УДК 004.056

А. А. Астраханцев, О. О. Вовк
Харківський національний університет радіоелектроніки

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ В СТЕГАНОГРАФІЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

© Астраханцев А. А., Вовк О. О., 2015

Вбудовування цифрових водяних знаків сьогодні є одним з найефективніших засобів захисту інтелектуальної власності. Виконано порівняльний аналіз різних вейвлетів, досліджено характеристики при різних коефіцієнтах вбудовування та вбудовування в різні області перетворення для методів прихованого передавання даних на основі вейвлетів.

Ключові слова: стеганографія, цифрові водяні знаки, вейвлет-перетворення, дискретне косинусне перетворення, область вбудовування.

Today embedding digital watermarks is one of the most effective means of protecting intellectual property. The paper made a comparative analysis of different wavelets, investigated under different coefficients of embedding and embedding in different sub bands for transformation methods for hidden data transmission using wavelets.

Key words: steganography, digital watermarking, wavelet transform, discrete cosine transform, embedding sub band.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Вбудовування цифрових водяних знаків стає все більш поширеним, даючи змогу вирішити низку завдань у галузі захисту цифрової інтелектуальної власності [1].

Серед методів приховування найпоширеніші сьогодні методи на основі вейвлет-перетворення [2]. Ці методи є популярними, оскільки не вносять значних спотворень у зображення, мають достатню пропускну здатність та є стійкими до навмисних атак та викривлень у каналах зв’язку [3].

Водночас за значного поширення таких методів в літературі відсутні рекомендації стосовно вибору типу вейвлету та області вбудовування. Також недостатньо розкрито питання порівняльного аналізу методів на основі дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) та комбінованого застосування дискретного вейвлет-перетворення та дискретного косинусного перетворення (ДВП – ДКП). Ці питання і розглянуто в статті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сьогодні існують два тісно пов'язані між собою напрями стеганографії залежно від використання різних областей вбудовування:

1. Приховування в просторовій області – безпосередня заміна елементів контейнера (LSB – метод заміни найменш значущих бітів [4, 6], метод заміни палітри [4, 7], метод Куттера–Джордана–Боссена [4, 8]). Загальний принцип методів приховування даних у просторовій області полягає в заміні надлишкових, малозначущих частин зображення бітами секретного повідомлення. Їх переваги в тому, що для вбудовування немає необхідності виконувати складні обчислення і тривалі перетворення зображень [5].

2. Вбудовування в область перетворення, яке, своєю чергою, можна поділити на приховування в частотній області та в області перетворення.

2.1. Приховування даних у частотній області (метод Коха–Жао [6, 9], метод Бенгама [5, 10], методи розширення спектра [5, 11]). Ці методи основано на твердженні, що більша частина енергії

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

зображень зосереджена в низькочастотній частині спектра. Перевагою порівняно з вбудовуванням в просторову область є вища стійкість до спотворень [12].

2.2. Вейвлет-перетворення (ВП). Найбільшого поширення серед всіх ортогональних перетворень в стеганографії отримали ДКП і ДВП, що пояснюється частішим їх використанням під час компресії зображень. Стеганоалгоритм може бути доволі стійким до подальшої компресії зображення, тільки якщо він враховуватиме особливості алгоритму перспективного стиснення [13].

У роботі [14] наведено результати численних експериментів, які дозволили авторам дати певні рекомендації щодо вибору виду перетворення для стеганографії (рис.1). Згідно з цими дослідженнями, перетворення можна впорядкувати за досяжними виграшами.

Рис. 1. Види перетворень, впорядковані за досяжними виграшами

Перетворення, які характеризуються високими значеннями виграшу, такі як ДКП та ВП, характеризуються різко нерівномірним розподілом дисперсій коефіцієнтів субсмуг. Високочастотні субсмуги не підходять для вбудовування через великий шум обробки, а низькочастотні – через високий шум зображення. Тому доводиться обмежуватися середньочастотними смугами, у яких шум зображення приблизно дорівнює шуму обробки. Оскільки таких смуг небагато, то пропускна здатність стеганоканалу є порівняно малою. У разі застосування перетворення з нижчим виграшем від кодування, наприклад, перетворення Адамара або Фур'є, існує більше блоків, у яких шум зображення приблизно дорівнює шуму обробки, а отже, і пропускна здатність вища.

Виділення проблеми

Ефективність застосування ВП і ДКП для компресії зображень зумовлена тим, що вони добре моделюють процес обробки зображення у зоровій системі людини (ЗСЛ), відділяючи суттєві деталі від другорядних. Отже, ці перетворення доцільніше використовувати в разі присутності активного порушника, оскільки модифікація значущих коефіцієнтів може спричинити неприйнятне спотворення зображення.

Найперспективнішим [15] сьогодні є метод вейвлет-перетворення (ВП).

Вейвлети (від англ. wavelet) – математичні функції, що дають змогу аналізувати різні частотні компоненти даних. Слово “вейвлет” є калькою з англійського “wavelet”, що означає в перекладі “маленька хвиля”, або “хвилі, що йдуть одна за одною”. І той, і інший переклад підходить до визначення вейвлетів. Вейвлети – це сімейство функцій, які локальні в часі і за частотою (“маленькі”), і в яких всі функції виходять з однієї, за допомогою її зрушень і розтягувань по осі часу (так що вони “йдуть один за одним”). Іноді вейвлети називають сплесками. Всі вейвлет-перетворення можна розглядати як різновид тимчасово-частотного представлення і, отже, належати до предмета гармонійного аналізу. Всі вейвлет-перетворення розглядають функцію (взяту як функція від часу) у термінах коливань, локалізованих за часом і частотою. Зазвичай розрізняють дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) і неперервне вейвлет-перетворення (НВП) та методи на основі дискретно-косинусного вейвлет-перетворення (ДВП – ДКП).

1. Дискретне вейвлет-перетворення (ДВП)

Дискретними називають вейвлет-перетворення, в яких вейвлети представлені дискретними сигналами (вибірками).

Першим ДВП винайшов угорський математик Альфред Хаар. Для вхідного сигналу, представленого масивом 2^n чисел, вейвлет-перетворення Хаара просто групує елементи по 2 і утворює від них суми і різниці. Групують суми рекурсивно (у разі парної довжини послідовності сум) для утворення наступного рівня розкладання. У підсумку виходить $2^n – 1$ різниця і 1 загальна

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

сума [16]. Найпоширеніший набір ДВП сформулював бельгійський математик Інгрід Добеші (Ingrid Daubechies) у 1988 році [17]. Він оснований на використанні рекурентних співвідношень для обчислення все точніших вибірок неявно заданої функції материнського вейвлета, з подвоєнням дозволу під час переходу на наступний рівень (масштаб). У своїй основоположній роботі Добеші виводить сімейство вейвлетів, перший з яких є вейвлетом Хаара. З того часу інтерес до цієї області швидко зріс, що призвело до створення численних нащадків вихідного сімейства вейвлетів Добеші.

2. Неперервне вейвлет-перетворення (НВП) – це реалізація вейвлет-перетворення з використанням довільних масштабів і практично довільних вейвлетів. Використовувані вейвлети є неортогональними, а дані, отримані під час цього перетворення, висококорельовані. Для дискретних часових послідовностей також можна використовувати це перетворення з обмеженням, щонайменші перенесення вейвлета повинні дорівнювати дискретизації даних. Це іноді називається неперервним вейвлет-перетворенням дискретного часу (ДЧ – НВП) і це найпопулярніший метод розрахунку НВП у реальних додатках.

3. Застосування вейвлет-перетворення до нерухомих зображень

Сьогодні визначено декілька груп методів вбудовування інформації, основаних на різних етапах застосування вейвлет-перетворення. Основні стратегії із застосування вейвлетів показано на рис. 2 [18].

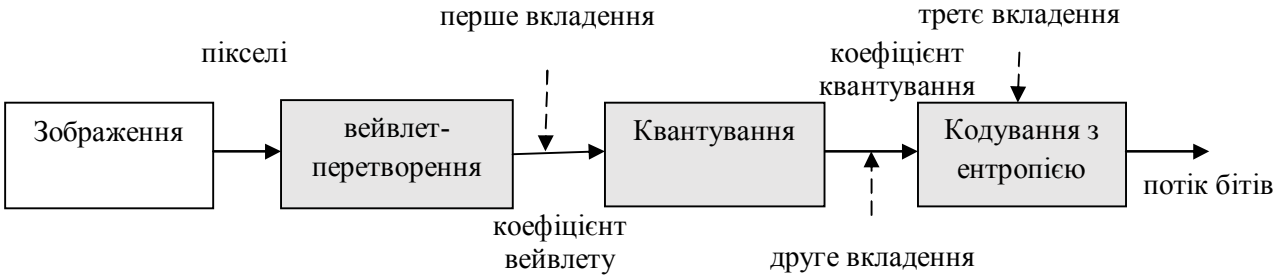


Рис. 2. Стратегії вбудовування на основі різних застосувань вейвлет-перетворення для зображень

Формулювання мети

Мета роботи – дослідження ефективності застосування вейвлетів у стеганографії з подальшим формулюванням рекомендацій щодо параметрів алгоритму вбудовування. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Дослідити залежності характеристик стеганосистем від довжини повідомлення.
2. Дослідити ефективності використання методів на основі ДВП та ДВП – ДКП.
3. Дослідити ефективності використання різних вейвлетів.
4. Дослідити характеристиик при використанні різних областей вбудовування.
5. Виконати порівняльний аналіз методів на основі вейвлет-перетворення з аналогами.

Для аналізу ефективності різних областей вбудовування, спираючись на [18], було обрано метод на основі послідовного дискретного вейвлет-перетворення та дискретного косинусного перетворення (ДВП – ДКП) та на основі заміни коефіцієнтів вейвлет-перетворення в області середніх коефіцієнтів.

Опис досліджуваних методів

Для досліджень було обрано 2 методи.

А) Метод на основі ДВП – ДКП [19] передбачає такі кроки:

1. До зображення застосовується ДВП, результатом якого є розкладання зображення на чотири області (рис. 3): LL, яка містить зменшене початкове зображення, і три області (LH, HL, HH), які містять результат застосування вейвлету безпосередньо до стовпців, рядків та діагоналі зображення.

2. Обрану область (LH, HL, HH) ділять на блоки 8x8 і до кожного блоку застосовують ДКП.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

3. Генеруються дві псевдовипадкові послідовності (ПВП), одна з яких використовується для вбудовування 0, а друга – 1. Кількість елементів у взаємонезалежних ПВП відповідає числу елементів ДКП у блоці.

4. Біти ПВП, збільшені на деякий поріг посилення, складаються зі значеннями коефіцієнтів ДКП.

5. Метод дає змогу забезпечити високу стійкість до атак завдяки можливості багаторазового дублювання цифрового водяного знаку (ЦВЗ).

Б) Метод на основі заміни середніх коефіцієнтів вейвлет-перетворення [20] передбачає такі кроки:

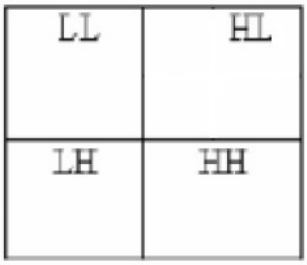


Рис. 3. Перший рівень вейвлет-перетворення

1. До зображення застосовується ДВП, результатом якого є розкладання зображення на чотири області.

2. Обрану область (LH, HL, HH) ділять на блоки 8x8.

3. Біти ПВП, збільшені на деякий поріг посилення, складаються зі значеннями середніх вейвлет-коефіцієнтів в блоці.

У сучасній літературі не описується ефективність застосування кількаразового вейвлет-перетворення із вбудовуванням інформації в коефіцієнти після повторного вейвлет-перетворення (рис. 4). Приклад застосування кількаразового вейвлет-перетворення до нерухомого зображення показано на рис. 5.

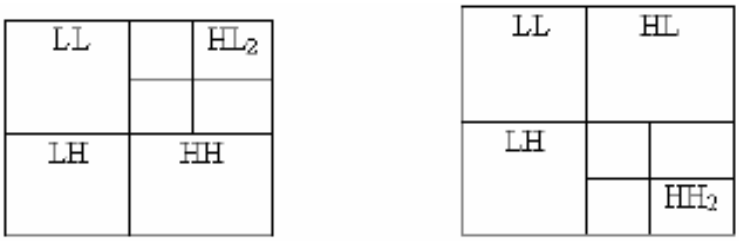


Рис. 4. Другий рівень вейвлет-перетворення

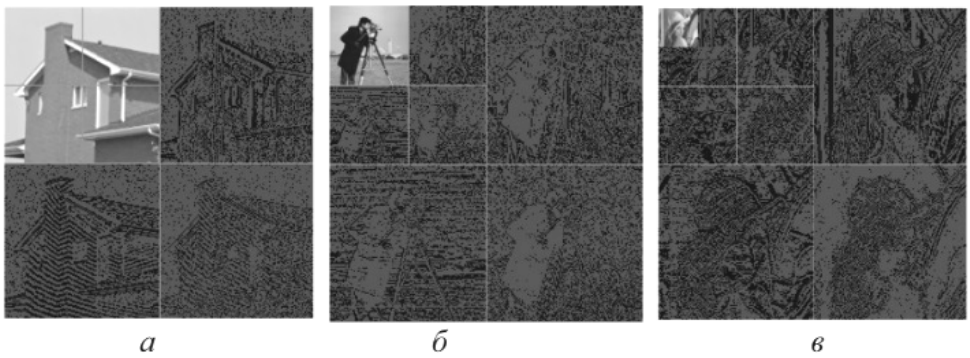


Рис. 5. Результати застосування вейвлетів до зображення:
а – першого порядку; б – другого порядку; в – третього порядку

Аналіз отриманих наукових результатів

Оцінюємо ефективність застосування різних вейвлетів та різних областей вбудовування, порівнюючи характеристики, що описують невидимість (рівень спотворення) та пропускну здатність.

Оцінювати рівень спотворення зображення прийнято [5] на основі трьох показників:

– Співвідношення сигнал/шум SNR:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$SNR = \frac{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} (C_{x,y})^2}{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} (C_{x,y} - S_{x,y})^2}; \quad (1)$$

– Якість зображення IF:

$$IF = 1 - \frac{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} (C_{x,y} - S_{x,y})^2}{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} (C_{x,y})^2}; \quad (2)$$

– Нормалізована середня абсолютна різниця NAD:

$$NAD = \frac{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} \left| C_{x,y} - S_{x,y} \right|}{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} \left| C_{x,y} \right|}. \quad (3)$$

Під час досліджень використовували зображення з такими параметрами:

a) недеталізоване зображення формату bmp та розміром 128×128 з явно вираженими трьома основними кольорами;

b) недеталізоване зображення формату bmp та розміром 1024×1024.

Вбудовування відбувалося з використанням вейвлетів Коіфлета, Баттла–Леманьє, асиметричного вейвлета Добеші та Добеші з мінімальною фазою. Областями для вбудовування було обрано первинні області LH, HL, HH та вторинні HL2 та LH2. Також досліджували значення характеристик при різних коефіцієнтах вейвлетів.

1. Дослідження залежності характеристик від довжини повідомлення

Для дослідження було використано вейвлет Добеші та повідомлення розміром від 2 до 20 кБ. Отримані значення показано на рис.6.

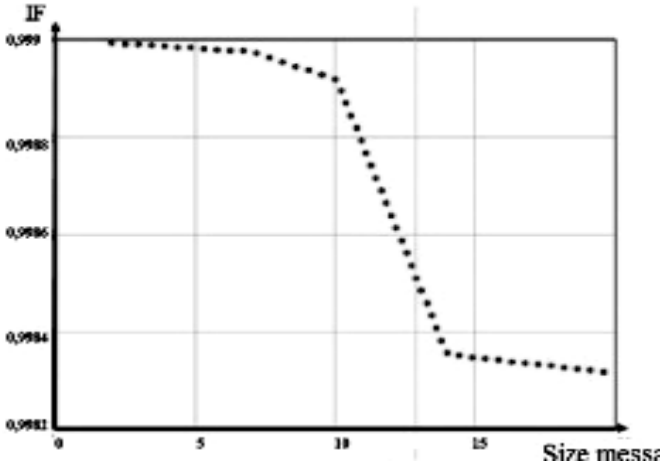


Рис. 6. Залежність якості зображення IF від розміру вбудованого повідомлення

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що якість зображення IF та співвідношення сигнал/шум SNR зменшуються, а нормалізована середня абсолютна різниця NAD збільшується зі збільшенням повідомлення, тобто зі збільшенням розміру повідомлення всі параметри погіршуються. Для досліджуваного зображення при досягненні довжини повідомлення 14 байтів параметри стають стабільними, а розмір повідомлення понад 45 байтів є неможливим.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

2. Дослідження ефективності використання методів на основі ДВП та ДВП – ДКП

Визначивши допустимий розмір прихованого повідомлення, було досліджено залежності зміни параметрів зображення від методу вбудовування. Отримано характеристики для двох методів вбудовування інформації – методу вбудовування на основі подвійного перетворення ДВП – ДКП та методу зміни коефіцієнтів ДВП. Вбудовування виконувалося у правий верхній квадрат (HL2) для вейвлету Добеши з мінімальною фазою.

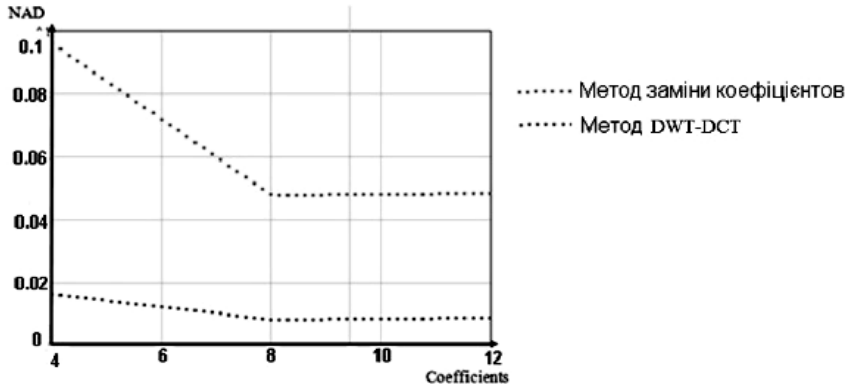
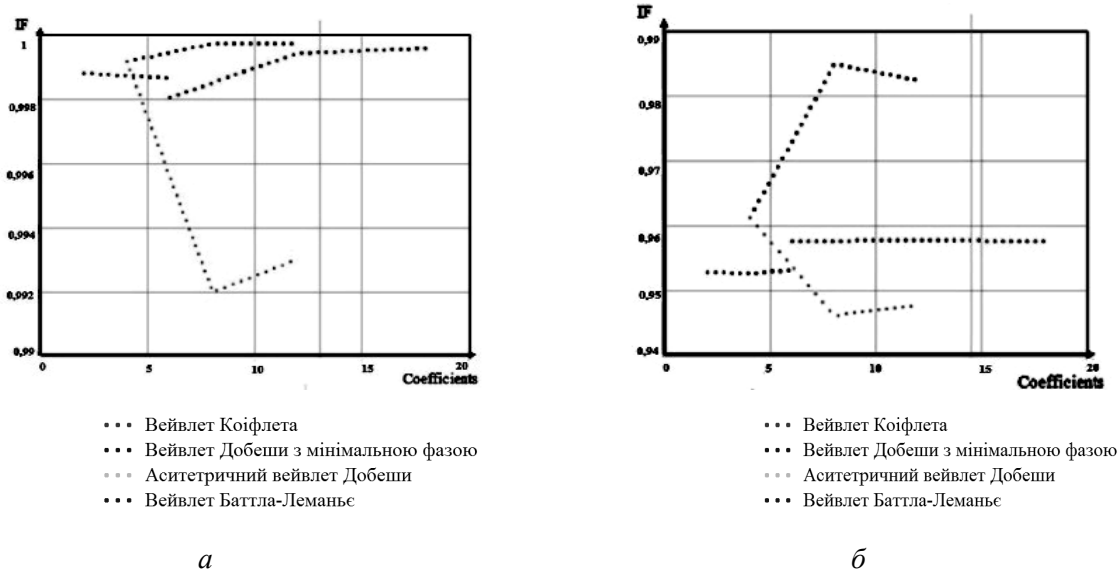


Рис. 7. Порівняння нормалізованої середньої абсолютної різниці NAD для вейвлету Добеші з мінімальною фазою для методів на основі ДВП та на основі ДВП – ДКП при зміні коефіцієнтів

В обох випадках зі зростанням коефіцієнтів цей показник падає, метод на основі заміни коефіцієнтів ДВП дає більш виражені зміни, а метод на основі ДВП – ДКП кращі показники.

3. Дослідження ефективності використання різних вейвлетів

Під час досліджень аналізували вейвлет Коіфлета, Баттла–Леманьє, асиметричний вейвлет Добеші та вейвлет Добеші з мінімальною фазою. Результати наведено на рис. 8, а, б та рис. 9 а, б.



а *б*

Рис. 9. Порівняння якості зображення IF для вейвлету Добеші з мінімальною фазою для методів на основі ДВП – ДКП(а) та на основі ДВП (б) при зміні коефіцієнтів

Порівнявши отримані результати для двох методів, за рис. 9 можна зробити висновок, що метод вбудовування на основі ДВП – ДКП дає вищі та сталі показники якості для трьох вейвлетів, а метод зміни коефіцієнтів погіршує якість зображення. Особливо треба зазначити, що лише асиметричний вейвлет Добеші, на відміну від інших, зі збільшенням коефіцієнта погіршує показники.

Співвідношення сигнал/шум також зростає зі збільшенням коефіцієнтів для всіх вейвлетів, окрім методу з використанням асиметричного вейвлету Добеші. Тоді як для методу на основі

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

ДВП – ДКП параметр SNR залишається незмінним або зростає для вейвлету Добеші із мінімальною фазою, то метод зміни коефіцієнтів ДВП показує набагато вищі значення для всіх чотирьох вейвлетів.

4. Дослідження характеристик при використанні різних областей вбудовування

Актуальним завданням було дослідження зміни параметрів зображення при зміні області вбудовування. Для порівняння було обрано первинні області LH, HL, HH та вторинні HL2 та LH2.

Результат розрахунку параметра NAD зображено на рис. 10.

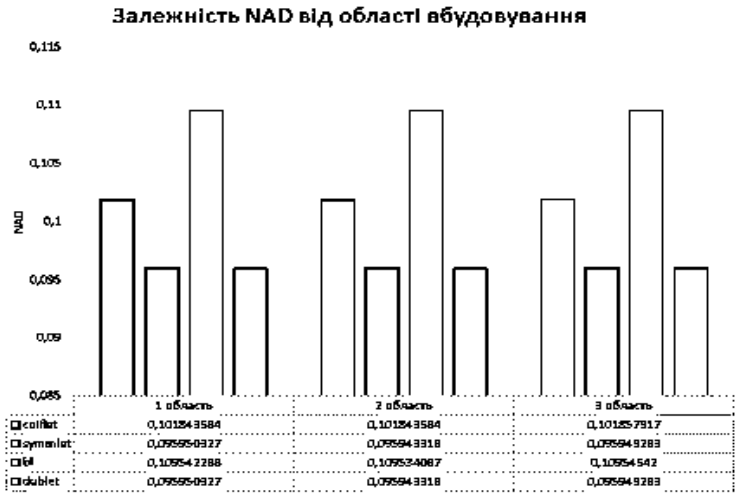


Рис. 10. Порівняння нормалізованої середньої абсолютної різниці NAD для 1 (HL_2), 2 (LH, HL, HH) та 3 області (LH_2)

Оскільки величина NAD коливається зовсім не суттєво (від 0,095 до 0,1), результатом досліджень можна вважати висновок, що область, в яку вбудовується зображення, не має суттєвого впливу.

5. Порівняльний аналіз методів на основі вейвлет-перетворення з існуючими аналогами

Доцільно порівнювати досліджувані методи із найпоширенішими методами вбудовування у частотну та просторову області. Для порівняння було обрано метод заміни найменш значущого біта (НЗБ), метод Куттера та метод Коха–Жао (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики методів вбудовування у просторову та частотну області

Параметр	Метод НЗБ	Метод Куттера	Метод Коха–Жао (P=25)
IF	0,999	0,995	0,992
NAD	$3{,}823 \cdot 10^{-3}$	0,050	0,08
SNR	$4{,}945 \cdot 10^{4}$	192,271	167,790

Оскільки область вбудовування для алгоритмів на основі вейвлет-перетворення на обрані показники суттєво не впливає, значення параметів наведено при використанні HL2 області (табл. 2 та табл. 3).

Таблиця 2

Характеристики методу на основі DWT-DCT з використанням HL2 області для вбудовування

Параметр	вейвлет Коіфлета	Вейвлет Баттла–Леманьє	асиметр. вейвлет Добеші	Добеші з мін. фазою
IF	0,958	0,953	0,961	0,961
NAD	0,102	0,109	0,096	0,096
SNR	23,6	21,2	25,8	25,8

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Таблиця 3

Характеристики методу зміни коефіцієнтів з використанням HL2 області для вбудовування

Параметр	вейвлет Коіфлета	Вейвлет Баттла–Леманьє	асиметр. вейвлет Добеші	Добеші з мін. фазою
IF	0,997	0,999	0,999	0,999
NAD	0,0257	0,02	0,016	0,016
SNR	510,8	829,4	1219,2	1219,2

З отриманих значень виходить, що найкращими вейвлетами для досліджуваних методів є вейвлети Добеші. При цьому, зважаючи на попередньо отримані залежності, можна виділити саме вейвлет Добеші із мінімальною фазою, що показав себе якнайкраще як при зміні довжини повідомлення, що вбудовується, так і при збільшенні коефіцієнтів.

Метод зміни коефіцієнтів із вейвлетом Добеші із мінімальною фазою перевищив за значеннями кількісних показників поширені методи приховання Куттера та Коха–Жао, але поступився простому методу НЗБ із низькою стійкістю. Це свідчить про необхідність подальшого комплексного дослідження в області підвищення пропускної здатності цих методів.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

У роботі було оцінено найвигідніші умови використання вейвлет-перетворень в системах прихованої передачі даних. Для визначення оптимального вейвлету за критеріями максимуму прихованої інформації при мінімальних спотвореннях зображення аналізувалися вейвлети Коіфлета, Баттла–Леманьє, асиметричний вейвлет Добеші та вейвлет Добеші з мінімальною фазою. Науковою новизною роботи є те, що вперше оцінено ефективність застосування різних типів вейвлетів для систем прихованого передавання інформації. Також вперше отримано дані стосовно використання субсмуг вейвлет-перетворення та визначено найкращий тип вейвлету за критерієм максимуму пропускної здатності при мінімальному спотворенні зображення. Було оцінено вплив довжини повідомлення, що вбудовується на якісні та кількісні характеристики стегоконтейнеру. Результати показали майже прямо пропорційне погіршення всіх показників зі збільшенням розміру приховання. Було визначено поріг розміру вбудовуваного повідомлення для вейвлет-методів.

Дослідження залежності рівня спотворення повідомлення та пропускної здатності від методу вбудовування показали, що метод зміни коефіцієнтів ДВП дає більш сталі показники, а метод вбудовування на основі подвійного перетворення ДВП – ДКП має переваги в одиничних виграшах. Було оцінено ефективність застосування різних вейвлетів та вперше розраховано кількісні показники при вбудовуванні у різні області вейвлет-розкладання. Дослідження показали, що різні типи вейвлетів не характеризуються однозначною залежністю між собою та по-різному поводяться зі зміною показників. Після проведення досліджень, кількісних розрахунків та порівняльного аналізу найпоширеніших методів було визначено, що найкращі результати демонструє вейвлет Добеші з мінімальною фазою, а зміна його коефіцієнта дає змогу знайти оптимальні параметри в середніх показниках. Щодо області вбудовування, то суттєвого впливу вибору субсмуги на якість приховання не спостерігається. Треба зазначити, що ці досліди актуальні саме для цих типів зображень та областей вбудовування. Практична значимість результатів полягає в підвищенні ефективності систем прихованої передачі інформації завдяки використанню запропонованого типу вейвлетів із зазначеними параметрами та діапазоном вбудовування.

1. Digital Watermarking and Steganography. Second Edition [Text] / I. Cox, M. Miller., J. Bloom, J. Fridrich, T. Kalker. – L.:Elsevier, 2008. – 592 p. 2. Watermarking (Vol.1) [Text]/ edited by M. D. Gupta. – Croatia: InTech, 2012. – 204 p. 3. Лагун А. Використання вейвлет-перетворення для приховування інформації в нерухомих зображеннях / А. Лагун, І. Лагун // Захист інформації і безпека інформаційних систем. – Л., 2013. – С. 98, 99. 4. Friedrich, Jessica Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications [Text] / J. Friedrich. – Cambridge: Cambride University Press, 2009. – 438 p. 5. Конахович Г. Ф. Комп'ютерна стеганографія. Теорія і практика [Текст] /

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузиренко. – Київ: МК-Пресс, 2006. – 288 с. 6. Jadav Y. Comparison of LSB and Subband DCT Technique for Image Watermarking / Y. Jadav // .Conference on Advances in Communication and Control Systems, Mumbai, India. – 2013. – P. 398-401. 7. Fridrich J. Secure steganographic methods for palette images / J. Fridrich, D. Rui // In Inter'l Workshop on Information Hiding. – 1999. – P. 47-60. 8. Kutter M. A fair benchmark for image watermarking systems / M. Kutter, F. Petitcolas // Proc. of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents, 14-15 June 1999, San Jose, France. – 1999. – Vol. 3657. – P. 226–239. 9. Koch. E. Toward robust and hidden image copyright labeling / E. Koch, J. Zhao // Proc. of IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, 20-22 June 1995, Neos Marmaras, Greece. – 1995. – P. 456–459. 10. Benham. D. Fast watermarking of DCT-based compressed images / D. Benham, N. Memon, B.L. Yeo, M. Yeung // Proc. of Int Conf Image Science, Systems, and Technology, 1997, Las Vegas, NV. – 1997. – P. 243–253. 11. Marvel L. M. / Capacity of the additive steganographic channel, Methodology of Spread-Spectrum. Image Steganography / L. M. Marvel, C. G. Boncelet Jr., Charles T. Retter // Proc. of IEEE transactions on image processing, August 1999. – 1999. – Vol.8, No.8. – P. 1075-1083. 12. Image Steganography Techniques: An Overview / H. Nagham, Y. Abid, R. Badlishah Ahmad, Osamah M. Al-Qershi // International Journal of Computer Science and Security. – 2012. – Vol. 6, Issue 3. – P. 168-187. 13. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск, 2011. – 464 с. 14. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2002. – 272 с. 15. Лукічов В. В. Методи та засоби стеганографічного захисту інформації в комп'ютерних системах і мережах на основі вейвлет-перетворень [Текст] : автореф. дис… канд. техн. наук : 05.13.21 / НАН України – К., 2010. – 20 с. 16. Буй Т. Т. Ч. Разложение цифровых изображений с помощью двумерного дискретного вейвлет-преобразования и быстрого преобразования Хаара / Т. Т. Ч. Буй, В. Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2011. – Т. 318, № 5 : Управление, вычислительная техника и информатика . – С. 73–76. 17. Daubechies I. Orthonormal basis of compactly supported wavelets / I. Daubechies // Comm. Pure Appl. Math, v. XLI. – 1988. – P. 909–996. 18. Jiansheng M. A Digital Watermarking Algorithm Based On DCT and DWT / L. Sukang, T. Xiaomei // Proceedings of the 2009 International Symposium on Web Information Systems and Applications. – 2009. – P. 104–107. 19. Sridev T. A Robust Watermarking Algorithm Based on Image Normalization and DC Coefficients / T. Sridev, V. V. Kumar // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. – 2011. – P. 226–232. 20. Li Z. A Dynamic Multiple Watermarking Algorithm Based on DWT and HVS / Z. Li, Y. Xilan, L. Hongsong, C. Minrong // Int. J. Communications, Network and System Sciences. – 2012. – Vol. 5, No.8. – P. 490–495.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua