

ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ
КАФЕДРА ІМІ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ТЕМУ

МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ БІТОВОЇ ШВИДКОСТІ КОДОВАНОГО ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ПОТОКУ ВІДНОСНО ДИНАМІКИ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МЕРЕЖІ

Виконав: Юрченко В.Р.
Керівник: ст.викл. Твердохліб В.В.

Харків - 2021

МЕТА РОБОТИ

2

Дослідження можливостей підходу, який базується на зміні структурного опису сегментів відеокадру, щодо забезпечення оперативного корегування біткової швидкості відеоінформаційного потоку з внесенням мінімальної помилки.

Перелік завдань для опрацювання

1. Огляд мультимедіа, як специфічного типу інформації
2. Виявлення факторів, що впливають на процес доставки відеоінформації
3. Дослідження алгоритму балансування біткової швидкості кодованого відеоінформаційного потоку відносно динаміки пропускної спроможності мережі
4. Огляд та оцінка загальної концепції реалізації методу балансування біткової швидкості відеоінформації на базі існуючих систем передачі

Мультимедійні продукти

3



Рисунок 1 – Загальна схема взаємодії користувача з мультимедійним контентом

Приклади сфер застосування мультимедійних технологій

- освітня галузь;
- маркетинг та реклама,
- сфера розваг;
- промисловість та технології;
- охорона здоров'я;
- наукові дослідження;
- галузь бізнесу;
- безпека та оборона
- мистецтво на ін.

Мультимедійні продукти

4

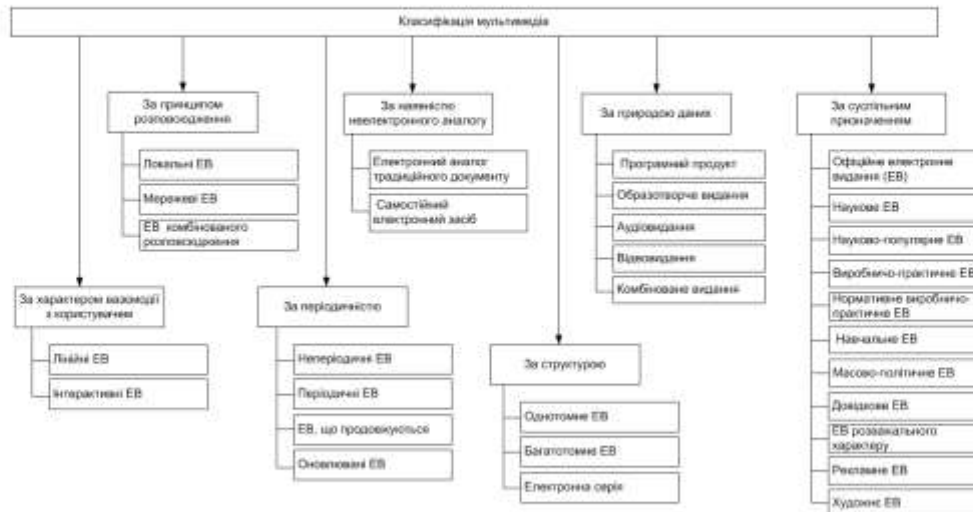


Рисунок 2 – Розповсюджена класифікація мультимедійного контенту

Проблематика надсилання відеоконтенту мережею

5

Особливості процесу розвитку мультимедіа:

- постійне зростання відсотку відео контенту
- орієнтованість на мережевий формат розповсюдження мультимедійних продуктів (електронних видань);
- збільшення вимог до якості відеоряду, як одного з елементів мультимедіа, або самостійного мультимедійного об'єкту.

Перешкоди поширенню мультимедійних продуктів у мережевому форматі:

- відеоконтент, як самостійний мультимедійний продукт, може сягати до 82% усього обсягу даних що надсилаються мережею;
- ріст пропускної спроможності мереж відстає щодо темпів збільшення мережевого трафіку;
- за недостатньої бітрової швидкості відеотрафіку погіршується якість самостійного відеоконтенту та функціональність комбінованих мультимедіа;
- вимоги щодо якості відновленого відео з боку користувачів постійно жорсткішають

Не гарантується якість та функціональність мережевих мультимедіа, елементарні компоненти або складовими яких є відеоконтент

Шляхи подолання виявленої проблематики:

- виявлення чинників, що зумовлюють зниження якості передавання відеоконтенту;
- аналіз та виявлення недоліків, притаманних стандартизованим методам;
- визначення умов, у яких недоліки стандартизованих підходів може бути усунуто;
- дослідження шляхів нівелювання впливу дестабілюючих чинників, що знижують якість відновленого відеоконтенту;
- дослідження підходів до забезпечення ефективного надсилання відеоконтенту

Рисунок 3 – Проблематика розвитку та розповсюдження мережевих мультимедіа

Проблематика надсилання відеоконтенту мережею

6



Рисунок 4 – Фактори, що впливають на процес доставки відеоінформації та їхні наслідки

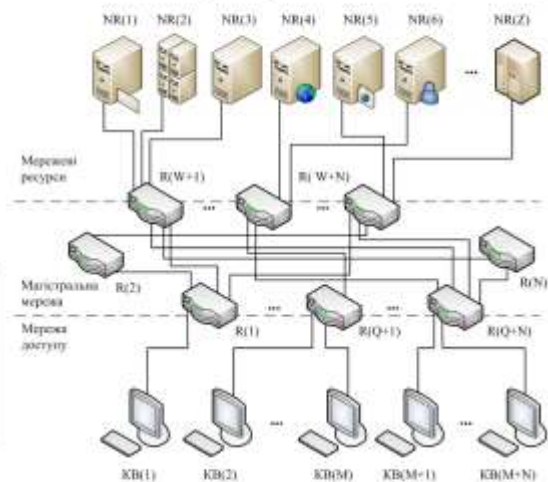


Рисунок 5 – Умовна узагальнена архітектура сучасних інформаційно-комунікаційних мереж

Проблематика надсилання відеоконтенту мережею

7

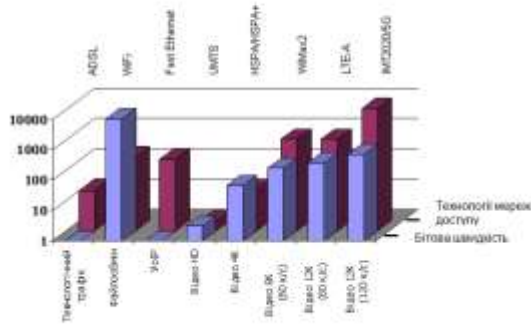


Рисунок 6 – Порівняння величин номінальної бітової швидкості трафіку відеоінформації та трафіку інших типів з номіналами величин пропускної спроможності поширених технологій доступу

Умова, за якої можлива трансляція відеоінформаційних потоків без втрат мережею:

$$\Phi(t) \leq \zeta(t), \quad (1)$$

Таблиця 1 – Рекомендовані рівні бітової швидкості відео для випадку різних роздільних здатностей

| Роздільна здатність кадру | Рівень бітової швидкості |
|---------------------------|--------------------------|
| UHD (8K) | до 362 Мбіт/с |
| UHD (4K) | до 67,9 Мбіт/с |
| FullHD (2K) | до 5,5 Мбіт/с |
| HD-ready | до 2,5 Мбіт/с |
| SD | від 0,6 до 0,8 Мбіт/с |

Характер змін величини пропускної спроможності:

$$\begin{cases} \zeta(t) \neq \text{const}; \\ \zeta(t) = \zeta^* - \Delta \zeta; 0, \end{cases} \quad (2)$$

де ζ^* - номінальний рівень пропускної здатності, який залежить від технології передавання даних, на якій побудовано мережу;

$\Delta \zeta$ - величина, на яку пропускна здатність завжди буде меншою у наслідок існуючих недосконалостей середовища передавання, кінцевих та мережевих пристроїв навіть при нульовому навантаженні;

Проблематика надсилання відеоконтенту мережею

8

Аналітичний опис пропускної здатності мережі як функціональної залежності від ряду факторів впливу:

$$\zeta(t) = f(\zeta^*; \beta_{st}; \beta_{top}; \beta_{cl}; \beta_{tr}; k) \quad (3)$$

де β_{st} - вплив сторонніх завад;

β_{st} - особливості структури трафіку, що передається;

β_{top} - особливості топології мережі;

β_{cl} - загальний рівень навантаженості мережі;

k - кількість джерел, що одночасно надсилають дані;

β_{tr} - часові фактори, тобто, залежність від часу доби та дня тижня.

Бітова швидкість на рівні окремого кадру у потоці:

$$\Phi^{(i)} = f_{tr}(\chi_{sp}; \{\chi_{st}\}; \{\chi_{cl}\}; \{\chi_{op}\}), \quad (4)$$

де f_{tr} - функціонал, який описує зв'язок бітової швидкості окремого кадру та чинників, що можуть зумовлювати її рівень;

χ_{sp} - параметр, що визначає належність кадру до тіліві І, Р, чи В;

$\{\chi_{st}\}$ - сукупність особливостей кадру за семантичними, психо-візуальними та синтаксичними ознаками;

$\{\chi_{cl}\}$ - сукупність технологічних рішень, реалізованих у кодеку;

$\{\chi_{op}\}$ - параметри процесу кодування, які може бути налаштовано.

Умови ефективного передавання відеоінформації:

$$\begin{cases} \Phi(t) \leq \zeta(t); \\ Q \leq Q_{ser}, \end{cases} \quad (5)$$

де Q_{ser} - рівень якості, встановлений за умовами надання сервісу;

Q - поточний рівень якості;

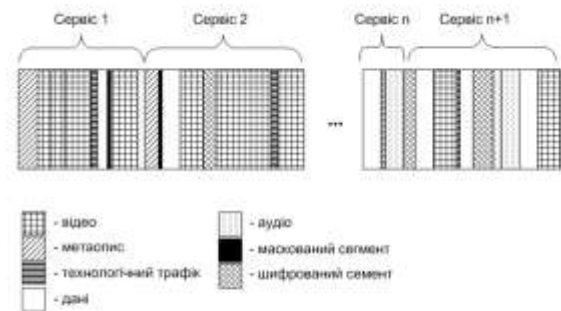


Рисунок 7 – Структура довільного відрізка мережевого трафіку

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

9

Перелік операцій у ході балансування величини бітової швидкості відносно пропускну здатності мережі:

- відстежування рівня $\xi(t)$;
- вплив на збільшення/зменшення поточного значення $\Phi(t)$ залежно від наявної величини $\xi(t)$;
- перевірка відповідності величини $\Phi(t)$ та $\xi(t)$ умовам (3.1);
- оцінка рівня D ;
- корегування величини $\Phi(t)$ для приведення значення D до допустимого рівня.

Базові вимоги до механізмів для забезпечення балансування бітової швидкості відео потоку

1. Вимога щодо затримки у ході корегування величин бітової швидкості та внесеної помилки:

$$t_{\text{delay}}^{(\text{add})} \rightarrow \min \quad (8)$$

$$t_{\text{delay}} = t_{\text{delay}}^{(\text{add})} + t_{\text{delay}}^{(\text{del})} < t_{\text{delay}}^{(\text{QoS})}$$

де $t_{\text{delay}}^{(\text{add})}$ - затримка на обробку та передавання пакетів у базовому варіанті (без застосування балансуючого механізму).

2. Вимога відносно рівня $D^{(\text{add})}$ помилки, внесеної у ході балансування бітової швидкості, та її впливу на величину D загальної помилки:

$$D = D^{(\text{add})} + D' < D_{\text{se}}, \quad (7)$$

де D' - помилка, що може вноситися у процесі кодування, без участі алгоритмів балансування.

3. Вимога щодо гнучкості кроку зміни бітової швидкості у ході балансування

$$\begin{cases} \Phi(t) \approx 0; \Phi(t)_{\text{max}} | t_{\text{delay}}^{(\text{add})} \rightarrow \min; \\ \Delta\Phi(t) = 0; \Delta\Phi'(t); \\ \Phi'(t) < (\Phi(t)), \end{cases} \quad (8)$$

де $\Phi(t)_{\text{max}}$ - найвищий рівень бітової швидкості, який може генеруватися кодером за звичайних умов;

$\Delta\Phi(t)$ - крок зміни бітової швидкості у ході балансування;

$\Delta\Phi'(t)$ - гранична величина кроку зміни бітової швидкості відео інформаційного потоку.

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

10

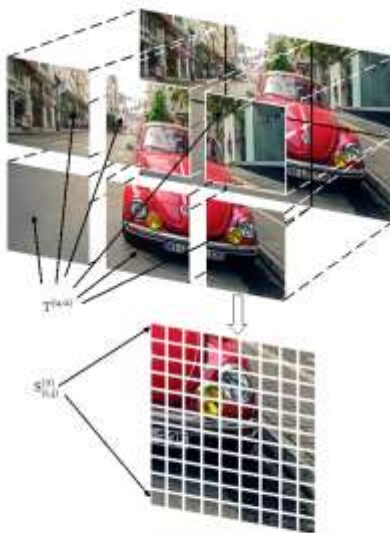


Рисунок 8 – Принцип поділу вихідного кадру на тайли та сегменти

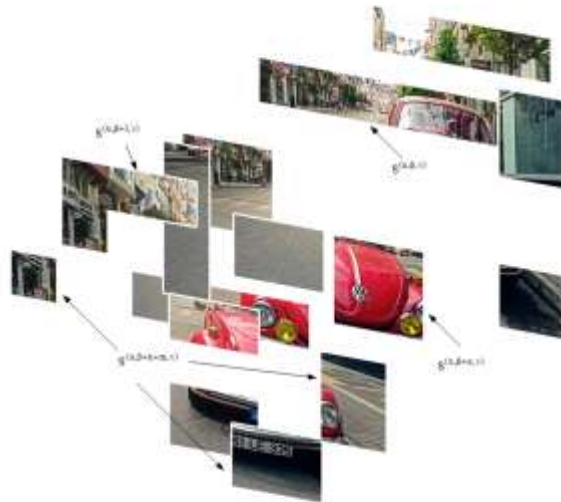


Рисунок 9 – Приклад формування відеокадру сукупністю слайсів

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

11

Бітова швидкість слайсу:

$$\Phi(t)^{(u, \Delta, v)} = \sum_{x=1}^{V_{\text{row}}} \sum_{y=1}^{V_{\text{col}}} \Phi(t)_{x,y}^{(u)}, \quad (9)$$

де V_{row} та V_{col} - кількість рядків та стовпців сегмента у слайсі відповідно;

$\Phi(t)_{x,y}^{(u)}$ - бітові швидкості окремих сегментів $S_{\Delta, \Delta}^{(u)}$.

Обґрунтування вибору слайсу у якості структурної одиниці відео потоку, на рівні якої передбачається реалізація механізму балансування бітової швидкості:

- слайс $S^{(u, \Delta, v)}$ може містити у собі достатню кількість біт для того, щоб забезпечити можливість суттєвої зміни бітової швидкості у ході процедури балансування;
- помилка $D^{(add)}$, внесена у процесі балансування, локалізується у межах поточного слайсу, не впливаючи на якість інших частин кадру. Це створює можливість того, щоб за неможливості виконання умов щодо помилки на рівні поточного слайсу, орієнтуватися на забезпечення значення $D^{(add)} \leq D_{\text{max}}$.

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

12

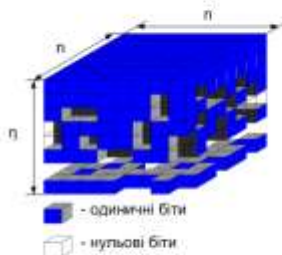


Рисунок 10 – Тривимірний модель сегменту, утворена двійковими елементами

Бітова площина сегменту:

$$C(\eta)_{k,\ell}^{(\sigma)} = \bigcup_{\eta=0}^{V_{\eta}-1} b(\eta)_{k,\ell}^{(\sigma)}, \quad (10)$$

де $b(\eta)_{k,\ell}^{(\sigma)}$ - двійковий елемент η -го розряду на позиції k, ℓ у бітовій площині σ -го сегменту.

Бітова швидкість сегменту:

$$\Phi(t)_{k,\ell}^{(\sigma)} = \sum_{\eta=0}^{V_{\eta}-1} \Phi(t, \eta)_{k,\ell}^{(\sigma)}. \quad (11)$$

де $\Phi(t, \eta)_{k,\ell}^{(\sigma)}$ - бітові швидкості окремих площин $C(\eta)_{k,\ell}^{(\sigma)}$

Зміна кількості η бітових площин $C(\eta)_{k,\ell}^{(\sigma)}$ для опису тривимірної структури сегменту забезпечує зміну рівня його бітової швидкості.

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

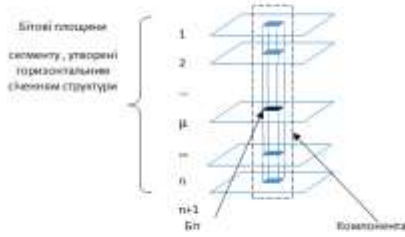


Рисунок 11 – Принцип опису компоненти сегменту у рамках його тривимірної структури

Принцип формування двійкового опису компоненти (нерівнозначність внесів, що здійснюють біти кожного з розрядів у підсумкову величину компоненти:

$$c_{\lambda,j}^{(\sigma,p)} = b(\eta)_{\lambda,j}^{(\sigma,p)} 2^{(v_{bp}-1)} + b(\eta)_{\lambda,j}^{(\sigma,p)} 2^{(v_{bp}-2)} + \dots + b(\eta)_{\lambda,j}^{(\sigma,p)} 2^{(1)} + b(\eta)_{\lambda,j}^{(\sigma,p)} 2^{(0)}, \quad (12)$$

Рівень внесеної помилки:

$$D^{(add)}(v_{\text{доп}}) = \sum_{\lambda=1}^{v_{\text{доп}}} D^{(add)}(\lambda)_{\lambda,j}^{(\sigma)}, \quad (13)$$

де $v_{\text{доп}}$ – кількість виключених бітових площин.

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

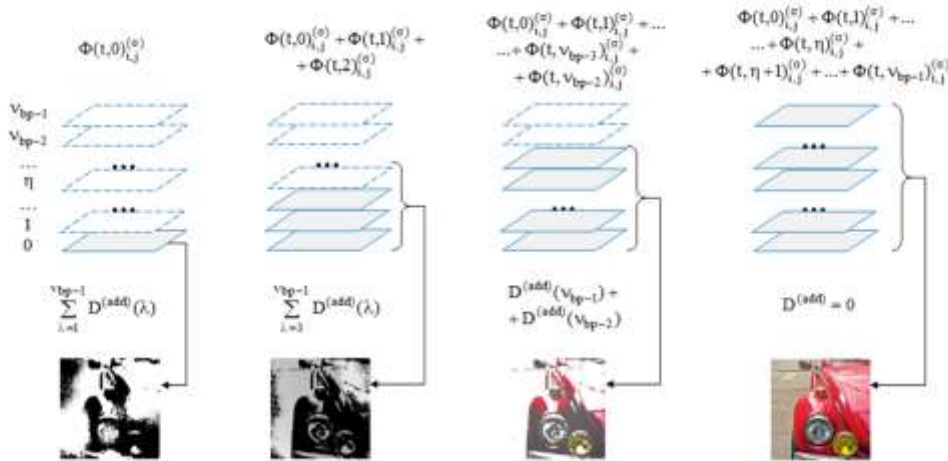


Рисунок 12 – Рівні бітової швидкості, внесеної помилки сегменту та візуальна якість слайсу на випадок опису сегментів різною кількістю бітових площин, починаючи з молодшої

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

15

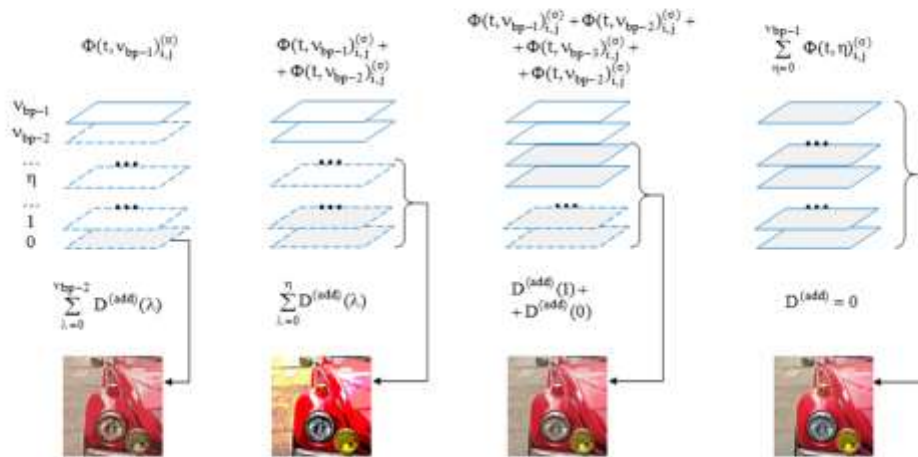


Рисунок 13 – Рівні бітової швидкості, внесеної помилки сегменту та візуальна якість слайсу на етапах опису сегментів різною кількістю бітових площин, починаючи зі старшої

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

16

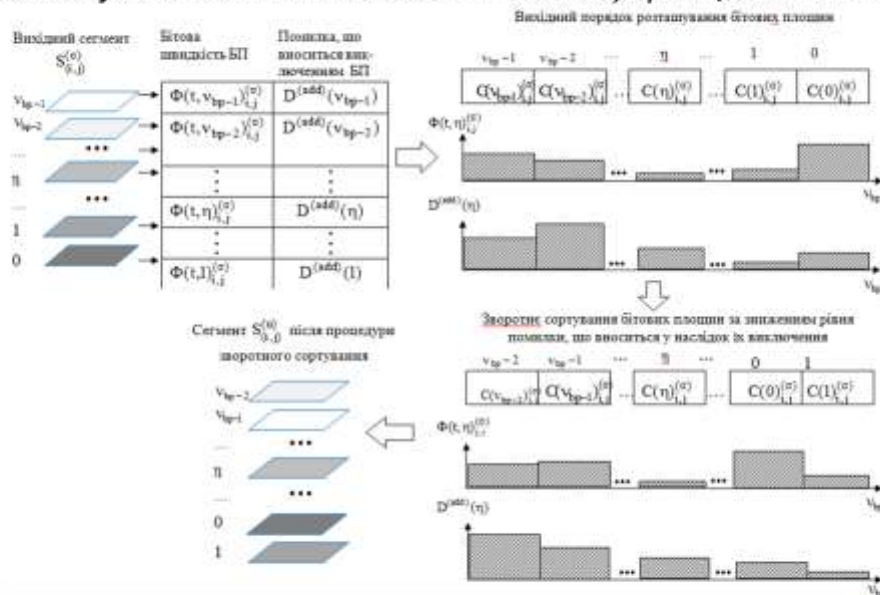


Рисунок 14 – Завдяльна схема процесу зворотнього сортування бітових площин

Метод балансування бітової швидкості відеоінформаційного потоку

17

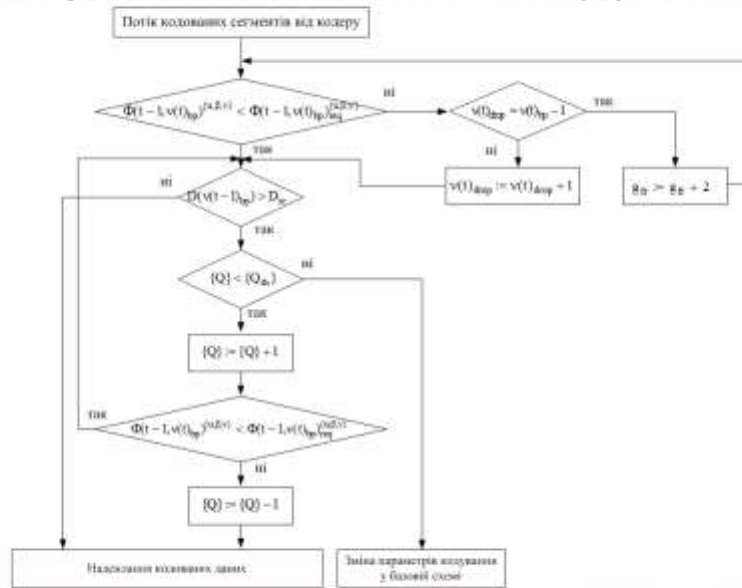


Рисунок 15 – Схематичне зображення процесу зміни бітової швидкості слайсу у ході її балансування відносно динаміки пропускної здатності мережі

Інтеграція методу балансування в існуючі системи обробки відео

18

Загальна кількість біт, що у довільний відлік часу $(t+n)$ заповнюють буфер:

$$\Phi'(t+n) = \Phi'(t+n-1) + \Phi(t+n) - \zeta(t+n), \quad (14)$$

де $\zeta(t+n)$ - поточний рівень пропускної спроможності;
 $\Phi'(t+n-1)$ - загальний обсяг біт, що знаходилися у вихідному буфері на момент передуючого часового відліку, тобто, $(t+n-1)$;
 $\Phi_{код}(t+n)$ - швидкість заповнення буфера, що відповідає часовому відліку $(t+n)$.

Рівень пропускної здатності мережі на момент часового відліку $(t+n)$:

$$\zeta(t+n) = \Phi'(t+n-1) + \Phi(t+n) - \Phi'(t+n), \quad (15)$$

Умови накопичування пакетів даних у буфері:

$$\Phi'(t+n-1) > \zeta(t+n), \quad (16)$$

Умови перепоповнення буфера:

$$\Phi(t+n) \geq \Phi_{код}(t+n) - \zeta(t+n), \quad (17)$$



Рисунок 16 – Приклад заповнення буфера на початку процесу трансляції (часовий відлік t) кодової відеоінформації



Рисунок 17 – Схематичне зображення процесу заповнення буферного пристрою, спричинене перевищенням бітової швидкості кодової відео поточного рівня пропускної здатності мережі

ВИСНОВКИ

1. Досліджено особливості передавання відеоінформації, як специфічного типу трафіку, та одного зі складників мультимедіа. Досліджено пов'язану з цим проблематику

2. Виявлено, що виключно кодування відеоінформації для можливості передавання трафіку відеоданих мережевими каналами не достатньо для досягнення необхідного рівня якості реконструйованого відео, а у ряді випадків – взагалі для того, щоб мати змогу трансляції відеоконтенту мережею. Натомість обґрунтовано доцільність застосування методів балансування бітової швидкості відео відносно динаміки змін пропусної спроможності мережі.

3. Показано, що для випадку відеотрафіку одним з найбільш ефективних підходів до балансування бітової швидкості є використання механізму субдискретизації сегментів слайсів відеокадру. Сутність даного механізму полягає у виключенні зі структурного опису сегментів тих бітових площин, яким відповідає мінімальний рівень похибки. Перевагами даного підходу є:

- можливість оперативної (у реальному масштабі часу) зміни бітової швидкості відеопотоку;
- можливість гнучко регулювати дискретний крок зміни бітової швидкості, тим самим створюючи умови для мінімізації внесеної помилки;
- наявність засобів корегування рівня помилки, внесеної у ході балансування бітової швидкості;
- виконання процедури балансування на рівні окремих слайсів, таким чином, навіть тоді, коли суттєво знизити рівень внесеної помилки не вдається, її вплив локалізується виключно частиною кадру, за рахунок цього зберігається візуальна якість відеоряду.

4. Для відстежування змін пропусної здатності мережі використано опосередкований алгоритм оцінювання, у рамках якого фіксується рівень наповненості буферу передавача.

5. При цьому, стандартизовані механізми зміни бітової швидкості, що входять до складу базової технології кодування, можуть розглядатися як додаткові засоби при реалізації балансуєчого механізму.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

ДОДАТОК Б ТЕЗИ КОНФЕРЕНЦІЇ

SCI-CONF.COM.UA

**MODERN SCIENCE:
INNOVATIONS AND
PROSPECTS**



**ABSTRACTS OF II INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
NOVEMBER 7-9, 2021**

**STOCKHOLM
2021**

51. *Полянський О. С., Д'яконов В. І., Дьяконов О. В., Насальський В. А., Пиріжок В. С.* 286
 ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ МЕБЛЕВИХ ВИРОБНИЦТВ В
 ГЕНЕРАТОРНИЙ ГАЗ ГАЗОГЕНЕРАТОРНИХ ДВИГУНІВ З
 ВИКОРИСТАННЯ НВЧ-ТЕХНОЛОГІЙ.
52. *Скрыпник В. С., Журавлев Д. Ю., Андрейчиков Е. Ю., Болонный В. Т.* 292
 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В ПАРАХ ТРЕНИЯ ТОРМОЗОВ.
53. *Сорокіна А. П., Бабич М. І.* 302
 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОРТИВНИХ
 РЕЗУЛЬТАТІВ СПОРТСМЕНІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ
 РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ЗБІРНОЇ.
54. *Стефанович І. С., Стефанович П. І., Прокопенко І. О.* 306
 ЯДЕРНИЙ ВИБУХ ТА ЙОГО ВРАЖАЮЧІ ФАКТОРИ.
55. *Твердохліб В. В., Харченко Н. А., Калініченко В. М., Галушка С. В., Дяченко Д. А.* 313
 ШЛЯХИ ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ
 КОДУВАННЯ ВІДЕОІНФОРМАЦІЇ.
56. *Твердохліб В. В., Юрченко В. Р., Ольховський В. І., Дяченко Д. А.* 317
 АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ БАЛАНСУВАННЯ БІТОВОЇ ШВИДКОСТІ
 ВІДЕО ТРАФІКУ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.
57. *Фіалко Н. М., Дінжос Р. В., Прокопов В. Г., Меранова Н. О.* 323
 ЗАЛЕЖНІСТЬ ГУСТИНИ НАНОКОМПОЗИТІВ ВІД ВЕЛИЧИНИ
 ПЕРЕГРІВУ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРУ.
58. *Харченко Н. А., Бойчук М. І., Дяченко Д. А.* 328
 ПІДХІД ДО ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ
 МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ.
59. *Чупайленко О. А., Ломова К. В., Журавель Н. В.* 331
 ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ АВТОМОБІЛЬНИХ МІЖНАРОДНИХ
 ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ.
60. *Штрибець В. В., Трофименко А. О., Бойко С. О., Ткаченко В. В.* 335
 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПІДШИПНИКІВ
 СУДНОВИХ ВАЛОПРОВОДІВ.
- PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**
61. *Піна К. Е., Lystopadova V. V.* 340
 UNSOLVABLE MATHEMATICAL PROBLEMS AND THEIR IMPACT
 ON STUDENTS.
- ARCHITECTURE**
62. *Тіхонова О. А.* 343
 АСПЕКТИ GREEN BIM-МОДЕЛЮВАННЯ В АРХІТЕКТУРІ.
63. *Фостащенко О. М., Архіпова К. К., Фостащенко Д. О., Трушина В. С., Захарова С. О.* 348
 ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ РЕНОВАЦІЇ ПАРКІВ МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ БАЛАНСУВАННЯ БІТОВОЇ ШВИДКОСТІ ВІДЕО ТРАФІКУ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Твердохліб Віталій Вікторович

к.т.н.

Юрченко Владислав Русланович

студент

Ольховський Володимир Іванович

студент

Дяченко Денис Андрійович

студент

Харківський національний університет радіоелектроніки
м. Харків, Україна

Вступ. Забезпечення якості надання відеоінформаційних мережевих послуг сьогодні є одним з найбільш актуальних завдань. Це зумовлюється як постійним ростом затребуваності даного класу послуг у суспільстві, так і складністю підтримки параметрів відеотрафіку на належному рівні. Це зумовлюється як жорсткими вимогами QoS щодо показників якості відновленого відео (найбільшою мірою – інтерактивного типу), так і нестабільністю пропускної здатності мережевих каналів. Тому на рівні джерела відеоданих необхідно побудувати процес кодування таким чином, щоб забезпечити динамічну зміну бітової швидкості стисненого потоку відповідно до змін поточного рівня пропускної здатності.

Мета роботи. Аналіз існуючих алгоритмів та технологій балансування бітової швидкості відео щодо пропускної здатності мережі.

Матеріали і методи. Аналізуються ключові методи та алгоритми, задіяні у процесі управління бітовою швидкістю потоку кодованих кадрів. Їхні виявлені недоліки обґрунтовуються базі системного підходу, базуючись на використанні теоретичного інструментарію аналізу складних систем. Висновки щодо проаналізованих методів та алгоритмів робляться з огляду на положення теорії інформації та кодування.

У загальному випадку зараз можна виділити 2 напрямки балансування бітової швидкості відео у мережі:

1. На рівні мережевих вузлів. Даний підхід ґрунтується на використанні «розумних черг» за пріоритетністю пакетів, резервуванні фізичних каналів та використанні протоколів маршрутизації. Завданням даного підходу є зменшення пульсуючого характеру відеотрафіку на ділянці мережі шляхом його перерозподілу, що забезпечується за умови, коли навантаження на мережеві вузли не перевищує у середньому 40%. Недоліки даного підходу такі:

- сумарне навантаження мережі при цьому не змінюється;
- підхід є неефективним при зростанні навантаження на мережеві вузли;
- в умовах надходження на мережевий вузол великої кількості пакетів, що належать різномірним сервісам критичного та інтерактивного типів за класифікацією QoS зростає ймовірність втрат деякої частини пакетів відеоданих.

2. На рівні джерела відеоінформації. Передбачається, що тут бітова швидкість $V(t)$ пов'язана деякою функціональною залежністю $V(t) = f(B(t))$ з пропускнуою здатністю $B(t)$ мережі. При цьому, функціонал f описує механізм управління рівнем $V(t)$ бітової швидкості з урахуванням $B(t)$.

На цьому принципі, зокрема, базується алгоритм SRC (scalable rate control), що входить до складу MPEG4 Part10. Алгоритм реалізовано на рівні кадру (грубий алгоритм), а також на рівні макроблоку (точний алгоритм). У першому випадку бітова швидкість $V(t)$ джерела визначається як:

$$V(t) = \frac{\delta_1 \Lambda}{\ell} + \frac{\delta_2 \Lambda}{\ell^2}, \quad (1)$$

де δ_1 і δ_2 - відповідно, параметри моделі;

ℓ - величина кроку квантування;

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

Даний реліз алгоритму SRC застосовується на етапі обробки, наступному після етапу компенсації руху і передуючому обробці i -го кадру. На відміну від

грубого механізму управління інтенсивністю, точний механізм (розширення алгоритму SRC) орієнтований на роботу з макроблоками. Отже, у процесі обробки відеопотоку проводиться зміна величини ℓ на рівні макроблоків, чим забезпечується більш точний контроль інтенсивності відеоданих

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

$$V(t)_{mb} = HW(K \frac{\chi_i^2}{q_i^2} + C), \quad (2)$$

де HW - кількість пікселів у межах поточного макроблоку;

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

ℓ_i - величина кроку квантування;

K і C - постійні параметри моделі.

У ході балансування бітової швидкості величина ℓ_i знаходиться за величинами K , C , R_{mb} і χ_i та беручи до уваги вагу q_i поточного макроблоку. При цьому, параметр q_i позначає рівень важливості, поточного макроблоку для суб'єктивного сприйняття відеокадру. Низькі значення q_i призначаються макроблокам, що не вносять суттєвого вкладу при візуалізації. Для них, у свою чергу, встановлюється величина кроку ℓ_i , що сприяє їх квантування більш значно, ніж інших макроблоків.

Також значення величини q_i обирається з урахуванням мінімізації змін кроку квантування на випадок низьких бітових швидкостей. Це зумовлено тим, що у разі кожної зміни ℓ_i здійснюється зростання обсягу службових даних у межах макроблоку на 5 біт. Тобто, на випадок незначних величин бітової швидкості ріст обсягу службової інформації може бути критичним, відтак - необхідно скоротити кількість змін ℓ_i .

Разом з тим, дане обмеження відносно кількості змін значення кроку

квантування не поширюється на випадки обробки відеоданих з високою інтенсивністю. Тобто, при значній бітовій швидкості допускається часта зміна параметра ℓ_i . Таким чином, за умови малого обсягу вихідного буфера кодера даний підхід до управління інтенсивністю дозволяє забезпечити:

- візуальну якість відновленої відеоінформації на прийнятному рівні;
- мінімізацію часу затримки на виконання кодування.

Водночас, аналіз принципів функціонування SRC свідчить про те, що даний алгоритм має ряд суттєвих недоліків, а саме:

- на випадок використання механізму балансування без адаптації параметрів, керування бітовою швидкістю виконується виключно на рівні групи кадрів, при цьому аналогічні параметри стиснення розповсюджуються на всі кадри у групі.

Відтак, деяка кількість кадрів групи може бути кодовано з невиправдано високою якістю, тоді як для інших кадрів може бути внесено суттєву помилку, що спричинює істотні втрати якості;

- прийнятна якість відео, а також мінімальна величина затримки забезпечуються в разі їх обробки для режиму низьких інтенсивностей;
- обмеження щодо роздільної здатності, часових інтервалів і діапазонів інтенсивностей застосування алгоритму SRC, що не дозволяє розглядати його як універсальний засіб для управління інтенсивністю відеоданих.

Ще одним підходом до балансування бітової швидкості відео є технологія ABR (adaptive bit-rate), що зараз використовується багатьма сервісами VoD. У рамках ABR на рівні файлоховища відео для одного джерела (вхідного файлу) створюється множина відеопотоків різних роздільних здатностей, що мають різні рівні бітової швидкості.

На базі даних потоків утворюється сукупність I прошарків якості, які, у свою чергу, підлягають поділу на часові відрізки $t_{a,b}$. Для цих відрізків справедливою є умова:

$$t(I)_b = t(a)_b = t(A)_b \quad (3)$$

Під час передавання b -го відеопотоку, якщо складаються умови, коли

$V(t) > B(t)$, виконується вибір $t(a-1)_b$ -го (наступного шижчого) прошарку якості за умови, що у поточний час транслюється $t(a)_b$ -й, більш високий за якістю та бітовою швидкістю. У наслідок цього здійснюється ітераційний перехід до такого прошарку якості, коли забезпечується виконання умови $V(t) \leq B(t)$.

До недоліків технології ABR можна віднести:

- відсутність алгоритмів контролю та гарантування якості відео;
- надмірне завантаження файлоховищ, що спричинюється необхідністю зберігання ряду відеофайлів різної роздільної здатності для кожного вихідного джерела;
- низька ефективність на випадок застосування для відеосервісів реального часу.

Результати та обговорення. За результатами розглянутого матеріалу можна констатувати доцільність реалізації механізмів балансування бітової швидкості відео потоку саме на рівні джерела. Це пояснюється як відсутністю недоліків, властивих технологіям ABR та механізмам балансування на рівні мережевих вузлів, так і можливістю застосування широкого інструментарію для оперативної зміни бітової швидкості у реальному часі. Це можуть бути усі механізми, що входять до базових технологій кодування у рамках MPEG у різних комбінаціях

Висновки. Виконано аналіз ряду поширених підходів до балансування бітової швидкості відеопотоку відносно динаміки пропускної спроможності мереж. Показано, що підходам до балансування бітової швидкості на рівні мережевих вузлів, та за рахунок створення сітки джерел відео різної бітової швидкості властивий ряд недоліків та обмежень, що не дозволяють їх розглядати у якості уніфікованих засобів.

Проте, найбільш ефективним є підхід, у рамках якого баланс бітової швидкості відео відносно пропускної спроможності досягається шляхом оперативної зміни параметрів кодування.

Для збільшення продуктивності цих методів може бути використано

динамічну зміну рівня структурних одиниць потоку, відносно яких виконується кодування, та одночасного застосування ряду технологічних процесів (наприклад, вибір формату колірної субдискретизації, квантування, сторонні механізми) для досягнення балансу бітової швидкості відносно пропускної спроможності.

