

The main components of the concept of NGOSS (New Generation Operations Systems and Software — a new generation of operating systems and software) are considered. TNA provides separation of external business process description from internal implementation. The necessity of introduction of technologically neutral architecture in the system of management of activity of the telecommunication operator for increase of labor productivity and decrease in operational expenses in telecommunication networks is substantiated. The application of the TNA architecture ensures that confidential information generated by or relating to the user is adequately protected against misuse or unauthorized misappropriation.

TNA model (technologically neutral architecture) and SOA (service-oriented architecture) described as the mechanisms for interaction between business-processes and information data model. The main benefits of implementing technologically neutral architecture in the management system of telecommunications operator determined. It up the issues related to the efficient management of the activities of the telecommunications operator. Interfaces do not depend on the hardware platform, operating system or programming language in which the service is implemented. This approach allows you to create services on different systems that interact with each other in a single standard way. The main perspectives of NGOSS (business, system, implementation; deployment), through which the life cycle of NGOSS is carried out, are considered. The expediency of implementing the NGOSS concept in the activity of a telecommunications operator is substantiated.

Keywords: telecommunications network management system; domain; business model; information system architecture; TNA.

УДК 004.8+65.05+681.5

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.060814

Ю. І. КАТКОВ, канд. техн. наук, доцент;

О. С. ЗВЕНІГОРОДСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент;

О. В. ЗІНЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент;

В. В. ОНИЩЕНКО, доктор техн. наук, професор;

Б. О. ФАДЕЄВ, бакалавр,

Державний університет телекомунікацій, Київ

МЕТОД СКОРОЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАДМІРНОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ХМАРНИХ СХОВИЩ

Розглянуто актуальне питання пошуку нових ефективних і вдосконалення наявних широко поширених методів стиснення з метою зменшення обчислювальної складності та підвищення якості відновлюваних за образами стиснення зображень у реальному масштабі часу, що має важливе значення для впровадження хмарних технологій. Наведено постановку завдання: для підвищення ефективності застосування хмарних сховищ потрібне визначення способів скорочення інформаційної надмірності цифрових зображень методами фрактального стиснення відеоконтенту, вироблення рекомендацій щодо можливостей застосування реалізації цих методів для розв'язання різних практичних задач. Обґрунтовано необхідність зберігання відеоінформації високої якості в нових форматах HDTV 2k, 4k, 8k у хмарних сховищах для задоволення наявних потреб користувачів. Показано, що під час оброблення і передавання відеоінформації високої якості є проблема скорочення надмірності обсягу відеоданих (стиснення зображення) за умови збереження потрібної якості зображення, що відновлюється в користувача. Визначено, що в хмарних сховищах поява такої проблеми історично пов'язана з протиріччям між вимогами споживачів до якості зображення та потрібними для цієї якості обсягами і способами зниження надмірності відеоданих, що передаються по каналах зв'язку та обробляються в серверах центрів оброблення даних. Розв'язання цієї проблеми традиційно міститься в площині пошуку ефективних технологій стиснення, архівування та компресії відеоінформації. Проаналізовано методи стиснення відео та технології цифрової компресії відеосигналу, що дає можливість скоротити кількість даних, які використовуються для подання відеопотоку. Запропоновано підходи до стиснення зображення в хмарних сховищах за умов збереження або незначного зменшення кількості даних, які забезпечують під час відновлення в користувача задану якість відновленого зображення. Надано класифікацію спеціальних методів стиснення без втрат та з втратами інформації. На основі виконаного аналізу встановлено доцільність застосування спеціальних методів стиснення з втратами інформації для зберігання відеоінформації високої якості в нових форматах HDTV 2k, 4k, 8k у хмарних сховищах. Обґрунтовано застосування оброблення відеозображень, а також їх кодування та стиснення на основі фрактального стиснення зображень. Надано рекомендації щодо впровадження цих методів.

Ключові слова: хмарні сховища; надмірність цифрових зображень; фрактальне стиснення зображення.

Вступ

Останнім часом спостерігається бурхливий розвиток хмарних технологій, які базуються на інформаційних і телекомунікаційних технологіях. Сьогодні потреба у відеоінформації високої якості в нових форматах HDTV 2k, 4k, 8k набуває у ко-

ристувачів все більшої уваги. Тому важливе місце в хмарних технологіях посідають питання зберігання даних у хмарних сховищах відеоінформації високої якості в нових форматах HDTV 2k, 4k, 8k у цифровому вигляді. При цьому одним із найважливіших завдань у процесі оброблення і передавання

відеоінформації високої якості є проблема скорочення надмірності обсягу відеоданих (стиснення зображення) за умов збереження потрібної якості зображення, що відновлюється в користувача.

Стиснення відео (англ. *Video compression*) — технологія цифрової компресії відеосигналу, що дає змогу скоротити кількість даних, які використовуються для подання відеопотоку. Стиснення відео уможливорює ефективне скорочення потоку, необхідного для передавання відео по телекомунікаційних каналах зв'язку, зі зменшенням простору, потрібного для зберігання даних на носії.

У хмарних сховищах поява такої проблеми історично пов'язана з протиріччям між споживчими вимогами до якості зображення та необхідними для цієї якості обсягами і способами зниження надмірності відеоданих, що передаються по каналах зв'язку та обробляються в серверах центрів оброблення даних. Інакше кажучи, споживчі вимоги до якості зображення завжди випереджають технічні можливості засобів зберігання зображень і пропускну здатність засобів приймання-передавання відеоданих. Розв'язання цієї проблеми традиційно перебуває в площині пошуку ефективних технологій стиснення відеоінформації.

Відомо, що головна ідея таких технологій полягає у штучному описі математичними методами вихідного зображення меншою кількістю бітів (стиснення зображення) зі збереженням або незначним зменшенням кількості даних, які забезпечують під час відновлення в користувача задану якість відновленого зображення. Згідно з цією ідеєю стиснення зображень зорієнтовано на скорочення обсягу даних спеціальними математичними методами кодування зображення, коли параметри вихідного зображення кодуються відповідним чином із певною втратою даних. Природно, що у процесі кодування за допомогою певних методів стиснення (архівування) зображення зменшується кількість бітів у масиві архіву, що скорочує час передавання зображення по мережі й економить простір для зберігання в хмарних сховищах. Відновлення (розархівування) зображення з масиву архіву в користувача здійснюється спеціальними методами вихідного зображення. Але внаслідок втрати частини даних на етапі кодування зображення під час відновлення не буде відповідати якості вихідного зображення. Оскільки більша частина переданих даних є графічною або відеоінформацією, коли вимоги до якості відновленого зображення дуже високі, то виникає істотна потреба в якісному стисненні з якомога меншими втратами якості відновленого зображення. Внаслідок цього постає потреба у вирішенні завдання щодо подолання труднощів під час зберігання і передавання зображень методами скорочення інформаційної надмірності цифрових зображень.

Тому все більшої актуальності набувають пошуки нових ефективних методів стиснення, а також удосконалення наявних широко відомих методів із метою зменшення обчислювальної складності та підвищення якості відновлюваних за зразками стиснення зображень у реальному масштабі часу, що надзвичайно важливо для впровадження хмарних технологій.

Нині використовуються численні методи стиснення/відновлення зображень різної фізичної природи. Серед них можна виокремити два великих класи — методи стиснення без втрат і методи стиснення із втратами. Головними показниками стиснення є: коефіцієнт стиснення $K_{ст}$, оцінка якості Q стисненого кодованого зображення, час T перетворення і ступінь втрат інформації [1–3].

Методи стиснення дискретних зображень без втрат — це графічні формати (файли BMP, PCX, TIFF, GIF, PNG, JPEG) та алгоритми стиснення зображень без втрат (алгоритми RLE, LZ, LZW, Хаффмана, Lossless JPEG). Результатом стиснення без втрат завжди є зниження обсягу вихідного потоку інформації без зміни його інформативності, тобто без втрати інформаційної структури. З вихідного потоку за допомогою відновлювального алгоритму можна отримати вхідний потік [4]. Методи стиснення без втрат використовуються зазвичай у прикладних програмах, коли втрата інформації неприпустима або самі шуми зображення є головною інформацією, наприклад в медицині, де стиснення зображень заборонено законом, у космічній топографічній зйомці, у системах оцінювання якості оптико-електронних систем. Наведені алгоритми універсальні і охоплюють усі типи зображень, однак забезпечують занадто маленький коефіцієнт стиснення (архівування), який досягається цими методами приблизно не більше двох. Це пов'язано зі складністю для цих методів враховувати зміни кольору і структури зображення на невеликій ділянці (когерентність частин зображення).

Методи стиснення дискретних зображень із втратами — це методи спектрального стиснення, якщо можна допустити появу деякого спотворення в кінцевому результаті стиснення завдяки збільшенню коефіцієнта стиснення. До методів стиснення із втратами дискретних зображень належать: апроксимаційні методи, методи зрізаного блочного кодування, методи спектрального розкладання (JPEG, MPEG і Wavelet Image Compression), метод хвильових сплесків (вейвлет-стиснення), стиснення зображень на основі їх уявлень у вигляді польової структури, фрактального стиснення зображень. Коефіцієнт стиснення досягається цими методами від 1:10 до 1:1000. Однак їм притаманні істотні недоліки — висока трудомісткість (час перетворення в комп'ютері),

значні викривлення за великих значень коефіцієнта стиснення. Під час використання стиснення із втратами з'являються характерні, іноді чітко видимі артефакти, наприклад блочність (розбиття зображення на блоки 8×8 пікселів), замилування (втрата дрібних деталей зображення) тощо.

Серед методів стиснення із втратами дискретних зображень особливе місце посідають сучасні методи комп'ютеризованого оброблення відеозображень — їх кодування та стиснення на основі теорії фракталів [5–7], так зване фрактальне стиснення зображень.

Постановка завдання. Для підвищення ефективності застосування хмарних сховищ потрібно визначити засоби скорочення інформаційної надмірності цифрових зображень методами фрактального стиснення відеоконтенту, виробити рекомендації щодо можливостей застосування реалізації цих методів для розв'язання різних практичних задач.

Аналіз останніх наукових досліджень. Дослідження проблеми скорочення інформаційної надмірності даних розпочалися з 40-х років ХХ сторіччя, коли вчені, що працюють у сфері інформаційних технологій, чітко зрозуміли, що можна розробити такі способи зберігання даних, при яких простір пам'яті буде витрачатися значно менше. Клод Шеннон, вивчаючи нюанси розбіжностей між семантикою (semantics) (що саме деяка сутність означає) і синтаксисом (syntax) (як саме деяка сутність виражається), розробив більшість базових понять теорії стиснення [8]. Головним у цієї теорії є те, що методи стиснення намагаються збільшувати ентропію файлу, тобто зменшувати довжину файлу, зберігаючи при цьому всю інформацію. Одночасно з Шенноном проводив дослідження властивостей інформації Хартлі. Він розробив основний критерій оцінювання інформації — формулу Хартлі. На основі цих теоретичних положень було розроблено багато методів стиснення даних. Розгляд методів стиснення надається в багатьох публікаціях таких дослідників, як Сэломон Д., Дж. Рассел, М. Гонсалес Р., Вудс Р. та ін. [1–3]. Але впровадження хмарних сервісів породжує нове завдання — пошук методів підвищення ефективності стиснення відеоконтенту високої якості (2k, 4k, 8k). Новим напрямком є застосування методів фрактального стиснення [15]. Тому сьогодні дослідження методів скорочення інформаційної надмірності цифрових зображень методами фрактального стиснення відеоконтенту, вироблення рекомендацій щодо можливостей застосування реалізації цих методів для розв'язання різних практичних задач є актуальною та своєчасною.

Основна частина

Фрактальне стиснення зображень — це алгоритм стиснення зображень із втратами, заснований

на застосуванні систем ітераційних функцій до зображень. Теоретичною основою для фрактального підходу стиснення є те, що зображення реального світу мають афінну надмірність інформації [9].

Афінність (*affinis* – родинний) передбачає міцність скріплення об'єктів зв'язками, взаємну відповідність двох об'єктів (комплементарність між об'єктами), яка і визначає їх можливу взаємодію [10].

Надмірність у теорії інформації — це кількість бітів, використовуваних для передавання повідомлення, мінус кількість бітів фактичної інформації в повідомленні. Стиснення даних є способом для зменшення або усунення небажаної надмірності. Величина надмірності інформації пов'язана з фактичною кількістю інформації в джерелі. Надмірність в інформаційних структурах підвищує надійність їх роботи. Проте надмірність ускладнює систему, збільшує час оброблення інформації, розмір потрібної пам'яті для зберігання та знижує реальну пропускну здатність каналів зв'язку [11].

Афінна надмірність означає, що в будь-якому зображенні є деяка множина ділянок зображення, так званих доменних блоків, які під час розтягування або стиснення зображення будуть змінюватися рівномірно. Зміст афінної надмірності пов'язаний із поняттям афінних перетворень.

Афінні перетворення — це процес, коли будь-яка точка об'єкта під час розтягування (стиснення) рівномірно змінюється, наприклад, якщо розтягнути вздовж якогось напрямку коло, то дістанемо лекальну криву — еліпс, якщо розтягнути квадрат у певному напрямку, паралельному одній парі сторін, то утвориться прямокутник, якщо ж квадрат розтягнути або стиснути в напрямку його діагоналі, то буде сформовано паралелограм. За умов рівномірного розтягування і стиснення всі шматочки площини будуть розтягуватися (стискатися) однаково.

Треба зазначити, що під час афінного перетворення для кожного доменного блока можна знайти окрему нерухому опорну точку, так званий атрактор.

Атрактор (англ. *Attract* — залучати, притягати) — це компактна підмножина фазового простору динамічної системи, усі траєкторії з деякого околу якого прагнуть до нього в часі, що прагне до нескінченності. Тобто атрактор є нерухомою точкою, яка притягує [12].

Для ілюстрації атрактора розглянемо коливання маятника. Маятник коливається в просторі із заданою періодичністю. Траєкторія коливання проходить від максимального відхилення в той або інший бік через деяку середню точку. На маятник діє опір повітря. Тому його коливання загасають від максимального відхилення до стану спокою над цією середньою точкою. З погляду

атракторів ця точка нерухома і притягує до себе загасання маятника. Тобто атрактор — це точка, біля якої здійснюються загасальні коливання маятника внаслідок тертя об повітря

З теорії фракталів відомо, що головна особливість атрактора полягає в тому, що від цієї точки можна відновити зображення доменного блока завдяки процесу, заснованому на принципі самоподоби.

Принцип самоподоби. Множина $S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_i \cup \dots \cup S_k$ самоподібна, якщо кожне S_i конгруентно S (збігається в разі переходу одна в одну під час руху), масштабованому за загальним фактором s ($0 < s < 1$), тобто множина S розкладається на неперетинні конгруентні підмножини. Звідси стає зрозумілим, що процес кодування зображення складається за потреби виокремити інформацію про множину нерухомих опорних точок (атракторів), потім передати цю інформацію про атрактори вихідного зображення, а на прийманні відновити множину доменних блоків відносно множини атракторів фрактальними методами.

Отже, основа методу фрактального кодування — це виявлення самоподібних ділянок у зображенні, так званих доменних блоків. Даний алгоритм відомий тим, що дає змогу здобути дуже високі коефіцієнти стиснення до 1:1000 за прийнятної візуальної якості для реальних фотографій природних об'єктів [13].

Звідси головним завданням щодо застосування фрактальних методів для стиснення зображень є пошук деяких умов, які сприяють підвищенню якості перетворення (збільшують коефіцієнт стиснення до 1:1000), підвищують точність відновленого відеозображення і компактність цифрових відеозображень, скорочують час перетворень на етапі кодування, підвищуючи ефективність використання хмарних сховищ.

Для отримання інформації про множину нерухомих опорних точок (атракторів) потрібне застосування спеціальних методів, в основу яких покладено теорему Банаха.

Згідно з теоремою Банаха під час стиснення відображення повного метричного простору завжди існує нерухома точка, причому лише одна. Це твердження є «принципом стиснення відображень», що широко використовується під час доведення різних математичних тверджень [14].

Тоді, на основі теореми Банаха будь-яке стиснення зображень можна подати як множину ітерації пошуку доменного блока у вихідному зображенні і ці ітерації пошуку завжди зумовлюють отримання нерухомої точки (атрактора). Але на практиці процес ітерації пошуку доменного блока у вихідному зображенні має деякі труднощі, які полягають у визначенні алгоритму стиснення, тобто методу, що створює найбільш відповідне стиснення

відображення відносно первинного зображення. Саме на цьому питанні зосереджена фрактальна математика.

З теорії фрактальної математики відомо, що побудова відображення зображень можлива як прямим способом, так і зворотним — методом систем ітераційних функцій (*Iterated function system — IFS*).

Прямий спосіб виконання алгоритмів стиснення базується на перебиранні різних варіантів і потребує великих обчислювальних витрат потужності та часу роботи процесора комп'ютера. Стиснення середнього за розмірами зображення забирає майже 100 год роботи на потужній дво-процесорній робочій станції, причому за участю людини. Тому основна складність застосування прямого способу для фрактального стиснення полягає в тому, що для відшукування відповідних доменних блоків та їх атракторів потрібне повне перебирання. Така операція вимагає доволі тривалого часу для визначення нерухомих опорних точок (атракторів), оскільки при цьому кожного разу необхідно порівнювати два масиви даних (вихідний і кінцевий) про зображення методом скалярного множення цих двох масивів.

Метод IFS — це метод для фрактального стиснення зображення, який утворює набір тривимірних афінних перетворень, що перетворює одне зображення в інше за допомогою коефіцієнтів системи інтерактивних функцій. Перетворенню підлягають точки в тривимірному просторі (x -координата, y -координата, z -яскравість). Фактично, фрактальне стиснення (компресія) — це пошук самоподібних ділянок у зображенні і визначення для них параметрів афінних перетворень. Результатом є знайдення інформації щодо коефіцієнтів стиснення, яка займає менше місця, ніж вихідне зображення. Звідси дістанемо алгоритм фрактального стиснення (компресії, архівування), який засновано на тому, що за допомогою коефіцієнтів системи ітераційних функцій зображення можна подати в більш компактній формі. Дійсно, сьогодні найбільш відомі два зображення, здобуті з використанням IFS: трикутник Серпінського і папороть Барнслі. Перше задається трьома, а друге — п'ятьма афінними перетвореннями. Кожне перетворення задається буквально ліченими байтами, тоді як зображення, побудоване з їх допомогою, може займати і кілька мегабайт.

Уперше можливість застосування теорії систем ітераційних функцій IFS до проблеми стиснення зображення було досліджено Майклом Барнслі і Аланом Слоуном. Вони запатентували свою ідею в 1990 і 1991 роках (U.S. Patent 5,065,447). А. Жакен представив метод фрактального кодування, в якому використовуються системи доменних і рангових блоків зображення (*Domain and range sub-*

image blocks), блоків квадратної форми, що покривають усе зображення. Цей підхід став основою для більшості методів фрактального кодування. Його було вдосконалено Ю. Фішером та іншими дослідниками.

Згідно з цим методом будь-яке зображення розбивається на множину рангових блоків діапазонних зображень (*Range subimages*), що не перекриваються, і визначається множина перекривних доменних підзображень (*Domain subimages*).

Ідея полягає в такому: припустимо, що вихідне зображення є нерухомою точкою якогось архіву відображення. Тоді можна замість самого зображення у будь-який спосіб запам'ятати це відображення, а для відновлення багаторазово застосувати це відображення до будь-якого вихідного зображення.

Таким чином, для кожного рангового блока алгоритм кодування відшукує найбільш прийнятний доменний блок із відповідним афінним перетворенням. Алгоритм афінного перетворення переводить цей доменний блок у даний ранговий блок. Звідси структура зображення відображається в систему рангових блоків, доменних блоків і перетворень.

Значимо, що переваги застосування методу IFS можливі, якщо є оптимізує алгоритми. Якщо їх немає, то буде потрібно здійснювати повне перебирання і порівняння всіх можливих фрагментів зображення різного розміру. На жаль, навіть для невеликих зображень під час обчислення дискретності отримаємо астрономічну кількість перебраних варіантів. Навіть різке звуження класів перетворень, наприклад масштабуванням тільки в певну кількість разів, не дозволить домогтися прийняттого часу. Крім того, при цьому втрачається якість зображення. Переважну більшість досліджень у сфері фрактальної компресії зараз спрямовано на зменшення часу архівування, необхідного для отримання якісного зображення.

Одним із напрямів оптимізації алгоритмів IFS є пошук алгоритмів оптимізації перебирання, які дають можливість вирішувати це завдання найбільш ефективними методами. Такими методами є метод виокремлення особливостей і метод класифікації доменів.

Метод виокремлення особливостей (*feature extraction*) полягає в тому, що для виокремлення особливостей зображення використовуються алгоритми виокремлення контурів і опорних точок, що дає змогу користувачеві виокремити найбільш інформативні ділянки та отримати вірогідну інформацію про контури (кордони) кожного об'єкта зображення.

У **методі класифікації доменів** (*classification of domains*) для виокремлення особливостей зображення застосовуються алгоритми нейронних

мереж, які уможливають класифікацію об'єктів за доменами (формами) різних видів, що є в зображенні.

Застосування зазначених методів дає можливість вирішити важливе завдання — отримувати задану якість відновлення зображення. Ідеться про те, що для фрактального алгоритму стиснення зображень, як і для інших алгоритмів стиснення із втратами, дуже важливо діставати задану якість відновлення зображення регулюванням ступеня стиснення і ступеня втрат.

Для регулювання ступеня стиснення і ступеня втрат існують такі умови:

- обмежити кількість перетворень, свідомо забезпечивши ступінь стиснення не нижчий за фіксоване значення;

- зажадати, щоб в ситуації, коли різниця між оброблюваним фрагментом і найкращим його наближенням буде вища, ніж певне порогове значення, цей фрагмент дробився обов'язково;

- заборонити дробити фрагменти, розмір яких менший, припустимо, ніж чотири точки.

Змінюючи порогові значення і пріоритет цих умов, можна дуже гнучко керувати коефіцієнтом стиснення зображення: від побітної відповідності до будь-якого ступеня стиснення.

Отже, IFS задає фрактальну структуру відображення вихідного зображення, як завгодно близьку до вихідного зображення.

Застосування IFS під час відновлення зображення має свої переваги та недоліки. Алгоритми відновлення зображення на основі застосування фрактальних методів для стиснення зображень, по-перше, досить ефективні і швидкі, а по-друге, є можливості масштабування.

Масштабування — це унікальна особливість, притаманна фрактальній компресії. Згодом її, мабуть, будуть активно використовувати як у спеціальних алгоритмах масштабування, так і в багатьох додатках. Дійсно, цього вимагає концепція «додаток у вікні». Було б непогано, якби зображення, що показується у вікні 100×100 , мало добрий вигляд і зі збільшенням на повний екран — 1024×768 .

Можливість масштабування з'являється завдяки самоподібності складної структури зображення, яку отримуємо під час відновлення за будь-якого збільшення, тобто якість зображення не залежить від розміру екрана (екранного розширення). Це пов'язано з тим, що на етапі архівування проводиться розпізнавання зображення, і у вигляді коефіцієнтів зберігається вже не растрова інформація, а інформація про структуру самого зображення. Саме це і дає можливість під час розгортання збільшувати його в кілька разів. Особливо вражають приклади, в яких зі збільшенням зображень природних об'єктів виявляються нові

деталі, дійсно цим об'єктам властиві (наприклад, у разі збільшення фотографії скелі вона набуває нових, більш дрібних нерівностей).

Але є і недоліки під час застосування IFS — це залежність якості зображення від специфіки однорідності самого зображення. Розглянемо це на прикладі. Якщо зображення є однорідним, візьмо зображення фрагмента тільки скелі, то в процесі збільшення маємо відмінні результати. Однак якщо стискати складне зображення, скажімо натюрморту, то передбачити, які нові фрактальні структури виникнуть, дуже складно. Але все одно вдвічі-втричі можна збільшити практично будь-яке зображення, під час архівування якого задався невеликий ступінь втрат.

Сьогодні потреба у відеоінформації високої якості в нових форматах HDTV 2k, 4k, 8k набуває у користувачів все більшої уваги. Тому важливе місце в хмарних технологіях посідають питання збереження даних у хмарних сховищах відеоінформації високої якості в нових форматах HDTV 2k, 4k, 8k в цифровому вигляді. Вирішення цієї задачі також можливе завдяки застосуванню фрактального стиснення.

Прикладом фрактального стиснення графічних файлів є формат **FIF** (*Fractal Image Format*), запатентований фірмою Iterated Systems. Алгоритм зорієнтовано на повноколірні зображення і градації сірого. Він дає змогу архівувати якесь зображення двома афінними перетвореннями, які однозначно визначають 12 коефіцієнтів. Якщо тепер задатися будь-якою початковою точкою (наприклад, $X = 0$, $Y = 0$) і задіяти ітераційний процес, то після першої ітерації дістанемо дві точки, після другої — чотири, після третьої — вісім і т. д. Через кілька десятків ітерацій сукупність отриманих точок буде описувати закодоване зображення. Коефіцієнти стиснення від 1:2 до 1:2000 задаються користувачем [13–15].

На відміну від статичних зображень (статичної графіки) у динамічних зображеннях (відеоконтент) існує покадрове подання інформації. Отже, однією з основних проблем, з якою довелось зіткнутися під час побудови алгоритму фрактальної компресії відеоконтенту, є пошук самоподібних ділянок у зображенні в кадрах. Для відеоконтенту також можливе застосування стиснення. Для цього треба брати до уваги особливості покадрового зображення. Зазвичай сусідні кадри різняться не сильно, і зміни між ними здебільшого виявляються у зсуві, повороті або розтягуванні будь-якої частини зображення. Таким чином, зміни між двома кадрами можна задати невеликою кількістю афінних перетворень.

Отже, було знайдено алгоритми, які істотно оптимізують процес пошуку афінних перетворень. Визначено, що час компресії зменшується

завдяки використанню інформації про попередній кадр. Переважно рух, розпочатий на одному з кадрів, триває досить довго. Тому, скориставшись інформацією про те, які об'єкти і як само зрушили на екрані в попередньому кадрі, можна апроксимувати їх рух і на наступний кадр. Також скорочує час властивість фрактальних алгоритмів легко розпаралелювати процес у багатоядерних процесорах.

Висновки

Для підвищення ефективності застосування хмарних сховищ потрібне визначення методів скорочення інформаційної надмірності цифрових зображень методами фрактального стиснення відеоконтенту. Це можливо завдяки перевагам фрактального методу, які полягають у високих коефіцієнтах стиснення, швидкості зворотного перетворення, меншим похибкам та значному зменшенню обсягу цифрових даних відеозображень, а також можливості подальшого структурного аналізу зображення порівняно з наявними методами.

На основі розгляду фрактального методу вироблені рекомендації щодо можливостей застосування реалізації цих методів для розв'язання різних практичних задач.

Список використаної літератури

1. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. Москва: Техносфера, 2004. 368 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. Москва: Техносфера, 2006. 1072 с.
3. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: учеб. пособ. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.
4. *Fractal Image Encoding and Analysis* / edited by Y. Fisher. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 368 p.
5. Федер Е. Фракталы / пер. с англ. Москва: Мир, 1991. 254 с.
6. Batchelor B. G., Whelan P. F. *Intelligent Vision Systems for Industry* / Springer, 2002. 473 p.
7. Shannon C. E. *Communication Theory of Secrecy Systems* // *Bell System Technical Journal*. 1949.
8. Аффиность [Електронний ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (Дата перегляду 30 жовтня 2020 р.).
9. Надмірність інформації [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (Дата перегляду 30 жовтня 2020 р.).
10. Аттрактор [Електронний ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (Дата перегляду 30 жовтня 2020 р.).
11. Алгоритм фрактального сжатия [Електронний ресурс]. URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki> (Дата перегляду 30 жовтня 2020 р.).

12. *Сжимающее отображение* [Электронный ресурс]. URL:

<https://ru.wikipedia.org/wiki/> (Дата перегляду 30 жовтня 2020 р.).

13. **Крылов Е. В., Аникин В. К., Аникина Е. В.** Исследование вейвлетного метода сжатия изображений для повышения быстродействия веб-

приложений // *Адаптивные системы автоматического управления*. 2013. № 2(23). С. 35–40.

14. **Уэлстид С.** *Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии*. Москва: Триумф, 2003. 320 с.

15. **Мюррей Д., Ван Райпер У.** *Энциклопедия форматов графических файлов / пер. с англ.* Київ: ВНУ, 1997. 672 с.

Ю. И. Катков, О. В. Зинченко, А. С. Звенигородский, В. В. Онищенко, Б. О. Фадеев

МЕТОД СОКРАЩЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ

Рассмотрен актуальный вопрос поиска новых эффективных и совершенствования существующих широко распространенных методов сжатия с целью уменьшения вычислительной сложности и повышения качества возобновляемых по образам сжатия изображений в реальном масштабе времени, что имеет важное значение для внедрения облачных технологий. Приведена постановка задачи: для повышения эффективности применения облачных хранилищ необходимо определение способов сокращения информационной избыточности цифровых изображений методами фрактального сжатия видеоконтента, выработка рекомендаций по возможностям применения реализации этих методов для решения различных практических задач. Выполнено обоснование необходимости хранения видеoinформации высокого качества в новых форматах HDTV 2k, 4k, 8k в облачных хранилищах для удовлетворения существующих потребностей пользователей. Показано, что при обработке и передаче видеoinформации высокого качества возникает проблема сокращения избыточности объема видеоданных (сжатие изображения) при условии сохранения нужного качества изображения, восстанавливаемого у пользователя. Показано, что в облачных хранилищах возникновения подобной проблемы исторически связано с противоречием между требованиями потребителей к качеству изображения и необходимыми для этого качества объемами и способами снижения избыточности видеоданных, что передаются по каналам связи и обрабатываются в серверах центров обработки данных. Решение этой проблемы традиционно находится в плоскости поиска эффективных технологий сжатия, архивирования и компрессии видеoinформации. Проанализированы методы сжатия видео и технологии цифровой компрессии видеосигнала, что позволяет сократить количество данных, которые используются для представления видеопотока. Предложены подходы к сжатию изображения в облачных хранилищах при условиях сохранения или незначительном уменьшении количества данных, которые обеспечивают при восстановлении у пользователя заданное качество восстановленного изображения. Предоставляется классификация специальных методов сжатия без потерь и с потерями информации. На основе выполненного анализа делается вывод о целесообразности применения специальных методов сжатия с потерями информации для хранения видеoinформации высокого качества в новых форматах HDTV 2k, 4k, 8k в облачных хранилищах. Делается обоснование применения обработки видеоизображений, а также их кодирования и сжатия на основе фрактального сжатия изображений. Даются рекомендации по внедрению этих методов.

Ключевые слова: облачные хранилища; избыточность цифровых изображений; фрактальное сжатие изображений.

Yu. I. Katkov, O. V. Zinchenko, O. S. Zvenigorodsky, V. V. Onyshchenko, B. O. Fadieiev

A METHOD FOR REDUCING INFORMATION REDUNDANCY OF DIGITAL IMAGES FOR CLOUD STORAGE

The article is devoted to the topical issue of finding new effective and improving existing widespread compression methods in order to reduce computational complexity and improve the quality of image-renewable image compression images, is important for the introduction of cloud technologies. The article presents a problem To increase the efficiency of cloud storage, it is necessary to determine methods for reducing the information redundancy of digital images by fractal compression of video content, to make recommendations on the possibilities of applying these methods to solve various practical problems. The necessity of storing high-quality video information in new HDTV formats 2k, 4k, 8k in cloud storage to meet the existing needs of users has been substantiated. It is shown that when processing and transmitting high quality video information there is a problem of reducing the redundancy of video data (image compression) provided that the desired image quality is preserved, restored by the user. It has been shown that in cloud storage the emergence of such a problem is historically due to the contradiction between consumer requirements for image quality and the necessary volumes and ways to reduce redundancy of video data, which are transmitted over communication channels and processed in data center servers. The solution to this problem is traditionally rooted in the search for effective technologies for compressing, archiving and compressing video information. An analysis of video compression methods and digital video compression technology has been performed, which reduces the amount of data used to represent the video stream. Approaches to image compression in cloud storage under conditions of preservation or a slight reduction in the amount of data that provide the user with the specified quality of the restored image are shown. Classification of special compression methods without loss and with information loss is provided. Based on the analysis, it is concluded that it is advisable to use special methods of compression with loss of information to store high quality video information in the new formats HDTV 2k, 4k, 8k in cloud storage. The application of video image processing and their encoding and compression on the basis of fractal image compression is substantiated. Recommendations for the implementation of these methods are given.

Keywords: cloud storage; redundancy of digital images; fractal image compression.