

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ТВЕРДОХЛІБ ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.327: 681.5

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ
СИСТЕМ НА ОСНОВІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕНСИВНІСТЮ
ВІДЕОТРАФІКА**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Бараннік Володимир Вікторович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки
України, професор кафедри автоматизації
проектування обчислювальної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Толюпа Сергій Васильович, Київський
національний університет імені Тараса Шевченка,
Міністерства освіти і науки України, професор
кафедри кібербезпеки та захисту інформації;

доктор технічних наук, професор
Жураковський Богдан Юрійович
Національний технічний університет України «Ки-
ївський політехнічний інститут імені Ігоря Сікор-
ського» Міністерства освіти і науки України, про-
фесор кафедри технічної кібернетики.

Захист відбудеться « 29 » квітня 2021 р. о 10:00 на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д. 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за
адресою: м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1, корп. 6, ауд 205.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного
університету за адресою: 03058, м. Київ, пр. Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий « 27 » березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Р.С. Одарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні розвиток суспільства здійснюється в умовах чітко вираженого впливу інформаційних та комунікаційних технологій. Це, у свою чергу, створює умови для підвищення рівня безпеки та добробуту населення, економічного зростання держави. У таких умовах одна з ключових ролей належить відео сервісам, що зараз набули широкого застосування в усіх сферах діяльності людини. При цьому, передбачається як безпосередній збір, обробка та доставка відеоінформації, так подальший її аналіз. Отже, це накладає відповідні вимоги щодо якості відеоданих. У підсумку це веде до зростання інформаційної інтенсивності відеоданих у мережі. Цьому сприяють також збільшення кількості самих сервісів та розширення аудиторії їхніх користувачів.

Водночас, виникає протиріччя, яке зумовлене, з одного боку, збільшенням обсягів відеоданих у мережі та розширенням переліку технологій, що використовують алгоритми аналізу та обробки даних. З іншого боку – відносно недостатніми темпами росту продуктивностей телекомунікаційних систем. Це, у свою чергу, породжує виникнення затримок передачі та як наслідок – падіння якості надання відеосервісів. Відповідно, забезпечення якості відеосервісів на необхідному рівні за рахунок зниження часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж є *актуальною науково-прикладною задачею*. Один із напрямків рішення сформульованої наукової задачі полягає у локалізації дисбалансу інтенсивності відео та динаміки зміни пропускну здатності мережі. Це забезпечується використанням методів управління інтенсивністю відеотрафіку на рівні представлення.

Вагомий внесок у розвиток технологій кодування та управління інтенсивністю відеотрафіку було здійснено багатьма вченими. Серед них Бараннік В.В., Корольов А.В., Жураківський Б.Ю., Юдін О.К., Лукін В.В. та ін. Із закордонних дослідників значний внесок здійснили Гонсалес Р., Річардсон Я., Претт У., Шеннон К., Хартлі Р.Л., Красильников М.М., Ватолін Д.С. та ін.

Водночас, стандартизованим методам управління інтенсивністю відеоданих на рівні джерела властивий ряд недоліків. Зокрема, внесення суттєвого рівня похибки у ході управління інтенсивністю відео, відсутність механізмів контролю якості відновлених даних. Також дані методи не є універсальними та доцільні для застосування у межах певних діапазонів інтенсивності відео та просторової роздільної здатності кадрів. Окрім цього, існує пряма залежність між значенням внесеної похибки та величиною затримки, що виникає у процесі управління. Отже, у зазначених умовах *тематика дисертаційних досліджень*, що полягає у розробці методу підвищення ефективності функціонування інфокомунікаційних систем, на основі управління інтенсивністю відеотрафіка, є актуальною.

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

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у створенні методу контролю бітової інтенсивності відеопотоку для підвищення якості надання відеоінформаційних сервісів з використанням телекомунікаційних систем.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі задачі:

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

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

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

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

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

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

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

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

Дослідження властивостей трансформованих сегментів слайсів відеокадрів здійснювалося на базі методів структурно-спектрального та статистичного аналізу, методів експертних оцінок. Оцінка адекватності теоретичних і практичних результатів проводилася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає в наступному.

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

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

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

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

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

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що застосування розробленого методу управління інтенсивністю відеоданих забезпечує:

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

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

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

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

5) зниження показника втрат пакетів в середньому на 17% щодо існуючих методів управління на основі кодування.

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

Практична значущість отриманих результатів дисертації підтверджується їх застосуванням при виконанні дослідно-конструкторських робіт у державному науково-дослідному інституті МВС України (акт реалізації від 06.10.2020 р.); та у освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки (акт реалізації від 16.10.2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить наступне: в працях [13-15] проводиться аналіз проблематики передавання відеопотоку в умовах динамічної зміни параметрів пропускну здатності мережі; в працях [16, 17] обґрунтовується доцільність підходи до кодування відеокадрів на рівні бітового опису трансформант; в працях [4, 18, 19] розробляється метод управління бітовою інтенсивністю на базі реструктуризації трансформант відеокадру з забезпеченням контролю якості відеоданих на прийомному боці; в працях [1-3, 6, 8-11] розробляється методологічна база для створення комплексного методу управління інтенсивністю відеопотоку; в праці [5] розробляється метод оцінки бітової інтенсивності у процесі кодування макроблока; в праці [12] розробляється метод кодування сегментів відеокадрів у рамках технології управління бітовою інтенсивністю відео; в праці [1, 20] розробляється комплексний метод управління інтенсивністю відео потоку.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались і були схвалені на: The International Scientific Conference ITSEC' 2014, (Kyiv, Ukraine, May 20-23, 2014); XXII Міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія,

освіта, здоров'я, MicroCAD'2014", (Харків, 15-17 жовтня 2014 року); XV Міжнародній науковій конференції "Проблеми інформатики і моделювання (ПМ-2015)" (Одеса, 14-18 вересня 2015 р.); IV-й міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія", (Вінниця, 28-30 травня 2014 р.); науково-технічній конференції "Інформаційна безпека України" (Київ, 12-13 березня 2015 р.); 14-й Міжнародній науково-практичній конференції IEEE East-West Design & Test Symposium, EWDT'2016", (Yerevan, Armenia, October 14 - 17, 2016); 14th International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2017", (Polyana, Svalyava, Ukraine, February 21-25, 2017); IEEE East-West Design & Test Symposium: 15th IEEE Intern. Symp., (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017); International Conference on Advanced Trends in Information Theory IEEE ATIT'2019,(Kyiv, Ukraine, December 18-20, 2019).

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

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, списку використаної літератури і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 182 сторінки, з них: 53 ілюстрації на 50 сторінках, 4 таблиці на 4 сторінках, список використаної літератури зі 153 джерела на 18 сторінках та три додатки на 9 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі доводиться актуальність тематики дисертаційних досліджень, обґрунтовується мета досліджень, наводиться об'єкт та предмет досліджень, формулюється наукова новизна, практична значимість та достовірність отриманих наукових результатів. Приводяться відомості про особистий внесок автора дисертації у наукових статтях, які виконано у співавторстві.

У першому розділі обґрунтовано значимість відеоінформаційних сервісів з використанням безпроводних технологій як складової компоненти концепції Smart City, що спрямована на забезпечення збільшення рівня безпеки та комфорту громадян, раціональне використання міської інфраструктури та збільшення ефективності управління об'єктами критичної інфраструктури.

Виходячи з суттєвої ролі відеосервісів та необхідності забезпечення їх якості на потрібному рівні, виконано аналіз недоліків існуючих підходів до обробки відеотрафіку.

Показано, що підходам, які базуються на використанні управління трафіком на рівні мережевих вузлів, в умовах росту кількості критичних сервісів, ускладнення трафіку та збільшення навантаження властиве суттєве падіння ефективності. Такі підходи базуються на механізмах маркування пакетів, управління буферами та обробки розумних черг.

Разом з тим, у зазначених умовах дані механізми можуть спричинювати втрату пакетів даних та внесення суттєвих рівнів затримки доставки пакетів. Зокрема, при навантаженні на мережеві вузли вище певного рівня управління трафіком у штатному режимі неможливе, та потребує додаткового застосування методів кльдування на рівні джерела даних.

У свою чергу, затримка Δt передачі формується рядом складників, серед яких - час τ_{pf} формування пакетів на боці джерела з урахуванням усіх стадій обробки, у т.ч. буферизацію та каналне кодування; час τ_{nt} проходження пакету у мережі; затримка τ_{rs} пакетів на прийомному боці з урахуванням часу буферизації та декодування даних; сумарний час τ_{np} обробки на мережевих вузлах; час τ_{ia} , що витрачається у ході інтелектуального аналізу даних. Водночас, затримка $\tau_{np}^{(i)}$, що вноситься на мережевому вузлі, у загальному випадку визначається наступним чином:

$$\tau_{np}^{(i)} = \varphi(K_{perf}; R_{\Sigma}; R_{pack}; K_{dif}), \quad (1)$$

де K_{perf} - показник продуктивності комутаційного обладнання; R_{Σ} - сумарна інтенсивність навантаження, надходячого на i -й мережевий вузол; R_{pack} - середній розмір пакету; K_{dif} - показник неоднорідності трафіку.

Вираз (1) показує, що зменшення часу затримки Δt передавання може досягатися за рахунок зменшення кількості пакетів, що надходить на i -й мережевий вузол. Це доводить доцільність використання методів обробки відеотрафіку на рівні кодування джерела даних порівняно з підходами, що орієнтовані на управління трафіком на рівні мережевих вузлів.

При цьому, оскільки бітова інтенсивність відео, а також динаміка пропускної здатності формуються у наслідок впливу взаємно незалежних факторів, дані величини є неузгодженими між собою. У наслідок цього технології кодування, які дозволяють зменшити інтенсивність джерела даних без її узгодження з параметрами пропускної здатності, є малоефективним, та веде до нерационального використання мережевих ресурсів.

У той же час, стандартизовані методи управління інтенсивністю орієнтовані на обробку відеопотоку на рівні таких його структурних одиниць, як група кадрів, кадр та макроблок.

При цьому, гнучкої зміни розміру структурної одиниці у ході кодування не передбачено.

Тобто, можливість варіювання кроком зміни інтенсивності у ході управління у діапазоні значень, достатньому для локалізації внесеної помилки, відсутня. Це створює умови для нераціонального розподілу бітової інтенсивності у межах відео потоку та зниження якості даних у межах структурної одиниці відеопотоку, на рівні якої здійснюється управління. Відповідно, у разі управління інтенсивністю на рівні кадру чи групи кадрів внесена похибка буде суттєвою.

Разом з тим, головним інструментом зміни бітової інтенсивності у складі даних методів є механізм зміни кроку квантування.

Означений механізм, у свою чергу, не забезпечує достатньо гнучкої зміни інтенсивності відео відносно динаміки пропускної здатності. Це потенційно веде до появи часових затримок у ході обробки, а також до зменшення якості відновленого відео у наслідок втрати деякої частини даних за рахунок внесеної похибки.

Отже, за таких умов необхідно забезпечити узгодження інтенсивності відеопотоку з динамікою пропускної здатності мережі, як показано наступним виразом:

$$\begin{cases} R \rightarrow B_w; \\ Z(g; \Delta\tau; k_{\text{loss}}) \rightarrow Z(g; \Delta\tau; k_{\text{loss}})_{\text{need}}, \end{cases} \quad (2)$$

де $Z(g; \Delta\tau; k_{\text{loss}})$ та $Z(g; \Delta\tau; k_{\text{loss}})_{\text{need}}$ - поточний рівень якості відеоданих та рівень, який необхідно забезпечити відповідно; g , $\Delta\tau$ та k_{loss} - показник джитеру, затримка передавання пакетів та коефіцієнт втрати пакетів відповідно; R та B_w - величини бітової інтенсивності відео та пропускної здатності мережі відповідно.

Таким чином, для узгодження нерівномірної інтенсивності відеопотоку з динамікою пропускної здатності мережі, а також скорочення недоліків, властивих стандартизованим методам, необхідно побудувати метод управління інтенсивністю відеоданих. Такий метод повинен орієнтуватися на обробку відео потоку на кількох рівнях ієрархії його структурних одиниць, що забезпечує гнучку, та, одночасно, оперативну зміну бітової інтенсивності відео.

Це створює умови, за яких внесена у ході управління затримка, а також величина похибки, потенційно будуть суттєво нижчими, ніж для випадку застосування стандартизованих методів управління.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено побудові моделі блочного кодування бітового опису трансформант відеокадру, обґрунтуванню

доцільності переходу до обробки трансформант на рівні сукупності бітових площин, кожна з яких формується двійковими елементами одного розряду десятичного опису компоненти; побудові методу обробки трансформант, який буде мати можливість забезпечити управління інтенсивністю відеотрафіку у реальному часі з контрольованим рівнем якості реконструйованих відеокадрів.

Метод блочного кодування бітового опису трансформант містить у собі ряд ключових етапів. На першому етапі обробка трансформант дискретного косинусного перетворення на рівні бітового представлення забезпечується шляхом декомпозиції компонент $y(q)_{mn}$. За результатами цього, μ -а бітова площина $Y(q)^{(\mu,u,i)}$ являє собою сукупність двійкових елементів (рис.1).

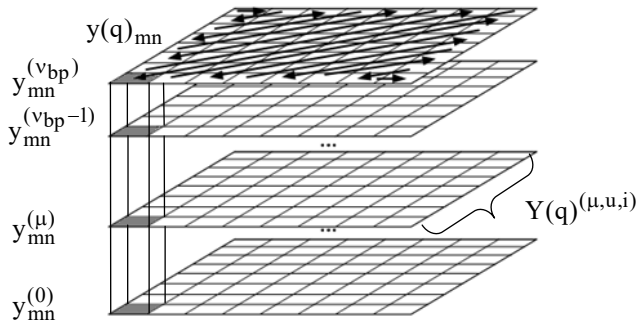


Рисунок 1. – Схема формування бітової площини трансформанти

На цьому етапі виконується обробка трансформант у напрямку бітових площин, починаючи зі старшої. Далі, шляхом сканування змісту бітової площини формуються довжини $\lambda_{\alpha,\beta}$ бінарних серій.

На базі виявлених довжин $\lambda_{\alpha,\beta}$ бінарних серій формується масив, що у загальному випадку містить у собі υ рядків та ε стовпців.

При цьому, з урахуванням зниження на 1, максимальна величина $\lambda'_{\alpha,\beta}$ у рядку розглядається як основа кодового числа, яка, у свою чергу, використовується далі для побудови вагових $V_{\alpha,\phi}$ коефіцієнтів відповідно до принципу, який ілюструється рис.2.

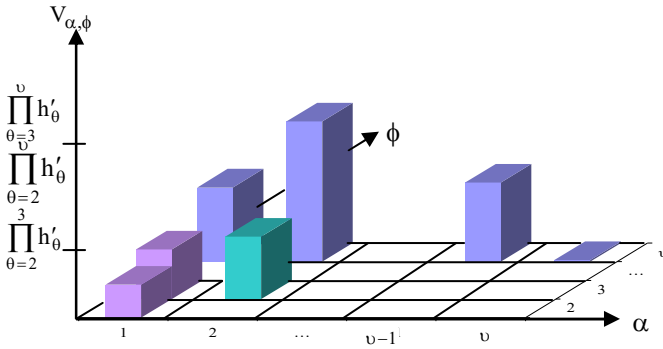


Рисунок 2. – Схема визначення величин $V_{\alpha, \phi}$ у залежності від α і ϕ

Математично принцип, зазначений на рис.2, може бути подано у вигляді виразу $V_{\alpha, \phi} = f(V_{\alpha, \phi-1})h'_{\phi}$, де $V_{\alpha, \phi}$ - ваговий коефіцієнт елементів α -го рядку після визначення значень основ ϕ рядків довжин бінарної структури (без першого рядку, $\alpha=1$); f - функціонал, що описує принцип визначення вагового коефіцієнту від $\phi-1$ рядків; h'_{ϕ} - основа α -1-го рядка довжин бінарної структури $L_q^{(\mu)}$; α - кількість рядків довжин бінарної структури, $\alpha = \overline{1, v}$; $\phi = \alpha + 1 = \overline{2, v}$.

За підсумками обчислення вагових коефіцієнтів кодових чисел розраховуються кодове значення кодового числа, як показано рис.3

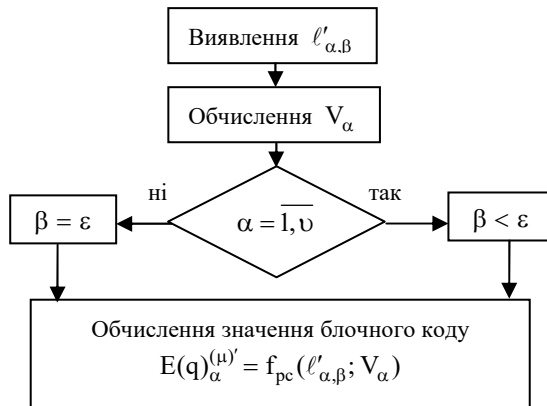


Рисунок 3. – Схема обчислення значення кодового числа

На рисунку 3 функціонал f_{rc} описує принцип побудови блочного коду.

Кодова конструкція трансформанти формується на базі кодограм окремих бітових площин. Забезпечується зниження бітової інтенсивності відеоданих за рахунок усунення структурної надмірності, яка зумовлена:

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

Таким чином, створено метод обробки трансформант відеокадру, що дозволяє формувати кодові конструкції бітових площин трансформант на базі обчислених значень блочного коду. При цьому, кодові описи бітових площин є незалежними між собою. Оскільки розроблений метод забезпечує кодування без втрат, це створює умови для скорочення міжтрансформантної надмірності. За рахунок цього забезпечується управління інтенсивністю відеопотоку.

У третьому розділі дисертаційної роботи розробляється метод управління бітовою інтенсивністю відеопотоку на базі субдискретизації слайсів відеокадрів з наступною інтерполяцією на етапі реконструкції. Елементом слайсу є трансформований блок відеокадру. Субдискретизація виконується шляхом проріджування послідовності трансформованих блоків залежно від необхідності забезпечити відповідність між рівнями інтенсивності відеоданих та пропускної здатності мережі.

Початково кожна трансформанта $Y^{(u,i)}$ розглядається як сукупність базових трансформант $Y_{base}^{(u,i)}$ та сукупність $Y_{int}^{(u,i)}$ трансформант, які може бути інтерпольовано. Тобто, $Y^{(u,i)} = Y_{int}^{(u,i)} \cup Y_{base}^{(u,i)}$. Відповідно до розробленого методу, послідовність $Y_{int}^{(u,i)}$ трансформант u -го слайсу i -го кадру може бути описана з використанням базових трансформант. Тоді апроксимована підпослідовність $Y_{int}^{(u,i)}$ трансформант, реконструйованих по базовим трансформантам, описується функціоналом f_{int} , тобто, $Y_{int}^{(u,i)} = f_{int}(Y_{base}^{(u,i)}; v_{int}; f_{rec})$, де $Y_{base}^{(u,i)}$ - підпослідовність базових трансформант у слайсі; v_{int} - кількість інтерпольованих трансформант; f_{rec} - функціонал, що задає принцип відновлення трансформант з використанням інформації про базові трансформанти. Отже, слайс, що формується послідовністю $Y^{(u,i)}$ трансформант, які реконструюються на прийомному боці, буде містити у собі підпослідовності базових $Y_{base}^{(u,i)}$ трансформант, та підпослідовності $Y_{int}^{(u,i)}$ трансформант, що реконструюються з використанням базових, тобто,

$Y^{(u,i)} = Y_{int}^{(u,i)} \cup Y_{base}^{(u,i)}$. При цьому, передбачається, що $v_{int} = \overline{0; Q-2}$, де Q – загальна кількість трансформант у слайсі.

Структурно-функціональна схема методу управління бітової інтенсивністю слайса на основі механізму субдискретизації трансформант, що урахує обидва режими роботи методу управління, ілюструється на рис. 4.

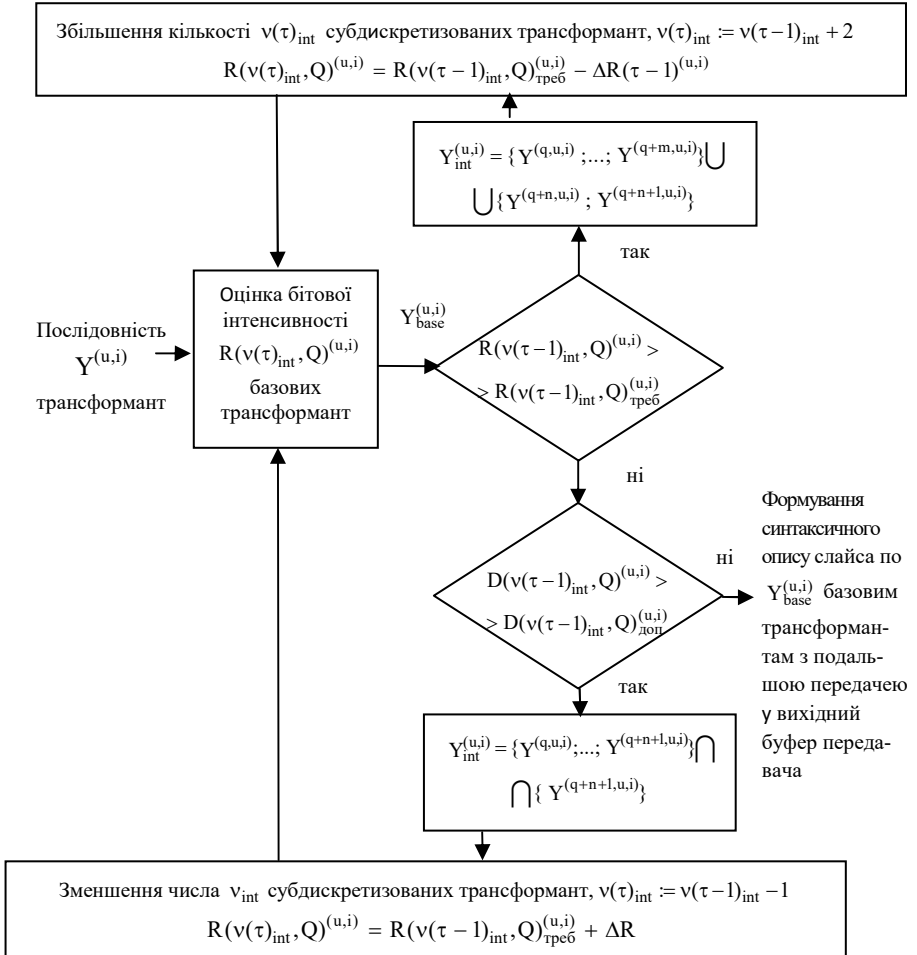


Рисунок 4. – Структурно-функціональна схема методу управління бітової інтенсивністю слайса на основі механізму субдискретизації трансформант

Схеми на рис.4 передбачає режими роботи методу управління, що дозволяють:

1) скоротити бітову $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ інтенсивність слайсу $S^{(u,i)}$ відеокадру в умовах, коли її значення перевищує допустиму величину у поточний момент часу за умови, що рівень помилки $D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ є не більшим за допустимий. Крок виключення трансформант для цього режиму функціонування методу приймається рівним 2 для того, щоб забезпечити мінімізацію часу обробки слайсу;

2) збільшити бітову $R(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ інтенсивність слайсу $S^{(u,i)}$ у випадку, коли її величина є меншою за допустиму у поточний момент часу при тому, що значення помилки $D(v(\tau)_{\text{int}}; Q)^{(u,i)}$ не перевищує допустимий рівень. У даному режимі крок зміни кількості базових трансформант є рівним 1.

Таким чином, створено метод управління бітовою інтенсивністю відеопотоку у реальному часі за рахунок субдискретизації слайсів відеокадру. Метод дозволяє здійснювати оперативні зміну величини бітової інтенсивності відео відповідно до змін динаміки пропускної здатності мережі. При цьому забезпечується механізм контролю рівня помилки, що вноситься у ході управління.

У четвертому розділі дисертаційної роботи приводиться підхід до інтеграції розроблених методів в існуючі технології обробки відео у реальному часі. Виконується оцінка обчислювальної складності розроблених методів, за результатами якої робиться висновок про те, що навантаження, яке створюється у ході управління інтенсивністю відеоданих, не є критичним, що дозволяє застосовувати розроблений метод на базі апаратно-програмних платформ загального призначення.

Виконується порівняльна оцінки показників g джитеру, затримки Δt передавання пакетів та величини втрати k_{loss} пакетів для випадків застосування стандартизованих методів управління бітовою інтенсивністю відеопотоку та розробленого методу.

Порівняльна оцінка для розробленого методу відносно існуючих методів управління бітовою інтенсивністю відеопотоку за показником затримки Δt приведена на рис. 5. Відповідно оцінка за рівнем g джитеру приводиться на рис.6, оцінка величини втрати k_{loss} пакетів при використанні розробленого методу управління інтенсивністю у процесі трансляції відеопотоку ілюструється на рис.7.

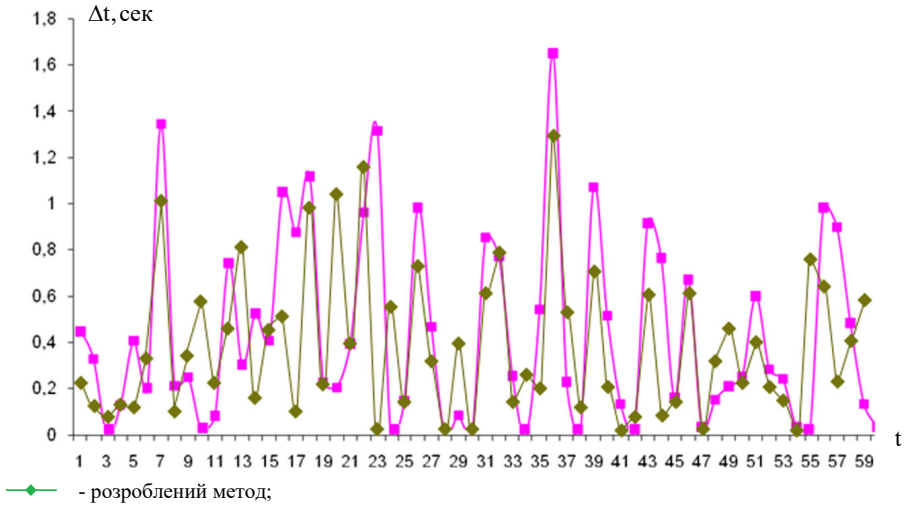


Рисунок 5. – Зміна показника Δt затримки для випадку стандартизованого методу кодування та розробленого методу

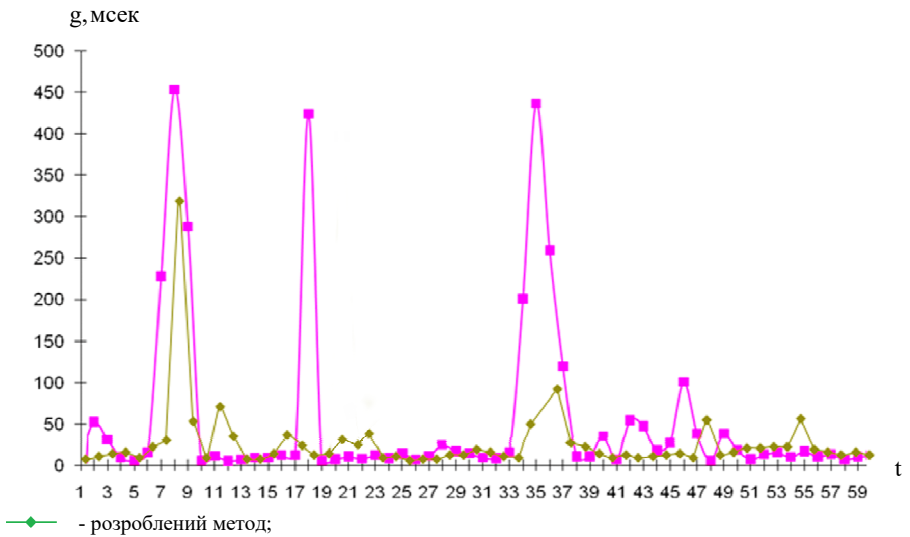


Рисунок 6. – Зміна показника g джитеру для випадку стандартизованого методу кодування та розробленого методу

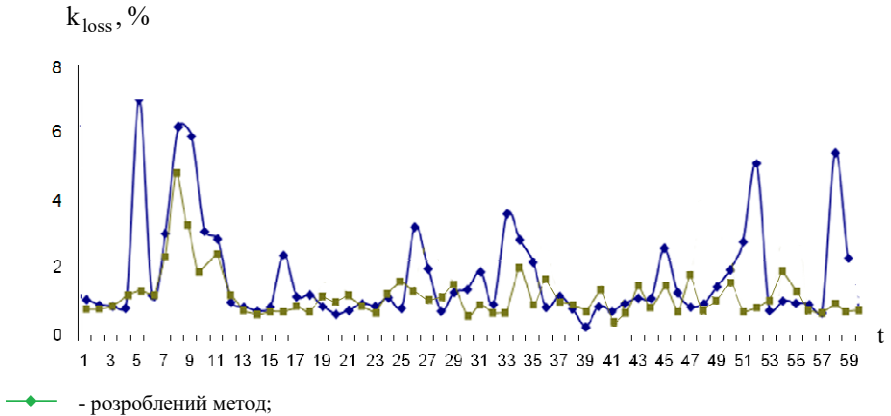


Рисунок 7. – Зміна показника k_{loss} втрат пакетів для випадку стандартизованого методу кодування та розробленого методу

За результатами таких оцінок можна стверджувати наступне.

Для розробленого методу досягається скорочення часової затримки доставки відеоданих відносно стандартизованих методів управління у середньому на 25%. Забезпечується зменшення величини джиттеру у середньому на 18% порівняно з існуючими методами. Досягається скорочення показника втрат пакетів в середньому на 17% щодо існуючих методів управління у складі існуючих технологій обробки відеокадрів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу, яка полягає у зниженні часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж.

Розроблено метод кодування бітового опису трансформант відеокадрів на основі скорочення структурної надмірності представлення їх спектрального опису. Створено метод управління інтенсивністю відеопотоку.

Основними науковими результатами, отриманими в роботі, є наступні.

1. Модифіковано модель кодового опису трансформанти на базі виявлення серій бінарних елементів. Модель базується на тому, що у ході побудови кодового опису для бітових площин трансформанти здійснюється динамічне формування кодового простору на базі виявлених структурних характеристик. За рахунок цього створюються умови для динамічного контролю бітової інтенсивності відеоданих.

2. Побудовано метод кодування відеокадрів на базі обробки їхніх трансформованих сегментів. Метод базується на тому, що у процесі кодування формуються незалежні кодові конструкції бітових площин трансформант. Це дає

зможу побудови адаптивної кодової конструкції трансформатни та створює умови для можливості управління інтенсивністю відеоданих на рівні джерела.

3 Створено метод управління інтенсивністю відеотрафіку на основі використання технологій кодування. Метод базується на технології субдискретизації слайсів відеокадрів з врахуванням наявності їх інтерполяції. Це дозволяє здійснювати управління бітовою інтенсивністю відеопотоку з можливістю контролю рівня похибки, що вноситься у ході управління.

4. Удосконалено технологію управління бітовою інтенсивністю відеоданих. У рамках розробленого підходу передбачається одночасне застосування механізмів управління інтенсивністю, які використовують квантування спектрального представлення блоків відеокадрів, та субдискретизацію слайсів з наступною їх інтерполяцією. Означені напрямки є взаємоузгодженими, що дозволяє підвищити ефективність управління бітовою інтенсивністю відео.

Основними практичними результатами роботи є наступні.

1. Досягається баланс між бітовою інтенсивністю та якістю відновлених відеоданих шляхом створення додаткової можливості скорочення бітової інтенсивності на 25 % зі збереження початкової якості відеозображень.

2. Забезпечується можливість зміни бітової інтенсивності у реальному часі від 15% до 30 % зі збереженням достовірності інформації у діапазоні від 35 дБ до 25 дБ.

3. Для розробленого методу управління бітовою інтенсивністю відеопотоку забезпечується скорочення затримки доставки відеоданих у телекомунікаційній мережі відносно існуючих методів управління у середньому на 25%.

4. Досягається зменшення величини джиттеру у середньому на 18% порівняно з існуючими методами управління інтенсивністю відеоданих.

5. Забезпечується зниження показника втрат пакетів в середньому на 17% щодо існуючих методів управління.

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

Достовірність отриманих результатів підтверджується: адекватністю результатів експериментальних і теоретичних досліджень щодо оцінювання керованого рівня бітової інтенсивності відеопотоку в залежності від рівня збереження його якості на основі програмної реалізації і математичної моделі; не суперечливості отриманих результатів положенням теорії інформації, методам управління бітовою інтенсивністю і методам блочного кодування.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Колективні монографії

1. Комбинированный метод управления битовой интенсивностью видеопотока в реальном времени / В. В. Баранник, В.В. Твердохлеб, В.В. Баранник, В.Н. Кривonos, А.В. Слободянюк, П.М. Гуржий // Наукомістки

технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: Монографія / під загальною редакцією В. В. Баранніка., В. М. Безрука – ФОП Бровін О.В., Харків. – 2018. – с. 7–21.

Статті

2. Barannik V., Tverdokhle V., Himenko V., Kovalevskiy S., Warwas K., Brocki M. Complex Method of Video Stream Intensity Control. *Engineer of the XXI Century: proceedings*. Springer. ISSN 2211-0984. Bielsko-Biala. 2019. P.209-215. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_19. (Scopus).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Тези конференцій

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

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

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

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

17. Barannik V., Tverdokhlib V., Ryabukha Yu., Dodukh A., Suprun O., Tarasenko D. Integration the non-equilibrium position encoding into the compression technology of the transformed images. *IEEE East-West Design & Test Symposium: 15th IEEE Intern. Symp., (Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017)*. Novi Sad: 2017. P. 337-339.

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

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

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

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

АНОТАЦІЯ

Твердохліб В.В. Метод підвищення ефективності інфокомунікаційних систем на основі управління інтенсивністю відеотрафіка. – Рукопис.

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

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає у забезпечення якості відеосервісів на необхідному рівні за рахунок зниження часу затримок доставки відеотрафіку у системі надання відеосервісів з використанням безпроводних телекомунікаційних мереж.

Викладаються етапи створення методу управління інтенсивністю відеокadrів на рівні кодування сегментів кадрів та їхніх структурних складників, базові особливості якої полягають у тому, що для кожного сегменту формується кодовий опис у вигляді сукупності незалежних кодових структур. Це дозволяє здійснювати управління бітовою інтенсивністю відео за рахунок зміни кількості структурних складників кодової конструкції трансформованого сегменту кадру.

Метод дозволяє забезпечити скорочення надмірності опису відеокадру за рахунок урахування структурних особливостей опису трансформант на рівні бітового представлення.

Обґрунтовується доцільність підходу, що базується на виключенні ряду трансформант сегменту відеокадру з подальшою інтерполяцією, для побудови методу управління інтенсивністю відеопотоку з контрольованим рівнем якості.

Розробляється метод управління бітовою інтенсивністю відеотрафіку на базі інтенполяції трансформант, що забезпечує обробку відеопотоку у реальному часі. У рамках методу управління забезпечуються режими функціонування, у ході яких здійснюється зміна бітової інтенсивності да корегування рівня помилки, внесеної у процесі управління.

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

АННОТАЦІЯ

Твердохлеб В.В. Метод повышения эффективности инфокоммуникационных систем на основе управления интенсивностью видеотрафика. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. - Национальный авиационный университет, Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи, заключающейся в обеспечении качества видеосервисов на необходимом уровне за счет снижения времени задержек доставки видеотрафика в системе предоставления видеосервисов с использованием беспроводных телекоммуникационных сетей.

Излагаются этапы создания метода управления интенсивностью видеокадров на уровне кодирования сегментов кадров и их структурных составляющих, базовые особенности которого заключаются в том, что для каждого сегмента формируется кодовый описание в виде совокупности независимых кодовых структур.

Подход на основе независимых кодовых структур позволяет осуществлять управление битовой интенсивностью видео за счет изменения количества структурных составляющих кодовой конструкции трансформированного сегмента кадра.

Метод позволяет обеспечить сокращение избыточности описания видеокадра за счет учета структурных особенностей описания трансформант на уровне битового представления.

Обосновывается целесообразность подхода, основанного на исключении ряда трансформант сегмента видеокадра с последующей интерполяцией для построения метода управления интенсивностью видеопотока с контролируемым уровнем качества.

Разрабатывается метод управления битовой интенсивностью видеотрафика на базе интерполяции трансформант, что обеспечивает обработку видеопотока в реальном времени.

В рамках метода управления обеспечиваются режимы функционирования, в ходе которых выполняется изменение битовой интенсивности для корректировки уровня ошибки, внесенной в процессе управления.

Ключевые слова: битовая интенсивность, видеопоток, битовая плоскость, блочный код, битовое описание трансформанты, слайс видеокадра.

ANNOTATION

Tverdokhlib V.V. A method for increasing the efficiency of infocommunication systems based on video traffic intensity control. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.12.02 - telecommunication systems and networks. - National Aviation University, Kiev, 2021.

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

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

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

A method for controlling the bit intensity of video traffic is being developed based on downsampling of frame slices at the transformants level with their subsequent interpolation, while processing the video stream in real time is provided.

To implement the method for controlling the bit rate of video traffic based on downsampling of slices, sets of basic transformants and transformants are preliminarily formed in their structure, which can be thinned out at this stage.

Within the framework of the control method, the existence of modes of operation is provided, during which the bit intensity is changed in real time and the error level is corrected, which can be introduced in the process of controlling the value of the video bit intensity.

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