

УДК 004

В.Лісовий, магістр гр. КІ-22М-1*Центральноукраїнський національний технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДЕОПОТОКУ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку. Об'єктом дослідження є процес стабілізації та підвищення якості відеопотоку. Предметом дослідження є методи стабілізації та підвищення якості відеопотоку. Методи дослідження базуються на методах комп'ютерної графіки, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Стабілізація відео є одним із найбільш фундаментальних і складних завдань обробки відео, яке може бути широко застосоване в багатьох сферах, таких як відеоспостереження, робототехніка, безпілотні літальні апарати та смартфони. Це технологія покращення відео, спрямована на покращення оригінальної якості відео шляхом усунення потенційно хиткого руху камери. Загалом звичайні методи можна розділити на три типи: 2D, 3D та 2.5D моделі, які переважно мають обмеженість. За останнє десятиліття глибоке навчання з'явилося як потужна техніка для вивчення представлень функцій безпосередньо з даних, що призвело до значного прогресу в стабілізації відео. Однак попередні дослідження зосереджені на звичайних методах і не мають порівняння ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-10] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку.

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

- Огляд існуючих систем стабілізації та підвищення якості відеопотоку.
- Дослідження системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку.
- Програмна реалізація системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку.

Об'єктом дослідження є процес стабілізації та підвищення якості відеопотоку.

Предметом дослідження є методи стабілізації та підвищення якості відеопотоку.

Методи дослідження базуються на методах комп'ютерної графіки, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Зі стрімким розвитком комп'ютерів і мультимедіа в 21-му столітті смартфони стали частіше використовуватися в повсякденному житті, а носяться пристрої (Google Glass [1] тощо) поступово привертають увагу. Більшість цих портативних пристроїв мають можливості камери, але відео, зняті ними, страждають від небажаних рухів, які виглядають як неконтрольоване коливання всього кадру. Це коливання може призвести до ефекту розмиття та значно погіршити якість відео. Згідно з суб'єктивними дослідженнями, нестабільність відео легко сприймається людьми. Ці нестабільності

проявляються як різкий рух або коливання різних частот, що може вплинути на зорове сприйняття. Крім того, швидкі рухи викликають артефакти коливань і геометричні спотворення для ручних пристроїв, оснащених датчиком рухомих затворів у знятій сцені.

Для вирішення цих проблем фотографи зазвичай використовують професійне фотообладнання. Наприклад, фотографи використовують штатив для стабілізації камери або візок для зйомки, щоб досягти кращої стабілізації відео. Однак стрілецьке обладнання дороге, громіздке і малодоступне для любителів. У результаті стабілізація відео поступово стала гострою темою досліджень. Стабілізація відео використовує апаратне або програмне забезпечення для стабілізації нестабільних відеопослідовностей. Якість відео можна покращити шляхом зменшення або усунення небажаних коливань. Стабільне відео може краще відтворювати деталі, і його непрості викликати втому зору. Стабілізацію відео можна застосувати до багатьох областей, включаючи відеоспостереження, безпілотні літальні апарати (БПЛА) і смартфони. Це також може підвищити точність і надійність виявлення об'єктів, відстеження та одночасної візуальної локалізації та картографування (SLAM). Стабілізація відео також може покращити ступінь стиснення даних під час обробки відео.

Стабілізація відео пройшла три етапи: *механічна*, *оптична* та *цифрова* стабілізація. Для *механічної* стабілізації використовується пристрій, відомий як гіростабілізатор. Гіростабілізатор – це невидимий штатив, вбудований у камеру, який компенсує зняте відео та виводить стабілізоване відео. Однак ці пристрої важкі та споживають більше енергії, що робить їх непридатними для програм обробки зображень, чутливих до енергоспоживання та обмежених корисним навантаженням, наприклад портативних пристроїв.

Оптична стабілізація широко використовується в таких смартфонах, як Samsung, Apple тощо, і серйозних дзеркальних камерах, таких як Nikon, Canon тощо. Ця стабілізація переміщує групу лінз у площині, перпендикулярній до оптичної осі, щоб компенсувати вібрацію зображення та досягти стабілізації зображення. Однак оптичні компоненти є відносно дорогими і легко піддаються впливу світла, тому кінцеві результати можуть бути невдалими.

Цифрова стабілізація безпосередньо оцінює вектори руху послідовних кадрів без апаратних пристроїв. Нерівний компонент відокремлюється за допомогою фільтрації та видаляється за допомогою компенсації руху. Нарешті, кадри реконструюються за допомогою деформації зображення.

У порівнянні з двома наведеними вище стабілізаціями відео стабілізація цифрового відео має такі переваги: низька вартість, малий розмір, легка вага та хороша стабілізація. У той же час він може виконувати як онлайн, так і офлайн обробку залежно від потреб. Ця стаття присвячена, зокрема, рішенням цифрової стабілізації відео (DVS).

У сфері стабілізації відео є три репрезентативні дослідження [4], [5], [6]. Однак література [4] зосереджена лише на традиційних методах, відсутній огляд методів, заснованих на глибокому навчанні. У літературі [5] далі обговорюються методи, засновані на глибокому навчанні, і критерії оцінки якості, але відсутні комплексні опитування щодо методів, заснованих на глибокому навчанні, і порівняння ефективності. Література [6] охоплює та обговорює традиційні методи, засновані на глибокому навчанні, але не обговорює критерії оцінки якості, набори даних і результати основних методів стабілізації. Таким чином, більш поглиблене дослідження стабілізації відео є необхідним для кращого керівництва майбутнім дослідженням. У цій статті представлено комплексне дослідження звичайних методів і методів, заснованих на навчанні. Крім того, ми представляємо та обговорюємо оцінку якості, набори даних і методи SOTA [7], [8], [9].

Порівняно з існуючими опитуваннями [4], [5], [6] основний внесок нашої роботи підсумовується таким чином:

- Надаємо повний огляд найбільш типових методів стабілізації відео;
- Представляємо та обговорюємо комплексні метрики оцінки стабілізації відео;

– Підсумовуємо та обговорюємо ефективність найсучасніших методів на чотирьох загальнодоступних наборах даних;

Далі обговорюємо деякі виклики та майбутні напрямки для завдань стабілізації відео.

Звичайна цифрова стабілізація відео

Цифрова стабілізація відео зазвичай використовує «триетапний» підхід:

- оцінка руху;
- компенсація руху;
- деформація зображення.

Першим кроком є створення моделі руху та оцінка глобальних векторів руху. На наступному кроці модель руху використовується для усунення тремтіння для забезпечення стабільного руху камери. Нарешті виконується деформація зображення на згенерованому стабільному шляху камери. Методи автономної стабілізації мають тенденцію обробляти всі кадри перед наступним

Стабілізація цифрового відео на основі глибокого навчання

З розвитком глибокого навчання в останні роки для стабілізації цифрового відео було запропоновано все більше і більше методів на основі згорткових нейронних мереж (CNN). Замість явного обчислення траєкторії камери ці методи моделюють підхід до навчання під наглядом. Методи, засновані на CNN, є більш надійними, ніж традиційні методи стабілізації, оскільки вони вправні у вилученні абстрактних ознак великої розмірності замість того, щоб покладатися на штучне вилучення та зіставлення ознак.

Оцінка якості стабілізації цифрового відео

У стабілізації відео візуальний дискомфорт, спричинений нерегулярним рухом камери, і артефакти, спричинені процесом стабілізації, призведуть до погіршення якості відео. Оцінка якості стабілізації відео в основному призначена для оцінки якості відеопослідовності, яка є основним показником для вимірювання прогресивної та найсучаснішої стабілізації відео.

Публічні набори даних

Набори даних зіграли важливу роль у стабілізації відео. Протягом останніх років були створені різні набори даних, щоб мотивувати дослідників пропонувати методи з кращими характеристиками. Деталі цих найбільш репрезентативних наборів даних, які використовуються в задачах стабілізації відео:

- Набір даних **HUJ**, запропонований Goldstein et al. складається з 42 відеорядів, які в основному є сценами водіння, динаміки, масштабування та ходьби.
- Набір даних **NUS** складається з 144 відеопослідовностей.

Виклики та майбутні напрямки

Незважаючи на те, що найсучасніші методи стабілізації відео досягли швидкого розвитку та багатообіцяючого прогресу, особливо на деяких загальнодоступних контрольних наборах даних, існує багато викликів і відкритих проблем. Нижче ми обговорюємо поточні виклики та напрямки майбутніх досліджень.

Оцінка руху. Найбільш значимим у системах відеоспостереження є модуль детектора руху, оскільки при виявленні руху встає необхідність залучення уваги оператора. Існує велика кількість методів виявлення руху, однак багато які є досить складними з обчислювальної точки зору. До самих швидкодіючих методів визначення руху відносяться методи на основі вирахування тла й порівняння сусідніх кадрів. У їхню основу заставляється порівняння поточного кадру з попереднім або з деяким опорним кадром. При цьому для обчислення різниці між кадрами існують три основних підходи по обчисленню значень на основі компонентів колірної моделі RGB, яскравості пікселів, хроматичних компонентів колірної моделі YUV.

Для розрахунку величини руху був розроблений метод, що припускає використання факторів колірного посилення із застосуванням обчислення значення на основі колірної моделі RGB. Розрахунок абсолютної різниці між значеннями колірних компонентів R, G, B

(Red, Green, Blue) пікселів аналізованих кадрів I_{op} і I_{curr} проводиться в нормованому діапазоні $[0..1]$.

Як опорний кадр можна використовувати як попередній, так і фоновий кадр.

Далі використовується формула для розрахунку величини зміни пікселя в нормованій формі колірної моделі RGB.

Найчастіше шум у кадрах може бути зарахований як зміна в пікселі, і в підсумку у великій кількості цей шум буде впливати на величину руху. Для зменшення впливу шуму на величину руху необхідна додаткова корекція. Вона відбувається залежно від устанавленого граничного значення $[TS]$ і коефіцієнта придушення малих відхилень $[Lc]$.

Параметр коефіцієнта придушення малих відхилень обчислюється на основі експериментальних досліджень і може бути скоректований під час налаштування параметрів системи.

Значення величини, що характеризує рух між двома кадрами (зміни в кадрі), обчислюється на підставі загальної величини, що характеризує зміна значень пікселів аналізованої області кадру.

Для класифікації руху використовується значення величини, що характеризує рух між двома кадрами, при цьому слід зазначити, що залежно від сцени діапазони класифікації руху можуть варіюватися.

Для можливості зберігання інформації про рух був створений власний формат зберігання відеоданих. Спроекована структура файлу складається із двох основних блоків – заголовної частини й блоку даних. У заголовній частині описуються параметри камери, характеристики відеозапису, а також індексне поле, що містить інформацію про рух, тимчасові мітки й т.п. Запропонована структура файлу дозволяє здійснювати швидку навігацію й перевантажувати параметри оцінки руху, що зберігаються в заголовній частині. Наявність в індексному полі посилального зв'язку дає можливість організації проріджування відеопослідовності шляхом видалення кадрів, у яких або відсутній, або зафіксований дуже малий рух.

Стабілізація відеоданих

Модуль стабілізації відеопослідовності націлений на придушення небажаної вібрації руху внаслідок механічного тремтіння камери й погодних умов, а також на синтез нових зображень послідовності з урахуванням стабілізації траєкторії руху камери. При використанні стаціонарних IP-камер на відкритому просторі тремтіння кадру може виникати при русі камери або під впливом вітру. Для поліпшення якості відеопослідовності розроблений алгоритм стабілізації, що відрізняється від відомих знаходженням мінімальної відстані між блоками й заснований на виводі функції вартості, шляхом відновлення границь кадру й за допомогою тимчасових фільтрів для поліпшення якості відеопотоку.

Після одержання кадру перебувають локальні вектори руху із застосуванням методу відповідності блоків. Для кожного блоку пікселів на попередньому кадрі шукається відповідний блок на поточному кадрі [1]. Функція порівняння переданих блоків, використовуючи метрику PSNR, розраховує різницю між кадрами. Розрахунок глобального вектора руху виробляється на основі знайдених локальних векторів.

Після знаходження глобального вектора руху кадру виконується компенсація руху. Даний етап розкладається на два завдання:

- облік глобального руху кадру;
- відновлення границь, що випали за рамки кадру [2].

Коректування знайденого тремтіння кадру виконується шляхом зрушення наступного кадру в напрямку, зворотному знайденому вектору глобального руху. Таким чином, відбувається зсув зображення на трохи пікселів, при цьому необхідно враховувати зміну границі кадру. Щоб уникнути втрати області видимості, частина інформації для граничних пікселів береться з попередніх кадрів відеопослідовності.

Останнім етапом пропонованого алгоритму стабілізації відео є постобробка кадру. Для неї використовуються автоматична корекція, а також обробка модифікованим для

декількох кадрів фільтром 2d_cleaner. У цьому фільтрі для кожного пікселя зображення розраховується значення з урахуванням околиці.

Реалізація модифікованого фільтра 2d_cleaner виконана з урахуванням обробки по тимчасовій осі декількох кадрів відеопослідовності, що дозволяє зменшити вплив перешкод після стабілізації. У ході експериментів було з'ясовано, що для відеопослідовності, отриманої зі стаціонарної IP-камери, при виконанні такої фільтрації доцільне використання двох або трьох попередніх кадрів.

Нелінійне поліпшення якості зображення

Оскільки в більшості випадків при організації зовнішнього відеоспостереження виникає завдання поліпшення візуальної якості відеопотоку для його кращого сприйняття оператором, в основу модуля поліпшення якості зображень була покладена модифікований алгоритм Multi-Scale Retinex (MSR), що імітує візуальну систему людини [3]. Реалізація алгоритму у вигляді окремого модуля надає можливість через ядро системи робити поліпшення візуальної якості зображень у повноформатному виді тільки для відображуваного на екрані відеопотоку.

MSR-алгоритм стискає динамічний діапазон зображення зі збереженням (збільшенням) локального контрасту в погано і яскраво освітлених областях. Класичний багатомірний MSR-алгоритм [4] є зваженою сумою одомірних SSR-алгоритмів (Single-Scale Retinex) для різних масштабів.

Розмірність вектора масштабів звичайно вибирається не менше 3. При проведенні експериментів значення склали 13, 87, 180. Ваговий вектор w , як правило, має елементи з рівними значеннями.

Однак класичний алгоритм MSR приводить до перекручування кольору зображення, тому що значення кожної колірний складової пікселя (наприклад в RGB-просторі) замінюється відношенням її вихідного значення до середнього значення даної колірний складової навколишніх пікселів. Існують кілька рішень даної проблеми. Так, деяке поліпшення результатів спостерігається при переході в інші колірні простори з явним поділом яскравості і відтіночності складових (HIS-, HSV-, HSL-простору). Однак кращий ефект досягається при використанні моделі нормалізованого поділу яскравості і відтіночності складових.

Через характеристики логарифмічної функції MSR-алгоритм робить деталі зображення більше помітними в тінювих областях, чим у засвічених [3]. Щоб зробити деталі помітними в засвічених областях, можна застосувати логарифмічну функцію до інвертованого зображення. Будеться модифікована логарифмічна функція $L(I(x,y))$, що залежить від граничного значення Th , обраного користувачем.

Об'єднання галузей дає класичному алгоритму MSR можливість підвищувати контрастність деталей в областях підвищеної яскравості (для приклада на рисунку 2 область підвищеної яскравості виділена замкнутим контуром). Використання такого виду логарифмічної функції в певній мері підвищує контрастність деталей інформативної області типових розподілів яскравості (60-200), але в значно меншій мері, чим у затінених ділянках і ділянках з високою яскравістю.

Однак вихідного дані MSR-алгоритму з модифікованою логарифмічною функцією перебувають поза динамічним діапазоном зображення [3]. Щоб привести значення до динамічного діапазону зображення $[0, 255]$, зробимо коректування вихідного зображення на основі коригувального коефіцієнта й середнього значення яркостей пікселів обробленого зображення:

Експериментальні результати

Для оцінки ефективності й доцільності використання запропонованих методів було розроблене експериментальне ПЗ. Перевірка методів виявлення руху й збір статистики здійснювалися з використанням відеоданих з дев'яти IP-камер, розташованих як на жвавих вулицях, так і в місцях з мінімальним рухом. Дослідження проводилося на 57 послідовностях по 1500 кадрів у кожній. Порівняння в розробленому методі руху здійснювалося при

однаковому способі обчислення величини руху, відмінність полягало в різних способах формування значення абсолютної різниці, тобто використанням трьох основних підходів.

Найбільшу ефективність запропонований метод показав у колірній моделі RGB з використанням фактора колірного посилення 4. Для з'ясування можливості прискорення роботи алгоритму обчислення величини руху був проведений ряд експериментів. Для оцінки швидкодії й точності роботи детектора руху використовувалися кадри різного масштабу, тому що зменшення аналізованого зображення дає істотне збільшення швидкості роботи. У таблиці наведені дані про точність визначення руху й рівні помилкового визначення руху.

Таблиця 1 – Якість детектування руху залежно від масштабу кадрів

Показник якості, %	Масштаб кадрів, %							
	100	70	60	50	40	30	20	10
Точність визначення руху	94,31	95	94,5	93,77	95,01	94,27	88,4	78
Помилкове визначення руху	2,78	3,19	3,6	3,28	5,6	4,1	7,8	23,8

Для оцінки якості стабілізації було проведено тестування методом, запропонованим у роботах зі стабілізації відеоматеріалу [1]. Для вихідної відеопослідовності й стабілізованого відеоматеріалу перебуває різниця між попереднім і поточним кадрами по метриці PSNR. Застосування просторово-тимчасового фільтра 2d_cleaner при стабілізації відеоматеріалу значно поліпшує якість, усуваючи сліди дрібного тремтіння відеопослідовності, від якого не вдалося позбутися при стабілізації. PSNR-значення стабілізованої послідовності помітно вище, що показує меншу різницю між кадрами (більше низьке тремтіння кадру). При застосуванні тимчасового фільтра PSNR-значення відеопослідовності збільшується в межах 30 %. Перевірка модуля поліпшення візуальної якості виконувалася на послідовностях, що містить перекручування, викликані різними природними явищами й умовами освітлення.

На закінчення можна зробити наступні висновки. Пропонована система відеоспостереження з можливістю поліпшення візуальної якості дозволить підвищити ефективність роботи служби охорони завдяки можливостям поліпшення візуальної якості відображуваних даних і стабілізації відеопотоку. Запропоновані детектор руху й формат зберігання відеоданих дозволять більш гнучко управляти переглядом подій без необхідності виконання розрахунку параметрів руху при кожному перегляді відеоархіву. При зміні масштабу від 100 до 30 % фактор руху, що характеризує точність визначення руху, перебуває на схожому рівні, а при масштабі менш 15 % значно погіршується. Використання стабілізації відеопотоку дозволяє підвищити якість знаходження руху в середньому на 2-7 % залежно від ступеня тремтіння камери, оскільки цей фактор значно впливає на роботу алгоритму. Застосування стабілізації відеопотоку також поліпшує можливості візуального спостереження для оператора.

Розробка структурної схем

Для розробки системи було вирішено використовувати модульний підхід, оскільки застосування модульної організації при реалізації системи дозволить надалі з мінімальними вкладеннями виконувати модернізацію або розширення системи в цілому. Модульна архітектура також надає більше великі можливості по налагодженню.

Основними модулями пропонованої системи відеоспостереження є модулі поліпшення якості зображення, детектора руху й стабілізації відео. Крім них, з ядром системи зв'язані модулі взаємодії з камерами, із БД і модулі користувальницького інтерфейсу

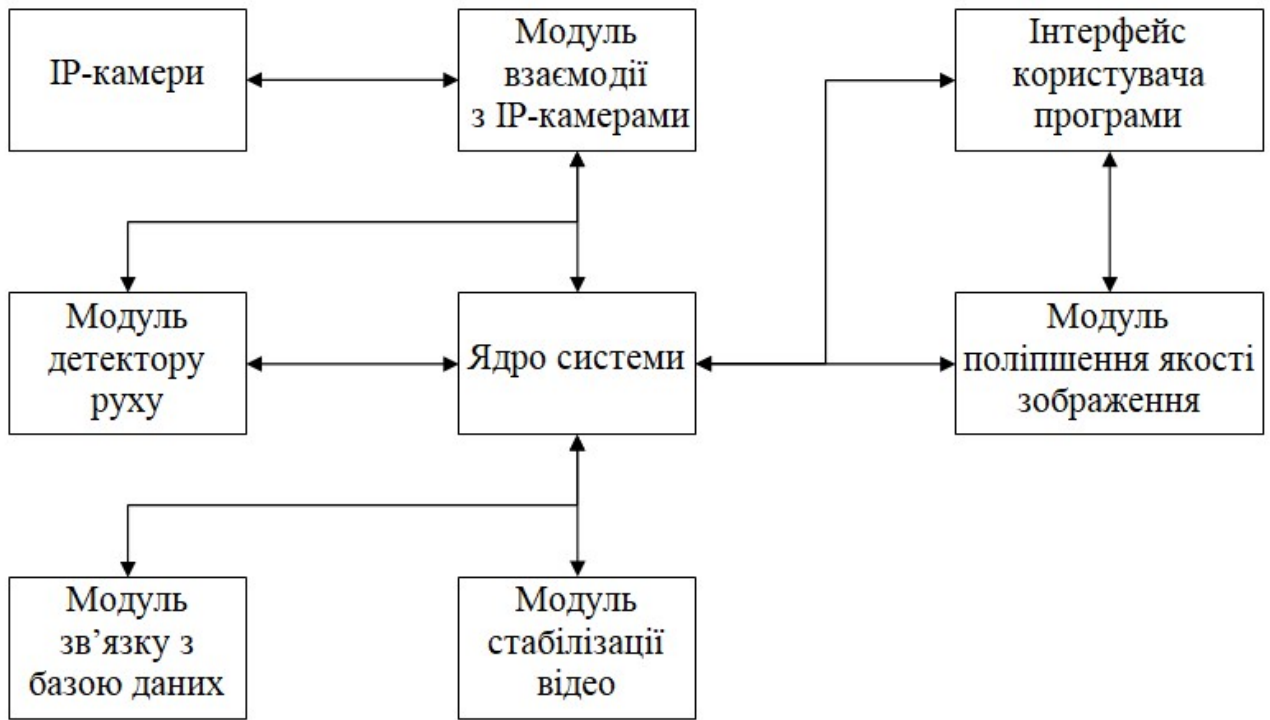


Рисунок 1 – Структурна схема системи

При отриманні зображення з веб-камери існує ряд артефактів та іншого, зображення в деяких випадках має вкрай малу якість. При установці на території установ комплексів відео спостережень, фірма звільняє десятки співробітників, що у результаті дає пряму фінансову вигоду і підвищує працездатності колективу.

Але якщо використовуються недосконалі алгоритми роботи це приводить до краху системи безпеки. У зв'язку з швидкими темпами розвитку устаткування відеоспостереження вітчизняного виробництва, внутрішньому ринку систем безпеки потрібні універсальні алгоритми обробки потоків відео інформації.

Програмні можливості: Можливість обробки всіх видів вхідних відео потоків інформації за допомогою використання WDM драйверів, таких пристроїв як веб-камера, відеокамера і т.п.; Блок ведення статистики роботи програми; Блок обробки відео даних (з обробкою); Система автоматичного збереження відео потоку.

Характеристики ПЗ:

- Малий розмір програмного забезпечення (оптимізований код).
- Розширена довідкова система.
- Перевірка підключення веб-камери до хост-контролера USB.
- Модульна структура програмного забезпечення.
- Трансляція відео потоку у глобальну мережу при необхідності.

Розроблені алгоритми крім реалізованого ПЗ можливо застосовувати в інших програмах за допомогою підключення DLL файлу у стороні розробки. В системах відео спостереження на заводах, продовольчих магазинах самообслуговування, на територіях паркінгів, книгарнях. В комплексах відео спостереження, систем правоохоронних органів початкового рівня. Як комплекс вивчення характеристик і властивостей відео і аудіо сигналу у вищих учбових закладах. В домашніх системах вуличного або кімнатного відео спостереження. Для передачі масивів інформації через глобальну мережу Інтернет. Як комплекс вивчення алгоритмів обробки зображень.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів стабілізації та підвищення якості відеопотоку. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем стабілізації та підвищення якості відеопотоку; Досліджена система стабілізації та підвищення якості

відеопотоку; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи стабілізації та підвищення якості відеопотоку. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання стабілізації та підвищення якості відеопотоку. 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., Gorbacheva, L., Babenko, V., «Hiding data in images using a pseudo-random sequence», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 646-660.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special Correlation Properties», CEUR Workshop Proceedings Volume 2353, CEUR Workshop Proceedings 2019, Pages 618-629.
10. 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.
11. 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.
12. Батрак О., Смірнова Т., Гнатюк В., Одарченко Р., Смірнов О. «Дослідження показників ефективності функціонування та перспектив розвитку систем IP-телефонії». Підводні технології, 2024, № 13, с. 28-35.
13. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
14. Т.В. Смірнова, О.М. Дреєв, О.А. Смірнов «Хмарна інформаційна система оцінювання шорсткості з використанням дискретного частотного аналізу макротографій». IV міжнародна науково-практична конференція «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології», м. Кропивницький. 15-16 квітня 2021р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2021. – С. 30.
15. О.А. Смірнов, П.С. Усік, «дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5g у Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. – Х. ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020.С. 122-135.
16. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3(7). С. 43-62. 2020.
17. Смірнов О.А., Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 2(33). с. 161-172, 2019.
18. О. Смірнов, Є. Деменко, О. Онікійчук, А. Арищенко, Л. Горбачова, «Формування псевдовипадкових послідовностей для приховування даних в зображеннях» Комп'ютерні науки та кібербезпека. № 4. С. 30-37. 2019.
19. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В. Поліщук Л.І. Проектування комп'ютерних систем та мереж. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2019. – 264 с.

20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova., K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).
21. Смірнов О.А., Дреєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х.: Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139
22. Дреєва Г.М., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Метод генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату для моделювання трафіку у мережі. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 1(32). с. 173-183, 2019.