

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Прим. № ____

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТВЕРДОХЛІБ ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.327: 681.5

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ
СИСТЕМ НА ОСНОВІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОТРАФІКА

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

В.В. ТВЕРДОХЛІБ

Науковий керівник

Бараннік Володимир Вікторович,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2021 рік

АНОТАЦІЯ

Твердохліб В.В. Метод підвищення продуктивності телекомунікаційних систем на основі управління інтенсивністю відеотрафіка. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 "Телекомунікаційні системи та мережі". - Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача щодо забезпечення якості відеосервісів на необхідному рівні за рахунок зниження часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж. Показується, що в процесі надання відеосервісів на базі телекомунікаційних мереж виникає протиріччя, яке зумовлене, з одного боку, збільшенням обсягів відеоданих у мережі та розширенням переліку технологій, що використовують алгоритми аналізу та обробки даних. З іншого боку – відносно недостатніми темпами росту продуктивності телекомунікаційних систем. Це, у свою чергу, породжує виникнення затримок передачі та як наслідок – падіння якості надання відео сервісів. Відповідно, виникає необхідність у забезпеченні якості надання відеосервісів на необхідному рівні.

Обґрунтовується, що найбільш продуктивним підходом, спрямованим на забезпечення якості надання мережевих відеосервісів є управління бітовою інтенсивністю відео потоку для узгодження її з динамікою змін пропускної здатності мережі. У свою чергу, сьогодні застосовується ряд стандартизованих методів управління інтенсивністю відеоданих, спрямованих на скорочення неузгодженості між бітовою інтенсивністю відео та динамікою змін пропускної здатності мережі. Водночас, як свідчить аналіз, стандартизовані методи, у ході управління інтенсивністю відео не забезпечують належного рівня якості надання відео сервісів, та не дозволяють достатньою мірою усунути дисбаланс між збільшенням бітової інтенсивності відео у мережі та обмеженими темпами

зростання продуктивності телекомунікаційних систем. З урахуванням чого, мета досліджень полягає у створенні методу контролю бітової інтенсивності відеопотоку для підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням телекомунікаційних систем.

Створюється метод кодування бітового опису фрагментів відеокадрів у спектральному просторі на базі виявлення довжин серій бінарних елементів у межах окремих бітових площин. При цьому кодові конструкції бітових площин, що формують сегмент відеокадру у спектральному описі, формуються незалежно одна від одної, тим самим створюються умови для можливості управління бітовою інтенсивністю відео. Розробляється метод управління інтенсивністю відеоданих на основі субдискретизації слайсів відеокадрів. Обґрунтовується перевага створеного методу управління бітовою інтенсивністю відео відносно стандартизованих методів обробки кадрів.

Наукова новизна отриманих результатів.

У рамках дисертаційної роботи отримані основні результати, що мають наукову новизну:

1. Отримала подальший розвиток модель кодового опису трансформанти на базі виявлення серій бінарних елементів.
2. Удосконалено метод кодування відеокадрів на основі їх трансформування у спектральному просторі.
3. Вперше розроблено метод управління інтенсивністю відеотрафіку на основі використання технологій кодування.
4. Удосконалено комплексну технологію управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку на базі урахування статистичної та психовізуальної надмірності.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених методів в існуючих стандартах кодування зображень та управління їх бітовою інтенсивністю.

Практичне значення отриманих результатів.

Застосування розробленого методу управління інтенсивністю відеоданих забезпечує:

1) досягнення балансу між бітовою інтенсивністю та якістю відновлених відеозображень за рахунок: створення додаткової можливості відносно скорочення бітової інтенсивності на 25 % в умовах збереження початкової якості відеозображень;

2) можливості змінювати у реальному часі рівень бітової інтенсивності від 15 % до 30 % в умовах збереження достовірності інформації в межах від 35 дБ до 25 дБ, що відповідає вимогам надання сучасних відеосерісів;

3) скорочення часової затримки доставки відеоданих відносно стандартизованих методів управління у середньому на 25%;

4) зменшення величини джиттеру у середньому на 18% порівняно з існуючими методами;

5) скорочення показника втрат пакетів в середньому на 17% щодо існуючих методів управління бітовою інтенсивністю відеопотоку на основі кодування.

Ключові слова: бітова інтенсивність, відеопотік, бітова площа, блочний код, бітовий опис трансформанти, слайс відеокадру.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Колективні монографії

1. Комбинированный метод управления битовой интенсивностью видеопотока в реальном времени / В. В. Баранник, В.В. Твердохлеб, В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Слободянюк, П.М. Гуржий // Наукомісткі технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: Монографія / під загальною редакцією В. В. Баранніка., В. М. Безрука – ФОП Бровін О.В., Харків. – 2018. – с. 7–21.

Статті

2. Barannik V., Tverdokhleba V., Himenko V., Kovalevskiy S., Warwas K., Brocki M. Complex Method of Video Stream Intensity Control. *Engineer of the XXI Century: proceedings*. Springer. ISSN 2211-0984. Bielsko-Biala. 2019. P.209-215. **(Scopus)**.

3. Barannik D., Tverdokhleб V., Barannik V., Ryabukha Yu., Kulitsa O., Faure E., Odarchenko R. Method for Encoding Video Frame Fragments Based on Non-Equilibrium Codes with Minimization of Service Data. CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), Aachen, Germany, ISSN 1613-0073, August 19, 2020, Vol-2654, pp. 304-314., online CEUR-WS.org/Vol-2654/paper15.pdf. **(Scopus)**.

4. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Двухглавов Д.Э. Метод динамического управления битовой скоростью видеопотока с использованием трехмерного представления трансформант. *АСУ и приборы автоматизики*. 2014. № 167. С. 37-43.

5. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Юрченко К.Н., Харченко Н.А. Метод оценки битовой скорости в процессе кодирования макроблока для видеoinформационного потока в телекоммуникационной сети. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. №4. С. 52-59.

6. Баранник В.В., Твердохліб В.В., Супрун О.В., Окладной Д.Є., Управління параметрами компресії відеокадрів з використанням побітової передачі трансформант. *Наукоємні технології*. 2016. №3. С. 269-273.

7. Твердохлеб В.В. Способ контроля битовой скорости видеопотока в телекоммуникационных системах. *Радиоэлектроника и информатика*, 2016. №2. С. 12-16.

8. Твердохлеб В.В., Баранник В.В., Хаханова А.В. Методологическая база построения алгоритмов контроля битовой скорости видеопотока с обеспечением требуемых характеристик качества. *Радиоэлектроника и информатика*. 2017. №2. С. 27-33.

9. Бараннік В.В., Твердохліб В.В., Бараннік В.В., Мруць М.С., Згоднік В.С. Управління інтенсивністю відеотрафіку для інформаційних технологій обробки та передачі відеоінформаційних ресурсів. *Системи озброєння і військова техніка*. 2019. №4. С. 58-65.

10. Бараннік В., Твердохліб В., Шевченко І., Рябуха Ю., Гуржий П., Кодування бітового представлення трансформант у рамках управління бітовою швидкістю відео. *Безпека інформаційних систем і технологій*. 2019. №1. С. 52-56.

11. Бараннік В.В., Твердохліб В.В., Рябуха Ю.М., Гуржій П.М., Kulitsa O.C. Технологія кодування трансформант в системах управління бітовою швидкістю відео потоку. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2020. № 3(7). С. 63-71.

12. Barannik V.V., Tverdokhlib V.V., Barannik D.V., Ryabukha U.N., Shulgin S.S. Video segment coding method for bit rate control information technology. *Science-Based Technologies*. 2020. Vol. 46. Issue 3. P. 316-321.

Тези конференцій

13. Твердохлеб В.В., Красноруцкий А.А. Об актуальности построении технологии управления параметрами компрессии видеопотока. *Інформаційні технології: наука,техніка, технологія, освіта, здоров'я, MicroCAD'2014: матеріали XXII Міжн. наук.–практ. конф. (Харків, 15-17 жовт. 2014 р.)*. Харків. 2014. С. 73.

14. Бараннік В.В., Твердохлеб В.В., Туренко С.В., Бекіров А.Е. Технологія кодування кортежів трансформованих зображень в інфокомунікаційних системах. *International Scientific Conference (ITSEC): матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 20 - 23 травня 2014 р.)*. Київ: Нац. авіац. ун-т, 2014. С. 59.

15. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Подлесный С.А., Тарнополов Р.В. Анализ информационной безопасности видеoinформационного ресурса. *Проблемы информатики и моделирования: материалы науч.-техн. конф. (Харків-Одеса, 14-18 верес. 2015 р.)*. Харків-Одеса. 2015. С.18.

16. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Тарнополов Р.В., Школьник А.Ю. Способ управления параметрами компрессии видеопотока в инфокоммуникациях. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: матеріали 4-ої Міжн. наук.-практ. конф., (Вінниця, 28-30 трав. 2014 р.)*. Вінниця: Він. нац. техн. ун-т, 2014. С. 244-245.

17. Barannik V., Tverdokhlib V., Ryabukha Yu., Dodukh A., Suprun O., Tarasenko D. Integration the non-equilibrium position encoding into the compression technology of the transformed images. *IEEE East-West Design & Test Symposium: 15th*

IEEE Intern. Symp., (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017). Novi Sad: 2017. P. 337-339.

18. Barannik V., Tverdokhle V., Okladnoj D., Musienko A. Accelerated Bit Rate of the Video Stream Dynamic Control Method. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*: proceedings of 14th Intern. Conf. (Polyana, Svalyava, Ukraine, February 21-25, 2017). Polyana. 2017.

19. Tverdokhle V., Kulitsa O., Okladnoy D., Hahanova A. The development method for evaluating the saturation of video frame blocks to reduce the processing time of the video stream. *IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS)*: proceedings of Intern. Symp., (Yerevan, Armenia, October 14-17, 2016). Yerevan, 2016. P. 1-3.

20. Yudin O., Tverdokhle V., Boiko Yu., Ziubina R., Buchyk S., Beresina S. Data Compression Based on Coding Methods With a Controlled Level of Quality Loss. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019)*: proceedings of the International Conference. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv. 2019. P. 22-26. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030431.

21. Бараннік В.В., Бараннік Д.В., Твердохліб В.В. та інші. Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку, Н03М 7/30, Н03М 13/00. Пат. на корисну модель UA 144599 U України, № u 2020 0296, заявл. 18.05.2020, опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19/2020.

ABSTRACT

Tverdokhlib V.V. Method of increasing the productivity of telecommunication systems based on videographic intensity management. - Qualification scientific work as the manuscript.

The Thesis for PhD of Engineering Sciences degree in the specialty 05.12.02 "Telecommunication systems and networks". - National aviation university, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of an urgent scientific and applied problem, which consists in ensuring the quality of video services at the required level by reducing the time of video traffic delivery delays in the system for providing video services using wireless telecommunication networks.

The stages of creating a method for controlling the intensity of video frames at the level of encoding frame segments and their structural components are described, the basic features of which are that for each segment a code description is formed in the form of a set of independent code structures. This allows you to control the bit intensity of the video by changing the number of structural components of the code structure of the transformed frame segment. The method allows to reduce the redundancy of the video frame description by taking into account the structural features of the description of transformants at the level of bit representation.

The expediency of an approach based on the exclusion of a number of transformants of a video frame segment with subsequent interpolation to construct a method for controlling the intensity of a video stream with a controlled level of quality is substantiated.

A method is being developed to control the bit rate of video traffic on the basis of video frame slices subdiscretization, which ensures processing of the video stream in real time. Within the framework of the control method, operating modes are provided during which the bit intensity is changed and the error level is corrected during the control process.. Advantage of the developed method of video intensity control and the standardized methods of processing of shots is shown.

Scientific novelty of the received results.

Within dissertation work the main results which have scientific novelty are received:

1. The model of code description of transformants on the basis of detection of series of binary elements was further developed.
2. The method of coding video frames based on their transformation in spectral space has been improved.

3. For the first time a method of video traffic intensity management based on the use of coding technologies was developed.

4. Improved integrated technology for bit rate control of video traffic based on statistical and psychovisual redundancy.

The novelty of the obtained results is confirmed by the lack of developed methods in the existing standards of image coding and management of their information intensity.

Practical meaning of the received results.

Application of the developed method of video data intensity control provides:

1) achieving a balance between bit rate and quality of restored video images by: creating an additional opportunity to reduce bit rate by 25% while maintaining the original quality of video images;

2) the ability to change the real-time level of bit rate from 15% to 30% in terms of maintaining the reliability of information in the range from 35 dB to 25 dB, which meets the requirements of modern video services;

3) reduction of the time delay of video data delivery relative to standardized management methods by an average of 25%;

4) reduction of the jitter value by an average of 18% compared to existing methods;

5) reduction of packet loss by an average of 17% relative to existing methods of controlling the bit rate of the video stream based on encoding. In the case of implementation of the control method on the basis of the developed approaches, it is possible to control the intensity of the video in real time with the introduction of a controlled error.

Keywords: bit intensity, video stream, bit plane, block code, bit description of transformants, video frame slice.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	12
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ	22
1.1 Обґрунтування наявності дисбалансу між вимогами до якості відеосервісів та продуктивністю телекомунікаційних технологій	23
1.2 Дослідження впливу неузгодженості між динамікою змін інтенсивності відеопотоку та пропускною здатністю мережі на якість відеосервісу.....	37
1.3 Постановка завдання на дослідження	41
Висновки за першим розділом.....	43
РОЗДІЛ 2 МЕТОД КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМАНТ ВІДЕОКАДРІВ НА БАЗІ ОБРОБКИ БІТОВИХ ПЛОЩИН	45
2.1. Обґрунтування напрямку удосконалення технології обробки потоку кадрів для підвищення ефективності методів управління відеотрафіком в телекомунікаційних системах.....	46
2.2 Розробка кодового опису бітових площин трансформант відеокадру.....	55
2.3 Імплементация методу кодування бітових площин трансформант у технологію обробки відеозображень.....	72
Висновки за другим розділом.....	84
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ БІТОВОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ	86
3.1. Розробка концепції кодування трансформант та аналізу їх параметрів для підходу щодо контролю бітової швидкості відеопотоку	87

3.2 Обґрунтування підходів до побудови методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку	99
3.3 Створення технології субдіскретизації слайсу для управління бітовою інтенсивністю відеопотоку	115
Висновки за третім розділом.....	126
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ	128
4.1 Оцінка обчислювальної складності розробленої технології кодування бітового опису трансформант	129
4.2 Оцінка складності методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку та бази технології субдіскретизації слайсів	136
4.3 Проведення експериментального дослідження завантаження мережі при трансляції відеопотоку кільком одержувачам.....	144
Висновки за четвертим розділом.....	149
ВИСНОВКИ.....	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	173
Додаток Б Приклади відеокадрів із різним ступенем інформативності.....	178
Додаток В Акти реалізації науково-прикладних результатів досліджень.....	179

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- СКВ – середньоквадратичне відхилення
- ДКП – дискретне косинусне перетворення
- ЕМВВС – еталонна модель взаємодії відкритих систем
- ПВСШ - пікове відношення сигнал/шум
- ТКС - телекомунікаційні системи
- МК - методи кодування
- МРЕГ - сімейство технологій кодування відео
- JPEG - технологія кодування зображень

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. На сьогоднішній час розвиток суспільства здійснюється в умовах чітко вираженого впливу інформаційних та комунікаційних технологій. Це, у свою чергу, створює умови для підвищення рівня безпеки та добробуту населення, економічного зростання держави.

У таких умовах одна з ключових ролей належить відеосервісам, що зараз набули широкого застосування в усіх сферах діяльності людини. При цьому, передбачається як безпосередній збір, обробка та доставка відеоінформації, так подальший її аналіз. Отже, має місце як безпосереднє використання самих відеоданих, так і даних, отриманих у результаті застосування до них технологій інтелектуального аналізу та обробки. У свою чергу, це накладає відповідні вимоги щодо якості відеоданих, зокрема – забезпечення якості надання відеосервісів на потрібному рівні, яка характеризується такими показниками, як:

- величина затримки доставки пакетів;
- коефіцієнт втрат пакетів;
- джитер.

Одночасно з цим, виникає потреба у збільшенні роздільної здатності відеокадрів, що спричинено необхідністю забезпечення ефективного функціонування систем інтелектуальної обробки. Найбільшою мірою сьогодні це стосується таких застосувань телекомунікаційних та інформаційних технологій, як концепція Smart City. У рамках даної концепції передбачається використання як самостійних відеосервісів (інтерактивне відео, дані відео спостереження, відеозв'язок), так і відео сервісів, як компонентів інших сервісів та систем. У свою чергу, це веде до зростання інформаційної інтенсивності відеоданих у мережі. При цьому, сумарному зростанню інтенсивності відео сприяють також збільшення кількості самих

сервісів та розширення аудиторії їхніх користувачів. Сумарні інтенсивності відео потоків при цьому можуть сягати 10-100 Гбіт/с.

Разом з тим, трафік даних характеризується високою ступінню неоднорідності, як наслідок того, що у єдиному інформаційному потоці присутні:

- дані відкритого, шифрованого та маскованого типів;
- пакети даних, що належать сервісам, які суттєво різняться між собою показниками бітових інтенсивностей та довжиною;
- пакети, що відносяться до сервісів, які мають різні пріоритети в обслуговуванні.

У зазначених умовах використання технологій інтелектуальної обробки даних на мережевих та кінцевих вузлах спричинює збільшенню затримки доставки пакетів. Тобто, складаються умови, за яких можливе несвоєчасне надходження пакетів приймачеві, що, у свою чергу, веде до втрати частини з них з причин перевищення часу очікування пакетів даних та у наслідок переповнення буферів мережевих пристроїв. У підсумку це спричинює падіння якості реконструйованих відеоданих.

Таким чином, у ході надання відео сервісів на базі телекомунікаційних мереж існує протиріччя, що зумовлене:

1. З одного боку, збільшенням сумарної інтенсивності відеоданих на тлі зростанням вимог щодо якості відео сервісів, зокрема:

- росту інтенсивності окремих джерел відеоданих;
- збільшення кількості відео сервісів та розширення аудиторії їхніх користувачів.

- необхідності дотримання вимог якості сервісів щодо показників джитеру, коефіцієнту втрат пакетів та часової затримки доставки.

2. З іншого боку, обмеженістю продуктивності ТКС, що що, у свою чергу, зумовлюється:

- обмеженістю темпів росту пропускної здатності мереж;

- неузгодженістю динаміки інтенсивності відеотрафіку та пропускної здатності мережі;
- обмеженістю продуктивності мережевого обладнання.

Відповідно, у таких умовах, зниження часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж є **актуальним науковим завданням**.

Один із напрямків рішення сформульованої наукової задачі полягає у локалізації дисбалансу інтенсивності відео та динаміки зміни пропускної здатності мережі. Це забезпечується використанням методів управління інтенсивністю відеотрафіку на рівні представлення.

Існуючі сьогодні стандартизовані методи управління інтенсивністю відео побудовано у базисі MPEG, та базуються на використанні механізмів квантування та зміни формату колірною представлення відеокадрів, тим самим скорочуючи психовізуальну надмірність їх опису. При цьому, у ході управління інтенсивністю відеоданих здійснюється зміна відповідних параметрів кодування відео, що, у свою чергу, забезпечує зміну бітової інтенсивності. Зазвичай обробка відеоданих у рамках означених методів здійснюється на рівні кадру або групи кадрів та макроблоку.

Окремо існують підходи, що передбачають наявність на боці передавача певної множини джерел відеоданих різної роздільної здатності, та, відповідно, інтенсивності, з можливістю динамічної зміни джерела у випадку зміни пропускної здатності мережі.

У той же час, стандартизовані методи управління, що базуються на зміні кроку квантування та формату колірної субдисретизації не є універсальними. Так, їхнє застосування є доцільним у межах певних діапазонів інтенсивності відео та просторової роздільної здатності кадрів. Разом з тим, управління інтенсивністю на рівні таких структурних одиниць відеопотоку, як кадр або група кадрів, та обмеженість кроку зміни інтенсивності нижче кількості біт, необхідних для опису макроблоку, веде до виникнення суттєвих помилок. Окрім цього, існує пряма залежність між

значенням внесеної похибки та величиною затримки, що виникає у процесі управління. У свою чергу, технології управління бітовою інтенсивністю відео, такі, як ABR, та подібні, потребують високих обчислювальних потужностей пристроїв відео фіксації для одночасного генерування ряду прошарків відеоданих, що різняться бітовими інтенсивностями.

Таким чином, існуючі технології управління інтенсивністю відеоданих не забезпечують узгодження параметрів відео потоку з динамікою змін пропускної здатності мережі з підтримкою якості відео сервісів на належному рівні.

З урахуванням зазначеного, **тематика дисертаційних досліджень**, що полягає в розробці методу підвищення продуктивності телекомунікаційних систем на основі управління інтенсивністю відеотрафіка, є **актуальною**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика дисертаційної роботи та одержані результати безпосередньо пов'язані з Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 03.07.2020 № 75/98-ВР; Постановою Кабінету Міністрів України "Концепція розвитку зв'язку України" від 09.12.1999 р. №2238; положення «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» (затверджено Кабінетом Міністрів України від 15 травня 2013 р.); “Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2018-2022 роки” (постанова Кабінету Міністрів України від 05 вересня 2018 р., №629; планами наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки, у рамках яких була виконана НДР «Технології створення інтегрованих інформаційних систем на основі мереж цифрового мобільного зв'язку» (№ 0113U000360), в якій автор дисертації був виконавцем.

Мета і завдання досліджень. Мета дисертаційної роботи полягає у створенні методу контролю бітової інтенсивності відеопотоку для

підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням телекомунікаційних систем.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтувати напрямок удосконалення технології обробки потоку кадрів на кінцевих вузлах телекомунікаційної системи для підвищення ефективності методів управління відеотрафіком.

2. Розробити метод кодування відеокадрів, який буде створювати умови для здійснення управління їх бітової інтенсивністю.

3. Розробити метод управління бітовою інтенсивністю відеокадрів для забезпечення узгодження динаміки змін відеотрафіку з пропускною здатністю телекомунікаційних систем.

4. Виконати аналіз ефективності розробленого методу, а також провести порівняльну оцінку його ефективності щодо відомих методів.

Об'єкт дослідження. Процеси обробки відеопотоку для підвищення якості надання відеоінформаційних послуг у телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження. Методи управління інтенсивністю відеопотоку з використанням технологій кодування для підвищення ефективності надання відеосервісів.

Методи дослідження. Обґрунтування напряму підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж здійснювалося на основі системного підходу, базуючись на теоретичному апараті дослідження складних систем.

Розробка методу управління бітовою інтенсивністю на базі використання технологій обробки і передачі відеотрафіку проводилася з використанням положень теорії інформації та кодування, методів цифрової обробки потоку кадрів.

Дослідження властивостей трансформованих сегментів слайсів відеокадрів здійснювалося на базі методів структурно-спектрального та статистичного аналізу, методів експертних оцінок. Оцінка адекватності

теоретичних і практичних результатів проводилася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів досліджень полягає в наступному:

1. Отримала подальший розвиток модель кодового опису трансформанти на базі виявлення серій бінарних елементів. Відмінності полягають у динамічному формуванні кодового простору для бітових площин в умовах виявлення структурних характеристик. Це дозволяє одночасно ураховувати структурні закономірності як на рівні їх бітового опису, так і на рівні структурного представлення серій бінарних елементів, створити умови для динамічного контролю бітової інтенсивності відеотрафіку.

2. Удосконалено метод кодування відеокадрів на основі їх трансформування у спектральному просторі. Відмінності методу полягають у тому, що у ході кодування формуються інтегровані кодові конструкції для окремих бітових площин з можливістю адаптивної побудови систем основ кодового простору для рівня їх структурного метааналізу. Це створює умови для побудови технології контролю бітової інтенсивності відеотрафіку в інфокомунікаційних системах на рівні кодування джерела інформації.

3. Вперше розроблено метод управління інтенсивністю відеотрафіку на основі використання технологій кодування. Відмінність методу полягає у тому, що контроль бітової інтенсивності досягається на базі технології субдискретизації слайсів відеокадрів з врахуванням наявності їх інтерполяції. Це дозволяє забезпечити контроль бітової інтенсивності відеотрафіку в умовах локалізації втрат його якості.

4. Удосконалено комплексну технологію управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку на базі урахування статистичної та психовізуальної надмірності. Відмінності методу полягають у тому, що водночас застосовуються механізми управління відеотрафіком на рівні окремих блоків шляхом квантування їх спектрального представлення, та на рівні слайсів шляхом їх субдискретизації з наступною інтерполяцією.

Означені напрямки є взаємоузгодженими, що дозволяє підвищити ефективність управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених методів у існуючих стандартах кодування зображень та управління їх інформаційною інтенсивністю.

Практичне значення отриманих результатів отриманих результатів полягає в тому, що застосування розробленого методу управління інтенсивністю відеоданих забезпечує:

1) досягнення балансу щодо величини інтенсивності відеотрафіку та якості реконструйованих відеоданих шляхом створення додаткової можливості зменшення бітової інтенсивності на 17 % зі збереженням якості відеозображень на початковому рівні;

2) можливість змін рівня бітової інтенсивності відео у реальному часі у діапазоні від 5 % до 30 % зі збереженням достовірності відновлених відеоданих у межах від 25 дБ до 35 дБ, що відповідає вимогам надання сучасних відеосерісів;

3) зменшення часу затримки доставки пакетів відеоданих у середньому на 25% щодо існуючих методів управління на основі кодування;

4) скорочення величини джиттеру у середньому на 18 % щодо стандартизованих методів;

5) зменшення коефіцієнту втрат пакетів в середньому на 17% у порівнянні з існуючими методами управління на основі кодування.

У разі реалізації методу управління на базі розроблених підходів забезпечується можливість управління інтенсивності відео у реальному часі з внесенням контрольованої похибки.

Практична значущість отриманих результатів дисертації підтверджується:

1) їх застосуванням при виконанні дослідно-конструкторських робіт у державному науково-дослідному інституті МВС України (акт реалізації від 02.02.2020 р.);

2) їх використанням у освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки (акт реалізації від 16.10.2020 р.).

Особистий вклад автора. Всі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: в працях [8, 17, 78] проводиться аналіз проблематики передавання відеопотоку в умовах динамічної зміни параметрів пропускної здатності мережі; в працях [10, 101] обґрунтовується доцільність підходу до кодування відеокадрів на рівні бітового опису трансформант; в працях [9, 99, 145] розробляється метод управління бітовою інтенсивністю на базі реструктуризації трансформант відеокадру з забезпеченням контролю якості відеоданих на прийомному боці; в працях [11, 15, 16, 18, 79, 80, 98, 143] розробляється методологічна база для створення комплексного методу управління інтенсивністю відеопотоку; в праці [7] розробляється метод оцінки бітової інтенсивності у процесі кодування макроблока; в працях [102, 105] розробляється метод кодування сегментів відеокадрів у рамках технології управління бітовою інтенсивністю відео; в праці [16, 144] розробляється комплексний метод управління інтенсивністю відео потоку.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації докладалися і були схвалені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах: The International Scientific Conference ITSEC' 2014, (Kyiv, Ukraine, May 20-23, 2014); XXII Міжнародній науково–практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я, MicroCAD’2014”, (Харків, 15-17 жовтня 2014 року); XV Міжнародній науковій конференції “Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ-2015)” (Одеса, 14-18 вересня 2015 р.); IV-й міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”, (Вінниця, 28-30 травня 2014 р.); науково-технічній конференції “Інформаційна безпека України” (Київ, 12-13 березня 2015 р.); 14-й Міжнародній науково-

практичній конференції IEEE East-West Design & Test Symposium, EWDT'2016", (Yerevan, Armenia, October 14 - 17, 2016); 14th International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2017", (Polyana, Svalyava, Ukraine, February 21-25, 2017); IEEE East-West Design & Test Symposium: 15th IEEE Intern. Symp., (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017); International Conference on Advanced Trends in Information Theory IEEE ATIT'2019,(Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано в 21 науковій праці, серед яких одна колективна монографія, 12 статей, зокрема, одна одноосібна, дві статті у закордонних фахових виданнях, що індексуються в міжнародній базі Scopus, та 10 статей опубліковано в журналах, які входять до міжнародних науко-метричних баз, один патент на корисну модель. Апробація результатів дисертації відображена у 8 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях серед яких до Scopus входять 3 праці.

РОЗДІЛ І

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Проводиться аналіз тенденцій розвитку телекомунікаційних систем. Розглядається проблематика ефективної передачі відеоданих в умовах постійного збільшення їх обсягів.

Доводиться, що ключовим чинником, що обмежує можливості щодо забезпечення якості надання мережевих сервісів, є дисбаланс між темпами зростання навантаження у мережі та можливостями існуючого технологічного базису.

Аналізуються існуючі технологічні підходи щодо забезпечення ефективної передачі відео кінцевим користувачам на рівні як кінцевих, так і мережевих вузлів. Показується, що в умовах зростання обсягів відеотрафіка у мережі такі підходи не забезпечують необхідного рівня якості реконструйованих відеоданих.

Обґрунтовується необхідність розробки методу узгодження інтенсивності відеотрафіка з пропускною здатністю мережі.

1.1. Обґрунтування наявності дисбалансу між вимогами до якості відеосервісів та продуктивністю телекомунікаційних технологій

Одним з основних факторів, що впливають на вектор розвитку сучасних технологій і визначають виникнення нових технологічних концепцій, є потреба користувачів у нових сервісах. Даний фактор є наслідком розвитку прикладного аспекту впроваджуваних інформаційних технологій, на основі яких будується безліч сфер діяльності особистості, соціуму і держави.

На сьогоднішній час одним з найбільш перспективних, наукоємних та затребуваних застосувань інфокомунікаційних систем є концепція Smart City (Розумне місто). Дана концепція об'єднує у собі множину технологічних рішень і пріоритетних інформаційних технологій, серед яких однією з ключових компонент є система збору, аналізу та передавання інформаційної складової. Концепція Smart City орієнтована на підвищення якості життя громадян шляхом збільшення ефективності обслуговування і задоволення існуючих потреб [123, 124].

Це, в свою чергу, забезпечується низкою пріоритетних напрямів (рис.1.1):

- підвищення безпеки громадян;
- зростання ефективності міських інженерних систем (зокрема, житлово-комунального господарства, енергопостачання, енергоспоживання, кліматичні системи) і транспортної системи;
- забезпечення контролю за станом навколишнього середовища;
- збільшення ефективності служб охорони здоров'я, громадського порядку і протидії надзвичайним ситуаціям;
- підвищення рівня доступності міських інформаційних сервісів;
- зростання рівня якості та доступності транспортних систем;
- впровадження механізмів «електронного самоврядування».



Рисунок 1.1. - Пріоритетні напрямки функціонування концепції Smart City

Реалізація концепції Smart City дозволяє знизити кількість правопорушень, підвищує ефективність функціонування служб, дозволяє збільшити зростання продуктивності використання міської інфраструктури. При цьому, функціонування концепції Smart City здійснюється на базі ряду технологічних компонент, що визначають її загальну структуру (рис.1.2) [124, 141]:

- система забезпечення інформаційної безпеки і захисту інформаційних ресурсів
- системи управління і прийняття рішень, контролю їх реалізації;
- інформаційно-телекомунікаційні системи і технології обміну і доставки інформації;
- системи інформування та сповіщення;
- інформаційно-технологічні комплекси обробки, зберігання та аналізу інформації;
- система надання інформаційних сервісів;
- комплексна система організації інформаційного забезпечення (відео, фото, аудіо, датчики збору даних екологічного оцінювання).

У свою чергу, функціонування перелічених технологічних компонент забезпечується на базі:

- технологій бездротової передачі даних в телекомунікаційних мережах (3G, 4G, 5G, WiFi, WiMax);
- методів кодування та цифрової обробки інформаційних ресурсів;
- систем фотофіксації та відеоспостереження;
- технологій кібербезпеки та захисту інформації;
- технологій інтелектуального аналізу даних [26, 27, 35];
- систем штучного інтелекту;
- інтернету речей;
- технологій навігації;
- технологій зберігання та реєстрації великих інформаційних ресурсів;
- технологій комп'ютерного зору.



Рисунок 1.2. - Структурно-функціональна схема базових інформаційно-технологічних компонентів концепції Smart City

Дані структурні компоненти є джерелами трафіку та забезпечують функціонування сервісів у системі Smart City. У загальному випадку, в єдиному інформаційному просторі Smart City присутній трафік відеоінформації, аудіо, передачі даних, а також трафік технологічних систем.

У свою чергу, трафік відеоданих, як показано рис.1.3, формується множиною джерел [51, 52], що відносяться до таких сервісів, як:

- сервіси відеоконференцій;
- відеозв'язок;
- відеоспостереження;
- відео за запитом (VoD);
- комп'ютерний зір;
- телебачення високої чіткості (UHD TV).

При цьому, кожне з таких джерел характеризується рядом основних параметрів, а саме [83, 89]:

- бітова інтенсивність R ;
- режим кодування (CBR і VBR);
- просторова роздільна здатність.

Роздільна здатність відеокадру, як видно з рис.1.3, в загальному випадку може істотно варіюватися. Отже, в єдиному інформаційному потоці відеоданих одночасно може бути присутнім трафік відео від формату SD, яким відповідають бітові інтенсивності порядку від 0,1 до 1 Мбіт/с до UHD форматів - 4K, 8K, 16K і вище, інтенсивність яких може складати від 10-15 до сотень Мбіт/с. Крім цього, у структурі відеотрафіка поряд з відкритими відеоданими можуть транслюватися потоки маскованих і шифрованих даних [93, 94].

До даних маскованих і шифрованого типів може відноситися безпосередньо як сам відеоряд, так і технологічні дані джерел, а також команди управління. Крім цього, сюди відносяться результати інтелектуальної обробки відеоданих, а саме:

- семантичний пошук та аналіз даних за фрагментами відеоряду [108];

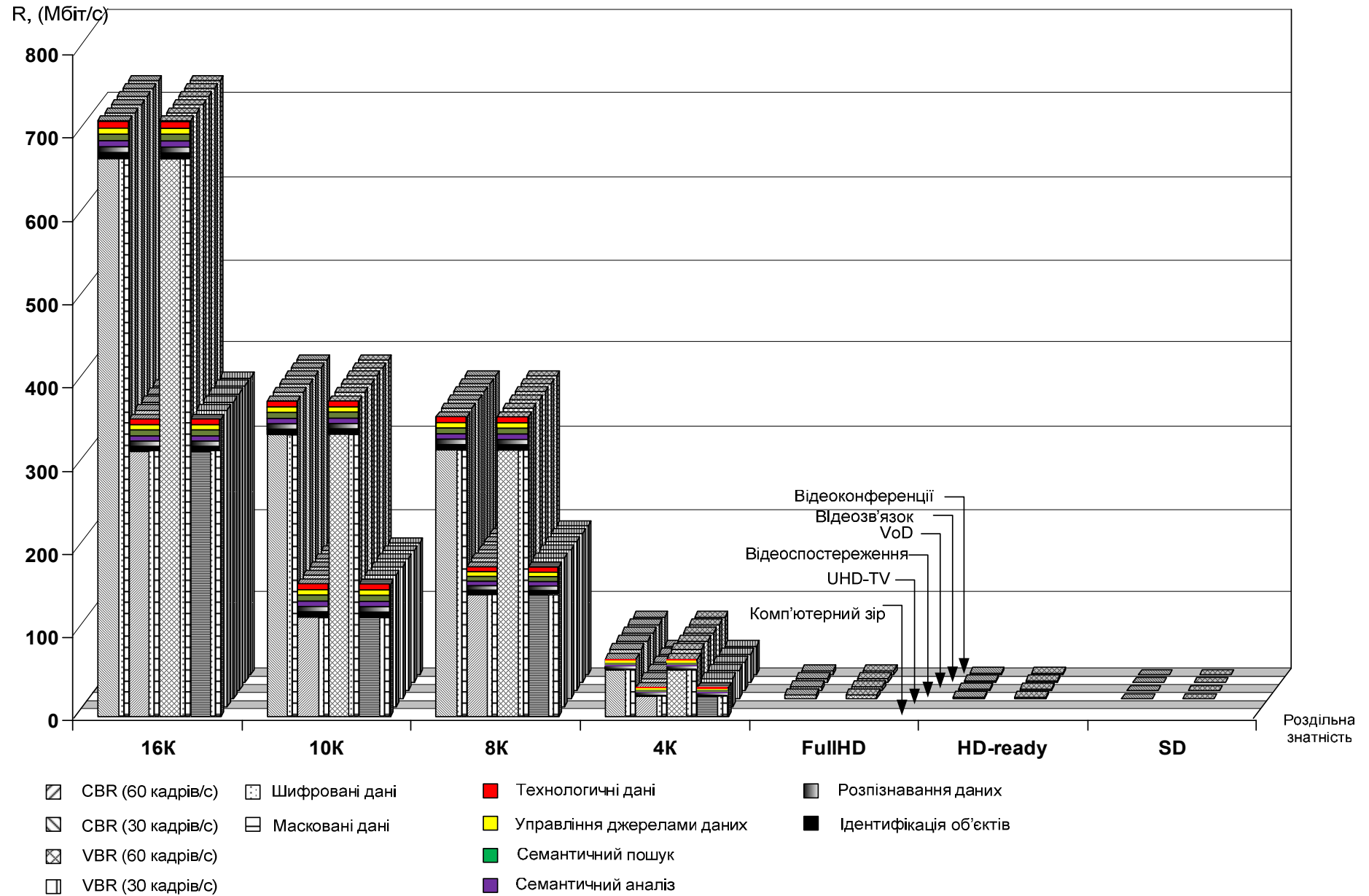


Рисунок 1.3. - Загальна діаграма інформаційного потоку відеосервісів в рамках концепції Smart City

- розпізнавання даних;
- ідентифікація об'єктів в рамках фіксованих відеосцен.

Одночасно з передачею відео, ряд сервісів також здійснює трансляцію аудіо. Наприклад, це такі сервіси, як UHD TV, VoD, сервіси відеоконференцій і відеозв'язку.

При цьому, поряд з аудіоданими, що відносяться до сервісів передачі відео, в структурі інформаційних потоків концепції SmartCity присутній трафік самостійних аудіосервісів, таких, як:

- інтернет- телефонія VoIP;
- аудіо за запитом (AoD);
- голосова пошта;
- інтернет-радіо.

Для трафіку аудіо, як і в разі відеосервісів, характерним є наявність CBR і VBR кодування, присутність потоків даних різних інтенсивностей. При цьому, бітова інтенсивність потоків аудіо даних у загальному випадку варіюється від 32 Кбіт/с до 256-320 Кбіт/с. До того ж, як і у випадку відеотрафіку, аудіо дані містять сегменти маскованої і шифрованої інформації. Підлягають маскуванню та шифруванню як самі звукові дані, так і дані службового типу (технологічні дані сервісів і джерел даних, команди управління) [111, 113]. Також підлягають закриттю результати інтелектуальної обробки аудіо, отримані шляхом застосування технологій семантичного аналізу і семантичного пошуку. Це характерно також для трафіку даних. У свою чергу, трафік даних формується кількома класами сервісів, наприклад, такими, як:

- інформаційні послуги;
- сервіси обміну файлами;
- соціальні медіа;
- веб-серфінг;
- E-Mail;
- сервіси розваг.

Даним класам сервісів відповідають різні рівні пріоритетності обслуговування, що, в свою чергу, впливає на необхідну величину смуги пропускання для кожного з них [60, 62, 66]. У загальному випадку, трафік передачі даних може займати усю доступну смугу пропускання мережі. Тобто, доступний діапазон бітових інтенсивностей трафіку даних може складати від десятків Кбіт/с до сотень Мбіт/с.

Одночасно з наявністю декількох рівнів пріоритетності, у рамках трафіку даних, як і у випадку аудіо та відео трафіку, може бути присутнім певний сегмент закритих даних [72, 81]. Тут закриттю від несанкціонованого доступу підлягають [94]:

- інформативна частина ряду сервісів і джерел;
- дані службового характеру і керуючого типу;
- результати інтелектуальної обробки даних [117, 120, 133, 135].

У результаті потік закритої інформації, попередньо отриманої шляхом інтелектуальної обробки даних, крім результатів семантичного пошуку та семантичного аналізу, як у випадку трафіку інших типів, містить в собі результати:

- виявлення прихованих інформаційних впливів;
- корекції даних службової та інформативної складової трафіку;
- класифікації даних;
- виявлення кіберзагроз.

Зазначені дані закритого типу, які є результатами інтелектуальної обробки, є також складовими трафіку технологічних систем. У рамках концепції Smart City джерелами трафіку даного типу є множини датчиків і сенсорних пристроїв, що входять до складу таких технологічних систем, як:

- системи газового контролю (контролю рівня ГДК хімічних речовин в атмосфері);
- системи термоконтролю;
- системи радіологічного контролю;
- системи енергоконтролю і контролю позиціонування механізмів.

При цьому, складовими трафіку даного типу є головним чином команди управління і опитування пристроїв, а також дані відгуків на отримані запити. Залежно від ступеня критичності технологічних систем, пакетам даних, що породжуються кожною з них, можуть присвоюватися як найвищі пріоритети (критичні, або інтерактивні дані), так і пріоритети нижчих порядків (наприклад, Scavenger Class). Отже, в єдиному потоці даних можуть транслюватися пакети з різними рівнями пріоритетності, представлені даними як відкритого, так і закритого типів [8, 60, 61, 64, 73, 74, 84, 138, 139].

З урахуванням викладених даних, узагальнена діаграма інформаційних потоків концепції Smart City приведена рис.1.4.

Аналіз рис. 1.3-1.4 показує, що:

- структура інформаційних потоків Smart City характеризується високим ступенем складності і багатошаровості;
- діапазон бітових інтенсивностей трафіку як у рамках одного типу сервісу, так і відносно сервісів різних типів, може варіюватися від 10-100 Кбіт/с до 1 Гбіт/с;
- трафік практично всіх типів підлягає обробці із застосуванням технологій інтелектуального аналізу даних;
- найбільша затребуваність и значімість припадає на відеоінформаційні ресурси.

У свою чергу, функції інтелектуальної обробки даних у рамках систем відеоспостереження реалізовані на базі технологій сімейств Face Detection і LPR (License Plate Recognition).

Відповідно до існуючих вимог [22, 33], ці системи повинні забезпечувати можливість успішного розпізнавання на рівні не менше 92% для дозвільних здатностей як 4К, так і 2К.

Одночасно з тим, забезпечення показника успішного розпізнавання на необхідному рівні для даних роздільних здатностей не може бути гарантовано [2-4, 28, 32, 65, 89, 118].

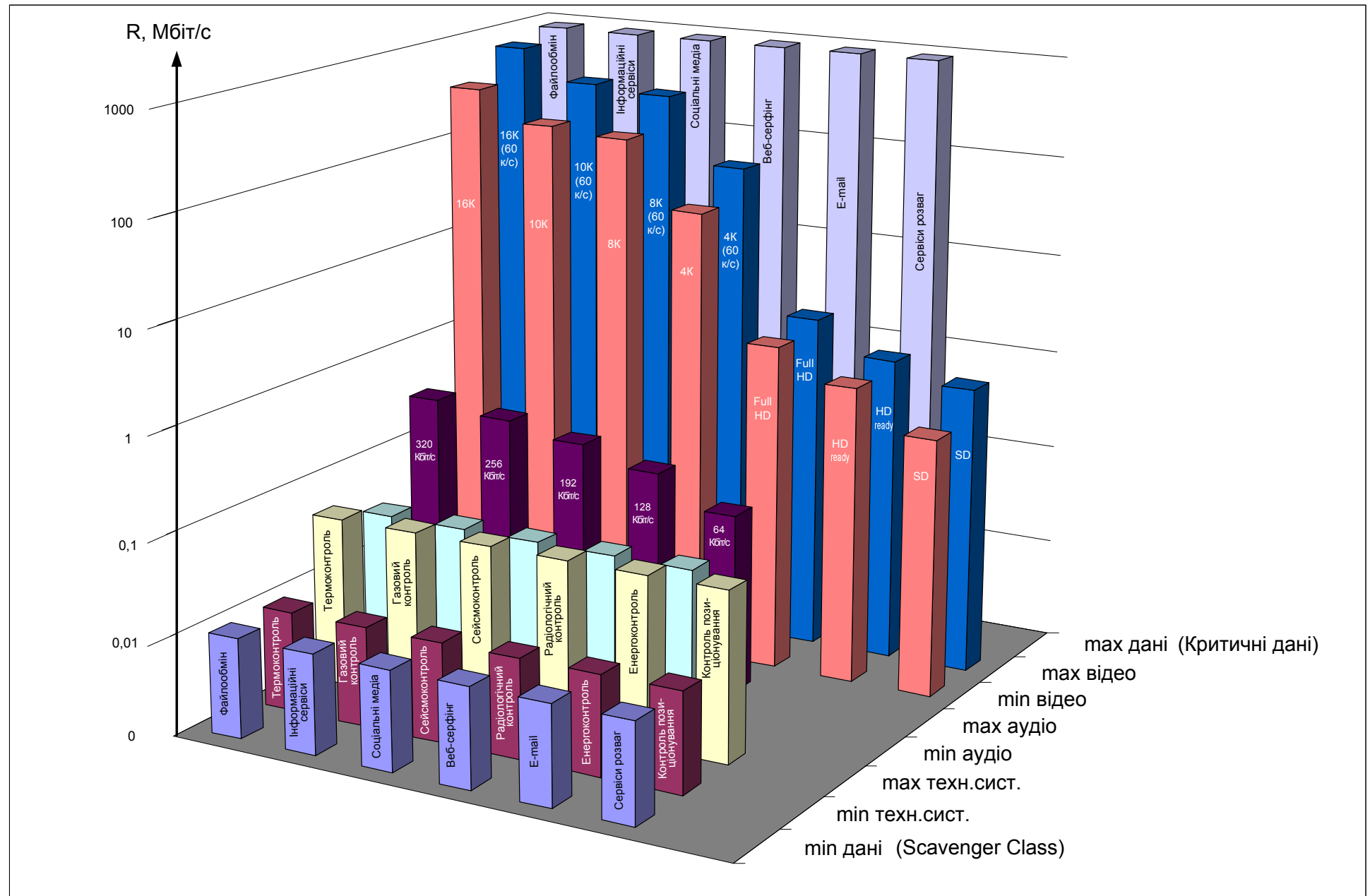


Рисунок 1.4. - Узагальнена діаграма інформаційних потоків концепції Smart City

Це є наслідком того, що роздільні здатності 2К і 4К не забезпечують такого рівня деталізації кадру, при якому у подальшому можлива його ефективна обробка. Іншими словами, не забезпечуються вимоги щодо якості відеоданих, вимоги щодо яких наведені таблицею 1.1 [22, 33, 62].

Отже, необхідно збільшити ступінь деталізації знімків. Це може бути досягнуто підвищенням роздільної здатності пристроїв фіксації до 8192×8192 (8К), 10240×5760 (10К), 11520×6480 (12К) пікселів.

У свою чергу, зростання роздільної здатності дозволяє істотно розширити зону охоплення камери, а також забезпечити можливість успішного розпізнавання об'єктів інтересу на необхідному рівні.

Таблиця 1.1. –

Рекомендації QoS до величин основних параметрів сервісів

Тип сервісу	Коефіцієнт втрат пакетів k_{loss}	Джитер g	Затримка доставки пакетів Δt
Інтерактивне відео	<1%	<30 мсек	<150 мсек
Потокове відео	<2%	-	4-5 сек
Голосовий зв'язок VoIP	<0,25%	<10 мсек	<150 мсек
Файлообмін та електронний документообіг	Залежить від категорії додатка		
Веб-серфінг	Залежить від категорії додатка		
Команди управління	→ min	→ min	→ min
Службові дані, опит стану	→ min	→ min	→ min

Разом з тим, збільшення роздільної здатності кадру сприяє суттєвому зростанню бітових інтенсивностей відеопотоків у мережі. У таких умовах більшість існуючих технологій передачі даних не забезпечують необхідної величини B_w смуги пропускання (рис. 1.5) [82].

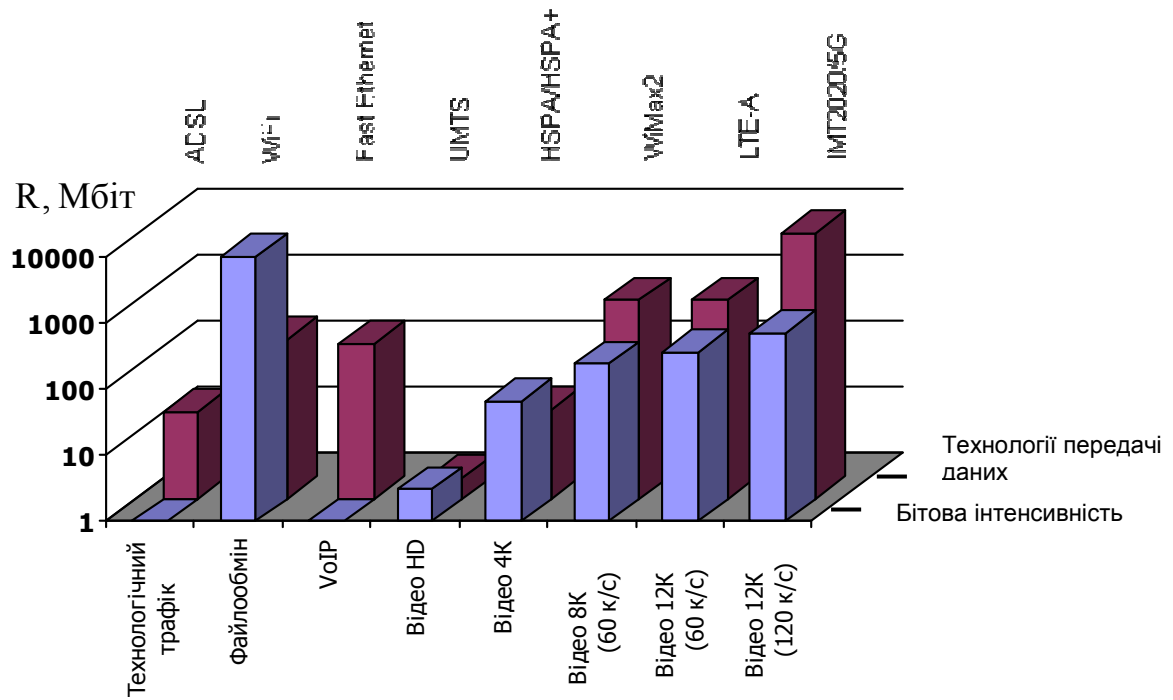


Рисунок 1.5. - Порівняння значень бітової інтенсивності трафіку різних сервісів та базових значень ширини смуги пропускання, що забезпечуються технологіями передачі даних

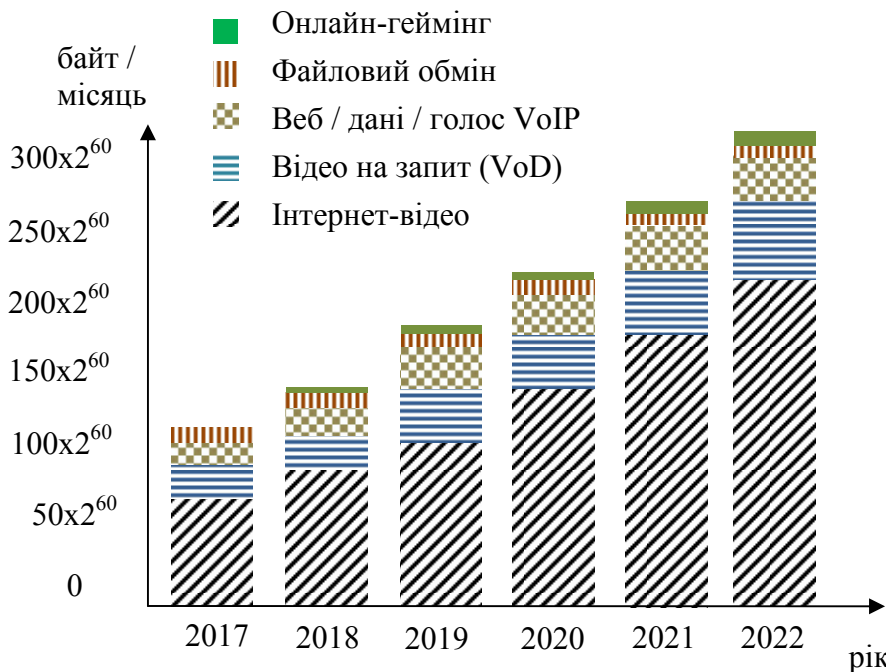


Рисунок 1.6. - Прогноз зростання об'єму глобального відеотрафіку на 2022 рік згідно Cisco VNI Forecast

Водночас, у загальносвітовому масштабі спостерігається постійна тенденція росту обсягів відеоданих у мережі, як ілюструє рис. 1.6 [121]. Аналіз рис.1.5 та 1.6 свідчить про те, що темпи зростання бітових інтенсивностей даних, що надсилаються мережею, перевищують швидкість збільшення пропускної здатності мережі.

За даними Cisco VNI Forecast, за останні 5 років середня пропускна здатність зростає з 26 до 52 Мбіт/с у мобільних мережах та з 39 до 75,4 Мбіт/с у мережах фіксованого доступу.

Разом з тим, понад 82% усього трафіку складає відео, обсяг якого у загальносвітовому масштабі до 2022 року прогнозується на рівні 325 ексабайт на місяць. Тобто, інтенсивність відео зростає майже трикратно, як наслідок розширення роздільної здатності кадру та збільшення кількості відео сервісів та розширення аудиторії їх користувачів.

При цьому, у ході передавання відеотрафіку, як і інших типів трафіку у мережі, застосовуються технології інтелектуальної обробки.

Це, у свою чергу, у зазначених умовах веде до істотного зростання затримки Δt доставки пакетів.

Відповідно, якість реконструйованих відеоданих знижується у наслідок несвоєчасної доставки пакетів відеотрафіку і зростає показник k_{loss} їх втрат.

Отже, одним з ключовими факторів порушення якості надаваних сервісів, зазначених табл.1.1, є дисбаланс між вимогами якості відеосервісів та продуктивністю телекомунікаційних технологій (рис. 1.7).

Звідси **актуальною науково-прикладною задачею** є зниження часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж. Математично науково-прикладну задачу може бути сформувано у наступному вигляді:

$$Z \rightarrow Z_{\text{need}} \mid \Xi_{\Gamma} > \Xi_{\text{B}}, \quad (1.1)$$

де Z - рівень якості реконструйованих відеоданих;

Z_{need} - необхідний рівень якості реконструйованих відеоданих, що може бути описано у вигляді функціональної залежності від ряду показників, а саме:

$$Z_{need} = f(R; B_w; D; \Delta t; g; k_{loss}),$$

де R - бітова інтенсивність відеопотоку;

B_w - пропускна здатність мережі;

D - рівень помилки відновлених відеоданих;

g - значення джиттеру;

k_{loss} - коефіцієнт втрати пакетів;

Ξ_r і Ξ_B - темпи зростання об'ємів трафіку та пропускної здатності мережі відповідно.

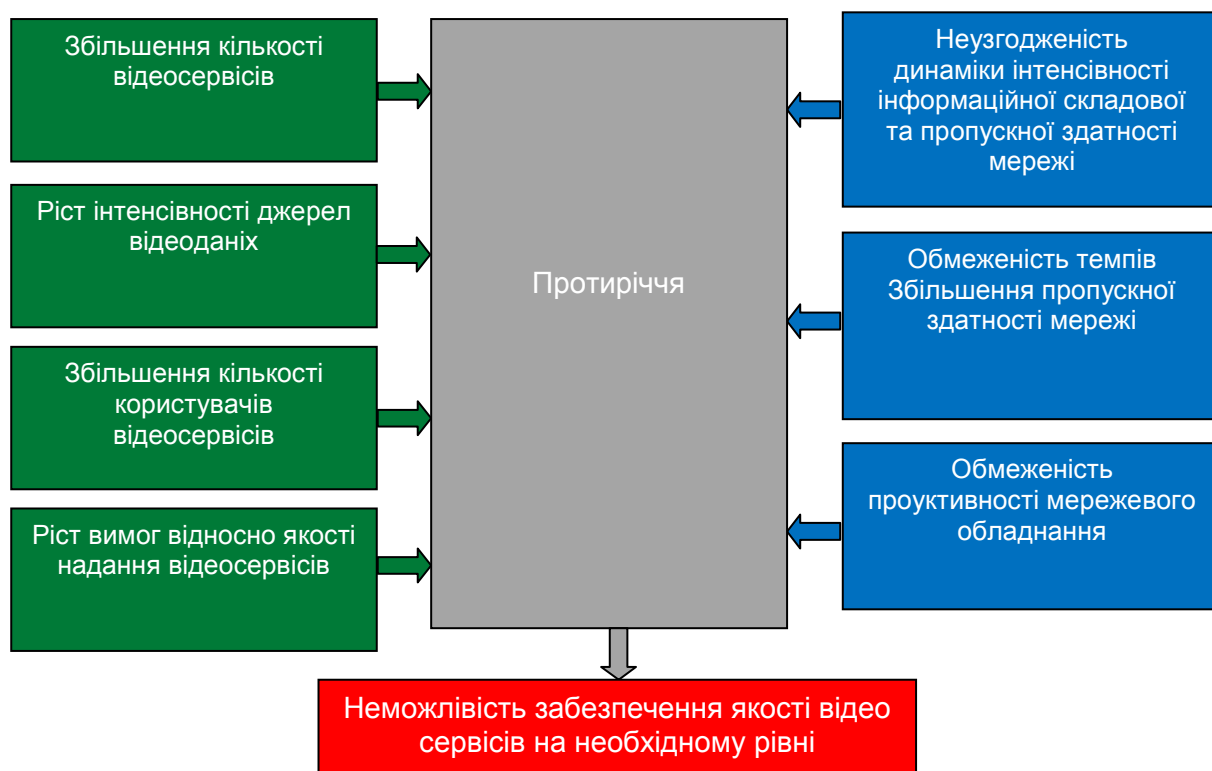


Рисунок 1.7. - Схема формування дисбалансу між вимогами до якості відеосервісів та характеристиками продуктивності телекомунікаційних технологій

За викладеним матеріалом можна зробити висновки про наступне:

- у загальносвітовому масштабі спостерігається стійка тенденція до зростання інтенсивності даних, що надсилаються мережею;
- понад 82% усього трафіку у мережі сьогодні складають дані відеосервісів;
- має місце як постійне зростання відсотку мережевого відеотрафіку, так і збільшення бітових інтенсивностей відео потоків, темпи якого випереджають темпи росту продуктивності телекомунікаційних технологій, що у підсумку веде до зменшення якості відео сервісів;
- ускладнення трафіку, збільшення відсотку відеоданих у мережі та застосування технологій інтелектуальної обробки спричинює зростання часової затримки доставки пакетів відеотрафіку та росту показника їх втрат;
- одним з критичних чинників дисбалансу між вимогами до якості відеосервісів та продуктивністю телекомунікаційних технологій є неузгодженість динаміки інтенсивності інформаційної складової та пропускної здатності мережі.

1.2. Дослідження впливу неузгодженості між динамікою змін інтенсивності відеопотоку та пропускною здатністю мережі на якість відеосервісу

Одним з ключовими чинників дисбалансу між вимогами якості відеосервісів та продуктивністю телекомунікаційних технологій є неузгодженість між динамікою змін інтенсивності інформаційної складової та пропускною здатністю мережі [7, 140].

Для оцінки впливу неузгодженості було виконано експериментальне дослідження, у ході якого протягом 60 хвилин здійснювалася трансляція відеопотоку 15 абонентам [80]. При цьому, характер змін інтенсивності

відеоданих, а також динаміка пропускної здатності мережі були такими, як показано рис. 1.8.

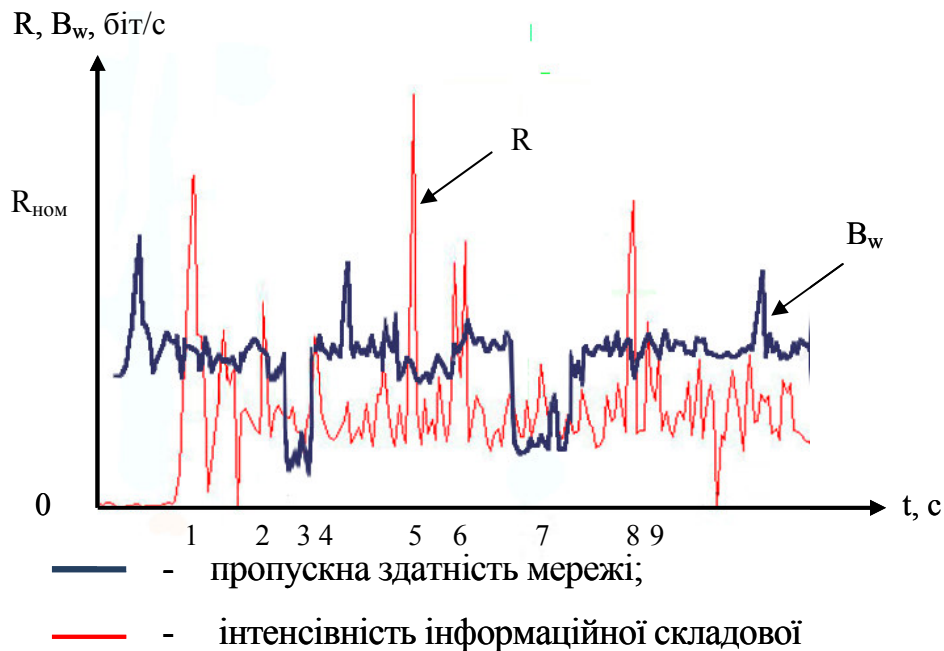


Рисунок 1.8. - Приклад неузгодженості між інтенсивністю інформаційної складової та динамікою пропускної здатності мережі

На рис. 1.8 відмічено моменти часу, протягом яких рівень бітової інтенсивності відео перевищував величину пропускної здатності мережі. При цьому, протягом часових проміжків 2, 4 та 9 спостерігалось часткове руйнування відео потоку, як наслідок зростання затримки пакетів, що у підсумку спричинило неможливість повної реконструкції відео зображення, як показано рис. 1.9 б).

У свою чергу, у моменти часу 1, 3, 5-8 реконструйовані відеокадри на боці приймача руйнуються повністю (рис. 1.9.в)) як наслідок довготривалої (понад 1 хв.) неузгодженості інтенсивності відео потоку та пропускної здатності мережі. Це викликало втрату значної кількості пакетів відеоданих, відповідно, тим самим унеможлививши реконструювання відеокадрів.

Приклади відновлення відеозображень у різних умовах дисбалансу між рівнями інформаційної інтенсивності відеотрафіку та середньою швидкістю передачі даних в телекомунікаційній мережі наведено на рис. 1.9.

В даному випадку кодування відеокадрів на стороні відправника організується в умовах збереження їх візуальної якості з забезпеченням відмітки «добре», величина пікового відношення сигнал/шум при цьому є на рівні не менш ніж 27 - 33 дБ в залежності від інформативності сегментів, які обробляються.

З аналізу отриманих відеознімків можна зробити висновки про наступне:

1) у випадку відсутності дисбалансу, тобто рівень поточний інформаційної інтенсивності кодованого відеопотоку не перевищує поточний рівень пропускної здатності мережі, якість візуальної оцінки відеозображення характеризується як «добре».

Помітні для візуальної оцінки артефакти відсутні, а дрібні деталі мають рівень опису, достатній для їх ідентифікування;

2) у випадку наявності дисбалансу в середньому на рівні 15 – 30 % виникають випадки переповнення буферних пристроїв на вузлах мережі. Це в режимі передачі даних в реальному часі (використовується протокол RTP) спричинить втрату якості візуальної оцінки. Для такого випадку проявляються:

- великі об'єкти відеокадру, такі як літак АН 26, можуть бути розпізнанні;

- втрати окремих слайсів та блоків відеокадру. Для таких сегментів інформація втрачається без можливості відновлення;

- спостерігаються артефакти у вигляді розмиття контурів на границях великих за розмірами об'єктів відеокадру;

- дрібні об'єкти, параметричні об'єкти, які характеризують стан дрібних деталей літака або руйнуються повністю, або реконструюються за такою роздрібною здатністю, що втрачається можливість їх ідентифікації та розпізнавання. Тобто усувається можливість для проведення аналізу відеоінформації.



Рисунок 1.9. - Руйнування відеокадрів у ході передавання відеотрафіку у наслідок: а) відеокадр у разі відсутності дисбалансу б) зростання часу затримки пакетів; в) збільшення відсотку втрачених пакетів

Отже візуальна якість відновлених на приймальній стороні відеокадрів характеризується на оцінку «не задовільно»

3) якщо величина дисбалансу перевищує рівень 30 %, то відбувається повне руйнування відеозображення. Інформація відеокадру не підлягає відновленню.

Тому можна вказати на таке:

1) існує пропорційна залежність між втратою пакетів на буферних пристроях вузлів мережі та якістю відеосервісу;

2) дисбаланс між рівнями інформаційної інтенсивності відеотрафіку та пропускною здатністю телекомунікаційної мережі суттєво впливає на кількісні характеристики втрати пакетів, затримку на доставку відеоінформації та втрату якості відновлених відеокадрів.

1.3. Постановка завдання на дослідження

Одним з підходів, спрямованостей на підвищення якості відео сервісів у мережі, є управління інтенсивністю на рівні мережевих вузлів у рамках системи QoS.

У свою чергу, QoS базується на наданні різним класам трафіку різних пріоритетів обслуговування та передбачає обробку черг пакетів. У цьому випадку порядок та черговість обробки кожного пакету у буфері мережевого комутаційного пристрою здійснюється з урахуванням його пріоритету.

Отже, необхідно узгодити бітову інтенсивність відео з динамікою пропускної здатності мережі. Для цього необхідно розробити метод управління, спрямований на узгодження інтенсивності потоку відеокадрів та величини пропускної спроможності мережі [78]. Звідси *метою дослідження* є створення методу контролю бітовою інтенсивністю відеопотоку для підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням телекомунікаційних систем.

Математично мета дослідження може бути подана наступний виразом:

$$\begin{cases} R \leq B_w; \\ Z \rightarrow Z(D; \Delta t; g; k_{\text{loss}})_{\text{need}}, \end{cases} \quad (1.2)$$

де R - бітова інтенсивність відеопотоку;

B_w - пропускна здатність мережі;

D - рівень помилки відновлених відеоданіх;

g - значення джитеру;

k_{loss} - коефіцієнт втрати пакетів.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтувати напрямок удосконалення технології обробки потоку кадрів на кінцевих вузлах ТКС для підвищення ефективності методів управління відеотрафіком.

2. Розробити метод кодування відеокадрів, який буде створювати умови для здійснення управління їх бітової інтенсивністю.

3. Розробити метод управління бітовою інтенсивністю відеокадрів для забезпечення узгодження динаміки змін відеотрафіку з пропускною здатністю телекомунікаційних систем.

4. Виконати аналіз ефективності розробленого методу, а також провести порівняльну оцінку його ефективності щодо відомих методів.

Висновки

1. Розглянуто існуючі тенденції розвитку інформаційно-комунікаційних систем на прикладі концепції Smart City, як найбільш наукоємної, масштабної та затребуваної їх реалізації. У результаті цього було виявлено, що ключовим елементом як Smart City, так і інформаційно-комунікаційних систем в цілому є інформаційна складова.

2. У загальносвітовому масштабі спостерігається стійка тенденція до зростання інтенсивності даних усіх типів, що надсилаються мережею, при цьому відеодані є домінуючим типом трафіку в мережі, якому зараз відповідає понад 82% усього мережевих даних. Разом з тим, спостерігається постійне стійке зростання інтенсивності відеопотоків у наслідок як збільшення числа відеосервісів, так і зростання інтенсивності відео на рівні окремого джерела.

3. Темпи росту бітових інтенсивностей відеопотоків та відсотку мережевого відеотрафіку випереджають темпи росту продуктивності телекомунікаційних технологій, що у підсумку веде до зменшення якості відео сервісів.

4. Ускладнення трафіку, збільшення відсотку відеоданих у мережі та застосування технологій інтелектуальної обробки спричинює суттєве зростання часової затримки доставки пакетів відеотрафіку та росту показника їх втрат.

5. Існує дисбаланс між інтенсивністю відеоданих у мережі, а також показниками продуктивності мережевого обладнання, що веде до зниження якості надання відеосервісів; у свою чергу, ключовою складовою такого дисбалансу є неузгодженість інтенсивності відео і динаміки змін пропускної здатності мережі. Одним з критичних чинників дисбалансу між вимогами до якості відеосервісів та продуктивністю телекомунікаційних технологій є неузгодженість динаміки інтенсивності інформаційної складової та пропускної здатності мережі.

Таким чином, необхідно узгодити бітову інтенсивність відео з динамікою пропускної здатності мережі. Для цього необхідно розробити метод управління, спрямований на узгодження інтенсивності потоку відеокадрів та величини пропускної здатності мережі

Результати досліджень, які викладено в першому розділі, опубліковано в наступних наукових працях [8; 10; 17; 78; 101].

РОЗДІЛ 2

МЕТОД КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМАНТ ВІДЕОКАДРІВ НА БАЗІ ОБРОБКИ БІТОВИХ ПЛОЩИН

Пропонується підхід, який сприяє скороченню надмірності бітового опису відеоданих на рівні трансформованих сегментів відеокадрів. У рамках запропонованого підходу передбачається урахування позицій та розмірів бінарних об'єктів, що виявляються у межах бітових площин трансформант. Даний підхід є базисом розробленого методу блочного кодування довжин бінарних елементів фрагментів відеокадрів у спектральному просторі.

Наводиться обґрунтування потенційної можливості блочного кодування забезпечувати скорочення бітового опису даних для найгірших умов, а саме – для випадку безпосереднього кодування бінарних послідовностей.

Розробляється метод кодування бітового опису трансформант дискретного косинусного перетворення. У рамках розроблюваного методу пропонується формування кодового опису трансформант на базі множини незалежних кодових конструкцій, кожна з яких відповідає окремій бітовій площині. За рахунок цього у загальному випадку кодовий опис трансформанти може бути отримано з використанням різної кількості кодових конструкцій бітових площин. Даний метод обробки створює умови для управління інтенсивністю відеотрафіку у реальному часі з контрольованою якістю реконструйованих відеокадрів.

2.1. Обґрунтування напрямку удосконалення технології обробки потоку кадрів для підвищення ефективності методів управління відеотрафіком в телекомунікаційних системах

В загальному випадку, QoS містить ряд механізмів управління, які реалізовано на відповідних рівнях моделі OSI у вигляді тих чи інших протоколів [33, 62], як показано табл. 2.1.

Таблиця 2.1 –

Механізми управління трафіком на різних рівнях моделі OSI

Рівень OSI	Механізми	Протоколи
Прикладний	Класифікація трафіку за рівнями обслуговування	SNMP
Представницький	Кодування даних, управління інтенсивністю	H.264, H.265, G.711,
Сеансовий	Управління з'єднаннями між локальними та віддаленими додатками	RTCP, SCP
Транспортний	Механізми формування трафіку та запобігання перевантажень	RED
Мережевий	Класифікація за ToS (Type of Service), управління перевантаженням, механізми обробки черг, резервування ресурсів, динамічна маршрутизація, управління буферами	OSFP, MPLS, RSVP, Traffic Engineering,
Канальний	Класифікація даних за CoS (Class of Service), управління перевантаженнями, механізми обробки черг, резервування ресурсів, управління буферами	MPLS, CSPF
Фізичний	Управління фізичними характеристиками середовища	

Даний підхід має ряд недоліків. По-перше, загальне навантаження на мережу при цьому залишається незмінним. По-друге, в умовах наявності великої кількості пакетів критичних сервісів у межах одного інформаційного потоку складаються умови, коли не оброблені за протягом певного часу пакети будуть втрачені, що, відповідно, приведе до аварійного функціонування сервісів, яким дані пакети належали. По-третє, коли сумарний R' рівень навантаження на мережевий вузол сягає деякого порогового значення R'_{th} , його загальна продуктивність P' суттєво знижується, як показано виразом:

$$R' \geq R'_{th} \rightarrow P' \downarrow$$

де R' - сумарний рівень навантаження на мережевий вузол;
 R'_{th} - величина порогового навантаження на мережевий вузол;
 P' - продуктивність мережевого вузла.

У зазначених умовах управління трафіком виключно засобами QoS стає неможливим та потребує застосування підходів, що спрямовані на зменшення кількості пакетів даних, що надходять до мережевих вузлів. Це пояснюється тим, що затримка Δt надсилання пакетів, що виникає на ділянці між джерелом та одержувачем, залежить також від часу обробки на мережевому вузлі, а саме:

$$\Delta t = \tau_{pf} + \tau_{nt} + \tau_{rs} + \tau_{np} + \tau_{ia},$$

де τ_{pf} - час формування пакетів на боці джерела, з урахуванням усіх стадій обробки на рівні джерела, у т.ч. буферізацію та каналне кодування; τ_{nt} - час проходження пакету у мережі;

τ_{rs} - затримка пакетів на прийомному боці з урахуванням часу буферізації та декодування даних;

τ_{np} - час обробки на мережевих вузлах;

τ_{ia} - час, що витрачається у ході інтелектуального аналізу даних.

У свою чергу, затримка $\tau_{np}^{(i)}$, що вноситься на мережевому вузлі, у загальному випадку може бути описана як:

$$\tau_{np}^{(i)} = \varphi(K_{perf}; R_{\Sigma}; R_{pack}; K_{dif}),$$

де K_{perf} - показник продуктивності комутаційного обладнання;

R_{Σ} - сумарна інтенсивність навантаження, надходячого на i -й мережевий вузол;

R_{pack} - середній розмір пакету, що надходить на i -й мережевий вузол;

K_{dif} - показник складності трафіку.

Звідси виходить, що для збільшення якості надання відеосервісів доцільним є підхід, що базується на кодуванні джерела даних.

У свою чергу, неузгодженість бітової інтенсивності відео та динаміки пропускної здатності мережі формуються впливом взаємно незалежних факторів [62, 39, 55, 56, 99]. Зокрема, залежність динаміки пропускної здатності B_w мережі від впливу сторонніх факторів может бути описана наступним виразом:

$$B_w = \varphi(\zeta_1; \zeta_2; \zeta_3; \zeta_4; \zeta_5; \zeta_6), \quad (2.1)$$

де ζ_1 - номінальна пропускна здатність мережі;

ζ_2 - коефіцієнт завантаженості мережі;

ζ_3 - фактор впливу завад;

ζ_4 - топологічні особливості мережі;

ζ_5 - показник інтенсивності трафіку залежно від часу доби;

ζ_6 - показник складності трафіку.

У свою черга, функціональна залежність, що у загальному випадку описує величину інтенсивності $R^{(i)}$ одного відеокадру потоку, є наступною:

$$R^{(i)} = f_{\text{rate}}(\omega_{i,1}; \omega_{i,2}; \omega_{i,3}; \omega_{i,4}; \omega_5; \omega_6), \quad (2.2)$$

де f_{rate} - функціонал, що визначає залежність між бітовою інтенсивністю кадру та факторами, які впливають на її величину;

$\omega_{i,1}; \omega_{i,2}; \omega_{i,3}$ - множини закономірностей, що описують статистичні, семантичні та психовізуальні особливості кадру;

$\omega_{i,4}$ - параметр, що визначає належність кадру до типів I, P, чи B;

ω_5 - множини технологічних концептів та архітектур, передбачених у кодеку;

$\omega_6 = \{\omega_{6,1}; \omega_{6,2}; \dots; \omega_{6,j}; \dots; \omega_{6,m}\}$ - множини керованих параметрів кодеку.

Методи кодування відео, які виключно спрямовані на зменшення рівня R_{Σ} сумарного навантаження, яке надходить до мережі, не забезпечують узгодження величин V_w та $R^{(i)}$. Відповідно, у таких умовах найбільш доцільним є застосування підходів до управління бітовою інтенсивністю відео на рівні джерела.

Одним з існуючих сьогодні підходів до управління бітової інтенсивністю відео на рівні джерела реалізований в рамках алгоритму управління інтенсивністю - SRC (scalable rate control - масштабований контроль швидкості) [137]. Даний алгоритм реалізований починаючи зі стандарту MPEG-4 Visual. Алгоритм заснований на управлінні кроком квантування з використанням передбачення складності кадру, що надходить на обробку і містить два підходи до управління інтенсивністю відеоданих:

- грубий механізм управління (без адаптації параметрів);
- точний механізм управління (з адаптацією параметрів).

У першому випадку алгоритм SRC орієнтується на забезпечення необхідного рівня бітової інтенсивності відеоданих після обробки певної

кількості кадрів (групи кадрів, починаючи з опорного). Тоді інтенсивність R відеоданих, що надходять з виходу кодера, може бути описана наступним виразом [137]:

$$R = \frac{\delta_1 \Lambda}{\ell} + \frac{\delta_2 \Lambda}{\ell^2}, \quad (2.3)$$

де δ_1 і δ_2 - відповідно, параметри моделі;

ℓ - значення кроку квантування;

Λ - параметр складності кадру, (величина середньої абсолютної різниці залишкового кадру після компенсації руху).

Алгоритм SRC застосовується на етапі обробки, наступному після етапу компенсації руху і передуючому обробці i -го кадру, при цьому включає у себе ряд технологічних етапів, а саме:

1) визначення величини необхідної інтенсивності R_i i -го кадру з урахуванням таких параметрів, як кількість кадрів, що утворюють групу; кількість біт для опису інших кадрів групи; найбільший доступний обсяг буфера; ступінь складності i -го кадру. Враховується, що зростання обсягу буфера веде до збільшення часу затримки між входом кодера і виходом декодера. Також у залежності від оцінки складності попереднього кадру робиться прогноз щодо складності наступного кадру. Тобто, якщо $(i-1)$ -й кадр визнаний складним, передбачається, що складним буде і i -й кадр, тому для опису i -го кадру потрібно задіяти відповідну кількість біт.

2) визначення значення кроку квантувача ℓ_i для i -го кадру. Для цього попередньо розраховується величина Λ повного залишкового кадру, після чого знаходиться величину ℓ_i .

3) кодування кадру.

4) уточнення параметрів δ_1 і δ_2 з урахуванням реально необхідної кількості біт для опису i -го кадру.

Алгоритм SRC орієнтований на забезпечення необхідної бітової інтенсивності групи кадрів. При цьому, у ході обробки поточний і-й кадр кодується повністю з одним параметром ℓ_i , тобто, даний параметр при цьому не змінюється. Як наслідок цього, з одного боку, досягається рівномірний візуальне представлення поточного кадру. З іншого боку це ж є причиною неефективної роботи алгоритму в разі, коли на передаючій стороні використовується буфер малого розміру, тобто з короткою затримкою.

На відміну від грубого механізму управління інтенсивністю, точний механізм (розширення алгоритму SRC) орієнтований на роботу з макроблоками [80, 81, 126, 137, 142]. Отже, у процесі обробки відеопотоку проводиться зміна величини ℓ на рівні макроблоків, чим забезпечується більш точний контроль інтенсивності відеоданих.

При цьому, у ході роботи алгоритму виконується визначення необхідного обсягу біт R_{mb} для кодування макроблоку, як показано наступним виразом:

$$R_{mb} = HW \left(K \frac{\chi_i^2}{q_i^2} + C \right),$$

де HW - кількість пікселів у межах поточного макроблоку;

χ_i - величина відмінності значень хроматичності і яскравості залишкового макроблоку, що виражається через середньоквадратичне відхилення даних параметрів;

ℓ_i - величина кроку квантування;

K і C - постійні параметри моделі.

У ході управління інтенсивністю значення ℓ_i розраховується за величинами K , C , R_{mb} і χ_i з урахуванням значення ваги ε_i поточного макроблоку. Тут параметр ε_i застосовується для позначення того, наскільки даний макроблок є істотним для суб'єктивного сприйняття зображення. Незначні величини ε_i відповідають макроблокам, які не створюють істотного

внеску при візуалізації. Для таких макроблоків вибираються значення кроку ℓ_i , що забезпечують їх квантування сильніше, ніж інших макроблоків. У свою чергу, величини ε_i вибираються з урахуванням мінімізації змін кроку квантування для низьких інтенсивностей, оскільки у разі кожної зміни ℓ_i відбувається збільшення службової інформації макроблоку на 5 біт. Для малих значень інтенсивності зростання кількості службових даних може виявитися істотним, отже, потрібно зменшити кількість змін ℓ_i . У той же час, це обмеження щодо числа змін величини кроку квантування не поширюється на випадки обробки відеоданих з високою інтенсивністю. Тобто, при високій інтенсивності відео допускається часта зміна параметра ℓ_i . Таким чином, за умови малого обсягу вихідного буфера кодера даний підхід до управління інтенсивністю дозволяє забезпечити:

- візуальну якість відео на прийнятному рівні;
- мінімізацію затримки кодування.

У той же час, аналіз принципів функціонування SRC показує, що даний алгоритм має ряд істотних обмежень, а саме:

- у разі механізму управління без адаптації параметрів, управління бітової інтенсивністю здійснюється тільки на рівні групи кадрів, при цьому єдині параметри кодування застосовуються до всіх кадрів групи. Отже, ряд кадрів групи може бути кодований з невиправдано високою якістю, в той час як при кодуванні інших кадрів можуть бути внесені істотні втрати якості;

- прийнятна якість відео, а також мінімальна величина затримки забезпечуються в разі їх обробки для режиму низьких інтенсивностей;

- наявність обмежень щодо роздільної здатності, часових інтервалів і діапазонів інтенсивностей, для яких може бути задіяний алгоритм SRC, не дозволяє розглядати його як універсальний засіб для управління інтенсивністю відеоданих.

На відміну від алгоритму SRC, орієнтованого на обробку єдиного відеопотоку, потокова передача з адаптивною інтенсивністю ABR (adaptive bit-

rate) використовує кодування вихідних відеоданих, у результаті якого генерується ряд окремих потоків [119]. Такі потоки відрізняються між собою роздільною здатністю кадру i , відповідно, бітової інтенсивністю, та у термінології, прийнятій у рамках ABR, іменуються прошарками. При цьому одному вихідному відеопотоку відповідає ряд прошарків, кожен з яких містить у собі набір коротких фрагментів відеоданих відповідної бітової інтенсивності, а також файл маніфесту. Даний файл містить метадані потоку для забезпечення коректної роботи алгоритму. Розмір фрагмента відео, як правило, становить від 2 до 10 секунд.

На початку потокової передачі приймач відеоданих завантажує файл маніфесту, в якому описані доступні сегменти потоку і відповідні їм значення бітових інтенсивностей. З початком трансляції відеоданих приймач відправляє запит на доставку фрагментів потоку з найменшою бітовою інтенсивністю відео. У той же час, якщо в ході трансляції пропускна здатність мережі буде перевищувати бітову інтенсивність завантаженого фрагмента, відправляється запит на доставку сегмента, якому відповідав би більш високий рівень бітової інтенсивності. Аналогічним чином відбувається запит фрагментів відео, яким відповідають нижчі рівні бітової інтенсивності.

Ключовою складовою технології ABR є керуючий алгоритм, який приймає рішення про те, фрагменти якого саме прошарку (i , відповідно, бітової інтенсивності) підлягають завантаженню, виходячи з поточного стану мережі. Існує ряд реалізацій керуючого алгоритму, а саме:

- алгоритми, що використовують пропускну здатність, досягнуту у недавніх попередніх завантаженнях;
- алгоритми на основі аналізу завантаження буфера клієнта (наприклад, BOLA);
- гібридні алгоритми, що поєднують обидва принципи функціонування (наприклад, DYNAMIC).

Технології ABR дозволяє забезпечити стійку трансляцію відеопотоку без відчутних затримок у ході передачі, викликаних взаємною зміною параметрів

інтенсивності відео та пропускої здатності мережі. У той же час, технологія має ряд недоліків, пов'язаних зі складністю її реалізації, а також тим, що у ході передачі не забезпечується контроль якості відеоданих. Це викликано тим, що:

- необхідно здійснювати кодування вихідних відеоданих з декількома роздільними здатностями одночасно в разі трансляції відео реального часу, що висуває відповідні вимоги до продуктивності апаратних платформ;

- у разі відеохостингу, необхідно зберігати кілька прошарків відеоданих для одного вихідного відеофайлу;

- не забезпечується гнучкий крок зміни бітової інтенсивності у ході управління, оскільки кількість шарів, що відповідають одному відеопотоку, обмежена;

- відсутні механізми контролю якості відеоданих;

- забезпечення стабільної трансляції відеопотока з мінімізацією затримки досягається найчастіше шляхом істотного зниження якості відеоданих за рахунок вибору фрагментів відповідного прошарку.

На основі викладеного матеріалу можна зробити такі висновки:

1. Підхід на базі управління відеотрафіком на рівні мережевих вузлів має такі недоліки, як:

- загальне навантаження на мережу у ході управління відеотрафіком на рівні мережевих вузлів залишається незмінним;

- за наявності великої кількості пакетів критичних сервісів у межах одного інформаційного потоку складаються умови, коли не оброблені за протягом певного часу пакети будуть втрачені, що веде до аварійного функціонування сервісів, яким дані пакети належали;

- в умовах, коли сумарний рівень навантаження на мережевий вузол сягає деякого порогового значення, його загальна продуктивність суттєво зменшується.

Відповідно, у таких умовах найбільш доцільним є застосування підходів до управління бітовою інтенсивністю відео на рівні джерела.

2. Стандартизованим методам управління бітовою інтенсивністю відео на рівні кодування джерела властиві недоліки, пов'язані з нераціональним розподілом бітової інтенсивності у межах відеопотоку та його окремих структурних одиниць, а також обмеженістю застосовуваності методів певними роздільними здатностями кадрів, часових інтервалів і діапазонів інтенсивностей відео.

3. Методи управління бітовою інтенсивністю, в основі яких лежить застосування одного джерела відеоданих, для якого генерується ряд окремих потоків відео з різною бітовою інтенсивністю, не гарантується якості реконструйованих відеоданих, та існує необхідність значних обчислювальних ресурсів та обсягу файлоосховища.

Отже, необхідно розробити метод кодування відеопотоку на рівні джерела для потенційної можливості його застосування у технології управління бітовою інтенсивністю без втрат якості.

2.2. Розробка технології кодового опису бітових площин трансформант відеокадру

Поширеним сьогодні методам кодування, що базуються на скороченні ймовірносно-статистичної надмірності, властивий ряд недоліків та обмежень. Серед них ключовим є обмеженість з позиції можливості подальшого збільшення коефіцієнта скорочення бітової інтенсивності без істотного зниження цілісності даних. У зв'язку з цим, пропонується дослідити можливість забезпечення збільшення коефіцієнту скорочення інтенсивності довжин бінарних елементів шляхом скорочення структурної та комбінаторної надмірностей [53, 55, 56, 100-102]. Для цього попередньо слід виявити закономірності в послідовності довжин серій, для чого необхідно розробити інформативну ознаку, що відповідає ряду вимог, як показано рис.2.1.

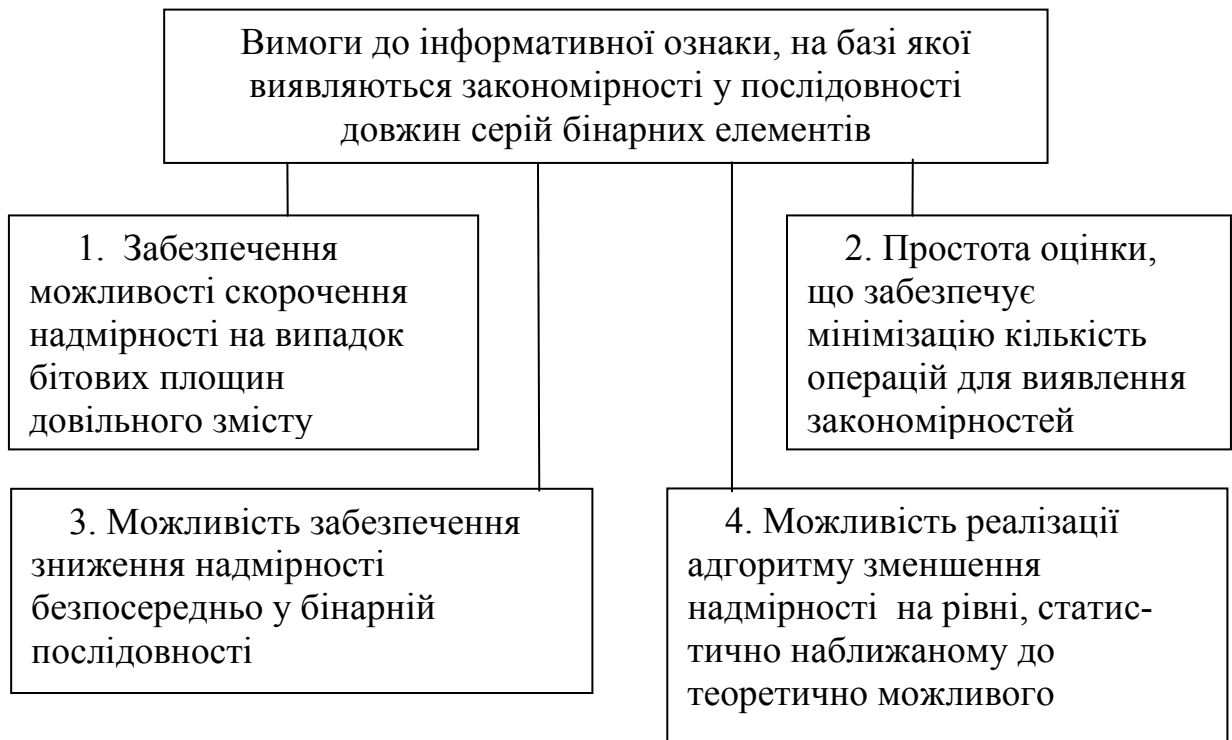


Рисунок 2.1. – Вимоги до інформативної ознаки, що використовується для виявлення закономірностей у послідовностях довжин серій бінарних елементів

Відповідно до першої вимоги, розглянемо бітовий опис трансформанти для найгірших умов. Оскільки ступінь зниження надмірності опису напряму залежить від кількості переходів між бінарними послідовностями та їх довжин, у загальному випадку, це відповідає умовам виявлення довжин бінарних елементів у напрямку двійкового коду компонент [96, 97]. При цьому оброблюються бінарні елементи компонентного опису трансформант $\{y_{m,n}^{(\mu)}\}$, де $\mu = \overline{v_{bp}, 1}$, $m = \overline{1, u}$, $n = \overline{1, v}$. У свою чергу, для такого випадку двійковий опис компонент $y(q)_{mn}$ трансформанти кадру може бути подано наступним виразом:

$$y(q)_{m,n} = \sum_{\mu=v_{bp}}^1 y_{m,n}^{(\mu)} 2^{\mu-1}, \quad (2.4)$$

де $y_{m,n}^{(\mu)}$ - μ -й бінарний елемент, що належить $(m;n)$ -й компоненті q -ї трансформанти, при цьому $(v_{bp} - 1) \geq \mu \geq 0$;

$2^{\mu-1}$ - ваговий коефіцієнт, що належить бінарному елементу $Y_{m,n}^{(\mu)}$;

v_{bp} - кількість розрядів для опису компоненти.

Результатом обробки послідовностей $\{Y_{m,n}^{(\mu)}\}$, починаючи з бінарного елемента, що відноситься до старшого розряду, тобто, $Y_{m,n}^{(v_{bp})}$, є формування довжин бінарних елементів $\{\lambda_{m,n}^{(1)}, \dots, \lambda_{m,n}^{(\theta)}, \dots, \lambda_{m,n}^{(\Theta)}\}$. Тут $\lambda_{m,n}^{(\theta)}$ - є θ -ю довжиною бінарних елементів у межах бінарного опису компоненти з координатами $(m;n)$ у трансформанті.

При цьому у випадку, коли елемент $Y_{m,n}^{(v_{bp})}$ надходить на обробку після серії бінарних елементів, що мають нульові значення, довжина кожного з яких рівна 1, тоді при $Y_{m,n}^{(q_{bp})}=1$ довжина серії $\lambda_{m,n}^{(1)}=1$, інакше $\lambda_{m,n}^{(1)} \geq 2$. З урахуванням цього зазначим, що надмірність буде скорочуватися в умовах, коли кодове значення $E_{m,n}$, отримане для $(m;n)$ -ї послідовності довжин бінарних елементів буде менш ніж $2^{v_{bp}}$, як показано рис.2.2.

Скорочення надмірності у даному випадку пояснюється тим, що відображення послідовності бінарних серій забезпечується з використанням меншої кількості розрядів порівняно з випадком опису вихідної компоненти [103-106, 149, 151, 153]. Також кодове значення E_{mn} є десятковою величиною та інтерпретується як машинне слово.

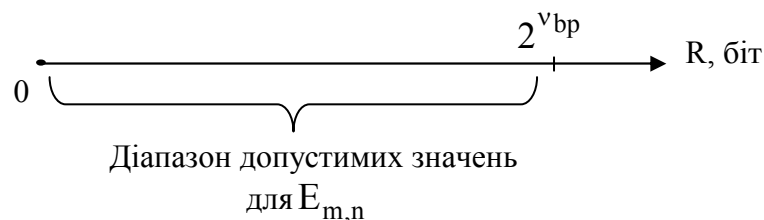


Рисунок 2.2. – Схематичне відображення умови скорочення надмірності кодового опису

На той випадок, коли серій бінарних елементів мають одиничні довжини, тобто, $\lambda_{m,n}^{(\theta)} = 1$, $\theta = \overline{1, \Theta}$, що відповідає вимозі 3, має місце рівність між кількістю переходів δ_{bt} між бінарними серіями і їхньою максимальною кількістю, тобто $\delta_{bt} = v_{bp}$. Звідси виходить, що рівними є також число серій і кількість розрядів для представлення компоненти, тобто $\Theta = v_{bp}$. На цей випадок послідовність $\{\lambda_{m,n}^{(1)}, \dots, \lambda_{m,n}^{(\theta)}, \dots, \lambda_{m,n}^{(\Theta)}\}$ відноситься до множини двійкових чисел. На базі них, у свою чергу, може бути описано величину $E_{m,n}$ як кодове число з основою 2, тобто, $E_{m,n} = \sum_{\theta=1}^{\Theta} \lambda_{m,n}^{(\theta)} 2^{\Theta-\theta}$, як показує рис. 2.3.

У даному випадку виконується нерівність $E_{m,n} > y(q)_{m,n}$, так як на випадок максимальної кількості бінарних переходів буде існувати дві підмножини елементів - $\{y_{m,n}^{(\mu)}(0)\}$ - сформована нулями, та $\{y_{m,n}^{(\mu)}(1)\}$, яка містить у собі одиничні елементи.

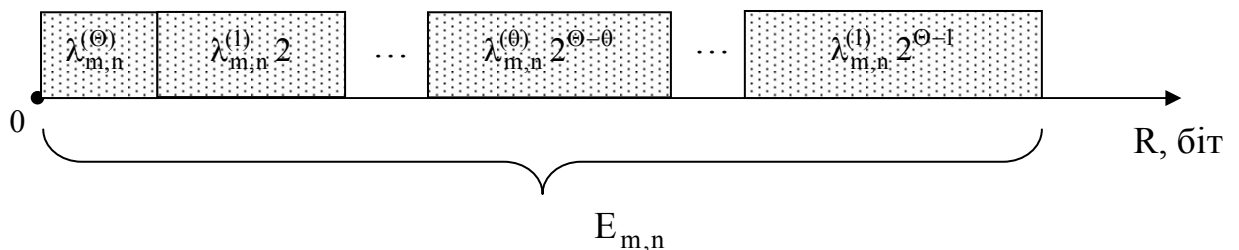


Рисунок 2.3. – Схема опису величини $E_{m,n}$, як кодового числа з основою 2

Разом знім, оскільки найменша величина серії бінарних елементів може бути рівною 1, динамічний діапазон значень серій може бути скорочено на 1. У підсумку отримуємо значення $E'_{m,n}$, як показує наступний вираз:

$$E'_{mn} = \sum_{\theta=1}^{\Theta} (\ell_{mn}^{(\theta)} - 1) 2^{\Theta-\theta} = 0. \quad (2.5)$$

Як наслідок цього, справедливою є нерівність $E_{m,n} < u(q)_{m,n}$. У свою чергу, умови, наведені рис.2.2, будуть виконуватися.

При цьому, послідовність серій бінарних елементів $\{\lambda_{m,n}^{(\theta)}\}$, $\theta = \overline{1, \Theta}$ не буде двійковою величиною у випадку існування щонайменше однієї θ -ї бінарної серії $\{y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu)}, \dots, y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu-b+1)}\}$, довжина $\lambda_{m,n}^{(\theta)}$ якої буде не менше 2, тобто, $\lambda_{m,n}^{(\theta)} = b \geq 2$. У цьому випадку $\delta_{bt} < v_{bp}$, а $\Theta < v_{bp}$. Тоді значення основи $\lambda_{m,n}^{(\theta)}$ буде визначатися як $(b+1)$.

У загальному випадку, коли $v_{bp} < \mu$, що відповідає умові розташування серії бінарних елементів у межах бінарного опису компоненти, $b > 1$. тоді $1 < \theta < \Theta$.

У свою чергу, з урахуванням схеми 2.3, позиційний опис послідовності серій бінарних елементів здійснюватиметься у спосіб, наведений рисунком 2.4.

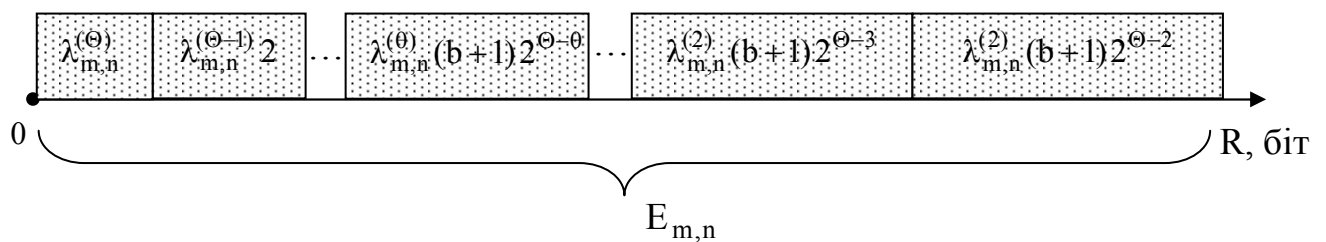


Рисунок 2.4. – Схема позиційного опису послідовності серій бінарних елементів

На рис.2.4 величина $(b+1)2^{\theta-\vartheta}$ являє собою ваговий коефіцієнт $(\vartheta+1)$ -ї серії серії бінарних елементів, що розміщується перед більш старшою величиною $\lambda_{m,n}^{(\theta)}$, отже $\vartheta < \theta$.

Порядок бінарних елементів $\{y_{m,n}^{(v_{bp})}, \dots, y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu+1)}\}$, що передують елементу $y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu)}$, буде менше на довжину серії, тобто на величину, рівну b .

Відповідно, з урахуванням цього схема 2.4 має бути модифікована для того, щоб забезпечити її відповідність порядку розміщення бінарних елементів

$y_{m,n}^{(\mu)}$. Тоді формування значення кодового числа буде здійснюватися відповідно до схеми, наведеної рис. 2.5.

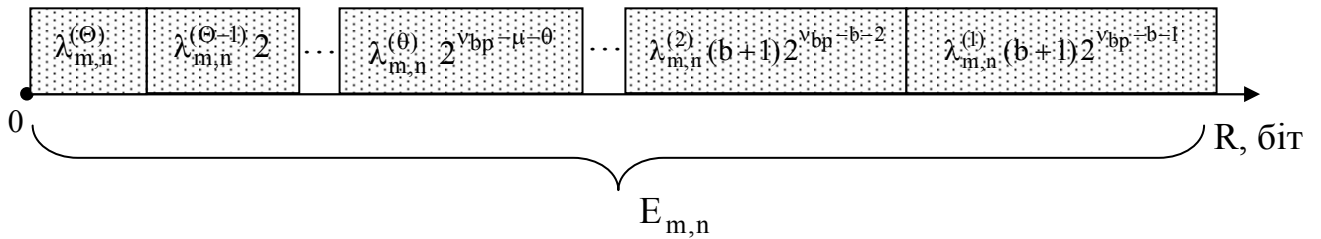


Рисунок 2.5. – Схема формування значення кодового числа з урахуванням порядку розміщення бінарних елементів

На рис. 2.5 $(b+1)2^{v_{bp}-b-\vartheta}$ - ваговий коефіцієнт довжини ϑ -ї серії, розташованої перед величиною $\lambda_{m,n}^{(\theta)}$; $2^{v_{bp}-\mu-\theta}$ - ваговий коефіцієнт довжини $\lambda_{m,n}^{(\theta)}$ θ -ї серії бінарних елементів.

У свою чергу, для розрахунку значення $E'_{m,n}$ кодового числа необхідно брати до уваги попереднє скорочення динамічного діапазону на 1 [94, 95, 143]. При цьому, ураховується, те, що довжини серій бінарних елементів, передучих θ -ї, є рівними $(\lambda_{m,n}^{(\vartheta)} - 1) = 0$, де $\vartheta < \theta$. Разом з тим, довжини серій бінарних елементів, що слідують після θ -ї серії, рівні $(\lambda_{m,n}^{(\gamma)} - 1) = 0$, де $\gamma > \theta$. Звідси значення кодового числа $E'_{m,n}$ розраховується за наступною формулою:

$$E'_{m,n} = f_{br}(v_{bp}; \mu; b)(\lambda_{m,n}^{(\theta)} - 1)2^{v_{bp}-\mu-b}. \quad (2.6)$$

де $f_{br}(v_{bp}; \mu; b) = 2^{v_{bp}-\mu-b}$ - функціонал, що описує ваговий коефіцієнт.

Беручи до уваги, що справедливим є співвідношення $\lambda_{m,n}^{(\theta)} - 1 = b - 1 \geq 1$, двійковий опис десяткової величини $(b - 1)$ буде наступним:

$$(\lambda_{m,n}^{(\theta)} - 1) = b - 1 = \sum_{\omega=0}^{\zeta} y_{\zeta+1-\omega} 2^{\zeta-\omega}, \quad (2.7)$$

де $(\zeta + 1)$ - функціонал, що описує кількість розрядів, що використовуються для опису величини $(b - 1)$, $\zeta = [\log_2(b - 1)]$.

Відповідно, модифікація виразу (2.4) за рахунок зміни величин $(\lambda_{m,n}^{(\theta)} - 1)$ формулою (2.5) дозволяє розраховувати кодове значення на базі наступного співвідношення:

$$E'_{m,n} = \left(\sum_{\omega=0}^{\zeta} y_{\zeta+1-\omega} 2^{\zeta-\omega} \right) f_{br}(v_{bp}; \mu; b) = \sum_{\omega=0}^{\zeta} y_{\zeta+1-\omega} 2^{v_{bp}-\mu-b+\zeta-\omega}. \quad (2.8)$$

При цьому ваговий коефіцієнт старшого бінарного елемента є рівним $2^{v_{bp}-\mu-b+[\log_2(b-1)]}$, як видно з виразу (2.8). На базі цього може бути розраховано, яку кількість розрядів потребує опис кодового значення $E'_{m,n}$, як показує наступний вираз:

$$[\log_2 E'_{m,n}] + 1 = v_{bp} + \zeta - \mu - b, \quad \mu = \overline{v_{bp}, 1}, \quad \zeta = [\log_2(b - 1)], \quad (2.9)$$

де b - величина, на яку буде меншим порядок бінарних елементів $\{Y_{m,n}^{(v_{bp})}, \dots, Y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu+1)}\}$, що передують елементу $Y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu)}$.

Через те, що значення $\zeta < b \mid \mu > 1$, кількість розрядів v_{bp} для представлення компоненти у бінарному описі, буде більшим, ніж значення $(v_{bp} + [\log_2(b - 1)] - \mu - b)$. У зв'язку з цим, умова, неведена рис. (2.3), буде виконуватися. Тобто, забезпечуватиметься скорочення надмірності кодового опису компоненти. Для цього випадку коефіцієнт скорочення $K_{m,n}$ бітової інтенсивності $(m;n)$ -ї компоненти може бути розраховано у відповідності з наступною схемою (рис.2.6).

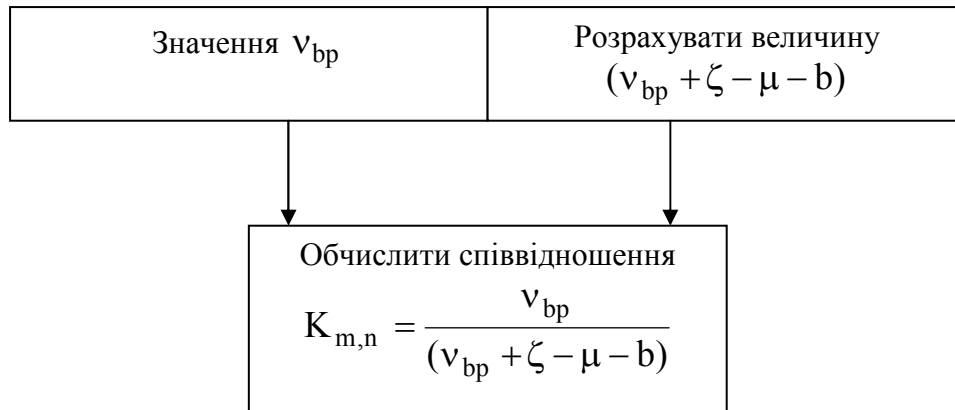


Рисунок 2.6. - Обчислення коефіцієнту скорочення бітової інтенсивності

За результатами аналізу рисунку 2.6 можна зазначити, що зростання ступеня $K_{m,n}$ скорочення інформаційної інтенсивності може бути забезпечено за рахунок [68-70, 143]:

- збільшення довжини серії b ;
- шляхом зміщення позиції μ -й серії у бік молодших розрядів.

Далі, керуючись схемою (2.6), виконаємо дослідження умов, у яких забезпечується мінімальна величина коефіцієнту скорочення бітової інтенсивності, $K(\min)_{m,n}$. Це відповідає розташуванню серії у межах старших розрядів бінарного опису компоненти. Довжина такої бінарної серії є більше ніж 2. Відповідно, за даних умов $\mu = 0$, а $\theta = 1$. На цей випадок бінарну серію будуть формувати елементи $\{y_{m,n}^{(v_{bp})}, \dots, y_{m,n}^{(v_{bp}-b+1)}\}$. Відповідно до цього,

величина коефіцієнту $K(\min)_{m,n}$ буде рівною $\frac{v_{bp}}{(v_{bp} + [\log_2(b-1)] - b)}$. Це

пояснюється тим, що величина $E'_{m,n}$ буде визначатися таким виразом

$E'_{m,n} = (\ell_{m,n}^{(1)} - 1)2^{v_{bp}-b}$. Отже, навіть для випадку $b=2$, досягається скорочення надмірності опису, при цьому величина мінімального коефіцієнта скорочення

бітової інтенсивності буде дорівнювати $K(\min)_{m,n} = \frac{v_{bp}}{v_{bp}-2}$. Тоді для випадку

8-розрядного опису компоненти ($v_{bp} = 8$) може бути досягнуто $K(\min)_{k,\ell} = 1,34$.

Іншими словами, кількість двійкових розрядів скорочується на 34%.

Попередньо було розглянуто частковий випадок формування бінарної серії. Відповідно, для більш загального випадку здійснюється формування Θ бінарних серій. При цьому, передбачається, що їхні довжини можуть бути рівними, інакше кажучи:

$$b_{\theta} \geq 1, \quad (2.10)$$

також довжини бінарних серій можуть бути нерівними між собою, тобто:

$$b_{\phi} \neq b_{\eta}, \quad \eta = \overline{1, \Theta}, \quad \eta \neq \phi. \quad (2.11)$$

На цей випадок кодове число $E_{m,n}$, що отримується при цьому на базі послідовності довжин бінарних елементів $\{\lambda_{m,n}^{(1)}, \dots, \lambda_{m,n}^{(\theta)}, \dots, \lambda_{m,n}^{(\Theta)}\}$ буде формуватися на базі схеми, зображеної рис.2.7.

Як видно з рис.2.7, існують відмінності зі схемою, наведеною рис. 2.3. Це пояснюється тим, що за умовами (2.10) та (2.11) співвідношення вагових коефіцієнтів двох сусідніх серій бінарних елементів не є рівними (рис. 2.8).

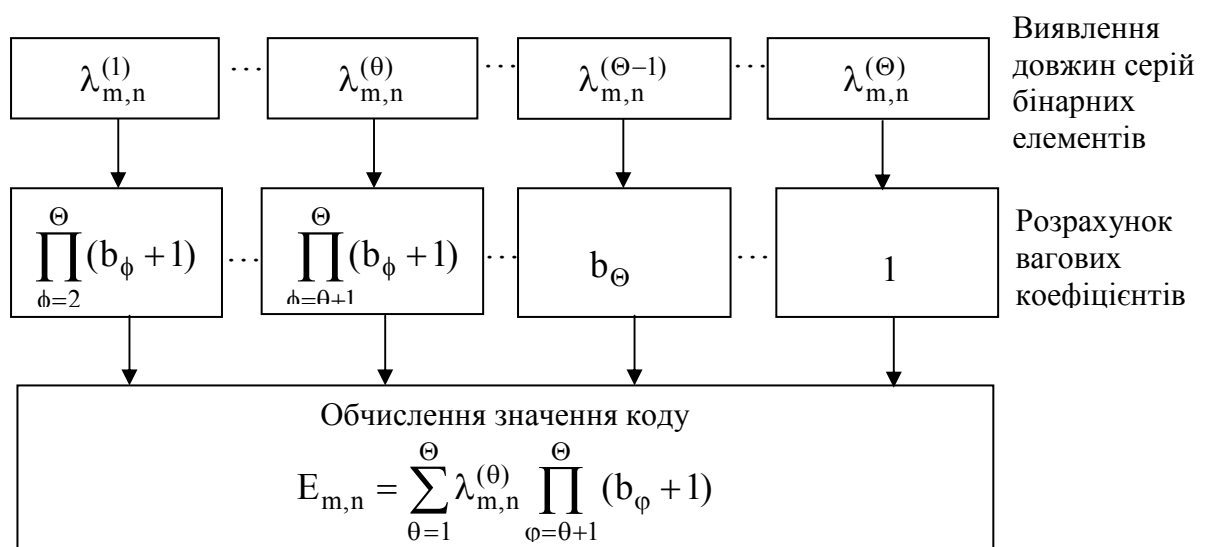


Рисунок 2.7. – Схема обчислення значення коду для випадку довільних довжин серій бінарних елементів

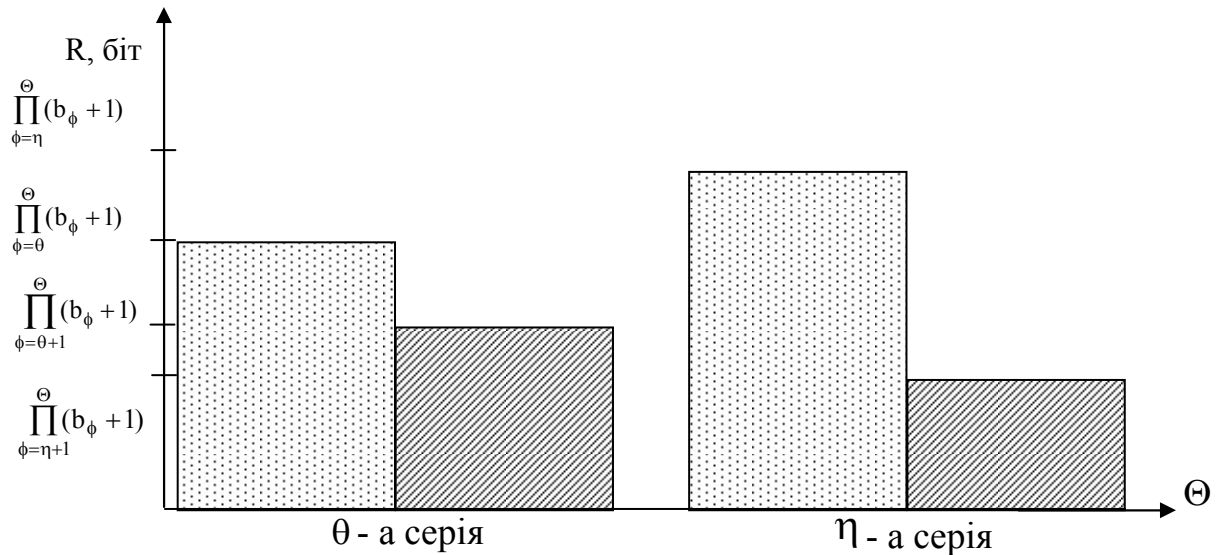


Рисунок 2.8. – Схема, яка задає співвідношення вагових коефіцієнтів двох сусідніх серій бінарних елементів

На рисунку 2.8 величини $\prod_{\phi=\theta}^{\Theta} (b_{\phi} + 1)$ та $\prod_{\phi=\theta+1}^{\Theta} (b_{\phi} + 1)$ - вагові коефіцієнти $(\theta+1)$ -ї та θ -ї довжин серій бінарних елементів; відповідно, $\prod_{\phi=\eta}^{\Theta} (b_{\phi} + 1)$ і

$\prod_{\phi=\eta+1}^{\Theta} (b_{\phi} + 1)$ - вагові коефіцієнти $(\eta+1)$ -ї та η -ї довжин серій бінарних елементів; b_{θ} та b_{η} - основи θ -ї та η -ї довжин серій бінарних елементів, при цьому $\eta = \overline{1, \Theta}$, $\eta \neq \phi$.

У результаті аналізу рис.2.8 можна зазначити те, що:

- основи довжин серій бінарних елементів є нерівноваговими;
- вагові коефіцієнти залежать від позиції відповідної довжини серії у послідовності.

Далі обґрунтуємо, що для випадку компонент трансформант, описаних на базі блочного кодового опису довжин серій бінарних елементів забезпечується скорочення бітової інтенсивності відносно вихідного значення.

Відповідно до схеми, поданої рис. 2.7, кодове значення $E_{m,n}$ не буде перевищувати величини накопиченого добутку основ $(b_\phi + 1)$ довжин серій бінарних елементів, як показано рис. 2.9 [105].

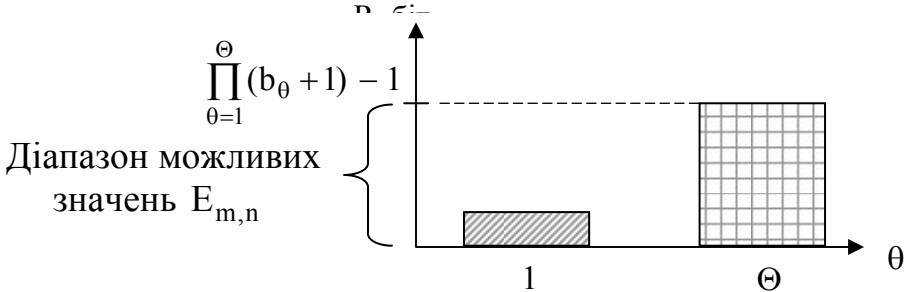


Рисунок 2.9. – Схема, яка задає співвідношення між величиною $E_{m,n}$ та величиною накопиченого добутку основ $(b_\phi + 1)$ довжин серій бінарних елементів

При цьому, якщо формування довжин серій починається з нульового елемента, кодове значення $E_{m,n}$ буде належати діапазону величини, поданих

рис. 2.10, та обчислюватися за виразом $E'_{m,n} \leq (\prod_{\theta=1}^{\Theta} b_\theta) - 1$.

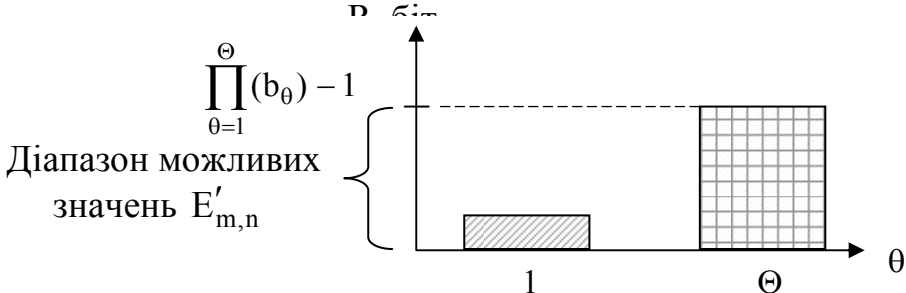


Рисунок 2.10. – Схема, яка задає співвідношення між величиною кодового значення $E'_{m,n}$ та величиною накопиченого добутку основ $(b_\phi + 1)$ довжин серій бінарних елементів на випадок, коли формування довжин серій починається з нульового елемента

У цьому випадку умова скорочення надмірності опису, подана рис. 2.3, буде виконуватися, якщо виконується умова, наведена рис. 2.11.

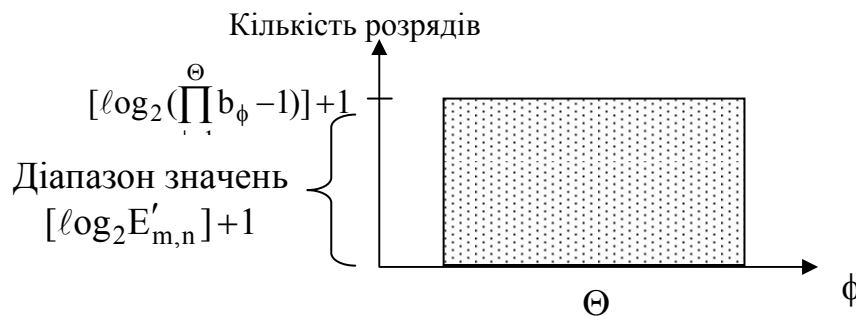


Рисунок 2.11. – Схематичне зображення умови скорочення надмірності кодового опису компоненти

Іншими словами, надмірність скорочується у випадку, коли кількість розрядів $([\log_2 E'_{m,n}] + 1)$, необхідних для представлення кодового числа, не буде перевищувати величину $([\log_2(\prod_{\phi=1}^{\Theta} b_{\phi} - 1)] + 1)$.

Вираз $([\log_2(\prod_{\phi=1}^{\Theta} b_{\phi} - 1)] + 1)$, що описує необхідну кількість розрядів для представлення накопиченого добутку основ, може бути перетворено, керуючись твердженнями про те, що:

- цілочисельне число b_{θ} довільного значення може бути представлено у вигляді суми двох складників, а саме - $2^{[\log_2 b_{\theta}]}$, що є числом, найближчим до значення b_{θ} та Δ_{θ} , що являє собою різницю між b_{θ} та $2^{[\log_2 b_{\theta}]}$;

- нерівність $b_{\theta} < 2^{[\log_2 b_{\theta}] + 1}$ виконується, коли $\Delta_{\theta} \geq 1$ та $b_{\theta} = 2^{[\log_2 b_{\theta}]}$ у випадку, коли $\Delta_{\theta} = 0$.

У підсумку число b_{θ} буде подано у вигляді $b_{\theta} \leq 2^{[\log_2 b_{\theta}] + \text{sign}(\Delta_{\theta})}$.

Тоді вираз може бути переписана як $\sum_{\phi=1}^{\Theta} ([\log_2 b_{\phi}] + \text{sign}(\Delta_{\phi}))$. Далі винесення знака суми за дужки оператора вибору цілої частини створює можливість виконання наочної оцінки умови забезпечення скорочення бітової інтенсивності (рис.2.2) та коефіцієнта скорочення бітової інтенсивності [12, 13, 34].

Так як у випадку бітового опису компоненти у вертикальному напрямку

$\sum_{\theta=1}^{\Theta} b_{\theta} = v_{bp}$, відповідно $([\log_2 b_{\theta}] + 1) \leq b_{\theta}$. Це зумовлює справедливість виразу

$\sum_{\theta=1}^{\Theta} ([\log_2 b_{\theta}] + 1) < \sum_{\theta=1}^{\Theta} b_{\theta} = v_{bp}$, на базі аналізу якого можна стверджувати, що

умови забезпечення скорочення бітової інтенсивності виконуються.

Виконаємо оцінку мінімальної величини $K(\Theta)^{(\min)}$ коефіцієнту скорочення послідовностей бінарних елементів з використанням блочного кодування за аналогією до схеми рис.2.6. Тобто, оцінимо відношення кількості розрядів v_{bp} двійкового опису компоненти до її представлення у компактному вигляді f_{cdes} на базі кодового опису:

$$K(\Theta)^{(\min)} = \frac{v_{bp}}{f_{cdes}} = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta} b_{\theta}}{f_{cdes}}, \quad (2.12)$$

де f_{cdes} - функціонал, що описує компактне представлення біт двійкового опису компоненти, $f_{cdes} = [\log_2 b_{\theta}] + \text{sign}(\Delta_{\theta})$

Отже, як показує вираз (2.10) максимальні значення $K(\Theta)^{(\min)}$ забезпечуються у випадку $\text{sign}(\Delta_{\theta}) = 0$, що справедливо для всіх $\theta = \overline{1, \Theta}$. Тобто, справедливою є нерівність:

$$K(\Theta)^{(\min)} \leq K(\Theta)_{\max}^{(\min)} = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta} b_{\theta}}{\sum_{\phi=1}^{\Theta} [\log_2 b_{\phi}]}.$$

Разом з тим, при $\text{sign}(\Delta_{\phi})=1$, для $\theta=\overline{1, \Theta}$, буде виконуватися нерівність:

$$K(\Theta)_{\min}^{(\min)} \geq K(\Theta)_{\min}^{(\min)} = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta} b_{\theta}}{\sum_{\phi=1}^{\Theta} ([\log_2 b_{\phi}] + 1)}.$$

Залежність найбільшого і найменшого значень мінімального ступеню скорочення інформаційної інтенсивності $K(\Theta)^{(\min)}$ від кількості серій Θ бінарних елементів та від максимальної їх довжини L_{\max} приведена на рис. 2.12. Тут зображено залежності значень $K(\Theta)_{\min}^{(\min)}$, та $K(\Theta)_{\max}^{(\min)}$ для кількості серій бінарних елементів $\Theta=4$ від значення L_{\max} їх довжини.

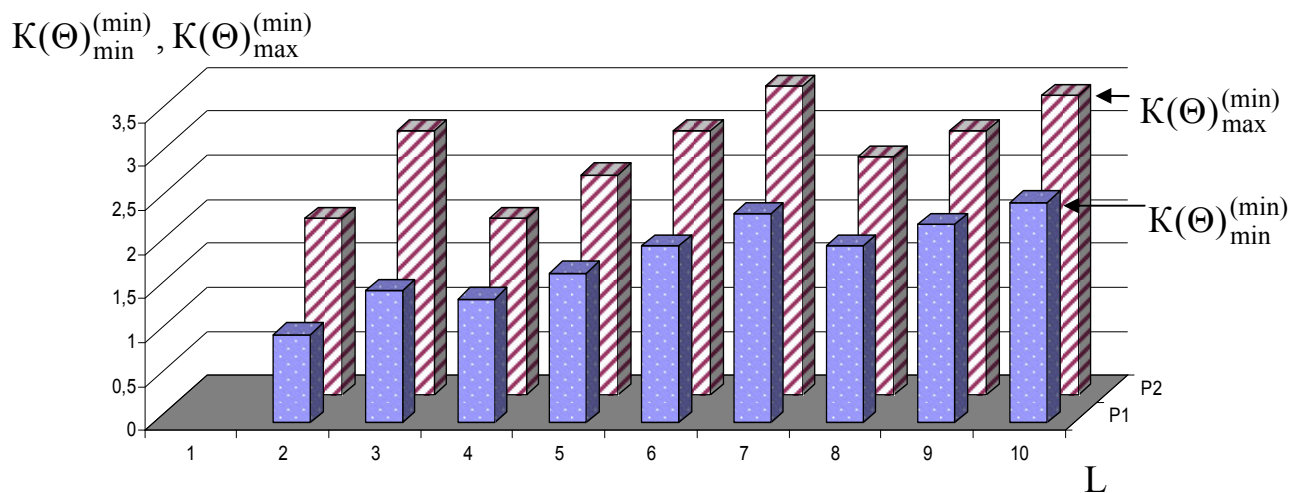


Рисунок 2.12. – Схематичне зображення залежності $K(\Theta)_{\max}^{(\min)}$ та $K(\Theta)_{\min}^{(\min)}$ від кількості серій бінарних елементів та їх максимальної довжини

У свою чергу, залежності величин $K(\Theta)_{\min}^{(\min)}$ і $K(\Theta)_{\max}^{(\min)}$ для $v_{bp}=24$ від кількості серій бінарних елементів Θ ілюструє діаграма на рис. 2.13.

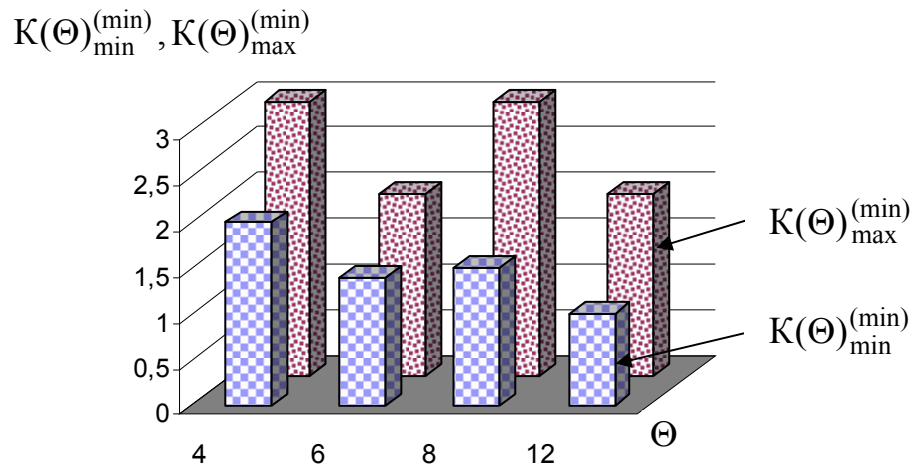


Рисунок 2.13. Діаграма залежності величин $K(\Theta)_{\min}^{(\min)}$ і $K(\Theta)_{\max}^{(\min)}$ для $v_{bp}=24$ від кількості Θ серій бінарних елементів

Аналіз графіків, зображених рис. 2.12 свідчить про те, що значення коефіцієнтів $K(\Theta)_{\min}^{(\min)}$ та $K(\Theta)_{\max}^{(\min)}$ збільшуються відповідно скороченню величин Δ_ϕ . Так, коли величина Δ_ϕ є мінімальною, вигравш за ступенем скорочення інформаційної інтенсивності досягається щонайменше у 1,5 разів відносно випадку, коли величина Δ_ϕ є найбільшою.

Разом з тим, збільшення розміру серії бінарних елементів спричинює зростання такого вигравшу у середньому на 15%.

Окрім того, як видно з аналізу діаграми 2.13, показує, що за умов фіксованої кількості розрядів на опис компоненти трансформанти (довжини послідовності бінарних елементів) і значення Δ_ϕ , у випадку зменшення кількості серій бінарних елементів забезпечується зростання величин $K(\Theta)_{\min}^{(\min)}$ та $K(\Theta)_{\max}^{(\min)}$ зростають на 50%.

На цей випадок забезпечується суттєве збільшення мінімального значення коефіцієнта скорочення інформаційної інтенсивності у наслідок

зменшення величини різниць між загальною та мінімальною довжинами серій бінарних елементів, що описується функціоналом $f(L) = [\ell \log_2(L - L_{\min} + 1)]$. Так, скорочення значення $f(L)$ на один біт спричинює ріст мінімального ступеню скорочення бітової інтенсивності на 60%.

У свою чергу, найменше значення довжини серії бінарних елементів $L_{\min} = 1$. При цьому зрозуміло, що найменша величина коефіцієнту скорочення бітової інтенсивності залежить від мінімальної довжини серії бінарних елементів. Тоді у випадку, коли при $L_{\min} \geq 2$ вираз (2.12) для визначення величини $K(\Theta)^{(\min)}$ може бути записано в наступному вигляді:

$$K(\Theta, L_{\min})^{(\min)} = \frac{v_{bp}}{\sum_{\theta=1}^{\Theta} (f(L) + \text{sign}(\Delta_{\theta}))}. \quad (2.13)$$

На базі виразу (2.12) будується діаграма, що демонструє залежність величини $K(\Theta, L_{\min})^{(\min)}$ від L_{\min} для $L=8$ та $\Theta=4$, як показано рис. на рис. 2.14.

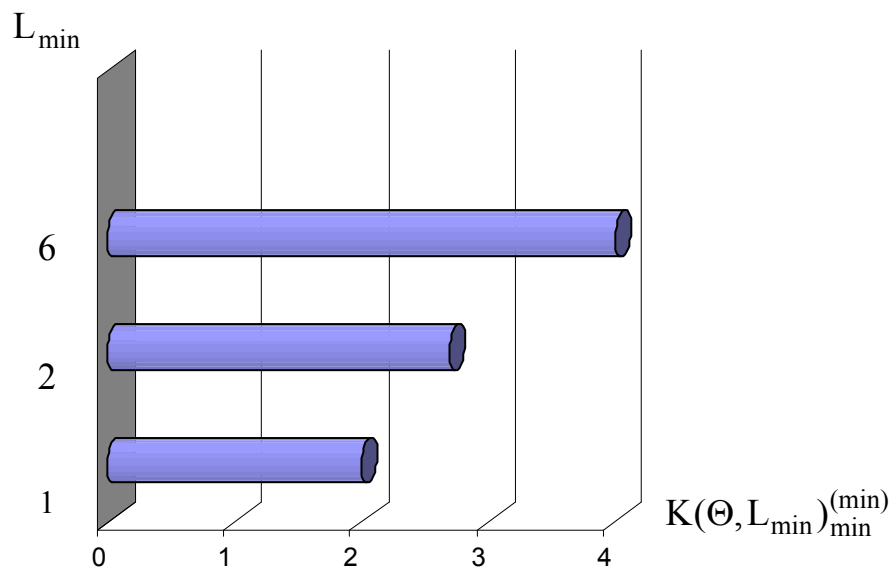


Рисунок 2.14. Діаграма залежності величини $K(\Theta, L_{\min})^{(\min)}$ від мінімальної довжин серії бінарних елементів при $L=8$ та $\Theta=4$

На основі викладеного матеріалу можна зробити такі висновки:

1) створено метод кодування відеопотоку на рівні джерела для потенційної можливості його застосування у технології управління бітовою інтенсивністю відеопотоку без втрат якості;

2) доведено, що блочне кодування послідовності серій бінарних елементів забезпечує потенційні можливості для скорочення надмірності кодового представлення бітового опису компонент трансформант довільного їх змісту;

3) обгрунтовано, що у випадку збільшення значень довжин серій бінарних елементів забезпечується зростання ступеня скорочення кількості біт для опису бітового представлення компонент трансформант дискретного косинусного перетворення. Показано, що при побудові методу кодування трансформант ДКП-перетворення на базі ефективного блочного кодування необхідно брати до уваги:

- можливість зростання довжин серій бінарних елементів;
- функцію скорочення максимального значення довжин серій;
- можливість реалізації двовимірної обробки.

2.3. Імплементация методу кодування бітових площин трансформант у технологію обробки відеозображень

Для того, щоб забезпечити можливість інтеграції блочного кодування послідовностей довжин бінарних елементів, виявлених у межах бітових площин трансформант, у технологію компресії трансформованих зображень, мають бути виконані ряд умов, як показано рис. 2.15.

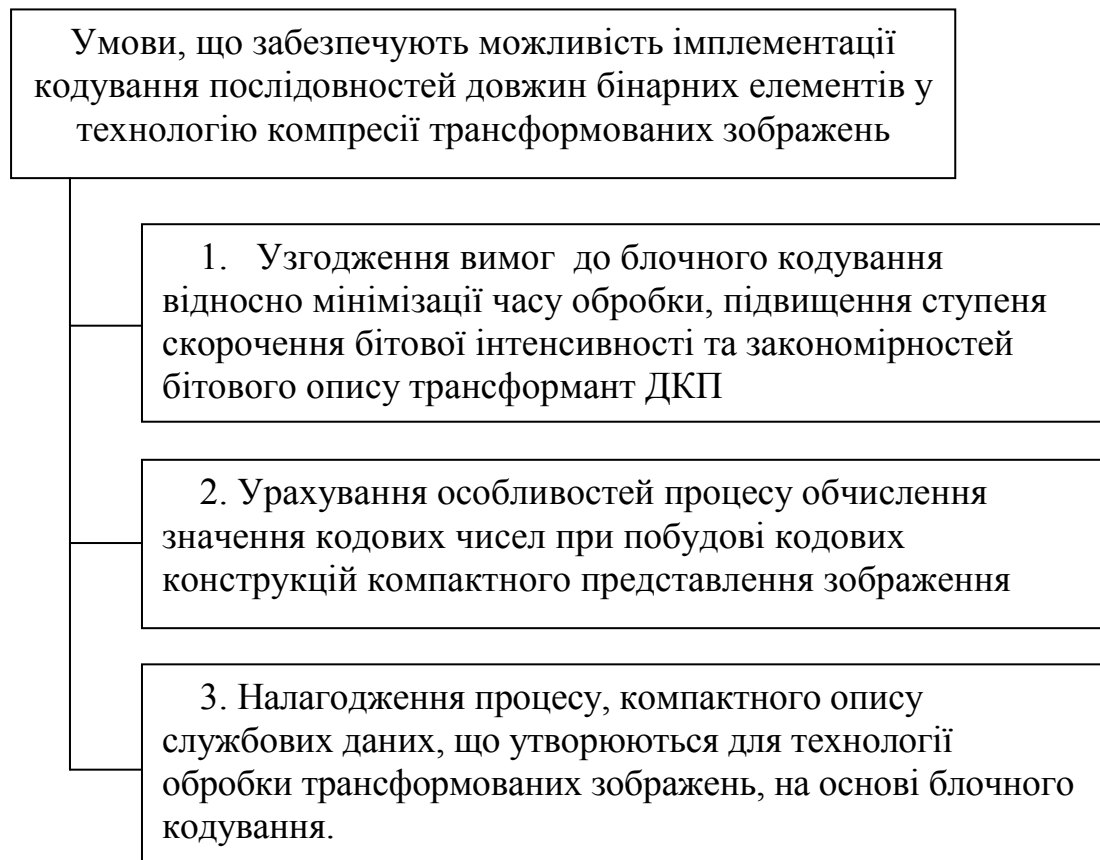


Рисунок 2.15. – Схема формування умов, що забезпечують можливість імплементации кодування послідовностей довжин бінарних елементів у технологію обробки відео зображень

Виконання першої умови може бути здійснено з урахуванням особливостей процесу виявлення серій бінарних елементів, та способів побудови блочних чисел. На цей випадок необхідно брати до уваги напрямок потоків даних, що надходять на обробку, а також наявність можливостей збільшення середньої довжини серії бінарних елементів. З цієї позиції більш

доцільною є обробка бітового опису трансформант у напрямку бітових площин. Такий підхід пояснюється високою ймовірністю відсутності одиничних елементів бітових площин старших індексів, що відносяться до ВЧ компонент.

Разом з тим, обробка бітового опису трансформанти у зазначений спосіб є доцільною для забезпечення відновлення зображень за ієрархічним принципом. При цьому, перший етап відновлення зображення, на якому відтворюється груба форма зображення, використовує від 1 до χ бітових площин старших порядків ($\chi < v_{bp}$). Дані бітові площини містять інформацію про значеннях старших розрядів компонент трансформант (рис. 2.16). У ході наступних етапів обробки виконується уточнення зображення, аж безпосередньо до отримання відеоданих без похибки. В свою чергу, уточнюючу інформацію щодо об'єктів зображення несуть бітові площини молодших порядків [9, 76, 77, 108, 109].

Зазвичай, областям високочастотних компонент трансформанти відповідають області нульових елементів у межах бітової площині. У зв'язку з цим, щоб збільшити довжини серій бінарних елементів, що виявляються, порядок обходу бітової площини необхідно здійснювати наступним чином: у напрямку діагонального обходу, як показано рис. 2.14); починаючи з елемента бітової площини з координатами(1;1).

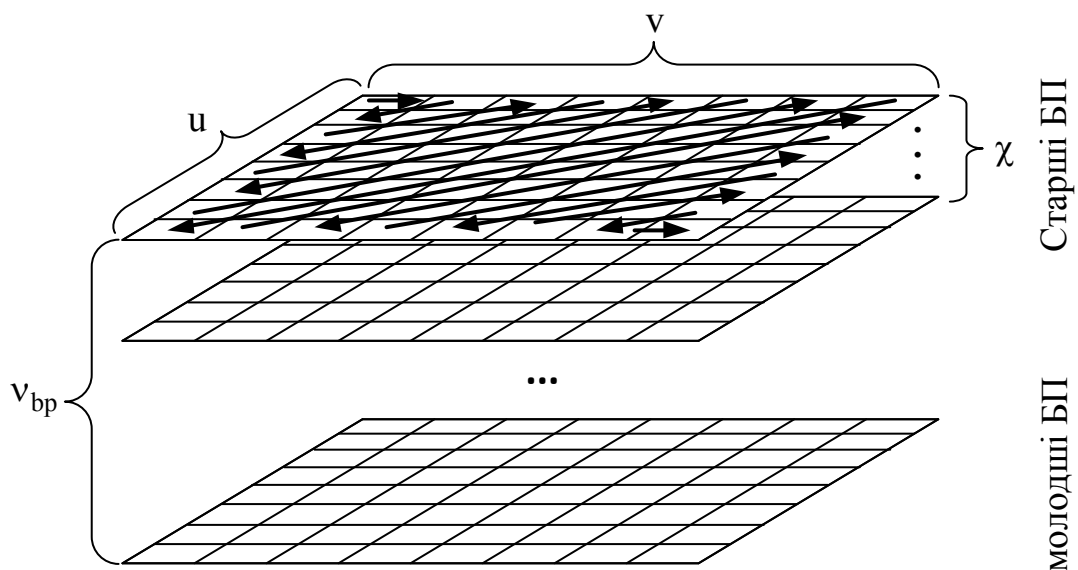


Рисунок 2.16. - Порядок обробки бітових площин трансформанти

У рамках виконання другої умови інтеграції блочного кодування у технологію обробки трансформованих зображень необхідно забезпечити: мінімізацію кодової надмірності; запобігання випадків, що ведуть до переповнення машинного слова; зменшення кількості двійкових розрядів, що описують кодове представління службових даних, які формуються в ході обчислення значень кодових чисел.

Для забезпечення виконання другої умови, наведеної рис. 2.15, на базі схеми 2.7 сформулюємо порядок обчислення кодового значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ α -ї послідовності довжин серій бінарних елементів, виявлених у межах μ -ї бітової площини q -ї трансформанти дискретного косинусного перетворення, як показано рис. 2.17.

На рис. 2.17 складник $\lambda_{\alpha,\theta}^{(\mu)}$ - довжина θ -ї серії бінарних елементів, що відноситься до α -ї послідовності, виявленої у межах μ -ї бітової площини. У свою чергу, $(b_\theta + 1)$ являє собою основу елементу $\lambda_{\alpha,\theta}^{(\mu)}$ кодового числа;

$\prod_{\phi=\theta+1}^{\Theta_\alpha} (b_\phi + 1)$ - ваговий коефіцієнт для довжини θ -ї серії бінарних елементів;

Θ_α - кількість довжин серій бінарних елементів у α -й послідовності.

Аналіз рисунку 2.17 свідчить про те, що збільшення довжини Θ_α послідовності серій бінарних елементів спричинює зростання величини кодового значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$. Разом з тим, визначення величини основи виконується для кожної довжини серії окремо. Наслідками даних залежностей є такі недоліки, як:

- у разі використання кодового слова, довжина якого задалегідь встановлена, можливі випадки його переповнення;
- визначення меж кодових слів, сформованих для послідовностей довжин ДС, вимагає використання додаткової службової інформації;
- оскільки використовується число підстав, що відповідає кількості довжин двійкових серій, це веде до збільшення кількості службових даних.

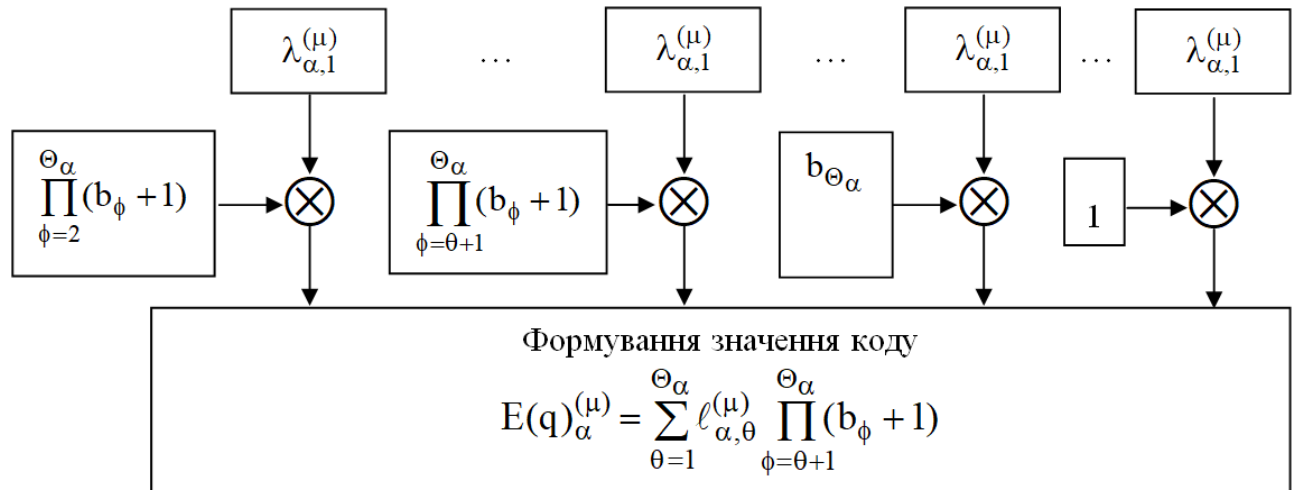


Рисунок 2.17. – Схема формування значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ коду для α -ї послідовності довжин серій бінарних елементів, виявлених на μ -й бітовій площині q -ї трансформанти

Відтак, необхідно визначити умови, у яких зазначені недоліки процесу формування величини $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ можуть бути усунені.

Так, для виключення випадків переповнення кодового слова опис величини $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ має здійснюватися кількістю розрядів $W(E(q)_\alpha^{(\mu)})$, не більшою попередньо встановленої довжини W кодового слова, як показано рис. 2.18.

Разом з тим, для забезпечення визначення меж кодових слів, що містять дані відносно значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$, може бути використана система основ $B(q)_\alpha^{(\mu)} = \{b_1, \dots, b_{\Theta_\alpha}\}$, що використовується під час формування кодових чисел у якості базових службових даних. Відтак величина $W(E(q)_m^{(\mu)})$ має визначатися на базі системи основ [18].

У загальному випадку це еквівалентно виразу $W(E(q)_\alpha^{(\mu)}) = \psi_{cb}(b(q)_\alpha^{(\mu)})$. Тут $\psi_{cb}(b(q)_\alpha^{(\mu)})$ - функціонал від значень основ кодових чисел, що дозволяє обчислити межі кодових слів.

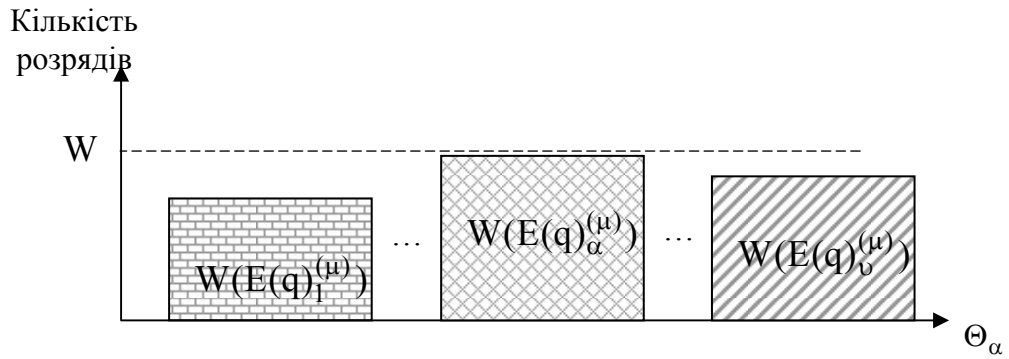


Рисунок 2.18. – Схема, що задає обмеження щодо допустимої кількості розрядів для представлення значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ коду

У свою чергу, для усунення випадків збільшення кількості службових даних, основи кодових чисел необхідно формувати для кількох довжин серій бінарних елементів, тобто $b_\theta = \Psi_{\text{bm}}(\ell_{\alpha,\theta,1}^{(\mu)}, \dots, \ell_{\alpha,\theta,\varphi}^{(\mu)})$. Тут $\Psi_{\text{bm}}(\ell_{\alpha,\theta,1}^{(\mu)}, \dots, \ell_{\alpha,\theta,\varphi}^{(\mu)})$ - функціонал, що визначає величину основи (basement) b_θ , що залежить від довжин серій бінарних елементів; φ - кількість довжин серій бінарних елементів, для яких формується загальна основа b_θ .

Для того, щоб забезпечити умови формування основ кодових чисел для кількох довжин серій бінарних елементів, на базі виявлених довжин серій бінарних елементів формується двовимірна структура $L_q^{(\mu)}$, як показано рис.2.19.

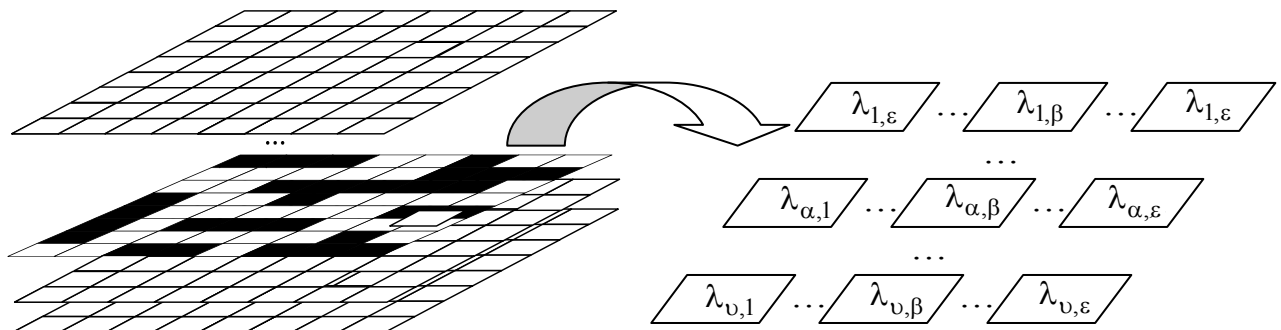


Рисунок 2.19. – Схема формування двовимірної структури $L_q^{(\alpha)}$ довжин серій бінарних елементів

Двовимірна структура, зображена на рис. 2.19, містить υ рядків та ε стовпців. У свою чергу, $\lambda_{\alpha,\beta}$ - значення $(\alpha;\beta)$ -ї довжини серії бінарних елементів.

За умов формування двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$, обчислення основ блочних чисел може виконуватися для довжин серій бінарних елементів кожного рядку, що еквівалентно виразу:

$$b(q)_\alpha^{(\mu)} = \max \{ \lambda_{\alpha,1} \lambda_{\alpha,2} \dots \lambda_{\alpha,\beta} \dots \lambda_{\alpha,\varepsilon} \} + 1, \alpha = \overline{1, \varepsilon}. \quad (2.14)$$

Як видно з рис. 2.19, для $L_q^{(\mu)}$ формується υ основ. Тобто, система основ довжин серій бінарних елементів B_λ може бути представлена як $B_\lambda = \{ b(q)_1^{(\mu)}, \dots, b(q)_\upsilon^{(\mu)} \}$. Відтак, кодові числа у таких умовах будуть формуватися на базі стовпців двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$. Це, у свою чергу, сприяє скороченню кількості основ у ε разів. Відповідно, збільшення кількості стовпців потенційно здатне мінімізувати кількість розрядів $W(B_\lambda)$, що використовуються для опису основ кодових чисел до порівняно малої величини відносно сумарного значення довжин кодових слів $W(E(q)_\alpha^{(\mu)})$. Кодові слова містять інформацію про величини $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ значень коду блочних чисел, при формуванні яких задіяні елементи α -го стовпця двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$. Отже, величиною $W(B_\lambda)$ у таких умовах можна знехтувати.

Побудова двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$ може виконуватися як у напрямку рядків, так і в напрямку стовпців. Якщо формування структури $L_q^{(\mu)}$ здійснюється у напрямку рядків, у цьому випадку значення основ кодових чисел можуть обчислюватися по мірі формування рядків масиву довжин серій бінарних елементів.

У той же час, існує ряд випадків, що викликають труднощі, а саме:

- кількість серій бінарних елементів для бітового опису трансформанти заздалегідь не відомо;

- число довжин серій бінарних елементів наближено рівне величині u .

У цих випадках виникають часові затримки в ході формування двійкових серій для бітового опису трансформанти. Після того, як серії сформовані, безпосередньо виконується процес формування двовимірної структури. З огляду на це, доцільним є побудова структури $L_q^{(\mu)}$ за стовпцями. У зв'язку з тим, що формування кодових чисел виконується на базі стовпців двовимірної структури довжин серій бінарних елементів, необхідно обрати величину u (довжину стовпця $L_q^{(\mu)}$) таким чином, щоб забезпечити виконання умов, поданих рис. 2.18. Одночасно з тим, необхідно враховувати, що значення коду $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ у ході формування двовимірної структури довжин серій бінарних елементів не відомо. Отже, можна скористатися особливістю (обмеженням) процесу виявлення серій бінарних елементів. Дана особливість полягає в тому, що формування нових серій починається для кожної бітової площини. Таким чином, максимальна довжина L_{\max} серії бінарних елементів не перевищуватиме величину uv , тобто:

$$L_{\max} \leq uv, \quad (2.15)$$

де uv - кількість двійкових елементів в бітової площині.

З огляду на вираз (2.13), найбільша кількість розрядів $v([\log_2 L_{\max}] + 1)$ для опису u елементів стовпця двовимірної структури довжин серій бінарних елементів, у свою чергу, буде обмежена значенням $v([\log_2 uv] + 1)$, як показано рис. 2.20. Тоді значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ кодового числа, сформованого на базі стовпця двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$ буде визначатися таким виразом:

$$E(q)_\alpha^{(\mu)} = f_{cb}(v; h_\varphi), \quad (2.16)$$

де h_φ - основа $(\alpha - 1)$ -го рядку масиву $L_q^{(\mu)}$;

$f_{cb}(v; h_\varphi)$ - функціонал обчислення кодового числа бази стовпця двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$, що обчислюється на базі

$$\text{виразу } f_{cb}(v; h_\varphi) = \sum_{\alpha=1}^v \lambda_{\alpha,\beta} \prod_{\varphi=\alpha+1}^v h_\varphi.$$



Рисунок 2.20. – Схема, що задає співвідношення між величинами

$$v([\log_2 L_{\max}] + 1) \text{ та } v([\log_2 uv] + 1)$$

При цьому, виникає суперечність між:

- вимогою, що стосується визначення меж кодових слів, що містять інформацію щодо значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$;

- вимогою мінімізації кодової надмірності.

У відповідності до рис. 2.20, у ході визначення меж кодових слів додаткова службова інформація не потрібна.

Разом з тим, такий підхід веде до зростання кодової надмірності Ω , яка оцінюється різницею між найменшим числом розрядів $([\log_2 E(q)_\alpha^{(\mu)(\min)}] + 1)$, що відводяться для подання значення величини $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ для випадку, коли проводиться обчислення основ кожного елемента кодового числа, а також кількістю розрядів $v([\log_2 uv] + 1)$, яка визначається як максимально можливе число розрядів для опису стовпця довжиною v елементів. Це поже бути показано рис. 2.21.

На рис. 2.21 величина $E(q)_\alpha^{(\mu)(\min)}$ - значення кодового числа, яке визначається наступним виразом:

$$E(q)_\alpha^{(\mu)(\min)} = f_{cb}^{(\min)}(v; \lambda_{\phi, \beta}), \quad (2.17)$$

де $f_{cb}^{(\min)}(v; \lambda_{\phi, \beta})$ - функціонал, на базі якого визначається мінімальне значення кодового числа, який, у свою чергу обчислюється за виразом

$$f_{cb}^{(\min)}(v; \lambda_{\phi, \beta}) = \sum_{\alpha=1}^v \lambda_{\alpha, \beta} \prod_{\phi=\alpha+1}^{\alpha} (\lambda_{\phi, \beta} + 1).$$



Рисунок 2.21. - Схематичне відображення кодової надмірності опису величини

$$E(q)_\alpha^{(\mu)}$$

Умова $\Omega > 0$ виконується, що викликано впливом наступних факторів:

- величина основ h_α визначається як найбільше значення всіх елементів рядка масиву довжин двійкових серій, отже, виконується нерівність $(\lambda_{\alpha, \beta} + 1) \leq h_\alpha$;

- для знаходження довжини кодового слова вибирається максимально допустима довжина серії бінарних елементів.

При цьому, значення довжин серій бінарних елементів матимуть обмеження, іншими словами, можуть бути виявлені серії, для яких буде виконуватися умова $\lambda_{\alpha, \beta} < uv$. Це пояснюється наявністю одиничних елементів бітових площин. Для молодших бітових площин зростання числа бінарних

перепадів є характерний. У зв'язку з цим, значення величин довжин серій бінарних елементів у правій частині двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$ буде істотно нижчим порівняно з величиною uv . Існування даної закономірності може бути враховано шляхом визначення величини L_{\max} максимальної довжини серій бінарних елементів для певного бітового опису трансформанти.

Разом з тим, виникає необхідність задіяти додаткову службову інформацію, а саме – величину L_{\max} [101].

У зв'язку з цим, рішення даного протиріччя пропонується виконати шляхом використання властивості блочних кодів, як зазначено рис. 2.10. Ця властивість полягає в тому, що найбільше значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ кодового числа не перевищуватиме величину накопиченого добутку основ його елементів (рис. 2.22).



Рисунок 2.22 – Схема, що задає співвідношення між значеннями величин накопиченого добутку основ та величиною кодового числа

Дана властивість дає наступні можливості:

- сприяє виконанню умови щодо визначення меж кодових слів, не вдаючись до використання додаткової службової інформації (обчислення кодового числа здійснюється з використанням інформації про його основи):

$$W(E(q)_\alpha^{(\mu)}) \leq [\log_2 f_{cd}(v; h_\alpha)] + 1 \quad (2.18)$$

де $f_{cd}(v; h_\alpha)$ - функціонал, на базі якого розраховується розмір кодового слова, що обчислюється як $f_{cd}(v; h_\alpha) = \lceil \log_2 \prod_{\alpha=1}^v h_\alpha - 1 \rceil$;

- дозволяє скоротити кількість кодової надмірності Ω . Така можливість обумовлена виконанням наступної нерівності:

$$h_\alpha \leq uv, \quad (2.19)$$

що викликано обмеженістю значень довжин серій бінарних елементів.

Використовуючи співвідношення (2.17), отримуємо наступну закономірність, як показано рис. 2.23.

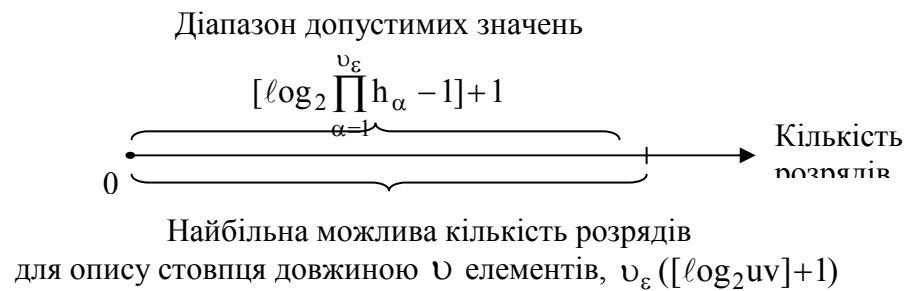


Рисунок 2.23 – Схематичне відображення закономірності між кількістю розрядів для опису накопиченого добутку основ кодових чисел та кількістю довжин серій бінарних елементів

Отже, визначення меж кодових слів, що містять інформацію про величину $E(q)_\alpha^{(\mu)}$, буду здійснюватися відповідно до виразу (2.18).

За результатами викладеного матеріалу можна зазначити, що знайдено умови імплементації блочного кодування у технологію обробки трансформованих зображень, спрямовану на побудову їх компактного опису.

Це забезпечує:

1) збільшення ступеня скорочення інформаційної інтенсивності, як результат наступних факторів:

- збільшення середньої довжини серій бінарних елементів, виявленої у межах бітової площини трансформанти дискретного косинусного перетворення;

- зниження кількості основ, що приходяться у середньому на одне кодове слово;

- визначення меж кодових слів без додаткової службової інформації;

- приведення кількості кодової надмірності до мінімального значення;

2) запобігання випадків переповнення машинного слова;

3) зниження часу очікування обробки (оскільки двовимірні структури довжин серій бінарних елементів формуються по мірі виявлення серій елементів, отже, не виникає затримки для визначення усіх серій довжин).

Висновки

1. Визначено, що підходам до управління відеотрафіком на рівні мережевих вузлів властивий ряд недоліків, а саме:

- загальне навантаження на мережу у ході управління відеотрафіком на рівні мережевих вузлів залишається незмінним;

- за наявності великої кількості пакетів критичних сервісів у межах одного інформаційного потоку складаються умови, коли не оброблені за протягом певного часу пакети будуть втрачені, що веде до аварійного функціонування сервісів, яким дані пакети належали;

- в умовах, коли сумарний рівень навантаження на мережевий вузол сягає деякого порогового значення, його загальна продуктивність суттєво зменшується.

2. Стандартизовані методи управління бітовою інтенсивністю відео на рівні кодування джерела не гарантують раціонального розподілу бітової інтенсивності у межах відеопотоку та його окремих структурних одиниць, а також обмежені у застосовуваності певними роздільними здатностями кадрів, часовими інтервалами обробки і діапазонами інтенсивностей відео.

3. Методи управління бітовою інтенсивністю, в основі яких лежить застосування одного джерела відеоданих, для якого генерується ряд окремих потоків відео з різною бітовою інтенсивністю, не гарантується якості реконструйованих відеоданих, та існує необхідність значних обчислювальних ресурсів та обсягу файлоховища.

4. Створено метод кодування відеопотоку на рівні джерела для потенційної можливості його застосування у технології управління бітовою інтенсивністю відеопотоку без втрат якості.

5. Доведено, що блочне кодування послідовності серій бінарних елементів забезпечує потенційні можливості для скорочення надмірності кодового представлення бітового опису компонент трансформант довільного їх змісту.

6 Обґрунтовано, що у випадку збільшення значень довжин серій бінарних елементів забезпечується зростання ступеня скорочення кількості біт для опису бітового представлення компонент трансформант дискретного косинусного перетворення.

7. Знайдено умови імплементації блочного кодування у технологію обробки трансформованих зображень, спрямовану на побудову їх компактного опису. Це забезпечує:

- збільшення ступеня скорочення інформаційної інтенсивності;
- запобігання випадків переповнення машинного слова;
- зниження часу очікування обробки (оскільки двовимірні структури довжин серій бінарних елементів формуються по мірі виявлення серій елементів, отже, не виникає затримки для визначення усіх серій довжин).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

1. Отримала подальший розвиток модель кодового опису трансформанти на базі виявлення серій бінарних елементів. Відмінності полягають у динамічному формуванні кодового простору для бітових площин в умовах виявлення структурних характеристик. Це дозволяє одночасно урахувувати структурні закономірності як на рівні їх бітового опису, так і на рівні структурного представлення серій бінарних елементів, створити умови для динамічного контролю бітової інтенсивності відеотрафіку.

2. Удосконалено метод кодування відеокадрів на основі їх трансформування у спектральному просторі. Відмінності методу полягають у тому, що у ході кодування формуються інтегровані кодові конструкції для окремих бітових площин з можливістю адаптивної побудови систем основ кодового простору для рівня їх структурного метааналізу. Це створює умови для побудови технології контролю бітової інтенсивності відеотрафіку в інфокомунікаційних системах на рівні кодування джерела інформації.

Науково-прикладні результати, що викладено в даному розділі, опубліковані в наступних наукових працях [8; 10; 101; 102; 105].

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Формуються підходи щодо побудови методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку. Обґрунтовуються вимоги, яким має відповідати розроблюваний метод для того, щоб забезпечити узгодження бітової швидкості відеотрафіку та динаміки змін пропускної здатності мережі у реальному часі. Визначаються ключові технологічні етапи базової моделі кодування відео, що потенційно дозволяють здійснювати управління бітовою інтенсивністю відеоданих. Розробляється механізм субдискретизації сласів відеокадру, що дозволяє забезпечити оперативну зміну бітової інтенсивності відео у реальному часі. Доводиться продуктивність запропонованого підходу для різних режимів функціонування методу управління на його базі. Створюється комплексний метод управління бітовою інтенсивністю відеопотоку, що містить у собі механізми субдискретизації слайсів, метод кодування бітового опису трансформант та алгоритм зміни параметрів кодування у базовій технології.

3.1. Розробка концепції кодування трансформант та аналізу їх параметрів для підходу щодо контролю бітової швидкості відеопотоку

Побудова кодування відповідно до вимог (2.14), (2.18) з внесенням у технологію компактного представлення трансформованих зображень базується на послідовному виконанні наступних технологічних етапів [100-102]:

1. Побудова бітового опису трансформанти ДКП. На даному етапі пропонується обчислювати значення елементів бінарного опису компоненти на базі її десяткового значення $y(q)_{m,n}$ відповідно до схеми, зображеної рис. 3.1:

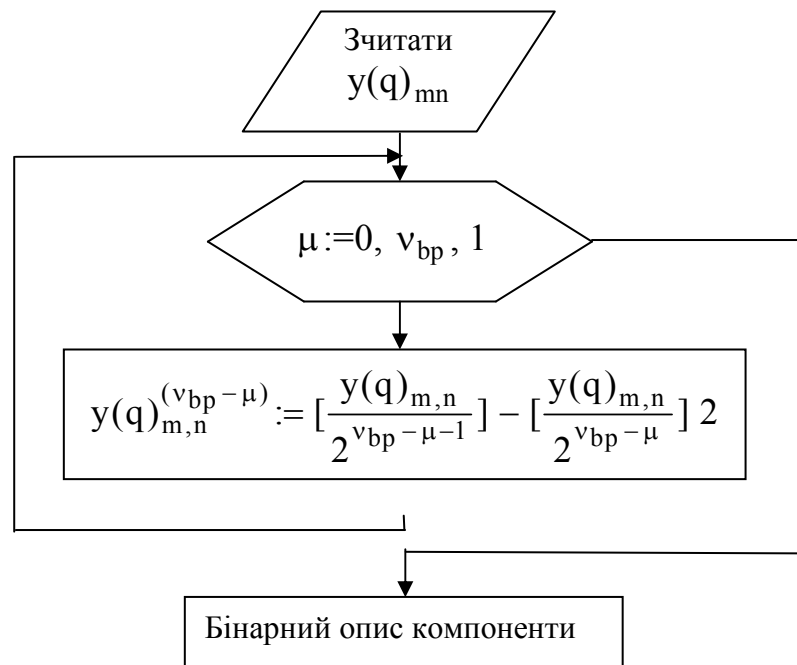


Рисунок 3.1. – Схема процесу побудови бінарного опису компоненти

На рис. 3.1 величина $y(q)_{m,n}^{(v_{bp} - \mu)}$ - $(v_{bp} - \mu)$ -й двійковий елемент $(m; n)$ -ї компоненти трансформанти; $2^{v_{bp} - \mu - 1}$ - ваговий коефіцієнт бінарного елемента $y_{m,n}^{(v_{bp} - \mu)}$; v_{bp} - кількість розрядів для представлення компоненти.

Схема на рис. 3.1 описує процес декомпозиції компоненти з отриманням бінарних елементів для її опису, починаючи зі старших розрядів. У цьому випадку з'являється можливість починати виявлення серій бінарних елементів

безпосередньо в ході отримання значень розрядів компонент. У свою чергу, визначення значень координат $(m;n)$ для виконання обходу по діагоналях виконується наступним чином:

- для $m=1$, Тобто розглядаються діагоналі першої половини БП при $n < v$. Координати верхнього елемента діагоналі $\vartheta=1$ і $\delta=n$, інші елементи діагоналі знаходяться за формулою $(\vartheta+1; n-1)$, $\vartheta=\overline{1,n}$, а $\delta=\overline{n,1}$;

- для другої половини БП коли $n = v$, а $m=\overline{1,u}$, Координата верхнього елемента діагоналі $\vartheta=m$ та $\delta=v$. Інші елементи діагоналі знаходяться за формулою $(\vartheta+1; \delta-1)$, $\vartheta=\overline{1,u}$, а $\delta=\overline{v,\vartheta}$.

Щоб знизити обсяг операцій, необхідних для побудови бітового опису трансформанти, пропонується враховувати, що якщо справедлива умова $[y(q)_{m,n} / 2^{v_{bp}-\mu-1}] = 0$, тоді $y_{m,n}^{(v_{bp}-\mu)} = 0$. Це дає можливість знизити число операцій в ході формування одного двійкового елемента. А саме - зменшується на одиницю кількість операцій ділення, множення та двійкового зсуву.

2. Виявлення довжин серій бінарних елементів в у напрямку бітових площин бітового опису трансформанти. Для заданих раніше умов процес формування довжин серій містить у собі такі дії (рис. 3.2):

1) нехай двійковий елемент $y_{0,1}^{(\mu)}$, рівний 0, передуює елементу з координатами $(1;1)$ розташованому в першому рядку μ -ї бітової площини. У цьому випадку,

якщо елемент $y_{11}^{(\mu)} = 0$, тоді довжина серії бінарних елементів $\lambda_{m,1}^{(\mu)} = 2$, інакше

$$\lambda_{m,1}^{(\mu)} = 1;$$

2) при $\lambda_{m,\varphi}^{(\mu)} = \vartheta$, обробка здійснюється згідно схеми, зображеної рис. 3.3.

На рис. 3.3 величина $n(m/\varphi)$ - кількість бінарних елементів, що знаходяться у межах m -го рядка μ -ї бітової площини, які передують початку φ -ї бінарної серії.

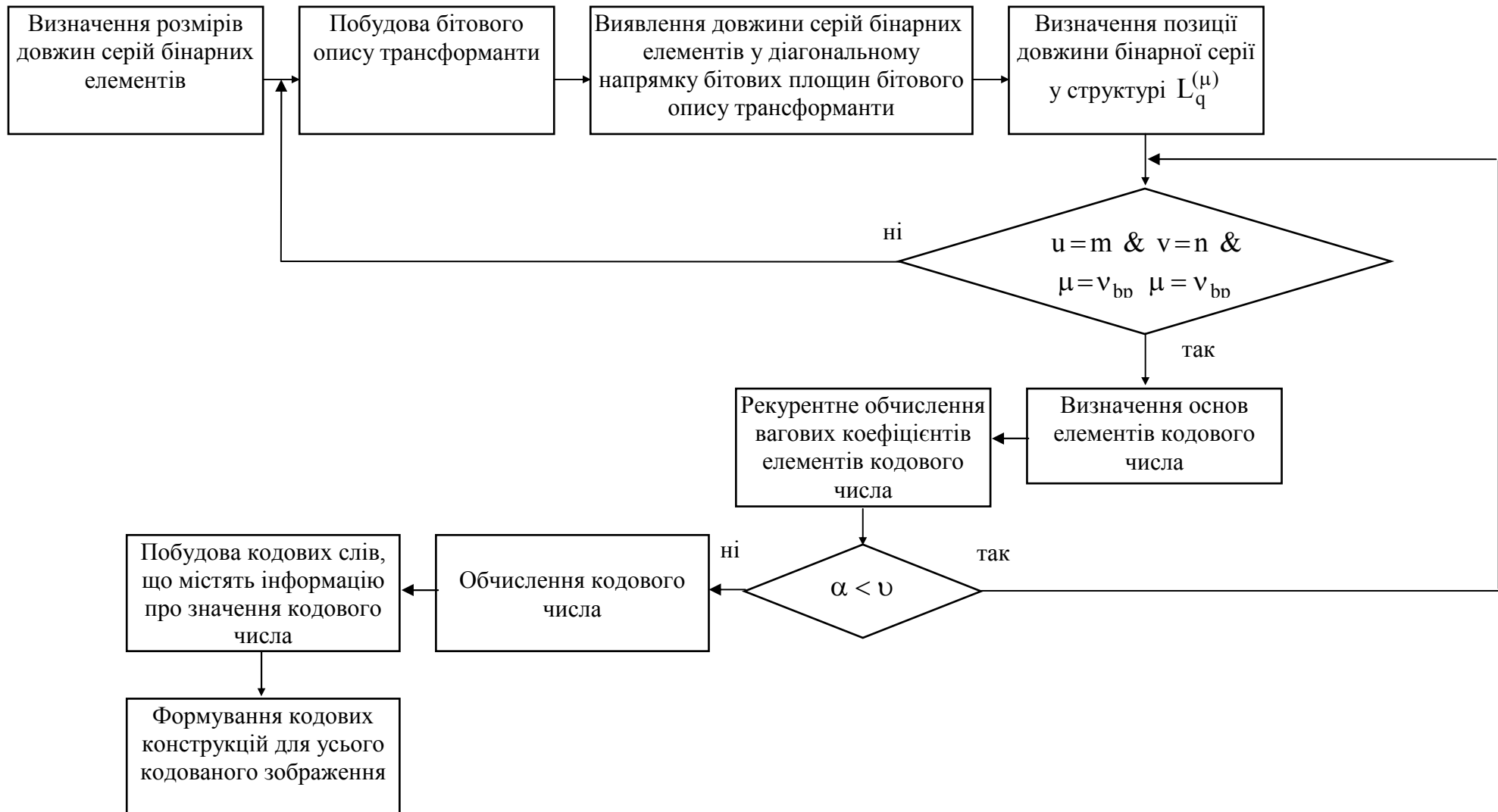


Рисунок 3.2. - Структурна схема методу кодування бітового опису трансформанти

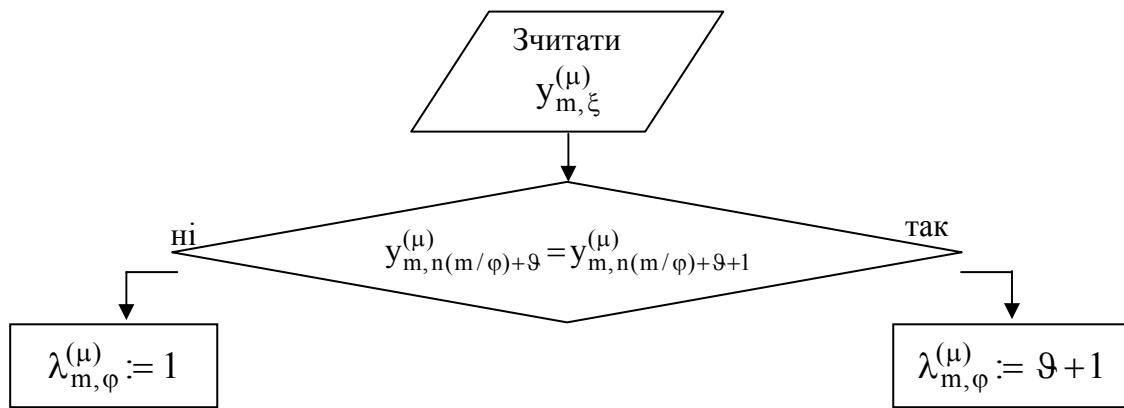


Рисунок 3.3. –Схема формування довжин серій бінарних елементів в у напрямку бітових площин бітового опису трансформанти

Процес побудови серій довжин бінарних елементів завершується, коли виконана обробка елемента $y_{u,v}^{(\mu)}$.

3. Формування двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$. Даний процес виконується по мірі виявлення серій довжин бінарних елементів у напрямку стовпців.

4. Визначення компонент h_α вектора $H_\lambda^{(\mu)} = \{h_1, \dots, h_v\}$ основ кодового числа для сформованої двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$.

Беручи до уваги те, що мінімальна довжина серії бінарних елементів буде рівною 1, пропонується виконувати автоматичне зменшення величин довжин серій бінарних елементів на одиницю. Інакше кажучи, $\lambda'_{\alpha,\beta} = \lambda_{\alpha,\beta} - 1$. Тоді буде сформована структура $L_q^{(\mu)'}$, довжини серій бінарних елементів у складі якої зменшено на 1 [143, 144].

У цьому випадку формула обчислення основ h'_α довжин серій бінарних елементів, зменшених на 1, набуде вигляду, як показано наступним виразом:

$$h'_\alpha = f_{bb}(\lambda'_{\alpha,\beta}; \varepsilon) + 1, \quad \alpha = \overline{1, v}. \quad (3.1)$$

де $f_{bb}(\lambda'_{\alpha,\beta};\varepsilon)$ - функціонал, що описує процес обчислення основ, та визначається як $f_{bb}(\lambda'_{\alpha,\beta};\varepsilon) = \max_{1 \leq \beta \leq \varepsilon} \{ \lambda'_{\alpha,\beta} \}$;

Формування значень накопичених добутоків виконується у міру обчислення їх основ, починаючи з другого рядка, тобто $\alpha=2$, відповідно до наступної схеми (рис. 3.4):



Рисунок 3.4. – Схема формування значень накопичених добутоків основ довжин серій бінарних елементів

На рис. 3.4 величина $V_{\alpha,\phi}$ являє собою ваговий коефіцієнт елементів α -го рядка з урахуванням отриманих величин основ ϕ рядків двовимірної структури довжин серій бінарних елементів (без першого рядка, $\alpha=1$).

Вираз для обчислення накопиченого добутку основ, поданий у схемі на рис. 3.4 може бути представлено у рекурентному вигляді як $V_{\alpha,\phi} = h'_{\phi} V_{\alpha,\phi-1}$, $\alpha=\overline{1,v}$, $\phi=\overline{2,v}$.

На рис.3.5 приведена схема визначення вагових коефіцієнтів $V_{\alpha,\phi}$ елементів кодових чисел.

Як видно з аналізу рис. 3.5, виключення часових затримок, викликаних очікуванням знаходження усіх основ кодових чисел, досягається за рахунок застосування v чарунок пам'яті для зберігання поточних величин вагових коефіцієнтів V_{α} , $\alpha=\overline{1,v}$. Тоді завершення процесу визначення останньої

основи h'_ν здійснюється одночасно із закінченням знаходження вагових коефіцієнтів.

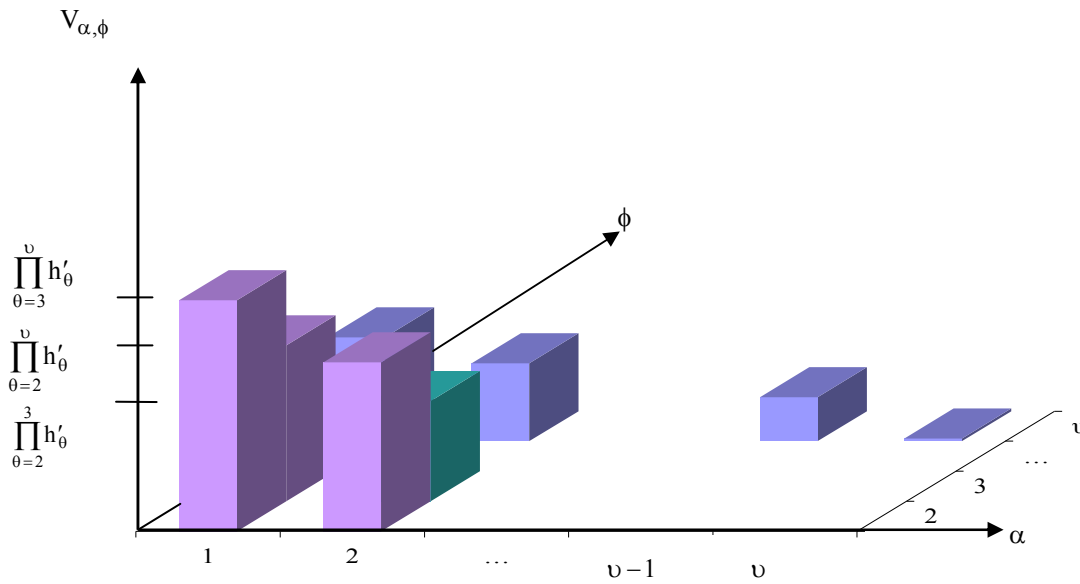


Рисунок 3.5. – Схема визначення величин $V_{\alpha, \phi}$ на базі α та ϕ

На заключному етапі даної операція виконується $(\nu-2)$ -а операція множення, тобто $V_i = h'_\nu V_{\alpha, \nu-1}$, $\alpha = \overline{1, \nu-2}$, $V_{\nu-1} = h'_\nu$, $V_\nu = 1$.

Знайдені величини вагових коефіцієнтів надалі будуть задіяні в ході обчислення значень кодових чисел.

5. Визначення величин кодових чисел на базі елементів стовпця двовимірної структури довжин серій бінарних елементів.

6. Формування кодових слів, що несуть в собі інформацію про значення коду $E(q)_\alpha^{(\mu)'}$.

У ході такого процесу враховується умова (2.18). Тобто, визначення меж кодових слів здійснюється без використання додаткової службової інформації. При цьому, кодові числа обчислюються на базі інформації про їх основи.

У той же час, як зазначено виразом (2.18), визначення вагових коефіцієнтів елементів кодових чисел виконується для зниженого діапазону. Відповідно, обчислення значення коду біде здійснюватися за виразом

$E(q)_\alpha^{(\mu)'} = \sum_{\alpha=1}^v \lambda'_{\alpha,\beta} V_\alpha$, де величина β знаходиться у діапазоні значень від 1 до

ε . З урахуванням цього умова (2.17) буде подана наступним чином:

$$W(E(q)_\alpha^{(\mu)'}) = [\log_2(h'_1 V_1 - 1)] + 1, \alpha = \overline{1, \psi}. \quad (3.2)$$

Отже, у цьому випадку формується ε кодівих слів розмірністю $([\log_2(h'_1 V_1 - 1)] + 1)$ біт. У свою чергу, структура кодового опису бітового представлення трансформанти представлена на рис. 3.6.

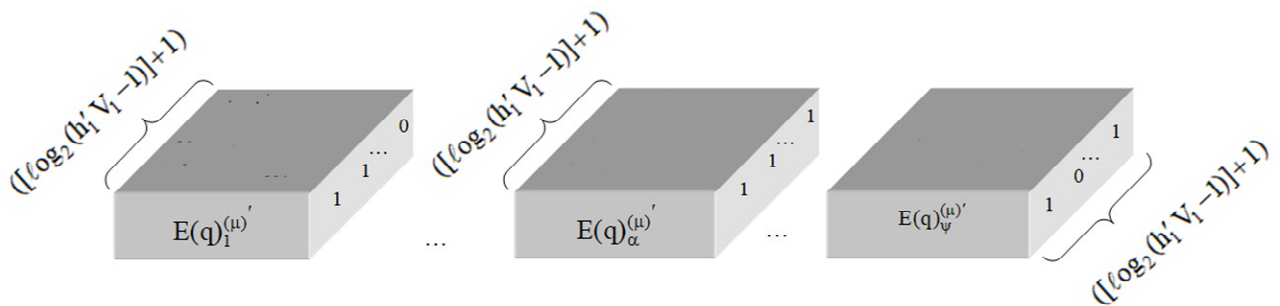


Рисунок 3.6. – Схема формування структури кодового опису бітового представлення трансформанти

Очевидно, що розрядність кодівих слів в межах обробки однієї трансформанти не змінюється. Одночасно з тим, може забезпечуватися зміна довжини кодівих слів для різних трансформант. Такі маніпуляції щодо довжини кодівих слів можливі за рахунок властивості налаштування блочного кодування до діапазону значень довжин серій бінарних елементів. Отже, принцип розподілу розрядності кодівих слів носить локально-рівномірний характер.

Відповідно до третьої умову інтеграції методу кодування трансформант в технологію скорочення бітової інтенсивності відеоданих, потрібно розробити метод компактного представлення службової інформації, що утворюється в ході обробки трансформованих зображень. Тут до службових даних відносяться знаки компонент трансформант. Це викликано наступними причинами:

- з одного боку, в ході кодування виконується обробка цілочисельних компонент, що мають невід'ємні значення;

- з іншого боку, у результаті dct-перетворення компоненти трансформант мають як негативні, так і позитивні значення.

Отже, необхідно отримати позитивні значення компонент без збільшення їх динамічного діапазону. Для цього пропонується сформувати матрицю знаків $Z = \{z_{m,n}\}$; $m = \overline{1, u}$; $n = \overline{1, v}$, у якій $z_{m,n}$ - $(m;n)$ -й елемент матриці Z , що несе інформацію про знак компоненти $y(q)_{m,n}$ [143]. Формування матриці знаків на основі відповідних значень компонент трансформанти задається схемою, зображеною рис. 3.7.

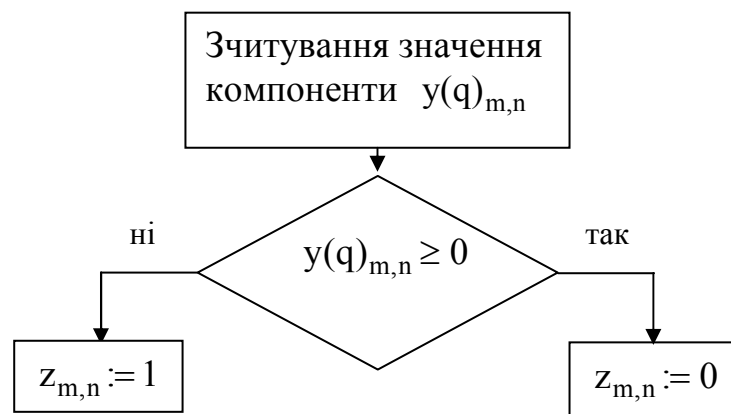


Рисунок 3.7. – Схема формування матриці знаків на базі відповідних значень компонент трансформанти

З урахуванням наведеної схеми формування матриці знаків, опис трансформанти буде здійснюватися за допомогою матриці, що містить в собі позитивні значення компонент, а також матриці знаків відповідних компонент. Така схема обробки трансформанти показана на рис. 3.8.

У зв'язку з тим, що матрицю знаків формують бінарні елементи, для їх обробки пропонується задіяти кодування довжин серій бінарних елементів.

Відтак, згідно зі схемою, зображеною рис. 3.8, на даному етапові обробки компоненти $y(q)_{mn}$ у загальному випадку описується наступним чином:

$$y(q)_{mn} = |y(q)_{mn}| \cup z_{mn}.$$

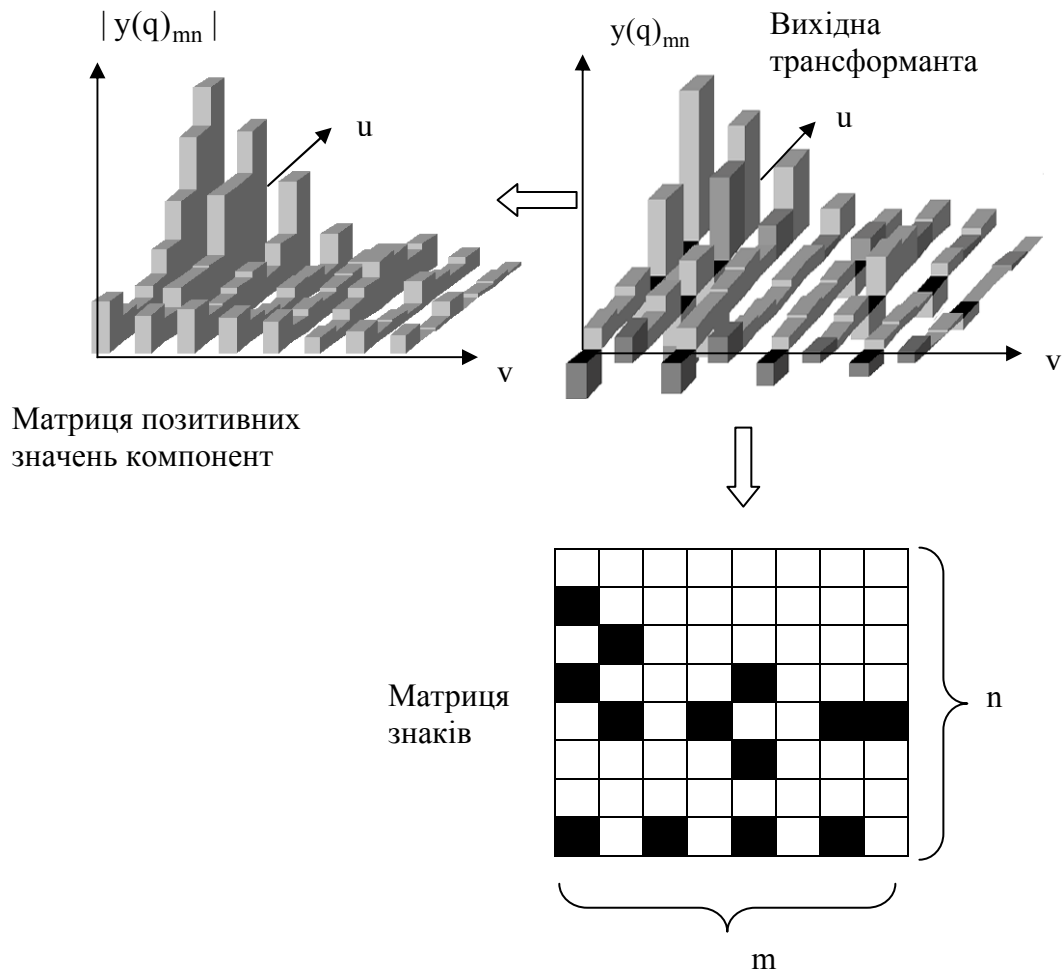


Рисунок 3.8. – Схема обробки трансформанти ДКП

Тоді, як і в разі попередньо запропонованого методу обробки бітового опису трансформант, потрібно побудувати послідовність декількох матриць знаків, тобто. Це, у свою чергу, дасть можливість знизити витрати на подання службової інформації.

Формування послідовностей матриць знаків здійснюється, попередньо задавши її довжину $\omega(Z)$ не менше 8. Обробка матриць знаків здійснюється відповідно до наступної схеми (рис. 3.9).



Рисунок 3.9. – Схема формування послідовності матриць знаків компонент

При цьому пропонується виконувати обробку окремих матриць знаків. Такий підхід забезпечить надалі можливість відновити вихідні масиви відеоданих у ході отримання трансформант.

У результаті такої обробки формуються значення $E(q)_\alpha^{(\mu)}$ кодових чисел:

$$E(z)_\alpha^{(\mu)} = \sum_{\alpha=1}^s \lambda(z)_{\alpha,\beta} V(z)_\alpha, \quad \beta = \overline{1, \varepsilon}, \quad (3.3)$$

де $\lambda(z)_{\alpha,\beta}$ - $(\alpha;\beta)$ -й елемент масиву довжин серій бінарних елементів, сформованих для послідовності матриць знаків;

$V(z)_\alpha$ - ваговий коефіцієнт величини $\lambda(z)_{\alpha,\beta}$, що розглядається як елемент кодового числа.

Далі, як і у разі запропонованого методу обробки бітового опису трансформанти, виконується побудова кодової структури компактного представлення послідовності матриць знаків. Відповідна схема структури кодового опису масиву знаків приведена на рис. 3.10.

Підсумкова схема кодування трансформанти згідно з розробленим методом наведена рис. 3.11.

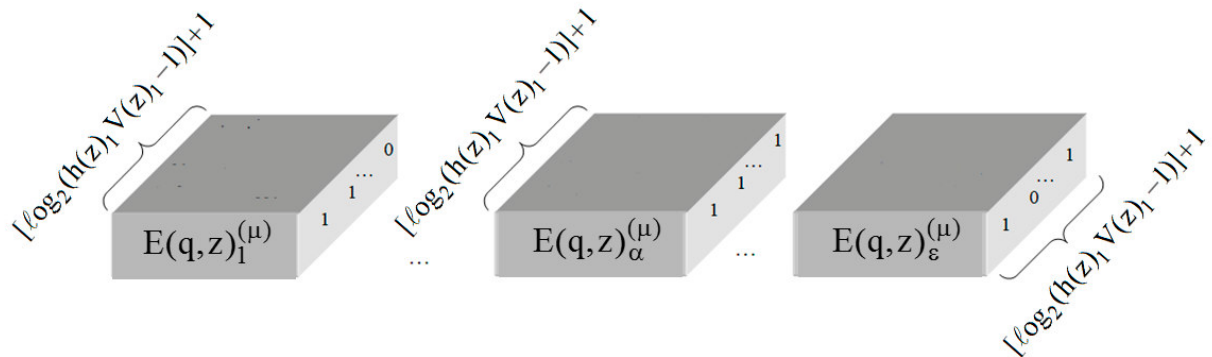


Рисунок 3.10. - Схема структури кодового опису масиву знаків компонент трансформант

За результатами викладеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

1) Розроблено метод кодування бітового опису трансформант на базі обробки двовимірних структур довжин серій бінарних елементів, який враховує особливості побудови бітового опису трансформант dct-перетворення.

Створений метод дозволяє:

- уникнути втрат інформації, що може бути викликано переповненням кодового слова;

- застосовувати у якості службових даних систему основ елементів кодових чисел, тим самим сприяючи мінімізації обсягу службової інформації;

2) Обґрунтовано доцільність застосування методу блочного кодування для скорочення послідовності матриць знаків компонент трансформант;

3) Побудована верифікація розробленого методу у технологію кодування трансформованих зображень.

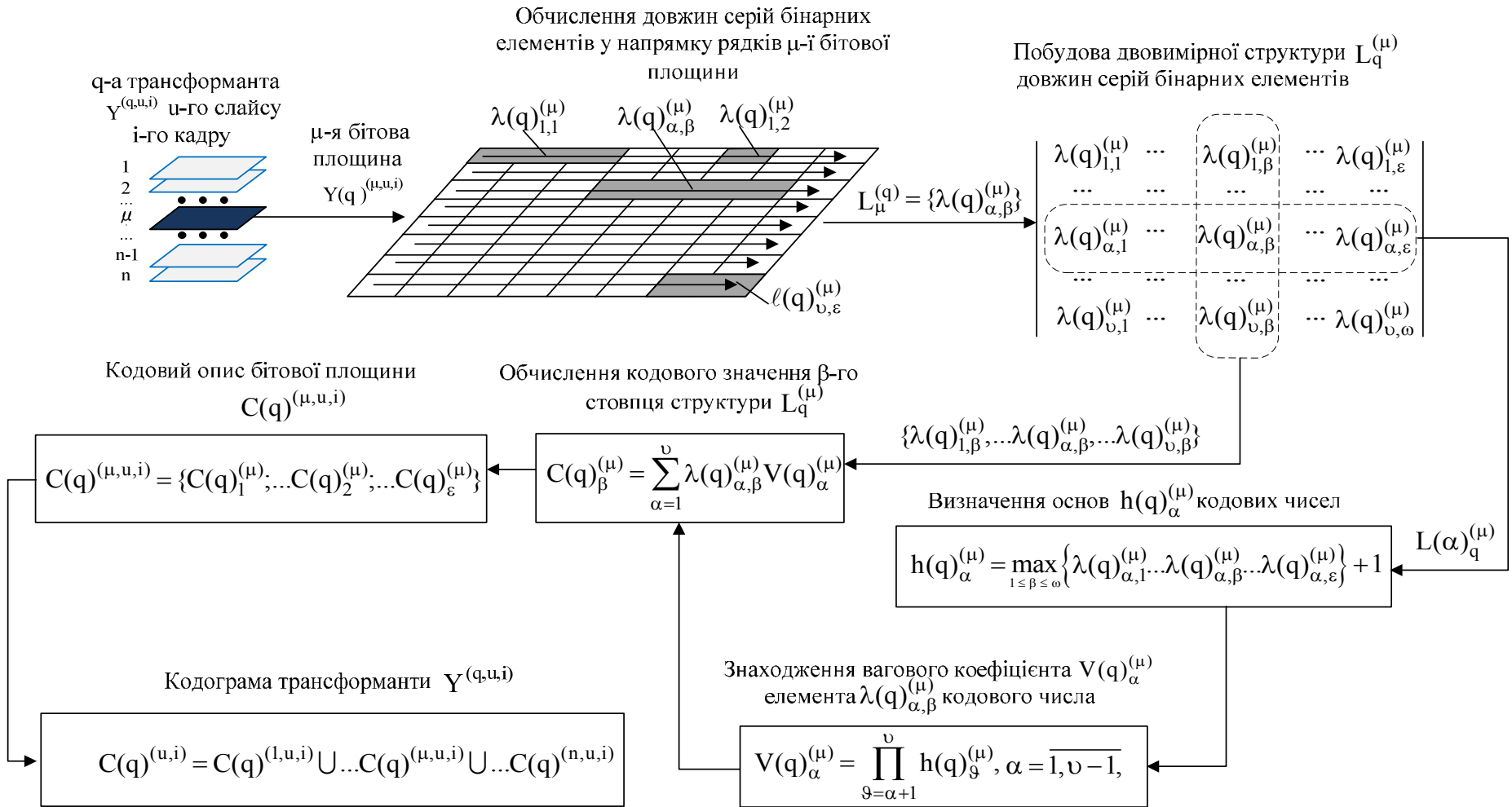


Рисунок 3.11. – Схема формування кодограми для q -ї трансформанти u -го слайса i -го кадру

3.2. Обґрунтування підходів до побудови методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку

Технології кодування, використовувані для зниження інтенсивності R відеопотоку, дозволяють зменшити обсяг відеоданих, що надходять в інформаційно-комунікаційну мережу. У той же час, як технології кодування у повній мірі не забезпечують можливості узгодження інтенсивності R вихідного відеопотоку з пропускнуною спроможністю V_w мережі. У свою чергу, недостатня узгодженість у даному аспекті є причиною перевантажень мережі, а також нераціонального її використання. Як наслідок, не забезпечуються вимоги QoS щодо значення основних показників якості відеосервісів - затримки доставки пакетів, величини джитера і показника втрат пакетів. Це є причиною загального зниження якості відео на приймальній стороні. Як було показано виразами (2.1) і (2.2), неузгодженість інтенсивності R відеоданих і V_w обумовлена існуванням ряду факторів, що впливають на їх динаміку. У той же час бітова інтенсивність R відеопотоку, яка припадає на Ω кадрів, формується як сума бітових інтенсивностей $R^{(i)}$ окремих кадрів F_i , що еквівалентно виразу:

$$R = \sum_{i=1}^{\Omega} R^{(i)}. \quad (3.4)$$

Значить, інтенсивність R відеопотоку буде змінюватися відповідно до різної інтенсивності окремих кадрів [136, 146-148]. Тому для забезпечення ефективної передачі відеоданих потрібно узгодити інтенсивність надходячого у канал відеопотоку з динамікою зміни пропускнуною здатності мережі. Такий процес у тому числі включає в себе питання управління і локалізації інтенсивності відеоданих. У зв'язку з чим, потрібно розробити метод управління бітовою інтенсивністю відеопотоку.

При цьому щодо процесу управління інтенсивністю відеотрафіка пред'являються такі базові вимоги:

1) забезпечувати обробку відеоданих у реальному масштабі часу, так, щоб затримка $\tau_{\text{упр}}$, яка вноситься на етапі організації процесу управління, не чинила суттєвого впливу на сумарну тимчасову затримку τ_{Σ} процесу обробки відеопотоку, тобто, була на рівні:

$$\tau'_{\Sigma} - \tau_{\Sigma} \leq \Delta\tau, \quad (3.5)$$

де τ'_{Σ} - сумарна часова затримка процесу обробки відеопотоку з урахуванням внесеної затримки на етапі управління, а саме:

$$\tau'_{\Sigma} = \tau_{\Sigma} + \tau_{\text{упр}};$$

де $\Delta\tau$ - допустима обмежено мала величина затримки.

2) забезпечувати збереження якості реконструйованих відеоданих. Характер і кількість похибок, що вносяться в процесі управління інтенсивністю трафіку, і які оцінюються показником середньоквадратичного відхилення (СКВ) $D_{\text{упр}}$, не повинні значним чином впливати на необхідний рівень якості, оцінюваний необхідним рівнем СКО $D_{\text{н}}$, який забезпечують стандартизовані процеси обробки, як показано наступним виразом:

$$D' - D_{\text{н}} \leq \Delta D, \quad (3.6)$$

де D' - результуюча похибка з урахуванням помилки, що вноситься у процесі обробки відеопотоку на етапі управління, а саме:

$$D' = D_{\text{н}} + D_{\text{упр}};$$

де ΔD - допустима обмежено мала величина похибки, яка вноситься.

3) враховувати динаміку зміни пропускної здатності мережі у процесі роботи, а також технологічний аспект і часові затримки, що витрачаються на контроль інтенсивності. Тут потрібно забезпечити мінімізацію реакції процесу зміни інтенсивності відеопотоку щодо зміни пропускної здатності мережі [90, 91, 128, 129]. Під реакцією системи управління розуміються часові затримки виконання дій, спрямованих на зміну інформаційної інтенсивності відеопотоку.

Для забезпечення даних вимог необхідно вибрати механізми технології кодування, які беруть участь в обробці відеоданих, та здатні змінювати інтенсивність бітового потоку у залежності від змін пропускної здатності мережі. Тоді на базі виразу (2.1) метод G управління інтенсивністю відеопотоку можна розглядати як функціонал f_{prc} (Prc - processing (англ.) обробка) від окремих технологічних механізмів його обробки:

$$G = f_{\text{prc}}(\omega_5; \omega_6), \quad (3.7)$$

Для вибору відповідних технологічних механізмів процесу кодування необхідно обґрунтувати аспекти його обробки з урахуванням особливостей розробленого кодування бітового опису трансформант.

Для створеного методу забезпечується побудова кодових конструкцій $C(q)^{(u,i)}$ трансформант на основі формування послідовності кодограм $C(q)^{(\mu,u,i)}$ окремих бітових площин $Y(q)^{(\mu,u,i)}$.

Кодограма $C(q)^{(\mu,u,i)}$ бітової площини $Y(q)^{(\mu,u,i)}$, у свою чергу, містить у собі синтаксичне опис $E(q)^{(\mu)}$ кодового числа. Визначення значення кодового числа у загальному вигляді задається функціоналом f_{enc} (Enc - encoding (англ.) кодування), а саме:

$$E(q)^{(\mu)} = f_{\text{enc}}(Y(q)^{(\mu,u,i)}; B(q)^{(\mu)}), \quad (3.8)$$

де $B(q)^{(\mu)}$ - система основ кодового числа відповідної бітової площини $Y(q)^{(\mu,u,i)}$ трансформанти $Y^{(q,u,i)}$.

Тут кодове число формується на основі двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$ довжин $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ серій бінарних елементів. При цьому виявлення довжин серій бінарних елементів для побудови $L_q^{(\mu)}$ здійснюється порядково, окремо для кожної бітової площини трансформанти.

У свою чергу, процес побудови кодограми $C(q)^{(\mu,u,i)}$, що несе інформацію про значення кодового числа для бітової площини, задається функціоналом f_{cod} , тобто:

$$C(q)^{(\mu,u,i)} = f_{\text{cod}}(B(q)^{(\mu)}; v_{\text{el}}), \quad (3.9)$$

де v_{el} - кількість елементів кодового числа.

У нашому випадку для кожної бітової площині будується одне кодове число. Тому розмірність v_{el} кодового числа буде дорівнює кількості $\upsilon \times \omega$ послідовностей серій бінарних елементів у структурі $L_q^{(\mu)}$, тобто:

$$v_{\text{el}} = \upsilon \times \omega.$$

Процес побудови кодових конструкцій $C(q)^{(u,i)}$ трансформант, що задається функціоналом $f_{\text{form}}(f_{\text{cod}}(B(q)^{(\mu)}; v_{\text{el}}))$ (Form - forming (англ.) формування), складається з таких кроків, як:

1. Виявлення довжин $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ серій $\theta(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ бінарних елементів по рядках бітової площини $Y(q)^{(\mu,u,i)}$ трансформанти.

2. Побудова двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$ послідовностей серій $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ бінарних елементів. У загальному випадку, для побудови двовимірної структури $L_q^{(\mu)}$ виділяється $\upsilon \times \omega$ позицій. У той же час, у залежності від структурно-семантичних особливостей змісту бітових площин трансформанти, розміри $\upsilon \times \omega$ структури $L_q^{(\mu)}$ серій довжин бінарних елементів можуть бути змінними.

3. Обчислення основ $b(q)_\alpha^{(\mu)}$ елементів $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ кодових чисел для кожної α -го рядка отриманого $L_q^{(\mu)}$. При цьому величина $b(q)_\alpha^{(\mu)}$ визначається за максимальним значенням рядка $L(\alpha)_q^{(\mu)}$ відповідно до формули (2.11).

4. Знаходження вагових коефіцієнтів $V(q)_\alpha^{(\mu)}$ елементів кодового числа. Тут елементами кодового числа є величини $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$. При цьому ваговий коефіцієнт для α -го елемента кодового числа визначається як добуток відповідних основ по рядках, починаючи з $(\alpha+1)$ -го рядка, як показано схемами 2.27 і 2.28.

5. Обчислення значення $E(q)^{(\mu)}$ кодового числа, яке визначається функціоналом $f_{\text{enc}}(Y(q)^{(\mu,u,i)}, V(q)^{(\mu)})$. На даному етапі значення кодового числа визначаються сумою добутків його елементів $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ на відповідні значення вагових коефіцієнтів $V(q)_\alpha^{(\mu)}$.

6. Побудова кодограми $C(q)^{(\mu,u,i)}$ бітової площини $Y(q)^{(\mu,u,i)}$, що задається функціоналом $f_{\text{cod}}(B(q)^{(\mu)}; \nu_\lambda)$ на базі системи основ $B(q)^{(\mu)}$ для отриманого кодового значення, що містить ν_λ елементів.

7. Формування кодової конструкції $C(q)^{(u,i)}$ для трансформанти $Y(q,u,i)$ на базі послідовності кодограм $C(q)^{(\mu,u,i)}$ для бітових площин $Y(q)^{(\mu,u,i)}$, що задається функціоналом f_{form} , а саме:

$$C(q)^{(u,i)} = f_{\text{form}}(f_{\text{cod}}(B(q)^{(\mu)}; v_{\text{el}})), \quad (3.10)$$

де f_{cod} - функціонал, що описує побудову кодограми $C(q)^{(\mu,u,i)}$ для бітової площини $Y(q)^{(\mu,u,i)}$.

В умовах роздільної обробки бітових площин функціонал f_{form} задається наступним виразом:

$$C(q)^{(u,i)} = \bigcup_{\mu=1}^{v_{\text{bp}}} C(q)^{(\mu,u,i)}. \quad (3.11)$$

З урахуванням розглянутих технологічних етапів обробки відеоданих, структура кодового опису групи кадрів відеопотоку приведена на рис. 3.12.

З огляду на це, в процесі їх обробки з використанням розробленої технології кодування бітового опису трансформант зміна інтенсивності трафіку у загальному випадку може забезпечуватися на наступних етапах (рис.3.13):

1. Групування відеопотоку, у процесі якого здійснюється вибір кількості v_{fr} кадрів для формування групи, що складається з опорного і ряду пов'язаних кадрів [].

2. Класифікація кадрів в групах за типами; на цьому етапі визначається частота проходження опорних кадрів в потоці, а також кількість кадрів Р і В типу.

Кодовий опис $C = \{C^{(i)}\}$ групи кадрів відеопотоку

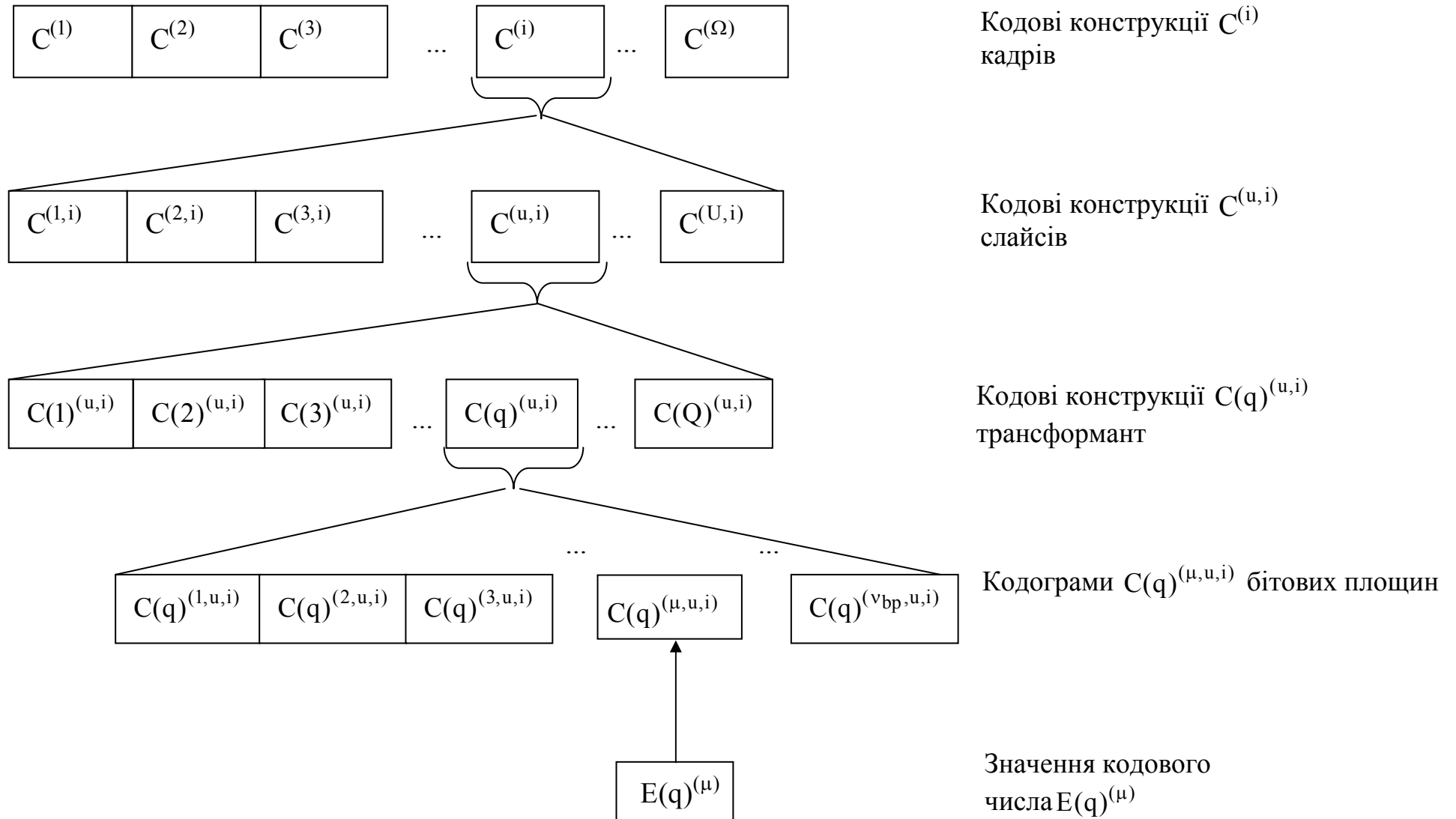


Рисунок 3.12. – Структурна схема кодового опису групи кадрів відеопотоку

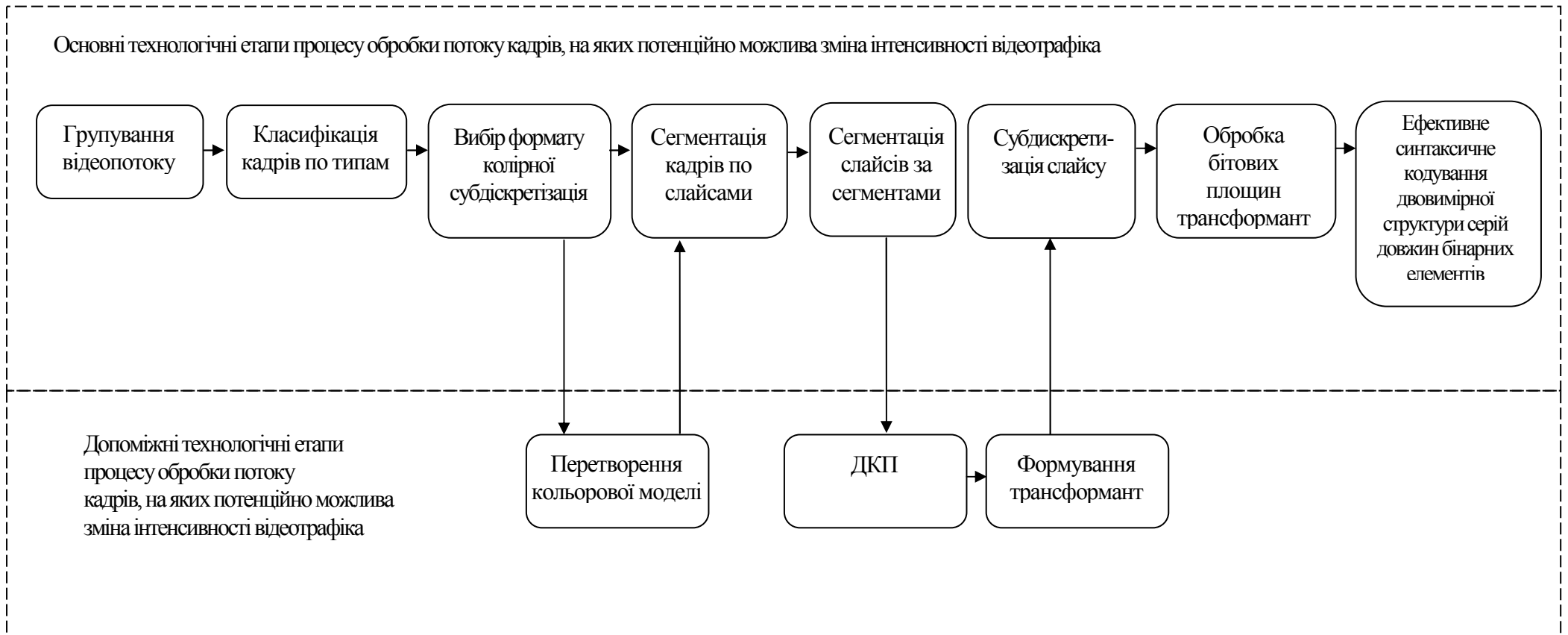


Рисунок 3.13. - Технологічні етапи зміни інтенсивності відеотрафіка

3. Сегментація кадрів на непересічні рівномірні фрагменти, розміром $m \times n$. Найчастіше розмір сегмента (фрагмента) приймається рівним 8×8 , або 16×16 пікселів. У результаті сегментації вихідний кадр $S^{(i)}$ розглядається у вигляді множини v_{seg} сегментів, де v_{seg} - кількість сегментів, що належать i -му кадру.

4. Групування сегментів кадру у слайси $S^{(u,i)}$. Під слайсами розуміється частина кадру, що містить послідовність сегментів. У загальному вигляді формування слайсів задається наступним виразом:

$$S^{(u,i)} = \bigcup_{q=1}^Q S^{(q,u,i)}, \quad (3.12)$$

де i - індекс кадру у відеопотоці;

u - індекс слайса в кадрі;

$S^{(u,i)}$ - u -й слайс в i -му кадрі;

$S^{(q,u,i)}$ - q -й сегмент u -го слайса i -го кадру.

Q - кількість сегментів у слайсі. У загальному випадку величина Q може бути нерівномірною.

У результаті кадр S_i описується сукупністю U слайсів $S^{(u,i)}$ (рис.3.14) [125], тобто:

$$S_i = \bigcup_{u=1}^U S^{(u,i)} = \bigcup_{u=1}^U \bigcup_{q=1}^Q S^{(q,u,i)}. \quad (3.13)$$

Кожен слайс надалі обробляється незалежно.

У цьому випадку слайс є структурною одиницею кадру, в рамках якої організовується подальша обробка сегментів і управління бітової

інтенсивністю відеопотоку. Це обумовлено тим, що слайс, з одного боку, є локальним фрагментом кадру, а з іншого боку - має достатню кількість біт.

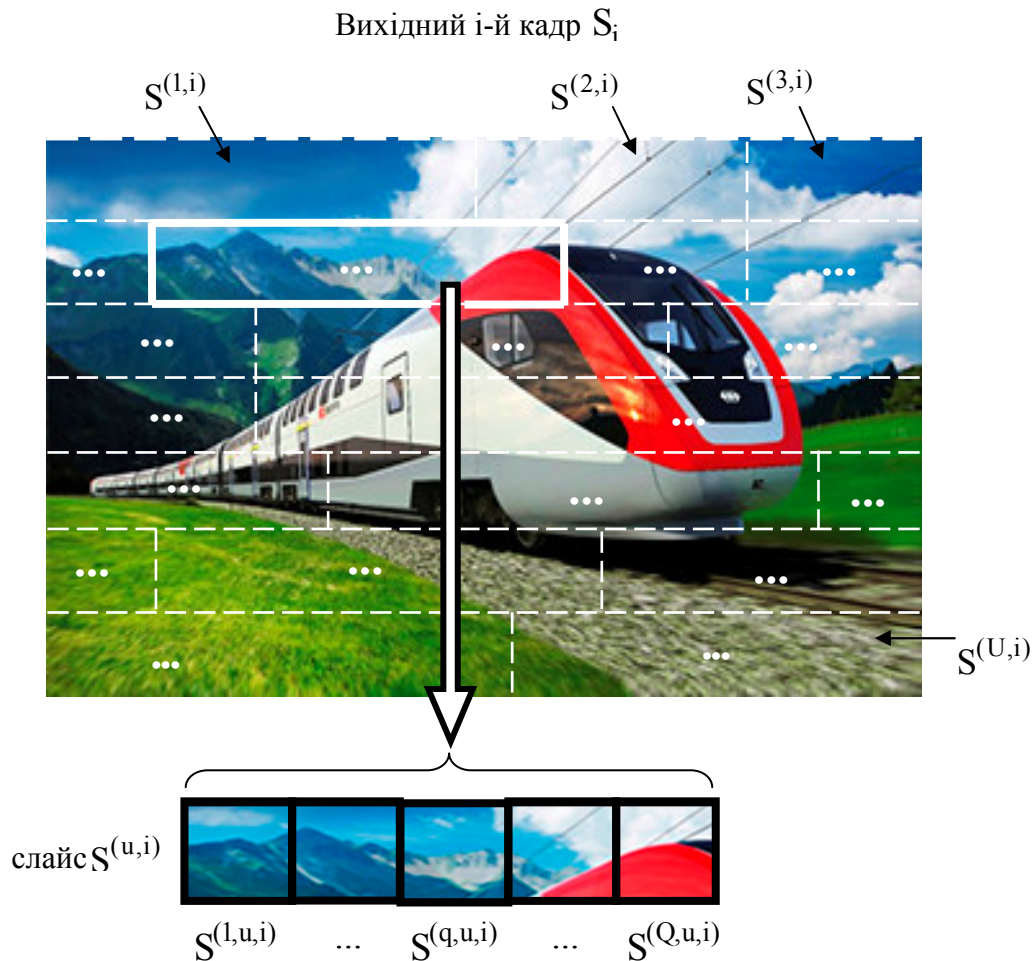


Рисунок 3.14. - Сегментація кадру по слайсам

Отже, для слайса $S^{(u,i)}$ справедливо наступне:

1) слайс формується такою кількістю біт $R^{(u,i)}$, якої досить для зниження бітової інтенсивності відеопотоку за мінімальний часовий інтервал $\tau_{\text{упр}}$.

2) внесена у процесі зміни бітової інтенсивності похибка $D_{\text{упр}}$ буде локалізована у межах слайса.

4.1 Перетворення кольорової моделі, у ході якого для сегмента організовується перехід з простору RGB в яскравісно-хроматичну область (колірно-різницевий простір) [43, 86, 125, 130-132, 137].

4.2 Вибір формату колірної субдискретизації сегмента, при якому кількість хроматичних компонент може змінюватися [43, 86, 125]. Приклади різних форматів колірної субдискретизації наводяться на рис. 3.15. Залежно від конкретного формату, на даному етапі можуть досягатися різні ступені зниження інтенсивності відеопотоку.

У початковій моделі колірного опису (4:4:4) передбачається, що одній яскравісній компоненті Y відповідає одна хроматичної Cb -компонента і одна – Cr -компонента. Навпаки, у разі застосування інших форматів, кількість хроматичних компонент зменшується. Так, формат 4:2:2 ставить у відповідність 4 яскравісним Y -компонентам 2 компоненти Cb і 2 компоненти Cr . У разі формату 4: 1: 1 на 4 компоненти Y припадає по одній компоненті Cb і Cr .

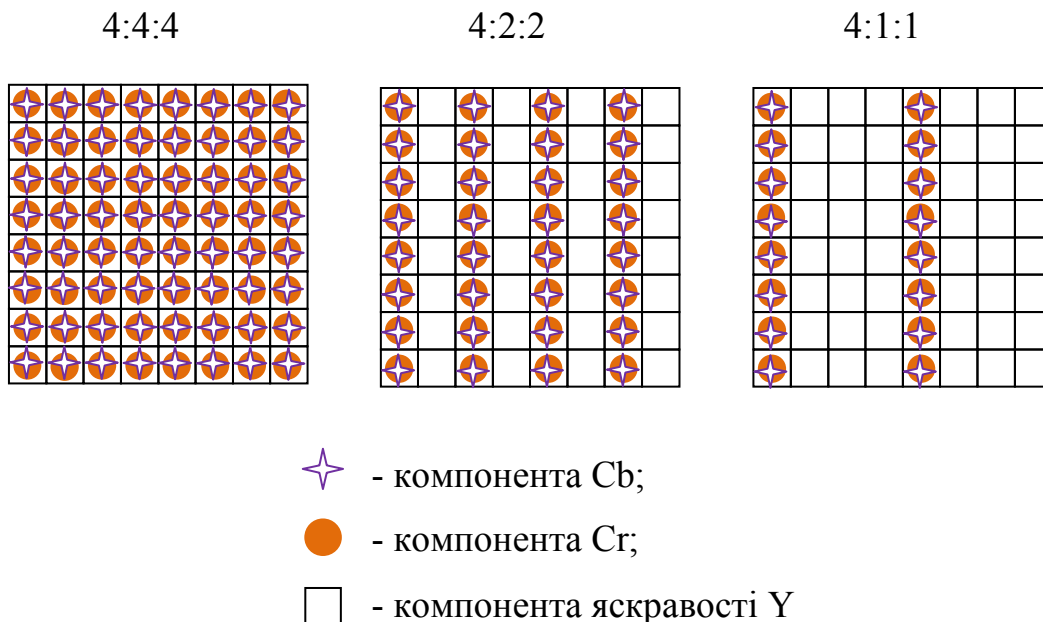


Рисунок 3.15. - Приклади форматів колірної субдискретизації

4.3 Трансформування сегментів $S^{(q,u,i)}$, при якому відбувається перехід з просторової області представлення сегмента у спектральну. Найчастіше тут може застосовуватися один з функціоналів f_{tm} трансформування - ДКП (дискретно-косинусное перетворення), ДВП (дискретно-вейвлетне перетворення), перетворення Уолша, або вейвлетного трансформування Хаара [5, 19-21, 29, 30, 37, 41, 47, 50]. Залежно від конкретного типу перетворення, на даному етапі можуть бути внесені різні значення часової затримки, зміна рівня інтенсивності і якості відеоданих [46, 49, 50, 54, 75, 85, 126, 127]. Після трансформування на даному технологічному етапі сегментів $S^{(q,u,i)}$ слайса він розглядається як сукупність трансформант $Y^{(q,u,i)}$, тобто:

$$S^{(u,i)} = \bigcup_{q=1}^Q f_{\text{tm}}^{(-1)}(Y^{(q,u,i)}), \quad (3.14)$$

де $f_{\text{tm}}^{(-1)}$ - функціонал зворотної трансформації.

4.4 Субдискретизація послідовності $Y^{(u,i)}$ трансформант $Y^{(q,u,i)}$ у рамках одного слайса $S^{(u,i)}$. У загальному вигляді вихідна послідовність $Y^{(u,i)}$ трансформант задається наступним виразом:

$$Y^{(u,i)} = \{Y^{(1,u,i)}, \dots, Y^{(q,u,i)}, \dots, Y^{(Q,u,i)}\}.$$

При цьому у структурі послідовності $Y^{(u,i)}$ може міститися підпослідовність $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$ трансформант, що підлягають субдискретизації з подальшою інтерполяцією, і підпослідовність $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ базових трансформант, тобто:

$$Y^{(u,i)} = Y_{\text{int}}^{(u,i)} \cup Y_{\text{base}}^{(u,i)}. \quad (3.15)$$

У режимі, коли вибирається один інтервал субдискретизації у межах слайса, підпоследовність $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$ трансформант задається наступним виразом:

$$Y_{\text{int}}^{(u,i)} = \{Y^{(q,u,i)} ; \dots ; Y^{(q+v_{\text{int}},u,i)}\};$$

$$v_{\text{int}} = \overline{0, Q-2}; q = \overline{2, Q-1},$$

де v_{int} - кількість трансформант у підпоследовності.

При $v_{\text{int}} = 0$ слайс $S^{(u,i)}$ передається без втрати цілісності.

Для последовності $Y^{(u,i)}$, що включає у себе Q трансформант, величина v_{int} обмежена значенням $(Q-2)$. Дане обмеження обумовлено тим, що для реконструкції підпоследовності $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$, раніше підданої субдискретизації, необхідна наявність, принаймні, двох базових трансформант, а саме - $Y^{(1,u,i)}$ і $Y^{(Q,u,i)}$.

У свою чергу, підпоследовність $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ базових трансформант включає в себе трансформанти, які не ввійшли у підпоследовність $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$, що підлягає субдискретизації, тобто:

$$Y_{\text{base}}^{(u,i)} = \{Y^{(1,u,i)}; \dots; Y^{(q-1,u,i)}; Y^{(q+v_{\text{int}}+1,u,i)}; \dots; Y^{(Q,u,i)}\}; \quad (3.16)$$

$$q = \overline{2, Q-1}; v_{\text{int}} = \overline{0, Q-2}.$$

Отже, підпоследовність $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ базових трансформант буде містити v_{base} трансформант, а саме:

$$Y_{\text{base}}^{(u,i)} = \{Y^{(1,u,i)} ; \dots ; Y^{(v_{\text{base}},u,i)}\};$$

$$v_{\text{base}} = \overline{2, Q-1}.$$

На даному етапі обробки відеопотоку підпоследовність $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$ трансформант u -го слайса i -го кадру може бути описана за базовими трансформантами. У цьому випадку апроксимована підпоследовність $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$ трансформант, реконструйованих за базовим трансформантами, задається функціоналом f_{int} (Int - interpolation), тобто:

$$Y_{\text{int}}^{(u,i)} = f_{\text{int}} (Y_{\text{base}}^{(u,i)}; v_{\text{int}}; f_{\text{rec}}), \quad (3.17)$$

де $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ - підпоследовність базових трансформант у слайсі $S^{(u,i)}$;

v_{int} - кількість інтерпольованих трансформант;

f_{rec} - функціонал, що задає принцип відновлення трансформант з використанням інформації про базові трансформанти.

Тоді послідовність $Y^{(u,i)}$ трансформант, відновлюваних на приймальній стороні, включає в себе підпоследовності базових $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ трансформант, а також підпоследовність $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$ трансформант, що реконструюються на основі базових трансформант, а саме:

$$Y^{(u,i)} = Y_{\text{int}}^{(u,i)} \cup Y_{\text{base}}^{(u,i)}. \quad (3.18)$$

В окремому випадку, коли субдискретизації підлягає одна трансформанта $Y^{(q,u,i)}$, для опису реконструйованої трансформанти $Y^{(q,u,i)}$ може бути використаний функціонал f_{int} у наступному вигляді:

$$Y^{(q,u,i)} = f_{\text{int}} (Y^{(q-1,u,i)}; Y^{(q+1,u,i)}; v_{\text{int}} = 1; f_{\text{rec}}), \quad (3.19)$$

де $Y^{(q-1,u,i)}$ і $Y^{(q+1,u,i)}$ - сусідні трансформанти у слайсі, що є базовими по відношенню до $Y^{(q,u,i)}$.

У цьому випадку зниження бітової інтенсивності відеоданих у межах слайса досягається за рахунок того, що передається тільки підпоследовність $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ базових трансформант.

При цьому замість Q трансформант передається інформація про:

- 1) базові трансформанти;
- 2) принцип відновлення проріджених слайсів на приймальній стороні.

4.5 Формування кодових чисел на базі довжин $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ серій бінарних елементів. Тут кодова конструкція $C(q)^{(u,i)}$ для q -ї трансформанти $Y^{(q,u,i)}$ формується на основі кодограм $C(q)^{(\mu,u,i)}$ окремих бітових площин $Y(q)^{(\mu,u,i)}$, що задається функціоналом (3.6). На цьому етапі забезпечується зниження бітової інтенсивності відеоданих за рахунок усунення структурної надмірності, обумовленої [14, 111-116]:

- нерівномірністю динамічного діапазону довжин серій бінарних елементів;
- зниженням динамічного діапазону довжин серій бінарних елементів;
- заміною серії бінарних елементів одним чисельним значенням довжини для її опису.

Значить, процес G управління бітової інтенсивністю, заданий формулою (3.7), у межах слайса в загальному вигляді може бути описаний функціоналом f_{control} , а саме:

$$G = f_{\text{control}} \{f_{\text{form}}; f_{\text{trn}}; f_{\text{tpr}}; f_{\text{int}}\}, \quad (3.20)$$

де f_{form} - функціонал формування кодової конструкції $C(q)^{(u,i)}$ для трансформанти $Y^{(q,u,i)}$;

f_{trn} - функціонал трансформування сегментів $S^{(q,u,i)}$ слайса $S^{(u,i)}$;
 f_{int} - функціонал субдискретизації слайса;
 f_{trp} - функціонал обробки бітових площин $Y(q)^{(u,u,i)}$ трансформанти $Y^{(q,u,i)}$.

Розглянуті технологічні етапи у різній мірі впливають на вимоги щодо показників ефективності процесу G управління інтенсивністю відеопотоку. Тому, для забезпечення ефективного управління, необхідно проводити корегування рівня інтенсивності відеопотоку в реальному часі так, щоб забезпечити можливість отримання необхідних величин показників щодо внесення похибки і часової затримки.

Для цього може бути використана субдискретизація слайсів відеокадру на рівні трансформант $Y^{(q,u,i)}$. У цьому випадку забезпечується:

- оперативне зниження бітової інтенсивності $R^{(u,i)}$ слайса. Це досягається за рахунок того, що в межах слайса послідовність трансформант описується на синтаксичному рівні достатньою кількістю біт для проведення відповідних маніпуляцій;

- локалізація у межах слайса похибки $D_{\text{упр}}$, що вноситься у процесі зміни бітової інтенсивності. Така локалізація досягається у результаті того, що внесена похибка не буде поширюватися на інші слайси.

Значить, для управління бітовою інтенсивністю відеопотоку з використанням розробленої технології кодування бітового опису трансформант, пропонується використовувати субдискретизацію трансформант слайса.

За викладеним матеріалом можна зробити висновки про наступне:

1. Побудовано функціональні залежності, що описують формування відеопотоку на кожному технологічному етапі обробки відео з використанням розробленої технології кодування бітового опису

трансформант. Визначено технологічні етапи, на кожному з яких потенційно можливо забезпечити зниження бітової інтенсивності відеопотоку.

2. Обґрунтовано вибір слайса як структурної одиниці відеопотоку, в рамках якої організовується наступна обробка сегментів з подальшим управлінням бітовою інтенсивністю відеопотоку. Це обумовлено тим, що слайс, з одного боку, є локальним фрагментом кадру, а з іншого боку - має достатню кількість біт. Отже, це дозволяє забезпечити зниження бітової інтенсивності відеопотоку за мінімальний інтервал часу. У той же час, похибка, що вноситься в процесі зміни бітової інтенсивності, у цьому випадку буде локалізована в межах слайса.

3. Показано, що управління бітовою інтенсивністю відеопотоку доцільно здійснювати на технологічному етапі субдискретизації слайсів. За рахунок цього забезпечується зниження інтенсивності відеоданих за мінімальний часовий інтервал.

3.3. Створення технології субдискретизації слайсу сегментів відеокадру для управління бітовою інтенсивністю відеопотоку

Розглянемо технологію управління інтенсивністю відеопотоку на основі механізму субдискретизації слайсів, для оперативного зниження бітової інтенсивності $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса $S^{(u,i)}$ з внесенням мінімальної часової затримки $\tau_{\text{упр}}$. Це задається наступним співвідношенням:

$$R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} \rightarrow R(v(\tau)_{\text{int}}, Q)_{\text{треб}}^{(u,i)}, \quad (3.21)$$

в умовах:

$$\begin{cases} \tau(S^{(u,i)})_{\text{упр}} \leq \tau(S^{(u,i)})_{\text{доп}}; \\ D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} \leq D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}, \end{cases} \quad (3.22)$$

де $\tau(S^{(u,i)})_{\text{упр}}$ - час обробки слайса у ході управління бітовою інтенсивністю;

$\tau(S^{(u,i)})_{\text{доп}}$ - допустимий час обробки слайса;

Q - кількість трансформант слайса для його синтаксичного опису;

$v(\tau)_{\text{int}}$ - кількість субдискретизованих трансформант у момент τ ;

$R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ - рівень бітової інтенсивності слайса в момент τ ;

$R(v(\tau)_{\text{int}}, Q)_{\text{треб}}^{(u,i)}$ - необхідний рівень бітової інтенсивності слайса;

$D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}$ - допустимий рівень помилки, що вноситься у процесі обробки слайса;

$D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ - рівень помилки, що вноситься у процесі обробки слайса.

Дана технологія є складовою частиною концепції управління бітовою інтенсивністю у рамках слайса [137, 143-145]. Сутність управління бітовою інтенсивністю $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ у межах слайса на основі механізму його субдискретизації полягає у зміні кількості $v(\tau)_{\text{int}}$ трансформант, що підлягають субдискретизації. У загальному вигляді оцінка бітової інтенсивності слайса з урахуванням такого процесу обробки послідовності трансформант описується функціоналом F_{int} , а саме:

$$R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} = F_{\text{int}}(Y_{\text{base}}^{(u,i)}; v(\tau)_{\text{int}}; f_{\text{rec}}; Q); \quad (3.23)$$

$$v(\tau)_{\text{int}} = \overline{1, Q - 2},$$

де F_{int} - функціонал для оцінювання бітової інтенсивності $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ підпослідовності $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ базових трансформант;

$Y_{\text{base}}^{(u,i)}$ - підпоследовність базових трансформант, представлена виразом (3.16);

$v(\tau)_{\text{int}}$ - кількість трансформант, що підлягають субдискретизації;

f_{rec} - функціонал, що визначає принцип відновлення послідовності $Y^{(u,i)}$ з реконструкцією трансформант з базових $Y_{\text{base}}^{(q,u,i)}$ трансформант;

Q - розмір слайса, тобто вихідна кількість трансформант, задіяних для його синтаксичного опису.

Для узгодження бітової інтенсивності $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса у момент часу τ з необхідним рівнем $R(v(\tau)_{\text{int}}, Q)_{\text{треб}}^{(u,i)}$ бітової інтенсивності здійснюється зміна відповідної кількості $v(\tau)_{\text{int}}$ субдискретизованих трансформант. Це призводить до зміни кількості $v(\tau)_{\text{base}}$ базових трансформант, які використовуються для синтаксичного опису слайса, в тому числі, як варіант, до зниження їх кількості. Отже, в цьому випадку бітова інтенсивність $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса буде змінюватися.

У загальному вигляді процес узгодження бітової інтенсивності $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса з величиною $R(v(\tau)_{\text{int}}, Q)_{\text{треб}}^{(u,i)}$ може бути описаний функціоналом F_{icf} (Icf - interpolation control functional), тобто:

$$R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} = F_{\text{icf}} (F_{\text{int}}; R(v(\tau)_{\text{int}}, Q)_{\text{треб}}^{(u,i)}; D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}),$$

де $D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}$ - допустимий рівень СКВ слайса.

$R(v(\tau)_{\text{int}}, Q)_{\text{треб}}^{(u,i)}$ - необхідний рівень бітової інтенсивності слайса.

Відповідний процес управління бітової інтенсивністю слайса з використанням механізму субдискретизації у загальному вигляді показаний на рис. 3.16. Це відповідає випадку управління бітової інтенсивністю слайса, коли довжина Q слайса не змінюється. Тут у процесі управління кількість

біт $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ для синтаксичного опису слайса в момент τ визначається з використанням рівня $R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ бітової інтенсивності слайса в попередній момент $(\tau-1)$, у залежності від наступних умов:

1. Перша умова полягає в тому, що бітова інтенсивність $R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса перевищує необхідний рівень, тобто :

$$R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} > R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)_{\text{треб}}^{(u,i)},$$

у той же час, рівень СКВ не перевищує допустиму величину, тобто:

$$D(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} \leq D(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}.$$

У цьому випадку поточну бітову інтенсивність $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса необхідно змінити на величину $\Delta R(\tau-1)^{(u,i)}$ за рахунок збільшення кількості $v(\tau)_{\text{int}}$ субдискретизованих трансформант на 2, тобто $v(\tau)_{\text{int}} = v(\tau-1)_{\text{int}} + 2$. Інакше кажучи, величина $\Delta R(\tau-1)^{(u,i)}$ буде сумою бітових інтенсивностей двох трансформант. Тоді за умови, що процес зміни бітової інтенсивності $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса шляхом зміни кількості $v(\tau-1)_{\text{int}}$ субдискретизованих трансформант починається з q -ї трансформанти, величина $\Delta R(\tau-1)^{(u,i)}$ буде здаватися таким виразом:

$$\Delta R(\tau-1)^{(u,i)} = R^{(q,u,i)} + R^{(q+1,u,i)} = \sum_{\gamma=q}^{q+1} R^{(\gamma,u,i)}, \quad (3.24)$$

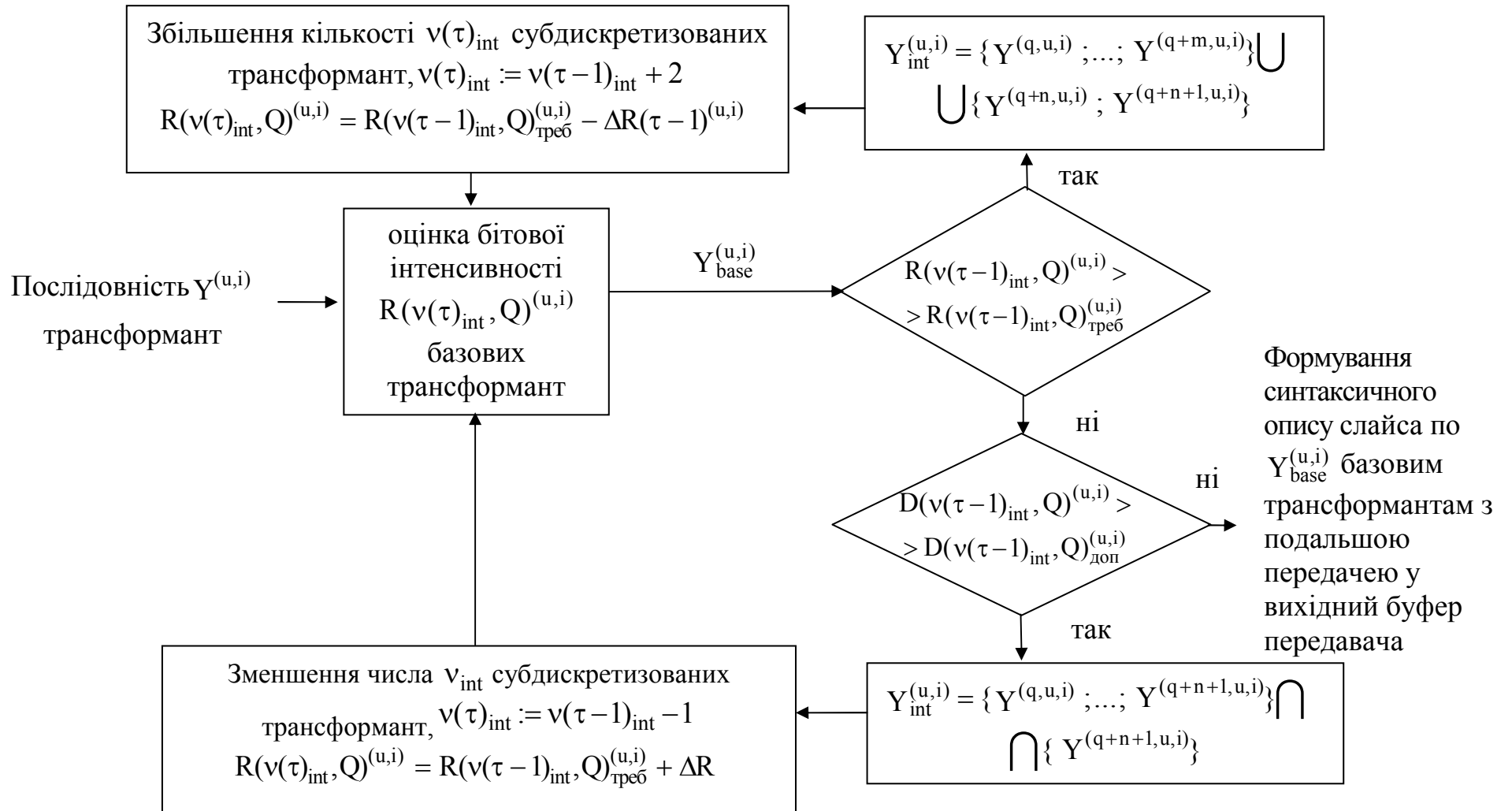


Рисунок 3.16 - Структурно-функціональна схема методу управління бітової інтенсивністю слайса на основі механізму субдискретизації трансформант при $v(\tau)_{\text{int}} < Q - 2$ в межах слайса

де $R^{(q,u,i)}$ і $R^{(q+1,u,i)}$ - бітові інтенсивності відповідно q -ї та $(q + 1)$ -ї трансформант, які у процесі управління можуть бути включені у послідовність $Y_{int}^{(u,i)}$, що підлягає субдискретизації.

Тоді в умовах:

$R(v(\tau - 1)_{int}; Q)^{(u,i)} > R(v(\tau - 1)_{int}; Q)_{треб}^{(u,i)} \ \& \ D(v(\tau - 1)_{int}; Q)^{(u,i)} \leq D(v(\tau - 1)_{int}; Q)_{доп}^{(u,i)}$
 поточна бітова інтенсивність на τ -му кроці за умови субдискретизації $v(\tau)_{int}$ трансформант буде оцінюватися за формулою:

$$R(v(\tau)_{int}; Q)^{(u,i)} = R(v(\tau - 1)_{int}; Q)^{(u,i)} - \Delta R(\tau - 1)^{(u,i)},$$




де $\Delta R(\tau - 1)^{(u,i)}$ - рівень зміни бітової інтенсивності слайса.

Структура слайса у процесі зміни бітової інтенсивності на даному етапі показана на рис. 3.17.



Рисунок 3.17. - Структура слайса $S^{(u,i)}$ у процесі субдискретизації трансформант у моменти часу з 1 по τ

На рисунку 3.17 прийнято такі умовні позначення:

-  - трансформанти вихідної послідовності $Y^{(u,i)}$;
-  - трансформанти підпослідовності $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$, що підлягають
Субдискретизація;
-  - трансформанти, базові по відношенню до підпослідовності
 $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$.

Друга умова полягає в тому, що з одного боку, бітова інтенсивність $R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса буде нижче необхідного рівня, тобто .:

$$R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} < R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)_{\text{реб}}^{(u,i)},$$

а з іншого боку, рівень СКВ буде вище допустимого, тобто:

$$D(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} > D(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}.$$

така умова може спостерігатися у двох випадках, а саме:

- надходження на обробку слайса $S^{(u,i)}$ після як мінімум одного етапу субдискретизації (тобто інтерполяції як мінімум двох трансформант). При цьому бітова інтенсивність $R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ слайса у ході попереднього кроку субдискретизації могла бути знижена, а для синтаксичного опису слайса задіюється не більше $(Q - v(\tau - 1)_{\text{int}})$ базових трансформант $Y_{\text{base}}^{(q,u,i)}$. У цьому випадку для зниження СКВ пропонується збільшити бітову інтенсивність слайса додаванням однієї трансформанти.

Значить, кількість $v(\tau)_{\text{int}}$ трансформант, що виключаються з розгляду на даному кроці, зменшиться, тобто $v(\tau)_{\text{int}} = v(\tau - 1)_{\text{int}} - 1$.

Отже, величина зміни $\Delta R(\tau - 1)^{(u,i)}$ бітової інтенсивності слайса включатиме у себе бітову інтенсивністю однієї трансформанти, тобто:

$$\Delta R(\tau - 1)^{(u,i)} = R^{(q,u,i)}, \quad (3.25)$$

Отже, в умовах:

$$\begin{aligned} & R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} < R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)_{\text{треб}}^{(u,i)} \& \\ & \& D(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} > D(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)} \& \\ & \& v(\tau - 1)_{\text{int}} \geq 2 \end{aligned} \quad (3.26)$$

оцінка поточної бітової інтенсивність на τ -му кроці при тому, що підлягає субдискретизації $v(\tau - 1)_{\text{int}} - 1$ трансформант, буде здійснюватися згідно з формулою:





$$\begin{aligned} R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} &= R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} + \Delta R(\tau - 1)^{(u,i)} ; \\ v(\tau)_{\text{int}} &= v(\tau - 1)_{\text{int}} - 1 ; \\ \Delta R(\tau - 1)^{(u,i)} &= R^{(q,u,i)} . \end{aligned}$$

Структура слайса в ході управління бітової інтенсивністю на даному етапі показана на рис. 3.18.



Рисунок 3.18. - Структура слайса $S^{(u,i)}$ у процесі субдискретизації трансформант для часових інтервалів з 1 по τ за умови, що раніше було виключено щонайменше дві трансформанти, тобто $v(\tau - 1)_{int} \geq 2$

На рисунку 3.18 прийнято такі умовні позначення:

-  - трансформанти вихідної послідовності $Y^{(u,i)}$;
-  - інтерпольовані трансформанти підпослідовності $Y_{int}^{(u,i)}$;
- трансформанти, базові по відношенню до інтерпольованої
-  трансформанта в момент часу $(\tau - 1)$;
- додані трансформанти в ході управління бітової
-  інтенсивністю.

- надходження на обробку слайса $S^{(u,i)}$, що включає у себе початкову кількість Q трансформант для його синтаксичного опису (тобто $v(\tau - 1)_{int} = 0$). У даному випадку помилка слайса, що перевищує допустимий рівень $D(v(\tau - 1)_{int}; Q)_{доп}^{(u,i)}$, є результатом внесення похибки не менш ніж на одному з кроків обробки [1, 16, 17, 67, 71, 87], що передують

етапу субдискретизації (рис.3.14). Отже, рівень СКВ необхідно зменшити. Для цього потрібно виконати зміну параметрів кодування так, щоб рівень внесеної помилки на попередніх етапах обробки знизився [10, 11]. Зокрема, такими параметрами кодування є формат колірної субдискретизації, а також застосовуваний алгоритм ортогонального перетворення та величина кроку квантування [23, 31, 42, 48, 57-59, 75, 137]. У той же час, зміна даних параметрів кодування для зниження СКВ може викликати зростання рівня бітової інтенсивності слайса. У загальному вигляді оцінка бітової інтенсивності слайса, що надходить на інтерполяцію, по аналогії з виразом (3.18) описується функціоналом f_{proc} , а саме:

$$R(v(\tau); Q)^{(u,i)} = f_{\text{proc}} \{ \varphi(\tau-1)_{\text{cmod}}; \varphi(\tau-1)_{\text{trn}}; \varphi(\tau-1)_{\text{qnt}} \},$$

де $\varphi(\tau-1)_{\text{trn}}$ - параметр, що задає алгоритм ортогонального перетворення (трансформування) сегментів $S^{(q,u,i)}$ слайса $S^{(u,i)}$;

$\varphi(\tau-1)_{\text{qnt}}$ - параметр, що регулює крок квантування;

$\varphi(\tau-1)_{\text{cmod}}$ - параметр, що задає модель колірної субдискретизації.

Тоді в умовах:

$$\begin{aligned} R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} < R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)_{\text{треб}}^{(u,i)} \& \\ \& D(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} > D(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)} \& \\ \& v(\tau-1)_{\text{int}} = 0 \end{aligned} \quad (3.27)$$

поточна бітова інтенсивність слайса на τ -му кроці при тому, що раніше субдискретизація не проводилася, буде оцінюватися за формулою:

$$\begin{aligned} R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)} &= R(v(\tau-1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)'}; \\ v(\tau-1)_{\text{int}} &= 0, \end{aligned}$$

де $R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)'}$ - бітова інтенсивність слайса в результаті зміни параметрів кодування як мінімум на одному з попередніх етапів обробки.

Якщо досягнутий у результаті застосування нових параметрів кодування рівень СКВ $D(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)'}$ слайса не перевищує допустиму величину $D(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)_{\text{доп}}^{(u,i)}$, а бітова інтенсивність $R(v(\tau - 1)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)'}$ слайса, у свою чергу, перевищує необхідний рівень, необхідно зменшити бітову інтенсивність слайса. У цьому випадку, зниження бітової інтенсивності слайса у момент τ досягається збільшенням кількості субдискретизованих трансформант для його синтаксичного опису, тобто $v(\tau)_{\text{int}} = v(\tau - 1)_{\text{int}} + 2$.

За викладеним матеріалом можна зробити висновки про наступне:

1) Визначено умови передавання потоку відеокадрів, у яких є доцільним застосування підходу відносно забезпечення управління бітовою інтенсивністю відеопотоку за рахунок субдискретизації слайсів, які формують відеокадр.

2) Побудовано метод управління бітовою інтенсивністю потоку відеокадрів на рівні обробки слайса на базі механізму субдискретизації трансформант. Пр цьому, слайс відеокадру розглядається як сукупність базових трансформант та трансформант, які може бути субдискретизовано з наступним відновленням на прийомному боці з використанням базових трансформант.

3) Розроблено структурно-функціональний процесу управління бітовою інтенсивністю відео з урахуванням технології субдискретизації трансформант слайса.

4) Створено комплексний метод управління бітовою інтенсивністю відеопотоку, який дає змогу враховувати можливість її зміни на таких технологічних етапах обробки як квантування, процедура субдискретизації слайсів.

Висновки

1. Розроблено метод кодування бітового опису трансформант на базі обробки двовимірних структур довжин серій бінарних елементів, який враховує особливості побудови бітового опису трансформант dst-перетворення. Створений метод дозволяє:

- уникнути втрат інформації, що може бути викликано переповненням кодового слова;
- застосовувати у якості службових даних систему основ елементів кодових чисел, тим самим сприяючи мінімізації обсягу службової інформації;

2. Побудовано верифікацію розробленого методу у технологію кодування трансформованих зображень.

3. Сформовано функціональні залежності, на базі яких описується процес формування потоку відеокадрів. Такі залежності ураховують кожен з технологічних етапів його обробки у рамках розробленої технології кодування бітового опису трансформант. Визначено технологічні етапи етапи процесу обробки потоку відеокадрів, на кожному з яких потенційно може бути забезпечено зміну бітової інтенсивності відеопотоку залежно від її поточної величини та значення пропускну здатності мережі у поточний момент часу.

4. Обґрунтовано, що вибір слайса, як структурної одиниці відеопотоку, в рамках якої організовується наступна обробка сегментів з подальшим управлінням бітовою інтенсивністю відео потоку, потенційно забезпечує можливість контролю рівня похибки, що може бути внесена у ході управління. Разом з тим вибір слайса у даному випадку обумовлено тим, що слайс, з одного боку, є локальним фрагментом кадру, а з іншого боку - має достатню кількість біт. Отже, це дозволяє забезпечити зниження бітової інтенсивності відеопотоку за мінімальний часовий інтервал.

5. Побудовано метод управління бітовою інтенсивністю потоку відеокадрів на рівні обробки слайса на базі механізму субдискретизації трансформант. Пр цьому, слайс відеокадру розглядається як сукупність базових трансформант та трансформант, які може бути субдискретизовано з наступним відновленням на прийомному боці з використанням базових трансформант. За рахунок цього забезпечується зниження інтенсивності відеоданих за мінімальний часовий інтервал.

6. Створено комплексний метод управління бітовою інтенсивністю потоку відеокадрів, який дає змогу враховувати можливість її зміни на таких технологічних етапах обробки як квантування, процедура субдискретизації слайсів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

1. Вперше розроблено метод управління інтенсивністю відеотрафіку на основі використання технологій кодування. Відмінність методу полягає у тому, що контроль бітової інтенсивності досягається на базі технології субдискретизації слайсів відеокадрів з врахуванням наявності їх інтерполяції. Це дозволяє забезпечити контроль бітової інтенсивності відеотрафіку в умовах локалізації втрат його достовірності.

2. Удосконалено комплексну технологію управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку на базі урахування статистичної та психовізуальної надмірності. Відмінності методу полягають у тому, що водночас застосовуються механізми управління відеотрафіком на рівні окремих блоків шляхом квантування їх спектрального представлення, та на рівні слайсів шляхом їх субдискретизації з наступною інтерполяцією. Означені напрямки є взаємоузгодженими, що дозволяє підвищити ефективність управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку.

Науково-прикладні результати, що представлено в третьому розділі, опубліковано та апробовано в наступних наукових працях [9; 11; 15; 16; 18; 79; 80; 98; 99; 143 - 145].

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ

Пропонується підхід, спрямований на застосування розробленого методу управління бітової інтенсивністю відеопотоку у рамках існуючих систем обробки даних.

Обґрунтовується доцільність відстежування змін рівня інтенсивності відеоданих, що надходять в мережу, за допомогою контролю рівня заповнення вихідного буфера.

Наводиться розрахунок складності алгоритмів розроблених технологій кодування бітового опису трансформанти, а також технологій субдискретизації слайсів та обробки бітових площин. При цьому оцінка складності виконується як для окремої технології, так і для різних режимів, які передбачають спільне застосування розроблених технологій.

Виконується експериментальна оцінка розробленого методу управління інтенсивністю.

4.1 Оцінка обчислювальної складності розробленої технології кодування бітового опису трансформант

У загальному вигляді розроблена технологія управління бітової інтенсивністю включає в себе ряд механізмів, а саме:

- кодування бітового опису трансформант, в ході якого виконується формування кодових конструкцій $C(q)^{(u,i)}$ трансформант на основі послідовності кодограм $C(q)^{(\mu,u,i)}$ окремих бітових площин $Y(q)^{(\mu,u,i)}$. Це дозволяє знизити бітову інтенсивність відеопотоку, що надходить на обробку, а в подальшому дає можливість здійснювати маніпуляцію кількістю і способом розміщення бітових площин, задіяних для синтаксичного опису трансформанти.

- субдискретизація слайса, що забезпечує оперативну зміну бітової інтенсивності відеоданих;

- обробка бітових площин базових трансформант, що є допоміжним механізмом по відношенню до технології субдискретизації і спрямована на усунення обмежень, властивих даним технології, а саме - обмеженого діапазону і недостатньо гнучкого дискретного кроку зміни параметрів субдискретизації.

У рамках розробленої технології управління обчислювальна складність кожного з окремих механізмів їх обробки буде залежати від кількості елементарних операцій (інструкцій), які виконуються в ході роботи [24, 25, 36, 38, 40, 63]. На етапі кодування бітового опису трансформант обробка виконується на основі цілочисельних операцій. На попередньому етапі кодування виконується декомпозиція трансформанти, компоненти якої є десяткові числа, для опису кожного з яких задіяно в загальному випадку 8 розрядів. За результатами декомпозиції трансформанти проводиться зниження динамічного діапазону величин, що призводить до роботи зі значеннями меншої розмірності [15, 18, 79, 80, 134]. Зокрема, обробка однієї

трансформанти, що містить в собі 64 компоненти, які приймають значення в діапазоні від 0 до 255, замінюється обробкою масиву з 512 елементів (8 бітових площин), які приймають значення від 0 до 8. Як наслідок цього - знижуються вимоги щодо розміру пам'яті, що виділяється для здійснення всіх подальших операцій. Значить, наступні операції будуть виконуватися швидше.

Після виконання декомпозиції трансформанти $Y^{(q,u,i)}$, на першому кроці кодування формується двовимірна структура $L_{\mu}^{(q)}$. У ході даної операції виконується сканування бітових площин $Y^{(q)}^{(\mu,u,i)}$ у напрямку рядків з виявленням довжин серій бінарних елементів, для чого використовується операція логічного АБО. Оцінка кількості операцій виконується з урахуванням того, що:

- необхідно обробити v_{bp} бітових площин трансформанти;
- у найгіршому випадку вважаємо, що кількість \mathcal{S}_{bt} бінарних переходів в рядку $(v-1)$, відповідно, в найкращому випадку рядок бітової площини формується однаковими бінарними елементами.

Отже, процес формування масиву довжин бінарних серій вимагає виконання кількості операцій $N_{op}^{(form)}$, що визначається відповідно до наступного виразу:

$$N_{op}^{(form)} = v \cdot \omega \cdot v_{bp}. \quad (4.1)$$

Аналіз цього виразу показує, що для найгіршого випадку кількість операцій на формування масиву довжин серій бінарних елементів дорівнює величині $N_{op}^{(form)} = 512$. При цьому теоретично можлива кількість операцій в найкращому випадку дорівнюватиме 64 (за умови, що в рядку виявлена серія довжиною u).

Після того, як сформована структура $L_{\mu}^{(q)}$, на наступному етапі кодування обчислюються основи $b(q)_{\alpha}^{(\mu)}$ кодових чисел. В ході такого процесу виконується пошук максимального елемента $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ в рядку. Далі основи кодових чисел обчислюються відповідно до формули (2.13). При цьому на обчислення однієї основи $b(q)_{\alpha}^{(\mu)}$ необхідно задіяти такі операції:

- логічне АБО;
- додавання за модулем 2 (XOR).

У цьому випадку кількість операцій $N_{op}^{(me)}$ логічне АБО на виявлення максимальних елементів рядків бітових площин $Y(q)^{(\mu,u,i)}$ трансформанти $Y^{(q,u,i)}$ буде обчислюватися за схемами на рис.3.4 та рис.3.5. Отже, в найгіршому випадку, при $\vartheta_{bt} = \upsilon - 1$, потрібно виконати 512 операцій логічного АБО. Відповідно, для найкращого випадку, $N_{op}^{(me)} = 64$.

У свою чергу, необхідна кількість операцій XOR у цьому випадку дорівнює:

$$N_{op}^{(inc)} = \omega \cdot v_{bp}, \quad (4.2)$$

отже, при $v_{bp} = 8$ отримаємо $N_{op}^{(inc)} = 64$.

Далі на базі отриманої системи основ $b(q)_{\alpha}^{(\mu)}$ кодових чисел здійснюється обчислення вагових коефіцієнтів елементів $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ кодових чисел. При цьому ваговий коефіцієнт $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$ елемента α -го рядка визначається відповідно до схем 2.27 і 2.28 як добуток підстав, починаючи з $(\alpha + 1)$ го рядка. Отже, для кожного вагового коефіцієнта наступного рядка кількість операцій множення зменшується на 1. Тоді оцінка кількості операцій $N_{op}^{(w)}$ множення у ході визначення вагових коефіцієнтів буде проводитися за наступною формулою:

$$N_{op}^{(w)} = v_{bp} \cdot \sum_{\gamma=\alpha-1}^1 N_{\gamma}, \quad (4.3)$$

де N_{γ} - кількість операцій множення для обчислення одного вагового коефіцієнта.

В результаті обчислюється v_w вагових коефіцієнтів, при цьому $v_w = \omega$. Тут при $v_{bp} = 8$ кількість операцій $N_{op}^{(w)}$ дорівнюватиме 224.

На наступному етапі здійснюється обчислення кодового значення НРПЧ, як суми добутків його елементів $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ на відповідні значення вагових коефіцієнтів $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$. Тут в межах одного α -го рядку двовимірної структури $L_{\mu}^{(q)}$ виконується складання (операція ADD) υ елементів $\lambda(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ кодового числа, отже, на один рядок припадає $(\upsilon - 1)$ таких операцій. У той же час, так само необхідно виконати обробку ω рядків структури $L_{\mu}^{(q)}$ по v_{bp} бітовим площинам. Тоді загальна кількість операцій додавання $N_{op}^{(add)}$ на даному етапі буде описуватися виразом:

$$N_{op}^{(add)} = (\upsilon - 1) \cdot \omega \cdot v_{bp}. \quad (4.4)$$

Тут кількість операцій $N_{op}^{(add)}$ для найгіршого випадку ($\mathfrak{Z}_{bt} = \upsilon - 1$) при $v_{bp} = 8$ дорівнюватиме 448. У той же час в найкращому випадку, коли рядок структури $L_{\mu}^{(q)}$ формує бінарна серія довжиною υ , величина $N_{op}^{(add)}$ буде дорівнювати 56. Одночасно з тим, в ході обчислення значення кодового числа, виконується множення υ елементів $\ell(q)_{\alpha,\beta}^{(\mu)}$ в ω рядках на вагові коефіцієнти $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$. Тоді вираз для оцінки кількості операцій множення буде наступним:

$$N_{op}^{(mul)} = \upsilon \cdot \omega \cdot \nu_w. \quad (4.5)$$

Отже, для найгіршого випадку на даному етапі виконується 512 операцій множення, для найкращого - 64. Тоді загальна кількість операцій в ході обчислення значення кодового числа буде оцінюватися як сума операцій додавання (add) і множення (mul), тобто:

$$N_{op}^{(cod)} = N_{op}^{(add)} + N_{op}^{(mul)}. \quad (4.6)$$

Тобто, підсумкова кількість операцій для даного етапу складає 128 для найкращого випадку і 736 для найгіршого.

Кількість операцій, необхідних на кожному етапі обчислення кодового числа, приведено в табл. 4.1. При цьому в дужках вказано кількість операцій, які відповідають найкращому випадку.

Таблиця 4.1 –

Кількість операцій у ході обчислення значення кодового числа

Операція	Формування структури $L_{\mu}^{(q)}$	Обчислення системи основ $b(q)_{\alpha}^{(\mu)}$	Знаходження вагових коефіцієнтів $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$	Обчислення кодового числа	Сумарна кількість операцій
add	-	-	-	(56) 448	(56) 448
xor	-	64	-	-	64
mul	-	-	224	(64) 512	(288) 736
лог. АБО	(64) 512	(64) 512	-	-	(128) 1024

Значить, сумарна кількість операцій у ході обчислення кодового числа в найгіршому випадку дорівнюватиме 2272, а для найкращого випадку - 536.

За результатами підрахунку кількості операцій у ході обчислення значення кодового числа далі виконаємо оцінку необхідної кількості елементарних операцій (інструкцій). Для цього розглянемо окремо кожну з операцій, задіяних на даному етапі.

1. Логічне АБО.

- для кращого варіанта (на етапах формування структури $L_{\mu}^{(q)}$ і знаходження основ $b(q)_{\alpha}^{(\mu)}$) у сумі потрібно 2 інструкції (по 1 інструкції у ході кожного етапу);

- у найгіршому випадку за одну інструкцію виконуватиметься обробка однієї бітової площини $Y(q)^{(\mu,u,i)}$. Отже, за умови, що $v_{bp} = 8$, загальна кількість інструкцій дорівнює 16.

2. XOR.

- у найкращому разі дана операція, яка виконується у ході обчислення основ елементів кодових чисел, не впливає на кількість інструкцій. Отже, в цьому випадку кількість інструкцій дорівнює 0;

- у найгіршому випадку кількість інструкцій зростає до 1.

3. Множення (mul) на етапі знаходження вагових коефіцієнтів:

- у найкращому випадку за одну інструкцію обчислюється 8 вагових коефіцієнтів $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$. Відповідно, на 8 бітових площин $Y(q)^{(\mu,u,i)}$ трансформанти припадатиме 8 інструкцій;

- у найгіршому випадку, за одну інструкцію обчислюється 1 ваговий коефіцієнт $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$, що відповідає 64 інструкціям на 8 бітових площин.

У свою чергу, при обчисленні кодового числа кількість інструкцій визначається з міркування, що на одну бітову площину відводиться 1 інструкція. Тоді для обробки трансформанти $Y^{(q,u,i)}$ потрібно 8 інструкцій.

4. Операція складання (add) використовується тільки на етапі

обчислення кодового числа спільно з операцією mul. У найкращому випадку ці дві операції виконуються у межах однієї інструкції. Тоді на загальну кількість інструкцій операція add не впливає.

Розрахунок кількості інструкцій, необхідних для обробки однієї трансформанти, наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 –

Кількість інструкцій необхідних для обчислення значення кодового числа

Операція	Формирування структури $L_{\mu}^{(q)}$	Обчислення системи основ $b(q)_{\alpha}^{(\mu)}$	Знаходження вагових коефіцієнтів $V(q)_{\alpha}^{(\mu)}$	Обчислення значення кодового числа	Сумарна кількість операцій
add	-	-	-	0	0
xor	-	(0) 1	-	-	(0) 1
mul	-	-	8 (64)	8	(16) 72
лог. АБО	(1) 8	(1) 8	-	-	(2) 16

Отже, максимальна кількість інструкцій, що відповідає найгіршому випадку, дорівнюватиме 72.

У той же час, сумарна кількість інструкцій - 89 для найгіршого і 18 - для найкращого випадків.

Далі розглянемо величини пікової продуктивності для ряду сучасних комп'ютерів, як показує табл. 4.3 [45].

Таблиця 4.3 –

Пікова продуктивність сучасних комп'ютерів

Тип процесора	Тактова частота F_p , МГц	Кількість ядер n_p	Кількість інструкцій за такт $n_{\text{такт}}$	Пікова продуктивність Ξ , Гігафлоп (млрд. опер/с.)
AMD Athlon 64	2000	1	4	8
AMD Athlon 64 X2 4200	2200	2	3	13,2
AMD Athlon II X4 645 (ADX645W)	3100	4	3	37,2
AMD Phenom 9500 sAM2 +	2200	2	4	17,6
AMD Phenom II X6 1100T Black Edition (HDE00ZF)	4000	4	4	64
Intel Pentium 4	3000	1	2	6
Intel Core 2 Duo	2400	2	4	19,2
Intel Core 2 Duo	3000	2	4	24
Intel Core 2 Quad Q6600	2400	4	4	38,4
Intel Core 2 Quad Q8300	2500	4	4	40
Intel Core 2 Quad	3500	4	4	56
Intel Core i7-975 XE	3300	4	4	52,8

Аналіз табл. 4.3. показує, що обчислювальна складність розробленого алгоритму кодування є співрозмірною з існуючими обчислювальними потужностями. Отже, у ході роботи алгоритму не створюється суттєвого навантаження на пристрій, в рамках якого він реалізований.

4.2 Оцінка складності методу управління бітової інтенсивністю відеопотоку та бази технології субдіскретизації слайсів

Нехай на вихідний буфер передавача з частотою проходження $\Delta\tau = (\tau + n) - (\tau + n - 1)$ надходить певний обсяг даних. Відповідно до

розробленої технологією, в момент часу τ здійснюється контроль заповнення буфера R_{buf} .

Одночасно з цим, у буфер передавача надсилається $R(\tau)$ біт. Якщо при цьому буфер заповнюється вище робочого значення R_{buf} , тоді на наступному кроці роботи методу, який відповідає моменту часу $(\tau + 1)$, буде виключено 2 трансформанти слайса $S^{(u,i)}$, з подальшою оцінкою величини рівня заповнення буфера. Якщо така оцінка показує, що процес заповнення буфера триває, тобто $R(\tau)_{\Sigma} > R_{buf}$, у подальшому виконується послідовне збільшення кількості трансформант, що підлягають виключенню, до величини $Q-2$ з кроком рівним 2.

У ході процесу субдискретизації слайса задіяно такі операції:

- логічне АБО (OR);
- mov (або add);
- циклічний зсув вправо shr.

На першому кроці роботи алгоритму виконується опитування контролера буфера щодо переповнення рівня його робочого об'єму R_{buf} . Даний процес реалізується з застосуванням операції логічне АБО [63]. При цьому на опитування контролера за один часовий проміжок, $(\tau + n) - (\tau + n - 1)$ витрачається 1 операція. У той же час, такий механізм контролю рівня заповнення R_{buf} буфера використовує ресурси контролера, а отже, не впливає на ускладнення методу управління в цілому. У свою чергу, весь процес субдискретизації буде складатися з таких кроків:

- приміщення кодованих трансформант слайса у буфер;
- опитування контролера буфера;
- зміна кількості трансформант для синтаксичного опису слайса.

Припустимо, що у момент часу τ буфер не переповнюється. Тоді у даний момент часу виконується приміщення слайсу $S^{(u,i)}$ у буфер з подальшим відправленням у мережу.

У загальному випадку, тут можна розглядати такі підходи щодо переміщення даних, що надходять з виходу кодера, у вихідний буфер передавача:

- побудова слайса $S^{(u,i)}$ окремими кодовими конструкціями $C(q)^{(u,i)}$ трансформант $Y^{(q,u,i)}$, з подальшим відправленням в буфер слайса, сформованого усіма Q трансформантами;

- запис кодового опису кожної трансформанти у буфер окремо, у міру отримання їх кодових конструкцій, без очікування формування всього слайса.

У рамках першого підходу з урахуванням того, що слайс $S^{(u,i)}$ є об'єднанням множин фрагментів кадру, як показано виразом 3.10, процес його формування буде вносити затримку $\tau(S^{(u,i)})_{\text{form}}$ у процес обробки. При цьому внесена затримка дорівнюватиме сумі часових інтервалів на побудову кодових конструкцій $C(q)^{(u,i)}$ кожної з трансформант $Y^{(q,u,i)}$, тобто:

$$\tau(S^{(u,i)})_{\text{form}} = \sum_{q=1}^Q \tau(C(q)^{(u,i)}),$$

де $\tau(C(q)^{(u,i)})$ - час побудови кодової конструкції однієї трансформанти.

Далі розглянемо другий підхід, у рамках якого приміщення трансформант у буфер виконується без очікування побудови усього слайса $S^{(u,i)}$. Оскільки для цього випадку $\tau(S^{(u,i)})_{\text{form}} = 0$, то на цьому етапі не буде вноситися додаткових часових затримок. Отже, з позицій можливості зниження часу на обробку даних, що надходять, даний підхід є більш доцільним. Також даний підхід має ряд інших переваг, а саме:

- мінімізація часу обробки слайсів, оскільки при цьому запис усього слайса та диск або в оперативну пам'ять не здійснюється;
- мінімальне використання оперативної пам'яті, величина якої в рамках

даного підходу обмежується обсягом біт на опис однієї трансформанти в кодованому описі.

Таким чином, доцільним є приміщення трансформант у буфер по мірі їх надходження з виходу кодера.

Важливою особливістю тут є те, що такий процес реалізується у рамках трансформанти зчитуванням кодових конструкцій бітових площин незалежно один від одного, у відповідності зі значеннями індексів. Іншими словами, бітові площини старших індексів буду надходити у буфер першими.

Крім зменшення загального часу обробки за рахунок усунення затримки на очікування побудови слайса, а також часу його перезапису, може бути додатково отриманий виграш часу на етапі безпосередньої відправки трансформанти у буфер. Такий виграш може бути отриманий за рахунок реалізації процесу на базі операції mov. Це пов'язано з тим, що тоді процес приміщення трансформанти у буфер буде базуватися на перезаписі вже зчитаних даних у регістри пам'яті буфера [44, 45].

Отже, дана операція не буде створювати відчутного впливу на обчислювальну складність алгоритму і при підрахунках загальної кількості операцій може не враховуватися. Далі в разі перевищення рівнем завантаження буфера його робочої позначки, тобто $R(\tau)_{\Sigma} > R_{\text{buf}}$, виконується субдискретизація слайса таким чином, щоб за один крок було виключено 2 трансформанти. На рівні елементарних операцій такий процес здійснюється наступним чином. Нехай на початку передачі відеопотоку величина слайса $S^{(u,i)}$ дорівнює Q . У цьому випадку для контролю кількості розміщених у буфері трансформант $Y^{(q,u,i)}$ у кодованому вигляді буде використаний лічильник q загального числа трансформант слайса, а також лічильник v_{int} виключених трансформант. При цьому величина q може змінюватися у діапазоні від Q до 2. У свою чергу, лічильник v_{int} змінюється у діапазоні від 2 до $Q-2$.

На початку передачі, у момент τ , якщо $R(\tau)_{\Sigma} \leq R_{\text{buf}}$, величина $v_{\text{int}} = 0$,

$q = Q$. Надалі, якщо $(\tau + 1)$, тоді v_{int} присвоюється значення 2, відповідно, у цьому випадку $q = Q - 2$. Після встановлення кількості v_{int} трансформант, що виключаються на даному етапі, виконується визначення індексів трансформант, які будуть далі виключені. У загальному випадку це трансформанти, розташовані у діапазоні значень індексів $\overline{2, Q-1}$. Це пов'язано з тим, що у такому випадку забезпечується можливість відновлення на приймальному боці підмножини трансформант $Y_{\text{int}}^{(u,i)}$ з базових $Y_{\text{base}}^{(u,i)}$.

Тоді індекси трансформант, що виключаються, пропонується визначати, використовуючи значення розміру Q слайса $S^{(u,i)}$, а також кількості v_{int} трансформант, що підлягають виключенню. Зокрема, спочатку визначаються межі значення лічильника q трансформант, що підлягають відправці, перш, ніж буде застосований пропуск v_{int} трансформант [6, 99]. Для цього випадку значення q дорівнюватиме цілочисельній частини половини різниці загальної кількості трансформант Q слайса $S^{(u,i)}$ і величини v_{int} , а саме:

$$q = \left[\frac{Q - v_{\text{int}}}{2} \right]. \quad (4.7)$$

Тоді індекси трансформант, які будуть передаватися у буфер після того, як було виключено v_{int} трансформант, будуть починатися з наступного, після величини v_{int} , значення, тобто:

$$q = v_{\text{int}} + 1. \quad (4.8)$$

У загальному випадку такий процес, що здійснює визначення індексів трансформант, що виключаються з розгляду, (формули (4.7) і (4.8)), використовує таку кількість операцій:

- дві операції add;
- 1 операція div.

Іншими словами, загальна кількість операцій $N^{(int)}$ у ході процесу субдискретизації дорівнюватиме $N^{(int)} = 3$.

З іншого боку, процес обробки індексів трансформант може бути реалізований на базі операції циклічного зсуву вправо shr. У цьому випадку всі дії будуть виконуватися на рівні зчитування потоку даних, отже, такий процес не внесе додаткового обчислювального навантаження, тобто при цьому $N^{(int)} = 0$. У ході процесу субдискретизації, коли у результаті виключення з розгляду певної кількості v_{int} трансформант досягається зниження завантаження буфера до значення $R(\tau)_{\Sigma} \leq R_{buf}$, виконується оцінка СКВ слайса. Даний процес включає у себе такі етапи:

- формування слайса $S^{(u,i)}$ з окремих трансформант з переміщенням у пам'ять або записом на диск;
- відновлення слайса $S^{(u,i)}$ з поточним значенням v_{int} інтерпольованих трансформант;
- безпосередня оцінка СКВ слайса у відповідності до наступної формули:

$$D(v(\tau)_{int}, Q)^{(u,i)} = \sqrt{\frac{1}{uv} \sum_{q=1}^Q \sum_{m=1, n=1}^{u,v} (p(q)_{mn} - p(q)'_{mn})^2}, \quad (4.9)$$

де $p(q)_{mn}$ - значення вихідного m, n -го пікселя q -го блоку кадру.

$p(q)'_{mn}$ - значення відновленого m, n -го пікселя q -го блоку кадру.

Отже, оцінка СКВ одного блоку вимагає виконання таких операцій:

- 64 операцій віднімання;
- 64 операцій додавання;
- 1 операція зведення у квадрат;

- 1 операція обчислення квадратного кореня.

Тоді загальне число операцій $N^{(MSE)}$ для даного етапу буде сумою всіх цих операцій, що еквівалентно виразу:

$$N^{(MSE)} = N^{(add)} + N^{(sub)} + N^{(sqr)} + N^{(sqrt)}, \quad (4.10)$$

де $N^{(add)}$ - кількість операцій додавання;

$N^{(sub)}$ - кількість операцій віднімання;

$N^{(sqr)}$ - кількість операцій зведення у квадрат;

$N^{(sqrt)}$ - кількість операцій добування квадратного кореня.

З виразу (4.10) отримаємо $N^{(MSE)} = 130$ для одного блоку.

У ході подальшої оцінки загальної кількості обчислень необхідно брати до уваги, що технологія субдискретизації слайсу реалізується як наступний етап після побудови кодових конструкцій трансформант у рамках розробленого методу управління. У свою чергу, етап відновлення одного блоку $S^{(q,u,i)}$ слайса $S^{(u,i)}$ з поточним значенням v_{int} інтерпольованих трансформант передбачає виконання таких перетворень:

1. Відновлення трансформанти $Y^{(q,u,i)}$ з її кодової конструкції $C(q)^{(u,i)}$.

Відповідно до формул (4.1) - (4.4), сумарна кількість операцій на даному етапі може досягати 2272 (для найгірших умов), що відповідає 72 інструкціям.

2. Виконання зворотного перетворення за технологією JPEG, зокрема:

- виконання зворотного ДКП

- переведення зображення з простору YCrCb в RGB.

Отже, оцінка СКО одного блоку вимагає значних обсягів обчислень, а також здатна внести затримку в процес обробки слайсів $S^{(u,i)}$ кадру.

При цьому внесена затримка $\Delta\tau_{MSE}$ у загальному вигляді може бути оцінена наступним виразом:

$$\Delta\tau_{\text{MSE}} = \tau_{\text{mse}} + \tau_{\text{rcod}} + \tau_{\text{jpeg}} + \tau_{\text{load}}, \quad (4.11)$$

де τ_{mse} - час оцінки СКВ за формулою (4.9);

τ_{rcod} - часова затримка на декодування бітового опису трансформанти;

τ_{jpeg} - часова затримка на відновлення блоку зображення у базисі технології JPEG;

τ_{load} - часова затримка на запис і зчитування з пам'яті вихідного і відновленого блоків.

Зрозуміло, що у даному випадку, внаслідок значного обсягу обчислень і, як наслідок, внесення додаткових часових затримок, доцільною є реалізація процесу оцінки СКВ на базі окремого контролера. Такий підхід дає ряд переваг, а саме:

- основні операції методу управління бітової інтенсивністю $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ відеопотоку у цьому випадку виконуються окремо від оцінки СКВ за рахунок паралельних обчислень;

- у ході оцінки СКВ не створюється додаткового обчислювального навантаження на базову систему;

- реалізація модуля оцінки СКВ окремим контролером у загальному випадку дозволяє реалізувати весь цикл необхідних обчислень у рамках однієї інструкції.

З огляду на це, загальна кількість інструкцій $N(\text{int})$ у ході субдискретизації слайса, з урахуванням того, що раніше обчислювалося значення кодових чисел, може бути оцінена наступним виразом:

$$N(\text{int}) = N^{\text{cod}} + N^{\text{int}} + N^{\text{err}}, \quad (4.12)$$

де N^{cod} - кількість інструкцій у ході побудови кодової конструкції

трансформанти;

N^{int} - кількість інструкцій, необхідних на етапі субдискретизації слайсу;

N^{err} - кількість інструкцій для оцінки СКВ слайса.

При підрахунку загальної кількості $N(\text{int})$ інструкцій на даному етапі, враховуємо, що $N^{\text{cod}} = \overline{18,89}$, у свою чергу, у найгіршому випадку $N^{\text{int}} = 1$, при цьому $N^{\text{err}} = 1$ за умови автономної реалізації на базі окремого контролера.

Таким чином, у ході субдискретизації слайса загальна кількість інструкцій для найкращого випадку дорівнюватиме 19, відповідно, для найгіршого випадку - 91.

У той же час, усереднене значення кількості інструкцій на даному етапі роботи методу дорівнюватиме 36.

4.3 Проведення експериментального дослідження завантаження мережі при трансляції відеопотоку кільком одержувачам

Дослідження характеру завантаження мережі у ході передачі відеоданих декільком приймачам проводилося на базі мережі стандарту FastEthernet 100Base-T. При цьому в якості фізичного середовища передачі використовувався кабель типу "кручена пара" категорії 5Е.

В експерименті безпосередньо були задіяні такі пристрої, що входять до складу локальної мережі, як:

- сервер мультимедіа, що є джерелом відеоданих;
- відеосервер, що виконує функцію передавача відеоданих приймачам;
- активне мережеве обладнання, а саме:
 - а) комутатори D-Link DES-1016D;
 - б) бездротовий маршрутизатор D-Link DIR-400.

Сервер мультимедіа функціонує під керуванням операційної системи Windows Server 2008.

У якості тестового приймача потоку відео використовувався ноутбук Acer Aspire 2920з наступними технічними параметрами:

- процесор Intel Core 2 Duo T9300;
- ОЗУ DDR3 4 Гб;
- пристрій зберігання інформації типу SATA WDC WD3200BEVT 320 Гб;
- інтегрований графічний процесор Intel HD Graphics 4600;

У ході дослідження передача відеопотоку адресатам (у т.ч. і тестовому приймачу) від сервера мультимедіа здійснювалася за допомогою програмного продукту VLC-плеєр.

При цьому адресатам транлювався відеофайл з наступними характеристиками:

1. Параметри відео:

- кодек H264 - MPEG4 AVC part 10 (h264);
- розмір кадру 768×576 пікселів;
- частота проходження кадрів 25 кадрів/сек;
- кодований формат Planar 4: 2: 0 YUV.

2. Параметри аудіопотоку:

- кодек MPEG Audio layer 1/2/3 (mpga);
- канали стерео;
- частота дискретизації 48кГц;
- бітова інтенсивність 256 кб/сек.

Час проведення експерименту - 100 хвилин.

Для аналізу ефективності розробленого методу було проведено порівняння характеру завантаження мережі і показників якості відеопотоку у процесі трансляції, при якому було задіяно розроблений метод управління інтенсивністю, з аналогічними показниками завантаження мережі і параметрів якості відеопотоку без використання розробленого методу.

Вихідний відеопотік характеризується наступними параметрами:

- кодек H264 - MPEG4 AVC part 10 (h264), VBR;
- розмір кадру 768×576 пікселів;
- частота проходження кадрів 25 кадрів/сек.

Характер зміни показників якості відеопотоку у разі застосування розробленого методу наведено на рисунках 4.1 - 4.3.

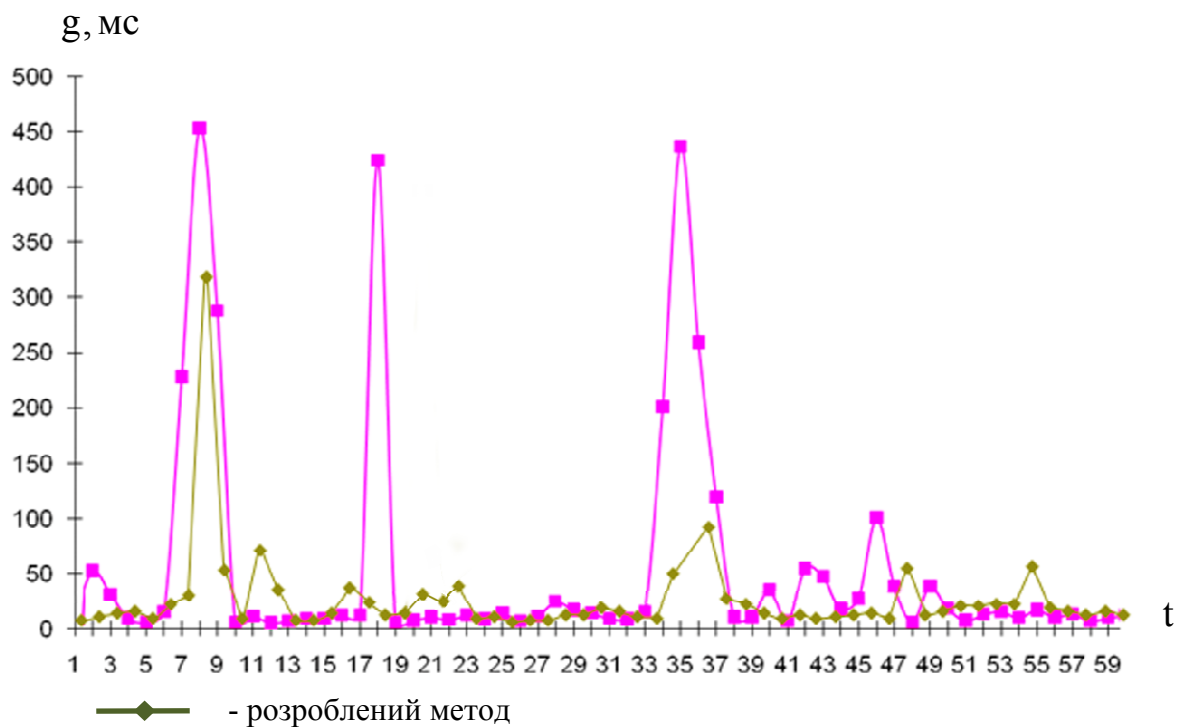


Рисунок 4.1 - Зміна величини джитера для переданого відеопотоку при використанні розробленого методу управління інтенсивністю

Результати аналізу рис. 4.1 свідчать про те, що величину джитеру на всьому часовому відрізку спостережень, окрім 21, 48 та 55 хвилин суттєво знижено. У середньому досягнуто значення джитеру на 18% нижче, ніж для випадку використання стандартизованих підходів до управління бітовою інтенсивністю.

У свою чергу, порівняння величин коефіцієнту втрати пакетів на випадок застосування розробленого та стандартизованих методів ілюструється рис.4.2.

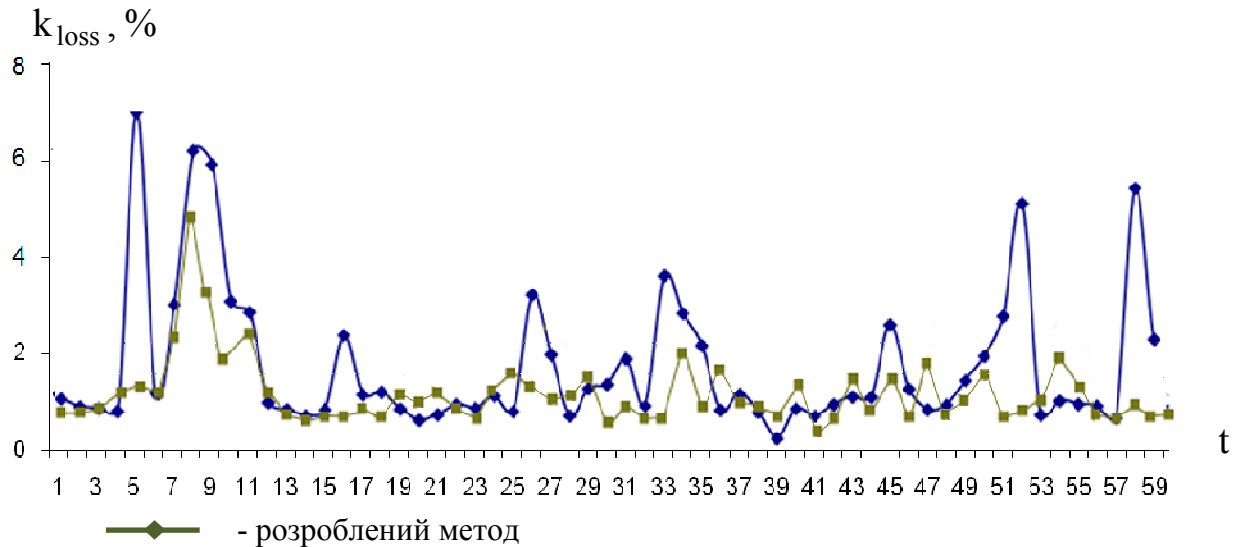


Рисунок 4.2 - Графік зміни величини втрати k_{loss} пакетів при використанні розробленого методу управління інтенсивністю у процесі трансляції відеопотоку

З аналізу рис.4.2 видно, що протягом практично усього часу експерименту спостерігається зменшення відсотку втрачених пакетів порівняно з випадком використання стандартизованих методів. При цьому, забезпечено скорочення величини k_{loss} у середньому на 17%.

Рис. 4.3 ілюструє характер зміни та значення величин часу затримки пакетів на випадок використання розробленого та стандартизованих методів управління інтенсивністю.

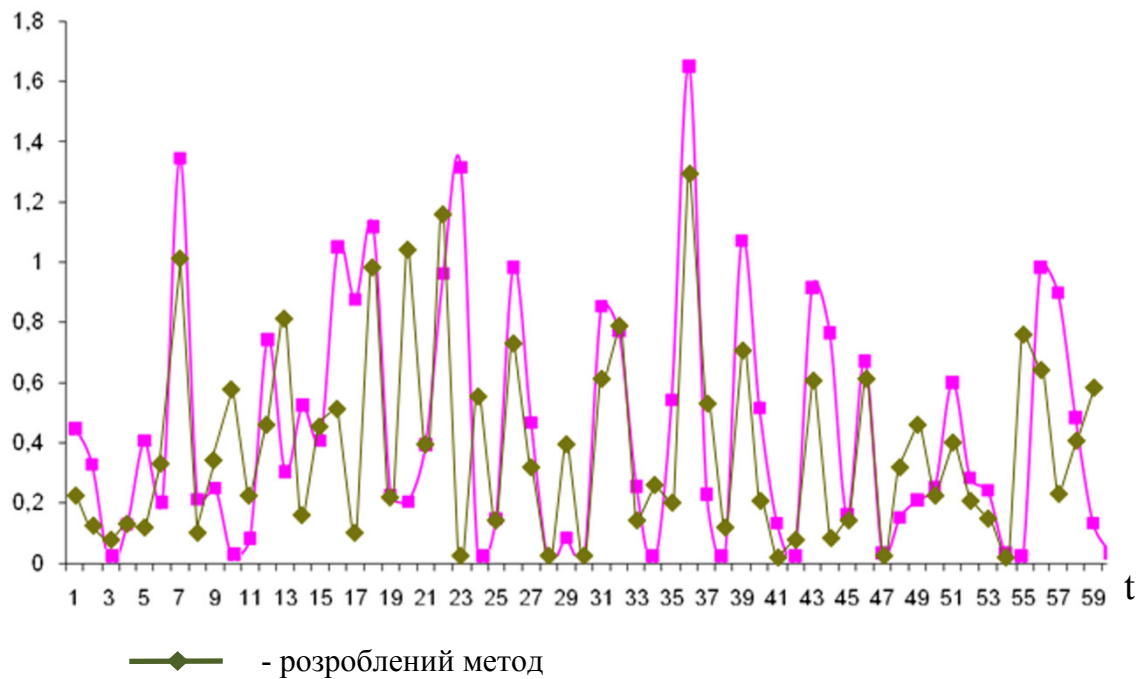
$\Delta\tau$, сек

Рисунок 4.3 - Зміна величини затримки доставки пакетів у ході трансляції відеопотоку при використанні розробленого методу управління інтенсивністю

Як видно з аналізу рис. 4.3, використання розробленого методу забезпечує скорочення величини затримки пакетів порівняно зі стандартизованими підходами. У середньому величина затримки $\Delta\tau$ доставки пактів зменшується на 25%.

Аналіз отриманих даних, дозволяє стверджувати, що у результаті застосування розробленого методу управління інтенсивністю відеопотоку було забезпечено:

- досягнення балансу між бітовою інтенсивністю та якістю відновлених відеозображень за рахунок: створення додаткової можливості відносно скорочення бітової інтенсивності на 25 % в умовах збереження початкової якості відеозображень;

- можливість змінювати у реальному часі рівень бітової інтенсивності від 15% до 30 % в умовах збереження достовірності інформації в межах від 35 дБ до 25 дБ, що відповідає вимогам надання сучасних відеосерісів

- скорочення затримки доставки пакетів відеоданих у телекомунікаційній мережі в середньому на 25% у порівнянні з стандартизованими методами управління;
- зменшення величини джитера у середньому на 18%;
- зниження показника втрат пакетів в середньому на 17% щодо існуючих методів управління.

Висновки

1. У результаті оцінки обчислювальної складності розробленого методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку показано, що:

- обчислювальна складність розробленого методу не перевищує існуючих потужностей сучасних обчислювальних систем;
- для методу кодування бітового опису трансформант дискретного косинусного перетворення у найгіршому випадку, який відповідає обробці послідовності бінарних елементів, фактичне обчислювальне навантаження буде меншим розрахованого, оскільки процес кодування містить у собі ряд послідовних технологічних етапів;
- як процес побудови кодового опису бітового представлення трансформанти, так процес субдискретизації слійсу та операція оцінки внесеної помилки містять у собі ряд однотипних елементарних операцій, що дозволяє об'єднати їх у рамках однієї інструкції, тим самим суттєво зменшивши підсумкове обчислювальне навантаження.

Отже, розроблений метод управління бітовою інтенсивністю відео потоку може бути реалізовано на базі апаратно-програмних платформ загального призначення.

2. Здійснено порівняльну оцінку розробленого методу зі стандартизованими методами управління бітовою інтенсивністю відеоданих. У рамках цього порівняно дані відносно забезпечення основних показників

QoS у ході трансляції тестового відеопотоку абонентам мережі фіксованого та мобільного сегментів. Результати оцінки свідчать, що використання розробленого методу забезпечує:

- скорочення величини джитеру на 18%;
- зменшення величини затримок доставки пакетів у середньому на 25% порівняно зі стандартизованими методами управління бітовою інтенсивністю;
- скорочення коефіцієнту втрат пакетів на 17%.

Таким чином, розроблений метод забезпечує підвищення якості надаваних відео сервісів на базі інформаційно-комунікаційних мереж.

Науково-прикладні результати, що представлено в третьому розділі, опубліковано та апробовано в наступних наукових працях [7; 9; 11; 18; 76; 143 - 145].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу, яка полягає у зниженні часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж. Розроблено метод блочного кодування бітового опису трансформант відеокадрів на основі скорочення структурної надмірності представлення їх спектрального опису. Створено метод та технологію управління інтенсивністю відеотрафіку на основі використання технологій кодування, який базується на технології субдискретизації слайсів відеокадрів з врахуванням наявності їх інтерполяції.

В сучасному світі одна з ключових ролей належить відеосервісам, що зараз набули широкого застосування в усіх сферах діяльності людини. При цьому, передбачається як безпосередній збір, обробка та доставка відеоінформації, так подальший її аналіз. Це веде до зростання інформаційної інтенсивності відеоданих у мережі.

Водночас, виникає протиріччя, яке зумовлене, з одного боку, збільшенням обсягів відеоданих у мережі та розширенням переліку технологій, що використовують алгоритми аналізу та обробки даних. З іншого боку – відносно недостатніми темпами росту продуктивностей ТКС. Це, у свою чергу, породжує виникнення затримок передачі та як наслідок – падіння якості надання відеосервісів. Тому потрібно забезпечити зниження часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж. Один із напрямків рішення сформульованої наукової задачі полягає у локалізації дисбалансу інтенсивності відео та динаміки зміни пропускну здатності мережі. Це

забезпечується використанням методів управління інтенсивністю відеотрафіку на рівні представлення.

В той же час, стандартизованим методам управління інтенсивністю відеоданих на рівні джерела властивий ряд недоліків. Зокрема, внесення суттєвого рівня похибки у ході управління інтенсивністю відео, відсутність механізмів контролю якості відновлених даних. Також дані методи не є універсальними та доцільні для застосування у межах певних діапазонів інтенсивності відео та просторової роздільної здатності кадрів. Окрім цього, існує пряма залежність між значенням внесеної похибки та величиною затримки, що виникає у процесі управління. Отже, у зазначених умовах **мета досліджень** полягає у створенні методу контролю бітової інтенсивності відеопотоку для підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням телекомунікаційних систем.

Основними науковими результатами, отриманими в роботі, є наступні.

1. Обґрунтовано напрямок удосконалення технології обробки потоку кадрів на кінцевих вузлах телекомунікаційної системи для підвищення ефективності методів управління відеотрафіком.

2. Модифіковано модель кодового опису трансформанти на базі виявлення серій бінарних елементів. Відмінності полягають у тому, що у ході побудови кодового опису для бітових площин трансформанти здійснюється динамічне формування кодового простору на базі виявлених структурних характеристик. За рахунок цього створюються умови для динамічного контролю бітової інтенсивності відеоданих.

3. Побудовано метод кодування відеокадрів на базі обробки їхніх трансформованих сегментів. Відмінність методу полягає у тому, що у процесі кодування формуються незалежні кодові конструкції бітових площин трансформант. Це дає змогу побудови адаптивної кодової конструкції трансформанти та створює умови для створення методу управління інтенсивністю відеоданих на рівні джерела.

4 Створено метод управління інтенсивністю відеотрафіку на основі використання технологій кодування. Метод базується на технології субдискретизації слайсів відеокадрів з врахуванням наявності їх інтерполяції. Це дозволяє здійснювати управління бітовою інтенсивністю відеопотоку з можливістю контролю рівня похибки, що вноситься у ході управління.

5. Удосконалено технологію управління бітовою інтенсивністю відеоданих. У рамках розробленого підходу передбачається одночасне застосування механізмів управління інтенсивністю, які використовують квантування спектрального представлення блоків відеокадрів, та субдискретизацію слайсів з наступною їх інтерполяцією. Означені напрямки є взаємоузгодженими, що дозволяє підвищити ефективність управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку.

Основними практичними результатами дослідження є наступні:

1. У випадку застосування розробленого методу досягається баланс між бітовою інтенсивністю та якістю відновлених відеозображень за рахунок: створення додаткової можливості відносно скорочення бітової інтенсивності на 17 % в умовах збереження початкової якості відеозображень;

2. Досягається можливість змінювати у реальному часі рівень бітової інтенсивності від 15% до 30 % в умовах збереження достовірності інформації в межах від 35 дБ до 25 дБ, що відповідає вимогам надання сучасних відеосерісів.

2. Для розробленого методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку забезпечується скорочення часової затримки доставки відеоданих у телекомунікаційній мережі відносно стандартизованих методів управління у середньому на 25%.

3. Досягається зменшення величини джиттеру у середньому на 18% порівняно з існуючими методами управління інтенсивністю відеоданих.

4. Забезпечується зниження показника втрат пакетів в середньому на 17% щодо існуючих методів управління бітовою інтенсивністю відеопотоку на основі кодування.

У разі реалізації методу управління на базі розроблених підходів забезпечується можливість управління інтенсивності відео у реальному часі з внесенням контрольованої похибки.

Достовірність отриманих результатів підтверджується: адекватністю результатів експериментальних і теоретичних досліджень щодо оцінювання керованого рівня бітової інтенсивності відеопотоку в залежності від рівня збереження його якості на основі програмної реалізації і математичної моделі; не суперечливості отриманих результатів положенням теорії інформації, методам управління бітовою інтенсивністю і методам блочного кодування.

Результати дисертаційної роботи доцільно використати:

- комплексних технологіях управління та оптимізації інтенсивності трафіка в телекомунікаційних мережах;
- в системах передачі відеоінформації з використанням бездротових телекомунікаційних технологій, в тому числі в системах інформаційного забезпечення функціонування концепції «Smart city»;
- в процесі вивчення дисциплін з теорії кодування в телекомунікація, методів цифрової обробки і передачі відеопотоків в навчальному процесі в структурах вищої освіти України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход/пер. с англ. 2-е изд. Москва: Изд. дом "Вильямс", 2004. 992 с.
2. Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений: учеб. пособие для студентов вузов. Москва: Высш. школа, 1983. 295 с.
3. Ансон Л., Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений//Мир ПК. 1992. №4. С. 23–27.
4. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / О. В. Гофайзен, А. И. Ляхов и др. Труды Украинского научно-исследовательского института радио и телевидения. Одесса, 2000. № 3. С. 3-40.
5. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов/пер. с англ. под ред. И. Б. Фоменко. Москва: Связь, 1980. 248 с.
6. Бараннік В.В., Бараннік Д.В., Твердохліб В.В. та інші. Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку, Н03М 7/30, Н03М 13/00. Пат. на корисну модель UA 144599 U України, № u 2020 0296, заявл. 18.05.2020, опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19/2020.
7. Баранник В.В. Твердохлеб В.В., Юрченко К.Н., Харченко Н.А. Метод оценки битовой скорости в процессе кодирования макроблока для видеоинформационного потока в телекоммуникационной сети. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2014. №4. С. 52-59.

8. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Подлесный С.А., Тарнополов Р.В. Анализ информационной безопасности видеoinформационного ресурса. Проблемы информатики и моделирования: материалы науч.-техн. конф. (Харків-Одеса, 14-18 верес. 2015 р.). Харків-Одеса. 2015. С.18.
9. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Двухглавов Д.Э. Метод динамического управления битовой скоростью видеопотока с использованием трехмерного представления трансформант. АСУ и приборы автоматики. 2014. № 167. С. 37-43.
10. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Тарнополов Р.В., Школьник А.Ю. Способ управления параметрами компрессии видеопотока в инфокоммуникациях. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: матеріали 4-ої Міжн. наук.-практ. конф., (Вінниця, 28-30 трав. 2014 р.). Вінниця: Він. нац. техн. ун-т, 2014. С. 244-245.
11. Баранник В.В., Твердохліб В.В., Супрун О.В., Окладной Д.Є., Управління параметрами компресії відеокадрів з використанням побітової передачі трансформант. Наукоємні технології. 2016. №3. С. 269-273.
12. Баранник В. В., Поляков В. П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. Харьков: ХУПС, 2010. 234 с.
13. Баранник В. В., Поляков В. П., Слободянюк А. В. Кодирование трехмерных моделей видеокадров в инфотелекоммуникационных системах: монография / под ред. В. В. Баранника. Каменец-Подольский, 2011. 210 с.
14. Баранник В. В., Стасев Ю. В., Корольова Н. А. Структурно-комбинаторное представление данных в автоматизированных система управления: монография / под ред. В. В. Баранника; Харьков. ун-т. Возд. Сил. Харьков, 2009. 252 с.
15. Бараннік В., Твердохліб В., Шевченко І., Рябуха Ю., Гуржий П. Кодування бітового представлення трансформант у рамках управління бітовою швидкістю відео. Безпека інформаційних систем і технологій. 2019. №1. С. 52-56.

16. Комбинированный метод управления битовой интенсивностью видеопотока в реальном времени / В. В. Баранник, В.В. Твердохлеб, В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Слободянюк, П.М. Гуржий // Наукомісткі технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: Монографія / під загальною редакцією В. В. Баранніка., В. М. Безрука – ФОП Бровін О.В., Харків. – 2018. – С. 7–21.

17. Бараннік В.В., Твердохлеб В.В., Туренко С.В., Бекіров А.Е. Технологія кодування кортежів трансформованих зображень в інфокомунікаційних системах. International Scientific Conference (ITSEC): матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 20 - 23 травня 2014 р.). Київ: Нац. авіац. ун-т, 2014. С. 59.

18. Бараннік В.В., Твердохліб В.В., Рябуха Ю.М., Гуржій П.М., Kulitsa O.C. Технологія кодування трансформант в системах управління бітовою швидкістю відео потоку. Кібербезпека: освіта, наука, техніка.2020. № 3(7). С. 63-71.

19. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории: учебн. пособ. Москва, 2004. 280 с.

20. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов: книга / Пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 448 с.

21. Бондарев В. Н., Трестер Г., Чернега В. С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. Харьков: Конус, 2001. 398с.

22. Буров Є., Пасічник В. Комп'ютерні мережі: підручник / ред. Пасічник В. 2-ге вид., оновл. і доп. Львів: Бак, 2003. 584 с.

23. Быков Р. Е. Цифровое преобразование изображений: учеб. пособие для вузов. Москва, 2003. 228 с.

24. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: підручник / Т. С. Хуанг, Дж. О. Эклунд, Г. Дж. Нуссбаумер и др.; под ред. Т. С. Хуанга; пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1984. 224 с.

25. Васильев В. Н., Гуров И. П. Компьютерная обработка сигналов. Санкт-Петербург: БХВ, 1998. 240 с.
26. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов: учебник / Я. А. Фурман и др.; под ред. Я. А. Фурмана. 2-е изд. испр. Москва: Физматлит, 2003. 592 с.
27. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебн. пособ. Москва, 1988. 480 с.
28. Власов А. В., Лукин В. В., Комолов Д. И. Кодирование информационных ресурсов систем видеоконференцсвязи для повышения их безопасности. Радиоэлектроника и информатика. 2013. № 2. С. 44–48.
29. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. Санкт-Петербург: ВУС, 1999. 203 с.
30. Голубов Б. И., Ефимов А. В., Скворцов В. А. Ряды и преобразования Уолша: теория и применения. Москва: Наука, 1987. 344 с.
31. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: монография. Москва, 2005. 1073 с.
32. Горбулін В. П., Биченок М. М., Копка П. М. Актуальні проблеми системного забезпечення інформаційної безпеки України. Форми та методи забезпечення інформаційної безпеки держави: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національна академія СБ України, 2008.– С. 79 – 85.
33. Гургенидзе А. Т. Корше В. И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа: учебник. Санкт-Петербург, 2003. 434 с.
34. Гуржий П. Н. Декодирование сжатых видеоданных в инфокоммуникационных системах объективного контроля. Сучасна спеціальна техніка. 2014. № 1. С. 22–30.
35. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации: учебник. для вузов. Москва: Высш. шк., 1989. 320 с.
36. Жураковський Б.Ю. Аналіз кількості алгоритмів стиснення у каскаді при використанні каскадних методів. Сучасний захист інформації. 2015. № 1. С. 56-61.

37. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. Москва: Наука, 1989. 496 с.
38. Засядько А. А. К анализу эффективности алгоритмов и программ быстрых ортогональных дискретных преобразований. Электронное моделирование. 1998. №6. С. 109-111.
39. Золотарев В. В. Реальный энергетический выигрыш кодирования для спутниковых каналов. Спутниковая связь – ICSC-2000: труды IV междунар. конф. Москва: Междунар. центр научн. и технич. информации, 2000. Т. 2. С. 20–25.
40. Зубков С. В. Assembler. Для DOS, Windows и Linux. Москва: ДМК, 1999. 640 с.
41. Иванов В. Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара. Проблемы управления и информатики. 2003. №5. С. 68–75.
42. Кашкин В. Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: консп. лекц. Красноярск, 2008. 121 с.
43. Климов А. С. Форматы графических файлов: кбига. Санкт-Петербург: ДиаСофт, 1995. 385 с.
44. Коган Б. М., Сташин В. Б. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. Москва: Энергия, 1989. 376 с.
45. Корнеев В. В., Киселев А. В. Современные микропроцессоры. Санкт-Петербург: БХВ, 2003. 448 с.
46. Королев А. В., Баранник В. В. Метод восстановления трансформант дискретного косинусного преобразования. Системы обработки информации. 2000. Вып. 3(9). С. 83–86.
47. Кравченко В. Ф., Рвачев В. А. "Wavelet"-системы и их применение в обработке сигналов. Зарубежная радиоэлектроника. 1996. №4. С. 3–20.
48. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения. Москва: Радио и связь, 1986. 248 с.

49. Красильников Н. Н. Цифровая обработка изображений: учебник. Москва, 2011. 320 с.
50. Красноручский А. А., Яценко С. Я. Метод арифметического классификационного кодирования трансформант Уолша. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2006. Вып. 31. С. 138–141.
51. Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Толюпа С. В. Інфокомунікаційні мережі нового покоління: монографія / под ред. В. Г. Кривуца. Держ. ун-т. інформ. комунікац. технол. Київ: ДУІКТ, 2012. 286 с.
52. Крук Б. И., Попантонопул В. Н., Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1: учебник. Москва, 2003. 647 с.
53. Лидовский В. В. Теория информации. Москва: Компания Спутник+, 2004. 111 с.
54. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов; пер. с англ. Москва: Мир, 2005. 671 с.
55. Мاستрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 4. Алгоритм LZW. Монитор. 1994. №2. С. 8–11.
56. Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 2. Арифметическое кодирование. Монитор. 1994. №1. С. 20–23.
57. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео: учебн.-справ. изд / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. Москва: "Диалог – МИФИ", 2003. 384 с.
58. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. Москва 2003. 336 с.
59. Нетравали А. М., Лимб Дж. О. Кодирование зображений. ТИИЭР. 1980. №3. С. 76–124.
60. Николаев Ф. А., Фолин В. И., Хохлачев Л. М. Проблемы повышения достоверности в информационных системах: книга. Ленинград: Энергоатомиздат, 1982. 138с.

61. Обработка изображений и цифровая фильтрация: учебник / под ред. Т. С. Хуанга. Москва: Мир, 1979. 318 с.
62. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 3-е изд. Санкт-Петербург: Питер, 2006. 958 с.
63. Осипов Л. А. Обработка сигналов на цифровых процессорах. Москва: Горячая линия – Телеком, 2001. 112 с.
64. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработка изображений: книга. Москва: Радио и связь, 1986. 400 с.
65. Поляков П. Ф., Баранник В. В., Яковенко А. В. Метод восстановления изображений с контролируемой погрешностью. Системы управління, навігації та зв'язку. 2008. № 4. С. 44–47.
66. Прокис Дж. Цифровая связь: книга. / Пер. с англ.; под ред. Д. Д. Кловского. Москва: Радио и связь, 2000. 800 с.
67. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: книга в 2 т. / Пер. с англ; Москва: Мир, 1985. 736 с.
68. Рябуха Ю.М. Метод верифікації обробки відеоінформаційного ресурсу на основі формування базових рівнів побудови кодових конструкцій. Наукоємні технології. 2015. № 3. С. 39 - 43.
69. Рябуха Ю.Н. Метод идентификации степени информативности семантического содержания сегмента видеокadra. Системы управління, навігації та зв'язку. 2015. № 1(33). С. 52 – 56.
70. Рябуха Ю.Н. Метод обработки видеоресурсов с сохранением целостности в информационных системах. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 2014. № 167. С. 59 - 64.
71. Свириденко В. А. Анализ систем со сжатием данных. Москва: Связь, 1978. 183с.
72. Семко В. В., Бурячок В. Л., Толюпа С. В., Складанний П. М. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі. Радіоелектроніка та телекомунікації: 2015. С. 151–155.

73. Синепол В. С., Цикин И. А. Системы компьютерной видеоконференцсвязи. Москва: Мобильные коммуникации, 1999. 166 с.
74. Стрихалюк Б. М., Демидов І. В., Романчук В. І., Бешлей М. І. Дослідження статистичних параметрів та характеристик інформаційних потоків в гетерогенних мережах. Наукові записки УНДІЗ. 2014. №6(34). С. 82–92.
75. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука: учебное пособие. Москва: Техносфера, 2004. 368 с.
76. Твердохлеб В.В. Способ контроля битовой скорости видеопотока в телекоммуникационных системах. Радиоэлектроника и информатика, 2016. №2. С. 12-1.
77. Твердохлеб В.В., Двухглавов Д.Э., Мусиенко А.П. Алгоритм сжатия видеопотока с использованием битового куба. Інформаційна безпека України: наук. допов. та тези учасників наук.-техн. конф., (Київ, 12-13 бер. 2015 р.). Київ: Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка. 2015. С. 48-50.
78. Твердохлеб В.В., Красноруцкий А.А. Об актуальности построении технологии управления параметрами компрессии видеопотока. Інформаційні технології: наука,техніка, технологія, освіта, здоров'я, MicroCAD'2014: матеріали XXII Міжн. наук.–практ. конф. (Харків, 15-17 жовт. 2014 р.). Харків. 2014. С. 73.
79. Твердохлеб В.В., Хаханова А.В., Баранник В.В. Методологическая база построения алгоритмов контроля битовой скорости видеопотока с обеспечением требуемых характеристик качества. Радиоэлектроника и информатика. 2017. №2. С. 27-33.
80. Твердохліб В.В., Бараннік В.В., Мруць М.С., Згоднік В.С., Бараннік В.В. Управління інтенсивністю відеотрафіку для інформаційних технологій обробки та передачі відеоінформаційних ресурсів. Системи озброєння і військова техніка. 2019. №4. С. 58-65.
81. Толюпа С. В. Методи та алгоритми обробки та захисту радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною

просторовою конфігурацією: монографія / С В. Толюпа та ін. Київ. Держ. ун-т телекомунікацій. Київ: Логос, 2014. 251 с.

82. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Методы сжатия изображений, аудтосигналов и видео: учеб. пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.

83. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.

84. Цивільний кодекс України. Офіційний вісник України. 2003. № 11.ч. 3, ст. 307.

85. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И. С. Грузман и др. Новосибирск, 2002. 352 с.

86. Чернега В. С. Сжатие информации в компьютерных сетях. Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. 214 с.

87. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике: ученик. Москва: изд. иностр. лит., 1963. 793 с.

88. Шлихт Г. Ю. Цифровая обработка цветных изображений. Москва: ЭКОМ, 1997. 336 с.

89. Akimov D., Shestov A., Voronov A., Vatolin D. Occlusion Refinement for Stereo Video Using Optical Flo. International Conference on 3D Imaging. 2012. P. 115-138.

90. Andrews H. C., Hunt B. R. Digital image restoration. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1977. XVIII. 238 p.

91. Bai X., Wang J., Simons D. Towards temporally-coherent video matting. Proceedings of the 5th international conference on computer vision/computer graphics collaboration techniques. MIRAGE'11, Springer-Verlag. 2011. P. 63-74.

92. Barannik N., Yudin O., Babenko M., Bekirov A., Manakov V. and Yroshenko V.. The Method of Embedding Information in the Noise Domain Based on the Modification of Elements in the Pseudo-Spatial Domain. *IEEE Advanced Trends in*

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

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

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

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

96. 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.

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

98. Barannik V., Tverdokhlebo V., Himenko V., Kovalevskiy S., Warwas K., Brocki M. Complex Method of Video Stream Intensity Control. Engineer of

the XXI Century: proceedings. Springer. ISSN 2211-0984. Bielsko-Biala. 2019. P.209-215. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_19. (Scopus).

99. Barannik V., Tverdokhle V., Okladnoj D., Musienko A.. Accelerated Bit Rate of the Video Stream Dynamic Control Method. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): proceedings of 14th Intern. Conf. (Polyana, Svalyava, Ukraine, February 21-25, 2017). Polyana. 2017.

100. Barannik V., Tverdokhlib V., Ryabukha Yu., Dodukh A., Suprun O., Tarasenko D. Integration the non-equilibrium position encoding into the compression technology of the transformed images. IEEE East-West Design & Test Symposium: 15th IEEE Intern. Symp., (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017). Novi Sad: 2017. P. 337-339.

101. Barannik V.V., Tverdokhle V.V., Ryabukha Yu. N., Barannik D.V. Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium positional encoding. Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 2017 2nd International Conference. pp.188-192. (2017). DOI: 10.1109/AIACT.2017.8020096.

102. Barannik V.V., Tverdokhlib V.V., Ryabukha U.N., Shulgin S.S., Barannik D.V. Video segment coding method for bit rate control information technology. Science-Based Technologies. 2020. Vol. 46. Issue 3. P. 316-321.

103. Barannik V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of Intern. Conf. (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19-23, 2008), Lviv-Slavsko, 2008. P. 378-380.

104. 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.

105. Barannik N., Tverdokhlib V., Evgeniy E., Zakomorna K., Vorontsova N. and Shmakov V. Constructing the Code Description Of the Transformant DCT Taking into Account their Structural Features. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 34-37. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349255.

106. Barannik V. Fast Coding of Irregular Binary Binomial Numbers with a Set Number of Units Series. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 72-76. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349356.

107. Barannik V., Belikova T., Gurzhii P. The model of threats to information and psychological security, taking into account the hidden information destructive impact on the subconscious of adolescents. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019)*. Kyiv, 2019. P. 656-661. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030432.

108. Barannik V., Karpinski M., Tverdokhle V., Barannik D., Himenko V, Marek Aleksander. The technology of the video stream intensity controlling based on the bit-planes recombination. *IEEE Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS): proceedings of 4th International Symposium. (Lviv, Ukraine, September 20-21, 2018)*, Lviv, 2018. DOI: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525560.

109. Barannik V., Shulgin S., Krasnorutsky A., Slobodyanyuk O., Gurzhii P. and Korolyova N. Methodological Fundamentals of Deciphering Coding of Aerophotography Segments on Special Equipment of Unmanned Complex. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 38-43. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349257.

110. Barannik V., Sidchenko S. and Barannik D. Technology for Protecting Video Information Resources in the Info-Communication Space. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 29-33. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349324.

111. Barannik V., Tupitsya I., Stepanko O., Kovalenko O., Yroshenko V. and Sidchenko Y. The Analysis of the Internal Restructuring Method Efficiency Used For a More Compact Representation of the Encoded Data. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 48-51. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349307.

112. Barannik V., Yudin O., Boiko Y., Ziubina R., and N. Vyshnevskaya Video Data Compression Methods in the Decision Support Systems. *Advances in Computer Science for Engineering and Education: proceedings of Intern. Conf. (Ukraine, May, 2018)*, 2018. P. 301–308.

113. Barannik, V., Krasnoruckiy, A. and Hahanova, A. The positional structural-weight coding of the binary view of transformants. East-West Design & Test Symposium (EWDTS), pp. 1-4. Rostov-on-Don (2013) DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673178.

114. Barannik, V.V., Ryabukha, Yu.N. and Kulitsa, O.S. The method for improving security of the remote video information resource on the basis of intellectual processing of video frames in the telecommunication systems. *Telecommunications and Radio Engineering*. Vol. 76. No 9. pp. 785-797. (2017). DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i9.40

115. Barannik, V. and Barannik, N. and Ryabukha, Yu. and Barannik, D. Indirect Steganographic Embedding Method Based On Modifications of The Basis of the Polyadic System. 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 699-702 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235522.

116. Barannik, V. and Barannik, V. Binomial-Polyadic Binary Data Encoding by Quantity of Series of Ones. 15th IEEE International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2020), pp. 775-780 (2020) DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235540.

117. Barannik. D. Stegano-Compression Coding in a Non-Equalible Positional Base. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT):* proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 83-86. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349328.

118. Barinova O., Lempitsky V., Kholi P. On detection of multiple object instances using hough transforms. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions. 2012. P. 177-184.

119. Bentaleb, B. Taani, A. C. Begen, C. Timmerer and R. Zimmermann. A Survey on Bitrate Adaptation Schemes for Streaming Media Over HTTP. in IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. Vol. 21. No. 1, P. 562-585. DOI: 1109/COMST.2018.2862938.

120. Belikova T. Decoding Method of Information-Psychological Destructions in the Phonetic Space of Information Resources. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT):* proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P.87-91. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349300.

121. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.

122. Cocchia, A. (2014). Smart and Digital City: A Systematic Literature Review. R. P. Dameri and C. Rosenthal-Sabroux (eds.), Smart City, Progress in IS. Springer International Publishing Switzerland, 2014. P. 13-43.

123. Dameri, R. Smart City Implementation, Progress in IS, Springer International Publishing AG, 2017. 154 p.

124. Ding Z., Chen H., Gua Y., Peng Q. GPU accelerated interactive space-time video matting. In Computer Graphics International. 2010. P. 163-168.
125. Gonzales R. C., Woods R. E. Digital image processing. Prentice Inc. Upper Saddle River. New Jersey, 2002. 779 p.
126. Gopinath R. A., Burrus C. S. On cosine-modulated wavelet orthogonal bases. IEEE Trans. Image Proc. 1995. Vol. 4. No. 2. P. 162-177.
127. Grundmann M., Kwatra V., Han M., Essa I. Efficient hierarchical graph based video segmentation. IEEE CVPR. 2010. P. 85-91.
128. Habibi A., Wintz P. F. Image coding by linear transformation and block quantization. IEEE Trans. Commun. Tech. 1971. Vol. COM – 19. No. 1. P. 5-63.
129. Kaarna A., Parkkinen J. Blockwise Distortion Measure for Lossy Compression of Multispectral Image. Proceeding of the 10-th European Signal Processing Conference, (Finland, 5-8 sept. 2000). Tampere, Finland, 2000. P. 2197-2200.
130. Kang H. R. Color Technology for Electronic Imaging Devices. The International Society for Optical Engineering. Vol. PM28. Bellingham:WA, 1997.
131. Kossentini F., Chung W. C., Smith M. Subband image coding using entropy-constrained residual vector quantization. Information Processing and Management. 1994. Vol. 30. No. 6. P. 887-896.
132. Lee S. Y., Yoon J. C. Temporally coherent video matting. Graphical Models 72. 2010. P. 25-33.
133. Lezama J., Alahari K., Sivic J., Laptev I. Track to the future: Spatio-temporal video segmentation with long-range motion cues. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2011. P. 256-289.
134. MATLAB6.0. Финансовые, инженерные и научные расчеты в среде Windows. Москва: Информ.-изд. дом «Филинь», 1997. 712 с.
135. Milyaev S., Barinova O., Novikova T., Lempitsky V. Binarization for end-to-end text understanding in natural images. ICDAR. 2013. P. 35-42.

136. Ponomarenko N., Lukin V., Egiazarian K., Astola J. Partition Schemes in DCT Based Image Compression. Technical Report 3-2002. Tampere University of Technology: Finland, 2002. 100 p.
137. Richardson I. The H.264 Advanced Video Compression Standard / Iain E Richardson., 2010.
138. Ryabukha Y. and Barannik N. Method of Indirect Steganographic Coding of Information without Visual Distortion of the Video Container series. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 57-61. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349262.
139. Shostak I., Komolov D. The security and reliability improving of video information in departmental structures infocommunication systems. *Radioelectronics & Informatics*. 2016. No. 163. P. 32-35.
140. Sindeev M., Konushin A., Rother C. Alpha-flow for video matting. Technical Report. 2012. P. 41-46.
141. Strykhalyuk B., Kahalo I., Brych M., Beshley M., Seliuchenko M. Implementation of wireless heterogeneous network based on LTE core virtualization for military communication systems. *Systems of Arms and Military Equipment*. 2014. No. 4. P. 125-132.
142. Suprun O., Sorokun A., Suprun O., Matviichuk V., Voskoboinikov S. and Babenko Y. Research of Features and Possibilities of Modern Real Time Video Services. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020)*. Kyiv, 2020. P. 92-96. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349316.
143. Tverdokhlebo V., Ryabukha Yu., Barannik D., Barannik V., Kulitsa O., Faure E., Odarchenko R. Method for Encoding Video Frame Fragments Based on Non-Equilibrium Codes with Minimization of Service Data. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, Aachen, Germany, ISSN 1613-0073, August 19, 2020, Vol-2654, pp. 304-314., online CEUR-WS.org/Vol-2654/paper15.pdf. (Scopus).

144. Tverdokhlebo V., Yudin O., Boiko Yu., Ziubina R., Buchyk S., Beresina S. Data Compression Based on Coding Methods With a Controlled Level of Quality Loss. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019): proceedings of the International Conference.* (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv. 2019. P. 22-26. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030431.

145. Tverdokhlebo V., Kulitsa, O., Okladnoy, D., Hahanova, A. The development method for evaluating the saturation of video frame blocks to reduce the processing time of the video stream. *IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS): proceedings of Intern. Symp.,* (Yerevan, Armenia, October 14-17, 2016). Yerevan, 2016. P. 1-3.

146. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. Methodology of stereoscopic motion picture quality assessment. *Stereoscopic Displays and Applications XXIV. Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging (SPIE).* 2013. P. 67-69.

147. Wallace G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard. *Communication in ACM.* 1991. Vol. 34. No. 4. P. 31-34.

148. Wallace G.K. Overview of the JPEG (ISO/CCITT) Still image compression: image processing algorithms and techniques. *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging (SPIE).* 1990. Vol. 1244. P. 220-233.

149. Yudin O., Hahanova A., Parkhomenko M., Pchelnikov S., Shmakov V. and Shaigas O. Method of Encoding Binary Structures of Stationary Component of Video Stream. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT): proceedings of 2nd Intern. Conf.* (Kyiv, Ukraine, November 25-27, 2020). Kyiv, 2020. P. 68-71. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349297.

150. Barannik, V., Tupitsya, I., Sidchenko, S. and Tarnopolov R. The method of crypto-semantic presentation of images based on the floating scheme in the basis of the upper boundaries. *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T): proceedings of 2 Intern. scient.-pract. conf.,* (Kharkiv, Ukraine, octob. 13-15, 2015). Kharkiv: 2015. P. 248-250. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357326.

151. Barannik, V., Tarasenko, D., Podlesny, S., Barannik, D., and Kulitsa, O. The video stream encoding method in infocommunication systems. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2018)*: proceedings of XIVth Intern conf., (Lviv-Slavske, Ukraine, febr. 23–25, 2018). Lviv-Slavske: 2018. pp. 538–541. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336259

152. Barannik, V., Alimpiev, A., Barannik, D., and Barannik, N. Detections of sustainable areas for steganographic embedding. *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*: proceedings of Intern. conf. (Novi Sad, Serbia, 29 sept. – 2 octob. 2017). Novi Sad, Serbia: 2017. pp. 1-5. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110028.

153. Barannik, V.V., Kharchenko, N., Tverdokhleb, V.V. and Kulitsa, O. The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*: proceedings of 13th Intern. conf., (Lviv-Slavske, Ukraine, febr. 23–26, 2016). Lviv-Slavske: 2016. pp. 902-904. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452220

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості
про апробацію результатів дисертації

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Коллективні монографії

1. Комбинированный метод управления битовой интенсивностью видеопотока в реальном времени / В. В. Баранник, В.В. Твердохлеб, В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Слободянюк, П.М. Гуржий // Наукомісткі технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: Монографія / під загальною редакцією В. В. Баранніка., В. М. Безрука – ФОП Бровін О.В., Харків. – 2018. – с. 7–21.

Статті

2. Barannik V., Tverdokhle V., Himenko V., Kovalevskiy S., Warwas K., Brocki M. Complex Method of Video Stream Intensity Control. *Engineer of the XXI Century: proceedings*. Springer. ISSN 2211-0984. Bielsko-Biala. 2019. P.209-215. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_19. **(Scopus)**.

3. Barannik D., Tverdokhle V., Barannik V., Ryabukha Yu., Kulitsa O., Faure E., Odarchenko R. Method for Encoding Video Frame Fragments Based on Non-Equilibrium Codes with Minimization of Service Data. *CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)*, Aachen, Germany, ISSN 1613-0073, August 19, 2020, Vol-2654, pp. 304-314., online CEUR-WS.org/Vol-2654/paper15.pdf. **(Scopus)**.

4. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Двухглавов Д.Э. Метод динамического управления битовой скоростью видеопотока с использованием трехмерного представления трансформант. *АСУ и приборы автоматизи.* 2014. № 167. С. 37-43.

5. Баранник В.В, Твердохлеб В.В., Юрченко К.Н., Харченко Н.А. Метод оценки битовой скорости в процессе кодирования макроблока для видеоинформационного потока в телекоммуникационной сети. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. №4. С. 52-59.
6. Баранник В.В., Твердохліб В.В., Супрун О.В., Окладной Д.Є., Управління параметрами компресії відеокадрів з використанням побітової передачі трансформант. *Наукоємні технології*. 2016. №3. С. 269-273.
7. Твердохлеб В.В. Способ контроля битовой скорости видеопотока в телекоммуникационных системах. *Радиоэлектроника и информатика*, 2016. №2. С. 12-1
8. Твердохлеб В.В., Баранник В.В., Хаханова А.В. Методологическая база построения алгоритмов контроля битовой скорости видеопотока с обеспечением требуемых характеристик качества. *Радиоэлектроника и информатика*. 2017. №2. С. 27-33.
9. Бараннік В.В., Твердохліб В.В., Бараннік В.В., Мруць М.С., Згоднік В.С. Управління інтенсивністю відеотрафіку для інформаційних технологій обробки та передачі відеоінформаційних ресурсів. *Системи озброєння і військова техніка*. 2019. №4. С. 58-65.
10. Бараннік В., Твердохліб В. Шевченко І., Рябуха Ю., Гуржий П., Кодування бітового представлення трансформант у рамках управління бітовою швидкістю відео. *Безпека інформаційних систем і технологій*. 2019. №1. С. 52-56.
11. Бараннік В.В., Твердохліб В.В., Рябуха Ю.М., Гуржій П.М., Kulitsa O.C. Технологія кодування трансформант в системах управління бітовою швидкістю відео потоку. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2020. № 3(7). С. 63-71.
12. Barannik V.V., Tverdokhlib V.V., Barannik D.V., Ryabukha U.N., Shulgin S.S. Video segment coding method for bit rate control information technology. *Science-Based Technologies*. 2020. Vol. 46. Issue 3. P. 316-321.

Тези конференцій

13. Твердохлеб В.В., Красноручкий А.А. Об актуальности построении технологии управления параметрами компрессии видеопотока. *Інформаційні технології: наука,техніка, технологія, освіта, здоров'я, MicroCAD'2014*: матеріали XXII Міжн. наук.–практ. конф. (Харків, 15-17 жовт. 2014 р.). Харків. 2014. С. 73.
14. Бараннік В.В., Твердохлеб В.В., Туренко С.В., Бекіров А.Е. Технологія кодування кортежів трансформованих зображень в інфокомунікаційних системах. *International Scientific Conference (ITSEC)*: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 20 - 23 травня 2014 р.). Київ: Нац. авіац. ун-т, 2014. С. 59.
15. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Подлесный С.А., Тарнополов Р.В. Анализ информационной безопасности видеoinформационного ресурса. *Проблемы информатики и моделирования*: матеріали науч.-техн. конф. (Харків-Одеса, 14-18 верес. 2015 р.). Харків-Одеса. 2015. С.18.
16. Баранник В.В., Твердохлеб В.В., Тарнополов Р.В., Школьник А.Ю. Способ управления параметрами компрессии видеопотока в инфокоммуникациях. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*: матеріали 4-ої Міжн. наук.-практ. конф., (Вінниця, 28-30 трав. 2014 р.). Вінниця: Він. нац. техн. ун-т, 2014. С. 244-245.
17. Barannik V., Tverdokhlib V., Ryabukha Yu., Dodukh A., Suprun O., Tarasenko D. Integration the non-equilibrium position encoding into the compression technology of the transformed images. *IEEE East-West Design & Test Symposium: 15th IEEE Intern. Symp.*, (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017). Novi Sad: 2017. P. 337-339.
18. Barannik V., Tverdokhleb V., Okladnoj D., Musienko A. Accelerated Bit Rate of the Video Stream Dynamic Control Method. *The Experience of*

Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM): proceedings of 14th Intern. Conf. (Polyana, Svalyava, Ukraine, February 21-25, 2017). Polyana. 2017.

19. Tverdokhleб, V., Kulitsa, O., Okladnoy, D., Hahanova, A. The development method for evaluating the saturation of video frame blocks to reduce the processing time of the video stream. *IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS):* proceedings of Intern. Symp., (Yerevan, Armenia, October 14-17, 2016). Yerevan, 2016. P. 1-3.

20. Yudin O., Tverdokhleб V., Boiko Yu., Ziubina R., Buchyk S., Beresina S. Data Compression Based on Coding Methods With a Controlled Level of Quality Loss. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT'2019):* proceedings of the International Conference. (Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019). Kyiv. 2019. P. 22-26. DOI: 10.1109/ATIT49449.2019.9030431.

21. Бараннік В.В., Бараннік Д.В., Твердохліб В.В. та інш. Спосіб нерівновагового позиційного кодування для зменшення інформаційної інтенсивності відеопотоку, Н03М 7/30, Н03М 13/00. Пат. на корисну модель UA 144599 U України, № и 2020 0296, заявл. 18.05.2020, опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19/2020.

Апробація результатів дисертації була проведена на:

The International Scientific Conference *ITSEC' 2014*, (Kyiv, Ukraine, May 20-23, 2014);

XXII Міжнародній науково–практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я, MicroCAD’2014”, (Харків, 15-17 жовтня 2014 року);

XV Міжнародній науковій конференції “Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ-2015)” (Одеса, 14-18 вересня 2015 р.);

IV-й міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”, (Вінниця, 28-30 травня 2014 р.);

науково-технічній конференції “Інформаційна безпека України” (Київ, 12-13 березня 2015 р.);

14-й Міжнародній науково-практичній конференції IEEE East-West Design & Test Symposium, EWDT’2016”, (Yerevan, Armenia, October 14 - 17, 2016);

14th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM’2017”, (Polyana, Svalyava, Ukraine, February 21-25, 2017);

15-й Міжнародній науково-практичній конференції IEEE East-West Design & Test Symposium, EWDT’2016”, (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017);

International Conference on Advanced Trends in Information Theory IEEE ATIT’2019,(Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019).

Додаток Б

Приклади відеокадрів із різним ступенем інформативності



Додаток В

Акти реалізації результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного науково-дослідного інституту МВС України, доктор юридичних наук, професор, заслужений юрист України



Михайло Вербенський
Михайло ВЕРБЕНСЬКИЙ
 « 02 » 02 2020 р.

А К Т

впровадження результатів науково-прикладних досліджень

Твердохліба Віталія Вікторовича

Комісія у складі: голови - заступника начальника ДНДІ МВС України, кандидата юридичних наук, старшого дослідника Смерницького Д.В.; членів комісії: завідувача НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Гуляєва А.В., завідувача НДЛ СТЗ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Яковенка О.В., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук доцента Фесенка М.А., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук Мельника В.Є. склала цей акт, який полягає в тому, що при виконанні дослідно-конструкторських робіт використані наступні результати науково-прикладних досліджень Твердохліба Віталія Вікторовича:

1. Метод поліадичного кодування бітового опису трансформант дискретного косинусного перетворення, що базується на:

- декомпозиції компонент трансформант до рівня двійкового опису;
- виявленні довжин серій двійкових елементів на рівні двійкового опису трансформант;
- формуванні опису трансформанти у вигляді незалежних кодових конструкцій на базі поліадичного коду.

2. Метод управління бітовою інтенсивністю відеопотоку, що базується на:

- визначенні ефективних структурних компонент відеопотоку, на рівні яких здійснюється управління;
- побудові механізмів оперативної суттєвої зміни бітової інтенсивності;

- алгоритмах забезпечення гнучкості кроку зміни бітової інтенсивності.

Для розробленого методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку з керованими рівнями зміни обсягу даних на рівні представлення забезпечується обробка відеоінформації у реальному часі та в автоматичному режимі (без втручання оператора) на обчислювальних засобах з контрольованими втратами.

Впровадження результатів досліджень Твердохліба В.В. в інформаційно-комунікаційних системах на основі програмно-апаратних реалізацій дозволило забезпечити наступні результати:

- підвищити рівень цілісності відеоінформації, яка надсилається інформаційно-комунікаційними мережами, у середньому на 15 – 20%;

- забезпечити підвищення оперативності доставки даних відео спостереження на 20%;

- скоротити затрати об'ємів запам'ятовуючих пристроїв для систем зберігання відеоінформації. В залежності від якості зображень та ступеня насиченості досягається додаткове скорочення їх об'ємів від 15 до 20 %.

Науково-прикладні дослідження дали можливість покращити результати виконання дослідно-конструкторських робіт.

Голова комісії
кандидат юридичних наук,
старший дослідник



Д.В. Смерницький

Члени комісії:
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



А.В. Гуляев

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



О.В. Яковенко

кандидат технічних наук, доцент



М.А. Фесенко

кандидат технічних наук



В.С. Мельник

Затверджую
 Перший проректор
 Харківського національного
 університету радіоелектроніки
 доктор технічних наук, професор
 І.В. Рубан

« 46 » *грудня* 2020 р.

АКТ
 про провадження в освітній процес
 Харківського національного університету радіоелектроніки
 результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри інформаційно-мережної
 інженерії
 Твердохліба Віталія Вікторовича

Комісія у складі: голови комісії завідувача кафедрою кафедри інформаційно-мережної інженерії професора, д.т.н. Безрука В.М., доцента кафедри інформаційно-мережної інженерії доцента, к.т.н. Ширяєва А.В., доцента кафедри інформаційно-мережної інженерії к.т.н. Харченко Н.А., доцента кафедри інформаційно-мережної інженерії к.т.н. Скорик Ю.В. підтверджує, що результати дисертаційної роботи Твердохліба В.В. на тему «Метод підвищення продуктивності телекомунікаційних систем на основі управління інтенсивністю відеотрафіка» використовуються в освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки на кафедрі інформаційно-мережної інженерії, а саме:

1. Наукові положення і результати дисертаційної роботи були використані при підготовці лекційних курсів з дисциплін «Методи обробки мультимедійної інформації» «Локальні мережі зв'язку» та «Технології та кінцеві пристрої мереж абонентського доступу», які викладаються на кафедрі.

2. Програмний комплекс методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку для узгодження з пропускнуою здатністю мереж використано як основу для лабораторної роботи з курсу «Методи обробки мультимедійної інформації» на тему «Дослідження методів керування бітовою швидкістю при обробці відеотрафіка»

Голова комісії



Безрук В.М.

Члени комісії:



Ширяєв А.В.



Харченко Н.А.



Скорик Ю.В.