

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Прим. № ____

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СОРОКУН АНТОН ДМИТРОВИЧ

УДК 621.327:681.5

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОД ЗНИЖЕННЯ БІТОВОГО ОБ'ЄМУ ВІДЕОЗНІМКІВ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДЕОСЕРВІСУ З ВИКОРИСТАННЯМ
ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

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

_____ А. Д. Сорокун

Науковий керівник
Юдін Олександр Костянтинівич,
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020 рік

АНОТАЦІЯ

Сорокун А. Д. Метод зниження бітового об'єму відеознімків для підвищення якості відеосервісу з використанням інфокомунікаційних систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи і мережі». – Національний авіаційний університет, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена рішенням актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає в зниженні часових затримок на доставку відеоданих з використанням інформаційно-комунікаційних технологій для підвищення якості відеосервісів.

Обґрунтовано, що зберігається дисбаланс між можливостями сучасних ІКС щодо швидкості передачі даних і зростанням потреб щодо надання високоякісних відеосервісів у реальному часі з використанням мобільного сегменту мережі. Створюється інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімка у вигляді структурно-позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. Будується модель оцінки інформативності ділянок відеознімків на основі виявлення і формування сукупності значущих областей когерентності. Проводиться розробка методу кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімка на основі її представлення у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Викладаються етапи побудови методу формування кодових конструкцій ділянки відеознімка на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої координатно-яскравісної складової шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. Створюються етапи побудови методу декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції

відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок. Вдосконалюється технологія підвищення рівня відеосервісу в інформаційно-комунікаційних системах за рахунок зниження бітового об'єму відеознімка у разі використання розроблених методів і моделей.

1. Розроблена інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності цифрового представлення відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. В результаті чого було доведено, що мінімальне значення рівня зниження бітового об'єму зображень з високою насиченістю структурними деталями досягає від 1,8 до 5 разів, а середньо насичених від 2 до 8 разів.

2. Вдосконалено метод кодування значущої координатно-яскравостної складової цифрового опису відеознімку на основі виявлення областей когерентності з використанням двоєрархічної схеми формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації з виключенням елементів з рівними значеннями. Це забезпечує усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок в середньому на 17–25 %.

3. Вперше розроблено метод інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонуваної кодової конструкції. Відмінною основою методу, є то що компоновка кодових конструкцій ділянки відеознімку проводиться шляхом заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, а також за рахунок інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. Це дозволяє додатково знизити бітовий об'єм відеоданих без внесення додаткових помилок в процесі його обробки в середньому на 10 %.

4. Розроблено метод декомпозиції компоувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок. Відмінні особливості методу полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок розподілу кодограм нерівномірної лінійно-маштабуючої складової в незначущих бітах базових кодограм значущих координатно-яскравісних складових. Це дозволило в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок СРВ досягається зниження часових затримок на обробку цифрового представлення відеознімку в середньому в 7 разів.

5. Вдосконалено технологію обробки цифрових відеозображень на основі розроблених методів та моделі з умови виявлення областей когерентності відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах. Вдосконалена технологія в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового відношення сигнал/шум в 40 дБ з використанням в якості базового компоненту МП Snapdragon (HTC HD2), тактова частота 1000 Мгц забезпечує можливість доставки в реальному часі цифрових відеознімків з роздільною здатністю порядку 24 Мп. Усереднений по різних класах відеоданих вигаш за часом доставки для розробленого методу щодо існуючих в середньому дорівнює 1,3 разів, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Наукова новизна отриманих результатів.

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

1. Вперше створена інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. Відмінні особливості моделі полягають в обліку попереднього нерівномірного проріджування областей когерентності по

елементах з рівними значеннями; збереження інформації про значущі елементи області когерентності з позиції показників глобальної і локальної чутливості. Це дозволяє оцінити інформативність такого опису і отримати оцінки щодо мінімальної кількості надмірності, як потенційного параметру усунення.

2. Отримав подальший розвиток метод кодування значущої структурної координатно-яскравостної складової на основі виявлення областей когерентності цифрового представлення відеознімку. Відмінна особливість методу полягає в тому, що враховується: двох ієрархічна схема формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації з виключенням елементів з рівними значеннями; показник локальної чутливості визначає плаваючу кількість значущих елементів області когерентності. Це забезпечує усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок, і збереження рівня візуальної оцінки по сприйняттю відеознімків.

3. Вперше створено метод інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонуваної кодової конструкції. Відмінні особливості методу полягають в тому, що компоновка кодових конструкцій ділянки відеознімку проводиться на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, шляхом інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. При цьому значуща складова координатної яскравості відеознімку розглядається у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Це дозволяє додатково знизити бітовий об'єм відеознімку без внесення додаткових помилок в процесі його обробки.

4. Розроблено метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок. Відмінні особливості методу полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок розподілу

кодограм нерівномірної лінійно-маштабуючої складової в незначущих бітах базових кодограм значущих координатно-яскравісних складових. Це дозволило підвищити рівень якості реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок.

5. Отримала подальший розвиток технологія зниження бітового об'єму відеоданих на основі розроблених методів та моделі з умови виявлення областей когерентності. Відмінні особливості вдосконаленої технології полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок структурної надмірності на основі обліку глобальної і локальної нерівності між сусідніми елементами сукупності областей когерентності. Це дозволяє підвищити рівень відео сервісу та провести оцінку ефективності створених методів.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених моделей і методів в існуючих інформаційно-комунікаційних технологіях щодо зниження бітового об'єму (ЗБО) відеоданих.

Практичне значення отриманих результатів.

Інтеграція розроблених розроблених моделей, методів кодування і реконструкції відеоданих в інформаційно-комунікаційні системи для надання відеосервісів забезпечує:

1. Рівень зниження бітового об'єму для створених методів і моделі перевищує рівень зниження бітового об'єму що досягається з використанням відомих методів в середньому на 10 % в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок СРВ по показнику пікового відношення сигнал/шум на рівні 55 дБ.

2. Для розробленого методу на основі формування компонувальних кодових конструкцій в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок СРВ досягається зниження тимчасових затримок на обробку відеознімку в середньому в 7 разів. Такий результат досягається за рахунок скорочення кількості оброблюваних даних в результаті попереднього виявлення

областей когерентності, зниження кількості операцій множення і складання, а також виконання обчислень тільки з цілими числами.

Вдосконалена технологія ЗБО в режимі корекцій візуальних оцінок СРВ в порівнянні з існуючими технологіями сформувала умови для обробки статичних відеознімків з використанням мобільних інфокомунікаційних технологій в реальному часі для:

– відеознімків з роздільною здатністю 576×768 з використанням МП Dragonball, тактова частота 66 МГц;

– відеознімків з роздільною здатністю 2048×1536 з використанням МП Arm-11 (Nokia 5700), тактова частота 369 МГц.

3. Вдосконалена технологія в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового відношення сигнал/шум в 40 дБ з використанням в якості базового компоненту МП Snapdragon (HTC HD2), тактова частота 1000 МГц, забезпечує можливість доставки в реальному часі відеознімків з роздільною здатністю порядку 24 Мп. Усереднений по різних класах відеознімків виграш за часом доставки для розробленого методу щодо існуючих в середньому дорівнює 1,3 рази, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Практичне значення отриманих результатів дисертації підтверджується їх застосуванням при виконанні дослідно-конструкторських робіт в Державному науково-дослідному інституті МВС України (акт реалізації від 15.01.2020 р.); у навчальному процесі Національного авіаційного університету (акт реалізації від 13.12.2019 р.).

Ключові слова: відеосервіси, зниження бітового об'єму, структурно-статистична надмірність, область когерентності, компоновка кодограм, структурно-позиційне число.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Сорокун А. Д. Создание метода синтаксического представления сегментов видеок кадров с учетом наличия ключевой информации / А. Д. Сорокун, та ін. // Наукоємні технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: колективна монографія / за ред. В. В. Баранніка, В. М. Безрука. – Х. : Видавництво «Стиль-видат», 2018. – С. 188–198.

2. Вдосконалення методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку / А. Д. Сорокун та ін. // Наукоємні технології. – 2018. – № 3. – С. 22–29.

3. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Гаврилов Д. С. Розробка інформаційної технології оперативної та конфіденційної доставки відеоінформаційного ресурсу в системі критичної інфраструктури // Радіоелектроніка та інформатика. - 2018. - № 2. - С. 17–20.

4. Сорокун А. Д., Тупиця І. М., Бараннік В. В. Технологія кластеризації даних інформаційного ресурсу за ознакою кількості серій одиниць // Наукоємні технології. – 2018. – № 4. – С. 00–00.

5. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Дворський М. В. Метод ефективного представлення та захисту динамічних об'єктів у відеопотоці на основі технології компенсації їх руху // Кібербезпека. – 2018. – № 1. – С. 00–00.

6. Сорокун А. Д. Обоснование направления для снижения битового объема видеоснимков в инфокоммуникационных системах // Радіоелектроніка та інформатика. - 2019. - № 3. - С. 15–19.

7. Метод кодування бітового опису трансформант на базі незалежних кодових структур у технології управління інтенсивністю відеопотоку / А. Д. Сорокун та ін. // Наукоємні технології. – 2019. – № 3. – С. 00–00.

8. Метод кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімку в інфокомунікаційних системах / А. Д. Сорокун та ін. // Сучасна спеціальна техніка. – 2019. – № 4. – С. 17–28.

9. Anton Sorokun, Mykola Dvorsky, Volodymyr Barannik, Valeriy Barannik, Viktoria Himenko Improvement of Methods Motion Compensation of Dynamic Objects Moving in Video Stream in the Videoconferencing System // *Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*. – 2018. – № 4. – P. 22–25.

10. Anton Sorokun, Yuriy Ryabukha, Volodymyr Barannik, Dmitry Barannik, Yurii Babenko Developing A Method Of reconstructing a video image and Composing Key Components Of A Video // *Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*. – 2020. – № 1. – P. 22–25.

11. Сорокун А. Д., Юдін О. К. Дослідження особливостей використання сучасних автоматизованих систем управління проектами для підвищення ефективної діяльності підприємств. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. 3(44). – С. 39–45.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Мультиагентна модель управління процесом кодування кадру // 31 міжнародна науково-практична конференція [«Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»], (Харків, 24-25 жовтня 2018 р.) / А. Д. Сорокун та ін. / Український університет залізничного транспорту, Харків, 2018. – С. 28–30.

2. Аналіз методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку // VII Міжнародна науково-практична конференція [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / А. Д. Сорокун та ін. / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 8-10 листопада 2018 р. – С. 172–173.

3. Аналіз використання методу внутрішньої реструктуризації даних в процесі статистичного кодування інформаційного ресурсу. *Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченій пам'яті професора Кунченка Ю. П.:* матеріали VI Міжн. наук.-практ. конф., (Черкаси, 24–26 травня 2019 р.). / А. Д. Сорокун та ін. Черкаси: ЧДТУ, 2019. – С. 25–264.

4. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Стеценко О. М. Обґрунтування напрямків розробки технологій обробки відеокадрів на базі мультиагентного підходу. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали І наук.-практ. конф., (Київ 5–6 квітня. 2019 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2019. – С. 123-126.

5. Методологічна база ефективного застосування мультиагентних схем у процесі кодування відеоданих Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (20–25 травня 2019 року, Івано-Франківськ–Яремче). / А. Д. Сорокун та ін. / Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаніка, 2019. – С. 67–70.

6. Оцінка ефективності методів маскуванню аерофотографій // VII Міжнародна науково-практична конференція [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / А. Д. Сорокун та ін. / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 3-5 жовтня 2019 р. – С. 35–36.

7. Anton Sorokun, Viktoria Himenko, Natalia Barannik, Yuriy Stasev, Volodymyr Barannik, Alexander Musienko Effective Coding Method of Video Frames in Infocommunications. IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T'2018): materials of IEEE Second International Scientific-Practical Conference. (Kharkiv, Ukraine, October 13–15, 2018). Kharkiv: 2018. – P. 144–147.

8. Anton Sorokun, Stetsenko Oksana, Vladimir Barannik, Alexander Musienko, Yudin Oleksandr Technology for Efficient Encoding of Structural Components using the Multi-agent Approach for Telecommunication Tools and Devices. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2018*: The 14th International Conference, (Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 21–25 February 2018). 2018. – P. 29–31.

9. Sorokun Anton, Barannik Vladimir, Barannik Valeriy, Dmytro Havrylov Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. *on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2019: 3rd IEEE International Conference, Proceedings*, (Lviv, July 2019). Lviv, 2019. – P. 188-192.

10. Vladimir Barannik, Mikolaj Karpinski, Dmytro Havrylov, Anton Sorokun, Marcin Bernas Development Of The Combined Selective Frame Processing Method 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM–2019 (28.06.2019–07.07.2019), Bulgaria 2019. – P. 121–128.

11. Development of a Method of Encoding a Significant Coordinate Brightness Component of a Video Image. Sorokun A., Barannik V., Babenko Y., Yakovenko O. MODERN SPECIAL TECHNICS. 2019. Vol. 4 (59). – P. 5–13.

12. Anton Sorokun, Yuriy Ryabukha, Vladimir Barannik, Anna Hahanova, Maksym Parkhomenko, Oleksandr Dodukh Developing A Method Of Composing Key Components Of A Video Image Based On The Integration Of Their Code Structures. 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2019). 18.12.19–20.12.19 Kyiv, Ukraine. – P. 188-192.

13. Сорокун А. Д., Юдін О. К. Дослідження стеганографічного методу приховування даних у JPEG-зображеннях. XII Міжн. наук.-техн. конф. «АВІА-2015», 28–29 квіт. 2015 р., Київ : НАУ. – С. 58–61.

ABSTRACT

Sorokun Anton D. A method of reducing the bit volume of video footage to improve the quality of video footage services by using info-communication systems.

– As a manuscript.

Thesis for gaining a Candidate Degree in Engineering by the specialty 05.12.02 – Telecommunication Systems and Networks. – National Aviation University, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and applicable problem, which refers to reducing the time delays for the delivery of video footage by using wireless info-communication technology to improve the quality of video data services.

It is shown that there is an imbalance between the capabilities of modern ICS in terms of data rates and the growing need for high-quality real-time video services using the mobile network segment. The information model of the representation of a set of significant elements of the video coherence areas of a video image is being created in a form of structural positional numbers with the presence of properties of global and local inequality of contiguous elements. A model for assessing the information content of video sections is being constructed based on the identification and formation of a set of significant areas of coherence.

The method of coding a significant coordinate-brightness component of the video is developed based on its representation as a structural positional number with global and local inequality of values of neighboring elements. The stages of constructing a method of forming the code designs of the video section are presented on the basis of filling the basic codogram obtained for a string array of a significant coordinate-brightness component by integrating a codegram segment obtained for a row of an array of the irregular length of coherence regions. The stages of creating the model of estimation the levels of reduction of a bit volume of a video in case of use of the developed method of code arrangement of the code constructions of a section of the video on the basis of filling the basic codegram are outlined.

1. An information model of representation of a set of significant elements of video coherence regions in the form of structural positional numbers with the presence of properties of global and local inequality of related elements has been developed. As a result, it was proved that the minimal value of the bitmap reduction level with a high saturation of structural parts reaches from 1.8 to 5 times, and the average saturation enumerates from 2 to 8 times.

2. A method of encoding a significant component of a coordinate-brightness description of a video has been created based on the detection of the coherence regions using a two-hierarchical scheme of code-value formation for a set of coherence regions after unequal sub-sampling with the exclusion of elements with equal values. This eliminates structural redundancy without additional errors on the average of 17–25 %.

3. For the first time, a method of integration layout of key components of video data processing based on the formation of a layout code structure has been developed. The difference in the basis of the method is that the layout of code structures of the video is performed by filling the base codegram obtained for the array line of the significant component of coordinate brightness, as well as by integrating the codegram segment of the array of non-uniform lengths of coherence domains. This enables the further reducing the bit size of video data without making additional errors in its processing by an average of 10 %.

4. The method of decomposition of layout code constructions for the purpose of reconstruction of video data in terms of exclusion the additional errors input has been developed. The distinctive features of the method are that in the process of estimating the bit volume the directions of its reduction are taken into account due to the distribution of codegrams of non-uniform linear-scaling component in insignificant bits of basic codegrams of significant coordinate-brightness components. This allowed to improve the quality of video data reconstruction in terms of excluding the input of additional errors.

5. The technology of reducing the bit volume of video data on the basis of the developed methods and models on the condition of revealing the areas of coherence has been further developed. Distinctive features of the advanced technology are that in the process of estimation of bit volume the directions of its reduction at the expense of structural redundancy on the basis of the account of global and local inequality between the next elements of a set of areas of coherence are considered. This enables to increase the level of video service and evaluate the effectiveness of the created methods.

The scientific novelty of the obtained results.

Within the framework of the dissertation, the main results containing the scientific novelty have been obtained:

1. For the first time, an information model for representing a set of significant elements of the video coherence regions in the form of structural positional numbers with the presence of properties of global and local inequality of related elements has been created. The distinctive features of the model are the consideration of the previous non-uniform thinning of the coherence regions by elements with equal values; saving information on significant elements of the CSR (coherence-scattering regions) from the standpoint of global and local sensitivity.

2. The method of encoding a meaningful component of a video coordinate and brightness description of the video based on the identification of the coherence regions has been further developed. A distinctive feature bases in the things taken into account. They are a two-hierarchical scheme of code-value formation for a set of coherence domains after unequal sub-sampling with the exception of elements with equal values; the local sensitivity index determines the floating number of significant elements of the coherence domain.

3. The first method of video processing has been created based on the formation of the composite code structure. The distinctive features of the method ground on the layout of the code structures of the video section that is performed on the basis of filling the basic codegram obtained for the string array of significant component coordinate brightness, by integrating the segment codegram array of irregular lengths of coherence regions. In this case, a significant component of the coordinate brightness of the video is considered as a structural positional number with the global and local inequality of values of the related elements.

4. A model for estimating the level of video bit rate reduction based on the detection of coherence regions has been further developed. Distinctive features of the model are the process of bit volume estimation the directions of its reduction are taken

into account due to distribution of codegrams of non-uniform linear-scaling component in insignificant bits of basic codegrams of significant coordinate-brightness components and further reduction of structural redundancy based on the consideration of global and local inequalities between related elements of a set of coherence domains.

The novelty of the obtained results is confirmed by the lack of developed models and methods in the existing info-communication technologies for the bit volume reduction (BVR) of videos.

The practical significance of the obtained results.

Integration of the developed video encoding methods into wireless info-communication systems to provide video services ensures:

1. The level of bit volume reduction for the created method exceeds the level of bit volume reduction that is achieved using known methods by an average of 10 % in terms of providing a level of visual estimation of perception the reconstructed videos (PRV) on the peak signal-to-noise ratio of 55 dB.

2. For the developed method (DM) on the basis of the formation of layout code structures in comparison to the existing methods in the presence of corrections of visual estimates of PRV reduction of time delays for video processing on average 7 times is achieved. This result is gained by reducing the amount of data processed as a result of the pre-detection of coherence regions, reducing the number of multiplication and additional operations, as well as performing calculations with integers only.

The created technology of BVR (bit volume reduction) in the mode of correction of visual estimations of PRV (perception the reconstructed videos) comparing with existing technologies create conditions for the processing of static videos by using mobile info-communication technologies in real-time for:

- 576×768 spatial video footage with Dragonball MP, 66MHz of the clock frequency;

- 2048×1536 spatial video footage using Arm-11 (Nokia 5700), 369 MHz of the clock frequency.

3. Compared to the available technologies, the developed technology is in the mode of correction of visual estimates at the peak signal-to-noise ratio of 40 dB using as a base component of MP Snapdragon (HTC HD2), clock frequency 1000 MHz that provides the ability to deliver real-time video with a spatial resolution of the order of 24MP. On average, among the different video classes, the payload on delivery time for the developed method relatively to the existing ones is 1.3 times, which is caused by the additional increase in the level of bit volume reduction and reduction of the processing delays.

The practical significance of the obtained results of the dissertation is confirmed by their application in the performance of research and development work at the State Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine (the act of implementation from January 15, 2020); in the educational process of the National Aviation University (the act of implementation dated December 13, 2019).

Keywords: video services, bit volume reduction, structural and statistical redundancy, area of coherence, the layout of codegrams, structural and positional number.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ОСОБЛИВОСТЕЙ НАДАННЯ	
ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ	
БЕЗПРОВІДНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	29
1.1 Дослідження можливостей інформаційно-комунікаційних технологій щодо надання відеоінформаційних сервісів реального часу	30
1.2 Обґрунтування показників якості функціонування технологій зниження бітового об'єму відеознімків в процесі їх доставки в інфокомунікаційних мережах для надання відеосервісів	40
1.3 Обґрунтування напряму вдосконалення технологій зниження бітового об'єму.....	48
1.4 Постановка завдань на дослідження	57
Висновки за першим розділом.....	76
РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ	
ФРАГМЕНТІВ ВІДЕОЗНІМКІВ НА ОСНОВІ ВИЯВЛЕННЯ	
ОБЛАСТЕЙ КОГЕРЕНТНОСТІ	79
2.1 Обґрунтування підходу для формування представлення відеознімку з виявленням областей когерентності	80
2.2 Обґрунтування підходу для виявлення і опису областей когерентності відеознімки	95
2.3 Розробка інформаційної моделі нерівномірного лінійно-масштабованої складової фрагмента відеознімку	102
2.4 Створення інформаційної моделі представлення значущих елементів областей когерентності.....	

2.5 Побудова моделі оцінки інформативності ділянок відеознімку на основі виявлення і формування сукупності значущих областей когерентності	
Висновки за другим розділом	110
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ОБРОБКИ ВІДЕОЗНІМКІВ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ КОМПОНУВАЛЬНИХ КОДОВИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	
3.1 Обґрунтування напряму для зниження бітового об'єму відеозніmkів в інфокомунікаційних системах	113
3.2 Розробка методу кодування значимої координатно-яскравісної складової відеознімку.....	119
3.3 Створення методу компонування ключових складових відеознімку на основі інтеграції їх кодових конструкцій	136
3.4 Побудова методу реконструкції відеознімку шляхом декомпозиції компонувальних кодових конструкцій	142
Висновки за третім розділом	152
РОЗДІЛ 4 ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНИЖЕННЯ БІТОВОГО ОБ'ЄМУ ВІДЕОЗНІМКІВ В ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	
4.1 Розробка методики оцінки рівня зниження бітового об'єму з використанням методу компонування кодових конструкцій шляхом заповнення незначимих біт.....	157
4.2 Оцінка рівня зниження бітового об'єму відеознімку залежно від рівня візуальних оцінок	164
4.3 Оцінка комплексних характеристик функціонування технологій зниження бітового об'єму в інфокомунікаційних системах	167
Висновки за четвертим розділом.....	175
ВИСНОВКИ	178
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	182

Додаток А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	195
Додаток Б. ПРИКЛАДИ ВІДЕОЗНІМКІВ ДЛЯ ОБРОБКИ.....	200
Додаток В. АКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВО-ПРИКЛАДНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	218

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗКК	заповнена кодова конструкція
СРВ	сприйняття реконструйованих відеознімків
ІКТ	інфокомунікаційні технології
ІКС	інфокомунікаційні системи
ККСВ	компоновка ключових складових відеознімків
НЛМФ	нерівномірна лінійно-масштабуюча форма
ОКГ	Область когерентності
СПЧ	структурні позиційні числа
СНП	сплайни нульового порядку
ЗБО	зниження бітового об'єму
СПЧ	структурні позиційні числа
ГЛН	глобальна і локальна нерівність сусідніх елементів
УСПЧ	усічені структурні позиційні числа
ФРО	функціонал регресійного опису
PSNR	Пікове відношення сигнал/шум

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Розвиток сфер державної діяльності, соціуму і особистості супроводжується повномасштабними процесами інформатизації. Ключовою складовою тут є забезпечення своєчасного обміну інформацією між користувачами, з використанням безпроводних інфокомунікаційних технологій. При цьому, останньому роками найбільший попит формується щодо надання відеоінформаційних сервісів. В той же час потрібні вимоги до відеосервісів з використанням сучасних інфокомунікаційних систем не забезпечуються. Необхідні часові затримки на доставку відеознімків в умовах заданої якості відеосервісу з використанням безпроводних технологій не досягаються. Значить, існує суперечність, викликана невідповідністю вимог відеосервісів і характеристик продуктивності безпроводних інфокомунікаційних мереж. Звідси випливає, що зниження часових затримок доставки відеознімків з використанням безпроводних інфокомунікаційних технологій для підвищення якості відеоінформаційних сервісів є актуальним науково-прикладним завданням.

Сформульовану задачу пропонується вирішувати на базі розвитку методів зниження бітового об'єму. Питанням розробки та розвитку методів зменшення бітового об'єму відеопотоку присвятило суттєву увагу багато вчених, а саме: Юдін О. К., Корольов А. В., Бараннік В. В., так й іноземні, до яких слід віднести наступних вчених: Рябко Б. Я., Вудс Р., Гонсалес Р., Претт У. К., Шеннон К. та ін.

Методи зниження бітового об'єму залежно від накладення обмежень на рівень візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, поділяються на два базові класи. Методи зниження бітового об'єму з максимальним рівнем візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що реконструюються, мають

обмежене застосування в системах доставки відеоданих з використанням мобільних безпроводних телекомунікаційних технологій для організації надання відеосервісів реального часу. Методи другого класу в режимі обмеженого рівня візуальних оцінок забезпечують додаткове зниження бітового об'єму. У той же час такий вииграш досягається за рахунок внесення втрат інформації і зростання затримок на виконання ортогональних перетворень.

Тому для вдосконалення технологій зниження бітового об'єму з гнучкими контрольованими обмеженнями на рівень візуальних оцінок пропонується використовувати попередню обробку, яка полягає в описі структурно-статистичних залежностей на основі виявлення областей когерентності. Отже, тематика дисертаційних досліджень, яка полягає в створенні методів зниження бітового об'єму відеознімків з контрольованим рівнем візуальних оцінок по їх сприйняттю, для підвищення якості відеосервісу з використанням інфокомунікаційних мереж на основі виявлення областей когерентності, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводилися відповідно до наступних програм і нормативних документів: Законом України «Про телекомунікації» від 18 листопада 2003 року № 1280-IV, указом Президента № 96 від 15 березня 2016 року про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 січня 2016 року «Про Стратегію кібербезпеки України», Законом України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» від 5 жовтня 2017 року № 2163-VIII, Законом України «Про національну безпеку України» від 21 червня 2018 року № 2469-VIII, постановою Кабінету Міністрів України № 518 від 19 червня 2019 року «Про затвердження Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури», планами наукової, науково-технічної діяльності Національного авіаційного університету,

Харківського національного університету радіоелектроніки, в рамках яких була виконана НДР № 276-4 «Технології створення інтегрованих інформаційних систем на основі мереж цифрового мобільного зв'язку» (№ 0113U000360), в якій автор дисертації був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення якості відеосервісу в інформаційно-комунікаційних системах на базі розробки нових методів зниження бітового об'єму відеоданих з контрольованим рівнем візуальних оцінок на основі виявлення областей когерентності.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Обґрунтувати підхід для зниження бітового об'єму відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах на основі виявлення і опису областей когерентності відеоданих в умовах заданого рівня візуальних оцінок.

2. Побудувати модель оцінки інформативності ділянок відеоданих на основі виявлення та формування сукупності значущих областей когерентності.

3. Розробити метод кодування значущої структурної складової області когерентності для досягнення усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок.

4. Розробити метод інтеграційного компонування ключових складових відеоданих на основі кодових конструкцій без внесення додаткових помилок в процесі їх доставки в інформаційно-комунікаційних мережах.

5. Побудувати метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок.

6. Вдосконалити існуючу технологію обробки цифрових відеозображень та провести порівняльну оцінку ефективності

функціонування технологій зниження бітового об'єму відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах.

Об'єкт дослідження. Процеси підвищення якості відеосервісу з використанням інформаційно-комунікаційних систем.

Предмет дослідження. Методи зниження бітового об'єму відеознімків для підвищення якості відеосервісу з використанням інформаційно-комунікаційних мереж.

Методи дослідження. Обґрунтування напрямку підвищення якості відеосервісів з використанням інфокомунікаційних систем здійснювалось на основі системного підходу, базуючись на теоретичному апараті дослідження складних систем. Розробка методу зниження бітового об'єму на основі компактного представлення потоку відеокадрів проводилось з використанням положень теорії інформації та кодування, методів цифрової обробки зображень. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів проводилась на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає в наступному.

1. Вперше створена інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. Відмінні особливості моделі полягають в обліку попереднього нерівномірного проріджування областей когерентності по елементах з рівними значеннями; збереження інформації про значущі елементи області когерентності з позиції показників глобальної і локальної чутливості. Це дозволяє оцінити інформативність такого опису і отримати оцінки щодо мінімальної кількості надмірності, як потенційного параметру усунення.

2. Отримав подальший розвиток метод кодування значущої структурної координатно-яскравісної складової на основі виявлення областей когерентності цифрового представлення відеознімку. Відмінна особливість методу полягає в тому, що враховується: двох ієрархічна схема формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації з виключенням елементів з рівними значеннями; показник локальної чутливості визначає плаваючу кількість значущих елементів області когерентності. Це забезпечує усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок, і збереження рівня візуальної оцінки по сприйняттю відеознімків.

3. Вперше створено метод інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонувальної кодової конструкції. Відмінні особливості методу полягають в тому, що компоновка кодових конструкцій ділянки відеознімку проводиться на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, шляхом інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. При цьому значуща складова координатної яскравості відеознімку розглядається у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Це дозволяє додатково знизити бітовий об'єм відеознімку без внесення додаткових помилок в процесі його обробки.

4. Розроблено метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок. Відмінні особливості методу полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок розподілу кодограм нерівномірної лінійно-маштабуючої складової в незначущих бітах базових кодограм значущих

координатно-яскравісних складових. Це дозволило підвищити рівень якості реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок.

5. Отримала подальший розвиток технологія зниження бітового об'єму відеоданих на основі розроблених методів та моделі з умови виявлення областей когерентності. Відмінні особливості вдосконаленої технології полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок структурної надмірності на основі обліку глобальної і локальної нерівності між сусідніми елементами сукупності областей когерентності. Це дозволяє підвищити рівень відео сервісу та провести оцінку ефективності створених методів.

Новизна отриманих результатів підтверджується відсутністю розроблених моделей і методів в існуючих інформаційно-комунікаційних технологіях щодо зниження бітового об'єму (ЗБО) відеоданих.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що інтеграція розроблених моделей, методів кодування і реконструкції відеоданих в інформаційно-комунікаційні системи для надання відеосервісів забезпечує:

1. Рівень зниження бітового об'єму для створених методів і моделі перевищує рівень зниження бітового об'єму що досягається з використанням відомих методів в середньому на 10% в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок СРВ по показнику пікового відношення сигнал/шум на рівні 55 дБ.

2. Для розробленого методу на основі формування компоновальних кодових конструкцій в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок СРВ досягається зниження тимчасових затримок на обробку відеознімку в середньому у 7 разів. Такий результат досягається за рахунок скорочення кількості оброблюваних даних в результаті

попереднього виявлення областей когерентності, зниження кількості операцій множення і складання, а також виконання обчислень тільки з цілими числами.

Вдосконалена технологія ЗБО в режимі корекцій візуальних оцінок СРВ

у порівнянні з існуючими технологіями сформуvalа умови для обробки статичних відеознімків з використанням мобільних інфокомунікаційних технологій в реальному часі для:

- відеознімків з роздільною здатністю 576×768 з використанням МП Dragonball, тактова частота 66 МГц;

- відеознімків з роздільною здатністю 2048×1536 з використанням МП Arm-11 (Nokia 5700), тактова частота 369 МГц.

3. Вдосконалена технологія в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового відношення сигнал/шум в 40 дБ з використанням в якості базового компоненту МП Snapdragon (НТС HD2), тактова частота 1000 МГц, забезпечує можливість доставки в реальному часі відеознімків з роздільною здатністю порядку 24 Мп. Усереднений по різних класах відеознімків вигравш за часом доставки для розробленого методу щодо існуючих в середньому дорівнює 1,3 рази, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Практичне значення отриманих результатів дисертації підтверджується їх застосуванням при виконанні дослідно-конструкторських робіт в Державному науково-дослідному інституті МВС України (акт реалізації від 19.12.2019 р.); в навчальному процесі Національного авіаційного університету (акт реалізації від 20.02.2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. У наукових працях, опублікованих у

співавторстві, здобувачеві належить наступне: в працях [1, 4] - розробляється спосіб виділення значущих областей відеознімку. Висловлюються основні етапи побудови методу обробки відеокадрів з урахуванням виділених областей значимості; в працях [2, 5, 9, 12] - створюється технологія обробка відеокадрів зі встановленням позицій і динаміки зміни значимості їх областей в динамічному потоці; в праці [3, 7, 11] - проводиться оцінка можливості використання процесу виділення значущих областей для підвищення достовірності інформації в системах критичної інфраструктури з використанням безпроводних телекомунікаційних технологій мобільного сегменту мережі; в працях [8, 10, 18, 20, 21] - проводиться розробка методу кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімку на основі її уявлення у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Обґрунтовується співвідношення для оцінки верхнього рівня кількості біт, яке витрачається на представлення кодового значення рядка масиву значущої координатно-яскравісної складової відеознімку; в працях [13-17, 19, 22] - висловлюються етапи побудови методу формування компоновки кодових конструкцій ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались і були схвалені на: 31 міжнародній науково-практичній конференції [«Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»], (Харків, 24-25 жовтня 2018 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 8-10 листопада 2018 р; VI

Міжн. наук.-практ. конф., (Черкаси, 24–26 травня 2019 р.). Черкаси: ЧДТУ, 2019; I наук.-практ. конф., (Київ 5–6 квітня. 2019 р.). Київ: Нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2019.; Міжнародній науково-практичній конференції Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (20–25 травня 2019 року, Івано-Франківськ–Яремче); VII Міжнародній науково-практичній конференції [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 8 - 10 жовтня 2019 р.; IEEE Second International Scientific-Practical Conference. (Kharkiv, Ukraine, October 13–15, 2018). Kharkiv: 2018.; *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2018: The 14th International Conference*, (Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 21–25 February 2018). 2018; *Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2019: 3rd IEEE International Conference, Proceedings*, (Lviv, July 2019). Lviv, 2019; 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 (28.06.2019–07.07.2019), Bulgaria 2019; IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2019). 18.12.19–20.12.19 Kyiv, Ukraine.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковано в 24 наукових працях, серед яких одна колективна монографія, 11 статей, зокрема, одна одноосібна стаття та 6 статей опубліковано в журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз, дві статі опубліковано в журналах Європейського Союзу. Апробація результатів дисертації відображена у 13 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, зокрема 6 публікацій у матеріалах конференцій, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, списку використаної літератури і чотирьох додатків. Загальний об'єм дисертації становить 186 сторінок, з них: 24 ілюстрації, з яких 7 на цілих сторінках, 11 таблиць, список використаної літератури зі 140 джерел на 13 сторінках та чотири додатки на 9 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ОСОБЛИВОСТЕЙ НАДАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Обґрунтовується, що найбільший попит формується щодо надання відеоінформаційних сервісів, як для мобільних користувачів, так і для стаціонарних користувачів з використанням безпроводних технологій доступу та обміну відеоінформації. Показується, що найбільший питомий об'єм трафіку припадає на відеодані. Показано, що зберігається дисбаланс між можливостями сучасних ІКМ щодо швидкостей передачі даних і зростанням потреб щодо надання високоякісних відеосервісів реального часу з використанням мобільного сегменту мережі. Обґрунтовується те, що існуючі технології зниження бітового об'єму не забезпечують вимог щодо характеристик доставки відеознімків насичених структурними деталями для мобільного сегменту інфокомунікаційних систем щодо надання відеосервісів. На основі проведеної оцінки недоліків існуючих методів ЗБО обґрунтовано, що для вдосконалення технологій зниження бітового об'єму з гнучкими контрольованими обмеженнями на рівень візуальних оцінок по СРВ пропонується використовувати альтернативний напрямок попередньої обробки, що складається в описі структурно-статистичних залежностей на основі виявлення областей когерентності.

1.1. Дослідження можливостей інформаційно-комунікаційних технологій щодо надання відеоінформаційних сервісів реального часу

Розвиток сфер державної діяльності, соціуму і особистості супроводжується повномасштабними процесами інформатизації. Однією з ключових складових тут є забезпечення своєчасного обміну інформацією між користувачами (абонентами, операторами різних рівнів управління), надання

доступу до інформаційних ресурсів. При цьому в сучасних умовах підвищується необхідність щодо надання таких сервісів з використанням безпроводних інфокомунікаційних технологій (ІКТ), включаючи мобільний сегмент телекомунікаційної мережі [1; 2; 7–10; 18; 27; 47].

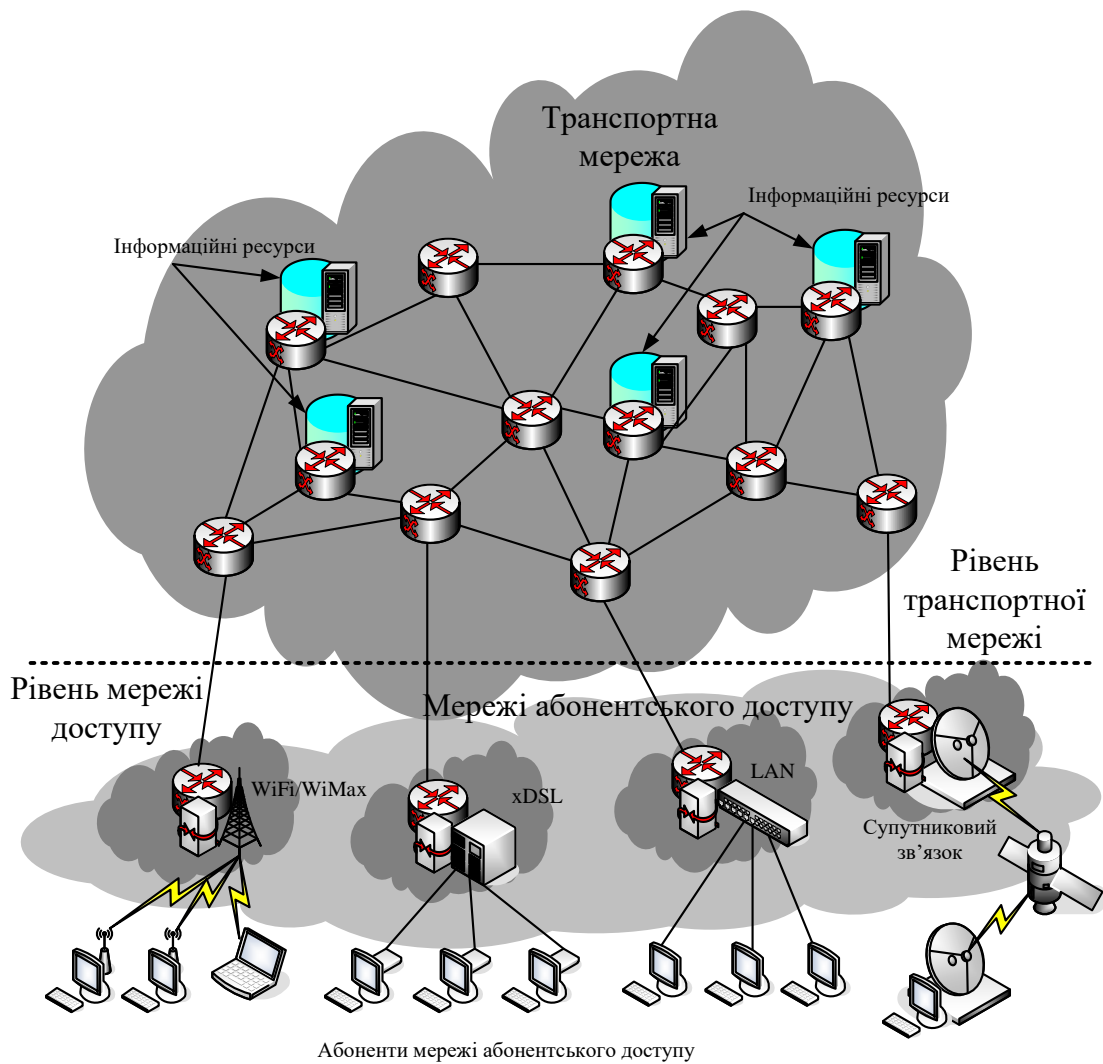
У зв'язку з цим актуальним є створення відкритої, стандартної пакетної інфраструктури, яка здатна:

- ефективно підтримувати всю гаму існуючих додатків і сервісів;
- забезпечувати необхідну масштабованість і гнучкість;
- адекватно реагувати на нові вимоги по функціональності і пропускну здатності.

В основу концепції таких інфокомунікаційних технологій закладається те, що вся інформація, що циркулює в мережі, розбита на дві складові [47–49]. Це сигнальна інформація, що забезпечує комутацію абонентів і надання послуг, і безпосередньо призначені для користувача дані, що містять корисне навантаження, призначене абоненту (голос, відео, дані).

Така ІКС в загальному випадку включає наступні компоненти (рис. 1.1) [47–49; 59; 63; 66; 67; 78]:

- абоненти мережі доступу, які є споживачами інформації, і її джерелами;
- мережу доступу, призначена для концентрації інформаційних потоків, що надходять по численних каналах зв'язку від обладнання користувачів в сторону вузлів транспортної мережі. Мережа доступу може бути побудована з використанням таких технологій проводового доступу сімейства технологій – xDSL, Ethernet, безпроводового доступу – WiFi, WiMax;
- транспортна мережа, яка об'єднує окремі мережі доступу, і забезпечує транзит трафіку між ними по відносно високошвидкісних каналах. Серед технологій транспортної мережі можуть бути використані такі як DWDM, WDM, MPLS, GigabitEthernet, SDH, ATM, FrameRelay, WiMax;



a

Рис. 1.1. *a* – Структура інформаційно-комунікаційної мережі, що включає мобільний сегмент – інформаційні центри або центри управління сервісами. В якості інформаційних центрів можуть виступати сервера IP-TV, VoIP, Web, FTP, NAS, ігрові сервера, сервера додатків, розподілених обчислень і т.д.

Мережа доступу являє собою нижній рівень ієрархії інфокомунікаційної мережі (ІКМ). В рамках специфіки вимог по пропускній здатності визначаються необхідні характеристики і технології абонентського доступу.

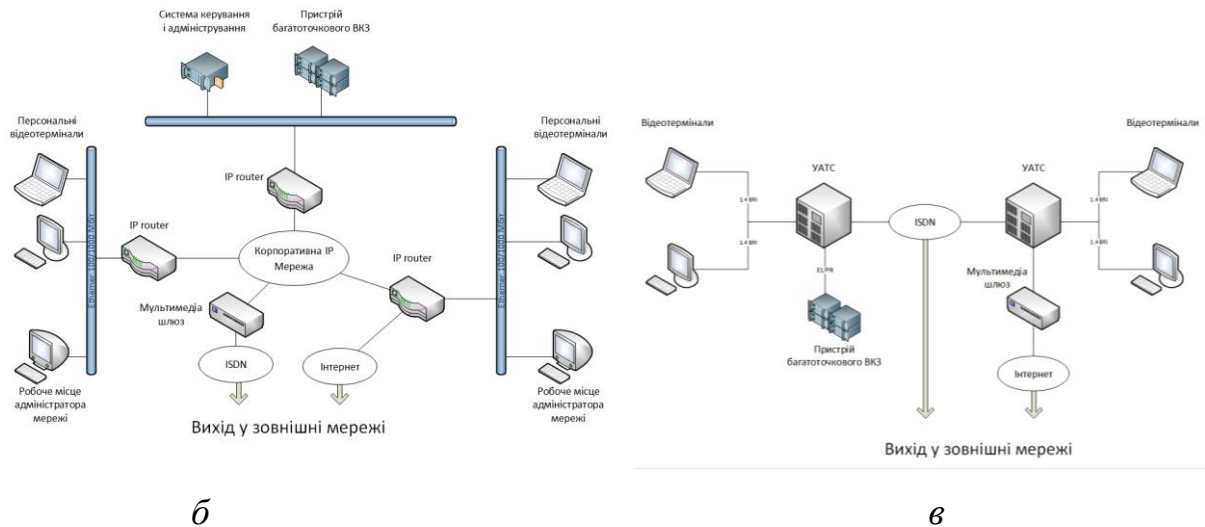


Рис. 1.1. б, в – Структурно-функціональні схеми інформаційно-комунікаційної мереж різних класів для організації системи відеоконференц зв'язку з метою передачі відеоданих з використанням IP та ISDN мереж

У табл. 1.1 наведено порівняльний аналіз технологій «останньої милі», що застосовуються в даний час [5; 7; 47–49; 59; 63; 66; 67; 78].

Таблиця 1.1

Порівняльний аналіз технологій абонентського доступу

Характеристики для порівняння	Технології «останньої милі»			
	xDSL (ADSL2+)	Ethernet (FastEthernet)	WiFi (802.11n)	WiMax (802.16d)
Швидкість передачі, Мбіт/с	24 Мбіт/с upstream 1,4 Мбіт/с downstream	100 Мбіт/с	150 Мбіт/с	75 Мбіт/с
Галузь використання	POTS/ISDN	LAN/WLAN	WLAN	WMAN
Радіус/дальність дії	900-2500 м	100-150 м	100-3500 м	6-13 км
Вид доступу	кабель	кабель	безпроводний	безпроводний

Важливим аспектом ІКМ нового покоління є їх мультисервісність. Згідно чого потрібно організувати надання різного роду інформації (інтернет трафіку, аудіо, статичного і рухомого відео) в умовах необхідної її своєчасності, і достовірності.

Потрібно враховувати, що найбільший питомий об'єм трафіку припадає на відео дані. Так, за статистичними даними аналізу стану ринку телекомунікацій, проведеного однією з провідних профілюючих компаній (Cisco), впливає, що на 2021 рік понад 75 % від сумарного об'єму трафіку буде відводитися під передачу відеоінформації. Це пояснюється різким розширенням і зростанням попиту на відеоінформаційні сервіси. Тут важливо відзначити те, що розширюються можливості ІКТ і відповідний попит щодо дистанційного безпроводного доступу до відеоінформаційних сервісів з використанням мобільного сегменту телекомунікаційної мережі [5; 16; 19; 21; 27; 28; 30; 34; 37; 47–49].

Така тенденція обумовлена підвищенням тактико-технічних характеристик різних гаджетів, включаючи такі безпроводні термінали, як: смартфони, ноутбуки, планшети, комунікатори. Тому найбільший попит формується щодо надання відеоінформаційних сервісів, як для мобільних користувачів, так і для стаціонарних користувачів з використанням безпроводних технологій доступу та обміну відео. На рис. 1.2 представлені результати оцінок, проведені компанією Cisco, щодо тенденцій зростання об'ємів передачі мультимедійної інформації з використанням різних ІКМ [16; 19; 21; 27; 28; 30; 34; 37].

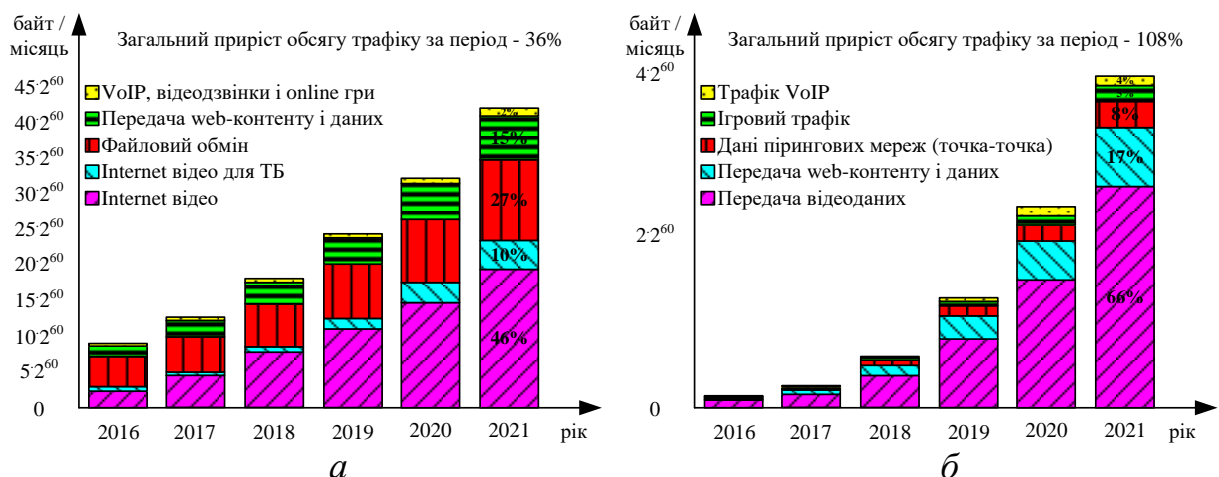


Рис. 1.2. Результати щорічного дослідження VNI компанією Cisco:

а – тенденції зростання трафіку в провідних мережах; *б* – тенденції зростання трафіку в мобільних мережах

Аналіз діаграм на рис. 1.2 вказує на наявність тенденції більш високого зросту об'єму відеопотоку (в середньому на 20 %), переданого з використанням безпроводних технологій щодо провідних.

Розвиток поколінь безпроводних систем зв'язку відносно можливостей по наданих послуг відображено в табл. 1.2. Як виходить з аналізу даних в табл. 1.2 повноцінні можливості з надання відеоінформаційних сервісів забезпечуються для безпроводних мереж, починаючи з покоління 3G.

Характеристики надання відеоінформаційних сервісів мережами різних поколінь наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.2

Характеристика поколінь безпроводних телекомунікаційних технологій

Покоління	3G	3.5G	4G
Сервіси	Швидкість передачі до 2 Мбіт/с	Збільшення швидкості мереж третього покоління	Велика ємність, IP-орієнтована мережа, підтримка мультимедіа, швидкості до сотень мегабіт в секунду
Швидкість передачі	2 Мбіт/с	3-14 Мбіт/с	1 Гбіт/с
Стандарти	WCDMA, CDMA2000, UMTS	HSDPA	єдиний стандарт
Мережа	мережа пакетної передачі даних	мережа пакетної передачі даних	Інтернет

Таблиця 1.3

Характеристики надання відеоінформаційних послуг мережами різних поколінь

Набір відеопослуг, що надаються	1G	2G	3G	4G
Служба мультимедійних повідомлень - MMS (Multimedia Messaging Service)	-	+	+	+
Передача нерухомих зображень (Низької / високої якості чи розділу)	+/-	+/+	+/+	+/+
Відеотелефонний зв'язок (Videotelephony)	-	-	+	+

Набір відеопослуг, що надаються	1G	2G	3G	4G
Відеоконференція (Videoconference)	–	–	+	+
Потокове мультимедіа (Stream Media)	–	–	+(низької якості)	+(високої якості)

На поточний момент бурхливо розвиваються технології зв'язку 4-го і 5-го поколінь. Стандарти покоління 5G повинні забезпечити швидкості даних, що входять не нижче, ніж у 1 Гбіт / с та 10 Гбіт / с для стаціонарних і 100 Мбіт / с 1 Гбіт/с для мобільних терміналів.

При цьому необхідно відзначити, що зростання пропускної здатності сучасних інформаційно-комунікаційних мереж супроводжується:

- 1) підвищенням попиту і розширенням можливостей відносно надання відеоінформаційних сервісів;
- 2) збільшенням вимог користувачів щодо якості відеоінформаційних сервісів.

Тут проявляється збереження дисбалансу між можливостями сучасних ПКМ щодо швидкостей передачі даних і зростанням потреб щодо надання високоякісних відеосервісів реального часу з використанням мобільного сегменту мережі. Тому необхідно провести оцінку щодо забезпечення відеоінформаційних сервісів заданої якості з використанням безпроводних ПКМ.

До основних характеристик продуктивності мережі при забезпеченні задовільної якості надання послуг, заданих QoS, відносяться [16; 27; 29; 34; 37; 47]:

- затримка вузла доступу;
- затримка від джерела до одержувача;
- ймовірність втрати пакетів на вузлі доступу;
- завантаження вузла доступу.

У табл. 1.4 наведені вимоги різних широкосмугових сервісів до затримок і швидкостям передачі для різних типів повідомлень [19; 21; 27; 28; 30; 37; 47–49].

Таблиця 1.4

Вимоги різних служб до характеристик мережі

Тип повідомлення	Допустима затримка часу між користувачами $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec}$, с	Необхідна швидкість передачі $S_{tr, nec}$, біт/с	Об'єм Повідомлення V_{beg}
Мова в цифровій формі	не більше 0,030	64 Кбіт/с	10^3 біт
Інтерактивні дані	<1,0	0,2–64 Кбіт/с	10^4 знаків
Статичні зображення (смартфонів)	<1,0	до 100 Мбіт/с	10^6 – 10^{10} біт
Рухомі зображення формату	<1,0	до 3 Гбіт/с	

Аналіз даних у табл. 1.4 показує, що затримка при передачі статичних і рухомих відеознімків не повинна перевищувати 1 сек. Більш високі значення затримки призводять до помітного для користувачів погіршення якості відеозображень, що відображаються.

Для забезпечення затримок в необхідних рамках потрібно здійснювати передачу відповідно зі швидкостями до 100 Мбіт/с і до 3 Гбіт/с в залежності від якості візуальної оцінки відеознімків. Зрозуміло, що для доставки відеопотоку в реальному часі при збереженні заданої якості візуального сприйняття потрібно забезпечити відповідні значення пропускної здатності S_{tr} інфокомунікаційної мережі, тобто $V_{beg} = S_{tr}$. Тут V_{beg} – середній об'єм відеоінформаційні потоку за 1 сек.

Для надання відеосервісів реального часу з необхідною якістю інфокомунікаційні технології повинні забезпечувати:

- 1) середню швидкість передачі $S_{tr, nec}$ даних не нижче наступних рівнів:

– 100 Мбіт/с–1 Гбіт/с для передачі відеопотоку формату підвищеної якості HD;

– 1 Гбіт/с–10 Гбіт/с для передачі відеопотоку формату високої якості 4К і 8К.

2) часова затримка $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec}$ передачі одного відеознімку між користувачами (споживачами) не повинна перевищувати декількох сотень або навіть десятків мілісекунд.

Розглянемо оцінку часу $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ передачі одного нестислого відеознімку, що має бітовий об'єм, що дорівнює V_{beg} біт, в залежності від їх просторової здатності Θ і швидкості передачі даних в ІКМ (рис. 1.3). Необхідна часова затримка одного відеознімку повинна задовільняти такій умові: $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec} \leq 1$ сек; $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec} \leq 0,06$ сек або $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec} \leq 0,06$ сек залежно від вимог по кількості кадрів, які потрібно передати за одиницю часу.

У той же час, з аналізу діаграм на рис. 1.3, видно, що:

– необхідні часові затримки $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec}$ по передачі досягаються тільки для відеознімків з просторовою здатністю, відповідному формату HD;

– часові затримки $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del, nec}$ по передачі відеознімків з просторовою здатністю на рівні 4К і 8К можуть досягати порядку 10 секунд, що перевищує допустимі в десятки разів.

Звідси випливає, що необхідні часові затримки по доставці відеознімків, що відповідають сучасним вимогам щодо якості відеосервісу з використанням безпроводних ІКТ не досягаються.

Даний дисбаланс обумовлений тим, що пропускні спроможності S_{tr} безпроводних інфокомунікаційних систем значно нижче, ніж бітовий об'єм V_{beg} відеознімків.

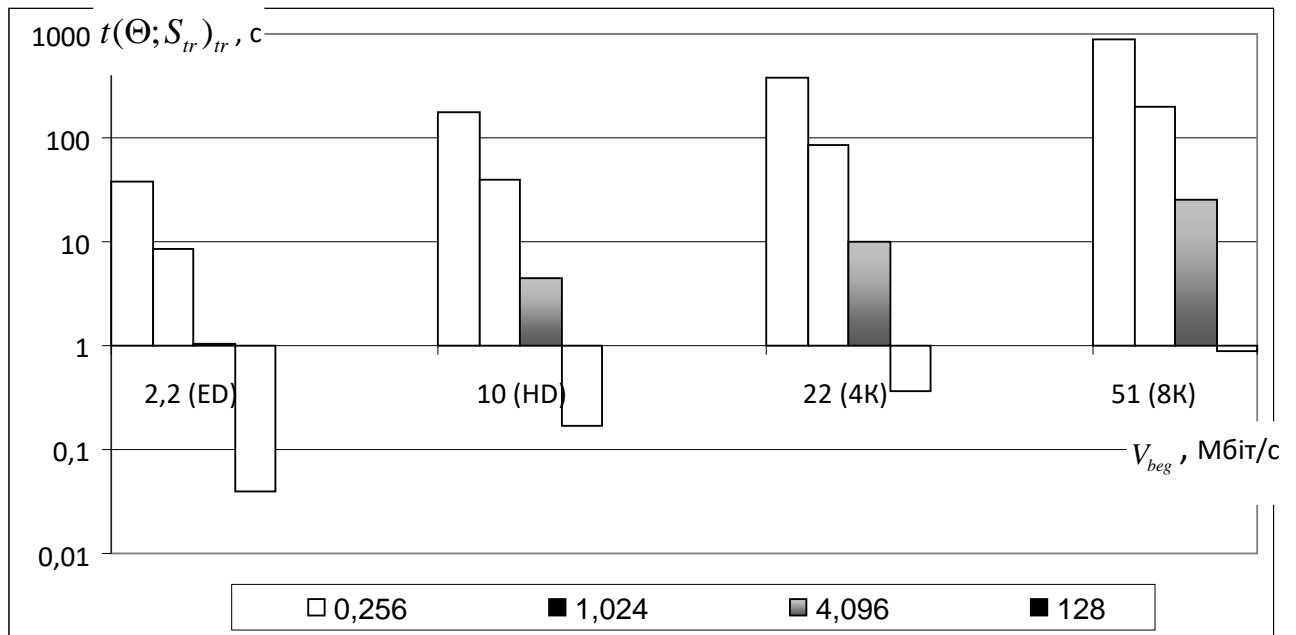


Рис. 1.3. Оцінка величини $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ нестислого відеознімку в логарифмічному масштабі в залежності від Θ и S_{tr}

Значить, існує протиріччя, викликане (рис. 1.4):

1. З одного боку зростанням вимог щодо якості відеоінформаційних сервісів, а саме щодо:

- роздільної здатності і якості візуального сприйняття відеознімків. Це має на увазі під собою: збільшення частоти і розмірів кадрів, збільшення глибини оцифровки пікселів; зниження часової затримки на доставку кадрів, зниження джиттера, зменшення середньої затримки доставки пакетів, зменшення ймовірності втрати пакетів;

- мобільності та рухливості надання відеоінформаційних сервісів. Тут мається на увазі надання можливості отримання відеоінформаційних сервісів з використанням мобільного сегменту інфокомунікаційної мережі.

2. З іншого боку виникають складнощі щодо надання відеоінформаційних сервісів заданої якості з використанням безпроводних технологій. Це обумовлено наступними причинами:

1) відставанням темпів зростання пропускної здатності безпроводних ІКМ щодо темпів зростання бітового об'єму відеотрафіка;

2) недостатньою обчислювальною продуктивністю безпроводних ІКМ по обробці даних.

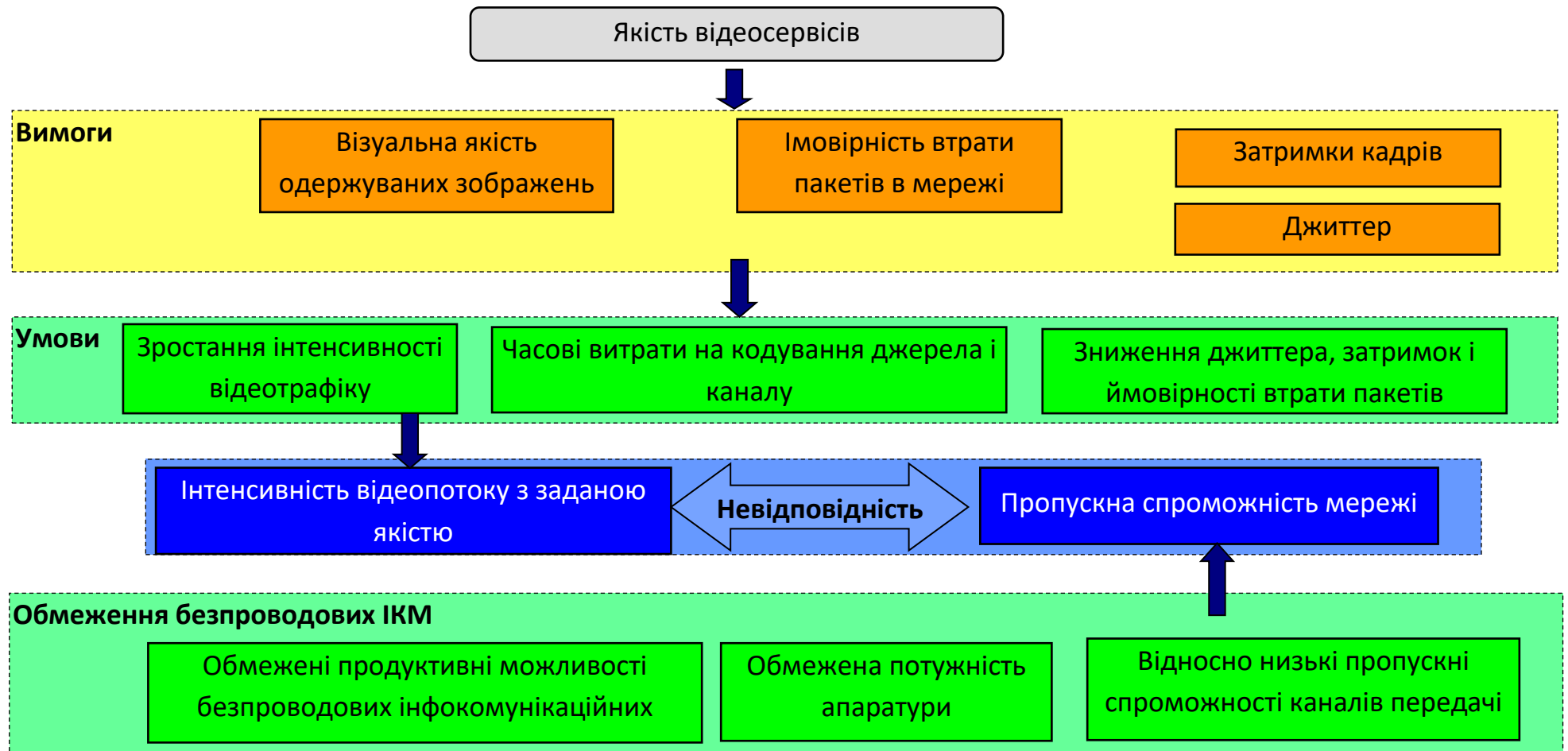


Рис. 1.4. Схема формування невідповідності вимог відеосервісів і характеристик продуктивності безпроводних ІКМ

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що зниження часових затримок доставки відеознімків з використанням безпроводних інфокомунікаційних технологій для підвищення якості відеоінформаційних сервісів є актуальною науково-прикладною задачею. Значить, для подолання сформованого дисбалансу потрібно забезпечити зниження бітового об'єму відеознімків.

1.2. Обґрунтування показників якості функціонування технологій зниження бітового об'єму відеознімків в процесі їх доставки в інфокомунікаційних мережах для надання відеосервісів

Сформульовану задачу в умовах заданих характеристик безпроводних технологій обробки і передачі даних пропонується вирішувати на базі розвитку методів зниження бітового об'єму (ЗБО). Варіант інтеграції методів ЗБО відеознімків в технологічний процес реєстрації, обробки і їх передачі представлений на рис. 1.5 [2; 7–12; 40; 42–46; 50–56; 58; 61; 62; 80–82; 85–88; 93–97; 103–129].

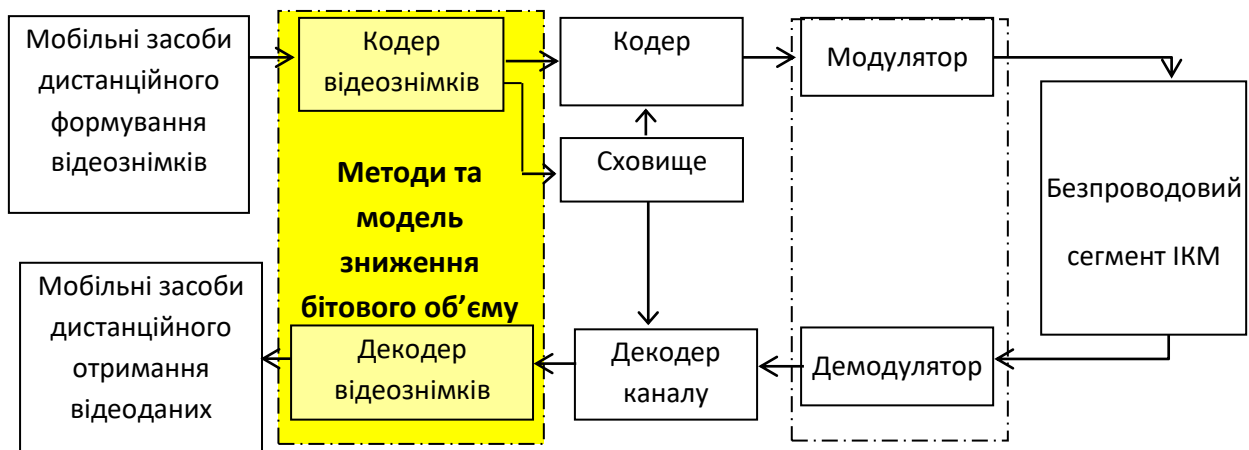


Рис. 1.5. Варіант інтеграції методів ЗБО технологічний процес реєстрації, обробки і їх передачі відеознімків в бездротовому сегменті ІКМ

У разі використання методів ЗБО часові $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ затримки на доставку відеознімків в інфокомунікаційних мережах оцінюються за формулою

$$t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del} = t(\Theta; S_{tr})_{tr} + t(\Theta; S_{pr})_{enc} + t(\Theta; S_{pr})_{rec}. \quad (1.1)$$

Тут основними складовими вираження (1.1) є:

1) $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ – часові затримки на передачу кодованих відеознімків, які залежать від рівня η зниження бітового об'єму, тобто :

$$t(\Theta; S_{tr})_{tr} = V_{beg} / \eta \cdot S_{tr}, \quad (1.2)$$

де S_{tr} характеристика інфокомунікаційних технологій по швидкості передачі даних; V_{beg} – початковий бітовий об'єм відеознімку з просторовим дозволом рівним, $\Theta = Z_{lin} \cdot Z_{col}$ а саме:

$$V_{beg} = v \cdot Z_{lin} \cdot Z_{col},$$

v – кількість розрядів, що витрачається на представлення одного елемента відеознімку;

2) $t(\Theta; S_{pr})_{enc}$, $t(\Theta; S_{pr})_{rec}$ – часових затримок відповідно на кодування і реконструкцію відеознімку, що залежать від відповідної кількості операцій $\mu(\Theta)_{enc}$, $\mu(\Theta)_{rec}$ і характеристик інфокомунікаційних технологій по обчислювальній продуктивності S_{pr} . З урахуванням чого величини $t(\Theta; S_{pr})_{enc}$, $t(\Theta; S_{pr})_{rec}$, оцінюються з використанням таких залежностей:

$$t(\Theta; S_{pr})_{enc} \sim \mu(\Theta)_{enc} / S_{pr}; \quad t(\Theta; S_{pr})_{rec} \sim \mu(\Theta)_{rec} / S_{pr}. \quad (1.3)$$

Основною характеристикою якості функціонування методів зниження бітового об'єму є рівень η , рівний наступного відношенню об'ємів V_{beg} і V_{enc} , тобто [2; 7–12; 40; 42–46; 50–56; 58; 61; 62; 80; 85; 93; 103]:

$$\eta = V_{beg} / V_{enc}, \quad (1.4)$$

тут V_{enc} – бітовий об'єм кодованого відеознімку.

У загальному випадку процес зниження бітового об'єму допускає наявність спотворень непомітних з позиції візуального сприйняття відеозображень. Відповідно для оцінки ступеня таких спотворень використовується рівень σ візуальних оцінок по сприйняттю реконструююємих відеознімків (СРВ). Для оцінки такого рівня

використовуються різні метрики як об'єктивного (кількісного) типу, так і суб'єктивного (експертні оцінки). Для кількісної оцінки рівня σ візуальних оцінок по СРВ використовується показник пікового відношення сигнал / шум (PSNR). Величина PSNR визначається за виразом:

$$PSNR = 20 \lg(255 / \varepsilon), \quad (1.5)$$

де 255 – значення динамічного діапазону елементів ісходного відеознімку.

Величина ε у формулі (1.5) визначається як середньквдратический показник відхилення реконструюємого відеознімку щодо ісходного. Дана метрика оцінюється за такою формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{Z_{lin}} \sum_{j=1}^{Z_{col}} (x_{i,j} - x'_{i,j})^2 \right) / Z_{lin} \cdot Z_{col}},$$

де $x_{i,j}$, $x'_{i,j}$ – відповідно початкове і відновлене значення (i, j) -го елемента; Z_{lin} , Z_{col} – відповідно кількість рядків і стовпців в відеозображенні.

Позитивний ефект від використання методів ЗБО для доставки відеознімків з використанням ІКМ для надання відеосервісів реального часу досягається в разі виконання такої нерівності:

$$t(\Theta; S_{tr})_{tr} + t(\Theta; S_{pr})_{enc} + t(\Theta; S_{pr})_{rec} < \tilde{t}(\Theta; S_{tr})_{tr}, \quad (1.6)$$

з урахуванням виконання обмежень $PSNR_{nec}$ на рівень пікового відношення сигнал / шум, тобто:

$$PSNR \geq PSNR_{nec}. \quad (1.7)$$

Тут $\tilde{t}(\Theta; S_{tr})_{tr}$ – оцінка часових затримок на передачу відеознімків без використання технологій зниження бітового об'єму.

1.3. Обґрунтування напряму вдосконалення технологій зниження бітового об'єму

Зниження бітового об'єму відеознімків досягається за рахунок скорочення різних видів надмірності. Для відеознімків, в загальному випадку, основними видами надмірності є психовізуальна, статистична і структурна. Психовізуальна надмірність обумовлена урахуванням

особливостей сприйняття відеознімків зоровою системою. Статистична надмірність полягає в наявності закономірностей щодо законів розподілу оброблюваних даних, і статистичних взаємозв'язків між ними. Структурна надмірність характерна для відеознімків, що містять однорідні області за колірною складовою, або складової яскравості. Як показує практика, найбільший потенціал щодо скорочення надмірності відеознімків досягається на основі скорочення психовізуальної надмірності. Проблемним аспектом тут є те, що відсутня математично обґрунтована залежність між ступенем внесених корекцій і рівнем візуальних оцінок по ЗРВ на етапі обробки відеознімків. Тоді, у разі порушення такої відповідності, відбуваються спотворення, які в процесі реконструкції відеозображень стають візуально-помітними. У зв'язку з чим, існуючі методи зниження бітового об'єму в залежності від накладення обмежень на рівень σ візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що реконструюються, діляться на два базових класу, а саме:

- 1) методи, що задовольняють жорсткі вимоги щодо забезпечення максимального рівня σ візуальних оцінок по ЗРВ, складають перший клас;

- 2) методи в умовах відсутності жорстких обмежень на рівень σ візуальних оцінок по ЗРВ, утворюють другий клас.

Перший клас методів, базується на усуненні видів надмірності, не пов'язаних з внесенням корекцій за рівнем візуальних оцінок їх сприйняття в процесі реконструкції. Отже, рівень σ , який визначається кількісно через пікове відношення сигнал/шум (PSNR) буде максимальним. Представниками методів першого класу є наступні:

- 1) методи кодування, що базуються на усуненні статистичних видів надмірності, а саме: кодування Хаффмана з фіксованими і динамічними таблицями [2; 7–12; 40; 42–46; 120–129], різні технології арифметичного кодування [50–56; 58; 61; 62; 80–82; 106–110];

- 2) методи зниження бітового об'єму на основі усунення структурних видів надмірності, наприклад шляхом виявлення ланцюжків елементів

(методи LZ-сімейства або LZW-платформи [40; 42–46]) або ланцюжків рівних елементів за своїми значеннями (метод довжин серій [85–88]).

Основний недолік методів з максимальним рівнем візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що реконструюються полягає в тому, що для них характерні обмежені значення ступеня η зниження бітового об'єму. Особливо такий недолік проявляється в разі обробки реалістичних відеозображень з високим і середнім рівнями насиченості структурними деталями (табл. 1.5). Аналіз табл. 1.5 показує, що для методів ЗБО першого класу при обробці насичених реалістичних відеознімків рівень зниження їх бітового об'єму не перевищує 2 разів. Обмеженість значень величини η є основною причиною наявності значних затримок в процесі доставки відеоданих з використанням мобільних безпроводних ІКМ.

Таблиця 1.5

Залежність величини η зниження бітового об'єму відеознімків від рівня його насиченості структурними деталями для методів першого класу

Методи зниження бітового об'єму першого класу	Реалістичні відеознімки	
	З високим рівнем насиченості структурними деталями	Із середнім рівнем насиченості структурними деталями
Арифметичне кодування	1,17	1,5
LZW	1,3	1,7

Дана залежність для відеознімків із середнім рівнем насиченості структурними деталями і з різним просторовим дозволом Θ , тобто:

$$\Theta = Z_{lin} \cdot Z_{col},$$

представлена в табл. 1.6. Тут затримки $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ на доставку відеознімків з просторовим дозволом рівним Θ включають в себе затримки на їх обробку $t(\Theta; S_{pr})_{proc}$ та передачу $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ в мережах, тобто:

$$t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del} = t(\Theta; S_{pr})_{proc} + t(\Theta; S_{tr})_{tr}. \quad (1.8)$$

Тут S_{tr} і S_{pr} характеристики інфокомунікаційних технологій відповідно по швидкості передачі даних і обчислювальної продуктивності.

Аналіз даних в табл. 1.6 показує, що затримки $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ на доставку одного відеознімку, що має середній рівень насиченості структурними деталями, із середньою швидкістю S_{tr} передачі в ІКМ на рівні 10 Мбіт/с, досягають однієї хвилини в залежності від його роздільної здатності Θ .

Таблиця 1.6

Значення $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ для відеознімків із середнім рівнем насиченості структурними деталями в залежності Θ від S_{tr} , сек.

Метод зниження бітового об'єму	Θ , Мпк	Швидкість S_{tr} передачі даних, Мбіт/с		
		2	10	100
LZW	3	21	4,2	0,4
	8	56	11,2	1,1
	24	168	33,6	3,3
Арифметичне кодування	3	27	5,4	0,54
	8	72	14,4	1,5
	24	216	43	4,3

З цієї причини використання методів зниження бітового об'єму з максимальним рівнем візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що реконструюються має обмежене застосування в системах доставки відеоданих з використанням мобільних безпроводних телекомунікаційних технологій для організації надання відеосервісів реального часу, в тому числі систем відеоконференцзв'язку.

Методи другого класу, що допускають гнучкі обмеження на рівень σ візуальних оцінок по СРВ, створюють умови для підвищення рівня зниження бітового об'єму відеознімку (додаткового зниження бітового

об'єму). У загальному випадку для побудови методів ЗБО другого класу використовуються різні технологічні механізми обробки, а саме (рис. 1.6):

- перетворення вихідного RGB колірному простору в кольорорізнисне;
- ортогонального перетворення фрагментів відеознімка, включаючи: перетворення Хаара, перетворення Уолша-Адамара, дискретно-косинусне перетворення;
- трансформування ділянок відеозображень на основі Wavelet-систем;
- контекстного моделювання для послідовностей даних;
- виявлення однорідних структурних ділянок;
- виявлення областей когерентностей;
- корекцій з урахуванням гнучких обмежень на рівень візуальних оцінок по СРВ, використовуваних фактично для усунення психовізуальної надлишковості, включаючи наступне: субполосну фільтрацію, зональну і порогову фільтрацію, квантування;
- методи, що усувають статистичну і структурну надмірність;
- методи бінаризації даних.

Найбільш широко використовуваними методами другого класу є технології на базі JPEG-платформ.

Дані технології включають в себе ряд технологічних механізмів, спрямованих на виконання наступних етапів:

- 1) попередня обробка фрагментів відеознімків;
- 2) обробка проміжного представлення фрагментів відеознімків;
- 3) кодування даних на основі скорочення статистичної надмірності і формування кодових конструкцій.

Безпосереднє усунення психовізуальної надлишковості проводиться на основі корекцій з урахуванням гнучких обмежень на рівень візуальних оцінок по СРВ (субполосна фільтрація, зональна і порогова фільтрація, квантизація). Звідси, в реконструйованих зображеннях будуть проявлятися спотворення.



Рис. 1.6. - Класифікація моделей технологічного формування методів зниження бітового об'єму другого класу

З урахуванням того, що рівень σ кількісно оцінюється показником пікового відношення сигнал / шум (PSNR), то використовуються такі градації його рівня, коли досягаються значення:

- рівне 40 дБ задовільна якість візуальних оцінок СРВ;
- рівне 55 дБ висока якість візуальних оцінок СРВ.

Оцінки рівня η зниження бітового об'єму відеознімків від рівня його насиченості структурними деталями для методів другого класу для PSNR 40 дБ представлені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Залежність величини η зниження бітового об'єму відеознімку від рівня його насиченості структурними деталями для методів другого класу з PSNR 40 дБ

Методи зниження бітового об'єму другого класу	Реалістичні відеознімкі	
	З високим рівнем насиченості структурними деталями	Із середнім рівнем насиченості структурними деталями
ГМ	2,1	4,3
JPEG	3-4	6,7-8
JPEG 2000	4-6	6,8-10

З аналізу даних в табл. 1.7 можна зробити висновок, що методи другого класу в режимі обмеженого рівня візуальних оцінок по СРВ рівному 40 дБ забезпечують додаткове зниження бітового об'єму відеознімків відносно методів першого класу в середньому 2–3,5 рази.

У той же час такий вииграш за рівнем ЗБО досягається за рахунок наявності коректуючої обробки в процесі кодування відеознімку, пов'язане з внесенням спотворень, тобто $\varepsilon > 0$.

Проведемо оцінку складових часової затримки по доставки відеоданих з використанням інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ) на основі ЗБО методами другого класу.

Перша складова. Оцінки часових $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ витрат тільки на передачу даних, не враховуючи затримки на обробку зведені в табл. 1.8. Як показує

аналіз даних в табл. 1.8, часові затримки на передачу одного відеознімки для PSNR 40 дБ з використанням телекомунікаційних технологій, що забезпечують швидкість передачі даних в мобільному сегменті мережі на рівні 10 Мбіт / с, можуть досягати десятків секунд. Це обумовлено тим, що в режимі наявності гнучких обмежень на рівень візуальних оцінок по СРВ рівень ЗБО відеознімків також матиме обмежені значення.

Таблиця 1.8

Значення $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ для відеознімків із середнім рівнем насиченості структурними деталями в залежності від Θ і S_{tr} з використанням методів другого класу для PSNR 40 дБ, сек

Метод стиснення	Θ	Швидкість S_{tr} передачі даних, Мбіт/с		
		2	10	100
JPEG	3	5,1	1	0,1
	8	13,6	2,72	0,3
	24	41	8,2	0,8
JPEG 2000	3	4,2	0,84	0,08
	8	11	2,2	0,22
	24	33,6	6,7	0,7

Друга складова. Оцінки кількості $\mu(\Theta)_{tr}$ операцій на виконання етапу трансформування в процесі обробки відеозображень з використанням методів другого класу показані в табл. 1.9. Тут $\Theta = Z_{lin} \cdot Z_{col}$ просторова роздільна здатність відеознімку Z_{lin} , Z_{col} ; $z_{lin} \cdot z_{col}$ – кількість елементів в фрагменті відеознімку.

Таблиця 1.9

Кількість арифметичних операцій $\mu(\Theta)_{tr}$ для різних двовимірних перетворень (ДП)

Тип ДП	Кількість операцій		Тип операцій
	$\mu(\Theta)_{+,-}$	$\mu(\Theta)_{\times,\div}$	
ДКП на УВС	$2(z_{lin} - 1)(z_{lin})^2$	$2(z_{lin})^3$	речові
БДКП	$z_{lin} \cdot z_{col} \log_2 z_{lin} \cdot z_{col}$	$z_{lin} \cdot z_{col} \log_2 z_{lin} \cdot z_{col}$	речові
ДПХ на УВС	$2(z_{lin} - 1)(z_{lin})^2$	$2(z_{lin})^3$	Частково речові

Тип ДП	Кількість операцій		Тип операцій
	$\mu(\Theta)_{+,-}$	$\mu(\Theta)_{x,\pm}$	
ДДПХ	$((z_{lin})^2 - 1)(z_{lin})^2$	$(z_{lin})^4$	
БДПХ	$2(z_{lin} \cdot z_{col} - 1)$	$z_{lin} \cdot z_{col}$	Частково речові
ВП	$\sum_{s=0}^{S-1} \left(\frac{z_{lin} \cdot z_{col}}{2^s} - 1 \right)$	$\sum_{s=0}^{S-1} \left(\frac{z_{lin} \cdot z_{col}}{2^s} - 1 \right)$	Частково речові

В результаті аналізу даних в табл. 1.9 можна зробити висновок щодо того, що кількість операцій досягає порядку $(z_{lin})^4$. Отже, виконання етапу перетворень (ортогональних перетворень і вейвлет-перетворень) відеознімків вимагає значних часових витрат. Часові витрати на виконання етапу перетворень досягають 90 % від сумарного часу на всю обробку відеознімку. Навіть в разі використання швидких ортогональних перетворень час на їх виконання на сучасних обчислювальних системах досягає від 30 % до 90 % від сумарного часу на обробку і передачу стислих відеознімків по каналах зв'язку.

В результаті чого підвищуються часові витрати на обробку, що особливо значимо позначається для обчислювальних технологій мобільного сегменту телекомунікаційних систем (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

Значення часових $t(\Theta; S_{pr})_{proc}$ затримок на обробку (кодування і відновлення)

відеознімків з використанням методів другого класу для PSNR 40 дБ/сек.

Метод стиснення	Θ			
	2 Мпк	5 Мпк	10 Мпк	24 Мпк
JPEG	4,2	9,6	15	102
JPEG 2000	3	6	11	72

Отже, часові $t(\Theta; S_{pr})_{proc}$ затримки на обробку відеознімків в режимі PSNR 40 дБ з використанням інформаційно-комунікаційних технологій мобільного сегменту можуть досягати декількох хвилин.

Значить, по викладеному матеріалу можна зробити висновок, що існуючі технології зниження бітового об'єму не забезпечують вимог щодо характеристик доставки відеознімків насичених структурними деталями для мобільного сегменту інфокомунікаційних систем щодо надання відеосервісів.

Для зниження часових затримок в процесі доставки відеоданих необхідно провести вдосконалення технологій зниження бітового об'єму.

1.4. Постановка завдань на дослідження

Удосконалення технологій зниження бітового об'єму відеознімків пропонується організовувати в рамках методів другого класу. Для цього проведемо оцінку виникнення наступних недоліків:

- 1) зниження рівня σ візуальних оцінок по СРВ в разі додаткового зниження бітового об'єму відеозображень;
- 2) зростання кількості операцій на обробку в режимі забезпечення необхідного рівня σ візуальних оцінок по СРВ.

Розглянемо перший недолік. Рівень ЗБО для технологій JPEG-платформи досягається на основі врахування структурно-психовізуальних і статистичних властивостей трансформант. При цьому рівень ЗБО не перевищує в середньому 1,5 разів для PSNR вище 40 дБ. Навпаки рівень ЗБО до 20 разів досягається для PSNR що не перевищує 20 дБ. Це відповідає режиму обробки з внесенням значних втрат інформації.

Це обумовлено наступними причинами:

- виникнення ефекту накопичення помилок, які відбуваються на етапі кольорорізнисного перетворення (помилки округлення), в процесі виконання двохетапного ДКП з речовим базисом (виконання речових операцій, помилки округлення кінцевого результату). Це призводить до появи втрат інформації навіть в режимі відсутності етапу квантування компонент трансформант;

- для ортогональних перетворень властиво наступне протиріччя: з одного боку дискретно-косинусне перетворення (ДКП) забезпечує меншу похибку апроксимації для відеознімків з низьким рівнем насиченості структурними деталями в порівнянні з перетвореннями Хаара і Уолша. З іншого боку для відеознімків з високим рівнем насиченості структурними деталями перетворення Хаара і Уолша для відновлених відеозображень забезпечують менші візуальні спотворення, ніж ДКП. Оскільки в процесі надання відеосервісів використовуються відеознімки різних типів, а саме знімки природних об'єктів, знімки штучних об'єктів, то вибір одного із типів ортогональних перетворень не призведе до найменшої помилки апроксимації. Навпаки, для подання відеознімків шляхом виявлення областей когерентності, реакція на зміну їх структурного змісту проявляється в зміні довжини області когерентності, яка описує послідовність суміжних елементів, що мають незначні зміни яскравості один щодо одного;

– зростання динамічного діапазону перетворених даних щодо ісходного фрагмента в разі виконання цілочисельних ортогональних перетворень і відсутності етапу нормування на передавальній стороні;

– трансформування для високоінформативних зображень насичених дрібними деталями і перепадами призводить до зростання динамічних діапазонів і семантичного навантаження високочастотних складових. Тому в режимі збереження високої якості, тобто коли відсутній етап квантування, відбувається вирівнювання розподілу компонент трансформанти і скорочення (відсутність) компонент з нульовими значеннями. Це є причиною зниження ефективності подальшого кодування і як наслідку відсутності зниження бітового об'єму. У той же час з урахуванням додаткових витрат розрядів на представлення інформації про знаках перетворених елементів виникають випадки перевищення початкового об'єму відеознімків.

Розглянемо другу причину. Витрати кількості операцій для методів класу JPEG пов'язані пропорційною залежністю з рівнем візуальних оцінок в декодованих відеозображеннях. Це пояснюється особливостями технології

обробки на етапі квантування компонент. Чим більше відкидається високочастотних компонент, тим більше рівень спотворень і рівень зниження бітового об'єму. Однак при цьому меншу кількість компонент надходить на подальшу обробку, тобто скорочується кількість операцій кодування.

Для вдосконалення технологій зниження бітового об'єму з гнучкими **контрольованими** обмеженнями на рівень візуальних оцінок по СРВ **пропонується** використовувати альтернативний напрямок попередньої обробки, що складається в описі структурно-статистичних залежностей на основі виявлення областей когерентності [7–12; 42; 62; 68; 69; 71; 72; 76; 77; 94; 98; 99; 100].

Перевагою такого підходу є наступне:

1) щодо зниження часових затримок на обробку полягають у тому, що:

- на виявлення областей когерентності витрачається відносно невелика кількість операцій порівняння, а операції множення і додавання не використовуються;

- скорочується часова затримка на подальше компресійне кодування в результаті зниження кількості оброблюваних даних (переходу від опису послідовностей елементів до їх довжинах);

2) щодо додаткового зниження бітового об'єму і зниження часових затримок на передачу даних по каналу зв'язку в умовах забезпечення заданого рівня візуальних оцінок по СРВ полягають в тому, що:

- виявляються структурно-статистичні закономірності, обумовлені наявністю ділянок відеознімків, що містять елементи, значення яких або однакові, або відрізняються незначно. Це створює потенційні можливості для усунення структурної та статистичної надмірності відеознімків;

- представлення відеознімків з використанням областей когерентності є більш гнучким до зміни структурних властивостей фрагментів відеознімку в порівнянні з ортогональними перетвореннями. Для представлення відеознімків шляхом виявлення областей когерентності реакція на зміну їх структурного змісту проявляється в зміні довжини області когерентності, яка

описує послідовність суміжних елементів, що мають незначні зміни яскравості один щодо одного. Це дозволяє зберегти інформацію о структурних деталях, і забезпечити більш високу якість візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що мають високий рівень насиченості дрібними деталями і перепадами. Отже, уявлення відеознімків на основі виявлення ОКГ є більш гнучким до зміни структурних властивостей ділянок відеознімків у порівнянні з ортогональними перетвореннями;

– спотворення в результаті такої апроксимації носять контрольований характер. Це створює потенційні можливості для організації додаткового структурного кодування, що підвищить рівень ЗБО.

Таким чином, на основі проведеної оцінки недоліків існуючих методів зниження бітового об'єму слід, що для зниження часових затримок на доставку відеознімків з використанням мобільного сегменту інфокомунікаційних систем необхідно:

1) проводити ЗБО відеознімків з контрольованим рівнем візуальних оцінок по СРВ на основі виявлення і апроксимаційного опису елементів для областей когерентності;

2) зниження бітового об'єму щодо кодового опису характеристик областей когерентності має проводитися не тільки на основі скорочення статистичної надмірності, але і на основі зменшення структурної надлишковості.

Отже, **мета дисертаційних досліджень** полягає в створенні методів зниження бітового об'єму відеознімків з контрольованим рівнем візуальних оцінок по їх сприйняттю, для підвищення якості відеосервісу з використанням інформаційно-комунікаційних мереж на основі виявлення областей когерентності.

Для досягнення сформульованої мети досліджень необхідно вирішити такі завдання, а саме:

1. Обґрунтувати підхід для зниження бітового об'єму відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах на основі виявлення і опису областей когерентності відеоданих в умовах заданого рівня візуальних оцінок.

2. Побудувати модель оцінки інформативності ділянок відеоданих на основі виявлення та формування сукупності значущих областей когерентності.

3. Розробити метод кодування значущої структурної складової області когерентності для досягнення усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок.

4. Розробити метод інтеграційного компонування ключових складових відеоданих на основі кодових конструкцій без внесення додаткових помилок в процесі їх доставки в інформаційно-комунікаційних мережах.

5. Побудувати метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок.

6. Вдосконалити існуючу технологію обробки цифрових відеозображень та провести порівняльну оцінку ефективності функціонування технологій зниження бітового об'єму відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах.

Висновки

На основі досліджень, проведених в першому розділі можна зробити такі висновки:

1. Визначається, що найбільший попит формується відносно надання відеоінформаційних сервісів, як для мобільних користувачів, так і для стаціонарних користувачів з використанням безпроводних технологій доступу та обміну відеоінформацією. Існує тенденція більш високого зросту об'єму відеопотоку (в середньому на 20 %), переданого з використанням безпроводних технологій відносно проводових.

При цьому потрібно враховувати, що найбільш питомий об'єм трафіку припадає на відеоданні. Так, за статистичними даними аналізу стану ринку телекомунікацій, проведеного однією з провідних профілюючих компаній (Cisco), впливає, що на 2021 рік понад 75 % від сумарного об'єму трафіку буде відводитися під передачу відеоінформації. З урахуванням чого, обґрунтовується те, що для надання відеосервісів реального часу з необхідною якістю інфокомунікаційні технології повинні забезпечувати:

1) середню швидкість передачі даних не нижче наступних рівнів:

– 100 Мбіт / с - 1 Гбіт / с для передачі відеопотоку формату підвищеної якості HD;

– 1 Гбіт/с–10 Гбіт / с для передачі відеопотоку формату високої якості 4К і 8К.

2) Часова затримка передачі одного відеознімку між користувачами (споживачами) не повинна перевищувати декількох сотень або навіть десятків мілісекунд.

2. Показано, що зберігається дисбаланс між можливостями сучасних ІКМ щодо швидкостей передачі даних і зростанням потреб щодо надання високоякісних відеосервісів реального часу з використанням мобільного сегменту мережі. Наслідком цього є те, що:

– необхідні часові затримки по передачі досягаються тільки для відеознімків з просторовим дозволом, відповідному формату HD;

– часові затримки по передачі відеознімків з просторовим дозволом на рівні 4К і 8К можуть досягати порядку 10 секунд, що перевищує допустимі в десятки разів.

Звідси впливає, що необхідні часові затримки по доставці відеознімків, що відповідають сучасним вимогам щодо якості відеосервісу з використанням безпроводних ІКТ не досягаються.

3. Існує протиріччя, викликане:

3.1. З одного боку зростанням вимог щодо якості відеоінформаційних сервісів, а саме щодо:

– роздільної здатності і якості візуального сприйняття відеознімків. Це має на увазі під собою: збільшення частоти і розмірів кадрів, збільшення глибини оцифровки пікселів; зниження часової затримки на доставку кадрів, зниження джиттера, зменшення середньої затримки доставки пакетів, зменшення ймовірності втрати пакетів;

– мобільності та рухливості надання відеоінформаційних сервісів. Тут мається на увазі надання можливості отримання відеоінформаційних сервісів з використанням мобільного сегменту інфокомунікаційної мережі.

3.2. З іншого боку виникають складнощі щодо надання відеоінформаційних сервісів заданої якості з використанням безпроводних технологій. Це обумовлено наступними причинами:

1) відставанням темпів зростання пропускної здатності безпроводних ІКМ щодо темпів зростання бітового об'єму відеотрафіку;

2) недостатньою обчислювальною продуктивністю безпроводних ІКМ для обробки даних.

Тому зниження часових затримок доставки відеознімків з використанням безпроводних інфокомунікаційних технологій для підвищення якості відеоінформаційних сервісів є актуальною науково-прикладною задачею.

4. Існуючі технології зниження бітового об'єму не забезпечують вимог щодо характеристик доставки відеознімків, які насичені структурними деталями для мобільного сегменту інфокомунікаційних систем щодо надання відеосервісів.

4.1. Методи зниження бітового об'єму з максимальним рівнем візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків, що реконструюються, має обмежене застосування в системах доставки відеоданих з використанням мобільних безпроводних телекомунікаційних технологій для організації надання відеосервісів реального часу, в тому числі систем відеоконференцзв'язку. Для них характерні обмежені значення ступеня зниження бітового об'єму, а затримки на доставку одного відеознімку, що

має середній рівень насиченості структурними деталями, із середньою швидкістю передачі в ІКМ на рівні 10 Мбіт/с, досягають однієї хвилини в залежності від його роздільної здатності.

4.2. Методи другого класу в режимі обмеженого рівня візуальних оцінок по СРВ рівному 40 дБ забезпечують додаткове зниження бітового об'єму відеознімків щодо методів першого класу в середньому 2 - 3,5 рази. У той же час такий вииграш за рівнем ЗБО досягається за рахунок:

- наявності коректуючої обробки в процесі кодування відеознімку, пов'язане з внесенням спотворень, тобто $\varepsilon > 0$;

- того, що навіть в разі використання швидких ортогональних перетворень час на їх виконання на сучасних обчислювальних системах досягає від 30 % до 90 % від сумарного часу на обробку і передачу стислих відеознімків по каналах зв'язку.

Тому часові затримки на передачу одного відеознімку для PSNR 40 дБ з використанням телекомунікаційних технологій, що забезпечують швидкість передачі даних в мобільному сегменті мережі на рівні і 10 Мбіт/с, можуть досягати десятків секунд.

5. На основі проведеної оцінки недоліків існуючих методів зниження бітового об'єму обґрунтовано, що для зниження часових затримок на доставку відеознімків з використанням мобільного сегменту інфокомунікаційних систем необхідно:

- 1) проводити ЗБО відеознімків з контрольованим рівнем візуальних оцінок по СРВ на основі виявлення і апроксимаційного опису елементів для областей когерентності;

- 2) зниження бітового об'єму відносно кодового опису характеристик областей когерентності має проводитися не тільки на основі скорочення статистичної надмірності, але і на основі зменшення структурної надлишковості.

Отже, **мета дисертаційних досліджень** полягає в створенні методів зниження бітового об'єму відеознімків з контрольованим рівнем візуальних

оцінок по їх сприйняттю, для підвищення якості відеосервісу з використанням інформаційно-комунікаційних мереж на основі виявлення областей когерентності.

Результати представлені в цьому розділі опубліковані в наступних наукових працях [8–10; 68; 69; 72; 73].

РОЗДІЛ 2

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ФРАГМЕНТІВ ВІДЕОЗНІМКІВ НА ОСНОВІ ВИЯВЛЕННЯ ОБЛАСТЕЙ КОГЕРЕНТНОСТІ

Обґрунтовано, що представлення зображення у вигляді сукупності областей когерентності створює умови для усунення різних видів надмірності в умовах заданого рівня візуальних оцінок. Проводиться доказ необхідності обробки компонент регресійного опису на базі інтегрованого структурно підходу з урахуванням збереження інформації про значущі елементи області когерентності. Викладається дослідження інформаційної моделі кодового представлення довжин значущих областей когерентності у вигляді елементів усічених структурних позиційних чисел, який утворює нерівномірну лінійно-масштабовану складову відеознімку. Створюється інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. Будується модель оцінки інформативності ділянок відеознімку на основі виявлення і формування сукупності значущих областей когерентності. Отримані значення експериментальних оцінок з використанням побудованої моделі дозволяють зробити висновок про те, що розроблений підхід забезпечує досить високі можливості щодо зниження бітового об'єму відеознімку з необхідним рівнем візуальних оцінок.

2.1. Обґрунтування підходу для формування представлення відеознімку з виявленням областей когерентності

Класифікація відеозніmkів за ступенем їх насиченості структурними деталями та об'єктами базується на оцінці процентного вмісту фрагментів відповідних класів. У разі високої концентрації блоків, що містять структурні елементи і об'єкти, відеознімки будуть розглядатися як високонасичені.

І навпаки, з ростом процентного вмісту фонових блоків або блоків незначного інтересу відповідні зображення класифікуються як слабонасичені. Найбільший клас складають відеознімки, що характеризуються середньою насиченістю значущими структурними деталями. Для таких відеознімків показово те, що структурна деталізація є нерівномірною. Тоді рівномірна сегментація не дозволяє локалізувати в собі фрагмент знімка з однорідними структурними властивостями. Тому методи компактного подання відеознімків, які використовують у своїх платформах рівномірну сегментацію, забезпечуватимуть меншу ефективність процесу обробки середньонасичених зображень. В такому випадку виявлення і усунення надмірності не приведе до вирішення дисбалансу між рівнем зниження бітового об'єму і рівнем внесених спотворень [9; 70].

В цьому випадку для обробки відеознімків пропонується враховувати локальні нерівномірні структурні властивості. Тут **пропонується** здійснювати виявлення (детектування) областей когерентності. Такий підхід створює умови для оцінки наявності структурних закономірностей для різних класів реалістичних відеознімків. Базовим показником областей когерентності є нормований коефіцієнт $\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})$ кореляції. Тоді для області когерентності буде характерно те, що величина $\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})$ буде перебувати в обмеженому діапазоні $[\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})_{\min}; \bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})_{\max}]$, т.е. [70; 100; 122]:

$$\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})_{\min} \leq \bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t}) \leq \bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})_{\max}.$$

Тут величина $\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})$ визначається за формулою:

$$\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t}) = \left(\sum_{\xi=1}^M \sum_{\gamma=1}^N (x_{\xi,\gamma} - x_{\xi,\gamma+t})(x_{\xi,\gamma} - x_{\xi,\gamma+t}) \right) / R_{kov}, \quad (2.1)$$

де $x_{\xi,\gamma}$, $x_{\xi,\gamma+t}$ - відповідно початковий, t -й елементи фрагмента відеознімку;
 R_{kov} - довжина фрагмента відеознімку, для якого спостерігається лінійна статистична залежність між елементами.

Значення нормованого коефіцієнта кореляції залежить від довжини локального фрагмента R_{kov} і ступеня насиченості зображення. Для слабонасичених зображень умова, коли $\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t}) \geq 0,9$ виконується для більш довгих ділянок, $R_{kov} \geq 64$. Навпаки, для зображень з високою насиченістю вже для $R_{kov} \approx 16$ величина $\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t})$ не перевищуватиме рівень 0,7, $\bar{\eta}(x_{\xi,\gamma}; x_{\xi,\gamma+t}) < 0,7$

У той же час нормований коефіцієнт кореляції не дозволяє ефективно враховувати наявність психовізуальної надмірності в зображеннях. У зв'язку з чим, для опису областей когерентності пропонується використовувати **показник δ амплітуди незначущих перепадів**.

Величина δ встановлює послідовність (ділянку) відеознімку, для якого з позицій візуального сприйняття допускається апроксимування значень пікселів в сторону підвищення нормованого коефіцієнта кореляції. У загальному випадку такий варіант описується наступним чином. Якщо для ξ -ї послідовності $X^{(\xi)}$ елементів $x_{\xi,\gamma}$ відеознімки в загальному випадку, мають нерівні значення, тобто:

$$x_{\xi,\gamma} \neq x_{\xi,\gamma+1} \neq \dots x_{\xi,\gamma+r} \neq \dots \neq x_{\xi,\gamma+R_{\xi}-1},$$

виконується умова

$$x_{\xi,\gamma+r} \in \left[\alpha_{\xi} - \frac{\delta}{2}; \alpha_{\xi} + \frac{\delta}{2} \right], \quad r = \overline{0, R_{\xi} - 1}, \quad (2.2)$$

то послідовність $X^{(\xi)}$ буде областю когерентності з параметрами δ , α_{ξ} і R_{ξ} . Тут R_{ξ} – довжина послідовності $X^{(\xi)}$, для елементів якої виконується умова (2.2); α_{ξ} – **опорний параметр лінійної регресії**, в окремому випадку може бути рівним початковому значення $x_{\xi,\gamma}$ послідовності $X^{(\xi)}$, $\alpha_{\xi} = x_{\xi,\gamma}$. Фізичний сенс **опорного параметра лінійної регресії** полягає в тому, що регресування (апроксимація) опису елементів послідовності $X^{(\xi)}$ величиною α_{ξ} не призведе до втрати якості візуального сприйняття зображення.

Відповідно послідовність $X^{(\xi)}$ можна розглядати як область когерентності з обмеженням δ на амплітуду зміни значень її елементів (рис. 2.1).

Під областю когерентності розуміється ділянка (послідовність) відеознімку, значення елементів якої перебувають в межах обмеженого показника δ амплітуди їх змін так, що регресійний опис величин $x_{\xi, \gamma+r}$, $r=0, R_{\xi}-1$ параметром α_{ξ} не викликає візуальної помітності наявності спотворень.

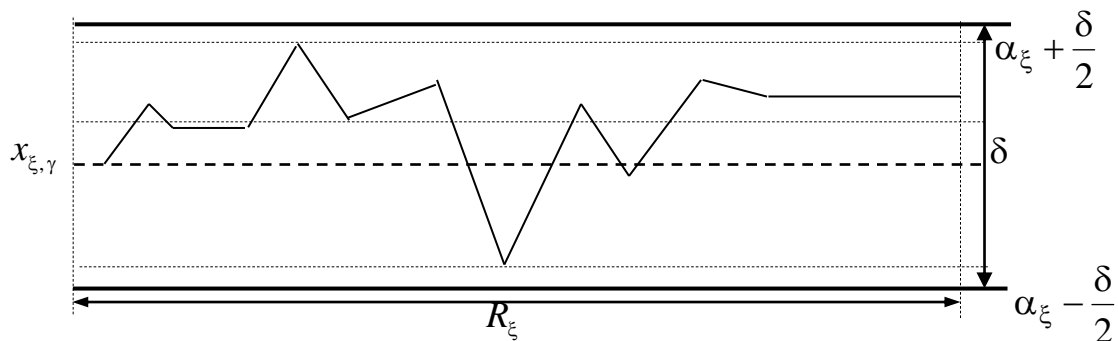


Рис. 2.1. – Приклад структури області когерентності

Отже, область когерентності містить незначні яскравісні перепади в сенсі заданої області інтересів. Область когерентності (ОКГ) виявляється для відеознімку, що має двовимірну просторову роздільну здатність. Тому ОКГ позиціонується в зображенні з використанням двокомпонентної системи координат (рис 2.2).

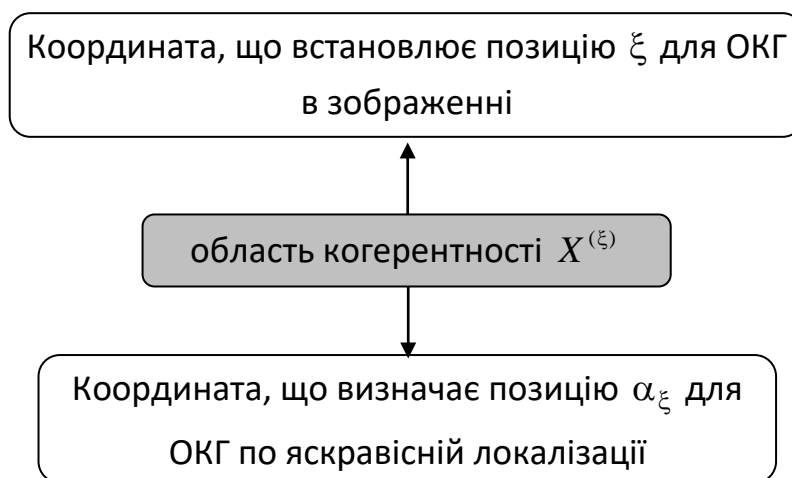


Рис. 2.2. Система координат для області когерентності в зображенні

Перша компонента запропонованої системи координат встановлює позицію ξ для ОКГ в зображенні. Тут необхідно враховувати, що в загальному випадку розмір (довжина R_ξ) області когерентності буде нерівномірною. Для врахування такої особливості використовується координата ξ початку (першого елемента) ОКГ і її довжина R_ξ . Після чого відносно значення $x_{\xi,\gamma}$ початкового елемента ОКГ встановлюється допуск δ на зміни значень її елементів. Це задає другу компоненту системи координат – позицію по яскравісній локалізації ОКГ. Важливо враховувати, що в загальному випадку регресійний опис елементів ОКГ задається з використанням функціоналу ϕ_{regr} і набору його параметрів Θ , а саме:

$$X^{(\xi)} = \{x_{\xi,\gamma}; \dots; x_{\xi,\gamma+r}; \dots; x_{\xi,\gamma+R_\xi-1}\} \xrightarrow{\delta; R_\xi} \phi_{regr}(\Theta),$$

$$x_{\xi,\gamma+r} \in [\alpha_\xi - \frac{\delta}{2}; \alpha_\xi + \frac{\delta}{2}], \quad r = \overline{0, R_\xi - 1},$$

Зрозуміло, що перший елемент $x_{\xi,\gamma+R_\xi}$, для якого не буде виконуватися умова (2.2), т.е.

$$x_{\xi,\gamma+R_\xi} > \alpha_\xi + \frac{\delta}{2} \text{ або } x_{\xi,\gamma+R_\xi} < \alpha_\xi - \frac{\delta}{2},$$

буде першим елементом суміжної $(\xi + 1)$ -ї ОКГ, $x_{\xi,\gamma+R_\xi} = x_{\xi+1,\gamma}$.

За рахунок виявлення ОКГ забезпечується локалізація властивостей відеозображень в просторовій області. До таких властивостей відносяться статистичні, структурні залежності, і психовізуальні особливості візуального сприйняття зображень. Врахування локалізованих властивостей допускає можливість скорочення надмірності відеознімку, що забезпечує їх компресійне представлення, тобто зниження початкового бітового об'єму. Тому представлення відеознімку у вигляді безлічі Λ виявлених ОКГ дозволяє:

- оцінити структурно-статистичні закономірності;
- класифікувати зображення за ступенем насиченості структурними деталями;

- оцінити кількість різних видів надмірності (статистичної, структурної та психовізуальної);

- створити умови для усунення надмірності в умовах заданого рівня візуального сприйняття.

За викладеним матеріалом можна зробити висновок, що:

- 1) для класифікації відеознімку і виявлення локальних закономірностей в умовах середнього рівня насиченості зображень структурними деталями більш ефективно використовувати формат виявлення областей когерентності;

- 2) представлення зображення у вигляді сукупності ОКГ створює умови для усунення різних видів надмірності в умовах заданого рівня візуальних оцінок.

2.2. Обґрунтування підходу для виявлення і опису областей когерентності відеознімку

Установлення позицій в процесі виявлення ОКГ саме по собі не забезпечує усунення надмірності. Такий процес організовується в результаті формування регресійного опису ОКГ.

Залежно від обраного підходу для побудови (синтезу) функціоналу Φ_{regr} регресійного опису ОКГ і набору Θ його параметрів досягається усунення відповідних видів надмірності (ступінь зниження бітового об'єму), забезпечується виконання умов за рівнем візуальної якості і складності алгоритмічної реалізації (рівень достовірності інформації і обмеження на час обробки) [8; 10; 70; 100; 122].

Тому розглянемо різні підходи для побудови функціоналу Φ_{regr} регресійного опису (ФРО) області когерентності і вибору набору його параметрів.

Перший клас методів формування ФРО враховує наявність жорсткого обмеження на відсутність помилок в процесі опису ОКГ.

Представником методів такого класу є підхід, заснований на умові, що показник δ амплітуд зміни значень $x_{\xi, \gamma+r}$ послідовності $X^{(\xi)}$ буде дорівнювати нульовому значенню, тобто $\delta = 0$. Тоді послідовність $X^{(\xi)}$ утворюється елементами, для яких виконується наступне співвідношення:

$$x_{\xi, \gamma} = \dots = x_{\xi, \gamma+r} = \dots = x_{\xi, \gamma+R_{\xi}-1}. \quad (2.3)$$

Область когерентності в такому випадку є послідовністю довжин серій постійної яскравості.

Функціонал $\varphi_{regr}^{(1)}$ регресійного опису ОКГ будується шляхом формування двокомпонентного кортежу $\{x_{\xi, \gamma}; R_{\xi}\}$, де перша компонента $x_{\xi, \gamma}$ – позиціонує область когерентності в яскравісному просторі відеознімку, а друга компонента R_{ξ} - позиціонує її в координатному просторі відеознімку. Тоді отримаємо:

$$\varphi_{regr}^{(1)}(X^{(\xi)}) \xrightarrow{\delta=0} \{x_{\xi, \gamma}; R_{\xi}\}.$$

Такий підхід дозволяє:

- скоротити надмірність відеознімки без внесення помилок в процесі опису ОКГ, тобто зберігається вихідний рівень візуальних оцінок;
- скоротити кількість обчислювальних операцій на обробку, тобто спростити алгоритмічну реалізацію.

Тут скорочується структурна і імовірнісна і лінійна статистична надмірність зображень.

Ступінь η_1 зниження бітового об'єму визначається за допомогою виразу:

$$\eta_1 = v Z_{lin} Z_{col} / V^{(1)} = v Z_{lin} Z_{col} / (V_x^{(1)} + V_R^{(1)}), \quad (2.4)$$

де $V_x^{(1)}$, $V_R^{(1)}$ – бітові об'єми на кодовий опис відповідно координат начального елемента ОКГ і їх довжин.

$$V_x^{(1)} = v v_{ok}^{(1)}; \quad V_R^{(1)} = \sum_{\xi=1}^{v_{ok}^{(1)}} \log_2 R_{\xi}. \quad (2.5)$$

Тут $v_{ok}^{(1)}$ – кількість областей когерентності, що формуються за умови рівності всіх, що містяться в ній, елементів; v – кількість розрядів що витрачається на представлення одного елемента відеознімку.

У той же час ключовим недоліком розглянутого підходу є низький рівень зниження бітового об'єму. Наприклад, в разі обробки реалістичних відеознімків (аерофотознімків) з високим рівнем насиченості структурними деталями довжина послідовності з параметром $\delta=0$ буде прямувати до одиниці, тобто $R_{\xi}=1$. Звідси з урахуванням формул (2.4) і (2.5), отримаємо, що $V_x^{(1)} \approx v Z_{lin} Z_{col}$, і відповідно $\eta_1=1$.

Другий клас методів базується на умові, що показник амплітуди елементів ОКГ буде більше одиниці, $\delta \geq 1$, тобто існує допуск на зміну значень елементів всередині області когерентності. Тут знайдеться така ділянка або вся ОКГ, для якої між елементами буде виконуватися така умова:

$$x_{\xi, \gamma+r_1} \neq \dots \neq x_{\xi, \gamma+r_2} \neq \dots \neq x_{\xi, \gamma+r_3}, \quad (2.6)$$

де r_t – ділянки ОКГ, для елементів яких виконується нерівність.

Представником методів даного класу є підхід щодо формування функціоналу $\phi_{regr}^{(2)}$ на основі побудови статистичних регресійних функцій. Тут синтез функціоналу $\phi_{regr}^{(2)}$ і підбір параметрів Θ_{ξ} організовується з використанням методів статистичної обробки [70; 100]. Наприклад, може використовуватися метод найменших квадратів. У загальному випадку прямий регресійний опис задається наступним співвідношенням:

$$X^{(\xi)} \xrightarrow{\delta \geq 1} \phi_{regr}^{(2)} \{ \Theta_{\xi} \}.$$

Відповідно зворотній регресійний опис, тобто отримання реконструйованої послідовності $X'^{(\xi)}$ з використанням функціоналу $\phi_{regr}^{(2)} \{ \Theta_{\xi} \}$, здійснюється за допомогою виразу:

$$\phi_{regr}^{(2)} \{ \Theta_{\xi} \} \xrightarrow{\delta \geq 1} X'^{(\xi)}.$$

Оскільки даний підхід передбачає виконання умови $\delta \geq 1$, то в процесі побудови регресійного опису додатково досягається усунення психовізуальної надмірності. Однак платою за таку перевагу є наявність спотворень. Тут в загальному випадку між елементами послідовностей $X^{(\xi)}$ і $X'^{(\xi)}$ не виконуватиметься умова рівності, а саме:

$$x'_{\xi, \gamma+r} \neq x_{\xi, \gamma+r}; x'_{\xi, \gamma+r} \in X'^{(\xi)}, \quad r = \overline{0, R_{\xi} - 1}, \quad (2.7)$$

де $X^{(\xi)}$, $X'^{(\xi)}$ – послідовності елементів відповідно для вихідної і реконструйованої ОКГ; $x_{\xi, \gamma+r}$, $x'_{\xi, \gamma+r}$ – $(\gamma + r)$ -і елементи, що належать відповідно послідовностям $X^{(\xi)}$ і $X'^{(\xi)}$.

Для другого підходу досягається додаткове зниження бітового об'єму в результаті переважно скорочення психовізуальної і статистичної надмірності.

Тут зниження надмірності забезпечується в результаті формування параметрів Θ_{ξ} функціонала ФРО $\varphi_{regr}^{(2)}\{\Theta_{\xi}\}$, на кодовий опис яких передбачається затратити меншу кількість $V(\Theta_{\xi})$ біт, ніж $V(X^{(\xi)})$ на відповідне представлення вихідних елементів відеознімку, $V(\Theta_{\xi}) < V(X^{(\xi)})$.

При цьому щодо першого підходу збільшується складність алгоритмічної реалізації. Кількість обчислювальних операцій для методів другого класу залежить від вимог по візуальній оцінці, і відповідно визначається рівнем допуску на середньоквадратичне відхилення реконструйованої ОКГ від вихідної.

Тоді найбільшу кількість обчислювальних операцій в процесі формування ФРО досягається коли: з одного боку обробляються реалістичні зображення насичені структурними деталями, а довжина ОКГ вибирається заздалегідь фіксованою, з іншого боку висуваються вимоги щодо високого рівня візуальних оцінок. В даному випадку функціонал регресійного опису формується на основі використання сплайнів високих порядків. Такий варіант супроводжується зростанням часових затримок на обробку і підвищенням вимог щодо продуктивності інформаційних комплексів по

обробці відеознімків. Такі недоліки обмежують практичне використання даного підходу. Особливо таке обмеження проявляється в разі обробки відеопотоків великої роздільної здатності з використанням інформаційних засобів на мобільних комунікаційних платформах.

Зниження часових витрат на обробку областей когерентності досягається в разі використання для формування ФРО сплайнів нульового порядку (СНП). Тут формується найпростіший функціонал $\varphi_{regr}^{(2)}\{\Theta_\xi\}$, як середнє значення \bar{x}_ξ по всіх елементах ОКГ, тобто:

$$\varphi_{regr}^{(2)}\{\Theta_\xi\} = \bar{x}_\xi,$$

$$\text{де } \bar{x}_\xi = \left(\sum_{r=0}^{R_\xi-1} x_{\xi, \gamma+r} \right) / R_\xi.$$

Даний підхід з одного боку дозволяє знизити складність алгоритмічної реалізації, а з іншого боку призводить до втрати достовірності інформації. Причому рівень таких втрат (рівень внесених спотворень) буде залежати від показника δ амплітуди зміни значень ОКГ, а ступінь η_2 зниження бітового об'єму визначатися за формулою:

$$\eta_2 = v Z_{lin} Z_{col} / V^{(2)} = v Z_{lin} Z_{col} / (V_x^{(2)} + V_R^{(2)}). \quad (2.8)$$

Тут $V_x^{(2)}$, $V_R^{(2)}$ – кількість біт на представлення відповідно координат початкового елемента і довжин ОКГ, тобто:

$$V_x^{(2)} = v v_{ok}^{(2)}; \quad V_R^{(2)} = \sum_{\xi=1}^{v_{ok}^{(2)}} \log_2 R_\xi, \quad (2.9)$$

де $v_{ok}^{(2)}$ – кількість областей когерентності, що формуються за умови (2.2), для $\delta \geq 1$.

Виграш для другого підходу щодо першого підходу ($\delta = 0$) за ступенем зниження бітового об'єму, тобто $\eta_2 > \eta_1$, досягається за рахунок того, що скорочується кількість областей когерентності, $v_{ok}^{(2)} < v_{ok}^{(1)}$. У свою чергу кількість областей когерентності знижується за рахунок зняття жорсткого обмеження (2.3) на рівність елементів ОКГ.

Основний недолік методів формування регресійного опису другого класу обумовлений тим, що показник δ амплітуди зміни значень елементів ОКГ встановлюється заздалегідь. Тоді в умовах обробки реалістичних зображень зі змінною насиченістю структурними деталями в своїх фрагментах відбувається неадекватний вибір величини δ реальному динамічному діапазону δ_{real} оброблюваного фрагмента. У свою чергу це стає причиною таких недоліків:

1) якщо реальний динамічний діапазон δ_{real} буде значно меншим, ніж встановлене заздалегідь значення величини δ , $\delta_{real} \ll \delta$, то формується надмірна кількість біт на представлення параметра сплайна нульового порядку, і знижується рівень візуальної оцінки;

2) якщо величина δ_{real} буде значно вище, ніж обраний показник δ , $\delta \ll \delta_{real}$, то формується надмірна кількість коротких областей когерентності. Тут підвищується значення $v_{ok}^{(2)}$ і знижується величина η_2 .

Для усунення недоліків методів формування регресійного опису двох класів *пропонується* наступне:

1. Розглядати послідовності $X^{(\xi)}$, що лежать в основі формування областей когерентності, за узагальненим принципом - *неоднорідності структурного змісту щодо нерівності елементів*. У цьому випадку передбачається, що ОКГ можуть містити ділянки для яких виконуються як умова (2.3), так і умова (2.6), тобто послідовності $X^{(\xi)}$ можуть містити одночасно ділянки елементів, що мають як рівні, так і нерівні значення. Це описується наступним співвідношенням:

$$X^{(\xi)} = \{x_{\xi,\gamma} = \dots = x_{\xi,\gamma+r_1} \neq \dots \neq x_{\xi,\gamma+r_2} \neq \dots \neq x_{\xi,\gamma+r_3} = \dots = x_{\xi,\gamma+R_\xi-1}\}. \quad (2.10)$$

де r_τ – ділянки ОКГ з неоднорідним структурним змістом щодо нерівності елементів.

2. Враховувати додатковий *показник* $\delta^{(loc)}$ *локальної незначущості зміни значень елементів всередині області когерентності*. Такий показник

дозволяє управляти залежністю рівня візуальних спотворень від рівня зниження битового об'єму. З підвищенням величини $\delta^{(loc)}$ збільшується кількість елементів ОКГ, значення яких приймаються як рівні (тобто наявність відхилень в їх значеннях визнається незначущим). Навпаки, зі зниженням величини $\delta^{(loc)}$ скорочуються можливі спотворення в процесі регресійного опису областей когерентностей.

3. Організувати регресійний опис ОКГ на основі *структурного підходу з плаваючим кількістю елементів, що встановлюються з використанням додаткового показника локальної незначущості відхилень їх значень*. В цьому випадку формування регресійного опису здійснюється з використанням структурних кодових перетворень, які враховують інформацію тільки про значущі елементи області когерентності.

Для такого варіанту послідовність $X^{(\xi)}$ розглядається як композиція двох послідовностей $X'^{(\xi)}$ і $X''^{(\xi)}$, відповідно що містять елементи ОКГ з рівними і нерівними значеннями з урахуванням показника $\delta^{(loc)}$, т.е.:

$$X^{(\xi)} \xrightarrow{\delta^{(loc)}} \{ X'^{(\xi)}; X''^{(\xi)} \}. \quad (2.11)$$

У свою чергу послідовність $X^{(\xi)}$ області когерентності виявляється з урахуванням показника $\delta^{(glob)}$ амплітуди зміни значень елементів відеознімку. Тут такий показник $\delta^{(glob)}$ визначається як величина глобальної чутливості відхилення значень елементів ОКГ.

Схема виявлення і опису такої області когерентності розглядається на рис. 2.3.

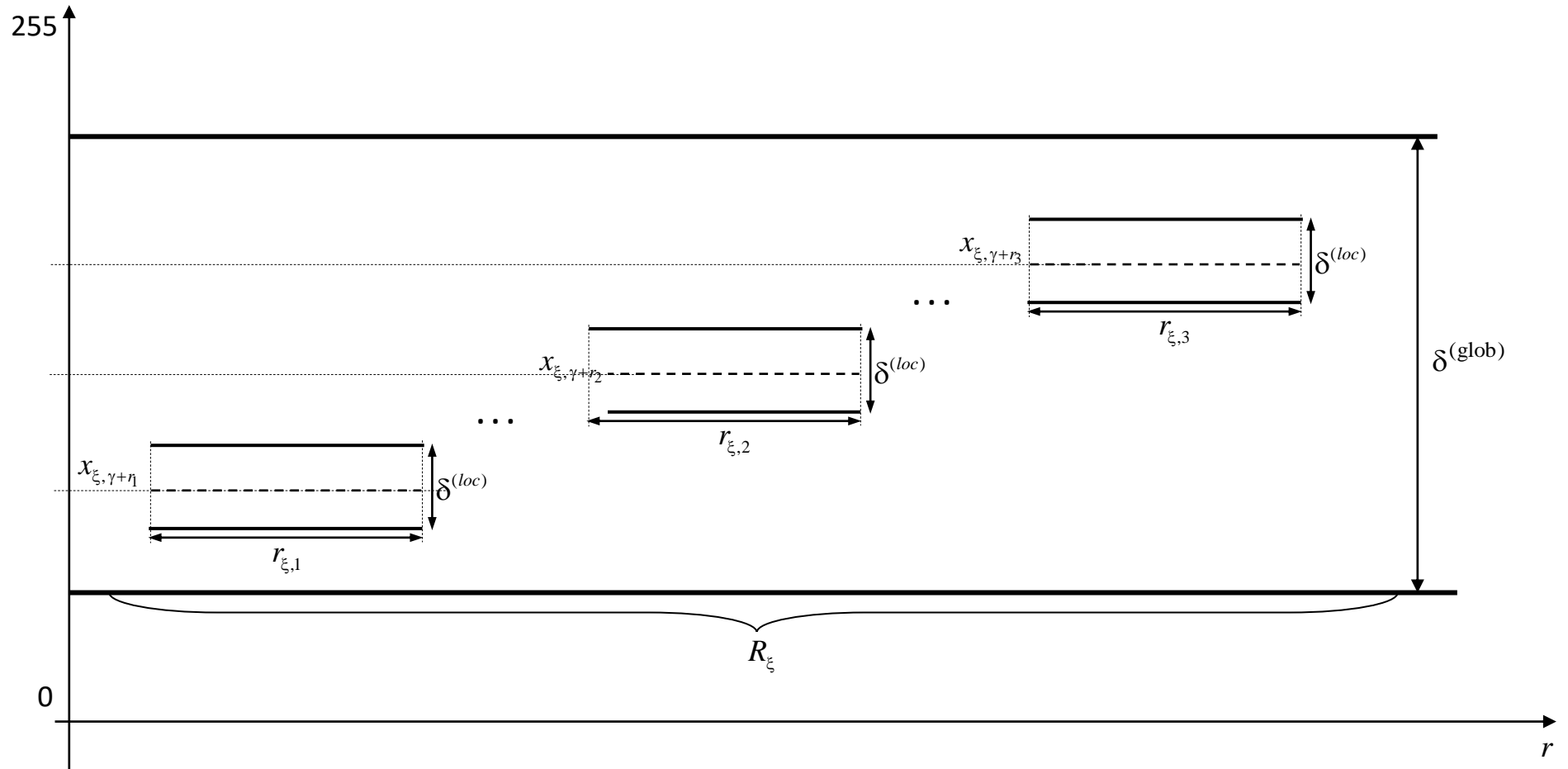


Рис. 2.3. Схема виявлення і опису області когерентності відеознімку

Тоді формування функціоналу $\varphi_{regr}^{(3)}$ регресійного опису області когерентності буде задаватися наступними співвідношеннями:

$$X^{(\xi)} = \{x_{\xi,\gamma}; \dots; x_{\xi,\gamma+r}; \dots; x_{\xi,\gamma+R_{\xi}-1}\} \rightarrow \varphi_{regr}^{(3)} \{X''^{(\xi)}; \delta^{(loc)}; \delta^{(glob)}; R_{\xi}\}; \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} x_{\xi,\gamma+r} \in [\alpha_{\xi} - \frac{\delta^{(glob)}}{2}; \alpha_{\xi} + \frac{\delta^{(glob)}}{2}], r = \overline{0, R_{\xi} - 1}; \\ x''_{\xi,\gamma+r''} \in [\alpha_{\xi} - \frac{\delta^{(loc)}}{2}; \alpha_{\xi} + \frac{\delta^{(loc)}}{2}], r'' = \overline{0, R_{\xi}'' - 1}. \end{cases}$$

Тут $x''_{\xi,\gamma+r''}$ – елемент ОКГ, що має вагоме значення з позиції локального показника $\delta^{(loc)}$; R_{ξ}'' – кількість значущих елементів в ОКГ, $R_{\xi}'' = R_{\xi} - R'_{\xi}$.

Процес відкидання незначущих з позиції величини $\delta^{(loc)}$ локальної чутливості елементів ОКГ будемо визначати як **проріджування або нерівномірною субдискретизацією області когерентності**.

Додаткове врахування величини $\delta^{(loc)}$ дозволяє:

- зменшити бітовий об'єм, за рахунок збільшення кількості відкидань незначущих елементів ОКГ;

- скоротити дисбаланс між неадекватним заздалегідь встановленим значенням $\delta^{(glob)}$ і реальним динамічним діапазоном δ_{real} елементів фрагмента відеознімку.

При цьому збереження інформації про значущі елементи ОКГ дозволяє підвищити рівень візуальної оцінки реконструйованих зображень.

Результуюча ступінь η_3 зниження бітового об'єму фрагмента відеознімки буде визначатися подальшою обробкою параметрів регресійного опису ОКГ. У зв'язку з чим, **пропонується** обробку компонент регресійного опису здійснювати на базі інтегрованого структурно підходу з урахуванням збереження інформації про значущі компоненти області когерентності. В цьому випадку з окремих типових компонент області когерентності формуються масиви даних. Після чого здійснюється виключення структурно-комбінаторної надмірності, обумовленої закономірностями в динамічних діапазонах сформованих масивів. Це дозволяє:

1) виявити закономірності інтегрованого характеру на основі побудови області когерентності для фрагмента зображення, в тому числі виявити нові структурні закономірності з урахуванням збереження інформації про значущі елементи ОКГ;

2) підвищити кількість скорочуваної надмірності за рахунок формування кодових комбінацій не для окремих елементів, а для їх послідовності;

3) враховувати особливості формування типових параметрів області когерентності.

2.3. Розробка інформаційної моделі нерівномірного лінійно-масштабованої складової фрагмента відеознімку

За своєю суттю окремі величини R_{ξ}'' характеризують масштаб вихідної ділянки зображення. Чим менше величина R_{ξ}'' , тим більше масштаб поточного опису фрагмента відеознімки. Сукупний розгляд довжин R_{ξ}'' областей когерентності по значимим елементам інтерпретується як **нерівномірна лінійно-масштабована форма** (НЛМФ) фрагмента відеознімку. Тут скорочується кількість когерентних областей в фрагменті зображення за рахунок врахування структурно-статистичних і психовізуальних закономірностей. Тим самим збільшується масштаб.

Розгляд довжин значущих областей когерентності на основі їх інтегрування в масиви $R_{m,n}$, які характеризують опис частини або всього відеознімку, забезпечує врахування таких особливостей:

1. З одного боку формування областей когерентності здійснюється для випадку, коли значення елементів можуть змінюватися в межах їх локальних $\delta^{(loc)}$ і глобальних $\delta^{(glob)}$ чутливостей зі збереженням інформації про значущі елементи. Це призводить до того, що довжини значущих ОКГ перевищуватимуть величину $R_{\xi, \min}''$, яка в свою чергу суттєво відрізняється від одиничного значення, тобто :

$$R_{\xi}'' > R_{\xi, \min}'' \gg 1. \quad (2.13)$$

2. З іншого боку для послідовностей $X''^{(\xi)}$ значущих елементів ОКГ, виявлених і сформованих для фрагмента відеознімку, внаслідок забезпечення необхідного рівня візуальних оцінок (рівня достовірності інформації), буде характерна обмеженість динамічного діапазону по верхньому рівню $R_{\xi, \max}''$, тобто:

$$R_{\xi}'' \leq R_{\xi, \max}'' . \quad (2.14)$$

Після узагальнення виразів (2.13) и (2.14), отримаємо:

$$R_{\xi, \min}'' \leq R_1''; \dots; R_{\xi}''; \dots; R_{\Xi}'' \leq R_{\xi, \max}'' . \quad (2.15)$$

Зрозуміло, що для реалістичних зображень з неоднорідністю розподілу ступеня насиченості структурними деталями за фрагментами проявляється нерівномірність значень $R_{\xi, \min}''$ і $R_{\xi, \max}''$. Тоді в разі формування величин R_{ξ}'' в масиви $R_{m, n}$, створюються умови для додаткового виявлення таких закономірностей і усунення відповідних структурних видів надмірності, а саме:

- нерівномірністю розподілу структурних деталей за фрагментами, що зумовлює наявність нерівномірності значень динамічних діапазонів $R_{\xi, \max}''$ довжин значущих областей когерентності;
- наявністю нижньої межі $R_{\xi, \min}''$, відмінною від одиничного значення.

Тому *пропонується* з окремих довжин значущих областей когерентностей формувати масиви $R_{m, n}^{(u)} = \{R_{i, j}''\}$, і розглядати їх як структурні позиційні числа (СПЧ) з системою основ, що задається максимальними значеннями на динамічний діапазон в рядках. У цьому випадку об'єм бітового опису залежить від значень динамічних діапазонів. Звідси для додаткового зменшення бітового об'єму для елементів $R_{i, j}''$ рядків масивів $R_{m, n}^{(u)}$ проводиться зниження їх значень на мінімальну величину $R_{\min, i}''$ в рядку, тобто:

$$\Delta R''_{i,j} = R''_{i,j} - R''_{\min,i}. \quad (2.16)$$

У цій формулі величина $R''_{\min,i}$, визначається як:

$$R''_{\min,i} = \min_{1 \leq i \leq m} \{R''_{i,j}\}.$$

В результаті чого утворюються масиви $\Delta R''_{m,n} = \{\Delta R''_{i,j}\}$ довжин $\Delta R''_{i,j}$ значущих областей когерентності зі зниженим динамічним діапазоном.

Відповідно для врахування структурних закономірностей верхніх обмежень на динамічний діапазон необхідно визначити величини $\Delta R''_{\max,i}$. Для цього використовується наступна формула:

$$\Delta R''_{\max,i} = \max_{1 \leq j \leq n} \{\Delta R''_{i,j}\} + 1. \quad (2.17)$$

Тоді для елементів $\Delta R''_{i,j}$ буде виконуватися умова, що описується нерівністю:

$$0 \leq \Delta R''_{i,j} \leq \Delta R''_{\max,i} - 1, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.18)$$

При цьому в силу наявності структурної неоднорідності для різних фрагментів відеознімки буде виконуватися нерівність, що задає наявність обмеження $\Delta R''_{\max}$ для значень динамічних діапазонів $\Delta R''_{\max,i}$ в рядках масиву $\Delta R''_{m,n}$, тобто:

$$\Delta R''_{\max,i} < \Delta R''_{\max} = \max_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{\Delta R''_{i,j}\} + 1. \quad (2.19)$$

Для оцінки кількості інформації і відповідно кількості потенційно скорочуваної надмірності необхідно побудувати систему $W(R)$ основ для усічених структурних позиційних чисел $\Delta R''_{m,n}$. З урахуванням виконання для елементів $\Delta R''_{i,j}$ умов (2.18) в якості основ $w(R)_i$ допускається використовувати значення $\Delta R''_{\max,i}$ динамічних діапазонів в рядках масиву $\Delta R''_{m,n}$, тобто:

$$w(R)_i = \Delta R''_{\max,i}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.20)$$

Відповідно система $W(R)$ основ буде записуватися наступним чином:

$$W(R) = \{w(R)_1; \dots; w(R)_i; \dots; w(R)_m\}.$$

З урахуванням чого, кількість $Q(R)_{m,n}$ усічених структурних позиційних чисел (УСПЧ), елементи яких задовольняють умові (2.18) визначається за формулою:

$$Q(R)_{m,n} = \prod_{i=1}^m (w(R)_i)^n < \prod_{i=1}^m (\Delta R_{\max}'')^n. \quad (2.21)$$

Дане співвідношення (2.21) забезпечує визначення кількості допустимих УСП чисел в позиційному просторі представленим вектором основ $W(R)$. Тоді найбільшу кількість $V(R)_{m,n}$ двійкових розрядів, що відводиться на кодовий опис масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ як двовимірне УСП число, знаходиться з використанням такого виразу:

$$V(R)_{m,n} = [\log_2 Q(R)_{m,n}] + 1 = [\log_2 (\prod_{i=1}^m (w(R)_i)^n)] + 1 = [n \sum_{i=1}^m \log_2 (w(R)_i) + 1]. \quad (2.22)$$

Отриманий вираз дозволяє оцінити максимальний рівень витрат кількості $V(R)_{m,n}$ біт на кодове представлення всіх значущих областей когерентності, сформованих для частини або всього відеознімку (тобто та частина або всі зображення, для якої формується масив $\Delta R_{m,n}^{(u)}$). У той же час для оцінки динаміки зміни бітової інтенсивності в процесі обробки відеознімку з виявленням і описом значущих областей когерентності необхідно оцінити кількість біт, яке формується для кодового опису окремих ОКГ. У свою чергу довжина значущої ОКГ є складовою такого опису.

Відповідно середня кількість $\overline{V(R)_{m,n}}$ біт, що припадає на кодовий опис однієї довжини значущої ОКГ, оцінюється як усереднення величини $V(R)_{m,n}$ за кількістю елементів в масиві $\Delta R_{m,n}^{(u)}$. Тоді отримаємо такий вираз:

$$\overline{V(R)_{m,n}} = V(R)_{m,n} / m n = [n \sum_{i=1}^m \log_2 (w(R)_i) + 1] / m n. \quad (2.23)$$

Звідси мінімальна кількість $\overline{H(R)_{\min}}$ кодової надмірності в разі подання довжин значущих ОКГ, як елемента усіченого структурного позиційного

числа $\Delta R_{m,n}^{(u)}$, щодо її синтаксичного опису як окремого елемента без урахування структурних закономірностей, оцінюється з використанням такої формули:

$$\begin{aligned} \overline{H(R)}_{\min} &= \frac{\log_2 \Delta R_{\max}'' - \overline{V(R)}_{m,n}}{\log_2 \Delta R_{\max}''} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{[n \sum_{i=1}^m \log_2(w(R)_i) + 1]}{mn \log_2 \Delta R_{\max}''}\right) \cdot 100\% = \\ &= \left(1 - \frac{[\sum_{i=1}^m \log_2(w(R)_i) + 1]}{m \log_2 \Delta R_{\max}''}\right) \cdot 100\%, \end{aligned} \quad (2.24)$$

де $\log_2 \Delta R_{\max}''$ – максимальна кількість розрядів, що витрачається на кодове представлення окремої довжини значущої ОКГ без урахування структурних обмежень (величина $\Delta R_{\max}''$ визначається за формулою (2.19)).

З урахуванням умови (2.18), отримуємо, що виконується нерівність:

$$\log_2(w(R)_i) < \log_2 \Delta R_{\max}''.$$

Тоді для правої частини виразу (2.24), буде виконуватися така обмеження:

$$\frac{[\sum_{i=1}^m \log_2(w(R)_i) + 1]}{m \log_2 \Delta R_{\max}''} < 1.$$

Отже, мінімальна кількість надмірності $\overline{H(R)}_{\min}$ буде відмінною від нульового рівня, тобто $\overline{H(R)}_{\min} > 0\%$. Значить в результаті представлення послідовностей довжин значущих областей когерентності елементами усічених структурних позиційних чисел досягається зменшення надмірності щодо розгляду окремих довжин ОКГ без урахування структурних обмежень.

Отже, сформована інформаційна модель кодового представлення довжин значущих областей когерентності у вигляді елементів усічених структурних позиційних чисел, який утворює нерівномірну лінійно-масштабовану складову відеознімку. Обґрунтовано, що в результаті такого опису забезпечується скорочення структурної надмірності щодо варіанту кодування окремих довжин областей когерентності. Таке досягається за рахунок врахування:

- нерівномірності розподілу структурних деталей за фрагментами, що зумовлює наявність нерівномірності значень динамічних діапазонів довжин значущих областей когерентності;

- наявності нижньої межі довжин ОКГ, відмінної від одиничного значення.

2.4. Створення інформаційної моделі представлення значущих елементів областей когерентності

Розглянемо побудову інформаційної моделі та обґрунтування підходу для кодового представлення послідовності $X^{(\xi)}$ значущих елементів області когерентності (ЗОКГ). Кожна така послідовність записується в такий спосіб:

$$X^{(\xi)} = \{x_{\xi, \gamma+r_1}; \dots; x_{\xi, \gamma+r_2}; \dots; x_{\xi, \gamma+r_3}\}; \quad (2.25)$$

$$x_{\xi, \gamma+r_1} \neq \dots \neq x_{\xi, \gamma+r_2} \neq \dots \neq x_{\xi, \gamma+r_3}, \quad (2.26)$$

де r_t – ділянки нерівномірної субдискретизації області когерентності по проріджуванню її елементів з рівними значеннями; $x_{\xi, \gamma+r_t}$ – $(\gamma + r_t)$ -й елемент вихідної ξ – області когерентності, для якого виконується умова (2.26).

Після переіндексації елементів $x_{\xi, \gamma+r_t}$ з виключенням розривів (ділянок індексів, що відповідають елементам з рівними значеннями) послідовність $X^{(\xi)}$ прийме такий вигляд:

$$X^{(\xi)} = \{x''_{\xi, \gamma}; \dots; x''_{\xi, \gamma+r}; \dots; x''_{\xi, \gamma+R''_{\xi}-1}\}. \quad (2.27)$$

Тут $x''_{\xi, \gamma+r}$ – $(\gamma + r)$ -й значимий елемент послідовності $X^{(\xi)}$ після переіндексації; R''_{ξ} – кількість елементів в послідовності $X^{(\xi)}$; r – змінний індекс, $r = \overline{0, R''_{\xi}-1}$.

Виявлення закономірностей в окремих значущих ОКГ може бути неефективним внаслідок того, що: довжини послідовностей $X^{(\xi)}$ можуть бути короткими, $R''_{\xi} \leq 3$; формується надмірна кількість службових даних. Тому *пропонується* розглядати сукупності значущих ОКГ. При цьому вибір

значущих областей когерентності проводиться в напрямку рядків відеознімку.

У разі розгляду сукупності послідовностей $X^{(\xi)}$ утворюється вектор G_k . Тут величина k дорівнює сумарній кількості значущих елементів, що міститься в n послідовностях $X^{(\xi)}$, а саме:

$$k = \sum_{\xi=1}^n R_{\xi}''.$$

Цей вираз встановлює зв'язок розміру k вектора G_k з довжиною n рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ що задає нерівномірну лінійно-масштабовану складову ділянки відеознімки.

Тоді для k -мірної послідовності значущих ОКГ вектор G_k буде представлений таким видом [13; 70; 122]:

$$G_k = \{ g_1; \dots; g_j; \dots; g_k \},$$

де g_j – елемент однієї з послідовності $X^{(\xi)}$, $\xi = \overline{1, n}$.

Отримана сукупність може розглядатися як значуща координатно-яскравісна складова ділянки відеознімку, описуваного з використанням виявлення областей когерентності. Така складова потенційно містить більше кількості інформації (є більш інформативною) про значущі перепади яскравості, тобто містить інформацію про елементи структурних деталей і об'єктів інтересу відеознімку. Підвищення інформативності досягається в результаті проріджування (відкидання) елементів області когерентності, що мають рівні значення або незмінні відхилення з позиції показника $\delta^{(loc)}$ локальної чутливості. Перехід на розгляд більш інформативних послідовностей вказує на те, що створюються умови для усунення відповідного виду надмірності.

Для створення додаткових умов щодо скорочення надмірності пропонується виявляти закономірності у всьому векторі G_k , тобто з урахуванням інформації відразу про всі його елементи. Тут створюється

можливість виявити закономірності, властиві спільному аналізу елементів вектору G_k .

Дійсно, в умовах формування значущих областей когерентності відеознімку в рамках їх регресійного опису на основі структурного підходу, проявляються такі закономірності:

1. Умова нерівності елементів виконується не тільки для сусідніх значущих елементів послідовності $X^{(\xi)}$, але і для двох граничних елементів суміжних значущих послідовностей $X^{(\xi)}$ и $X^{(\xi+1)}$ (де $\xi = \overline{1, n}$), тобто:

$$x''_{\xi, \gamma+R_\xi-1} \neq x''_{\xi+1, \gamma}, \quad \xi = \overline{1, n}. \quad (2.28)$$

Дане нерівність впливає з умов побудови (позиціонування) значущих областей когерентності в зображенні. В іншому випадку, якби виконувалася рівність $x''_{\xi, \gamma+R_\xi-1} = x''_{\xi+1, \gamma}$ з позиції показників глобальної $\delta^{(glob)}$ або локальної $\delta^{(loc)}$ незначущості, то елемент $x''_{\xi+1, \gamma}$ належав би до поточної ξ -ї значущої ОКГ.

Значить умова нерівності значень сусідніх елементів виконується не тільки для окремо взятої значущої області когерентності (локальність закономірності), але і для елементів суміжних ОКГ (глобальність закономірності). Звідси для будь-яких сусідніх елементів вектора G_k буде виконуватися нерівність, тобто:

$$g_j \neq g_\chi, \quad j, \chi = \overline{1, k}. \quad (2.29)$$

2. Для локальних ділянок вектора G_k , значення значущих елементів ОКГ будуть перебувати в обмеженому динамічному діапазоні, тобто.

$$g_1; \dots; g_j; \dots; g_k \leq g_{\max}. \quad (2.30)$$

Причому величина верхнього рівня g_{\max} діапазону величин g_j , на інтервалі $1 \leq j \leq k$ буде менше, ніж максимальний динамічний діапазон для елементів всього відеознімку, що визначається як $x_{\max} - x_{\min} \leq 255$.

Для врахування закономірностей, що задаються співвідношеннями (2.28) і (2.30) *пропонується* реалізувати такі підходи щодо подання значущих елементів сукупності ОКГ.

Перший підхід полягає в тому, що на основі елементів вектору G_k формуються двовимірні масиви $G_{m,k}^{(u)} = \{g_{i,j}\}$. Тут m – кількість рядків довжиною k елементів кожна; u – індекс масиву $G_{m,k}^{(u)}$ що збігається з індексом масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$, $u = \overline{1, U}$; U – кількість масивів $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$, яке формується для відеознімку з використанням виявлення і групування областей когерентності. В окремому випадку може виконуватися рівність $U=1$. Такий підхід дозволяє локалізувати закономірності для значущих елементів сукупностей ОКГ на окремих ділянках відеознімку. Значення елементів масиву $G_{m,k}^{(u)}$ будуть обмежені зверху, наступним рівнем:

$$g_{i,j} \leq g_{\max}, \quad g_{\max} = \max_{\substack{1 \leq j \leq k \\ 1 \leq i \leq m}} \{g_{i,j}\}; \quad (2.31)$$

Тоді послідовність G_k , що представляє собою рядок масиву $G_{m,k}^{(u)}$ допускається розглядати як одновимірне позиційне число.

Тоді інформаційний опис вектора G_k буде мати такі особливості:

1) інтегрований структурний опис сукупності значущих ОКГ на основі їх подання одновимірним позиційним числом задається наступним виразом [100]:

$$f(G_k) = \sum_{j=1}^k g_{i,j} Q(g)_j, \quad (2.32)$$

де $Q(g)_j$ – ваговий коефіцієнт j -го елемента ОПЧ $Q(g)_j = (g_{\max})^{k-j}$;

2) кількість $Q(g)_k$ різних векторів G_k , довжиною k , яке можна скласти на основі формування різних ОПЧ в умовах виконання нерівності (2.31) дорівнює $Q(g)_k = (g_{\max})^k$;

3) максимальний бітовий об'єм кодового опису сукупності значущих ОКГ утворюють вектор G_k на основі коду-утворюючої функції ОПЧ оцінюється за формулою $V_k^{(g)} = \log_2 Q(g)_k = (k[\log_2(g_{\max})] + 1)$.

Другий підхід полягає в розгляді значень значущих елементів g'_{ij} масиву $G_{m,k}^{(u)}$, які характеризуються такими властивостями динамічного діапазону, а саме:

- динамічний діапазон елемента масиву $G_{m,k}^{(u)}$ з координатами $(1;1)$ буде дорівнювати $w(g)_1 = g_{\max} + 1$, так як $h_{1,1} \in [0; h_{\max}]$;

- динамічний діапазон всіх інших значущих елементів сукупності ОКГ згідно з умовою (2.29), буде знижуватися на одиницю, і визначатися відповідно як $w(g)_i = g_{\max}$, $i = \overline{2, m}$ для $j = 1$ і $i = \overline{1, m}$ для $j \geq 2$. Це обумовлено тим, що можливі значення значущих елементів $g_{i,j}$ масиву $G_{m,k}^{(u)}$ для $i = \overline{2, m}$ при $j = 1$ і $i = \overline{1, m}$ при $j \geq 2$ виключатиме одне значення, яке відповідає попередньому елементу і $g_{i,j} \in [0; g_{\max}]$.

Значить, на основі запропонованих перетворень для сукупності послідовностей значущих елементів ОКГ формуються масиви $G_{m,k}^{(u)}$, елементи яких задовольняють наступним обмеженням:

$$g_{1,1} \leq w(g)_1 = g_{\max} + 1; \quad g_{i,j} \leq w(g)_i = g_{\max}, \quad (2.33)$$

$$i = \overline{2, m} \text{ для } j = 1 \text{ и } i = \overline{1, m} \text{ для } j \geq 2.$$

В цьому випадку для масиву $G_{m,k}^{(u)}$ можна сформулювати наступну інтерпретацію.

Визначення 2.1. Масив $G_{m,k}^{(u)}$, для елементів якого виконуються умови (2.33), називається структурним позиційним числом з глобальною і локальною нерівністю сусідніх елементів (СПЧ ГЛН).

Для такого підходу щодо подання сукупності значущих областей когерентності оцінка інформативності зводиться до визначення кількості допустимих СПЧГЛН. У загальному випадку для позиційної системи з заданим основою кількості допустимих чисел, елементи яких задовольняють обмеженням, заданих виразами (2.29) і (2.33), дорівнює $w(g)^{mk}$. Тоді з урахуванням співвідношення для основи $w(g)$, отримаємо наступне вираження для визначення кількості $Q(g)_{m,k}$ допустимих СПЧГЛН чисел:

$$Q(g)_{m,k} = w(g)^{mk} = (g_{\max} + 1)(w(g))^{k-1} \prod_{i=2}^m (g_{\max})^k = w(g)_1 w(g)^{k m-1}. \quad (2.34)$$

Отримане співвідношення дозволяє оцінити рівень інформативності запропонованого опису сукупності значущих областей когерентності з урахуванням: наявності глобальної і локальної властивості нерівності між сусідніми елементами; обмежень на формування підстав першого і наступних значущих елементів масиву $G_{m,k}^{(u)}$.

З використанням виразу (2.34) максимальна кількість $V(g)_{m,k}$ біт, що витрачається на подання масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значущих елементів сукупності ОКГ, оцінюється за такою формулою:

$$\begin{aligned} V(g)_{m,k} &= [\log_2 Q(g)_{m,k}] + 1 = [\log_2 (g_{\max} + 1)(w(g))^{k-1} \prod_{i=2}^m (g_{\max})^k] + 1 = \\ &= [\log_2 (g_{\max} + 1) + (k-1)\log_2 w(g) + k \sum_{i=2}^m \log_2 (g_{\max})] + 1. \end{aligned} \quad (2.35)$$

Після чого усереднена кількість $\overline{V(g)}_{m,k}$ біт, що припадає на один елемент масиву $G_{m,k}^{(u)}$, буде визначатися за допомогою виразу:

$$\overline{V(g)}_{m,k} = \frac{[\log_2(g_{\max} + 1) + (k - 1)\log_2 w(g) + k \sum_{i=2}^m \log_2(g_{\max})] + 1}{m \cdot k}. \quad (2.36)$$

Відповідно мінімальна кількість $\overline{H(g)}_{\min}$ надмірності, яку потенційно можна виключити в результаті подання сукупності значущих областей когерентності у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю суміжних елементів (тобто як сукупності елементів масиву $G_{m,k}^{(u)}$) відносно кодових описів їх елементів без урахування закономірностей, знаходиться з використанням такого співвідношення:

$$\begin{aligned} \overline{H(g)}_{\min} &= ((8 - \overline{V(g)}_{m,k}) / 8) \cdot 100 \% = \\ &= \left(1 - \left[\frac{\log_2(g_{\max} + 1)}{8mk} + \frac{\log_2 w(g)}{8m} + \frac{\sum_{i=2}^m \log_2(g_{\max})}{8m} \right] \right) \cdot 100 \%. \end{aligned} \quad (2.37)$$

При цьому з урахуванням властивості локалізації динамічного діапазону в області однорідності, а саме $\log_2(g_{\max}) \leq 8$ біт, для величини $\overline{H(g)}_{\min}$ виконується нерівність, $\overline{H(g)}_{\min} > 0 \%$. Значить створюються умови для потенційного виключення надмірності, а отже для додаткового зниження бітового об'єму відеознімку в разі його кодового опису з використанням виявлення значимих областей когерентності.

Виключення надмірності досягається в результаті врахування психовізуальних і структурно-комбінаторних закономірностей в масивах, складених із значущих елементів сукупності областей когерентності, які проявляються в тому, що:

- для рядків масивів $G_{m,k}^{(u)}$ проявляється обмеженість динамічного діапазону;

- виконується властивість глобальності і локальності обмеження, що задається як нерівність між сусідніми елементами векторів G_k .

Кількість потенційно скорочуваної надмірності буде збільшуватися зі зростанням показника $\delta^{(loc)}$ локальної незначущості елементів області когерентності. Це обумовлено тим, що буде знижуватися кількість значущих елементів, що беруть участь в описі областей когерентного відеознімку.

За викладеним матеріалом можна зробити висновок, що:

1) створена інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. Відмінні риси моделі полягають в урахуванні попереднього нерівномірного проріджування областей когерентності за елементами з рівними значеннями; збереження інформації про значущі елементи ОКГ з позиції показників глобальної та локальної чутливості. Це дозволяє оцінити інформативність такого опису і отримати оцінки щодо мінімальної кількості надмірності, яку потенційно може бути усунуто;

2) обґрунтовано наявність умов для додаткового зниження бітового об'єму відеознімку на основі виключення надмірності, обумовленої наявністю: обмежень, що задаються наявністю властивостей глобальності і локальності щодо нерівності між сусідніми елементами сукупності значущих областей когерентності; наявністю обмежень на динамічний діапазон елементів СПЧ ГЛН; наявністю проріджування елементів, які є незначущими з позиції показників глобальної та локальної чутливості.

2.5. Побудова моделі оцінки інформативності ділянок відеознімку на основі виявлення і формування сукупності значущих областей когерентності

В результаті кодового опису нерівномірної лінійно-масштабованої складової і сукупності значущих областей когерентності формується кодограма, що складається з двох частин (рис. 2.4).

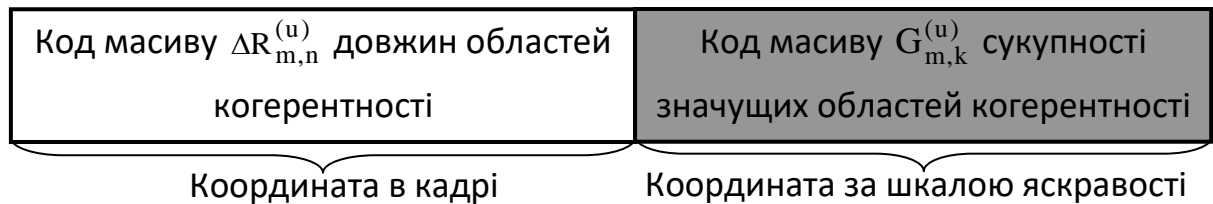


Рис. 2.4. Структура кодограми ділянки відеознімку для сукупності областей когерентності на основі інтегрованого структурного підходу

Аналіз структури кодограми ділянки відеознімку, відповідного сукупності значущих ОКГ, на рис. 2.4 показує, що вона складається з двох основних частин. Перша частина містить інформацію для орієнтацію і позиціонування ОКГ в кадрі відеознімку, а саме коди довжин значущих ОКГ, які задають їх позиції в зображенні щодо розташування інших ОКГ. Друга частина несе інформацію про значущі елементів ОКГ, тобто інформацію про значиму координатну-яскравісну складову.

Максимальні сумарні витрати кількості $\bar{V}(\max)_{m,n}$ біт, що в середньому припадають на одну значущу область когерентності в разі подання її параметрів на основі створених підходів, оцінюються за такою формулою [8; 10; 100; 122]:

$$\bar{V}(\max)_{m,n} = \bar{V}(R)_{m,n} + \bar{V}(g)_{m,k} + V^{(w)}, \quad (2.38)$$

де $\bar{V}(R)_{m,n}$, $\bar{V}(g)_{m,k}$ - максимальна кількість біт, яку необхідно витратити в середньому на кодове подання довжини значущої області когерентності і її значущих елементів; $V^{(w)}$ - питомі витрати кількості розрядів на службові дані (основи масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$).

Проведемо тепер оцінку усередненої кількості інформації, в одній значимій області когерентності, в разі її опису на основі інтегрованого структурного підходу, а саме коли:

1) перша складова, яка містить інформацію про нерівномірну лінійно-масштабовану складову ділянки відеознімки, представляється у вигляді кодового опису структурних позиційних чисел;

2) друга складова – значуща координатно-яркравісна складова ділянки відеознімку, являє собою кодовий опис значущих елементів області когерентності на основі структурних позиційних чисел з глобальною і локальною нерівністю сусідніх елементів.

Для запропонованого підходу вираз (2.38) на основі співвідношень і (2.23) для величини $\overline{V(R)}_{m,n}$ і (2.36) для величини $\overline{V(g)}_{m,k}$ прийме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \overline{V(\max)}_{m,n} = & [n \sum_{i=1}^m \log_2(w(R)_i) + 1] / m \cdot n + \\ & + ([\log_2(g_{\max} + 1) + (k-1) \log_2 w(g) + k \sum_{i=2}^m \log_2(g_{\max})] + 1) / m \cdot k + V^{(w)}. \end{aligned} \quad (2.39)$$

Отриманий вираз дозволяє визначити максимальну усереднену кількість розрядів, що відводяться на кодове подання значущої області когерентності в разі її регресійного опису на основі структурного підходу для встановлених показників глобальної та локальної незначущості елементів ОКГ в залежності від ступеня насиченості відеознімку структурними деталями; обмежень на динамічний діапазон значущих елементів ОКГ і їх довжини.

На основі співвідношення (2.39) можна оцінити такі величини:

- мінімальне значення рівня η_{\min} зниження бітового об'єму щодо вихідного представлення елементів відеознімку, на базі яких сформована значуща область когерентності. Це задається таким виразом:

$$\eta_{\min} = (8 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}) / \overline{V(\max)}_{m,n}; \quad (2.40)$$

- мінімальне значення рівня η'_{\min} зниження бітового об'єму щодо варіанту, коли кодування параметрів структурного регресійного опису проводиться без урахування структурних закономірностей. Для цього використовується така формула:

$$\eta'_{\min} = 8R / \bar{V}(\max)_{m,n} \quad (2.41)$$

Оцінка величини η_{\min} в залежності від показника $\delta^{(\text{glob})}$ глобальної чутливості для різних класів відеознімку представлені на рис. 2.5. Розрахунки проводилися на основі обробки реальних зображень з різним ступенем насиченості структурними деталями.

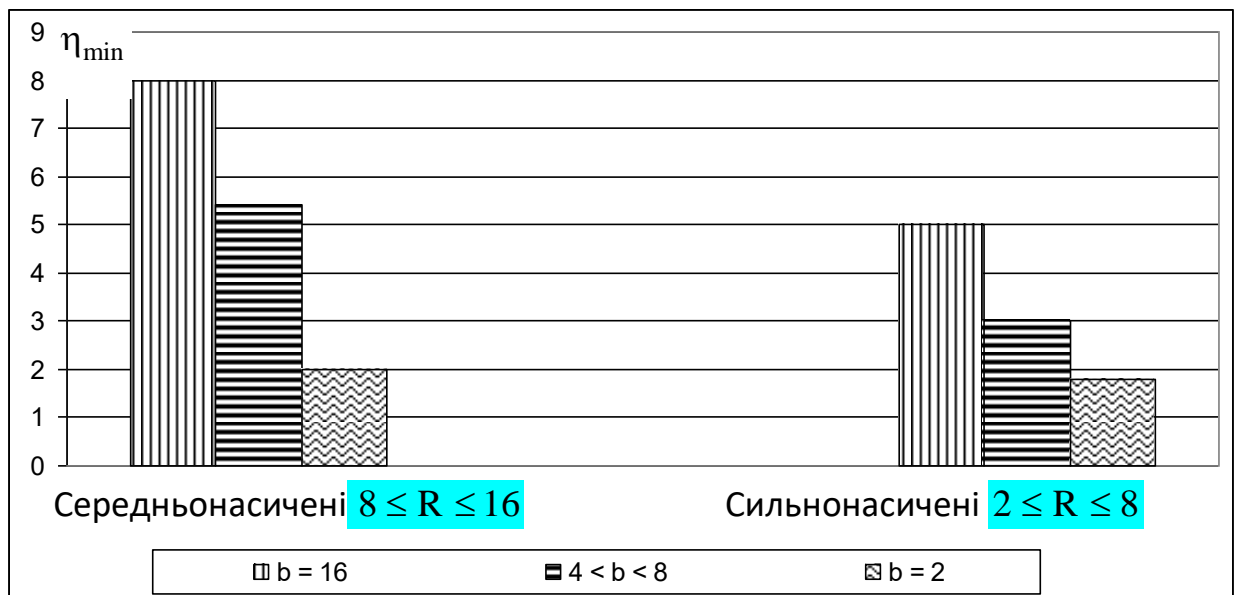


Рис. 2.5. – Діаграми залежності величини η_{\min} в залежності від показника $\delta^{(\text{glob})}$

глобальної чутливості області когерентності для різних класів зображень

Аналіз діаграм на рис. 2.5 показує, що:

1) мінімальне значення рівня зниження бітового об'єму на основі запропонованого кодового опису нерівномірної лінійно-масштабованої і значущої координатно-яскравісної складових ділянок відеознімку змінюється в середньому в залежності від значення показника $\delta^{(\text{glob})}$ глобальної чутливості для: зображень з високою насиченістю структурними деталями

від 1,8 до 5 раз; зображень середньонасичених структурними деталями від 2 до 8 раз;

2) мінімальне значення рівня скорочення бітового об'єму зображень з контрольованим спотворенням залежить в основному від кількості усуваної психовізуальної надмірності. Це визначається зміною значення показників незначущості елементів області когерентності.

Отримані значення дозволяють зробити висновок про те, що запропонований підхід забезпечує досить високі можливості щодо зниження бітового об'єму відеознімку з контрольованою якістю реконструйованих зображень (пікове відношення сигнал / шум не нижче 30 дБ). Це створює потенційні можливості для побудови методів компактного представлення зображень на основі запропонованого підходу.

Висновки

1. Обґрунтовано, що представлення зображення у вигляді сукупності областей когерентності створює умови для усунення різних видів надмірності в умовах заданого рівня візуальних оцінок.

2. Обґрунтовано необхідність проводити обробку компонент регресійного опису на базі інтегрованого структурно підходу з урахуванням збереження інформації про значущі елементи області когерентності.

Створена модель регресійного опису області когерентності на основі структурного підходу. Основними відмінностями моделі є: проведення нерівномірної субдискретизації області когерентності з використанням додаткового показника локальної чутливості для детектування із значимих елементів; формування нерівномірної значущої області когерентності.

Це дозволяє:

1) виявити закономірності інтегрованого характеру на основі побудови області когерентності для фрагмента зображення, в тому числі виявити нові структурні закономірності з урахуванням збереження інформації про значущі елементи ОКГ;

2) підвищити кількість скорочуваної надмірності за рахунок формування кодових комбінацій не для окремих елементів, а для їх послідовності;

3) враховувати особливості формування типових параметрів області когерентності.

3. Сформована інформаційна модель кодового представлення довжин значущих областей когерентності у вигляді елементів усічених структурних позиційних чисел, яка утворює нерівномірну лінійно-масштабовану складову відеознімку. Обґрунтовано, що в результаті такого опису забезпечується скорочення структурної надмірності щодо варіанту кодування окремих довжин областей когерентності. Це досягається за рахунок врахування:

- нерівномірності розподілу структурних деталей за фрагментами, що зумовлює наявність нерівномірності значень динамічних діапазонів довжин значущих областей когерентності;

- наявності нижньої межі довжин ОКГ, відмінна від одиничного значення.

4. Створено інформаційну модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. Відмінні риси моделі полягають в урахуванні попереднього нерівномірного проріджування областей когерентності за елементами з рівними значеннями; збереження інформації про значущі елементи ОКГ з позиції показників глобальної та локальної чутливості. Це дозволяє оцінити інформативність такого опису і отримати оцінки щодо мінімальної кількості надмірності, яку потенційно може бути усунуто;

5. Обґрунтовано наявність умов для додаткового зниження битового об'єму відеознімку на основі виключення надмірності, обумовленої наявністю: обмежень, що задаються наявністю властивостей глобальності і локальності щодо нерівності між сусідніми елементами сукупності значущих областей когерентності; наявністю обмежень на динамічний діапазон

елементів СПЧ ГЛН; наявністю проріджування елементів, які є незначними з позиції показників глобальної та локальної чутливості.

б. Побудована модель оцінки інформативності ділянок відеознімку на основі виявлення і формування сукупності значущих областей когерентності.

Отримані значення експериментальних оцінок з використанням побудованої моделі дозволяють зробити висновок про те, що розроблений підхід забезпечує досить високі можливості щодо зниження бітового об'єму відеознімку з контрольованою якістю реконструйованих зображень (пікове відношення сигнал / шум не нижче 30 дБ). Це створює потенційні можливості для побудови методів компактного представлення зображень на основі запропонованого підходу.

При цьому досягаються такі результати:

1) мінімальне значення рівня зниження бітового об'єму на основі запропонованого кодового опису нерівномірної лінійно-масштабованої і значущої координатно-яскравісної складових ділянок відеознімки змінюється в середньому в залежності від значення показника $\delta^{(glob)}$ глобальної чутливості для: зображень з високою насиченістю структурними деталями від 1,8 до 5 раз; зображень середньонасичених структурними деталями від 2 до 8 раз;

2) мінімальне значення рівня скорочення бітового об'єму зображень з контрольованим спотворенням залежить в основному від кількості усуваної психовізуальної надмірності. Це визначається зміною значення показників незначущості елементів області когерентності.

Результати науково-прикладних досліджень викладеного матеріалу даного розділу представлені в наступних публікаціях [8 – 10; 70; 100; 122].

РОЗДІЛ 3

МЕТОД ОБРОБКИ ВІДЕОЗНІМКІВ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ КОМПОНУВАЛЬНИХ КОДОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Викладено формування методологічного базису відносно взаємного розміщення двох ключових складових цифрового представлення відеознімку в одній кодовій конструкції. Проводиться розробка методу кодування значимої координатно-яскравісної складової відеознімку на основі її представлення у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Обґрунтовується співвідношення для оцінки верхнього рівня кількості біт, яка витрачається на представлення кодового значення рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової відеознімку. Викладаються етапи побудови методу інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонуваної кодової конструкції ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. Створюється метод реконструкції ділянок відеознімку, на основі отримання інформації про його значущої координатно-яскравісної і нерівномірної лінійно-масштабуючої складових шляхом десегментації її кодограми складовою на базі декомпозиції компонуваної кодової конструкції. Вдосконалюються технологія обробки цифрових відеозображень на основі розроблених методів та моделі з умови виявлення областей когерентності відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах.

3.1. Обґрунтування напрямку для зниження бітового об'єму відеознімків в інфокомунікаційних системах

Комплекс вимог відносно побудови методів компресії (зниження бітового об'єму (ЗБО)) визначається виходячи з таких аспектів:

1) клас відеоінформаційного сервісу, що визначає вимоги відносно продуктивності використовуваних інформаційних технологій і телекомунікаційних мереж, включаючи можливість використання мобільних і безпроводних технологій обміну інформацією;

2) рівень споживача інформації (кінцевого користувача). Тут формуються пакет вимог відносно: достовірності інформації і її повноти; спрямованості зберігання або передачі в телекомунікаційних мережах; наявності етапів подальшого аналізу з використанням автоматичних і/або автоматизованих режимів.

Такі аспекти визначають методологічні базиси відносно побудови технологій і методів зниження бітового об'єму (ЗБО). Основними базисами тут є наступні.

1. *Перший базис* визначає композицію типів надмірності, які закладаються в методологію формованих методів і технологій ЗБО. Цей етап визначає:

- по-перше, наявність допуску на використання етапів, пов'язаних з виключенням надмірності психовізуального блоку, тобто наявність можливості для зниження рівня візуальних оцінок по сприйняттю реконструємих відеознімків (СРВ);

- по-друге, типовий склад і порядок взаємодії етапів по усуненню структурної і статистичної надмірності;

- по-третє, можливість досягнення балансу між блоками скорочуваної надмірності психовізуальної спрямованості і без пониження рівня візуальних оцінок СРВ;

- по-четверте, наявність етапів по управлінню кількістю зменшеної психовізуальної надмірності, тобто наявність зворотних зв'язків в процесі обробки відеознімків.

Означає методологія даного встановлює клас використовуваних трансформацій, технологій переробки проміжних даних і методів кодування. При цьому перший базис робить ключовий вплив на:

- а) рівень зниження бітового об'єму;
- б) тимчасові затримки, включаючи час обробки і передачі в телекомунікаційних мережах;
- в) рівень візуальних оцінок СРВ.

У загальному випадку технологія ЗБО припускає наявність можливості для виключення декількох видів надмірності. Тут для відеознімків насичених структурними деталями необхідно закладати можливість відносно додаткового виключення надмірності не пов'язаною з пониженням рівня візуальних оцінок СРВ. Це дозволяє забезпечити необхідний рівень достовірності інформації.

Розглянемо реалізацію першого методологічного базису для запропонованих підходів відносно обробки відеознімків.

Перший базис, стосовно підходу по обробки відеознімків на основі виявлення і опису сукупності значимих областей когерентності, характеризується такими особливостями [13; 31; 48; 74–76; 98; 99; 101; 102; 121]:

- 1) передбачається скорочення *локальної психовізуальної* надмірності. Цей етап реалізується в процесі нерівномірного проріджування (нерівномірній субдискретизації) областей когерентності по елементах, що мають рівні або незначущі значення. Тут передбачається, що відсутність істотних відхилень між значеннями елементів ОКГ вказує на те, що дані вони описують область плавної зміни фону відеознімку. В цьому випадку візуальна оцінка СРВ з урахуванням психовізуальних особливостей зорового апарату буде на допустимому рівні;

2) здійснюється скорочення надлишків, не пов'язаних з пониженням рівня візуальних оцінок СРВ, а саме структурно-статистичної природи. Тут враховуються закономірності локального і глобального характеру.

Локальні закономірності враховуються в процесі виявлення і регресійного опису областей когерентності з використанням структурного підходу. Дійсно, область когерентності включає ділянки відеознімку, що мають лінійну статистичну залежність, а в процесі опису значимих елементів ОКГ враховуються обмеження структурного характеру, а саме локальна властивість нерівності суміжних значимих елементів ОКГ і обмеженість верхнього рівня їх амплітуди.

Глобальні закономірності враховуються в процесі формування сукупностей для значимих елементів ОКГ і для їх довжин, і побудови на цій основі двовимірних масивів, відповідно $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$, $u = \overline{1, U}$. Тут проявляється властивість нерівномірності між граничними елементами сусідніх значимих областей когерентності і обмеження на динамічні діапазони в рядках масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$.

3) для ділянок відеознімку (чи усього відеознімку) формуються такі дві ключові проміжні складові як:

- нерівномірна лінійно-маштабуюча складова ділянки відеознімку, яка структуризується у вигляді двовимірного масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і будується на основі сукупності довжин областей когерентності;

- значима координатно-яскравісна складова ділянки відеознімку, яка структуризується у вигляді двовимірного масиву $G_{m,k}^{(u)}$ і будується на основі сукупності елементів значимих областей когерентності.

- послідовності службових даних.

2. *Другий базис* визначає наявність попередніх етапів по преобразованню зображень. Тут включаються різні види сортувань і перетворення початкової колірної моделі RGB в кольорорізницеві моделі. Різні види сортувань використовуються для передбачуваного виділення

однорідних областей або областей пікових значень. Кольорорізницеві моделі використовуються для виділення складової тій, що несе основне навантаження по яскравості відеознімку і складові (зазвичай дві), які доповнюють колірну насиченість зображення.

Вибір моделі колірного представлення відеознімку проводиться виходячи із забезпечення такого колірного представлення, яке дозволяє досягти найбільшої ефективності процесу обробки в результаті запропонованої композиції виключення надмірності різних типових блоків.

Розглянемо реалізацію другого методологічного базису для запропонованих підходів відносно обробки відеознімків.

Відносно запропонованого підходу по обробки відеознімків найбільш прийнятним є формування кольорорізницевої моделі YcrCb або YUV. Це дозволяє в умовах допустимого рівня візуальних оцінок СРВ отримати:

- складові, що характеризуються нерівнозначним вкладом у візуальну оцінку СРВ. Яскравісна складова найвагомніше впливає на рівень візуальної оцінки СРВ. Навпаки, колірні доповнення допускають пониження рівня візуальної оцінки СРВ;

- зниження динамічного діапазону елементів для складових колірної насиченості, у тому числі підвищити розміри ділянок відеознімку, що характеризуються своєю когерентністю. Тут створюються умови для збільшення розмірів областей когерентності і кількості незначущих елементів в них.

3. **Третій базис** визначає безпосередньо типи і параметри технологій кодування, використовуваних для компактного представлення отриманих на попередніх етапах ключових складових відеознімку. Важливість цього етапу полягає в тому, що :

- 1) по-перше, безпосередньо за рахунок встановлення параметрів технологій обробки для заданих умов по тимчасових затримках на обробку створюється можливість для досягнення балансу між з одного боку рівнем

зниження бітового об'єму (ЗБО), а з іншого боку рівнем візуальних оцінок по сприйняттю реконструюємих відеознімків (СРВ);

2) по-друге, реалізується формування кінцевих кодових конструкцій для проміжних складових, які використовуватимуться в процесі пакетування і передачі в телекомунікаційних мережах.

Розглянемо реалізацію третього методологічного базису для запропонованих підходів відносно обробки відеознімків.

Третій методологічний базис для запропонованого підходу по обробки відеознімків наповнюється наступними особливостями:

1) для досягнення балансу між рівнями ЗБО і візуальних оцінок СРВ використовуються такі параметри: показник $\delta^{(glob)}$ глобальній чутливості відхилення значень елементів області когерентності і показник $\delta^{(loc)}$ локальній незначущості елементів ОКГ. Ці показники створюють можливість з одного боку для збільшення довжини області когерентності і кількості незначущих елементів в них, а з іншого боку - збереження значимої інформації на поточній ділянці відеознімку про структурні деталі;

2) формується технологія кодування масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$ з урахуванням виявлених структурних закономірностей для найбільшого скорочення відповідних типів надмірності в умовах уникнення додаткового зростання службових даних.

4. Четвертий базис визначає взаємне компонування ключових складових відеознімку по сукупності значимих когерентності в кодограмах кінцевого представлення.

Розглянемо реалізацію четвертого методологічного базису для запропонованих підходів відносно обробки відеознімків.

Цей базис дозволяє за рахунок ефективного розміщення кодових описів ключових складових зображення отримати додаткового зниження бітового об'єму без пониження рівня візуальних оцінок СРВ. При цьому необхідно

враховувати особливості формування кодових слів для масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$, отриманих в процесі реалізації методології третього базису.

В процесі побудови **методу компоювання ключових складових відеознімку (ККСВ) пропонується** враховувати наступне.

1. Будувати кінцевий кодовий опис за принципом заданої $V_{\text{нес}}$ рівномірної довжини. Для такої умови з'являється можливість спростити кодовий інтерфейс між протоколами машинної обробки і підготовкою для передачі в телекомунікаційних мережах. Наприклад, в якості величини $V_{\text{нес}}$ допускається вибрати величину $V_{\text{проє}}$, кратну розмірам машинних кодів з урахуванням платформи апаратно-програмної реалізації.

2. Компоювання ключових складових відеознімку **пропонується** здійснювати на основі інтеграції кодових конструкцій нерівномірною лінійно-масштабуючою складовою в кодові слова значимих координатно-яскравісних складових. Тут таку інтеграцію **пропонується** проводити шляхом заповнення кодових конструкцій значимих елементів областей когерентності **сегментами** кодових слів, отриманих для сукупності довжин ОКГ (рис. 3.1). Для такого варіанту компоювання ключових складових забезпечується:

1) можливість розподілу сегментів кодових слів масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ для найбільшої кількості кодових конструкцій масивів $G_{m,k}^{(u)}$, що пояснюється:

– по-перше, меншою кількістю елементів масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ відносно масиву $G_{m,k}^{(u)}$ в умовах їх фізичного сполучення, тобто ці масиви будуються для відповідних сукупностей областей когерентності. Дійсно, для однієї ОКГ може формуватися декілька значимих елементів, тобто $R_{\xi}'' \geq 1$;

– по-друге, тим, що в загальному випадку динамічний діапазон $w(R)_i$ довжин областей когерентності буде меншим, ніж динамічний діапазон $w(g)_i$ її значимих елементів $w(R)_i < w(g)_i$.

Означає кількість кодів для масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ буде меншим чим кількість кодів, що формуються для масиву $G_{m,k}^{(u)}$.

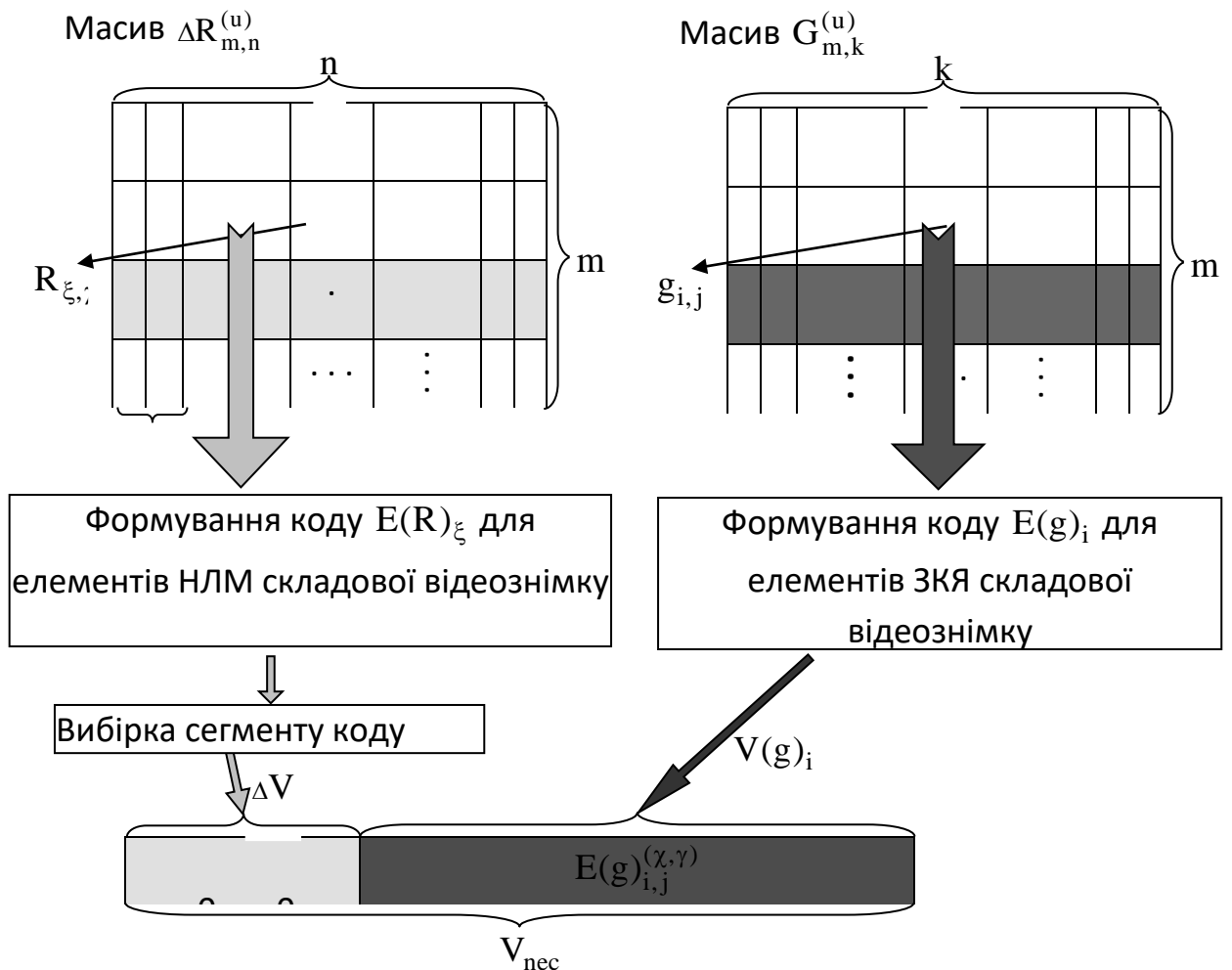


Рис. 3.1. - Схема формування заповненої кодової конструкції для елементів масивів

$$\Delta R_{m,n}^{(u)} \text{ і } G_{m,k}^{(u)}$$

2. Додаткове скорочення *локальної* кодової надмірності, обумовленої наявністю незначущих старших біт, що мають нульові значення у базовій кодовій конструкції, сформованій на основі коду $E(g)_i$ для значимих елементів областей когерентності масивів $G_{m,k}^{(u)}$. Це досягається шляхом розміщення сегменту ΔV кодового слова, що містить значення коду $E(R)_i$ елементів масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ довжин ОКГ, в процесі формування *заповненої кодової конструкції* (ЗКК).

Наявність незначущих старших біт для кодового слова, що містить значення $E(g)_i$, обумовлено: з одного боку умовою побудови рівномірних кодограм; з іншого боку нерівномірністю значень значимих елементів області когерентності. Тоді виконується нерівність

$$V(g)_i = (\lceil \log_2 E(g)_i \rceil + 1) < V_{\text{нec}}, \quad (3.1)$$

що вказує на наявність локальної кодової надмірності.

Тут $E(g)_i$ – значення кодового опису для елементів i -го рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$; $V(g)_i$ – кількість біт на представлення величини $E(g)_i$ у режимі рівномірного кодоопису; $V_{\text{нec}}$ – задана кількість біт.

Відповідно до виразу (3.1) кількість ΔV кодовій надмірності оцінюється по формулі:

$$\Delta V = V_{\text{нec}} - V(g)_i, \quad (3.2)$$

Зрозуміло, що усунення такої надмірності дозволить додатково понизити бітовий об'єм.

3. Компонувальне розміщення кодових представлень двох ключових складових відеознімку дозволяє спростити процес їх реконструкції. Це пояснюється тим, що заповнені кодові конструкції міститимуть одночасно усю інформацію, необхідну для відновлення цілої ділянки зображення.

На основі викладеного матеріалу можна зробити висновок, що:

- сформований методологічний базис відносно взаємного розміщення двох ключових складових відеознімку в одній кодовій конструкції. На базі чого створений метод компонентування ключових складових відеознімку, який базується на наступних відмітних особливостях :

- рівномірного кодоопису, що дозволяє спростити кодовий інтерфейс між протоколами машинної обробки і підготовкою для передачі в телекомунікаційних мережах;

- інтеграції кодових конструкцій нерівномірною лінійно-масштабуючою складовою в кодові слова значимих координатно-яскравісних складових на основі заповнення кодових конструкцій значимих елементів областей когерентності *сегментами* кодових слів, отриманих для сукупності довжин ОКГ.

Тут формуються заповнені кодові конструкції (ЗКК) шляхом розміщення сегменту кодового слова, що містить значення коду елементів масиву довжин ОКГ, в кодовій конструкції, що містять інформацію про кодове значення для рядків масивів значимих елементів сукупності ОКГ.

Це забезпечує:

- розподіли сегментів кодових слів масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ для найбільшої кількості кодових конструкцій масивів $G_{m,k}^{(u)}$,

- додаткове скорочення *локальної* кодової надмірності, обумовленої наявністю незначущих старших біт, що мають нульові значення у базовій кодовій конструкції, сформованій на основі коду $E(g)_i$ для значимих елементів областей когерентності масивів $G_{m,k}^{(u)}$.

- спростити процес реконструкції відеознімку і зниження кількості операцій на обробку.

Створений метод компонування ключових складових відеознімку в процесі виявлення і кодового опису параметрів областей когерентності дозволяє додатково понизити бітовий об'єм без пониження рівня візуальних оцінок по сприйняттю реконструюємих зображень. Проте для побудови цього методу вимагається реалізувати третій методологічний базис, а саме розробити методи кодування масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$. Це власне і дозволить отримати кодові слова для подальшого їх спільного розміщення шляхом заповнення незначущих біт.

У зв'язку з чим, необхідно розробити методи кодування такою, що нерівномірною, що лінійно-масштабує і значимою координатно-яскравісною складових відеознімку.

3.2. Розробка методу кодування значимої координатно-яскравісної складової відеознімку

Процес кодування масивів $G_{m,k}^{(u)}$ *пропонується* проводити у напрямі рядків. Це дозволяє одночасно врахувати не лише обмеження на амплітуди значень значимих елементів ОКГ $g_{1,1} \leq w(g)_1 = g_{\max} + 1$ (умова (2.33)), але і локальні і глобальні обмеження на нерівність суміжних елементів $g_j \neq g_\chi$, $j, \chi = \overline{1, k}$ (умова (2.29)).

Вимагається враховувати, що по умові виявлення і регресійного опису областей когерентності відеознімку допускається, що ОКГ містить значимі елементи з позиції локального показника $\delta^{(loc)}$ чутливості. Тоді передбачається зниження рівня візуальних оцінок СРВ. Такі спотворення можуть поширюватися в процесі реконструкції в межах, обмежених областю когерентності. Проте, якщо такі області мають значну довжину, то можливий варіант, коли такі корекції будуть візуально помітними. Значить, для локалізації таких наслідків необхідно проводити подальшу обробку значимих елементів ОКГ без внесення помилок.

З урахуванням чого, процес кодування *пропонується* організувати, розглядаючи рядки G_i масивів $G_{m,k}^{(u)}$, $u = \overline{1, U}$ як числа, для елементів яких виконуються умови (2.29) і (2.33), тобто як структурні позиційні числа з глобальною і локальною нерівністю сусідніх елементів (СПЧ ГЛН).

Для такого підходу процес формування кодового опису *пропонується* проводити на базі побудови кодових конструкцій для позиційних чисел.

Побудова кодового опису для СПЧ ГЛН чисел організовується двома етапами.

Перший етап полягає у визначенні значення кодового опису рядка G_i , враховуючи тільки обмеження (2.33) на динамічний діапазон $w(g)$ елементів масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимій координатно-яскравісній складовій відеознімку;

Другий етап використовується для отримання кодового опису з додатковим обліком обмеження (2.29) на нерівність суміжних елементів в рядках G_i .

Розглянемо перший етап процесу кодування. Кодування позиційних чисел як рядків масивів $G_{m,k}^{(u)}$ задається наступним виразом [__ __]:

$$E(g)_i = \sum_{j=1}^k g_{i,j} Q(g)_j,$$

де $Q(g)_j$ – ваговий коефіцієнт j -го елементу структурного позиційного числа G_k ; $g_{i,j}$ – $(i;j)$ - й елемент масиву $G_{m,k}^{(u)}$; k - кількість елементів в рядку G_i .

Оскільки динамічний діапазон для елементів масиву значимої координатно-яскравісної складової рівний $w(g)$, то відповідний ваговий коефіцієнт визначатиметься по формулі:

$$Q(g)_j = w(g)^{k-j}.$$

Внаслідок чого значення $E(g)_i$ кодового опису структурного позиційного числа G_i буде знаходитися з використанням такого виразу:

$$E(g)_i = \sum_{j=1}^k g_{i,j} w(g)^{k-j}. \quad (3.3)$$

Вираз (3.3) дозволяє вчислити значення кодового опису $E(g)_i$ для рядка G_i масиву значимої координатно-яскравісної складової без урахування умови нерівності сусідніх елементів. Ця умова враховується на другому етапі побудови співвідношення для формування коду.

На другому етапі додатково враховується умова (2.29), тобто умова глобальної і локальної нерівності елементів в рядках масиву $G_{m,k}^{(u)}$, тобто $g_j \neq g_\chi$, $j, \chi = \overline{1, k}$.

У разі, коли кодове значення $E(g)_i$ обчислюється з використанням формули (3.3), то дозволеними комбінаціями рядка G_i масиву значимих елементів ОКГ будуть послідовності (рядки), для яких допускається рівність як мінімум для однієї пари сусідніх елементів, тобто:

$$g_{i,j} = g_{i,j+1}. \quad (3.4)$$

Тому в процесі визначення кодового значення $E(g)_i$ для структурних позиційних чисел з урахуванням глобальної і локальної нерівності суміжних елементів, вимагається виключити усі комбінації, які містять в собі як мінімум одну пару, для суміжних елементів яких виконується рівність (3.4), тобто вимагається виключити випадки, коли сусідні елементи дорівнюватимуть один одному.

Розглянемо j -й крок процесу кодування i -го рядку масиву $G_{m,k}^{(u)}$, тобто коли оброблені перші $(j-1)$ елементи, $g_{i,\chi}$, $\chi = \overline{1, j-1}$. Тут кількість λ_j не оброблених елементів поточного рядка G_i , включаючи j -й елемент, обчислюватиметься за формулою:

$$\lambda_j = (k - j + 1),$$

де k – довжина рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимих елементів сукупності областей когерентності.

При цьому необроблені елементи надалі розглядатимуться як молодші відносно раніше оброблених.

Для конкретизації введемо послідовність $G(j)_i$, яка є частиною рядка G_i , і складається з λ_j елементів необроблених елементів, тобто:

$$G(j)_i = \{g_{i,j}; \dots; g_{i,\chi}; \dots; g_{i,k}\}, \chi = \overline{j, k}.$$

Далі для набуття значення вагових коефіцієнтів розглядатимемо послідовність $G(j)_i$ з двох аспектів.

Перший аспект полягає у визначенні кількості $Q(g_{i,j-1})$ допустимих послідовностей, тобто елементи яких задовольняють умовам (2.29) і (2.33), але які розпочинаються з елемента $g_{i,j-1}$. Причому тут кількість заборонених елементів, тобто для яких виконується рівність значень, на j -й позиції буде рівне **1**. Тоді як, для інших $(\lambda_j - 1)$ -го елементів умови обмеження на динамічний діапазон і на нерівність значень суміжних елементів виконуватимуться. Тоді, оскільки по умові кодування молодші $(\lambda_j - 1)$ елементів є елементами структурного позиційного числа G_i з динамічним діапазоном, рівним $w(g)$, то кількість $Q(g_{i,j-1})$ таких допустимих чисел знаходиться з використанням співвідношення:

$$Q(g_{i,j-1}) = 1 \times (w(g) - 1)^{k-j}, \quad (3.5)$$

де $(w(g) - 1)^{k-j}$ – кількість послідовностей (довжиною рівною $(\lambda_j - 1)$), елементи яких задовольняють обмеженням на динамічний діапазон і нерівність сусідніх елементів, тобто одночасно умовам (2.29) і (2.33). З другого аспекту розглянемо кількість заборонених послідовностей, які передують поточною. Тут величина $Q(g_{i,j-1})$ також дозволяє визначити кількість $Q(g'_{i,j} = g_{i,j-1})$ заборонених послідовностей, складених з λ_j елементів, передуючих кодованій послідовності $G(j)_i$, $g'_{i,j}$ – допоміжний елемент попередньої послідовності. З урахуванням чого, отримуємо, що умова $g'_{i,j} = g_{i,j-1}$ можливо тоді і тільки тоді, коли виконується співвідношення:

$$g_{i,j-1} < g_{i,j}. \quad (3.6)$$

Інакше, коли $g_{i,j-1} > g_{i,j}$, і враховуючи, що за визначенням значимих ОКГ виключається випадок $g_{i,j-1} = g_{i,j}$, то завжди буде виконуватися нерівність $g'_{i,j} < g_{i,j-1}$.

Тоді використовуючи співвідношення для обчислення кодового значення рядка G_i масиву значимих елементів областей когерентностей, що розглядається як структурне позиційне число з глобальною і локальною нерівністю між значеннями сусідніх елементів, задаватиметься таким видом:

$$E(g)_i = \sum_{j=1}^k Q(g)_i^{(j)}. \quad (3.7)$$

На початковому етапі обробки для елемента $g_{1,1}$ в якості попереднього елемента g_0 вибирається значення $w(g)$, рівне динамічному діапазону масиву значимої координатно-яскравісної складової, тобто

$$g_0 = w(g). \quad (3.8)$$

Такий вибір обумовлений тим, що по-перше, на значення елементів, передуючих елементу $g_{1,1}$ не накладаються обмеження відносно нульового елемента. По-друге, вибір умови (3.8) дозволяє виконати умови нерівності $g_0 = w(g) > g_{1,1}$.

Отримане кодове значення $E(g)_i$ має двохієрархічну структуру. Це пояснюється тим, що воно формується для декількох областей когерентності (верхній рівень ієрархії), кожна з яких у свою чергу описується декількома значимими елементами (нижній рівень ієрархії). Причому кількість таких елементів визначається показником $\delta^{(loc)}$ локальній чутливості. Тоді таке

кодове значення $E(\delta^{(loc)}; g)_i$ з позиції двох ієрархій і залежності від величини $\delta^{(loc)}$, можна визначити таким чином:

$$E(\delta^{(loc)}; g)_i = \sum_{\xi=1}^{v_{ok}} \sum_{r=1}^{R_{\xi}''} Q(\delta^{(loc)}; g)_{i,\xi}^{(r)}. \quad (3.9)$$

Тут v_{ok} – кількість значимих областей когерентності в рядку; R_{ξ}'' – кількість значимих елементів в ξ -й області когерентності; $Q(\delta^{(loc)}; g)_{i,\xi}^{(r)}$ – ваговий коефіцієнт для $(\gamma+r)$ -го значимого елемента ξ -й області когерентності, структурованої в i -му рядку масиву $G_{m,k}^{(u)}$.

Зрозуміло, що виконується умова

$$k = \sum_{\xi=1}^{v_{ok}} R_{\xi}''.$$

У окремих випадках, а саме, коли показник $\delta^{(loc)}$ чутливості вибирається рівним:

- $\delta^{(loc)} = 0$, отримуємо, що кількість незначущих елементів відсутня, і на обробку поступають усі елементи виявленої області когерентності. Тут психовізуальна надмірність не скорочується;

- $\delta^{(loc)} = \delta^{(glob)}$, тобто показники глобальної і локальної чутливості вирівнюються. В цьому випадку уся область когерентності апроксимується

однією величиною, наприклад середнім значенням \bar{x}_{ξ} , $\bar{x}_{\xi} = (\sum_{r=0}^{R_{\xi}-1} x_{\xi,\gamma+r}) / R_{\xi}$.

Відповідно формування кодового значення $E(\delta^{(loc)}; g)_i$ здійснюватиметься по одному рівню ієрархії.

Співвідношення (3.8) набере такого вигляду:

$$E(\delta^{(loc)}; g)_i = \sum_{\xi=1}^{v_{ok}=n} Q(\delta^{(loc)}; g)_i^{(\xi)}.$$

Для такого варіанту досягається з одного боку найбільше зниження бітового об'єму, але з іншого боку найбільше зниження рівня візуальної оцінки СРВ.

У разі обробки усього масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимих елементів областей когерентності, тобто формування кодових значень для усіх його рядків на базі співвідношення (3.7), формується послідовність $E^{(u)}$ кодових значень, а саме: $E^{(u)} = \{E(\delta^{(loc)}; g)_1; \dots; E(\delta^{(loc)}; g)_i; \dots; E(\delta^{(loc)}; g)_m\}$.

Значить, вирази (3.6) - (3.7) забезпечують формування кодових значень для рядків масиву значимої координатно-яскравісної складової відеознімку, що є структурними позиційними числами з глобальною і локальною властивістю нерівності між значеннями сусідніх елементів, тобто коли виконуються умови (2.29) і (2.33).

В цьому випадку в результаті виключення заборонених послідовностей, які допускають зміст елементів з рівними значеннями (тобто що суперечить правилу побудови значимих областей когерентності), досягається усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок. Причому це виконується навіть у випадках, коли значення незначущих елементів ОКГ прагнуть до рівня верхнього амплітудного значення, тобто: $g_{i,j} \rightarrow w(g)$.

Розглянемо приклад формування кодового значення $E(g)_i$ для СПЧ ГЛН чисел.

Приклад 3.1. Обчислення кодового значення для рядка масиву апроксимуючих величин. Розглянемо рядок G_i з розміром $k = 4$, а саме:

$$G_i = \{17; 25; 15; 20\}.$$

Проведемо пониження динамічного діапазону. Величина $g_{\min} = 15$. Тоді отримаємо

$$G'_i = \{2; 8; 0; 5\}.$$

Тут величина динамічного діапазону буде рівна $w(g) = 9$. Процес обчислення кодового значення $E(g)_i$ включатиме такі етапи:

Етап 1. Показуємо, що виконується нерівність $g_0 = w(g) = 9 > g_{i,1} = 2$.

Величина вагового коефіцієнта $Q(g)_i^{(1)}$ елементу $h_{i,1}$ відповідно буде рівна

$$(w(g))^{(k-1)} = 8^3 = 512.$$

Етап 2. На цьому етапі виконується нерівність $g_{i,2} = 8 > g_{i,1} = 2$.

Величина вагового коефіцієнта $Q(g)_i^{(2)}$ елементу $g_{i,2}$ буде визначатися як:

$$w(g)^{(k-2)} = 8^2 = 64.$$

Етап 3. Тут виконується нерівність $g_{i,3} = 0 < g_{i,2} = 8$. Отже $g_{i,3} = 0$, а величина відповідного вагового коефіцієнта $Q(g)_i^{(3)}$ елементу $g_{i,3}$ обчислюється за формулою:

$$w(g)^{(k-3)} = 8^1 = 8.$$

Етап 4. На завершальному етапі виконується нерівність $g_{i,3} = 0 < g_{i,4} = 5$. Тоді величина вагового коефіцієнта $Q(g)_i^{(4)}$ знаходиться як

$$w(g)^{(k-4)} = 8^0 = 1.$$

Після чого, з використанням виразу (3.7) кодове значення $E(g)_i$ рядку G_i буде рівне

$$E(g)_i = g_{i,1} 512 + g_{i,2} 64 + g_{i,3} 8 + g_{i,4} = 1024 + 448 + 0 + 4 = 1476.$$

На представлення такого кодового значення вимагається витратити 11 біт. Тоді як на представлення рядка початкового масиву значимої координатно-яскравісної складової необхідно витратити 20 біт. Звідси витікає, що рівень зниження бітового об'єму досягає 2 разів.

Розглянемо властивості структурного позиційного представлення рядків масиву значимих елементів областей когерентності.

Твердження 3.1. Верхньою межею коду $E(g)_i$ для рядка G_i масиву $G_{m,k}^{(u)}$ є величина $Q(G)_i$, рівна накопиченому добутку $(w(g)-1)^{(n)}$ основ елементів структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень суміжних елементів, а саме:

$$E(g)_i < Q(G)_i = (w(g)-1)^{(k)}, \quad (3.10)$$

де $(w(g)-1)^{(k)}$ – кількість структурних позиційних чисел з глобальною і локальною нерівністю значень суміжних елементів, що мають наступні параметри: динамічний діапазон рівний $w(g)$, довжина числа рівна k .

Дійсно, згідно з виразом (3.7), максимального значення яке може набувати величина $Q(g)_i^{(j)}$ знаходиться таким чином:

$$Q(g)_i^{(j)} \leq (w(g)-2)(w(g)-1)^{(k-j)} = (w(g)-1)^{(k-j+1)} - 1.$$

Звідки для $j = 1$, отримаємо нерівність (3.10).

Означає твердження 3.1 виконується.

Відповідно кількість $\log_2 E(g)_i$ біт, яке необхідно витратити на кодове представлення величини $E(g)_i$, буде обмежено згори величиною $V(g)_i$, а саме:

$$\log_2 E(g)_i \leq V(g)_i = \log_2 (w(g)-1)^k = k \log_2 (w(g)-1). \quad (3.11)$$

Співвідношення (3.11) забезпечує визначення верхньої межі витрат кількості біт на представлення кодового значення для СПЧ ГЛН з параметрами $w(g)$ і k .

За викладеним матеріалом можна зробити висновок про наступне.

1. Розроблений метод кодування значимої координатно-яскравісної складової відеознімку на основі її представлення у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Відмітні моменти полягають в тому, що враховується; двоєрархічна схема формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації по виключенню елементів з рівними значеннями; значення показника локальної чутливості що визначає плаваючу кількість значимих елементів ОКГ. В цьому випадку в результаті виключення заборонених послідовностей, які допускають зміст елементів з рівними значеннями (тобто що суперечить правилу побудови значимих областей когерентності), досягається усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок. При цьому така обробка забезпечує збереження рівня візуальної оцінки СРВ.

2. Обґрунтовано співвідношення для оцінки верхнього рівня кількості біт, яка витрачається на представлення кодового значення рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової відеознімку.

3.3. Створення методу компонування ключових складових обробки відеоданих на основі інтеграції їх кодових конструкцій

Базове кодове значення $E(\delta^{(loc)}; g)_i$ для нарощуваної (заповнюваною) кодової конструкції $Z(g; R)_u$ формується для елементів рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$, які у свою чергу інтерпретуються як структурні позиційні числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів.

Відповідно до четвертого методологічного базису на кодовий опис величини $E(\delta^{(loc)}; g)_i$ використовується рівномірна кількість біт, рівна $V_{\text{нес}}$.

У теж час максимальна кількість $V(g)_i$ біт, яке відводиться на представлення величини $E(\delta^{(loc)}; g)_i$ визначається на основі умови (3.11). Внаслідок чого отримуємо такий вираз для величини $V(g)_i$:

$$V(g)_i = [k \log_2(w(g) - 1)] + 1 \text{ (біт)}. \quad (3.12)$$

При цьому в загальному випадку виконується наступна нерівність:

$$V(g)_i < V_{\text{нec}}, \quad (3.13)$$

Тоді утворюється кількість ΔV кодовій надмірності, і відповідно існують старші біти кодового опису, які мають нульове значення, тобто:

$$\Delta V = V_{\text{нec}} - V(g)_i > 0. \quad (3.14)$$

Для скорочення такої надмірності **пропонується** заповнювати (наращувати) базову кодограму шляхом інтеграції сегменту $\Delta_u V(R)_c$ кодограми, отриманої для рядка G_i масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимій координатно-яскравісній складовій відеознімку (рис. 3.1).

Незначущі (надмірні) біти базового кодового слова **пропонується** заповнювати бітами сегменту кодовій комбінації, що містить значення $E(R)_i$ для рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ довжин областей когерентності (нерівномірна лінійно-масштабуюча складова відеознімку).

Кодограма кодового представлення рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ містить в собі значення коду $E(R)_i$, отриманого для його i -го рядка, що розглядається як усічене структурне позиційне (УСП) число. Довжина $V(R)_i$ такої кодограми визначається відповідно до умови, що описує властивість верхнього порогу для кодових значень $E(R)_i$, а саме:

$$\log_2 E(R)_i \leq V(R)_i = \log_2 w(R)_i^n = n \log_2 (w(R)_i - 1). \quad (3.15)$$

Тут величина кодового значення $E(R)_i$ для i -го рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ з урахуванням системи $W(R)$ основ, $W(R) = \{w(R)_1; \dots; w(R)_i; \dots; w(R)_m\}$ знаходиться по формулі

$$E(R)_i = \sum_{j=1}^n (\Delta R_{i,j}'' w(R)_i^{n-j}); \quad (3.16)$$

$$0 \leq \Delta R_{i,j}'' \leq w(R)_i, \quad i = \overline{1, m},$$

З урахуванням чого, величина $V(R)_i$ оцінюватиметься таким чином:

$$V(R)_i = [n \log_2 (w(R)_i - 1)] + 1 \text{ (біт)}. \quad (3.17)$$

Величина $V(R)_i$ являє собою довжину кодограми, що містить значення $E(R)_i$, і залежить від системи $W(R)$ основ усіченого структурно-позиційного базису. Означає значення $V(R)_i$ є рівномірним, як мінімум, в межах масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$. В цьому випадку з'являється можливість здійснювати контрольовану сегментацію кодограми рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$. Процес сегментації кодограми УСП числа наведено на рис. 3.2.

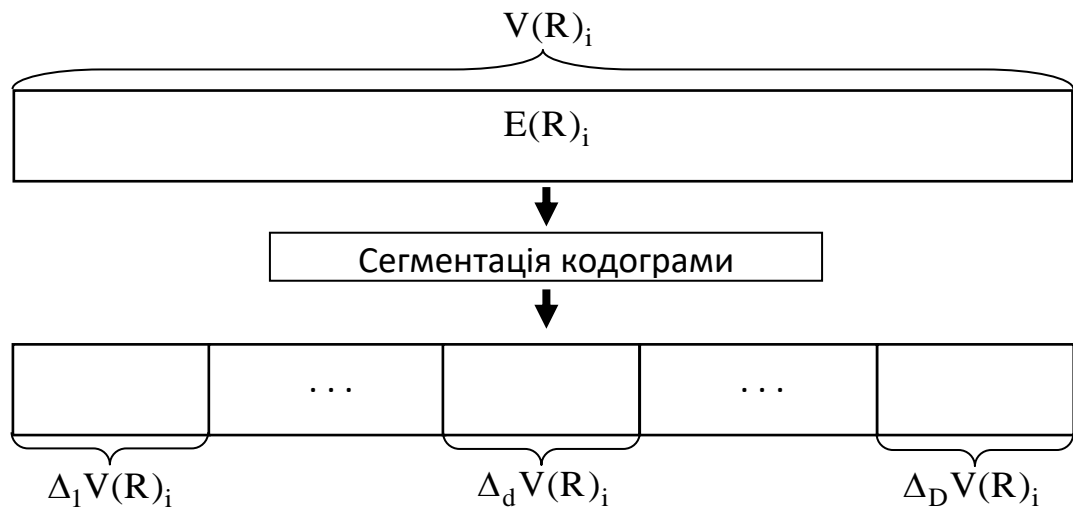


Рис. 3.2. Схема сегментації кодограми $V(R)_i$

Довжина $\Delta_d V(R)_i$ кожного такого сегменту залежить від кількості незначущих (нульових) біт у відповідній d -й базовій кодовій конструкції, до якої вона інтегрується.

Кодограма i -го масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ в результаті після сегментації розподілятиметься по базових кодових конструкціях. В цьому випадку існує можливість формувати довжину кодограми рядка нерівномірної лінійно-масштабуючої складової відеознімку не з розрахунку заданої довжини коду, а з використанням кількості біт, яка витрачається на представлення максимального допустимого кодового значення $E(R)_i$ УСП числа.

Тоді виконується нерівність

$$V(R)_i < V_{\text{нес}},$$

тобто довжина кодограми буде меншою, ніж задана довжина машинного слова. Це дозволяє скоротити кількість сегментів, які необхідно розподілити по базових кодових конструкціях.

Для визначення довжини $\Delta_d V(R)_i$ інтегрованого d -го сегменту вимагається вчислити довжину ΔV послідовності старших незначущих біт у базовій кодограмі. Тут використовується виразу (3.14).

Після чого, якщо виконується нерівність (3.13), то проводиться інтеграція відповідного сегменту $\Delta_d V(R)_i$ з необхідною довжиною.

Тоді величина $\Delta V'$ визначатиметься двома складовими, а саме: включає складову визначувану як кодова надмірність, тобто ΔV і власне компоненту рівну різниці $(V(g)_d - V'(g)_d)$ і що інтерпретується як кількість незначущих біт в кодовому описі значення $E(\delta^{(\text{loc})}; g)_d$ відносно кількості біт, яка відводиться на представлення величини $Q(g)_d$. Зрозуміло, що виконується умова

$$\Delta V \leq \Delta V'.$$

Тоді, у випадку визначення довжини $\Delta_d V(R)_i$ сегменту кодограми кодового значення $E(R)_i$ відповідно до величиною $\Delta V'$ досягається додаткове зниження бітового об'єму відеознімку. У теж час для такого варіанту необхідно додатково використати службову інформацію про різницю між величинами $(\Delta V' - \Delta V)$. Такі відомості потрібні для встановлення позицій розподілюваних сегментів кодограми рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$.

Структурно-функціональна схема методу побудови кодової конструкції для компонування значимою координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових відеознімку в умовах заданої довжини машинного слова $V_{\text{нес}}$ представлена на рис. 3.3.

Значить, розроблений метод формування компонування кодових конструкцій ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності.

Додаткове зниження бітового об'єму досягається за рахунок усунення кодової надмірності і обмеження довжини розподілюваної кодограми кількістю біт потрібних для представлення максимального значення коду усіченого структурно-позиційного числа.

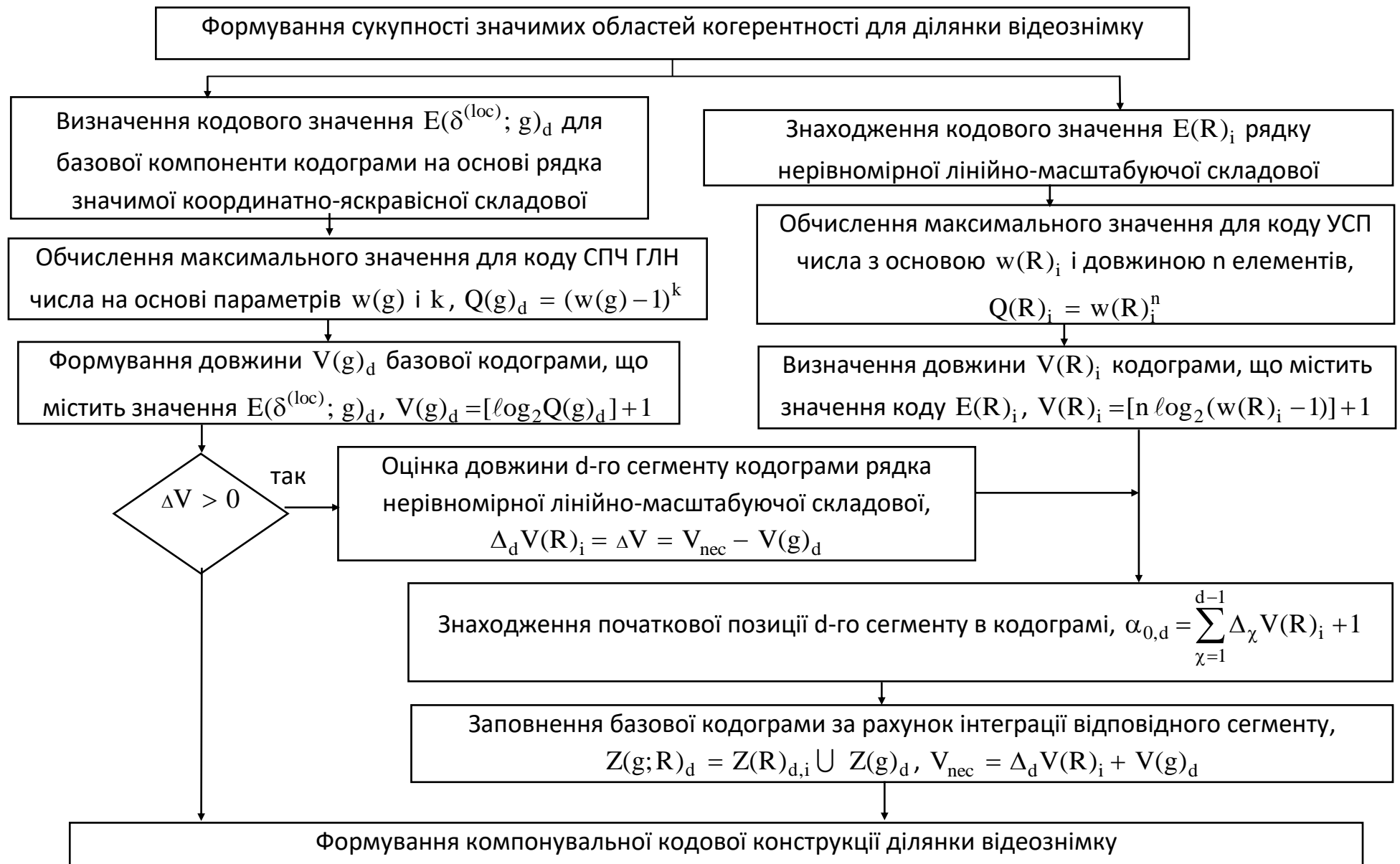


Рис. 3.3. Структурно-аналітична схема методу формування компонентувальної кодової конструкції

3.4. Побудова методу реконструкції відеоданих шляхом декомпозиції компонувальних кодових конструкцій

Процес реконструкції відеознімків в умовах досягнення заданого рівня візуальних оцінок СРВ (заданої вимоги по достовірності інформації) необхідно організовувати з урахуванням закладених методологічних базисів. Тут вимагається враховувати, що структура кодового представлення відеознімку будується у вигляді компонувальної кодової конструкції $Z(g; R)_d$, що включає інформацію про кодові значення $E(\delta^{(loc)}; g)_d$ значимої координатно-яскравісної і $E(R)_i$ нерівномірної лінійно-масштабуючої складових. Основна особливість, якій полягає в нерівномірності значимої довжини базової кодограми і сегменту, що додається $\Delta_d V(R)_i$ кодограми, що містить кодове значення $E(R)_i$.

Тут кодові представлення для [13; 74 – 76; 101; 122]:

- значимою координатно-яскравісною складовою відеознімку забезпечується в результаті формування кодового значення $E(\delta^{(loc)}; g)_d$ для їх рядків G_d , що інтерпретуються як структурні позиційні числа з глобальною і локальною нерівністю між значеннями сусідніх елементів;

- нерівномірною лінійно-масштабуючою (НЛМ) складовою відеознімку будується на основі визначення кодового значення $E(R)_i$ для їх рядків, що представляються у вигляді усічених структурно-позиційних чисел.

У зв'язку з чим, на *першому етапі* відновлення відеознімків вимагається отримати службові дані. Службовими даними є: основа $w(g)$ СПЧ ГЛН числа і вектор $W(R)$ основ УСПП числа, $W(R) = \{w(R)_i\}$, $i = \overline{1, m}$. Для отримання вектору $W(R)$ використовується інформація про послідовність максимальних значень $\Delta R''_{\max, i}$ у рядках масиву НЛМ складової і мінімальне значення в масиві $R''_{\min, i}$. З урахуванням чого $w(R)_i = \Delta R''_{\max, i} - R''_{\min, i} + 1$ (рис. 3.4).

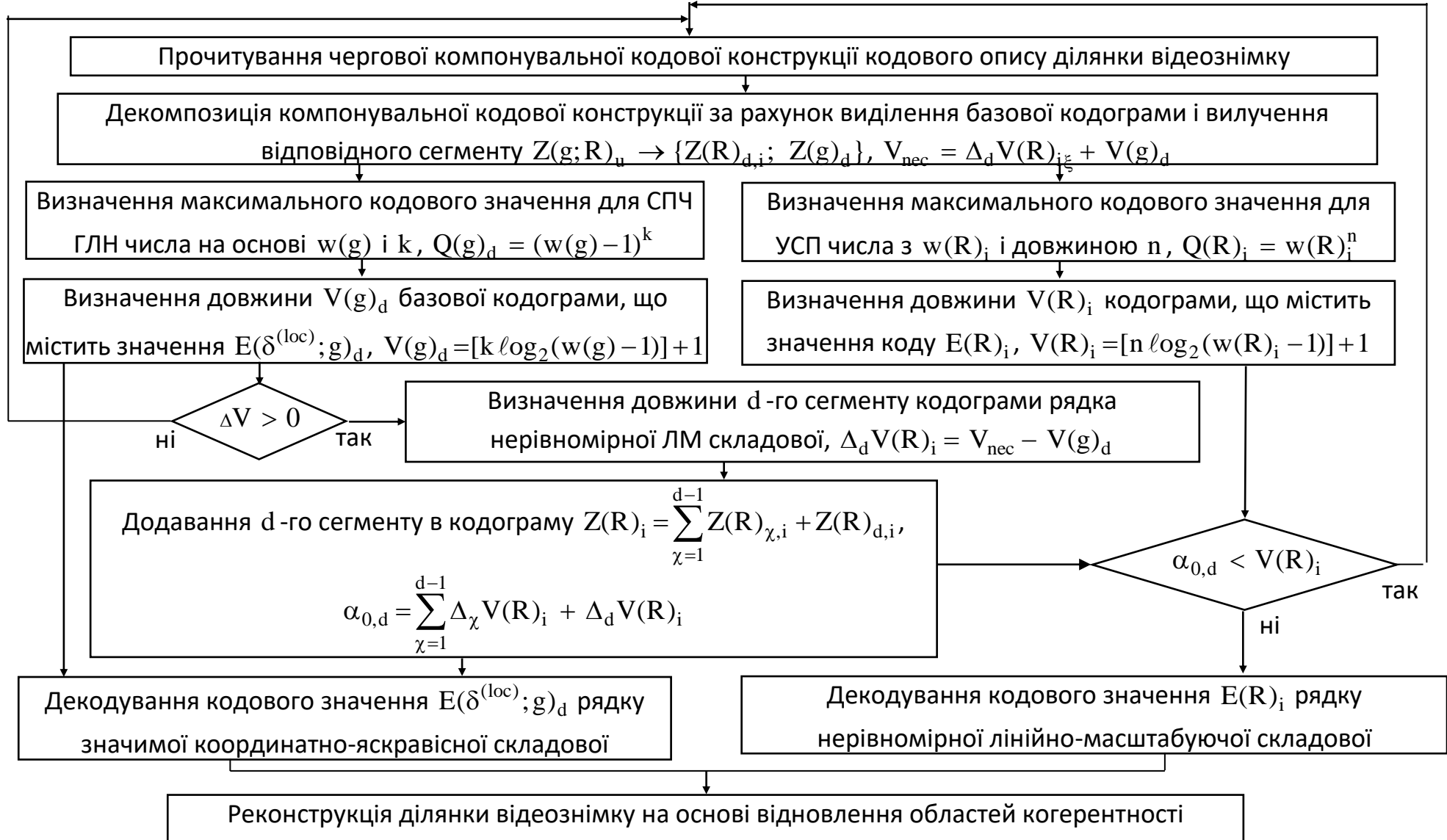


Рисунок 3.4. Структурно-аналітична схема реконструкції відеознімку на основі декомпозиції компонентувальної кодової конструкції

Другий етап методу реконструкції полягає в декомпозиції компонуваної кодової конструкції (ККК). Така дія задається наступним виразом:

$$Z(g; R)_u \rightarrow \{Z(R)_{d,i}; Z(g)_d\}.$$

Додатковими даними тут є довжина $V_{\text{нес}}$ для ЗКК, основа СПЧ ГЛН числа i вектор основ УСП числа. Тоді декомпозиція включатиме такі етапи (рис. 3.4):

1) визначення довжини $V(g)_d$ базової кодограми. Ця величина знаходиться на основі визначення кількості $([k \log_2(w(g) - 1)] + 1)$ біт, яке витрачається на представлення максимального кодового значення для структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів, довжиною рівною k . Для цього використовується наступний вираз:

$$V(g)_d = [k \log_2(w(g) - 1)] + 1 \text{ (біт);}$$

Наявність інформації про довжину $V(g)_d$ базової кодограми забезпечує виділення значимих молодших біт компонуваної кодової конструкції, які відводяться на представлення базової кодограми (рис. 3.5).

2) визначення кількості $\Delta_d V(R)_i$ біт, яке необхідно витратити на представлення d -го сегменту кодограми для рядка нерівномірної лінійно-масштабуючої складової.

Якщо виконується рівність $V_{\text{нес}} - V(g)_d = 0$, то виявлення сегменту кодограми $Z(R)_i$ буде проводитися для наступної компонуваної кодової конструкції.

У разі, коли існує надмірна кількість біт, тобто $V_{\text{нес}} - V(g)_d > 0$, то виявлений сегмент додається до поточної реконструйованої частини розподілюваної кодограми НЛМ складової (рис. 3.6).

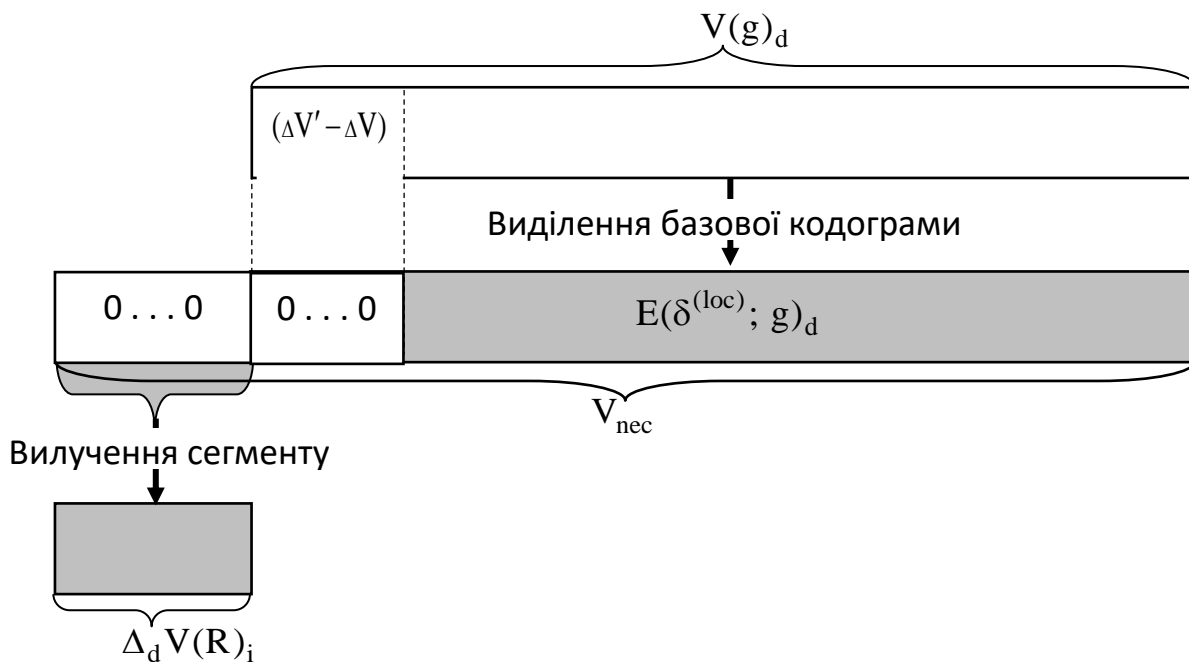


Рис. 3.5. Схема декомпозиції компоувальної кодової конструкції

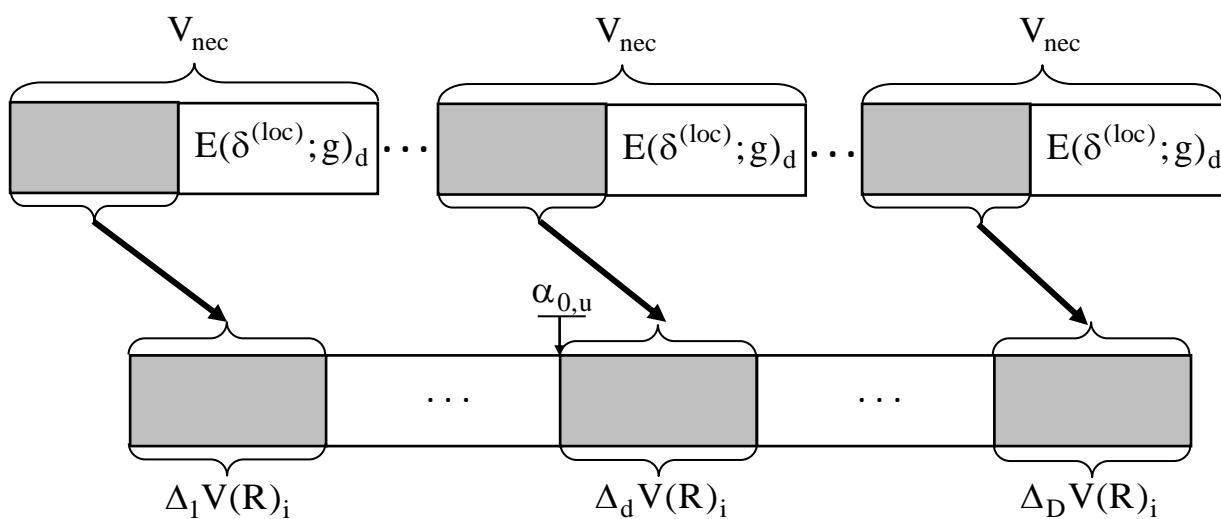


Рис. 3.6. Схема складання кодограми (десегментація), нерівномірної лінійно-масштабуючої складової

Тоді довжина $V(R)_{d,i}$ кодограми з урахуванням доданого d -го сегменту $\Delta_d V(R)_i$ буде визначатися по формулі:

$$V(R)_{d,i} = \sum_{\chi=1}^{d-1} \Delta_{\chi} V(R)_i + \Delta_d V(R)_i.$$

При цьому тут залежно від заповнення поточної кодограми можливі два варіанти.

Перший варіант, настає тоді, коли десегментована кодограма заповнена повністю, тобто

$$V(R)_{d,i} = V(R)_i.$$

В цьому випадку процес її формування закінчується. Після чого виконується черговий етап реконструкції відеознімку, а саме декодування кодового значення $E(R)_i$ усіченого структурно-позиційного числа.

Другий варіант, відповідає випадку, коли кодограма заповнена неповністю, тобто виконується нерівність:

$$V(R)_{d,i} < V(R)_i,$$

де $V(R)_i$ – довжина десегментованої (збираної) кодограми.

Тут здійснюється визначення чергового сегменту на основі обробки наступної компонуваної кодової конструкції. Такий процес триває до тих пір, поки не виконуватиметься умова $V(R)_{d,i} = V(R)_i$.

Довжина десегментованої кодограми $V(R)_i$ визначається з використанням такого співвідношення:

$$V(R)_i = [n \log_2(w(R)_i - 1)] + 1 \text{ (біт)}.$$

Третій етап методу реконструкції відеознімку полягає в декодуванні кодового значення $E(\delta^{(loc)}; g)_d$ структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Цей етап забезпечує відновлення рядка G_d масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимої координатно-яскравісної (ЗКЯ) складової. Тут використовується інформація про основу $w(g)$, кількості елементів

k у рядку, а також про нульовий елемент СПЧ ГЛН числа, рівного $g_{d,0} = w(g)$. У такому разі досягається відновлення масивів ЗКЯ складових відеознімку без внесення помилок на основі відомих кодових значень $E(\delta^{(loc)}; g)_d$, $d = \overline{1, m}$ і величини динамічного діапазону масивів $G_{m,k}^{(u)}$.

На *четвертому етапі* проводиться відновлення елементів рядків масивів нерівномірної лінійно-масштабуючої складової відеознімку. Тут використовується кодове значення $E(R)_i$ усіченого структурно-позиційного числа, яке формується в результаті складання відповідної кодограми на етапі її десеґментації.

П'ятий етап процесу реконструкції використовується для відновлення ділянки $X^{(\xi)}$ елементів відеознімку на основі інформації про його значиму $X^{(\xi)}$ координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових, тобто

$$X^{(\xi)} = \{x_{\xi, \gamma}; \dots; x_{\xi, \gamma+r}; \dots; x_{\xi, \gamma+R_{\xi}-1}\} = \varphi_{\text{regr}}^{(3)} \{X''^{(\xi)}; \delta^{(loc)}; \delta^{(glob)}; R_{\xi}\}.$$

На базі реконструйованих масивів $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ відновлення ділянки відеознімку здійснюється на основі інформації про показник $\delta^{(loc)}$ локальної незначущості елементів області когерентності з використанням такої формули:

$$\{X'^{(\xi)}; X''^{(\xi)}\} \xrightarrow{\delta^{(loc)}} X^{(\xi)}.$$

По викладеному робимо висновок, що розроблений метод реконструкції ділянок відеознімку, на основі отримання інформації про його значимую координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових шляхом десеґментації кодограми НЛМ складової на базі декомпозиції

компонувальної кодової конструкції. Тут забезпечується виключення додаткового внесення помилок.

Висновки

1. Сформований методологічний базис відносно взаємного розміщення двох ключових складових відеознімку в одній кодовій конструкції. На базі чого створений метод компонування ключових складових відеознімку, який базується на наступних відмітних особливостях :

- рівномірного кодоопису, що дозволяє спростити кодовий інтерфейс між протоколами машинної обробки і підготовкою для передачі в телекомунікаційних мережах;

- інтеграції кодових конструкцій нерівномірною лінійно-масштабуючою складовою в кодові слова значущих координатно-яскравісних складових на основі заповнення кодових конструкцій значущих елементів областей когерентності *сегментами* кодових слів, отриманих для сукупності довжин ОКГ.

2. Розроблено метод кодування значущої структурної складової області когерентності на основі її представлення у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Відмітні моменти полягають в тому, що враховується; двохієрархічна схема формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації по виключенню елементів з рівними значеннями; значення показника локальної чутливості що визначає плаваючу кількість значимих елементів ОКГ. В цьому випадку в результаті виключення заборонених послідовностей, які допускають зміст елементів з рівними значеннями (тобто що суперечить правилу побудови значимих областей когерентності), досягається усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок. При цьому така обробка забезпечує збереження рівня візуальної оцінки СРВ.

3. Обґрунтовано співвідношення для оцінки верхнього рівня кількості біт, яка витрачається на представлення кодового значення рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової відеознімку.

4. Розроблений метод інтеграційного компонування ключових складових відеоданих на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. Тут враховується організація оцінки позицій і кількості елементів для масивів значимих елементів області когерентності і масивів їх довжин, що беруть участь в побудові компонувального коду.

Тут формуються заповнені кодові конструкції (ЗКК) шляхом розміщення сегменту кодового слова, що містить значення коду елементів масиву довжин ОКГ, в кодові конструкції, що містять інформацію про кодове значення для рядків масивів значимих елементів сукупності ОКГ.

Це забезпечує:

- розподіли сегментів кодових слів масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ для найбільшої кількості кодових конструкцій масивів $G_{m,k}^{(u)}$,

- додаткове скорочення *локальної* кодової надмірності, обумовленої наявністю незначущих старших біт, що мають нульові значення у базовій кодовій конструкції, сформованій на основі коду $E(g)_i$ для значимих елементів областей когерентності масивів $G_{m,k}^{(u)}$.

- спростити процес реконструкції відеознімку і зниження кількості операцій на обробку.

6. Побудований метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції ділянок цифрового представлення зображень, на основі отримання інформації і складання його значимою координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових з використанням десегментації кодограми НЛМ складової шляхом декомпозиції компонувальної кодової

конструкції. Тут забезпечується виключення додаткового внесення помилок. Метод включає наступні відмітні етапи обробки:

- 1) вилучення базової кодограми і деінтеграція відповідного сегменту розподіленої кодограми з компонуваної кодової конструкції;
- 2) складання ділянки відеознімку на основі інформації про його координатно-структурну і порядково-масштабуючу формах.

Новизна

1. Отримав подальший розвиток метод кодування значущої структурної координатно-яскравостної складової на основі виявлення областей когерентності цифрового представлення відеознімку. Відмінна особливість методу полягає в тому, що враховується: двох ієрархічна схема формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації з виключенням елементів з рівними значеннями; показник локальної чутливості визначає плаваючу кількість значущих елементів області когерентності. Це забезпечує усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок, і збереження рівня візуальної оцінки по сприйняттю відеознімків.

2. Вперше створено метод інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонуваної кодової конструкції. Відмінні особливості методу полягають в тому, що компоновка кодових конструкцій ділянки відеознімку проводиться на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, шляхом інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. При цьому значуща складова координатної яскравості відеознімку розглядається у вигляді структурного позиційного числа з глобальною і локальною нерівністю значень сусідніх елементів. Це дозволяє додатково знизити бітовий об'єм відеознімку без внесення додаткових помилок в процесі його обробки.

3. Розроблено метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення

помилки. Відмінні особливості методу полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок розподілу кодограм нерівномірної лінійно-масштабуючої складової в незначущих бітах базових кодограм значущих координатно-яскравісних складових.

Викладені результати науково-прикладних досліджень опубліковані в наступних наукових працях [13; 31; 48; 74–76; 98; 99; 101; 102; 121].

РОЗДІЛ 4

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНИЖЕННЯ БІТОВОГО ОБ'ЄМУ ВІДЕОЗНІМКІВ У ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Викладаються етапи створення моделі оцінки рівня зниження бітового об'єму відеознімку у разі використання розробленого методу компонування кодових конструкцій ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми. Обґрунтовується наявність залежності величини бітового об'єму кодованого відеознімку від рівня насиченості ділянок відеознімку значимими структурними деталями, які у свою чергу визначають структурні закономірності, що виявляються для двох його складових, а саме значимою координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових, і задають параметри опису областей когерентності, включаючи кількість значимих елементів і обмежень на амплітуду зміни їх значень; рівня візуальних оцінок по сприйняттю відеозніmkів (СРВ), що реконструюються, що задається параметрами глобальної і локальної незначущості елементів області когерентності (ОКГ). Показується, що рівень зниження бітового об'єму для створеного методу перевищує рівень зниження бітового об'єму, що досягається з використанням відомих методів в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок СРВ за показником пікового відношення сигнал/шум на рівні хорошої якості. Будується модель оцінки кількості операцій, яку необхідно витратити для обробки відеознімку з використанням методу формування компонувальних кодових конструкцій для кодограм тих, що становлять зображення з виявленням значимих областей когерентності.

4.1. Розробка методики оцінки рівня зниження бітового об'єму з використанням методу компонування кодових конструкцій шляхом заповнення незначимих біт

Основними показниками, які визначають ефективність функціонування технологій зниження бітового об'єму відеознімків в інфокомунікаційних системах являються [13; 31; 48; 74–76; 98; 99; 101; 102; 121; 128; 129]:

- 1) рівень η зниження бітового об'єму(ЗБО) відеознімку;
- 2) рівень σ візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків(СРВ), що реконструюються, які кількісно оцінюється показником пікового відношення сигнал/шум(PSNR);
- 3) кількість арифметичних операцій, яку необхідно витратити на обробку відеознімку з використанням відповідних технологій. У загальному випадку тут оцінюється кількість $\mu(\Theta)_{\text{enc}}$ операцій на кодування і кількість $\mu(\Theta)_{\text{rec}}$ операцій реконструкцію усього відеознімку з просторовою розподільною здатністю Θ пікселів.

У загальному випадку ці характеристики залежать як від:

- методологічних базисів, що закладають основу побудови і функціонування технологій і методів зниження бітового об'єму;
- рівня насиченості відеознімків структурними деталями.

Клас відеознімку по мірі його насиченості структурними деталями в умовах забезпечення необхідного рівня візуальних оцінок впливає на:

- а) кількість надмірності, яку потенційно можна буде усунути в результаті виявлення закономірностей. Чим вище рівень насиченості відеознімку, тим менше областей плавного переходу яскравості, тобто нижче кореляційні залежності між ділянками зображення;
- б) кількість операцій, що витрачаються на реалізацію відповідного методу обробки. Із зростанням міри насиченості знижується розмір локальної

зони з однорідними характеристиками відеознімку. Це у свою чергу впливає на кількість виконуваних обчислень в процесі обробки.

Базові характеристики методів ЗБО визначають комплексні показники. У нашому випадку ключовим комплексним показником є часові $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ затримки на доставку відеознімку в інфокомунікаційних мережах. Комплексність такої характеристики обумовлено тим, що вона залежить від :

- 1) часових затримок на обробку ($t(\Theta; S_{pr})_{enc}$ кодування і $t(\Theta; S_{pr})_{rec}$ реконструкція);
- 2) часових затримок $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ на передачу в мережах;
- 3) характеристик інфокомунікаційних технологій за швидкістю S_{tr} передачі даних і обчислювальної продуктивності S_{pr} .

Це задається наступною формулою:

$$t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del} = t(\Theta; S_{tr})_{tr} + t(\Theta; S_{pr})_{enc} + t(\Theta; S_{pr})_{rec}. \quad (4.1)$$

У свою чергу часові $t(\Theta; S_{tr})_{tr}$ затримки на передачу кодованих відеознімків залежать від рівня η зниження бітового об'єму, а часові затримки $t(\Theta; S_{pr})_{enc}$ і $t(\Theta; S_{pr})_{rec}$ - від відповідної кількості операцій $\mu(\Theta)_{enc}$ і $\mu(\Theta)_{rec}$.

Перейдемо тепер до розробки моделі оцінки рівня зниження бітового об'єму відеознімку з використанням створеного методу.

Для цього спочатку визначимо сумарну кількість біт, що витрачається на представлення кодованого відеознімку.

В процесі створення моделі для оцінки показника η необхідно враховувати те, що результуючі кодові конструкції будуються на основі

методу формування компонування кодових конструкцій ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності.

Узагальнена кодова конструкція $Z(g; R)_d$ включає:

- базову кодограму $Z(g; R)_d$ що містить значення коду $E(\delta^{(loc)}; g)_d$ рядки значимої координатно-яскравісної складової відеознімку;
- d -й сегмент $Z(R)_{d,i}$ кодограми $Z(R)_i$ що містить значення коду $E(R)_i$ рядки нерівномірної лінійно-масштабуючої складової відеознімку. Довжина такого сегменту в загальному випадку складає $\Delta_d V(R)_i$ біт.

У загальному випадку довжина компонуваної кодограми $Z(g; R)_d$ рівна V_{nec} біт. При цьому величина V_{nec} є рівномірною визначається по умові процесу кодування як:

$$V_{nec} = V(g)_i + \Delta_d V(R)_i . \quad (4.2)$$

Тут величина $\Delta_d V(R)_i$ визначається не лише як пряма різниця між величинами $(V_{nec} - V(g)_i)$ але і як додаткову кількість біт, що відповідають старшим позиціям кодограми $Z(g)_d$ які мають нульові значення, тобто є незначимими.

Зрозуміло, що сумарна $V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U)$ кількість біт на представлення кодованого відеознімку в загальному випадку визначатиметься на основі наступної формули

$$V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U) = \sum_{u=1}^U V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)})_{m,n}^{(u)} . \quad (4.3)$$

У цій формулі прийняті такі позначення:

- $V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U)$ - сумарний бітовий об'єм відеознімку після його кодування з використанням створеного методу в умовах, коли проводиться виявлення значимих областей когерентності (ОКГ) з показниками глобальної і локальної чутливості, відповідно рівними $\delta^{(glob)}$ $\delta^{(loc)}$ так що формується U масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$;

- $V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)})_{m,n}^{(u)}$ - кількість біт, що витрачається на кодове представлення u -ої пари масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$ з урахуванням вибору кодової довжини, рівної V_{nec} біт;

- U - кількість ділянок відеознімку, для яких формується пара масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$ що включають $(m \cdot n)$ областей когерентності. Причому величина U може регулюватися в процесі кодування з урахуванням формування цілої кількості кодових слів завдовжки V_{nec} біт.

У свою чергу кількість $V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)})_{m,n}^{(u)}$ біт, що витрачається на кодове представлення u -ої пари масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$ знаходиться за наступним виразом [71 – 75]:

$$V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)})_{m,n}^{(u)} = V(w)^{(u)} + V_{nec} \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}. \quad (4.4)$$

Тут прийняті наступні позначення:

- $D_i^{(u)}$ - кількість базових кодограм $Z(g)_{d,i}^{(u)}$ яка будується для i -го рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$ а саме:

$$Z(g)_i^{(u)} = \bigcup_{d=1}^{D_i^{(u)}} Z(g)_{d,i}^{(u)},$$

в умовах забезпечення вимоги відносно рівномірності її довжини $V(g;d)_i^{(u)}$ і не перевищення рівня $V_{\text{нec}}$ біт, тобто:

$$V(g;d)_i^{(u)} \leq V_{\text{нec}}; \quad (4.5)$$

- $Z(g)_{d,i}^{(u)}$ - d-я кодограма i-го рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимій координатно-яскравісній складовій відеознімку;
- $V(g;d)_i^{(u)}$ - довжина у бітах кодограми $Z(g)_{d,i}^{(u)}$;
- $V(w)^{(u)}$ - сумарна кількість біт, що витрачається на пакувальне уявлення службової інформації (інформації про основи масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$) для u-ої ділянки відеознімку.

Величина $V(w)^{(u)}$ включає кількість пакувальних біт, що відводяться на представлення наступної службової інформації :

1) величини $w(g)$ основи для структурних позиційних чисел з глобальною і локальною нерівністю сусідніх елементів. Ця величина є загальною для елементів $g_{i,j}$ усього масиву $G_{m,k}^{(u)}$ і знаходиться по наступній формулі:

$$w(g) = g_{\max} + 1 = \max_{\substack{1 \leq j \leq k \\ 1 \leq i \leq m}} \{g_{i,j}\} + 1;$$

2) система $W(R)$ з m підстав усіченого структурно-позиційного числа, утвореного на базі масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ довжин $\Delta R_{ij}''$ областей когерентності $W(R) = \{w(R)_1; \dots; w(R)_i; \dots; w(R)_m\}$. При цьому основа обчислюється для кожного рядка масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$. Для чого використовується така формула:

$$w(R)_i = \Delta R_{\max,i}'' = \max_{1 \leq j \leq n} \{\Delta R_{ij}''\} + 1.$$

При цьому згідно з методологічними базисами побудови кодових конструкцій ділянок відеознімку для величини $V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})})_{m,n}^{(u)}$ виконується умова відносно неї верхнього рівня, тобто:

$$V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})})_{m,n}^{(u)} < V(g)_{m,k}^{(u)} + V(R)_{m,n}^{(u)}, \quad (4.6)$$

де $V(g)_{m,k}^{(u)}$ $V(R)_{m,n}^{(u)}$ – максимальна кількість біт, яка витрачається на кодовий опис масивів $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ що представляються відповідно як структурні позиційні числа з глобальною і локальною нерівністю сусідніх елементів(СПЧ ГЛН) і усічене структурно-позиційне число.

Ця нерівність відповідно дозволяє оцінити нижній рівень для показника η міри зниження бітового об'єму.

Замінивши в співвідношенні(4.3) величину $V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})})_{m,n}^{(u)}$ вираженням(4.4), отримаємо таке вираження для визначення бітового об'єму $V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U)$ відеознімку на основі розробленого методу:

$$V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U) = \sum_{u=1}^U (V(w)^{(u)} + V_{\text{nec}} \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}); \quad (4.7)$$

$$V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U) < \sum_{u=1}^U (V(g)_{m,k}^{(u)} + V(R)_{m,n}^{(u)}).$$

Як впливає з вираження(4.7) величина $V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U)$ залежить від:

1. Структурних закономірностей, що виявляються для масивів $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ а саме параметрів опису областей когерентності, включаючи кількість R_{ij}'' значимих елементів $X''^{(\xi)}$ і обмежень $w(g)$ на амплітуду зміни їх значень. Іншими словами це ті характеристики, які безпосередньо залежать від рівня насиченості ділянок відеознімку значимими структурними деталями. Така залежність, тобто:

$$V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U) \sim w(g) \& W(R)$$

має наступний характер.

Величини основи $w(g)$ і системи $W(R)$ підстав визначають довжини $V(g;d)_i^{(u)}$ і $V(R)_i^{(u)}$ відповідно до базової кодограми $Z(g)_{d,i}^{(u)}$ і кодограми $Z(R)_i^{(u)}$ використовуюваною для її заповнення. При цьому у разі формування базової кодограми $Z(g)_{d,i}^{(u)}$ величина $w(g)$ впливає на кількість d_i елементів рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$ для якого формуватиметься одно кодове значення $E(\delta^{(\text{loc})}; g)_{d,i}$ і відповідно одна кодограма з довжиною $V(g;d)_i^{(u)}$ що не

перевищує необхідний рівень $V_{\text{нec}}$ біт. Така залежність підтверджується наступною формулою:

$$V(g; d)_i^{(u)} = [d_i \log_2(w(g) - 1)] + 1 < V_{\text{нec}} \text{ (біт)}. \quad (4.8)$$

Тоді, чим менше величини основи $w(g)$ значимих елементів ОКГ, тим більше величини d_i тобто більше кількість елементів рядка масиву $G_{m,k}^{(u)}$ для яких виконуватиметься вимога (4.8).

Система $W(R)$ підстав УСП числа відповідно робить вплив на довжину $V(R)_i^{(u)}$ кодограми $Z(R)_i^{(u)}$. Для обґрунтування розглянемо вираження для визначення величини $V(R)_i^{(u)}$ а саме:

$$V(R)_i^{(u)} = [n \log_2(w(R)_i - 1)] + 1 \text{ (біт)}. \quad (4.9)$$

Звідки можна зробити висновок, що чим нижче величина основи $w(R)_i$ тим менше буде довжина кодограми $V(R)_i^{(u)}$ і отже, тим в меншій кількості D_i базових кодограм $Z(g)_{d,i}^{(u)}$ проводитиметься розподіл її сегментів $\Delta_d V(R)_i^{(u)}$.

Якщо в процесі формування поточної компонуваної кодової конструкції $Z(g; R)_{d,i}^{(u)}$ у відповідному масиві $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ нерівномірній лінійно-масштабуючій складовій відеознімку не залишилося необроблених елементів, то її довжина $V(g; R; d)_i^{(u)}$ визначається з розрахунку заданої довжини, рівної $V_{\text{нec}}$ біт.

2. Рівня візуальних оцінок по сприйняттю реконструюємих відеознімків(СРВ), що задається параметрами глобальної $\delta^{(\text{glob})}$ і локальною

$\delta^{(loc)}$ незначущості елементів області когерентності(ОКГ). Тут характер залежності величини $V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U)$ від показників $\delta^{(glob)}$ і $\delta^{(loc)}$ має обернено пропорційний вигляд, тобто:

$$V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U) \sim \frac{1}{\delta^{(glob)} \& \delta^{(loc)}}.$$

Із зростанням величин $\delta^{(glob)}$ і $\delta^{(loc)}$ збільшується довжина області когерентності і знижується кількість її значимих елементів. Це у свою чергу призводить до зменшення кількості U ділянок відеознімку для яких формуються пари масивів $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$. Зрозуміло, що для такого варіанту досягається значне зниження бітового об'єму. Проте обмеженням для збільшення значень показників $\delta^{(glob)}$ і $\delta^{(loc)}$ являється вимога відносно забезпечення заданого рівня візуальних оцінок СРВ, тобто необхідного рівня достовірності інформації.

Означає для ділянки відеознімку, що описується двома складовими, а саме $G_{m,k}^{(u)}$ значимою координатно-яскравісною і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ що нерівномірною, що лінійно-масштабує кількість компоновальних кодограм визначається кількістю $\sum_{i=1}^m D_i^{(u)}$ базових кодограм, яке формується для усіх рядків масиву значимих елементів ОКГ.

З урахуванням викладених оцінок для величини V_{nec} а саме:

$$V_{nec} \approx V(g; d)_i^{(u)} + \Delta_d V(R)_i^{(u)}$$

вираження(4.7) для знаходження величини $V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U)$ бітового об'єму відеознімку, набере наступного вигляду:

$$\begin{aligned}
 V(\delta^{(glob)}; \delta^{(loc)}; U) &\approx \sum_{u=1}^U (V(w)^{(u)} + V_{nec} \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}) = \\
 &= \sum_{u=1}^U (V(w)^{(u)} + (V(g; d)_i^{(u)} + \Delta_d V(R)_i^{(u)}) \cdot \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}) = \\
 &= \sum_{u=1}^U (V(w)^{(u)} + (([d_i \log_2(w(g) - 1)] + 1) + \Delta_d V(R)_i^{(u)}) \cdot \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}). \quad (4.10)
 \end{aligned}$$

Тоді для визначення рівня зниження бітового об'єму відеознімку визначимо об'єм V_{beg} відеознімку до початку процесу його обробки. Тут можливі два варіанти.

Перший варіант, коли передбачається, що відеознімок оброблятиметься без втрати інформації, тобто $\delta = 0$. Тут величина V_{beg} визначається таким чином:

$$V_{beg} = v \cdot Z_{lin} \cdot Z_{col},$$

де v – кількість розрядів витрачається на представлення одного елементу відеознімку;

$Z_{lin} \cdot Z_{col} = \Theta$ - просторовий дозвіл відеознімку, визначуваний як добуток його кількості Z_{lin} рядків на кількість Z_{col} стовпців.

Другий варіант оцінки об'єму відеознімку зручніший для варіанту коли допускається внесення корекцій відносно його візуальних оцінок з

використанням виявлення областей когерентності. Тут величина V'_{beg} оцінюється по формулі:

$$V'_{\text{beg}} = \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}^{(u)},$$

де $R_{i,j}^{(u)}$ – $(i;j)$ -й елемент u -го масиву довжин областей яскравісної однорідності.

Коли довжини областей яскравісної однорідності виявляються в умовах $\delta = 0$ то виконується рівність $V_{\text{beg}} = V'_{\text{beg}}$ тобто:

$$v \cdot Z_{\text{lin}} \cdot Z_{\text{col}} = \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}^{(u)}.$$

Навпаки, коли допускається корекція рівня візуальних оцінок СРВ, тобто $\delta > 0$ то виконуватиметься нерівність $V_{\text{beg}} > V'_{\text{beg}}$ чи

$$v \cdot Z_{\text{lin}} \cdot Z_{\text{col}} > \sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}^{(u)}.$$

З урахуванням чого рівень η зниження бітового об'єму відеознімку визначатиметься наступним вираженням:

$$\eta = \frac{V_{\text{beg}}}{V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U)} =$$

$$= \frac{v \cdot Z_{\text{lin}} \cdot Z_{\text{col}}}{\sum_{u=1}^U (V(w)^{(u)} + (([d_i \log_2(w(g) - 1)] + 1) + \Delta_d V(R)_i^{(u)}) \cdot \sum_{i=1}^m D_i^{(u)})} \quad (4.11)$$

чи

$$\eta' = \frac{V'_{\text{beg}}}{V(\delta^{(\text{glob})}; \delta^{(\text{loc})}; U)} =$$

$$= \frac{\sum_{u=1}^U \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_{i,j}^{(u)}}{\sum_{u=1}^U (V(w)^{(u)} + (([d_i \log_2(w(g) - 1)] + 1) + \Delta_d V(R)_i^{(u)}) \cdot \sum_{i=1}^m D_i^{(u)})}.$$

Таким чином, за викладеним матеріалом можна підсумувати, що:

1) створена модель оцінки рівня зниження бітового об'єму відеознімку у разі використання розробленого методу компоновання кодових конструкцій ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності;

2) обґрунтовано, що величина бітового об'єму кодованого відеознімку залежить від:

- рівня насиченості ділянок відеознімку значимими структурними деталями, які у свою чергу визначають структурні закономірності, що виявляються для двох його складових, а саме значимою координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових, і задають параметри опису областей когерентності, включаючи кількість значимих елементів і обмежень на амплітуду зміни їх значень;

- рівня візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків (СРВ), що реконструюються, що задається параметрами глобальної і локальної незначущості елементів області когерентності(ОКГ).

4.2. Оцінка рівня зниження бітового об'єму відеознімку залежно від рівня візуальних оцінок

Порівняльна оцінка відомих і розробленого методів зниження бітового об'єму відеознімку з урахуванням рівня його візуальних оцінок за величиною η наводиться у вигляді діаграм на рис. 4.1. Тут обробка проводиться з використанням реалістичних зображень з різним рівнем насиченості структурними деталями. Відповідні приклади відеознімків представлені в Додатку А.

Для отримання порівняльних оцінок по рівню зниження бітового об'єму використовувалися методи на платформі JPEG, які допускають корекції візуальних оцінок СРВ. Такими методами є JPEG, JPEG2000 і гібридний методом(ГМ), викладений в роботі [64]. Гібридний метод зниження бітового об'єму відеознімку використовує комбінацію технологій виявлення областей когерентності і ортогональних перетворень. При цьому рівень σ візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків (СРВ), що реконструюються, кількісно оцінюється показником пікового відношення сигнал/шум (PSNR) і вибирається рівним 40 дБ - достатня якість візуальних оцінок СРВ і 55 дБ – висока якість візуальних оцінок СРВ.

Аналіз діаграм на рис. 4.1, дозволяє зробити висновок про наступне:

- рівень η зниження бітового об'єму у разі використання розробленого методу(РМ) для відеознімків з високим рівнем насиченості структурними деталями досягає 7 разів, а для відеознімків з середнім рівнем насиченості структурними деталями досягає 10 разів;

- рівень зниження бітового об'єму для створеного методу перевищує рівень зниження бітового об'єму що досягається з використанням відомих методів в середньому на 10% в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок СРВ за показником пікового відношення сигнал/шум на рівні 55 дБ;

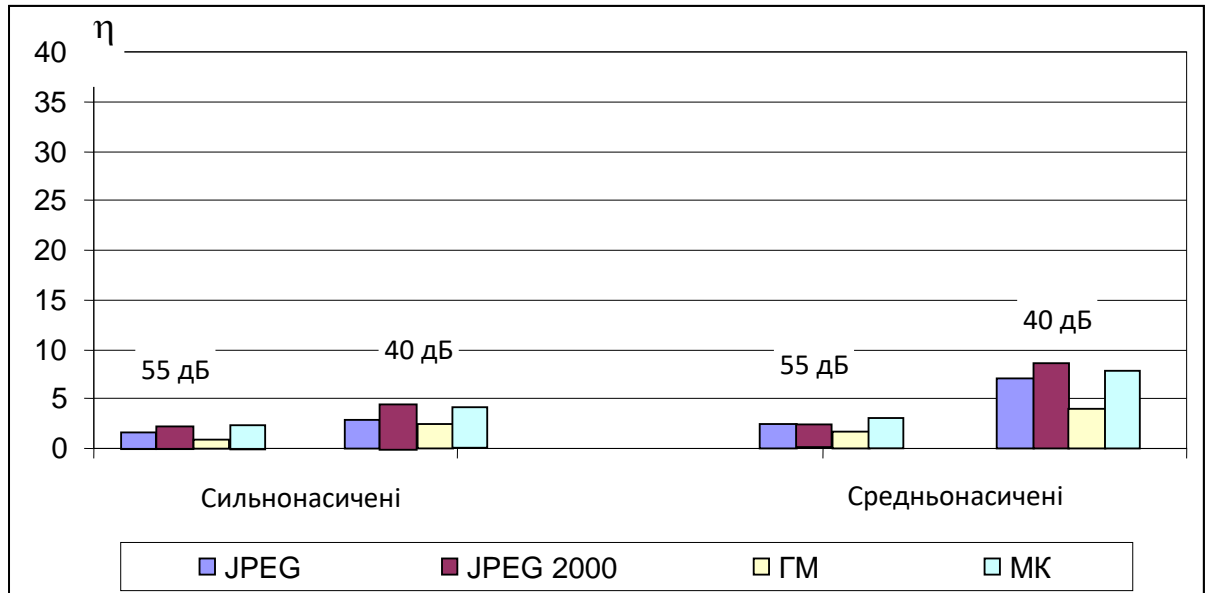


Рис. 4.1. Залежність η для різних методів і рівнів насиченості відеознімків структурними деталями

- рівень зниження бітового об'єму для створеного методу перевищує рівень зниження бітового об'єму що досягається з використанням відомих методів в середньому на 10% в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок СРВ за показником пікового відношення сигнал/шум на рівні 55 дБ;

- рівень зниження бітового об'єму, який забезпечується з використанням розробленого методу (PM) знаходиться на одному рівні, що досягається для відомих методів, у разі обробки відеознімків з високим рівнем насиченості структурними деталями в режимі візуальних оцінок СРВ що відповідають значенню показника пікового відношення сигнал/шум на рівні 40 дБ.

Отже на основі отриманих порівняльних оцінок рівня зниження бітового об'єму відеознімку можна стверджувати, що розроблений метод забезпечує не менший рівень ЗБО в порівнянні з тим рівнем ЗБО, який досягається з використанням відомих методів для заданого рівня візуальних оцінок СРВ.

Структурно-аналітичну схему вдосконаленої технології зниження бітового об'єму відеоданих на основі розроблених методів представлено на рис. 4.2.

Структурно-функціональну схему реалізації вдосконаленої технології на прикладі реалізації інформаційно-комунікаційної системи МНС України представлено на рис. 4.3.

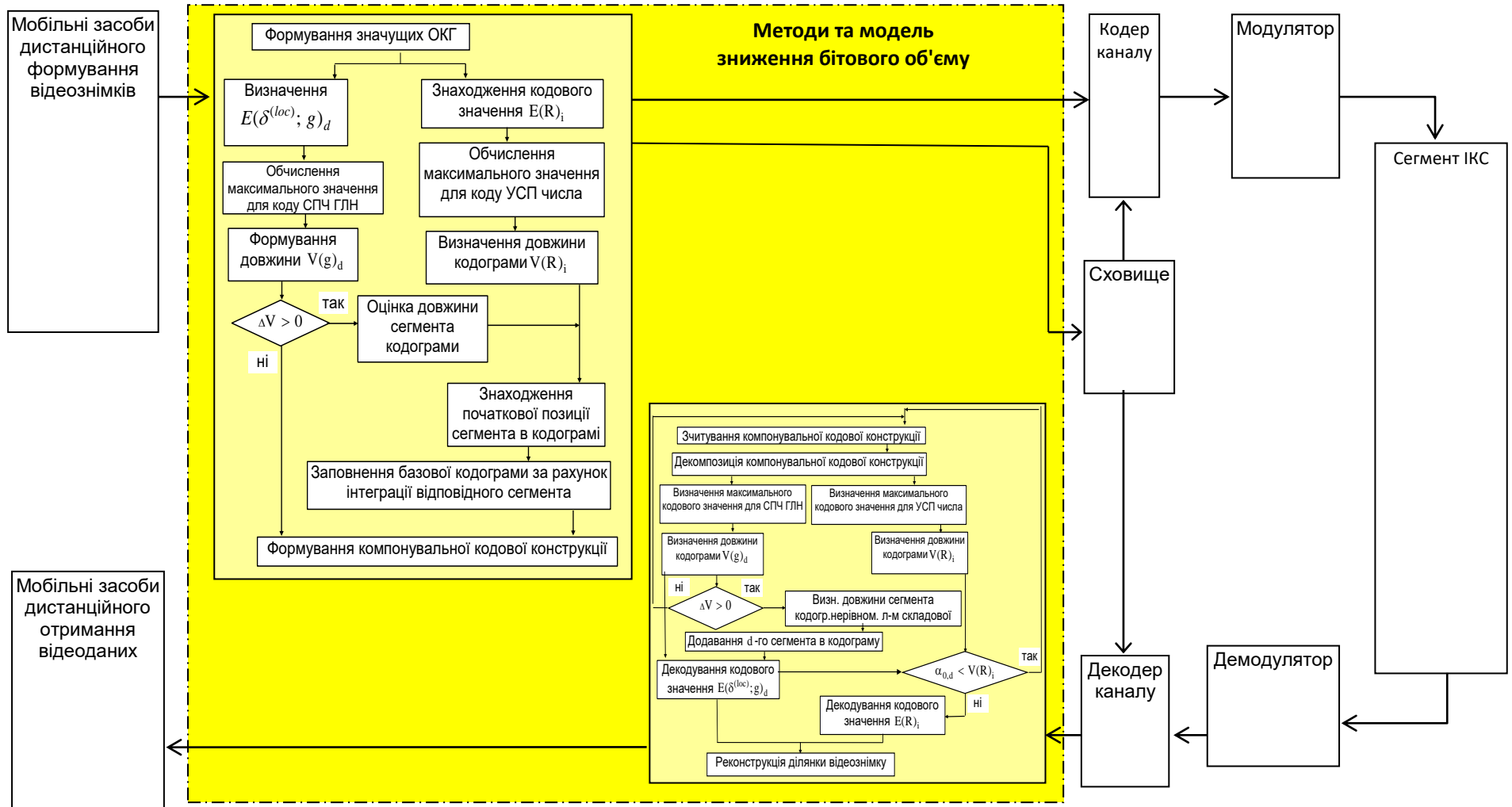


Рис. 4.2. Структурно-аналітична схема вдосконаленої технології зниження бітового об'єму відеоданих на основі розроблених методів

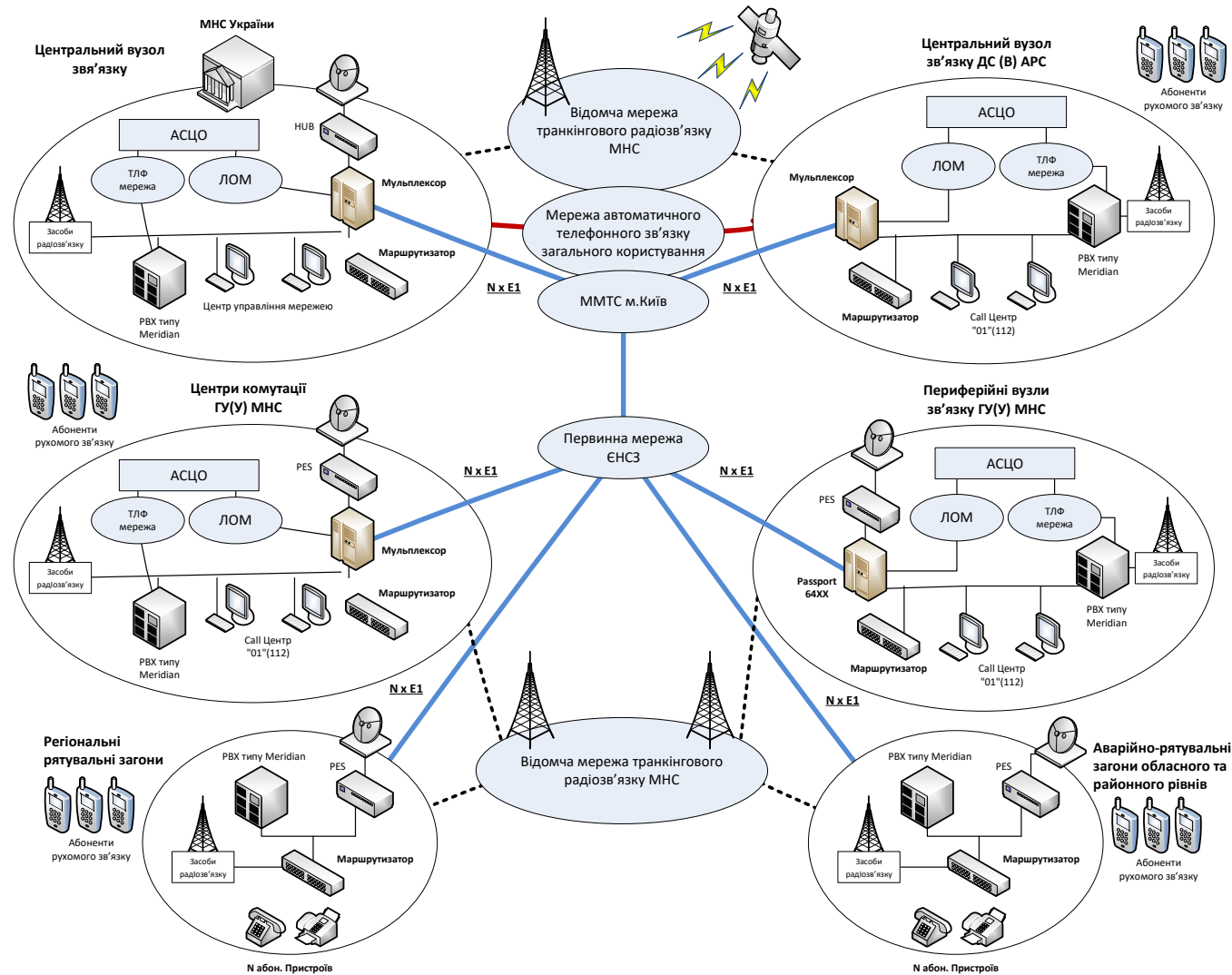


Рис. 4.3. Структурно-функціональна схема реалізації вдосконаленої технології на прикладі реалізації інформаційно-комунікаційної системи МНС України

4.3. Оцінка комплексних характеристик функціонування технологій зниження бітового об'єму в інфокомунікаційних системах

Розглянемо оцінку кількості операцій $\mu(\Theta)_{\text{enc}}$ і $\mu(\Theta)_{\text{rec}}$ що витрачаються відповідно на кодування і реконструкцію відеознімків на основі розробленого методу формування компонувальних кодових конструкцій для кодограм координатно-яскравісної і нерівномірної лінійно-масштабуючої складових відеознімку з просторовим дозволом рівним Θ пікселів.

Основна кількість операцій витрачається на виявлення і формування кодограм для масивів $G_{m,k}^{(u)}$ значимих елементів областей когерентності з подальшим використанням їх в якості базових для отримання компонувальних кодових конструкцій.

В результаті формування двох складових ділянки відеознімку з виявленими областями когерентності будуються два масиви $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ що містять відповідно $m \cdot k$ і $m \cdot n$ елементів кожен. На утворення усіх парних масивів $G_{m,k}^{(u)}$ і $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ $u=1, \bar{U}$ складових відеознімку необхідно виконати $Z_{\text{lin}} \cdot Z_{\text{col}}$ операцій порівняння.

Оцінка кількості операцій, що витрачаються на обробку структурних позиційних чисел з глобальною і локальною нерівністю сусідніх елементів(СПЧ ГЛН). Тут вимагається виконати такі основні арифметичні операції, включаючи:

1. Вчислити основу $w(g)$ масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимих елементів областей когерентності, рядки якого являються СПЧ ГЛН числами. Для цього витрачається $m \cdot k$ операцій порівняння.

2. Проводиться визначення значень вагових коефіцієнтів для елементів СПЧ ГЛН числа. Тут використовуються такі технології:

- для умови $x(i)''_{\xi-1, \gamma+R_{\xi-1}-1} < x(i)''_{\xi, \gamma}$ обчислюються відповідно:

$$(x(i)''_{\xi, \gamma} - 1)(w(g) - 1)^{\sum_{\chi=1}^{\xi-1} R_{\chi}''} \quad \text{чи} \quad (x(i)''_{\xi, \gamma+r} - 1)(w(g) - 1)^{\sum_{\chi=1}^{\xi-1} R_{\chi}''} ;$$

- для умови $x(i)''_{\xi-1, \gamma+R_{\xi-1}-1} > x(i)''_{\xi, \gamma}$ проводиться визначення величин :

$$x(i)''_{\xi, \gamma} (w(g) - 1)^{\sum_{\chi=1}^{\xi-1} R_{\chi}''} \quad \text{чи} \quad x(i)''_{\xi, \gamma+R} (w(g) - 1)^{\sum_{\chi=1}^{\xi-1} R_{\chi}''} .$$

У такому разі у рамках усього масиву $G_{m,k}^{(u)}$ необхідно виконати: $m \cdot k$ операцій порівняння для встановлення нерівності між сусідніми значимими елементами; $m \cdot k$ операцій множення для формування усіх значень вагових коефіцієнтів.

3. Формування усіх кодових значень $E(\delta^{(loc)}; g)_{d,i}$ по рядках масиву $G_{m,k}^{(u)}$ для отриманих вагових коефіцієнтів зажадає витрат $m \cdot k$ операцій складання.

Тоді всього на обробку масиву $G_{m,k}^{(u)}$ значимою координатно-яскравісною складовою відеознімку витрачається: $m \cdot k$ операцій порівняння; $m \cdot k$ операцій множення і $m \cdot k$ операцій складання.

Оцінка кількості операцій, що витрачаються на формування кодових значень, що витрачаються на формування, усіченим структурно-позиційним числам. Для цього необхідно витратити наступну кількість операцій :

1. Для знаходження усіх основ масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ необхідно виконати $m \cdot n$ операцій порівняння і $m \cdot n$ операцій віднімання.

2. Формування величин $(\Delta R_{i,j}'')w(R)_i^{n-j}$ по усіх рядках масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ зажадає витратити $m \cdot n$ операцій множення.

3. У разі відомих складових кодове значення $E(R)_i$

$$E(R)_i = \sum_{j=1}^n (\Delta R_{i,j}'')w(R)_i^{n-j} \text{ знаходиться з використанням } m \cdot n \text{ операцій складання.}$$

З урахуванням чого, на обробку масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ нерівномірній лінійно-масштабуючій складовій відеознімку необхідно витратити: $m \cdot n$ операцій

порівняння і $m \cdot n$ операцій віднімання; $m \cdot n$ операцій множення; $m \cdot n$ операцій складання.

Оцінка кількості операцій на формування компонувальних кодових конструкцій $Z(g; R)_{d,i}^{(u)}$. Формування компонувальних кодограм проводиться з використанням таких дій:

1. Знаходження довжин $V(g; d)_i^{(u)}$ базових кодограм для усього масиву $G_{m,k}^{(u)}$ потребує витратити одну операцію множення і логарифмування для оцінки кількості біт на представлення кодових значень $E(\delta^{(loc)}; g)_{d,i}$. Це забезпечується за рахунок умови постійності величини основи $w(g)$ в межах масиву $G_{m,k}^{(u)}$.

2. Встановлення кількості незначимих біт у базовій кодограмі зажадає $\sum_{i=1}^m D_i^{(u)}$ операцій віднімання.

3. Сегментація кодограм $Z(R)_i$ на сегменти $Z(R)_{d,i}$ для усього масиву $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ зажадає: m операцій множення і логарифмування для формування бітового опису усіх кодограм $Z(R)_i$ $i = \overline{1, m}$; $\sum_{i=1}^m D_i^{(u)}$ віднімання для виділення відповідних сегментів $Z(R)_{d,i}$.

Тоді для утворення усіх компонувальних кодових конструкцій для пари масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$ необхідно виконати наступну кількість операцій : $(m+1)$ одну операцію множення і $(m+1)$ операцій логарифмування; $2 \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}$ операцій віднімання.

Для обробки усього відеознімку в умовах сполучення U його ділянок, для яких будуються пари масивів $\Delta R_{m,n}^{(u)}$ і $G_{m,k}^{(u)}$ $u = \overline{1, U}$ вимагається виконати таку кількість типових операцій :

1) кількість операцій порівняння, рівне:

$$Z_{lin} \cdot Z_{col} + U(2m \cdot k + m \cdot n) \text{ (операцій);}$$

2) кількість операцій множення, визначувана з такого розрахунку:

$$U(2m \cdot k + m \cdot n + m + 1) \text{ (операцій);}$$

3) кількість операцій складання/віднімання, що оцінюється як:

$$U(m \cdot k + 2m \cdot n + 2 \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}) \text{ (операцій);}$$

4) кількість операцій логарифмування, яке рівне $(m+1)$ операції.

Узагальнюючи отримані оцінки в одно вираження для знаходження величини $\mu(\Theta)_{rec}$ отримаємо:

$$\begin{aligned} \mu(\Theta)_{rec} = & Z_{lin} \cdot Z_{col} + U(2m \cdot k + m \cdot n) \text{ (оп.зрівн.)} + \\ & + U(2m \cdot k + m \cdot n + m + 1) \text{ (оп. множ.)} + U(m \cdot k + 2m \cdot n + 2 \sum_{i=1}^m D_i^{(u)}) \text{ (оп.скл/відн)} + \\ & + (m+1) \text{ (оп.лог)}. \end{aligned} \quad (4.12)$$

Аналіз отриманого співвідношення дозволяє зробити висновок, що:

1. Кількість $\mu(\Theta)_{rec}$ операцій на обробку відеознімку з використанням розробленого методу залежить від рівня насиченості ділянок відеознімку значимими структурними деталями і рівня візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків (СРВ), що реконструюються, що задається параметрами глобальної і локальної незначущості елементів області когерентності(ОКГ), які у свою чергу визначають :

- кількість U ділянок відеознімку, для яких формуються дві базові складові: значима координатно-яскравісна і нерівномірна лінійно-масштабуюча складові;

- кількість значимих елементів і кількість базових кодограм, які формуються для значимої координатно-яскравісної складової відеознімку.

2. Забезпечується прямо пропорційна залежність сумарної кількості операцій, у тому числі операцій множення і складання від кількості парних складових ЗКЯ і НЛМ і розмірів відповідних масивів. При цьому операції ділення відсутні.

3. Усі арифметичні операції є цілочисельними.

4. Для розробленого методу відносно методів на JPEG платформі досягається значне скорочення кількості операцій множення. При цьому такий вигаш збільшується із зростанням довжин областей когерентності ділянок відеознімку.

Порівняльна оцінка по часових $t(\Theta; S_{pr})_{enc}$ затримкам на обробку відеознімку з просторовим дозволом рівним Θ пікселів для розробленого методу і існуючих методів зниження бітового об'єму з урахуванням допуску на корекцію рівня візуальних оцінок СРВ представлені в таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1

Порівняльна оцінка тимчасових $t(\Theta; S_{pr})_{enc}$ затримок на обробку відеознімку для різних методів зниження бітового об'єму залежно від типу обчислювальних систем (сек)

Модель процесора S_{pr}	Розмірність Θ пікселів	Метод зниження бітового об'єму		
		JPEG	JPEG2000	МК
DragonBall, тактова частота 66 МГц	576 x 768	8,229	5,283	0,8
	2048x1536	58,5	37,56	3,7
ARM – 11(Nokia 5700), тактова частота 369 МГц	576 x 768	1,35	1,21	0,1
	2048x1536	7,701	6,33	1
VIA C3, тактова частота 800 МГц	576 x 768	0,465	0,39	0,06
	2048x1536	3,297	2,775	0,63
Snapdragon(HTC HD2), тактова частота 1000 МГц	576 x 768	0,366	0,309	0,06
	2048x1536	2,604	2,208	0,4

За результатами, представленими в таблиці. 4.1 можна зробити наступні висновки:

1) для розробленого методу на основі формування компоновальних кодових конструкцій в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок СРВ досягається зниження часових затримок на обробку відеознімку в середньому в 7 разів. Такий результат досягається за рахунок скорочення кількості даних, що обробляються; в результаті попереднього виявлення областей когерентності, зниження кількості операцій множення і складання, а також виконання обчислень тільки з цілими числами;

2) вдосконалена технологія ЗБО в режимі корекцій візуальних оцінок СРВ в порівнянні з існуючими технологіями створюють умови для обробки статичних відеознімків з використанням мобільних інфокомунікаційних технологій в реальному часі для:

- відеознімків з просторовою роздільною здатністю 576×768 з використанням МП DragonBall, тактова частота 66 МГц;

- відеознімків з просторовою роздільною здатністю 2048×1536 з використанням МП ARM – 11(Nokia 5700), тактова частота 369 МГц.

Розглянемо порівняльну оцінку по часових $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ затримкам на доставку відеознімків в інфокомунікаційних системах.

Оцінка величини $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ здійснюється в умовах початкових параметрів приведених в табл. 4.1, для рівня зниження бітового об'єму представленого на рис. 4.1 і швидкості S_{tr} передачі даних в мобільній мережі рівної 2 Мбіт/с, 20 Мбіт/с. Відповідні оцінки показані у вигляді діаграм на рис. 4.4. Для обробки використовуються відеознімки з високим і середнім рівнями насиченості структурними деталями, що мають просторову роздільну здатність $\Theta \approx 3\text{Мп}$ і $\Theta \approx 24\text{Мп}$. В цьому випадку бітовий об'єм знімків відповідно складатиме таку величину Мбіт і $V_{beg} = 768\text{Мбіт}$. Як базова складова багатопроцесорної системи використовувалися мікропроцесори ARM – 11(Nokia

5700) і Snapdragon(HTC HD2). Режим корекцій рівня візуальної оцінки CPB відповідав піковому відношенню сигнал/шум на рівні 40 дБ.

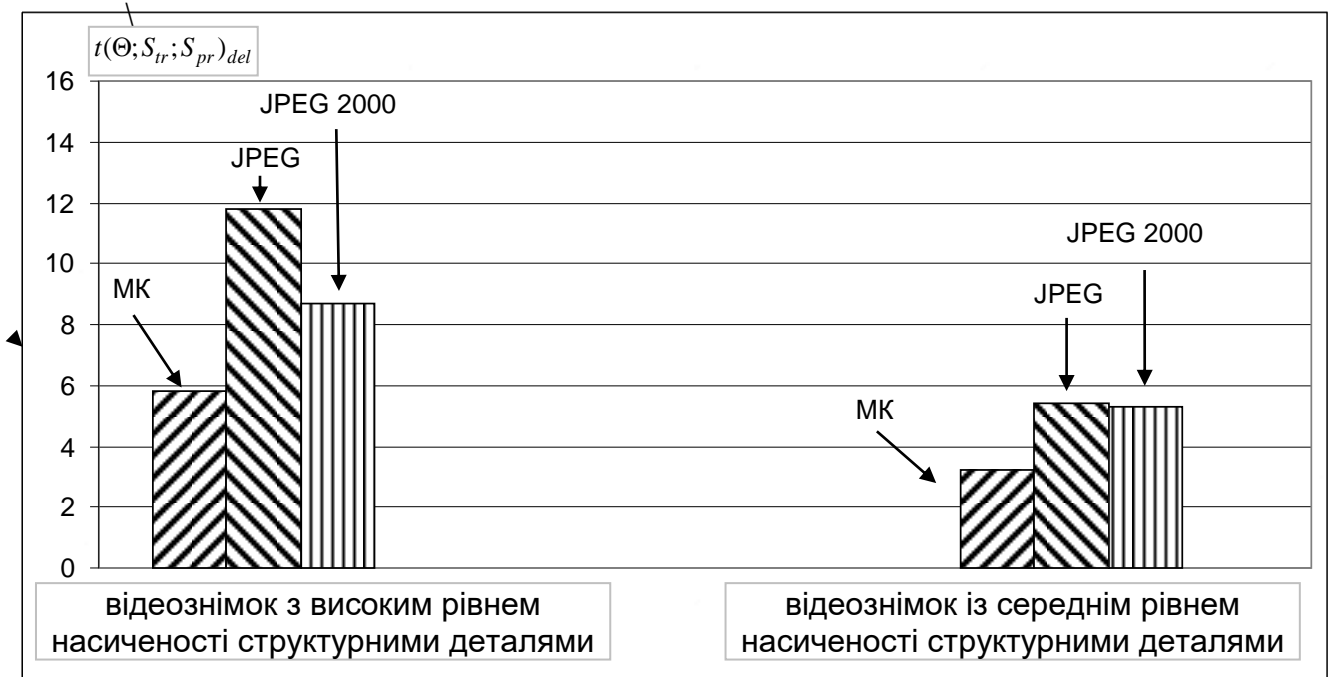


Рис. 4.4. Залежність величини $t(\Theta; S_{tr}; S_{pr})_{del}$ від параметрів Θ , S_{tr} , S_{pr} для різних методів зниження бітового об'єму, рівня PSNR і класу насиченості відеознімків структурними деталями

Аналіз діаграм на рис. 4.4 дозволяє зробити такі висновки:

- вдосконалена технологія в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового відношення сигнал/шум в 40 дБ з використанням як базовий компонент МП Snapdragon(HTC HD2), тактова частота 1000 МГц забезпечує можливість доставки в реальному часі відеознімків з просторовим дозволом близько 24 Мп;

- усереднений по різних класах відеознімків вигреш за часом доставки для розробленого методу відносно існуючих в середньому рівний 1,3 разу, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Висновки

1. Створена методика оцінки рівня зниження бітового об'єму відеознімку у разі використання розробленого методу компонування кодових конструкцій ділянки відеознімку на основі заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значимої координатно-яскравісної складової, шляхом інтеграції сегменту кодограми, отриманої для рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності.

2. Обґрунтовано, що величина бітового об'єму кодованого відеознімку залежить від:

- рівня насиченості ділянок відеознімку значимими структурними деталями, які у свою чергу визначають структурні закономірності, що виявляються для двох його складових, а саме значимою координатно-яскравісною і нерівномірною лінійно-масштабуючою складових, і задають параметри опису областей когерентності, включаючи кількість значимих елементів і обмежень на амплітуду зміни їх значень;

- рівня візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків(СРВ), що реконструюються, що задається параметрами глобальної і локальної незначущості елементів області когерентності(ОКГ).

3. Для розробленого методу зниження бітового об'єму на основі формування компонувальних кодових конструкцій і попереднього виявлення значимих областей когерентності в режимі корекцій візуальних оцінок СРВ рівень ЗБО для відеознімків з високим рівнем насиченості структурними деталями досягає 7 разів, а для відеознімків з середнім рівнем насиченості структурними деталями досягає 10 разів. Рівень зниження бітового об'єму для створеного методу перевищує рівень зниження бітового об'єму що досягається з використанням відомих методів в середньому на 10% в умовах забезпечення рівня візуальних оцінок СРВ за показником пікового відношення сигнал/шум на рівні 55 дБ. Рівень зниження бітового об'єму, який забезпечується з використанням

розробленого методу(РМ) знаходиться на одному рівні, що досягається для відомих методів, у разі обробки відеознімків з високим рівнем насиченості структурними деталями в режимі візуальних оцінок СРВ що відповідають значенню показника пікового відношення сигнал/шум на рівні 40 дБ.

4. Розроблена методика оцінки кількості операцій, які необхідно витратити для обробки відеознімку з використанням методу формування компоновальних кодових конструкцій для кодограм тих, що становлять зображення з виявленням значимих областей когерентності. Внаслідок чого показано, що досягається наступне:

4.1. Кількість операцій на обробку відеознімку з використанням розробленого методу залежить від рівня насиченості ділянок відеознімку значимими структурними деталями і рівня візуальних оцінок по сприйняттю відеознімків (СРВ), що реконструюються, що задається параметрами глобальної і локальної незначущості елементів області когерентності (ОКГ), які у свою чергу визначають :

- кількість ділянок відеознімку, для яких формуються дві базові складові : значима координатно-яскравісна і нерівномірна лінійно-масштабуюча складові;
- кількість значимих елементів і кількість базових кодограм, які формуються для значимої координатно-яскравісної складової відеознімку.

4.2. Забезпечується прямо пропорційна залежність сумарної кількості операцій, у тому числі операцій множення і складання від кількості парних складових ЗКЯ і НЛМ і розмірів відповідних масивів. При цьому операції ділення відсутні.

4.3. Усі арифметичні операції є цілочисельними.

4.4. Для розробленого методу відносно методів на JPEG платформі досягається значне скорочення кількості операцій множення. При цьому такий вииграш збільшується із зростанням довжин областей когерентності ділянок відеознімку.

5. Для розробленого методу кодування на основі формування компонувальних кодових конструкцій в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок СРВ досягається зниження часових затримок на обробку відеознімку в середньому в 7 разів. Такий результат досягається за рахунок скорочення кількості оброблюваних даних в результаті попереднього виявлення областей когерентності, зниження кількості операцій множення і складання, а також виконання обчислень тільки з цілими числами;

6. Отримала подальший розвиток технологія зниження бітового об'єму відеоданих на основі розроблених методів та моделі з умови виявлення областей когерентності. Відмінні особливості вдосконаленої технології полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок структурної надмірності на основі обліку глобальної і локальної нерівності між сусідніми елементами сукупності областей когерентності. Це дозволяє підвищити рівень відео сервісу та провести оцінку ефективності створених методів.

Вдосконалена технологія ЗБО в режимі корекцій візуальних оцінок СРВ в порівнянні з існуючими технологіями створюють умови для обробки статичних відеознімків з використанням мобільних інфокомунікаційних технологій в реальному часі для:

- відеознімків з просторовою роздільною здатністю 576 x 768 з використанням МП DragonBall, тактова частота 66 МГц;
- відеознімків з просторовою роздільною здатністю 2048x1536 з використанням МП ARM - 11(Nokia 5700), тактова частота 369 МГц.

7. Вдосконалена технологія в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового відношення сигнал/шум в 40 дБ з використанням як базовий компонент МП Snapdragon(HTC HD2), тактова частота 1000 МГц забезпечує можливість доставки в реальному часі відеознімків з просторовим дозволом порядку 24Мп. Усереднений по різних класах відеознімків

виграш за часом доставки для розробленого методу відносно існуючих в середньому рівний 1,3 разу, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Наукова новизна.

Отримала подальший розвиток технологія зниження бітового об'єму відеознімку на основі виявлення областей когерентності. Відмітні особливості технології полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок: розподілу кодограм нерівномірною лінійно-масштабуючою складовою в незначимих бітах базових кодограм значимих координатно-яскравісних складових; додаткового скорочення структурної надмірності на основі обліку глобальної і локальної нерівності між сусідніми елементами сукупності областей когерентності. Це дозволяє оцінити ефективність створених методів.

Основні науково-прикладні результати досліджень, викладені в четвертому розділі опубліковані в таких наукових працях [13; 71 – 75; 101; 102; 122].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу, яка полягає в зниженні часових затримок доставки відеознімків з використанням інформаційно-комунікаційних технологій для підвищення якості відеоінформаційних сервісів. Вдосконалено технологію, створено модель та методи обробки відеознімків на основі формування компонуваної кодової конструкції за рахунок заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, шляхом інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності.

Розвиток інформаційного простору характеризується тим, що найбільший попит формується щодо надання сервісів відеоінформацій, як для мобільних користувачів, так і для стаціонарних користувачів з використанням інформаційно-комунікаційних технологій доступу і обміну відеоінформацією. При цьому зберігається дисбаланс між можливостями сучасних ІКС щодо швидкостей передачі даних і зростанням потреб щодо надання високоякісних відеосервісів реального часу з використанням мобільного сегменту мережі.

Локалізація такого дисбалансу можлива на основі використання в інфокомунікаційних мережах технологій зниження бітового об'єму. У теж час аналіз показав, що існуючі технології зниження бітового об'єму не забезпечують вимог щодо характеристик доставки відеознімків насичених структурними деталями для мобільного сегменту інфокомунікаційних систем щодо надання відеосервісів.

На основі проведеної оцінки недоліків існуючих методів ЗБО обґрунтовано, що для вдосконалення технологій зниження бітового об'єму з гнучкими *контрольованими* обмеженнями на рівень візуальних оцінок по СРВ

пропонується використовувати альтернативний напрям попередньої обробки, що полягає в описі структурно-статистических залежностей на основі виявлення областей когерентності.

Отже для вдосконалення технологій зниження бітового об'єму з гнучкими *контрольованими* обмеженнями на рівень візуальних оцінок *пропонується* використовувати попередню обробку, яка полягає в описі структурно-статистичних залежностей на основі виявлення областей когерентності. Тому, *мета дисертаційних досліджень* полягає в досконаленні технології та створенні методів зниження бітового об'єму відеознімків з контрольованим рівнем візуальних оцінок по їх сприйняттю, для підвищення якості відеосервісу з використанням інфокомунікаційних мереж на основі виявлення областей когерентності.

Основними науковими результатами є.

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу, яка полягає в зниженні часових затримок доставки відеоданих з використанням інформаційно-комунікаційних технологій для підвищення якості відеоінформаційних сервісів. Основними науковими результатами, отриманими в роботі, є наступні.

1. Розроблена інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності цифрового представлення відеознімку у вигляді структурних позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів. В результаті чого було доведено, що мінімальне значення рівня зниження бітового об'єму зображень з високою насиченістю структурними деталями досягає від 1,8 до 5 разів, а середньо насичених від 2 до 8 разів.

2. Вдосконалено метод кодування значущої координатно-яскравостної складової цифрового опису відеознімку на основі виявлення областей когерентності з використанням двоєрархічної схеми формування кодових зна-

чень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації з виключенням елементів з рівними значеннями. Це забезпечує усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок в середньому на 17–25 %.

3. Вперше розроблено метод інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонуваної кодової конструкції. Відмінною основою методу, є то що компоновка кодових конструкцій ділянки відеознімку проводиться шляхом заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, а також за рахунок інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. Це дозволяє додатково знизити бітовий об'єм відеоданих без внесення додаткових помилок в процесі його обробки в середньому на 10 %.

4. Розроблено метод декомпозиції компонувальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок. Відмінні особливості методу полягають в тому, що в процесі оцінки бітового об'єму враховуються напрями його скорочення за рахунок розподілу кодограм нерівномірної лінійно-масштабуючої складової в незначущих бітах базових кодограм значущих координатно-яскравісних складових. Це дозволило в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок сприйняття реконструйованих відеознімків досягаться зниження часових затримок на обробку цифрового представлення відеознімку в середньому у 7 разів.

5. Вдосконалено технологію обробки цифрових відеозображень на основі розроблених методів та моделі з умови виявлення областей когерентності відеоданих в інформаційно-комунікаційних системах, що дозволило в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового

відношення сигнал/шум в 40 дБ з використанням в якості базового компоненту МП Snapdragon (HTC HD2), тактова частота 1000 МГц забезпечує можливість доставки в реальному часі цифрових відеознімків з роздільною здатністю порядку 24Мп. Усереднений по різних класах відеоданих ви-граш за часом доставки для розробленого методу щодо існуючих в середньому дорівнює 1,3 разів, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Результати дисертаційної роботи доцільно використати:

- у системах обробки і передачі потоків відеокадрів з використанням інфокомунікаційних систем, зокрема безпроводних;
- для проведення конструкторських і науково-дослідних робіт щодо вдосконалення тих, що існують і створенню нових технологічних засобів і програмних виробів для обробки і передачі відеотрафіку;
- в процесі вивчення учбових дисциплін по теорії інформації, кодування, методів цифрової обробки і передачі відеопотоків в мережах у вищих учбових закладах України.
- в процесі вивчення дисциплін з теорії передачі інформації, цифрової обробки зображень, телекомунікаційних систем, сучасних інфокомунікаційних технологій.

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. Алімпієв А.М., Бараннік В.В., Белікова Т.В., Сідченко С.О. Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні. *Системи обробки інформації*. Харків: ХНУПС. 2017. № 4(150). – С. 113–121.
3. 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.
4. Ансон Л., Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений // Мир ПК. 1992. № 4. – С. 23–27.
5. 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.
6. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов/пер. с англ. под ред. И. Б. Фоменко. Москва: Связь, 1980. 248 с.
7. Баранник В. В., Поляков В. П. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах. Харків: ХУПС, 2010. 234 с.
8. Бараннік В. В., Сорокун А. Д., Бараннік Д. В., Дворський М. В. Вдосконалення методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку // Наукоємні технології. – 2018. - № 3. – С. 22–29.
9. Бараннік В.В., Сорокун А.Д., Тупиця І.М., Бараннік В.В. Технологія

кластеризації даних інформаційного ресурсу за ознакою кількості серій одиниць // Наукоємні технології. – 2018. – № 4. – С. 00–00.

10. Бараннік В. В., Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Дворський М. В. Метод ефективного представлення та захисту динамічних об'єктів у відеопотоці на основі технології компенсації їх руху // Кібербезпека. – 2018. – № 1. – С. 00–00.

11. Бараннік В. В., Рябуха Ю. М., Твердохліб В. В., Бабенко Ю. М., Сорокун А. Д. Метод кодування бітового опису трансформант на базі незалежних кодових структур у технології управління інтенсивністю відеопотоку // Наукоємні технології. – 2019. – № 3. – С. 00–00.

12. 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.

13. Бараннік В. В., Сорокун А. Д., Бабенко Ю. М., Яковенко О. В. Метод кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімку в інфокомунікаційних системах // Сучасна спеціальна техніка. – 2019. – № 4. – С. 17–28.

14. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории: учебн. пособ. Москва, 2004. 280 с.

15. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов: книга / Пер. с англ. Москва: Мир, 1989. 448 с.

16. Богуш В. М. Інформаційна безпека держави / В. М. Богуш, О. К. Юдин. – К. : МК–Прес, 2005. 432 с.

17. Бондарев В. Н., Трестер Г., Чернега В. С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. Харьвов: Конус, 2001. 398с.

18. Буров Є., Пасічник В. Комп'ютерні мережі: підручник / ред. Пасічник В. 2-ге вид., оновл. і доп. Львів: Бак, 2003. 584 с.

19. Быков Р. Е. Цифровое преобразование изображений: учеб. пособие для вузов. Москва, 2003. 228 с.

20. 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.

21. Васильев В. Н., Гуров И. П. Компьютерная обработка сигналов. Санкт-Петербург: БХВ, 1998. 240 с.

22. 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.

23. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебн. пособ. Москва, 1988. 480 с.

24. Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. Санкт-Петербург: ВУС, 1999. 203 с.

25. Голубов Б. И., Ефимов А. В., Скворцов В. А. Ряды и преобразования Уолша: теория и применения. Москва: Наука, 1987. 344 с.

26. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: монография. Москва, 2005. 1073 с.

27. 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.

28. Гургенидзе А. Т. Корше В. И. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа: учебник. Санкт-Петербург, 2003. 434 с.

29. Гуржий П. Н. Декодирование сжатых видеоданных в инфокоммуникационных системах объективного контроля. *Сучасна спеціальна техніка*. 2014. № 1. – С. 22–30.

30. Дмитриев В. И. Прикладная теория информации: учебник. для вузов. Москва: Высш. шк., 1989. 320 с.
31. Додух О. М., Хіменко В. В., Мачалін І. О., Тарасенко Д. А. Метод формування двокомпонентного коду для компактного представлення фрагмента зображення у телекомунікаційних системах. *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. – С. 33–37.
32. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. Москва: Наука, 1989. 496 с.
33. Засядько А. А. К анализу эффективности алгоритмов и программ быстрых ортогональных дискретных преобразований. *Электронное моделирование*. 1998. № 6. – С. 109-111.
34. 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.
35. Зубков С. В. *Assembler. Для DOS, Windows и Linux*. Москва: ДМК, 1999. 640 с.
36. Иванов В. Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара. *Проблемы управления и информатики*. 2003. № 5. – С. 68–75.
37. Кашкин В. Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: консп. лекц. Красноярск, 2008. 121 с.
38. Климов А. С. Форматы графических файлов: кбига. Санкт-Петербург: ДиаСофт, 1995. 385 с.
39. Коган Б. М., Сташин В. Б. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. Москва: Энергия, 1989. 376 с.
40. Комолов Д. И., Сидченко С. А. Анализ состояния видеoinформационного обеспечения органов и подразделений Министерства внутренних дел Украины. *Сучасна спеціальна техніка*. 2014. № 2. – С. 36–44.

41. Корнеев В. В., Киселев А. В. Современные микропроцессоры. Санкт-Петербург: БХВ, 2003. 448 с.
42. Королев А. В., Баранник В. В. Метод восстановления трансформант дискретного косинусного преобразования. *Системи обробки інформації*. 2000. Вип. 3(9). – С. 83–86.
43. Кравченко В. Ф., Рвачев В. А. «Wavelet»-системы и их применение в обработке сигналов. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1996. № 4. – С. 3–20.
44. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и ее приложения. Москва: Радио и связь, 1986. 248 с.
45. Красильников Н. Н. Цифровая обработка изображений: учебник. Москва, 2011. 320 с.
46. Красноручский А. А., Яценко С. Я. Метод арифметического классификационного кодирования трансформант Уолша. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2006. Вып. 31. – С. 138–141.
47. 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.
48. Кулиса О. С., Думанский М. В. Обоснование требований относительно целостности видеоинформации воздушного мониторинга чрезвычайных ситуаций. *Сучасна спеціальна техніка*. 2012. № 4. – С. 88 – 91.
49. Крук Б. И., Попантопул В. Н., Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1: учебник. Москва, 2003. 647 с.
50. Лидовский В. В. Теория информации. Москва: Компания Спутник+, 2004. 111 с.

51. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов; пер. с англ. Москва: Мир, 2005. 671 с.
52. Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 4. Алгоритм LZW. *Монитор*. 1994. № 2. – С. 8–11.
53. Мастрюков Д. Алгоритмы сжатия информации. Ч. 2. Арифметическое кодирование. *Монитор*. 1994. № 1. – С. 20–23.
54. 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.
55. Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. Москва 2003. 336 с.
56. Нетравали А. М., Лимб Дж. О. Кодирование изображений. *ТИИЭР*. 1980. №3. С. 76–124.
57. Николаев Ф. А., Фолин В. И., Хохлачев Л. М. Проблемы повышения достоверности в информационных системах: книга. Ленинград: Энергоатомиздат, 1982. 138 с.
58. Обработка изображений и цифровая фильтрация: учебник / под ред. Т. С. Хуанга. Москва: Мир, 1979. 318 с
70. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. 3-е изд. Санкт-Петербург: Питер, 2006. 958 с.
71. Осипов Л. А. Обработка сигналов на цифровых процессорах. Москва: Горячая линия – Телеком, 2001. 112 с.
72. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработка изображений: книга. Москва: Радио и связь, 1986. 400 с.
73. Поляков П. Ф., Баранник В. В., Яковенко А. В. Метод восстановления изображений с контролируемой погрешностью. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2008. № 4. – С. 44–47.

74. Прокис Дж. Цифровая связь: книга. / Пер. с англ.; под ред. Д. Д. Кловского. Москва: Радио и связь, 2000. 800 с.

75. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: книга в 2 т. / Пер. с англ.; Москва: Мир, 1985. 736 с.

76. Свириденко В. А. Анализ систем со сжатием данных. Москва: Связь, 1978. 183с.

77. 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.

78. Синепол В. С., Цикин И. А. Системы компьютерной видеоконференц-связи. Москва: Мобильные коммуникации, 1999. 166 с.

79. Сорокун А.Д. Создание метода синтаксического представления сегментов видеокадров с учетом наличия ключевой информации / А. Д. Сорокун, В. В. Баранник, Д. О. Медведев, О. Н. Стеценко, А. Н. Додух // *Наукоємні технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: колективна монографія [под редакцией В. В. Баранника, В. М. Безрука]. – Х. : Видавництво «Стиль-видат», 2018. – С. 188–198.*

80. Сорокун А. Д., Баранник В. В., Гаврилов Д. С. Розробка інформаційної технології оперативної та конфіденційної доставки відеоінформаційного ресурсу в системі критичної інфраструктури // *Радіоелектроніка та інформатика. - 2018. - № 2. - С. 17–20.*

81. Сорокун А. Д. Обоснование направления для снижения битового объема видеоснимков в инфокоммуникационных системах // *Радіоелектроніка та інформатика. - 2019. - № 3. - С. 15–19.*

82. Сорокун А. Д., Баранник В. В., Стеценко О. М., Корольова Н. А. Мультиагентна модель управління процесом кодування кадру // 31 міжнародна науково-практична конференція [«Інформаційно-керуючі системи на

залізничному транспорті»], (Харків, 24-25 жовтня 2018 р.) / Український університет залізничного транспорту, Харків, 2018. – С. 28–30.

83. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Дворський М. В., Хіменко В. В., Поволоцький М. А. Аналіз методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку // VII Міжнародна науково-практична конференція [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 8-10 листопада 2018 р. – С. 172–173.

84. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Тупиця І. М., Бараннік Д. В., Хіменко В. В. Аналіз використання методу внутрішньої реструктуризації даних в процесі статистичного кодування інформаційного ресурсу. *Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченій пам'яті професора Кунченка Ю. П.*: матеріали VI Міжн. наук.-практ. конф., (Черкаси, 24–26 травня 2019 р.). Черкаси: ЧДТУ, 2019. – С. 25–264.

85. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Бараннік В. В. Стеценко О. М. Обґрунтування напрямків розробки технологій обробки відеокадрів на базі мультиагентного підходу. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS)*: матеріали I наук.-практ. конф., (Київ 5–6 квітня. 2019 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2019. – С. 123-126.

86. Сорокун Антон, Бараннік Володимир, Стеценко Оксана, Хіменко Вікторія. Методологічна база ефективного застосування мультиагентних схем у процесі кодування відеоданих Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (20–25 травня 2019 року, Івано-Франкіськ – Яремче). Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаніка, 2019. – С. 67–70.

87. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Фустій В. С., Малік О. В. Оцінка ефективності методів маскування аерофотографій // VII Міжнародна науково-практична конференція [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 3-5 жовтня 2019 р. – С. 35–36.

88. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука: учебное пособие. Москва: Техносфера, 2004. 368 с.

89. 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.

90. 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.

91. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Методы сжатия изображений, аудтосигналов и видео: учеб. пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.

92. Туренко С. В., Бараннік В. В., Бекірова А. Є., Комолов Д. І. Спосіб компресії зображень в інфокомунікаціях на основі кодування кортежів. *Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., (Харків, 17–18 квіт. 2014 р.). Харків. Нац. екон. ун-т. Харків, 2014. – С. 233.

93. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие. Санкт-Петербург : СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.

94. Цивільний кодекс України. *Офіційний вісник України*. 2003. № 11. ч. 3, с. 307.

95. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И. С. Грузман и др. Новосибирск, 2002. 352 с.
96. Чернега В. С. Сжатие информации в компьютерных сетях. Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. 214 с.
97. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике: ученик. Москва: изд. иностр. лит., 1963. 793 с.
98. Шлихт Г. Ю. Цифровая обработка цветных изображений. Москва: ЭКОМ, 1997. 336 с.
99. Юдін О. К. Захист інформації в мережах передачі даних: підручник / Г. Ф. Конахович, О. Г. Корченко, О. К. Юдін. – К. : Видавництво ТОВ НВП «ІНТЕРСЕРВІС», 2009. 714 с.
100. Юдін О. К. Інформаційна безпека. Нормативно-правове забезпечення: підручник. – К. : НАУ, 2011. 640с.
101. Юдін О. К., Бучик С. С. Концептуальний аналіз уразливості державних інформаційних ресурсів. *Наукоємні технології*. 2013. № 3 (19). – С. 299–304.
102. Юдін О. К., Зюбіна Р. В. Метод ефективної ширини спектру // *Наукоємні технології*. – 2018. – Т. 37. – № 1. – С. 55– 60.
103. Юдін О. К., Зюбіна Р. В. Класифікація методів ідентифікації частоти основного тону // *Наукоємні технології*. – 2017. – Т. 33. – № 1. – С. 13–21.
104. Юдін О. К., Зюбіна Р. В. Оцінка ефективності методів ефективної ширини спектру та найбільшої інформаційної ваги основного тону в задачах ідентифікації та автентифікації аудіо сигналів // *Наукоємні технології*. – 2017. – Т. 35. – № 3. – С. 209–214.
105. Яковенко А. В. Методологічні основи комплексного представлення зображень з контрольованою погрішністю. *Системи озброєння і військова техніка*. 2008. Вип. 2(14). С. 128–131.

106. 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.

107. Andrews H. C., Hunt B. R. Digital image restoration. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1977. XVIII. 238 p.

108. 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.

109. Volodymyr Barannik, Anton Sorokun, Mykola Dvorsky, Valeriy Barannik, Viktoria Himenko Improvement of Methods Motion Compensation of Dynamic Objects Moving in Video Stream in the Videoconferencing System // *Informatyka Automatyka Pomiarzy w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*. – 2018. – № 4. – P. 22–25.

110. Volodymyr Barannik, Anton Sorokun, Yuriy Ryabukha, Dmitry Barannik, Yurii Babenko Developing A Method Of reconstructing a video image and Composing Key Components Of A Video // *Informatyka Automatyka Pomiarzy w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*. – 2020. – № 1. – P. 22–25.

111. Barannik V. V., Anton Sorokun, Viktoria Himenko, Natalia Barannik, Yuriy Stasev, Alexander Musienko Effective Coding Method of Video Frames in Infocommunications. *IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T'2018): materials of IEEE Second International Scientific-Practical Conference*. (Kharkiv, Ukraine, October 13–15, 2018). Kharkiv: 2018. – P. 144–147.

112. Vladimir Barannik, Anton Sorokun, Stetsenko Oksana, Alexander Musienko, Yudin Oleksandr Technology for Efficient Encoding of Structural Components using the Multi-agent Approach for Telecommunication Tools and Devices. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2018: The 14th International Conference*, (Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 21-25 February 2018). 2018. – P. 29–31.

113. Vladimir Barannik, Mikolaj Karpinski, Dmytro Havrylov, Anton Sorokun, Marcin Bernas Development Of The Combined Selective Frame Processing Method 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 (28.06.2019–07.07.2019), Bulgaria 2019. – P. 121–128.

114. Vladimir Barannik, Anton Sorokun, Yuriy Ryabukha, Anna Hahanova, Maksym Parkhomenko · Oleksandr Dodukh Developing A Method Of Composing Key Components Of A Video Image Based On The Integration Of Their Code Structures. 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2019). 18.12.19-20.12.19 Kyiv Ukraine. – P. 188-192.

115. 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.

116. Barlaud M. Pyramidal lattice vector quantization for multiscale image coding. *IEEE Trans. Image Proc.* 1994. Vol. 3. No. 4. – P. 367–381.

117. Chigorin A., Krivovyaz G., Velizhev A., Konushin A. A method for traffic sign detection in an image with learning from synthetic data. *Digital Signal Processing and its Applications: the 14th Intern. conf.* 2012. Vol 2. – P. 316–335.

118. Ding Z., Chen H., Gua Y., Peng Q. GPU accelerated interactive space-time video matting. *In Computer Graphics International*. 2010. – P. 163–168.

119. Gonzales R. C., Woods R. E. Digital image processing. Prentice Inc. Upper Saddle River. New Jersey, 2002. 779 p.

120. Gopinath R. A., Burrus C. S. On cosine-modulated wavelet orthogonal bases. *IEEE Trans. Image Proc.* 1995. Vol. 4. No. 2. – P. 162–177.

121. Grundmann M., Kwatra V., Han M., Essa I. Efficient hierarchical graph based video segmentation. *IEEE CVPR*. 2010. – P. 85–91.

122. 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.

123. 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.

124. Kang H. R. Color Technology for Electronic Imaging Devices. *The International Society for Optical Engineering*. Vol. PM28. Bellingham:WA, 1997.

125. 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.

126. Lee S. Y., Yoon J. C. Temporally coherent video matting. *Graphical Models* 72. 2010. – P. 25–33.

127. 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.

128. Milyaev S., Barinova O., Novikova T., Lempitsky V. Binarization for end-to-end text understanding in natural images. *ICDAR*. 2013. – P. 35–42.

129. Pratt K. Digital image processing: PIKS inside: *third edition*. Inc., 2001. 738 p.

130. Sindeev M., Konushin A., Rother C. Alpha-flow for video matting. *Technical Report*. 2012. – P. 41–46.

131. 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.

132. 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.

133. Sorokun A., Barannik V., Babenko Y., Yakovenko O. Development of a Method of Encoding a Significant Coordinate Brightness Component of a Video Image. *MODERN SPECIAL TECHNICS*. 2019. Vol. 4 (59). – P. 5–13.

134. Sorokun Anton, Barannik Vladimir, Barannik Valeriy, Dmytro Havrylov Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method. *on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2019: 3rd IEEE International Conference, Proceedings, (Lviv, July 2019)*. Lviv, 2019. – P. 188-192.

135. Wallace G. K. The JPEG Still Picture Compression Standard. *Communication in ACM*. 1991. Vol. 34. No. 4. – P. 31–34.

136. 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.

137. Yudin O., Frolov O., Ziubina R. Quantitative quality indicators of the invariant spatial method of compressing video data // *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015 Second International Scientific-Practical Conference*. – IEEE, 2015. – P. 227-229, doi: 10.1109 /INFOCOMMST.2015.7357320. (eng)

138. Yudin O.K., Boiko Y.P. “Compression technology to reduce the amount of coding transformant based on their binary representation” *Science-intensive technologies*, 2014. – P. 84–89.

139. Yudin O., Boiko Y., Frolov O. Organization of decision support systems for crisis management // *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 2015 Second International Scientific-Practical Conference*. – IEEE, 2015. – P. 115-117, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2015.7357287. (eng)

140. O. Yudin, V. Barannik, Y. Boiko, R. Ziubina, and N. Vyshnevskya, “Video Data Compression Methods in the Decision Support Systems”, *Advances in Computer Science for Engineering and Education*, May 2018. – P. 301–308.

141. O.Yudin, P.Gurzhiy, B.Gorodetsky, Y.Ryabukha, “The Method of Adaptive Counteraction to Viral Attacks, Taking into Account Their Masking in Infocommunication Systems”, Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019. – P.423–426.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Создание метода синтаксического представления сегментов видеок кадров с учетом наличия ключевой информации / А. Д. Сорокун, В. В. Баранник, Д. О. Медведев, О. Н. Стеценко, А. Н. Додух // *Наукоємні технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації* : кол. моногр.; за ред. В. В. Баранніка, В. М. Безрука. Харків : Стиль-Видат, 2018. – С. 188–198.

2. А. Д. Сорокун, В. В. Баранник, Д. В. Баранник, М. В. Дворський. Вдосконалення методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку. *Наукоємні технології*. 2018. № 3. – С. 22–29.

3. Сорокун А. Д., Баранник В. В., Гаврилов Д. С. Розробка інформаційної технології оперативної та конфіденційної доставки відеоінформаційного ресурсу в системі критичної інфраструктури. *Радіоелектроніка та інформатика*. 2018. № 2. – С. 17–20.

4. Сорокун А. Д., Баранник В. В., Баранник В. В., Тупиця І. М. Технологія кластеризації даних інформаційного ресурсу за кількісною ознакою. *Наукоємні технології*. 2018. № 4. – С.398–404. URL: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/13264/18612> (дата звернення: 20.08.2020).

5. Сорокун А. Д., Баранник В. В., Баранник В. В., Дворський М. В. Метод ефективного представлення та захисту динамічних об'єктів у відеопотоці на основі технології компенсації їх руху. *Кібербезпека*. 2018. № 2. – С. 90–97. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/cest_2018_2_8 (дата звернення: 20.08.2020).

6. Сорокун А. Д. Обоснование направления для снижения битового объема видеоснимков в инфокоммуникационных системах. *Радіоелектроніка та*

інформатика. 2019. №3. С. 15–19.

7. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Рябуха Ю. М., Твердохліб В. В., Бабенко Ю. М. Метод кодування бітового опису трансформант на базі незалежних кодових структур у технології управління інтенсивністю відеопотоку. *Наукоємні технології*. 2019. № 3. – С. 295–299. URL: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/13979> (дата звернення: 20.08.2020).

8. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Бабенко Ю. М., Яковенко О. В. Метод кодування значущої координатно-яскравісної складової відеознімку в інфокомунікаційних системах. *Сучасна спеціальна техніка*. 2019. № 4 (59). – С. 5–13.

9. Sorokun A., Volodymyr Barannik, Mykola Dvorsky, Valeriy Barannik, Viktoria Himenko. Improvement of Methods Motion Compensation of Dynamic Objects Moving in Video Stream in the Videoconferencing System. *Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*. 2018. № 4. – P. 22–25. URL: <https://ph.pollub.pl/index.php/iapgos/article/view/947/722> (last accessed: 20.08.2020).

10. Sorokun A., Barannik V., Ryabukha Y., Barannik D., Babenko Y. Developing a Method of Reconstructing a Video Image and Composing Key Components Of a Video. *Informatyka Automatyka Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*. 2020. № 1. – P. 22–25.

11. Сорокун А. Д., Юдін О. К. Дослідження особливостей використання сучасних автоматизованих систем управління проектами для підвищення ефективної діяльності підприємств. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. 3(44). – С. 39–45.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Стеценко О. М., Корольова Н. А. Мультиагентна модель управління процесом кодування кадру. XXXI Міжн. наук.-практ. конф. «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», 24–25 жовт. 2018 р. Харків : Укр. ун-т залізничного транспорту. – С. 28–30.

2. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Дворський М. В., Хіменко В. В., Поволоцький М. А. Аналіз методів компенсації руху динамічних об'єктів у відеопотоці в системі відеоконференцзв'язку. VII Міжн. наук.-практ. конф. «Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах», 8–10 листоп. 2018 р., Чернівці : ЧНУ ім. Ю. Федьковича. – С. 172–173.

3. Аналіз використання методу внутрішньої реструктуризації даних в процесі статистичного кодування інформаційного ресурсу. Обробка сигналів і негауссівських процесів : матеріали VI Міжн. наук.-практ. конф., присвяч. пам'яті проф. Кунченка Ю. П., 24–26 трав. 2019 р., Черкаси : ЧДТУ, 2019. – С. 25–264.

4. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Бараннік В. В., Стеценко О. М. Обґрунтування напрямків розробки технологій обробки відеокадрів на базі мультиагентного підходу. Проблеми кібербезпеки інформаційно-комунікаційних систем (PCSITS) : матеріали I наук.-практ. конф., 5–6 квіт. 2019 р. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2019. – С. 123–126.

5. Антон Сорокун, Володимир Бараннік, Оксана Стеценко, Вікторія Хіменко. Методологічна база ефективного застосування мультиагентних схем у процесі кодування відеоданих. Міжн. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання», 20–25 трав. 2019 р., Яремче : Івано-Франківськ : ПНУ ім. В. Стефаника. – С. 67–70.

6. Сорокун А. Д., Бараннік В. В., Фустій В. С., Малік О. В. Оцінка ефективності методів маскуванню аерофотографій. VII Міжн. наук.-практ. конф. «Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах», 3–5 жовтня 2019 р., Чернівці : ЧНУ ім. Ю. Федьковича. – С. 35–36.

7. Anton Sorokun, Vladimir Barannik, Viktoria Himenko, Natalia Barannik, Yuriy Stasev, Alexander Musienko. IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T'2018): Materials of IEEE Second International Scientific-Practical Conference, Kharkiv, Ukraine, Oct. 13–15, 2018. – P. 144–147.

8. Sorokun A., Barannik V., Stetsenko O., Musienko A., Yudin O. Technology for Efficient Encoding of Structural Components Using the Multi-Agent Approach for Telecommunication Tools and Devices. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM'2018: The 14th International Conference, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 21–25 Feb. 2018. – P. 29–31.

9. Development Second and Third Phase of the Selective Frame Processing Method on Advanced Information and Communication Technologies. Sorokun A., Barannik V., Barannik V., Havrylov D. / AICT 2019: Proceedings of the 3d IEEE International Conference, Lviv, Ukraine, Jul. 2019. – P. 188–192.

10. Development Of The Combined Selective Frame Processing Method. Anton Sorokun, Vladimir Barannik, Mikolaj Karpinski, Dmytro Havrylov, Marcin Bernas / XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Bulgaria, Jun. 28–Jul.7 2019. – P. 121–128.

11. Development of a Method of Encoding a Significant Coordinate Brightness Component of a Video Image. Sorokun A., Barannik V., Babenko Y., Yakovenko O. MODERN SPECIAL TECHNICS. 2019. Vol. 4 (59). – P. 5–13.

12. Sorokun A., Barannik V., Ryabukha Y., Hahanova A., Parkhomenko M., Dodukh O. Developing a Method of Composing Key Components of a Video Image Based on the Integration of Their Code Structures. IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2019), Kyiv, Ukraine, Dec. 18–20.2019. – P. 188–192.

13. Сорокун А. Д., Юдін О. К. Дослідження стеганографічного методу приховування даних у JPEG-зображеннях. XII Міжн. наук.-техн. конф. «АВІА–2015», 28–29 квіт. 2015 р. Київ : НАУ. – С. 58–61.

Апробація результатів дисертації була проведена на:

– 31 міжнародна науково-практична конференція [«Інформаційно-керуючі

системи на залізничному транспорті]], (Харків, 24-25 жовтня 2018 р.), участь з доповіддю;

- VII Міжнародна науково-практична конференція [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 8-10 листопада 2018 р., участь з доповіддю;

- VI Міжн. наук.-практ. конф., (Черкаси, 24–26 травня 2019 р.). Черкаси: ЧДТУ, 2019 р., участь з доповіддю;

- I наук.-практ. конф., (Київ 5–6 квітня. 2019 р.). Київ: нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2019., участь з доповіддю;

- Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (20–25 травня 2019 року, Івано-Франкіськ – Яремче), участь з доповіддю;

- VII Міжнародна науково-практична конференція [«Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах»] / Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 3-5 жовтня 2019 р., участь з доповіддю;

- IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T'2018): materials of IEEE Second International Scientific-Practical Conference. (Kharkiv, Ukraine, October 13–15, 2018), участь з доповіддю;

- The 14th International Conference, (Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 21-25 February 2018), участь з доповіддю;

- 3rd IEEE International Conference, Proceedings, (Lviv, July 2019). Lviv, 2019, участь з доповіддю;

- 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 (28.06.2019 - 07.07.2019), Bulgaria 2019, тези та її доповідь подано дистанційно;

- IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2019). 18.12.19-20.12.19 Kyiv Ukraine, участь з доповіддю.

Додаток А



Рис. А.1. Приклад зображення з низким рівнем насиченості



Рис. А.2. Приклад зображення з високим рівнем насиченості

Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.в.о. директора Державного науково-дослідного інституту МВС України
доктор юридичних наук, професор,
заслужений юрист України



Михайло Вербенський

2019р.

А К Т

впровадження результатів науково-прикладних досліджень Сорокуна Антона Дмитровича

Комісія у складі: голови - заступника начальника ДНДІ МВС України, кандидата юридичних наук, старшого дослідника Смерницького Д.В., членів комісії: завідувача НДЛ СТЗ ДНДІ МВС України кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Яковенка О.В., провідного наукового співробітника НДЛ КСТ кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Євграфова Д.В., провідного наукового співробітника ЛСРВЗ та СЗСЗ кандидата технічних наук старшого наукового співробітника Марченка О.С. склала дійсний акт, який полягає в тому, що при виконанні дослідно-конструкторських робіт використані наступні результати науково-прикладних досліджень Сорокуна Антона Дмитровича, а саме:

1) метод кодування значущої складової координатно-яркісного опису відеознімку на основі виявлення областей когерентності з використанням двохієрархічної схеми формування кодових значень для сукупності областей когерентності після нерівномірної субдискретизації з виключенням елементів з рівними значеннями. Це забезпечує усунення структурної надмірності без внесення додаткових помилок в середньому на 17 – 25 %.

2) метод обробки відеознімків на основі того що компоновка кодових конструкцій ділянки відеознімку проводиться шляхом заповнення базової кодограми, отриманої для рядка масиву значущої складової координатної яскравості, за рахунок інтеграції сегменту кодограми рядка масиву нерівномірних довжин областей когерентності. Це дозволяє додатково знизити бітовий об'єм відеознімку без внесення додаткових помилок в процесі його обробки в середньому на 10%.

Впровадження результатів досліджень Сорокуна А.Д. в практичну діяльність підрозділів Національної поліції України на основі програмно-апаратних реалізацій дозволило забезпечити:

1) для розробленого методу на основі формування компонувальних кодових конструкцій в порівнянні з існуючими методами в умовах наявності корекцій візуальних оцінок ВРВ досягається зниження часових затримок на обробку відеознімку в середньому в 7 разів;

Додаток Б

2

2) розроблена технологія в порівнянні з відомими технологіями в режимі корекцій візуальних оцінок на рівні пікового відношення сигнал/шум в 40 Дб з використанням в якості базового компоненту МП Snapdragon (НТС Hd2), тактова частота 1000 МГц забезпечує можливість доставки в реальному часі відеознімків з просторовим дозволом порядку 24Мп. Усереднена по різних класах відеознімків перевага за часом доставки для розробленого методу щодо існуючих в середньому дорівнює 1,3 разів, що обумовлено додатковим збільшенням рівня зниження бітового об'єму і скорочення часових затримок на обробку.

Голова комісії:

Кандидат юридичних наук,
старший дослідник

Члени комісії:

кандидат технічних наук

кандидат технічних наук

кандидат технічних наук



Смерницький Д.В.

Яковенко О.В.

Євграфов Д.В.

Марченко О.С.

Додаток В



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор Національного авіаційного
університету з наукової роботи

В.П. Харченко

20 » 02 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук Сорокуна Антона Дмитровича у навчальний процес Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписалися, завідувач кафедри телекомунікаційних систем Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій, д.т.н., проф. Г.Ф. Конахович, декан Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету д.т.н., проф. І.О. Мачалін склали цей акт про те, що результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Сорокуна Антона Дмитровича «Метод зниження бітового об'єму відеознімків для підвищення якості відеосервісу з використанням інфокомунікаційних систем» використовуються у навчальному процесі на кафедрі телекомунікаційних та радіоелектронних систем Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету.

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий фактичний ефект
<p><i>Інформаційна модель представлення сукупності значущих елементів областей когерентності відеознімка у вигляді структурно-позиційних чисел з наявністю властивостей глобальної і локальної нерівності суміжних елементів</i></p>	<p><i>У навчальний процес як методичні рекомендації для проведення лабораторних занять з дисципліни «Теорія трафіку». Завдяки своїй наочності впроваджені методичні рекомендації підвищили ефективність засвоєння студентами матеріалу зазначеної дисципліни.</i></p>
<p><i>Метод інтеграційного компонування ключових складових обробки відеоданих на основі формування компонуальної кодової конструкції та декомпозиції компонуальних кодових конструкцій з метою реконструкції відеоданих в умовах виключення додаткового внесення помилок</i></p>	<p><i>У навчальний процес як методичні матеріали для проведення курсового проектування з дисципліни «Теорія трафіку». Впроваджений метод дозволив підвищити якість підготовки студентів, що навчаються за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», освітньою програмою «Телекомунікаційні системи та мережі» шляхом набуття ними знань про методи побудови ефективних підсистем базових станцій операторів стільникового зв'язку.</i></p>

Завідувач кафедри
телекомунікаційних та
радіоелектронних систем,
д.т.н., проф.

Г.Ф. Конахович

Декан Факультету
аеронавігації, електроніки та
телекомунікацій
д.т.н., проф.

І.О. Мачалін