

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)
Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Використання систем автономних смарт-агентів у процесі кодування відеоінформації у реальному часі

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІм-20-1

Бойчук М.І.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц.Харченко Н.А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

2021 р.

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

Не містить відомостей, заборонених
до відкритого публікування

Керівник _____ /*Н.А.Харченко*

Студент _____ / *М.І. Бойчук*

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172. Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)
Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« 10 листопада 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Бойчуку Микиті Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання систем автономних смарт-агентів у процесі кодування відеоінформації у реальному часі

затверджена наказом університету від 8 листопада 2021 р. № 1674 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Розглянути та проаналізувати існуючі тенденції розвитку мережесервісів (зростання їх кількості, збільшення аудиторії користувачів, взаємна інтеграція сервісів). На базі цього визначити основну проблематику обробки відеоданих на рівні кінцевих вузлів. Обґрунтувати, що в існуючому технологічному базисі обробка відеоданих класичними методами є малоефективною. Запропонувати підхід до кодування відео, базований на використанні систем смарт-агентів та обґрунтувати його ефективність.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ

1. Аналіз особливостей розвитку сервісів на базі інфокомунікаційних мереж
2. Огляд особливостей обробки даних на кінцевих вузлах
3. Дослідження існуючих підходів до кодування відео на рівні представлення
4. Побудова процесу кодування відеоінформаційних потоків на базі використання системи автономних смарт-агентів
Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
Слайди у форматі Power Point (назва та мета роботи, тенденції розвитку мережесвих
сервісів, обробка відеоданих на рівні кінцевого вузла, проблематика традиційного
підходу до кодування відео у схемі MPEG, застосування схеми на основі смарт-агентів
у базисі MPEG)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.</i>		
2	<i>Підбір літератури за темою роботи.</i>		
3	<i>Виконання розділу 1</i>		
4	<i>Виконання розділу 2</i>		
5	<i>Виконання розділу 3</i>		
6	<i>Виконання розділу 4</i>		
7	<i>Оформлення презентаційного матеріалу,</i>		
	<i>підготовка до захисту у ЕК</i>		

Дата видачі завдання 10 листопада 2021 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Харченко Н.А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 95 с., 19 рис., 5 табл., 18 джерел, 2 додатки

СИСТЕМА СМАРТ-АГЕНТІВ, МЕРЕЖЕВІ СЕРВІСИ, QoS, GOP, TDP, ARM, UHD

Об'єкт дослідження – системи обробки даних, сформовані взаємодією окремих інтелектуальних обчислювальних модулів.

Мета роботи – дослідження принципів застосування схеми на базі смарт-агентів для обробки відеоданих.

Здійснюється аналіз базових закономірностей ускладнення та збільшення обсягів трафіку, що має оброблятися на рівні кінцевого вузла. Виконується оцінка традиційних методів обробки відеоданих. Розглядається підхід, що базується на використанні смарт-агентів систем у ході кодування відео.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 95p., 19 fig., 5 tab., 18 sources, 2 app.

SYSTEM OF SMART AGENTS, NETWORK SERVICES, QoS, GOP, TDP, ARM, UHD

The object of research - data processing systems, formed by the interaction of individual intelligent computing modules.

The purpose of the work is to develop and analyze the principles of application of the scheme based on smart agents for video data processing. The analysis of basic regularities of complication and increase of volumes of traffic which should be processed at the level of the final node is carried out. The evaluation of traditional methods of video data processing is performed. An approach based on the use of smart system agents during video encoding is considered.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗВИТКУ СЕРВІСІВ НА БАЗІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	13
1.1 Характерні особливості розвитку та поширення сучасних сервісів на базі інфокомунікаційних мереж	13
1.2 Зростання обсягу мережевих сервісів	15
1.2.1 Огляд найбільш поширених сервісів на базі інформаційно- комунікаційних мереж	15
1.2.2 Частково утілені та перспективні мережеві сервіси	19
1.2.3 Збільшення обсягу мережевих сервісів та росту аудиторії їх користувачів	20
1.3 Збільшення ступеню взаємної інтегрованості сервісів	24
1.4 Зростання навантаження, що створюється окремим джерелом на мережу за рахунок збільшення бітової швидкості генерованого відеотрафіку	26
2 ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ДАНИХ НА КІНЦЕВИХ ВУЗЛАХ	28
2.1 Базові показники, що характеризують процес передавання даних та безпосередньо самі дані	28
2.2 Формування трафіку на рівні джерела	32
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО КОДУВАННЯ ВІДЕО НА РІВНІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ	37
3.1 Головні технологічні етапи у складі схеми MPEG	37
3.2 Вимоги, яким має відповідати процес обробки відео на рівні представлення	41
3.3 Існуюча проблематика кодування відеоінформації відповідно до існуючої ідеології MPEG	44
4 ПОБУДОВА ПРОЦЕСУ КОДУВАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ АВТОНОМНИХ СМАРТ-АГЕНТІВ	49
4.1 Загальні відомості щодо систем смарт-агентів	49

4.2 Кодування відео у реальному часі на базі системи смарт-агентів	51
4.2.1 Логічна архітектура та структурні особливості побудови інтелектуального обчислювального модулю ССА.....	54
4.3 Перелік режимів функціонування ССА у ході обробки окремих кадрів відеопотоку	61
4.3.1 Режим формування попередньої стратегії	61
4.3.2 Базовий режим функціонування ССА	65
4.3.3 Режим уточнення	66
4.4 Функціонування системи смарт-агентів при скороченні міжкадрової надлишковості	67
4.5 Переваги, що надає використання ССА як базису для технологічного циклу обробки відеоінформації	71
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	76
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	78
ДОДАТОК Б ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	87

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ССА –система смарт-агентів;

СА – смарт-агент;

ІОМ (ІМ) – інтелектуальний обчислювальний модуль;

LTE-A – стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних;

VoIP – сервіс голосового зв'язку через IP-мережу;

ДКП – дискретно-косинусне перетворення;

HD – (high definition) – відео високої роздільної здатності;

UHD - (ultra-high definition) – відео ультра-високої роздільної здатності;

SD - (small definition) – відео низької роздільної здатності;

MPEG – сімейство стандартів відео кодування;

RLE – (run-length encoding) – технологія кодування ланцюжків двійкових символів;

JPEG – технологія кодування зображень;

QoS – технологія контролю якості послуг, які надає інформаційно-комунікаційна мережа.

ВСТУП

Інформаційно-комунікаційним системам, які зараз набули розвитку та розповсюдження, у загальному випадку властиві певні особливості, наприклад:

- присутність стійкої та вираженої тенденції до постійного збільшення відсотку даних мультимедіа поміж інших типів даних, формуючих глобальні інформаційні потоки у масштабах Всесвітньої мережі;

- наявність сталого росту рівня взаємної інтегрованості сервісів, що надаються на базі інфокомунікаційних мереж, у т.ч. включенням до їхнього складу послуг, пов'язаних з обробкою, зберіганням та трансляцією відеоконтенту.

Ще однією особливістю сучасних інформаційно-комунікаційних систем є те, що змінився сам формат сприйняття терміну *мережевий сервіс*.

Так, якщо приблизно років десять-п'ятнадцять тому мало місце лише розширення діапазону послуг, що надаються користувачам (у т.ч. удосконалення послуг існуючих), та ріст аудиторії клієнтів, що зацікавлені у цих послугах, то на сьогодні чіткі межі, що відділяють існуючі сервіси, які надаються з використанням мереж, є, у сутності, умовними, а у ряді випадків практично відсутні.

Наприклад, у рамках однієї з найбільш затребуваних та розширюваних категорій сервісів, таких, як платформи GIS, орієнтованих на представлення послуг навігації, геопозиціонування та надання інформації (2GIS, Google Maps, Yahoo Maps, Yandex Maps, Bing Maps, Wikimapia та ін.), зараз спостерігається не тільки удосконалення базового функціоналу, доступного від початку, та зростання кількості надаваних послуг. Має місце також включення у доступний функціонал нового інструментарію, що раніше бів реалізований у складі платформ зовсім інших форматів. Так, платформи GIS додатково використовують:

- засоби, що забезпечують інтерфейс з системою в інтерактивному режимі;
- мультимедійні додатки;
- засоби AR, або доповненої реальності;
- інструменти інтеграції з соціальними медіа.

Таке розширення функціоналу сервісів GIS врешті решт привело до того, що значний відсоток з них на сьогодні, зараз більшість GIS-платформ перетворилася на портали.

Наведена закономірність розвитку мережеских платформ також є справедливою для соціальних медіа. Зокрема, доступний тут існуючий початковий функціонал також поступово було посилено. Це було досягнуто шляхом:

- додавання API;
- інтегрування з GIS-сервісами;
- імплементацією засобів мультимедіа;
- інтеграцією з обліковими записами найбільш масових мережеских платформ

Поряд з GIS-платформами та соціальними медіа, однією з найбільш популярних категорій зараз є мережескі сервіси, що дають змогу зберігати, здійснювати обробку та передавати інформацію, що відноситься до категорії мультимедіа.

Зокрема, це стосується:

- сховищ аудіофайлів;
- платформ, що надають послуги онлайн-трансляцій (наприклад, Periscope);
- відео бібліотек (сервісів, що надають послуги відеохостингу та, хоча б часково, – загального редагування відеоконтенту (BoomStream, DailyMotion, Vzaar, YouTube, Metacafe, Vimeo та ін).

Слід зазначити, що для випадку мультимедійних сервісів навантаження на мережу здійснюється як безпосередньо самим аудіо та відеотрафіком, так і даними мета опису, серед яких наступні:

- класифікуючих метатегів для аудіо та відеоданих, які використовуються для категоризації інформації означених типів у файлохсховищі;
- міток GPS;
- додані користувачські коментарі, що можуть відноситися до тих чи інших відеоматеріалів, та є присутніми у текстовому або мультимедійному форматі;
- користувачські коментарі, які відносяться до тих чи інших аудіоматеріалів, та є присутніми у текстовому або мультимедійному форматі;

- дані необхідні для функціонування систем доповненої реальності (за умов наявності інтеграції з AR);

- дані, що надаються користувачам сервісами AR.

Також дані мета опису транслюються як у напрямку «клієнт-сервер», так і у зворотньому.

У підсумку мультимедіа, як група самостійних специфічних сервісів, а також як складові сервісів інших типів, на сьогодні займає понад 80% загальносвітового трафіку і надалі прогнозується постійне зростання цього відсотку. Перш за все, це стосується відео. Так, за прогнозами [1], до 2023 року відео буде займати приблизно 85% усього об'єму трафіку, що передається у світі в одиницю часу.

Водночас, прогнозується також поступове збільшення роздільної здатності відео, що надсилається мережею, як наслідок того, що:

- збільшення потужності кінцевих пристроїв та розповсюдження широкоформатних пристроїв відображення спричинили зростання вимог користувачів до якості відео;

- системи інтелектуального аналізу даних, що використовуються для обробки відеоінформації, демонструють свою низьку ефективність при роботі з відео низької роздільної здатності.

У той же час, ріст роздільної здатності та збільшення об'ємів відео, що надсилається, породжує ряд проблем, що перешкоджають ефективному функціонуванню мереж взагалі, не кажучи вже про окремі мережеві сервіси.

Це пояснюється тим, що:

- функціонування відеосервісів вимагає мінімізації показників втрат пакетів та затримок їх надсилання;

- для забезпечення показників втрат пакетів та затримок їх надсилання у ході трансляції відео необхідно забезпечити деякий гарантований рівень пропускної здатності мережі;

- гарантований рівень пропускної здатності мережі, що забезпечує ефективне функціонування відеосервісів, є значно вищим, ніж вимагають інші типи сервісів для їх функціонування.

У той же час, хоча у наслідок удосконалення технологій передавання даних середня пропускна здатність мережі також зростає, проте темпи такого зростання запізнюються відносно росту обсягів відео у мережі.

Таким чином, у зазначених умовах питання, що стосуються збільшення ефективності мережевих мультимедійних сервісів є, безумовно, актуальними.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗВИТКУ СЕРВІСІВ НА БАЗІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

1.1 Характерні особливості розвитку та поширення сучасних сервісів на базі інфокомунікаційних мереж

За результатами проведених досліджень, спрямованих на виявлення закономірностей у розвитку сучасних інфокомунікацій та чинників, які їх спричинили (Cisco VNI forecast [1], We are the social [2]), зараз має місце розширення діапазону надаваних мережевих сервісів.

Виявлена тенденція є справедливою практично для усіх ніш діяльності, наприклад:

- системи e-commerce;
- сервіси зв'язку, включаючи аудіо та відео канали взаємодії;
- електронний облік та аудит;
- системи електронних розрахунків та електронних платежів;
- системи безпеки;
- IoT, IoE;
- інформаційні послуги.

Причинами цьому, у свою чергу, є:

- існування або збільшення потреб соціуму щодо впровадження нових типів сервісів чи удосконаленні існуючих;
- удосконалення існуючого технологічного базису, що створює умови для можливості налагодження нових сервісів та збільшення функціоналу для вже впроваджених раніше;
- скорочення собівартості кінцевого термінального обладнання клієнтів, а також скорочення тарифів на надання мережевих послуг.

Таким чином, створюються умови для того, щоб користувацька аудиторія мережевих сервісів зазнавала суттєвого та постійного зростання.

Зокрема, за свідченнями Cisco [1], на сьогодні об'єм аудиторії користувачів мережі Інтернет складає більше, ніж 4,2 млрд.

При цьому прогнозується, що до 2023 року даний показник зросте принаймні на 1/3.

Відповідно, найбільш характерною рисою процесу розвитку сучасних сервісів на базі інфокомунікаційних мереж є зростання їх чисельності, а також суттєві темпи розширення користувачької аудиторії кожного з них.

Разом з тим, прогнозується також значне зростання середньої бітової швидкості кінцевого пристрою [2], приблизно на 350%.

Також на 2023 рік очікується зростання трафіку у масштабі Всесвітньої мережі до показника у 325 ексабайт/місяць, тоді як на початку 2018 року даний показник був рівний 95 ексабайт/місяць.

При цьому, прогноз щодо росту об'ємів трафіку у світовому масштабі повністю відповідає прогнозу щодо росту бітової швидкості одного джерела даних.

Разом з цим, як зазначалося вище, не менш 85% усього світового трафіку формуватиме відеоінформація.

Тобто чинниками, які зумовлюють найбільш суттєве збільшення навантаження на мережу, є збільшення частки відеотрафіку (зростання кількості сервісів, розширення обсягу аудиторії користувачів) у загальній його масі, та ріст бітової швидкості на рівні одного окремого джерела відеоданих.

При цьому, на рівні окремого джерела вже зараз спостерігається поступова та суттєва зміна параметрів потоку відео.

Так, як вже зазначалося, ріст бітової швидкості відео потоку є результатом збільшення просторової роздільної здатності відео.

Проте, значною мірою, окрім зміни роздільної здатності, на збільшення бітової швидкості відео впливає також ріст частоти надходження кадрів у мережу.

Наприклад, якщо для відео потоків, кодованих у базисі MPEG-4, H.264/AVC та H.265/HEVC з роздільною здатністю FullHD або HD-ready стандартизованим значенням частоти слідування кадрів є 25 або 30 к/с, для формату 4K, 8K та інших у рамках UHD стандартизованим є величина 60 та 120 к/с.

Ще однією рисою, яка характеризує закономірності розвитку сучасних мережевих сервісів, є висока їх спільна інтегрованість, як вже згадувалося раніше [3] (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Базові чинники, які визначають особливості розвитку сервісів на базі інфокомунікаційних мереж

Виконаємо аналіз кожного з зазначених чинників окремо.

1.2 Зростання обсягу мережевих сервісів

1.2.1 Огляд найбільш поширених сервісів на базі інформаційно-комунікаційних мереж

Базисом для усього переліку сервісів, що надаються з використанням інформаційно-комунікаційних мереж, сьогодні виступає група специфічних сервісів, так званих «сервісів першого покоління», або «сервісів епохи Веб 1.0» [4, 5], до яких відносяться:

- E-mail;
- FTP, що являє собою - система файлоховищ (архівів файлів), яка виконує дозволяє зберігати файли будь-яких типів та здійснювати їх надсилання;
- WWW, або World Wide Web – система гіпертексту (гіпермедійна система), що виконує роль консолідації різнорідних ресурсів Всесвітньої мережі, тим самим формуючи єдиний інформаційний простір;

- система DNS (Domain Names System), яка дає змогу здійснювати мережеву адресацію на базі використання мнемонічних імен, без обов'язкового застосування числових адрес;

- IRC, що являє собою сервіс для підтримки текстових чатів реального часу.

Кожен з зазначених сервісів вважається жорстко стандартизованим. Іншими словами, засади, на яких створено у перелічених сервісів усі протокольні взаємодії та особливості побудовані клієнтських терміналів і серверного ПЗ сформовано у вигляді міжнародних стандартів. Такими чином, у ході подальшої розробки програмного забезпечення його автори обов'язково мають дотримуватися попередньо сформованих технічних вимог стосовно його побудови.

Також одночасно зі стандартизованими мережевими сервісами функціонують і такі, що не можуть вважатися стандартними, оскільки більшість з них є оригінальними розробками тих чи інших авторів. Дані сервіси, у свою чергу, відносяться вже до другого покоління сервісів на базі інфокомунікаційних мереж, тобто, концептуально належать до Веб 2.0.

При цьому, сервіси другого покоління першочергово є орієнтованими на підтримку масових публікацій, обмін даними у мережі, забезпечення спільної роботи користувачів. Така орієнтованість на одночасну взаємодію великої кількості користувачів є відмінною рисою сервісів Веб 2.0 щодо сервісів першого покоління.

Наведемо перелік деяких типових сервісів Веб 2.0:

- Інтернет-месенджери, такі, як Demos on-line, ICQ, AOL, Viber тощо);
- телефонія на базі IP, інтернет-радіо, аудіо бібліотеки;
- сервіси відеотрансляції;
- сервіси, що являють собою платформи для поєднання ряду часткових сервісів (інформаційні портали, соціальні медіа, GIS-системи тощо).

Для подібних сервісів наразі відсутні чіткі міжнародні вимоги та стандарти. Відтак, існують умови для виникнення конфліктів технічного характеру між сервісами, що є подібними у тому чи іншому класі [5].

В існуючих сьогодні умовах можливість побудувати чітку класифікацію наявних мережесервісів практично відсутня. Це зумовлено тим, що, з одного боку, кожен з існуючих сервісів є своєрідним та унікальним, хоча з іншого боку кожен з сервісів є одночасно також невіддільним від інших.

Разом з тим, допустимою є часткова класифікація усього обсягу існуючих сервісів поділом їх за форматом взаємодії з даними та користувачами на:

- сервіси інтерактивного типу;
- сервіси прямої взаємодії;
- сервіси відкладеного читання.

При цьому для сервісів, що умовно можуть бути віднесені до сервісів відкладеного читання, операція запиту даних та операція їх одержання можуть бути суттєво рознесені у часі. Характерним представником сервісів відкладеного читання є E-mail.

У свою чергу, ключова відмінність сервісів прямої взаємодії, від сервісів усіх інших типів за наведеною класифікацією полягає у тому, що дані у відповідь на здійснений запит формуються та надсилаються до кінцевого терміналу (безпосередньо користувачеві, програмному забезпеченню) у реальному часі. При цьому, приймач не зобов'язаний негайно реагувати на отримані дані.

Водночас певний обсяг сервісів, для яких необхідним є реагування щодо одержаних даних, належать до класу інтерактивних.

Стосовно галузі комунікацій прямими аналогами сервісів, прямої взаємодії, інтерактивного типу та відкладеного читання можуть слугувати, зокрема, факс, телефон, і письмова кореспонденція.

Також існуючі сервіси на базі інформаційно-комунікаційних мереж може бути умовно класифіковано відповідно до функцій, які ними виконуються, наприклад:

- послуги мультимедіа (аудіо та відео, графічні дані та їх комбінації);
- комунікативні сервіси;
- робота з документами на базі хмарних платформ;
- GIS-сервіси та соціальні геосервіси;
- соціальні медіа;
- «knowledge maps» (карти знань);
- пошукові системи (класичного та соціального типів).

Так, комунікативні сервіси дають змогу здійснювати зв'язок між користувачами та групами користувачів, забезпечуючи при цьому обмін повідомленнями голосового та текстового типів, а також відео-повідомленнями. При цьому, зв'язок забезпечується у реальному масштабі часу. Зрозуміло, що у даному випадку має місце інтеграція комунікативних сервісів та мультимедійних сервісів.

При цьому, мультимедійні сервіси являють собою інструменти, на базі яких можливо створювати, піддавати корегуванню, здійснювати перегляд та зберігати аудіо дані, відеоінформацію, презентації та будь-які комбінації даних зазначених типів.

У свою чергу, сервіси для роботи з документами дають змогу користувачам, що не мають у власному розпорядженні відповідних програмних засобів, здійснювати створення та редагування текстових даних у форматі doc, docx, odf та інших, вносити зміни до текстів сторінок сайту (зокрема - створювати, редагувати, здійснювати видалення, вносити зміни до маси посилань, налагоджувати перелінкування тощо). Такі сервіси також дають змогу роботи з медійним контентом, зокрема (додавати до контенту сторінок файли зображення, сторонні текстові файли різних типів, відеофайли, аудіодані тощо).

Стосовно функцій соціальних геосервісів слід зазначити, що головними їх завданнями є надання користувачам:

- інструментарію пошуку об'єктів;
- інформації про об'єкти, з можливістю обирати формат перегляду отримуваних даних;
- можливості самостійно наносити мітки;
- змоги додавати нові об'єкти та уточнювати дані щодо вже існуючих;
- можливості коментувати, завантажувати текстовий та медійний контент для опису об'єктів у довільній локації Земної поверхні з теоретично будь-якою ступінню точності. У ході цього застосовується інформація, що надається навколоземними супутниками.

Разом з тим, соціальні медіа, при цьому, являють собою специфічний тип мережевого сервісу, що забезпечує взаємодію як окремих користувачів, так і їх груп. При цьому, зазвичай, взаємодія користувачів відбувається у різних форматах – як в інтерактивному, так і у форматі відкладеної взаємодії. У будь-якому форматі взаємодії при цьому система надає змогу здійснювати обмін інформацією практично будь-якого типу.

Ще один тип сервісів, а саме - карти знань, або Mind map [6] відноситься до групи навчальних мережевих проєктів. Їхнє завдання - опис комплексних процесів загального системного мислення у вигляді сукупності більш простих складників за допомогою схем, що дозволяє значно швидше сприймати та засвоювати складну інформацію.

У свою чергу, пошукові системи класичного типу забезпечують пошук у мережі тієї чи іншої інформації практично будь-яких типів – відео, текстових даних, зображень тощо. При цьому, формування результатів пошукової видачі, здійснюється, беручи до уваги у першу чергу релевантність інформації щодо пошукової фрази. Тут внутрішній (власний) пошуковий рейтинг системи є одним з ключових факторів, який встановлює порядок видачі отриманих даних користувачеві.

У той же час, пошукові системи соціального типу дають змогу користувачам безпосередньо брати участь у формуванні порядку пошукової видачі за тими чи іншими запитами. При цьому, на базі користувацьких рейтингів система визначає:

- напрямки здійснення пошуку;
- веб-ресурси, на які першочергово слід звертати увагу,
- порядок формування та подання отриманих результатів пошуку.

Так, на базі соціальних пошукових механізмів нового покоління користувачам у майбутньому можливо буде створювати як свої власні, так і колективні пошукові підсистеми. У такому випадку процес пошуку може бути адаптовано до деяких конкретних умов – наприклад, певної тематики або до деякої конкретної спільноти. Наразі є частково реалізованими ряд соціальних пошукових систем у складі Yahoo та на базі платформи AпоoX.

1.2.2 Частково утілені та перспективні мережеві сервіси

На сьогодні у глобальному масштабі має місце тенденція до формування єдиної інфокомунікаційної системи, що структурно складається сегментами стаціонарного та сегментами бездротового доступу [1, 7].

Переважає більшість стаціонарних мереж доступу зараз побудовано на основі високошвидкісних технологій сімейства Ethernet, що передбачають використання головним чином оптичних каналів, тим самим створюючи умови для забезпечення досить високої пропускної здатності.

Водночас, на сьогодні безпроводні мережі доступу найбільшою мірою представлені 4G та 4,5G-технологіями доступу (HSPA+, LTE, LTE-A). На деяких ділянках мережі функціонують (поки що у тестовому режимі) сегменти мережі 5 покоління (5G), зокрема – IMT2020.

Мережі на базі технологій ІМТ2020 здатні надавати канали зв'язку з пропускною здатністю до 1 Гбіт/ у напрямку «клієнт-сервер» та до 10Гбіт/с у зворотньому напрямку.

Водночас, на основі поширених сьогодні мереж отримав часткову реалізацію ряд концептуально нових технологічних проєктів. Це стосується таких проєктів, як:

- virtual reality (VR) – віртуальна реальність;
- augmented reality (AR) – доповнена реальність;
- smart city (Розумне місто);
- safe city (Безпечне місто);
- UHD-TV.

Також на сьогодні проводяться активні дослідження щодо використання голографії у системах відеозв'язку. При цьому, на експериментальних ділянках побудовано канали голографічного відеозв'язку, використовуючи для цього високошвидкісні канали. Це зумовлено тим, що система вимагає забезпечення бітової швидкості на рівні від 2 Гбіт/с для повноцінного функціонування.

Для усіх перелічених сервісів на базі інформаційно-комунікаційних систем схема ієрархії буде такою, як зазначається рис.1.2.

1.2.3 Збільшення обсягу мережевих сервісів та росту аудиторії їхніх користувачів

Огляд та аналіз існуючих зараз темпів збільшення кількості сервісів на базі мереж, а також особливостей їх розвитку, може бути здійснено за такими критеріями, як:

- темпи введення в експлуатацію нових платформ, на основі яких виконується надання різнорідних мережевих послуг;
- швидкість розширення їхньої користувацької аудиторії.

Для того, щоб мати змогу оцінити швидкість введення у експлуатацію нових платформ, попередньо виконаємо розгляд існуючих сьогодні мережевих сервісів, попередньо класифікувавши їх у наступний перелік груп [1,2], а саме:

- сервіси відеоінформаційних послуг;
- соціальні медіа;
- інструментарії для роботи з документами у онлайн-режимі;
- комунікаційні сервіси.

Говорячи відносно відеоінформаційних сервісів, слід першочергово зазначити, що на сьогодні одними з найбільш масових та затребуваних є сервіси video on demand (VoD) - «відео на запит». Такі численні сьогодні сервіси дають змогу користувачеві (фізичній або юридичній особі) розміщувати відеоконтент на сервері (т.з. послуги відеохостингу) з натсопною можливістю їх перегляду будь-ким, самим користувачем або певною категорією осіб.

Зокрема, одними з перших у даній ніші з'явилися та розпочали діяльність сервіси Flickr та Vimeo (2004-й рік). Наступними після них, 2005-го року, були відеосервіси YouTube, GoogleVideos і Dailymotion. При цьому, ще деякий перелік масових на сьогодні сервісів розпочав роботу у 2011-му та

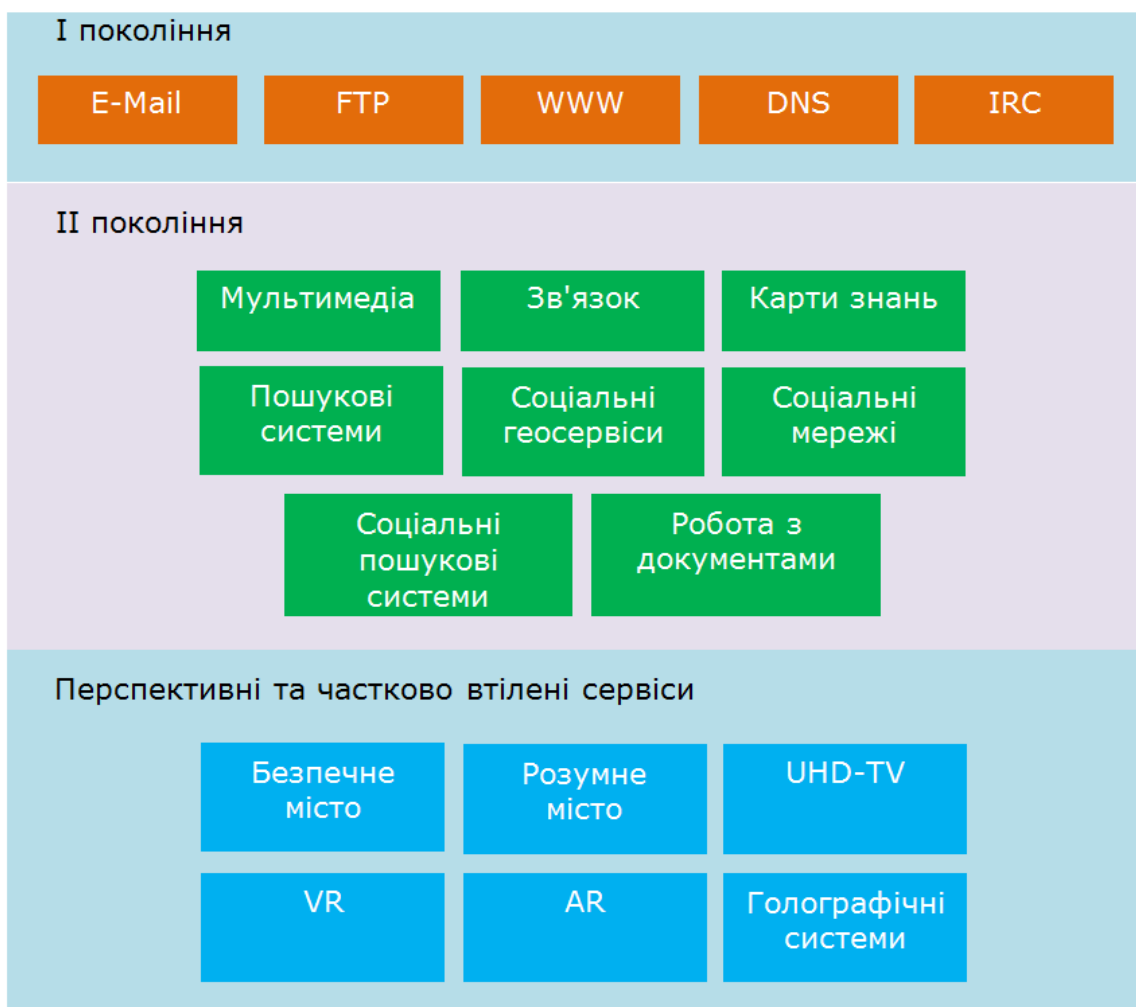


Рисунок 1.2 – Загальна схема ієрархічної залежності між мережевими сервісами різних поколінь

2012-му роках – наприклад, сервіси Megogo а також TopVideo та Soub, як показує таблиця 1.1 [4,7].

Трохи згодом, відповідно до темпів збільшення пропускної здатності каналів мереж та зростання обчислювальної потужності клієнтських терміналів, отримали широкий розвиток відеоінформаційні сервіси потокового мовлення. Так, одним з перших у даній категорії є Twitch.tv, що розпочав функціонувати у 2011 році, а далі – платформа Periscope у 2016, та Mixer у 2016 роках. Ключовою відмінністю сервісів даного типу є можливість вести трансляцію інтерактивно, тобто, відео мовлення здійснюється фактично у прямому ефірі.

Наразі означений перелік сервісів функціонує повною мірою та має аудиторію користувачів від десятків до сотень мільйонів. Їхній подальший розвиток відбувається у площині розширення клієнтських можливостей та розширення переліку доступних користувачам функцій.

У свою чергу, майже паралельно становленню відеоінформаційних сервісів потокового та VoD типів отримують утілення, а також починають формувати свою частку ринку сервіси до того часу принципово нові - соціальні медіа. Зокрема, найбільш масштабний на сьогодні проект у даній ніші - Facebook – розпочав активні діяльність 2004 року. Згодом, у 2006-му році, розпочато реєстрацію користувачів у проекті Vk (Vkontakte), а далі, 2010-го року, було створено та презентовано неформатний проект з галузі соціальних медіа - Instagram.

Хоча перші роки існування соціальних медіа та відеоінформаційних сервісів характеризувалися досить низьким (одиниці та десятки тисяч) показником залученості користувачів, на сьогодні мережеві сервіси даних категорій є найбільш популярними та затребуваними ресурсами. Кількість добових відвідувань ресерсів YouTube та Facebook на середину 2021 року становила понад 2 млрд.

Окрім зазначених вище категорій сервісів, одними з найбільш затребуваними є комунікаційні сервіси.

Так, розпочавши роботу у 2003 році, платформа Skype зараз обслуговує не менш, ніж 290 млн клієнтів щоденно, маючи при цьому понад 1,1 млрд користувачів, які користуються послугами даного сервісу регулярно. При цьому, Skype сьогодні належить найбільша частка голосового трафіку VoIP яка перевищує 40% у загальносвітовому масштабі.

Окрім Skype, безумовним лідером серед комунікаційних сервісів за клієнтською аудиторією наразі є платформа Telegram, якою зараз користується більш ніж 650 млн осіб. Telegram функціонує з 2013 року, постійно розширюючи функціонал принципово новими можливостями. Так, якщо

початково дана платформа являла собою месенджер з додатковими функціями захищеного каналу, то зараз Telegram являє собою також середовище для ведення мікроблогів. При цьому, швидкість збільшення користувацької маси у Telegram є чи не найбільшою для усієї множини мережевих сервісів, сягаючи приблизно 340-350 тисяч нових реєстрацій щодобово.

На відміну від Telegram, комунікаційний сервіс Ekiga має формат більш традиційний для сервісів, що надають послуги зв'язку через IP-мережу голосовими та відео каналами. Ekiga веде активну діяльність з 2006 року, обслуговуючи на сьогоднішній час аудиторію, яка складає понад 80 млн користувачів. Платформа найбільш значною мірою поширена зараз у середовищі Unix. За багатьма функціональними можливостями схожим на Ekiga є сервіс Sipnet. Його аудиторія є також досить масовою, хоча майже дворазово поступається Ekiga, складаючи понад 40 млн активних користувачів.

У свою чергу, відносно інструментаріїв для роботи з документами у онлайн-режимі, можемо сьогодні зазначити таких лідерів за обсягом аудиторії користувачів, як:

- GoogleDocs, що функціонує з 2006, з аудиторією порядку 130 млн користувачів;
- Zimbra (функціонує з початку 2004 року, користувацька аудиторія складає близько 30 млн користувачів.

Таким чином, аналіз обсягу активної аудиторії користувачів хоча б ряду окремих сервісів кожного з перелічених класів, свідчить про те, що зараз послугами мережевих сервісів користуються на постійній основі не менш, ніж 2 млрд осіб.

При цьому, взявши до уваги мережеві послуги інших спрямованостей, отримаємо результат, що повністю співпадає з результатами досліджень Cisco. Відповідно до цих досліджень, зараз користувачами сервісів на базі інфокомунікаційних мереж є понад 4,6 млрд мешканців планети. Цей показник у два рази перевищує відомості, отримані для 2017 року. Окрім цього, у рамках того ж дослідження Cisco VNI Forecast робиться припущення про те, що до 2023 року у середньому на одного користувача приходиметься не менш, ніж 6,5 клієнтських терміналів.

Таблиця 1.1 – Загальні відомості щодо ряду поширених мережевих сервісів

Сервіс	Рік впровадження	Кількість користувачів, млн.
<u>Відеосервіси</u>		
YouTube	2005	2000
<u>Vimeo</u>	2004	25
<u>Megogo</u>	2011	55
<u>Соціальні мережі</u>		
<u>Facebook</u>	2004	2000
<u>Instagram</u>	2010	750-800
<u>Vk</u>	2006	300
<u>Сервіси зв'язку</u>		
Skype	2003	1100
Telegram	2013	650
Ekiga	2006	80
<u>Sipnet</u>	2005	40
<u>Сервіси створення та редагування документів</u>		
<u>GoogleDocs</u>	2006	130
<u>Zimbra</u>	2004	30

Таким чином, аудиторія користувачів сервісів на базі інфокомунікаційних мереж знаходиться у стадії постійного розширення. Разом з тим, існуючі сервіси підлягають постійному удосконаленню та збільшенню функціоналу, паралельно з цим з'являються сервіси нових типів.

1.3 Збільшення ступеню взаємної інтегрованості сервісів

Як свідчать результати аналізу мережевих сервісів, що зараз отримали найбільш широкого використання, на момент початку свого функціонування кожен з них фокусувався на наданні деякого суттєво лімітованого типу послуг (файлообмін, обмін текстовими повідомленнями, здійснення дзвінків). Проте далі, у процесі наступного розвитку, більша їх частина трансформувалася, перетворившись врешті решт на платформи мультисервісних послуг.

Дані платформи можуть надавати користувачам деякий, вже відносно широкий перелік послуг. Разом з тим, доступний перелік послуг увесь час збільшується за рахунок [7]:

- доопрацювання та внесення змін у вже наявний функціонал;
- впровадження концептуально нових можливостей, що не були реалізовані раніше.

Наприклад, у рамках платформи Telegram зараз вже реалізовано послуги аудіозв'язку, а також засоби блокчейну, що є доступним для використання паралельно текстового месенджеру і засобів файлообміну.

Водночас, у рамках соціальних медіа, де традиційно базовими інструментами були засоби спілкування (загальний та приватні чати, інструменти коментування) та розміщення і перегляду текстових та графічних даних, зараз є доступними послуги аналогічні тим, що надають файлохранилища.

Окрім зазначеного, спостерігається постійне розширення інструментарію (та його можливостей), що орієнтований на роботу з мультимедіа. Інакше кажучи, соціальні медіа з деяким наближенням у таких умовах можуть розглядатися як сервіси зберігання та обробки мультимедійного контенту.

Разом з тим, взаємна інтеграція різнотипних сервісів набула найбільш яскравого вираження для GIS-платформ, що основною масою на сьогодні являють собою часткові випадки AR.

Це зумовлюється тим, що у рамках даних платформ здійснюється інтеграція:

- безпосередньо GIS;
- сервіси інформаційної спрямованості;
- засоби комунікацій та соціальної взаємодії (зокрема, коментарі у WikiMapia, GoogleMaps та ін.);
- сервіси відеоінформаційного характеру.

Таким чином, користувач отримує не лише позиціонування у просторі, має у своєму розпорядженні інформацію щодо тих чи інших локацій з їх прив'язкою до карти (текст, фотоматеріали та відео, коментарі), але і може, у сутності, рухатися умовно віртуальним простором, що від реального відрізняється доданим обсягом інформації.

Сьогоднішню існуючу тенденцію щодо взаємного інтегрування мережевих сервісів у загальному випадку зображено рис. 1.3.

Гео-інформаційні сервіси	Зв'язок	Соціальні мережі	Відеосервіси
Розміщення контенту, коментування	Інтеграція облікових записів	Текстові та голосові месенджери, відеозв'язок	Інтеграція файлохвищ за обліковими записами
Відеоматеріали опису місць, онлайн-трансляції подій	Відеозв'язок, відеоконференції	Розміщення відео, засоби відеозв'язку	Системи відео конференцій, відеозв'язок
Вбудовані месенджери, інтеграція з голосовими дзвінками Android		Геомітки, опис об'єктів	

Рисунок 1.3 – Схематичне зображення загального принципу взаємної інтеграції сервісів

1.4 Зростання навантаження, що створюється окремим джерелом на мережу за рахунок збільшення бітової швидкості генерованого відеотрафіку

Величина підсумкової бітової швидкості відеотрафіку, який породжується джерелом, формується у наслідок дії таких факторів, як [2]:

- спосіб та особливості використання сервісів, які мають у своєму складі відеоінформаційний сегмент, або першочергово орієнтовані на надання відеоінформаційних послуг (одночасно або послідовно у часі) на рівні клієнтського терміналу;
- збільшення середнього рівня бітової швидкості відеотрафіку, який генерується кожним окремим сервісом або джерелом (веб-камера, скрінкасти, зовнішні системи відеонагляду тощо) та рівні одного терміналу;
- швидкий та постійний ріст бітової швидкості трафіку відео на рівні сервісів.

За результатами аналізу рис.1.3 можемо зазначити, що існуючі зараз мережеві сервіси породжують певний перелік суттєво відмінних між собою типів трафіку, зокрема:

- файлообмін;
- надсилання текстових повідомлень;
- трафік аудіо;
- відеоінформаційний трафік.

У той же час, розширення обсягу мережевих сервісів, можливості яких може бути використано клієнтом для власних потреб, ріст ступеню взаємної інтегрованості таких сервісів створює умови, у яких користувачеві стають доступними практично усі нові мережеві послуги синхронно до їх появи. Відповідно, дана обставина також може вважатися ще одним з чинників збільшення бітової швидкості трафіку.

Разом з тим, збільшення ступеню взаємного інтегрування мережевих сервісів також породжує ріст середнього рівня бітової швидкості від окремого джерела. Така залежність пояснюється тим, що до трафіку вже звичних та традиційних типів додається також трафік, що генерується новими мережевими сервісами, що характеризуються суттєвими величинами бітових швидкостей. Найбільшою мірою це є справедливим для трафіку відео, що можна бачити з рисунку 1.3.

Також необхідно зазначити, що згідно відомостей дослідження Cisco VNI Forecast [2], трафік відеоінформаційних сервісів не лише займає найбільшу частку у обсязі трафіку загальносвітового, але також у майбутньому його рівень буде постійно зростати.

У той же час, на сьогодні тенденція щодо збільшення просторової роздільної здатності відео має глобальний та системний характер. Зокрема, відповідно до того ж прогнозу Cisco, частка відео низької роздільної здатності (SD) до початку 2023 року скоротиться не менш, ніж у 5,5 разів. На фоні цього, частка відеотрафіку надвисокої роздільної здатності (UHD) пропорційно збільшиться також у 5-6 разів. Водночас, стосовно відео HD-формату відсоткова доля не зазнає суттєвих змін. Таким чином, що у наслідок перерозподілу пропорції відео UHD та SD середня бітова швидкість окремого джерела збільшиться також.

Отже, у підсумку бітова швидкість трафіку, що передається, мережею, буде зростати.

2 ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ДАНИХ НА КІНЦЕВИХ ВУЗЛАХ

2.1 Базові показники, що характеризують процес передавання даних та безпосередньо самі дані

Для даних будь-якого типу, які надсилаються мережевими каналами, актуальним є ряд основних показників, на базі яких може бути висновок щодо якісних кондицій процесу трансляції даних та самих даних у точці прийому. Такими показниками наразі є [8]:

- рівень достовірності даних;
- ступінь цілісності даних;
- оперативність доставки інформації.

Під *рівнем F достовірності даних* мається на увазі рівень відповідності даних, які було надіслано з боку передавача з використанням його кінцевого обладнання, та даних, які було отримано приймачем, використовуючи інший набір кінцевого обладнання у ході сеансу з'єднання.

Тут числовий вимір рівня F достовірності може бути описано на базі величини P вірогідності того, що протягом сеансу зв'язку при трансляції даних у мережі можуть мати місце помилки, що приведуть до викривлення вихідних даних. Слід зазначити, що стосовно визначення величини F зараз існує кілька підходів. Зокрема, у рамках одного з таких підходів достовірність F розглядається як обернено пропорційна величина до ймовірності P. Інший підхід оцінює рівень F достовірності даних відповідно до наступного виразу:

$$F = 1 - P, \quad (2.1)$$

де P – вірогідність виникнення помилки у ході трансляції даних у мережі.

Очевидно, що одним з ключових завдань у рамках забезпечення ефективного функціонування будь-якої інформаційно-комунікаційної системи є забезпечення росту рівня F достовірності до максимально можливого рівня. У зв'язку з цим сьогодні широко використовуються чисельні алгоритми детектування та виправлення знайдених помилок, завадостійкі коди тощо. В окремих випадках може практикуватися також багаторівневе дублювання даних шляхом їх повторної передачі. Разом з тим, у наявних сьогодні умовах,

коли спостерігається постійний ріст обсягу даних, які надсилаються інфокомунікаційними мережами, а також рівня навантаження на кінцеві вузли, означені вище способи підвищення достовірності є екстенсивними. Відтак, необхідно доопрацьовувати такі підходи, або впроваджувати принципово нові.

Ще один якісний показник, а саме - **оперативність доставки інформації**, показує, скільки у підсумку витрачається часу T з моменту надсилання повідомлення у мережу до його прийому та інтерпретації до вигляду, прийнятного до сприйняття безпосередньо користувачем та/або його прикладним програмним забезпеченням. При цьому, величина T є комплексною та містить у собі наступні складові:

- сумарний час T_{proc} обробки даних на рівні джерела та вузла-приймача з урахуванням усіх процесів перетворення;

- час T_{trn} ходження даних розподіленим середовищем.

Наближено величину T може бути описано на базі наступного виразу:

$$T = T_{\text{proc}} + T_{\text{trn}} = T_{\text{pr}} + T_{\text{ch}} + T_{\text{buf}} + \sum_{j=1}^N T_{\text{tl}}^{(j)} + \sum_{j=1}^{N-1} T_{\text{tn}}^{(j)}, \quad (2.2)$$

де T_{pr} та T_{dpr} - час кодування та декодування повідомлення на представницькому рівні відповідно;

T_{ch} та T_{dch} - час кодування та декодування повідомлення на каналному рівні відповідно;

T_{buf} - сумарний час буферизації на боці передавача та приймача;

$T_{\text{tl}}^{(j)}$ - час передавання пакетів повідомлення на проміжній мережевій ділянці;

$T_{\text{nl}}^{(j)}$ - час обробки пакетів повідомлення на мережевому вузлі.

При цьому, якщо з тих чи інших причин дані не задовольняють деяким встановленим вимогам щодо оперативності доставки, відносно них застосовується:

- процедура виключення з розгляду на рівні кінцевого вузла, чи одного з мережеских вузлів (рішення у технологічній площині);

- відхилення на прийомному боці (рішення у площині цінності інформації).

Отже, кількісно оперативність доставки інформації може бути оцінено

через значення величини τ часу затримки передавання пакетів повідомлення, яке, у сутності, є тотожним величині T .

У свою чергу, сам термін *цілісність даних* говорить про те, що дані, які підлягали процедурам передавання мережею, різноманітним перетворенням, зміні формату представлення, зберігання та ін. у підсумку є ідентичними початковим даним, тобто, не зазнали незворотніх змін.

Таким чином, *ступінь цілісності даних* можемо розуміти як показник, що показує, наскільки дані, отримані у результаті реконструювання вихідних на прийомному боці, збігаються з вихідними.

При цьому, необхідно урахувати, що зараз має місце поступовий та стабільний ріст обчислювального навантаження на кінцеві вузли, що спричинюється наступними факторами, такими, як:

- постійне збільшення обсягу інформації, що надходить до кінцевого вузла;
- ріст обсягу даних, які породжує безпосередньо сам кінцевий вузол.

Поряд з зазначеними факторами, причинами росту обчислювального навантаження на кінцеві вузли є наступні:

- у будь-якому випадку трафік містить у собі деякий відсоток пакетів даних, обробку яких слід виконувати у реальному масштабі часу. Це веде до того, що в одиницю часу кінцевий вузол має обробляти відносно велику кількість пакетів за мінімальний час, тобто, з внесенням мінімального рівня затримки;
- частка пакетів, що породжується сервісами реального часу (критичних до затримок передавання та втрат пакетів) у мережі продовжує зростати.

З таблиці 2.1 можемо бачити, що для деяких типів трафіку, першочергово - VoIP, відео та деяких інших ріст затримки τ передавання пакетів повідомлення, та збільшення рівня їх втрат вище регламентованих значень є критичним.

Таблиця 2.1 – Регламентовані QoS значення ключових показників, що характеризують якість сервісу для головних типів трафіку

Тип трафіку	Відсоток втрати пакетів	Джитер	Затримка доставки пакетів
Відео (інтерактивне)	не більше, ніж 1%	не більше, ніж 30 мсек	не більше, ніж 150 мсек
Потокове відео	не більше, ніж 2%	не встановлено	4-5 сек
Зв'язок VoIP	не більше, ніж 0,25%	не більше, ніж 10 мсек	не більше, ніж 150 мсек
Передавання файлів, доступ до БД	визначається типом додатку		
AR/VR	чітко не регламентовано		
Інтерактивне управління	мінімально можливі значення		

Тут рівень затримки попередньо було показано виразом (2.2).

При цьому, з даного виразу можна бачити, що скорочення часу τ затримки може бути забезпечено шляхом:

- зменшення часу T_{proc} обробки пакетів даних на кінцевих вузлах;
- зменшення часу $T_{nl}^{(j)}$ обробки пакетів на рівні мережевих вузлів.

Ураховуючи ту обставину, що на мережевих вузлах рішення завдання скорочення часу затримки покладено на механізми QoS, відповідно, для скорочення загального часу τ затримки у виразі (2.2) необхідно скоротити доданок T_{proc} .

Іншими словами, необхідно створити умови, у яких можливим є мінімізація часу обробки пакетів даних на клієнтських вузлах.

При цьому, попри те, що обсяг пакетів, що можуть надходити до вузла за деяку одиницю часу, може критично зростати, величина T_{proc} не має змінюватися настільки суттєво, що її зміна викликатиме зростання часу τ затримки до рівня, який не задовольнятиме існуючі вимоги QoS, які ілюструє таблиця 2.1.

2.2 Формування трафіку на рівні джерела

Для трафіку будь-якого типу, процес його формування на рівні джерела у загальному випадку є типовим, та містить у собі наступний перелік технологічних етапів [9]:

- безпосереднє генерування даних шляхом звернення до файлохранища, програмного забезпечення, що породжує дані у реальному часі, пристроїв аудіо запису або фіксації відеоданих тощо);
- утворення пакетів у базисі технології, на основі якої функціонує мережа доступу;
- канальне кодування.

Разом з тим, окрім зазначених технологічних етапів, виходячи з особливостей даних, що формуються, може бути задіяно також один або кілька етапів кодування на рівні представлення.

Головним чином, це є найбільш актуальним для даних мультимедіа, а саме - аудіоданих та відеоінформації.

Відповідно, з урахуванням цього час T_{proc} обробки пакетів на кінцевому вузлі у загальному випадку може бути описано наступним чином:

$$T_{proc} = T_{cc} + T_{df} + T_{dg} + T_{ac} + T_{vc}, \quad (2.3)$$

де T_{cc} - затримка, яка вноситься у ході процедури канального кодування;

T_{df} - затримка на пакетування даних;

T_{dg} - час, необхідний для формування масиву даних для відправки;

T_{ac} - затримка, що вноситься під час процедури стиснення аудіоданих;

T_{vc} - час, що витрачається на стиснення даних відео.

Слід зазначити, що використання систем інтелектуальної обробки даних вносять додаткову затримку, яка у ряді випадків може бути помітними. Прикладами такої обробки тут можуть бути операції аналізу вмісту пакетів, які виконуються системами кіберзахисту.

При цьому, найбільша величина внесеної затримки тут відповідає випадкам, коли виконується семантичний аналіз вмісту одного чи кількох пакетів, якщо виникає підозра щодо можливості локалізації у його структурі фрагментів зловмисного коду.

Проте, у сутності, рівень затримки, що вноситься процедурами

інтелектуальної обробки у штатному режимі функціонування, не є критичним.

У свою чергу, так само, як і системи інтелектуальної обробки, додатковий ріст величини T_{proc} затримки зумовлює застосування систем маскування даних.

Отже, для випадку застосування систем кіберзахисту, а також присутності стеганографічних каналів, вираз (2.3) буде розширено до вигляду:

$$T_{proc} = T_{cc} + T_{df} + T_{dg} + T_{ac} + T_{vc} + T_{sec} + T_{mc}, \quad (2.4)$$

де T_{sec} - величина затримки, яка вноситься при обробці системами кіберзахисту масиву пакетів даних;

t_{mc} - час, що додається до загальної затримки у випадку використання систем маскування та демаскування даних.

Таким чином, підсумкову множину чинників, що впливають на сумарну величину T_{proc} затримки, схематично може бути подано так, як ілюструє рисунок 2.1.

При цьому, максимальний рівень навантаження на кінцеві вузли породжує відеоінформаційний трафік.

Окрім того, трафік відеоданих характеризується суттєвою чутливістю відносно показників рівня затримок передачі пакетів, а також їх втрат, як це було показано таблицею 2.1. Тобто, обробка відео має здійснюватися у реальному масштабі часу.

На додачу до цього, бітова швидкість R відеопотоку щонайменше є у кілька разів вищою, ніж бітова швидкість трафіку будь-якого іншого типу, як демонструє таблиця 2.2.

Необхідно також відмітити, що процес інтелектуальної обробки пакетів, які приймає кінцевий пристрій, суттєво ускладнюється з причин постійного ускладнення структури трафіку та збільшення рівня його неоднорідності. Це, у свою чергу, зумовлюється впливом таких факторів, як:

- ріст мірності даних;
- збільшення кількості та ріст рівня складності структури даних метаопису інформаційних потоків;
- наявність у структурі інформаційного потоку що транслюється на ділянці мережі між передавачем та приймачем багатомірних даних, що формуються різнорідними мережевими сервісами та системами (наприклад, відеоінформаційний ресурс, GIS-трафік, дані телеметрії, голос, файлообмін,

команди управління тощо).

До того ж, дані, присутні у структурі багат шарового інформаційного потоку, можуть характеризуватися принципово відмінними вимогами QoS щодо якості сервісу. Це додатково підвищує складність процесу аналізу надходячих пакетів. Отже, даний фактор додатково сприяє росту рівня затримки.



Рисунок 2.1 – Основні чинники, які формують загальну затримку, що вноситься у ході обробки на кінцевих вузлах

Таким чином, підсумковий вираз для опису затримки буде наступним:

$$T_{\text{proc}} = T_{\text{cc}} + T_{\text{df}} + T_{\text{dg}} + T_{\text{ac}} + T_{\text{vc}} + T_{\text{sec}} + T_{\text{mc}} + T_{\text{mla}}, \quad (2.5)$$

де T_{mla} - затримка, що вноситься у процесі аналізу багатомірного інформаційного потоку з наступним його прийманням.

За результатами аналізу даних, наведених у таблиці 2.1 та таблиці 2.2, може бути зроблено висновок про те, що скоротити величину сумарного навантаження, що здійснюється на кінцеві вузли, можна шляхом:

- скорочення бітової швидкості трафіку відеоданих;
- застосуванням більш продуктивних алгоритмів обробки;
- збільшення обчислювальних можливостей кінцевих пристроїв.

Таблиця 2.2 – Рівні бітової швидкості, рекомендовані для трафіку різних типів

Тип трафіку		Рекомендована інтенсивність
Відео	UHD (4K)	70-75 Мбіт/с
	FullHD (2K)	2 Мбіт/с
	HD-ready (2K)	1,5 Мбіт/с
Аудіо VoIP	G.711	192-256 Кбіт/с
	G.729	128 Кбіт/с
Передавання файлів		Визначається типом додатку
Текстові повідомлення		Залежить від категорії додатку

Разом з тим, зменшення бітової швидкості трафіку до рівня, який зробить можливим скоротити потрібний обсяг обчислень під час обробки відеоданих, не може гарантуватися. Це пояснюється тим, що загальна кількість відеоінформації, яка надходить до кінцевого вузла за одиницю часу, у сутності є недетермінованою величиною, що за довільним законом може змінюватися у досить широкому діапазоні значень.

У свою чергу, підходуд до скорочення навантаження на кінцеві вузли шляхом забезпечення росту їхніх обчислювальних можливостей, властивий ряд обмежень. Зокрема [10]:

- відповідно то існуючих принципів ціноутворення, що зараз є актуальними для ринку обчислювальних засобів, середня ціна нової лінійки процесорів, фактична обчислювальна потужність яких перевищує на 5-10% передуючі моделі, зазвичай є на у 1,5-2 рази вищою, відповідно, певний час це уповільнює їх масове розповсюдження;

- у ніші мобільних терміналів збільшення обчислювальної потужності процесорів, обмежене порушенням термобалансу у наслідок зростання виділення тепла та, як наслідок цього, необхідністю утілення більш потужних систем термокомпенсації;

- для процесорів, що побудовані в існуючому сьогодні технологічному базисі, характерним є збільшення необхідної для функціонування електричної потужності відповідно до росту обчислювальної потужності. Відповідно, це зумовлює необхідності збільшення ємності використовуваних акумуляторних батарей.

Таким чином, забезпечити скорочення навантаження, яке здійснюється на кінцеві вузли, найбільш доцільно шляхом впровадження нових алгоритмів обробки відеоданих, або удосконалення алгоритмів вже існуючих.

Щоб виявити підходи до удосконалення існуючих алгоритмів обробки відео, виконаємо аналіз існуючих методів його кодування на рівні джерела.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО КОДУВАННЯ ВІДЕО НА РІВНІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ

На сьогодні домінуючий відсоток відео у загальносвітовому масштабі кодується на базі технологій MPEG-сімейства. Тому розглянемо процес обробки відео у даному технологічному базисі.

3.1 Головні технологічні етапи у складі схеми MPEG

Загальна схема процесу кодування відео на засадах MPEG показана рисунком 3.1 [11].

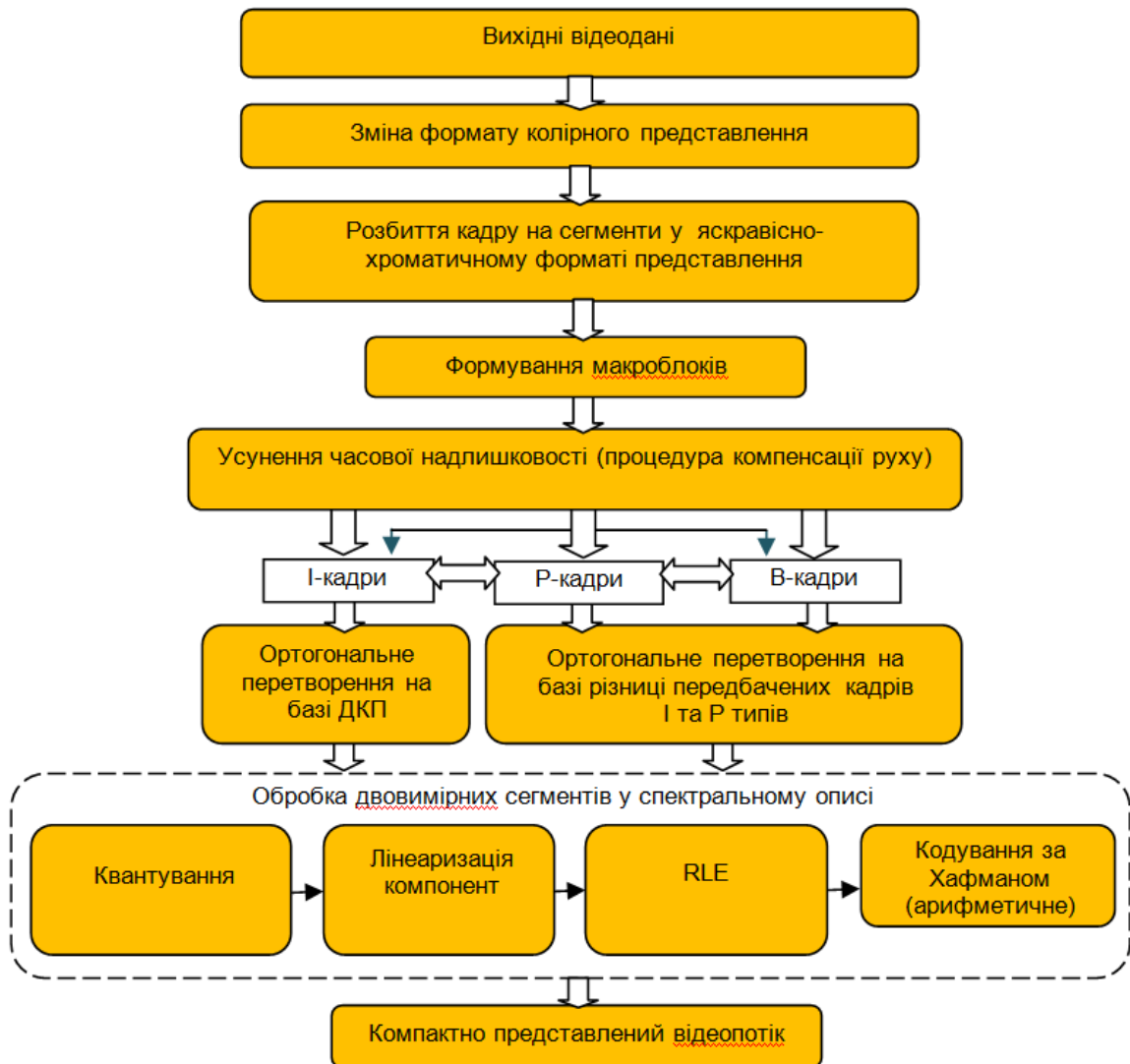


Рисунок 3.1 – Структурна схема процесу кодування відео на засадах MPEG

Відповідно до схеми, наведеної на рис.3.1, на першому технологічному етапі MPEG-обробки виконується зміна формату колірної представлення. Така процедура зміни формату передбачає перехід до колірно-різницевого формату опису кадру замість композитного RGB-формату, який використовується для опису вихідних даних (рис.3.2). Дана зміна формату необхідна для того, щоб розмежувати компоненти, значення та кількість яких може бути суттєво пригнічено у ході подальшої обробки (колірно-різницеві компоненти Cr та Cb), та компоненти, які у процесі обробки далі слід змінювати мінімально.



Рисунок 3.2 – Загальний принцип зміни формату колірної опису кадру з композитного RGB до яскравісно-хроматичного YCrCb

За результатами зміни формату колірної опису кадру далі здійснюється його сегментація, у ході чого виконується поділ початкового кадру на множини блоків, кожен з яких являє собою матрицю з розмірами 8x8 пікселів.

У свою чергу, етап формування макроблоків поєднує у своєму складі ряд технологічних кроків. Зокрема, на першому з них попередньо обирається той чи інший формат колірної субдискретизації. Під час даної операції з однією яскравісною Y компонентою співставляється деяка кількість колірно-різницевої компонент. При цьому, початково для формування чотирьох пікселів зображення використовується чотири яскравісні Y компонент, а також чотири хроматичні червоних (Cr) та чотири хроматичні синіх (Cb)

компонент. Таким чином утворюється вихідний формат колірної субдискретизації - 4:4:4.

Разом з тим, обсяг колірно-різницевих компонент можливо значно скоротити, при цьому візуальна якість зображення не зазнає помітних змін. У такий спосіб отримуються формати колірної субдискретизації такі, як 4:2:0, 4:1:1, 4:2:2, 4:2:1, а також ряд інших форматів, як показано рисунком 3.3.

Використання різних форматів колірної субдискретизації забезпечує скорочення того чи іншого обсягу біт на представлення хроматичних компонент блоку, що, у свою чергу, створює умови для зменшення підсумкової ваги усього кадру.

Після того ж, як формат колірної субдискретизації обрано, макроблоку формується на базі матриці яскравісних компонент, та необхідного обсягу хроматичних сегментів відповідно до встановленого формату.

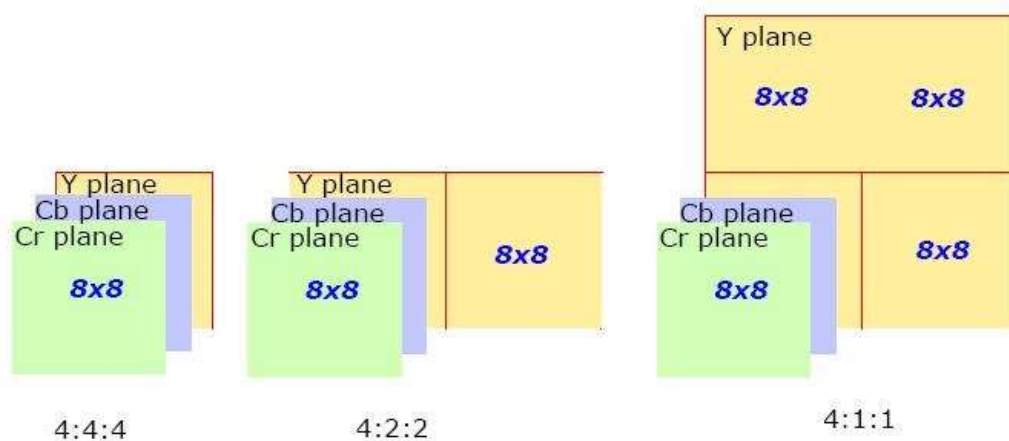


Рисунок 3.3 – Найбільш поширені формати колірної субдискретизації

Аналіз рисунку 3.3 свідчить про те, що для умов, які проілюстровано, досягається різний ступінь скорочення даних щодо кольору. Так, для формату 4:1:1 спостерігається найбільше можливе скорочення інформації про колір - 75%.

Далі відносно кожного з блоків $\beta_{x,y}$ кадру виконується процедура ортогонального перетворення, в основі якої використовується дискретно-косинусне перетворення (ДКП).

У ході етапі ортогонального перетворення блоки $\beta_{x,y}$ кадру трансформуються до спектрального формату опису. Таким чином, на основі блоку $\beta_{x,y}$ формується матриця $\beta'_{x,y}$ компонент ДКП. У наслідок даної

процедури компоненти розподіляються за частотною ознакою таким чином, що стає можливим окремо виконувати обробку компонент області ВЧ (високих частот) або НЧ (низьких частот) (рис.3.4).

За рахунок такого розподілу компонент у ході наступного технологічного етапу - етапу квантування, величини компонент ВЧ-групи підлягають більш суттєвому скороченню, ніж НЧ та СЧ. При цьому на наступному етапові обробки ВЧ компоненти можуть бути суттєво зменшені у значеннях. Так як найбільш інформативними є саме НЧ-компоненти, таким чином створюються умови для того, щоб, з одного боку, досягти скорочення обсягу біт на опис сегменту, а з іншого боку, внести при цьому мінімальні викривлення.

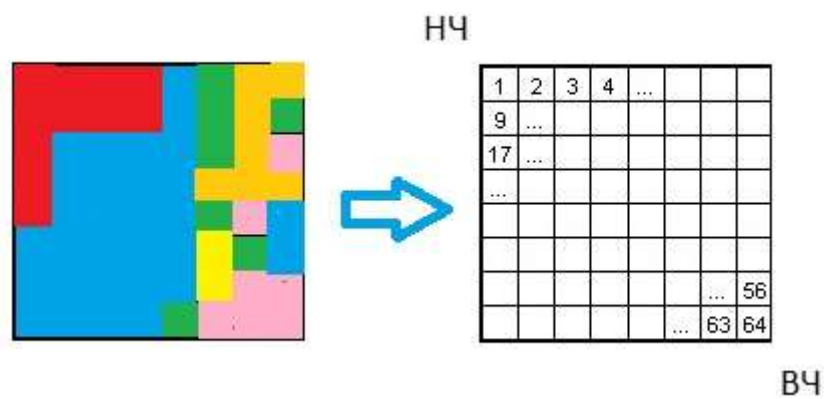


Рисунок 3.4 – Матриця компонент ДКП, отримана на базі блоку 8x8

Процедура квантування виконується окремо відносно матриці компонент яскравості, а також колірно-різницевої компонент.

Даний технологічний етап може забезпечити найсуттєвіше зменшення обсягу біт для представлення матриці $\beta'_{x,y}$ компонент ДКП а відтак і кадру. Сама операція квантування являє собою ділення кожної з компонент матриці $\beta'_{x,y}$ на коефіцієнт матриці квантування, індекс якого відповідає індексу компоненти, що квантується.

Для матриць компонент Y , C_r та C_b застосовуються різні матриці квантування.

Далі відносно квантованих матриць компонент ДКП виконується процедура лінеаризації, за результатом чого початкова матриця 8x8 перетворюється на вектор, що містить у собі 64 елементи. Для такого перетворення використовується алгоритм зигзаг скану компонент.

У свою чергу, для 64-елементного вектору, утвореного у наслідок лінеаризації компонент, здійснюється процедура кодування довжин серій елементів, або run-length encoding (RLE). Після цього вектор буде являти собою масив пар величин. У такому випадку, перша величина являє собою лічильник послідовності нульових елементів. Друга величина при цьому – число у десятковому форматі, яке вписується у наступну чарунку. Так, у випадку, якщо фрагмент вектору є наступним:

69 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 54 0 0 0 -11 0 0 0 0 0 0 14,

після кодування довжин серій описуватиметься наступним масивом пар:

(0,69) (0,3) (9,54) (3,-11) (6,14).

Утворена означеним вище способом послідовність пар величин далі підлягає процедурі кодування без втрат, для чого використовується ймовірно-статистичне кодування.

У рамках існуючого базису MPEG це може бути кодування за методом Хафмана, або арифметичне кодування. При цьому, попри те, що шляхом використання арифметичного кодування може бути досягнуто дещо вищих коефіцієнтів стиснення, ніж для методу Хафмана, разом з тим, алгоритм арифметичного кодування є більш ресурсоємним.

3.2 Вимоги, яким має відповідати процес обробки відео на рівні представлення

Відеодані, як частковий випадок інформації, можуть розглядатися у двох площинах, а саме:

- як трафік специфічного типу;
- як дані, відновлені на кінцевому вузлі-приймачеві.

Оскільки для будь-якого відеоінформаційного сервісу, з невеликими виключеннями, першочергово важливим є збереження якісних кондицій відеоповідомлень, відповідно, для нас гостро актуальним є розгляд відео у вигляді даних, що відновлюються у точці прийому. При цьому, рівень цілісності даних, як кількісний показник якості реконструйованої відеоінформації, може бути оцінено за одним з поширених сьогодні показників.

Якість відеоданих оцінюється безпосередньо після закінчення кодування деякого відрізка потоку на рівні джерела. За рахунок цього у ході трансляції відео може бути зроблено висновки відносно ефективності обраних опцій кодування, та за потреби – змінити їх у той чи інший бік.

Очевидно, що рівень Y якості відновлених відеоданих є ключовим показником ефективності технології обробки та застосованих опцій кодування (якщо їх наявність передбачена самою технологією). При цьому, тут може бути використано певний перелік метрик оцінювання якості. Найчастіше це такі метрики, як [12]:

Отже, для нас є важливою оцінка Q якості реконструйованого відео, незалежно від того, яка метрика тут використовується:

- PSNR – (PulseSignal-Noise Rate), або величина пікового відношення сигнал/шум;
- SSIM – (Structure Similarity), або міра структурної подібності;
- MSE – (Middle Square Error), або середньоквадратична помилка та ін.

У той же час, рівень Y якості відновлених відеоданих є прямо пропорційною величиною до рівня R бітової швидкості. Інакше кажучи, у загальному випадку умовою збільшення рівня Y якості відео є забезпечення його бітової швидкості не нижче, ніж деяке значення R' . Відповідно, зі зниженням рівня R буде також втрачатися якість Y .

З іншого боку, пропускна здатність P мережі є апіорі обмеженою величиною. І у випадку, коли бітова швидкість R відео перевищує її значення у поточний момент часу, деякий відсоток відеоданих буде незмінно втрачатися, що спричинить або взагалі неможливість трансляції, або приведе до руйнування тієї чи іншої кількості відеокадрів на прийомному боці (рис.3.5).

Отже, першою умовою, виконання якої є необхідним для забезпечення якості Y відновленого відео на певному Y' встановленому рівні, є недопустимість перевищення бітовою швидкістю відео, що генерується на рівні джерела, пропускної здатності P мережі, як показано наступним співвідношенням:

$$R \leq P \quad (3.1)$$

У випадку виконання умови (3.1) можемо говорити про те, що поточні характеристики каналів мережі теоретично жодним чином не мають впливу на

показник Y відновленої на прийомному боці відеоінформації. Відтак, співвідношення (3.1) умовно може розглядатися як підґрунтя ефективного кодування відеоінформації.



Рисунок 3.5 – Приклад руйнування відеокадру у процесі передавання відеотрафіку як наслідок втрати деякого відсотку пакетів

Водночас, як вже було зазначено, пропускна здатність P мережі має обмеження, а між величинами P та R існує прямий взаємозв'язок. Виходячи з цього стає зрозумілим те, що для визначення умов ефективного кодування відео необхідно також брати до розгляду обидва параметри - P та R . Тоді умови ефективного кодування можуть бути представлені співвідношенням:

$$\left\{ \begin{array}{l} R \leq P \\ \Theta \leq \Theta' \end{array} \right. \quad (3.2)$$

У виразі (3.2) величина бітової швидкості R є цільовою функцією. При цьому, значення цільової функції необхідно підтримувати у певному діапазоні величин в умовах впливу існуючих обмежень Y . Іншими словами, у ході обробки відео контролю підлягають 2 взаємопов'язані параметри. Відтак, задача ефективного кодування відеоінформаційних потоків згідно з вимогами умов (3.2) стає суттєво складнішою.

Виконаємо аналіз існуючої проблематики обробки відеоінформації більш поглиблено.

3.3 Існуюча проблематика кодування відеоінформації відповідно до існуючої ідеології MPEG

Спершу зазначимо, що одним з ключових чинників, які здатні здійснювати впливає на рівень продуктивності кодеку, є великий об'єм технологічних операцій, що беруть участь у процесі побудови кодового представлення відео.

Найширшого застосування зараз набули технології H.265/HEVC, H.264/AVC, продовжує зберігати позиції MPEG-2 за рахунок ряду специфічних систем (спутникові системи, ряд систем кабельного телебачення).

Для кожного з перелічених кодеків є характерним послідовний порядок виконання каскаду технологічних перетворень відеоінформації під час кодування.

Інакше кажучи, усі технологічні процеси, які було описано у пункті 3.1, здійснюються кодеком з використанням переліку опцій кодування, які було встановлено ще до початку обробки відео.

При цьому, до базових параметрів кодування тут відносяться [11, 12]:

- певний формат колірної опису (колірної субдискретизації);
- порядок та особливості побудови групи кадрів (GOP) відеопотоку, як ілюструє рисунок 3.6;
- значення кроку квантизації.

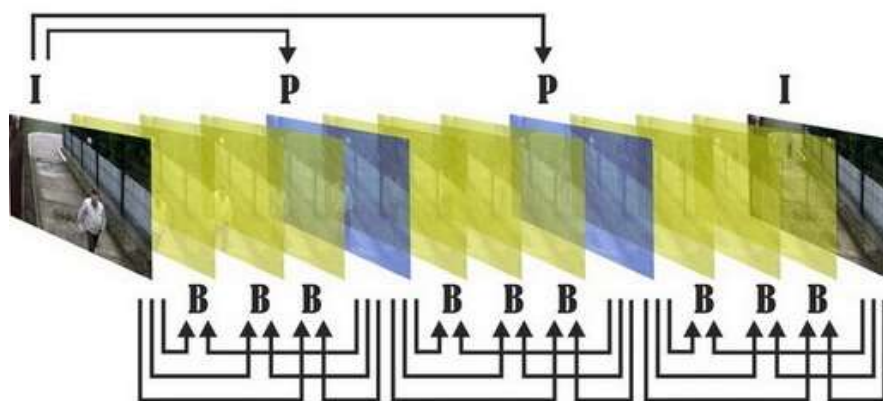


Рисунок 3.6 – Загальний принцип побудови групи кадрів у рамках MPEG

Для означеного способу побудови процесу кодування характерними є ряд недоліків, зокрема:

- формування набору опцій кодеку, та подальше їх застосування в умовах ігнорування особливостей змісту відеокадрів та умов, у яких має здійснюватися трансляція відеопотоку веде до того, що у межах кадру бітова швидкість розподіляється нераціонально (окремі ділянки реконструйованих кадрів можуть мати невиправдано високу якість, тоді як інші у процесі стиснення можуть суттєво втратити якість). Тут умовами трансляції відео є рівень поточного завантаження каналу мережі, величина номінальної пропускної здатності, актуальні вимоги до рівня Y якості реконструйованих даних;
- розширення роздільної здатності відео спричинює суттєвий ріст обчислювального навантаження у процесі кодування та декодування.

Поширені сьогодні технології кодування виконують обробку відеокадрів, що розглядаються, як сукупності сегментів розміром $n \times n$. При цьому, це можуть бути розміри 8×8 , 4×4 та 2×2 . Однак, у переважній більшості випадків використовуються сегменти 8×8 . Тому далі будемо розглядати сегменти саме такого розміру.

Зрозуміло, що, зі збільшенням просторової роздільної здатності кадру зростатиме кількість сегментів, що підлягають обробці у реальному масштабі часу.

Одним з поширених сьогодні форматів відео є HD-ready, для якого властива просторова роздільна здатність рівна 1080×720 пікселів. Відтак, для цього випадку кадр формується $\phi = \frac{1080}{8} \times \frac{720}{8} = 14400$ сегментами. У свою чергу, відеокадр формату FullHD з роздільною здатністю 1920×1080 містить $\phi = \frac{1920}{8} \times \frac{1080}{8} = 32400$ сегментів. У випадку ж відео формату 4K кількість сегментів у складі кадру знаходиться у діапазоні від $\phi = 135000$ (для випадку т.з. кашетованого формату), до $\phi = 196608$ (для повнокадрового формату). Звідси бачимо, що загальний обсяг сегментів, які необхідно кодувати у рамках одного кадру, збільшується майже шестикратно щодо відео FullHD і у 14 разів щодо відео HD-ready, як показує рисунок 3.6.

Отже, обчислювальне навантаження на функціональні вузли кінцевих терміналів, на базі яких реалізуються процеси обробки відео збільшується відповідно до розширення обсягу сегментів кадру, що підлягають обробці за

одиницю часу. Такими функціональними вузлами зараз є GPU, або графічні процесори.

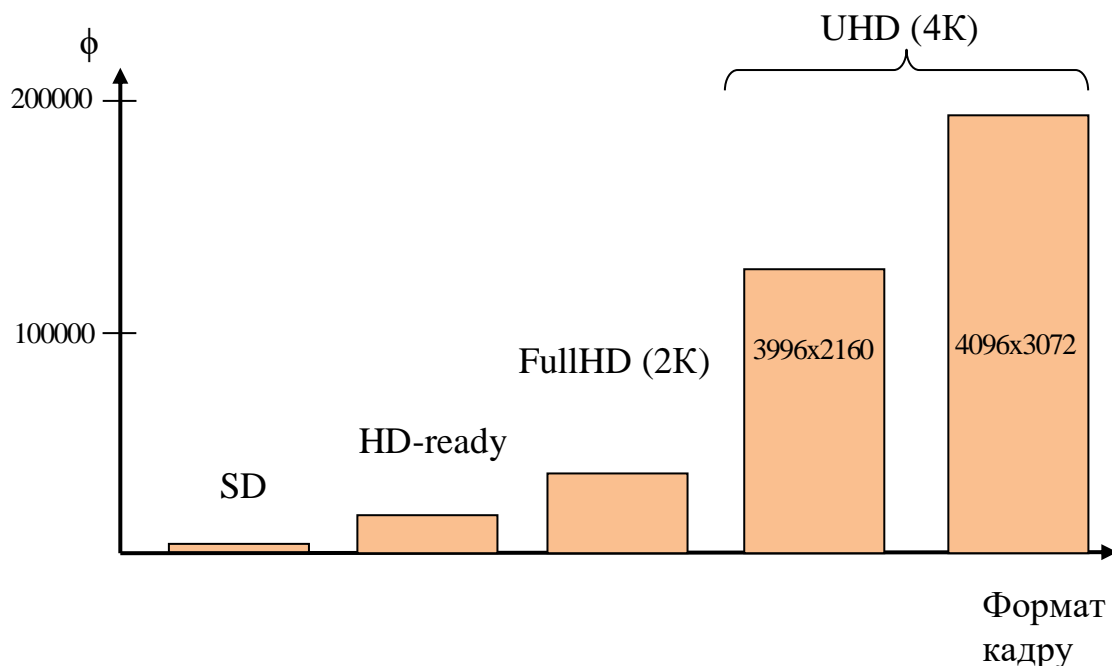


Рисунок 3.6 – Загальний обсяг сегментів 8x8 на випадок різних роздільних здатностей відеокадрів

Означена залежність між ростом кількості сегментів та збільшенням навантаження на GPU для випадків мобільних терміналів є потенційно критичною.

При цьому, за рядом параметрів, такими, як – сумарний обсяг оперативної пам'яті, показник кількості гігафлоп та тактова частота процесору, а також наявність багатоядерної архітектури, значний відсоток існуючих сьогодні таких пристроїв не відрізняється від стаціонарних робочих станцій.

Утім, фактична продуктивність мобільних терміналів є нижчою, ніж для випадків стаціонарних ПК, як доводять результати досліджень на базі засобу Geekbench 5 [13]. У більшості ж випадків говорити про конкуренцію між двома цими типами пристроїв взагалі недоцільно.

Чинниками, що визначають означену закономірність, є:

1. Значний вплив на формування підсумкової потужності пристрою здійснює одноядерна обчислювальна потужність. Саме від неї залежить швидкість виконання додатків та швидкодія процесів, побудова яких на базі паралельних обчислень являє собою складне завдання.

2. Найвища продуктивність для процесорів з архітектурою ARM досягається тоді, коли інші сторонні процеси, які також вимагають обчислень, будуть відсутні.

Водночас, у рамках існуючих принципів побудови мобільних пристроїв існує потреба постійної обробки тієї чи іншої кількості процесів з найвищими пріоритетами.

Такі процеси має біти оброблено у реальному масштабі часі. Прикладами таких високо пріоритетних процесів є:

- синхронізація з базовими станціями, очікування виклику тощо;
- передаванням різномірних даних (дані службового характеру, що, зокрема, забезпечують взаємодію з мережею та сервісними процесами, а також дані, необхідні для функціонування додатків, або породжуються ними).

Врешті решт, підсумкова продуктивність мобільних терміналів має значно нижчий рівень, ніж номінально можливий, а також за показником продуктивності суттєво поступається ПК, для яких передбачено можливість налаштувати та керувати рівнем пріоритетності процесів та їх обробкою.

3. Для процесорів високої потужності характерними є зависокі показники TDP, або вимоги до тепловідведення.

З цієї точки зору процесори мобільних терміналів з ARM-архітектурою не можуть задіяти увесь доступний перелік ядер мобільних чипів, щоб забезпечити максимально можливу потужність обчислень так як існують обмеження за параметром TDP.

4. Існуюча архітектура ARM big.LITTLE створює ряд обмежень у ході функціонування процесорів. Сама архітектура big.LITTLE формується множиною ядер двох типів, що утворюють гетерогенну структуру, як показано рисунком 3.7.

Тут присутні такі типи ядер, як:

- енергоефективні ядра невисокої потужності (little);
- високопотужні ядра, які генерують велику кількість тепла та є досить енергоємними (big).

При цьому, концепція big.LITTLE першочергово має на меті забезпечення енергоефективності процесору у цілому. Відтак, одночасне функціонування кластеру потужних та кластеру енергоефективних ядер одного чіпу можливе не завжди.

Отже, у результаті аналізу особливостей функціонування процесорів мобільного сегменту може бути зроблено висновок про те, що ріст просторової

роздільної здатності кадрів для мобільних терміналів є критичним. Відповідно, у таких умовах має сенс застосування альтернативних засад для побудови каскаду технологічних перетворень відеоінформації у процесі кодування на рівні представлення.

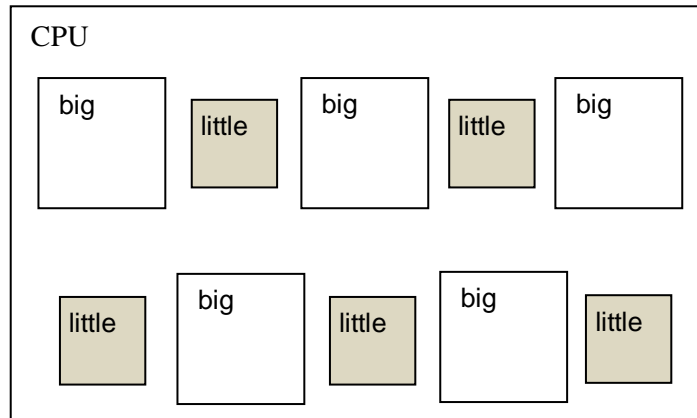


Рисунок 3.7 - Структура процесорів, побудованих на базі архітектури ARM big.LITTLE

Виходячи з цього, до розгляду пропонується підхід, який базується на застосуванні автономних смарт-агентів для побудови процесу кодування відеоінформації.

4 ПОБУДОВА ПРОЦЕСУ КОДУВАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ АВТОНОМНИХ СМАРТ-АГЕНТІВ

4.1 Загальні відомості щодо систем смарт-агентів

Незалежно від типу, спрямованості, вирішуваних завдань, масштабу та архітектури, відносно практично будь-якого технологічного циклу може бути виконано процедуру декомпозиції, у результаті чого *монолітний* цикл може бути представлено у вигляді множини локальних технологічних етапів, та множини зв'язків між ними [15].

Структура утвореної таким чином технологічної моделі складного циклу може бути лінійною (у випадку, коли цикл включає у себе сукупність локальних технологічних етапів, які у часі виконуватися послідовно), або розгалуженою, приклади чого наводяться рисунком 4.1.

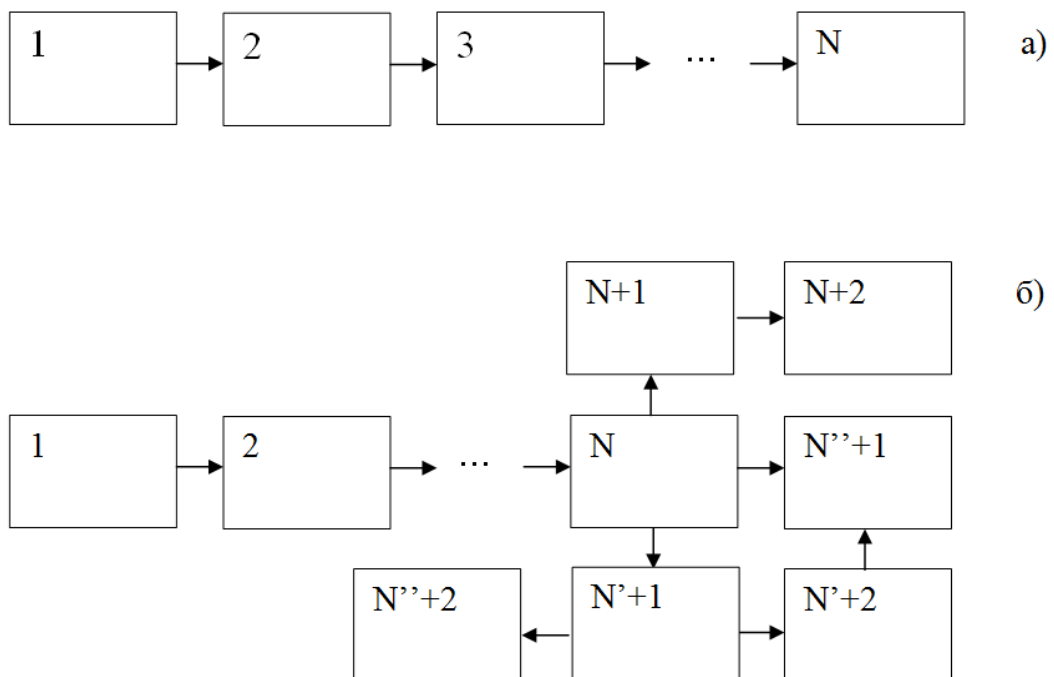


Рисунок 4.1 – Приклади структур технологічної моделі складного циклі лінійного а) та розгалуженого б) типів

При цьому, в обох випадках загальний цикл передбачає виконання

деякого обсягу δ технологічних операцій.

Увесь обсяг δ технологічних операцій тут має здійснюватися у реальному масштабі часу, тобто, затримка T_{proc} , яка вноситься у ході обробки відеоданих на рівні джерела та/або приймача, має задовольняти наступну нерівність [8]:

$$T_{\text{proc}} \rightarrow 0 \quad (4.1)$$

При цьому, умови для скорочення величини T_{proc} можу бути створено шляхом виокремлення з загального обчислювального процесу певної кількості логічних потоків. Кожен з таких потоків має бути незалежним від інших, що дозволяє здійснювати паралельне обчислення кожного з них. За умови балансування обчислювального навантаження між кластерами ядер процесору та також у середині кожного з кластерів підхід, що базується на розпаралелюванні обчислень потенційно здатен забезпечити суттєве скорочення часу T_{proc} затримки під час обробки на рівні джерела/приймача.

Разом з тим, для складних технологічних циклів, структура яких відноситься до лінійного типу, логіка функціонування будується за конвеєрним принципом. У такому випадку довільний n -й технологічний етап використовує у якості вихідних даних результати обчислення, одержані на $(n-1)$ -му етапові. Отже, за даних умов утілення підходу на базі паралельних обчислень є практично неможливим, або можливим частково.

Ще раз зазначимо, що викладене вище є справедливим для монолітних систем, порівняно з якими система на базі смарт-агентів (ССА) практично не має обмежень для роздільного обчислення окремих ділянок складного циклу навіть у випадку його конвеєрної архітектури. Така можливість забезпечується тим, що ССА являє собою сукупність деякої кількості незалежних обробників, а саме – інтелектуальних обчислювальних модулів, (ІОМ), або інтелектуальних агентів (ІА), кожен з яких сукупно з іншими веде обчислення на одному з технологічних етапів, що разом утворюють єдиний циклу [15, 16].

Архітектура та особливості функціонування ССА дають змогу:

- значно скоротити загальний час обчислення шляхом призначення кожному з ІОМ функції певного технологічного етапу у складі загального циклу окремим агентам;
- досягти та підтримувати якість результатів обчислення у масштабі

загального циклу на суттєво вищому рівні порівняно з монолітною структурою процесу.

Це забезпечується за рахунок таких ключових властивостей ССА, як:

- **незалежність** – кожен смарт-агент є, принаймні частково, незалежним від інших ІОМ;
- **децентралізований принцип побудови** – відповідно до даної властивості ССА не містить у собі головного модулю управління, що керує спільною роботою інтелектуальних агентів;
- **обмеженість доступного простору дій** – інтелектуальні модулі, що формують ССА, не можуть мати відомостей щодо усієї її структури, або структура ССА є надмірно складною для того, щоб відомості відносно неї могли становити щонайменшу практичну користь для ІОМ.
- **ізоляваність на рівні окремих агентів** – це свідчить про те, що кожен з агентів у складі системи реалізує процес пошуку оптимального рішення покладеного на нього завдання в умовах відсутності втручання ззовні;
- **можливість гнучкого налаштування** – ця властивість дозволяє розширювати систему та вносити у неї теоретично будь-які модифікації, при цьому її структуру не буде порушено.

4.2 Кодування відео у реальному часі на базі системи смарт-агентів

Скороченню як часу кодування/декодування, так і обсягу необхідних обчислень, сприяє використання ССА на рівні кінцевих вузлів.

Так як попередньо розглядалося кодування у системі MPEG, для цього випадку ССА являтиме собою наступну сукупність M інтелектуальних обчислювальних модулів, або інтелектуальних агентів обробки:

$$M = \{\mu_{csch}; \mu_{csd}; \mu_{tr}; \mu_q; \mu_{code}; v_{gm}; v_{mc}\}, \quad (4.2)$$

де μ_{csch} - модуль, що відповідає за етап вибору та зміни схеми колірною представлення;

μ_{csd} - модуль керування етапом вибору моделі колірної субдискретизації;

μ_{tr} - модуль, що керує процесом трансформування сегментів з просторового до спектрального простору опису;

μ_q - модуль управління етапом квантизації;

μ_{code} - модуль етапу кодування без втрат;

V_{gm} - модуль групоутворення;

V_{mc} - модуль компенсації руху.

Як видно з виразу (4.2), система на базі смарт-агентів для випадку кодування відео на засадах MPEG містить у собі дві групи інтелектуальних обчислювальних модулів - μ і ν . При цьому, до групи μ належать інтелектуальні модулі, що спільно реалізують процес обробки окремих кадрів (обробки на внутрішньо кадровому рівні).

У свою чергу, група ν ІОМ вирішує завдання кодування відео у часовій площині. При цьому, агент групоутворення, що встановлює довжину та структуру групи (GOP) кадрів, таким чином, у сутності, бере участь у формуванні відеопотоку, потребує у якості вихідних даних:

- самі кодовані кадри, як двовимірні масиви біт;
- застосовані опції кодування кадрів;
- відомості відносно вимог до якості Θ відео;
- прогнозована бітова швидкість відео на момент часу $(t+1)$ при поточному часі t ;
- поточна пропускна здатність P мережі.

Модуль компенсації руху при цьому реалізує функції вибору та застосування одного з алгоритмів утворення диференційних кадрів у групі, керуючись:

- обраною довжиною групи;
- підсумковою якістю Θ реконструйованого відеопотоку;
- доступним об'ємом часу, що витрачається для виконання компенсації руху.

У свою чергу, сутність функціонування ССА у застосуванні для обробки відеопотоку полягає у визначенні та застосуванні набору S' оптимальних параметрів кодування для кожного з технологічних етапів.

Звідси виходить, що ще одна концептуальна відмінність застосування схеми ССА у процесі кодування відео полягає у тому, що множина параметрів кодування не є статичною і може суттєвим чином змінюватися у часі на рівні структурних одиниць відеопотоку від його сегменту до цілого кадру, деякої сукупності кадрів у групі та цілої групи [15,16].

Слід зазначити, що у виразі (4.2) смарт-агенти, для яких у технологічному циклі кодування за MPEG-ідеологією не передбачено жодних налаштувань, що

можуть потребувати корегування, зі схеми ССА умовно виключаються. Це справедливо для:

- модуля μ_{csch} зміни схеми колірною представлення, якщо базова технологія кодування передбачає використання єдиної колірно-різницевої моделі – YCrCb чи YUV;
- смарт-агента μ_{tr} у випадку, якщо у ході кодування застосовується виключно один алгоритм ортогонального перетворення, наприклад, ДКП. В інших же випадках на даний агент покладається завдання вибору та реалізації певного алгоритму (ДКП, алгоритм Хаара чи Уолша, ДВП тощо), керуючись зовнішніми умовами та часовими кондиціями процесу кодування;
- модуля μ_{code} кодування без втрат за умови, що технологія жорстко регламентує використання певного методу стиснення (метод Хафмана, арифметичне кодування, адаптивне арифметичне кодування, позиційне кодування та ін.).

У підсумку, процес кодування відеопотоку з використанням ССА міститиме у собі ряд технологічних макроетапів, а саме:

1. Розрахунок оптимальних опцій кодування на рівні кожного з ІОМ, керуючись даними щодо вимог до рівня якості Θ відновлених відеоданих, що еквівалентно виразу:

$$\{S'\} = \varphi(\Theta) = \bigcup_{i=1}^n \bar{S}'_i, \quad (4.3)$$

де \bar{S}'_i - множина опцій кодування, що є оптимальними на певному технологічному етапові (для одного з ІОМ).

Водночас. Незалежно від конкретного технологічного етапу кодування, для кожного ІОМ, які входять до загальної ССА, процес пошуку множини оптимальних налаштувань реалізується виходячи з підсумкових вимог щодо якості Θ відео а також ряду інших параметрів, а саме:

- розрахованого підсумкового рівня якості Θ_{i-1} після попереднього кроку обробки;
- розрахованого значення R_{i-1} бітової швидкості за результатами виконання $(i-1)$ -го кроку у загальному циклі обробки;
- необхідного рівня бітової швидкості R у поточний момент часу.

Даний процес у загальному вигляді може бути описано наступним виразом:

$$\bar{S}'_i = \psi(\Theta; R; \Theta_{i-1}; R_{i-1}). \quad (4.4)$$

2. Безпосередньо процес кодування, у ході якого використовуються параметри, які були розраховані у ході попереднього макроетапу. Тут виконується наступний перелік дій:

- обробка тієї чи іншої структурної одиниці відеопотоку на базі алгоритму (або одного з деякої сукупності алгоритмів), що передбачається базовою технологією кодування для даного інтелектуального модуля (іншими словами - технологічного етапу);
- розрахунок значень R_i та Θ_i , за результатами виконаної обробки на поточному етапі;
- надсилання масиву даних, утворених у результаті обробки разом з розрахованими значеннями R_i та Θ_i наступному, або $(i+1)$ -му інтелектуальному модулю.

3. Уточнення множини $\{S'\}$ параметрів кодування.

Сутність функціонування ССА у загальних рисах може бути проілюстровано схемою, зображеною на рис. 4.2.

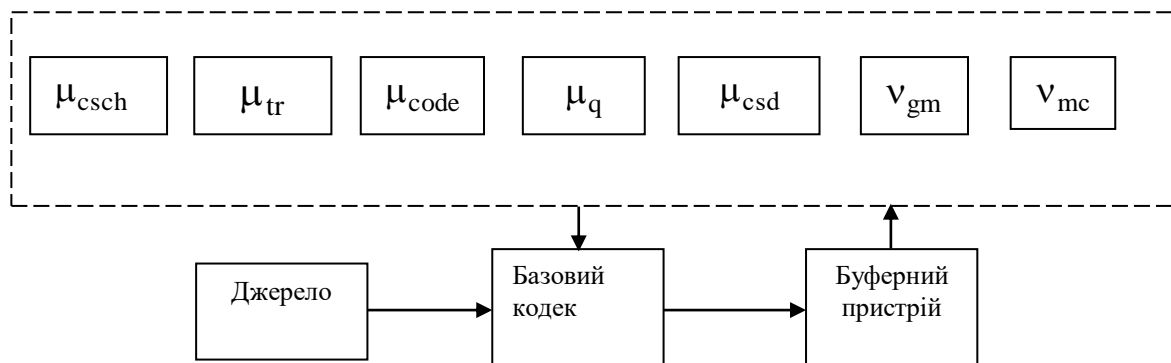


Рисунок 4.2 – Узагальнена схема обробки відеопотоку на базі ССА

4.2.1 Логічна архітектура та структурні особливості побудови інтелектуального обчислювального модулю ССА

Використання стандартизованих підходів до обробки інформації будь-якого походження у рамках технологічного циклу монолітного типу (класичний

сценарій обробки), що являє собою конвеєр технологічних перетворень з великою кількістю етапів обробки, має характерну особливість.

Така особливість передбачає, що, у сутності, сам процес обробки зводиться до виконання тих чи інших дій відносно отриманих даних згідно з апіорі встановленим способом.

Водночас, смарт-агент під час свого функціонування, на відміну від класичного підходу до обробки даних, виконує значно ширший діапазон різноманітних дій, таких, як:

- отримання даних з джерела або від сусіднього агента з наступним їх аналізом;
- формування сценарію, за яким буде виконуватися обробка, для чого застосовуються закономірності, які виявляються на передуючому етапі – тобто, за результатами виконаного аналізу даних;
- визначення переліку налаштувань для того чи іншого етапу обробки та наступне їх застосування, керуючись при цьому побудованим сценарієм;
- виконання оцінки одержаних значень R_{i-1} і Θ_{i-1} з наступним збором статистичних даних, які відображають залежність між величинами R_{i-1} і Θ_{i-1} а також множиною застосованих параметрів обробки \bar{S}'_i .

Необхідність забезпечити можливість виконання перелічених вище операцій будь-яким ІОМ з ССА є ключовим чинником, що формує структурний склад смарт-агента та встановлює зв'язки між його складовими. Відтак типова структура ІОМ є такою, як зображено на рисунку.4.3.

Сюди входять такі складові, як [17]:

- модуль-класифікатор, що виявляє факт належності оброблюваної структурної одиниці потоку до того чи іншого характерного типу шляхом визначення його ключових особливостей;
- множина можливих опцій обробки, що теоретично можуть бути використані у будь-який момент;
- модуль функціональної обробки;
- статистичний модуль (локальна база даних);
- технологічна модель.

У наведеній структурі функціями *модуля-класифікатора* є виявлення деякого переліку інформативних ознак, що дозволяють у сукупності віднести структурну одиницю оброблюваних даних, що аналізується, до одного з наявних та відомих системі (або принципово нового класу для системи).

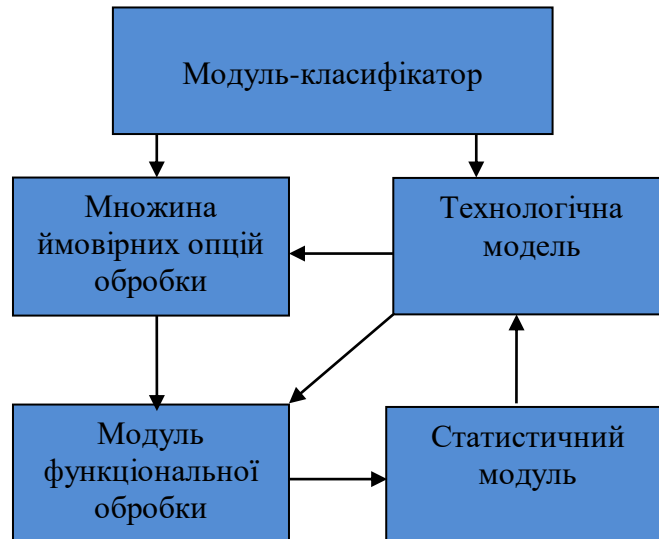


Рисунок 4.3 – Типова структура ІОМ

Тут розглядається гнучка градація типів оброблюваних структурних одиниць на базі сукупності інформативних ознак, наприклад:

- відповідно до походження кадру чи його фрагменту (це може бути «природній» відеоматеріал, отриманий з відеокамери, продукт засобів комп'ютерної графіки, чи поєднання першого і другого типів даних);
- колірність (фрагмент у палітрі RGB, хроматичне зображення, відтінки сірого, глибина колірності тощо);
- рівень складності, або ступінь інформативності (присутність у фрагменті контурних даних, текстур, градієнтів та ін.).

У свою чергу, на базі виявлених характеристик оброблюваної структурної одиниці потоку, які описуються сукупністю часткових інформативних ознак [12], далі встановлюються особливості функціонування усієї наявної множини ІОМ. Даний процес ілюструється таблицею 4.1.

Таблиця 4.1 – Виявлення характеристик оброблюваної структурної одиниці потоку за сукупністю часткових ознак

Походження (Q)	«Природна» зйомка (N)	Комп'ютерна графіка (G)	Комбінований (K)
Колірна схема (C)	RGB	Відтінок одного каналу (1CH)	Біадична (B)
Складність (D)	Висока (H)	Середня (M)	Низька (L)

У сутності, зазначений перелік інформативних ознак може бути суттєво розширено, наприклад, включенням у зазначений ознак за змістом ВЧ-області трансформованих сегментів, або ознаки, що свідчить про належність оброблюваного фрагменту до т.з. «області уваги» у кадрі.

Далі, використовуючи виявлені характеристики структурної одиниці відеопотоку, виконується формування множини сукупностей $\Phi(Q;C;D)$ ознак. При цьому, розмірність ξ цієї множини відповідно до правил комбінаторики обчислюється як:

$$\xi = 9^{\omega}, \quad (4.5)$$

де 9 - кількість інформативних ознак, які використано для класифікації структурних одиниць відеопотоку;

ω - кількість станів, які може мати інформативна ознака.

У нашому випадку відповідно до виразу (4.5) маємо $\xi = 3^3$.

Таким чином, буде сформовано 27 множин сукупностей $\Phi(Q;C;D)$ ознак, на базі яких встановлюється первинний перелік налаштувань процесу кодування, що початково застосовується для усієї ССА на рівні її відповідних модулів, як показано таблицею 4.2.

У таблиці 4.2 розглянуто найпростіший випадок кодування за схемою MPEG, коли опції мають виключно технологічні етапи формування моделі колірної субдискретизації та квантування.

При цьому, етапи кодування без втрат, групоутворення та інші функціонують за стандартизованим сценарієм, передбаченим базовою технологією.

Для сформованої таким чином сукупності ознак $\Phi(Q;C;D)$ встановлюється множина налаштувань кодеку. У нашому випадку, як показано табл. 4.2, це формат θ колірної субдискретизації, а також опція технологічного етапу квантизації шляхом задання відповідного кроку λ , застосування яких дозволяє отримати значення R та Θ на рівні, що потенційно є прийнятним:

$$\Phi(Q;C;D) \rightarrow (\theta, \lambda) | (R; \Theta) \rightarrow \text{suitable} \quad (4.6)$$

Таблиця 4.2 – Множини сукупностей ознак, на базі яких формуються первинні налаштування процесу кодування відеокадрів у ССА

Сукупність ознак $\Phi(Q; C; D)$	Первинні налаштування кодеку	
	Формат колірної субдискретизації (θ)	Величина кроку квантизації ($\lambda = \overline{1; 12}$)
(N)(RGB)(H)	4:4:4-4:2:2	1-2
(N)(RGB)(M)	4:2:2	2
(N)(RGB)(L)	4:2:1-4:2:0	3-4
(N)(1CH)(H)	4:1:1	4-5
(N)(1CH)(M)	4:1:1	5-6
(N)(1CH)(L)	4:1:1	6-8
(N)(B)(H)	4:0:0 (канал яскравості)	6-8
(N)(B)(M)	4:0:0 (канал яскравості)	6-8
(N)(B)(L)	4:0:0 (канал яскравості)	8-10
(G)(RGB)(H)	4:2:2	2-3
(G)(RGB)(M)	4:1:1	3-4
(G)(RGB)(L)	4:1:1	4-5
(G)(1CH)(H)	4:1:0	6-8
(G)(1CH)(M)	4:1:0	8-10
(G)(1CH)(L)	4:1:0	10-12
(G)(B)(H)	4:0:0 (канал яскравості)	6-8
(G)(B)(M)	4:0:0 (канал яскравості)	8-10
(G)(B)(L)	4:0:0 (канал яскравості)	11-12
(K)(RGB)(H)	4:2:2	2
(K)(RGB)(M)	4:2:1	2-3
(K)(RGB)(L)	4:2:1-4:2:0	3-5
(K)(1CH)(H)	4:1:1	5-6
(K)(1CH)(M)	4:1:1	6-8
(K)(1CH)(L)	4:1:1	8
(K)(B)(H)	4:0:0 (канал яскравості)	8
(K)(B)(M)	4:0:0 (канал яскравості)	8
(K)(B)(L)	4:0:0 (канал яскравості)	8-10

При цьому, сукупність ознак $\Phi(Q;C;D)$, а також значення параметрів кодування (у нашому випадку - θ та λ), які забезпечують умови виконання співвідношення (4.6), утворюють *технологічну модель Ξ' обробки*.

Отже, технологічна модель, у сутності, являє собою функціоналом від сукупності ознак $\Phi(Q;C;D)$. При цьому, на основі сукупності ознак у процесі обробки обираються налаштування кодеку.

Розглянута вище технологічна модель Ξ' є частковою. У свою чергу, повна модель може містити у собі, наприклад:

- той чи інший алгоритм χ стиснення без втрат, який являє собою фінальний технологічний етап технології кодування, (поліадичне кодування, арифметичне, за Хафманом тощо) та механізм його вибору;

- той чи інший алгоритм, σ на базі якого виконується етап ортогонального перетворення, та механізм вибору такого алгоритму, та інші технологічні етапи.

Необхідно додати, що включення у повну модель Ξ технологічних етапів кодування без втрат, формування груп кадрів та інших не передбачається у таких випадках:

- означені технологічні етапи обробки функціонують відповідно до сценарію, який є ключовим та єдиним для базової технології кодування;

- доступна обчислювальна потужність Ω апаратної платформи та наявні часові кондиції τ не дозволяють застосовувати повну модель.

У свою чергу, для випадку повної технологічної моделі Ξ вираз (4.6) буде доповнено до вигляду:

$$\Xi = \varphi(\Phi(Q;C;D); \theta; \lambda; \chi; \sigma(\tau; \Omega); R; \Theta) | (R; \Theta) \rightarrow \text{suitable} \quad (4.7)$$

Отже, сутність технологічної моделі Ξ полягає у встановленні для структурної одиниці відеопотоку певного набору налаштувань кодеку, керуючись при цьому виявленою попередньо сукупності ознак $\Phi(Q;C;D)$. При цьому, такий набір налаштувань кодеку теоретично дозволяє досягти величини бітової швидкості та рівня Θ якості відновленого фрагменту відео, які забезпечують виконання умови (3.2).

Разом з тим очевидно, що у випадку, коли процес обробки передбачає існування α параметрів, тоді, за аналогією з виразом (4.5), теоретично

можливий обсяг Z технологічних моделей може бути розрахований за виразом [17, 18]:

$$Z \geq \alpha^v \quad (4.8)$$

де v - мінімальна кількість значень, які може приймати один з параметрів, що належать технологічній моделі.

У нашому випадку маємо такі параметри, як – $Q, C, D, \theta, \lambda, \chi, \sigma, \tau, \Omega, R$, та Θ , тобто, при цьому загальний обсяг Z технологічних моделей, що повністю охоплюють частину загального циклу, яка стосується етапів внутрішньокадрової обробки (без урахування етапів усунення міжкадрової надмірності) перевищуватиме величину $Z \geq 11^v$.

Якщо умовитися, що $v = 2$, що відповідає найпростішому (неможливому на практиці) випадку, коли кожен з параметрів приймає лише 2 значення, навіть тоді маємо $Z = 121$. Хоча, при цьому, як можна базити з табл. 4.2, навіть множина комбінацій величин Q, C та D рівна 27.

На базі цього очевидно, що застосування повної технологічної моделі на засадах, характерних для монолітних систем, є практично неможливим. Відтак, необхідно суттєвим чином зменшити кількість обчислень, тим самим створивши умови для можливості обробки відео у реальному часі. Для цього пропонується використовувати у рамках ССА *локальну технологічну модель* $\bar{\Xi}$. Така модель, на відміну від повної моделі Ξ , формується на рівні кожного інтелектуального агенту ССА незалежно від інших, що еквівалентно виразу [18]:

$$\bar{\Xi} = \bigcup_{j=1}^n \mu_i(\varepsilon_j) \quad (4.9)$$

де $j = \overline{1, n}$ - наявний діапазон градацій параметру ε_j смарт-модулю μ_i .

Тут на рівні локальної технологічної моделі кодування виконується вибір *множини опцій обробки*, на базі чого далі передбачається здійснення тих чи інших операцій у *модулі функціональної обробки*. При цьому, які це саме операції, залежить від того, який безпосередньо інтелектуальний модуль з загальної ССА-моделі їх реалізує.

У свою чергу, найбільш ґрунтовне зменшення загальної кількості обчислень за рахунок використання локальної моделі забезпечується завдяки тому, що у переважній більшості випадків кожному смарт-агенту ССА належить один (рідше-два) параметр, що здатні змінюватися.

Далі, за результатами виконання технологічних операцій з використанням модулю функціональної обробки, отримані дані зберігаються в одній з чарунок *статистичного модулю* – це, наприклад, сукупність ознак $\Phi(Q;C;D)$ структурної одиниці відеопотоку, застосована величина параметру ε_j інтелектуального модулю, а також одержані у результаті величини R_i та Θ_i . На той випадок, коли значення R_i та Θ_i не належитимуть прийнятному діапазону, надалі поточна локальна технологічна модель корегується.

4.3 Перелік режимів функціонування ССА у ході обробки окремих кадрів відеопотоку

Як видно з аналізу базових засад функціонування ССА при обробці відеоінформації, у загальному випадку навіть застосування концепції локальних технологічних моделей не гарантує, що пошук параметрів кодування, які у наявних умовах можуть вважатися оптимальними, не вимагатиме необхідності виконання такої кількості корекцій, за якої кодування у реальному часі буде неможливим.

Відповідно, для того, щоб скоротити ймовірний обсяг корегувань локальних моделей, передбачається, що ССА може функціонувати у кількох режимах, зокрема:

- режим формування попередньої стратегії;
- базовий режим;
- режим уточнення.

4.3.1 Режим формування попередньої стратегії

Після ініціалізації ССА, на початку її функціонування, необхідно виявити закономірності між опціями кодування, підсумковими величинами бітової швидкості і рівня якості структурної одиниці відеопотоку та застосованими опціями кодування, що їх спричинили. Для цього система ССА виконує кодування значного обсягу сегментів кадрів на різних рівнях ієрархії

структурних одиниць потоку (рис.4.4). При цьому тут застосовуються деякі задані значення величин R та Θ , що є потенційно прийнятними, та опції обробки, наведені у табл. 4.1.

Сама сутність режиму формування попередньої стратегії, першого та ключового у процесі функціонування ССА, полягає у локалізації діапазонів ймовірних прийнятних значень j параметру обробки для кожного зі смарт-модулів μ_j , що формують ССА, виходячи зі значень величин Q, C, D, τ, Ω, R та Θ .

Отже, деякому фрагменту відеопотоку, виходячи з сукупності ознак $\Phi(Q;C;D)$, що йому відповідають, необхідного рівня величин R та Θ у режимі знаходиться відносно вузький діапазон опцій кодування, що потенційно можуть задовольнити вимоги (3.2).

Таким чином, у режимі формування попередньої стратегії виконується навчання системи, яке полягає у знаходженні параметрів обробки для кожного ІМ з ССА, що у сукупності створюють умови для оптимального кодування [17,18], інакше кажучи, при цьому забезпечується справедливість виразу:

$$R, \Theta \rightarrow \text{suitable}. \quad (4.10)$$

Відповідно, навчання ССА у режимі формування попередньої стратегії містить ряд субетапів, зокрема:

- етап виявлення сукупності ознак $\Phi(Q;C;D)$ структурної одиниці відео потоку, на рівні якої виконується обробка;
- обчислення ймовірно необхідного часу τ для кодування за умов, що доступно у поточний момент Ω ресурсів системи;
- вибір основних налаштувань кодування, що наводяться у таблиці 4.2;
- кодування структурної одиниці відеопотоку, використовуючи первинні параметри θ та λ ;
- розрахунок величин R_i та Θ_i , отриманих після кодування сегменту;
- внесення використаних величин λ, θ (та інших за наявності) разом з параметрами τ та Ω і величинами R_i та Θ_i , отриманими тут, до статистичного модулю;

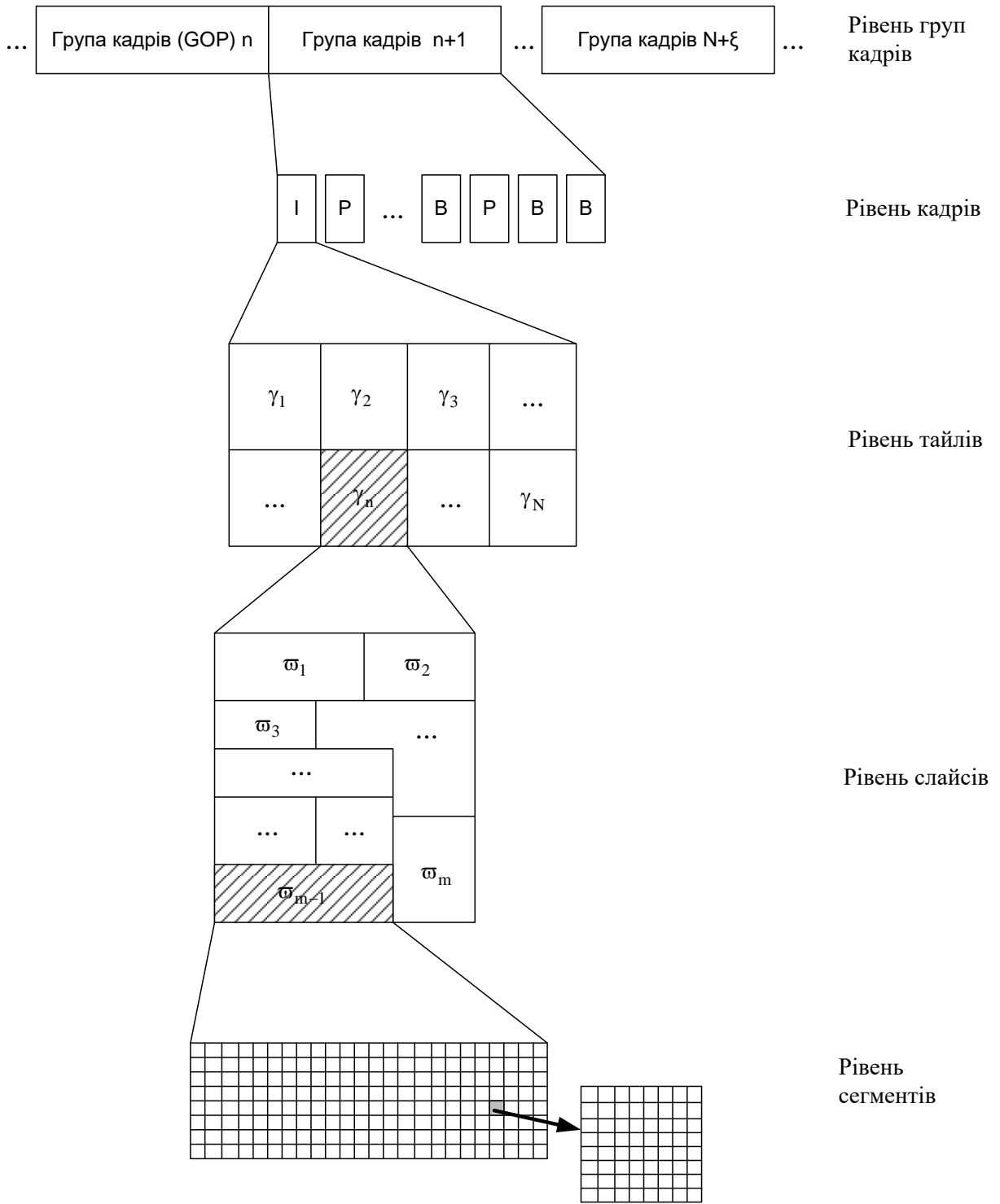


Рисунок 4.4 – Ієрархія структурних одиниць відеопотоку

- розрахунок величини розходження одержаних значень R_i та Θ_i від їхніх оптимальних значень у відповідності до критерію бімінімальності, який задається співвідношенням:

$$\begin{cases} R_i \rightarrow \min ; \\ \Theta_i \rightarrow \min ; \end{cases} \quad (4.11)$$

- корегування опцій обробки беручи до уваги факт присутності, та існуючий характеру розбіжності величин R_i та Θ_i з оптимальними за критерієм (4.11) значеннями;

- корекція локальної технологічної моделі (фіксація змінених величин опцій обробки).

Процес побудови локальної технологічної моделі \bar{E} у рамках ССА ілюструє схема, показана на рис. 4.5.

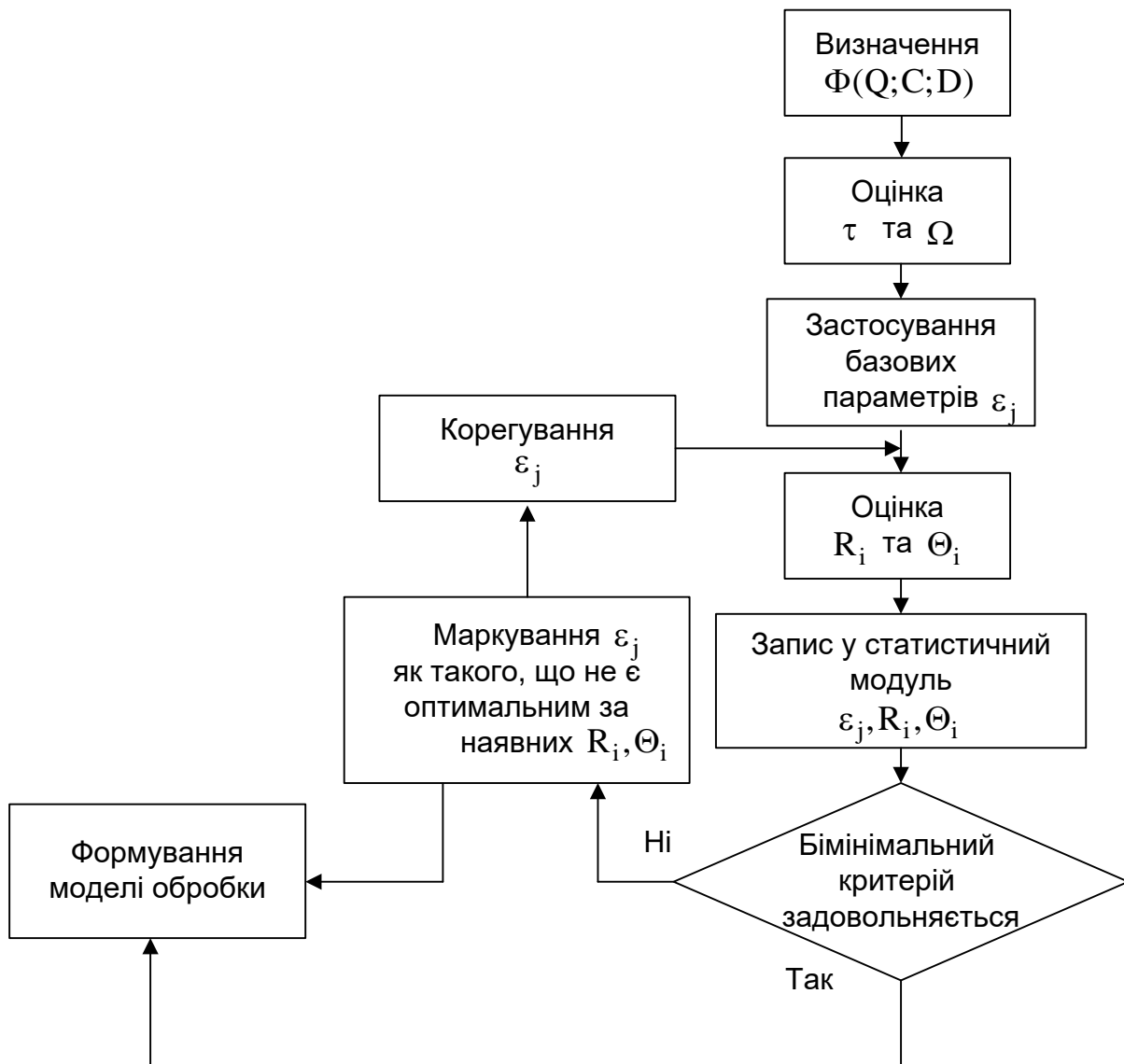


Рисунок 4.5 – Схема побудови локальної технологічної моделі ССА

За результатами створення сукупності локальних технологічних моделей $\bar{\Xi}$ далі можливим стає функціонування ССА у базовому режимі, тобто, система може здійснювати обробку відео довільного змісту.

4.3.2 Базовий режим функціонування ССА

Створено у ході етапу формування попередньої стратегії множина локальних $\bar{\Xi}$ технологічних моделей поєднується у глобальну модель Ξ' обробки, тобто, таку, що поєднує усі наявні СА.

Далі ССА функціонує у базовому режимі, у ході якого система може здійснювати наступні операції (рис.4.6):

- розрахунок значень Q, C, D, τ і Ω ;
- застосування тієї чи іншої локальної моделі $\bar{\Xi}$ обробки (ε_j у локальних моделях) серед утвореної сукупності (тут $\bar{\Xi} = \psi(Q, C, D, \tau, \Omega)$);
- розрахунок ступеня розбіжності одержаних значень R_i і Θ_i з оптимальним за критерієм (4.11).

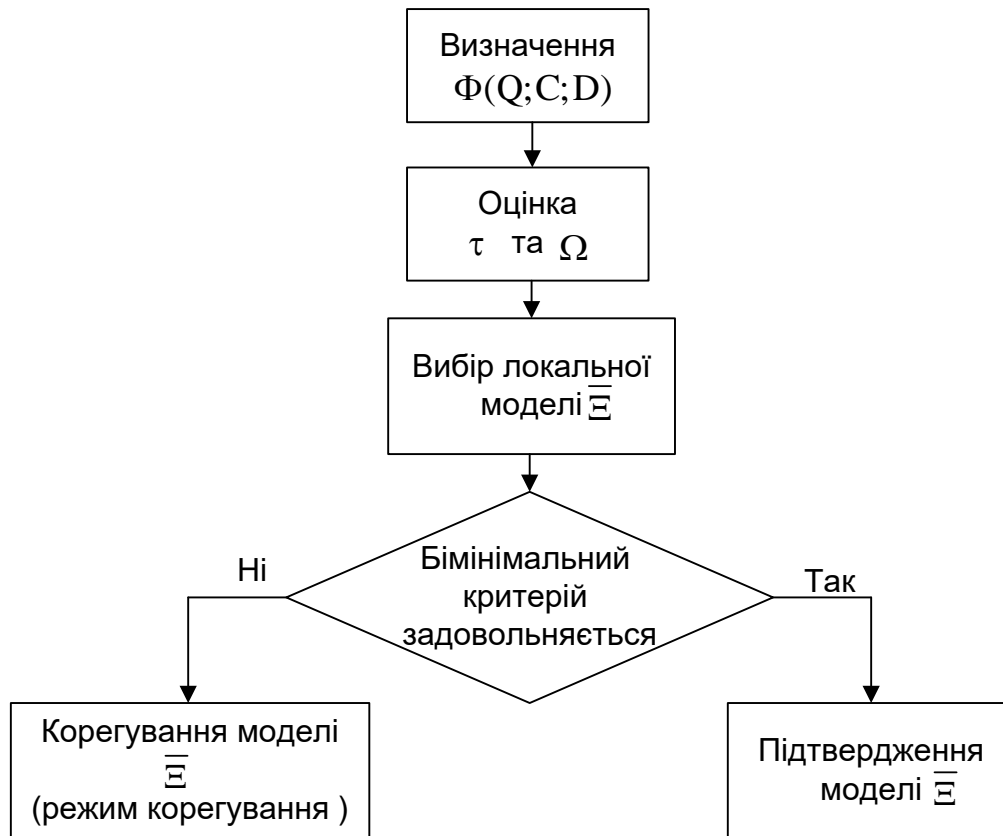


Рисунок 4.6 – Загальна схема, що описує процес функціонування ССА у базовому режимі роботи

У ситуації, коли одержані значення R_i і Θ_i не можуть навіть наближено вважатися оптимальними, надалі значення параметру ε_j змінюється.

4.3.3 Режим уточнення

Слід зазначити, що уточнюючий режим, або режим уточнення не є обов'язковим у процесі роботи системи смарт-агентів, та у ряді випадків може взагалі не активуватися при обробці відео контенту.

При цьому, такий режим у ході функціонування ССА застосовується у ситуаціях, якщо під час обробки інформації з'являється потреба корегування параметру ε_j для певного смарт-модулю системи.

У свою чергу, процес корегування параметру ε_j здійснюються у реальному масштабі часу.

У цьому випадку, якщо у поточний момент часу обробляється j -а структурна одиниця потоку даних, то скорегований параметр (параметри) далі буде використано для обробки $(j + \zeta)$ -ї структурної одиниці потоку ($\zeta = \overline{1; \infty}$), що характеризується сукупністю $\Phi(Q; C; D)$ ознак, яка є аналогічною до ознак j -ї структурної одиниці, що еквівалентно виразу:

$$\Phi(Q; C; D)_j = \Phi(Q; C; D)_{j+\vartheta}. \quad (4.12)$$

4.4 Функціонування системи смарт-агентів при скороченні міжкадрової надлишковості

За умови, що попередня обробка відео потоку з використанням смарт-агентів групи μ , тобто, тих, які відповідають за процеси кодування окремих кадрів, не забезпечила прийнятних рівнів якості Θ та бітової швидкості R відео, додатково може бути задіяно механізми міжкадрової обробки, що реалізуються на базі ІМ групи ν . Зазвичай такі механізми застосовуються у таких випадках, як:

- використання смарт-агентів групи μ не привело до виконання бімінімального критерію (вираз 4.10);

- не забезпечено скорочення величини бітової швидкості відео до рівня $R \leq P$, інакше кажучи, пропускна спроможність мережі не дозволяє транслювати відео у реальному часі.

Для того, щоб досягти скорочення величини бітової швидкості R , виконується зміна довжини ω групи кадрів, що включає у себе intra-кадр (базовий кадр), ряд predicted-кадрів (передбачених) P-типу та відповідну кількість bi-predicted-кадрів (двоспрямовано передбачених) B-типу.

У рамках класичного релізу технології MPEG розмірність групи є фіксованою та рівна 8 (рис.4.7).

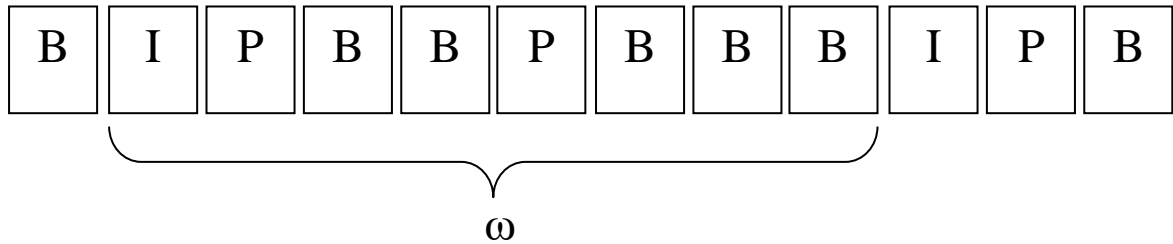


Рисунок 4.7 – Приклад загальної структури та складу групи кадрів у потоці MPEG

Наступні релізи MPEG, які мали місце після виходу стандарту MPEG2, характеризуються збільшенням розмірності ω групи.

При цьому, починаючи зі стандарту H.264/AVC на рівні кодеку існує можливість маніпулювання значенням ω , змінюючи його у діапазоні величин починаючи від 8 кадрів (мінімальне значення) до 32 кадрів (максимально можлива величина). Усі наступні стандарти у рамках MPEG (зокрема, H.265/HEVC) наслідують дану можливість.

Разом з тим, незмінними залишаються наступні принципи формування груп кадрів, такі, як:

- незалежно від величини ω обсяг базових кадрів у групі є постійною величиною;
- сукупність усіх P і B кадрів у групі утворюється шляхом виявлення різниці ΔF двох найближчих базових кадрів у потоці відео;
- показник частоти f слідування кадрів у потоці є незмінним у часі параметром.

Таким чином очевидно, що ріст значення ω у загальному випадку не зумовлює скорочення обсягу $R_{\text{GOP}}^{(i)}$ біт, що є сумою вкладів усіх B-кадрів та P-кадрів у групі. Натомість це, у свою чергу, веде до того, середня кількість біт $\overline{R(F)}$, що у групі приходить на 1 кадр (окрім базового), скорочуватиметься відповідно до зростання ω .

Означену залежність може бути продемонстровано наступним співвідношенням:

$$\overline{R(F)} = \frac{\sum_{i=1}^{\omega-1-j} R(F)_i^{(B)} + \sum_{j=1}^{\omega-1-i} R(F)_j^{(P)}}{\omega - 1}, \quad (4.13)$$

де j - індекс В-кадрів у групі;
 i - індекс Р-кадрів у групі;
 $R(F)_i^{(B)}$ - бітова швидкість i -го В-кадру;
 $R(F)_j^{(P)}$ - бітова швидкість j -го Р-кадру.

Отже, за одну ту ж саму фіксовану одиницю часу t при $f=\text{const}$ за умови, що $\omega_1 > \omega_2$, для ω_1 буде передано менший сумарний обсяг біт R_Σ , що еквівалентно виразу:

$$\omega_1 > \omega_2 \rightarrow R(\omega_1)_\Sigma < R(\omega_2)_\Sigma \quad (4.14)$$

Реалізацію механізму зміни кількості кадрів групи у даній ССА покладено на смарт-агента v_{gm} групоутворення.

При цьому, теоретично величину ω може бути збільшено до максимально допустимого рівня, що регламентується базовою технологією.

Разом з тим, розмірність ω групи напряму впливає на рівень навантаження, що спричинюється на процесор апаратного пристрою, на базі якого виконується кодування. З урахуванням цього, у процесі зміни розмірності ω групи має також братися до уваги ресурс $\Omega(t)$ обчислювальної потужності, що є доступним у поточний момент часу.

З огляду на зазначене, здійснюється формування сукупності Φ' ознак для структурної одиниці відеопотоку, якою на етапі міжкадрової обробки з використанням ССА є група кадрів. У цьому випадку сукупності Φ' ознак складається з таких параметрів, як:

- доступний у поточний момент часу ресурс $\Omega(t)$ обчислювальної потужності;
- ступінь відмінності ΔF між відеосценами найближчих (у i -й та $(i+1)$ -й групах) базових кадрів потоку;
- час τ , який може бути витрачено на обробку групи (формування диференційних кадрів) зміненої довжини ω .

Для цього етапу кодування, технологічна модель Ξ міжкадрової обробки аналітично зображується наступною функціональною залежністю:

$$\Xi = \varphi(\Phi'(\Omega(t); \tau; \Delta F)) \quad (4.15)$$

Часовий фактор тут є одним з вирішальних, якщо брати до уваги те, що в умовах лімітованої обчислювальної потужності $\Omega(t)$ системи збільшення величини ω може створити умови, коли обробка відео у реальному часі буде практично неможливою.

При цьому, необхідно забезпечити компроміс між часом τ обробки, досягнутим рівнем Θ якості та існуючою обчислювальною потужністю $\Omega(t)$ (вважається, що для фіксованої величини ω значення R не буде змінюватися суттєво для різного співвідношення Θ , $\Omega(t)$ та τ).

Якщо при цьому брати до уваги те, що $\Omega(t) \neq \text{const}$, тобто, обчислювальна потужність є обмеженою, але не фіксованою, залежність та взаємозв'язок між зазначеними вище величинами може бути описано таким співвідношенням:

$$\begin{cases} \tau \uparrow \& \Omega(t) \uparrow \rightarrow \Theta \uparrow \uparrow; \\ \tau \uparrow \uparrow \& \Omega(t) = \text{const} \rightarrow \Theta \uparrow; \\ \tau \uparrow \& \Omega(t) \downarrow \rightarrow \Theta \downarrow; \\ \tau = \text{const} \& \Omega(t) = \text{const} \rightarrow \Theta \approx \text{const}; \\ \tau \downarrow \& \Omega(t) \downarrow \rightarrow \Theta \downarrow \downarrow; \\ \tau \downarrow \& \Omega(t) = \text{const} \rightarrow \Theta \downarrow. \end{cases} \quad (4.16)$$

З виразу (4.16) бачимо, що значний ріст часу τ обробки за незмінної обчислювальної потужності $\Omega(t)$, а також часткове збільшення величини τ при одночасному ростові $\Omega(t)$ сприяє покращенню якості відновленого відеоряду. Справедливою є також і зворотня залежність.

Разом з тим, показник $\Omega(t)$ доступної обчислювальної потужності є у загальному випадку недоступним для змін під час кодування. Зазвичай його рівень визначається як:

$$\Omega(t) = \Omega_{\Sigma} - \Omega_{\Sigma}^{(pr)}, \quad (4.17)$$

де Ω_{Σ} - номінальний рівень обчислювальної потужності;

$\Omega_{\Sigma}^{(pr)}$ - сумарний рівень обчислювальних ресурсів, що резервується у момент часу t для процесів, що мають вищий пріоритет.

Таким чином, доступною є маніпуляція рівнем Θ якості відеоряду за рахунок часу обробки τ .

Даний механізм реалізує смарт-модуль v_{mc} компенсації руху, що здійснюється вже після того, як розмір ω групи встановлено.

При цьому, у рамках агенту v_{mc} виконується вибір та застосування того чи іншого алгоритму компенсації руху. Це, у загальному випадку, може бути:

- піксельні алгоритми;
- об'єктні алгоритми;
- блочні алгоритми та ін.

Так, об'єктні методи забезпечують найменший рівень помилки, хоча при цьому для мінімізації часу обробки потребують значних обчислювальних ресурсів $\Omega(t)$.

У свою чергу, сама архітектура ряду методів зіставлення блоків навіть в умовах найбільших обчислювальних потужностей може потребувати значного часу обробки.

При цьому, певний компроміс являють собою полігональні методи, як частковий випадок блочних алгоритмів, на базі яких забезпечується достатній (але не завжди оптимальний) рівень якості Θ при помітно меншому, ніж у випадку більшості методів, часу τ обробки.

Надалі, подібно до етапу обробки окремих кадрів потоку, формується первинна, або попередня, множина відмінностей ΔF між відеосценами. Після цього, керуючись формулою (4.15), будується початкова сукупність технологічних моделей.

Отримані таким чином моделі можуть або застосовуватися без внесення змін, або корегуються на етапі формування первинної стратегії, так само, як це відбувається для ССА у процесі обробки окремих кадрів.

4.5 Переваги, що надає використання ССА як базису для технологічного циклу обробки відеоінформації

Виконавши аналіз особливостей використання ССА у процесі кодування відеоінформації можемо зробити висновки про наступне [17]:

- ключовою відмінністю між стандартизованими підходами до побудови процесу кодування відео та підходом, що базується на застосуванні ССА, як сукупності смарт-агентів, є орієнтованість на забезпечення умов оптимального кодування;
- застосування інтелектуальних модулів для виявлення таких параметрів кодування, що відповідають критерію оптимальності, дозволяє

виконувати увесь технологічний цикл обробки відео у реальному часі. Це досягається шляхом зміни монолітної схеми кодування, сформованої на конвеєрних засадах, сукупністю технологічних субпроцесів, кожен з яких вирішує досить обмежений клас завдань та потребує також обмеженого обсягу обчислювальних операцій а відтак - і обчислювальної потужності;

- у ході корекції значень ε_j для смарт-агентів, яка для методів кодування з використанням ССА реалізується на каналах зворотнього зв'язку, ітераційна зміна величин ε_j у бік оптимальної може здійснюватися паралельно для ряду ІМ одночасно, за рахунок чого забезпечується скорочення загального часу обробки відео;

- з використанням утворених сукупностей технологічних моделей кодування, процес пошуку опцій обробки відеоінформації, які можуть вважатися оптимальними, практично перетворюється на пошук відповідностей між структурними одиницями відеопотоку та технологічними моделями, що їм відповідають. Така відповідність встановлюється на базі сукупності виявлених ознак оброблюваних сегментів відео. За рахунок цього скорочується необхідний обсяг обчислень та, як наслідок, сукупний час обробки;

- підходу до кодування відеоінформації на базі ССА властивий недолік, що пов'язаний з необхідністю виконання етапу побудови первинної стратегії для ІМ та системи у цілому. У той же час, даний недолік може бути усунуто, якщо попередньо сформувану уніфіковану модель, яку надалі використовувати на постійній основі. Разом з тим, існує залежність між підсумковою продуктивністю системи, відповідно до якої її рівень напряму залежить від часу навчання, загального обсягу та особливостей змісту відеозображень, що аналізуються системою на етапі формування первинної стратегії;

- за умови, що локальна технологічна модель, чи їх деяка множина, потребують уточнення (корекції величин ε_j), процес виявлення параметрів найбільш підходячих параметрів ε_j виконується у межах достатньо вузького діапазону величин. Інакше кажучи, процедура уточнення технологічної моделі займає часовий відрізок, що сукупно з загальним часом кодування здатен забезпечити обробку у реальному часі.

ВИСНОВКИ

У ході опрацювання матеріалів кваліфікаційної роботи було виконано наступне:

1. Загальна оцінка вектору та особливостей процесів розвитку і удосконалення поширених зараз сервісів, що надаються з використанням інфокомунікаційних технологій та мереж. За результатами цієї оцінки може бути зазначено, що на сьогодні має місце постійне розширення обсягу платформ надання сервісів на базі мережі та моносервісів, суттєво збільшуються аудиторії їхніх користувачів, як постійних, так і потенційних.

Разом з цим спостерігаються тенденції до:

- постійного збільшення доступних користувачам послуг та загального функціоналу на рівні кожного з сервісів взагалі;
- зростання рівня інтегрованості сервісів, у тому числі також їх взаємна інтеграція.

Існування зазначених тенденцій веде до значної зміни структури мережевого трафіку, у першу чергу – його ускладнення за рахунок підвищення рівня інтегрованості та суттєвого розширення мета опису інформаційних потоків. Також одночасно з цим спостерігається ріст рівня навантаження, яке створюється як на клієнтські термінали, так і на мережеві вузли.

2. Виконано аналіз операцій, які беруть участь у процесі кодування відеоінформації на рівні кінцевих вузлів. За результатами виконаного аналізу виявлено:

- збільшення рівня складності, багат шаровості та інтегрованості інформаційних потоків у мережі разом зі зростанням навантаження породжує необхідність удосконалення або доопрацювання наявного сьогодні технологічного базису. Це можливо шляхом підвищення обчислювальних можливостей клієнтських терміналів, чи за рахунок використання альтернативних методів обробки інформації, як потенційно суттєво продуктивнішого підходу;

- виявлено, що на сьогодні відеоінформація складає понад 80% усього мережевого трафіку у загальносвітовому масштабі. При цьому, існує чітка тенденція щодо росту частки відео у мережі. Відтак, у зазначених умовах побудова алгоритмів ефективного кодування відеоінформації є одним з

найпродуктивніших та перспективних напрямків розвитку існуючого технологічного базису.

3. Досліджено принципи побудови та функціонування технологій кодування відеоінформації у рамках поширеного та традиційного сьогодні підходу, що базується на конвеєрній монолітній схемі обробки з використанням стандартів сімейства MPEG.

У підсумку виконаного дослідження, та беручи до уваги існуючі тенденції росту вимог відносно якості відеоінформації було виявлено наступне:

- постійний ріст просторової роздільної здатності кадрів зумовлює збільшення кількості необхідних обчислень, що виконуються у процесі кодування. Найбільш суттєвою кількістю обчислень є для відео форматів UHD різної роздільної здатності;

- на випадок кодування відео формату UHD об'єм необхідних операцій для побудови коду навіть одного кадру з потоку може бути критичним. Інакше кажучи, при цьому не може бути забезпечено можливості обробки відеоінформації з мінімальною затримкою (що фактично є обробкою у реальному масштабі часу) та відповідно до рекомендацій QoS;

- збільшення обчислювальних можливостей клієнтських терміналів для того, щоб розширити ймовірність ефективного кодування відео надвисоких роздільних здатностей, являє собою екстенсивне рішення, що має специфічні обмеження та є малоефективним для мобільних пристроїв.

Отже, беручи до уваги усе вищезазначене можна стверджувати, що створення умов, за яких можливим є ефективне кодування відео надвисоких роздільних здатностей, потребує використання принципово нових підходів, що є потенційно більш продуктивними, ніж існуючі.

4. Досліджено підхід до побудови технологічного циклу кодування відео, що базується на використанні системи смарт-агентів у ході обробки відеоінформації на засадах MPEG, зокрема:

- досліджено структуру ССА на рівні окремих інтелектуальних модулів, що можуть використовуватися на кожному технологічному етапі обробки відеоданих. Виявлено зокрема, що першочергово важливими тут є ряд технологічних етапів, що забезпечують зміну величини бітової швидкості відеопотоку, а також рівня якості відновленого відео. При цьому, для таких етапів може виконуватися налаштування щонайменше за одним параметром;

- проведено аналіз структури смарт-агента;

- проаналізовано загальний принцип формування технологічних моделей кодування, як базисної одиниці системи ССА;

- виконано дослідження основних режимів функціонування системи ССА.

За результатами виконаних досліджень архітектурних особливостей, а також принципів роботи системи смарт-агентів, виявлено, що використання ССА у процесі кодування відео на засадах MPEG забезпечує:

- потенційну можливість до суттєвого скорочення обчислювального навантаження, що здійснюється у ході обробки відео на клієнтські термінали;

- можливість виконувати пошук опцій кодування, що можуть вважатися оптимальними, керуючись бімінімальним критерієм;

- підвищити швидкодію базового кодеку.

Отже, усі пункти технічного завдання виконано у повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Digital 2019: Global Internet Use Accelerates [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://wearesocial.com/blog/2019/01/digital-2019-global-internet-use-accelerates>.
2. VNI Forecast Highlights Tool [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html.
3. Cisco Smart Cities – Cisco Dev Net [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developer.cisco.com/smartcities/>
4. Internet History Timeline: ARPANET to the World Wide Web [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.livescience.com/20727-internet-history.html>
5. M. Gaynor. Network Services Investment Guide / M. Gaynor –Wiley Publishing inc. 2003 – 320 p.
6. Mind Map Basics - SimpleMind [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://simplemind.eu/how-to-mind-map/basics/>.
7. Global Network Perspectives | The Global Network for Advanced Management [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://globalnetwork.io/perspectives>
8. Качество обслуживания в операторских сетях [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.opennet.ru/docs/RUS/qos_oper/
9. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
10. J. Shen. Modern Processor Design: Fundamentals of Superscalar Processors (McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering). – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2004. – 656 p.
11. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М. : ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 384 с.
12. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1073 с.
13. Сравнение производительности ПК и смартфонов, включая iPhone 11 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/471018/>

14. big.LITTLE - ARM [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.arm.com/why-arm/technologies/big-little>
15. Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. Інтелектуальні системи / Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. Новий Світ-2000, Львів, 2012. 406 с.
16. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European Researcher. 2013. Vol. (62). № 11-1.
17. Yu. Bezgubova. Multi-Agent Distributed Management Information Flows. Educational resources and technology, № 1 (9) 2015, pp 113-119.
18. Tsvetkov V. Ya. Cognitive information models. // Life Science Journal -2014; - 11(4). – pp 468-471.