

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Шутко В.М.
« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 «ЕЛЕКТРОНІКА»
ОПП «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

Тема: «Алгоритм стиснення цифрового відео з урахуванням процесорних витрат»

Виконавець

студент групи ЕС-413Б
Керівник

_____ Березівський Назарій Миколайович

д.т.н., професор

_____ Шутко Володимир Миколайович

Нормоконтролер

_____ Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут аеронавігації електроніки та телекомунікацій
Кафедра електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету
речей

Напрямок (спеціальність) 171 «Електроніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Шутко В.М.

« _____ » _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ**на виконання дипломної роботи**

Березівський Назарій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи: «Алгоритм стиснення цифрового відео з урахуванням процесорних витрат»

затверджена наказом ректора від « 1 » квітня _____ 2021 р.

№ 526/ст _____

2. Термін виконання роботи : з 17 травня 2021р по 18 червня 2021р.

3. Вихідні дані до роботи: сьогоднішня обумовлене тим, що більшість людей використовують свої гаджети як інструмент для роботи з відео, яке зменшує час роботи пристрою. Цей проект дасть змогу використовувати його, переглядаючи відео та витратити на 30-40% менше заряду батареї.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; Розділ 1: ЗАГАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЛИВОСТЕЙ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕО;

Розділ 2: АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ
СТИСНЕННЯ ВІДЕО З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСОРНИХ ВТРАТ;

Розділ 3: ДОСЛІДЖЕННЯ КОДУВАННЯ ВІДЕО ЗА ДОПОМОГОЮ
ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

5. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Затвердження теми кваліфікаційної роботи	15.03.2021	Виконав
2.	Затвердження завдання на кваліфікаційну роботу і плану кваліфікаційної роботи	01.04.2021	Виконав
3.	Підготовка і подання науковому керівнику вступу та I-го розділу кваліфікаційної роботи	20.04.2021	Виконав
4.	Підготовка і подання науковому керівнику II-го розділу кваліфікаційної роботи	02.05.2021	Виконав
5.	Підготовка і подання науковому керівнику III-го розділу кваліфікаційної роботи, висновків і резюме	20.05.2021	Виконав
6.	Написання висновка	01.06.2021	Виконав
7.	Оформлення роботи	05.06.21	Виконав
8.	Подання на кафедру остаточного тексту кваліфікаційної роботи в паперовому і електронному варіанті, заяви студента про допуск до захисту, висновку наукового керівника і відгуку від підприємства (організації) – бази дослідження	09.06.21	Виконав

6. Дата видачі завдання: “15” березня 2021 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)

(підпис керівника)

Шутко В.М.

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Березівський Н.М.

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Основна мета знайти можливості кодувати відео за допомогою швидкого перетворення Уолша-Адамара. Це значно зменшить навантаження на процесор телефону під час роботи з відео (відеодзвінок, запис і перегляд відео) і дасть можливість економити до 30-40% заряду батареї. Тобто, люди зможуть значно довше спілкуватися по відеозв'язку, переглядати відеоматеріали, втративши лише 3-7% від якості відео.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЛИВОСТЕЙ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕО	9
1.1 Поняття цифрового відео та його характеристики.....	9
1.2. Програмне забезпечення для роботи із цифровим відео	16
1.3. Поняття якості стиснення	17
1.4. Аналіз сучасних стандартів стиснення цифрового відео.....	19
1.5. Технології стиснення цифрового відео.....	26
РОЗДІЛ 229. АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ СТИСНЕННЯ ВІДЕО З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСОРНИХ ВТРАТ	29
2.1. Класифікація методів стиснення цифрового відео.....	29
2.2. Основні алгоритми стиснення відео	35
2.3. Порівняльна характеристика алгоритмів стиснення відео та обгуртування обраного методу	42
РОЗДІЛ 359. ДОСЛІДЖЕННЯ КОДУВАННЯ ВІДЕО ЗА ДОПОМОГОЮ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ.....	59
3.1. Дискретне косинусне перетворення.....	59
3.2. Кодування за допомогою швидкого перетворення Уолша-Адамара	65
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ	69

ВСТУП

Актуальність дослідження. Особливість сучасних інформаційно-обчислювальних систем – обробка та передача великих обсягів відеоданих, при цьому швидкість може бути обмежена. Це призводить до затримок при передачі та втрат частини інформації.

Пропускна спроможність систем передачі даних не може зростати одночасно зі збільшенням кількості інформації. Ця проблема має три рішення. Перше – обмеження кількості інформації, але, на жаль, це не завжди допустимо. Наприклад, для динамічних даних це означає зменшення розширення, що призведе до втрати, і може зробити зображення взагалі некорисним (наприклад для медичних або космічних зображень). Друге – збільшення об'єму носіїв інформації і пропускної спроможності каналів зв'язку. Це рішення пов'язано з матеріальними витратами, між іншим, деколи дуже значними. Третє рішення – використання стиснення інформації. Це рішення дає змогу в декілька разів зменшити вимоги до об'єму пристроїв зберігання інформації і пропускної спроможності каналів зв'язку без додаткових витрат (крім витрат на реалізацію алгоритмів стиснення). Умовами його застосування є надлишок інформації і можливість встановлення спеціального програмного забезпечення або апаратури як поблизу джерела, так і поблизу приймача інформації. Саме завдяки необхідності використання стиснення інформації методи стиснення є досить поширеними.

Розробляються різні проекти передачі якісного відео: через Internet у реальному часі; по мобільному зв'язку через супутник з кіностудії в кінотеатри із забезпеченням показу на великому екрані; з мультимедійних баз даних по супутникових каналах для інтерактивного телебачення.

Розробкою даної проблеми займалися багато науковців, представники різних галузей науки: О. В. Дробик, В. В. Кідалов, В. В. Коваль, Б. Я. Костік, В. С. Лазебний, Г. М. Розорінов, Г. О. Сукач та інші.

Але, незважаючи на це, сьогодні існує потреба у дослідженні, яке б узагальнило, систематизувало існуючі відомості з даної проблеми.

Враховуючи все вищесказане, нами і була обрана тема дипломної роботи: "Алгоритм стиснення цифрового відео з урахуванням процесорних витрат".

Об'єкт дослідження – сучасний стан розвитку наукових досліджень у сфері стиснення цифрового відео.

Предмет – способи та методи стиснення цифрового відео з урахуванням процесорних витрат.

Мета роботи: дослідити основні аспекти реалізації алгоритму стиснення цифрового відео з урахуванням процесорних витрат.

Відповідно до мети були визначені наступні **завдання:**

- 1) розкрити теоретичні аспекти стиснення цифрового відео;
- 2) проаналізувати методологічну базу розробки алгоритму стиснення відео з урахуванням процесорних витрат;
- 3) знайти можливість зменшити затрату на перетворення відео;

Для розв'язання поставлених завдань нами були використані такі **методи дослідження:** теоретико-критичний аналіз літератури з теми дослідження; зіставлення, узагальнення і синтезування здобутої інформації тощо.

Робота може бути використана студентами ВНЗ для підготовки до семінарських занять, також може бути використана викладачами для проведення лекції, практик тощо.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 19 найменувань. Повний обсяг роботи: 69 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЛИВОСТЕЙ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВОГО ВІДЕО

1.1 Поняття цифрового відео та його характеристики

Цифрове відео являю собою перетворений у цифровий формат аналоговий сигнал. При цьому сама процедура перетворення неминуче приводила до деякої втрати якості. На сьогоднішній день відеомагнітофони й старенькі Vhs- Камери пішли в минуле, а балом правлять сучасні цифрові відеокамери, DVD і Blu-ray плеєри, які дозволяють одержувати сигнал відразу в цифровому виді. Та й аналогове телебачення поступове поступається місцем більш прогресивному цифровому. Цифрове відео має п'ять основних характеристик: екранне розширення, частота кадрів, глибина кольору, бітрейт (ширина відеопотоку) і якість зображення.

Екранне розширення (Resolution) – позначає кількість крапок (пікселів) по горизонталі й вертикалі, з яких полягає зображення (відеокадр) на екрані. При записі дозволу спочатку вказується значення кількості крапок у рядку (горизонтальний розширення), а потім число рядків, що брав участь у побудові зображення (вертикальний розширення). Наприклад, для європейського відеостандарту PAL розмір кадра становить 720x576 пікселів, для північноамериканського стандарту NTSC – 720x480, для відео високої чіткості (HD 720p) – 1280x720, а для новомодного стандарту HDTV (Full HD) - 1920x1080 крапок. Як ви, напевно, розумієте, чим вище екранне розширення, тем якість відео краще.

Частота кадрів – величина, що вказує, на те, яка кількість кадрів переміняється за секунду. Стандартною швидкістю відтворення відеосигналу

вважається величина рівна 30 кадрам/с. Для кіно цей показник трохи менше й становить 24 кадра/с.

Глибина кольору (колірний розширення) – характеристика, що вказує кількість квітів, які можуть брати участь у формуванні відеозображення. Кількість квітів у цифровому відео виміряється в бітах. Так 1 біт може ухвалювати два різні значення (0 або 1) і дозволяє відповідно закодувати тільки два кольори (звичайно чорний і білий). За допомогою двох біт можна закодувати вже 4 кольору ($2^2 = 4$), за допомогою трьох біт – 8 квітів (2^3), чотирьох – 16 (24) і так далі.

Як правило, колірний розширення описується за допомогою спеціальних колірних моделей. У комп'ютерній техніці застосовується модель RGB (червоний-зелений-синій), яка може бути представлена наступними найпоширенішими режимами глибини кольору: 8 біт (256 квітів), 16 біт (65 536 квітів) і 24 біта (16 777 216 квітів). До слова, людське око, по різних думках, може сприйняти від 5 до 10 мільйонів колірних відтінків.

Битрейт (ширина відеопотоку) – показує кількість оброблених біт відеоінформації за одну секунду часу. Інакше кажучи – це швидкість відеопотоку, яка виміряється в мегабітах у секунду (Мбіт/с). Чим вона вище, тем краще якість. Наприклад, для стандарту Dvd- Відео ширина потоку становить близько 5 Мбіт/с, а для формату телебачення високої чіткості HDTV – уже 10 Мбіт/с. До речі, найбільш часте значення битрейта використовується для оцінки якості переданого відео через Інтернет.

Якість зображення – характеристика покликана оцінити якість обробленого відео в порівнянні з оригіналом, що й визначається сукупністю значень дозволу, глибини кольору й швидкості відеопотоку.

Одна хвилина чистого незжатого оцифрованого звуку займає на жорсткому диску комп'ютера близько 10 Мбайт, внаслідок чого, у переважній більшості, музичні файли зберігаються в стислому виді заради економії місця. А

скільки ж займає одна хвилина незжатого відео? Наприклад, для розміщення 60-секундного ролика із частотою 30 кадрів у секунду, дозволом 720x576 пікселів і 16-бітною глибиною кольору буде потрібно близько півтора гігабайт вільного дискового простору. І це без обліку звукової доріжки. Після цих цифр, напевно, уже не потрібно пояснювати, чому цифрове відео зберігається в наших комп'ютерах винятково в стислому виді.

Існує кілька десятків популярних форматів стиснення, які використовують різні алгоритми компресії, які відповідно дають різні результати.

DV (Digital Video) – один з найперших алгоритмів стиснення для відеопотоку, розробка якого почалася в 1993 році спільно відразу декількома компаніями, що є найбільшими виробниками відеоустаткування (Sony, JVC, Panasonic, Philips і Hitachi). Формат DV забезпечує невисокий ступінь стиснення даних (5:1) і характеризується високим битрейтом, за рахунок чого вихідний відеофайл виходить досить великого розміру. Так одна хвилина Dv-Відео займає близько 200 Мб (1 година – 12 Гб) на цифрових носіях інформації.

Найбільше часто цей формат використовується для стиснення при відеозйомці за допомогою побутових цифрових камер і професійних камкордерів. При цьому через невеликий коефіцієнт стиснення зняті матеріали виходять дуже високої якості, а сама процедура компресії, яка відбувається в реальному часі, не вимагає потужних технічних компонентів.

Правда, зберігати відео на домашньому комп'ютері й тим більше оптичних дисках в Dv-форматі все-таки незручно, уже занадто багато воно займає місця. Так що фахівцям довелося задуматися про додаткові алгоритми стиснення, за допомогою яких удалося б скоротити розмір цифрового фільму ще в кілька раз.

MPEG (Moving Picture Experts Group) – ціле сімейство стандартів стиснення цифрової інформації, розроблене й стандартизоване однойменної експертною групою фахівців, сформованою організацією ISO у далекому 1988 році.

Першим плодом їх утвору став вихідний стандарт відео й аудіо компресії MPEG-1, а в 1993 році при участі компаній JVC і Philips, була розроблена його специфікація Video CD (VCD), яка й відома багатьом користувачам. З назви видно, що VCD є форматом для зберігання стислого відео зі звуком на звичайних компакт дисках.

Використання для кодування алгоритмів MPEG-1 дозволяє одержувати відеопотік шириною до 1,5 Мбіт у секунду з дозволом кадра 352x288 крапок для PAL або 352x240 для NTSC, після чого на звичайному CD може вміститися 74 хвилини відео зі звуком якості VHS (як у звичайного відеомагнітофона).

В 1995 році побачив світло найпопулярніший стандарт MPEG-2, який згодом одержав широке поширення в цифрових відеодисках DVD, а так само при передачі сигналу кабельного й супутникового телебачення. Якість картинки тут значно вище, чим у попередника: при 25 кадрах у секунду, розширення становить 720x576 крапок для системи PAL, а для системи NTSC - 720x480 при 30 кадрах/с. При цьому, середня максимальна ширина потоку рівна 9,8 Мбіт/з, що практично в 7 раз вище, чим в Video CD. Ще однією незаперечною перевагою MPEG-2 є можливість збереження п'ятиканальної аудіодорожки (Dolby Digital 5.1 і DTS) .

Максимальна ємність двошарового DVD диска (DVD-9) становить 8,5 Гбайт, на який можна записати до трьох годин відео з повною якістю. Якщо ж вам пропонують DVD відразу з декількома фільмами, то знайте, що, швидше за все вас очікує низькосортна картинка рівня Video CD з дуже низьким дозволом і битрейтом.

Разом з MPEG-2, приблизно в той же час, початків розроблятися новий стандарт MPEG-3, призначений для кодування аудіо й відеопотоків у телебаченні високої чіткості зі швидкістю передачі даних від 20 до 40 Мбіт/с. Але незабаром з'ясувалося, що для цих завдань можна використовувати трохи модифіковану версію стандарту MPEG-2, після чого всі подальші розробки

MPEG-3 були припинені й на сьогоднішній день цей стандарт не використовується.

Варто відзначити, що досить часто термін "MPEG-3" багато користувачів асоціюють із популярною технологією стиснення звуку MP3. Але це в корені не вірно, тому що її правильна назва – MPEG-1 Audio Layer 3.

Нарешті, в 1998 році з'явилося нове сімейство форматів стиснення відео - MPEG-4. Розроблялося воно з метою поліпшення якості картинки при низькій швидкості потоку. Колишній стандарт MPEG-2, розрахований на високий бітрейт, із цим завданням упоратися не міг, так що алгоритми стиснення довелося серйозно модифікувати. Так само MPEG-2 не походить і для зберігання відео високої чіткості (HD) з дозволами від 1280x720 (720p) до 1920x1080 пікселів (1080i або 1080p), яке усе більше й більше набирає популярність.

На сьогоднішній день MPEG-4 є основним стандартом стиснення мультимедиа контенту, і хоча DVD списувати з рахунків ще рано, практично всі сучасні фото й відеокамери знімають в Hd- Якості. Так що для збереження відео з таких обладнань на комп'ютер, у кожному разі прийде орієнтуватися на кодеки сімейства MPEG-4.

MPEG-4 Part 2 ASP – один з перших алгоритмів, що з'явилися в 1999 році. Кодеки, побудовані на його основі, забезпечують досить низька якість вихідних матеріалів, що й не мудро. Адже в той час ніяким відео високої чіткості ще й не пахнуло. Зате висока швидкість роботи й невимогливість до апаратних ресурсів почасти компенсує цей недолік. Саме тому й сьогодні цей алгоритм широко затребуваний при кодуванні відео для різних мобільних обладнань і компактних медиаплеєров, а так само роликів, розташовуваних у мережі.

Одними із самих яскравих представників кодеков, що базуються на основі цих алгоритмів, є знайомі багатьом користувачам, комерційний Divx і його безкоштовна альтернатива Xvid.

MPEG-4 AVC або H.264 - один із самих останніх і популярних алгоритмів, що використовуються з успіхом як для стиснення відео з низьким дозволом, так і HD контенту. До речі, більшість високоякісних фільмів на дисках Blu-ray кодується саме цим кодеком. Так само він часто використовується й у побутових Hd- Відеокамерах (AVCHD).

Як і в попередньому випадку, у цього сімейства кодеків існують як безкоштовні модифікації, наприклад, x.264, так і комерційні варіанти, що входять до складу популярних відеоредакторів (Adobe Premiere, Pinnacle Studio і інші).

VC-1 – кодек, розроблений всюдисущою компанією Microsoft і стандартизований в 2006 році. У його основу покладений власний формат відеостиснення WMV (Windows Media Video) і система кодування WMV 9. Споконвічно завданням VC-1 було кодування ігрового відео для приставок Xbox. Однак на сьогоднішній день цей кодек уже вийшов на відеоринок, і активно конкуруючи з H.264, є підтримуваним стандартом для формату Blu-ray.

Як і будь-яка інша цифрова інформація, відео зберігається на диску у вигляді файлів, або як їхнім ще називають, медиаконтейнерів відео, що містять, -, аудио й інші потоки, а так само метадані. У будь-який момент із контейнера можна вийняти, наприклад, відео або аудіодорожки, перекодувати їх, і помістити їх в інший контейнер, тобто змінити формат відеофайлу. Мультимедійні контейнери можуть бути різних типів (форматів), а на те, до якого виду вони ставиться, указує розширення файлу.

Незважаючи на те ,що більшість контейнерів прив'язана до певного формату, у деяких з них може зберігатися відео в зовсім різних стандартах. Наприклад, файл із розширенням AVI здатний містити ролики як у форматі MPEG-1, так і в MPEG-2 або в MPEG-4. На що ж тоді впливає тип контейнера?

Звичайно, у більшій мері якість фільму визначається кодеком і тими параметрами, які були встановлені при стиснення. Але й від контейнера

залежить чимало. Різні види відеофайлів мають певні вимоги й обмеження по кількості звукових доріжок, каналів субтитрів, типів використовуваних кодеков, а так само сумісності з побутовими програвачами й плеєрами.

Найпопулярніші формати відеофайлів, їх переваги та недоліки

AVI (Audio Video Interleave) – найдавніший і традиційний із усіх видів медіаконтейнеров, який був уперше використаний Microsoft в 1992 році. Може містити в собі відео й аудіо інформацію, стислу різними комбінаціями кодеков. Таким чином, Avi-файлы при зовнішній подібності можуть дуже сильно відрізнятися внутрішньою «начинкою», а що б точно визначити їхній уміст, прийде скористатися спеціальними програмами (наприклад, Videotoolbox). Не варто забувати й той факт, що MP4 є «рідним» форматом для всіх продуктів компанії Apple, від iPhone до Mac. Тому якщо ви шанувальник «яблучного» заліза, те домашню відеоклекцію краще збирати й зберігати в MP4. Варто відзначити, що контейнер MP4, на відміну від MKV, має ряд обмежень і не може містити відео стандартів MPEG-1, MPEG-2 і WMV, а так само звук у форматах AC-3 (Dolby Digital) і WMA.

VOB (Versioned Object Base) – основний контейнер, використовуваний для зберігання мультимедіа контенту на Dvd- Дисках. Може містити кілька потоків відео MPEG-2, до дев'яти аудіодорожок, до 32х каналів із субтитрами й екранне меню.

FLV (Flash Video) – медіаконтейнер, що використовується для розміщення й передачі відеороликів у глобальній мережі Інтернет. Використовується багатьма великими сервісами видеохостинга, такими як Rutube, Youtube, Vimeo, Flickr і іншими. Відеопотік в Flv-файлі як правило закодований за допомогою кодеков H.263 або H.264, а звук в MP3 або AAC.

MOV-формат файлу, розроблений компанією Apple для зберігання відео, графіки, анімації й 3D. Своєю появою зобов'язаний технології відтворення медіаконтента Quicktime.

TS і M2TS – спеціалізовані контейнери для зберігання Hd- Відео. Тзиспользується в потоковому віщанні цифрового телебачення IPTV і DVB. Правда, даний контейнер взагалі не може містити субтитри. M2TS є стандартним контейнером для Blu-ray відео, у який можуть бути включені відео й аудіопотоки, передбачені стандартом BD-ROM, а так само субтитри в графічному форматі PGS.

1.2. Програмне забезпечення для роботи із цифровим відео

Медіаплеєри – програми для декодування й відтворення відеоконтенту. Найбільш популярними з них є Windows Media Player, Kmpayer, Winamp, Quicktime, GOM Player, Powerdvd, Media Player Classic, VLC Media Player, Bsplayer, Realplayer і інші.

Як правило, після установки програвача, разом з ним у систему встановлюється певний набір кодеків, від якого буде залежати, які медіаконтейнери ви зможете відкривати. Наприклад, деякі з них не вміють за замовчуванням відтворювати DVD, а інші контейнери MKV. Тому, щоб не плодити купу непотрібних додатків на власному ПК і мати можливість переглядати всі види відеофайлів за допомогою одного улюбленого медіаплеєра, досить установити в систему набір окремих кодеків, наприклад K-Lite Codec Pack.

Конвертори – програми, що дозволяють перетворювати відеофайли з одного формату в іншій. Одні з них є мультиформатними, тобто здатні працювати відразу з багатьма видами медіаконтейнерів. Інші, вузькоспеціалізовані, розраховано на конвертацію одного певного формату. До найбільш популярних конверторів можна віднести: Total Video Converter,

Format Factory, Any Video Converter, Xilisoft Video Converter, Mediacoder, Dr.Divx, Imtoo 3GP Video Converter, Convertxtodvd та інші.

Риппери й граббери – програмні інструменти, що дозволяють копіювати фільми з DVD і Blu-ray дисків, з наступною конвертацією в різноманітні формати. Серед них: Xilisoft DVD і Blu-ray Ripper, Imtoo DVD і Blu-ray Ripper, Aleesoft DVD і Blu-ray Ripper, Kingdia DVD Ripper, Best HD Blu-ray Ripper і інші.

Відеоредактори – додатки, що мають набір інструментів для редагування (монтажу) відеофайлів на комп'ютері. Варто відзначити, що за допомогою програм подібного типу виконується ще одна дуже важлива функція – захоплення й оцифровка відео. Таким чином, за допомогою відеоредакторів здійснюється перетворення відеосигналу із зовнішніх джерел (відеокамер, відеомагнітофонів, плеєрів оптичних дисків і т.д.) у цифровий відеопотік, його стиснення і збереження в обраному медіаконтейнері, з метою наступної обробки, зберігання або відтворення.

Найбільш яскравими й професійними представниками цієї групи програм є: Adobe Premiere, Pinnacle Studio, Virtualdub, Corel Videostudio, Sony Vegas Pro, Nerovision, Ulead Videostudio Plus і інші.

1.3. Поняття якості стиснення

Стиснення відео файлів, так само як і зображень, відбувається за рахунок опущення певних деталей зображення для зменшення обсягу файлу. При цьому неминуче втрачається якість зображення, і метою алгоритмів стиснення є знаходження ідеального співвідношення якості/стиснення, такого, при якому досягається максимальна ступінь стиснення і в той самий час деградація

зображення для людського ока залишається мінімально помітною. Виходячи з цього виділяють наступні види стиснення:

1. Без втрат якості. При такому виді стиснення зображення після декомпресії в точності збігається з оригіналом, тобто втрати даних у процесі стиснення не відбуваються.

2. З втратами якості. Стиснення, при якому відбувається втрата даних зображення, тобто оригінал побітно не збігається з результатом.

3. Без втрат якості з точки зору сприйняття. При такому стисненні втрати якості, якщо і відбуваються, то залишаються непомітними для людського ока.

4. З природною втратою якості. У цьому випадку деградація зображення стає помітною, але не переходить межі впізнавання основних об'єктів зображення.

У світі поширені усі види стиснення і вибір кожного з них залежить від вимог до відео файлів, що висуваються у конкретних випадках. Художні фільми не можуть дозволити собі втрачати якість зображення, так як від цього залежить успішність кінофільму серед глядачів, але записи з камер відеоспостереження у супермаркеті не мають таких критеріїв, так як їх обсяг дуже великий і дрібні деталі на них не потрібні. Всі широко використовувані відеокомпресори використовують технології стиснення з втратами якості. При досить високих коефіцієнтах стиснення всі вони будуть стисненнати з неприродною втратою якості.

Таким чином, вибираючи той чи інший компресор для стиснення цифрового відео, необхідно досягти стиснення принаймні з природними втратами якості.

1.4. Аналіз сучасних стандартів стиснення цифрового відео

Поширення технологій цифрового відео привело до необхідності розробки ефективних методів стиснення відеопослідовностей. Стиснення відео засноване на двох важливих принципах: просторової надмірності, властивій кожному кадрові відеоряду, і тимчасової надмірності, тобто подібності одного кадра на наступний

Таким чином, типовий метод стиснення полягає в кодуванні першого кадра за допомогою деякого алгоритму стиснення зображень і наступному кодуванні різниці першого кадра й наступних. Якщо черговий кадр сильно відрізняється від першого кадра послідовності, то його кодують повністю, і він стає першим кадром нової послідовності. Для збільшення ефективності усунення тимчасової надмірності використовується компенсація руху [2].

Розглянемо етапи процедури стиснення даних у загальному виді. Будь-який метод стиснення реалізує три основні етапи:

- етап попередньої обробки (фільтрація шумів);
- основне перетворення;
- кодування й упакування компонент перетворення [3].

На другому етапі виконується перетворення вихідних даних з однієї форми вистави в іншу. Зокрема, при стисненні зображень залежно від виду алгоритму стиснення може бути виконаний перехід від вихідного зображення до наступних видів:

- матриці компонентів спектра (при спектральному перетворенні);
- набори коефіцієнтів перетворення (при фрактальному стисненні);
- опис об'єктів зображення (при стисненні з розпізнаванням).

Для різних сфер використання цифрового відео висувалися різні вимоги до стиснення, які привели до формування ряду стандартів стиснення для різних областей застосування:

- для Isdn-відеоконференцій розроблений стандарт стиснення ITU H.
- для відеоконференцій у телефонних мережах - стандарт H.262 і стандарт H.263 для відеоконференцій у мережах АТМ і по широкосмугових каналах;
- необхідність стиснення відеопослідовностей для зберігання на CD-ROM (з умовою забезпечення 1.2 Мбіт/с для відео-потoku й 256 кбит/із для аудіо) привела до створення первісного стандарту ISO MPEG-1;
- для віщання й зберігання на DVD, з битрейтом від 2 до 15 Мбіт/із для відео й аудіо, був розроблений стандарт ISO MPEG-2;
- необхідність кодування окремих аудіо-візуальних об'єктів як природнього походження, так і синтезованих, привела до створення ISO MPEG-4 (цей стандарт містить у собі кілька частин, у яких розглядається, крім кодування відео, аудіокодування, кодування об'єктів і т.д., причому до відео ставляться частина 2 -ISO 14496-2 або MPEG-4 Part 2, і частина 10 - ISO 14496-10 або MPEG-4 Part 10);
- необхідність кодування метаданих, що описують властивості мультимедійних даних, привела до появи MPEG-7.

Базовий профіль націлений на кодування й декодування в реальному часі для мобільних обладнань. Він підтримує прогресивне розгорнення, використовує I- I- і P- Кадри, а також ентропийное кодування по методу CAVLC.

Основний профіль призначений в основному для використання в широкомовленні. Він підтримує чересстрочную й прогресивне розгорнення, використовує I- I-, P-, Вкадри, вагове проорокування (weighted prediction), а також ентропийное кодування по методах CAVLC і CABAC.

Розширений профіль призначений для використання в засобах передачі, підданих помилкам - наприклад, у мобільних комунікаціях. Використовує I- I-, P-, B-, SP-, Si- Кадри, підтримує як чересстрочную, так і прогресивне

розгорнення, дозволяє використовувати тільки метод CAVLC для ентропійного кодування. Профіль для відео високого дозволу призначений для ефективного кодування HDV (high definition video). Він використовує адаптивний розмір блоку (8×8 або 4×4) і дозволяє застосовувати залежні матриці квантування.

Профіль high 10 є розширенням попереднього профілю для 10 біт на відлік компонента зображення. Профіль high 4:2:2 підтримує формат YUV 4:2:2 і до 10 біт на відлік для цветоразностных компонент зображення; а профіль high 4:4:4 підтримує формат YUV 4:4:4 і до 12 біт на відлік цветоразностных компонент зображення. Крім цього він дозволяє використовувати режим кодування без втрат і пряме кодування RGB сигналу. Цей профіль призначений для кодування відео студійної якості.

Кодування здійснюється поблочно. При цьому спочатку проводиться проорокування отсчетов яркостной компоненти й цветоразностных компонент у просторовій і тимчасовій областях. Потім різниця між передвіщеними значеннями й реальними зазнає целочисленному перетворенню й квантується. Після цього результат стисненняється ентропійним кодером. Обробка кожного кадра ведеться в просторі YUV по блоках розміром 16×16 для яркостной компоненти (luma) і по 8×8 (для YUV 4:2:2) для цветоразностных компонент (chroma).

AVC/H.264 визначає два інструменти для кодування бітового потоку – контекстне адаптивне кодування зі змінною довжиною (Context-Adaptive Variable Length Coding, CAVLC) і контекстне адаптивне бінарне арифметичне кодування (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC) [3]. В CAVLC кількість коефіцієнтів, не рівних 0, кодується окремо від їхнього значення й положення у векторі. Після зигзаг-сканування коефіцієнтів перетворення більші значення коефіцієнтів, відповідні до низькочастотної складової, розташовуються на початку вектора, а менші (відповідні до високочастотної

частини) – наприкінці . В [8] робота методу CAVLC розглянута на наступному типовому векторі коефіцієнтів: 7 6 -2 0 -1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0.

Для передачі інформації про цей вектор використовується наступні дані.

1) Кількість ненульових коефіцієнтів (N) і кількість коефіцієнтів, рівних одиниці по абсолютній величині, що розташовуються після останнього ненульового елемента (T1). Для даного прикладу $T1 = 2$ (коефіцієнти -1 і 1), а $N = 5$ (коефіцієнти 7, 6, -2, -1, 1).

2) Закодовані значення коефіцієнтів. При цьому для ненульових елементів, рівних по абсолютній величині одиниці, необхідно зберігати тільки їх знак. Коефіцієнти кодуються у зворотному порядку, тобто першим закодованим коефіцієнтом у цьому випадку буде -2. Для кодування використовуються 6 таблиць VLC (Variable Length Codes, коди змінної довжини) Голомба. Для кодування першого коефіцієнта використовується стартова таблиця. Контекстна адаптивність алгоритму полягає в можливості перемінити таблицю для кодування кожного наступного коефіцієнта залежно від попередніх коефіцієнтів.

3) Інформація про знаки. Для кодування знака використовується один біт. Для кодування одиничних коефіцієнтів крім цього біта ніякої іншої інформації не потрібно, а для інших коефіцієнтів знаковий біт включається в коди Голомба. Місцезнаходження кожного ненульового коефіцієнта кодується шляхом вказівки позицій нулів перед останнім ненульовим коефіцієнтом. Ця інформація розбивається на 2 частині:

3.1) Загальна кількість нулів. Це число визначає кількість нулів між останнім ненульовим коефіцієнтом вектора і його початковим елементом. Для даного прикладу це число рівне 3. Тому що вже відомо, що число ненульових коефіцієнтів у векторі (N) рівно 5, те це число повинне бути в межах [0,11]. Для N у межах від 1 до 15 доступно 15 таблиць. N, рівне 16, означає, що у векторі немає нульових коефіцієнтів.

3.2) Розташування нулів у векторі. У даному прикладі потрібно позначити положення 3 нулів. Спочатку кодується кількість нулів перед останнім ненульовим коефіцієнтом (у прикладі - 2). Це число повинне перебуває в межах $[0,3]$, тому використовується відповідна таблиця VLC. Залишилося закодувати положення останнього нуля. Кількість нулів перед передостаннім ненульовим коефіцієнтом повинне бути в межах $[0,1]$. У прикладі це число рівне 1. Більше нулів ні, тому кодування закінчується.

Ефективність кодування може бути підвищена шляхом використання контекстно-адаптивного двійкового арифметичного кодування (САВАС). Використання арифметичного кодування допускає використання нецілої кількості біт на символ алфавіту, що особливо добре для символів з імовірністю більше 0,5. Важливою особливістю САВАС є контекстне моделювання. Статистичні дані про вже закодовані символи використовуються для оцінки ймовірностей символів. Ці дані використовуються для перемикання між декількома моделями для оцінки ймовірності. В H.264/AVC арифметичний кодер являє собою сукупність процедур низької складності, у яких відсутні операції множення. Процедури містять у собі зрушення й звертання до таблиць. Використання САВАС дозволяє зменшити в середньому битрейт на 10--15%. Найбільший вигравш виходить, звичайно, при обробці чересстрочних сигналів ТВ. Порівняння стандартів стиснення показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Порівняння стандартів стиснення й використання у них алгоритмів стиснення

<i>Назва станда рту</i>	<i>Область застосування</i>	<i>Первинний алгоритм</i>	<i>Вторинний алгоритм</i>	<i>Дозволу</i>	<i>Потік</i>	<i>Недоліки та переваги</i>

H.261	ISDN відеоконференції, апаратні кодеки	DCT (блоки 8x8) і квантування межкадрової різниці	VLC (метод Хаффмана)	352x288x 30 176x144x 30	0,04-2 Мбіт/с (рх64 Кбит/с, де р від 1 до 30)	<i>Переваги:</i> простий в апп. реалізації. <i>Недоліки:</i> низький ступінь стиснення, погана компенсація руху (алгоритм розрахований на відео з невеликою кількістю руху, напр. голова співрозмовника)
H.263	Для відеоконференцій у мережах АТМ і по широкосмугових каналах	DCT (блоки 8x8) і квантування	Арифметичне кодування	Sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF, 16CIF, дозволи, що окремо настроюються	0,04-2 Мбіт/с (рх64 Кбит/с, де р від 1 до 30)	<i>Переваги:</i> поліпшений алгоритм компенсації руху в порівнянні з H.261, більш ефективний вторинний алгоритм. <i>Недоліки:</i> перебуває між MPEG-2 і MPEG-4 по кількості закладених ідей
ISO MPEG-1	Зберігання відеопослідовностей на CD-ROM	DCT (блоки 8x8) і квантування	Коди зміною довжини (Хаффман)	352x240x 30 352x288x 25	1,5 Мбіт/с	<i>Переваги:</i> простий в апп. реалізації. <i>Недоліки:</i> низький ступінь стиснення,

						недостатня гнучкість формату.
ISO MPEG-2	Зберігання на DVD			Універсальний	3-15 Мбіт/с	<i>Переваги:</i> порівняльна простота реалізації. <i>Недоліки:</i> недостатній ступінь стиснення, мала гнучкість.
MPEG-4 Part 10 (AVC, H.264)	Кодування окремих аудіовізуальних об'єктів, як природнього походження, так і синтезованого	Цілісне DCT (блоки 4x4), або DWT і квантування міжкадрової різниці	CAVLC чи CABAC	Універсальний	0,0048-20 Мбіт/с	<i>Переваги:</i> високий ступінь універсальності та об'єктноорієнтована робота з потоком даних. <i>Недоліки:</i> висока складність реалізації

MPEG-4, будучи останнім за часом появи стандартом, використовує найбільш ефективні алгоритми стиснення даних, наприклад, алгоритм арифметичного кодування для ентропійного кодування й вейвлет-перетворення в якості первичного алгоритму. Найбільш перспективними зараз представляються наступні напрямки розвитку: використання альтернативних методів стиснення без втрат, таких як різні реалізації арифметичного кодування (напр., CABAC), ланцюгові коди й т.п.; використання альтернативних

перетворень – вейвлет-перетворень (DWT), фрактальних перетворень і виділення об'єктів з їхнім наступним описом.

1.5. Технології стиснення цифрового відео

Існує безліч технологій стиснення цифрового відео, однак зупинимося на тих з них, які лягли в основу найбільш популярних компресорів відео. Деякі з розглянутих компресорів використовують не одну технологію стиснення, а деяку їхню сукупність. Наприклад, і Indeo 3.2, і Сінерак використовують векторну квантизацію. Міжнародні стандарти MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.261 і H.263 використовують комбіновану технологію БДКП і компенсацію руху. Деякі сучасні алгоритми використовують технологію ДВП (Discrete Wavelet Transform, або DWT). Інші технології включають фрактальное стиснення зображень (Fractal Image Compression).

Для початку давайте визначимо поняття «якість стиснення відео». Незважаючи на всю суб'єктивність такого поняття, все-таки спробуємо умовно розділити якість стиснення на наступні рівні (ступені стиснення).

Стиснення без втрат якості.

Стиснення зображень може здійснюватися без втрат якості лише в тому випадку, якщо в процесі стиснення не було втрат даних. У результаті отримане після декомпресії зображення буде в точності (побитно) збігатися з оригіналом. Прикладом такого стиснення може служити формат GIF для статичної графіки й GIF89а для відео.

Стиснення із втратами якості.

Стиснення може відбуватися із втратами якості, якщо в процесі стиснення інформація була загублена. Однак з погляду людського сприйняття стисненням із втратами слід уважати лише такий стиснення, при якому можливо на око відрізнити результат стиснення від оригіналу. Таким чином,

незважаючи на те що два зображення - оригінал і результат стиснення з використанням того або іншого компресора - побитно можуть не збігатися, проте різниця між ними може бути зовсім непомітною. Прикладом може служити алгоритм JPEG для стиснення статичної графіки й алгоритм М-JPEG для стиснення відео.

Стиснення без втрат з погляду сприйняття.

Формально будучи стисненням із втратами якості, схема стиснення може в той же час видатися стисненням без втрат з погляду сприйняття її людиною. Більшість технологій стиснення з формальною втратою якості мають так званий Фактор Якості Стиснення (ФКС), що характеризує саме сприйману сторону якості, що й варіюється в межах від 0 до 100. При факторі якості стиснення рівному 100 сприймані характеристики якості стислого відео неотличимі від оригіналу.

MPEG і інші технології стиснення із втратою якості іноді стисненняють, без втрат переступаючи за грань стиснення з погляду сприйняття відеоінформації. Проте стислі відео й статичні зображення цілком прийнятні для адекватного сприйняття їх людиною. Іншими словами, у цьому випадку спостерігається так звана природня деградація зображення, при якій губляться деякі дрібні деталі сцени. Схоже може відбуватися й у природніх умовах, наприклад при дощі або тумані. Зображення в таких умовах, як правило, помітне, однак деталізація його зменшується.

Низька якість стиснення, у значній мірі, що спотворює зображення, що й вносить у нього штучні (не існуючі в оригіналі) деталі сцени, називається неприродним стисненням із втратою якості. Прикладом тому може служити деяка «блочність» у сильно стислому Mpeg-E й в інших компресорах, що використовують технологію БДКП. Неприродність полягає в першу чергу в порушенні найважливіших з погляду сприйняття людиною характеристик зображення – контурів. Досвід показує, що саме контури дозволяють

сприймаючому апарату людини правильно ідентифікувати той або інший візуальний об'єкт.

Отже, відзначимо, що всі широко використовувані відеокомпресори використовують технології стиснення із втратами якості. При досить високих коефіцієнтах стиснення всі вони будуть стисненняти з неприродною втратою якості. Таким чином, вибираючи той або інший компресор для стиснення цифрового відео, необхідно досягти стиснення, принаймні із природніми втратами якості.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНОЇ БАЗИ РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ СТИСНЕННЯ ВІДЕО З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСОРНИХ ВТРАТ

2.1. Класифікація методів стиснення цифрового відео

Число різноманітних форматів цифрового відео величезне.

AVI (Audio Video Interlive)

Avi-файли - особливий випадок файлів RIFF. (скорочено від Resource Interchange File Format). Цей формат, що споконвічно призначав для обміну мультимедійними даними, був Microsoft разом з IBM. Даний формат є найпоширенішою формою вистави відео на персональних комп'ютерах. Залежно від форми вистави відеоданих файли AVI бувають різних стандартів.

Стандарти Avi- Файлов

Відеодані в AVI можуть бути сформовані й стиснуті різними способами. Наприклад, Video for Windows 1.1поставляється зі стандартним набором компресорів. А саме:

- Intel Indeo (version 3.2);
- Microsoft Video 1;
- Microsoft RLE (Run Length Encoding);
- Cinepak;

Для кожного стандарту передбачений так званий 4- символний код The Four Character Code (FOURCC). Аматорам стандартів і екзотики пропонуємо відвідати сторінку в Інтернеті FOURCC Microsoft за посиланням: <http://www.microsoft.com/hwdev/devdes/fourcc.htm>.

Можна тримати Avi-файли у формі незжатих кадрів. Для цього не потрібно ніяких компресорів.

4-символьний код цього стандарту - 'DIB', (Microsoft Device Independent Bitmap).

Проте існує принаймні ще три FOURCC для незжатих Avi-файлів:

'RGB '; 'RAW '; 0x00000000 (FOURCC, чие шістнадцятиричне значення рівне 0).

Кодування змінної довжини (MRLE)

Особливістю даної схеми кодування відео зображень є те, що MRLE здатна кодувати відео тільки в 8-бітній палітрі (256 кольорів). Вона не підтримує так звані режими "High Color" (216 кольорів) або "True Color" (224 або 232 кольорів).

Intel Real Time Video 2.1 (Indeo 2.1) (RT21)

Включений до складу стандартної поставки Microsoft Video For Windows 1.1.

Intel Indeo 3.1/3.2 (IV31 і IV32)

Особливістю методу є використання алгоритму векторної квантизації зображень (див. нижче).

Intel® Indeo® Media Kit 5.0

Cinepak (CVID)

Один з найпоширеніших і використовуваних компресорів Video for Windows. Забезпечує найбільш швидке відтворення відео. На відміну від Indeo 32, яка забезпечує ледве краща якість, однак помітно обтяжує процесор при декомпресії, Cinepak максимально розвантажує процесорний ресурс.

На сьогоднішній день існує принаймні три стандарти для Cinepak.

- Cinepak Supermac (споконвічний, 16- бітний компресор);
- Cinepak Radius (новий, поліпшений 16- бітний компресор);
- Cinepak Radius (32-бітна версія Radius Cinepak, що поставляється

разом з Windows 95).

Особливістю методу є використання алгоритму векторної квантизації зображень разом з алгоритмом різниці кадрів (див. нижче).

MPEG (Motion Pictures Expert Group). Один з найбільш популярних форматів вистави цифрового відео. У цей час існують три його специфікації: MPEG-1, MPEG-2 і MPEG-4. Незважаючи на більшу гнучкість стандарту, що дозволяє для різних додатків міняти в широкій межах значення більшості його параметрів (такі як розширення зображень, аспектне відношення, частота кадрів), розроблювачі його спочатку були орієнтовані на використання як основний носія кодованої інформації компакт дисків (CD-ROM) зі швидкістю передачі даних 50 Кбіт/с. У результаті базовий алгоритм (MPEG 1) обмежує швидкість передачі діапазоном 150-225 Кбіт/с, розширення зображень (кадрів) як 352*288(Pal) або 320*240 (NTSC), частоту їх зміни 25 (PAL) або 30 (NTSC). Далі для простоти обмежимося розглядом Pal-системи.

Mpeg-Компресія використовує наступні основні ідеї:

1. Усунення тимчасової надмірності відео, що враховує той факт, що в межах коротких інтервалів часу більшість фрагментів сцени виявляються нерухливими або незначно зміщаються по полю.
2. Усунення просторової надмірності зображень придушенням дрібних деталей сцени, несуттєвих для візуального сприйняття людиною;
3. Використання більш низького колірною дозволу при yuv- виставі зображень (у – яскравість, u і v – сигнали різниці кольорів) – установлене, що око менш чутливе до просторових змін відтінків кольору в порівнянні зі змінами яскравості.
4. Підвищення інформаційної щільності результуючого цифрового потоку шляхом вибору оптимального математичного коду для його опису (наприклад, використання більш коротких кодових слів для найбільше часто повторюваних значень).

Зображення в Mpeg-послідовності підрозділяються на наступні типи:

- I (intra), що відіграють роль опорних при відновленні інших зображень по їхніх різницях;
- P (predicted), що містять різницю поточного зображення з попереднім I або P з урахуванням зсувів окремих фрагментів;
- B (bidirectionally predicted), що містять різницю поточного зображення з попереднім і наступним зображеннями типів I або P з урахуванням зсувів окремих фрагментів.

Зображення поєднуються в групи (GOP – Group Of Pictures), що представляють собою мінімальний повторюваний набір послідовних зображень, які можуть бути декодовані незалежно від інших зображень у послідовності. Типової є група виду (I0 B1 B2 P3 B4 B5 P6 B7 B8 P9 B10 B11) (I12 B13 B14 P15 B16 B17 P18...), у якій I тип повторюється кожні полсекунди. Оборотною увагою, що в зображенні P3 основна частина фрагментів сцени передвіщається на підставі відповідних зміщених фрагментів зображення I0. Властиво кодуванню зазнають тільки різниці цих пар фрагментів. Аналогічно P6 «будується» на базі P3, P9 – на базі P6 і т.д. У той же час більшість фрагментів B1 і B2 передвіщаються як напівсума зміщених фрагментів з I0 і P3, B4 і B5 – з P3 і P6, B7 і B8 – з P6 і P9 і т.д. Поряд із цим B-зображення не використовуються для пророкування ніяких інших зображень. У силу залежності зображень у процесі їх кодування міняється порядок проходження. Для вищенаведеної послідовності він буде наступним: I0 P3 B1 B2 P6 B4 B5 P9 B7 B8 I12 B10 B11 P15 B13 B14 P18 B16 B17....

Ясно, що точність кодування повинна бути максимальної для I, нижче – для P, мінімальної - для B. Установлене, що для типових сцен гарні результати досягаються при відведенні числа біт для I в 3 рази більше, чим для P, і для B в 2-5 раз більше, чим для B. Ці відносини зменшуються для динамічних сцен і збільшуються для статичних.

Окремі зображення складаються з макроблоків. Макроблок - це основна структурна одиниця фрагментації зображення. Він відповідає ділянці зображення розміром 16x16 пікселів. Саме для них визначаються вектора зсуву відносно I- I- або P- зображень. Загальне число макроблоків у зображенні – 396. Для підвищення стійкості процесу відновлення зображень до можливих помилок передачі даних послідовні макроблоки поєднують у незалежні один від одного розділи (slices), максимальним числом 396. У граничному випадку «чистої» передачі на зображення доводиться всього один розділ з 396 макроблоків. У свою чергу кожний макроблок складається із шести блоків, чотири з яких несуть інформацію про яскравість Y, а по одному визначають колірні U- і V-компоненти. Кожний блок являє собою матрицю 8*8 елементів. Блоки є базовими структурними одиницями, над якими здійснюються основні операції кодування, у тому числі виконується дискретне косинусне перетворення (DCT – Discrete Cosine Transform) і квантування отриманих коефіцієнтів.

Motion JPEG или M-JPEG (MJPEG). Більшість настільних систем відеозаписи (video capture) і відеоредагування (video editing) використовують саме цей метод при записі відео в Avi-файли. В Motion JPEG кожний відеокадр зображення стисненняється окремо з використанням стандарту JPEG. Ніяких інших додаткових алгоритмів при цьому не використовується. Безумовною гідністю цього методу є можливість редагування відео без втрат якості, тому що кадри є незалежними. Цим, по суті справи, і визначається використання даного методу саме як механізму зберігання відео, що служить для його редагування, а не для поширення. Motion JPEG використовує алгоритм блокового ДКП (Block Discrete Cosine Transform (DCT)) для стиснення зображень.

Editable MPEG (XMPG. MPGI). Editable MPEG, так само як і M-JPEG, використовується для редагування цифрового відео являє собою Avi-файл, що полягає тільки з кадрів MPEG типу Й. Однак усі інші механізми стиснення

MPEG отут задіяні. Входить у стандартну поставку Microsoft Video for Windows 1.1. і використовується такою настільною системою редагування цифрового відео, як, наприклад, Adobe Premiere.

Хоча перераховані вище компресори досить популярні, проте це далеко не всі стандарти стиснення Avi-файлів. Характеризуючи цю групу компресорів, можна відзначити, що вони проектували й створювалися в першу чергу як засобу стиснення відео- і аудіоданих компакт-дисках, що зберігаються на жорстких дисках і, а це, у свою чергу, свідчить про їхні невеликі можливості при стиснення й відносно високій якості при відтворенні.

Із приходом Інтернету все більшу популярність одержують методи й засобу стиснення відео- і аудіоданих, що дозволяють, застосовуючи передові технології (sophisticated motion estimation and compensation, wavelets, fractals і інші), досягти найменших співвідношень «кілобіт/секунда», що дозволили проводити, наприклад, сеанси відеоконференцій засобами Інтернету. Ясно, що такі методи стиснення забезпечують суттєво більший ступінь стиснення, при відносно низькій якості.

Покоління компресорів – H.XXX. Зовсім недавно була офіційно зареєстрована нова серія компресорів цифрового відео, що визначає тенденції розвитку механізмів стиснення відео. Деякі компресори сімейства H.XXX, наприклад H.261, досить популярні, інші маловідомі й використовують такі передові й поліпшені технології, як wavelets.

Відмінною рисою компресорів сімейства H.XXX є їхня націленість на зменшення потоку цифрового відео через Інтернет, що природно приводить до відходу фактора якості на другий план. Деякі продукти сімейства H.XXX Microsoft удосконалює, а деякі вже входять до складу таких пакетів телеконференцій, як Netshow і Netmeeting.

Vdowave або Vdolive від Vdonet (VDOM, VDOW)

Vdonet випускає wavelet – відеокомпресор, включений у комплект реалізації 32-бітної версії Video for Windows. Microsoft використовує Vdowave як частина Netshow. У цей час існують дві версії компресора Vdowave:

- Vdowave 2.0 is a fixed rate video codec.
- Vdowave 3.0 is a "scalable" video codec.

Стандартний набір Netshow 2.0 установлює тільки декодер Vdowave. Засіб розробки Netshow 2.0 установлює як кодер, так і декодер Vdonet Vdowave. По деяких тестах, Vdowave суттєво перевершує по стисненню MPEG-1 і інші компресори, що базуються на алгоритмі блокового ДКП (block Discrete Cosine Transform), але лише при низьких відносинах «кілобіт/секунда».

MPEG-4 (MPG4)

Microsoft's Netshow 2.0 установлює компресор MPEG-4, що є новим міжнародним стандартом, який, однак, офіційно ще не визнаний.

Продуктивність компресорів AVI. Для перевірки продуктивності різних компресорів була зроблена серія експериментів на десятисекундному відеофрагменті, записаному при 30 кадрах у секунду, 320x240, у колірній палітрі 24 біта на пиксел зображення.

Далі даний відеофрагмент послідовно стисненнявся різними відеокомпресорами засобами Microsoft Video for Windows 1.1. За винятком відзначених випадків, отримана якість істотна не відрізнялося від оригінального.

Умовні позначки: ФКС, що коливається в інтервалі 0.. 100 фактор, що й настраюється, якості стиснення. ТС: технологія, що використовується при стиснення. КК X: ключовий кадр через кожні X.

2.2. Основні алгоритми стиснення відео

Відео – це по суті тривимірний масив кольорових пікселів. Два виміри означають вертикальну та горизонтальну роздільну здатність кадру, а третій вимір – це час. Кадр – це масив всіх пікселів, видимих камерою в даний момент часу, або просто зображення.

Стиснення було б неможливо, якби кожен кадр був унікальним і розташування пікселів було повністю випадковим, але це не так. Тому можна стисненняти, по-перше, саму картинку – наприклад, фотографія блакитного неба без сонця фактично зводиться до опису граничних точок і градієнта заливки. По-друге, можна стисненняти схожі сусідні кадри. В остаточному підсумку, алгоритми стиснення картинок і відео схожі, якщо розглядати відео як тривимірне зображення з часом як третьої координатою. [5]

Алгоритми стиснення відео використовують сучасні методи кодування щоб зменшити надмірність у відеоданих. Більшість алгоритмів стиснення відео поєднують просторове стиснення зображень і часову компенсацію руху. Стиснення відео являє собою практичну реалізацію кодування джерела в теорії інформації. [6]

Кодування довжин серій (run length encoding) – простий алгоритм стиснення даних, який оперує серіями даних, тобто послідовностями, в яких один і той же символ зустрічається кілька разів поспіль. При кодуванні рядок однакових символів, що становлять серію, замінюється рядком, який містить сам повторюваний символ і кількість його повторів (рис.2.1). RLE добре стисненняє зображення, в яких спостерігається повторення контурів або кольорів окремих елементів. У повнокольорових зображеннях повторень кольору значно менше, тому стиснення повнокольорового відео з використанням технології RLE позбавлене всякого сенсу.

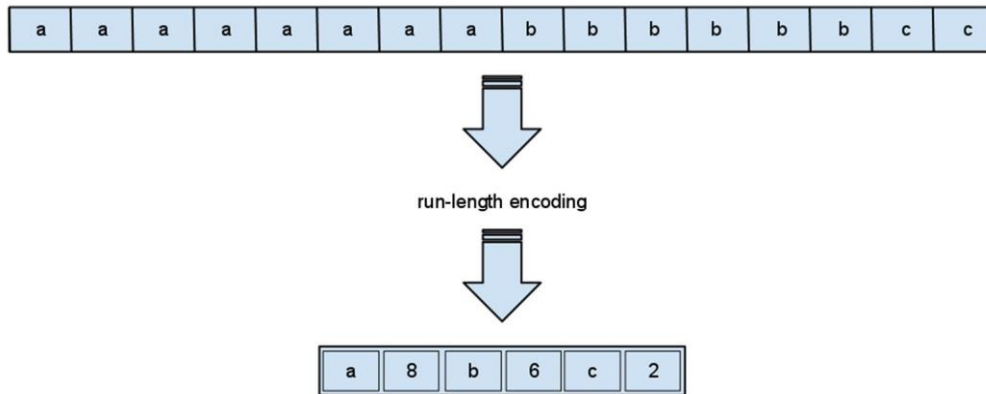


Рис.2.1. Приклад алгоритму RLE, послідовність з 16 символів стисненняється до послідовності з 6

Алгоритм різниці кадрів існує завдяки тій обставині, що в більшості відео картинка від кадру до кадру мало відрізняється (рис.2.2). Таким чином, повторювані елементи кадру доцільно зберігати у пам'яті лише один раз, посилаючись на них замість дублювання. До таких елементів відносяться, в основному, нерухомі та незмінні фони, задній план, тощо.

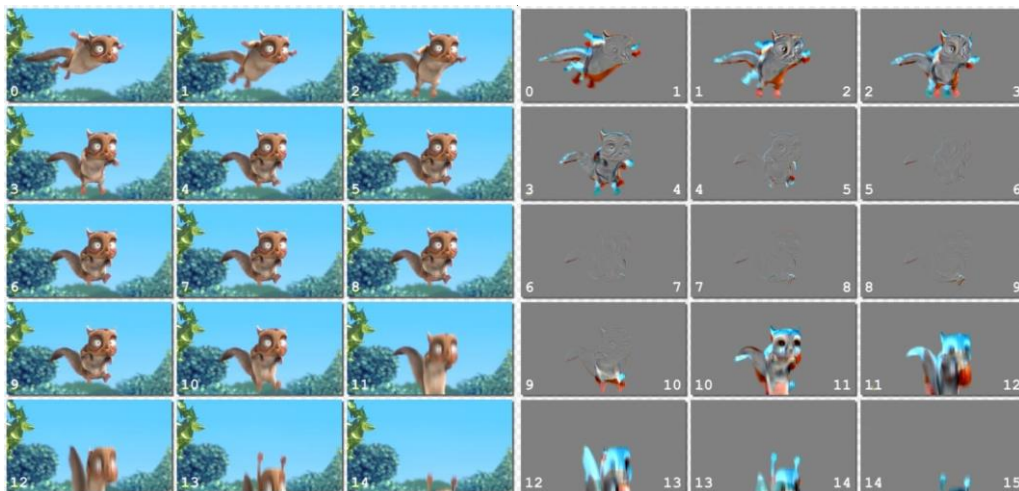


Рис.2.2. Оригінальні кадри анімації і кадри, що містять лише фрагменти, які змінюються

Рухомі елементи, з іншого боку, залишаються нестисненими, тому чим їх менше у відеоряді – тим краще стисненняє алгоритм. У міру застосування алгоритму векторного квантування для кодування послідовності кадрів і отримання при цьому малих коефіцієнтів, що важко кодуються, в кадри поступово вкрадається помилка. Ця обставина вимагає включення в відеоряд так званих ключових кадрів – зображень, які кодуються без врахування попередніх і є так званими «опорними точками» у відео.

Компенсація руху базується на використанні декількох складних алгоритмів. Сфера застосування даної технології, як правило, зводиться до відеоряду, в якому об'єкт змінює своє місце розташування відносно нерухомого фону. Об'єкти, які змінюють свою форму, які наближаються або віддаляються (рухома камера), не підлягають ефективному стисненню при використанні даного алгоритму. Стиснення відбувається за рахунок завдання вектору зміщення елементів зображення, що на практиці дозволяє набагато ефективніше зберігати інформацію у порівнянні з зберіганням значень нових координат даних елементів зображення.

Основним блоком, щодо якого задається вектор зміщення інших, другорядних блоків, може бути будь-який блок зображення розміром 16x16 пікселів, що водночас є максимально схожим на той блок, що кодується (див. рис.2.3).



Рис.2.3. Приклад застосування компенсації руху

Кадр, на який посилаються таким чином інші кадри, повинен обиратися раніше або пізніше. Таким чином в кінці отримується набір векторів, що вказують рух блоків зображення між кадрами. [2]

Варто зауважити, що під час реалізації даного алгоритму виникають певні питання і проблеми, наприклад проблема оцінки «схожості» фрагментів зображення або питання пошуку потрібного блоку. Для даного алгоритму можуть використовуватися декілька критеріїв схожості: підрахування суми квадратичних відхилень, порівняння за характерними точками, обчислення суми абсолютних різниці.

Основна ідея векторного квантування полягає в розбитті зображення на блоки. Як правило, деякі блоки виявляються схожими один на одного. В цьому випадку компресор ідентифікує клас схожих блоків і замінює їх одним загальним блоком. Крім того, генерується двійкова таблиця (карта) таких загальних блоків з найкоротших кодових слів. Потім ВК-декодер, використовуючи таблицю, збирає зображення по блоках із загальних блоків. Ясно, що даний спосіб кодування з втратами якості, так як, строго кажучи, схожість блоків дуже відносна. Процес кодування тривалий і трудомісткий, так як кодеру необхідно виявляти приналежність кожного блоку зображення до якогось спільного блоку. Однак завдання декодування в цьому випадку зводиться до задачі побудови зображення по заданій карті із загальних блоків і не займає велику кількість апаратних і часових ресурсів. Таблицю або карту також називають ще і кодовою книгою, а двійкові коди, що входять до неї, - кодовими словами. Найбільше стиснення з використанням алгоритму ВК досягається шляхом зменшення числа класів загальних блоків, тобто припущенням про схожість щодо більшого числа блоків зображення, і, як наслідок, зменшенням кодової книги. У міру зменшення розмірів кодової книги якість відтвореного відео погіршується. В результаті на зображенні з'являється штучна «блочність». [1]

Простий приклад, нехай маємо три наступні блока 4x4:

Блок 1			
28	28	28	28
28	28	28	28
28	28	28	28
28	28	28	28

Блок 2			
28	27	28	28
28	28	28	28
28	28	27	28
28	28	28	28

Блок 3			
28	27	26	28
28	28	28	28
29	28	28	28
28	28	28	28

Ці три блоки для людського ока не відрізняються. Таким чином, 2-ий і 3-ий блоки можна спокійно замінити першим. Тоді кодова книга матиме такий вигляд:

Кодова книга 1			
28	28	28	28
28	28	28	28
28	28	28	28
28	28	28	28

Важливою особливістю технології векторного квантування є те, що при стисненні відео одна і та ж кодова книга може використовуватися для декількох кадрів зображення. [4]

ДКП широко використовується при стисненні цифрових зображень та відео. Більше того, формати стиснення, що мають у своїй основі ДКП, сьогодні є найбільш використовуваними і поширеними. Стандарт стиснення статичної графіки JPEG, використовуваний у відеоконференціях стандарт H.263, цифрові відеостандарти MPEG (MPEG-1, MPEG-2 і MPEG-4) – всі вони використовують ДКП. У цих стандартах використовується, зокрема, двовимірне ДКП, що застосовується послідовно до блоків зображення розмірністю 8×8 пікселів (рис 2.4). ДКП обчислює 64 ($8 \times 8 = 64$) коефіцієнта, які потім квантизуються, забезпечуючи тим самим стиснення. У більшості зображень більшість ДКП-коефіцієнтів в силу своєї малості після квантування обнуляються. Ця властивість ДКП і лежить в основі безлічі алгоритмів стиснення, що використовують ДКП.

Крім того відомо, що людське око є набагато менш чутливим до високочастотних компонентів зображення, які представляють великими коефіцієнтами ДКП.

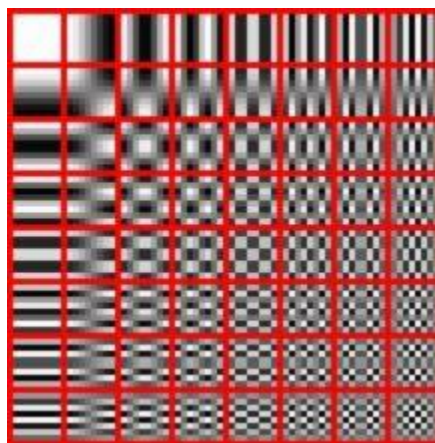


Рис.2.4. Візуалізація застосування двовимірного ДКП до масиву даних 8×8

До цих більших значень коефіцієнтів може бути застосований (і, як правило, застосовується) більший фактор квантування.

2.3. Порівняльна характеристика алгоритмів стиснення відео та обгурнтування обраного методу

Тепер, проаналізувавши вищевказані алгоритми стиснення окремо, варто порівняти їх переваги, недоліки і області застосування (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Порівняльна характеристика методів стиснення відео

<i>Алгоритм</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>	<i>Застосування</i>
Кодування довжин серій	Простий алгоритм	Не підходить для стиснення реальних відеозаписів	Цифрові 8-бітні зображення, цифрові анімації з малою кількістю кольорів
Різниця кадрів	Краще стиснення, ніж незалежне стиснення окремих кадрів	Необхідність введення ключового кадру	Відео з великою кількістю повторюваних кадрів
Компенсація руху	Краще стиснення ніж у різниці кадрів	Кодування вельми трудомістке і вимагає спеціальну апаратуру	Відео з переміщенням одного об'єкту відносно

			нерухомого фону
Векторне квантування	Процес декодування дуже швидкий	Кодування вельми трудомістке і вимагає спеціальну апаратуру; Блочні спотворення при сильному стисненні	Відео високої якості, яке має небагато повторюваних елементів
Дискретне косинус перетворення	Краще стиснення, ніж при векторному квантуванні	Блочні спотворення при сильному стисненні; Закруглення гострих кутів зображення	Відео високої якості, яке має небагато повторюваних елементів

Дана робота ставить за мету розглянути стиснення високоякісного відео, такого, яке не має великої кількості повторюваних елементів і не підлягає стисненню алгоритмами, що сильно залежать від наявності таких елементів.

Для цього найкраще підходить сімейством стандартів MPEG (Moving Picture Experts Group – Експертна група з питань рухомого зображення), які стали одними з найбільш поширених стандартів ери цифрового відео.

Метою даної роботи є розробка алгоритму стиснення цифрових зображень та відео, що мають у своїй основі ДВП. Для досягнення цієї мети доречно обрати вже існуючий формат стиснення відео, розібрати принцип його роботи і визначити, які елементи його алгоритму необхідно замінити, щоб отримати аналогічний формат стиснення, але з використання ДВП замість ДКП. Спершу розглянемо схему роботи алгоритму MPEG (Motion JPEG) (рис. 2.5).

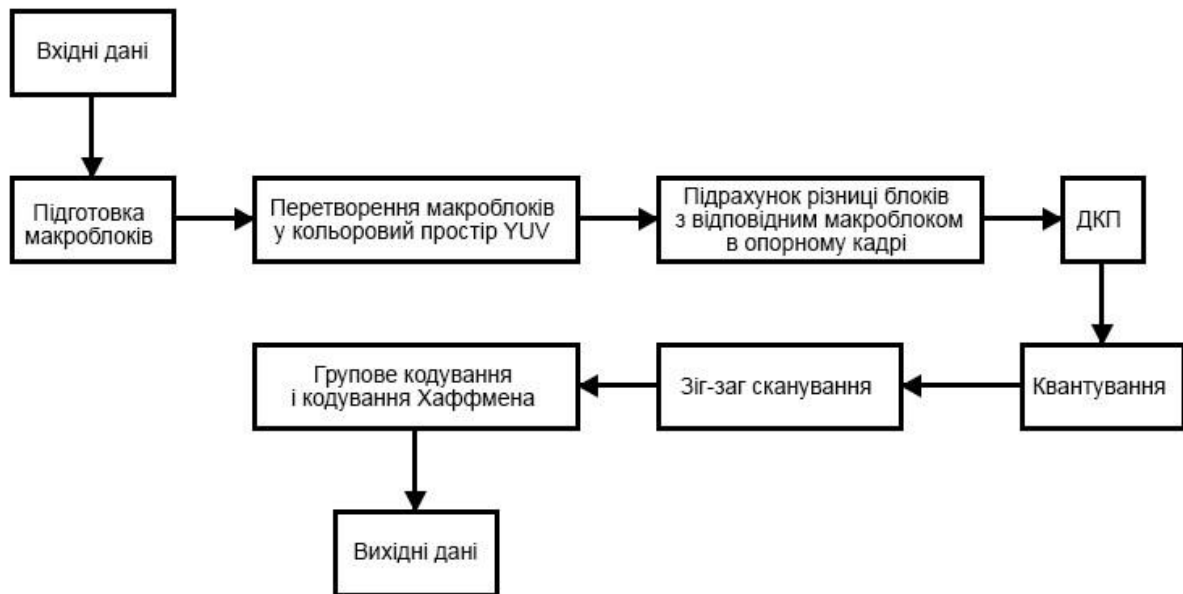


Рис 2.5. Структура алгоритму MPEG

Таким чином зі схеми алгоритму можна виділити 7 основних кроків:

1. Підготовка макроблоків;
2. Перетворення макроблоку у кольоровий простір YUV. Отримання потрібної кількості матриць 8x8;
3. Для P і B-блоків виконується підрахунок різниці з відповідним макроблоком в опорному кадрі;
4. ДКП;
5. Квантування;
6. Зігзаг-сканування;
7. Групове кодування і кодування Хаффмана [7].

Розглянемо ці складові детальніше. Технологія стиснення відео в MPEG розділяється на дві частини: зменшення надмірності відеоінформації в часовому вимірі, засноване на тому, що сусідні кадри, як правило, відрізняються

несильно, і стиснення відслуханих зображень. В процесі MPEG кодування усуваються надлишкові відеодані в серії поруч розташованих кадрів.

Два сусідніх кадри зазвичай містять між собою багато однакових елементів зображення. Інформація в них відрізняється вельми мало, порівняно з всією інформацією, яка міститься в кадрі. Тому проводиться стиснення відео, при якому використовуються в повному обсязі дані кожного відеокадру, а динаміка змін кадрів, так як в переважній більшості послідовних кадрів одного відео-сюжету фон зазвичай залишається однаковим, а добре помітні та важливі зміни відбуваються на передньому плані. [8]

Для того щоб задовольнити суперечливим вимогам і збільшити гнучкість алгоритму, розглядаються 4 типи кадрів (див. рис. 2.6.):

- I-кадри – кадри, стиснені незалежно від інших кадрів (I-Intra pictures);
- P-кадри – стиснені з використанням посилання на лише одне зображення (P-Predicted);
- B-кадри – стиснені з використанням посилання на два зображення (B-Bidirection);
- DC-кадри – незалежно стиснені кадри з великою втратою якості (використовуються тільки при швидкому пошуку).

I-кадри забезпечують можливість довільного доступу до будь-якого кадру, будучи своєрідними вхідними точками в потік даних для декодера. P-кадри використовують при архівації посилання на один I- або P-кадр, підвищуючи тим самим ступінь стиснення фільму в цілому. B-кадри, використовуючи посилання на два кадри, що знаходяться попереду і позаду, забезпечують найвищий ступінь стиснення. Самі в якості посилання використовуватися не можуть. [7]

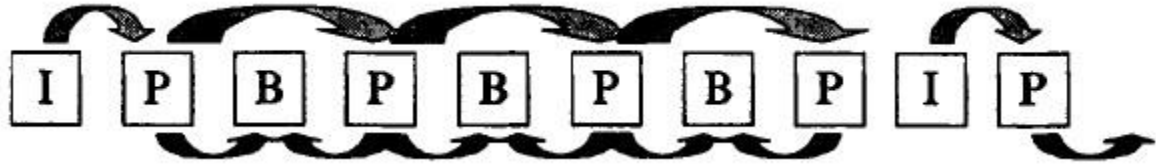


Рис.2.6. I-кадри – незалежно стиснені. P-кадри – стиснені з використанням посилання на одне зображення. B-кадри – стиснені з використанням посилання на два зображення.

Процес скорочення даних проводиться таким чином: перш за все створюється опорний кадр (I, Intra frame). Такі I-кадри використовуються для реконструкції інших кадрів і розміщуються послідовно через кожні 10-15 кадрів. Лише деякі фрагменти кадрів, що знаходяться між I-кадрами, встигають змінитися, і саме ці зміни і фіксуються в процесі стиснення.

I-кадри складають основу MPEG потоку і через них здійснюється випадковий доступ до будь-якого уривку відео. Самі I-кадри для забезпечення візуально високої якості стисненняються незначно.

P-кадри кодуються щодо попередніх кадрів (I або P) і використовуються як порівняльний зразок для подальшої послідовності Pкадрів. У цьому випадку досягається високий рівень стиснення.

B-кадри кодуються з високим ступенем стиснення. Для прив'язки Bкадрів до відеопослідовності необхідно використовувати не тільки попереднє, але і подальше зображення. B-кадри ніколи не використовуються для порівняння.

Кадри складаються з макроблоків, що представляють собою малі фрагменти зображення розмірністю 16 x 16 пікселів. Процесор MPEGенкодера аналізує кадри і знаходить ідентичні або дуже близькі макроблоки, порівнюючи базовий і наступні кадри. В результаті зберігаються лише дані про відмінності між досліджуваними кадрами. Ці відмінності мають назву вектор зміщення (vector movement code). Макроблоки, що не містять змін, не враховуються, і за

рахунок цього кількість даних для передачі значно знижується. Для нейтралізації впливу похибок при передачі даних послідовні макроблоки об'єднуються в незалежні один від одного розділи (slices). Кожен макроблок, у свою чергу, складається з шести блоків, чотири з яких несуть інформацію про яскравість (Y), а решта 2 блоки – інформацію кольоровідмінних сигналів (U / V). Блоки являють собою базові одиниці, над якими здійснюються основні математичні операції кодування, наприклад, дискретне косинус перетворення. [7, 8]

Одним з основних понять при стисненні декількох зображень є поняття макроблоку. При стисненні кадр з колірною простору RGB переводиться в колірний простір YUV. Кожна з площин, що стисненняється зображення (Y, U, V) розділяється на блоки 8x8, з якими працює ДКП. Причому площині U і V, відповідні компоненти кольоровості, беруться з дозволом в 2 рази меншим (по вертикалі і горизонталі), ніж вихідне зображення.

Таким чином, ми відразу отримуємо стиснення в 2 рази, користуючись тим, що око людини гірше розрізняє колір окремої точки зображення, ніж її яскравість (докладніше про ці перетворення дивіться в описі алгоритму JPEG). Блоки 8x8 групуються в макроблоки. Макроблок – це група з чотирьох сусідніх блоків в площині компоненти яскравості Y (матриця пікселів 16x16 елементів) і два відповідних їм по розташуванню блоку з площин кольоровості U і V. Таким чином, кадр розбивається на незалежні одиниці, що несуть повну інформацію про частину зображення. При цьому розмір зображення повинен бути кратний 16.

Окремі макроблоки стисненняються незалежно, тобто у В-кадрах ми можемо стиснути конкретний макроблок як І-блок, Р-блок з посиланням на попередній кадр, Р-блок з посиланням на наступний кадр і, нарешті, як Вблок.

Найпростіший спосіб враховувати подібність сусідніх кадрів - це знаходження різниці між кожним блоком стисненого кадру з відповідним

блоком попереднього. Проте існує більш гнучкий алгоритм для пошуку векторів, на які блоки поточного кадру зсунулися по відношенню до попереднього. Для кожного блоку в досліджуваному зображенні потім знаходиться блок, близький за деякою характеристикою/параметром (наприклад, за середньоквадратичним відхиленням). Якщо мінімальна відстань за обраними критеріями з блоками в попередньому кадрі перевищує попередньо визначений поріг, то блок стисненняється незалежно (рис. 2.7.).

Таким чином, одночасно з кожним блоком в послідовність тепер зберігаються координати зсуву найбільш подібного блоку в попередньому I- або P-кадрі, або ознака того, що дані стиснуті незалежно. Ці координати і визначають вектор зміщення блоку (motion vector).

У випадках, коли камера наближається до об'єкту або охоплює панораму, використання векторів зміщення блоків дає можливість суттєво зменшити амплітуду різниці кадрів і, як наслідок, значно покращити ступінь стиснення.

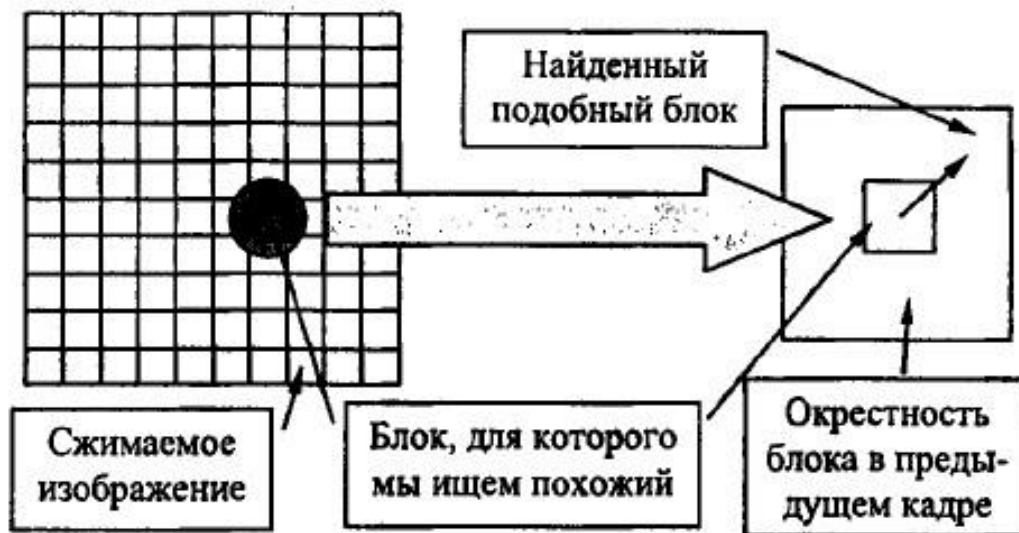


Рис. 2.7. Пошук векторів зміщення блоку

Якщо проаналізувати реальні фільми, то можна побачити, що частіше ніж ні блок зсувається не на кратне число пікселів, а, наприклад, на 10.4 пікселя

(камера швидко рухається вправо, план зйомки зсувається рівномірно і проходить повний кадр розміром 352x240 за 1.35 с). При цьому виявляється, що для підвищення ступеня стиснення вигідно будувати 4 області пошуку векторів зсувів: вихідну, зрушену на півпікселя по горизонталі, зрушену на півпікселя по вертикалі і зрушену на півпікселя по горизонталі і по вертикалі (по діагоналі), які будуються за допомогою досить швидких алгоритмів білінійної або кусочно-лінійної апроксимації.

Цей прийом також дозволяє зменшити різницю між блоками і підвищити ступінь стиснення при мінімальній додатковій інформації, яку треба зберігати в файл (плюс 2 біта на кожен блок). Також треба розуміти, що алгоритм пошуку оптимальних векторів зсуву полягає, власне кажучи, в переборі. Існують різні методи зменшення цього перебору, і налаштування відеокодеків, що регулюють швидкість стиснення, нерідко варіюють саме параметри методу перебору. [7]

Будучи ключовим кроком алгоритму стиснення, ДКП являє собою один з різновидів перетворення Фур'є і має зворотне перетворення (ЗДКП).

Якщо розглядати зображення як сукупність просторових хвиль, де осі X і Y відповідають ширині і висоті зображення, а вісь Z використовується для зберігання значення кольору відповідних пікселів, то стає можливим перейти від просторового уявлення картинки до її спектрального подання і навпаки. ДКП перетворює матрицю пікселів розміру $N \times N$ в матрицю частотних коефіцієнтів відповідного розміру.

Варто зазначити, що в ході обчислень використовується тільки 32 заздалегідь обчислених значень косинусів, що, в свою чергу, дозволяє суттєво збільшити швидкість роботи перетворення. Це вже, безсумнівно, призводить до часткової втрати інформації, але її обсяги щодо несуттєві.

Невеликого збільшення продуктивності можна домогтися, якщо при обчисленнях використовувати тільки цілочисельну арифметику, що, зокрема, є актуальним лише для застарілих обчислювальних апаратів, так як в сучасних

комп'ютерах вартість операцій над числами з плаваючою крапкою не відрізняється від операцій над цілими. Також використання целочисленної арифметиці негативно позначається на якості що стисненняється зображення, що робить цей метод неприйнятним для сучасних комп'ютерів. Так як ДКП є різновидом перетворення Фур'є, то всі методи збільшення продуктивності перетворення Фур'є можуть бути використані і тут.

На даному етапі виконується відкидання малозначущих коефіцієнтів з матриць 8x8. Для цього використовуються матриці квантування. Саме на цьому етапі відбуваються втрати якості зображення/відео. Кожний Фурьєкоефіцієнт ділиться на відповідне число в матриці квантування. На рис 1.8. наведена матриця, що приводиться у специфікації JPEG.

1104	-6	-24	15	-14	0	0	0
-108	-8	4	0	8	0	0	0
8	16	20	7	1	0	0	0
24	10	0	9	0	1	0	0
10	35	0	0	0	0	0	0
7	-11	17	0	24	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0

 \div

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

 $=$

69	-1	-2	1	-1	0	0	0
-9	-1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2.8. Квантування з якістю 50%

Дана таблиця відповідає 50% якості і була обрана з точки зору балансу якості і ступеня стиснення. У отриманій матриці коефіцієнт (0,0) дуже великий порівняно з рештою значень. Цей коефіцієнт називається DCкоефіцієнт, а всі решта – AC-коефіцієнти.

При декодуванні відбувається зворотній процес – квантовані коефіцієнти почленно множаться на значення матриці квантування, але за рахунок округлення значень точно відновити вихідні коефіцієнти неможливо. Чим більше число квантування, тим більше похибка. Таким чином, відновлений коефіцієнт є лише найближчим кратним. На рис. 2.9. та рис. 2.10 приведені

матриці квантування при налаштуваннях стиснення JPEG 90% та 5% якості відповідно.

1104	-6	-24	15	-14	0	0	0
-108	-8	4	0	8	0	0	0
8	16	20	7	1	0	0	0
24	10	0	9	0	1	0	0
10	35	0	0	0	0	0	0
7	-11	17	0	24	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0

 \cdot

3	2	2	3	5	8	10	12
2	2	3	4	5	12	12	11
3	3	3	5	8	11	14	11
3	3	4	6	10	17	16	12
4	4	7	11	14	22	21	15
5	7	11	13	16	21	23	18
10	13	16	17	21	24	24	20
14	18	19	20	22	20	21	20

 $=$

368	-3	-12	5	-3	0	0	0
-54	-4	1	0	2	0	0	0
3	5	7	1	0	0	0	0
8	3	0	2	0	0	0	0
3	9	0	0	0	0	0	0
1	-2	2	0	1	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2.9. Матриця коефіцієнтів ДКП після квантування з якістю 90%.

1104	-6	-24	15	-14	0	0	0
-108	-8	4	0	8	0	0	0
8	16	20	7	1	0	0	0
24	10	0	9	0	1	0	0
10	35	0	0	0	0	0	0
7	-11	17	0	24	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0

 \cdot

160	110	100	160	240	255	255	255
120	120	140	190	255	255	255	255
140	130	160	240	255	255	255	255
140	170	220	255	255	255	255	255
180	220	255	255	255	255	255	255
240	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255

 $=$

7	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2.10. Квантування з якістю 5%

При відновленні цього блоку отримується лише опосередковане значення + вертикальний градієнт (через збережене значення -1). Перевагою є те, що для цього блоку зберігається лише 2 значення з 64-ох (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Оригінал (зліва) і стиснене до 5% якості зображення (справа)

У випадку стиснення без втрати якості матриця квантування буде містити лише одиниці, тобто квантування не відбудеться. [10]

Цей алгоритм спирається на ту обставину, що нулі у матриці квантування зосереджені у правому нижньому кутку. Оскільки у матриці квантування присутні групи нулів, то доцільно записувати тільки кількість нулів в групі за допомогою алгоритму кодування довжин серій. Залишилося з'ясувати напрямок обходу значень, так як ненульові коефіцієнти концентруються біля лівого верхнього кута, а чим ближче до правого нижнього – тим більше нулів, то виписувати нулі зліва направо і зверху вниз – не ефективно. Алгоритм буде спинятися кожен раз коли виникатиме необхідність переходу на наступний рядок, що не є дуже ефективним способом його використання. Звідси виникає можливість обходу комірок матриці по діагоналі, зіг-загами. Таким чином всі нулі матриці можливо буде замінити всього-на-всього двома значеннями – нулем і кількістю повторень.

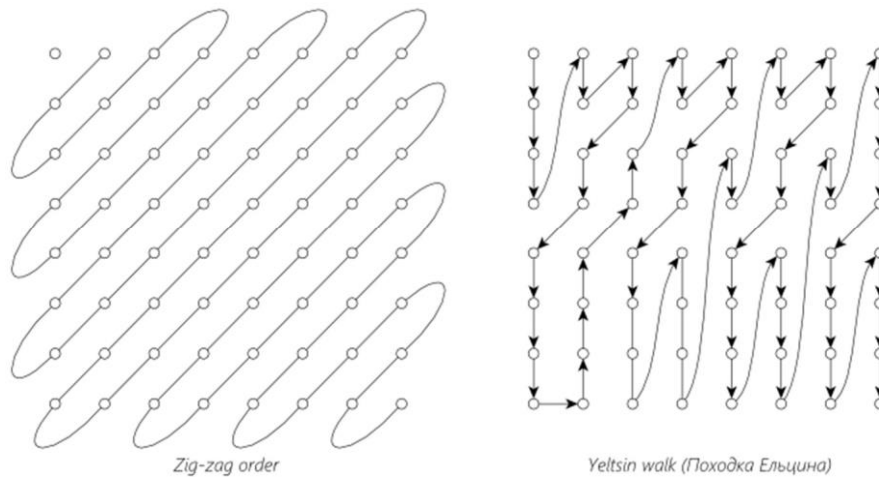


Рис. 2.12. Типи зіг-заг сканування.

Тому, в JPEG використовується порядок, званий «Zig-zag», він показаний зліва на рис. 1.12. Такий спосіб добре виділяє групи нулів. У правій частині – альтернативний спосіб обходу, що може використовуватися в MPEG при стисненні відео з чергуванням рядків. При цьому сканування відбувається під кутом $67,5^\circ$ до вертикалі. Вибір алгоритму обходу не впливає на якість зображення, але може збільшити кількість кодованих груп нулів, що в дасть менший розмір файлу.

Кодування використовується на етапі збереження стиснених даних. Найбільш очевидне рішення, використовувати фіксоване значення біт на коефіцієнт – хибне. Для знаходження найбільш оптимального способу кодування будується гістограма залежності кількості коефіцієнтів від їх значень у логарифмічному масштабі (рис. 2.13).

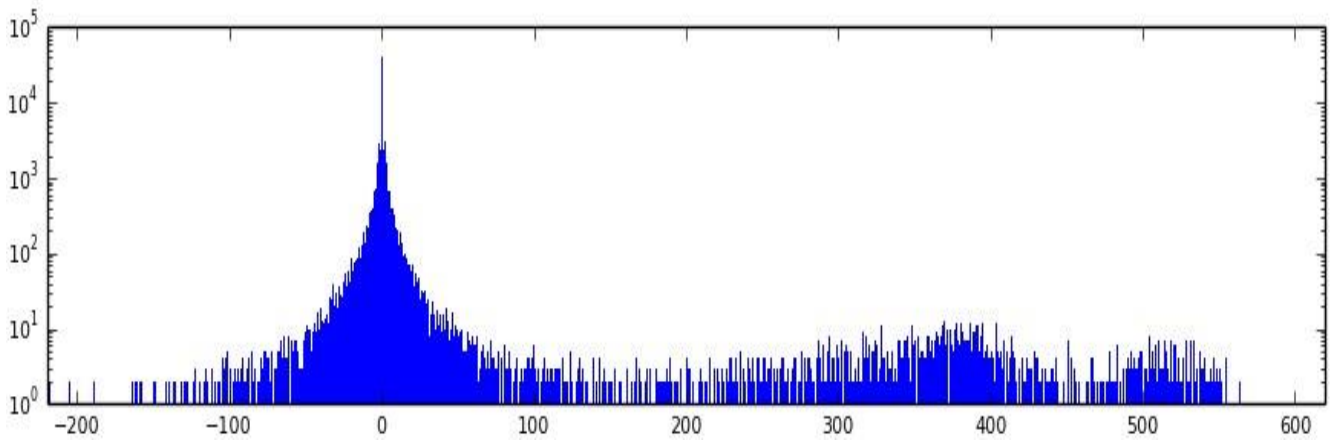


Рис. 2.13. Залежність кількості ДКП коефіцієнтів від їх значень

Так як DC-коефіцієнти набагато більше решти значень доцільно відобразити їх окремо (рис. 2.14).

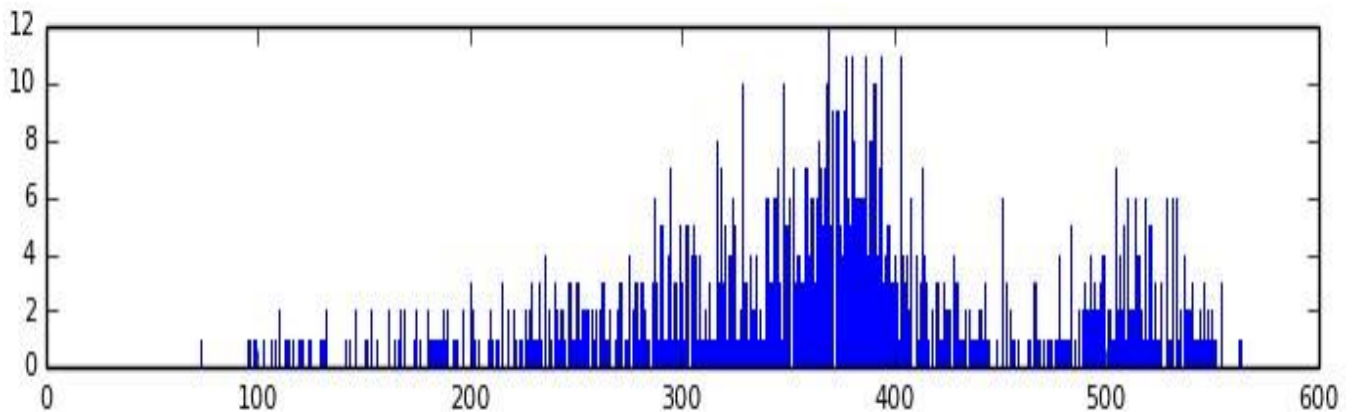


Рис. 2.14. Гістограма залежності DC коефіцієнтів.

Значення DC-коефіцієнтів можуть змінюватися від -1024 до 1023, так як в JPEG проводиться віднімання 128 з усіх вихідних значень, що відповідає відніманню 1024 з DC, і розподілятися досить рівномірно з невеликими піками. Через це кодування Хаффмена для даного випадку не відходить (рис. 2.15).

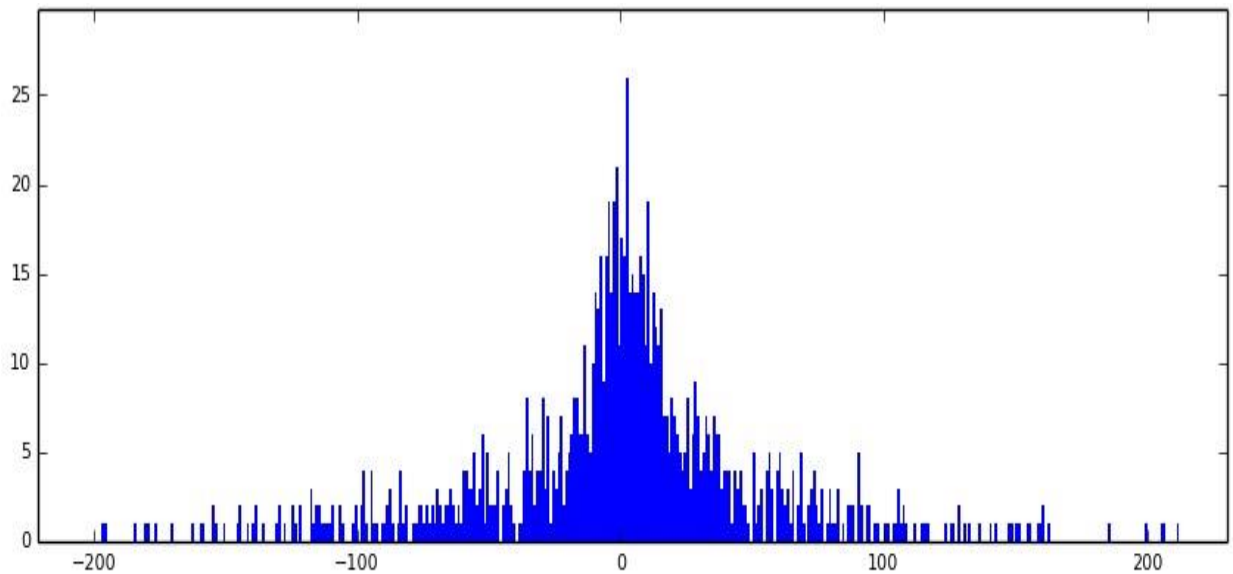


Рис. 2.15. Гістограма різниць DC коефіцієнтів.

Тепер значення сконцентровані близько нуля, малі значення (по абсолютній величині) зустрічаються часто, великі рідко. Так як маленькі значення займають мало біт, то добре виконується одне з правил стиснення: символам з великими вагами привласнювати короткі коди (і навпаки). Проблема неможливості однозначного кодування вирішується наступним способом: кожен коефіцієнт (точніше, різниця сусідніх) буде зберігатися як (довжина) (значення).

Тобто позитивні значення прямо кодуються їх двійковим поданням, а негативні – так само, але з заміною ведучої 1 на 0. Наступним кроком є вирішення способу кодування довжини. Так як доцільно розглядати лише 12 можливих значень довжини, то для їх зберігання можливо використовувати 4 біта. У цьому випадку краще використовувати кодування Хаффмана. Відповідність чисельних значень наведена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Відповідність чисельних значень їх кодам

Значення		Коди значень		Довжина
<0	>0	<0	>0	
0				0
-1	1	0	1	1
-3, -2	2, 3	00, 01	10, 11	2
-7, -6, -5, -4	4, 5, 6, 7	000, 001, 010, 011	100, 101, 110, 111	3
-15,..., -8	8,..., 15	0000,..., 0111	1000,..., 1111	4
-31,..., -16	16,..., 31	00000,...	..., 11111	5
-63,..., -32	32,..., 63	000000,...	..., 111111	6
-127,..., -64	64,..., 127	0000000,...	..., 1111111	7
-255,..., -128	128,..., 255	00000000,...	..., 11111111	8
-511,..., -256	256,..., 511	000000000,...	..., 111111111	9
-1023,..., -512	512,..., 1023	0000000000,...	..., 1111111111	10
-2047,..., -1024	1024,..., 2047	00000000000...,	..., 11111111111	11

На рис. 2.16 показана гістограма кількості значень, відсортованих за їх вагою, та візуальне представлення коду присвоєння значенням пікселів кодів Хаффмана.

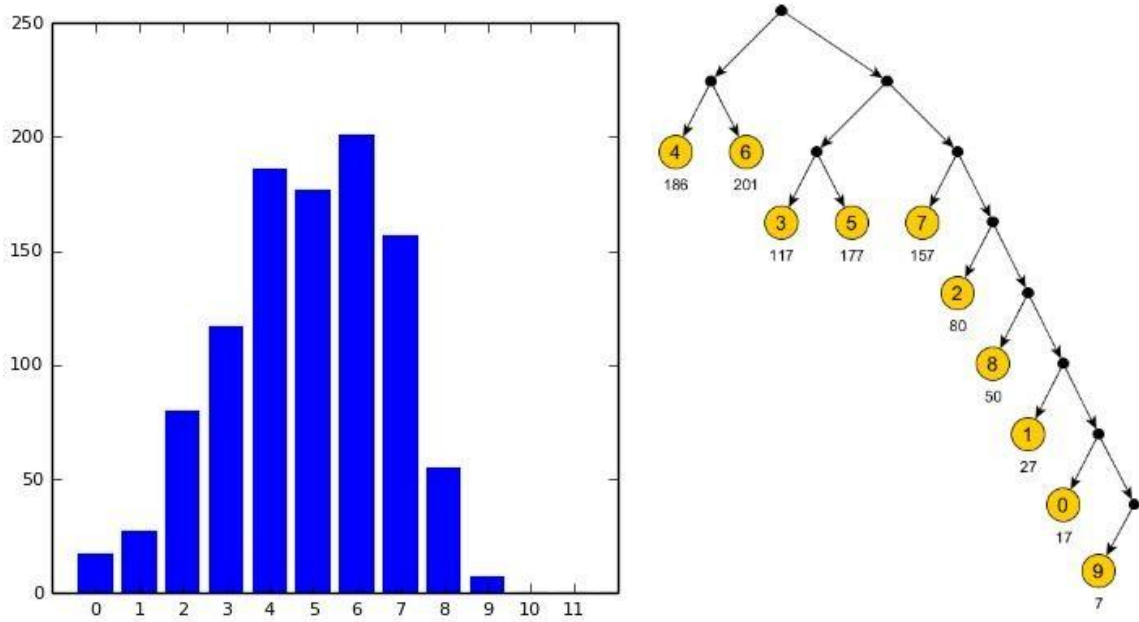


Рис. 2.16. Ваги значень довжини коефіцієнтів.

Так як значень з довжинами 4 і 6 більше всього, їм присвоєні найкоротші коди: 00 і 01. Далі йдуть 3 і 5 і так далі. Тобто коефіцієнти DC зберігається наступним чином: [код Хаффмана для довжини DCдиф (в бітах)] [DCдиф], де $DC_{диф} = DC_{поточне} - DC_{попереднє}$. Гістограма AC коефіцієнтів показана на рис. 2.17.

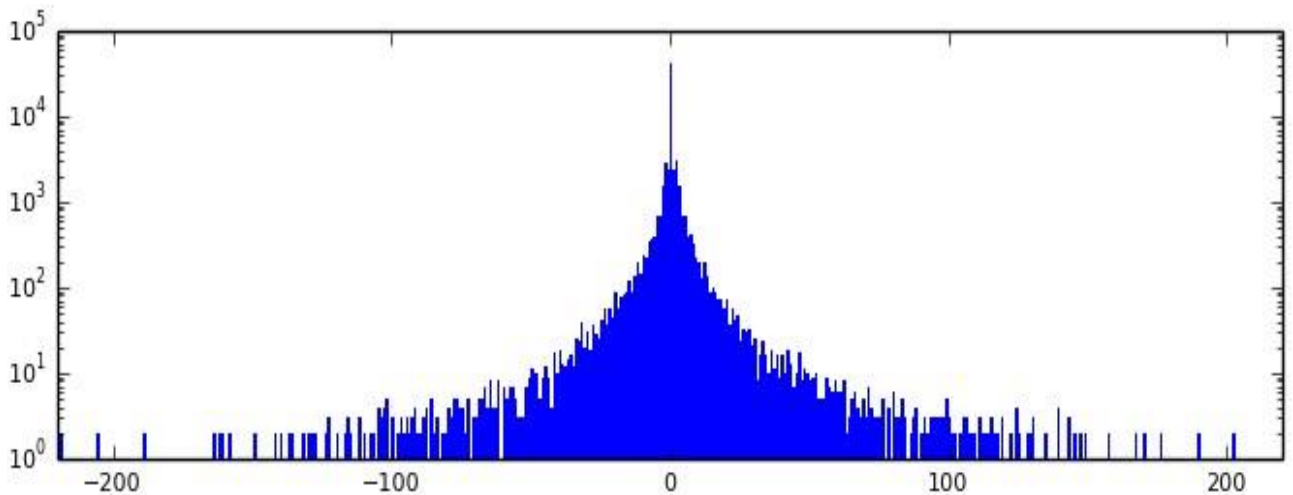


Рис. 2.17. Гістограма залежності AC коефіцієнтів.

Так як графік дуже схожий на графік для різниць DC, то принцип залишається таким самим: [код Хаффмана для довжини AC (в бітах)] [AC]. Але за рахунок згаданого вище зігзаг-сканування нулі кодуються алгоритмом RLE, що дає наступну форму запису: [Кількість нулів перед AC] [код Хаффмана для довжини AC (в бітах)] [AC]. Кількість нулів перед AC можна також закодувати кодом Хаффмана, але з поправкою на те, що в ході квантування коефіцієнт став малим і його довжина зменшилась, з чого випливає що кількість нулів перед AC і довжина AC – залежні величини. [10] Виходячи з цього отримуємо наступну форму запису: [Код Хаффмана для (Кількість нулів перед AC, довжина AC (в бітах))] [AC].

Проведене дослідження показало, що, хоча більшість методів стиснення відео є дуже вузько направлені і застосовуються для відео файлів, що відповідають тим чи іншим конкретним умовам, коли річ йде про повнокольорове високоякісне відео (таке як відеозапис реальних подій) одними з найкращих алгоритмів являються дискретні косинус перетворення і дискретні вейвлет перетворення. Зважаючи на це, вейвлети мають певні переваги перед ДКП так як дають більш приємне для людського ока згладжування, дозволяють регулювати рівень стиснення і можуть бути застосовані багаторазового до одного зображення.

Алгоритм міжнародного формату стиснення MPEG є найбільш поширеним серед усіх форматів стиснення, що використовуються у сьогоденні. Це робить його найкращим кандидатом для досліджень та випробувань. Незважаючи на те, що складові MPEG були розроблені навколо ДКП, це перетворення можна замінити на ДВП і випробувати рівень сумісності досліджуваних вейвлетів з присутніми у MPEG додатковими алгоритмами стиснення.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОДУВАННЯ ВІДЕО ЗА ДОПОМОГОЮ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

3.1. Дискретне косинус не перетворення

На Землі зростає попит на всі види енергії, паливо, воду. Проблема раціонального використання ресурсів набуває все більшої актуальності, а її рішення стає стратегічним завданням кожного жителя Землі. У зв'язку зі збільшенням витрат енергоресурсів, зменшення їх запасів на Землі, постійно зростають тарифи на електроенергію та інші паливно-енергетичні ресурси. [17]

Весь XX ст. характеризувався швидким зростанням споживання первинних енергоресурсів і електричної енергії – сумарне світове споживання енергії збільшилася в 15 разів, а споживання на душу – в 4,4 рази. (Різниця обумовлено збільшенням чисельності населення від 1,6 до 7 млрд чоловік).

Перше десятиліття нового століття не внесло радикальних змін в «енергетичну картину» світу та в тенденції, що сформувалися. [18]

Споживання енергії продовжує зростати, незважаючи на економічні кризи, що періодично трапляються, і викликані ними короткочасні зниження енергоспоживання (рис. 3.1). [19]

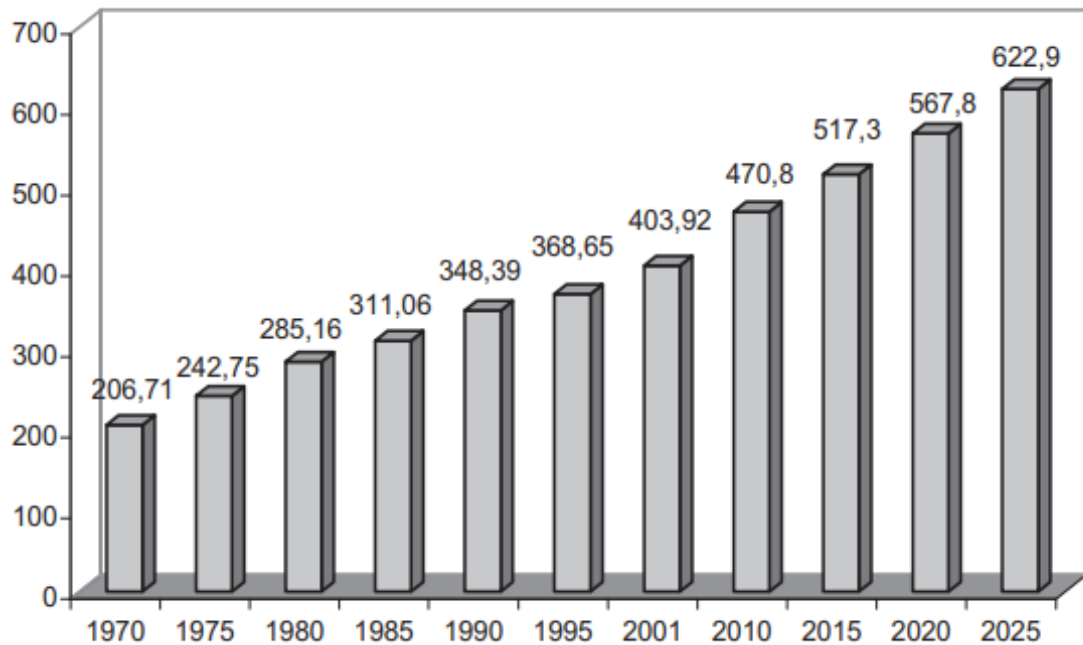


Рис. 3.1. Динаміка світового споживання первинної енергії (в британських теплових одиницях – BTU. 1 BTU = 252 кал.) за 1970-2025 рр.

Основні проблеми суспільства, пов'язані з енергетикою.

Можна говорити про «тріаді енергетичних проблем», в найбільшій мірі впливають на всі сторони життя людини і які зачіпають самі основи сталого розвитку цивілізації. Цю тріаду складають:

- дефіцит енергоресурсів та електроенергії (журналісти назвали цю проблему як «енергетичний голод»);
- загроза благополуччю навколишнього середовища внаслідок техногенного впливу об'єктів енергетики (загроза «екологічного інфаркту»);
- геополітичні та соціальні загрози

На основі аналізу «енергетичної картини» сучасного світу показано, що основним способом вирішення цих проблем є реалізація концепцій енергозбереження.

Сьогодні в сучасному світі енергозбереження – це невід'ємна частина життя цивілізованого суспільства. Це і турбота про здоров'я, і економія грошей, і комфорт проживання. Але одна з найголовніших (глобальних) характеристик енергозбереження – це захист навколишнього середовища від негативних впливів. Енергозбереження це технології і уклад життя, які допомагають нам зменшити споживання енергії за рахунок її раціонального використання. У більш вузькому сенсі, енергозбереження має на увазі ведення екологічно-дружнього способу життя за рахунок використання нових технологій, які допомагають заощадити наші з вами гроші і природні ресурси нашої планети, останнім часом так бездумно витрачаються людством, що в кінцевому підсумку може призвести до катастрофічних змін клімату . Коли ми зменшуємо кількість споживаної енергії, ми автоматично намагаємося знизити підвищення температури нашої атмосфери (цей процес відомий як глобальне потепління).

Енергозбереження в побуті, в кінцевому підсумку залежить від споживача. Населення на побутовому рівні може підтримати енергозбереження та зайнятися підвищенням енергоефективності в рамках окремо взятої квартири або будинку. На жаль, ощадливість не є характерною рисою більшості жителів на сьогодні в нашій країні та у світі загалом. Культура споживання енергії у населення дуже низька.

Економити ресурси в побуті – це означає з розумом витрачати електроенергію. Причому в більшості випадків така економія не викликає незручності, а навпаки, дає додаткові переваги у вигляді для власного або сімейного бюджету, а також економії енергоресурсів Землі (на глобальному рівні).

У своїй роботі ми намагалися знайти способи економії електроенергії: дотримуватися елементарних правил культури енергоспоживання, які не потребують великих витрат і спеціальних знань. Виходячи з цього, нашою

розробкою є додаток, який може бути використаним для автономних та стаціонарних пристроїв, таких як:

- мобільні пристрої,
- комп'ютери,
- ноутбуки,
- планшети тощо.

Як відомо, акумулятор – слабке місце більшості сучасних смартфонів. Виробники, з одного боку, борються за потужність процесора, розширення екрана та інші характеристики, що вимагають потужного акумулятора, а з іншого боку, зазвичай намагаються робити смартфони як можна тонше, в результаті чого в смартфонах використовуються невеликі акумулятори, чиєю ємності нерідко буває недостатньо навіть для того, щоб апарат простягнув до кінця одного робочого дня. Аналогічна проблема є у планшетах та ноутбуків.

Основними причинами цього є:

- перегляд високоякісних відео- та фото-матеріалів;
- спілкування за допомогою відеозв'язку;
- енергозатратні додатки та програми;
- зв'язок та бездротові мережі;
- робота ОС;
- постійний моніторинг свого будинку за технологією «розумний дім».

У зв'язку з пандемією, більшість населення України та інших країн у цей період перебували у статусі карантину та дотримувалися всіх норм та вимог. Через це була обмежена робота сфери послуг, навчальних закладів, деяких промислових підприємств та інших закладів, громадського транспорту, що стало основною причиною перебування вдома. Це спричинило збільшення використання мобільних телефонів та ноутбуків основними соціальними групами населення: дорослим потрібно виконувати свою роботу, а дітям та

студентам – навчатися. Тому основним способом комунікації став саме відеозв'язок – для спілкування, а відео- та фото-ресурси – для навчання. Проте такі інструменти взаємодії потребують великої кількості енергії електропристрою, що призводить до швидкого зниження заряду цього пристрою. Це стало ще одним обмеженням, тому що потрібно часто заряджати свої гаджети, розраховувати час дзвінка або перегляду відео, час прогулянки або походу до супермаркету.

В основі цього лежить дискретне косинусне перетворення. У відео зйомці, відео дзвінках та відеоспостереженні – незмінно присутня деяка надмірність. Якщо в межах поля знаходиться об'єкт достатнього розміру, всі пікселі, що представляють цей об'єкт, мають приблизно одні й ті ж значення яскравості і кольору. Це і є надмірність, що дозволяє зменшити кількість інформації в кожному окремому пікселі, певним чином описавши контури об'єкта і вказавши середні значення яскравості і кольору в межах цього контуру. Великі об'єкти відповідають низьким просторовим частотам, а дрібні – високим. На верхньому рівні ці частоти одночасно не присутні. У цифровому відеосигналі може бути переданий весь спектр просторових частот, однак якщо провести частотний аналіз зображення, то можна лишити в сигналі лише ті частоти, що дійсно в ньому присутні. Отже, важливим кроком в процесі стиснення зображень є аналіз просторових частот.

Кадри оброблюються по блоках, як правило, квадратами 8×8 пікселів. В результаті перетворення виникає матриця з 64 коефіцієнтів. Коефіцієнт – число, яке визначає зміст в блоці певної просторової частоти.

Дискретне косинусне перетворення (DCT) представляє зображення у вигляді суми синусоїд різної величини та частоти. Функція $dct2$ обчислює двовимірне дискретне косинусне перетворення (DCT) зображення. DCT має властивість, що для типового зображення більша частина візуально значущої інформації про зображення концентрується лише у кількох коефіцієнтах DCT. З

цієї причини DCT часто використовується в програмах стиснення зображень. Наприклад, DCT лежить в основі міжнародного стандартного алгоритму стиснення зображень із втратами, відомого як JPEG. (Назва походить від робочої групи, яка розробила стандарт: формат графічних даних JPEG).

Двовимірний DCT матриці M-by-N A визначається наступним чином.

$$B_{pq} = a_p a_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad \begin{matrix} 0 \leq p \leq M-1 \\ 0 \leq q \leq N-1 \end{matrix}$$

$$a_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & p = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & 1 \leq p \leq M-1 \end{cases} \quad a_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & q = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & 1 \leq q \leq N-1 \end{cases}$$

Значення B_{pq} називаються коефіцієнтами DCT A. DCT є оборотним перетворенням.

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} a_p a_q B_{pq} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad \begin{matrix} 0 \leq m \leq M-1 \\ 0 \leq n \leq N-1 \end{matrix}$$

$$a_p = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & p = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & 1 \leq p \leq M-1 \end{cases} \quad a_q = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & q = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & 1 \leq q \leq N-1 \end{cases}$$

Обернене рівняння DCT можна інтерпретувати як таке, що будь-яку матрицю M-N-N можна записати як суму функцій MN виду

$$a_p a_q \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad \begin{matrix} 0 \leq p \leq M-1 \\ 0 \leq q \leq N-1 \end{matrix}$$

$$T_{pq} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}} & p = 0, \quad 0 \leq q \leq M-1 \\ \sqrt{\frac{2}{M}} \cos \frac{\pi(2q+1)p}{2M} & 1 \leq p \leq M-1, \quad 0 \leq q \leq M-1 \end{cases}$$

Ці функції називаються базовими функціями DCT.

3.2. Колування за допомогою швидкого перетворення Уолша-Адамара

Перетворення Уолша-Адамара – це несинусоїдальний, ортогональний метод перетворення, який розкладає сигнал на набір базових функцій. Ці базові функції є функціями Уолша, які являють собою прямокутні або квадратні хвилі зі значеннями +1 або -1.

Перетворення Уолша-Адамара повертає значення послідовності. Послідовність є більш узагальненим поняттям частоти і визначається як половина середньої кількості нульових перетинів за одиницю інтервалу часу. Кожна функція Уолша має унікальне значення послідовності. Ви можете використовувати повернені значення послідовності для оцінки частот сигналу в вихідному сигналі.

Перетворення Уолша-Адамара застосовується в обробці зображень, обробці мови, фільтрації та аналізу спектра потужностей. Це дуже корисно для зменшення вимог до пропускну здатності та аналізу розширеного спектру. Перетворення Уолша-Адамара має швидку версію, швидке перетворення Уолша-Адамара (FWHT). Порівняно з DCT, FWHT вимагає менше місця для

зберігання і швидше обчислюється, оскільки використовує лише додавання та віднімання, тоді як DCT вимагає складних значень. FWHT здатний подавати сигнали з різкими розривами більш точно, використовуючи меншу кількість коефіцієнтів. Як FWHT, так і зворотний FWHT є симетричними і, отже, використовують однакові процеси обчислення. FWHT та IFWHT для сигналу $x(t)$ довжиною N визначаються як:

$$y_n = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \text{WAL}(n, i),$$

$$x_i = \sum_{n=0}^{N-1} y_n \text{WAL}(n, i),$$

Всі коефіцієнти FWHT рівні $+1$ або -1 . FWHT може бути зведене до операцій додавання і віднімання (без ділення або множення).

У ході розробки додатку ми дійшли висновку, що за допомогою швидкого перетворення Уолша-Адамара є можливість значно зменшити енергозатрати для пристроїв при здійсненні наступних дій:

- перегляд відеозаписів та стрімів;
- відеодзвіник та відео конференції;
- запис відео.

Таким чином, у користувачів буде можливість або відтворювати відео в стандартному режимі у коротший проміжок часу, оскільки енергозатратність батареї буде більшою, або економити до 40% енергозатратності свого пристрою, втративши лише 3-7% якості відео.

У наш час це дуже актуальне питання, оскільки більшість пристроїв є автономними, а отже потребують постійної підзарядки. Наша розробка дасть можливість при незначній втраті якості, яка може бути непомітною для людського ока та не є критичною, набагато довше бути на зв'язку під час роботи чи навчання, під час подорожі чи поїздки за місто. Для батареї це дає також позитивний ефект, тому що кількість циклів заряду зменшується, тому термін експлуатації збільшується.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день люди все частіше і частіше використовують відеоматеріали. Через карантинні обмеження у житті людей збільшилося використання гаджетів для роботи та навчання.

У дипломному проекті ми розглянули способи перетворення відео. Це потрібно для того, щоб мати можливість відображати відео. Без зжимання, перетворення відео- та фото-матеріалів займали б у 10 разів більше пам'яті.

Основним об'єктом дослідження є швидке перетворення Уолшера-Адамара. Ключовою перевагою над іншими способами перетворення можна вважати зменшення витрат електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
2. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера, 2004. 368 с.
3. Семенюк В.В. Экономное кодирование дискретной информации. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 115 с.
4. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с.
5. Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC), 2003.
6. Image and Video Coding – Emerging Standards and Beyond. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 1997. V. 8. № 7. P. 814–837.
7. ITU-T Recommendation H.264 (03/2005) / Prepublished version.
8. Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, Ajay Luthra. Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard. // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, July 2003.
9. Ожиганов А.А., Тропченко А.А., Тропченко А.Ю. Модифицированный фрактальный метод сжатия многоуровневых изображений.// Информационные технологии. 2003. № 4.
10. Білінський Й. Й., Огородник К. В., Юкиш М. Й. Електронні системи : навч. посіб. / Він. держ. техн. ун-т. Вінниця : ВДТУ, 2011. 208 с.
11. Loeffler C., Ligtenberg A., Moschytz G. Practical Fast 1-D DCT Algorithms with 11 Multiplications. Proc. Int'l. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing 1989 (ICASSP '89). P. 991.

12. Hongqing Zhu, Huazhong S., Liang J., Lumin L., Coatrieux J. Image analysis by discrete orthogonal Racah moments. Signal Processing. April, 2007. P. 708.
13. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах : навч. посіб. / О. В. Дробик, В. В. Кідалов, В. В. Коваль, Б. Я. Костік, В. С. Лазебний, Г. М. Розорінов, Г. О. Сукач. Київ : Наукова думка, 2008. 144 с.
14. Михалевський Д. В. Мельник В. М., Є. С. Наугольных Оцінка параметрів відеозображення в телекомунікаційних системах. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. № 1. 2013. С. 4.
15. Клименко Л. А. Козелков О.А. Анализ методов сжатия цифрового изображения. Системы обработки информации. Харьков : 2004. Вып. 2. С. 191-194.
16. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. Пер. с англ.: 2-ое издание. – Москва-Санкт-Петербург/Київ: Вильямс, 2004.
17. Кавкаев Артем, Пискунов Денис Сергеевич, Козырева Лариса Леонидовна URL:
<https://rosuchebnik.ru/material/issledovatel'skiy-proekt-sokhranyaem-prirodu-na-ekonomii-elektroenergii-7455/>
18. Ушаков В.Я. Современная и перспективная энергетика: технологические, социально-экономические и экологические аспекты. – Томск: Издво ТПУ, 2008. – 469 с
19. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.