

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОТОТИПУ ГІБРИДНОГО СТЕГАНОАЛГОРИТМУ

Микита Гончаров, Юлія Лесная, Сергій Малахов

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна
worldxdark@gmail.com, xa12284109@student.karazin.ua, mailgate@meta.ua

Рецензент: В'ячеслав Калашников, д.ф.-м.н., проф., Технологічний університет Монтеррея,
64849 Монтеррей, Нуево-Леон, Мексика
kalash@itesm.mx

Надійшла: Листопад 2021.

Анотація: Метою даного матеріалу є ознайомлення з основними етапами адаптивного малоресурсного алгоритму стеганографічної обробки зображень і результатами моделювання процедур попередньої обробки вихідних даних різних типів. Процедури імітаційного алгоритму дозволяють: - враховувати особливості оброблюваних даних (типи контейнера і контенту) і коригувати параметри роботи основних модулів стеганоалгоритму (модуль попередньої обробки вхідних даних та модуль спеціальних перетворення). Досліджено інші параметри обробки зображень, які безпосередньо впливають на обчислювальну складність 1-го етапу алгоритму (згладжування) та якість візуалізації контейнера та вмісту. Зазначено, що для всіх типів зображень, варіант попереднього згладжування вхідних блоків, за принципом «перебір всіх з усіма», надає кращі результати. В даному випадку, зі зменшенням розмірності матриць згладжування, інтенсивність візуально помітних аномалій зменшується.

Підкреслено, що при збільшенні значення порога закруглення яскравості елементів (P_z), кількість і помітність артефактів зростає. Зростання фіксується для всіх типів зображень і всіх варіантів їх попереднього згладжування. Стійке зростання викривлень відбувається при виборі значень P_z більші 7. Для реалістичних зображень, критично припустимою слід вважати величину $P_z = 14$. Звернено увагу на те, що в незалежності від встановлених значень P_z та обраного варіанту згладжування, візуальна помітність викривлень, посилюється в наступній послідовності: «портрет – пейзаж – мнемосхема». Найбільш «чутливими» до варіантів попереднього згладжування, виявилися зображення типу «мнемосхема». Це можна пояснити чутливістю контурів до їх найменших змін та особливостями структури таких зображень.

Звернено увагу на те, що факт малої обчислювальної складності процедур попередньої обробки зображень, є принциповим з урахуванням концепції створення мобільних додатків. Зроблено висновок, що потенційний вигравш від введення етапу попередньої обробки вихідних даних, дозволяє отримати 3 важливі ефекти: 1 - знизити обчислювальну складність алгоритму; 2 - використовувати різні принципи обробки даних контейнера та контенту; 3 - створити необхідні умови для асиметричного режиму обробки даних контейнера та контенту.

Ключові слова: зображення; стеганографія; кодування з перетворенням; контейнер; контент; згладжування зображень; візуальна помітність викривлень; кодування серій; мультиплексування.

1 Вступ

Добре відомо, що одним із ефективних напрямів забезпечення приховування фактів передачі і зберігання інформації, є застосування різних стеганографічних методів [1]. Цифрова стеганографія, як окремий науковий напрямок, вивчає можливості використання властивостей цифрового контенту різного типу для забезпечення більш ефективного вирішення завдань, які пов'язані з синтезом нових методів і способів прихованої передачі, зберігання та маркування цільової інформації (надалі контенту). Принциповим є те, що в незалежності від використаного напрямку стеганографії, необхідно забезпечувати мінімізацію демаскуючих аномалій використовуваних контейнерів та підтримувати заданий рівень стійкості контенту стовно спроб його неавторизованої екстракції, а в деяких випадках, і стійкості до спроб навмисного спотворення контейнерів.

2 Основна частина

При приховуванні в цифрових об'єктах будь-якої іншої – корисної інформації, нажалю, виникають певні спотворення цих об'єктів – переносників даних [1]. При збалансованих налаштуваннях відповідного стеганоалгоритму, можливо забезпечувати рівень спотворень кон-

тейнерів, які знаходяться нижче порога чутливості зорової системи людини [2] або чутливості його слухової системи, що забезпечує фактичну відсутність візуально або аудіо помітних змін (аномалій) переносників інформації (*контейнерів*). Тим самим забезпечується необхідний баланс між збереженням характерних властивостей для використовуваного типу контейнерів (у даному випадку, *напівтонових зображень* [2]), та величиною допустимих спотворень, прийнятних для заданого типу прихованого контенту (в даному випадку *зображень з різною вірогідністю перепаду яскравості між сусідніми елементами*). В цьому сенсі зрозуміло, що кількість і інтенсивність проявів різних артефактів зображень контейнеру і контенту, знаходяться в прямій залежності від коректності обраних для них режимів обробки. При цьому, слід мати на увазі, що при обробці даних контейнерів і контенту можуть бути використані, як однотипні (*симетричні*) режими обробки, так і режими, які реалізують різні параметри обробки даних (*асиметричні*). Такими відмінностями можуть бути: – відмінності в розмірах блоків; – відмінності в параметрах попередньої обробки масивів даних контейнерів і контенту (*що є головним змістом даного матеріалу*); – відмінності в критеріях оцінки значущої інформації контейнерів і контенту; – відмінності реалізацій прискорення обчислювальних процедур та інше. Таким чином, на одних і тих же типах даних (в даному випадку *зображень*) можна отримати дуже різний ефект, з точки зору помітності артефактів, що надає зайвий привід задуматися про причини та можливі наслідки появи цих аномалій [1-3].

В основу дослідного алгоритму положено принцип внутрішньо-кадрового стиску зображень, який передбачає поетапне використання двох різних методів кодування: 1 - методу довжин серій [5-6]; 2 - кодування з перетворенням, а саме дискретного косинус перетворення (ДКП) [2-3, 6-7]. Використання властивостей ДКП дозволяє «вбудовувати» контент в матриці коефіцієнтів перетворення контейнерів, визначених алгоритмом попередньої обробки, як опорний блок (*тобто перший в серії із подібних блоків*). Процедура інкапсуляції стегоконтенту реалізується за рахунок послідовного впровадження двох рівнів обробки: – внутрішньоблоковий (в межах кожного окремого блоку) та міжблоковий (*тобто в межах кадру*).

Перший рівень реалізується за результатами проведення відбору коефіцієнтів перетворення [4-7] для контейнера і контенту (*при цьому можливі досить серйозні відмінності в параметрах їх обробки*). На кожному з цих рівнів здійснюється перемішування значущих коефіцієнтів кожного з блоків або цілих блоків, у відповідності з маскою мультиплексу, яка має свої особливості для кожного з рівнів обробки контенту. Використання методів кодування з перетворенням забезпечує отримання матриць спектральних коефіцієнтів, в яких значна частина коефіцієнтів може бути виключена з їх подальшої обробки, а врахування властивостей зорової системи людини і умов спостереження, дозволяє апроксимувати коефіцієнти перетворення з прийнятними (*або заданими*) втратами якості відновлюваних зображень, або ступеню помітності візуальних викривлень зображення-контейнеру [2-3, 6].

Для авторизованої екстракції контенту потрібна інформація о параметрах внутрішньо та міжблокового перемішування коефіцієнтів та/або опорних блоків. У разі її отримання здійснюється відновлення вихідного стану матриць опорних блоків контенту та (*тобто довжин серій опорних блоків*), після чого проводиться зворотне ДКП. Відомості стосовно розмірів блоків, значення параметра маскування коефіцієнтів з координатами (0;0), способу та параметрів селекції значущих коефіцієнтів, та параметрів маски внутрішнього і міжблокового перемішування, складають ключову інформацію для легітимного відновлення контенту.

Для протидії процедурам неавторизованого вилучення контенту, в дослідному алгоритмі використано спрощений механізм міжблокового мультиплексування (*тобто, тільки для опорних блоків контенту*). Згідно з ним, опорні блоки контенту і контейнеру, мають однаково розмірність, та вбудовуються в контейнери не послідовно, а відповідно до варіанту маски шифрування, яка залежить від поточного співвідношення кількості опорних блоків контейнера і контенту, та є варіативним елементом складового ключа для вилучення прихованої інформації. В цьому контексті, варто зазначити, що в межах проведеного моделювання, окремого мультиплексування для елементів трансформант, що визначають середню яскравість

блоків, не проводилося. – Хоча, цей напрямок, формує ще одну, площину для додаткового ускладнення несанкціонованої екстракції даних контенту, так само, як і будь-які маніпуляції із середніми пороговими значеннями коефіцієнтів трансформант, котрі обчислюються для кожної з матриць оброблюваних зображень.

В цілому, всі процедури дослідного алгоритму умовно поділені на окремі етапи, кожен з яких, має своє функціональне значення. Основним змістом даного етапу є дослідження варіантів реалізації процедур попередньої обробки вихідних масивів даних для контейнерів та контенту. Головним завданням етапу, є зменшення кількості візуально помітних перепадів яскравості елементів вихідних зображень, за рахунок попереднього згладжування їх малоінформативних областей. Реалізація процедур перетворення структури вхідних даних дозволяє забезпечити необхідні умови для одночасного вирішення 3-х основних та 1-го додаткового завдань. До основних завдань слід віднести: - зменшення обчислювальної складності алгоритму (за рахунок зменшення чисельності блоків, потребуючих проведення прямого та зворотнього перетворень); - ускладнення процедур аналізу і неавторизованої екстракції прихованого контенту (різні принципи обробки даних контейнера та контенту); - створення необхідних умов для асиметричного режиму обробки даних контейнера і контенту. До додаткового ефекту слід віднести: - створення сприятливих умов (в сенсі різниці кількості опорних блоків) для досягнення бажаного дисбалансу в структурі зображень контейнера і контенту і, як наслідок, покращення стартової ситуації для подальшої реалізації стегановставки.

2.1 Варіанти обробки та отримані результати.

В межах проведеного моделювання були досліджені та скореговані три варіанти реалізації процедур згладжування, з різним порядком взаємного порівняння складових елементів блоків, та різним способом оновлення їх змісту при перевищенні заданих критеріїв подібності (для контейнера і контенту). Особливу увагу звернено на важливість локалізації присутності контурів (їх фрагментів) в блоках які обробляються. Для всіх досліджуваних варіантів проводилося розбиття вхідних масивів даних на квадратні блоки (маска згладжування) $m \times m$, де $m = 3, 5$ і 7 елементів [8]. Після цього в кожному блоці, кожного з варіантів, проводилась відповідна оцінка різниці значень яскравості для всіх складових елементів цього блоку. Для всіх варіантів обробки, значення порога закруглення яскравості складових елементів (P_Z), дискретно змінювалося в діапазоні 3, 5, 7, 16, 32 та 64 градацій яскравості. Також всі варіанти згладжування і зміни параметрів « m » та « P_Z » перевірялись для 3-х типів зображень, з різною ймовірністю перепаду яскравості (p) між сусідніми елементами: - мнемосхема ($0.03 \div 0.01$), портрет ($0.05 \div 0.03$) та пейзаж ($0.1 \div 0.05$).

В 1-му варіанті згладжування, здійснювалась оцінка різниці значень яскравості центрального елемента з його периферійним оточенням (Рис. 1). У разі, якщо різниця менше заданого значення порога закруглення (P_Z), то елемент в цій позиції заміщався значенням яскравості центрального елемента [4, 9].

На рис. 3 наведено результати використання першого варіанту згладжування для маски згладжування 5×5 елементів (Рис. 1) для тестового зображення типу портрет (Рис. 2). З аналізу Рис. 3 видно, що дана реалізація процедур згладжування вимагає певного доопрацювання, оскільки на зображенні візуально помітні певні дефекти (уривчастість ліній і розмитість).

Згідно другого варіанту обробки [4, 9], якщо периферійні значення перевищують яскравість центрального елемента більш ніж на величину P_Z , то виконуємо заміну всіх значень даного блоку на середнє значення яскравості елементів для цього блоку. В результаті, отримуємо поліпшену версію 1-го варіанту (див. Рис. 4).

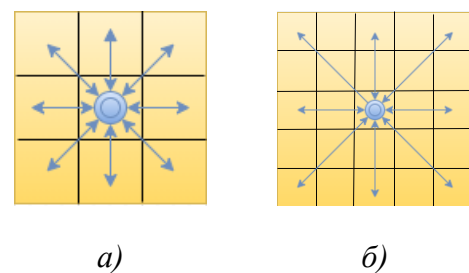


Рис. 1 – Варіанти обробки елементів
а) для маски 3×3 ;
б) для маски 5×5 .



Рис. 2 – Вихідне зображення
(типу «Портрет»)



Рис. 3 – Перший варіант обробки
(маска 5×5; $P_z=3$)



Рис. 4 – Другий варіант обробки
(маска 5×5; $P_z=3$)



Рис. 5 – Третій варіант обробки
(маска 5×5; $P_z=3$)

Третій варіант обробки, забезпечує перебір «всіх з усіма», де головним завданням є перевірка на наявність елементів, різниця між якими перевищує значення P_z . При наявності такої різниці даний блок залишається без змін (так як можлива присутність контуру), в іншому випадку здійснюється заміна всіх значень на середнє значення яскравості всіх елементів блоку. Таким чином, отримуємо згладжене зображення зі збереженими контурами (див. Рис.5). По результатам моделювання 3-го варіанту згладжування, встановлено, що основні контури відновлюваних зображень типів портрет та пейзаж, зберігаються до $P_z = 14$.

Для порівняння дослідних варіантів способів згладжування, використано значення середньоквадратичної помилки (СКП), яке надає можливість оцінити ступінь спотворень вихідних зображень після їх обробки (чим менше СКП тим менш помітні аномалії і тим краще отриманий результат). На рис. 6-7 представлено вихідне тестове зображення типу «Пейзаж», та результат його обробки з використанням 1-го варіанту згладжування (найгіршого, як показали наступні результати моделювання). Як видно з рис. 7, навіть при використанні великої матриці згладжування та явно завищеного значення P_z , візуальна помітність спотворень знаходиться на дуже прийнятному рівні (за дрібними винятками). Більш того, зображення не зазнало а ніяких критичних змін структури фону і контурів основних деталей [4].



Рис. 6 – Вихідне зображення
(типу «Пейзаж»)



Рис. 7 – Перший варіант обробки
(маска 5×5; $P_z=32$)

На рис. 8 представлена спрощена структурно – логічна схема дослідного алгоритму.

Всі процедури розробленого алгоритму поділені на **окремі етапи**, кожен з яких, має **своє** функціональне значення.

Головне завдання 1-го етапу: Зменшення обчислювальної складності алгоритму шляхом зменшення кількості візуально малопомітних перепадів яскравості елементів вихідних зображень за рахунок згладжування їх **малоінформативних** областей.

Головне завдання 2-го етапу: формування **серій подібних блоків** в зображенні для контенту і контейнеру, та отримання **опорних блоків** (надалі - **ОБ**) і відповідних їм параметрів довжин серій. Забезпечує **основне** зменшення обчислювальної складності всього алгоритму!

Головне завдання 3-го етапу: проведення ДКП для кожного із ОБ зображень контейнера і контенту та здійснення відбору і квантування значущих коефіцієнтів трансформант. Ініціюючі параметри цього етапу (**формат селекції і квантування коефіцієнтів перетворення**), формують окремі позиції в структурі загального ключа шифрування для легітимного вилучення контенту при його декодуванні.

Головне завдання 4-го етапу: Приховування (**шифрування**) отриманого масиву ОБ, шляхом багатомірною мультиплексування низки параметрів, котрі формують **основні** позиції в структурі загального ключа екстрактора. В цілому, до таких параметрів відносяться використані характеристики мультиплексу щодо: - числа ОБ; - параметрів довжин серій ОБ; - значень середньої яскравості ОБ; та признаку поточної симетрії обробки контейнера і контенту.

Варто зазначити, що в діючої тестової версії прототипу гібридного стеганоалгоритму, процедури 4-го етапу слід розглядати, не більш як «*Демонстратор можливостей*», який підтверджує працездатність запропонованих механізмів стеганографічного захисту контенту. Тобто в діючий тестової версії алгоритму, він втілює значно спрощені механізми обробки даних (*версія «лайт»*), однак при дотриманні всіх основних параметрів та етапності проведення згаданих вище процедур.

Параметри налаштувань та класифікація використаних режимів роботи прототипу дослідного гібридного стеганоалгоритму наведені в Табл.1-2.

Таблиця 1 – Основні параметри налаштувань дослідного алгоритму

Параметр	Зміст параметру/процедури
P_z	Значення порога закруглення яскравості сусідніх елементів блоків зображень (<i>для контейнеру і контенту</i>)
N	Розмірність блоків (<i>для контейнеру і контенту</i>)
P	Порядок селекції та зберігання коефіцієнтів перетворення в ОБ
q	Порядок взаємного перемішування ОБ (<i>демонстратор шифрування</i>)

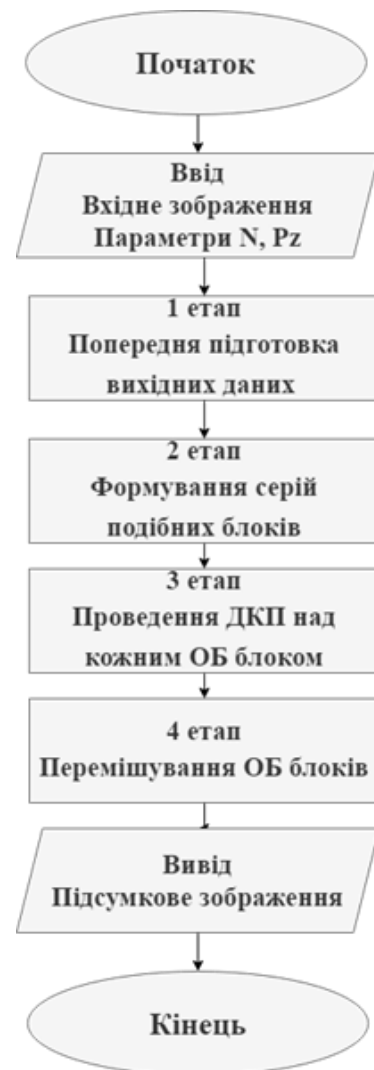


Рис. 8 – Спрощена структурно-логічна схема алгоритму

Таблиця 2 – Основні режими роботи алгоритму

Режим роботи	Поріг закруглення	Розмірність блоку
Швидкий режим	$P_z = 9$	$N = 16$
Захищений режим	$P_z = 4$	$N = 4$
Збалансований режим	$P_z = 6$	$N = 8$

Результати роботи 1-го варіанту попередньої обробки вхідних даних (див. рис. 1), по закінченню процедур 1-го етапу дослідного алгоритму представлені нижче, на рис. 9.



a) Вихідне тестове зображення типу «портрет»;



b) Відновлене зображення для маски 5×5 ел.; $P_z = 64 (!)$;



c) Відновлене зображення для маски 5×5 ел.; $P_z = 127 (!!)$.

Рис. 9 – Результати роботи 1-го варіанту згладжування на 1-му етапі алгоритму (ймовірність перепаду яскравості між сусідніми елементами $p = 0.034$)

Як видно з рис. 9, збільшення значень *порогу загрублення* сусідніх елементів зображення (далі – *викривлення*) збільшують ступінь викривлень відновлюваних зображень, причому, при збільшенні розміру *маски згладжування* цей процес стає більш помітним.

Значення СКП для різних типів зображень та варіантів попередньої обробки вхідних даних представлені, на рис. 10.

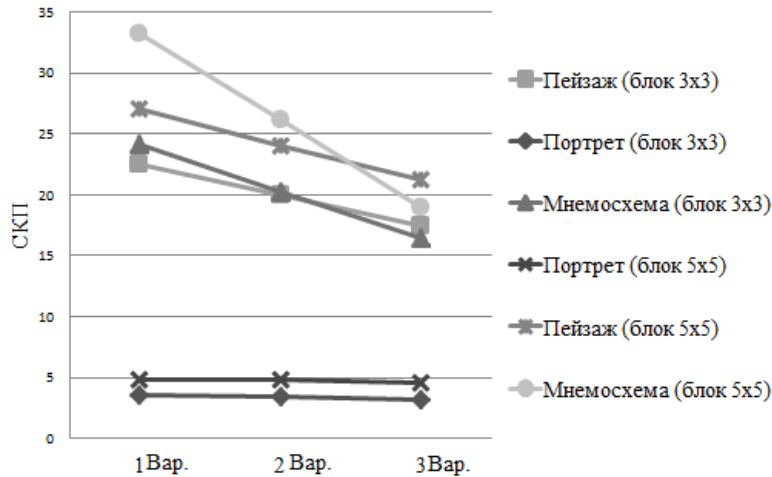


Рис. 10 – СКП для різних типів зображень та масок згладжування (для випадку $P_z = 3$, тобто в межах зорової непомітності)

Значення СКП для різних типів зображень та варіантів предобробки вхідних даних, при різних значеннях *порогу загрублення* сусідніх елементів, представлені на рис. 11.

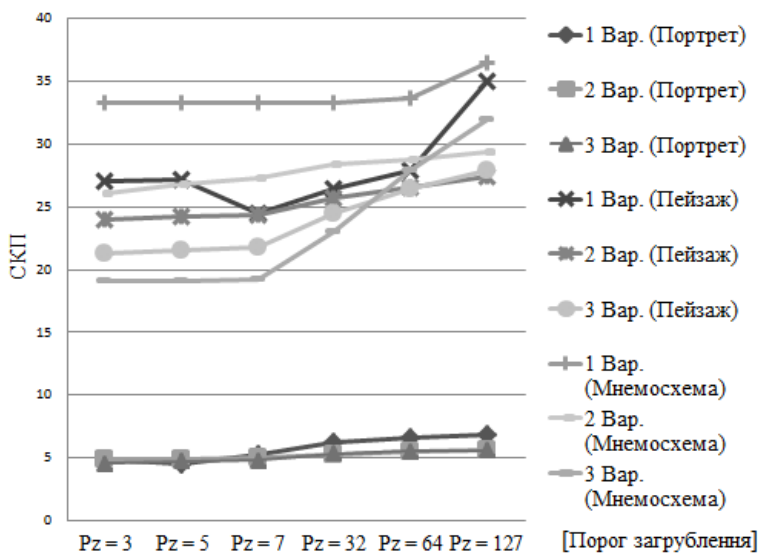


Рис. 11 – Залежність СКП від P_z для різних типів зображень (для блоків 5×5 ел.)

нсорику обрисів контурів (це децю більш ресурсноємний режим див. рис. 12), для інших типів зображень *основні контури* зображень утримуються до $P_z = 14$;

- незважаючи на відносно високі значення СКО для зображень типу пейзаж, візуальна помітність спотворень залишається на низькому рівні завдяки впливу ефекту просторового маскування (див. рис.7);

Типові значення часу виконання процедур згладжування 1-го етапу, для 2-х розмірностей *масок згладжування* при різних *варіантах попередньої обробки* вхідних даних, та різних значеннях *порогу загрублення* сусідніх елементів зображень, представлені, на рис. 12. За результатами узагальнення залежностей на Рис.12 можна стверджувати наступне:

Загальний аналіз Рис.10-11 дозволяє констатувати, наступне:

- при збільшенні порогу викривлення і розміру маски згладжування, кількість та помітність артефактів зростає для *всіх* типів зображень;

- для зображень типу мнемосхема, стрімке зростання викривлень відбувається при виборі параметра P_z більш 7. Для зображень типу пейзаж і портрет, граничним значенням можна вважати $P_z = 32$ (при використанні 256 рівнів яскравості !);

- для зображень типу мнемосхема, вкрай бажано використовувати 3-й варіант обробки («всі з усіма»), який забезпечує гарну сен-

- час виконання всіх варіантів предобробки зображень залежить від розмірності блоків та значення порогу загрублення (P_z);

- при збільшенні розмірності маски згладжування загальний час обробки буде значно зменшено (на рис. 12, вся група залежностей для блоків 5×5 розташована нижче відповідної групи залежностей для блоків 3×3 ел.);

- застосування 3-го варіанту згладжування («всі з усіма»), потребує більше часу для всіх розмірностей матриць згладжування, причому різниця досить помітна;

- в межах кожної фіксованої розмірності матриць згладжування, при збільшенні порогу загрублення (P_z) в межах значень малої візуальної помітності спотворень (до 7 градацій яскравості, зелений пунктир на рис.12-13), практично для всіх варіантів предобробки спостерігається невелике стійке зростання часу виконання цих операцій. Можна припустити, що зі збільшенням розмірності матриць згладжування, зростає і кількість логічних процедур, які реалізуються в рамках відповідних інструкцій предобробки (див. рис. 1);

- за критерієм *min* часу обробки гідною альтернативою для 1-го і 3-го варіантів предобробки, є 2-й варіант, який має перевагу при любых розмірностях масок згладжування.

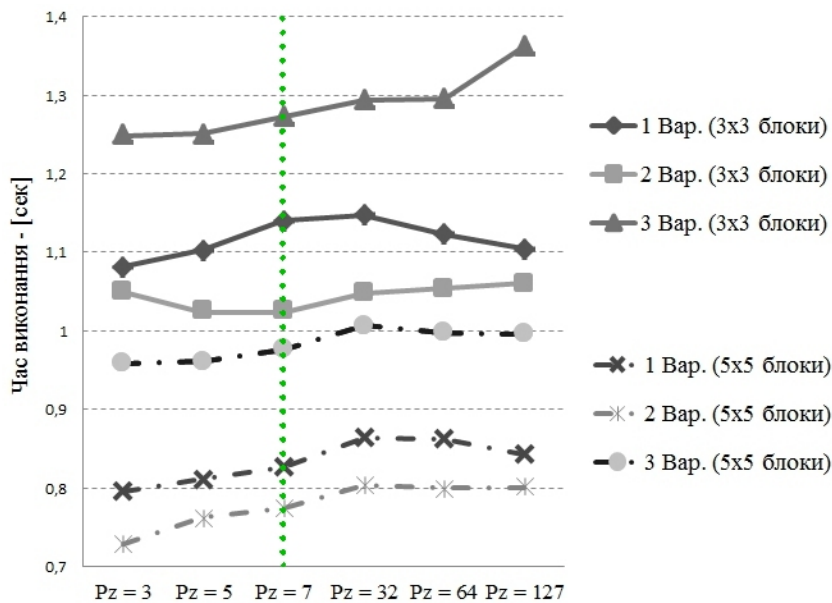


Рис. 12 – Час виконання різних варіантів предобробки зображень (для блоків 3×3 та 5×5 ел.)

Характерні залежності кількості ОБ від типу зображень та параметрів їх обробки (різні значення P_z та розміри блоків) представлені на рис. 13.

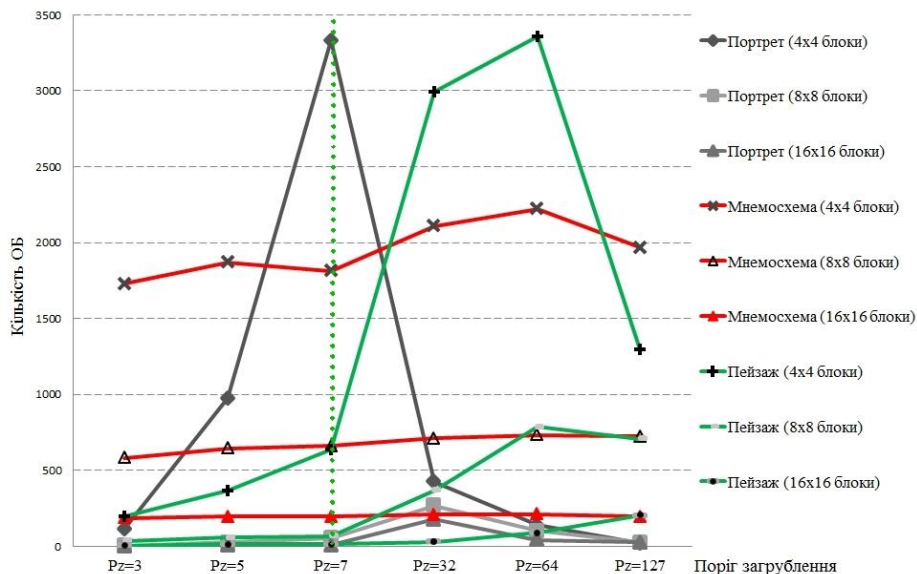


Рис. 13 – Кількість ОБ для різних налаштувань та типів зображень

Узагальнення отриманих залежностей дозволяє зробити певні висновки:

- кількість сформованих ОБ напряму залежить від типу використовуваного зображення та від заданого значення порогу закруглення (P_z);

- найбільша кількість ОБ формується при мінімальній розмірності блоків (4×4) та використанні зображень типу «*Портрет*» і «*Пейзаж*», однак, їх «цінність» з точки зору наступної інкапсуляції контенту дуже сумнівна (*принаймні на даному етапі моделювання*);

- використання блоків малої розмірності (4×4) для обробки зображень типу «*Мнемосхема*» має ті ж самі наслідки, що і в попередньому випадку, однак при, практично вдвічі меншій їх чисельності;

- зображення типу мнемосхема, в порівнянні з іншими типами зображень, виявили значно меншу залежність від зміни параметру P_z . Ця обставина, очевидно пояснюється особливостями структури зображень цього типу, які мають виключно чіткі силуети контурів об'єктів, що відображаються, та великі області однорідної яскравості або колірної заливки (*ймовірність перепаду яскравості між сусідніми елементами зображень цього типу, знаходиться в межах $0,01 \leq p \leq 0,03$*);

- параметри довжин серій ОБ, так само, як і фактична кількість ОБ контейнеру, є одними із головних елементів в структурі загального ключа екстрактора стеганоалгоритму.

Приклад результатів роботи прототипу гібридного стеганоалгоритму в його «*лайт*» версії (як «*Демонстратор можливостей*»), яка підтверджує реалізованість запропонованих механізмів попередньої обробки та інкапсуляції контенту, наведено нижче на рис. 14.



a) Вихідне тестове зображення – контент, типу «портрет»;



b) Зсув ОБ тільки на одну позицію (тобто серію);

Рис. 14 – Приклад невдалого підбору тільки одного параметру ключа вилучення даних (розташування ОБ контенту)

Рис. 14 (b), ілюструє спробу несанкціонованого відновлення **тільки** одного параметру кодування: - розташування **опорних блоків** контенту в умовах деактивації 4-ох інших параметрів обробки «лайт» версії алгоритму (див Табл. 1).

7 Висновки

1. Розглянутий гібридний алгоритм забезпечує можливість дослідження взаємозв'язків окремих параметрів обробки на кожному з його етапів та властивостей відновлюваних зображень, в залежності від характеристик міжблокової статистики вихідних даних. Основні властивості алгоритму, дозволяють класифікувати його, як дослідний засіб моделювання процедур стеганографічних перетворень зображень, при реалізації режиму внутрішньокадрової обробки даних.

2. В поточній версії прототипу алгоритму, процедури 4-го етапу слід розглядати, як «Демонстратор можливостей», що підтверджує коректність запропонованих механізмів предобробки зображень і стеганографічного захисту контенту. Діючий реліз алгоритму моделює спрощені механізми обробки зображень (версія «лайт») з дотриманням всіх основних параметрів та етапності проведення згаданих процедур.

3. Результати, що представлені в даній роботі є логічним продовженням низки досліджень [4, 8-10], що присвячені питанням стиску, фільтрації та стеганографічного захисту відеоданих різного типу. За умови внесення деяких доопрацювань (*насамперед у модулі введення даних налаштувань та модулі візуалізації проміжних результатів*), та концептуальній зміні параметрів моделі інтерфейсу користувача, діючий прототип гібридного стеганоалгоритму може бути використаний в освітніх цілях для цілей створення дослідних програмних імітаторів стеганографічного захисту відеоданих.

4. Збільшення кількості областей зображень з заздалегідь підготовленою, відповідним чином текстурою, створює необхідні стартові умови для ефективного реалізації етапу формування серій подібних блоків. Кількість таких серій залежить, як від структури зображень, так і встановлених параметрів їх розмірності та згладжування.

5. Використання для зображень контенту і контейнеру різних варіантів попередньої обробки та/або різних параметрів їх настроювань (різна розмірність матриць згладжування та різні значення P_z), вносить потрібну асиметрію в структуру даних, які обробляються, з усіма очевидними корисними наслідками.

6. Виходячи з відомостей про поточні характеристики зображення-контенту, можливо адаптивно і оперативно змінювати властивості наявних контейнерів (*наприклад, що є в пам'яті мобільного пристрою*).

Посилання

- [1] Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с.
- [2] Зубарев Ю.Б., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.
- [3] Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов.Радио, 1979. – 312 с.
- [4] Гончаров М. О., Малахов С. В. Моделювання процедур підготовки даних стеганоалгоритма з багаторівневим мультиплексуванням контенту. Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях (КНМТ-2021): матеріали 7-ї міжнар. наук.-техн. конф., 21-23 квіт. 2021 р. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна. <http://www-csd.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2018/02/www-csd.univer.kharkov.ua-maket-pdf-konf.pdf>
- [5] Обработка изображений на ЭВМ / Е.А Бутаков, В.И. Островский, И.Л. Фадеев. – М.: Радио и связь, 1987. – 240 с.
- [6] Прэтт У. Цифровая обработка изображений. т. 1,2. - М.: Мир, 1985. - 736 с.
- [7] Быков С.Ф. Алгоритм сжатия JPEG с позиции компьютерной стеганографии / Защита информации. Конфидент. – СПб.: 2000, № 3. – С. 26.
- [8] Morozov, D., Shaforostov, M., Malakhov, S., & Serbin, V. (2018). Подвійна обфускація трансформант малоресурсного стеганоалгоритма. *Комп'ютерні науки та кібербезпека*, 9(1), 22-34. вилучено із <https://periodicals.karazin.ua/cscs/article/view/12015>
- [9] Гончаров М. О. Дослідження процедур попередньої підготовки вихідних даних для стеганоалгоритма. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : матеріали 11-ї міжнар. наук.-техн. конф., 8–9

квіт. 2021 р. м. Баку–Харків–Київ–Жиліна. т. 2. с. 63. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/52020> (дата звернення 01.11.2021).

- [10] Гончаров М.О. Моделювання та дослідження властивостей гібридного внутрікадрового стеганоалгоритму: Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра: напрям підготовки 125 – Кібербезпека / М. О. Гончаров; Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – Харків: [Б. В.], 2021. – 75 с.

Рецензент: Вячеслав Калашников, д.ф.-м.н., проф., Технологический университет Монтеррея, Монтеррей, Мексика.
E-mail: kalash@itesm.mx

Поступила: Ноябрь 2021.

Авторы:

Никита Гончаров, студент кафедры Безопасности информационных систем и технологий, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина.
E-mail: worldxdark@gmail.com

Юлия Лесная, студентка кафедры Безопасности информационных систем и технологий, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина.
E-mail: xa12284109@student.karazin.ua

Сергей Малахов, к.т.н., с.н.с., доцент факультета компьютерных наук, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина.
E-mail: mailgate@meta.ua

Исследование свойств прототипа гибридного стеганоалгоритма.

Аннотация. Целью данного материала является ознакомление с основными этапами адаптивного малоресурсного алгоритма стеганографической обработки изображений и результатами моделирования процедур предварительной обработки исходных данных разных типов. Процедуры имитационного метода позволяют: - учитывать особенности обрабатываемых данных (типы контейнера и контента) и корректировать параметры работы основных модулей стеганоалгоритма (модуль предварительной обработки входных данных и модуль специальных преобразований). Исследованы другие параметры обработки изображений, непосредственно влияющие на вычислительную сложность 1-го этапа алгоритма (*сглаживание*) и качество визуализации контейнера, и его содержимого. Отмечено, что для всех типов изображений, вариант предварительного сглаживания входных блоков, по принципу «перебор всех со всеми», дает лучшие результаты. В данном случае, с уменьшением размерности сглаживающих матриц, интенсивность визуально заметных аномалий уменьшается.

Подчеркнуто, что при увеличении значения порога закругления яркости элементов (P_z), количество и заметность артефактов возрастает. Рост фиксируется для всех типов изображений и всех вариантов предварительного сглаживания. Устойчивый рост искажений происходит при выборе значений P_z более 7. Для реалистических изображений, критически допустимой следует считать величину $P_z = 14$. Обращено внимание на то, что в независимости от установленных значений P_z и выбранного варианта сглаживания, визуальная заметность искажений, усиливается в следующей последовательности: «портрет – пейзаж – мнемосхема». Наиболее «чувствительными» к вариантам предварительного сглаживания, оказались изображения типа «мнемосхема». Это можно объяснить чувствительностью контуров к их малейшим изменениям и особенностям структуры таких изображений.

Обращено внимание на то, что факт малой вычислительной сложности процедур предварительной обработки изображений, является принципиальным с учетом концепции создания мобильных приложений. Сделано вывод, что потенциальный выигрыш от ввода этапа предварительной обработки исходных данных, позволяет получить 3 важных эффекта: 1 – снизить вычислительную сложность алгоритма; 2 - использовать разные принципы обработки данных контейнера и контента; 3 – создать необходимые условия для асимметричного режима обработки данных контейнера и контента.

Ключевые слова: изображение; стеганография; кодирование с преобразованием; контейнер; контент; сглаживание изображений; визуальная заметность искажений; кодирование серий; мультиплексирование.

Reviewer: Vyacheslav Kalashnikov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Full Prof., Department of Systems and Industrial Engineering, Campus Monterrey, Monterrey, Mexico.
E-mail: kalash@itesm.mx

Received: November 2021.

Authors:

Mykyta Honcharov, student of the Department of Security of Information Systems and Technologies, Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine.
E-mail: worldxdark@gmail.com

Yuliia Liesnaia, student of the Department of Security of Information Systems and Technologies, Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine.
E-mail: xa12284109@student.karazin.ua

Serhii Malakhov, Ph.D., Senior Researcher, Computer Science Department, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: mailgate@meta.ua

Investigation of the properties of the prototype of a hybrid steganographic algorithm.

Abstract. The purpose of this material is to get acquainted with the main stages of the adaptive low-resource algorithm of steganographic image processing and the results of modeling the procedures of pre-processing of source data of different types. The simulative algorithm procedures allow: - take into account the features of processed data (*types of container and content*) and to adjust parameters of operation of main modules of a steganoalgorithm (*the module of preprocessing of input data, and the module of special conversions*). Other image processing parameters that are directly investigated affect the computational complexity of the 1st stage of the algorithm (*smoothing*) and the quality container and content visualization. It is noted that for all types of images, the option of pre-smoothing the input blocks, on the principle of "busting everyone with everyone", provides better results. In this case, with reducing the dimensionality of anti-aliasing matrices, the intensity of visually noticeable anomalies decreases.

Underlined that when the threshold for adjusting the brightness of elements (P_z) increases, the number and visibility of artifacts is increasing. Growth is fixed for all types images and all options for their pre-smoothing. Steady growth of distortions occurs when choosing values of P_z , more than 7. For realistic images, the value $P_z = 14$ should be considered critically valid.

Attention is drawn to the fact that regardless of the established values of P_z and the selected smoothing option, visual visibility of distortions, intensifies in the following sequence: «portrait – landscape – mnemonic». The most "sensitive" to the options for pre-smoothing, were mnemonic chart image. This can be explained by the sensitivity of the contours to their changes and structure of such images.

Attention is drawn to the fact that the low computational complexity of the previous procedures image processing is fundamental given the concept of creating mobile applications. It is concluded that the potential winnings from the introduction of the pre-processing stage output data allows you to get 3 important effects: 1 - reduce computational complexity algorithm; 2 - use different principles of container and content data processing; 3 - create the necessary conditions for the asymmetric mode of data processing of the container and content.

Keywords: Image; Steganography; Transform encoding; Container; Content; Anti-aliasing of images; Visual noticeability of distortion; Series coding; Multiplexing.