вперед. На її підставі обчислюється різниця значень блоку поточного P-кадру з відповідним блоком у попередньому I- або P-кадрі:

$$x(t)_{i,j} = \sum_{t'=1}^p a_t x(t-t')_{i,j}, \quad (3.4)$$

де $x(t)_{i,j}$ – (i, j) -та компонента блоку зображення поточного t -го кадру; $x(t-t')_{i,j}$ – компонента блоку зображення $(t-t')$ -го кадру; a_t – коефіцієнт апроксимації; p – порядок моделі.

З врахуванням "збереження попереднього значення" формула (3.4) перетвориться до

$$x(t)_{i,j} = a_t x(t-1)_{i,j}, \quad a_t = 1. \quad (3.5)$$

Диференційне значення між поточним t та попереднім $(t-1)$ кадрами дорівнює

$$e(t)_{i,j} = x(t)_{i,j} - x(t-1)_{i,j}. \quad (3.6)$$

Тоді для відновлення сигналу на прийомі необхідно до попереднього значення компоненти додати різницю:

$$x'(t)_{i,j} = x'(t-1)_{i,j} + e'(t)_{i,j}.$$

Передбачені різницеві значення представляються у вигляді двовимірного масиву розміром $m_\zeta \times n_\gamma$ елементів:

$$E(t)^{(\zeta, \gamma)} = \begin{vmatrix} e(t)_{1,1} \dots e(t)_{1,j} \dots e(t)_{1,m_\zeta} \\ e(t)_{i,1} \dots e(t)_{i,j} \dots e(t)_{i,m_\zeta} \\ e(t)_{n_\gamma,1} \dots e(t)_{n_\gamma,j} \dots e(t)_{n_\gamma,m_\zeta} \end{vmatrix}, \quad (3.7)$$

де $e(t)_{i,j}$ – (i, j) -та диференційна компонента (ζ, γ) -го блоку зображення поточного кадру.

Перед початком кодування блоку визначається його тип, тобто яким чином він буде оброблений [154, 220]. Для цього задається функціонал $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)})$, який враховує загальний обсяг даних, бітову швидкість та особливості подальшої технології кодування при обробці (ζ, γ) -го блоку. Проводиться порівняння функціоналу отриманого різницевого масиву з заданою межею ΔD . Якщо $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) \leq \Delta D$, то блок обробляється з використанням кодування з прогнозуванням (Р-тип). Якщо в блоці з'явився новий об'єкт, і значення функціоналу перевищує $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) > \Delta D$, то відбувається перехід до алгоритмів, що використовуються для кодування І-кадрів, тобто він кодується незалежно (І-тип).

Отже за умови $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) \leq \Delta D$ блоковий код формується на основі матриці прогнозованих різницевих значень $E(t)^{(\zeta, \gamma)}$ (Р-тип). Якщо $f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) > \Delta D$, то вихідна послідовність $x(t)_{i,j}$ проходить етап трансформації і квантування.

Трансформація здійснюється за допомогою ДКП. Його суть полягає в перетворенні матриці (ζ, γ) -го блоку зображення в матрицю частотних коефіцієнтів $Y(t)^{(\zeta, \gamma)}$ відповідного розміру.

Процедура квантування полягає в зіставленні номера кванта кожному коефіцієнту (ζ, γ) -ої трансформанти:

$$z(t)_{i,j} = \left\lfloor \frac{y(t)_{i,j} + q/2}{q} \right\rfloor,$$

де $y(t)_{i,j}$ – (i, j) -ий частотний коефіцієнт;

q – крок квантування;

$\lfloor y(t)_{i,j} \rfloor$ – операція округлення до найближчого цілого, що не перевищує $y(t)_{i,j}$.

Залежно від типу блоку при формуванні блочного коду вибирається надмірність, яка буде скорочуватися в результаті блокового кодування [26].

Під одновимірним блоковим кодуванням розуміється процес формування коду $N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ для i -го стовця (ζ, γ) -го блоку $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ з урахуванням заданої системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ обраної для i -го стовця (ζ, γ) -го блоку, тобто:

$$N(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m \alpha(t)_i \prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta; \quad (3.8)$$

$$\alpha(t)_i = \begin{cases} e(t)_i \rightarrow f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) \leq \Delta D \\ z(t)_i \rightarrow f(E(t)^{(\zeta, \gamma)}) > \Delta D \end{cases},$$

де $\alpha(t)_i$ – елемент одновимірного блочного позиційного числа; $\prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta$ –

ваговий коефіцієнт елемента $\alpha(t)_i$.

Одновимірним блоковим позиційним числом у даному випадку називається одновимірна послідовність (одновимірний вектор) i -го стовпця матриці $A(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \{\alpha(t)_1, \dots, \alpha(t)_i, \dots, \alpha(t)_m\}$, елементи якої задовольняють змішаній системі основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)} = \{w(t)_1, \dots, w(t)_i, \dots, w(t)_m\}$. Одновимірна змішана система основ W являє собою одновимірний вектор-стовпець, компонентами якого w_i є довільні цілі числа кінцевої розмірності, при виборі яких необхідно виконання нерівності.

$$\alpha(t)_i \leq w(t)_i - 1, \text{ для } i = \overline{1, m}, \quad (3.9)$$

де m – кількість елементів блочного позиційного числа; $w(t)_i$ – основа i -го елемента одновимірного блочного позиційного числа.

Нехай $H(t)^{(\zeta, \gamma)} = \{h(t)_1, \dots, h(t)_i, \dots, h(t)_n\}$, вектор-стовпець вагових коефіцієнтів (ζ, γ) -го блоку, елементами якого є вагові коефіцієнти $h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$

$$h(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta. \quad (3.10)$$

Під ваговим коефіцієнтом елемента блочного позиційного числа розуміється множник, величина якого вказує на ступінь значущості позиції, займаної даним елементом в кодуемій послідовності. Ваговий коефіцієнт утворюється в результаті накопиченого добутку основ молодших елементів одновимірного блочного позиційного числа. Для i -го елемента одновимірного блочного позиційного числа молодшими елементами будуть елементи $\alpha(t)_\eta$, $\eta = \overline{i+1, n}$. Згідно виразу (3.8), чим більше індекс позиції, тим менше значення вагового коефіцієнта.

Якщо задано вектор вагових коефіцієнтів $H(t)^{(\zeta, \gamma)}$, то вираз (3.8) для формування коду $N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ одновимірного позиційного числа $A(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ у матричній формі набуде вигляду:

$$N(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = H(t)^{(\zeta, \gamma)'} A(t)_i^{(\zeta, \gamma)}, \quad (3.11)$$

де H' – транспонований вектор вагових коефіцієнтів одновимірного блочного позиційного числа

$$H(t)^{(\zeta, \gamma)'} = \left\{ \prod_{\eta=2}^n w(t)_\eta, \dots, \prod_{\eta=i+1}^n w(t)_\eta, \dots, 1 \right\}. \quad (3.12)$$

Верхньою межею h_{\max} значення коду одновимірного блочного позиційного числа для заданої системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ є накопичений добуток основ всіх елементів $\prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta$:

$$N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)} < h_{\max} = \prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta, \quad (3.13)$$

де $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ – максимально можливе значення коду для заданого вектора основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$, який складається з n елементів.

Код блочного позиційного числа називається кодом у нерівномірному базисі значень, компоненти якого задовольняють змішаній системі основ.

Схема формування коду задається двома етапами. На першому етапі кодування для заданого блоку даних визначається система основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$, яка відповідає обмеженням (3.9). Це здійснюється шляхом вибору

максимального елемента $\max \alpha(t)_{1,j} + 1$ для j -го рядка (ζ, γ) -го блоку і подальшим збільшенням його на одиницю. Таким чином, формуються елементи вектора основ для кожного рядка матриці.

На другому етапі задається вектор-стовпець вагових коефіцієнтів $H(t)^{(\zeta, \gamma)}$ відповідно до формули (3.10). Блочне позиційне число для блоку формується з елементів його стовпців відповідно до виразу (3.8). Елементи такого числа в результаті кодування послідовно збираються в ланцюжок, який далі подається в двійковій або десятичній формі.

Така схема кодування призводить до зниження кількості розрядів на кодове подання масивів відеопослідовності.

Важливою властивістю блокових позиційних чисел є можливість обчислення коду для масиву даних на основі аналітичного виразу. При цьому необхідно знати тільки значення елементів масиву даних і значення компонент вектора основ. Тому не потрібно організовувати формування таблиці допустимих чисел і проводити пошук у таблиці необхідного індексу, відповідного оброблюваному числу.

Використання блокових чисел і їх кодування дозволяє зменшити кількість обчислювальних операцій щодо існуючих статистичних кодів, що дозволяє здійснювати обробку відеоданих у часі близькому до реального.

3.5 Розробка методу реконструкції прогнозованих кадрів в технологіях кодування відеотрафіка для комп'ютерних систем та мереж

Сучасні алгоритми компресії мають істотні недоліки при статистичному кодуванні відеопотоку, усунення яких можливо при використанні методу компресії на базі блокового кодування. Такий метод дозволяє формувати код відповідно до заданих значень бітової швидкості, якості реконструкції зображення та зменшення часу кодування порівняно зі статистичними. Тому актуальною є розробка методу відновлення

сегментованих зображень в прогнозованих кадрах. Розроблюваний метод відновлення полягає в отриманні вихідного блоку за значенням коду блочного позиційного числа. Для відновлення блоку необхідна наявність службової інформації про розміри блоку (ζ, γ) і системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$. Вона визначає довжину інформаційної частини обробленого представлення блоку зображення. Її елементи також використовуються як складові аналітичного виразу, на підставі якого декодуються елементи стовпців блоку. Система основ дозволяє визначити верхню межу h_{\max} значення коду одновимірного блочного позиційного числа і відповідно максимальне значення коду:

$$N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)} < h_{\max},$$

де $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ – максимально можливе значення коду для заданого вектора основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$.

Верхня межа h_{\max} значення коду одновимірного блочного позиційного числа для заданої системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ обчислюється за виразом (3.12). Знання верхньої межі h_{\max} необхідно для визначення довжини кодового представлення $d_i^{(\zeta, \gamma)}$ однієї компоненти $(\zeta; \gamma)$ -го блоку. В цьому випадку приймається умова:

$$d_i^{(\zeta, \gamma)} = [\log_2 h_{\max}] + 1, \quad (3.14)$$

де $d_i^{(\zeta, \gamma)}$ – довжина кодового представлення i -го стовпця $(\zeta; \gamma)$ -го блоку;

$[\log_2 h_{\max}] + 1$ – кількість двійкових розрядів на представлення максимального значення коду $N(t)_{\max}^{(\zeta, \gamma)}$ одновимірного блочного позиційного числа.

Тоді довжина $d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)}$ всієї інформаційної частини кодової послідовності складе

$$d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)} = m([\log_2 h_{\text{max}}] + 1) = m\left(\left[\log_2 \prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta\right] + 1\right), \quad (3.15)$$

де m – кількість стовпців блоку зображення;

$m([\log_2 h_{\text{max}}] + 1)$ – кількість розрядів на представлення m кодів блокових позиційних чисел.

До структури пакетів входять службова та інформаційна частини. Загальна довжина $d^{(\zeta, \gamma)}$ зібраної кодової послідовності визначається як кількість біт, яким представлена службова частина $d_s^{(\zeta, \gamma)}$ і довжина кодового представлення всіх стовпців (ζ, γ) -го блоку $d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)}$, $d^{(\zeta, \gamma)} = d_s^{(\zeta, \gamma)} + d_{\text{inf}}^{(\zeta, \gamma)}$.

Для проведення декодування блокових позиційних чисел необхідно виділити службову й інформаційну частини зібраної кодової послідовності. Це викликано тим, що довжина інформаційної частини може змінюватися для різних блоків зображення з кількох причин: розміри блоків зображення можуть бути різними; блоки зображення можуть мати різну систему основ, що пояснюється різною змістовною частиною зображення.

Вибірка інформаційної частини із загальної кодової послідовності проводиться, виходячи з особливостей побудови коду. Технологія визначення інформаційної частини полягає в тому, щоб у загальній довжині кодової послідовності визначити межу службової частини.

Після виділення інформаційної частини зібраної кодової послідовності починається процес відновлення зображення, який складається з таких етапів: декодування блочного позиційного числа, визначення типу блоку, декодування диференційного сигналу для блоку Р-типу або деквантування та зворотнє ДКП для блоку І-типу.

Загальна схема процесу реконструкції зображення представлена на рис.3.19. На вхід декодера надходить сукупність $\{W(t)^{(\zeta,\gamma)}; N(t)_i^{(\zeta,\gamma)}\}$: вектор основ $W(t)^{(\zeta,\gamma)}$ та кодові подання стовпців (ζ, γ) -го блоку $N(t)_i^{(\zeta,\gamma)}$.

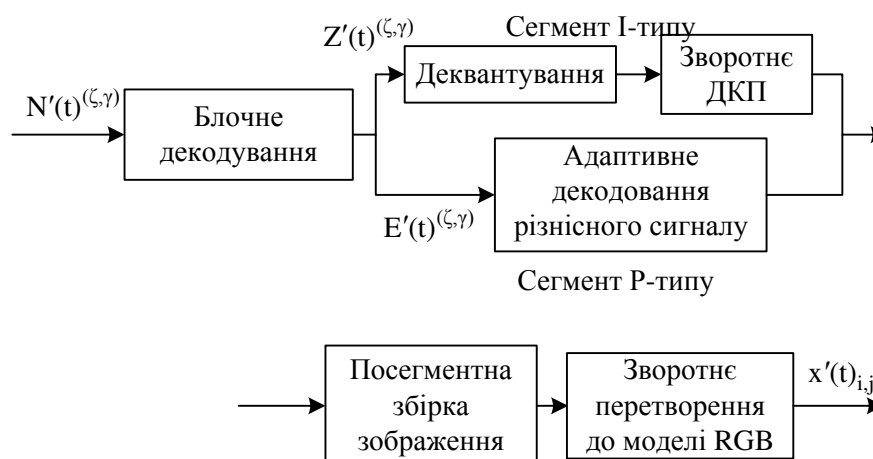


Рисунок 3.19 – Загальна схема відновлення передбаченого кадру

Процес декодування кодового представлення блоку зображення [27, 155 – 157] представлений на рис. 3.20.

Для початку процесу декодування необхідно мати вектор основ $W(t)^{(\zeta,\gamma)} = \{w(t)_1, \dots, w(t)_i, \dots, w(t)_n\}$ та вектор вагових коефіцієнтів $H(t)^{(\zeta,\gamma)} = \{h(t)_1^{(\zeta,\gamma)}, \dots, h(t)_i^{(\zeta,\gamma)}, \dots, h(t)_n^{(\zeta,\gamma)}\}$ елементів стовпців блоку зображення.

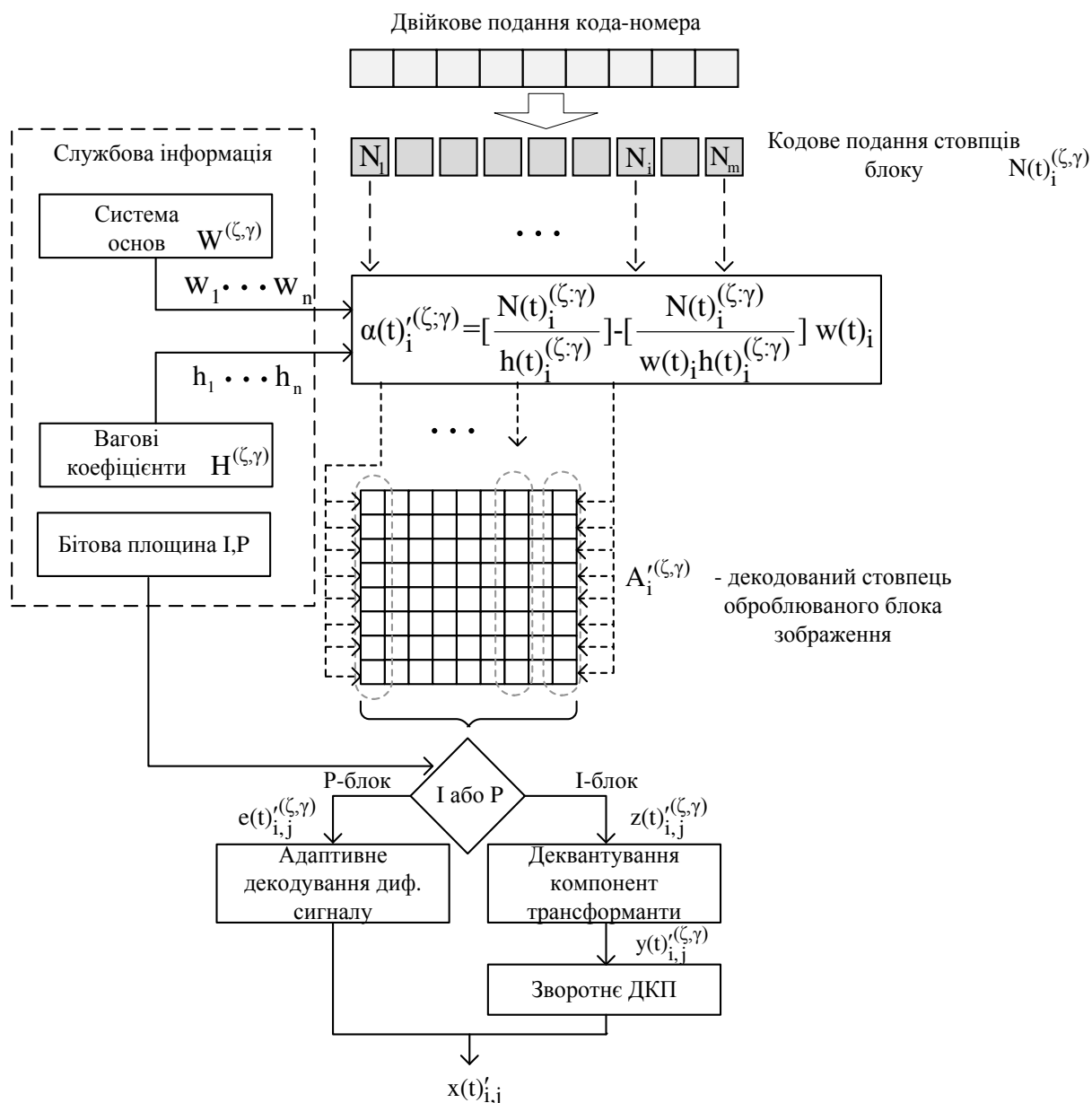


Рисунок 3.20 – Схема декодування елементів стовпців (ζ, γ) -го блоку прогнозованого кадру

Вагові коефіцієнти для елементів i -го стовпця (ζ, γ) -го блоку визначаються виразом

$$h(t)_i^{(\zeta,\gamma)} = \prod_{\eta=1}^n w(t)_\eta. \quad (3.16)$$

З урахуванням системи основ $W(t)^{(\zeta, \gamma)}$ для i -го стовпця (ζ, γ) -го блоку та вагових коефіцієнтів, процедура декодування компоненти $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ трансформанти будується за таким правилом:

$$\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)} = \left[\frac{N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}}{h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}} \right] - \left[\frac{N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}}{w(t)_i h(t)_i^{(\zeta, \gamma)}} \right] w(t)_i, I = 1, m, \quad (3.17)$$

де $\alpha(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ – декодований елемент i -го стовпця блоку;

$N(t)_i^{(\zeta, \gamma)}$ – кодове подання i -го стовпця блоку;

$w(t)_i$ – основа елемента i -го стовпця блоку.

Для подальшої обробки необхідно визначити тип декодованого блоку. При формуванні кодової інформації в передавачі можливі 2 варіанти передачі необхідної службової інформації: в першому випадку при формуванні кадрів разом з корисною інформацією передаються деякі характеристики блоку зображення, які дозволяють при прийомі визначити його тип; у другому – у передавачі формується маркер з конкретним показником типу переданого блоку.

Далі, в залежно від типу оброблюваного блоку, проводиться або адаптивне декодування прогнозованого сигналу, або деквантування та зворотнє ДКП. Відновлення значень прогнозованого сигналу полягає в тому, що до попереднього значення компоненти додається отримана різниця $x(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} = x'(t-1)_{i,j} + e'(t)_{i,j}$. Для отримання елементів $y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)}$ деквантованного блоку $Y(t)^{(\zeta, \gamma)}$ трансформанти ДКП проводиться множення елементів $z(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)}$ декодованого трансформованого блоку $Z(t)^{(\zeta, \gamma)}$ зображення на елементи $q_{i,j}$ матриці квантування $y(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} = z(t)_{i,j}^{(\zeta, \gamma)} \cdot q_{i,j}$. Далі виконується зворотнє ДКП блоку зображення:

$$x(t)_{i,j}' = \frac{1}{\sqrt{mn}} C(i)C(j) \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{m-1} y(t)_{i,j}'^{(\zeta,\gamma)} \cos \left[\frac{(2\zeta+1)i\pi}{2n} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2\gamma+1)j\pi}{2m} \right],$$

$$\text{де } C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & x = 0 \\ 1, & x \neq 0 \end{cases}, \quad x(t)_{i,j}' - \text{елемент відновленого блоку зображення.}$$

Розроблений метод декодування зображень з використанням блокових чисел у порівнянні зі статистичними декодерами має ряд переваг, а саме:

- немає необхідності у використанні маркерів для поділу службової та інформаційної частин при формуванні пакетів даних;

- підвищення завадостійкості, тому що помилки можуть поширюватися тільки в межах одного коду блочного числа; тобто, їх вплив поширюється тільки на один стовпець, а не на весь блок;

- елементи відновлюваного блоку декодуються незалежно один від одного, що дозволяє застосовувати паралельну обробку даних, що також знижує час на обробку даних;

- немає необхідності у використанні кодових таблиць і алгоритмів пошуку по ним, тому що вся необхідна інформація передається в службовій частині разом з кодом.

Оцінка характеристик процесу відновлення трансформованого блоку зображення базується на оцінці величини середньоквадратичного відхилення і часу виконання операцій реконструкції однієї трансформанти зображення.

Час реконструкції $T^{(\zeta,\gamma)}$ блоку зображення визначається загальним часом декодування (ζ,γ) -го блоку, часом складання блоків зображення та, або адаптивного декодування диференційного сигналу в разі обробки блоку Р-типу, або деквантування та зворотнього ДКП в разі обробки блоку І-типу:

$$T^{(\zeta,\gamma)} = \begin{cases} T_{dc}^{(\zeta,\gamma)} + T_{dr}^{(\zeta,\gamma)} + T_s^{(\zeta,\gamma)}, & \text{якщо Р} \\ T_{dc}^{(\zeta,\gamma)} + T_{dq}^{(\zeta,\gamma)} + T_{odcp}^{(\zeta,\gamma)} + T_s^{(\zeta,\gamma)}, & \text{якщо І} \end{cases}, \quad (3.18)$$

де $T_{dc}^{(\zeta, \gamma)}$ – час декодування (ζ, γ) -го блоку зображення на основі блочного числа;

$T_{dr}^{(\zeta, \gamma)}$ – час адаптивного декодування диференційного сигналу;

$T_{dq}^{(\zeta, \gamma)}$ – час деквантування (ζ, γ) -го блоку зображення;

$T_{odcp}^{(\zeta, \gamma)}$ – час виконання зворотнього дискретного косинусного

перетворення;

$T_s^{(\zeta, \gamma)}$ – час складання блоків зображення.

Часові витрати на декодування блочного числа одного блоку $T_{dc}^{(\zeta, \gamma)}$ визначаються часом декодування коду для всіх стовпців (ζ, γ) -го блоку зображення:

$$T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m t_{dci} = m t_{dci}, \quad (3.19)$$

де t_{dci} – час відновлення одного стовпця блоку.

Час декодування t_{dci} одного j -го стовпця, який складається з n елементів, визначається за формулою

$$t_{dci} = \sum_{i=1}^n t_{dci,j} = n t_{dci,j}, \quad (3.20)$$

де $t_{dci,j}$ – час отримання елемента стовпця.

З огляду на вираз (3.20), формула (3.19) набуде вигляду:

$$T_{dc}^{(\zeta, \gamma)} = \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^n t_{dci,j} = m n t_{dci,j}.$$

Час реконструкції $T^{(\zeta, \gamma)}$ трансформованого (ζ, γ) -го блоку зображення залежить від загальної кількості арифметичних операцій множення, ділення і віднімання, виконаних на всіх етапах реконструкції блоку.

Завдяки аналізу структури існуючого і розробленого методу виявлені відмінності, які за математичними операціями були оцінені та зведені в таблицю 3.2.

Для декодування однієї компоненти блоку необхідно виконати одну операцію складання в разі перетворення блоку Р-типу, і по дві операції ділення, множення і одну операцію віднімання в разі обробки блоку І-типу.

З табл. 3.2 видно, що при реалізації запропонованого методу декодування кількість арифметичних операцій при декодуванні блоку Р-типу зменшується. Однак, навіть при обробці блоків І-типу, розглянутий метод декодування за кількістю витрачених операцій не перевищує сумарні витрати на деквантування і зворотнє ДКП, що не робить істотного впливу на повний час відновлення зображення.

Таблиця 3.2 – Арифметичні операції, що виконуються при реконструкції блоку

Арифметичні операції	Ділення	Множення	Віднімання (додавання)
Блок Р-типу			
Декодування компоненти блоку (операцій)	2	2	1
Декодування блоку зображення ($m \times n$) (кількість операцій)	$2mn$	$2mn$	mn
Адаптивне декодування диференційного сигналу ($m \times n$) (кількість операцій)	-	-	mn
Блок І-типу			
Декодування компоненти блоку (кількість операцій)	2	2	1
Декодування трансформанти ($m \times n$) (кількість операцій)	$2mn$	$2mn$	mn
Деквантування трансформанти ($m \times n$) (кількість операцій)	-	mn	-
Зворотнє ДКП трансформанти ($m \times n$) (кількість операцій)	-	$2mn \log_2 mn$	$2mn \log_2 mn$

Так, якщо розглядати блоки розмірністю $8 \cdot 8$, то для блоків Р-типу потрібно 389 арифметичних операцій для декодування, а для блоків І-типу – 850. У стандарті MPEG всі блоки обробляються за допомогою ДКП і квантування, тому запропонований метод дозволить зменшити кількість арифметичних операцій на 461 для кожного блоку Р-типу.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

Розроблено метод кодування прогнозованих кадрів з урахуванням управляючих механізмів, а саме:

1. Обґрунтовано вибір прогнозованих Р-кадрів для удосконалення методів обробки через їх серйозний вплив на ступінь компресії відеоінформації. Щодо опорних кадрів обсяг переданих даних у Р-кадрі зменшується в середньому в 2-3 рази. Тому, чим більша кількість Р-кадрів використовується в відеопослідовності, тим сильніша компресія в цілому, але гірша якість зображення. Відповідно, вищим повинен бути рівень контролю за помилками через те, що помилка в одному блоці пошириться на всю групу наступних Р-кадрів.

2. Досліджено недоліки статистичної компресії, заснованої на кодуванні Хаффмана – висока чутливість до помилок, необхідність у буферному накопичуванні, неможливості визначення ступеня компресії до початку кодування, великі затримки при побудові дерева для довгої відеопослідовності. Тому запропонований варіант реалізації алгоритму кодування передбачених кадрів на основі блочного кодування.

3. Розроблено метод кодування, який заснований на використанні двох типів блоків І- та Р-, які вибираються за заданим порогом ΔD з урахуванням функціоналу $f(E(t)^{\zeta, \gamma})$, що відображає рівень інформативності оброблюваного блоку. Таким чином, вводиться додаткова можливість управління бітовою швидкістю відеотрафіка шляхом зміни кількості блоків І- та Р-типу.

4. Розроблено метод кодування відеоданих на основі блочного коду. Важливою властивістю блокових позиційних чисел є можливість аналітичного обчислення коду для масиву даних, що не потребує формування таблиці допустимих блокових позиційних чисел. Додаткове підвищення ступеня компресії також відбувається за рахунок зменшення

довжини кодового подання прогнозованого блоку та адаптивного вибору системи основ блочного числа.

5. Розроблено метод декодування зображень з використанням блокових чисел, який порівняно зі статистичними декодерами має ряд переваг:

- немає необхідності у використанні маркерів для поділу службової та інформаційної частин при формуванні пакетів даних;

- підвищення завадостійкості за рахунок поширення помилок тільки в межах одного коду блочного числа, таким чином, їх вплив поширюється тільки на один стовпець, а не на весь блок;

- елементи відновлюваного блоку декодуються незалежно один від одного, що дозволяє застосовувати паралельну обробку даних для зниження часу на обробку даних;

- немає необхідності у використанні кодових таблиць і алгоритмів пошуку по ним, тому що вся необхідна інформація передається в службовій частині разом з кодом.

Результати досліджень третього розділу опубліковані в роботах [51 – 53, 64, 168, 172, 173, 179, 182, 183, 220].

РОЗДІЛ 4

МЕТОД ОБРОБКИ СЕГМЕНТІВ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДВОРІВНЕВОГО ЗРОСТАННЯ КОДУВАННЯ ВЕКТОРІВ КОРТЕЖІВ ТРАНСФОРМАНТИ

Проведено обґрунтування інтерпретації усіченого вектора двохкомпонентних кортежів у вигляді укрупненого позиційного числа невизначеної довжини, елементами якого є коди двоелементних чисел, утворених для окремих двохкомпонентних кортежів.

Доведена теорема, в результаті чого отримано кодоутворюючі співвідношення, які забезпечують формування коду для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною за дворівневою схемою, а саме на першому рівні формується кодове подання для окремих двохкомпонентних кортежів, а на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання для кодів, отриманих на першому рівні.

Викладені етапи методу формування компактного представлення сегментованих зображень на основі виявлення вектора двохкомпонентних кортежів для лінеаризованих трансформант.

Запропонована технологія розподілу компонент кортежу по кодограмі в комбінованому режимі, а саме коли будуються нерівномірні кодограми з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонент і змінної довжини вектора двохкомпонентних кортежів.

Розроблений метод обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмам, який формуються за комбінованим принципом з встановленими обмеженнями.

4.1 Розробка принципів кодування вектора двокомпонентних кортежів

Для побудови кодового представлення вектора P двокомпонентних кортежів необхідно враховувати такі особливості [28, 63]:

1) кортеж $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$ формується з двох компонент, де ℓ_α – довжина ланцюжка нульових компонент, а c_α – значення компоненти, не рівної нульовому значенню;

2) в напрямку рядків такий масив являє собою структурні елементи трансформанти, що мають неоднорідні властивості, а в напрямку стовпців – однорідні за структурним формуванням кількісні параметри лінеаризованої трансформанти;

3) компоненти кортежу незалежно один від одного приймають значення відповідно в межах таких динамічних діапазонів:

$$1 \leq \ell_\alpha \leq \lambda(\ell) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}-1} \{\ell_\alpha\}; 1 \leq c_\alpha \leq \lambda(c) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}}-1} \{c_\alpha\}; \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}}-1};$$

4) обробці піддається не весь вектор, а тільки та його частина P' , яка не містить перший і останній кортежі:

$$P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\}.$$

Отже, усічений вектор P' двокомпонентних кортежів є масивом розмірністю $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$.

При цьому довжина $n_{\text{крт}}$ вектора двокомпонентних кортежів не відома заздалегідь, тому що залежить від кількості і довжин ланцюжків нульових компонент трансформанти ДКП.

Двокомпонентний кортеж $\Theta_\alpha^{(2)}$ відповідно до комбінаторної інтерпретації, яка задається першою та другою властивостями, є перестановкою з повтореннями, на елементи якої накладено обмеження на динамічний діапазон, дорівнюють $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$. У той самий час такі послідовності є двоосновними позиційними числами [48; 54, 55].

Визначення 4.1. Двокомпонентний кортеж, компоненти якого задовольняють властивостям 1 і 2, називається двоелементним числом.

В якості старшого елемента $\theta_{1,\alpha}$ розглядається перша компонента кортежу, а саме довжина ℓ_α ланцюжка нульових компонент. Відповідно молодшим елементом $\theta_{2,\alpha}$ є друга компонента кортежу, тобто значуща компонента c_α лінеаризованої трансформанти.

Для кожного кортежу $\Theta_\alpha^{(2)}$ як двоелементного числа можна сформулювати кодове значення $E(\Theta_\alpha^{(2)})$. Причому, відповідно до властивості двоосновних позиційних чисел, значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ обмежено зверху величиною, що дорівнює добутку основ $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$:

$$E(\tilde{\Theta}_\alpha^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c).$$

При цьому, оскільки величини $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ є фіксованими в межах оброблюваного вектора, то таке обмеження буде відповідати для всіх кодів, отриманих для двокомпонентних кортежів поточної лінеаризованої трансформанти:

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \text{ для } \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (4.1)$$

Отже, формується послідовність

$$A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\},$$

складена з величин $E(\Theta_\alpha^{(2)})$, для яких виконується обмеження (4.1). Послідовність A з такими властивостями є позиційним числом з основою $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Оскільки елементи $E(\Theta_\alpha^{(2)})$, у свою чергу, є кодами чисел $\Theta_\alpha^{(2)}$, то складені з них позиційні числа A називаються укрупненими позиційними числами.

У той самий час, відповідно до четвертої властивості, довжина укрупненого позиційного числа заздалегідь не відома, тобто $n_{\text{крт}} = \text{var}$. У зв'язку з чим, сформулюємо таке визначення [158 – 160].

Визначення 4.2. Позиційне число A , кількість елементів якого заздалегідь невідоме, а самі елементи, у свою чергу, є кодами $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ двоелементних чисел $\Theta_\alpha^{(2)}$ і задовольняють обмеженню 4.1 називаються укрупненим позиційним числом (УПЧ) з невизначеною довжиною (НД).

Для врахування третьої властивості пропонується знижувати динамічний діапазон компонент кортежу до нульового рівня. Вводяться величини ℓ'_α і c'_α :

$$\ell'_\alpha = \ell_\alpha - 1; \quad c'_\alpha = c_\alpha - 1.$$

В результаті значення компонент прийматимуть значення в діапазонах:

$$0 \leq \ell'_\alpha \leq \lambda(\ell) - 1, \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}; \quad (4.2)$$

$$0 \leq c'_\alpha \leq \lambda(c) - 1, \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (4.3)$$

Для отримання коду відповідного укрупненого невизначеної довжини позиційного числа, складеного з перетрансформованих двокомпонентних кортежів, сформулюємо і доведемо наступну теорему.

Теорема про кодування укрупненого невизначеної довжини позиційного числа. Значення коду $E(P')$ для усіченого вектора P' двокомпонентних кортежів розмірністю $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$, як комбінаторного об'єкту, а саме в напрямку рядків - структурні елементи трансформанти, що мають неоднорідні властивості з основами $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$, а в напрямку стовпців – однорідні за структурним формуванням кількісні параметри лінеаризованої трансформанти, визначається на основі такого співвідношення [161 – 163; 174]:

$$E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_{\alpha} \lambda(c) + c_{\alpha}) \cdot (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}, \quad (4.4)$$

де $(n_{\text{крт}} - 2)$ – довжина усіченого вектора двокомпонентних кортежів; $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ – відповідно основи компонент векторів довжин ланцюжків нульових компонент і значущих компонент.

Доказ. Відповідно до комбінаторної інтерпретації, двокомпонентний кортеж $\Theta_{\alpha}^{(2)}$ є двоелементним числом з основами, рівними $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$. Старшим елементом є перша компонента $\theta_{1,\alpha}$ кортежу (довжина ℓ_{α} ланцюжка нульових компонент), а молодшим елементом – друга компонента $\theta_{2,\alpha}$ кортежу (значуща компонента c_{α}). Тоді значення коду $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ для двоелементною числа $\Theta_{\alpha}^{(2)}$ дорівнює:

$$E(\Theta_{\alpha}^{(2)}) = (\ell_{\alpha} \lambda(c) + c_{\alpha}). \quad (4.5)$$

Згідно визначення 4.2, сформована на основі значень кодів $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ послідовність A , $A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$, є укрупненим позиційним числом з основою рівною $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Тоді допустима кількість $W(A^{(\alpha)})$ укрупнених позиційних чисел, відповідна підпослідовності $A^{(\alpha)}$, складеної з кодів $E(\Theta_\gamma^{(2)})$ молодших щодо α -го коду, тобто $\gamma = \overline{\alpha + 1, n_{\text{крт}} - 1}$, $A^{(\alpha)} = \{E(\Theta_{\alpha+1}^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$, буде визначатися як накопичений добуток основ молодших елементів УПЧ:

$$W(A^{(\alpha)}) = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}.$$

З урахуванням чого, значення коду $E(A)$ укрупненого позиційного числа A , елементи якого мають основи рівні $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$, дорівнює:

$$E(A) = E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} E(\Theta_\alpha^{(2)}) W(A^{(\alpha)}).$$

Розписавши в отриманому виразі значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ для числа і вагового коефіцієнта $W(A^{(\alpha)})$, отримаємо:

$$E(A) = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) W(A^{(\alpha)}) = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) \cdot (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}. \quad (4.6)$$

У формулі (4.6) величина $W(A^{(\alpha)})$ виступає як ваговий коефіцієнт α -го елемента укрупненого позиційного числа (рис. 4.1).

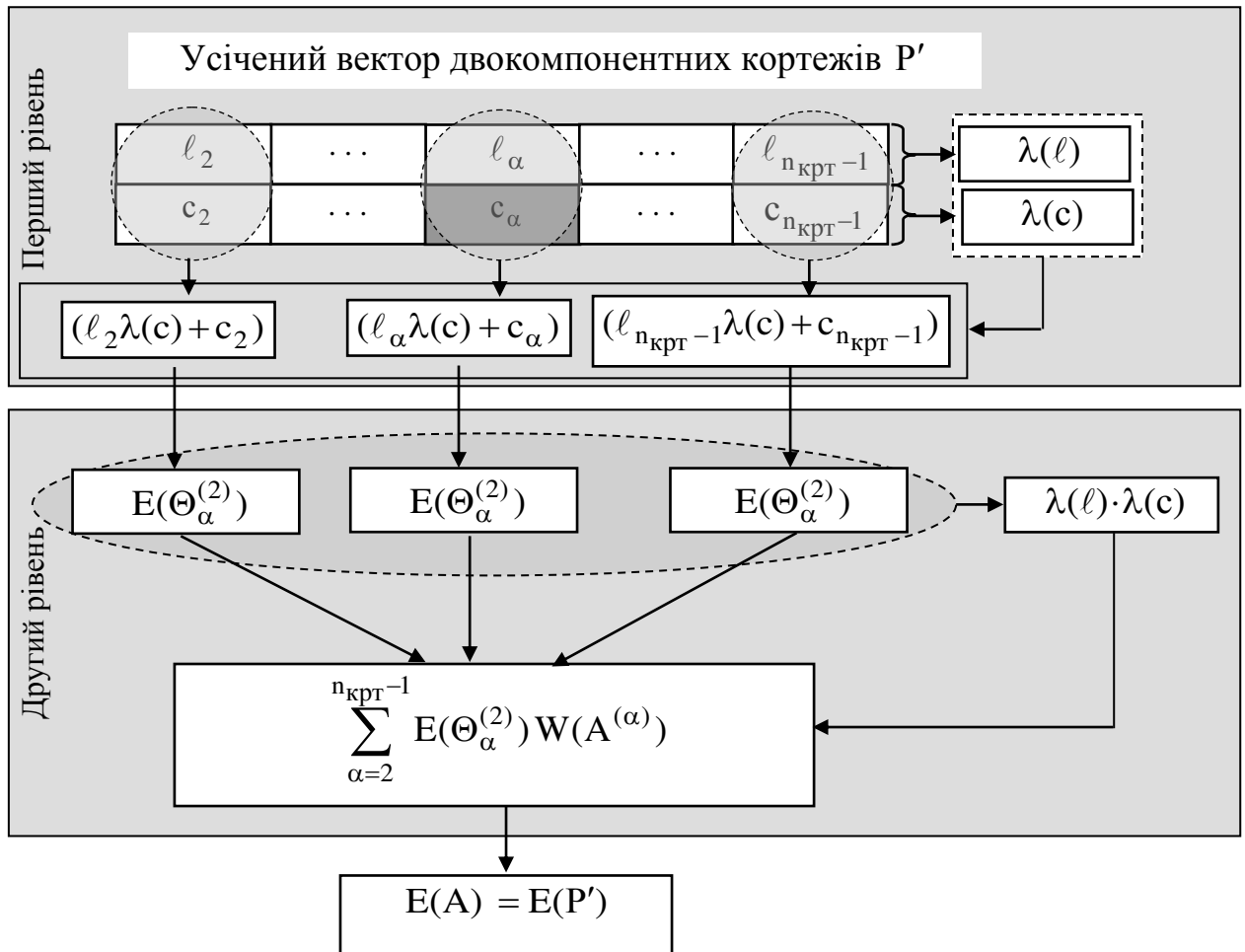


Рисунок 4.1 – Схема дворівневого кодування вектора двокомпонентних кортежів

Отримане співвідношення дозволяє обчислити код $E(A)$ для укрупненого позиційного числа A . У той самий час число A формується як дворівневий позиційний опис усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Тому значення коду для УПЧ є кодовим поданням вектора P' , тобто $E(A) = E(P')$. Теорема доведена.

З доведеної теореми випливає, що кодування усіченого вектора двокомпонентних кортежів здійснюється за дворівневою схемою (див. рис. 4.1). На першому рівні формується кодове подання для окремих двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)}$. Відповідно на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання для отриманих на першому рівні кодів.

В такому випадку структура кодограми складається з двох частин, включаючи службову й інформаційну частини (рис. 4.2)

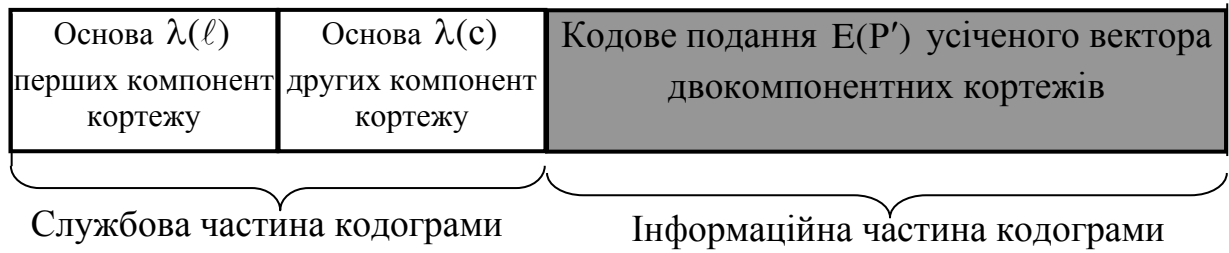


Рисунок 4.2 – Структура кодограми для укрупненого позиційного числа

Інформаційна частина кодограми включає в себе кодове представлення значення коду $E(P')$ усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Службова частина містить основи компонент кортежу.

Отже, обґрунтована інтерпретація усіченого вектора двокомпонентних кортежів як укрупнених позиційних чисел, елементами яких є кодові значення окремих кортежів, що розглядаються як двоелементне число

У результаті доведення теореми отримано кодовий вираз для визначення коду укрупненого позиційного числа з використанням дворівневої схеми. Кодування проводиться без втрати інформації з урахуванням особливостей двокомпонентних кортежів, а саме зниження динамічного діапазону щодо нульового рівня.

4.2. Розробка методу формування компактного представлення сегментованих зображень

Розглянемо особливості інтеграції розробленого кодового представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів лінеаризованої трансформанти в стандарт компресії на JPEG платформі [67, 176; 164; 165].

Тут, з одного боку, необхідно враховувати такі особливості формування обробленого представлення усіченого вектора, а саме:

1) усічений вектор P' формується шляхом виключення першого кортежу, що містить значення низькочастотної DC-компоненти та останнього кортежу, що включає в себе довжину останнього ланцюжка нульових компонент:

$$P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\};$$

2) кількість $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів є змінною величиною, значення якої заздалегідь невідомо, і залежить від змісту сегмента зображення і фактора f втрати якості в процесі квантування компонент трансформанти:

$$n_{\text{крт}} = \varphi(f) = \text{var};$$

3) значення коду і довжина кодограми усіченого вектора залежить від статистичних, структурних властивостей сегментів зображення, режиму корекції компонент трансформант в процесі квантування;

4) у процесі кодування двокомпонентних кортежів враховуються закономірності структурно-комбінаторної природи, які виявляються для конкретно оброблюваного фрагмента, тобто обробка проводиться адаптивно до структурних властивостей лінеаризованої трансформанти. Значення коду формується на основі лексикографії позиційних чисел. В цьому випадку:

- для обчислення кодового значення не потрібно здійснювати попередню оцінку ймовірносно-статистичних характеристик трансформанти і використовувати таблиці статистичних кодів;

- кодові слова не використовують принцип префіксності, який властивий для нерівномірних статистичних кодів;

5) відмінною службовою інформацією для розробленого кодового представлення усіченого вектора є двокомпонентна система основ, яка

формується для довжин ланцюжків нульових компонент і значущих елементів.

З іншого боку, в процесі такої інтеграції необхідно враховувати вимоги, які пред'являються до систем компресії зображень, а саме, забезпечити зниження бітової швидкості обробленого відеопотоку в умовах обмеженої складності процесу обробки і корекцій частотних складових. Для цього потрібно забезпечити таке [29; 166; 191; 192]:

- 1) компресію в режимі обмежених значень фактора втрати якості;
- 2) виключення використання додаткових службових даних;
- 3) виключення необхідності значного збільшення кількості операцій, які витрачаються на виконання умов інтеграції кодового подання усіченого вектора в систему компресії потоку відеокадрів;
- 4) стійкість кодових комбінацій компактно представленого потоку відеокадрів до помилок в каналі зв'язку.

Схема інтеграції кодового подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів у технологію компресії на базі платформи JPEG представлена на рис. 4.3.

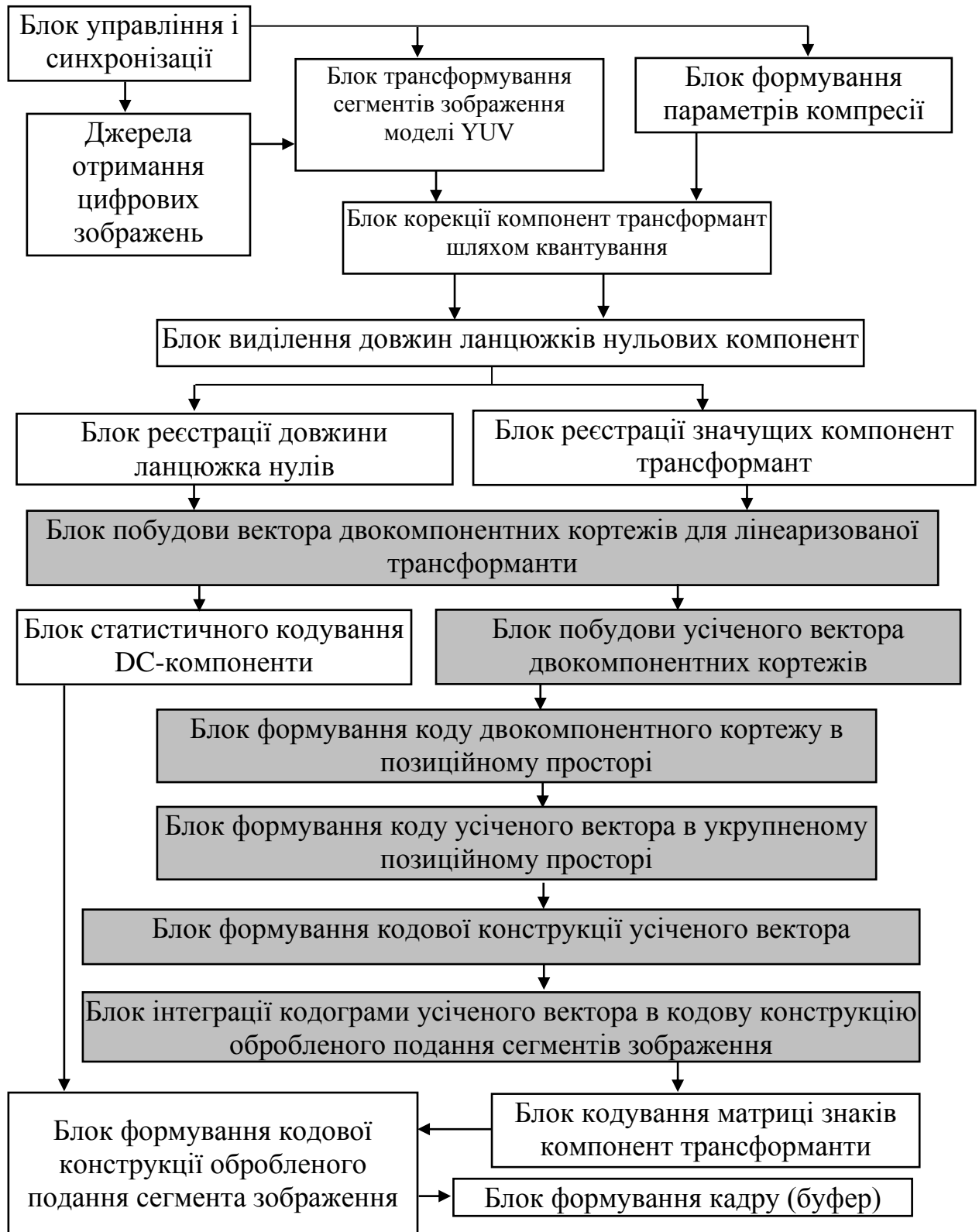


Рисунок 4.3 – Схема інтеграції кодового подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів у технологію компресії на базі платформи JPEG

Згідно зі схемою інтеграції кодека для платформи JPEG, виконуються такі базові етапи.

Перший етап. Перехід зображення триколірової моделі RGB у кольорорізнісний простір YUV без втрати інформації:

$$y_{ij} = \lfloor (r_{ij} + 2g_{ij} + b_{ij}) / 4 \rfloor; \quad u_{ij} = r_{ij} - g_{ij}; \quad v_{ij} = b_{ij} - g_{ij}, \quad (4.7)$$

де $Y = \{y_{ij}\}$, $U = \{u_{ij}\}$, $V = \{v_{ij}\}$.

У цьому випадку, як формат колірною подання, використовується режим забезпечення високої якості відеосцен.

Це передбачає використання формату 4: 2: 2 – горизонтальні розміри матриць U і V вдвічі менше розміру матриці Y , а вертикальні розміри однакові. Тоді структура макроблоку є неоднорідною і складається з восьми блоків, включаючи: чотири блоки яскравості і чотири блоки кольоровості (по два блоки U і V) у такому порядку:

Y1; Y2; Y3; Y4; U1; V1; U2; V2.

Другий етап пов'язаний з переведенням з просторово-часового подання сегментів в частотно-спектральне. Для цього виконується дискретно-косинусне перетворення сегментів зображення:

$$H(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell} F^T(\ell), \quad (4.8)$$

де $X(i, j)_{k, \ell}$ – масив відеоданих, утворений на базі однієї з площин кольорорізнісних моделей зображення;

k, ℓ – відповідно індекс рядка і стовпця елемента масиву $X(i, j)_{k, \ell}$,
 $k = \overline{1, q_r}$; $\ell = \overline{1, q_c}$;

$H(k, \ell)$ – матриця компонент трансформанти dct-перетворення масиву відеоданих;

$F(k)$, $F^T(\ell)$ – відповідно вектор дискретних значень базисних функцій ДКП і його транспонований вид:

$$F(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{q_\ell}} & \rightarrow k=1; \\ \sqrt{\frac{2}{q_\ell}} \cos \frac{(2q_\ell + 1)k\pi}{2q_\ell}, & \rightarrow k = \overline{2, q_\ell}. \end{cases} \quad (4.9)$$

Двопрохідна реалізація двовимірного ДКП задається такою послідовністю дій:

1) на першому проході в результаті одновимірного ДКП для стовпців сегмента проводиться формування масиву $P(k, \ell)$:

$$P(k, \ell) = F(k) X(i, j)_{k, \ell}, \quad (4.10)$$

де $P(k, \ell)$ – проміжний масив розмірності $q_\ell \times q_c$;

2) на другому проході виконується одномірне ДКП для рядків проміжного масиву $P(k, \ell)$:

$$H(k, \ell) = P(k, \ell) F^T(\ell). \quad (4.11)$$

В результаті чого утворюється необхідна трансформанта.

Третій етап полягає в проведенні корекції компонент трансформант відповідно до фактора втрати якості.

На четвертому етапі отримується лінеаризоване подання трансформанти з подальшим виділенням вектора двокомпонентних кортежів.

Кодування низькочастотної DC-компоненти проводиться на п'ятому етапі процесу обробки [70, 195; 196].

Низькочастотна компонента обробляється окремо від інших AC-компонент трансформанти. Дана обробка проводиться з урахуванням незначної зміни когерентності між сусідніми сегментами зображення. В цьому випадку кодування полягає в тому, що поточна DC-компонента $c_{1,r}$ для r -ої трансформанти представляється у вигляді різниці щодо значення компоненти $c_{1,r-1}$ попередньої $(r-1)$ -ї трансформанти [30; 193; 194]:

$$c'_{1,r} = c_{1,r} - c_{1,r-1}, \quad (4.12)$$

де $c'_{1,r}$ – значення різниці між низькочастотними компонентами $c_{1,r}$ та $c_{1,r-1}$.

Перетворення, задане формулою (4.12) дозволяє скоротити діапазон низькочастотних компонент, а, отже, використовувати для їх кодового подання потенційно меншу кількість двійкових розрядів. Дійсно, низькочастотні компоненти, для сусідніх трансформант, змінюються не значно. Тобто виконуватиметься умова:

$$c'_{1,r} < c_{1,r} \text{ і } c'_{1,r} < c_{1,r-1}.$$

Звідси розрядність різниці $c'_{1,r}$ між сусідніми DC-компонентами буде меншою розрядності вихідних DC-компонент $c_{1,r}$ та $c_{1,r-1}$:

$$V(c'_{1,r}) < V(c_{1,r}).$$

де $V(c'_{1,r})$, $V(c_{1,r})$ – кількість двійкових розрядів, яке витрачається відповідно на кодове подання DC-компонент $c'_{1,r}$ та $c_{1,r}$.

Згідно з рекомендаціями технології JPEG, низькочастотні компоненти, представлені в диференційному вигляді, кодуються двома кодовими частинами $[e(c'_{1,r})]_2$ та $[\mu(c'_{1,r})]_2$. Перша складова $[e(c'_{1,r})]_2$ є основною складовою двійкового коду $[c'_{1,r}]_2$ диференційного представлення DC-компоненти $c'_{1,r}$.

Основний код – це статистичний префіксний код довжиною $V(e_{1,r})$ біт.

Друга складова являє собою додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$. Додатковий код – це додаткові біти, які формуються з молодших розрядів значення різниці $c'_{1,r}$, записані в двійковому вигляді. Довжина додаткового коду дорівнює $V(\mu_{1,r})$ біт.

Тоді двійковий код $[c'_{1,r}]_2$ для різницевого подання DC-компоненти $c'_{1,r}$ визначається на основі виразу:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; [\mu(c'_{1,r})]_2\}.$$

У цій формулі: $[e(c'_{1,r})]_2$ – основна складова двійкового коду $[c'_{1,r}]_2$; $[\mu(c'_{1,r})]_2$ – додаткова складова двійкового коду $[c'_{1,r}]_2$.

Схема кодограми DC-компоненти, наведена на рис. 4.4.

Відповідно, довжина $V(c'_{1,r})$ кодового подання компоненти $c'_{1,r}$ дорівнює:

$$V(c'_{1,r}) = V(e_{1,r}) + V(\mu_{1,r}) \text{ (біт)}.$$

Основний код $[e(c'_{1,r})]_2$ утворюється шляхом виконання двох етапів обробки [31].

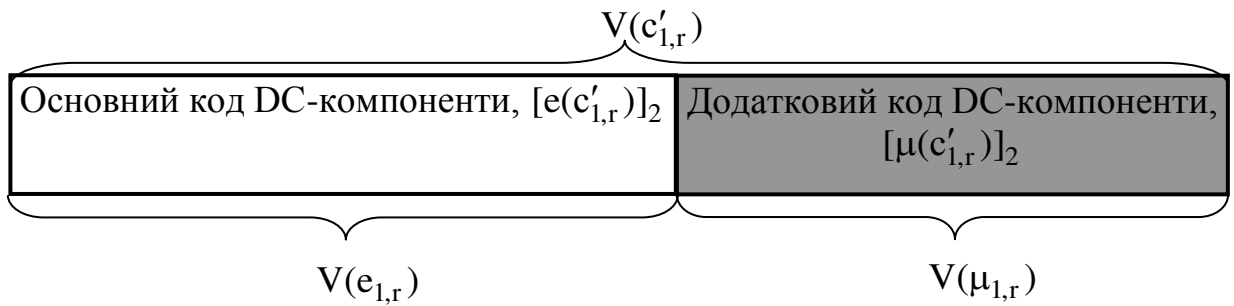


Рисунок 4.4 – Структура кодограми низькочастотної компоненти

На першому етапі визначається категорія ξ , відповідна діапазону значення різниці $c'_{1,r}$. Для цього використовується табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Категорії кодування DC компонент

Діапазон значень DC компонент		Коди розрядності (категорія) для різниці DC компонент
Негативний діапазон	Позитивний діапазон	$\xi = \overline{0; 16}$
$[-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}]$	$[2^{\xi-1}; -2^\xi - 1]$	ξ

У табл. 4.1 прийняті такі позначення: $[-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}]$ – негативний діапазон значення DC компонент, відповідний ξ -ій категорії; $[2^{\xi-1}; -2^\xi - 1]$ – позитивний діапазон значення DC компонент, відповідний ξ -ій категорії; ξ – номер категорії; $\xi = \overline{0; 16}$ – значення категорії від 0 до 16 біт.

Другий етап полягає в тому, що на основі визначення категорії ξ та, використовуючи дані табл. 4.2, здійснюється вибір відповідного статистичного коду $[e(c'_{1,r})]_2$. При цьому основний код $[e(c'_{1,r})]_2$ вказує тільки на порядок різниці. Тому для безпомилкового декодування на приймальній стороні вводиться додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$, уточнюючий категорію до точного значення різниці.

Значення різниці $c'_{1,r}$ може перебувати в одному з діапазонів:

$$c'_{1,r} \in [-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}] \text{ або } c'_{1,r} \in [2^{\xi-1}; -2^\xi - 1].$$

Якщо величина $c'_{1,r}$ належить діапазону $[-2^\xi + 1; -2^{\xi-1}]$, тобто знаходиться в області негативних чисел, то:

1) показчик знака величини $c'_{1,r}$ дорівнює $z = 1$;

Таблиця 4.2 – Стандартні коди для низькочастотних DC компонент

Категорія кодування DC-компонент	Основний двійковий код	Довжина додаткового коду	Довжина коду значення різниці компоненти $c'_{1,r}$
ξ	$[e(c'_{1,r})]_2$	$V(\mu_{1,r})$	$V(c'_{1,r})$
0	010	0	3
1	011	1	4
2	100	2	5
3	00	3	5
4	101	4	7
5	110	5	8
6	1110	6	10
7	11110	7	12
8	111110	8	14
9	1111110	9	16
A	11111110	10	18
B	111111110	11	20

2) від додаткового коду $[\mu(c'_{1,r})]_2$ віднімається одиниця:

$$[\mu(c'_{1,r})]_2 := [\mu(c'_{1,r})]_2 - 1.$$

Навпаки коли значення величини $c'_{1,r}$ належить області позитивних значень, тобто $c'_{1,r} \in [2^{\xi-1}; -2^{\xi} - 1]$, то:

- 1) показчик знака величини $c'_{1,r}$ дорівнює $z = 0$;
- 2) додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$ залишається без зміни.

Розглянемо приклад обробки низькочастотної компоненти. Вихіді дані:

- 1) значення DC-компоненти попередньої трансформанти, $c_{1,r-1} = -17$;
- 2) лінеаризована трансформанта:

$$Y_m = [-26 \ -3 \ 1 \ -3 \ -2 \ -6 \ 2 \ -4 \ 1 \ -4 \ 1 \ 1 \ 5 \ 0 \ 2 \ 0 \ 0 \ -1 \ 2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -1 \ -1 \ \text{КБ}],$$

де КБ – кінець блоку.

Для даного прикладу DC-компонента дорівнює $c_{1,r} = 26$. Згідно формули (4.12), отримаємо значення величини $c'_{1,r}$:

$$c'_{1,r} = c_{1,r} - c_{1,r-1} = -26 - (-17) = -9.$$

Відповідно до табл. 4.1, помічаємо, що величина $c'_{1,r} = -9$ потрапляє в негативний діапазон з категорією $\xi = 4$. Використовуючи табл. 4.2, отримуємо трьохбітний ($V(e_{1,r}) = 3$) основний код:

$$[e(c'_{1,r})]_2 = \{1; 0; 1\}.$$

Довжина $V(c'_{1,r})$ кодового подання величини $c'_{1,r}$ для категорії $\xi = 4$ становить 7 біт:

$$V(c'_{1,r}) = V(e_{1,r}) + V(\mu_{1,r}) = 3 + 4 \text{ (біт)}.$$

Після утворення основної складової коду результуюча кодограма матиме такий вигляд:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; _ : _ ; _ ; _ \} = \{1; 0; 1; _ : _ ; _ ; _ \}.$$

Молодші розряди, тобто додатковий код, формуємо на основі молодших розрядів різниці:

$$[\mu(c'_{1,r})]_2 = \{0; 1; 1; 1\}.$$

Причому, оскільки різниця негативна, то $z = 1$ та

$$[\mu(c'_{1,r})]_2 := [\mu(c'_{1,r})]_2 - 1 = \{0; 1; 1; 0\}.$$

В результаті отримаємо таку кодограму для DC-компоненти:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; [\mu(c'_{1,r})]_2 - 1\} = \{1; 0; 1; 0; 1; 1; 0\}.$$

Розглянемо блок етапів, пов'язаних з інтеграцією кодека для усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Даний блок є основним для кодування трансформованих сегментів у частотно-спектральній області на основі усунення психовізуальної, структурної та статистичної надмірності.

Розглянемо, як впливають особливості кодового подання усіченого вектора на виконання вимог до систем компресії.

Перша особливість полягає в тому, що кількість кортежів $n_{\text{крт}}$ є змінною. У загальному випадку величина $n_{\text{крт}}$ залежить від:

- сукупності $\Omega_{\text{сег}}$ статистичних, структурних властивостей для сегмента зображення;
- фактора f втрати якості в процесі квантування компонент трансформанти.

Характер такої залежності можна умовно задати деяким функціоналом $\varphi_{\text{крт}}$:

$$n_{\text{крт}} = \varphi_{\text{крт}}(\Omega_{\text{сег}}; f) = \text{var}.$$

Однак конкретний математичний опис даного функціоналу $\varphi_{\text{крт}}$ невідомий. Значить, кількість $n_{\text{крт}}$ кортежів є заздалегідь невизначеною величиною.

У той самий час від кількості кортежів в усіченому векторі залежить значення коду $E(P')$ і довжина кодограми $V(P')_{\text{comp}}$. У результаті їх значення також будуть змінними:

$$E(P') \sim n_{\text{крт}} = \text{var}; V(P')_{\text{comp}} \sim E(P') \sim n_{\text{крт}} = \text{var}. \quad (4.13)$$

При цьому довжина машинного слова та інформаційної частини пакету обмежені, наприклад, величиною V_{max} . Тому можуть виникнути ситуації, пов'язані:

- з переповненням машинного і кодового слова, встановленої довжини V_{max} :

$$V(P')_{\text{comp}} > V_{\text{max}}, \quad (4.14)$$

що призводить до неконтрольованих втрат інформації. Якщо врахувати, що вектор двокомпонентних кортежів несе в собі структурну інформацію про лінеаризовану трансформанту, то навіть незначні спотворення призведуть до лавинного ефекту щодо розмноження спотворень;

- з появою кількості кодової надмірності, обумовленої неповним завантаженням кодового (машинного) слова:

$$V(P')_{\text{comp}} \lll V_{\text{max}}. \quad (4.15)$$

Для таких варіантів буде відбуватися втрата ступеня компресії і підвищення бітової швидкості обробленого потоку відеокадрів.

Тому в процесі інтеграції кодека для вектора необхідно виключити такі ситуації (задані виразами (4.14) та (4.15)).

Для цього пропонується контролювати довжину кодограми $V(P')_{\text{comp}}$ для усіченого вектора на основі таких підходів:

1. Використання принципу формування кодограм рівномірної довжини, коли формується не одна, а кілька кодограм однакової довжини. Але при декодуванні виникають такі недоліки:

а) потрібно використовувати додаткову інформацію про кількість кодограм;

б) для останньої кодограми буде існувати значна кількість кодової надмірності. Це обумовлено неоптимальністю вибору довжини і кількості кодограм. В іншому випадку довелося б додатково передавати інформацію не тільки про кількість кодограм, але і про довжину кожної кодограми.

2. Використання однієї нерівномірної кодограми нерівномірної довжини, але з можливістю визначення її довжини. Але такий підхід має істотні недоліки. Якщо кількість кортежів може перевищувати 8 ($n_{\text{крт}} > 8$), то довжина $V(P')$ кодограми перевищує 64 біта ($V(P') > 64$). В результаті формується кодограма, довжина якої буде перевищувати довжину машинного слова, що неминуче призводить до втрати інформації.

Для виключення такого недоліку пропонується вводити обмеження на максимальну довжину кодограми. В результаті, можуть утворюватися кілька Ψ кодограм, включаючи одну або декілька кодограм заданої довжини V_{max} і

одну кодограму змінної довжини $V(P')_{\Psi}$. Тут Ψ – кількість кодограм, які утворюються для усіченого вектора. Якщо $\Psi=1$, то для усіченого вектора формується одна кодограма нерівномірної довжини. Якщо $\Psi=2$, то для усіченого вектора формується дві кодограми, одна з яких має встановлену довжину V_{\max} , а інша – нерівномірну довжину [197 – 201].

Такий принцип побудови кодограм називається формуванням нерівномірних кодограм з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонент і змінної довжини вектора двокомпонентних кортежів.

У той самий час такий принцип кодоутворення передбачає використання службової інформації, що забезпечує в процесі декодування визначення кількості Ψ кодограм і довжину нерівномірної кодограми.

Для визначення необхідної службової інформації розглянемо механізм формування кодограм. Згідно властивостей позиційного подання, верхньою межею для значення коду $E(A)_{v_{\Psi}}$, отриманого для УПЧ довжиною v_{Ψ} , є величина $W^{(v_{\Psi})}$, що дорівнює добутку основ $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ його елементів:

$$E(A)_{v_{\Psi}} < (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{v_{\Psi}}, \quad (4.16)$$

де $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ – основа елемента укрупненого позиційного числа (УПЧ); $v_{\Psi} = \overline{1, \Psi}$.

Якщо $\Psi = 1$, то будується одна кодограма нерівномірної довжини для всього усіченого вектора, який містить $(n_{\text{крт}} - 2)$ кортежів. Довжина кодограми дорівнює:

$$V(P')_1 = [\log_2 W^{(v_1)}] + 1 = [\log_2 W^{(n_{\text{крт}} - 2)}] + 1. \quad (4.17)$$

Якщо $\Psi \geq 2$, то кодограми будуються за змішаним принципом. Кількість v_Ψ кортежів для побудови кодограм із заданою обмеженою довжиною V_{\max} визначається за принципом виконання нерівності:

$$[\log_2 W^{(v_\Psi)}] + 1 \leq V_{\max}. \quad (4.18)$$

Це забезпечить виключення варіантів переповнення кодового слова.

Тоді кількість v_Ψ кортежів, які беруть участь в побудові кодограми нерівномірної довжини, дорівнює:

$$v_\Psi = (n_{\text{крт}} - 2) - \sum_{\xi=1}^{\Psi-1} v_\xi. \quad (4.19)$$

Відповідно довжина нерівномірної кодограми обчислюється з умови:

$$V(P')_\Psi = [\log_2 W^{(v_\Psi)}] + 1. \quad (4.20)$$

Аналіз співвідношень (4.17) – (4.20) свідчить, що необхідною інформацією є значення кількості $n_{\text{крт}}$ кортежів. Отже, в якості службової інформації, необхідної для інсталяції кодограм комбінованої довжини, є кількість $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів.

Блок-схема технології розподілу кортежів по кодограмі в комбінованому режимі їх побудови на основі використання інформації про кількість елементів наведена на рис. 4.5.

На першому кроці проводиться установка початкових значень поточної кількості оброблюваних кортежів $\gamma=1$, кількості кортежів, для яких формується поточна кодограма $v_\Psi=0$ та поточне значення накопиченого добутку основ $W^{(\gamma)} = \lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$.

Другий крок пов'язаний з перевіркою $[\log_2 W^{(\gamma)}] + 1 < V_{\max}$ на можливість завершення відбору кількості кортежів для формування кодограми встановленої довжини V_{\max} . Якщо нерівність виконується і в усіченому векторі є ще необроблений останній кортеж, тобто виконується умова:

$$(\gamma + \sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi}) < (n_{\text{крт}} - 2),$$

то проводиться додавання чергового кортежу. Для чого кількість кортежів збільшується на 1, $\gamma := \gamma + 1$ та обчислюється накопичений добуток

$W^{(\gamma)} = \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\gamma)}$, де $(\gamma + \sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi})$ - кількість оброблених кортежів з

урахуванням кількості $\sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi}$ кортежів, відібраних для попередніх Ψ кодограм.

Якщо нерівність $[\log_2 W^{(\gamma)}] + 1 < V_{\max}$ не виконується, то поточна кількість кортежів є результуючим для формування поточної кодограми: $v_{\Psi} := \gamma$.

Після чого проводиться перевірка нерівності на наявність ще необроблених кортежів, тобто:

$$\sum_{\xi=1}^{\Psi} v_{\xi} < (n_{\text{крт}} - 2).$$

Якщо нерівність виконується, то здійснюється відбір кількості кортежів для формування чергової кодограми. Для цього проводиться перехід на крок 1. В іншому випадку, якщо нерівність не виконується, то всі кортежі оброблені, а отже, завершений процес розподілу кількості кортежів по кодограмам.

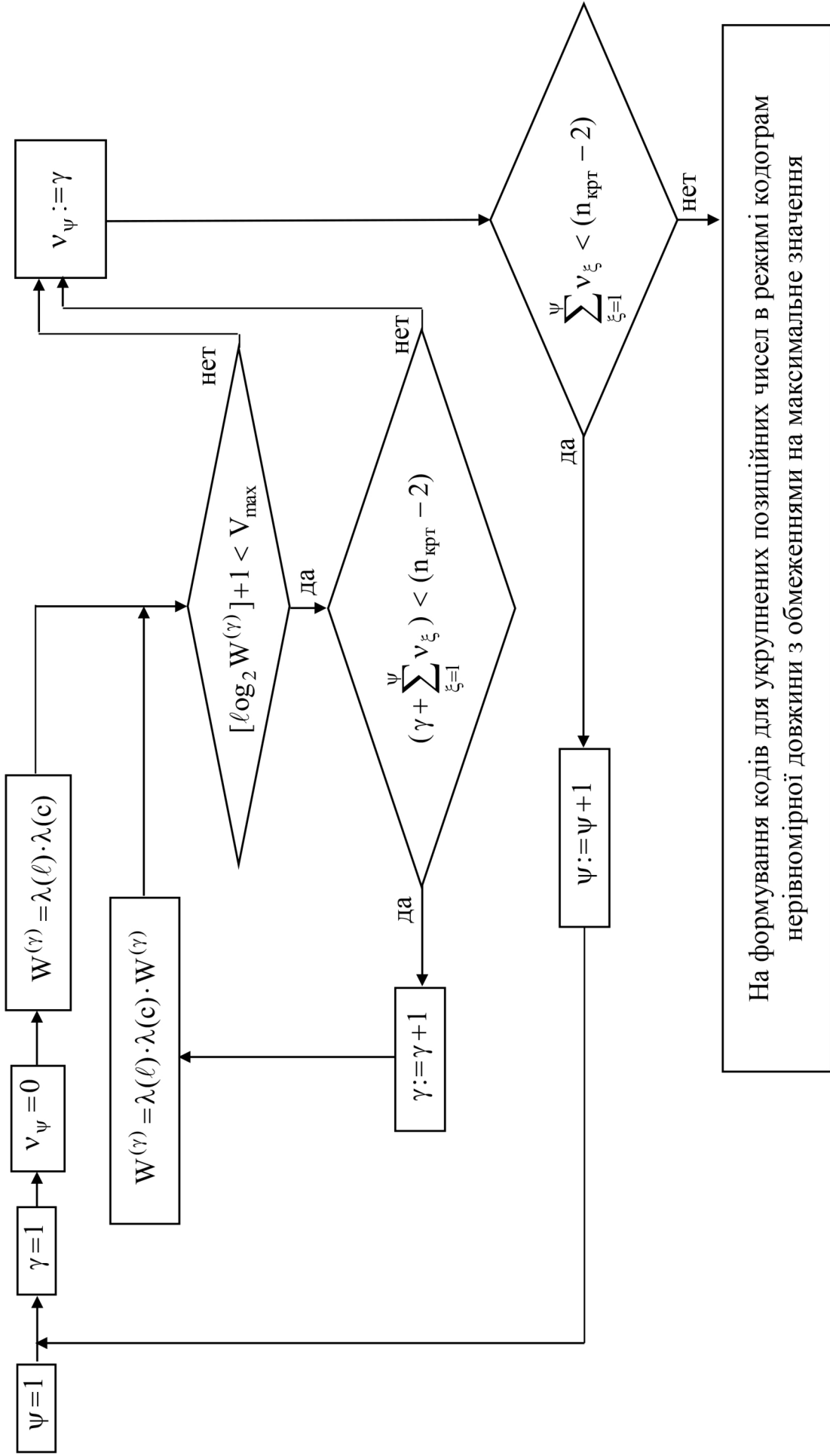


Рис. 4.5. Схема технології розподілу елементів укрупненого позиційного числа за кодограмами

В результаті такої технології формується послідовності, які включають кодограми, що мають заздалегідь встановлену довжину V_{\max} та кодограми нерівномірної довжини $V(P')_{\Psi}$:

$$\{\underbrace{V_{\max}, \dots, V_{\max}, \dots, V_{\max}}_{\Psi-1}, V(P')_{\Psi}\}.$$

При цьому, в загальному випадку, кількість кортежів розподіляються по кодограмам нерівномірно:

$$v_1 \neq \dots \neq v_{\Psi} \neq \dots \neq v_{\Psi}.$$

Структура кодової конструкції для обробленого представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів, що включають службові та інформаційні частини, наведена на рис. 4.6. Відповідно службова частина кодової конструкції містить кодові поля з інформацією про кількість $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів, про заснування $\lambda(\ell)$ компонент довжин ланцюжків нульових компонент і основи $\lambda(c)$ значущих компонент.

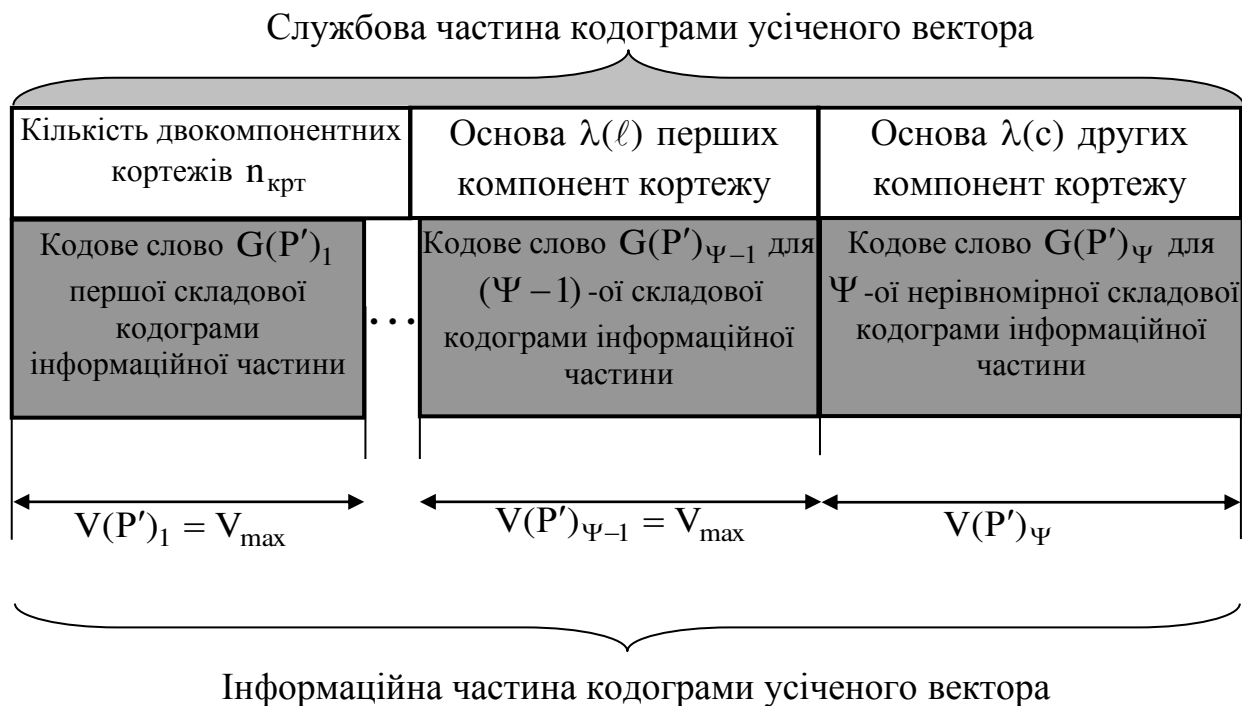


Рисунок 4.6 – Структура кодограми обробленого представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів

В інформаційній частині такої конструкції міститься Ψ кодівих слів $G(P')_{\Psi}$ з інформацією про кодіві значеннях $E(A)_{v_{\Psi}}$ для складових усіченого вектора.

Значить, другою особливістю процесу інтеграції кодека для усічених векторів двокомпонентних кортежів є формування кодівих складових $E(A)_{v_{\Psi}}$ в умовах формування кодограм за комбінованим принципом. Обчислення кодівих складових $E(A)_{v_{\Psi}}$ пропонується організувати за рекурентною схемою. Така обробка забезпечить обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмам, який формується за комбінованим принципом для встановленого обмеження V_{max} .

Блок-схема процесу обчислення кодової складової $E(A)_{v_{\Psi}}$ для відібраної змінної кількості двокомпонентних кортежів розгляднута на рис. 4.7. У процесі

кодування укрупнених позиційних чисел враховується дворівневий принцип обробки.

На першому рівні кодування усічених векторів формуються коди для окремих двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)}$, тобто $E(\Theta_\alpha^{(2)}) = (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha)$. Після чого проводиться розподіл кількості кодів чисел (двокомпонентних кортежів) для формування кодових складових $E(A)_{v_\psi}$ та формування відповідних кодограм $G(P')_\psi$. В цьому випадку якщо на α -му кроці виконується нерівність

$$[\log_2 \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\alpha-1)}] + 1 < V_{\max}, \quad (4.21)$$

то поточне значення $E(A)_\alpha$ для ψ -ої кодової складової дорівнює:

$$E(A)_\alpha = E(\Theta_\alpha^{(2)}) \cdot W(A^{(\alpha)}) + \sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_\gamma^{(2)}) W(A^{(\gamma)}), \quad (4.22)$$

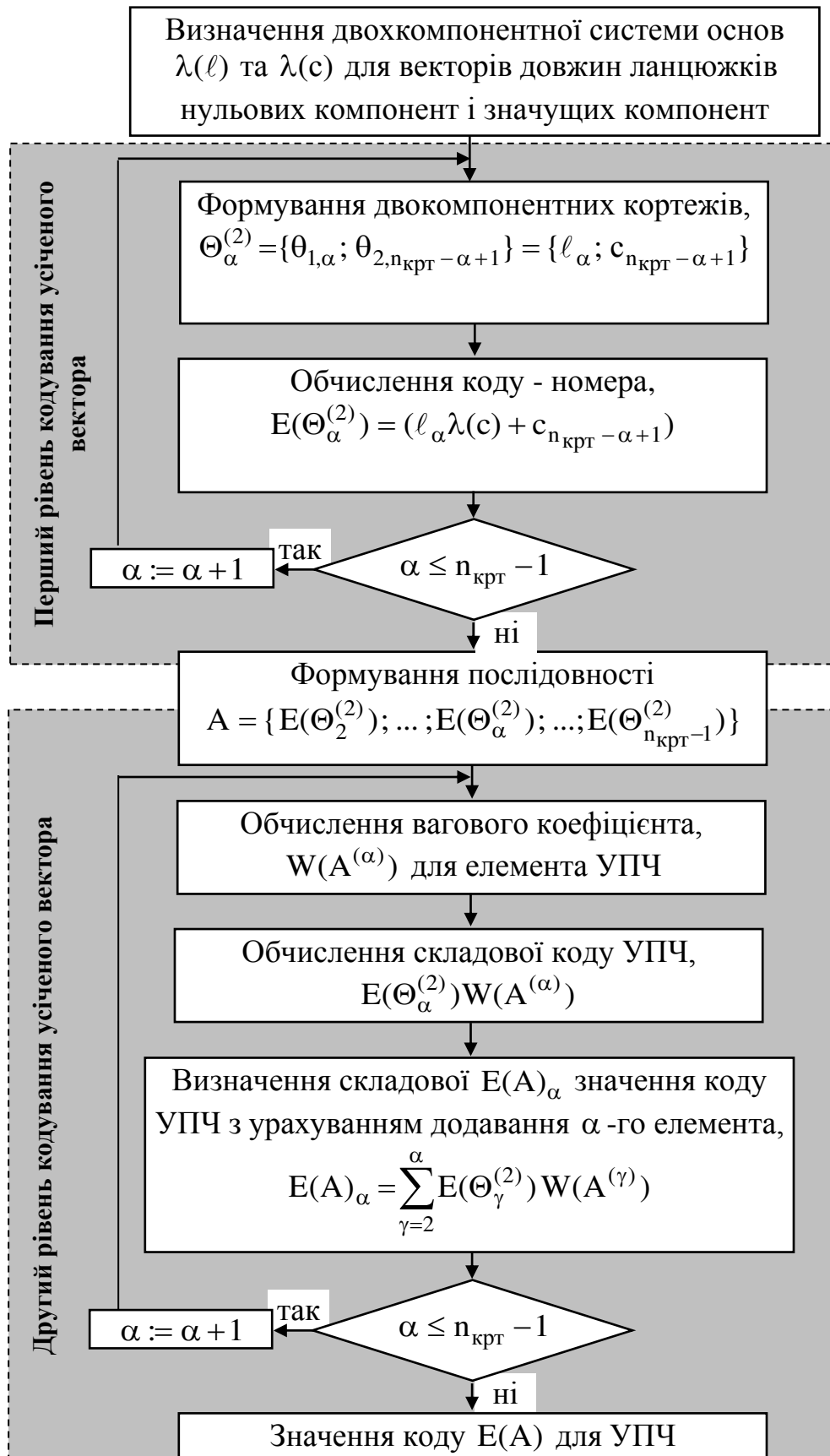


Рисунок 4.7 – Блок-схема формування коду для усіченого вектора за дворівневою схемою

де $\sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_{\gamma}^{(2)}) W(A^{(\gamma)})$ – значення кодової складової, отриманої для

кортежів; $E(A)_{\alpha}$ – значення кодової складової з урахуванням додавання α -го коду $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ числа.

Якщо на α -му кроці нерівність (4.21) не виконується, то процес відбору кількості кортежів та обчислення кодової складової вважається закінченим. У результаті чого кількість кортежів для ψ -ої кодової складової дорівнюватиме $v_{\psi} = \alpha - 1$, а відповідне значення величини $E(A)_{v_{\psi}}$ визначається як:

$$E(A)_{v_{\psi}} = E(A)_{\alpha-1} = \sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_{\gamma}^{(2)}) W(A^{(\gamma)}). \quad (4.23)$$

Якщо виконується нерівність

$$\left(\alpha + \sum_{\xi=1}^{\psi} v_{\xi}\right) > (n_{\text{крт}} - 2),$$

то кількість необроблених кортежів відсутня, а значення кодової складової визначається за формулою (4.23) для $\psi = \Psi$.

Для варіанту, коли одночасно виконуються нерівності

$$[\log_2 \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\alpha-1)}] + 1 > V_{\max} \quad \text{і} \quad \sum_{\xi=1}^{\psi} v_{\xi} < (n_{\text{крт}} - 2),$$

то α -ий кортеж (код числа) є першим елементом $(\psi + 1)$ -го кодового значення. Відповідно, будується нова кодограмм $G(P')_{\psi+1}$.

Кодування, задане виразами (4.21) – (4.23) забезпечує без втрати інформації та без внесення кодової надмірності формування кодових складових

для усічених векторів в умовах дворівневої обробки і побудови кодограм за комбінованим принципом.

В результаті рекурентної обробки формується послідовність кодів для УПЧ в режимі побудови кодограми по комбінованому принципу з обмеженням на максимальне значення рівне V_{\max} :

$$\{E(A)_{v_1}, \dots, E(A)_{v_\psi}, \dots, E(A)_{v_{\psi-1}}, E(A)_{v_\psi}\},$$

де $E(A)_{v_\psi}$ – значення коду для ψ -ої складової УПЧ, яке має довжину v_ψ .

Розроблений метод обробки сегментів дозволяє сформувати кодові конструкції їх подання (рис. 4.8).

Довжина V_c кодової конструкції обробленого представлення сегмента визначається за таким співвідношенням:

$$V_c = V(\tilde{P}')_{\text{comp}} + V(n_{\text{крт}}) + V(\lambda) + V(f) + V_{\text{DC}} + V_{\text{мз}}, \quad (4.24)$$

де $V(\tilde{P}')_{\text{comp}}$ – довжина інформаційної частини кодограми обробленого подання усіченого вектора двокomпонентних кортежів;

$V(n_{\text{крт}})$ – довжина коду, що містить інформацію про кількість кортежів утворених для лінеаризованої трансформанти;

$V(\lambda)$ – кількість біт на подання основ $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ компонент кортежу.

Для $n=8$ $V(\lambda) = 6 + 8$ біт;

$V(f)$ – кількість біт на подання значення фактора f втрати якості;

V_{DC} – довжина статистичного коду низькочастотної DC-компоненти;

$V_{\text{мз}}$ – оброблене подання матриці знаків.

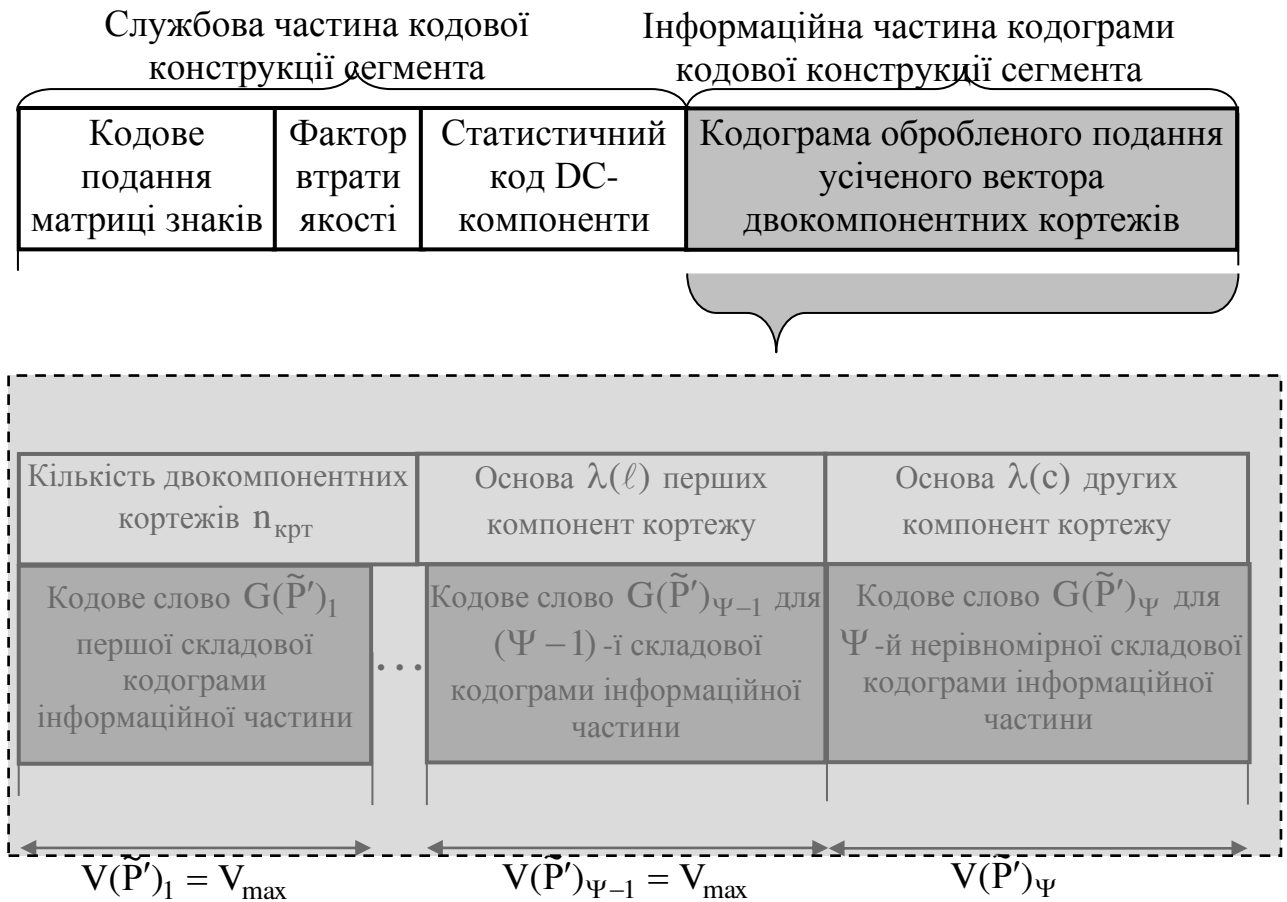


Рисунок 4.8 – Структура кодової конструкції обробленого подання сегмента зображення

Відповідно, довжина $V(\tilde{P}')_{\text{comp}}$ інформаційної частини кодової конструкції обробленого подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів дорівнює:

$$V(\tilde{P}')_{\text{comp}} = (\Psi - 1) \cdot V_{\text{max}} + V(\tilde{P}')_{\Psi} \text{ (Біт)}. \quad (4.25)$$

де $(\Psi - 1)$ – кількість кодівих складових на оброблене подання усіченого вектора, довжина яких дорівнює максимальному допустимому значенню V_{max} ; $V(\tilde{P}')_{\Psi}$ – довжина нерівномірної складової обробленого представлення усіченого вектора.

4.3. Розробка методу обробки сегментів зображень на основі дворівневої позиційної реконструкції трансформант

Основні вимоги до методу реконструкції оброблених зображень [185; 186]:

- уникнути неконтрольованих втрат інформації;
- забезпечити відновлення зображень з необхідною якістю візуального сприйняття на основі використання тільки тієї службової інформації, яка формується в процесі компресії;
- організувати реконструкцію зображень, використовуючи кількість операцій, що не перевищує кількості операцій, які витрачаються на компресію.

Структурно-функціональна схема методу реконструкції зображень, яка враховує дані вимоги, наведена на рис. 4.9.

Основними особливостями процесу компресії послідовності кадрів є такі [202]:

- 1) формування заздалегідь невідомої кількості кодограм комбінованого типу, а саме, перший тип – з обмеженою заздалегідь встановленою довжиною, другий тип - нерівномірної заздалегідь невідомої довжини;
- 2) кодове подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів формується як код укрупненого позиційного числа за дворівневою схемою;
- 3) кодове значення формується для змінної довжини складової укрупненого позиційного числа;
- 4) двокомпонентні кортежі кодуються як двоелементне число.

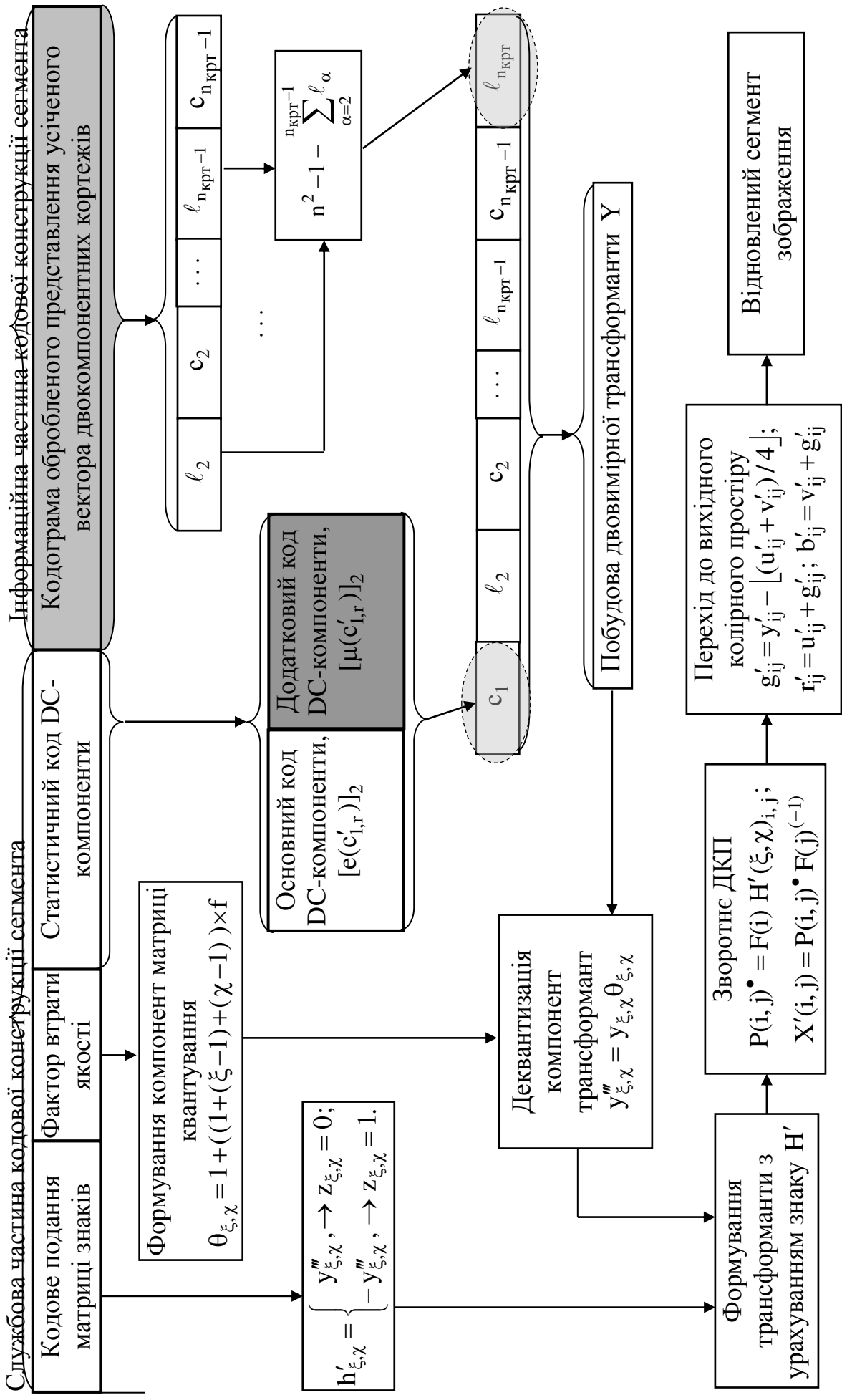


Рисунок 4.9 – Структурно-функціональна схема процесу реконструкції усіченого вектора двокомпонентних кортежів

5) лінеаризована трансформанта подається в композиційному вигляді на основі вектора двокомпонентних кортежів, що містять довжину ланцюжка нульових компонент і значущу компоненту;

6) обробка компонент трансформант здійснюється з урахуванням корекції їх значень під особливості зорового сприйняття зображень.

Згідно зі схемою методу, наведеного на рис. 4.9, на першому етапі процесу відновлення інсталюється кодова конструкція. Для уникнення неконтрольованих втрат інформації потрібно [32]:

- ідентифікувати у всьому відеопотоці службову й інформаційну частини кодової конструкції обробленого подання поточного сегмента зображення;

- визначити змінну кількість Ψ кодограм, сформованих для кодового подання усіченого вектора двокомпонентних кортежів, та довжину $V(\tilde{P}')_{\Psi}$ нерівномірної кодограми.

На першому етапі інсталяції кодової конструкції виділяється службова частина, враховуючи такі особливості побудови кодових слів службової частини (див. рис. 4.9):

- кодове подання для матриці знаків формується як для двійкової послідовності заздалегідь заданої довжини. Це дозволяє заздалегідь знати інформацію про довжину кодового слова на оброблене подання матриці знаків;

- кількість розрядів на подання значення фактора втрати якості є постійною величиною, яка враховує обмежену кількість режимів, в які встановлюється процес квантування;

- довжина кодового слова під DC-компоненту визначається на базі використання статичних таблиць, які відомі як на передавальній, так і на приймальній сторонах.

Дані властивості службової частини забезпечують визначення початкової позиції інформаційної частини кодової конструкції обробленого подання сегмента зображення.

Після чого проводиться другий етап інсталяції кодової конструкції. Схема декомпозиції інформаційної частини кодової конструкції наведена на рис. 4.10.

Інформаційна частина кодової конструкції сегмента зображення являє собою кодограми для усіченого вектора двокомпонентних кортежів. Така кодограма містить службову й інформаційну частини. Службова частина кодограма формується на базі таких кодових полів (рис. 4.10) [207]:

1) кодове поле, що містить інформацію кількості $n_{\text{крт}}$ двокомпонентних кортежів;

2) кодове поле, що містить інформацію про основи $\lambda(\ell)$ перших компонент кортежу;

3) кодове поле, що містить інформацію про основи $\lambda(c)$ других компонент кортежу.

Для відомого розміру n сегмента зображення довжини кодових полів є відомими на приймальній стороні без використання додаткової інформації. Наприклад, якщо $n = 8$, то довжини кодових полів службової частини вибираються з таких принципів:

- максимальна кількість кортежів для усіченого вектора дорівнюватиме $n_{\text{крт}} \leq 62$. Тому довжина кодового поля вибирається рівного 6 біт;

- максимальна довжина ланцюжка нульових компонент не перевищуватиме $\ell_{\text{max}} \leq 63$. Звідси довжина відповідного кодового поля дорівнюватиме 6 біт;

- максимальне значення значущої компоненти, виключаючи DC-компоненту, вміщуватиметься в 8-бітну послідовність. Відповідно кодове поле під подання основи вибирається рівним 8 біт.

Це дозволяє достовірно встановити початкову позицію інформаційної частини кодограми, що містить інформацію про кодове подання усіченого вектора.

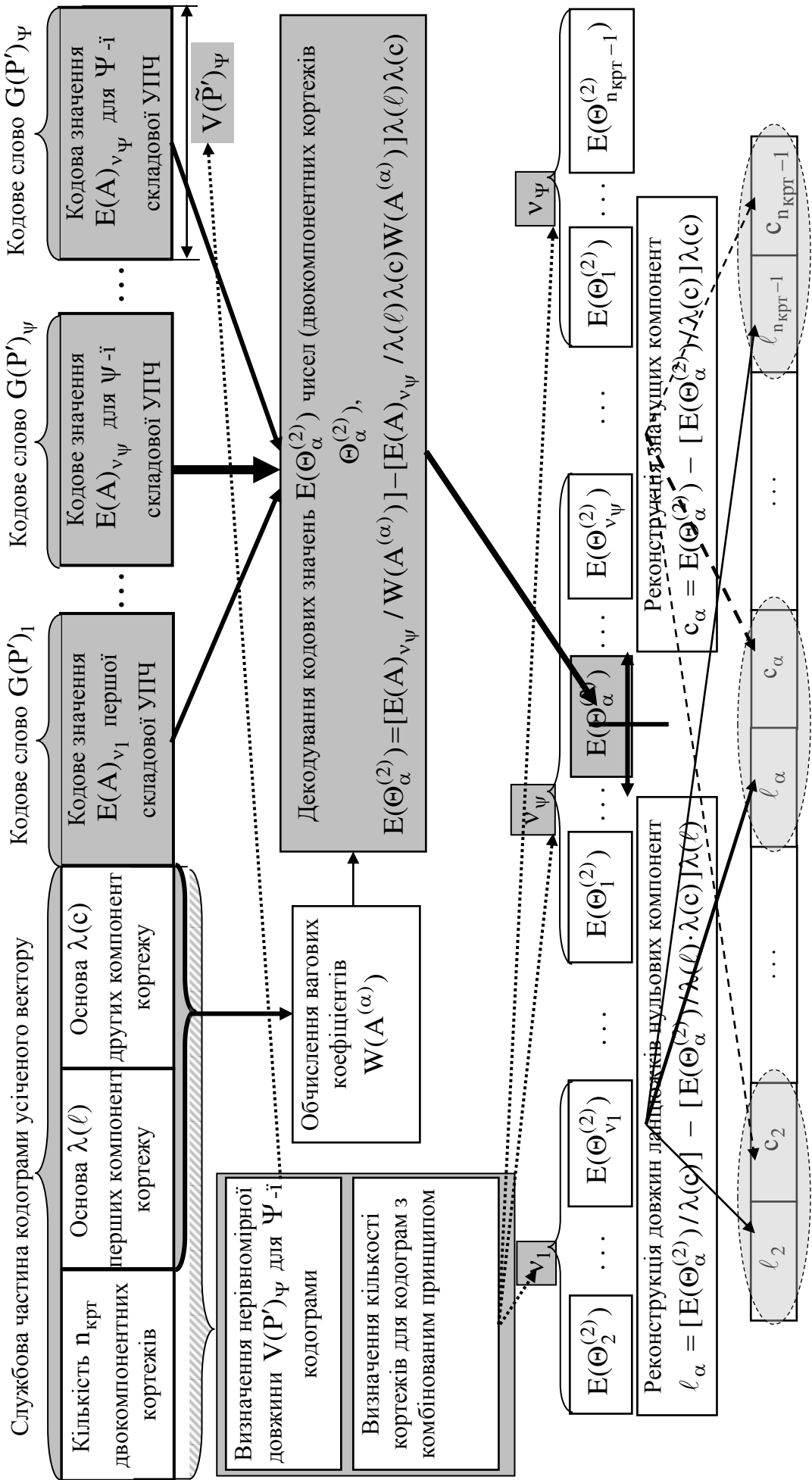


Рисунок 4.10 – Структурно-функціональна схема процесу реконструкції усіченого вектора двокомпонентних кортежів

Декомпозиція інформаційної частини кодограми, містить в собі змінну кількість кодових слів $G(P')_{\Psi}$, які несуть інформацію про кодове значення $E(A)_{v_{\Psi}}$ складової укрупненого позиційного числа. Тому ключовим етапом декомпозиції є визначення:

- 1) кількості Ψ кодових слів;
- 2) нерівномірної довжини $V(P')_{\Psi}$ для Ψ -й кодограми.

Дана інформація визначається з використанням такої інформації:

- основи $\lambda(\ell)$ та $\lambda(c)$ відповідно для довжин ланцюжків нульових компонент і значущих компонент лінеаризованої трансформанти (передається в складі кодової конструкції);

- про встановлену максимальну довжину V_{\max} кодограми (така інформація відома на передавальній і приймальній сторонах).

Знаючи цю інформацію і використовуючи технологію нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмам (див. рис. 4.5), забезпечується знаходження відповідної послідовності:

$$\Psi; \{v_1; \dots; v_{\Psi}; \dots; v_{\Psi}\}.$$

На цій основі визначається і довжина $V(P')_{\Psi}$ для Ψ -ої нерівномірної кодограми:

$$V(P')_{\Psi} = [\log_2 W^{(v_{\Psi})}] + 1 = [\log_2 (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{v_{\Psi}}] + 1.$$

Далі здійснюється вилучення кодових слів $G(P')_{\Psi}$ та декодування відповідних кодових значень $E(A)_{v_{\Psi}}$. Тут необхідно враховувати, що процес декодування проводиться за дворівневою схемою (рис. 4.11), а елементами укрупнених позиційних чисел є кодові значення $E(\Theta_{\alpha}^{(2)})$ двоелементних чисел, утворених для відповідних кортежів $\Theta_{\alpha}^{(2)}$.

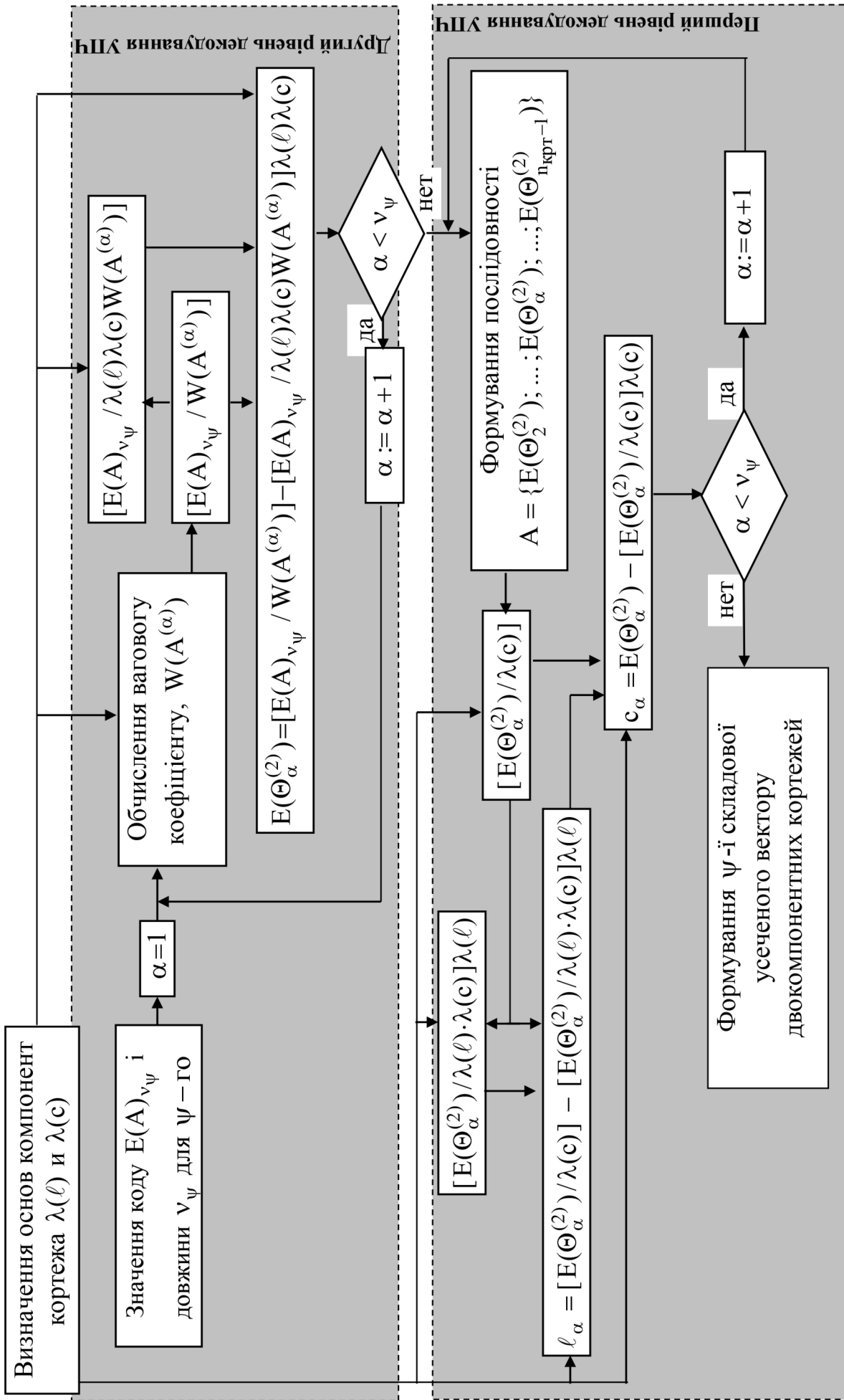


Рис. 4.11. Структурно-функціональна схема дворівневого декодування укрупнених позиційних чисел

Розглянемо верхній рівень декодування укрупнених позиційних чисел, на якому потрібно виконати такі кроки (на прикладі обробки коду $E(A)_{v_\Psi}$):

1. Обчислення вагового коефіцієнта $W(A^{(\alpha)})$ для α -го елемента УПЧ:

$$W(A^{(\alpha)}) = (\lambda(\ell)\lambda(c))^{v_\Psi - \alpha},$$

де v_Ψ – кількість кортежів, які беруть участь у формуванні коду $E(A)_{v_\Psi}$.

2. Відновлення значення коду $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ для числа, побудованого для кортежу $\Theta_\alpha^{(2)}$:

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) = [E(A)_{v_\Psi} / W(A^{(\alpha)})] - [E(A)_{v_\Psi} / \lambda(\ell)\lambda(c)W(A^{(\alpha)})] \lambda(\ell)\lambda(c).$$

3. Процес декодування на верхньому рівні закінчується, коли відновлений останній елемент $E(\Theta_{v_\Psi}^{(2)})$ для УПЧ. В результаті виходить укрупнене позиційне число $A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$.

Елементи $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ укрупненого позиційного числа є кодами відповідних двоелементних чисел.

Тому для реконструкції двокомпонентних кортежів $\Theta_\alpha^{(2)} = \{\ell_\alpha; c_\alpha\}$ потрібно провести декодування відповідних кодів чисел. Це реалізується на нижньому рівні загального процесу декодування кодів УПЧ шляхом виконання таких етапів:

1. Визначення компоненти $[E(\Theta_\alpha^{(2)}) / \lambda(c)]$.
2. На основі використання компоненти $[E(\Theta_\alpha^{(2)}) / \lambda(c)]$ визначення величини $[E(\Theta_\alpha^{(2)}) / \lambda(\ell) \cdot \lambda(c)] \lambda(\ell)$.
3. Відновлення першої компоненти ℓ_α кортежу, що здійснюється як отримання старшого елемента числа з основами, рівними $\lambda(\ell)$ і $\lambda(c)$:

$$\ell_{\alpha} = [E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(c)] - [E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)]\lambda(\ell).$$

4. Відновлення другої компоненти c_{α} (значущої компоненти) кортежу, як для молодшого елемента числа. Тоді, на основі відомої величини $[E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(c)]$, отримаємо:

$$c_{\alpha} = E(\Theta_{\alpha}^{(2)}) - [E(\Theta_{\alpha}^{(2)})/\lambda(c)]\lambda(c).$$

Аналогічно організовується відновлення інших компонент кортежів (див. рис. 4.10).

Результатом є усічений вектор P' двокомпонентних кортежів.

Як показано на рис. 4.9, наступним етапом процесу реконструкції сегмента зображення є відновлення повного вектора. Для цього необхідно отримати:

- 1) інформацію про довжину $\ell_{n_{\text{крт}}}$ останньої ланцюжка нульових компонент;
- 2) інформацію про низькочастотної компоненті c_1 трансформанти.

За умовою формування лінеаризованої трансформанти довжина останнього ланцюжка нульових компонент визначається на основі відомих довжин ланцюжків для усіченого вектора:

$$\ell_{n_{\text{крт}}} = n^2 - 1 - \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} \ell_{\alpha},$$

де $\sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} \ell_{\alpha}$ – сумарна кількість компонент, для якого формується усічений вектор.

Розглянемо реконструкцію DC-компоненти, використавши інформацію про склад кодограми низькочастотної компоненти, яка складається з двох частин – основного двійкового коду $[e(c'_{1,r})]_2$ та додаткового коду $[\mu(c'_{1,r})]_2$ [30]:

$$[c'_{1,r}]_2 = \{[e(c'_{1,r})]_2; [\mu(c'_{1,r})]_2\}.$$

Тому процес декодування DC-компоненти полягає у визначенні основного та додаткового двійкових кодових слів. Далі на основі використання статичних таблиць кодів отримується диференційне подання поточної низькочастотної компоненти.

Приклад. На приймальну сторону надійшло кодове слово $\{1;0;1;0;1;1;0\}$.

Декодер починає побітове сканування зліва направо, поки не виявить код. Це буде основний код $[e(c'_{1,r})]_2$, який дорівнює $[e(c'_{1,r})]_2 = \{1;0;1\}$.

Основний код $\{1,0,1\}$ знаходиться в категорії 4, тобто $\xi = 4$, і залишилися 4 біта – це додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$, тобто $[\mu(c'_{1,r})]_2 = \{0,1,1,0\}$.

За причини, що додатковий код $[\mu(c'_{1,r})]_2$ знаходиться в негативному діапазоні $-2^\xi + 1, \dots, -2^{\xi-1}$, то необхідно до додаткового коду додати 1, тобто $[\mu(c'_{1,r})]_2 := [\mu(c'_{1,r})]_2 + 1$.

Звідки отримаємо $[\mu(c'_{1,r})]_2 = \{0;1;1;1\}$.

З табл. 4.1 видно, що додатковий код $\{0;1;1;1\}$ уточнює категорію до точного значення різниці і відповідає значенню (-9).

Після отримання інформації про величину c_1 завершується процес формування вектора P двокомпонентних кортежів:

$$P = \{c_1; (\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1}); \ell_{n_{\text{крт}}}\}.$$

Блок подальших етапів процесу відновлення сегмента зображення полягає в зворотній трансфакції та отриманні сегментів для вихідної колірної моделі подання. Процес складається з таких етапів (див. рис. 4.9).

1. Побудова двовимірного подання трансформанти шляхом декомпонування вектора двокомпонентних кортежів в лінеаризовану трансформанту. Після чого по діагональному обходу утворюється двовимірний опис трансформанти Y .

2. Деквантизація компонент трансформанти у два кроки. На першому кроці за заданим значенням фактора втрати якості f формується матриця квантування:

$$\theta_{\xi, \chi} = 1 + ((1 + (\xi - 1) + (\chi - 1)) \times f).$$

На другому кроці з відомих елементів $\theta_{\xi, \chi}$ матриці квантування здійснюється деквантизація:

$$y''_{\xi, \chi} = y_{\xi, \chi} \theta_{\xi, \chi}.$$

В результаті утворюється проміжна трансформанта Y''' .

3. Завершення процесу відновлення трансформанти ДКП шляхом визначення знаків компонент трансформанти Y''' . Відповідно, на першому кроці використовуються дані $z_{\xi, \chi}$ матриці знаків, що на другому кроці дозволяє розставити знаки для відповідних компонент трансформанти:

$$h'_{\xi, \chi} = \begin{cases} y'''_{\xi, \chi}, & \rightarrow z_{\xi, \chi} = 0; \\ -y'''_{\xi, \chi}, & \rightarrow z_{\xi, \chi} = 1. \end{cases}$$

В результаті отримаємо трансформанту H' .

4. Використовуючи трансформанту H' та виконуючи за два етапи зворотнє двовимірне дискретне косинусне перетворення:

$$P(i, j) \bullet = F(i) H'(\xi, \chi)_{i, j} \text{ і } X'(i, j) = P(i, j) \bullet F(j)^{(-1)},$$

відновлюємо сегмент X' зображення в колірному поданні.

5. Відтворення сегмента X' у вихідному RGB просторі організовується без внесення додаткових спотворень на основі таких виразів

$$g'_{ij} = y'_{ij} - \lfloor (u'_{ij} + v'_{ij}) / 4 \rfloor \quad r'_{ij} = u'_{ij} + g'_{ij}; \quad b'_{ij} = v'_{ij} + g'_{ij}.$$

Всі зображення відновлюється після того, як отримані всі сегменти.

Таким чином:

- розроблений метод реконструкції сегментів зображення на основі декодування усічених векторів двокомпонентних кортежів, складається з таких етапів:
 - інсталяція кодової конструкції обробленого представлення сегмента зображення;
 - декодування за дворівневою схемою кодових значень складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів;
 - реконструкція двокомпонентних кортежів на основі декодування обробленого файлу.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

1. Обґрунтовано інтерпретацію усіченого вектора двокомпонентних кортежів як укрупненого позиційного числа невизначеної довжини, елементами якого є коди двоелементного чисела, утворені для окремих двокомпонентних кортежів.

2. В результаті доведеної теореми отримано кодоутворюючі співвідношення, які забезпечують формування коду для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною за дворівневою схемою. На першому рівні формується кодове подання для окремих двокомпонентних кортежів, на другому рівні здійснюється формування загального кодового подання для кодів, отриманих на першому рівні.

Вперше отримано кодоутворюючі співвідношення для компактного представлення усіченого вектора двокомпонентних кортежів як комбінаторного об'єкту. Відмінність полягає в тому, що кодові значення формуються за дворівневою схемою для укрупненого позиційного числа з невизначеною довжиною, елементами якої є коди чисел, утворених для двокомпонентних кортежів. Це дозволяє сформувати компактне подання для лінеаризованої трансформанти без втрати інформації.

3. Розроблено метод формування компактного подання сегментованих зображень на основі виявлення вектора двокомпонентних кортежів для лінеаризованої трансформанти. Кількість двокомпонентних кортежів є змінною заздалегідь не відомою величиною і залежить в загальному випадку від змісту сегмента зображення та фактору втрати якості в процесі квантування компонент трансформанти. Кодове значення і довжина кодограми для усіченого вектора двокомпонентних кортежів залежить від статистичних, структурних властивостей сегментів зображення і режиму корекції компонент трансформанти в процесі квантування.

Метод забезпечує компресію в режимі обмежених значень фактору втрати якості; виключення використання додаткових службових даних; виключення необхідності значного збільшення кількості операцій, які витрачаються на

виконання умов інтеграції кодового подання усіченого вектора в систему компресії потоку відеокадрів, і базується на виконанні таких етапів:

- 1) виконання двовимірного дискретного косинусного перетворення для сегмента зображення;
- 2) корекція компонент трансформанти відповідно до фактора втрати якості візуального сприйняття зображень;
- 3) формування вектора двокомпонентних кортежів для лінеаризованої трансформанти;
- 4) кодування DC-компоненти на основі диференційного подання відносно низькочастотної складової попередньої трансформанти з подальшим формуванням коду на основі використання статичних таблиць;
- 5) формування послідовності кодових значень для складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів за рекурентною дворівневою схемою на основі укрупненого позиційного кодування в умовах формування кодограм за комбінованою схемою, а саме побудова кодограми з урахуванням встановленого обмеження на максимальну довжину і змінної довжини останньої кодограми.

4. Запропонована технологія розподілу компонент кортежу по кодограмі в комбінованому режимі, а саме, коли будуються нерівномірні кодограми з обмеженням на максимальне значення в умовах невизначеності довжини останнього ланцюжка нульових компонент і змінної довжини вектора двокомпонентних кортежів.

Обґрунтовано, що для такого принципу утворення кодограми достатньо використовувати інформацію про кількість кортежів.

5. Розроблено метод обчислення кодової складової усіченого вектора в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів по кодограмі, який формується з комбінованого принципу для встановленого обмеження V_{\max} .

6. Побудована технологія формування кодових конструкцій обробленого сегмента зображення в умовах інтеграції послідовності кодограм, які містять інформацію про кодові значення складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів.

Результати досліджень четвертого розділу опубліковані в роботах [48, 54, 55, 63, 67, 70, 174, 176, 185, 186].

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВІДЕОПОТОКІВ ДИНАМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ТА МЕРЕЖАХ

Розроблений метод компресії відеопотоку динамічних зображень стаціонарного фону на основі роздільної обробки стаціонарної, динамічної складових та матриці знаків. Обробка динамічної складової проводиться на основі позиційного кодування з адаптивним вибором основи. Обробка двійковій маски диференційно-поданого кадру здійснюється на основі кодування за потужністю двох алфавітів довжин двійкових серій. Кодування матриці знаків реалізується на базі кодування за потужністю алфавіту з урахуванням структурної подібності з матрицею двійковій маски. Показано, що розроблені методи кодування забезпечують скорочення обсягу, збільшення ступеня компресії динамічних зображень стаціонарного фону і скорочення часу на їх обробку. Викладається побудова методу відновлення оброблених динамічних зображень стаціонарного фону на основі реконструкції матриці двійковій маски, динамічної складової та матриці знаків. Розглядається побудова технології відновлення поточного кадру в вихідному динамічному просторі без втрати інформації на основі відновлення поточного диференційно-поданого кадру та інформації про базові кадри.

5.1 Розробка методу кодування диференційно-поданих кадрів відеоінформаційного потоку

Метод складається з таких етапів [56 – 58].

Перший етап. Формування диференційно-поданого кадру в умовах стаціонарного формування відеоінформації, здійснюється за схемою (рис. 5.1.).

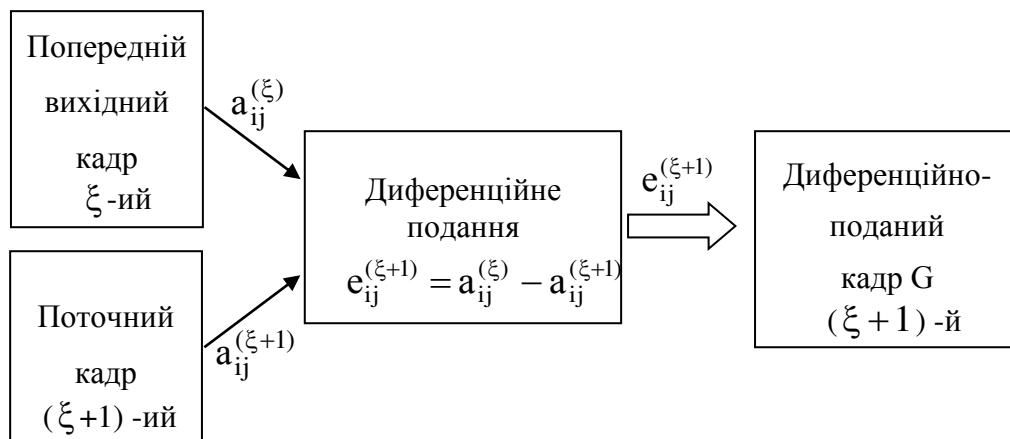


Рисунок 5.1 – Схема формування диференційно-поданого кадру

Попередній вихідний кадр і поточний кадр утворюють формат диференційно-поданого кадру, який структурно складається з двох складових, що описують стаціонарний фон і динамічні об'єкти.

Однак формування кадрів здійснюється в умовах зміни освітленості об'єктів; вібрації камери і спотворень у процесі перетворення аналогового сигналу в цифровий.

Тому елементи стаціонарного фону відрізняються від нульового значення. Для усунення флуктуацій і для підкреслення стаціонарної складової фону диференційно-поданого кадру пропонується проводити його попередню фільтрацію [33, 203 – 206].

Другий етап – фільтрація з порогом, суть якої полягає у виявленні елементів диференційно-поданого кадру, які містять імпульсну заваду. Це дозволить визначити стаціонарну чи динамічну складові. Для скорочення кількості операцій на обробку використовується скалярна порогова фільтрація з порогом ΔP (рис 5.2).

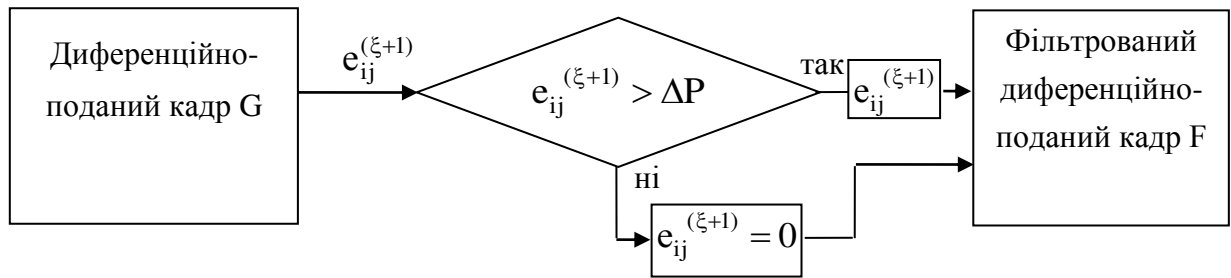


Рисунок 5.2 – Схема порогової фільтрації диференційно-поданого кадру

Скалярна порогова фільтрація проводиться за таким правилом. Кожен оброблюваний елемент e_{ij} порівнюється з величиною порога ΔP . Якщо значення елемента менше величини порога ($e_{ij} \leq \Delta P$), то даний елемент вважається елементом стаціонарної складової, $e_{ij} \in I_{ст}$, та $e_{ij} = 0$. Навпаки, якщо значення елемента перевищує величину порога $e_{ij} > \Delta P$, то даний елемент належить динамічній складовій $e_{ij} \in I_{дин}$.

В результаті такої фільтрації структура диференційно-поданого має дві складові:

1. Нульові значення відповідають елементам стаціонарного фону.
2. Значення елементів, відмінних від нуля, належать елементам динамічної складової.

Третій етап – формування та обробка масивів динамічної складової:

1. Розподіл елементів динамічної складової по масивах, а саме:
 - а) розбиття динамічної складової на масиви з урахуванням наявної інформації про кількість елементів динамічної складової. На процес розбиття динамічної складової на масиви D_u впливає максимальне значення d_{max} елемента $I_{дин}$ і кількість $n_{дин}$ стовпців. Це обумовлено тим, що код формується не для окремого елемента, а для рядка масиву динамічної складової. Тому на значення коду позиційного числа $N(u)_j$ і на довжину його кодограми L_j впливає адаптивна основа, яка вибирається відповідно до величини d_{max} і кількості елементів в позиційному числі, що визначається величиною $n_{дин}$. При цьому можна управляти

тільки величиною $n_{\text{дин}}$. Величина d_{max} визначається окремо для кожної динамічної складової;

б) визначення розмірів масивів D_u динамічної складової шляхом обрання довжини рядка масивів динамічної складової рівної 6, тобто ($n_{\text{дин}} = 6$), якщо $n_{\text{дин}} \leq v_{\text{дин}}$, де $v_{\text{дин}}$ – кількість елементів у динамічній складовій.

Сумарна кількість рядків розбивається на окремі масиви. Так як кількість рядків в одному масиві $n_{\text{дин}} = 6$, то кількість $v_M^{(\text{дин})}$ масивів, на які розбивається вся динамічна складова дорівнює:

$$v_M^{(\text{дин})} = \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right].$$

в) заповнення масивів D_u динамічної складової. Для скорочення кількості основ позиційних чисел, які обирають для кожного масиву окремо, пропонується така процедура:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} < 3.$$

Тоді останній повний масив заповнюється рядками, які залишилися з неповного масиву.

В іншому випадку, коли:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} \geq 4,$$

формується неповний масив.

У загальному випадку повний масив D_u динамічної складової має вигляд:

$$D_u = \begin{pmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,j} & \dots & d_{1,n_{\text{дин}}} \\ & & \dots & & & \\ d_{i,1} & d_{i,2} & \dots & d_{i,j} & \dots & d_{i,n_{\text{дин}}} \\ & & \dots & & & \\ d_{m_{\text{дин}},1} & d_{m_{\text{дин}},2} & \dots & d_{m_{\text{дин}},j} & \dots & d_{m_{\text{дин}},n_{\text{дин}}} \end{pmatrix},$$

де $d_{i,j}$ – (i ; j)-ий елемент масиву динамічної складової;

$m_{\text{дин}}$, $n_{\text{дин}}$ – відповідно кількість рядків і стовпців в масивах D_u .

Потрібно зауважити, що масив D_u може бути заповнений не повністю.

2. Обробка масивів динамічної складової.

Для запропонованого представлення масивів D_u схема обчислення позиційних чисел для рядків $D_{u,j} = \{d_{1,j}; d_{2,j}; \dots, d_{i,j}, \dots, d_{j,n_{\text{дин}}}\}$ цих масивів з урахуванням адаптивного вибору основи λ_u задається виразами:

$$\lambda_u = \max_{\substack{1 \leq j \leq n_{\text{дин}} \\ 1 \leq i \leq m_{\text{дин}}}} \{d; j\} + 1;$$

$$P_j = \lambda_u^{(n_{\text{дин}} - j)};$$

$$N(u)_j = \sum_{j=1}^{n_{\text{дин}}} d_{i,j} P_j,$$

де $N(u)_j$ – значення коду для j -го позиційного числа, отриманого для j -го стовпця u -го масиву динамічної складової;

P_j – ваговий коефіцієнт j -го елемента позиційного числа;

λ_u – основа u -го масиву динамічної складової.

Позиційні коди дозволяють компактно подати масиви динамічної складової, якщо відповідні максимальні значення λ_u мають обмежені значення ($\lambda_u < d_{\max}$, $u = \overline{1, v_{\text{дин}}}$), де d_{\max} – максимальне числове значення динамічної складової.

Таким чином, в результаті запропонованого кодування масиви динамічної складової замінюються послідовністю кодових значень позиційних чисел з адаптивною основою $\{N(u)_1, \dots, N(u)_j, \dots, N(u)_{n_{\text{дин}}}\}$.

Структурно-функціональна схема обробки динамічної складової наведена на рис. 5.3.

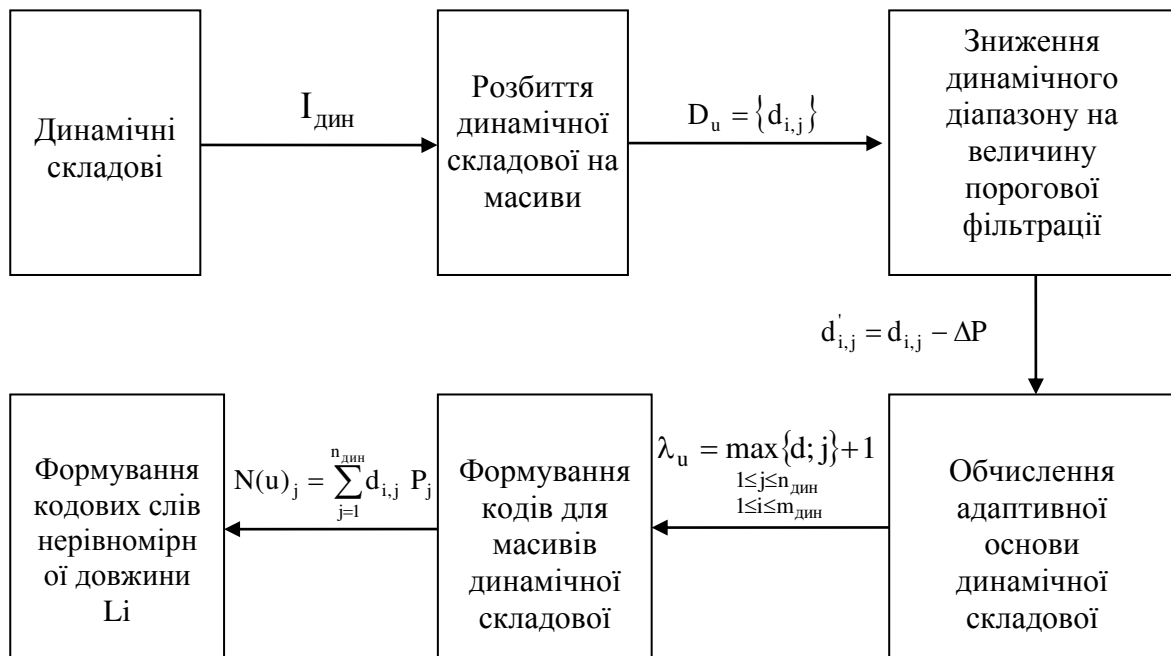


Рисунок 5.3 – Структурно-функціональна схема обробки динамічної складової

Четвертий етап – побудова й обробка двійкової маски диференційно-поданого кадру. Інформація про стаціонарну складову міститься в елементах диференційно-поданого кадру, які приймають нульові значення. У зв'язку з чим формується двійкова маска. З урахуванням роздільної обробки диференційно-поданий кадр розбивається на три складові (рис. 5.4).

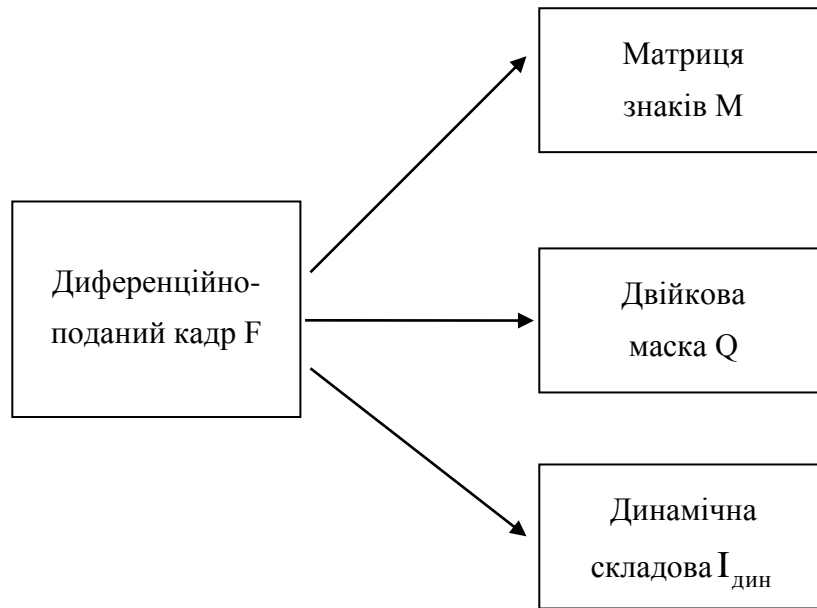


Рисунок 5.4 – Схема розбивки диференційно-поданого кадру на складові

Схема матриці двійкової маски диференційно-поданого кадру наведена на рис. 5.5.

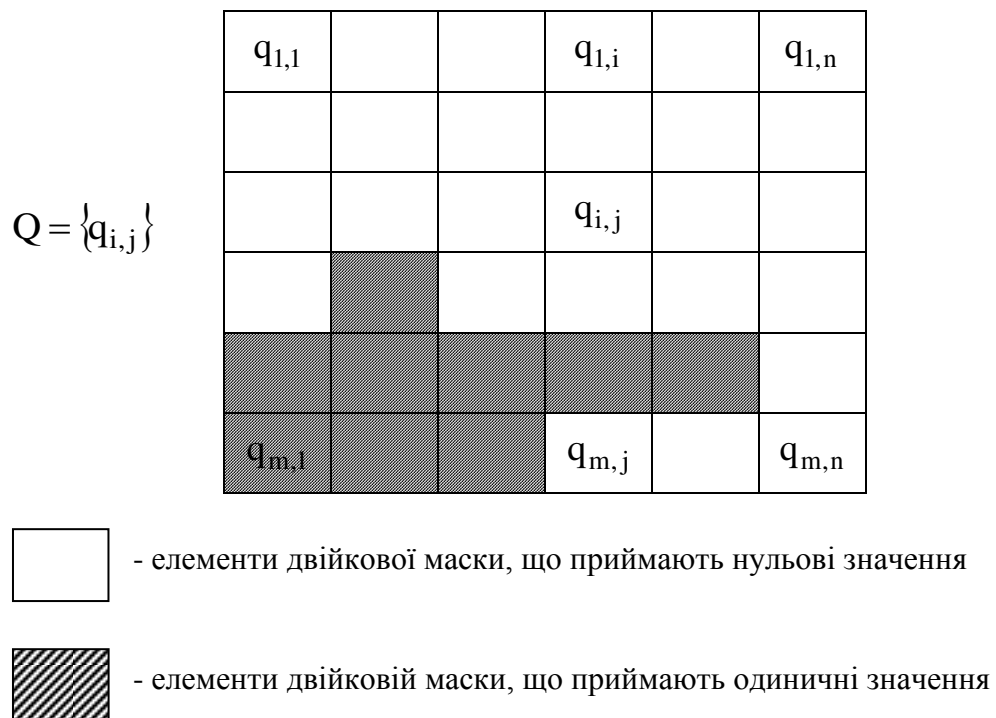


Рисунок 5.5 – Схема матриці двійковій маски диференційно-поданого кадру

Обробка двійкової маски диференційно-поданого кадру здійснюється на таких етапах:

1. Виявлення послідовностей довжин двійкових серій, що задається виразом $\Theta = \{r_1, \dots, r_\Phi\}$.

2. Розбиття послідовності довжин двійкових серій на підпослідовності довжин серій нулів $\Theta^{(0)} = \{r(0)_1, \dots, r(0)_{\Phi_0}\}$ та довжин серій одиниць $\Theta^{(1)} = \{r(1)_1, \dots, r(1)_{\Phi_1}\}$.

3. Визначення максимальних довжин двійкових серій для підпослідовностей $\Theta^{(0)}$ та $\Theta^{(1)}$, що задається формулами $r(0)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi} (r(0)_i)$ та $r(1)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi} (r(1)_i)$.

Даний етап забезпечує формування потужності двох алфавітів, утворених довжинами серій нульових і одиничних елементів.

4. Формування елементарного коду для послідовностей довжин двійкових серій $\Theta^{(0)}$ та $\Theta^{(1)}$ задається виразами $L(r(0)) = \lceil \log_2 r(0)_{\max} \rceil + 1$ та $L(r(1)) = \lceil \log_2 r(1)_{\max} \rceil + 1$.

5. Обчислення сумарної кількості розрядів на представлення довжин серій нулів та одиниць за виразами $L(r(0))_{\Sigma} = \Phi_0 \log_2 r(0)_{\max}$ та $L(r(1))_{\Sigma} = \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}$.

6. Побудова кодових конструкцій обробленого подання матриць двійковій маски.

Схема обробки довжин серій двійкової маски показана на рис. 5.6.

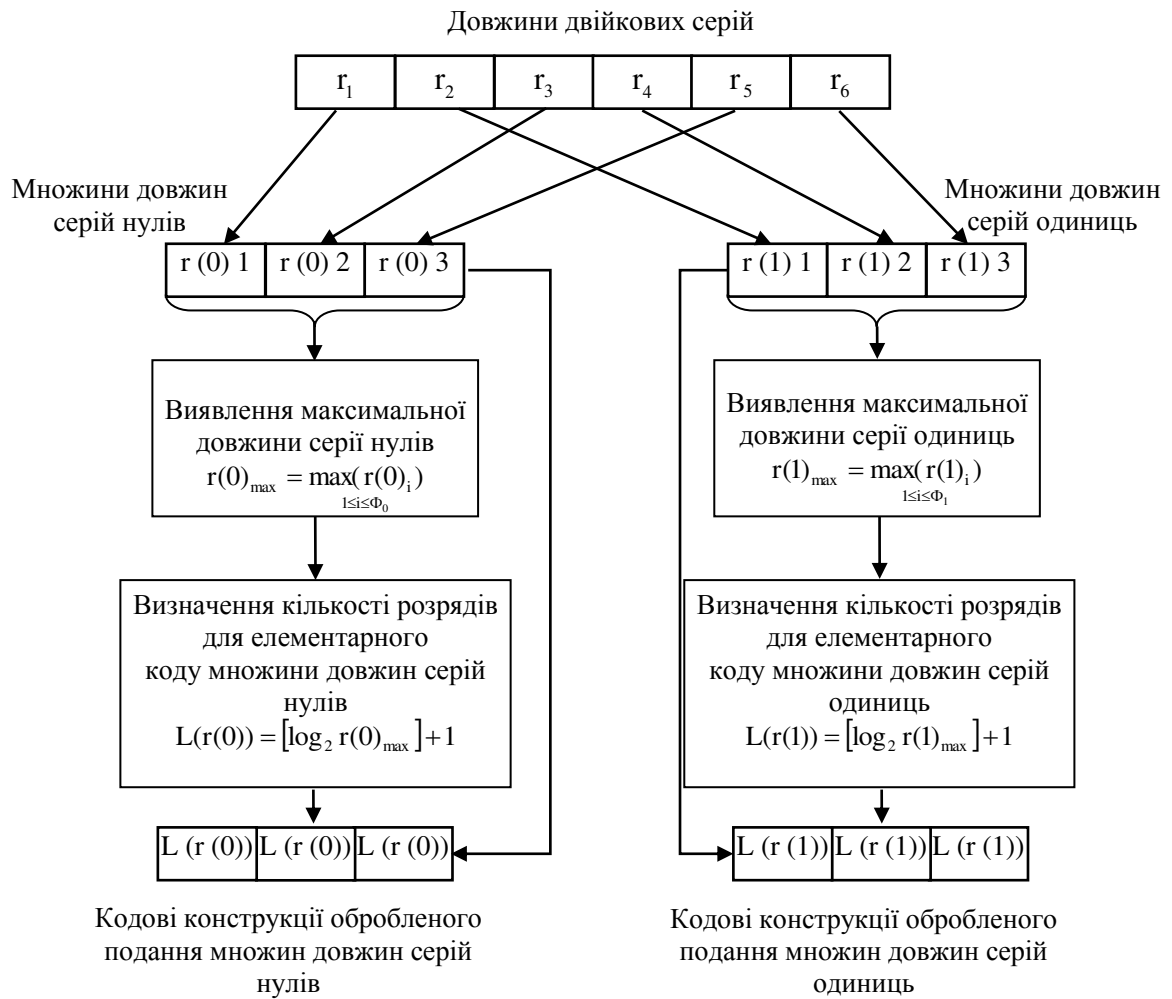


Рисунок 5.6 – Схема обробки довжин двійкових серій двійкової маски

Для двоалфавітного коду потужності щодо довжин двійкових серій двійкової маски диференціального кадру забезпечується скорочення початкового обсягу. Ступінь компресії оцінюється як:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\Phi_0 \log_2 r(0)_{\max} + \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{\Phi} r_i}{\log_2 (r(0)_{\max}^{\Phi_0} \cdot r(1)_{\max}^{\Phi_1})}.$$

Структурно-функціональна схема обробки двійкових масок диференційно-поданого кадру наведена на рис. 5.7.

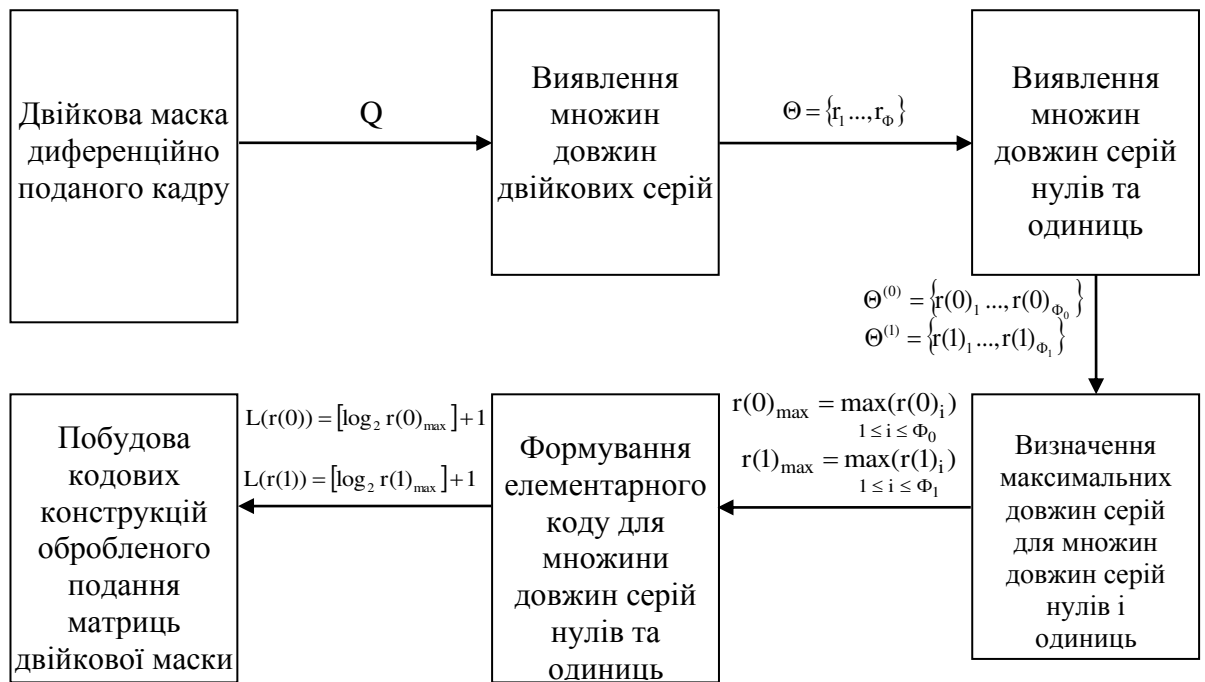


Рисунок 5.7 – Структурно-функціональна схема обробки двійкових масок диференційно-поданого кадру

П'ятий етап – формування та обробка матриці показників знаків. Елементи динамічної складової можуть мати як позитивні, так і негативні значення. Тому для скорочення інформації про знаки, пропонується формувати матрицю показників знаків, використовуючи двійковий показник. Тоді якщо елемент динамічної складової є позитивним, то використовується нульовий показник в матриці показників знаків. І – навпаки, якщо елемент динамічної складової є негативним, то використовується одиничний показник:

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & \rightarrow q_{ij} > 0; \\ 1, & \rightarrow q_{ij} < 0. \end{cases}$$

де $W = \{w_{ij}\}$ – двійковий вектор показників знаків.

Обробка матриці показників знаків проводиться з урахуванням структурної подібності з матрицею двійкової маски і полягає у виконанні таких етапів:

1. Виявлення послідовності довжин двійкових серій $\Theta(h) = \{r(h)_1, \dots, r(h)_{\Phi(h)}\}$.

2. Визначення максимальної довжини двійкової серії для послідовності $\Theta(h)$ за формулою $r(h)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi(h)} (r(h)_i)$.

3. Формування елементарного коду для послідовності довжин двійкових серій $\Theta(h)$ задається виразом $L(r(h)) = \lceil \log_2 r(h)_{\max} \rceil + 1$.

4. Обчислення сумарної кількості розрядів на подання всієї послідовності довжин двійкових серій $\Theta(h)$, а саме $L(r(h))_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{\Phi} L(r(h))_i$.

5. Побудова кодових конструкцій обробленого подання двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової.

Вихідна структура побудови кодових конструкцій обробленого масиву диференційно-поданого кадру матиме такий вигляд (рис. 5.8):

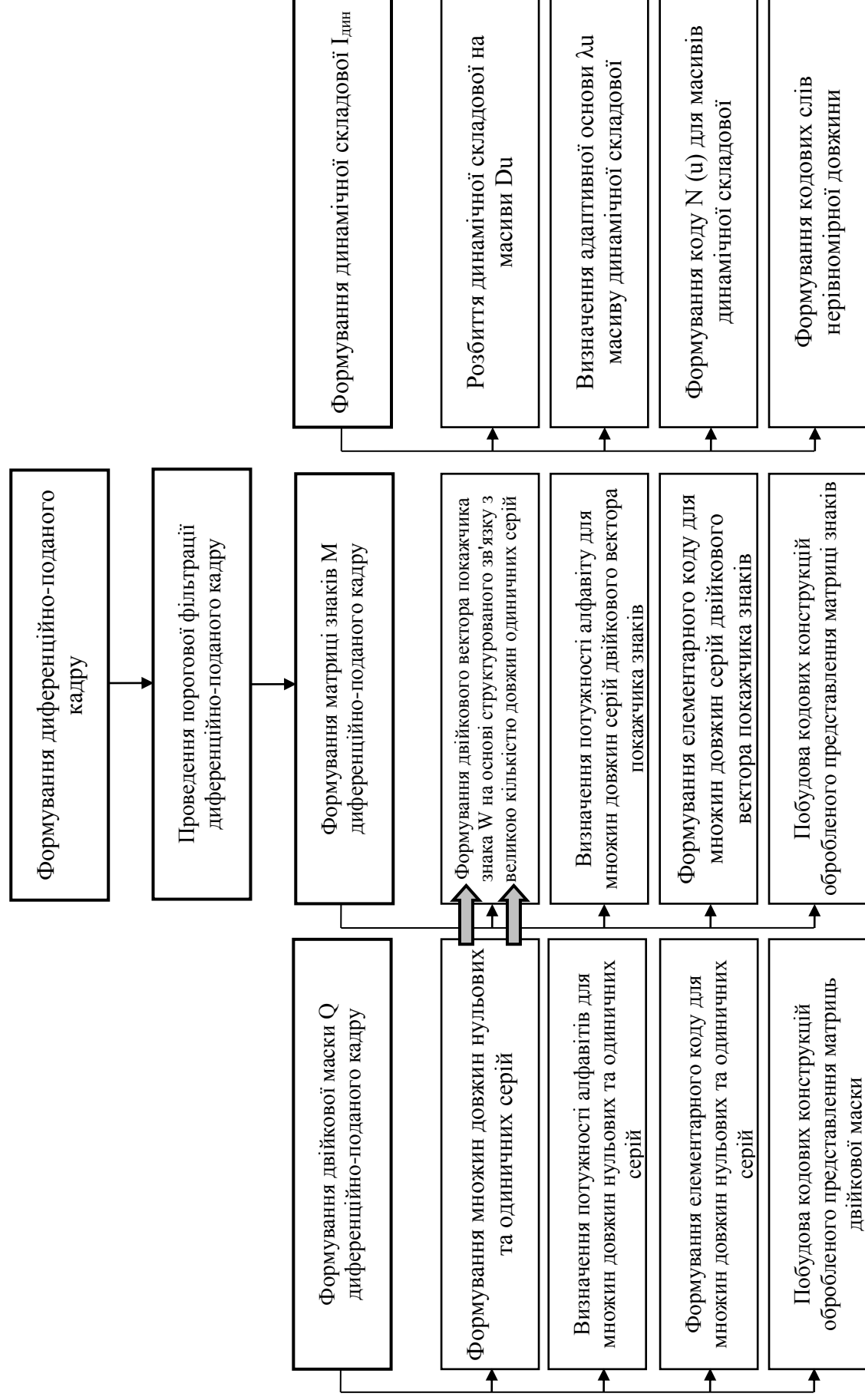


Рисунок 5.8 – Структурна схема побудови кодових конструкцій обробленого виду диференційно-поданого кадру

Загальна схема кодового подання диференційно-поданого кадру показана на рис. 5.9.

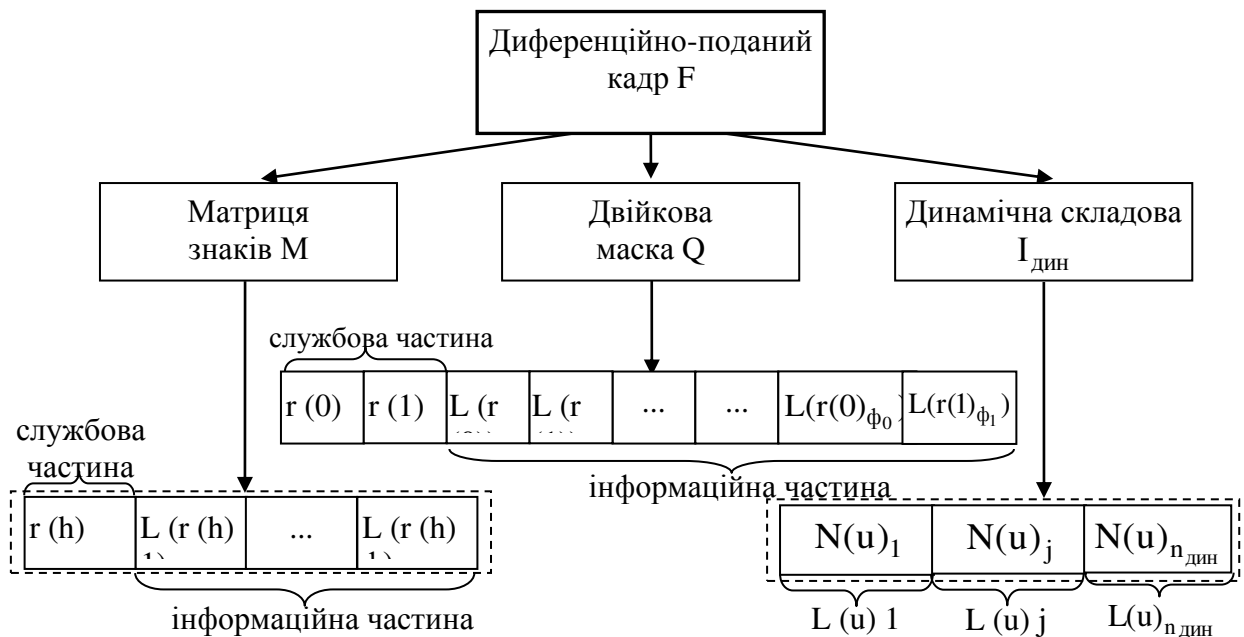


Рисунок 5.9 – Загальна схема кодового виду диференційно-поданого кадру

Таким чином розроблений метод кодування диференційних кадрів відеоінформаційного потоку базується на обробці динамічної та стаціонарної складових з виділенням двійкової маски покажчиків, а саме:

1. Розроблено метод компресії кадрів відеоінформаційного потоку, який базується на таких концептуальних складових:
 - а) виділення в диференціальному кадрі динамічної та стаціонарної складових на базі формування двійкової маски покажчиків;
 - б) побудова матриці знаків для збереження інформації про знаки елементів диференціального кадру;
 - в) кодування матриці двійкової маски на основі двошалфавітного коду потужності.

Це дозволяє:

- врахувати структурні особливості диференційного кадру, а саме різну ступінь насиченості динамічних складових і великі розміри областей стаціонарного фону;

- скоротити кількість кодової надмірності в результаті адаптації вибору потужності алфавіту до структури двійкової маски. Обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру щодо одноалфавітного коду знизиться в середньому на 17%;

- знизити час на обробку в результаті формування поелементних універсальних кодів;

г) кодування динамічної складової на основі сегментації по масивах з подальшим кодуванням по адаптивній заданій основі з урахуванням зниження динамічного діапазону на величину порога фільтрації. Обсяг динамічної складової знижується в середньому на 38%;

д) упаковки вектора знаків з урахуванням наявності структурної подібності з двійковою маскою стаціонарного фону на основі одноалфавітного коду потужності.

2. Показано, що зі збільшенням коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами збільшується ступінь компресії двійкової маски диференційно-представленого кадру. Кількість розрядів на представлення службової інформації в середньому скоротиться на 70%.

5.2 Розробка методу відновлення динамічних зображень стаціонарного фону

Процес реконструкції динамічних зображень стаціонарного фону полягає у послідовному виконанні таких етапів [62, 66, 208 – 211].

Перший етап – реконструкція матриці двійкової маски Q .

Другий етап – реконструкція динамічної складової $I_{\text{дин}}$.

Третій етап – реконструкція матриці знаків M .

Відновлення матриці двійкової маски Q необхідно проводити в першу чергу. Це пов'язано з тим, що реконструкція динамічної складової $I_{\text{дин}}$ та матриці знаків M неможливо провести без відновленої двійкової маски.

Зміст першого етапу.

Отримання інформації двійковій маски дозволяє:

1. Визначити позиції динамічних та стаціонарних складових у диференційному кадрі.
2. Визначити кількість елементів динамічної та стаціонарної складових.
3. Отримати структурні елементи, необхідні для реконструкції двійкового вектора покажчиків знаків.

Процес реконструкції матриці двійкової маски полягає у виконанні наступних дій.

Перша дія. Отримання службової інформації про потужності алфавітів довжин серій нулів і одиниць. Ця інформація визначається на основі заданої довжини коду, що відводиться під значення потужності алфавіту, який визначається за умови максимально допустимої довжини двійкової серії. Максимальна довжина двійкової серії дорівнює кількості елементів у двійковій масці. У свою чергу, розмір двійкової маски збігається з розміром вихідного кадру. Тому максимальна довжина двійковій серії r_{max} дорівнює розміру кадру та визначається виразом $r_{\text{max}} = m \cdot n$ (біт).

Звідси довжина коду $L(r)$ під потужність алфавіту дорівнює $L(r) = [\log_2(m \cdot n)] + 1$.

Знаючи розмір кадру можна визначити ту частину кодової конструкції, в якій міститься інформація про потужності алфавіту довжин серій нулів та одиниць.

Друга дія. Отримана інформація про потужності алфавітів дозволяє перейти до безпосереднього декодування довжин двійкових серій. Для цього:

- 1) використовується умова, що нульовою серією в матриці двійкової маски є серія нулів. Тоді, якщо довжина першої серії дорівнює одиниці, то ця

серія відповідає серії одиниць. В іншому випадку, якщо довжина серії більше або дорівнює двом, то дана серія є серією нулів:

якщо $q_{11} = 0$, то $r_{i,1} \geq 2$;

якщо $q_{11} = 1$, то $r_{i,1} = 1$;

2) використовується інформація про потужності алфавітів Ω_0 та Ω_1 . Це дозволяє визначити розмір кодового подання $L(r(0))$ довжин серій нулів $r(0)$ та довжину кодового подання $L(r(1))$ довжин серій одиниць $r(1)$:

$$L(r(0)) = [\log_2 r(0)_{\max}] + 1; \quad L(r(1)) = [\log_2 r(1)_{\max}] + 1;$$

3) використовується умова, що в матриці двійкової маски серії нулів та одиниць чергуються один з одним.

Дані умови дозволяють провести реконструкцію двійкової маски без втрати інформації (рис. 5.10.).

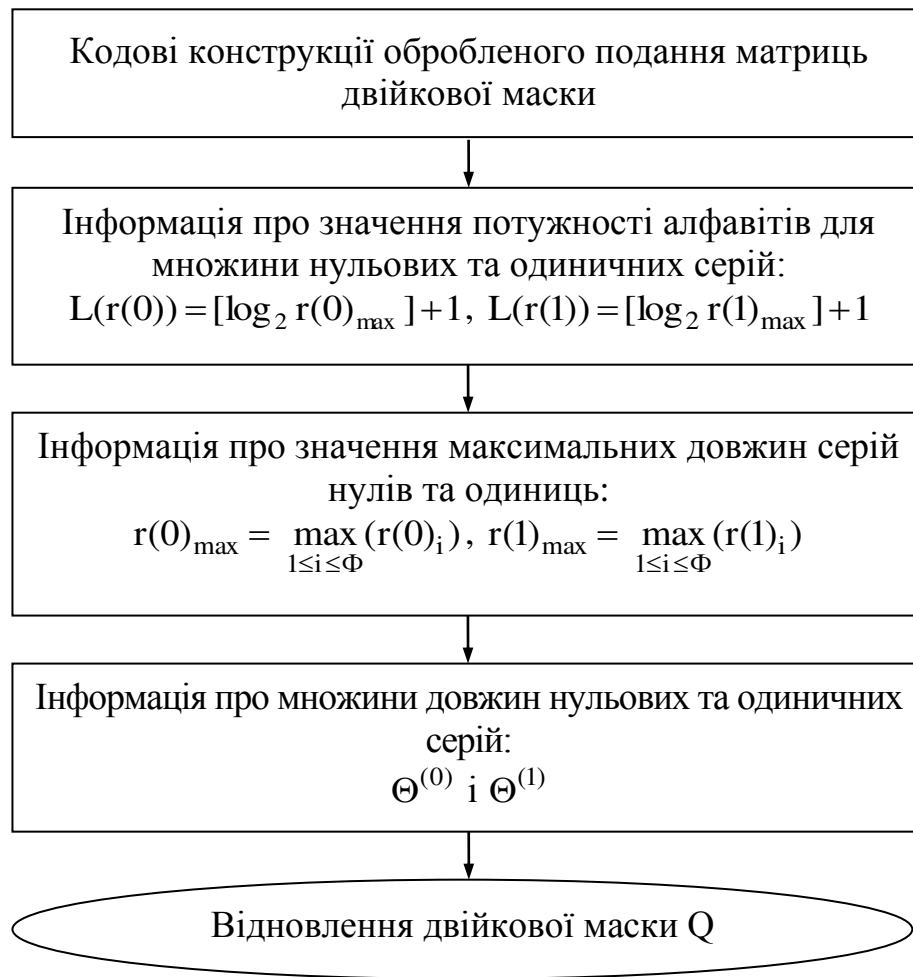


Рисунок 5.10 – Схема реконструкції двійкової маски

Зміст другого етапу.

Відновлена двійкова маска дозволяє визначити кількість та позиції елементів динамічної складової диференційного кадру. Кількість елементів динамічної складової $v_{\text{дин}}$ дорівнює кількості одиниць двійкової маски. Для реконструкції динамічної складової $I_{\text{дин}}$ використовується:

- 1) інформація про величину порога фільтрації ΔP ;
- 2) обраний розмір масиву, на який сегментується динамічна складова;
- 3) величини адаптивних основ, кількість яких визначається з інформації про сумарну кількість елементів динамічної складової та розмірі масивів;
- 4) значення кодів сформованих для стовпців масивів динамічної складової $D_{u,j}$, яке визначається із загальної кодової конструкції.

Оскільки для кожного масиву динамічної складової D_u значення основи λ_u вибирається адаптивно, то довжина кодів слів $L(u)_j$ є рівномірною тільки в межах окремого масиву.

Тут працює принцип локально рівномірної довжини кодового слова. Для отримання довжини кодового слова в межах одного масиву необхідно використовувати інформацію про величину основи λ_u та кількість рядків $m_{\text{дин}}$ у масиві динамічної складової.

При наявності даної інформації довжина кодового слова дорівнює:

$$L(u)_j = [\log_2 \lambda_u^{n_{\text{дин}}} - 1] + 1,$$

де $L(u)_j$ – кількість розрядів на подання значення коду позиційного числа, який формується адаптивно для кожного рядка масиву динамічної складової D_u ;

$\lambda_u^{n_{\text{дин}}}$ – накопичений добуток основ u -го масиву динамічної складової D_u .

Сумарно-кодова довжина для поточного масиву динамічної складової $L(u)_\Sigma$ визначається за формулою:

$$L(u)_\Sigma = \sum_{j=1}^{n_{\text{дин}}} L(u)_j.$$

Очевидно, нам необхідна інформація про довжину одного кодового слова та їх кількість, яка дорівнює кількості стовпців $n_{\text{дин}}$ у масиві динамічної складової D_u . Сумарна довжина кодового подання $L(u)_\Sigma$ поточного масиву дозволяє визначити першу позицію кодового виду чергового масиву динамічної складової (рис. 5.11);

5) довжиною кодового слова є інформація про значення коду адаптивно-позиційного числа. Після чого на основі інформації про адаптивну основу λ_u та величину порога фільтрації ΔP можна безпосередньо перейти до відновлення елементів d окремих стовпців масивів динамічної складової $D_{u,j}$.

Оскільки масиви динамічної складової розглядаються як адаптивно-позиційні числа, то для їх реконструкції використовується технологія позиційного декодування. Тоді елемент масиву динамічної складової визначається як елемент позиційного числа з відомою основою.

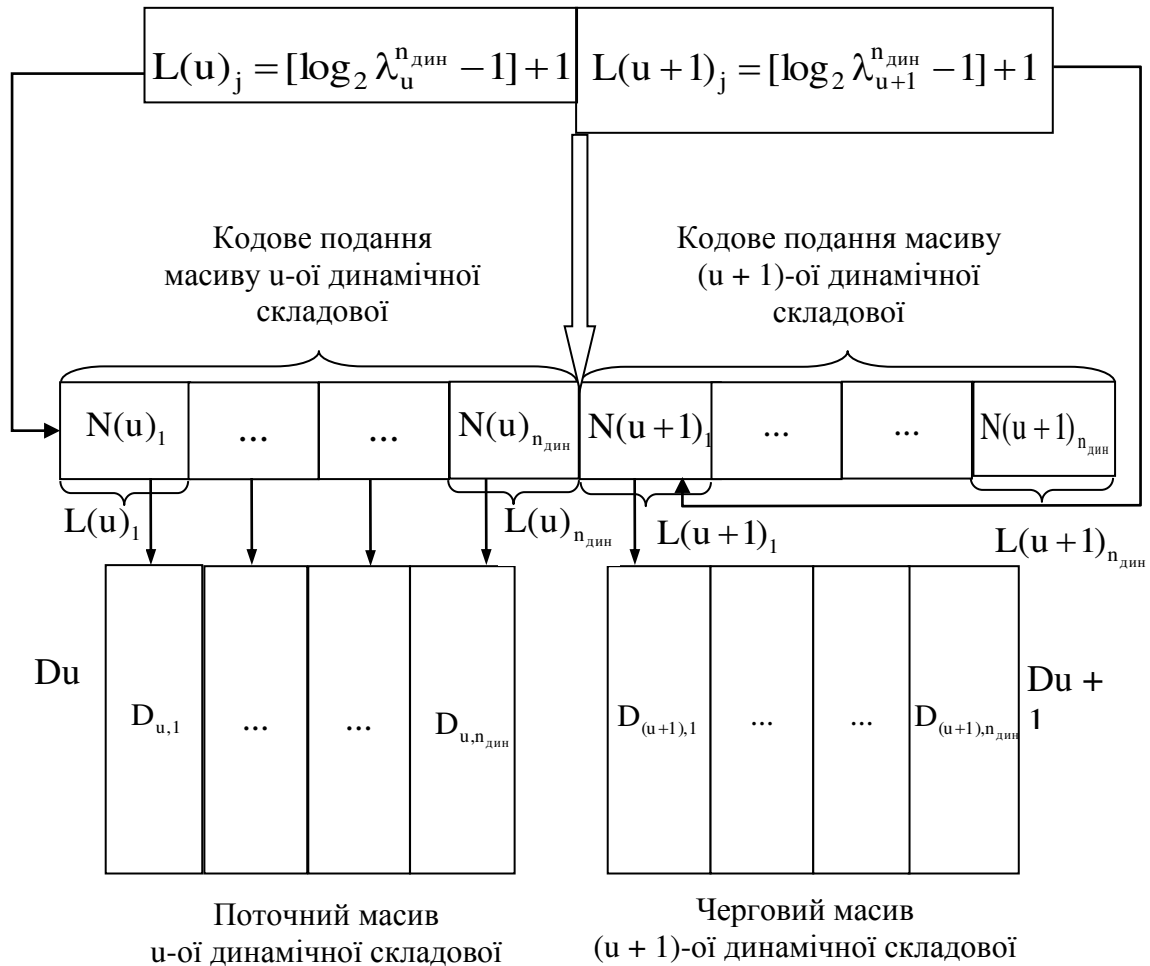


Рисунок 5.11 – Схема реконструкції масивів динамічної складової

У свою чергу, елемент позиційного числа розраховується як:

$$d'_{i,j} = \left\lfloor \frac{N(u)_j}{P_j} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_j} \right\rfloor \cdot \lambda_u,$$

де $d'_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової; $N(u)_j$ – значення коду для i -их позиційних чисел отриманих для j -го стовпця u -го масиву динамічної складової;

P_j – ваговий коефіцієнт j -го елемента позиційного числа; λ_u – адаптивна основа u -го масиву динамічної складової.

Тоді отримана формула для відновлення інших елементів стовпця динамічної складової прийме такий вигляд:

$$d'_{1,j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_1} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_1} \right] \cdot \lambda_u; \quad d'_{m_{\text{дин}},j} = \left[\frac{N(u)_j}{P_{m_{\text{дин}}}} \right] - \left[\frac{N(u)_j}{\lambda_u \cdot P_{m_{\text{дин}}}} \right] \cdot \lambda_u,$$

де $d'_{1,j}$ – $(1; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової; $d'_{m_{\text{дин}},j}$ – $(m_{\text{дин}}; J)$ -ий елемент масиву динамічної складової; P_1 – ваговий коефіцієнт 1-го елемента позиційного числа; $P_{m_{\text{дин}}}$ – ваговий коефіцієнт $m_{\text{дин}}$ -го елемента позиційного числа.

Схематично процес реконструкції стовпця масиву динамічної складової наведений на рис. 5.12.

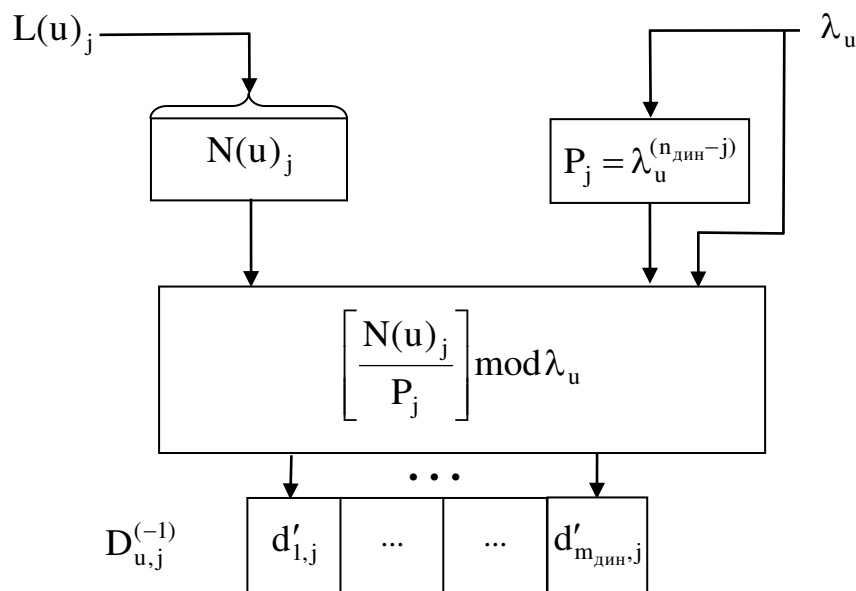


Рисунок 5.12 – Схема реконструкції стовпця масиву динамічної складової

Після реконструкції елементів стовпця масиву динамічної складової $d'_{i,j}$ необхідно відновити їх вихідний динамічний діапазон. Для цього проводиться постфільтрація динамічного діапазону, яка приводить елементи складової $I_{\text{дин}}$ відповідно до порога фільтрації ΔP . Для цього отримані

значення елементів динамічної складової повинні бути збільшені на величину порога ΔP , що задається формулою $d_{i,j} = d'_{i,j} + \Delta P$.

Така процедура дозволить отримати динамічну складову з вихідним динамічним діапазоном. Весь процес реконструкції динамічної складової $I_{\text{дин}}$ показаний на рис. 5.13.

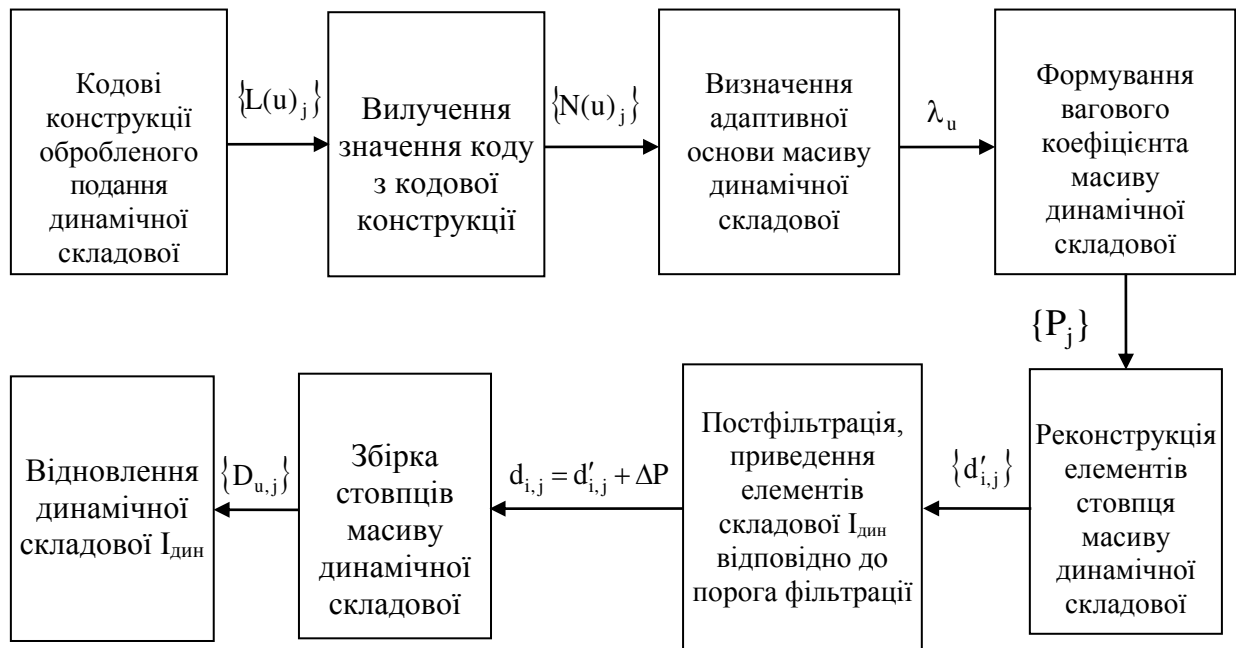


Рисунок 5.13 – Структурно-функціональна схема реконструкції динамічної складової

Повне відновлення динамічної складової, необхідне для реконструкції вихідного кадру, забезпечується, коли відома інформація про знаки компонента. Тому третій етап пов'язаний з відновленням вектора показників знаків компонента.

Зміст третього етапу. Він присвячений реконструкції двійкового вектора показників знаків.

Реконструкція двійкового вектора показників знаків W проводиться на основі інформації про потужність алфавіту Ω . Це дозволяє визначити довжину кодового подання $L(r(h))$ для множини довжин двійкових серій $\Theta(h)$, яка задається формулою $L(r(h)) = [\log_2 r(h)_{\max}] + 1$.

Для визначення позицій знаків у кадрі зображення застосовується структурна подібність з матрицею двійкової маски, а саме довжина і позиції серії нульових елементів для матриці покажчиків знаків збігаються з довжиною і позиціями серії нульових елементів для матриці двійкової маски:

$$r(0)_i = r(M)_0,$$

де $r(0)_i$ – значення довжини серії нульових елементів i -го рядка двійкової маски;

$r(M)_0$ – значення довжини серії нульових елементів матриці знаків.

Відповідно серія одиничних елементів у матриці двійкової маски вказує на позиціонування і довжину негативних елементів динамічної складової. У той самий час серія одиничних елементів двійкової маски вказує не тільки на негативні значення елементів динамічної складової, а й на позитивні значення. Тоді довжина $r(1)_i$ серії одиничних елементів двійковій маски для i -го рядка містить у собі довжину $r(M)_-$ серії негативних елементів матриці покажчиків знаків і довжину $r(M)_+$ серії позитивних елементів матриці покажчиків знаків, тобто $r(1)_i = r(M)_- + r(M)_+$.

Дані умови дозволяють провести реконструкцію двійкового вектора покажчиків знаків без втрати інформації. Процес відновлення двійкового вектора покажчиків знаків представлений на рис. 5.14.



Рисунок 5.14 – Схема реконструкції двійкового вектора покажчика знаків динамічної складової

На завершальному етапі на основі отриманої інформації проводиться відновлення поточного диференційно-поданого кадру (рис. 5.15).

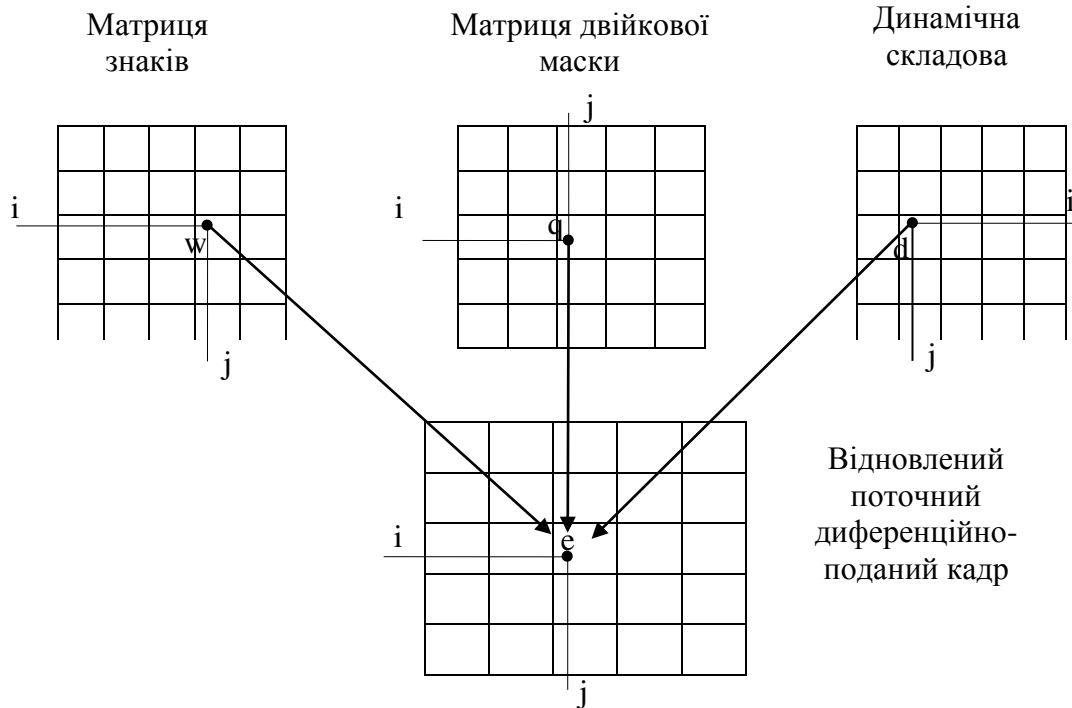


Рисунок 5.15 – Схема відновлення поточного диференційно-поданого кадру

Даний етап забезпечується за рахунок таких перетворень:

$$e_{i,j} = \begin{cases} \frac{\Delta P}{2}, & \text{якщо } q_{i,j} = 0; \\ -d_{i,j}, & \text{якщо } q_{i,j} = 1 \ \& \ w_{i,j} = 1; \\ d_{i,j}, & \text{якщо } q_{i,j} = 1 \ \& \ w_{i,j} = 0, \end{cases}$$

де ΔP – величина порога фільтрації;

$d_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової;

$q_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент матриці двійкової маски;

$w_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент двійкового вектора покажчиків знаків.

Після отримання диференційно-поданого кадру на основі інформації про базовий кадр Y забезпечується побудова поточного кадру у відеопослідовності (рис. 5.16).

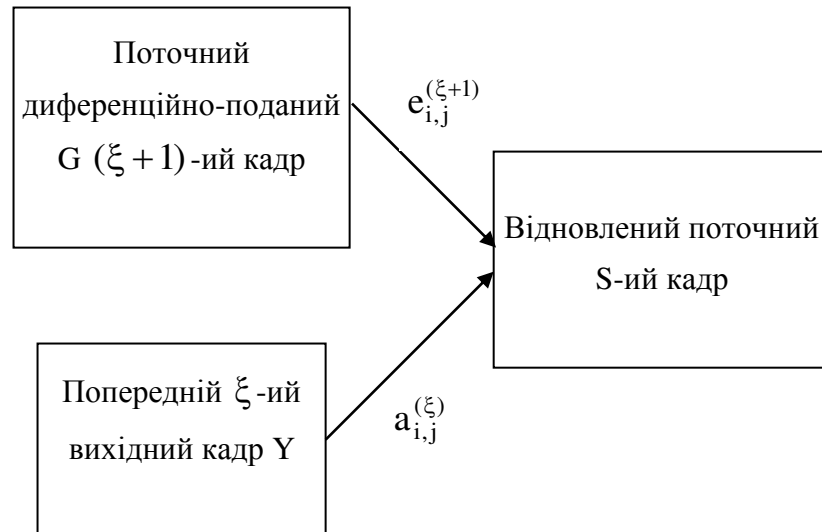


Рисунок 5.16 – Схема відновлення поточного кадру у відеопослідовності

Даний етап формально описується так:

$$a_{i,j}^{(\xi+1)} = e_{i,j}^{(\xi+1)} + a_{i,j}^{(\xi)},$$

де $a_{i,j}^{(\xi)}$ – $(i; j)$ -ий елемент попереднього вихідного кадру;

$e_{i,j}^{(\xi+1)}$ – $(i; j)$ -ий елемент поточного диференційно-поданого кадру;

$a_{i,j}^{(\xi+1)}$ – $(i; j)$ -ий елемент поточного кадру у відеопослідовності.

Таким чином, розроблено метод відновлення оброблених динамічних зображень стаціонарного фону без втрати інформації, що містить такі етапи:

1) реконструкція матриці двійкової маски Q за рахунок:

- отримання службової інформації про потужності алфавітів довжин серій нулів Ω_0 та одиниць Ω_1 ;

- використання умови про те, що нульова серія в матриці двійкової маски є серія нулів. Тоді якщо довжина першої серії дорівнює одиниці, то ця серія відповідає серії одиниць. В іншому випадку, якщо довжина серії більше або дорівнює двом, то дана серія є серією нулів;

- визначення довжини кодового подання довжин серій нулів та довжини кодового подання довжин серій одиниць;

- використання умови про те, що в матриці двійкової маски серії нулів та одиниць чергуються один з одним;

2) реконструкція динамічної складової $I_{\text{дин}}$ на основі:

- інформації про величину порога фільтрації ΔP ;
- обраного розміру масиву, на який сегментується динамічна складова;
- величини адаптивних основ;
- значення кодів сформованих для стовпців масивів динамічної складової $D_{u,j}$;

- відомої довжини кодові слова можна вважати інформацію про значення коду адаптивно позиційного числа.

3) реконструкція матриці знаків M виконується за рахунок:

- інформації про потужності алфавіту Ω двійкового вектора покажчиків знаків;

- інформації про визначення позицій знаків в кадрі зображення на основі структурної подібності з матрицею двійкової маски.

4) відновлення поточного диференційно-поданого кадру G ;

5) відновлення поточного кадру S у відеопослідовності.

5.3 Розробка методу представлення масиву стаціонарної складової диференційно-поданого кадру

Для виявлення закономірностей у послідовності довжин серій обґрунтуємо інформативну ознаку, яка володіє такими властивостями [36, 68, 169, 215 – 217]:

1) бути інформативним для довжин двійкових серій з урахуванням адаптації до особливостей формування масивів двійкової маски диференційного кадру. Необхідно забезпечити потенційну можливість для скорочення надмірності для довільного змісту бітової площині;

2) не вимагати значних обчислювальних витрат для оцінки і виявлення закономірностей, що не перевищують порядку $O(n)$;

3) забезпечити врахування різких структурних відмінностей для двійкових показчиків стаціонарної та динамічної складових диференційно поданого кадру.

Розробемо підхід для скорочення надмірності в масивах двійкової маски диференціального кадру на основі висунутих вимог.

Для врахування запропонованих вимог пропонується використовувати підхід для кодового подання послідовності довжин двійкових серій маски на основі виявлення закономірностей у потужності алфавіту Ω . Під алфавітом джерела даних розуміється набір значень, які можуть приймати елементи повідомлень. Тоді потужністю $|\Omega|$ алфавіту джерела повідомлень є кількість різних елементів в алфавіті. Одним з простих і в той самий час ефективних кодів, що забезпечують врахування обмежень на потужність алфавіту, є коди Бодо. Код Бодо відповідає першим двом вимогам.

Простий поелементний код Бодо передбачає наявність відомостей про:

- розміри осередку машинної пам'яті;

- максимальне значення r_{\max} довжини серії в масивах двійкової маски

диференційного кадру.

Якщо задана послідовність довжин двійкових серій, тобто $\Theta = \{r_1, \dots, r_\Phi\}$, то простий код Бодо формується за три етапи:

Етап 1. Відшукується максимальне значення довжини двійкової серії:

$$r_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi} (r_i). \quad (5.2)$$

Етап 2. Визначається кількість $L(r)$ біт, яка потрібна для подання максимального значення довжини двійковій серії r_{\max} :

$$L(r) = \lceil \log_2 r_{\max} \rceil + 1. \quad (5.3)$$

Етап 3. Величина $L(r)$ записується на початку кодового подання та є службовою інформацією, що вказує на межі кодового опису сусідніх елементів зображення. Після чого під кожну довжину двійкової серії відводиться на кодове подання рівно $L(r)$ біт. Сумарна кількість $L(r)_{\Sigma}$ біт, яка потрібна для подання всіх довжин двійковій серії, задається виразом:

$$L(r)_{\Sigma} = \Phi \cdot L(r). \quad (5.4)$$

Простий блоковий код Бодо полягає в поданні в кожному кодовому слові кількох елементів вихідного фрагмента зображення. Наприклад, така ситуація виникає в разі подання кількох елементів кодуємої послідовності в одне машинне слово (один регістр зовнішньої пам'яті).

Звідси випливає, що метод Бодо є одноалфавітним. Тобто всі елементи оброблюваної послідовності належать одному алфавіту.

Однак код Бодо не відповідає третій вимозі. Це обумовлено тим, що двійкова маска диференційно-поданого кадру в умовах ведення зйомки стаціонарною камерою має значну неоднорідність структурного змісту. Під неоднорідністю структурного змісту розуміється те, що стаціонарна складова може займати значний простір з незначними за розміром елементами динамічної складової. У цьому випадку довжини $r(0)$, які сформовані для нульових послідовностей, будуть переважати за значенням довжини $r(1)$ сформованих для послідовностей одиничних елементів. Для такої ситуації використання коду потужності за одним алфавітом призведе до утворення кодової надмірності. Дійсно, відповідно до кода потужності одного алфавіту для всіх довжин серій, незалежно від їх походження, формуються кодові послідовності однакової довжини $L(r)$. У цьому випадку сумарна кількість розрядів $L(r)_{\Sigma}$ на подання всієї послідовності довжин двійкових серій дорівнюватиме:

$$L(r)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{\Phi} L(r)_i,$$

де $L(r)_i$ – кількість розрядів на подання i -го елемента послідовностей довжин двійкових серій маски;

Φ – кількість довжин двійкових серій, сформованих для масиву двійкової маски диференційного кадру.

У той самий час, в силу неоднорідності структурного змісту, реальна кількість двійкових розрядів $L(r)'_{\Sigma}$, необхідна для отримання всієї послідовності довжин двійкових серій, буде значно менше величини $L(r)_{\Sigma}$:

$$L(r)'_{\Sigma} \lll L(r)_{\Sigma}.$$

Це призводить до наявності кодової надмірності R (рис. 5.17):

$$R = L(r)_{\Sigma} - L(r)'_{\Sigma}.$$



Рисунок 5.17 – Схема наявності кодової надмірності в послідовності довжин двійкових серій

Така ситуація обумовлена тим, що для кодового подання довжин серій одиниць потрібна значно менша кількість розрядів порівняно з кодовим поданням довжин серій нулів:

$$L(r(1)) \lll L(r(0)),$$

де $L(r(1))$ – кількість розрядів для кодового подання довжин серій нулів;

$L(r(0))$ – кількість розрядів для кодового подання довжин серій одиниць.

Отже, для усунення кодової надмірності пропонується використовувати для послідовності Θ довжин двійкових серій два алфавіта. Перший алфавіт Ω_0 визначається для довжин серій нулів, другий алфавіт Ω_1 – для довжин серій одиниць. Такий підхід дозволяє врахувати наявність різкої неоднорідності в структурному змісті масиву двійкової маски. Відповідно, формування коду потужності для таких послідовностей реалізовуватиметься за двоалфавітною схемою. Суть схеми:

1. Формуються довжини серій нулів та одиниць на основі масиву двійкової маски.

2. Вся послідовність довжин двійкових серій розбивається на дві підпослідовності довжин серій нулів та одиниць відповідно:

$$\Theta^{(0)} = \{r(0)_1, \dots, r(0)_{\Phi_0}\};$$

$$\Theta^{(1)} = \{r(1)_1, \dots, r(1)_{\Phi_1}\}.$$

Тоді сумарна кількість розрядів на подання підпослідовностей довжин серій нулів та одиниць відповідно дорівнюватиме:

$$L(r(0))_{\Sigma} = \Phi_0 \log_2 r(0)_{\max}; \quad (5.5)$$

$$L(r(1))_{\Sigma} = \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}. \quad (5.6)$$

3. Для кожної підпослідовності формується свій алфавіт, відповідно Ω_1 і Ω_0 .

4. Код потужності будується відповідно до побудованих алфавітів.

Визначення 5.1. Код потужності, побудований за розглянутою вище схемою, називається двоалфавітним кодом. Іншими словами, двоалфавітним кодом потужності називається код за потужністю, який формується для двоалфавітних послідовностей.

У відповідності з властивостями двоалфавітного коду потужності його місце в системі класифікації методів бітового кодування показано на рис. 5.18.

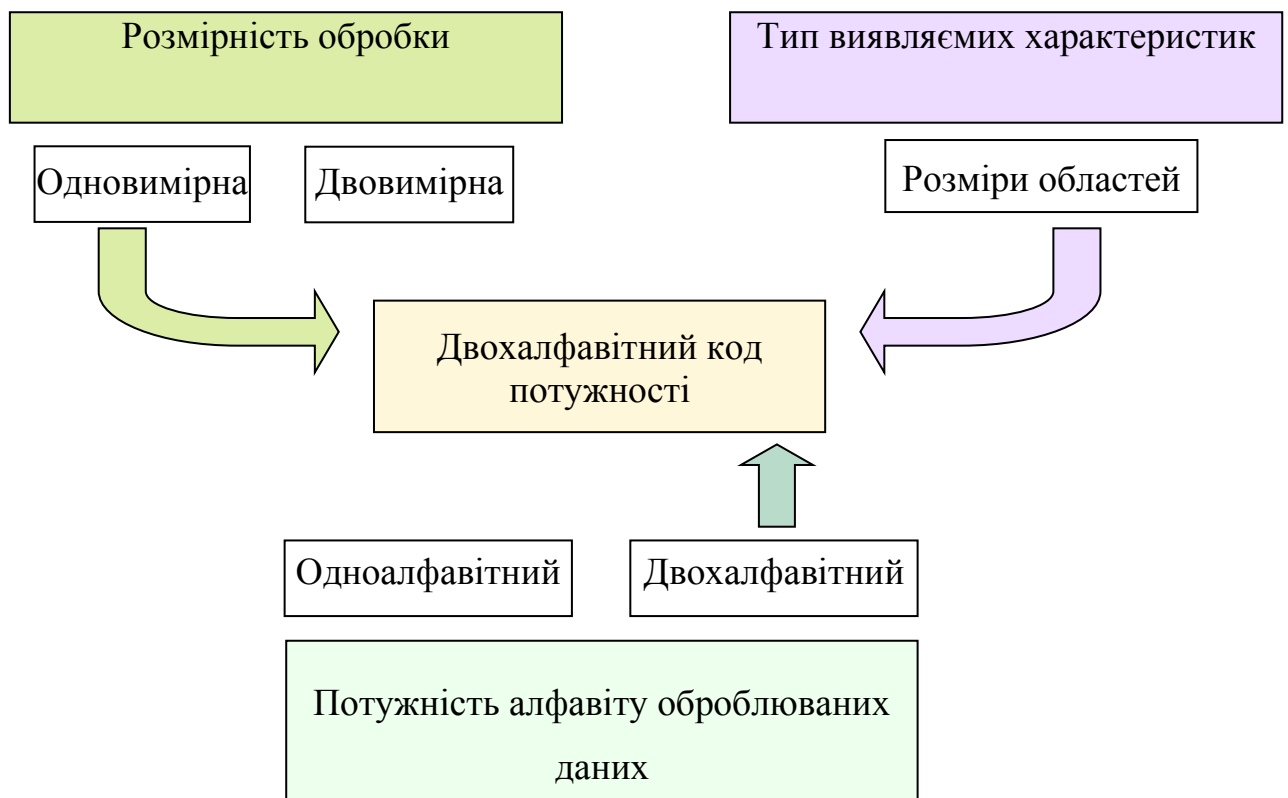


Рисунок 5.18 – Місце двоалфавітного коду потужності в системі класифікації методів бітової обробки

Розміри двійкових областей враховуються в результаті виявлення довжин двійкових серій. Покажемо, що для двоалфавітного коду потужності щодо довжин двійкових серій двійкової маски диференціального кадру виконується умова, тобто забезпечується ступінь компресії:

$$\eta_M = \frac{m_M n_M}{\Phi_0 \log_2 r(0)_{\max} + \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{\Phi} r_i}{\log_2 (r(0)_{\max}^{\Phi_0} \cdot r(1)_{\max}^{\Phi_1})},$$

де Φ_0 – кількість довжин серій нулів для двійкової маски диференційно-поданого кадру;

Φ_1 – кількість довжин серій одиниць для двійкової маски диференційно-поданого кадру.

Експериментальна оцінка величини η_M щодо масиву двійкової маски диференційно-поданого кадру для відеоінформаційного потоку стаціонарної камери наведена на рис. 5.19.

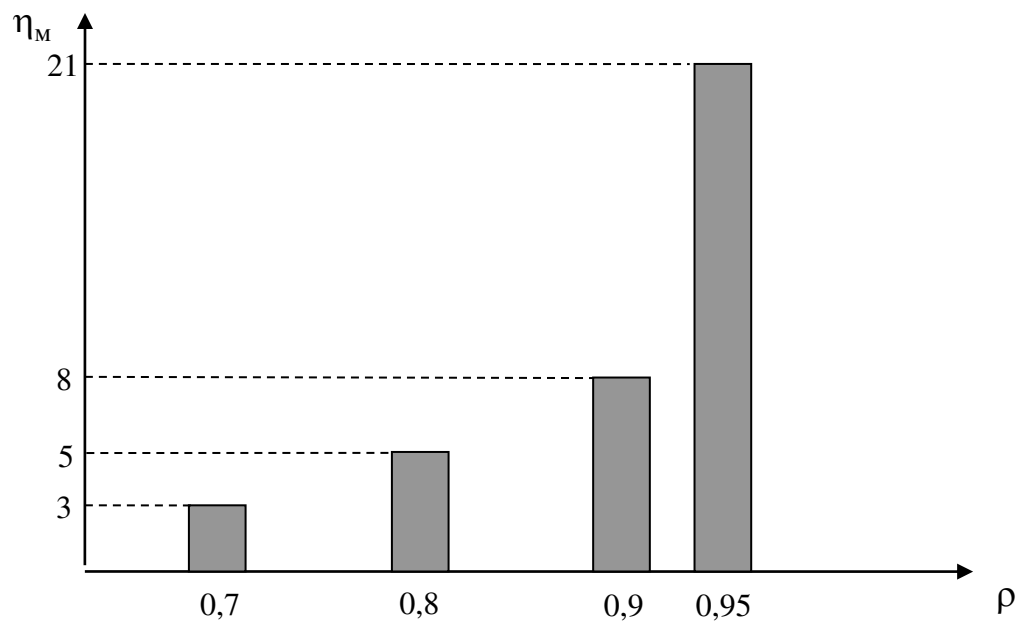


Рисунок 5.19 – Експериментальна оцінка величини η_M щодо масиву двійкової маски диференційно-поданого кадру для відеоінформаційного потоку стаціонарної камери

З урахуванням виявлених особливостей структурна схема методу двофазового кодування матриці двійкової маски диференційно-поданого кадру приведена на рис. 5.20.

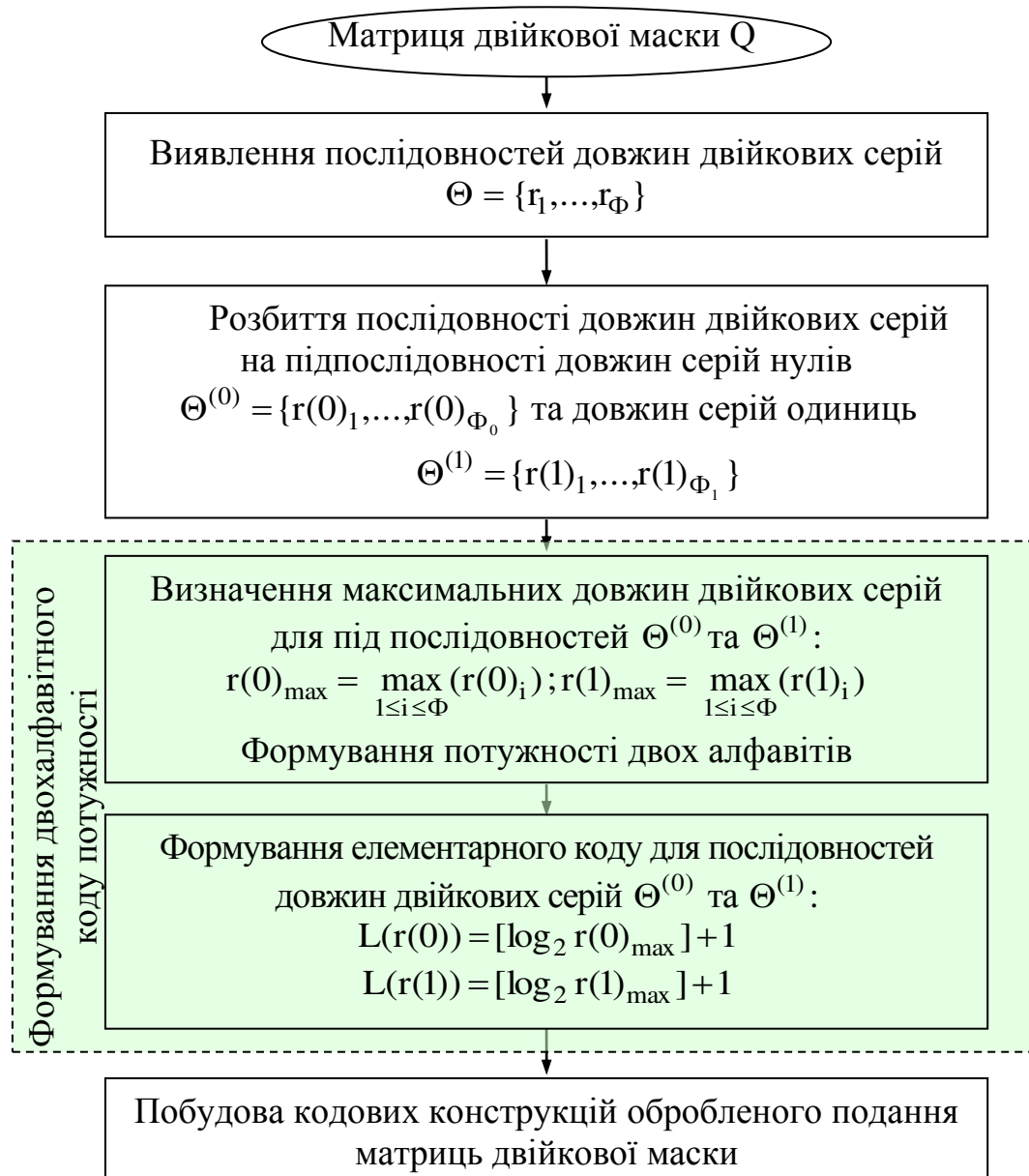


Рисунок 5.20 – Структурна схема методу двоалфавітного кодування
двійкової маски диференційно-поданого кадру

Приклад 1. Обчислимо кількість розрядів $L(r)_\Sigma$ на подання всієї послідовності довжин серій для двійкової маски диференційно-поданого кадру Q за рахунок одноалфавітного коду потужності.

Двійкова маска диференційно-поданого кадру Q

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0

Спочатку визначимо максимальне значення довжини двійкової серії r_{\max} у послідовності довжин двійкових серій $\Theta = \{r_1 = 19; r_2 = 1; r_3 = 4; r_4 = 5; r_5 = 1; r_6 = 3; r_7 = 3\}$ на підставі виразу (5.2):

$$r_1 = 19; L(r)_1 = 5 \text{ біт}; r_2 = 1; L(r)_2 = 1 \text{ біт};$$

$$r_3 = 4; L(r)_3 = 2 \text{ біт}; r_4 = 5; L(r)_4 = 3 \text{ біт};$$

$$r_5 = 1; L(r)_5 = 1 \text{ біт}; r_6 = 3; L(r)_6 = 2 \text{ біт};$$

$$r_7 = 3; L(r)_7 = 2 \text{ біт}.$$

Максимальна довжина серії двійкової маски диференційно-поданого кадру $r_{\max} = 19$. Тоді на підставі виразу (5.3) кількість розрядів, що витрачається на подання максимальної довжини серії двійкової маски дорівнює $L(r) = 5$ біт.

Кількість довжин двійкових серій, сформованих для масиву двійкової маски диференціального кадру, $\Phi = 7$. Тоді на підставі виразу (5.4) сумарна кількість розрядів на подання послідовності довжин двійкових серій дорівнюватиме $L(r)_{\Sigma} = 5 \cdot 7 = 35$ біт.

При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення (сильнонасиченого деталями, які мають різні динамічні складові) знадобиться 36 розрядів. Отже, за рахунок застосування одноалфавітного коду потужності для всіх послідовностей довжин серій обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру знизиться приблизно на 3%.

Приклад 2. Обчислимо сумарну кількість розрядів $L(r)_\Sigma$ на подання всієї послідовності довжин серій для двійкової маски диференційно-поданого кадру Q за рахунок двошалфавітного коду потужності.

Двійкова маска диференційно-поданого кадру Q

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0

Спочатку визначимо максимальне значення $r(0)_{\max}$ у підпослідовності довжин серій нулів $\Theta^{(0)} = \{r(0)_1 = 19; r(0)_2 = 4; r(0)_3 = 1; r(0)_4 = 3\}$ на підставі виразу (5.2):

$$r(0)_1 = 19; L(r(0))_1 = 5 \text{ біт};$$

$$r(0)_2 = 4; L(r(0))_2 = 2 \text{ біт};$$

$$r(0)_3 = 1; L(r(0))_3 = 1 \text{ біт};$$

$$r(0)_4 = 3; L(r(0))_4 = 2 \text{ біт}.$$

Максимальна довжина серії нулів двійкової маски диференційно-поданого кадру $r(0)_{\max} = 19$. Тоді кількість розрядів, яка витрачається на подання максимальної довжини серії нулів двійкової маски дорівнює $L(r(0)) = 5$ біт.

Кількість довжин серій нулів, сформованих для масиву двійкової маски диференційного кадру, так само $\Phi = 4$. Тоді на підставі виразу (5.5) сумарна кількість розрядів на подання підпослідовності довжин серій нулів дорівнюватиме $L(r(0))_\Sigma = 5 \cdot 4 = 20$ біт.

Потім, аналогічно визначимо максимальне значення $r(1)_{\max}$ у підпослідовності довжин серій одиниць $\Theta^{(1)} = \{r(1)_1 = 1; r(1)_2 = 5; r(1)_3 = 3\}$ на підставі виразу (5.2):

$$r(1)_1 = 1; L(r(1))_1 = 2 \text{ біт};$$

$$r(1)_2 = 5; L(r(1))_2 = 3 \text{ біт};$$

$$r(1)_3 = 3; L(r(1))_3 = 2 \text{ біт}.$$

Максимальна довжина серії одиниць двійкової маски диференційно-поданого кадру $r(1)_{\max} = 5$. Тоді кількість розрядів на подання максимальної довжини серії одиниць двійкової маски дорівнюватиме $L(r(1)) = 3$ біт.

Кількість довжин двійкових серій одиниць, сформованих для масиву двійкової маски диференційного кадру, $\Phi = 3$. Тоді на підставі виразу (5.6) сумарна кількість розрядів на подання послідовності довжин серій одиниць дорівнюватиме $L(r(1))_{\Sigma} = 3 \cdot 3 = 9$ біт.

Таким чином, сумарна кількість розрядів на подання серій нулів та одиниць дорівнюватиме $L(r)_{\Sigma} = L(r(0))_{\Sigma} + L(r(1))_{\Sigma} = 20 + 9 = 29$ біт.

При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення (сильнонасиченого деталями, які мають різні динамічні складові) знадобиться 36 розрядів. Отже, за рахунок застосування двохалфавітного коду потужності для підпоследовностей довжин серій нулів та одиниць обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру знизиться приблизно на 20%. Також за рахунок двохалфавітного коду потужності обсяг двійкової маски диференційно-поданого кадру щодо одноалфавітного коду знизиться приблизно на 17%.

Таким чином, зі збільшенням коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами збільшується ступінь компресії двійкової маски диференційно-поданого кадру.

Ступінь компресії двійкової маски диференційно-поданого кадру змінюється від 3 до 21 залежно від коефіцієнта кореляції між суміжними кадрами.

Оцінка інформативності бітового подання двійкової маски диференційно-поданого кадру на основі врахування різної ваги основ довжин

двійкових серій не вимагає збільшення складності програмно-апаратної реалізації.

5.4 Розробка методу обробки динамічної складової диференційно-поданого кадру

Позиційному кодуванню з адаптивним вибором основи піддаються не окремі елементи, а їх сукупності (рядки). Тому перед початком позиційного кодування з адаптивним вибором основи потрібно з окремих елементів сформувати масиви.

Динамічна складова $I_{\text{дин}}$ розбивається на масиви (рис. 5.21).

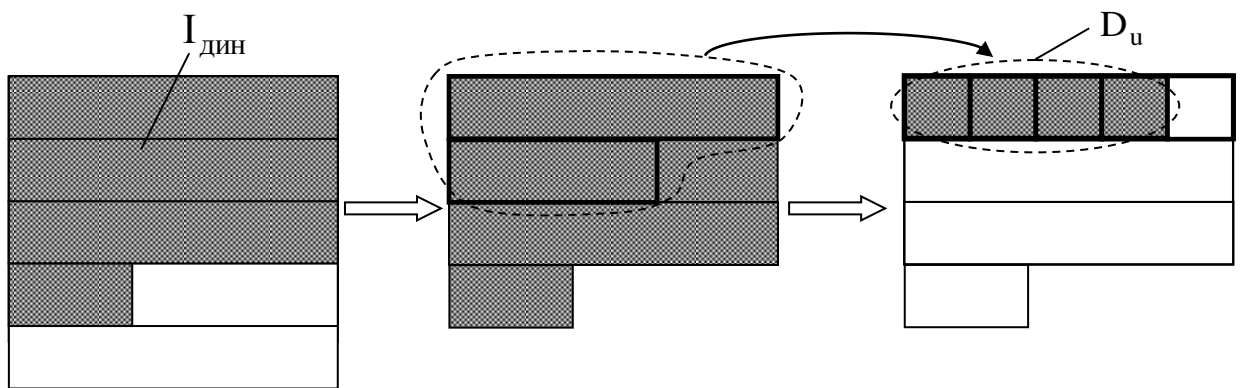


Рис. 5.21 – Сегментація динамічної складової на масиви

На час формування масивів D впливає порядок обходу динамічної складової. З технічної точки зору найменший час відображення інформації на екрані досягається при порядковому обході динамічної складової. Це пояснюється тим, що в процесі відображення кадру воно виводиться на екран по рядках (рядкова розгортка). Тоді при відновленні зображення воно буде виводитися на екран у міру відновлення елементів, що належать динамічній складовій [36, 177, 218 – 220]. А сама динамічна складова розбивається на блоки рівних розмірів (рис. 5.22).

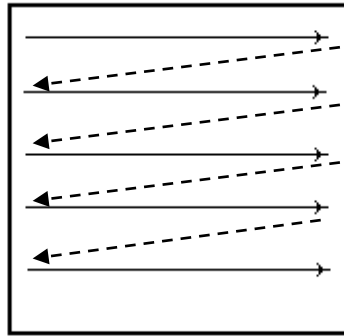


Рисунок 5.22 – Фрагмент розбиття динамічної складової:

—————> - напрямок обходу динамічної складової

Тому порядок обходу динамічної складової пропонується організувати по рядках в напрямку зліва направо. Для кожної наступної динамічної складової $I_{\text{дин}}$ процес її розбиття на масиви починається спочатку.

Кількість елементів у динамічній складовій $v_{\text{дин}}$ нам відома і вона дорівнює кількості одиничних елементів у стаціонарній складовій $I_{\text{ст}}$. Тому пропонується розбивку динамічної складової на масиви здійснювати з урахуванням наявності інформації про кількість елементів динамічної складової. Звідси розмір масиву пропонується вибирати з урахуванням:

1. Максимального заповнення масивів елементами динамічної складової, тобто в останньому масиві, сформованому для динамічної складової, повинно бути якомога менше незаповнених рядків.

2. Того, що позиційне число і код формуються для рядка масиву. У цьому випадку необхідно забезпечити відсутність ситуацій, які призводять до переповнення максимально допустимої довжини кодового слова.

3. Того, що кількість потенційно скорочуємої надмірності збільшиться з ростом розміру позиційного числа. Це обумовлено тим, що для більшої довжини блоку можна виявити більше закономірностей, які використовуються в процесі скорочення надмірності.

Пропонується така процедура визначення розмірів масивів, на які розбивається динамічна складова:

1) якщо довжина допустимого кодового слова обмежена 64 бітами, то, відповідно до властивостей позиційного кодування, довжина рядка масиву динамічної складової не повинна перевищувати 8. З іншого боку, відповідно до третьої вимоги щодо вибору розміру масиву динамічної складової, довжина рядка не повинна бути менше 4. Тому, на першому етапі довжина рядка масивів динамічної складової має дорівнювати 6, тобто ($n_{\text{дин}} = 6$), якщо $n_{\text{дин}} \leq v_{\text{дин}}$,

де $v_{\text{дин}}$ - кількість елементів в динамічній складовій.

Тоді сумарна кількість рядків динамічної складової $m(\Sigma)_{\text{дин}}$ при врахуванні знання величини $v_{\text{дин}}$ визначається за формулою:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} = \begin{cases} \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] + 1, & \text{якщо } v_{\text{дин}} - \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} \neq 0; \\ \frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}}, & \text{якщо } v_{\text{дин}} - \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} = 0, \end{cases}$$

де $\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}}$ - кількість рядків динамічної складової, на основі яких формуються

повні масиви;

$v_{\text{дин}} - \left[\frac{v_{\text{дин}}}{n_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}}$ - залишкова кількість рядків динамічної складової,

на основі якої можна сформувати повний масив;

2) сумарна кількість рядків розбивається на окремі масиви. Причому кількість рядків в масивах повинна бути однаковою. З іншого боку, на вибір кількості рядків у масиві впливає умова збереження однорідності властивостей у локальній області за динамічними діапазонами. Це дозволить вибирати адаптивну основу позиційного числа, яка найбільш адекватно описує властивості локальної області. У зв'язку з чим, пропонується кількість

рядків в масиві вибирати рівною $n_{\text{дин}} = 6$. Тоді кількість $v_{\text{м}}^{(\text{дин})}$ масивів, на які розбивається вся динамічна складова дорівнює:

$$v_{\text{м}}^{(\text{дин})} = \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right].$$

Для скорочення кількості основ позиційних чисел, які обирають для кожного масиву окремо, пропонується така процедура:

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} < 3.$$

Останній повний масив заповнюється залишившимся рядками з неповного масиву. В іншому випадку, коли

$$m(\Sigma)_{\text{дин}} - \left[\frac{m(\Sigma)_{\text{дин}}}{m_{\text{дин}}} \right] m_{\text{дин}} \geq 4,$$

формується неповний масив.

У загальному вигляді схема позиційного кодування масивів динамічної складової з адаптивним вибором основи, наведена на рис. 5.23.

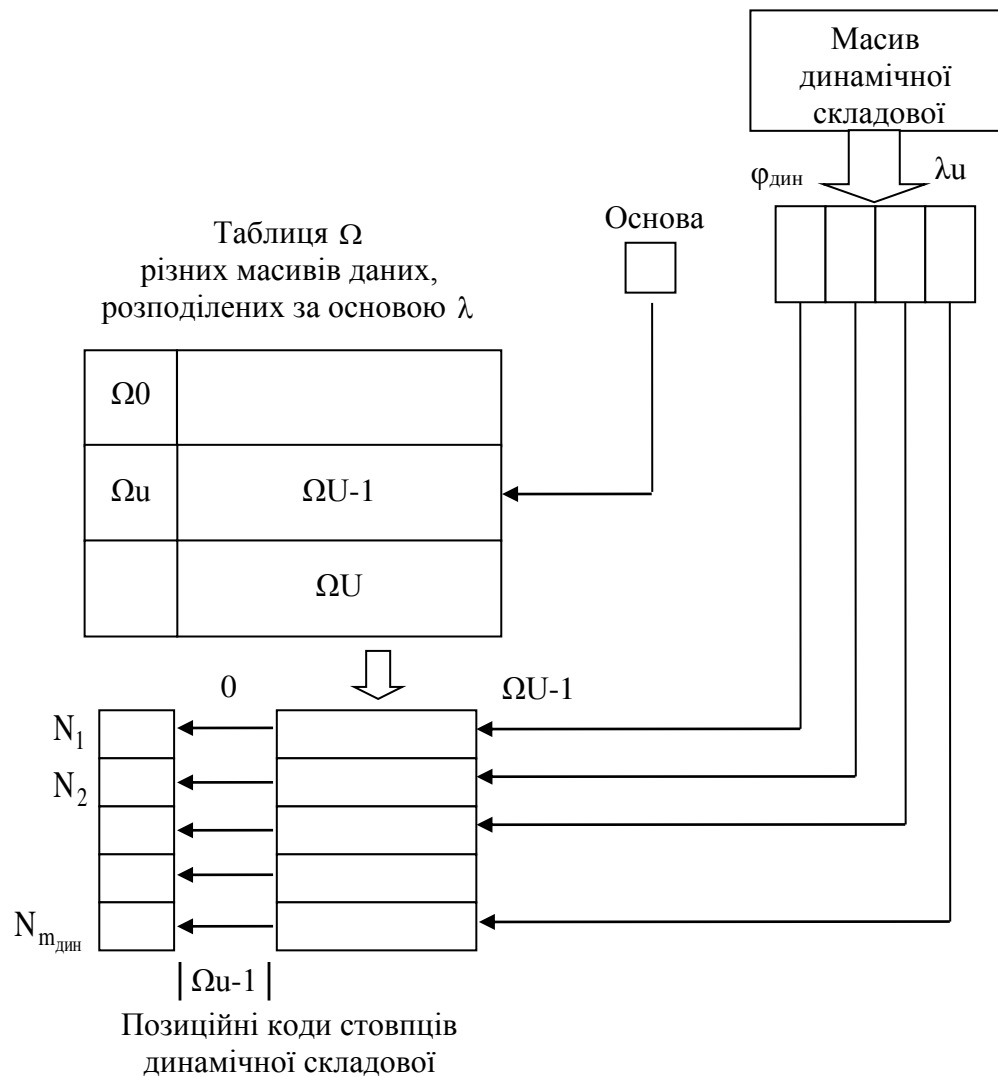


Рис. 5.23 – Схема позиційного кодування масиву динамічної складової з адаптивним вибором основи

Таблиця Ω складається з усіх можливих масивів даних, розподілених залежно від значення основи, де $U+1$ – кількість різних масивів динамічної складової заданого розміру, а u – індекс підмножини масивів динамічної складової, що задовольняють значенням основи λ_u . Масиви динамічної складової утворюються з вихідного зображення на основі функціоналів $\phi_{\text{дин}}$. Потім для отриманих масивів знаходиться основа λ_u . Знайдена основа служить вхідним параметром для зчитування з таблиці Ω множин Ω_u відповідно можливих масивів динамічної складової. В межах обраних

множин Ω_u стовпці масивів динамічної складової нумеруються по порядку відповідно від 0 до $|\Omega_u|$. Тому за рахунок зіставлення конкретних масивів динамічної складової стовпцями множин Ω_u визначаються відповідні коди для позиційних чисел $N(u)_i$.

У загальному випадку повний масив D_u динамічної складової має вигляд:

$$D_u = \begin{pmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,j} & \dots & d_{1,n_{\text{дин}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ d_{i,1} & d_{i,2} & \dots & d_{i,j} & \dots & d_{i,n_{\text{дин}}} \\ & & & & & \\ & & & & & \\ d_{m_{\text{дин}},1} & d_{m_{\text{дин}},2} & \dots & d_{m_{\text{дин}},j} & \dots & d_{m_{\text{дин}},n_{\text{дин}}} \end{pmatrix},$$

де $d_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент масиву динамічної складової;

$m_{\text{дин}}, n_{\text{дин}}$ – відповідно кількість рядків та стовпців в масивах D_u .

Масив D_u може бути заповнений не повністю. Формування рядка масиву динамічної складової проводиться з урахуванням зсуву на кількість елементів, яка дорівнює довжині рядка масиву $n_{\text{дин}}$.

На процес розбиття динамічної складової на масиви D_u впливає максимальне значення d_{max} елемента $I_{\text{дин}}$ та кількість $n_{\text{дин}}$ стовпців. Це обумовлено тим, що код формується не для окремого елемента динамічної складової, а для рядка масиву динамічної складової. Тому на значення коду позиційного числа $N(u)_i$ і на довжину його кодограми L_i впливає адаптивна основа, яка вибирається відповідно до величини d_{max} і кількості елементів в позиційному числі, що визначається величиною $n_{\text{дин}}$. При цьому ми можемо управляти тільки величиною $n_{\text{дин}}$. Величина d_{max} визначається окремо для кожної динамічної складової. Тому, перед вибором величини $n_{\text{дин}}$

пропонується розглянути особливості позиційного кодування з адаптивним вибором основи.

1. Обмеження, що накладається на довжину кодограми L_j , яке відводиться під позиційне число $N(u)_j$. Виконання цього обмеження необхідно для виключення втрат інформації через брак розрядів для подання значення коду $N(u)_j$. Для цього величина максимально можливого числа, яке може зберігатися в кодограмі L_j розрядів, не повинна перевищувати величини динамічного діапазону $D_{(N)}$ значень кодів позиційних чисел:

$$2^{L_j} \geq D_{(N)},$$

де 2^{L_j} – максимально можливе число, яке може зберігатися в кодограмі довжиною L_j біт.

Динамічний діапазон $D_{(N)}$ визначається як максимально можливе значення коду позиційних чисел $N(u)_j$ для заданого значення основи λ_u .

2. Значення кодів $N(u)_j$ формуються для позиційних чисел рівномірної довжини $n_{\text{дин}}$. Це обумовлено тим, що позиційне число формується на базі елементів окремих рядків масивів динамічної складової. Тому значення кодів $N(u)_j$ будуть набувати різних розмірів для різних рядків. Звідси для скорочення кодової надмірності пропонується довжину кодограми L_j вибирати нерівномірною, тобто $L_j = \text{VAR}$.

Для запропонованої організації масивів D_u схема розрахунку позиційних чисел для рядків $D_{u,j} = \{d_{1,j}; d_{2,j}; \dots, d_{i,j}, \dots, d_{j,m_{\text{дин}}}\}$ цих масивів з урахуванням адаптивного вибору основи λ_u задається виразами:

$$N(u)_j = \sum_{i=1}^{m_{\text{дин}}} d_{i,j} P_j; \quad (5.7)$$

$$P_j = \lambda_u^{(m_{\text{дин}} - j)}; \quad (5.8)$$

$$\lambda_u = \max \left\{ d; j \right\} + 1, \quad (5.9)$$

$$\begin{array}{l} 1 \leq j \leq n_{\text{дин}} \\ 1 \leq i \leq m_{\text{дин}} \end{array}$$

де $N(u)_j$ – значення коду для j -го позиційного числа j -го стовпця u -го масиву динамічної складової; P_j – ваговий коефіцієнт j -го елемента позиційного числа; λ_u – основа u -го масиву динамічної складової.

Розглянемо приклад обчислення кодів для позиційних чисел рядків масиву динамічної складової.

Приклад 3. Виконаємо розрахунок $N(u)_j$ для кодів позиційних чисел масивів D_u :

$$D_u = \begin{vmatrix} 10 & 23 & 30 \\ 20 & 18 & 9 \\ 4 & 10 & 15 \end{vmatrix}.$$

Спочатку визначимо позиційні числа для рядків масиву $D_{u,i}$ динамічної складової. Для цього знайдемо основу λ_u та обчислимо за формулою (5.8) їх накопичені добутки P_j . Величина основи $\lambda_u = 31$. Тоді ваговий коефіцієнт $P_1 = 31^2 = 961$; $P_2 = 31^1 = 31$; $P_3 = 31^0 = 1$. На основі цих значень за формулою (5.7) обчислимо значення $N(u)_j$ для кодів позиційних чисел $D_{u,j}$:

$$N(u)_1 = 10 \times 961 + 20 \times 31 + 4 \times 1 = 10234; L_1 = 14 \text{ біт};$$

$$N(u)_2 = 23 \times 961 + 18 \times 31 + 10 \times 1 = 22671; L_2 = 15 \text{ біт};$$

$$N(u)_3 = 30 \times 961 + 9 \times 31 + 15 \times 1 = 29124; L_3 = 15 \text{ біт.}$$

Максимальна кількість розрядів, яка витрачається на представлення позиційних чисел динамічної складової дорівнює 15 розрядам. При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення (сильнонасичений динамічними складовими) знадобиться 24 розряди. Отже, за рахунок позиційного кодування обсяг динамічної складової знизиться приблизно на 38%.

Позиційні коди дозволять компактно представити масиви динамічної складової, якщо відповідні максимальні значення λ_u мають обмежені розміри, тобто: $\lambda_u < d_{\max}, u = \overline{1, v_{\text{дин}}}$, де d_{\max} – максимальне числове значення динамічної складової.

Таким чином, в результаті запропонованого кодування масиви динамічної складової замінюються послідовністю кодових значень позиційних чисел з адаптивною основою $\{N(u)_1, \dots, N(u)_j, \dots, N(u)_{m_{\text{дин}}}\}$.

Розглянемо інтерпретацію запропонованого кодування. Кожному рядку масиву динамічної складової, який розглядається як позиційне число, ставиться у відповідність один код $N(u)_j$ нерівномірної довжини. Тоді за рахунок позиційного кодування з адаптивною основою рівномірні частини динамічної складової замінюються кодограмами нерівномірної довжини. Тому весь ланцюг послідовних перетворень можна розглядати як рівномірне векторне квантування з подальшим нерівномірним розподілом кількості двійкових розрядів (рис. 5.24).

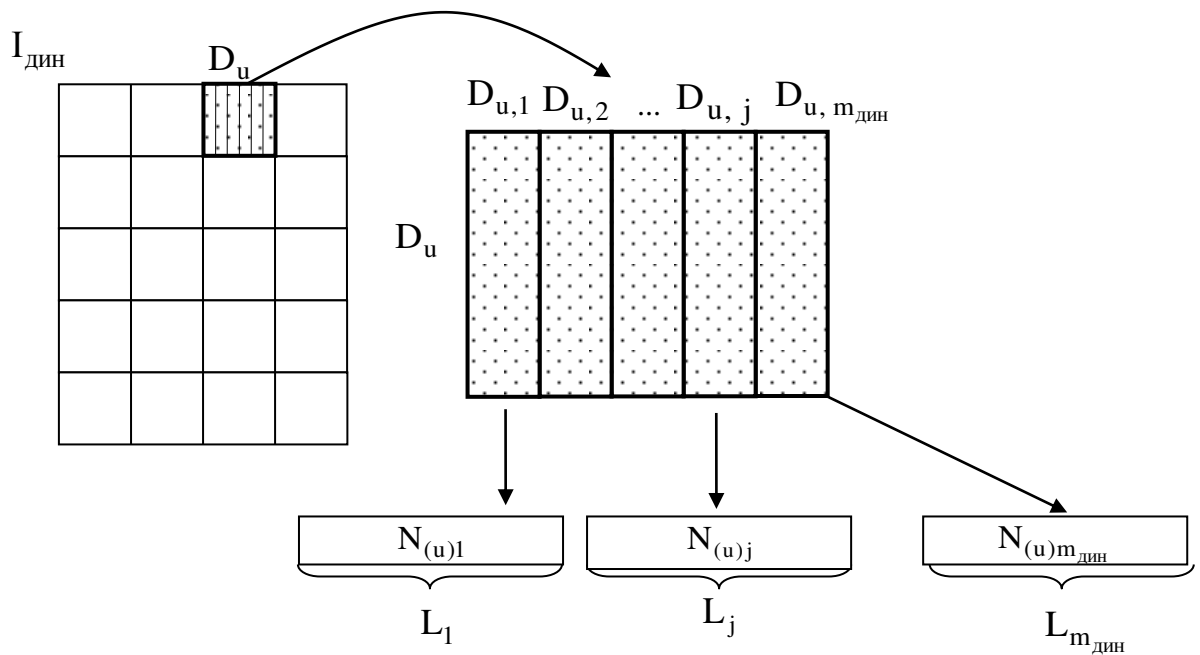


Рис. 5.24 – Схема отримання кодів - номерів для частин фрагмента зображення

Позначимо дане перетворення так:

$$N_{(u)_j} = f_{\text{рвк}} \{D_{u,j}; \lambda_u\};$$

$$L_j = f_{\text{нрр}} \{N_{u,j}; \delta_u\} = f_{\text{нрр}} \{f_{\text{рвк}} \{D_{u,j}; \lambda_u\}; \delta_u\},$$

де $f_{\text{рвк}}$ – функціонал, який задає рівне векторне квантування динамічної складової;

$f_{\text{нрр}}$ – функціонал, який описує процес розподілу кількості двійкових розрядів під кожен код позиційного числа.

Оскільки, з одного боку, кількість елементів у позиційному числі є рівномірною, а, з іншого, значення їх елементів має нерівномірний розподіл на натуральній осі, то значення коду $N_{(u)_j}$ буде нерівномірним:

$$N_{(u)_j} = \text{VAR} .$$

У цьому випадку, якщо під кожен код формувати кодограми заздалегідь заданій рівномірної довжини L_c буде утворюватися кодова надмірність R_c . Це обумовлено появою незначних старших розрядів кодограми, як показано на рисунку 5.25.

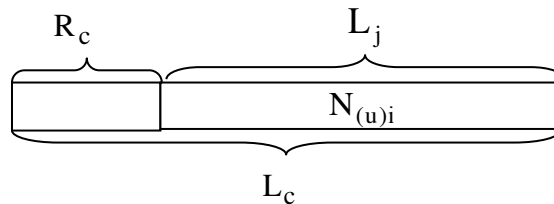


Рис. 5.25 – Схема формування кодової надмірності

Кодова надмірність R_c дорівнює:

$$R_c = L_c - L_j,$$

де L_j – кількість розрядів на подання значення коду позиційного числа, яка формується адаптивно для кожного стовпця масиву динамічної складової D_u ;

L_c – заздалегідь обрана рівномірна довжина кодограми, яка не враховує структурні особливості масивів динамічної складової D_u .

Отже для скорочення кодової надмірності пропонується формувати довжину кодограми, враховуючи структурні особливості кожного стовпця $D_{u,j}$ масиву динамічної складової і нерівномірність довжини кодограми. Тобто, для кожного рядка масиву динамічної складової в загальному випадку може виконуватися нерівність:

$$L_1 \neq \dots L_j \neq \dots L_{m_{\text{дин}}}.$$

Для таких умов існують дві базові стратегії позиціонування кодограм обробленого подання.

Перша стратегія полягає у використанні маркерних роздільників між кодограмами. Маркерні роздільники – це кодова посилка, зміст якої не може повторюватися в жодній кодограмі. З одного боку, це дозволяє забезпечити поділ кодограм на приймальній стороні, але, з іншого боку, призводить до збільшення обсягу обробленого подання.

Суть другої стратегії полягає в тому, що кількість розрядів під кодограми вибирається з урахуванням особливостей динамічних діапазонів оброблюваних рядків динамічної складової. При цьому для скорочення службових даних пропонується використовувати тільки ту службову інформацію, яка використовувалася в процесі формування коду $N(u)_j$.

У разі формування коду для позиційного числа пропонується враховувати такі властивості. Максимальне значення коду $N(u)_{\max}$ позиційного числа для заданої основи λ_u визначається накопиченим добутком основ його елементів:

$$N(u)_{\max} = \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1.$$

Звідки значення коду $N(u)_j$ для позиційних чисел з адаптивною основою λ_u буде обмежено величиною

$$N(u)_j \leq \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1.$$

Звідси кількість двійкових розрядів L_j на подання коду $N(u)_j$ по адаптивній основі λ_u матиме таку верхню межу:

$$L_j = \lceil \log_2 N(u)_j \rceil + 1 \leq \lceil \log_2 \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1 \rceil + 1. \quad (5.10)$$

Як випливає з виразу (5.10), права частина нерівності залежить від величини адаптивної основи λ_u та довжини стовпця $m_{\text{дин}}$ масиву динамічної складової. Величина λ_u використовується в процесі кодування, тобто не є додатковою службовою інформацією. Тому для деталізації кодограм позиційних чисел передбачається здійснювати розподіл кількості розрядів під кожен кодограму відповідно до виразу (5.10). У цьому випадку довжина кодограми L_j дорівнює:

$$L_j = [\log_2 \lambda^{m_{\text{дин}}} - 1] + 1.$$

Тоді $\delta = \lambda_u$.

Відповідно до запропонованої стратегії кількість розрядів під кожен кодограму в межах одного масиву динамічної складової буде постійним. Але для різних масивів динамічної складової витрати кількості розрядів під кожен кодограму є нерівномірними. Це пояснюється тим, що є відмінності значення основ λ_u . Тому пропонується принцип розподілу кількості розрядів під кодограми називати локально – рівномірним.

Таким чином, запропоновано вимоги щодо розбивки динамічної складової на масиви, які враховують, з одного боку, необхідність додаткового скорочення надмірності, а з іншого, виключення випадків переповнення кодового слова.

Розроблено метод компресії масивів динамічної складової на основі одновимірного позиційного кодування з адаптивним вибором основи. При цьому код позиційного числа формується для окремих рядків масиву динамічної складової, а довжина кодового слова вибирається нерівномірної довжини.

Довжини кодових слів позиціонуються один відносно одного відповідно до відомих значень довжини позиційного числа $m_{\text{дин}}$ та адаптивною основою λ_u .

5.5 Розробка методу подання службових даних диференційно-поданого кадру

Для інтеграції двоалфавітного коду за потужністю довжин двійкових серій, виявлених на двійковій масці, в технологію компресії послідовності зображень Р-типу необхідно [66, 187, 221 – 224]:

1) забезпечити узгодження між вимогами, що пред'являються до двоалфавітного коду за потужністю для збільшення ступеня компресії, мінімізації часу обробки, та особливостями формування двійкової маски для диференційно-поданих кадрів;

2) врахувати особливості процесу формування коду потужності алфавіту при побудові кодових конструкцій обробленого подання зображення для забезпечення:

- виключення випадків, які призводять до втрати інформації;
- мінімізації кодової надмірності;

3) виявити можливості та організувати процес компактного подання службових даних, які утворюються для технології обробки диференційно-поданих кадрів на основі формування двійкових масок стаціонарної складової.

Забезпечення першого умови базується на способах виявлення двійкових серій та способах формування кодів потужності алфавіту.

Розглянемо другу умову, яка є ключовою в процесі інтеграції двоалфавітного коду по потужності (рис. 5.26), в технологію компресії диференційно-поданих кадрів.

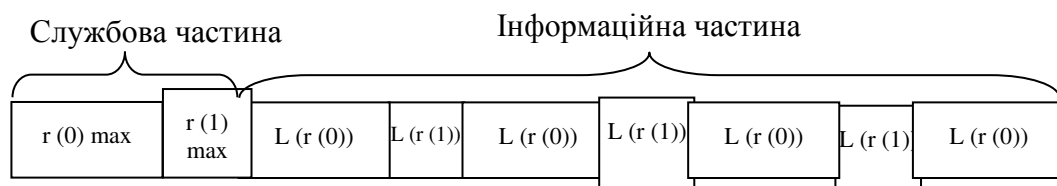


Рис. 5.26 – Структура двоалфавітних кодів

Представимо вирази, які здійснюють обчислення значення кодів $L(r(0))$ та $L(r(1))$ для підпоследовностей довжин серій нулів та одиниць, виявлених на матриці двійковій маски:

$$L(r(0)) = [\log_2 r(0)_{\max}] + 1;$$

$$L(r(1)) = [\log_2 r(1)_{\max}] + 1,$$

де $r(0)_{\max}$ – значення максимальної довжини серій нулів двійкової маски диференційно-поданого кадру;

$r(1)_{\max}$ – значення максимальної довжини серій одиниць двійкової маски диференційно-поданого кадру.

Виключення випадків, які призводять до втрати інформації в процесі кодування матриць двійкової маски, досягаються в результаті:

1. Наявності додаткової інформації про довжину кодових конструкцій двоалфавітних кодів $r(0)_{\max}$ та $r(1)_{\max}$, а також використання рівномірних кодів для подання довжин серій нулів та одиниць. Це дозволяє визначити початок і кінець кодової конструкції обробленого подання матриці двійкової маски.

2. Використання умови початкової нульової серії. Це дозволяє виключити збій в ідентифікації приналежності коду відповідної серії двійкових елементів.

3. Здійснення процесів кодування і декодування двоалфавітних кодів в умовах взаємосумісності. У цьому випадку помилка відхилення бітової відповідності вихідної і реконструйованої двійкової маски дорівнює нулю.

Мінімізація кодової надмірності забезпечується за рахунок адаптивного вибору потужності алфавіту залежно від особливостей формування серій нульових та одиничних елементів.

Розглянемо можливість скорочення службових даних, які утворюються для технології обробки диференційно-поданих кадрів. Службовими даними є матриці покажчиків знаків M диференційно-поданого кадру. Обсяг матриці покажчиків знаків займає обсяг $V(M)$, який дорівнює:

$$V(M) = m \cdot n \text{ (біт)}.$$

Звідси, кількість розрядів на подання службових даних може збільшувати обсяг обробленого подання в діапазоні від 10% до 30%.

Тому для зменшення обсягу матриці покажчиків знаків пропонується враховувати структурну подібність з матрицею двійкової маски. Така структурна подібність полягає в тому, що довжина та позиції серії нульових елементів для матриці покажчиків знаків збігаються з довжиною та позиціями серії нульових елементів для матриці двійковій маски (рис. 5.27).

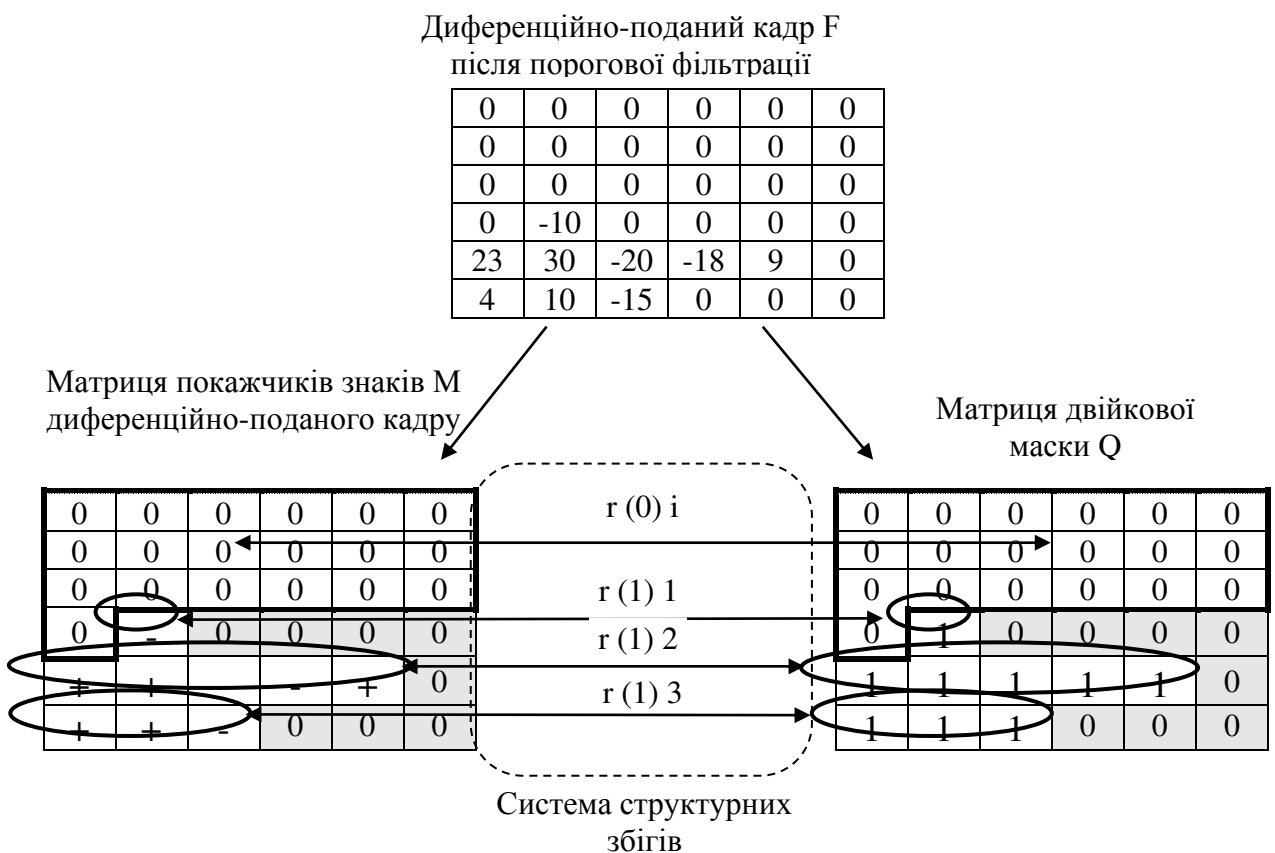


Рис. 5.27 – Структурний збіг для матриці покажчиків знаків та матриці двійкової маски

Дана відповідність задається формулою:

$$r(0)_i = r(M)_0,$$

де $r(0)_i$ – значення довжини серії нульових елементів i -го рядка матриці двійкової маски;

$r(M)_0$ – значення довжини серії нульових елементів матриці покажчиків знаків.

Відповідно, серія одиничних елементів у матриці двійкової маски вказує на позиціонування та довжину негативних елементів динамічної складової.

У той самий час серія одиничних елементів двійкової маски вказує не тільки на негативні значення елементів динамічної складової, а й на позитивні значення.

Тоді довжина $r(1)_i$ серії одиничних елементів двійкової маски для i -го рядка включає довжину $r(M)_-$ серії негативних елементів матриці покажчиків знаків та довжину $r(M)_+$ серії позитивних елементів матриці покажчиків знаків:

$$r(1)_i = r(M)_- + r(M)_+.$$

Тому пропонується:

1. Матрицю покажчиків знаків будувати після порівняння з порогом (проведена порогова фільтрація диференційно-поданого кадру).

2. Не використовувати в побудові матриці покажчиків знаків серію покажчиків, які відносяться до нульових елементів диференційно-поданого кадру. Дані серії будуть структурно відповідати серіями нульових елементів матриці двійкової маски.

3. Нульовими елементами позначати позитивні елементи динамічної складової i , навпаки, одиничними елементами позначати негативні елементи динамічної складової. В силу структурної подібності довжини та позиції таких елементів формуватимуть серії одиничних елементів матриці двійкової маски.

Для отримання абсолютних значень динамічної складової диференційно-представленого кадру без збільшення їх динамічного діапазону пропонується формувати двійковий вектор W покажчиків знаків динамічної складової (рис. 5.28). Тут використовується відповідність між серіями одиничних елементів матриці двійкової маски та серіями двійкового вектора покажчиків знаків, який задається виразом:

$$r(1)_i = r(h)_i,$$

де $r(h)_i$ – довжина серії двійкового вектора покажчиків знаків для i -го рядка.

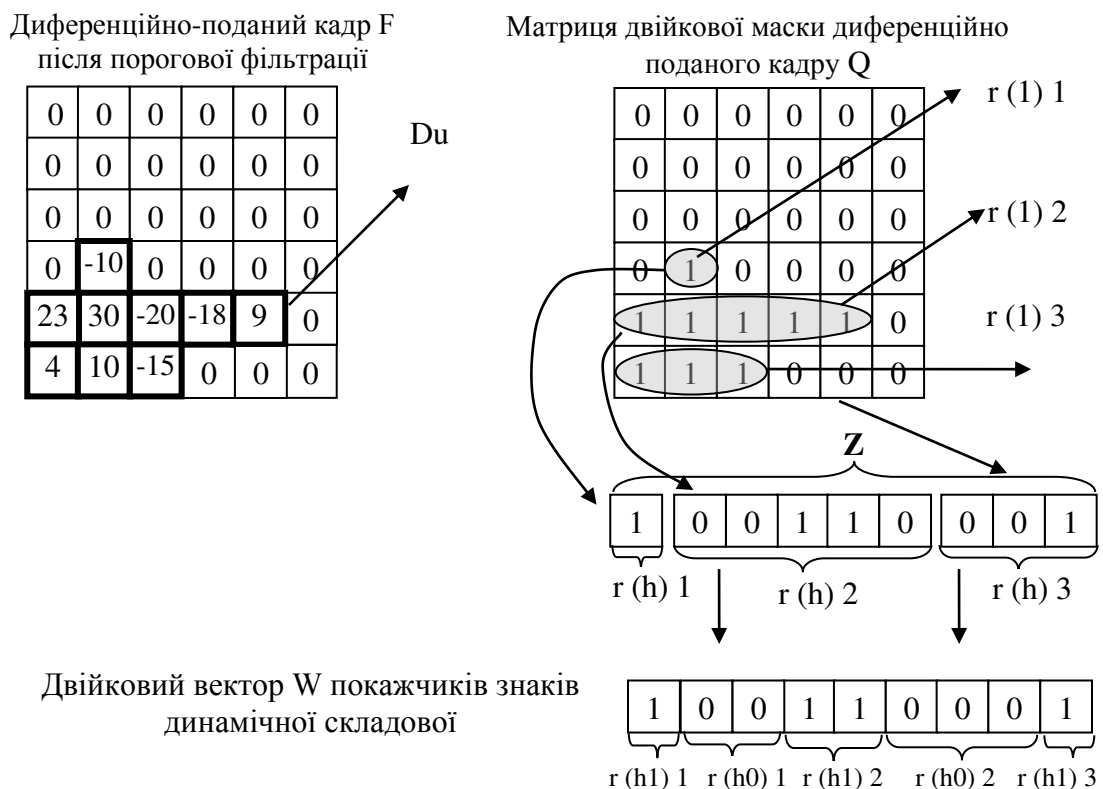


Рис. 5.28 – Схема формування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової

Довжина $r(h)_i$ визначається на основі підсумовування серій нульових та одиничних елементів двійкового вектора покажчиків знаків:

$$r(h)_i = \sum_{\xi=1}^{v_0} r(h_0)_\xi^i + \sum_{\xi=1}^{v_1} r(h_1)_\xi^i,$$

де $r(h_0)_\xi^i$ – довжина серії нульових елементів двійкового вектора покажчиків знаків для i -го рядка;

$r(h_1)_\xi^i$ – довжина серії одиничних елементів двійкового вектора покажчиків знаків для i -го рядка;

v_0 – кількість нульових підсерій в i -му рядку матриці покажчиків знаків;

v_1 – кількість одиничних підсерій в i -му рядку матриці покажчиків знаків.

Сукупність одиничних елементів матриці двійкової маски утворюють двійковий вектор покажчиків знаків динамічної складової $W = \{w_1, \dots, w_Z\}$. Довжина Z двійкового вектора покажчиків знаків дорівнює:

$$Z = \sum_{i=1}^{\Phi_1} r(1)_i,$$

де Φ_1 – кількість серій одиничних елементів довжини двійкового вектора W покажчиків знаків динамічної складової.

Оскільки елементами двійкового вектора W покажчиків знаків динамічної складової є виконавчі елементи, то пропонується проводити їх обробку на основі одноалфавітного коду потужності. Для такого варіанту необхідно сформулювати послідовність $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової:

$$\Theta(h) = \{r(h)_1, \dots, r(h)_{\Phi(h)}\},$$

де $r(h)$ – довжина серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової;

$\Phi(h)$ – кількість довжин серій для двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової.

Далі знаходиться максимальне значення $r(h)_{\max}$ довжини серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової:

$$r(h)_{\max} = \max_{1 \leq i \leq \Phi(h)} r(h)_i. \quad (5.11)$$

Наступним етапом визначається кількість $L(r(h))$ біт, яка потрібна для подання максимального значення довжини серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової:

$$L(r(h)) = \lceil \log_2 r(h)_{\max} \rceil + 1. \quad (5.12)$$

Тоді сумарна кількість розрядів $L(r(h))_{\Sigma}$ на подання послідовності довжин серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової задається співвідношенням:

$$L(r(h))_{\Sigma} = \Phi(h) \log_2 r(h)_{\max}. \quad (5.13)$$

З урахуванням виявлених можливостей процес компактного подання службових даних, які отримаємо для технології обробки диференційно-поданих кадрів, показаний на рис. 5.29.

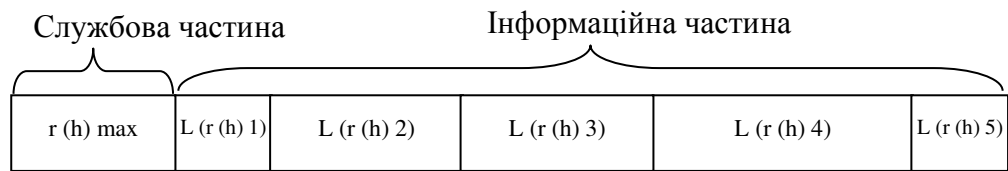


Рис. 5.29 – Структура одноалфавітних кодів

Організація одноалфавітного кодування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової з урахуванням інтеграції в технологію компресії диференційно-поданих кадрів наведена на рис. 5.30.

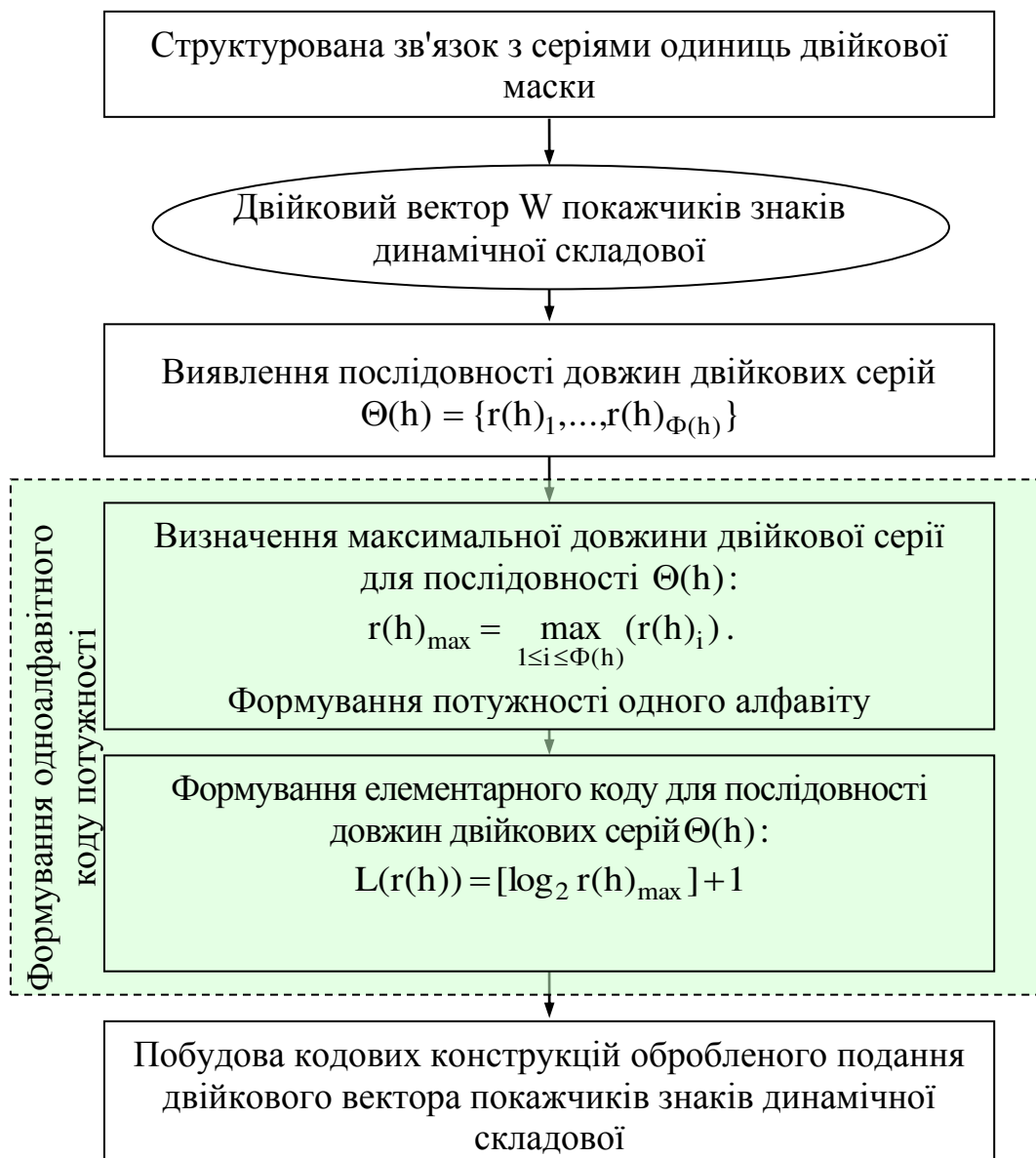


Рис. 5.30 – Структурна схема методу одноалфавітного кодування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової

Приклад 4. Обчислимо кількість розрядів $L(r(h))_{\Sigma}$ на подання послідовності $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора W покажчиків знаків динамічної складової за рахунок одноалфавітного коду потужності.

Двійковий вектор покажчиків знаків динамічної складової для фрагмента диференційно-поданого кадру, який характеризується високою концентрацією динамічної складової щодо попереднього кадру, наведений на рис. 5.31.

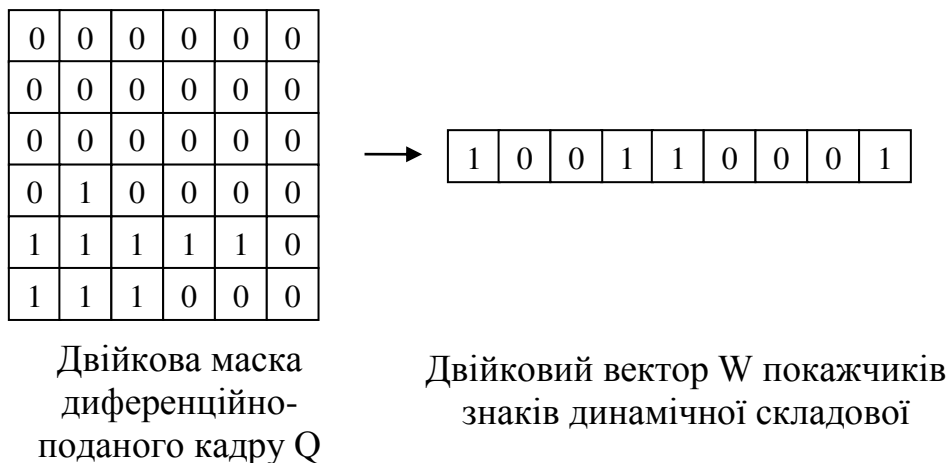


Рис. 5.31 – Двійковий вектор W покажчиків знаків динамічної складової

Для даного прикладу послідовність серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової $\Theta(h)$ прийме вигляду:

$$\Theta(h) = \{r(h)_1 = 1; r(h)_2 = 2; r(h)_3 = 2; r(h)_4 = 3; r(h)_5 = 1\}.$$

Спочатку визначимо максимальне значення довжини двійкової серії $r(h)_{\max}$ у послідовності $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової на підставі виразу (5.11).

В цьому випадку максимальна довжина серії двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової дорівнюватиме $r(h)_{\max} = 3$. Тоді, на підставі виразу (5.12), необхідно затратити кількість розрядів рівну $L(r(h)) = 2$ біт, яка виділяється на подання цієї максимальної довжини серії.

Для вихідних даних, наведених у прикладі, кількість довжин серій, сформованих для двійкового вектора показчиків знаків динамічної складової, так само $\Phi(h) = 5$. Звідси, на підставі виразу (5.13), знаходиться сумарна кількість розрядів: $L(r(h))_{\Sigma}$ на подання послідовності $\Theta(h)$ довжин серій двійкового вектора W показчиків знаків динамічної складової. Величина $L(r(h))_{\Sigma} = 5 \cdot 2 = 10$ біт.

При цьому на кодове подання вихідного фрагмента зображення знадобиться 36 розрядів. Отже, за рахунок застосування одноалфавітного коду потужності для послідовності довжин серій обсяг двійкового вектора показчиків знаків динамічної складової знизиться приблизно на 72%.

Таким чином:

1) виявлені особливості процесу формування коду потужності алфавіту при побудові кодових конструкцій обробленого подання зображень, які забезпечують:

- виключення випадків, які призводять до втрати інформації в процесі кодування матриць двійкової маски;

- мінімізацію кодової надмірності;

2) для зменшення обсягу матриці показчиків знаків запропоновано враховувати структурну подібність з матрицею двійкової маски, яка полягає в тому, що:

- довжина та позиції серії нульових елементів для матриці показчиків знаків збігаються з довжиною і позиціями серії нульових елементів для матриці двійкової маски;

- серія одиничних елементів у матриці двійкової маски вказує на позиціонування і довжину негативних і позитивних значень елементів динамічної складової.

3) розроблений метод компактного подання службових даних, які утворюються для технології обробки диференційно-поданих кадрів, на основі формування двійкового вектора показчиків знаків динамічної складової.

Даний метод базується на таких принципах:

- матриця показників знаків будується після порівняння з порогом;
- при побудові матриці показників знаків не використовується серія показників, які відносяться до нульових елементів диференційно-поданого кадру. Дані серії структурно відповідають серіям нульових елементів матриці двійкової маски;
- нульовими елементами позначаються позитивні елементи динамічної складової, одиничними елементами – негативні елементи. В силу структурної подібності довжини і позиції таких елементів формують серії одиничних елементів матриці двійкової маски.

Кількість розрядів на подання службової інформації, що утворюється для технології обробки диференційно-поданих кадрів, в середньому скоротиться на 30-50% за рахунок:

- зменшення обсягу матриці показників знаків диференційно-поданого кадру на основі структурної подібності з матрицею двійкової маски;
- застосування одноалфавітного коду для послідовностей довжин серій двійкового вектора показників знаків динамічної складової.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5

1. Розроблено метод компресії кадрів відеоінформаційного потоку. Метод базується на таких концептуальних засадах:

а) виділення в диференційному кадрі динамічної та стаціонарної складових в процесі формування двійкової маски покажчиків;

б) побудови матриці знаків для збереження інформації про знаки елементів диференційного кадру;

в) кодування матриці двійковій маски на основі двоалфавітного коду потужності, що дозволяє:

- врахувати структурні особливості диференційного кадру, а саме різну ступень насиченості динамічних складових та великі розміри областей стаціонарного фону;

- скоротити кількість кодової надмірності в результаті адаптації вибору потужності алфавіту до структури двійкової маски. Обсяги двійкової маски диференційно-поданого кадру відносно одноалфавітного коду знизяться приблизно на 17%;

- знизити час на обробку в результаті формування поелементних універсальних кодів;

г) кодування динамічної складової на основі сегментації по масиву з подальшим кодуванням за адаптивною заданою основою з урахуванням зниження динамічного діапазону на величину порога фільтрації. Обсяги динамічної складової знизяться приблизно на 38%;

д) упаковка вектора знаків з урахуванням наявності структурної подібності з двійковою маскою стаціонарного фону на основі одноалфавітного коду потужності.

2. Розроблено метод відновлення оброблених динамічних зображень стаціонарного фону без втрати інформації, який містить реконструкцію матриці двійкової маски, реконструкцію динамічної складової,

реконструкцію матриці знаків, відновлення поточного диференційно-поданого кадру; відновлення поточного кадру в відеопослідовності.

3. Обґрунтовано вимоги до систем компресії відеоданих у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення для компресії зображень стаціонарного фону на основі виявлення і роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових.

4. Сформовано концепцію з розробки обробленого подання динамічних зображень стаціонарного фону.

5. Обґрунтовано основні принципи побудови технології компактного подання двійкових масок диференційно-поданих кадрів за рахунок виявлення послідовності довжин двійкових серій і використання двоалфавітного коду потужності.

6. Розроблено принципи компактного подання динамічної складової на основі побудови позиційних чисел з адаптивним вибором основи.

7. Розроблено принципи компактного подання службових даних на основі структурної подібності матриці покажчиків знаків та матриці двійкової маски за рахунок формування двійкового вектора покажчиків знаків динамічної складової та обробки його одноалфавітним кодом потужності.

Результати досліджень п'ятого розділу опубліковані в роботах [56 – 58, 62, 66, 68, 169, 177, 187, 219].

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ВИХІДНИХ ВІДЕОПОТОКІВ ПРИ ОБРОБЦІ ПРОГНОЗОВАНИХ КАДРІВ

При обробці різних типів кадрів формується нерівномірна кількість біт на кадр, що призводить до виникнення пульсацій трафіку і негативно впливає на функціонування комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. Тому є необхідність у розробці методу управління бітовою швидкістю відеопотоку для її узгодження з характеристиками комп'ютерної мережі. Основним показником ефективності функціонування кодера є бітрейт. Виходячи з цього, проводиться аналіз кількості біт, які витрачаються на передачу одного кадру, з урахуванням впливу складових колірної моделі YCrCb, розмірів блоків і макроблоків в кадрі, типу оброблюваного блоку та підсумкового кодування.

Розроблений загальний метод управління бітовою швидкістю на основі алгоритму релаксації Лагранжа, який, по відношенню до інших, є більш швидким і простим, що дозволяє знизити час обробки кадру та забезпечити задану точність знаходження оптимальних параметрів компресії.

З урахуванням розробленого загального методу управління для модернізованого методу компресії P-кадрів формується стратегія управління бітовою швидкістю в MPEG-потоці шляхом зміни таких параметрів компресії як порог прийняття рішень, фактор якості при квантуванні і формат колірної субдискретизації. Таким чином, з'являється можливість підвищення якості відеопослідовності при контролі бітової швидкості для її відповідності пропускнує спроможності каналу зв'язку.

6.1 Розробка методологічної бази управління бітовою швидкістю вихідного відеопотоку при формуванні прогнозованих кадрів

Передача цифрового відео від джерела до одержувача залучає до роботи цілий ланцюг різних компонентів і процесів. Ключовими ланками цього ланцюга є процеси компресії (кодування) і декомпресії (декодування). Тут початковий цифровий відеосигнал перетворюється в форму необхідну для його подальшої передачі та відновлення. Удосконалені процеси компресії та декомпресії можуть дати істотну комерційну та технічну перевагу [59]. При цьому забезпечується краща якість відеозображення, велика надійність та/або гнучка пристосовність у порівнянні з вже існуючими рішеннями.

Однак поряд з параметрами компресії необхідно так само вводити контроль бітової швидкості відеопотоку, який надходить у канал зв'язку, через неузгодженість бітової швидкості відеопотоку з характеристиками комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення. У роботах [60, 63, 65] запропоновано алгоритм обробки Р-кадрів, заснований на використанні двох типів блоків, які обирають за заданою межею, з урахуванням функціоналу, який оцінює інформативність блочного кодування на заключному етапі компресії відеоданих. У порівнянні зі стандартними методами кодування він є кращим. Однак для нього відсутня методологічна база оцінки бітової швидкості відеопотоку в розрахунку на один кадр.

При обробці відеоданих, якщо контрольовані параметри кодування підтримувати постійними, наприклад, кількість прогнозованих кадрів, крок квантування і т.п., то кількість кодових біт кожного макроблоку змінюється від макроблоку до макроблоку залежно від змісту кадру. Це призводить до варіювання бітової швидкості вихідного потоку, яка вимірюється в біт/кадр або в біт/с.

Зазвичай кодер з фіксованими параметрами формує більше біт для вихідних кадрів, на яких відображено швидкий рух або зняті дрібні деталі. А для кадрів з повільними змінами і без деталей для кодування знадобиться

менша кількість біт. Такі скачки бітової швидкості можуть призвести до великих проблем для багатьох протоколів транспортування та зберігання. Наприклад, канал з постійною швидкістю (канал з комутацією) нездатний передавати потоки даних зі змінною швидкістю. Мережі на основі комутації пакетів можуть підтримувати змінну швидкість передачі, але середня пропускна спроможність в будь-який момент часу обмежена певними факторами, залежними від швидкості зв'язку та перевантаженості. У цих випадках необхідний контроль та адаптація бітової швидкості обробленого відеопотоку, виробленого кодером, для її відповідності швидкостям транспортування даних у комп'ютерних системах та мережах СП.

Для оцінки ефективності функціонування кодера використовують бітрейт [67, 68, 212 – 214]. Тому проведемо аналіз кількості біт, які витрачаються на передачу одного кадру.

У загальному випадку обсяг даних, необхідних для передачі одного кадру, залежить від:

- статистичних та структурних особливостей зображення, відповідно до яких проводиться вибір типу кадру та подальший алгоритм перетворення;
- розміру блоку зображення, який залежить від застосовуваного відеостандарту, наприклад MPEG-2 допускає використання розміру блоку 8·8, MPEG-4 - 8·8 і 4·4;
- типу колірної моделі та її формату, який вибирається відповідно до галузі використання відеозображення;
- фактору якості, який визначається кроком квантування;
- типу кодування, який обирається відповідно до необхідного часу обробки та обчислювальних можливостей кодера.

Всі ці параметри можна розділити на такі, якими ми не зможемо управляти, наприклад, особливості зображення, які задаються відповідно до стандарту, і такі, які можуть задаватися користувачем або адаптивно змінюватися кодером [69, 70, 225 – 228].

У процесі обробки кадру відбувається його розбиття на макроблоки. Далі проводиться процедура переходу вихідного зображення з RGB у колірний формат YCrCb. У результаті для макроблоку формуються три площини подання: яскравісна Y та дві колірні, які представлені хроматичною червоною Cr і хроматичною синьою Cb складовими (рис. 6.1). Позначимо подання макроблоку складової яскравості для поточного P-кадру як $S(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$. Аналогічно колірні складові, хроматичну червону та хроматичну синю позначимо як $S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$ та $S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$, де (ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі, $\xi = \overline{1, m_{mc}}$; $\gamma = \overline{1, n_{mc}}$. Тут m_{mc} і n_{mc} – кількість макроблоків у кадрі по горизонталі і вертикалі; t – номер поточного оброблюваного кадру.

Кожен макроблок, в свою чергу, складається з чотирьох блоків: яскравості $B(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, хроматичних червоних $B(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ та хроматичних синіх $B(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, де (k, ℓ) – координати блоку в макроблоці, $k = \overline{1, 2}$; $\ell = \overline{1, 2}$, t – номер поточного оброблюваного кадру.

Тоді сукупність блоків складової яскравості в макроблоках $S(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$ зібрані як

$$S(t, Y)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{\ell=1}^{n_c} B(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)},$$

де m_c – кількість блоків у макроблоці по горизонталі;

n_c – кількість блоків у макроблоці по вертикалі;

t – номер поточного оброблюваного кадру;

(ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі.

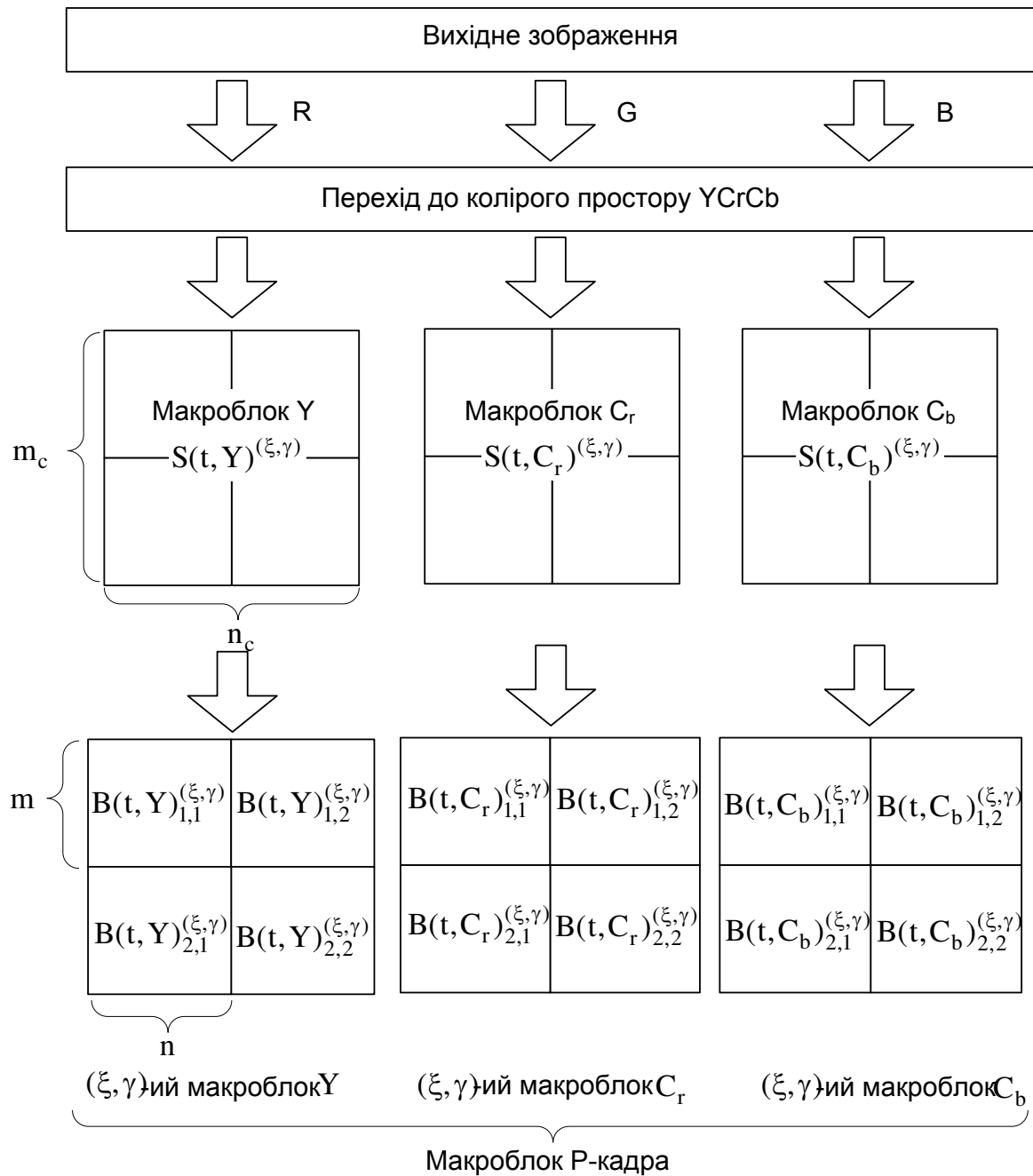


Рисунок 6.1 – Схема формування макроблоку в кадрі

Відповідно, макроблоки хроматичних складових $S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$ та $S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$, утворені відповідними блоками кольоровості $B(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi, \gamma)}$ та $B(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi, \gamma)}$, будуть представлені виразами:

$$S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{\ell=1}^{n_c} B(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi, \gamma)} ; S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} = \bigcup_{k=1}^{m_c} \bigcup_{\ell=1}^{n_c} B(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi, \gamma)} .$$

Обробка макроблоків яскравісної Y та колірних C_r та C_b складових проводиться за диференційною схемою, зазначеною на рис. 6.2. Це дозволяє врахувати те, що яскравісна складова несе в собі більш високе психовізуальне навантаження, ніж колірні складові [71, 229, 230]. Тому пропонується блоки складової яскравості обробляти двома різними методами: за допомогою ДКП як І-тип або за допомогою ДІКМ як Р-тип [72, 231, 232] для досягнення більш високої якості зображення. А колірні складові будуть оброблятися тільки за допомогою ДІКМ.

Розглянемо алгоритм компресії блоків складової яскравості. При обробці кадрів Р-типу проводиться прогнозування за попереднім кадром, тобто виконується процедура ДІКМ для блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$.

Прогнозовані різницеві значення в даному випадку є двовимірним масивом $E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ розміром $n \times n$ елементів:

$$E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} = \begin{vmatrix} e(t, Y)_{1,1} \dots e(t, Y)_{1,j} \dots e(t, Y)_{1,n} \\ \dots \\ e(t, Y)_{i,1} \dots e(t, Y)_{i,j} \dots e(t, Y)_{i,n} \\ \dots \\ e(t, Y)_{n,1} \dots e(t, Y)_{n,j} \dots e(t, Y)_{n,n} \end{vmatrix}, \quad (6.1)$$

де $e(t, Y)_{i,j} = b(t, Y)_{i,j} - b(t-1, Y)_{i,j}$ – (i, j) -та різницева компонента, яка показує значення різниці між (i, j) -ми елементами блоків $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ та $V(t-1, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$.

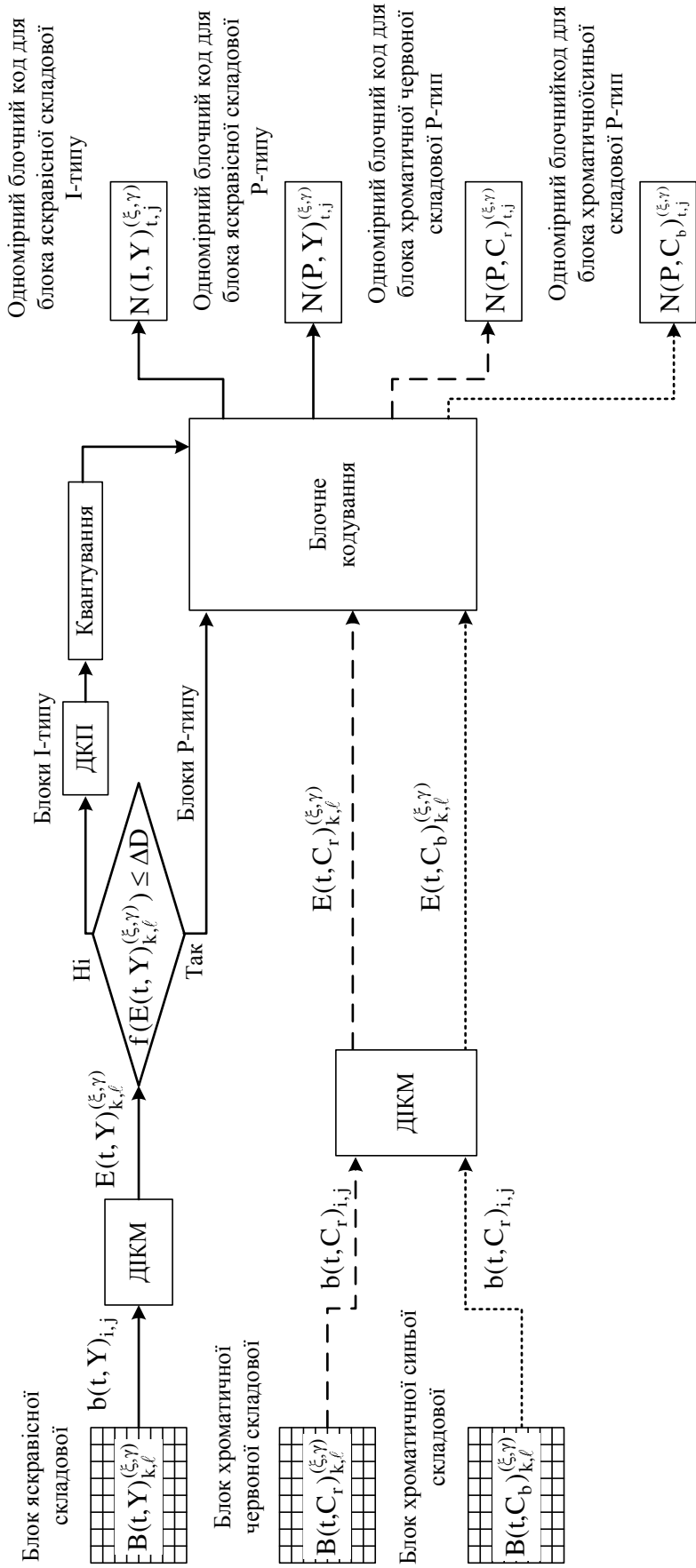


Рисунок 6.2 – Процес диференційної обробки блоків після кольорового перетворення

Далі проводиться порівняння функціоналу $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, який задає значення інформативності різнісного блоку, з порогом ΔD .

Якщо значення не перевищує заданого порогу, тобто $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D$, то блок обробляється з використанням отриманих різницевих значень, обробка проводиться для Р-типу.

Далі для стовпців масиву $E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ формуються одномірні блокові позиційні числа:

$$E(t, Y)_j^{(\xi, \gamma)} = \{e(t, Y)_1, \dots, e(t, Y)_j, \dots, e(t, Y)_n\}.$$

Для цього використовується побудована система основ:

$$W_P(Y)_j^{(\xi, \gamma)} = \{w_P(Y)_1, \dots, w_P(Y)_j, \dots, w_P(Y)_n\}.$$

Потім формується одновимірний блочний код $N(P, Y)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовпця блоку $B(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, де t – номер поточного оброблюваного кадру; (ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі:

$$N(P, Y)_{t, j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, Y)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_P(Y)_\eta,$$

де $\prod_{\eta=i+1}^n w_P(Y)_\eta$ – ваговий коефіцієнт елемента $e(t, Y)_i$.

Якщо в блоці з'явився динамічний об'єкт і значення функціоналу перевищує поріг, тобто $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D$, то відбувається перехід до алгоритмів, які використовуються для кодування І-кадрів. Такий блок кодується як І-блок.

Вихідна послідовність, подана як $b(t, Y)_{i,j}$, проходить етап трансформації і квантування. Трансформація здійснюється за допомогою дискретного косинусного перетворення.

Отримана трансформанта піддається процедурі квантування, яка полягає в зіставленні номера кванта кожному значенню трансформанти:

$$z(t, Y)_{i,j} = \left\lfloor \frac{y(t, Y)_{i,j} + q/2}{q} \right\rfloor,$$

де $y(t, Y)_{i,j}$ – $(i; j)$ -ий елемент трансформанти; q – крок квантування.

Таким чином, отримуємо двовимірний масив $Z(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ розміром $n \times n$:

$$Z(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} = \begin{pmatrix} z(t, Y)_{1,1} & \dots & z(t, Y)_{1,j} & \dots & z(t, Y)_{1,n} \\ & & \dots & & \\ z(t, Y)_{i,1} & \dots & z(t, Y)_{i,j} & \dots & z(t, Y)_{i,n} \\ & & \dots & & \\ z(t, Y)_{n,1} & \dots & z(t, Y)_{n,j} & \dots & z(t, Y)_{n,n} \end{pmatrix}, \quad (6.2)$$

Після чого формується одновимірний блочний код $N(I, Y)_{t,j}^{(\xi,\gamma)}$ для j -го стовпця блоку I-типу:

$$N(I, Y)_{t,j}^{(\xi,\gamma)} = \sum_{i=1}^n z(t, Y)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_I(Y)_\eta.$$

Кількісне співвідношення I- та P-блоків у P-кадрі визначається порогом ΔD . Це, в свою чергу, впливає в цілому на якість зображення і швидкість його обробки. У разі обробки P-блоку загальна довжина кодової послідовності залежить від максимального значення різницевих величин

після ДІКМ, а при обробці І-блоку основним показником є коефіцієнт квантування.

Визначимо кількість розрядів $d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ для подання блокового коду масиву $V(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$. У даному випадку він дорівнює загальній довжині зібраної кодової послідовності [181, 233], яка визначається як сумарна кількість біт, що складається зі службової частини $d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)}$ та довжини кодового подання всіх стовпців блоку $d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}$:

$$d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} = d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)} + d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}, \quad (6.3)$$

де (ξ, γ) – координати макроблоку в кадрі.

Тоді результуюча довжина $d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)}$ всієї інформаційної частини кодової послідовності становить:

$$d(t, Y)_{inf}^{(\xi, \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{t, inf}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_P(Y)_\eta \right] + 1 \right), \rightarrow f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{t, inf}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_I(Y)_\eta \right] + 1 \right), \rightarrow f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}$$

де n – кількість рядків та стовпців блоку зображення;

$$\prod_{\eta=1}^n w_P(Y)_\eta = h_{\max P}, \quad \prod_{\eta=1}^n w_I(Y)_\eta = h_{\max I} - \text{верхня межа значення коду}$$

одновимірного блочного числа для P- та I-блоків відповідно.

Довжина службової частини $d(t, Y)_s^{(\xi, \gamma)}$ всієї кодової послідовності одного блоку відповідно визначається довжинами кодових подань всіх елементів основи:

$$d(t, Y)_s^{(\xi; \gamma)} = n d(t, Y)_{s,j}^{(\xi; \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)} = n \log_2 b, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)} = n \log_2 b, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) > \Delta D, \end{cases}$$

де n – кількість стовпців блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$;

$d(t, Y)_{s,1}^{(\xi; \gamma)} \dots = \dots d(t, Y)_{s,j}^{(\xi; \gamma)} \dots = \dots d(t, Y)_{s,n}^{(\xi; \gamma)} = \log_2 b$ – довжина кодового подання елемента основи масиву $E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ або $Z(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$;

b – кількість біт, відведених під довжину службової частини.

Таким чином, довжина $d(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ кодової послідовності переданих даних після компресії для одного блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ складової яскравості визначається як:

$$d(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)} = \begin{cases} d(P, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)} = d(P, Y)_{t,\text{inf}}^{(\xi; \gamma)} + d(P, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)}, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) \leq \Delta D; \\ d(I, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)} = d(I, Y)_{t,\text{inf}}^{(\xi; \gamma)} + d(I, Y)_{t,s}^{(\xi; \gamma)}, \rightarrow f(E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}) > \Delta D, \end{cases} \quad (6.4)$$

де $d(P, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ – довжина кодової послідовності оброблених даних для P -блоку;

$d(I, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ – довжина кодової послідовності оброблених даних для I -блоку.

Процес формування кодової послідовності для блоку $V(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi; \gamma)}$ показаний на рис. 6.3.

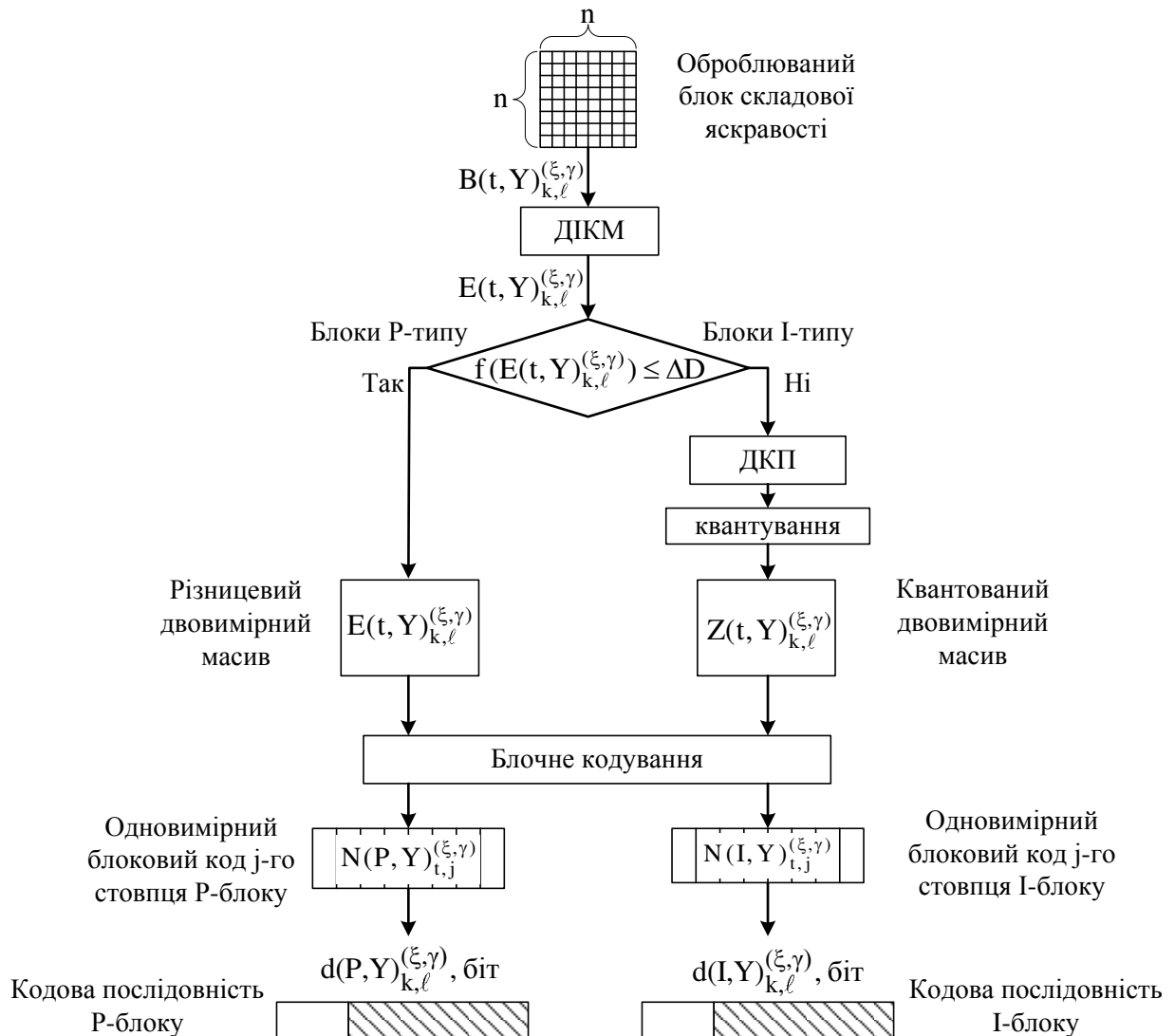


Рисунок 6.3 – Перетворення блоку складової яскравості в кодову послідовність

Розглянемо алгоритм компресії кольорорізнісних складових. Так як зорова система людини менш чутлива до колірних просторових змін, обробку таких блоків проводять тільки як блоків P-типу.

У такому випадку виконується процедура ДІКМ. Прогнозовані різницець значення являють собою двовимірні масиви $E(t, C_r)_{k,ℓ}^{(ξ,γ)}$ для блоку $V(t, C_r)_{k,ℓ}^{(ξ,γ)}$ та $E(t, C_b)_{k,ℓ}^{(ξ,γ)}$ для блоку $V(t, C_b)_{k,ℓ}^{(ξ,γ)}$ розміром $n \times n$ елементів. Далі формується одновимірний поліадичний код $N(P, C_r)_{t,j}^{(ξ,γ)}$ для j-го стовпця

блоку $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ та $N(P, C_b)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовпця блоку $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, які визначаються такими виразами:

$$N(P, C_r)_{t, j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, C_r)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_P(t, C_r)_\eta ;$$

$$N(P, C_b)_{t, j}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{i=1}^n e(t, C_b)_i \prod_{\eta=i+1}^n w_P(t, C_b)_\eta .$$

Відповідно кількість розрядів для блоків $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ та $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ після блочного кодування визначається як сумарна кількість біт, що складається зі службової частини та довжини кодового подання всіх стовпців блоку:

$$\begin{aligned} d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} &= d(P, C_r)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_r)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} \\ d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} &= d(P, C_b)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_b)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} \end{aligned} \quad (6.5)$$

де $d(P, C_r)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_r)_\eta \right] + 1 \right)$ – довжина інформаційної частини

для хроматичної червоної складової;

$\prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_r)_\eta, \prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_b)_\eta$ – верхня межа значень коду одновимірного

блочного позиційного числа для кольорорізнисних складових;

$d(P, C_r)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} = n \log_2 b, d(P, C_b)_{t, s}^{(\xi, \gamma)} = n \log_2 b$ – довжина службової частини кодової послідовності одного блоку;

$d(P, C_b)_{t, \text{inf}}^{(\xi, \gamma)} = \left(\left[n \log_2 \prod_{\eta=1}^n w_P(t, C_b)_\eta \right] + 1 \right)$ – довжина інформаційної

частини для хроматичної синьої складової;

n – кількість рядків блоку зображення.

Також при визначенні загального обсягу переданих даних потрібно враховувати колірну субдискретизацію макроблоку відеоданих [73, 74, 184, 234 – 236]. Застосовують три основні формати відео залежно від його призначення: 4: 4: 4, 4: 2: 2 і 4: 1: 1.

Як було описано раніше, макроблок після перетворення колірного простору являє собою сукупність сигналу яскравості Y та двох колірорізнісних сигналів Cr та Cb . Варіації їх значень допускають 256 градацій (від 0 до 255 для Y , і від -128 до 127 для Cr / Cb), що в двійковому численні відповідає 8 бітам або 1 байту. Теоретично кожен елемент кадру має власні значення $YCrCb$, тобто вимагає 3 байт. Таке подання, коли яскравість і сигнали кольоровості мають рівне число незалежних значень, зазвичай позначають як 4: 4: 4 (рис. 6.4).

З урахуванням меншої чутливості зорової системи людини до кольорорізнісних компонентів без видимої втрати якості кількість колірних відліків у кожному рядку можна зменшити вдвічі. Саме таке подання, що позначається як 4: 2: 2, було прийнято для передачі відеосигналу. Для передачі повного об'єму інформаційного сегменту в кожному відліку кадру досить 2 байт (чергуючи через відлік незалежні значення Cr і Cb).

Більш того, для цілей споживчого відео визнано допустимим зменшення вдвічі вертикальне колірне розрізнення, тобто перехід до подання 4: 2: 0. Це зменшує вказану кількість байт на відлік до 1,5. Саме таке подання закладено в DV-формат цифрових камер і формат DVD-відео.

Для врахування диференційного впливу цифрового формату на обсяг бітового опису кадру введемо поняття структурної одиниці кадру.

Визначення 6.1. Структурною одиницею кадру будемо називати таку структуру, яка формується на основі макроблоків по одному від кожної складової колірної моделі.

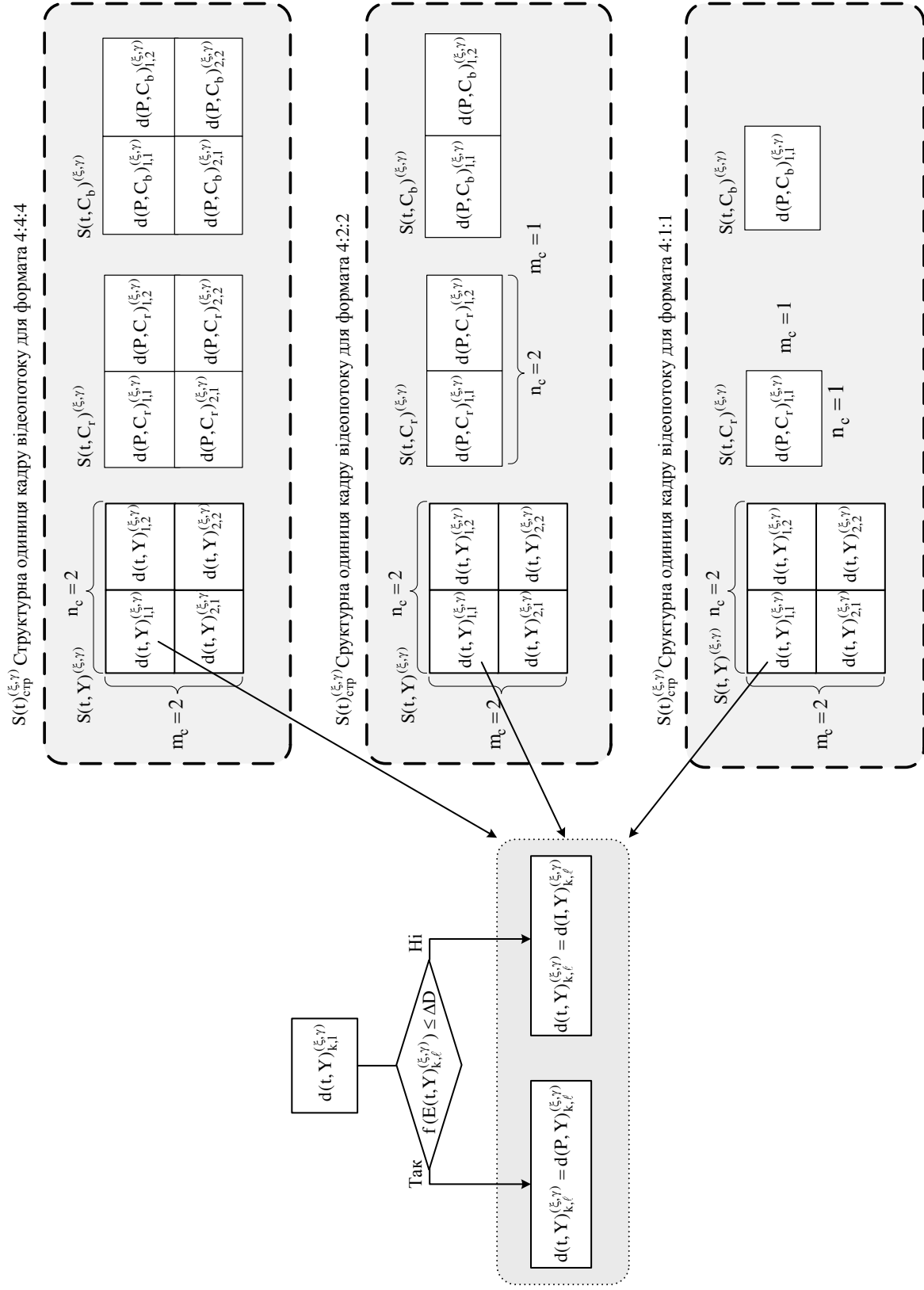


Рисунок 6.4 – Формування структурної одиниці кадру відеопотоку з урахуванням цифрових форматів відео

Структурна одиниця $S(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ задається таким виразом:

$$S(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)} = S(t, Y)^{(\xi, \gamma)} \cup S(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} \cup S(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}. \quad (6.6)$$

До складу структурної одиниці входить макроблок яскравісної Y складової та по одному макроблоку від кожної хроматичної C_r та C_b складової.

Визначимо кількість біт, витрачених на подання одного макроблоку, яке дорівнює сумарній кількості біт на представлення блоків, що входять до нього:

$$\begin{aligned} d(t, Y)^{(\xi, \gamma)} &= \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{l=1}^{n_c} d(t, Y)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}; \\ d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} &= \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{l=1}^{n_c} d(P, C_r)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}; \\ d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} &= \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{l=1}^{n_c} d(P, C_b)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}, \end{aligned} \quad (6.7)$$

де $d(t, Y)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$, $d(P, C_r)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ та $d(P, C_b)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ – відповідно обсяги в бітах для блоків $V(t, Y)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_r)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ та $V(t, C_b)_{k, l}^{(\xi, \gamma)}$ для (ξ, γ) -их макроблоків яскравісної та кольорорізнисних складових P -кадру;

m_c – кількість блоків у макроблоці по горизонталі;

n_c – кількість блоків у макроблоці по вертикалі.

Тоді загальні обсяги складових колірної моделі для одного кадру є сумарними обсягами цифрового опису макроблоків $d(t, Y)^{(\xi, \gamma)}$, $d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)}$, $d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)}$. Відповідно, бітовий обсяг складових колірної моделі дорівнює:

$$D(t, Y) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, Y)^{(\xi, \gamma)} ;$$

$$D(t, C_r) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} ; \quad (6.8)$$

$$D(t, C_b) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} ,$$

де m_{mc} та n_{mc} – кількість макроблоків в кадрі по горизонталі та вертикалі.

Сумарна довжина $D(t)$ кодової послідовності цифрового опису складових колірної моделі на один P-кадр визначається виразом:

$$D(t) = D(t, Y) + D(t, C_r) + D(t, C_b) , \quad (6.9)$$

де $D(t, Y)$ – кількість біт на подання яскравості складових колірної моделі;
 $D(t, C_r)$, $D(t, C_b)$ – кількість біт на подання хроматичних складових кадру.

З урахуванням співвідношень (6.8), вираз (6.9) перетвориться до:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, Y)^{(\xi, \gamma)} + \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_r)^{(\xi, \gamma)} + \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, C_b)^{(\xi, \gamma)} . \quad (6.10)$$

З рисунку 6.4 видно, що обсяги складових кадру визначаються форматом подання колірному простору. Це значить, що обсяг цифрового опису $d(t)_{стр}^{(\xi, \gamma)}$ для структурної одиниці $S(t)_{стр}^{(\xi, \gamma)}$ залежить від обсягів макроблоків, які входять до неї, і, відповідно, обсягів цифрового опису, які входять в структурну одиницю блоків:

$$d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} \left(d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right). \quad (6.11)$$

Тоді обсяг переданих відеоданих в розрахунку на один кадр $D(t)$ визначається витратами кількості біт на подання всіх структурних одиниць $d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ кадру з урахуванням форматів подання колірному простору.

Вираз (6.9) для визначення обсягу відеопотоку з розрахунку на один кадр з урахуванням виразів (6.10), (6.11) набуває вигляду:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right). \quad (6.12)$$

Через те, що при виборі формату подання колірної моделі яркісна складова містить всі блоки, а змінюються тільки колірні складові, співвідношення (6.12) матиме такий вигляд:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + \sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right). \quad (6.13)$$

Для формату подання колірному простору 4: 4: 4 кількість елементів яркісної та хроматичних складових кадру відеопотоку збережені в повному складі (див. рис. 6.4). Тому при $m_c = 2$, $n_c = 2$ обсяг цифрового опису дорівнює:

$$d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)} = \sum_{k=1}^2 \sum_{\ell=1}^2 \left(d(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} + d(P, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)} \right).$$

Об'єм $D(t)$ потокового відео в розрахунку на один кадр відповідає виразу (6.13). Кількість рядків і стовпців у макроблоці залишається незмінним, тобто $m_c = 2$, $n_c = 2$ для хроматичних складових C_r та C_b . Тоді:

$$D(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{mc}} \sum_{\gamma=1}^{n_{mc}} \left(\sum_{k=1}^2 \sum_{\ell=1}^2 \left(d(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + d(P, C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + d(P, C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} \right) \right). \quad (6.14)$$

Таким чином, отримано вираз для оцінки обсягу переданого відеопотоку з розрахунку на один кадр Р-типу з урахуванням різних форматів подання колірного простору та вибору типу обробки блоків.

Створено методологічну базу, яка дозволяє побудувати систему управління бітовою швидкістю відео потоку. Це особливо актуально в КСМ спеціального призначення з низькою пропускнуною спроможністю каналу, малим часом обробки відеозображень або обмежених обчислювальних можливостях пристроїв обробки, наприклад, реалізація служб IP-TV або on-line конференцій, передача даних по бездротових Wi-Fi мережах і т.д.

6.2 Розробка методу контролю бітової швидкості при обробці прогнозованих кадрів у відеопослідовності

У теперешній час для вирішення завдань адаптації бітової швидкості при передачі відеоданих по каналах з постійною швидкістю використовуються буфери в кодері та декодері. При цьому, чим вище варіація бітової швидкості, тим більшим буде необхідний обсяг буфера і тим довше затримка декодування. Крім того, таким методом можна впоратися з довільними стрибками бітової швидкості через те, що обсяги буферів та затримки при передачі і декодуванні мають обмеження [180, 181]. Тому необхідно реалізувати таку технологію контролю бітової швидкості з використанням зворотного зв'язку, яка при

зниженні бітової швидкості також враховує якість реконструкції та час обробки кадру відеопослідовності.

Так як І-кадри, найбільш критичні до погіршення якості зображення, коефіцієнт їх компресії буде невеликим. Тому, для досягнення необхідних значень швидкості відеопослідовності на виході кодера пропонується розробити метод управління для кадрів Р-типу. За причини того, що їх вимоги до якості зображення значно нижче, що дозволяє застосовувати методи компресії з великими коефіцієнтами усунення надмірності. Також їх кількість у відеопослідовності на порядок більше опорних, що значно впливає на загальну бітову швидкість відеопотоку.

Для отримання на виході кодера потоку, який відповідає пропускній спроможності каналу передачі даних, застосовують алгоритми управління бітовою швидкістю. Необхідна вихідна швидкість досягається шляхом регулювання параметра квантування. Залежно від області застосування може застосовуватися компресія як з постійною вихідною швидкістю (CBR – constant bit rate), так і зі змінною (VBR – variable bit rate) [75]. Для компресії з постійною швидкістю залежно від призначення алгоритму може варіюватися розмір буфера для кодера та декодера. Якщо необхідний більш точний алгоритм контролю вихідної швидкості кодера використовується багатопрхідне кодування (multi-pass encoding). Великого поширення набула двопрхідна схема кодування: перший прхід – етап попереднього аналізу та встановлення необхідних параметрів кодування; другий прхід – кодування з раніше встановленими параметрами. При цьому обрані параметри можуть застосовуватися як до окремого блоку в кадрі, так і до всього кадру.

У процесі обробки кадру відбувається його розбиття на блоки розмірністю $m \times n$. Таким чином, весь кадр являє собою множину блоків $\{b_1, b_2, \dots, b_k\}$. Ці блоки кодуються окремо один від одного [76]. Позначимо через $d(t)_i$ та $\sigma(t)_i$ бітові витрати і середньоквадратичну помилку для блоку b_i поточного кадру t . Значення $d(t)_i$ та $\sigma(t)_i$ залежать від вектора рішень

Ψ^i , який використовується при кодуванні кожного блоку. Вектор рішення входить до складу множини рішень, яке позначимо літерою Ψ . Вектор рішень містить у собі k компонент, тобто $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i\}$. Таким чином, вираз для $d(t)_i$ та $\sigma(t)_i$ можна представити в такому вигляді:

$$d(t)_i = d_i(t, \Psi^i) = d(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i);$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i, \dots, \psi_k^i). \quad (6.15)$$

У [188] був запропонований алгоритм обробки блоків у Р-кадрах. Відповідно до цього, пропонується блоки складової яскравості обробляти двома різними методами: за допомогою ДКП як І-тип або за допомогою ДКМ як Р-тип. А кольорорізнисні складові будуть оброблятися тільки за допомогою ДКМ за попереднім кадром.

При компресії Р-кадрів вектор рішень для методу управління бітовою швидкістю складається з двох компонентів: міри інформативності блоку та параметра якості: $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i\}$. Відповідно, для кожного i -го блоку бітова швидкість та середньоквадратична помилка є функціями від двох змінних:

$$d(t)_i = d_i(t, \Psi^i) = d(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i);$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i). \quad (6.16)$$

Середньоквадратична помилка для всього кадру дорівнює:

$$\sigma(t, \Psi) = \sum_{i=1}^k \sigma(t, \Psi^i).$$

Аналогічно, бітові витрати на кадр визначаються як:

$$d(t, \Psi) = \sum_{i=1}^k d(t, \Psi^i).$$

Для оптимізації параметрів компресії необхідно знайти такі значення вектора рішень, які будуть відповідати таким вимогам:

$$\begin{cases} \sigma(t, \Psi^*) = \min_{\psi^i \in \Psi} \sigma(t, \psi^i); \\ d(t, \Psi^*) \leq d_{\text{req}}. \end{cases} \quad (6.17)$$

де d_{req} – необхідні бітові витрати на один кадр; Ψ^* – оптимальний вектор рішень.

Саме при обробці блоків відбувається корекція компонент трансформант під психовізуальні особливості зорового сприйняття тому за параметр управління пропонується використовувати тільки фактор якості, який використовується при формуванні матриці квантування. Міра інформативності блоку визначає метод формування трансформат, а його вплив на бітову швидкість є незначним.

При формуванні матриць квантування в стандарті JPEG використовуються два підходи. Один полягає в тому, що в стандарт JPEG включені дві рекомендовані таблиці квантування: одна – для яскравості (табл. 6.1), друга – для кольоровості.

Таблиця 6.1 – Базова матриця квантування складової яскравості стандарту JPEG

6	1	10	16	24	40	51	61
2	2	14	19	26	58	60	55
4	3	16	24	40	57	69	56
4	7	22	29	51	87	80	62
8	2	37	56	68	109	103	77
4	5	55	64	81	104	113	92
9	4	78	87	103	121	120	101
2	2	95	98	112	100	103	99

Інший підхід полягає в обчисленні значень таблиці квантування у часі, близькому до реального. В цьому випадку для кожного елемента матриці трансформованого зображення існує відповідний елемент матриці квантування.

Результуюча матриця одержується діленням кожного елемента матриці трансформант на відповідний елемент матриці квантування та подальшим округленням результату до найближчого цілого числа. Як правило, значення елементів матриці квантування ростуть у напрямку зліва направо та зверху вниз.

Від вибору матриці квантування залежить баланс між ступенем компресії зображення і його якістю після відновлення.

Розрахунок матриці квантування полягає в такому: задається одне значення фактора якості (Quality Factor – QF) зазвичай в діапазоні від 1 до 25, та проводиться розрахунок значень матриці [237, 238]:

$$q(t)_{i,j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF. \quad (6.18)$$

Фактор якості задає інтервал між сусідніми рівнями матриці квантування, розташованими на її діагоналях. Приклад отриманої матриці квантування представлений в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Матриця квантування з фактором якості, рівним 2

				1	3	5	7
		1	3	5	7	9	1
	1	3	5	7	9	1	3
	1	3	5	7	9	1	3
1	3	5	7	9	1	3	5
3	5	7	9	1	3	5	7
5	7	9	1	3	5	7	9
7	9	1	3	5	7	9	1

У роботі пропонується управляти не тільки кількістю біт на оброблений блок, але й його візуальною якістю. Необхідно знайти значення фактора якості QF_{opt} , при якому середньоквадратична помилка буде мінімальною $\sigma(t, \Psi^*) = \min_{\psi^i \in \Psi} \sigma(t, \psi^i)$, з урахуванням того, що швидкість, а відповідно і бітові витрати, не будуть перевищувати необхідного значення $d(t, \Psi^*) \leq d_{req}$.

Для пошуку оптимального коефіцієнта QF використовується відомий метод поділу відрізка навпіл (дихотомії), який по відношенню до інших методів є більш швидким, простим та забезпечує задану точність (ε).

Позначимо QF як параметр β та відповідно QF_{opt} як параметр β_{opt} . Метод реалізації пошуку для даної задачі можна представити у вигляді такої послідовності етапів.

Підготовчий етап.

Визначаємо значення $\beta_1 = \min$ та $\beta_2 = \max$, такі що $d(t, \Psi_{\beta_2}) < d_{req} < d(t, \Psi_{\beta_1})$.

Ітерація.

Знайдемо середнє значення β відповідно до методу дихотомії на інтервалі $[\beta_1; \beta_2]$: $\beta = \left[\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right]$ для наближення до значення β_{opt} .

Для перевірки відповідності $\beta \approx \beta_{opt}$ розрахуємо: $d(t, \Psi_{\beta})$, $\sigma(t, \Psi_{\beta})$.

Якщо $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{req}$ та $\sigma(t, \Psi_{\beta}) \leq \sigma_{req}$, то зміщується нижня межа інтервалу ($\beta_1 := \beta$).

Якщо $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{req}$ та $\sigma(t, \Psi_{\beta}) > \sigma_{req}$, то для даних параметрів завдання не має рішення, і блок управління змінює значення QF або ΔD .

Якщо $d(t, \Psi_{\beta}) \leq d_{req}$, то зміщується верхня межа інтервалу ($\beta_2 := \beta$).

Перевірка умови закінчення алгоритму.

Якщо $|\beta_1 - \beta_2| < \varepsilon$, то пошук рішення завершений, і результат є оптимальним, тобто $\Psi^* = \Psi_{\beta}$. Якщо немає, то здійснюється перехід до наступної ітерації.

Блок-схема методу реалізації пошуку оптимального параметра для управління бітовою швидкістю наведена на рис. 6.5.

Розглянемо приклад роботи даного методу.

Надаємо значення $\beta_1 = QF_{\min}$ та $\beta_2 = QF_{\max}$ такі, що відповідають умові $d(t, \Psi_{\beta_2}) < d_{\text{req}} < d(t, \Psi_{\beta_1})$.

Проводимо першу ітерацію. Знаходимо $\beta^1 = \left[\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right]$ та обчислюємо для даного значення $d(t, \Psi_{\beta})$ та $\sigma(t, \Psi_{\beta})$. Проводимо порівняння $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{\text{req}}$.

Якщо умова не виконується, то бітові витрати необхідно збільшувати для поліпшення якості зображення.

У цьому випадку присвоюємо $\beta_2 := \beta$ і далі розглядається діапазон $[\beta_1; \beta]$, як показано на рисунку 6.6.

Якщо умова $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{\text{req}}$ виконується, проводимо перевірку по середньоквадратичній помилці $\sigma(t, \Psi_{\beta}) \leq \sigma_{\text{req}}$.

При значенні помилки менше необхідної $\sigma(t, \Psi_{\beta}) \leq \sigma_{\text{req}}$ присвоюємо $\beta_1 := \beta$. Далі оптимальне значення знаходиться в діапазоні $[\beta; \beta_2]$. Таким чином, після першої ітерації в наведеному прикладі буде проведено зрушення $\beta_{\max} \rightarrow \beta$.

У разі якщо і бітові витрати і помилка перевищують необхідні значення, то не виконується жодна з умов $d(t, \Psi_{\beta}) > d_{\text{req}}$, $\sigma(t, \Psi_{\beta}) > \sigma_{\text{req}}$. Бачимо, що оптимізація даним методом компресії неможлива, та необхідні

зміни початкових параметрів. У цьому випадку пропонується збільшувати фактор якості при квантуванні з кроком в 1. У разі якщо бітові витрати не будуть знижені до необхідного рівня, подальшим етапом буде збільшення порогу ΔD .

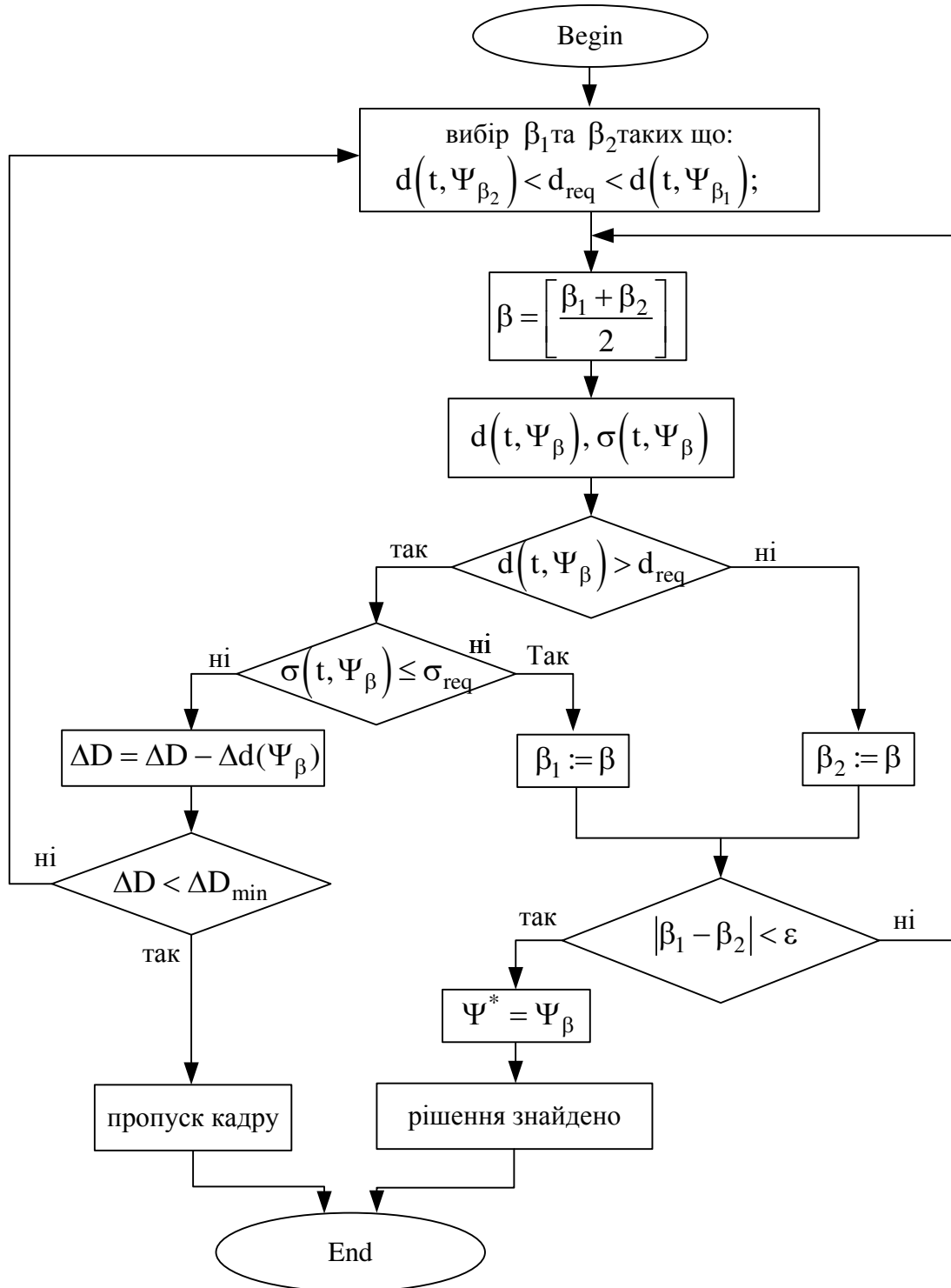


Рисунок 6.5 – Блок-схема методу реалізації пошуку оптимального параметра управління

Аналіз зміни фактора якості QF від мінімуму до максимуму показав, що бітові витрати та виникаюча при цьому помилка відповідно буде змінюватися за графіками, показаними на рис. 6.6.

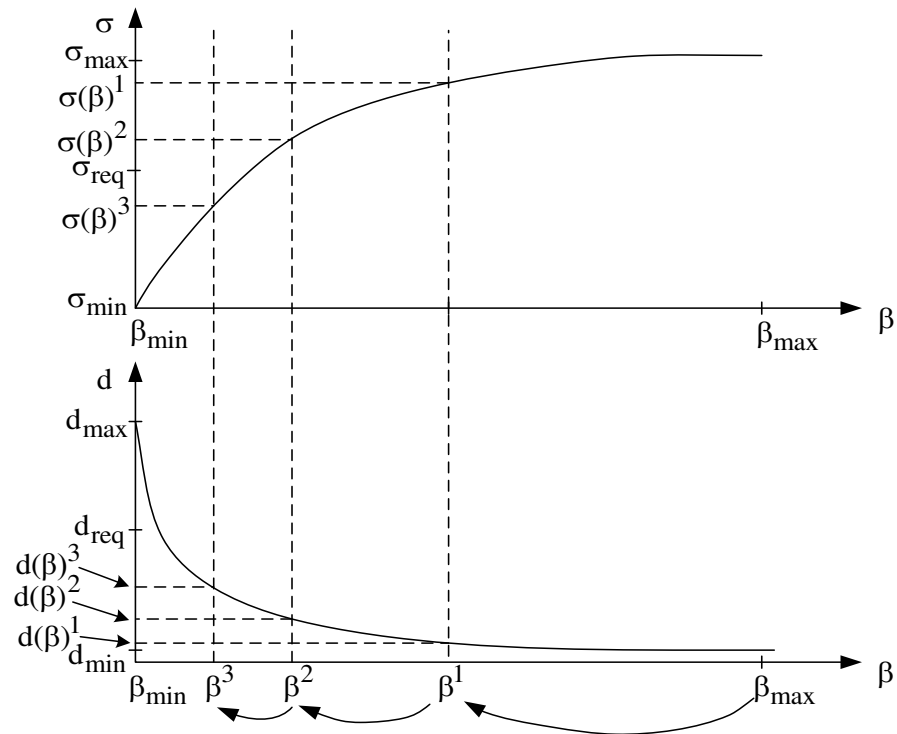


Рисунок 6.6 – Ілюстрація роботи методу пошуку оптимального параметра

Таким чином, блок управління робить вибір фактора якості для кожного Р-кадру. Також при прийнятті рішення блок управління містить у собі пристрій, в який записуються оптимальні параметри QF та ΔD , що в подальшому зменшує час прийняття рішення та підбору необхідних значень при квантуванні.

На останньому етапі перевіряється оптимальність. Перевіряємо умову $|\beta_1 - \beta_2| < \varepsilon$, де параметр ε показує задану точність обчислень. Якщо необхідна точність була досягнута, то оптимальним значенням вважаємо $\sigma(t, \Psi_\beta)$. Рішення завдання знайдено. Інакше пошук триває та проводиться виконання наступної ітерації.

Таким чином, був розроблений метод управління бітовою швидкістю роботи кодера, який використовує за параметр компресії фактор якості при квантуванні блоку. Для пошуку оптимального значення параметра квантування було прийнято рішення використовувати метод поділу відрізків навпіл. Основна його перевага полягає в тому, що не потрібний повний (або близький до повного) перебір множини рішень. Це дозволяє знизити час обробки та передачі кадру, що необхідно при обробці відеопослідовності в масштабі часу, близькому до реального.

Простота методу дозволяє також знизити навантаження на обчислювальний апарат кодера. Тому можливо його використати в системах з обмеженими обчислювальними властивостями.

Однак розроблена блок-схема являє собою загальний метод управління, який уточнюється при використанні конкретних механізмів кодування відеопотоку.

6.3 Розробка методу управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів для підвищення доступності та цілісності інформаційних ресурсів

Для організації своєчасної доставки потокового відео широко застосовуються методи компресії, які базуються на дискретно-косинусном перетворенні (JPEG, MPEG2 та H.264), а також алгоритми, що базуються на дискретному вейвлет-перетворенні (JPEG2000). Рекомендація MPEG не специфікує і не пропонує алгоритми контролю швидкості. Отже, вирішення цього питання залежить від самих розробників. Стандарт JPEG2000 є найбільш пристосованим рішенням для завдання компресії відеопотоку. Це пояснюється тим, що він забезпечує управління бітовою швидкістю з досить високим ступенем точності (на відміну від алгоритмів, заснованих на ДКП). З іншого боку, при реалізації JPEG2000 виникають такі труднощі. Стандарт

JPEG2000 забезпечує приблизно однакові бітові витрати на кожен сегмент. Але через суттєві відмінності у статистичних властивостях сегментів можливий варіант, коли деякі сегменти оброблюються з високою візуальною якістю, а деякі – з поганою якістю. У в підсумку це призведе до зниження загальної візуальної якості відеозображення.

Тому завданням дослідження є розробка такого методу управління параметрами компресії відеопотоку, який буде забезпечувати максимально можливу якість зображення для заданої пропускної спроможності каналу.

Розроблюваний метод управління бітовою швидкістю в MPEG-потоці при обробці блоків поточного P-кадру буде формуватися на основі запропонованого методу компресії P-кадрів в роботах [189].

На першому етапі обирається формат колірної субдискретизації блоків яскравісної та кольорорізнисних складових P-кадру. Ця технологія являє собою кодування зображень зі зниженням колірного розрізнення, при якій частота вибірки кольорорізнисних сигналів може бути меншою за частоту вибірки сигналу яскравості. Вона заснована на особливості людського зору, яка виражена більшою чутливістю до перепадів яскравості ніж кольорів.

Таким чином, обсяг цифрового опису $d(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ для структурної одиниці $S(t)_{\text{стр}}^{(\xi, \gamma)}$ кадру залежить від обсягів макроблоків, які входять до неї і, відповідно, обсягів цифрового опису, які входять в структурну одиницю блоків.

Таким чином, бачимо, що вибір формату колірної субдискретизації відеоданих дозволяє скоротити не тільки загальний обсяг переданих даних на один кадр, а й вплив у процентному співвідношенні кольорорізнисних складових відносно яркісної (таблиця 6.3).

У випадку з P-кадрами найбільш доцільним для використання є формат колірної субдискретизації – 4: 2: 2. Далі необхідно вибрати вихідні параметри кодування для методу компресії.

Таблиця 3.3 – Вплив у процентному співвідношенні складових YCrCb на заповнення макроблоками

Формат колірної субдискретизації	Y складова, %	Cr складова, %	Cb складова, %
4: 4: 4	100%	100%	100%
4: 2: 2	100%	50%	50%
4: 1: 1	100%	25%	25%

Надругому етапі управління обирається порогове значення ΔD для блоків поточного кадру.

Для MPEG-технології кадри відеопослідовності діляться на кілька типів. Найсуттєвіший внесок у сумарну інтенсивність відеопотоку надають P-кадри, які формуються шляхом адаптивного кодування з прогнозуванням (ДІКМ), показаної на рис. 6.8 [77]. Після чого формуються двовимірні масиви $E(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$. Елементами даних масивів є $e(t, Y)_{i,j}$, $e(t, C_r)_{i,j}$, $e(t, C_b)_{i,j}$:

$$e(t, Y)_{i,j} = b(t, Y)_{i,j} - b(t-1, Y)_{i,j};$$

$$e(t, C_r)_{i,j} = b(t, C_r)_{i,j} - b(t-1, C_r)_{i,j}; \quad (6.19)$$

$$e(t, C_b)_{i,j} = b(t, C_b)_{i,j} - b(t-1, C_b)_{i,j},$$

де $b(t, Y)_{i,j}$, $b(t, C_r)_{i,j}$, $b(t, C_b)_{i,j}$ – (i, j) -ої компоненти блоків яркісної та кольорорізнисних складових зображення поточного t -го P-кадру;

$b(t-1, Y)_{i,j}$, $b(t-1, C_r)_{i,j}$, $b(t-1, C_b)_{i,j}$ – (i, j) -ої компоненти блоків яркісної та кольорорізнисних складових зображення попереднього $(t-1)$ -го кадру.

Можливі варіанти, коли між кадрами буде різкий динамічний перехід. У цьому випадку ефективність обробки Р-кадру знижується. Для виходу з цієї ситуації пропонується такі блоки обробляти як І-кадри. Тому подальшу обробку здійснюють за рахунок механізму адаптації інтенсивності відеопотоку до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення [78]. Ключовою складовою цього механізму є класифікація блоку Р-кадру на тип подальшої його обробки. Для вибору типу необхідно оцінити інформативність $f(E(t,u)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$ кожного блоку за відповідним порогом $\Delta D(u)$. Інформативність блоків $E(t,Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t,C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$, $E(t,C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ визначатимемо за допомогою функціоналів $f(E(t,Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$, $f(E(t,C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$, $f(E(t,C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)})$, значення яких порівнюють з відповідними значеннями порогів $\Delta D(Y)$, $\Delta D(C_r)=\Delta D(C_b)=\Delta D(C_a)$, де C_a –компоненти однієї з кольорорізнисних площин: $C_a = C_r$ або $C_a = C_b$. Яскравісна складова при відновленні зображення несе більше інформаційне навантаження, ніж кольорорізнисні складові C_r , C_b . Тому значення порога при обробці блоків складової яскравості будемо вибирати меншим, ніж при обробці кольорорізнисних складових.

Значення порогів $\Delta D(Y)$ та $\Delta D(C_a)$ дорівнює відповідно:

$$\Delta D(Y) = \frac{\sum_{j=1}^n \log_2 \prod_{i=1}^m \lambda(t, Y)_i}{n_{\max}} \cdot 100\% \leq 30\%;$$

$$\Delta D(C_a) = \frac{\sum_{j=1}^n \log_2 \prod_{i=1}^m \lambda(t, C_a)_i}{n_{\max}} \cdot 100\% \leq 50\%, \quad (6.20)$$

де $\lambda(t, Y)_i$, $\lambda(t, C_a)_i$ – основи i -го рядка блоків $V(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\gamma, \xi)}$, $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ поточного P -кадру;

m – кількість рядків в блоці ($m = 8$);

n – кількість стовпців в блоці ($n = 8$);

n_{\max} – максимальна довжина машинного слова (максимальна кількість розрядів, яке відводиться для зберігання одновимірного блочного коду для одного рядка з 8-ми елементів).

Розглянемо детально роботу запропонованого механізму адаптації (рис. 6.8).

Якщо умова виконується і значення функціоналів $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$ не перевищують заданий поріг

$$f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D(Y);$$

$$f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D(C_a); \quad (6.21)$$

$$f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) \leq \Delta D(C_a),$$

то далі блокам присвоюється тип подальшої обробки P . У цьому випадку різницеві масиви $E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ надходять на кодер. У ньому для блоків P -типу формуються одновимірні блокові коди $N(P, Y)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$, $N(P, C_r)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$, $N(P, C_b)_{t, j}^{(\xi, \gamma)}$ для j -го стовпця блоків $V(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $V(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ відповідно.

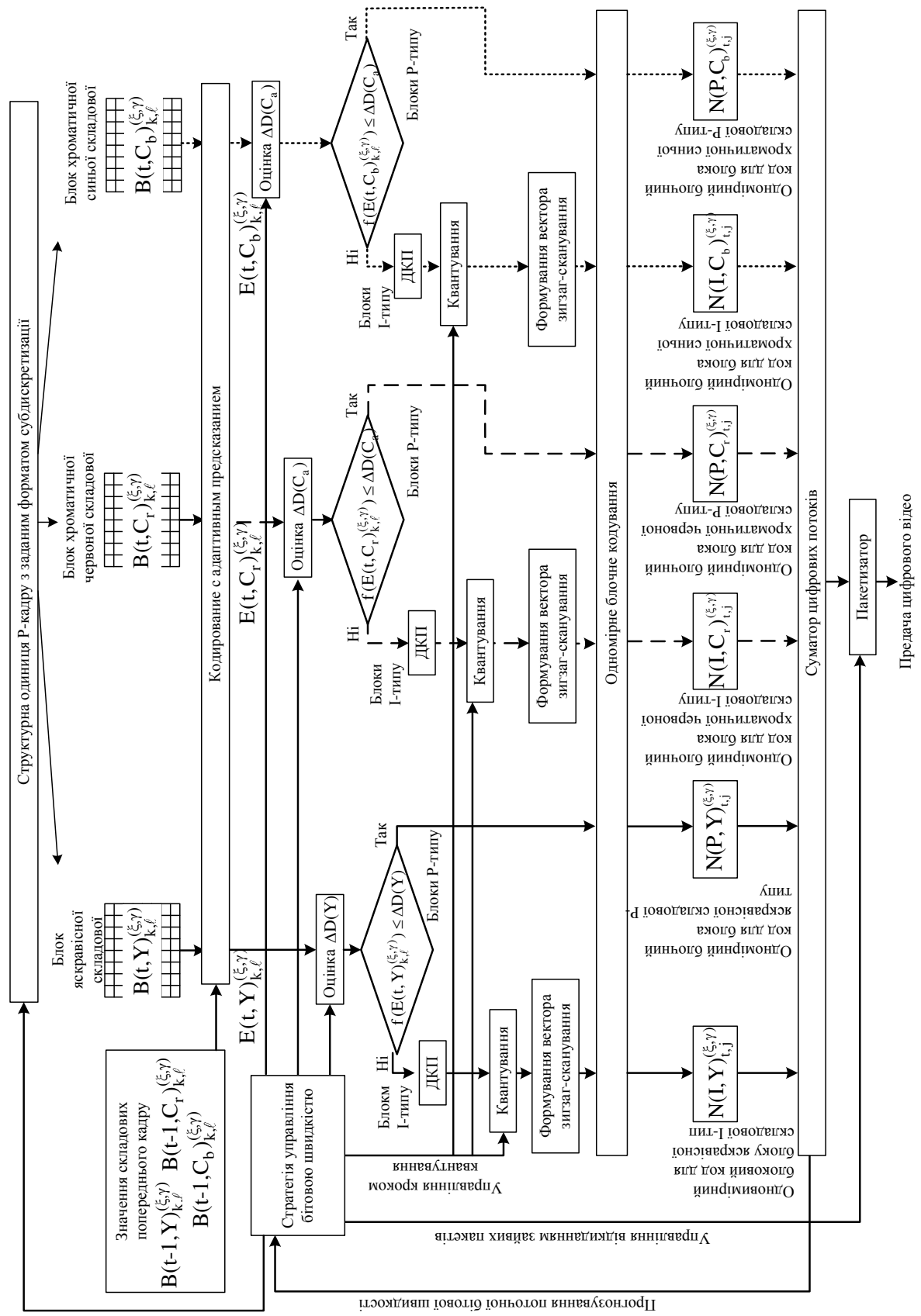


Рисунок 6.8 – Механізм адаптації параметрів компресії до характеристик комп’ютерних систем спеціального призначення

Якщо умова не виконується, значить, у блоці з'явився динамічний об'єкт, і значення функціоналів $f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$, $f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)})$ перевищує поріг:

$$f(E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D(Y);$$

$$f(E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D(C_a); \quad (6.22)$$

$$f(E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}) > \Delta D(C_a).$$

Такому блоку присвоюється тип обробки I та він буде оброблятися за алгоритмами, які використовуються для кодування I-кадрів.

У цьому випадку різницеві масиви $E(t, Y)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_r)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$, $E(t, C_b)_{k, \ell}^{(\xi, \gamma)}$ проходять етап трансформування за допомогою дискретного косинусного перетворення. Відбувається процедура квантування, після чого отримана матриця пройде обробку зигзаг-скануванням, також кодується одновимірним блоковим кодом.

Третім етапом механізму адаптації є визначення значення фактора якості, який використовується при формуванні матриці квантування. Розрахунок матриці квантування полягає в такому: задається одне значення фактора якості (QF), зазвичай в діапазоні від 1 до 25, і проводиться розрахунок значень матриці за формулою:

$$q(t, Y)_{i, j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF(Y);$$

$$q(t, C_r)_{i, j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF(C_a); \quad (6.23)$$

$$q(t, C_b)_{i,j} = 1 + (1 + i + j) \cdot QF(C_a).$$

При цьому, так само як і у випадку зі значеннями порогів, фактори якості для яскравісної та кольорорізнисних складових будуть вибиратися з різними величинами.

На наступному етапі адаптації проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ і середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ відеопотоку оброблюваного кадру при вихідних параметрах обробки блоків: порогів $\Delta D(Y)_{\text{in}}$, $\Delta D(C_a)_{\text{in}}$ та чинників якості $QF(Y)_{\text{in}}$, $QF(C_a)_{\text{in}}$.

Вихідні параметри вибираються з міркувань досягнення найкращої якості зображення, проте вони задаються в межах:

$$\Delta D_{\min} \leq \Delta D(Y)_{\text{in}}, \Delta D(C_a)_{\text{in}} \leq \Delta D_{\max}; QF_{\min} \leq QF(Y)_{\text{in}}, QF(C_a)_{\text{in}} \leq QF_{\max}.$$

Перевірка відеоданих на якість зображення проводиться шляхом визначення середньоквадратичної помилки:

$$\sigma(t) = \sum_{\xi=1}^{m_{\text{mc}}} \sum_{\gamma=1}^{n_{\text{mc}}} \left(\sum_{k=1}^{m_c} \sum_{\ell=1}^{n_c} \sigma(t, Y)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + \sigma(t, C_r)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} + \sigma(t, C_b)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)} \right), \quad (6.24)$$

де $\sigma(t, w)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$ – середньоквадратична помилка блоку $B(t, w)_{k,\ell}^{(\xi,\gamma)}$;

$b'_{i,j}^{(\xi,\gamma)}$ – відновлений елемент блоку зображення;

$b_{i,j}^{(\xi,\gamma)}$ – вихідний елемент блоку зображення;

m – кількість елементів у блоці по горизонталі;

n – кількість елементів у блоці по вертикалі.

У разі якщо середньоквадратична помилка $\sigma(t)$ перевищує необхідне значення $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то якість відновленого зображення менше заданої, або

підсумкова бітова швидкість $V(t)_{\text{comp}}$ вища від необхідної $V(t)_{\text{comp}} \geq V_{\text{req}}$. Відповідно до механізму адаптації проводиться зміна параметрів значень факторів якості та порога ΔD для всіх складових колірної моделі [43]. У разі якщо перебір можливих варіантів параметрів компресії не дозволив досягти необхідних параметрів швидкості та якості, приймається рішення про зміну формату цифрової субдискретизації.

Оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ проводиться після зміни кожного параметра. Якщо після всіх змін параметрів не вдалося досягти заданої швидкості протягом часу обробки, яке було відведено на обробку одного кадру, може бути прийнято рішення про пропуск поточного P-кадру.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 6

1. Створена методологічна база, яка дозволяє побудувати систему управління бітовою швидкістю відеопотоку, що особливо актуально в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення з низькою пропускною здатністю каналу, невеликому часі обробки відеоінформації або обмежених обчислювальних можливостях пристроїв обробки.

2. Розроблено загальний метод управління бітовою швидкістю роботи кодера на базі алгоритму релаксації Лагранжа, який використовує в якості параметра фактор якості при квантуванні блоку. Для пошуку оптимального значення параметра квантування запропоновано використовувати метод поділу відрізків навпіл. Основна його перевага полягає в тому, що непотрібно повного (або близького до повного) перебору множини рішень як, наприклад, при динамічному програмуванні. Це дозволяє знизити час обробки і передачі кадру, що необхідно при роботі з відеопослідовністю в масштабі часу, близькому до реального.

3. Розроблено механізм адаптації підсумкової бітової швидкості відеопотоку до параметрів комп'ютерних мереж та систем спеціального призначення при обробці Р-кадрів. Він дозволить реалізувати можливість контролю середньоквадратичної помилки при інтенсивності відеопотоку, що не перевищує необхідної пропускної спроможності каналу зв'язку. Основу механізму складають такі положення:

- вибір формату колірної субдискретизації Р-кадру, що дозволить скоротити не тільки загальний обсяг переданих даних на один кадр, а й вплив у процентному співвідношенні кольорорізнісних складових відносно яскравісної;

- застосування диференціальної обробки блоку залежно від порога прийняття рішень, що дозволяє в Р-блоках з незначними змінами виробляти меншу кількість математичних операцій, що значно знизить час їх обробки. У той самий час при обробці І-блоку, який відповідає динамічній зміні

об'єкта в оброблюваному просторі, будуть обрані такі параметри компресії, які забезпечать найкращу якість;

- використання адаптивного механізму зміни таких параметрів компресії блоку: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень, фактора якості. Їх комбінування дозволяє адаптувати значення бітової швидкості до пропускнуї спроможності каналу зв'язку і вибирати необхідну якість переданого зображення;

- параметри компресії для різних колірних складових кадру вибираються окремо для кожної складової. Значення порога та фактора якості вибираються таким чином, щоб яскравісна складова, яка несе найбільшу інформативність, оброблялася з кращою якістю, ніж кольорорізнисні складові.

Результати досліджень шостого розділу опубліковані в роботах [59, 60, 63, 65, 69, 180, 181, 184, 188, 189].

РОЗДІЛ 7

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОТРАФІКА

Розроблено метод управління бітовою швидкістю, який дозволяє виробляти необхідне коригування інтенсивності відеопотоку відповідно до основних параметрів комп'ютерних систем та мереж СП при забезпеченні заданої якості відеотрафіка [47, 61]. Даний метод дозволяє адаптивну зміну таких параметрів компресії: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень і фактора якості методом Лагранжевих релаксації. Механізм комбінування вибраних параметрів складено так, щоб рішення про оптимальність було прийнято з мінімальними часовими затримками. При цьому здійснюється контроль та адаптація бітової швидкості до пропускної спроможності каналу зв'язку, а також є можливість вибору якості переданого зображення.

Оцінимо вплив бітової швидкості відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах СП.

Показано, що створений метод управління бітовою швидкістю при обробці прогнозованих кадрів має здатність підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів за рахунок розширення загального методу компресії стандарту MPEG вдосконаленим методом кодування. Він має більшу завадостійкість блокових кодових конструкцій, що дозволить знизити кількість помилок при відновленні кадрів. При цьому розроблений метод управління за рахунок оптимізації по трьох параметрах компресії забезпечує необхідне підстроювання інтенсивності відеопотоку під поточні параметри комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення.

7.1 Обґрунтування концептуальної бази каскадної технології диференційного маскування з класифікацією семантичної складності зображень

Аналіз технологій обробки зображень, викладений в роботах [79 - 81, 239 – 243] показує, що основним способом для підвищення якості обробки є попередній аналіз та подальша обробка зображень, яка залежить від результату вихідного аналізу (фільтрації, підвищення різкості, зменшення шуму і т. д.). Головним недоліком даних технологій є участь в процесі обробки особи, яка приймає рішення (вибір методу попереднього аналізу, проміжна оцінка результатів, вибір подальшого способу обробки і т. д.), що є не прийнятним для практичної реалізації в КСМ спеціального призначення при автоматичній обробці та передачі відеоінформації.

Для вирішення поставленого завдання диференціальна обробка відеозображень з введенням інтелектуального аналізу:

- а) виявлення та локалізація семантично значущої інформації в відеозображеннях;
- б) виконання пофрагментного аналізу відеозображень з класифікацією семантичної складності (ступеня насиченості контурами);
- в) реалізація обробленого подання відеозображень, параметри якого адаптивно визначаються залежно від класу семантичної складності.

Пропонується виконувати 2-х каскадну диференційну обробку відеозображень для реалізації таких завдань:

- а) збільшення кількості правильно виділених граничних пікселів (високий рівень детектування);
- б) підвищення ступеня локалізації контурів з одночасною класифікацією фрагментів зображень за ступенем насиченості контурами;
- в) забезпечення інформацією для управління параметрами компресії зображення.

Ця 2-х каскадна диференціальна обробка відеозображень є одним з

етапів методу обробки відеозображень з метою підвищення доступності та цілісності відеоінформаційного ресурсу в КСМ СП.

Застосування 2-х каскадної диференціальної обробки відеозображень у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення [49, 82] дозволить усунути недоліки існуючих технологій маскування з дотриманням безперервності процесу обробки відеоінформації.

Каскадність обробки відеозображень складатиметься у:

а) проведенні попереднього аналізу фрагментів зображення за ступенем насиченості їх контурами (слабо, середньо і сильно насичені);

б) використання різноманітних методів маскування для каскадів різних рівнів схеми виділення контурів з урахуванням класу насиченості фрагментів.

У першому каскаді схеми вирішені такі завдання:

а) виділення контуру в зображенні з використанням масок 1-го рівня (допускається виділення помилкових контурів);

б) оцінка показників структурної складності зображення (фрагментів).

На другому каскаді реалізується:

а) класифікація зображення (фрагментів) за ступенем насиченості їх контурами;

б) локалізація контурів об'єктів зображення маскою 2-го рівня з урахуванням класу насиченості контурами;

в) визначення параметрів методу компресії для відеозображення (пофрагментно) залежно від класу насиченості контурами.

Опишемо в загальному вигляді процедури 2-х каскадної диференційної обробки відеозображень.

На першому каскаді для зменшення часу обробки та виділення семантичної інформації пропонується використовувати первинне (грубе) маскування фрагментів зображень методом забезпечення блокування реальних контурів (мінімальне (максимальне) значення помилки 2-го роду (чутливості)). Метою даного етапу обробки є визначення структурних

показників насиченості зображень (кількість двійкових перепадів, довжина двійкових серій та ін.) та автоматична класифікація областей зображення за ступенем насиченості (щільності заповнення) їх контурами.

Етапи виділення та локалізації контурів у початковому зображенні X методами маскування та результат маскування позначимо $M(X)$.

Для першого каскаду пропонується використовувати методи Собела або Лапласіана (LoG), для другого каскаду – методи Собела, Лапласа або Шару.

Для реалізації запропонованого каскадного підходу щодо виявлення семантики зображень необхідно в першому каскаді схеми визначити показники структурної складності зображення, завдяки яким виконується класифікація фрагментів зображень за ступенем їх семантичної насиченості контурами.

Розглянемо показники структурної складності зображення для класифікації маскованих зображень за ступенем їх семантичної насиченості.

В результаті досліджень [83, 246] для оцінки насиченості контурами зображення (фрагментів) були запропоновані такі параметри структурної складності зображень (абсолютні та відносні значення):

- 1) параметр $P1$ – кількість $N_{cnn.}$ стовпців відеозображення (фрагмента);
- 2) параметр $P2$ – кількість $N_{стр.}$ строк відеозображення (фрагмента);
- 3) параметр $P3$ – усереднене значення двійкових перепадів у строках щодо стовпців:

$$P_3 = n_1' = \frac{\sum_{x=1}^{N_{cnn.}} n_{1x}}{N_{cnn.}}, \quad (7.1)$$

де n_{1x} – кількість двійкових перепадів в x - й строці;

$N_{cnn.}$ – кількість стовпців; $N_{стр.}$ – кількість строк;

x – порядковий номер строки;

4) параметр P_4 , усереднене значення двійкових перепадів у стовпцях щодо строк:

$$P_4 = n'_2 = \frac{\sum_{y=1}^{N_{стр.}} n_{2y}}{N_{стр.}}, \quad (7.2)$$

де n_{2y} – кількість двійкових перепадів в y -му стовпці;

y – порядковий номер стовпця;

5) параметр P_5 – інтегральний параметр кількості двійкових перепадів:

$$P_5 = n = \sqrt{n_1^2 + n_2^2}; \quad (7.3)$$

6) параметр P_6 – загальна кількість пікселів у контурах – $N_{ріх\ кнт.}$;

7) параметр P_7 – інтегральний параметр питомого насичення контурами – відношення площі контурів $S_{контур}$ до площі зображення $S_{зображ.}$, (%):

$$P_7 = \Delta S = \frac{S_{контур}}{S_{зображ.}} \cong \frac{N_{ріхкнт.}}{N_{ріхз.}}, \quad (7.4)$$

де $N_{ріх\ кнт.}$ – загальна кількість пікселів у контурах;

$N_{ріхз.}$ – загальна кількість пікселів у зображенні;

8) параметр P_8 – клас семантичної насиченості контурами (КНК):

1 - слабонасичений, 2 - середньонасичений, 3 - сильнонасичений.

Запропоновані параметри структурної складності зображення розраховуються на виході 1-го каскаду схеми обробки.

Множина P оцінок показників структурної складності для початкового зображення X представимо в такому вигляді:

$$P = F_P(X; M) = \{P_j\}, \quad j = \overline{1, n_p}, \quad (7.5)$$

де $F_P(X; M)$ – система визначення структурних показників P_j для вихідного зображення X на основі результатів маскуванню M ;

P_j – j -ий показник оцінки структурної складності для зображення X ;

n_p – кількість розглянутих показників.

Структурні показники складності P у загальному випадку залежать як від параметрів вихідного зображення X (його семантичної структури), так і від результату маскуванню $M(X)$. Аналіз та обробка структурних показників складності дозволяють визначити клас семантичної насиченості зображень (фрагментів).

На другому каскаді на основі отриманих значень визначається клас семантичної насиченості фрагмента зображення. Для сильнонасичених контурами фрагментів проводиться вторинне (уточнююче) маскуванню методами, які забезпечують високу ступінь локалізації; відсутність розривів в контурах, цілісність граничних пікселів; мінімальне (максимальне) значення помилки 1-го роду (специфічності) та мінімальне значення RMSE.

Підсумки експериментів зводяться в таблиці результатів за такою типовою формою:

а) № – умовний номер оброблюваного реалістичного зображення (фрагмента);

б) значення (вибірка) обчислених структурних параметрів (умовні параметри $P_1 - P_7$ і відповідний їм дійсний параметр;

в) якісна ознака P_8 , яка визначається на основі кластерного аналізу параметрів $P_1 - P_7$.

Обробка результатів експериментів для великої кількості зображень дозволяє сформувати діапазони значень показників структурної складності зображення для кожного класу насиченості контурами.

При цьому всі множини оцінок P показників структурної складності для оброблених зображень емпірично розбиваються на підмножини P_i реалізацій значень показників для кожного класу семантичної насиченості:

$$P = \{P_i\}, \quad (7.6)$$

де P_i – відповідна підмножина оцінок структурних показників складності для i -го класу насиченості зображення (або його фрагмента);

i – порядковий номер класу насиченості, $i = \overline{1, m_s}$;

m_s – кількість класів насиченості.

Формування кластерів (підмножин) P_i оцінок структурних показників складності для i -го класу насиченості зображення (фрагмента) пропонується проводити методами кластерного аналізу (ієрархічним методом, методом К-середніх або методами нечіткої кластеризації – методом нечітких С-середніх).

Пропонується залежно від ступеня насиченості контурами розглядати 3 класи насиченості зображень контурами (КНК):

- слабо насичені контурами – КНК "слабонасичений";
- середньо насичені контурами – КНК "середньонасичений";
- сильно насичені контурами – КНК "сильнонасичений".

Для подальшої формалізації вирішення поставленого завдання введемо таку градацію класів семантичної насиченості зображень:

- з класом семантичної насиченості "слабонасичений" - K_1 ;
- з класом семантичної насиченості "середньонасичений" - K_2 ;
- з класом семантичної насиченості "сильнонасичений" - K_3 .

При вирішенні завдання класифікації зображень (фрагментів) за ступенем їх насиченості контурами пропонується на основі результатів обробки визначати відповідність обчислених показників структурної

складності (P1 - P7) підмножині P_i показників структурної складності, яке відповідає певному класу семантичної складності K_i :

- "слабонасичені" зображення (фрагменти) – $\{K_1 | P_i \subseteq P_1\}$;
- "средньонасичені" зображення (фрагменти) – $\{K_2 | P_i \subseteq P_2\}$;
- "сильнонасичені" зображення (фрагменти) – $\{K_3 | P_i \subseteq P_3\}$.

Тоді процедуру визначення класу семантичної насиченості для зображення (фрагмента) функціонально можна представити так:

$$K = F_K(X; M; P) = \begin{cases} K_1, \text{ якщо } P_i \in P_1; \\ K_2, \text{ якщо } P_i \in P_2; \\ K_3, \text{ якщо } P_i \in P_3, \end{cases} \quad (7.7)$$

де $F_K(X; M; P)$ – функціональний опис, який дозволяє визначити клас насиченості для вихідного зображення X (його фрагмента) за знайденими в результаті маскування M у відповідності з $F_P(X; M)$ значенням P_j оцінки структурних показників складності за умови розбиття всієї множини реалізацій значень оцінок структурних параметрів складності на 3 класи насиченості;

P_1, P_2, P_3 – відповідні K_i класу насиченості кластери оцінок структурних показників складності.

У табл. 7.1, як приклад наведені результати експерименту для 20 різних за розмірами та насиченістю фрагментів відеозображень практичної реалізації в комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення при автоматичній обробці та передачі відеоінформації.

У результаті візуальної оцінки фрагментів зображень експерти класифікували їх за ступенем насиченості контурами так:

- а) КНК "слабонасичені" зображення: C_1, C_4, C_9, C_{11} ;

б) КНК "середньонасичені" зображення: C_3, C_5, C_6, C_7, C_8, C_10, C_16, C_17, C_19, C_20;

в) КНК "сильнонасичені" зображення: C_2, C_12, C_13, C_14, C_15, C_18.

В результаті оцінки структурних параметрів методом кластерного аналізу зображення класифіковані за ступенем насиченості їх контурами так:

а) КНК "слабонасичені" зображення: C_1, C_4, C_9, C_11, C_16;

б) КНК "середньонасичені" зображення: C_3, C_5, C_6, C_7, C_10, C_17, C_19, C_20;

в) КНК "сильнонасичені" зображення: C_2, C_8, C_12, C_13, C_14, C_15, C_18.

Таблиця 7.1 – Приклад оцінки параметрів структурної складності зображень

№ з/п	№ зобр	P1 $N_{смп.}$	P2 $N_{смп.}$	P3 n_1	P4 n_2	P5 n	P6 N_{pix}	P7 ΔS	P8 КНК
1	C_1	100	100	0,28	0,38	0,47	342	0,03	1
2	C_4	100	100	0,12	0,42	0,44	468	0,05	1
3	C_9	100	100	0,44	0,66	0,79	244	0,02	1
4	C_11	480	320	0,71	1,27	1,45	463	0,00	1
5	C_16	480	320	0,83	1,52	1,73	1348	0,01	1
6	C_3	100	100	0,64	0,56	0,85	1346	0,13	2
7	C_5	100	100	0,76	1,08	1,32	1502	0,15	2
8	C_6	100	100	1,82	1,94	2,66	1934	0,19	2
9	C_7	100	100	1,96	3,49	4,00	2346	0,23	2
10	C_10	100	100	1,08	1,56	1,90	408	0,04	2
11	C_17	480	320	1,41	2,80	3,13	3456	0,02	2
12	C_19	480	320	2,06	2,74	3,43	2468	0,02	2
13	C_20	480	320	1,27	2,26	2,59	2349	0,02	2
14	C_8	100	100	2,33	2,67	3,54	4016	0,40	3
15	C_2	100	100	3,72	3,42	5,05	3204	0,32	3
16	C_12	480	320	13,64	23,20	26,92	15607	0,10	3
17	C_13	480	320	7,17	6,40	9,61	9876	0,06	3

№ з/п	№ зобр	P1 $N_{cmp.}$	P2 $N_{cmp.}$	P3 n_1	P4 n_2	P5 n	P6 N_{pix}	P7 ΔS	P8 КНК
18	C_14	480	320	4,89	6,36	8,02	7643	0,05	3
19	C_15	480	320	2,50	5,14	5,72	6378	0,04	3
20	C_18	480	320	1,18	3,76	3,94	3248	0,02	3

Порівняльна оцінка результатів досліджень показує, що є відповідність між візуальною оцінкою ступеня семантичної насиченості та кількісною оцінкою на основі кластерного аналізу. Дана відповідність дозволяє виробити емпіричні рекомендації щодо проведення автоматичної класифікації семантичної складності відеозображень без участі оператора. Це дозволить впровадити в розроблюваний метод обробки зображень з маскуванням адаптивне визначення параметрів компресії залежно від семантичної насиченості відеозображень.

У загальному вигляді схема 2-х каскадній диференційній обробки відеозображень наведена на рис. 7.1.

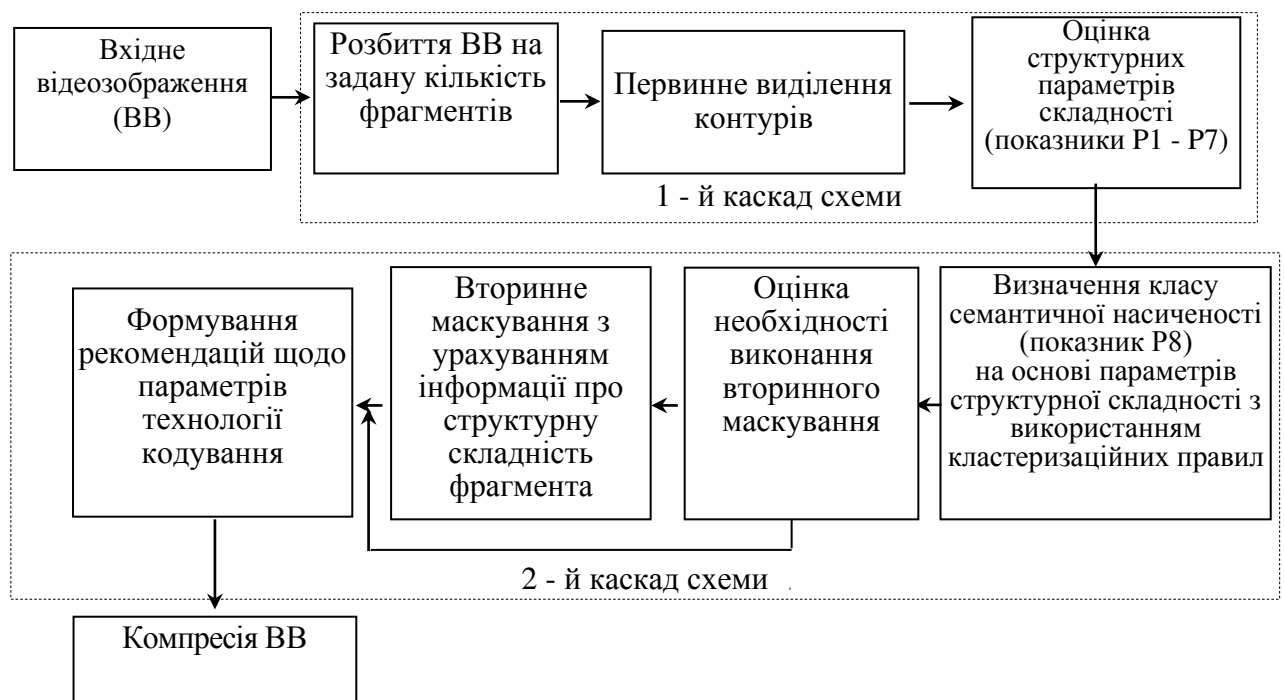


Рисунок 7.1 – Схема 2-х каскадній диференційній обробки відео зображень

Приклад класифікації зображень за КНК у програмному середовищі

STATISTICA для результатів експерименту, наведених в таблиці 7.1, для показників P1 – P7 за показником P5 (n – інтегральний параметр за оцінкою довічних перепадів) представлений на рис. 7.2.

Порівняльна оцінка ефективності простих методів маскуванню та 2-х каскадної схеми маскуванню наведена на рис. 7.3 – 7.5.

Аналіз рисунків 7.3 – 7.5 показав, що точність виділення і локалізації семантичної складової відеозображення збільшується до 30% у порівнянні з простими методами маскуванню. При цьому часові витрати на обробку відносно простих методів маскуванню збільшуються не більше ніж на 5%.

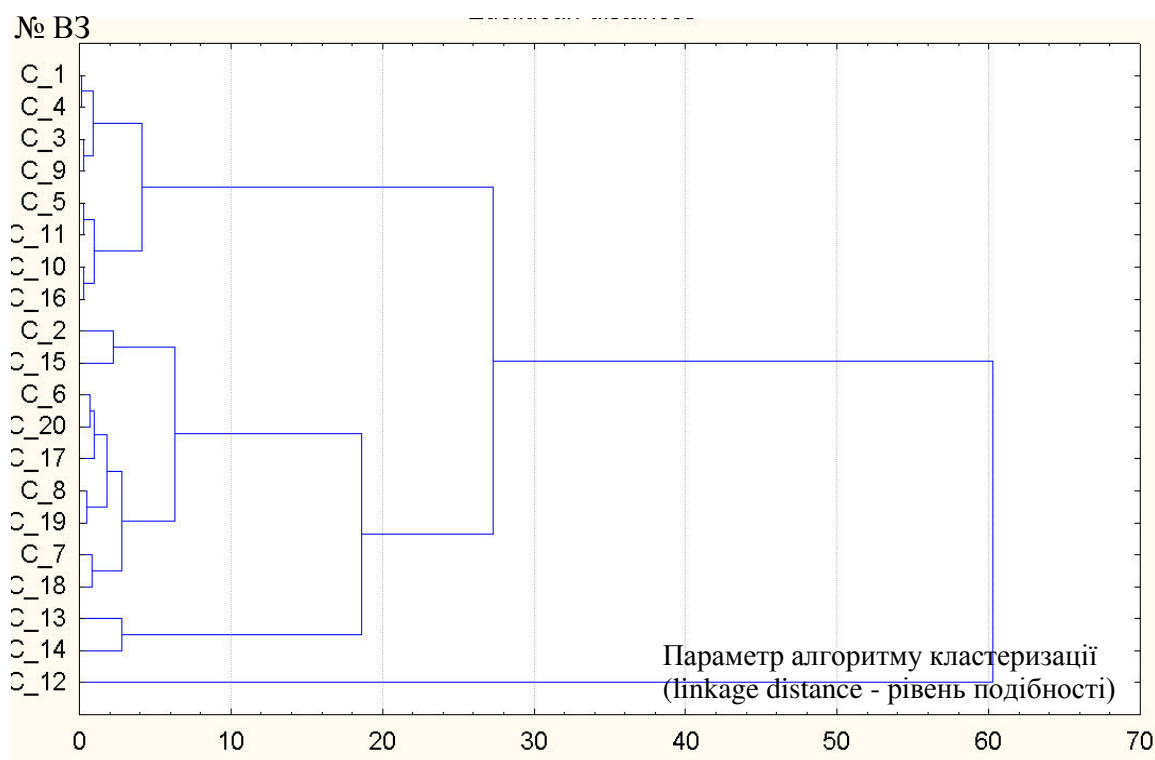


Рисунок 7.2 – Ієрархічна класифікація (у вигляді дендрограми) результату експерименту (за даними табл. 7.1)

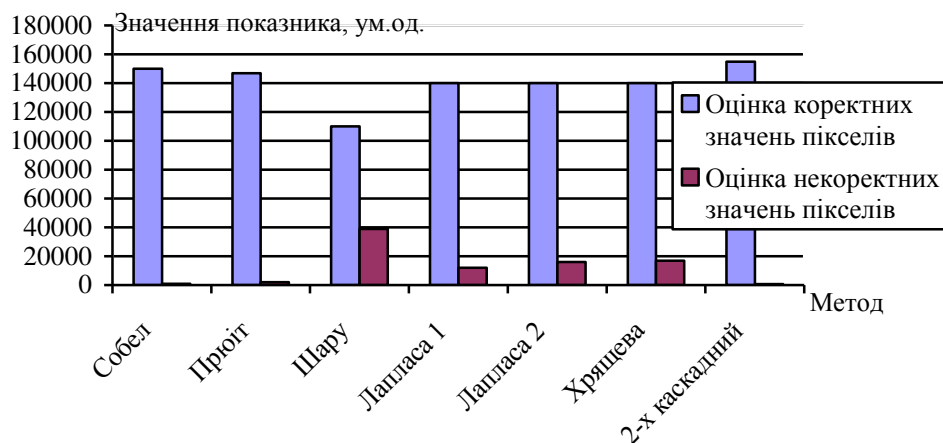


Рисунок 7.3 – Оцінка ефективності локалізації контурів простими методами маскування і запропонованої 2-х каскадної схеми

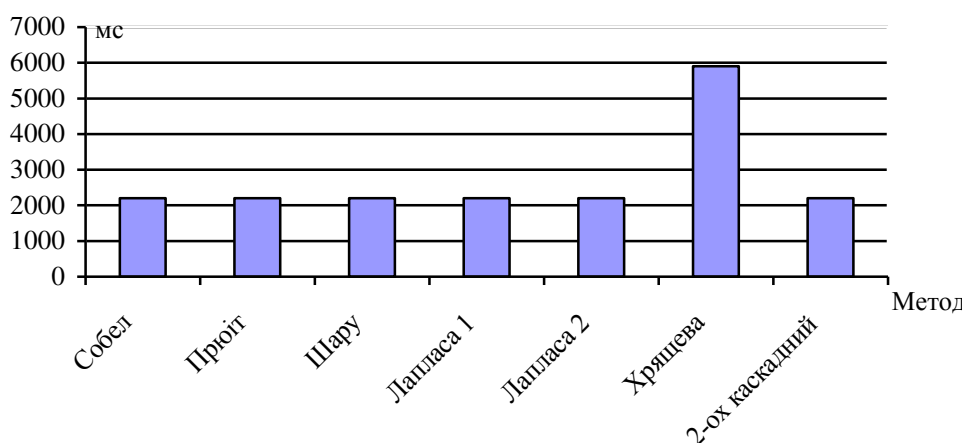


Рисунок 7.4 – Оцінка ефективності часу обробки існуючими методами маскування і запропонованої 2-х каскадної схеми

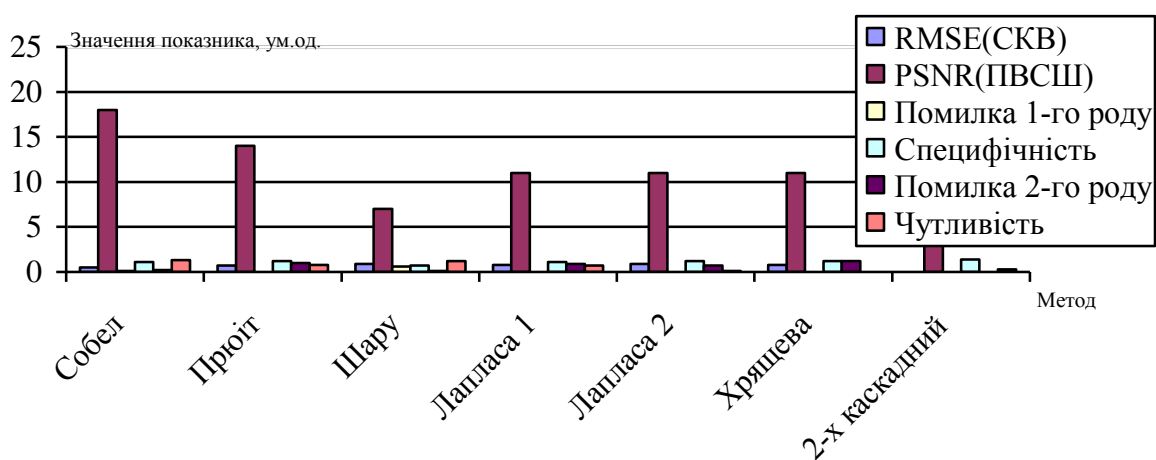


Рисунок 7.5 – Оцінка ефективності точності виділення контурів простими методами маскування і 2-х каскадної схемою

Таким чином, побудовано правило на базі системи аналітичних виразів для кількісних показників структурної складності зображення. Вони враховують: розміри оброблюваного зображення (кількість рядків і стовпців); розривність функції яскравості (визначення двійкових перепадів); двовимірне цифрове подання зображень (визначення двійкових перепадів у строках щодо стовпців і строк щодо стовпців); загальна кількість пікселів у контурах (параметр питомого насичення контурами). Розроблені показники структурної складності зображення забезпечують оцінку ступеня семантичної насиченості зображень та виконання подальшої класифікації насиченості контурами відеозображень (фрагментів). Розроблено каскадну технологію маскування, яка дозволяє усунути недоліки окремо використовуваних методів зі збереженням переваг технології маскування в цілому.

Дана технологія базується на таких концептуальних складових:

- виявлення та локалізація семантично значущої інформації в відеозображеннях з використанням технологій маскування;
 - визначення показників структурної складності зображення для оцінки характеристик семантичної насиченості зображень (фрагментів);
 - класифікація маскованих фрагментів за ступенем семантичної насиченості на основі кластерного аналізу;
 - вторинне маскування з метою підвищення точності виділення і локалізації семантики в зображенні для фрагментів з класом семантичної насиченості "сильнонасичені";
- в) реалізація компактного подання відеозображень, параметри якого будуть адаптивно визначатися залежно від класу семантичної складності.

Створено двукаскадну технологію маскування зображень на основі застосування фільтруючих масок і визначення структурних показників складності фрагментів відео зображень. Клас семантичної складності буде враховуватися на етапі формування кодового подання відеозображень, що забезпечить підвищення доступності та цілісності відеоінформаційного

ресурсу у КСМ спеціального призначення при управлінні у кризових ситуаціях.

7.2 Оцінка узгодженості характеристик комп'ютерних систем та мереж з трафіком відеоданих

Сучасний стан комп'ютерних систем та мереж СП характеризується високими темпами зростання обсягів циркулюючої в них інформації, збільшенням числа користувачів та розширенням спектру надаваних сервісів. Однак швидкість розвитку споживчого сегмента значно перевищує функціональні можливості обладнання сучасних КСМ спеціального призначення, що знижує якість надання сервісів.

Проблематика рішення завдання своєчасної доставки відео з контрольованою втратою якості в комп'ютерних системах та мережах СП полягає в декількох рівнях [64, 174, 244, 245]. Згідно одного з них, необхідно узгодити змінну інтенсивність відеопотоку та нестационарність характеристик мережі. З одного боку, змінними є структурні, психовізуальні та семантичні характеристики потоку відеокадрів. Тоді змінні значення мають інтенсивності обробленого відеопотоку. З іншого боку, змінними є характеристики самої мережі. Це обумовлено неоднорідністю мережі і навантаженням на вузли її комутації, непередбаченою кількістю користувачів мережі та їх сервісними потребами.

Причинами виникнення пульсацій швидкості передачі даних у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення є:

- неоднорідні можливості та складність трафіку;
- наявність завад та обривів у лінії зв'язку, які призводять до блокування окремих трактів мережі;
- модифікації та зростання мереж доступу відносно транспортної магістралі;

- зміна кількості абонентів, підключених до єдиного каналного ресурсу;

- різні відстані між вузлами мережі [180, 247].

У результаті динамічної зміни цих параметрів швидкість V_k в мережі постійно змінюється:

$$V_k = \text{var}.$$

Отже, швидкість передачі даних є функцією кількох змінних (рис. 7.6):

$$V_k = f(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5), \quad (7.8)$$

де v_1 – пропускна здатність мережі;

v_2 – складність трафіку;

v_3 – якість і тип ліній зв'язку;

v_4 – кількість одночасно працюючих абонентів;

v_5 – просторові характеристики мережі.

З іншого боку, мережевий трафік сучасних комп'ютерних систем та мереж спеціального призначення носить випадковий та нестационарний характер, зумовлений зміною інтенсивностей потоків даних у різний час доби та непередбачуваністю характеру роботи абонентів мережі.

Інтенсивність потоку компресії відеоданих їх структура та обсяг залежить від змісту вихідних зображень і особливостей технології їх обробки.

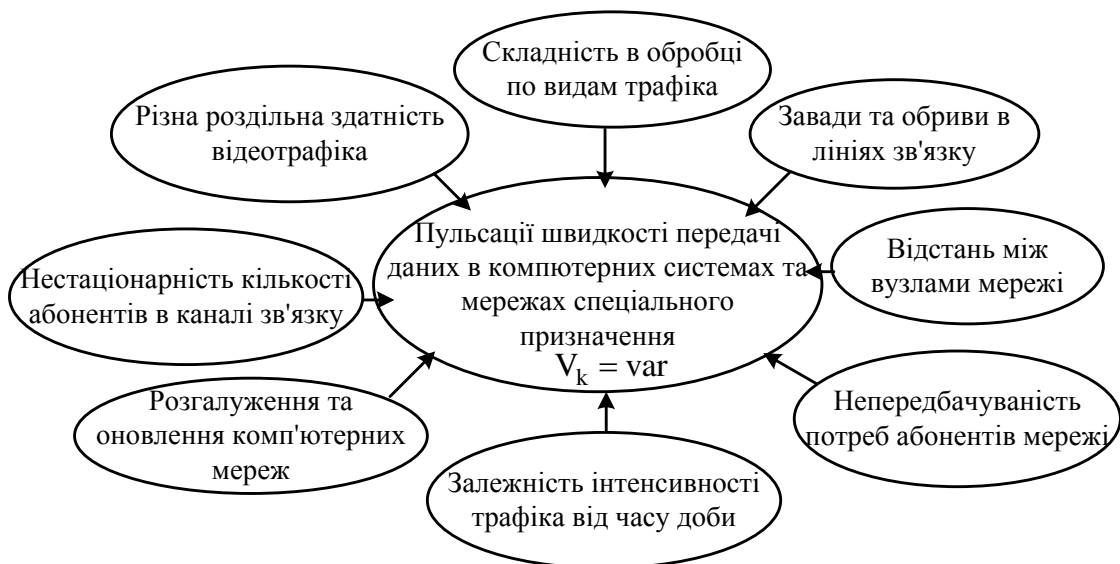


Рисунок 7.6 – Причини виникнення пульсацій швидкості передачі даних у комп'ютерних системах та мережах спеціального призначення

У загальному випадку вхідний відеопотік кодера має рівномірну швидкість $V(t)$, яка залежить від просторового розрізнення кадру $M \times N$, частоти кадрів f_k та глибини яскравості γ , тобто кількості біт, які припадають на один піксель зображення: $V(t) = f_k \cdot M \cdot N \cdot \gamma$ (біт/с).

Однак при оцінці бітової швидкості джерела необхідно враховувати неоднорідність та складність трафіку, типи відеододатків, їх вимоги до візуальної якості, пропускну здатність каналу зв'язку, часових затримок у процесі обробки та різних стратегій для обробки класифікованих кадрів. Це призводить до виникнення пульсацій бітової швидкості відеопотоку.

Трафік, створюваний абонентами мережі, які використовують передачу відеоінформації (окремі файли зображення, відео за запитом або потокове відео різної якості), має яскраво виражений асинхронний та пульсуючий характер. За передбачуваністю інтенсивності додатки можуть бути розділені на два великі класи.

1. Додатки, трафік яких є квазірівномірним потоком (Stream), характеризується високим ступенем передбачуваності трафіку, який

надходить до мережі з більш-менш постійною бітовою швидкістю (Constant Bit Rate, CBR). Хоча бітова швидкість потоку може змінюватися проте вона має легко обчислюєму верхню межу. Мережі на основі комутації пакетів можуть підтримувати змінну швидкість передачі, але середня пропускна спроможність у будь-який момент часу обмежена певними факторами, які залежать від швидкості зв'язку та перевантаженості. У цих випадках необхідні контроль та адаптація бітової швидкості, яку виробляє кодек, для її відповідності швидкостям транспортування.

2. Додатки з пульсуючим трафіком (Burst) відрізняються високим ступенем непередбачуваності, коли періоди відсутності передачі змінюються передачею великих блоків даних. У результаті трафік характеризується змінною бітовою швидкістю (Variable Bit Rate, VBR).

Клас трафіку VBR має два підкласи: трафік VBR часу, близького до реального (VBR-RT), та трафік VBR не реального часу (VBR-NRT). Трафік VBR-RT допускає дуже вузькі межі для затримки передачі осередків та може використовуватися для передачі даних додатків часу, близького до реального, з невеликою затримкою передачі пакетів, таких як відео, що генерується кодеком зі змінною швидкістю даних або оброблений відеотрафік. Трафік VBR-NRT, у свою чергу, пред'являє менш жорсткі вимоги до затримки передачі пакетів. Він спеціально призначений для передачі коротких, пульсуючих повідомлень, які виникають при обробці транзакцій системами управління базами даних.

Відеопотік даних має змінну швидкість $V(t) = var$, на яку впливає кількість користувачів і тип додатків з різними вимогами до характеристик КСМ спеціального призначення та параметрами алгоритмів компресії.

Перед надходженням у канал зв'язку відеопотік проходить обробку в кодері (рис. 7.7), після якого швидкість даних зазнає змін в часовому діапазоні $V(t)_{comp} = var$.

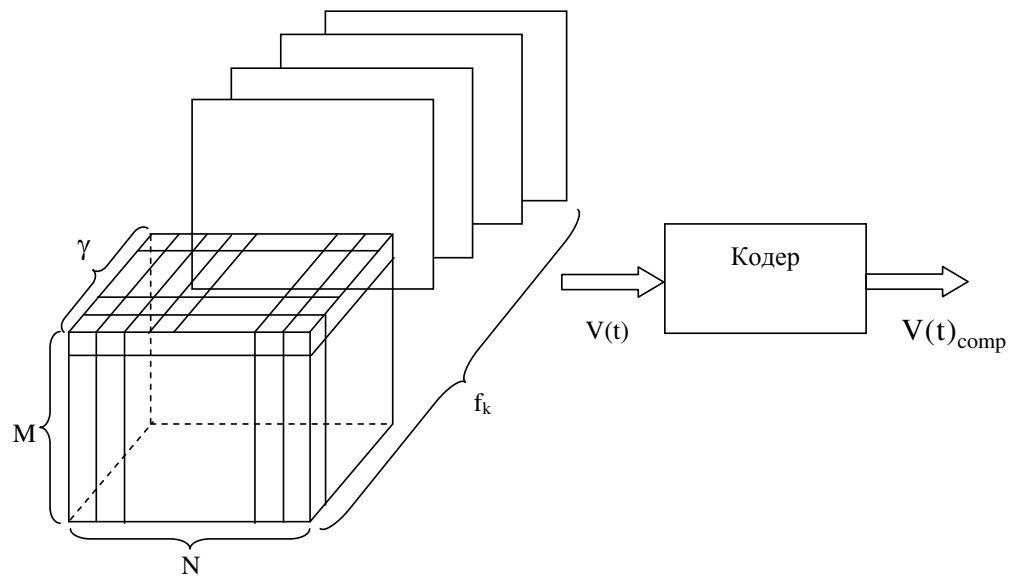


Рисунок 7.7 – Структура відеопотоку

Це відбувається через зміну характеристик оброблюваних зображень, які подаються через статистичні (ступінь кореляції елементів сегмента зображення, часова та просторова надмірність) та структурні характеристики (яскравість, колірна насиченість, ступінь насиченості дрібними деталями, складність контурів) [84, 250 – 252]. Це значить, що бітова швидкість відеопотоку визначається функцією кількох змінних:

$$V(t)_{\text{comp}} = f(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7), \quad (7.9)$$

де f_1 – статистичні особливості вихідного зображення;

f_2 – структурні особливості вихідного зображення;

f_3 – розмір сегмента зображення;

f_4 – тип колірної моделі;

f_5 – вид сегментації зображення;

f_6 – параметр квантування;

f_7 – тип кодування.

Серед цих змінних можна умовно виділити керовані параметри (f_3, f_4, f_5, f_6) та об'єктивні чинники (f_1, f_2) , як показано на рисунку 7.8.

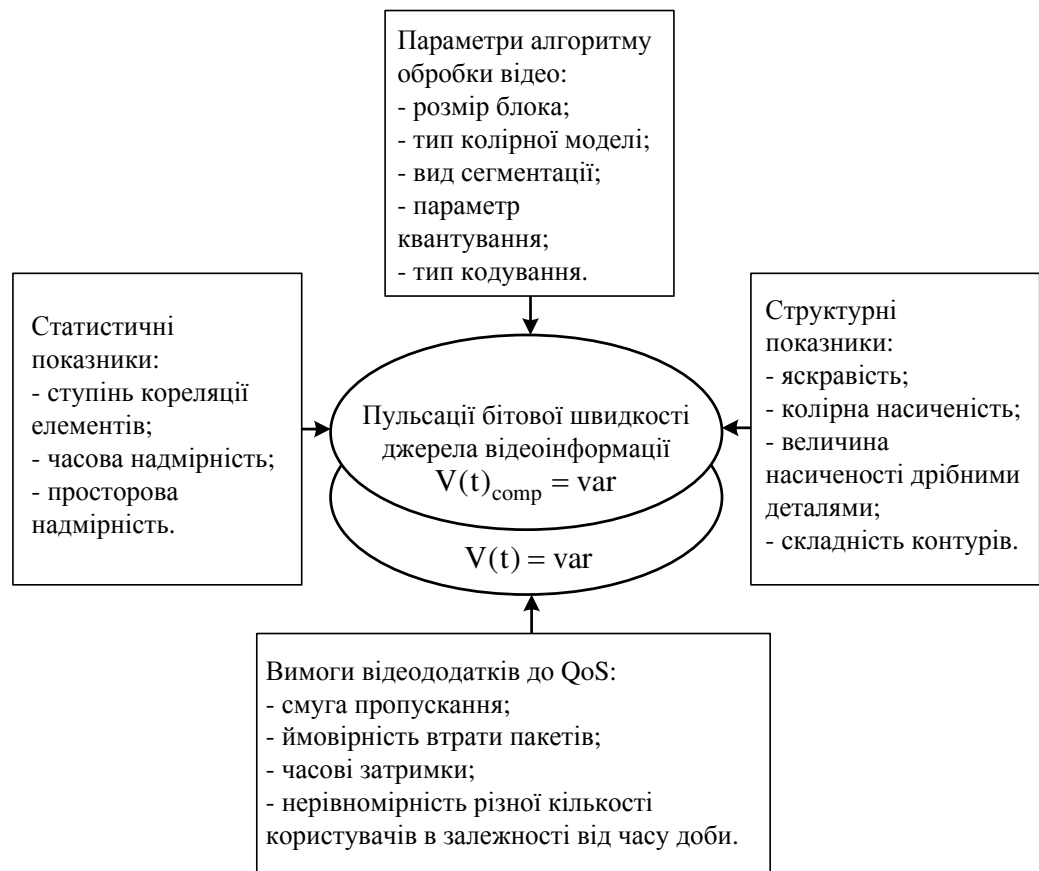


Рисунок 7.8 – Причини виникнення пульсацій бітової швидкості джерела відеотрафіка

Проведений експеримент з дослідження завантаження мережі при передачі відеопотоку, на кафедрі математичного та програмного забезпечення АСУ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба на базі фрагмента мережі Fast Ethernet показав, що є протиріччя, викликане необхідністю узгодження бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в каналі. Воно обумовлено постійною зміною бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в мережі.

Протягом експерименту відбувалася одночасна передача потокового відео від джерела (відеосервер) до 15 абонентів (з них 8 – фіксовані), які знаходяться в межах однієї локальної мережі (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Умови проведення експерименту

Загальні характеристики	Значення
Час проведення експерименту	360 хв.
Фізичне середовище передачі	UTP Cat 5
Технології передачі	Fast Ethernet 100Base-T, Wi-Fi 801.11b / g
Кількість користувачів	15
Характеристики відеопотоків:	
Розмір кадру	1280x720 пікселів
Відеокодек	H.264/AVC зі змінною бітовою швидкістю (VBR)
Частота проходження кадрів	30 кадрів / с

Передача проводилася в режимі адресної відправки (unicast). При цьому з інтервалом в 1 хв проводилася фіксація значень інтенсивності завантаження мережі на Ethernet-інтерфейсі сервера мультимедіа.

В інтервалі часу від початку спостереження до 100-ої хвилини робота мережі здійснювалася в штатному режимі без істотного навантаження відеоінформацією. За цей час не виявлено перевантажень мережі та істотних затримок пакетів. На 100-ій хвилині спостереження, з початком передачі потокового відео (першого відеофайлу) абонентам мережі від сервера мультимедіа, стрибкоподібно зростає інтенсивність $\lambda_{\text{сер}}$ завантаження мережі. Це обумовлено одночасним поданням запитів від всіх абонентів. На 109-ій хвилині інтенсивність завантаження мережі зросла від 0,1 Мбіт/с до 20 Мбіт/с. В цей момент затримка пакетів ΔT зросла до 0,25 с, що перевищує встановлений стандартом норматив щодо затримки передачі для потокового відео. Після обробки та передачі I-кадрів всім абонентам на початку трансляції потокового відео, поряд з опорними кадрами, передана велика кількість пов'язаних P та B-кадрів, що переносять набагато менший обсяг даних, на відміну від I-кадрів. Тому, в подальшому, зі 109-ї хвилини,

навантаження λ_{cur} на мережу істотно знизилося.

Таким чином розв'язання протиріччя складається в узгодженні бітової швидкості відеопотоку (інтенсивності відеопотоку) у відповідність до швидкості передачі даних в мережі:

$$V(t)_{comp} = f(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7): V(t)_{comp} \rightarrow V_k. \quad (7.10)$$

Схема, яка відображає суть процесу узгодження бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в комп'ютерній мережі спеціального призначення наведена на рис. 7.9.

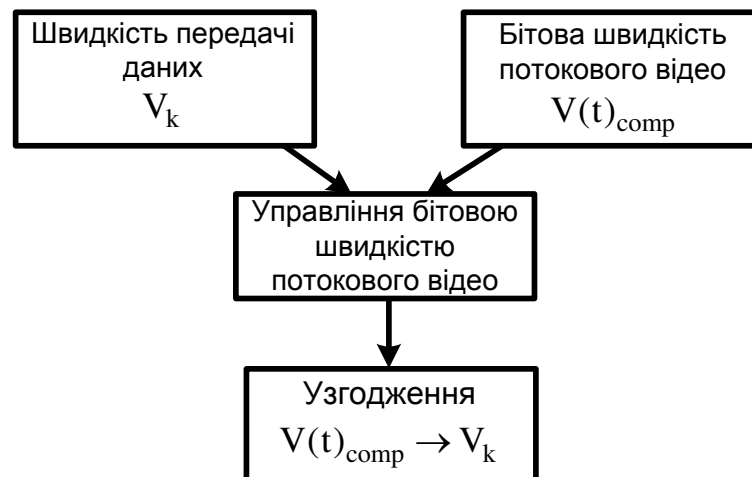


Рисунок 7.9 – Схема узгодження бітової швидкості відеопотоку та швидкості передачі даних в комп'ютерній мережі спеціального призначення

З точки зору управління відеотрафіком виділяються такі напрямки (рис. 7.10):

- реалізація засобів загальносистемного управління пріоритетами трафіку в комп'ютерній мережі спеціального призначення, що включає в себе механізми та протоколи забезпечення QoS на рівнях моделі OSI;
- організація управління інтенсивністю навантаження на кінцевих вузлах мережі, яке включає в себе засоби буферизації та контроль бітової швидкості, реалізовані у вигляді додаткових алгоритмів роботи відеокодеків.



Рисунок 7.10 – Напрямки управління відеотрафіком

Модель функцій систем управління мережі відповідно до стандарту ISO складається з 5 концептуальних напрямків:

1) управління ефективністю – вимірювання та забезпечення різних аспектів ефективності мережі для підтримання міжмережевої ефективності на прийнятному рівні (пропускна спроможність мережі, час реакції користувачів, коефіцієнт використання лінії та ін.);

2) управління конфігурацією – контролювання інформації про мережеву та системну конфігурацію для відстеження та управління впливом на роботу мережі різних версій апаратних і програмних елементів, які можуть впливати на роботу мережі;

3) управління врахуванням використання ресурсів – вимірювання параметрів використання мережі для регулювання її використання індивідуальними або груповими користувачами відповідним чином. Таке регулювання мінімізує кількість проблем в мережі та максимізує рівний доступ до неї всіх користувачів;

4) управління несправностями – виявлення, фіксування, повідомлення користувачів та (в межах можливого) автоматичне усунення проблеми в мережі для ефективної роботи вузла;

5) управління захистом даних – контроль доступу до мережевих ресурсів відповідно до керівних принципів для унеможливлення

несанкціонованого доступу до мережі та користування приватною інформацією особами, які не мають відповідного дозволу.

Для оптимальної роботи наведеної моделі в КСМ спеціального призначення функціонують спеціальні протоколи та стеки протоколів. Для їх класифікації та виявлення місця в загальній структурі міжмережевої взаємодії, зручно скористатися багаторівневим описом мережевих протоколів. Згідно з даною парадигмою, вважається, що протоколи більш високого рівня використовують функції протоколів більш низького рівня. Класичною моделлю такого роду є семирівнева модель взаємодії відкритих систем (Open Systems Interconnection – OSI).

IP-мережі використовують для передачі інформації та управління нею різноманітні протоколи, причому функції протоколів не залежать від переданих даних. Іншими словами, IP, ARP, ICMP, TCP, UDP та інші елементи стека протоколів TCP/IP надають універсальні засоби передачі інформації будь – якої природи.

Таким чином, в існуючих технологіях загальносистемного управління в комп'ютерній мережі відсутні методи зниження інтенсивності відеопотоку. Протоколи управління лише виконують перерозподіл відеотрафіка, що є їх істотним недоліком. У разі неможливості перерозподілу відеопотоку втрачається інформація.

У нашому випадку поняття бітової швидкості полягає в обсязі оброблених даних, які виробляє кодек за одиницю часу. Дійсно, змінну швидкість потоків відеоданих можна згладити за допомогою буфера.

Управління на рівні буфера, не враховуючи обсягу відеоданих має ряд недоліків і не дозволяє вирішувати проблему узгодження бітової швидкості та швидкості передачі даних у комп'ютерній мережі. Буферизація тільки частково знижує пульсації бітової швидкості, оскільки з одного боку, чим більший об'єм пам'яті буферного пристрою, тим вищі пульсації бітової швидкості відеопотоку, який він може згладжувати.

Збільшення обсягів запам'ятовуючих пристроїв досягається шляхом збільшення енергоспоживання та збільшення їх масогабаритних характеристик. Але ж, чим більший об'єм пам'яті буферного пристрою, тим вище часові затримки, які проявляються в зниженні швидкості обробки відеоданих. Управління переходить на рівень пріоритетів, коли втрачаються дані з низьким пріоритетом.

Велика частка відеоданих серед інших типів трафіку вимагають зниження навантаження в комп'ютерних системах та мережах для забезпечення належного рівня QoS. Для цього розробляються методи зниження інтенсивності відеотрафіка в процесі обробки на джерелі інформації. Розглянуті методи управління в мережах передачі даних або ж буферизація на кінцевих пристроях не можуть повністю забезпечити узгодження бітової швидкості відеопотоку та пропускнуєї спроможності мережі. Тому розроблений метод управління трафіком на основі реалізації механізмів контролю інтенсивністю відеопотоку на рівні кодека.

Для узгодження бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ відеопотоку та швидкості передачі даних у мережі V_k необхідно варіювати параметрами компресії відеоданих. При обробці кадру в відеопослідовності вектор рішень Ψ для управління бітовою швидкістю складається з міри інформативності блоків та параметру якості: $\Psi^i = \{\psi_1^i, \psi_2^i\}$. Відповідно, при обробці відеопотоку для кожного i -го блоку в кадрі бітова швидкість v і середньоквадратична помилка будуть функціями від двох змінних:

$$v(t)_i = v_i(t, \Psi^i) = v(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i); \quad (7.11)$$

$$\sigma(t)_i = \sigma_i(t, \Psi^i) = \sigma(t)_i(\psi_1^i, \psi_2^i),$$

де $\sigma_i(t, \Psi^i)$ – середньоквадратична помилка для кожного i -го блоку в кадрі відеопослідовності;

$v_i(t, \Psi^i)$ – бітова швидкість кожного i -го блоку в кадрі.

Для оптимізації параметрів компресії необхідно знайти такі значення вектора рішень Ψ , які будуть відповідати таким вимогам:

$$\begin{cases} \sigma(t, \Psi^*) = \min_{\Psi^i \in \Psi} \sigma(t, \Psi^i); \\ V(t, \Psi^*)_{\text{comp}} \leq V_{\text{req}}. \end{cases} \quad (7.12)$$

де V_{req} – необхідна бітова швидкість на один кадр;

Ψ^* – оптимальний вектор рішень;

$V(t, \Psi^*)_{\text{comp}}$ – бітова швидкість обробленого кадру при оптимальних параметрах;

$\sigma(t, \Psi^*)$ – середньоквадратична помилка для обробленого кадру при оптимальних параметрах.

Значить, необхідно знайти такі значення параметрів компресії зображення, при яких середньоквадратична помилка буде наближатися до мінімуму $\sigma(t, \Psi^*) \rightarrow \sigma_{\min}$ за умови, що швидкість не буде перевищувати необхідного значення $V(t, \Psi^*)_{\text{comp}} \leq V_{\text{req}}$, яке дорівнює пропускній спроможності каналу зв'язку.

Виходячи зі змінного характеру бітової швидкості виникаючого навантаження джерела відеопотоку, можна говорити про складність узгодження з пропускною спроможністю каналів зв'язку. Це, в свою чергу, призводить до порушення функціонування протоколів забезпечення QoS та збільшення затримок і втрат пакетів при передачі трафіку.

Таким чином, необхідно розробити метод управління бітової швидкістю відеопотоку, який дозволяє забезпечити контроль інтенсивністю відеоданих на стороні джерела, для можливого узгодження його з характеристиками комп'ютерної мережі спеціального призначення із заданою втратою якості. Це дозволить прогнозувати рівень завантаженості каналів зв'язку ще до потрапляння кодованих потоків в комп'ютерну мережу СП.

7.3 Оцінка технологій управління зменшенням надмірності відтрафіку на базі MPEG-технологій

Рекомендація H.264 не специфікує та не пропонує алгоритму контролю бітової швидкості [65, 253 – 256]. Стандарт MPEG-4 Visual містить алгоритм контролю бітової швидкості в інформаційному додатку, але використання цього конкретного алгоритму не є обов'язковим. Цей алгоритм, званий схемою SRC (Scalable Rate Control масштабуємий контроль швидкості), підходить тільки для однієї відеокамери та для певного діапазону бітових швидкостей при певних просторових та часових розрізненнях (рис. 7.11).



Рисунок 7.11 – Механізми управління інтенсивністю відеопотоку на рівні кодування джерела

Мета алгоритму SRC – досягти необхідної швидкості після певної кількості кадрів (групи кадрів, яка зазвичай починається з I-VOP) і передбачає таку модель для швидкості кодера R :

$$R = \frac{X_1 S}{q} + \frac{X_2 S}{q^2}, \quad (7.13)$$

де q – це розмір кроку квантизації;

S – середня абсолютна різниця залишкового кадру після компенсації руху (міра складності кадру);

X_1 та X_2 – параметри моделі.

Контроль швидкості складається з таких кроків, які виконуються після компенсації руху та до кодування кадру з номером i .

1) розрахувати необхідну швидкість R_i , ґрунтуючись на кількості кадрів у групі, зокрема біт, доступних для залишку групи, максимально допустимому їй обсязі буфера та на оціненій складності кадру i . Максимальний розмір буфера впливає на час затримки між входом кодера та виходом декодера. Якщо попередній кадр був складним, то прогнозується, що i наступний кадр буде складним, i , значить, йому належить призначити відповідну кількість біт: алгоритм має за мету зберегти баланс між цими вимогами та обмеженнями на загальну кількість біт, які надаються цій групі;

2) розрахувати розмір кроку квантування q_i , який буде застосовуватися до всього кадру. Розрахувати S для повного залишкового кадру та розв'язати рівняння для знаходження q ;

3) закодувати кадр;

4) оновити параметри моделі X_1 та X_2 на основі дійсної кількості біт, необхідних для подання кадру i .

Крок квантування не змінюється для кодованого в даний момент кадру, що дає рівномірне візуальне подання поточного кадру. Але можуть виникнути проблеми при роботі з буферами малого розміру i , отже, з короткою затримкою. Модифікація алгоритму SRC підтримує варіювання кроку квантування на рівні макроблоків, що підходить для додатків з короткими затримками, яким необхідний жорсткий контроль швидкості. Алгоритм на рівні макроблоків, заснований на моделі, яка обчислює передбачувану кількість біт V_i , для кодування макроблоку за такою формулою:

$$V_i = A \left(K \frac{\sigma_i^2}{q_i^2} + C \right), \quad (7.14)$$

де A – кількість пікселів в макроблоці;

σ_i – середньоквадратичне відхилення яскравості та хроматичності в залишковому макроблоці (тобто міра варіації всередині макроблоку);

q_i – розмір кроку квантування;

K, C – постійні параметри моделі.

Для кожного макроблоку виконуються такі дії:

- 1) виміряти σ_i ;
- 2) розрахувати q_i за допомогою значень K, C, V_i, σ_i , використовуючи вагу α_i даного макроблоку;
- 3) закодувати макроблок;
- 4) оновити параметри моделі K та C , знаючи дійсну кількість кодових біт, які відповідають даному макроблоку.

Вага ρ_i макроблоку контролює його значущість для суб'єктивного сприйняття зображення. Низькі значення ρ_i свідчать, що даний блок не настільки важливий при візуалізації і його буде проквантовано сильніше, ніж інші макроблоки. Ці ваги можна вибирати за умови мінімізації змін q_i при низьких бітових швидкостях. Кожна зміна цього параметра викликає відправку параметра модифікації квантування, що означає добавку зайвих п'яти біт до коду макроблоку. Важливо мінімізувати кількість змін q_i при кодуванні одного кадру при низькій швидкості, оскільки додаткові п'ять біт в макроблоці можуть виявитися чималою добавкою. При високих швидкостях ці додаткові п'ять біт не настільки істотні, тому параметр q можна міняти частіше, не боячись збільшити загальний розмір коду. Такий метод контролю швидкості є ефективним для підтримки гарної візуальної якості при малому розмірі вихідного буфера кодера та для утримання затримок кодування на мінімальному рівні.

Для подальшого розвитку комп'ютерних систем необхідно розвивати методи управління інтенсивністю відеопослідовності, які дозволять контролювати якість та часові витрати при дотриманні вимог забезпечення необхідної бітової швидкості відео потоку:

$$F_{\text{control}}(V(t)_{\text{comp}}, V_k, Q, Q_{\text{picture}}) \rightarrow F_{\text{opt}},$$

де $F_{\text{control}}(V(t)_{\text{comp}}, V_k, Q, Q_{\text{picture}})$ – функція управління бітовою швидкістю відеопотоку;

Q – функція якості надання відеоінформаційного сервісу;

Q_{picture} – вимоги забезпечення якості відеоінформаційні сервісу;

F_{opt} – вимоги забезпечення необхідного функціоналу управління.

Значення параметрів компресії зображення повинні визначатися таким чином, щоб функція усереднення якості відеоінформаційного сервісу наближалася до допустимого значення $Q_{\text{allowable}}$. При цьому бітова швидкість джерела не повинна перевищувати необхідного значення $V(t, \Psi^*)_{\text{comp}} \leq V_{\text{req}}$, яке можна порівняти з пропускнуою спроможністю каналу зв'язку $V_{\text{req}} = V_k$:

$$\begin{cases} V(t)_{\text{comp}} \rightarrow V_k \\ F_{\text{average}}(Q, Q_{\text{picture}}) \rightarrow Q_{\text{allowable}} \end{cases},$$

де $F_{\text{average}}(Q, Q_{\text{picture}})$ – функція усереднення якості відеоінформаційного сервісу;

$Q_{\text{allowable}}$ – допустима якість наданого відеосервісу.

7.4 Реалізації методу управління інтенсивністю відеотрафіка

Незважаючи на появу носіїв інформації великої ємності, компресія цифрового відео, як і раніше є одним з найважливіших завдань. Одним з останніх провідних стандартів компресії відеоінформаційного ресурсу є стандарт H.264 (ISO / IEC MPEG-4 Part 10 (Advanced Video Coding)) [170, 257 – 259].

Але подібне удосконалення реалізованого відеокодера за стандартом H.264 шляхом застосування алгоритмів контролю бітової швидкості. Існуючі алгоритми контролю бітової швидкості [85, 260, 261] умовно поділемо на:

- 1) глобальні (вибору коефіцієнту квантування для всіх макроблоків кадру);
- 2) локальні (вибору найкращого варіанту прогнозу для даного макроблоку).

Глобальний алгоритм вибирає коефіцієнт квантування, опираючись на заповнення буфера та показник PSNR поточного кадру. Локальний алгоритм працює на рівні макроблоку (блоку пікселів $16 \cdot 16$), що підходить для додатків з короткими затримками, яким необхідний постійний контроль швидкості. Такий метод контролю швидкості є ефективним для підтримки належної візуальної якості при малому розмірі вихідного буфера кодера та для утримання затримок кодування на мінімальному рівні.

Комп'ютерна система спеціального призначення має обмеження, пов'язані з величиною та пульсацією інтенсивності вхідного навантаження, яку вона здатна обслужити [86, 262, 263]. Інтенсивність вхідного навантаження та її пульсація формуються в джерелі повідомлення. Тому, змінюючи ці параметри можна домогтися зменшення втрат даних за рахунок переповнення буферів обслуговуючих вузлів, а так само їх завантаження обробкою даних, які надходять.

Звідси необхідно розробити метод регулювання інтенсивності відеопотоку, який забезпечить максимально можливу якість зображення для заданої пропускної здатності каналу зв'язку та часу обробки одного кадру.

При обробці Р-кадрів в технології MPEG після процедури адаптивного прогнозування кожному блоку присвоюється один з двох типів: І чи Р. Ця операція здійснюється за допомогою спеціального параметра - порога ΔD . Відповідно до цього порога визначається рівень інформативності кожного блоку. Залежно від присвоєного типу блоку вибирається варіант його подальшої обробки. Це дозволить в Р-блоках, де зміни були незначними, виконувати

меншу кількість математичних операцій, що дозволяє значно знизити час на їх обробку. Паралельно з цим, коли обробляється І-блок з великими диференційованими значеннями, що відповідає динамічній зміні об'єкта в оброблюваній області, для них будуть обрані параметри компресії, які забезпечують найкращу якість.

Запропонований метод управління в процесі роботи алгоритму компресії ґрунтується на зміні значень наступних параметрів: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень ΔD , фактора якості QF .

Загальний напрямок запропонованого методу управління бітової швидкістю при компресії Р-кадрів складається з наступних етапів.

На початковому етапі управління задаються вихідні параметри компресії блоків: пороги $\Delta D(Y)_{in}$, $\Delta D(C_a)_{in}$ та чинники якості $QF(Y)_{in}$, $QF(C_a)_{in}$. Після чого проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{comp}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ відеопотоку оброблюваного кадру.

Так як яркостна складова при декомпресії зображення несе велике інформаційне навантаження ніж кольорізнисні складові C_r , C_b , то значення порога при обробці блоків складової яскравості $\Delta D(Y)$ вибиратимемо меншим, ніж при обробці кольорізнисних складових $\Delta D(Y) < \Delta D(C_a)$, $\Delta D(C_r) = \Delta D(C_b) = \Delta D(C_a)$, де C_a - представляє компоненти однієї з кольорознісних площин: $C_a = C_r$ або $C_a = C_b$.

Аналогічно, фактори якості для яркостної та кольорізнисних складових також будуть обиратися з різними величинами: $QF(Y) < QF(C_a)$.

Вихідні параметри вибираються з міркувань досягнення найкращої якості зображення алу вони задаються в межах:

$$\Delta D_{min} \leq \Delta D(Y)_{in}, \Delta D(C_a)_{in} \leq \Delta D_{max}; QF_{min} \leq QF(Y)_{in}, QF(C_a)_{in} \leq QF_{max}.$$

У разі якщо середньоквадратична помилка $\sigma(t)$ буде перевищувати необхідне значення $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, тобто якість відновленого зображення буде менше заданого, то проводиться зниження значення фактора якості складової яскравості $QF(Y)$.

Після чого проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$ відеопотоку [46]. Потім, за необхідністю, $QF(Y)$ знову знижується, поки не буде досягнуто мінімального значення QF_{min} . Якщо $QF(Y) = QF_{\text{min}}$, а умови за якістю зображення ще не досягнуто $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то приймається рішення про зміну наступного параметра - $QF(C_a)_{\text{in}}$ для кольорорізнисних складових. Процедура зменшення $QF(C_a)_{\text{in}}$ повторюється аналогічно.

Якщо параметри факторів якості досягли мінімальних значень $QF(Y) = QF_{\text{min}}$ та $QF(C_a) = QF_{\text{min}}$, а середньоквадратична помилка $\sigma(t)$ як і раніше перевищує необхідне значення $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то відбувається збільшення порогу спочатку для яркосної $\Delta D(Y)_{\text{in}}$, а потім і для кольорорізнисних складових $\Delta D(C_a)_{\text{in}}$. Це призводить до збільшення блоків I-типу в кадрі, що в свою чергу дозволить підвищити якість обробленого R-кадру. При кожній зміні порогів також проводиться оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ та середньоквадратичної помилки $\sigma(t)$.

Значення порогів $\Delta D(Y)$ та $\Delta D(C_a)$ можуть збільшуватися тільки до заданих максимальних значень: $\Delta D(Y) \leq \Delta D_{\text{max}}$, $\Delta D(C_a) \leq \Delta D_{\text{max}}$.

Підбір проводиться до тих пір, поки задана якість зображення при необхідному значенні бітової швидкості не буде досягнута: $\sigma(t) < \sigma_{\text{req}}$.

У разі якщо перебір можливих варіантів параметрів компресії не дозволив досягти заданої якості: $\sigma(t) \geq \sigma_{\text{req}}$, то відповідно до запропонованого методу управління приймається рішення про зміну формату колірної субдискретизації (наприклад, з формату 4: 2: 2 в 4: 4: 4).

Такий підхід дозволить значно поліпшити якість декомпресованого зображення за рахунок передачі повної інформації з усіх площин колірної моделі YCrCb, однак це може привести до різкого збільшення підсумкової бітової швидкості оброблюваного кадру.

Розглянемо випадок, коли підсумкова бітова швидкість $V(t)_{\text{comp}}$ вища від необхідної: $V(t)_{\text{comp}} \geq V_{\text{req}}$.

Тут механізм управління характеристиками інтенсивності відеопотоку визначає наступний порядок виконання основних операцій (рис. 7.13):

1. Збільшення $QF(C_a)$ для кольорорізнисних складових;
2. Збільшення $QF(Y)$ для складової яскравості;
3. Зменшення $\Delta D(C_a)$ для кольорорізнисних складових;
4. Зменшення $\Delta D(Y)$ для складової яскравості.

Значення чинників якості $QF(Y)$, $QF(C_a)$ та порогів $\Delta D(Y)$, $\Delta D(C_a)$ можуть збільшуватися або зменшуватися відповідно тільки до заданих значень:

$$QF(Y) \leq QF_{\text{max}}, QF(C_a) \leq QF_{\text{max}}; \Delta D(Y) \geq \Delta D_{\text{min}}, \Delta D(C_a) \geq \Delta D_{\text{min}}.$$

У разі якщо знаходження оптимального поєднання параметрів компресії з безліччю можливих не дозволив знизити бітову швидкість до необхідного значення: $V(t)_{\text{comp}} \geq V_{\text{req}}$, то відповідно до методу управління приймається рішення про зміну формату колірної субдискретизації (наприклад з формату 4: 2: 2 в 4: 1: 1), що дозволить значно знизити обсяг даних, які припадають на кольорорізнисні складові.

Оцінка підсумкової бітової швидкості $V(t)_{\text{comp}}$ проводиться після зміни кожного параметра до тих пір, поки $V(t)_{\text{comp}}$ не стане менше необхідного значення $V(t)_{\text{comp}} < V_{\text{req}}$.

Якщо після всіх змін не вдалося досягти заданої швидкості протягом часу обробки, який було відведено на компресію одного кадру, то може бути прийнято рішення про пропуск поточного P-кадру.

Таким чином, розроблено загальний метод управління інтенсивністю відеопотоку, який дозволяє виконувати її корекцію відповідно до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення. Розроблений метод враховує наступні ознаки:

1) застосовується диференціальна обробка блоків, які обираються по заданій межі, яка показує міру інформативності поточного блоку, її алгоритм описаний в [184];

2) в процесі роботи алгоритму компресії виконується зміна наступних параметрів: колірної субдискретизації, порога інформативності, а також фактора якості. Механізм комбінування обраних параметрів складено таким чином, щоб рішення про оптимальність було прийнято з мінімальними часовими затримками. Це дозволяє швидко адаптуватися до пропускнуої спроможності каналу зв'язку та обирати якість переданого зображення;

3) для обробки яркісної та кольорорізнисних складових кадру відповідно до розроблюваного методу значення порога та фактора якості будуть обиратися меншими для складової яскравості в порівнянні з кольорорізнисними. Це призводить до того, що яркосна складова кадру оброблюється з кращою якістю ніж кольорорізнисні.

Залежно від виконання умов по необхідній швидкості або заданій якості будуть змінюватися параметри факторів якості та порогів таким чином, щоб обрати оптимальні значення для компресії в максимально короткий часовий проміжок. Це дозволить використовувати розроблений метод в режимі часу близькому до реального. Таким чином, реалізована можливість контролю та корекції значень середньоквадратичної помилки та бітової швидкості в процесі обробки P-кадру.

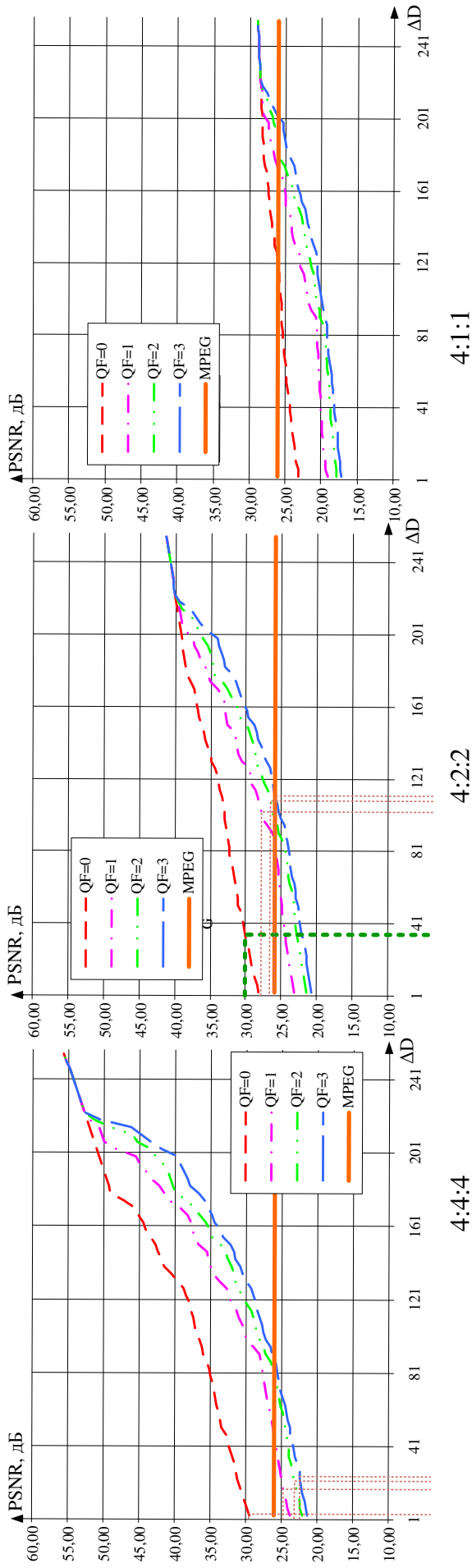
Для порівняння розробленого методу управління інтенсивністю з існуючими вихідний відеопотік оброблено стандартним кодеком з

характеристиками переданих відеопотоків [54]:

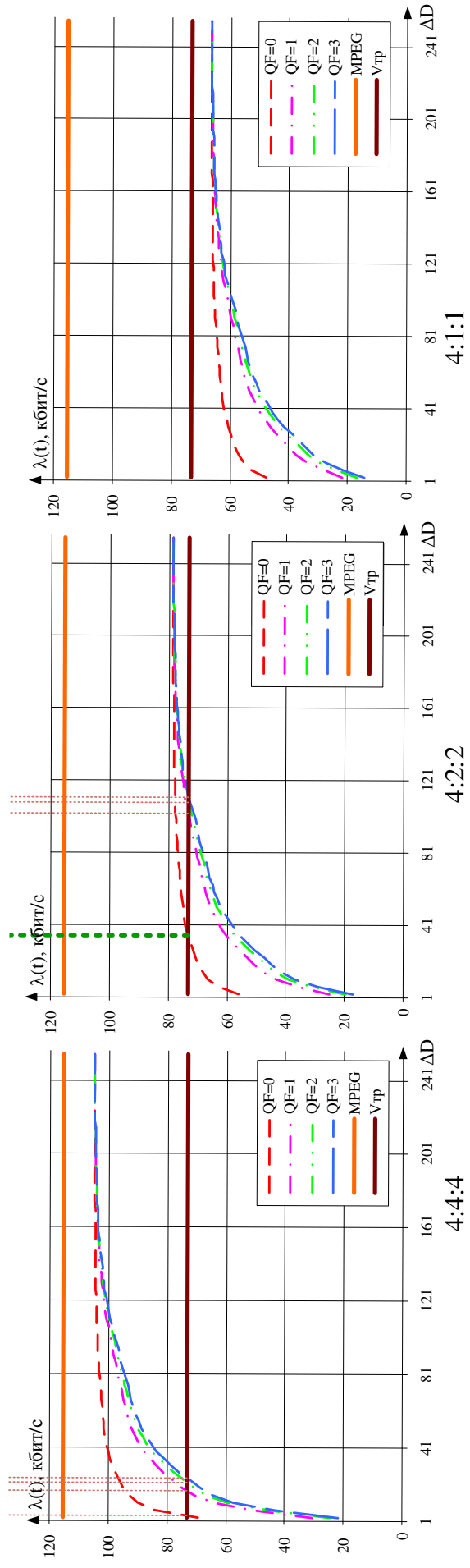
- розмір кадру 1280x720 пікселів;
- відеокодек H.264 зі змінною бітовою швидкістю (VBR);
- частота проходження кадрів - 30 кадрів / с.

З отриманих даних взяті усереднені максимальні показники бітрейта, так як вони грають величезне значення при перевантаженнях та втратах (середнє максимальне значення інтенсивності відеопотоку для MPEG склало 1,153 Мбіт/с, середнє значення, при якому відсутні перевантаження, визначено як вимагаєме $\lambda_{тр} = 733,6$ Кбіт/с). Аналогічні операції проведені також з використанням розробленого методу кодування та управління. В результаті були розраховані та побудовані залежності інтенсивності ($\lambda(T)$) та пікового відношення сигнал / шум (PSNR) від порога (ΔD) Для різних значень фактора якості (QF), при форматах субдискретізації 4: 1: 1, 4: 2: 2 і 4: 4: 4 (рис. 7.13-7.14).

За мінімальну межу для пікового відношення сигнал / шум було взято значення рівне 26 дБ.



Рисунік 7.13 – Залежність пікового відношення сигнал/шум (PSNR) від порогу (ΔD) для різних значень фактора якості (QF)



Рисунік 7.14 – Залежність інтенсивності $\lambda(t)$ від порогу (ΔD) для різних значень фактора якості

З отриманих результатів можна зробити висновок, що найбільш оптимальним для обробки Р-кадрів є формат колірної субдискретизації 4: 2: 2, при якому для фактора якості (крок квантування) = 0 та порозі прийняття рішення = 33 з 255 можливих забезпечується:

- вигаш за ступенем зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому на 36% по відношенню до стандарту MPEG;

- заданий рівень інтенсивності в процесі її управління для більш високих показників якості, яка визначається параметром PSNR, на рівні 30 дБ, що в середньому на 16% краще за стандарт MPEG.

7.5 Оцінка впливу інтенсивності відеотрафіка на основні характеристики якості обслуговування в комп'ютерних системах та мережах

Одним з важливих параметром для комп'ютерної мережі спеціального призначення є затримка t_p від джерела до одержувача [190, 264, 265]:

$$t_p = t_{\text{пакет}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{core}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{буф}},$$

де $t_{\text{пакет}}$ – час пакетизації (час формування кадру, куди входять час накопичення необхідного для передачі обсягу даних, виявлення напрямку передачі, розрахунок контрольної суми, додавання ключових полів);

$t_{\text{ад}}$ – час затримки при транспортуванні в мережі доступу (затримка поширення по каналах зв'язку);

t_{core} – час затримки при поширенні в транзитній мережі (час обробки на вузлах комутації транзитної мережі);

$t_{\text{буф}}$ – час затримки в приймальному буфері одержувача.

Припустимо, що затримка мережі доступу не повинна перевищувати 5 мс. Час обробки заголовка IP-пакета наближається до постійного. Розподіл інтервалів між надходженнями пакетів відповідає експоненціальному закону. Тому для опису процесу, який відбувається на маршрутизаторі, можна скористатися моделлю M/G/1, де (за кодуванням, яке запропонував Кендалл) M – інтервали між надходженнями заявок розподілені по показовому закону; G – час обслуговування заявок розподілено за тим самим законом, може бути довільним, тривалості обслуговування незалежні випадкові величини; 1 – модель має тільки один пристрій для обслуговування.

Для моделі M/G/1 відома формула, яка визначає середній час обслуговування в пристрої комутації для j-го джерела (формула Полячека - Хинчина) [266, 267]:

$$\bar{t}_{\text{adj}} = \frac{\tau_j \cdot (1 + C_b^2)}{2 \cdot (1 - \lambda_j \cdot \tau_j)}, \quad (7.15)$$

де τ_j – середня тривалість обслуговування одного пакета від j-го джерела пристроєм комутації;

C_b^2 – квадрат коефіцієнта варіації, $C_b^2 \approx 0,2$;

λ_j – середня інтенсивність вхідного потоку від j-го джерела;

\bar{t}_{adj} – середній час затримки пакета в мережі доступу, $\bar{t} = 0,005$ с.

Середня тривалість обслуговування одного пакета в пристрої комутації величина постійна та залежить від продуктивності цього пристрою. Тоді з формули (7.15) витікає залежність для середньої тривалості обслуговування одного пакета від середнього часу затримки в мережі доступу:

$$\tau_j = \frac{1}{\lambda_j + \frac{1 + C_b^2}{2 \cdot \bar{t}_{\text{adj}}}}.$$

Очевидно, що середня тривалість обслуговування одного пакета буде тим вище, чим вище середній час затримки в мережі доступу (рис. 7.16).

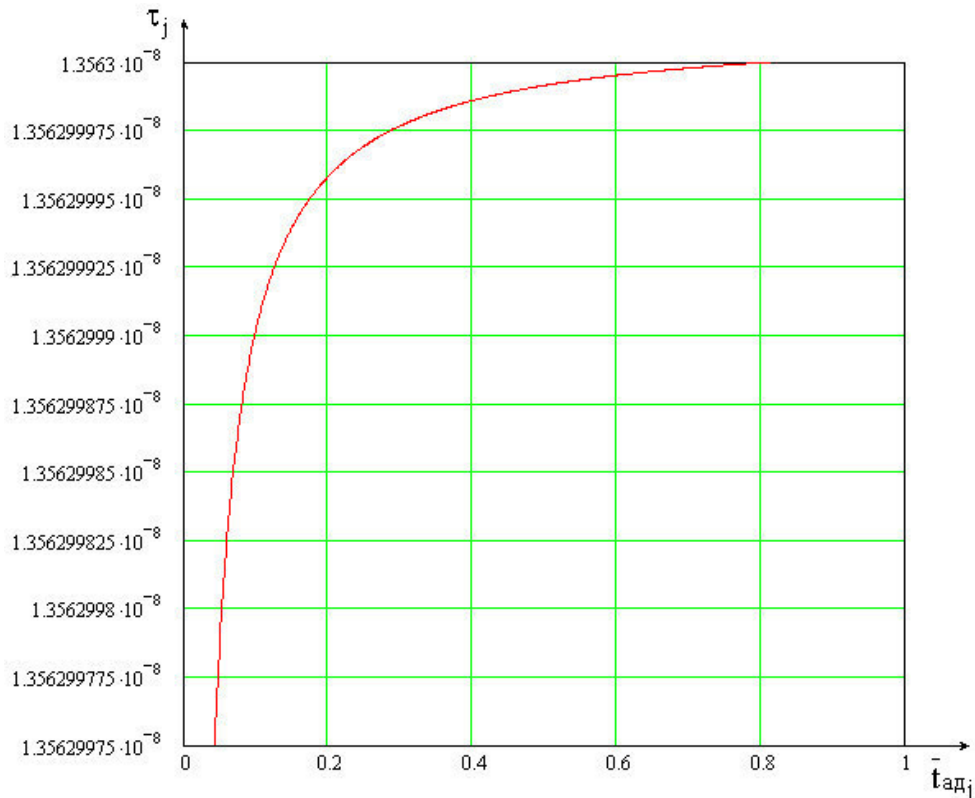


Рисунок 7.16 – Залежність середньої тривалості обслуговування одного пакета від середнього часу затримки в мережі доступу

Такий характер графіка визначається тим, що комутаційне обладнання, яке застосовується, має обмеження за часом обслуговування та, відповідно, пакет, який надходить на обробку, не може бути обслужений раніше зазначеного терміну.

При розрахунку середньої тривалості обслуговування одного пакета маємо:

$$\tau_{j\lambda} = \tau_{j\max} - \tau_j, \quad (7.16)$$

де $\tau_{j\max}$ – максимальна тривалість обслуговування одного пакета.

Формування навантаження, яке надходить в канал зв'язку, здійснюється джерелом. Воно, виходячи від отриманого обсягу даних необхідних для

передачі, формує вихідні пакети даних. Виходячи зі швидкості формування пакетів та технологічних особливостей комп'ютерної мережі спеціального призначення (значення коефіцієнта використання каналу зв'язку), інтенсивність навантаження знаходиться в межах від 0 (передача відсутня) до значення пропускної спроможності каналу зв'язку (канал зв'язку повністю зайнятий під передачу даних). Залежно від обсягу даних, які джерелу необхідно передати, а так само від швидкості надходження з боку джерела повідомлення, швидкості обробки кодера повідомлень та кодера каналу відбувається формування пакетів, які передаються через канал зв'язку в мережу доступу. Отже, інтенсивність формування пакетів буде повністю визначена тією швидкістю, отриманою при сукупній обробці в кодері повідомлень і кодері каналу на стороні джерела інформації.

Якщо розглядати ситуацію, при якій джерело передає відеоінформаційний ресурс, використовуючи високу швидкість генерації пакетів, наближену до пропускної спроможності каналу зв'язку, то для технології з пропускною спроможністю 100 Мбіт/с наприклад Fast Ethernet, інтенсивність трафіку складе $100 \cdot 10^6 \cdot 0,96 = 96 \cdot 10^6$ Мбіт/с., де 0,96 – коефіцієнт використання каналу комп'ютерної мережі СП.

Розглянемо характер процесу можливої затримки при обробці пакетів у комп'ютерній мережі спеціального призначення. Черга пакетів, які необхідно обробити, зростає до тих пір, поки не переповниться буферний пристрій обробленого вузла. Переповнення буферного пристрою може статися через високу інтенсивність навантаження, яке надходять на вхід від джерел, яка більша за швидкість обробки пристрою комутації. У разі переповнення відбувається втрата пакетів, так як пакети, які надійшли, знову не можуть бути записані в буферний пристрій. При цьому вважається, що система обробляє пакети, що надійшли з буферного пристрою з максимально допустимою швидкістю, якій відповідає тривалість обслуговування одного пакету $\tau_{j\max}$. Зупинимось на граничній умові, коли інтенсивність

навантаження, яке надходить, буде еквівалентне навантаженню, яке здатне обслуговувати комутаційна система. При цьому втрати будуть відсутні, так як розмір черги буде постійним, і буферний пристрій не є схильним до переповнення.

Використання запропонованого методу дозволяє зменшити інтенсивність відеінформаційного ресурсу до необхідного значення, а, отже, зменшити кількість сформованих пакетів, зменшуючи при цьому затримку пакетування. Залежність затримки очікування в черзі від інтенсивності вхідного відеопотоку λ_j з урахуванням формули (7.15) визначається як:

$$\lambda_j = d_j \cdot \frac{d_{1cp} + d_2 + d_3}{d_1},$$

де d_j – обсяг біт даних, який передається від j -го джерела в каналі комп'ютерної мережі спеціального призначення, [біт];

d_1 – розмір пакета, [біт];

d_{1cp} – усереднений розмір поля даних пакета, [біт];

d_2 – розмір службової частини пакета, [біт];

d_3 – розмір інтервалу між пакетами, [біт].

Так як вузол комутації мережі доступу будується для обслуговування декількох джерел повідомлень, то для групи пакетів, які формуються від кількох джерел, середню тривалість обслуговування можна визначити як $\tau_{jn\lambda} = \tau_{j\lambda} \cdot n_j$, де n_j – кількість пакетів в групі.

Залежність середньої тривалості обслуговування групи пакетів від інтенсивності відеопотоку визначається таким чином:

$$\tau_{jn\lambda} = \tau_{j\lambda} \cdot n_j = (\tau_{jmax} - \tau_j) \cdot n_j = \left(\tau_{jmax} - d_j \cdot \frac{d_{1cp} + d_2 + d_3}{d_1} \right) \cdot n_j.$$

Коефіцієнт використання вузла комутації ρ показує, наскільки завантажений вузол комутації обробкою даних, які надходять від джерел та визначає його можливість до збільшення навантаження, що постійно збільшується. Іншими словами, коефіцієнт показує резерв з обробки даних, поява яких може очікуватися $(1 - \rho)$:

$$\rho = \lambda_j \cdot \tau_{\lambda_j} = d_j \cdot \frac{d_{1cp} + d_2 + d_3}{d_1} \cdot \tau_{\lambda_j}. \quad (7.17)$$

Формула (7.17) орієнтована для умов високого завантаження вузла комутації. Тому для його розвантаження використовують значення $\rho = 0,5$ від номінальної продуктивності, тобто $\rho' = \rho \cdot 0,5$.

Істотне зниження часу затримки на вузлі доступу досягається при малих значеннях коефіцієнта компресії. Надалі приріст скорочення часу затримки зменшується експоненціально до значення, відповідного продуктивності вузла комутації. Однак це не означає, що внаслідок малого приросту скорочення часу затримки доцільно зупинятися на малих значеннях коефіцієнта компресії. Оскільки початкові умови для постановки задачі визначалися граничними умовами, при яких інтенсивність, що надходить на вхід вузла доступу інформаційного потоку, дорівнює його максимальній продуктивності. При збільшенні інтенсивності вхідного потоку необхідне підвищення коефіцієнта компресії.

Як приклад, наведемо розрахунок тривалості затримки на вузлі доступу для мережі WiFi від інтенсивності відеопотоку $(\tau_{jn\lambda_{WiFi}}(\lambda_j))$:

$$\tau_{jn\lambda_{WiFi}}(\lambda_j) = \left(\tau_{j\max_{WiFi}} - \frac{1}{\frac{d_{1cp}}{\left(\frac{d_{1cp}}{d_{inf\ 1nWiFi}} + 1\right) \cdot (t_{1WiFi} + t_{2WiFi} + t_{3WiFi})} + \frac{1 + C_b^2}{2 \cdot t_i}} \right) \cdot n_j, \quad (7.18)$$

де $\tau_{j\max \text{ WiFi}}$ – максимальний час затримки на вузлі доступу WiFi мережі

($\tau_{j\max \text{ WiFi}} = 1,71 \cdot 10^{-6}$ с);

$d_{\text{inf 1nWiFi}}$ – розмір інформаційної частини пакету
($d_{\text{inf 1nWiFi}} = 18720$ бит);

$t_{1\text{WiFi}}$ – часовий інтервал передачі інформаційної частини пакету в бітових інтервалах ($t_{1\text{WiFi}} = 18720$ bt);

$t_{2\text{WiFi}}$ – часовий інтервал передачі службової частини пакету в бітових інтервалах ($t_{2\text{WiFi}} = 224$ bt);

$t_{3\text{WiFi}}$ – міжкадровий часовий інтервал в бітових інтервалах
($t_{3\text{WiFi}} = 36434$ bt).

Наведена на рис. 7.17 залежність характеризує зменшення затримки на вузлі доступу для очікуючих в черзі на обробку інформаційних пакетів користувачів. Це досягається внаслідок зменшення обсягу переданих даних і кількості формуємих для цього пакетів. Зі збільшенням коефіцієнта компресії в стільки ж разів буде зменшуватися як необхідний обсяг даних, так і кількість сформованих для передачі пакетів. Отже, зі збільшенням коефіцієнта компресії затримка на вузлі доступу буде знижуватися і далі наближаючись до значення обернено пропорційному значенню продуктивності за пропускнуою спроможністю вузла доступу.

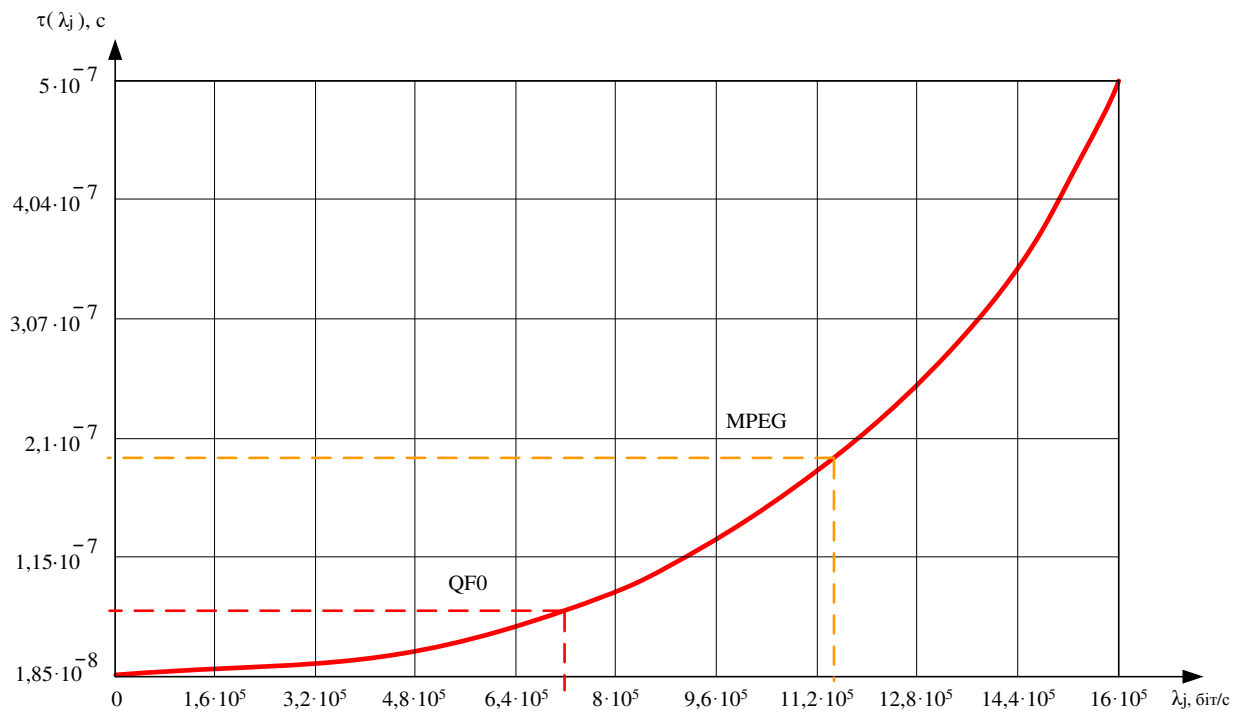


Рисунок 7.17 – Залежність середньої тривалості обслуговування групи пакетів від інтенсивності відеопотоку

Коефіцієнт використання вузла доступу $\rho(\lambda_j)$, наведений на рис. 7.18, дорівнює:

$$\rho(\lambda_j) = \lambda_j \cdot \tau_{\lambda_j \text{WiFi}} = \frac{d_{1cp}}{\left(\frac{d_{1cp}}{d_{inf \text{пWiFi}}} + 1 \right) \cdot (t_{1\text{WiFi}} + t_{2\text{WiFi}} + t_{3\text{WiFi}})} \cdot \tau_{\lambda_j \text{Wi-Fi}} \quad (7.19)$$

Відповідно, при тих самих умовах, на підставі яких були отримані залежності затримки на вузлі доступу, побудуємо залежності ймовірності втрат пакетів $P(\lambda_j)$ на вузлі комутації (рис. 7.19).

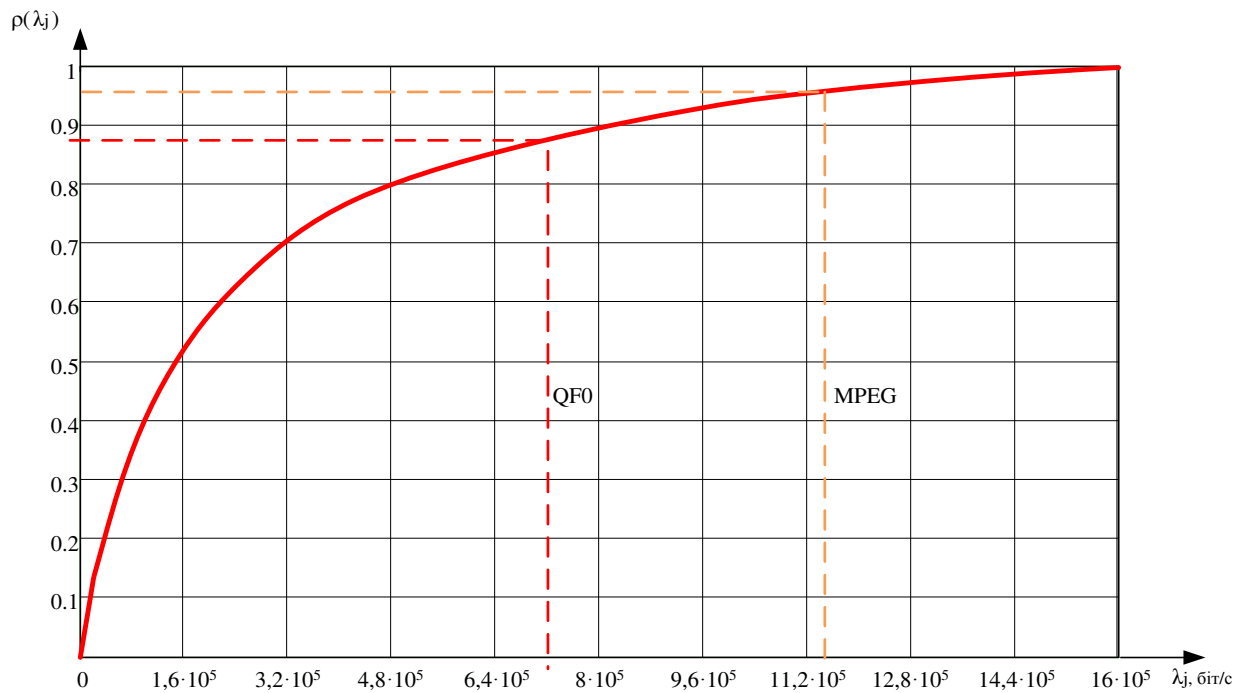


Рисунок 7.18 – Залежність коефіцієнта використання вузла комутації від інтенсивності відеопотоку

Імовірність втрат пакетів на вузлі доступу $P_0(\lambda_j)$ дорівнює:

$$P_0(\lambda_j) = \frac{1 - \left(\left\lfloor \frac{d_{1cp}}{d_{inf \ln WiFi}} \right\rfloor + 1 \right) \cdot (t_{1WiFi} + t_{2WiFi} + t_{3WiFi})}{\mu} \cdot \left(\frac{\left(\left\lfloor \frac{d_{1cp}}{d_{inf \ln WiFi}} \right\rfloor + 1 \right) \cdot (t_{1WiFi} + t_{2WiFi} + t_{3WiFi})}{\mu} \right)^{Nu+1}. \quad (7.20)$$

Одним з можливих механізмів зниження значень імовірності втрат є збільшення розміру буферної пам'яті на вузлі доступу, що дійсно зменшує імовірність втрат. Однак при збереженні колишніх тенденцій зростання переданих обсягів трафіку розмір буферної пам'яті практично перестає грати істотну роль. Зі збільшенням обсягу буферної пам'яті підвищується час

обробки пакетів, а отже, і час затримки передачі за рахунок очікування обробки на обслуговуючому елементі.

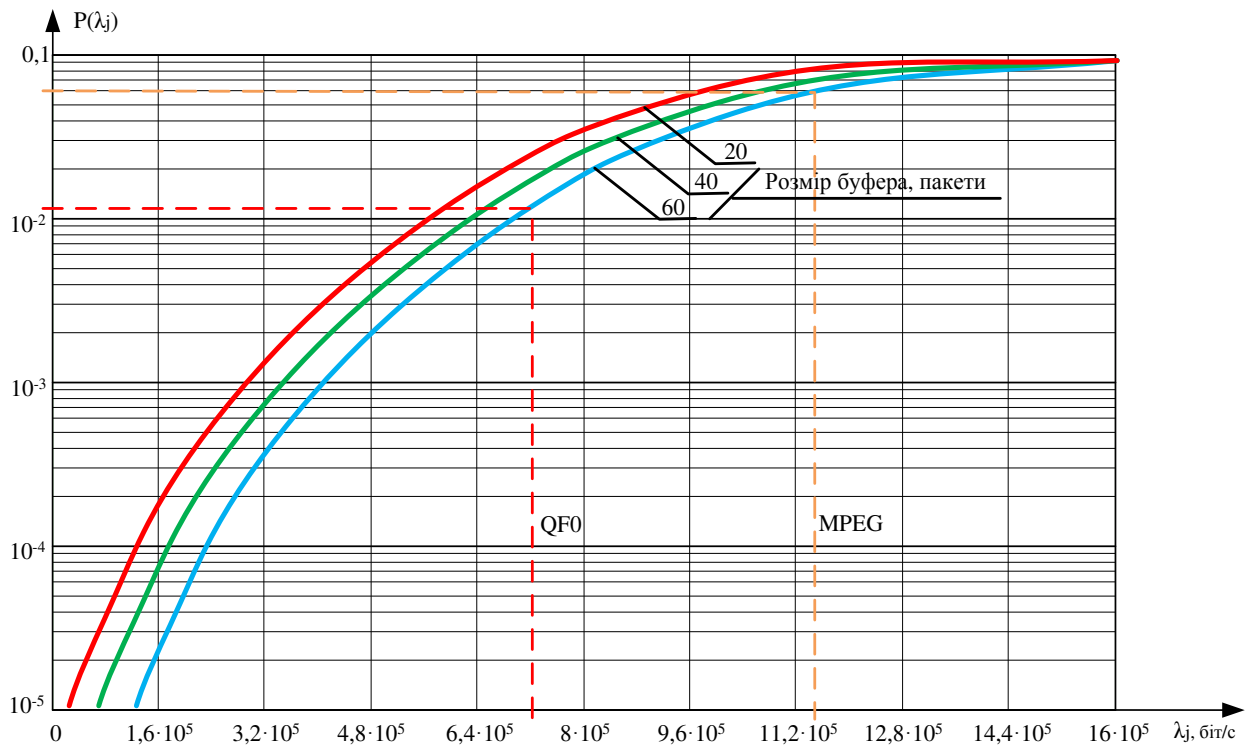


Рисунок 7.19 – Залежності ймовірності втрат пакетів від інтенсивності відеопотоку

Очевидно, що при використанні розробленого методу компресії до переданої по мережі відеоінформації характеристики КСМ спеціального призначення істотно покращаться. Це дозволить підвищити своєчасність доставки пакетів до кінцевого користувача або вивільнити ресурси комп'ютерних систем та мереж СП для обслуговування додаткового навантаження з необхідною якістю.

З урахуванням рис. 7.17-7.19 можна зробити висновок, що розроблений метод управління забезпечує:

- скорочення часу передачі відеоданих від джерела до одержувача в середньому на 23% для технології Wi-Fi;
- зменшення коефіцієнта використання вузла комутації в середньому на 8% при максимальній інтенсивності відеотрафіка;

- зменшення імовірності втрат пакетів в середньому в 6 разів порівняно зі стандартом MPEG.

Для повної оцінки ефективності розробленого методу, також проведемо порівняння складності алгоритмічної реалізації процесів компресії за типом арифметики та кількості типових операцій, які витрачаються на обробку. Розглянемо всі етапи обробки відеопотоку для розробленого методу компресії.

Перший етап пов'язаний з формуванням блоків Р-кадру для складових колірної моделі із застосуванням заданого формату субдискретизації.

На другому етапі проводиться адаптивне кодування з прогнозом, на підставі чого формуються різницеві матриці.

На наступному етапі проводиться порівняння функціоналу, який визначає інформативність матриці, з порогом прийняття рішень та блоку присвоюється тип подальшої обробки - I або P.

Далі для I-блоків виконуються процедури попередньої трансформації на основі двовимірного дискретного косинусного перетворення, отримані значення квантуються та формується n-елементний вектор на базі зигзаг-сканування.

На останньому етапі проводиться блочне кодування різницевих значень P-блоків та трансформованих I-блоків.

Сумарна кількість операцій залежно від їх типів, яку необхідно виконати з використанням створеного методу для всього кадру, наведено в табл. 7.2. Враховано, що кількість блоків n для кадру розміром $M \times N$ елементів дорівнюватиме $(M \times N / n^2)$. Параметр k показує кількість блоків, які оброблялися повторно з урахуванням зміни типу блоку.

Таблиця 7.2 – Кількість операцій при обробці відеопотоку для MPEG та розробленого методів

Метод компресії	Кількість операцій додавання/віднімання	Тип операцій	Кількість операцій добуток / ділення	Тип операцій
MPEG				
Блок $M \times N$	$2M \times N \log_2 n^2$	дійсний	$2M \times N \log_2 n^2$	дійсний
	$12M \times N$	цілочисельний	-	-
Всього	$2M \times N \log_2 n^2 + 12M \times N$	змішаний	$2M \times N \log_2 n^2$	дійсний
Розроблений метод				
Блок $M \times N$	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2$	дійсний	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2$	дійсний
	$12M \times N$	цілочисельний	$8M \times N$	цілочисельний
Всього	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2 + 12M \times N$	змішаний	$(M \times N / 2) \log_2 n^2 + K \times \log_2 n^2 + 8M \times N$	дійсний

З урахуванням табл. 7.2 для заданої розмірності відео 1280·1024 пікселів для розробленого методу компресії кількість математичних операцій дорівнюватиме $1,17 \cdot 10^6$, а для стандарту MPEG – $1,229 \cdot 10^6$. Значить, розроблений метод управління забезпечує скорочення часу обробки

відеопотоку в середньому на 5% в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 7

Розроблено метод управління бітової швидкістю, який дозволяє проводити корекцію інтенсивності відеопотоку відповідно до параметрів комп'ютерної мережі спеціального призначення. Розроблений метод враховує такі механізми:

1) застосовується диференціальна обробка блоків, яка обирається по заданій межі та показує міру інформативності поточного блоку;

2) в процесі роботи алгоритму компресії проводиться зміна наступних параметрів: формату колірної субдискретизації, порога прийняття рішень, а також фактора якості. Механізм комбінування ораних параметрів складено таким чином, щоб рішення про оптимальність було прийнято з мінімальними часовими затримками. Це дозволяє швидко адаптуватися до пропускнуої спроможності каналу зв'язку і вибирати якість переданого зображення;

3) для обробки яркісної та кольорорізнисних складових кадру відповідно до розробляємим методом значення порога та фактора якості будуть обиратися меншими для складової яскравості в порівнянні з кольорорізнисними. Таким чином, яркісна складова кадру зменшується з кращою якістю ніж кольорорізнисні в середньому на 70%.

Залежно від виконання умов по необхідній швидкості або заданій якості будуть змінюватися параметри факторів якості та порогів таким чином, щоб обрати оптимальні значення для компресії в максимально короткий часовий проміжок. Це дозволить використовувати розроблений метод в режимі часу близькому до реального.

Таким чином, реалізована можливість контролю та корекції значень середньоквадратичної помилки та бітової швидкості в процесі обробки Р-кадру.

Проведені порівняльні характеристики показали, що найбільш оптимальним для обробки Р-кадрів є формат колірної субдискретизації 4: 2: 2, при якому для фактора якості (крок квантування), який дорівнює нулю та порозі прийняття рішення рівному 33 з 255 можливих значень забезпечується:

- вигреш за ступенем зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR в середньому на 36% по відношенню до стандарту MPEG;

- заданий рівень інтенсивності в процесі її управління для більш високих показників якості, яке визначається параметром PSNR на рівні 30 дБ, що в середньому на 16% краще стандарту MPEG;

- забезпечується скорочення часу передачі відеоданих від джерела до одержувача в середньому на 23% для технології Wi-Fi;

- забезпечується зменшення коефіцієнта використання вузла комутації в середньому на 8% при максимальній інтенсивності відеотрафіка;

- забезпечується скорочення часу обробки відеопотоку в середньому на 5% в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG;

- забезпечується зменшення ймовірності втрат пакетів в середньому в 6 разів в порівнянні зі стандартом MPEG.

Результати досліджень сьомого розділу опубліковані в роботах [47, 49, 61, 64, 65, 170, 174, 180, 184, 190].

ВИСНОВКИ

Результати досліджень, що викладено в монографії дозволяють в сукупності забезпечити умови для підвищення якості відеоінформаційного сервісу.

Створена інформаційна технологія кодування динамічних відеоінформаційних потоків. Основними базовими складовими технології є наступні концепти :

1. Метод обробки Р-кадров на основі попередньої ідентифікації типу блоків з подальшим формуванням блокових кодових конструкцій, а зокрема :

а) розроблено метод кодування заснований на використанні двох типів блоків І- та Р-типів, які вибираються по заданому порозу ухвалення рішень відносно типу обробки блоків з урахуванням функціонала, що відображає рівень інформативності оброблюваного блоку. Таким чином, вводиться додаткова можливість управління бітовою швидкістю відеотрафіку шляхом зміни кількості блоків І- та Р-типів. Це дозволяє забезпечити заданий рівень інтенсивності в процесі її управління для кращих показників якості в порівнянні з технологіями стандарту MPEG;

б) розроблено метод кодування відеоданих на основі блокових кодів. Важливою властивістю блокових позиційних чисел є можливість обчислення коду для масиву даних на основі аналітичного виразу. Отже не потрібно організовувати формування таблиці допустимих блокових позиційних чисел. Додаткове підвищення ступеня стиснення також відбувається за рахунок зменшення довжини кодового представлення передбаченого блоку унаслідок адаптивного вибору системи основ блокового числа. При цьому отриманий вигравш по ступеню зниження інтенсивності при заданому параметрі PSNR по відношенню до технологій стандарту MPEG;

в) розроблено метод декодування відеозображень з використанням блокових чисел, який порівняно із статистичними декодерами має ряд переваг,

а саме : немає необхідності у використанні маркерів для розділення службової і інформаційної частин при формуванні пакетів даних; підвищення перешкодостійкості, оскільки помилки можуть розповсюджуватися тільки в межах однієї коди блокового числа, таким чином, їх вплив розповсюджується тільки на один стовпець, а не на весь блок; елементи відновлюваного блоку декодуються незалежно один від одного, що дозволяє застосовувати паралельну обробку даних, що також знижує час, який витрачається на обробку даних; немає необхідності у використанні кодових таблиць і алгоритмів пошуку по ним, оскільки вся необхідна інформація передається в службовій частині разом з кодом. Це дозволяє зменшити вірогідність втрат пакетів в порівнянні з технологіями стандарту MPEG.

2. Підхід до скорочення надмірності в реалістичних зображеннях без втрати їх якості на основі стаціонарності формування динамічних зображень з урахуванням виявлення та роздільної обробки стаціонарної та динамічної складових.

3. Метод стиснення потоку динамічних відеозображень стаціонарного фону з контрольованою втратою якості за рахунок роздільної обробки стаціонарної складової на основі двохалфавітного коду потужності та динамічної складової на основі позиційного кодування з адаптивним вибором основи.

4. Метод формування компактного представлення сегментованих зображень на основі виявлення вектора двокомпонентних кортежів для лінеаризованих трансформант. В умовах коли: кількість двокомпонентних кортежів є змінною заздалегідь не відомою величиною, і залежить від фактора втрати якості в процесі квантизації трансформанти; кодове значення і довжина кодограми для усіченого вектора двокомпонентних кортежів залежить від статистичних, структурних властивостей сегментів зображення і режиму корекції компонент трансформант в процесі квантизації.

5. Метод обчислення кодової складової усіченого вектора ДК в умовах нерівномірного розподілу кількості кортежів за кодограмою, які формуються за комбінованим принципом для встановленого обмеження.

6. Технологія формування кодових конструкцій стиснутого сегменту зображення в умовах інтеграції послідовності кодограм, що містять інформацію про кодові значення складових усіченого вектора двокомпонентних кортежів.

7. Метод реконструкції сегментів зображення на основі декодування усічених векторів двокомпонентних кортежів.

8. Метод визначення ступеня семантичної насиченості відеозображень. Відмінна риса методу полягає в тому, що застосовуються кількісні структурні показники для оцінки контурної складності фрагментів відеозображень. Це забезпечує проведення автоматичної класифікації ступеня семантичної насиченості відеозображень.

9. Методологічна база, яка дозволяє побудувати метод управління бітовою швидкістю відеопотоку, що особливо актуально в мережах передачі даних з низькою пропускнуою спроможністю каналу, малому часі обробки відеозображень або обмежених обчислювальних можливостях пристроїв обробки [124, 125], наприклад реалізація служб IP-TV або on-line конференцій [126], передача даних по безпроводних мережах Wi-Fi і так далі. Що дозволяє скоротити час передачі відеоданих від джерела до одержувача для бездротових технологій, включаючи Wi-Fi.

10. Базовий метод управління бітовою швидкістю в процесі кодування на базі алгоритму релаксацій Лагранжа, який використовує як параметр чинник якості при квантуванні блоку. Для пошуку оптимального значення параметра квантування запропоновано використовувати метод ділення відрізаних навпіл. Основна його перевага полягає в тому, що не потрібний повний (або близький до повному) перебір безлічі рішень як, наприклад, при динамічному програмуванні. Це дозволяє знизити час обробки і передачі кадру, що необхідне при обробці відеопослідовності в реальному масштабі часу. При цьому

забезпечується скорочення часу обробки відеопотоку в порівнянні з аналогічними механізмами в стандарті MPEG.

11. Стратегія управління бітовою швидкістю відеопотоку при обробці P-кадрів. Вона дозволить реалізувати можливість контролю середньоквадратичної помилки для режиму, коли інтенсивність відеопотоку не перевищує необхідної пропускнуєї спроможності каналу зв'язку. Вона включає наступні положення:

- вибір формату колірної субдискретизації P-кадру, що дозволить скоротити не тільки загальний об'єм передаваних даних на одних кадр, але і вплив в процентному співвідношенні кольорорізнисцевих складових щодо яскравості;

- застосування диференціальної обробки блоку залежно від порогу ухвалення рішень, яка дозволяє в P-блоках з незначними змінами проводити меншу кількість математичних операцій, що значно знизить час їх обробки. В той же час, при обробці I-блоку, який відповідає динамічній зміні об'єкту в оброблюваній області, будуть вибрані такі параметри компресії, які забезпечать якнайкращу якість;

- параметри компресії для різних колірних складових кадру вибиратимуться окремо для кожної складової. Значення порогу і чинника якості вибираються так, щоб складова яскравості, яка несе найбільшу інформативність, оброблялася з кращою якістю в порівнянні зі кольорорізнисцевими складовими.

12. Метод управління бітовою швидкістю, що дозволяє проводити корекцію інтенсивності відеопотоку відповідно до параметрів телекомунікаційної мережі. Розроблений метод враховує наступні механізми:

- застосовується диференціальна обробка блоків, вибрана по заданій межі, яка показує міру інформативності поточного блоку;

- в процесі роботи алгоритму стиснення проводиться зміна наступних параметрів: формату колірної субдискретизації, порогу ухвалення рішень, а також чинника якості. Механізм комбінування вибраних параметрів складений

так, щоб рішення про оптимальність було ухвалене з мінімальними часовими затримками. Це дозволяє швидко адаптуватися до пропускної спроможності каналу зв'язку і вибирати якість відеозображення в процесі його обробки та передачі.

Залежно від виконання умов по необхідній швидкості або заданої якості змінюються параметри чинники якості обробки цветоразностних складових і їх порогів так, щоб вибрати оптимальні значення для компресії в максимально короткий часовий проміжок. Це дозволяє використовувати розроблений метод в режимі реального часу.

Таким чином, реалізована можливість контролю і корекції значень середньквдратічеської помилки і бітової швидкості в процесі обробки послідовності Р-кадров. Досягається зменшення коефіцієнта використання вузла комутації при максимальній інтенсивності відеотрафіку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. VNI Forecast Highlights, [Электронный ресурс] / Cisco // Cisco. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-forecast.html>.
2. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.]. – Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3-40.
3. Багатоканальний електров'язок та телекомунікаційні технології: Підручник для студентів вищих навч. закладів / За редакцією Поповського В.В. – Харків: «Компанія СМІТ», 2003. – 512 с.
4. Баранник В.В. Кодирование трехмерных моделей видеокладов в инфотелекоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков, А.В. Слободянюк. – Каменец-Подольский-Харьков: Вид-во Каліграф, 2011. – 210 с.
5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1073 с.
6. Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: Конспект лекций / Кашкин В.Б. // Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 121 с.
7. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения / Н.Н. Красильников. - М. : Радио и связь, 1986. - 248 с.
8. Нетравали А.М. Кодирование изображений / А.М. Нетравали, Дж.О. Лимб // ТИИЭР. – 1980. – №3. – С. 76-124.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 т. / У. Прэтт; пер. с англ. – М. : Мир, 1985. – 736 с.
10. Свириденко В.А. Анализ систем со сжатием данных / В.А. Свириденко. – М.: Связь, 1978. – 183с.

11. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М: Техносфера, 2004. – 368 с.
12. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
13. Gonzales R.C. Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. – Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2002. – 779 p.
14. Гургенидзе А.Т. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа / А.Т. Гургенидзе, В.И. Корше. – СПб, 2003. – 434с.
15. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1, 2, 3 / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с.
16. Баранник В.В. Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2002. – №1. – С. 17 – 25.
17. Синепол В.С. Системы компьютерной видеоконференцсвязи / В.С. Синепол, И.А. Цикин. – М.: ООО “Мобильные коммуникации”, 1999. – 166 с.
18. Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях / В.С. Чернега. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. – 214 с.
19. Pratt W.K., Chen W.H., Welch L.R. Slant transform image coding // Proc. Computer Processing in communications. – New York: Polytechnic Press, 1969. P. 63-84.
20. Баранник В. В., Поляков П. Ф., Яковенко А. В. Метод восстановления изображений с контролируемой погрешностью. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2008. № 4. С. 44–47.
21. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 384с.
22. Засядько А.А. и др. К анализу эффективности алгоритмов и программ быстрых ортогональных дискретных преобразований // *Электрон. моделирование*. – 1998. – №6. – С. 109-111.

23. Мaстрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 4. Алгоритм LZW // Монитор. – 1994. – №2. – С. 8-11.

24. Мaстрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Часть 2. Арифметическое кодирование // Монитор. – 1994. – №1. – С. 20-23.

25. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. – М. : Триумф, 2003. – 336 с.

26. Тропченко А.Ю. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео / А.Ю. Тропченко, А.А. Тропченко // Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 108 с.

27. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К.Р. Рао; пер. с англ. под ред. И.Б. Фоменко. – М. : Связь, 1980. – 248 с.

28. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. – М.: Вузовская книга, 2011. – 320 с.

29. Баранник В.В. Метод двумерного структурного кодирования двоичных данных // Радиоэлектроника и информатика. – 2003. – № 1. – С. 109 – 112.

30. Харченко Н.А. Разработка алгоритма компрессии видеопотока на основе обработки предсказываемых кадров / Н.А. Харченко, А.В. Хаханова // 23-я Международная Крымская конференция [“СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”(КрыМиКо`2013)] (Севастополь 8-13 сентября 2013 г.: материалы конф. в 2т.) / Севастополь: Вебер, 2013. – С 410-411.

31. **Barannik V.V.** Measures Estimation Of Quality Disguise Of Images / A.V. Vlasov, **V.V. Barannik**, Nataliya Kharchenko // XIIth International Conference CADSM 2013 [“The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics²”] (Lviv-Polyana, Ukraine, February 19 – 23, 2013) / Lviv Polytechnic National University, 2013. – P. 29-30.

32. Баранник В.В. Метод трехмерного кодирования данных // Системи обробки інформації. – Харків: ХВУ. – 2003. – Вип. 1. – С. 42 – 46.

33. Баранник В.В. Метод структурного восстановления данных // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2003. – Вып. 26. – С. 103 – 106.

34. Баранник В.В. Способ повышения доступности к видеоинформации в реальном времени / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, Н.А. Харченко // Научно-методична конференція [“Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2012”] (Львів 1-4 листопада 2012 р.) / Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2012. – С. – 112-114.

35. V. Barannik A metod to control bit rate while compressing predicted frames / V. Barannik, N. Kharchenko, Othman Shadi O. Yo., A. Musienko // XIIIth International Conference CADSM 2015 [“The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”] (Lviv-Polyana, Ukraine, February 24 – 27, 2015) / Lviv Polytechnic National University, 2015.

36. Баранник В.В. Методология двухкаскадного маскирования изображений в системах инфотелекоммуникаций / А.В. Власов, В.В. Баранник, А.В.Ширяев // АСУ и приборы автоматики. – 2013. – Вып. 162. – С. 50 – 55.

37. Kharchenko N. The Problem Aspect of Control of Bit Speed of the Video Stream in Telecommunication Networks / Andrii Krasnorutskij, Andrii Tristan, N. Kharchenko // International Conference TCSET’2014 [“Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science”] (Lviv-Slavske, Ukraine, February 25 – March 1, 2014) / Lviv Polytechnic National University, 2014. – P. 533-534.

38. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. - М.: Изд – во иностр. лит – ры, 1963. – 793 с.

39. Barannik V.V. Encoding of Approximating Making Images for their Transmission in Telecommunication System / V.V. Barannik, A.N. Dodukh, R.I. Akimov // International Conference [“The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics”], (Lviv – Polyana, Ukraine, February 19 – 23, 2013) / Lviv – Polyana: 2013. – P. 21.

40. Харченко Н.А. Анализ обработки предсказываемых кадров в технологии сжатия трансформированных изображений / Н.А.Харченко,

А.В. Хаханова, В.Н. Кривонос // Сучасна спеціальна техніка. – Київ: МВС ДНДІ науково – практичний журнал, 2012. – № 2. – С. 40-45.

41. **Баранник В.В.** Метод компрессии видеопотока на основе полиадического кодирования предсказываемых кадров / **В.В. Баранник**, Н.А. Харченко, В.Н. Кривонос // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харьков, 2013. – №163. – С. 47 – 52.

42. Харченко Н.А. Метод реконструкции предсказываемых кадров в телекоммуникационных технологиях кодирования видеотрафика / Н.А. Харченко, А.В. Яковенко, А.В. **Хаханова** // Сучасна спеціальна техніка. – Київ: МВС ДНДІ науково – практичний журнал, 2012. – № 4 – С. 17-25.

43. Баранник В.В. Методологическая база управления битовой скоростью при формировании предсказанных кадров / **В.В. Баранник**, Н.А. Харченко, А.Э. Бекиров // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков, 2013. – №3. – С. 23-27.

44 Баранник В.В. Метод контроля битовой скорости при компрессии предсказанных кадров в видеопоследовательности / **В.В. Баранник**, Д.Э. Двухглавов, Н.А. Харченко // Системы обработки информации. – Харьков, 2014 – №9 (125). – С. 115-119.

45. **Баранник В.В.** Метод оценки битовой скорости в процессе кодирования макроблока для видеоинформационного потока в телекоммуникационной сети / Н.А. Харченко, , К.Н. Юрченко, В.В. Твердохлеб // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – Харьков, 2014. – №4. – С.52-59.

46. Харченко Н.А. Метод корректировки интенсивности видеопотока в телекоммуникационной сети / Н.А. Харченко // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков, 2014. – № 4. – С. 20-24.

47. **Баранник В.В.** Стратегия управления битовой скоростью при обработке предсказываемых кадров для повышения доступности и целостности информационных ресурсов / **В.В. Баранник**, Н.А. Харченко,

С.Ю. Стасев // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харьков, 2014. – № 169. – С. 31 – 38.

48. Семенов Ю.А. Телекоммуникационные технологии ДОС. Учебное пособие ГНЦ ИТЭФ, (Москва: Издательство 'Радио и связь' 2004 - 600 стр

49. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агеєв та ін.: За загал. ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

50. Чемпен Н., Чемпен Д. Цифровые технологии мультимедиа. – М.: Вильямс, 2006. – 624 с.

51. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.

52. Власов А.В. Метод кодирования видеоизображений с маскированием для повышения безопасности видеoinформационных ресурсов. / А.В. Власов, А.В. Ширяев // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2013. – № 3. – С. 65 – 73.

53. Быков Р.Е. Цифровое преобразование изображений / Р.Е. Быков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 228 с.

54. Ян Ричардсон. H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-Generation Multimedia / Ян Ричардсон. – 2005. – 368 с.

55. Лапин Евгений Васильевич. Подготовка и запись DVD всех типов. Краткое руководство / Лапин Евгений Васильевич. – М.: «Вильямс», 2006. – С. 320.

56. Севальнев Л.А. Международный стандарт кодирования с информационным сжатием MPEG-2 / Л.А. Севальнев // Журнал "625". – №1. – 1997 г. – С. 58- 62.

57. Власов А.В. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. / А.В. Власов, В.В. Лукин // Радиоэлектроника и информатика. – 2013. – № 2. – С. 65 – 73.

58. Kaarna A. Blockwise Distortion Measure for Lossy Compression of Multispectral Image / A. Kaarna, J. Parkkinen // Proceeding of the 10-th European Signal Processing Conference, 5-8 September 2000. – Tampere, Finland, 2000. – P. 2197-2200.

59. Kossentini F., Chung W.C., Smith M. Subband image coding using entropy-constrained residual vector quantization // Information Processing and Management. – 1994. – V.30. – №6. – P. 887 – 896.

60. Ватолин Д. VirtualDub MSU Motion Estimation Filter [Электронный ресурс] / Д. Ватолин // Compression. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.compression.ru/dv/>

61. Арюшенко В.М. Цифровое сжатие видеоинформации и звука: Учеб. Пособие / В.М. Арюшенко, О.И. Шелухин, М.Ю. Афонин. – М.: Дашков и К, 2003. – 426 с.

62. Tan K.H. Layered image coding using the DCT pyramid / K.H. Tan, M. Ghanbari // IEEE Trans. Image Proc. – 1995. – V. 4. – № 4. – P. 512-516.

63. **Баранник В.В.** Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков – Х.: ХУПС, 2010. – 234 с.

64. Vlasov A.V. Estimation of quality methods disguise images for detection edge contours // Science-Based Technologies. – 2013. – № 2 (18). – pp. 193 – 197.

65. Gopinath R.A. On cosine-modulated wavelet orthogonal bases / R.A. Gopinath, C.S. Burrus // IEEE Trans. Image Proc. – 1995. – V. 4. – № 2. – P. 162-177.

66. Леках А.А. Обоснование направления разработки технологии сжатия изображений в системе объективного контроля на железнодорожном транспорте / А.А. Леках, Е.Л. Лиманская // Сучасна спеціальна техніка. - №4(31). – 2012. –С. 52 – 59.

67. Баранник В.В. Метод кодирования служебных данных видеопотока для снижения нагрузки в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник,

А.А. Леках, А.О Демедцкий // Радіоелектроні і комп'ютерні системи. - №2(61). – 2013. - С. 58 – 63.

68. Обработка изображений и цифровая фильтрация / [под ред. Т.С. Хуанга]. – М. : Мир, 1979. – 318 с

69. Sindeev M. Alpha-flow for video matting / M. Sindeev, A. Konushin, C. Rother // Technical Report. – 2012. P. – 41 – 46.

70. Яковенко А.В. Метод обработки двоичной маски дифференциально-представленного кадра в системах визуализации объективного контроля / А.В. Яковенко, А.А. Леках, Д.Б. Жуйков // Сучасна спеціальна техніка. - №1(32). – 2013. – С. 19 - 26.

71. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработка изображений / Т. Павлидис. – М.: Радио и связь, 1986. – 400 с.

72. Wallace G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication in ACM. – 1991. – V34 – №4. – P.31-34.

73. Wallace G.K. Overview of the JPEG (ISO/CCITT) Still image compression: image processing algorithms and techniques / G.K. Wallace // Processing of the SPIE. – 1990. – Vol. 1244. – P. – 220-233.

74. Леках А.А. Метод обработки динамической составляющей на основе позиционного кодирования с адаптивным выбором основания / А.А. Леках // Радиоэлектроника и информатика. - №2. – 2013. – С. 57 – 61.

75. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г.Ю. Шлихт // М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.

76. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

77. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева – Х.: ХУПС, 2009. – 252 с.

78. Баранник В.В. Метод кодирования динамических изображений стационарного фона в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, А.А. Леках, Б.В. Остроумов // Захист інформації. – Том. 15, № 3. – 2013. – С. 210 – 217.

79. Баранник В.В. Динамическое кодирование трансформант изображений в двухуровневом полиадическом пространстве / В.В. Баранник, И.В. Хаханова, В.В. Елисеев // Радиоэлектроника и информатика. – Вып. 2. – 2007. – С. 90 – 96.

80. Яковенко А.В. Метод восстановления сжатых динамических изображений стационарного фона / А.В. Яковенко, А.А. Леках // Сучасна спеціальна техніка. - №2(33). – 2013. – С. 29 – 37.

81. Баранник В.В. Комбинаторная модель вектора двухкомпонентных кортежей для оценки информативности усеченной линиаризированной трансформанты / В.В. Баранник, С.В. Туренко // АСУ и приборы автоматики. – 2013. - №164. – С. 33 – 37.

82. Яковенко А.В. Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрішністю / А.В. Яковенко // Системи озброєння і військова техніка – Х.: ХУПС. – 2008. – Вип. 2(14). – С. 128-131.

83. Осипов Л.А. Обработка сигналов на цифровых процессорах / Л.А. Осипов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 112 с.

84. Бондарев В.Н. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. Учебное пособие для вузов. 2-е изд. / В.Н. Бондарев, Г. Трестер, В.С. Чернега. – Х.: Конус, 2001. – 398с.

85. Гранрат Д. Дж. Роль моделей зрения человека в обработке изображений / Д. Дж. Гранрат // ТИИЭР. – 1981. – Т69, №5. – С.65-77.

86. Стокхэм Т. мл. Обработка изображений в контексте модели зрения / Т. мл. Стокхэм // ТИИЭР. – 1972. – Т.60, N 7. – С.93–108.

87. Баранник В.В. Метод верификации кодека вектора кортежей в систему компрессии базовых кадров видеопотока в инфокоммуникациях / В.В. Баранник, С.В. Туренко // АСУ и приборы автоматики. – 2013. - №165. – С. 123 – 128.

88. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов / [Я.А. Фурман, А.В. Кревецкий, А.К. Передреев и др.]; под ред. Я.А. Фурмана. – [2-е изд.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.

89. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / [Т.С. Хуанг, Дж.О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.]; под ред. Т.С. Хуанга; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1984. – 224 с.
90. Barannik V. The Positional Structural-Weight Coding of the Binary View of Transformants / Barannik V., Nahanova A. // International Symposium [«IEEE East-West Design & Test»], (Kharkov, Ukraine, September 18 – 21, 2012) / Kharkov: 2012. – P. 490-494.
91. Олег Татарников Методы сжатия цифрового видео / Олег Татарников // Компьютер Пресс : журнал. – 2004. – № 08.
92. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебн. пособие / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
93. Баранник В.В., Туренко С.В., Стасев Ю.В. Обоснование проблемных недостатков технологии компактного кодирования трансформированных изображений для средств телекоммуникаций // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. - № 4№5). – С. 3 – 9.
94. Бараннік В.В. Метод компресії трансформованих зображень у інфокомунікаціях на основі кодування векторів кортежів / В.В. Бараннік, С.В. Туренко // Наукоємні технології. – 2013. - №4 (20). – С. 411 – 415.
95. Окснюк А.Г. Анализ подходов к управлению скоростью передачи видеопотока / А.Г. Окснюк, Д.Э. Двухглавов, В.В. Твердохлеб / Сучасна спеціальна техніка. – 2014. – №2. – С. 17 – 18.
96. Кочетов Ю.А. Лагранжевы релаксации для задачи выбора оптимального состава системы технических средств. Управляемые системы т31 / Ю.А. Кочетов, М.Г. Пащенко. – 1993. – С. 26-39.
97. Everett H. Generalized lagrange multiplier method for solving problems of optimum allocation of resources. Operations Res. v2 / Everett H. – 1963. – P. 399-417.

98. Barannik V.V. Method of images reconstruction on the basis of two-level decoding linear transforms / V.V. Barannik, S.V. Turenko // *Захист інформації*. – 2014. – Том 16, №2. – С. 126 – 130.

99. Туренко С.В. Кодирование вектора двухкомпонентных кортежей для технологий компрессии с трансформированием кадров в инфокоммуникационных системах // *Радиоэлектроника и информатика*. – 2013. – №3. – С. 52 – 55.

100. Рябуха Ю.Н. Метод идентификации степени информативности семантического содержания сегмента видеокadra // *Системы управління, навігації та зв'язку*. – 2015. – № 1(33). – С. 52-56.

101. Christophe E. Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery / E. Christophe, D. Lager, C. Mailhes // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – Sept 2005. – Vol. 43. – No 9. – P. 2103 – 2114.

102. Беляев Е.А. Управление скоростью и ошибкой кодирования в системе сжатия и передачи видеоинформации с ограничениями на память передающего и принимающего устройств / Е.А. Беляев, А.М. Тюрликов // *Компьютерная оптика*. СПб: СПГУАП, 2007. – Том 31, №2. – С. 69-76.

103. Малахов К.А. Управление выходной скоростью кодирования для систем хранения и монтажа студийных видеоданных / К.А. Малахов // *Известия*. СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – № 5. – С. 3-8.

104. Баранник В.В. Метод интеллектуальной обработки государственных видеоинформационных ресурсов для повышения их семантической целостности в системах мониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // *Захист інформації*. – 2015. – №2. – С. 125-134.

105. Айфичер Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание: Пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 992 с,

106. Гургенидзе А.Т. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа / А.Т. Гургенидзе, В.И. Корше. – СПб. – 2003. – 434с.

107. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.] // Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3-40.

108. Будников В.Ю. Технологии обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях / В.Ю. Будников, Б.А. Пономарев // Вестник связи. – 2000. – №9.

109. Дмитриев В.И. Прикладная теория информации / В.И. Дмитриев. – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с.

110. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1, 2, 3 / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с.

111. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

112. Поповський В.В. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник та ін.: За загал. ред. В.В. Поповського. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

113. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. Том 2 (3-е издание) / Б.С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005 – 288 с.

114. Гольдштейн Б.С. Сети связи. Учебник для ВУЗов / Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2011. – 400 с.

115. Шевченко Н.Ю. Моделирование систем массового обслуживания / Н.Ю. Шевченко. – Томск: ТУСУР, 1998.

116. Ивченко Г.И. Теория массового обслуживания. Учебное пособие для вузов / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.

117. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: КомКнига, 2005.

118. Рошан Педжман. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11.: Пер. с англ. / Рошан Педжман, Лиэри Джонатан. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 304 с.

119. Пролетарский А.В. Беспроводные сети Wi-Fi / А.В. Пролетарский, И.В. Баскаков, Д.Н. Чирков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 178 с.

120. Lezama J. Track to the future: Spatio-temporal video segmentation with long-range motion cues / J. Lezama, K. Alahari, J. Sivic, I. Laptev // In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2011. – P. 256-289.

121. 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.

122. Barannik V., Hahanova A., Krivonos V. Coding tangible component of transforms to provide accessibility and integrity of video data. *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*: proceedings of Intern. Conf. (Rostov-on-Don, Russia, September 27-30, 2013), Rostov-on-Don, 2013. DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673179.

123. Баранник В.В. Сжатие данных на основе сокращения трехмерной структурной избыточности / В.В. Баранник, С.В. Карпенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2008. – Вып. 38. – С. 177 – 187.

124. Kang H.R. Color Technology for Electronic Imaging Devices, Vol. PM28, SPIE Press, Bellingham, WA, 1997.

125. Ding Z. GPU accelerated interactive space-time video matting / Z. Ding, H. Chen, Y. Gua, Q. Peng // In Computer Graphics International. – 2010. – P. 163-168.

126. Wes Simpson, Howard Greenfield. IPTV and Internet Video: New Markets in Television Broadcasting. Oxford OX2 8DP, UK - 2007. - P. 263.

127. Харченко Н.А. Метод керування інтенсивністю відеотрафіку на кінцевих вузлах телекомунікаційної мережі. Дисертація канд. техн. наук: 05.12.13 / НАКУ «ХАИ» ім. М.Є. Жуковського, 2015. – 173 с.

128. Туренко С.В. Методи кодування відеоданих для зниження бітової швидкості в інфокомунікаційних системах. Дисертація канд. техн. наук: 05.12.02 / НАУ, 2014. – 182 с.

129. Леках А.А. Методи підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних систем об'єктивного відео контролю. Дисертація канд. техн. наук: 05.12.02 / НАУ, 2013. – 188 с.

130. Власов А.В. Метод обробки зображень з маскуванням контурів для підвищення доступності і цілісності інформаційного ресурсу відеоконференційного зв'язку. Дисертація канд. техн. наук: 21.05.01 / НАУ, 2014. – 197 с.

ДОДАТОК А

Функціональні схеми методу управління бітовою швидкістю відеопотоку в умовах прийнятих обмежень

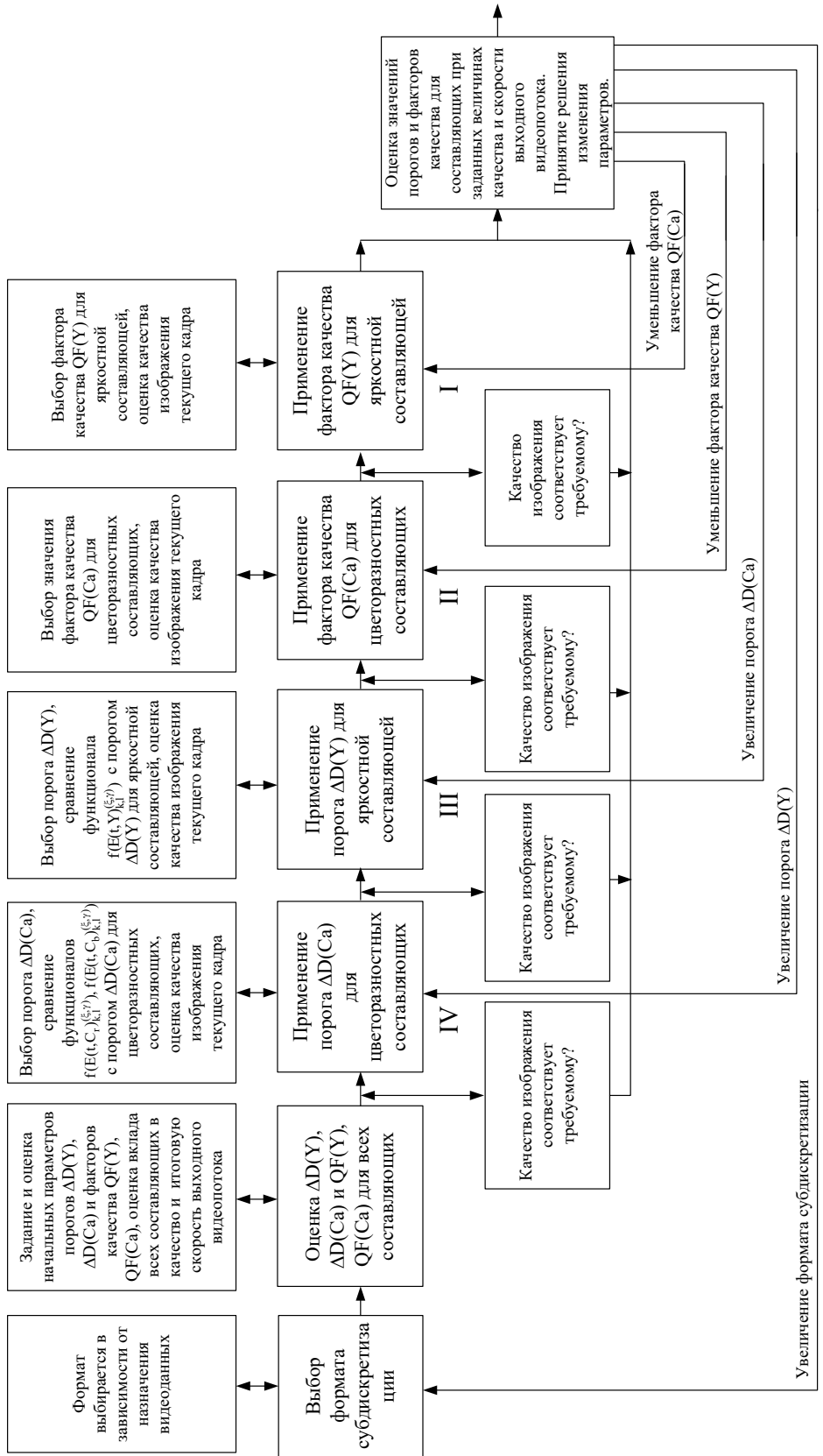


Рисунок А.1 – Функціональна схема методу управління бітовою швидкістю в умовах прийнятих обмежень на якість візуального сприйняття відеозображення

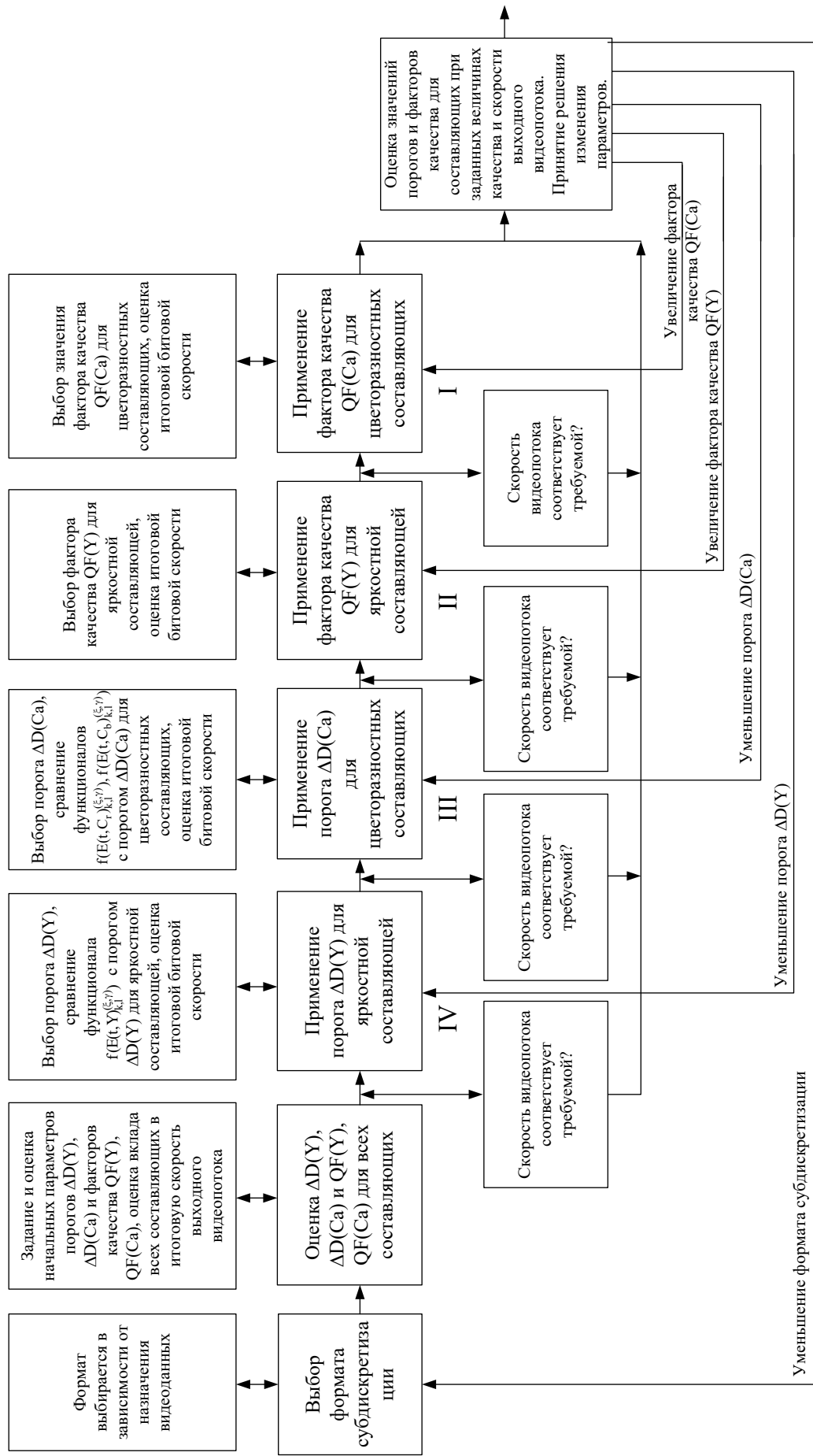


Рисунок А.2 – Функциональная схема метода управления битовой швидкістю в умовах прийнятних обмежень на максимальну швидкість стислого відео потоку

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БАРАННІК Володимир Вікторович, доктор технічних наук, професор. Дисертацію на здобуття наукового ступеня доктор технічних наук захистив у 2006 році за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Підготував та захистив 3 докторів технічних наук та більш ніж 43 кандидатів технічних наук.

РЯБУХА Юрій Миколайович, доктор технічних наук, старший науковий дослідник. Дисертацію на здобуття наукового ступеня доктор технічних наук захистив у 2015 році за спеціальністю 21.05.01 – інформаційна безпека держави.

ХАХАНОВА Ганна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент. Дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук захистила у 2009 році за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

ЛЕКАХ Альберт Анатолійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук захистив у 2013 році за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

ВЛАСОВ Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук захистив у 2014 році за спеціальністю 21.05.01 – інформаційна безпека держави.

ТУРЕНКО Сергій Вікторович, кандидат технічних наук. Дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук захистив у 2014 році за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

ХАРЧЕНКО Наталія Андріївна, кандидат технічних наук, доцент. Дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук захистила у 2015 році за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 18,37. Тир. 300 прим. Зам. 818-21.

Видавець та виготовлювач ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.

СТИЛЬ®
ИЗДАТ
ТИПОГРАФИЯ
www.stil-izdat.com