

УДК 004

В.Шульга, магістр гр. КІ-22М-2

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВІДЕОДАНИХ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ ЇХ ОБРОБКИ І ПЕРЕДАЧІ У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Об'єктом дослідження є процес компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Предметом дослідження є методи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Методи дослідження базуються на методах теорії телекому, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Більшість цифрових зображень містять високий ступінь надмірності, що означає, що ефективна техніка стиснення може значно зменшити кількість інформації, необхідної для їх зберігання або передачі. Цю надлишковість можна знайти між окремими пікселями, між лініями або між кадрами, коли сцена нерухома або трохи рухається. Приблизно з 1989 року рухомі цифрові відеозображення були інтегровані з програмами. Складність реалізації рухомого цифрового відео полягає у величезній смузі пропускання, необхідної для кодування відеоданих. Наприклад, зображення чверті екрана (320 x 240 пікселів), що відтворюється на відеоекрані RGB із повною швидкістю 30 кадрів/с, потребує зберігання та передачі 6,9 мільйонів байтів на секунду (МБ/с). Ця швидкість передачі даних просто непомірно висока, тому засоби стиснення цифрового відео, придатні для відтворення в реальному часі, є необхідним кроком для широкого впровадження додатків цифрового відео руху. Було розроблено та реалізовано багато алгоритмів стиснення цифрового відео. Коефіцієнти стиснення цих алгоритмів змінюються залежно від суб'єктивного прийнятого рівня помилки, визначення слова «стиснення» та того, хто робить заяву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі інтернет.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет.
- Дослідження системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет.

– Програмна реалізація системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет.

Об'єктом дослідження є процес компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет.

Предметом дослідження є методи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет.

Методи дослідження базуються на методах теорії телекому, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Розмір відеофайлу може бути складним, і концепція зменшення розміру відеофайлу пов'язана з багатьма технічними змінними. Ви можете зменшити розмір файлу, щоб легше надсилати його колегам, або швидше завершити завантаження на YouTube. Може бути важко зрозуміти, з чого почати, намагаючись зменшити розмір файлу. Нижче ми зібрали корисну інформацію, яка допоможе вам розпочати подорож зі зменшення файлів!

Формат відео та тип файлу

Якщо ви вперше знайомі з цими поняттями, будь ласка, не припиняйте читати лише тому, що ми використовуємо багато жаргону, ми спробуємо пояснити кожному, і, перейшовши за відповідними посиланнями, ви також можете краще зрозуміти кожному з них.

Є багато різних відеоформатів, у які можна експортувати готове відео. Щоб допомогти вам зрозуміти відеокодеки та контейнери, ми написали докладну публікацію про відмінності типів відеофайлів. Кодеки кодують або стискають потоки даних для зберігання, відтворення та редагування відео на різних платформах. Дізнайтеся більше про кодеки тут. Можливо, ви чули про кодек h.264 (можливо, не чули, але тримайтеся). Цей кодек створює MP4, який зазвичай забезпечує найкращу якість із найменшим розміром файлу. Через це MP4 дуже популярний для веб-доставки, включаючи YouTube, Facebook, Twitter та Instagram. Щоб допомогти вам не надто турбуватися про розмір файлу, ми створили відеовиходи Camtasia та Snagit, які за замовчуванням використовують тип файлу MP4, і в більшості випадків рекомендуватимуть MP4 для обміну в Інтернеті.

Серед інших поширених типів відеофайлів:

- .MOV (Apple Quicktime Movie).
- .AVI (чергування аудіо і відео – Microsoft).
- .WMV (Windows Media Video – Microsoft).
- .FLV (формат Flash Video).

І багато іншого! Ви можете дізнатися все про різні типи відеофайлів, перераховані вище, прочитавши цю статтю.

Висновок: використовуйте тип файлу MP4, щоб зберегти якість і зменшити розмір файлу.

Розміри відео (у пікселях)

Роздільна здатність відео визначає розмір у висоту та ширину, у якому буде створено відео. Роздільна здатність визначається кількістю горизонтальних ліній відео зверху вниз. Відео більшої роздільної здатності значно збільшить розмір файлу. Як ви можете собі уявити, відео 1920 x 1080 (1080p) матиме більший розмір файлу, ніж відео 1280 x 720 (720p). Відео 1080p має більше горизонтальних ліній (більше інформації), що робить розмір відеофайлу більшим. Деякі записи екрану, зроблені на дисплеях з високою щільністю, можуть навіть створювати відео з роздільністю 3840 × 2160 пікселів або вище (4k). Дисплеї високої щільності мають мільйони пікселів і тисячі горизонтальних ліній; ще більше інформації! *Не записуйте весь екран*, якщо це дійсно необхідно, або подумайте про використання масштабування та панорамування під час редагування відео. Таким чином ви можете зменшити масштаб відео, але все одно зосередити увагу глядача на певній частині екрана. У Camtasia ви можете змінити налаштування проекту, щоб створювати відео з бажаною роздільною здатністю.

Висновок: експортуйте з відповідною роздільною здатністю для вашого проекту. Експорт у 720р або 1080р буде працювати для більшості людей.

Скільки дійства у вашому відео?

Якщо у вас багато переходів (витирання, розмиття, анімація) разом із зображеннями, що швидко розвиваються, ваш файл буде більшим. Наприклад, запис досить статичної презентації слайдів (менше дій) призведе до меншого розміру файлу, ніж запис деякого живого відео на екрані (більше дій). Використання відеоформату MP4 також допоможе зменшити деякі проблеми з розміром файлу, пов'язані з переміщенням, оскільки MP4 дуже ефективний у цьому відношенні.

Висновок: додавання великої кількості рухів і переходів призведе до того, що ваш файл стане більшим.

Аудіо

Іноді аудіо може створювати файли більшого розміру, хоча в більшості випадків пристрої для запису та програмне забезпечення стискають аудіо, щоб не створювати файли великих розмірів. Крім того, дуже рідко коли нестиснене аудіо буде чути для ваших глядачів. Після завершення редагування відео обов'язково екпортуйте його зі стислим звуком. Виходи за замовчуванням для форматів MP4 Camtasia та Snagit використовують стиснення аудіо AAC, яке забезпечує хороше поєднання якості звуку та розміру файлу.

Висновок: стискайте аудіо під час експорту. У більшості проектів рідко коли потрібен нестиснений звук. Ознайомтеся з нашими найкращими методами роботи з аудіо.

Частота кадрів (FPS)

Що таке частота кадрів? Радий, що запитав! Щоб отримати детальний опис, перегляньте посібник для початківців щодо частоти кадрів. Коротка відповідь полягає в тому, що частота кадрів вказує, скільки кадрів (думаю: зображень) показується глядачеві за секунду. Більшість фільмів знімають зі швидкістю 24 кадри в секунду. Домашнє відео та відеокамери зазвичай мають швидкість 30 кадрів/с. Що краще? Це суб'єктивне запитання, яке залежить від цільової аудиторії. Ви прагнете виглядати відео чи кінематографічно? Спеціальні налаштування виробництва в Camtasia дозволяють від 1 до 30 кадрів на секунду (fps). Хоча за замовчуванням 30 кадрів в секунду є стандартними для відео, якщо ви хочете отримати більше кінематографічного, можете знизити її до 24 кадрів в секунду. Вища частота кадрів часто створює більший розмір файлу під час експорту.

Висновок: використовуйте частоту кадрів, яка підходить для вашого проекту. Пам'ятайте, що більша частота кадрів призведе до дещо більшого розміру відео.

Розробка структурної схеми

Ця робота представляє Deerp4D – компактне генеративне представлення форми та зовнішнього вигляду із знятих 4D об'ємних відеорядів людей. Об'ємне 4D-відео забезпечує високореалістичне відтворення, відтворення та рендеринг вільної точки зору актора з систем збору відео з кількома видами. Глибока генеративна мережа тренується на 4D відеопослідовностях актора, який виконує кілька рухів, щоб вивчити генеративну модель динамічної форми та зовнішнього вигляду. Ми демонструємо, що запропонована генеративна модель може забезпечити компактне закодоване представлення, здатне до високоякісного синтезу 4D об'ємного відео зі стисненням на два порядки величини. Варіаційна мережа кодера-декодера використовується для вивчення закодованого латентного простору, який відображає 3D-позу скелета в 4D-форму та зовнішній вигляд. Це дозволяє синтезувати високоякісний об'ємний 4D-відео за допомогою скелетного руху, включаючи дані захоплення скелетного руху. Цей закодований латентний простір підтримує представлення кількох послідовностей із динамічною інтерполяцією для переходу між рухами. Тому ми представляємо графіки руху Deerp4D, пряме застосування запропонованого генеративного представлення. Графіки руху Deerp4D дозволяють створювати інтерактивну анімацію персонажів у реальному часі, зберігаючи правдоподібну реалістичність руху та зовнішнього вигляду із знятого об'ємного відео. Графіки руху Deerp4D неявно поєднують кілька захоплених рухів з уніфікованого представлення для анімації персонажів з об'ємного

відео, дозволяючи генерувати нові рухи персонажів із динамічною формою та деталями зовнішнього вигляду.

Об'ємне відео – це новий медіа, який дозволяє відтворювати динамічні сцени з вільною точкою огляду та відтворювати динамічні сцени з візуальною якістю, що наближається до якості знятого відео. Це має потенціал для створення високореалістичного контенту для захоплюючого досвіду віртуальної та доповненої реальності. Об'ємне відео створюється за допомогою кількох студій запису продуктивності, які зазвичай складаються з синхронізованих камер, які одночасно записують виступ. Згенерований вміст зазвичай складається з 4D-динамічної сітки та послідовностей текстур, які представляють візуальні особливості сцени, наприклад, форму, рух і зовнішній вигляд. Це дозволяє відтворити виконання з будь-якої точки зору та в будь-який момент часу, хоча це вимагає величезних обчислювальних зусиль для обробки та збереження. Зйомка об'ємного відео наразі обмежується відтворенням записаного виступу та не підтримує анімацію для зміни, комбінування або генерування нових послідовностей рухів. У попередній роботі були представлені методи анімації з об'ємного відео, засновані на повторній дискретизації та конкатенації об'ємних послідовностей.

Відтворення реалістичного вигляду людини є особливо складною проблемою. Люди – соціальні тварини, які еволюціонували, щоб читати емоції за допомогою мови тіла та міміки. Як наслідок, люди надзвичайно чутливі до рухів і артефактів візуалізації, що породжує добре відому дивовижну долину у фотореалістичному відтворенні людської зовнішності. Нещодавно було досягнуто значного прогресу у використанні глибоких генеративних моделей для синтезу високореалістичних зображень і відео сцен, що важливо для таких програм, як маніпуляції зображеннями, відеоанімація та рендеринг віртуальних середовищ. Людські аватари зазвичай візуалізуються за допомогою детальних, чітких 3D-моделей, які складаються з сіток і текстур, і анімуються за допомогою спеціальних моделей руху для імітації людської поведінки та діяльності.

Останні роботи показали, що можна навчитися та анімувати природну людську поведінку (наприклад, ходьбу, стрибки тощо) на основі даних захоплення рухів людського скелета (MoCap) акторської гри. З іншого боку, проектування реалістичної 3D-моделі людини все ще є трудомістким процесом. Враховуючи величезний успіх глибоких генеративних моделей, виникає запитання, чому б і ні також навчитися генерувати реалістичне зображення людини? Обумовлюючи процес створення зображення генеративної моделі додатковими вхідними даними, вивчаються відображення між різними областями даних, які, наприклад, дозволяє контролювати та маніпулювати формою об'єкта, перетворюючи ескізи на зображення, а зображення – на картини. Нещодавно генеративні методи покращили роздільну здатність і якість отриманих зображень. Проте генератори продовжують працювати як чорні скриньки, і, незважаючи на останні зусилля, розуміння різних аспектів процесу синтезу зображення невідоме. Властивості латентного простору також погано вивчені, а широко продемонстрована інтерполяція латентного простору не забезпечує кількісного способу порівняння різних генераторів один з одним. Керуючись останніми досягненнями в генеративних мережах, ми пропонуємо архітектуру для навчання генерації динамічної 4D-форми та зовнішнього вигляду з високою роздільною здатністю, яка розкриває способи керування зображенням синтез. Наш генератор зовнішнього вигляду починається з вивченого простору руху та регулює роздільну здатність зображення на кожному шарі згортки на основі коду прихованого руху, таким чином безпосередньо контролюючи силу характеристик зображення в різних масштабах.

Ця робота пропонує Deep4D, глибоке генеративне представлення динамічної форми та зовнішнього вигляду з 4D об'ємного відео людського характеру. Запропонований підхід вивчає ефективне представлення стисненого латентного простору та генеративну модель із 4D об'ємних відеопослідовностей людини, яка виконує кілька рухів. Компактне представлення прихованого простору досягається за допомогою варіаційного кодера-декодера для вивчення відображення 3D-руху скелета до відповідної повної 4D-об'ємної

форми, руху та зовнішнього вигляду. Закодований прихований простір підтримує інтерполяцію динамічної форми та зовнішнього вигляду для плавного переходу між знятими 4D об'ємними відеопослідовностями. У цій роботі представлені графіки руху Deer4D, які використовують генеративне представлення кількох 4D-об'ємних відеопослідовностей у вивченому латентному просторі для забезпечення інтерактивної анімації з оптимальним переходом між рухами. Основні нові внески цієї роботи:

- Deer4D, генеративне представлення форми та зовнішнього вигляду для 4D об'ємного відео, яке забезпечує компактне зберігання та інтерактивну анімацію в реальному часі.

- Відображення руху скелета у 4D-об'ємному відео для синтезу динамічної форми та зовнішнього вигляду.

- Графіки руху Deer4D, анімаційна основа, створена на основі представлення Deer4D, яка дозволяє використовувати високорівневі 4D-символи, уможливаючи синтез нових рухів і взаємодію з користувачем у реальному часі.

Пов'язана робота

4D об'ємне відео: було активною областю досліджень, яка виникла для вирішення проблеми зростання попиту на реалістичний зміст діяльності людини. Нещодавно представили повний конвеєр для захоплення, реконструкції та відтворення високоякісного об'ємного відео. Система використовує приблизно 100 синхронізованих камер, які одночасно знімають об'єм з кількох точок зору. Об'ємне відео фіксує динамічну геометрію поверхні та фотореалістичний вигляд об'єкта. Це розкриває величезний творчий потенціал для створення дуже реалістичного анімаційного контенту на основі відзнятих виступів. Нещодавні дослідження пропонують механізми для полегшення маніпулювання цим вмістом, що дозволяє художнику виконувати ручні коригування 4D-динамічної геометрії та об'єднувати кілька послідовностей у мушн-графі. Однак використання об'ємного 4D-відео у виробництві контенту залишається обмеженим через складність маніпуляцій, анімації та рендерингу послідовностей форм, зберігаючи при цьому реалістичність зовнішнього вигляду та динаміку одягу.

Вивчені представлення послідовності сітки: Теджера та Хілтон (2013) запропонували техніку редагування послідовності просторово-часової сітки на основі частин, яка вивчає моделі деформації поверхні в лапласівських координатах. Цей підхід обмежує деформацію сітки правдоподібними формами поверхні, отриманими з набору прикладів. Часткове навчання деформації поверхні дозволяє локально маніпулювати сіткою та досягає більшої гнучкості анімації, дозволяючи генерувати нові створені сітки. Тан та ін. (2018) використовують варіаційний автокодер (VAE), щоб навчитися представлення параметризованих динамічних форм. Їхня мережа тренується на попередньо обробленому просторі ознак навчальних даних, демонструючи дуже низьку похибку реконструкції для наземних форм правдивості. Ломбарді та ін. (2018) запропонував навчену модель форми та зовнішнього вигляду, залежну від точки огляду, що дозволяє відновлювати деталі текстури, залежні від виду. Ця мережа демонструє здатність вивчати тривимірні динамічні форми з вершин, уникаючи необхідності попередньої обробки інформації. Це демонструє можливості VAE у реальному часі, здатні декодувати форму та зовнішній вигляд менш ніж за 5 мілісекунд. Нещодавно Regateiro et al. (2019) продемонстрували можливості вивчення 3D-динамічних форм для створення реалістичної анімації за допомогою VAE для вивчення геометричного простору людського персонажа та повторного використання декодера в режимі реального часу для синтезу 3D-геометрії.

Навчене представлення зовнішнього вигляду: Нещодавно Esser et al. (2019) представив підхід до цілісної навчальної основи для відтворення людської поведінки, навченої на основі даних захоплення рухів скелета для реалістичного контролю та відтворення. Вони вивчають відображення від абстрактного представлення пози до цільових зображень, обумовлених латентним представленням VAE для зовнішнього вигляду. Каррас та ін. (2017) пропонують нову методологію навчання для генеративних мереж, який

поступово збільшує як генератор, так і дискримінатор, починаючи з низької роздільної здатності зображення і закінчуючи початковою роздільною здатністю зображення. Вони демонструють, що модель все більше вивчає дрібні деталі в ході навчання, отже покращуючи швидкість і стабільність навчання та створюючи високоякісні зображення. Хоча фотореалізм є проблемою, яку важко вирішити, цей підхід є кроком до відтворення високоякісних зображень, які неможливо відрізнити від реальних зображень. Зовсім недавно Karras et al. (2018) перевизначають архітектуру генеративних мереж для передачі на основі стилів. Використовуючи підхід, подібний до Karras et al., 2017, вони продемонстрували високоякісні результати зображень, наприклад, можливість дізнатися точне розташування волосся, щетини, веснянок або пори шкіри. Це демонструє потенціал для синтезу зображень людей із високою роздільною здатністю, зберігаючи при цьому природні деталі, необхідні для сприйняття реалізму.

4D об'ємна відеоанімація: графіки руху для анімації персонажів із послідовностей захоплення руху скелета використовують представлення структурованого графіка для забезпечення інтерактивного керування. Графіки скелетних рухів будуються за допомогою покадрової метрики подібності, яка визначає подібні пози та рух. Концепція графіків руху була застосована до об'ємного відео з використанням як неструктурованих сіток, так і тимчасово узгоджених структурованих сіток. Початкові підходи об'єднують неструктуровані динамічні послідовності сітки без часової узгодженості зв'язності сітки на основі подібності форми та руху. Прада та ін. (2016) замість цього виконує вирівнювання сітки та текстури у визначених точках переходу, щоб забезпечити плавне змішування. Це долає складну проблему глобального вирівнювання сітки та розглядає лише вирівнювання геометрії та текстури, де це необхідно. На відміну від цього, Boukhauma і Boyer (2017) і Casas et al. (2014) використовували глобальне вирівнювання послідовності сітки для отримання узгодженого в часі з'єднання сітки з об'ємного відео. Це дозволяє створювати 4D графіки руху зі змішуванням сітки для високорівневого параметричного контролю руху та плавних переходів між рухами.

У цьому документі ми представляємо Deer4D, навчене генеративне представлення об'ємних відеопослідовностей, представлене в Розділі 3. Deer4D забезпечує компактне представлення, яке долає вимоги до пам'яті та обчислень попередніх підходів для явного представлення всіх захоплених послідовностей під час виконання через навчені параметри мережі. У Розділі 4 ми представляємо графіки руху Deer4D, пряме застосування запропонованої генеративної мережі для створення безперебійної анімації як динамічної форми, так і зовнішнього вигляду між вивченими захопленими послідовностями руху. Нарешті, у розділі 5 представлено кількісну та якісну оцінку запропонованого методу.

3 Представлення Deer4D

Робота є кроком вперед, щоб дозволити контролювати та синтезувати 4D-об'ємне відео, зберігаючи при цьому реалістичність динамічної форми та зовнішнього вигляду. У цьому розділі представлено використання генеративної мережі для ефективного представлення 4D-об'ємного відеовмісту з даних захоплення продуктивності. Спочатку представлено попередню обробку знятого об'ємного відео у форму, придатну для нейронних мереж. Описано генеративну мережу для вивчення 4D-форми із захоплених об'ємних послідовностей разом із використанням варіаційного кодера-декодера для забезпечення відображення компактного латентного просторового представлення від 3D-скелетної пози до відповідної 4D-динамічної форми. Нарешті, ми представляємо генеративну мережу для вигляду 4D-відео, яка вчиться синтезувати вигляд динамічної текстури високої роздільної здатності з представлення компактного прихованого простору, рис. 1. Застосування компактного латентного просторового представлення дозволяє інтерполювати між скелетними позами для створення правдоподібної проміжної форми та вигляду сітки. Ці розділи окремо описують внесок генераторної мережі, проілюстрований на малюнку 1. Генеративне представлення Deer4D дозволяє генерувати реалістичне відтворення людських персонажів із можливістю перенацілювання нової інформації про рух скелета.

Об'ємна попередня обробка відео

У контексті цієї роботи 4D-об'ємне відео представляє 4D-сітку на основі захоплення відео кількох переглядів.

Сучасна об'ємна зйомка людей із вільним одягом і волоссям забезпечує реконструйовану форму та текстуру з високою роздільною здатністю. Необроблене об'ємне відео зазвичай призводить до неструктурованої послідовності сітки, де як форма сітки, так і зв'язок змінюються від кадру до кадру. Було введено декілька підходів для тимчасового вирівнювання за короткими підпослідовностями для стиснення вимог до зберігання або глобального вирівнювання за повними послідовностями.

У цій роботі ми використовуємо керовану скелетом структуру об'ємного вирівнювання поверхні для попередньої обробки знятих 4D-об'ємних відео людей, щоб отримати тимчасово когерентну сітчасту структуру в кількох послідовностях. Цей фреймворк отримує як вхідний сигнал синхронізоване відео з кількома переглядами від каліброваних камер і повертає 3D-скелетні суглоби та тимчасово узгоджені 3D-сітки з однаковим підключенням сітки в кожному кадрі. Зовнішній вигляд текстури отримується шляхом повторного відображення оригінальних зображень камери з кількома оглядами на узгоджену в часі 3D-сітку, що забезпечує динамічну карту текстури з узгодженими координатами для всіх захоплених кадрів. Вхідні дані для глибокої мережі, представлені в наступних розділах, складаються з центрованих 4D послідовностей сітки, узгоджених у часі, з відповідними 2D картами текстури та 3D розташуванням скелетних суглобів.

Цей розділ містить математичний опис і дослідження запропонованого способу кодування "гнучкою" розрядною сіткою і способів адаптації кодування як для серій із обмеженою, так й із необмеженою довжиною; теоретичну оцінку ефективності і порівняльний аналіз способів адаптації та способу кодування: існуючої – фіксованої та розробленої – "гнучкою" розрядними сітками.

У залежності від виду серії застосовується відповідне кодування. Для серій із обмеженою довжиною використовується тільки кодування фіксованою розрядною сіткою. Для кодування серій із необмеженою довжиною застосовуються як фіксована, так і "гнучка" розрядні сітки.

Таким чином, характеристики відеоданих, представлених у цифровому вигляді, змінюються у залежності від обраного виду довжини серії і методики кодування.

Щоб вибрати найбільш ефективний варіант поєднання виду довжини серії і засобу кодування, проводиться теоретична оцінка змін характеристик відеоданих.

Оцінка і порівняння проводилися за такими характеристиками відеоданих як:

- об'єм;
- коефіцієнти стиснення;
- ефективності кодування.

Зазначені характеристики для кодування фіксованою розрядною сіткою розраховувалися за такими аналітичними виразами:

$$W_S^{\infty} = N \cdot p \cdot G_S;$$

$$K_S^{\infty} = \frac{G_{\Pi}}{p \cdot G_S};$$

$$\mathfrak{E}_S^{\infty} = \frac{H_L^{\infty}(S)}{G_L^{\infty}};$$

$$W_S^C = \frac{N \cdot p}{1 - q} \cdot G_S;$$

$$K_S^C = \frac{(1 - q^C) \cdot G_{\Pi}}{p \cdot G_S};$$

$$\Theta_S^C = \frac{(1 - q^{C-1}) \cdot H_L^{\infty}(S)}{G_L^C},$$

де:

W_S^{∞} , K_S^{∞} , Θ_S^{∞} – об'єм, коефіцієнти стиснення й ефективності кодування для відеоданих поданих серіями із необмеженою довжиною;

W_S^C , K_S^C , Θ_S^C – об'єм, коефіцієнти стиснення й ефективності кодування для відеоданих поданих серіями із обмеженою довжиною;

G_S – розрядність кодового слова, необхідна для запису параметрів серії;

G_{Π} – розрядність кодового слова, яка відводиться на кодування параметру візуалізації;

G_L^C – розрядність кодового слова, яка відводиться на кодування серії із обмеженою довжиною;

$H_L^{\infty}(S)$ – ентропія довжини серії із необмеженою довжиною.

При кодуванні "гнучкою" розрядною сіткою W_S^D , K_S^D , Θ_S^D – об'єм, коефіцієнти стиснення й ефективності кодування дорівнюють:

$$W_S^D = N_S \cdot \left[(1 - q^{D_1}) \cdot G_{S_1}^D + \sum_{r=2}^{N_D} N \cdot p \cdot (q^{D_{r-1}} - q^{D_r}) \cdot G_{S_r}^D \right];$$

$$K_S^D = \frac{G_{\Pi}}{p \cdot \left[(1 - q^{D_1}) \cdot G_{S_1}^D + \sum_{r=2}^{N_D} (q^{D_{r-1}} - q^{D_r}) \cdot G_{S_r}^D \right]};$$

$$\Theta_S^D = \frac{H^{\infty}(S)}{(1 - q^{D_1}) \cdot G_{S_1}^D + \sum_{r=2}^{N_D} (q^{D_{r-1}} - q^{D_r}) \cdot G_{S_r}^D},$$

де:

N_S – кількість серій;

D_1, D_r, D_{r-1} – інтервали кодових груп за довжиною серій;

$G_{S_1}^D, G_{S_r}^D$ – розрядність кодового слова, що необхідна для запису параметрів серії, які потрапляють у відповідну кодову групу;

$H^{\infty}(S)$ – ентропія серії із необмеженою довжиною.

Чисельні розрахунки характеристик відеоданих показали, що необхідно розробити способи адаптації кодування під тип зображення.

При кодуванні серій із обмеженою довжиною максимальні значення коефіцієнта ефективного кодування отримані для способу, що використовує ентропію довжини серії із необмеженою довжиною.

При кодуванні "гнучкою" розрядною сіткою найкращі показники коефіцієнта ефективного кодування мають два способи, які використовують ентропію серії із

необмеженою довжиною та розрядність кодового слова, необхідну для кодування математичного чекання довжини необмеженої серії.

Для порівняння використовуються два варіанти сполучення довжин у послідовності серій: найкращий і найгірший.

Передбачається, що все сімейство залежностей характеристик відеоданих знаходиться в області, обмеженої залежностями, отриманими для найкращого і найгіршого варіантів.

Дослідження залежностей об'ємів і коефіцієнтів стиснення відеоданих показує, що мінімальний об'єм і найбільший коефіцієнт стиснення відеоданих буде для найкращого варіанту при кодуванні серій із необмеженими довжинами фіксованою розрядною сіткою.

Цей факт дозволив спростити дослідження характеристик відеоданих тільки для найгіршого варіанту сполучення довжин у послідовності серій.

Аналіз отриманих результатів показав, що для представлення зображень варто використовувати серії із необмеженою довжиною, які кодуються фіксованою або "гнучкою" розрядною сіткою в залежності від сполучення довжин у послідовності серій.

Структурна схема розробленої системи зображена на рисунку 1. На ній показано структуру системи передачі відеоданих з урахуванням запропонованого у роботі відеокодека на основі компактного представлення відеоданих.

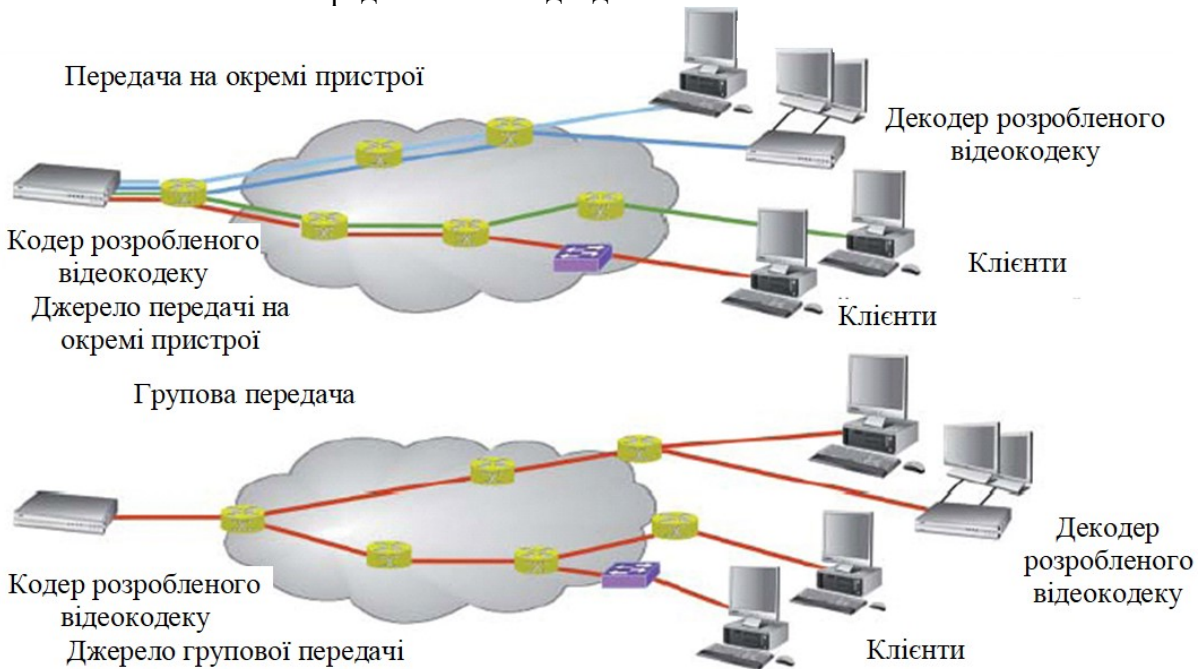


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет; Досліджена система компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання компактного представлення відеоданих з метою зменшення часу їх обробки і передачі у мережі Інтернет. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для

функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Smirnov O., Kuznetsov A., Lokotkova I., Kuznetsova T., Florov S., Lebid O. «Using Orthogonal Signals to Hide Information in Images». 4 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) - 2021, Lviv, Ukraine, September 21-25, 2021. P. 255-260.
2. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
3. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
4. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». Journal of theoretical and applied information technology Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
5. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New technique for data hiding in cover images using adaptively generated pseudorandom sequences». CEUR Workshop Proceedings Volume 2654, 2020, Pages 1-14.
6. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudorandom sequence generation for spread spectrum image steganography». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 161-165.
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
8. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
9. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
10. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
11. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Gorbacheva, L., Babenko, V., «Hiding data in images using a pseudo-random sequence», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 646-660.
12. Zhurakovskiy, B., Tsopa, N., Batrak, Y., Odarchenko, R., Smirnova, T «Comparative analysis of modern formats of lossy audio compression». Workshop Proceedings, 2020, 2654, стр. 315-327.
13. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
14. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
15. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
16. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
17. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
18. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.
19. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», Telecommunications and Radio Engineering. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.
20. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New Technique for Hiding Data in Cover Images Using Adaptively Generated Pseudorandom Sequences». CEUR Workshop Proceedings Volume 2732, 2020, Pages 214-227.
21. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем ІР-телефонії». Підводні технології, 2024, № 13, с. 28-35.