

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАРКУВАННЯ В ОБЛАСТІ ВЕЙВЛЕТ- ПЕРЕТВОРЕННЯ

У даній роботі розглядаються методи маркування зображень цифровими водяними знаками, наприклад, з метою авторизації мультимедійної продукції. Запропонований метод маркування заснований на алгоритмі Corvi, але цифровий водяний знак поміщається в спектральну область, тим самим забезпечується його підвищена стійкість при стисненні або при перетворенні маркованого зображення. Представлені кількісні характеристики, що підтверджують ефективність даного методу в порівнянні з відомими методами.

У ряді випадків маркування цифрового зображення проводиться чорно-білим логотипом, виступаючим в якості цифрового водяного знаку. Перевагою застосування в якості ЦВЗ логотипу є простота і наочність встановлення авторських і комерційних прав на мультимедійну продукцію після виділення ЦВЗ. Зазвичай логотип представляє собою картинку, яка неоднорідна, тобто є великі області чорного і білого, і при додаванні в зображення він може спотворити його. Тому створюють все нові методи, для найкращого вирішення цієї проблеми.

У зв'язку з інтенсивним розвитком і поширенням технологій, які дозволяють за допомогою комп'ютера інтегрувати, обробляти та синхронно відтворювати різні типи сигналів (так звані мультимедійні технології), питання захисту інформації, представленій в цифровому вигляді, є надзвичайно актуальним.

Зроблено висновок, що алгоритми маркування, подібні модифікованому методу Corvi, приховують ЦВЗ для сприйняття частини вейвлет перетворення, мають достатню стійкість до методів цифрової обробки сигналу і можуть бути адаптовані в поєднанні з алгоритмами стиснення зображення.

Ключові слова: цифрові водяні знаки, маркування, вейвлет.

Вступ. Вейвлет - перетворення сигналів є узагальненням спектрального аналізу, типовий представник якого - класичне перетворення Фур'є. Термін "вейвлет" (англ. Wavelet) в перекладі з англійської означає "маленька (коротка) хвиля". Вейвлети - це узагальнена назва сімейства математичних функцій певної форми, які локальні в часі і по частоті, і в яких всі функції виходять з однієї базової, за допомогою її зрушень і розтягувань по осі часу. Вейвлет-перетворення розглядають аналізовані тимчасові функції в термінах коливань, локалізованих за часом і частоті. Як правило, вейвлет-перетворення (WT) підрозділяють на дискретне (DWT) і безперервне (CWT). DWT використовується для перетворень і кодування сигналів, CWT - для аналізу сигналів. Вейвлет-перетворення в даний час приймаються на озброєння для величезної кількості різноманітних застосувань, нерідко замінюючи звичайне перетворення Фур'є. Це спостерігається в багатьох областях, включаючи квантову механіку, астрофізику, геофізику, оптику, комп'ютерну графіку і обробку зображень, аналіз ДНК, загальну обробку сигналів і розпізнавання мови та інше.

Вейвлетний аналіз являє собою особливий тип лінійного перетворення сигналів та відображення цими сигналами фізичних даних про процеси і фізичні властивості природних середовищ і об'єктів. Базис власних функцій, за яким проводиться вейвлетне розкладання сигналів, володіє багатьма специфічними властивостями і можливостями. Вейвлетні функції базису дозволяють сконцентрувати увагу на тих чи інших локальних особливостях аналізованих процесів, які не можуть бути виявлені за допомогою традиційних перетворень Фур'є і Лапласа [1-4].

Постановка задачі. Головним завданням є дослідження сучасних методів захисту інформаційних ресурсів та виявлення їх недоліків. В даному розділі роботи досліджуються

методи маркування зображень, які можуть використовуватися спільно з методами стиснення зображень, заснованих на вейвлет - перетвореннях, до яких відноситься стандарт JPEG 2000.

Основи теорії вейвлет перетворення. Головний недолік ДПФ і ДКП полягає в інтегральній оцінці всіх частотних складових спектра незалежно від часу їх існування. Тому ДПФ і ДКП не годяться для нестационарних сигналів, у яких певні частотні компоненти існують тільки в певні проміжки часу.

Проблеми спектрального аналізу обмежених у часі сигналів частково вирішуються за допомогою віконного перетворення Фур'є. Ідея даного перетворення полягає в розбитті тимчасового інтервалу на ряд проміжків - вікон. Для кожного з вікон обчислюється своє Фур'є перетворення. Таким чином, можна перейти до частотно-тимчасового поданням сигналу.

Іншим видом перетворення сигналу, що не володіють обмеженнями, властивими віконному перетворенню Фур'є, є вейвлет перетворення. Термін вейвлет, введений вперше Морлі, в перекладі з англійського означає «коротка хвиля» або «сплеск». Грубо вейвлети можна уявити як деякі хвильові функції, здатні здійснювати перетворення Фур'є не по всій тимчасовій осі, а локально за місцем свого розташування [5-8].

Для виконання прямого і зворотного вейвлет перетворення потрібно мати вейвлети на основі ортогональних базисних функцій. Функція Хаара - найпростіший приклад ортогонального вейвлета. Низькочастотна функція має значення 1 на інтервалі $[0,1]$ і 0 за межами цього інтервалу, а високочастотна материнська або породжуюча функція має вигляд прямокутних імпульсів: 1 на інтервалі $[0,0.5]$ і -1 в інтервалі $[0.5,1]$.

Вейвлет маркування за алгоритмом Лі Хуа. Даний алгоритм маркування був запропонований Лі Хуа (Lichua Xie). У своїй основі цифровий водяний знак являє бінарну послідовність, що складається з нулів і одиниць: $w_i \in \{0,1\}$.

Початкове зображення піддається n рівневному вейвлет перетворенню, для отримання низькочастотної складової зображення. Саме в низькочастотну частину сигналу (LL субрівень) і розміщується цифровий водяний знак [9].

Процес додавання цифрового знака можна представити таким чином.

Низькочастотна складова сигналу обходиться ковзаючим вікном 3×1 , тим самим вибираючи чергові 3 частотних коефіцієнта для маркування.

Вибрані коефіцієнти b_1, b_2, b_3 сортуються за зростанням, потім діапазон від $\min |b_j|$ до $\max |b_j|$, $j=1,2,3$ розбивається на інтервали довжиною Δ :

$$\Delta = a \frac{\max |b_j| - \min |b_j|}{2}. \quad (1)$$

Потім середній коефіцієнт трійки квантується до значення кратного Δ таким чином, щоб представити один зі звітів цифрового знака w_i .

Як видно інтервал розбивається на $2/a$ підінтервалів, кожен з підінтервалів має 2 границі: l_k і l_{k+1} . Припишемо одиничного звіту цифрового знака всі непарні границі, а нульовому звіту цифрового знака всі парні границі підінтервалів.

Центральний коефіцієнт відсортованої трійки модифікується таким чином, що б лежати на кордоні, відповідно значенням звіту цифрового знака w_i . Потім змінений коефіцієнт заноситься на своє місце в низькочастотній субполосі зображення. Схема такого маркування приведена на рис. 1.

Витяг цифрового знака здійснюється без використання оригіналу зображення. Після сортування визначається центральний елемент вікна. Він квантується для отримання так званої точки відновлення, тобто визначається на парній або непарній межі інтервалу лежить центральний коефіцієнт. Получений таким чином значення біта фіксується як черговий звіт цифрового знака w_i .

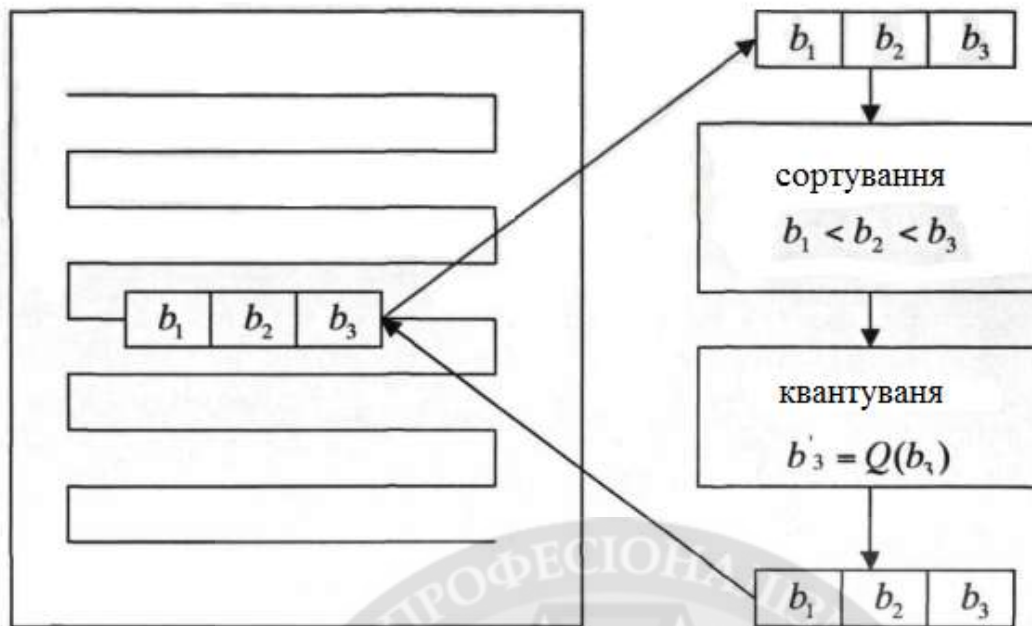


Рис. 1. Схема маркування по Лі Хуа

На закінчення можна відзначити, що стійкість даного методу залежить від числа рівнів декомпозиції зображення. Достатньо хороша стійкість спостерігається при п'яти рівневій і двох рівневій вейвлет перетворенні зображення.

Модифікований метод маркування на основі алгоритмів Lihua Xie і Corvi.

Пропонується модифікований метод маркування цифрових зображень, заснований на застосуванні алгоритму Corvi [10] не до просторових, а частотних компонентах зображення і ЦВЗ. Подібний алгоритм зводиться до наступного:

1. Виконується трьох рівневе вейвлет-перетворення маркується зображення, при цьому маркуванню підлягає лише низькочастотна, апроксимуюча складова (LL підрівень)
2. Як ЦВЗ вибирається чорно-білий логотип, розмір якого не повинен перевищувати розміри апроксимуючої складової вейвлет перетворення.
3. Для логотипу згідно з методом Corvi виконується його перемішування.
4. Виконується однорівневе вейвлет-перетворення логотипу
5. Виконується впровадження ЦВЗ наступним чином:

$$f'(x, y) = f_{mean} + [(f(x, y) - f_{mean}) + ((1 + w(x, y)) \cdot \alpha)], \quad (2)$$

де f_{mean} - середнє значення коефіцієнтів LL підрівня; $f(x, y)$ - маркований коефіцієнт LL субрівня з координатами (x, y) ; $f(x, y)$ - вихідний коефіцієнт LL субрівня з тими ж координатами (x, y) ; $w(x, y)$ - звіт цифрового знака в позиції (x, y) ; α - коефіцієнт, що визначає силу додавання ЦВЗ.

Потім, для отримання маркованого зображення, до отриманих коефіцієнтам застосовується зворотнє вейвлет перетворення.

Під час вилучення ЦВЗ вимагає оригінал LL підрівні. Процедура витягу ЦВЗ зворотня процедури додавання.

Запропонований метод маркування показує хорошу стійкість до атак різного типу. Хоча для відновлення ЦВЗ потрібно оригінал зображення, зберігати його цілком немає необхідності. Оскільки маркується тільки апроксимуюча складова вейвлет перетворення, то і для відновлення ЦВЗ потрібно оригінал тільки апроксимуючої складової.

Для дослідження стійкості запропонованого алгоритму маркування були виконані експерименти з впровадження ЦВЗ в зображення і вилучення ЦВЗ з них після внесення служби активів: (стиснення за стандартом JPEG, зашумлення, масштабування). Критерієм стійкості був коефіцієнт взаємкореляції між оригіналом логотипу і витягнуті з маркованого зображення логотипу. В процесі дослідження маркуванню піддавалося зображення типу портрет розміром 480x480 пікселів. Маркування зображення піддавалося 3-х рівневому перетворенню Хаара. В якості логотипу використовувалося зображення кота розміром 32x32 точки. Коефіцієнт α брався рівним 20, що забезпечувало компроміс між несприйнятністю ЦВЗ і його стійкістю до атак.

Результати проведених експериментів представлені на рис. 2 - 3, де прийняті наступні позначення:

- 1 - алгоритм просторового маркування Corvi;
- 2 - алгоритм маркування в частотній області коефіцієнтів отриманого ДКП (алгоритм Benham);
- 3 - алгоритм маркування з використанням вейвлет - перетворення по алгоритму Лі Хуа.

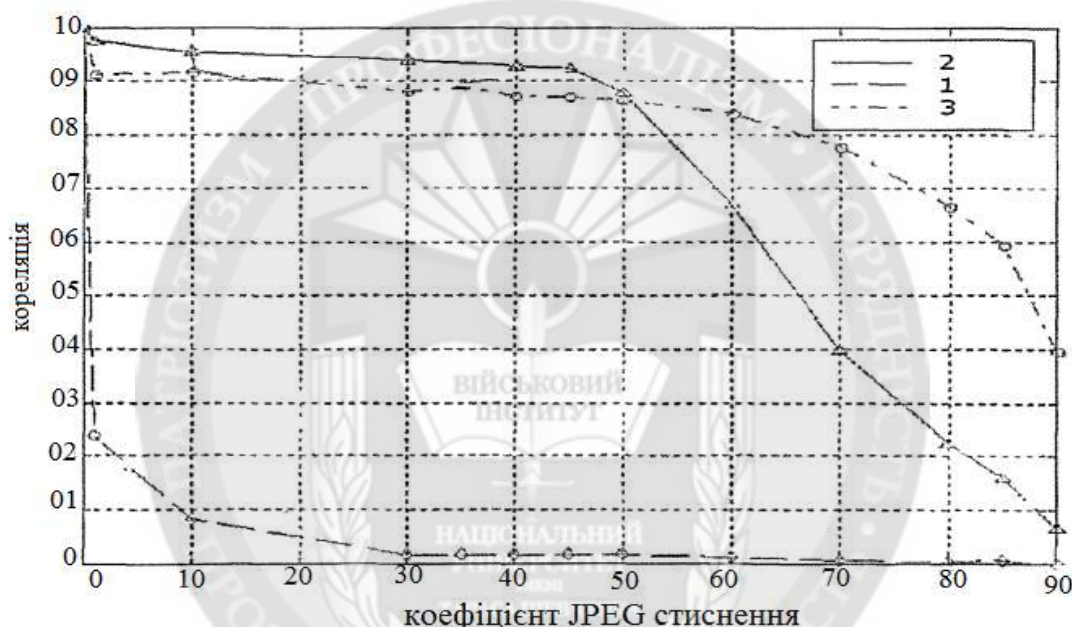


Рис. 2. Порівняння якості вилучення ЦВЗ з маркованого зображення, стиснутого JPEG алгоритмом різною якістю

З рис. 2 видно, що метод, заснований на просторовому маркуванні, не володіє стійкістю до JPEG стиснення. Уже при коефіцієнті стиснення трохи більшим Γ , що відповідає практично нульового рівня внесених викривлень (QF), логотип стає дуже зашумлений і змазаним, а при збільшенні коефіцієнта стиснення до значень відповідних $QF=5$, ЦВЗ взагалі перестає розпізнаватися.

Навпаки, при використанні частотних алгоритмів маркування, логотип витягується досить добре навіть при $QF = 60$.

Як впливає з рис. 3, просторовий алгоритм маркування так само показує не задовільні результати при добуванні логотипу з зашумленого маркованого зображення. Алгоритм, заснований на ДКП, показує задовільні результати при рівнях шуму до 6. Алгоритм маркування, заснований на вейвлет перетворенні, витримує рівень зашумлення до 10. Відзначимо, що при рівні зашумлення вище 15 оригінал зображення вже втрачає свою цінність.

Згідно рис. 4 алгоритм маркування в просторовій області також показує менш задовільні результати (якість логотипу зменшується пропорційно коефіцієнту масштабування). Частотні

алгоритми показують кращі результати вилучення. Можна зробити висновок, що будь-який масштабування (в реальних діапазонах) однаково змінює якість витягується логотипу для частотних алгоритмів.

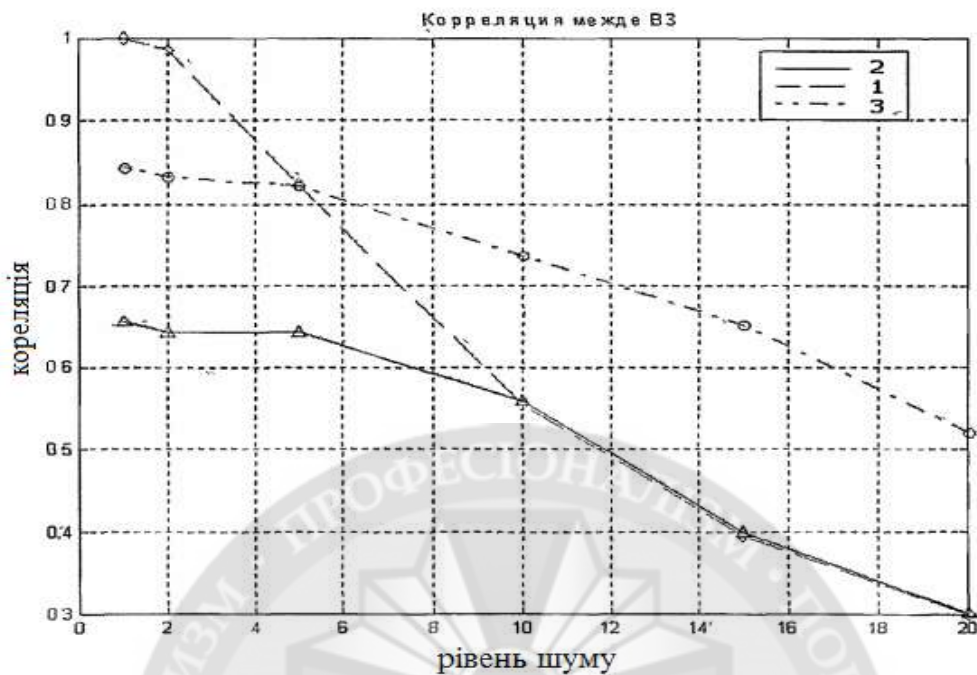


Рис. 3. Порівняння якості вилучення ЦВЗ з маркованого зображення, зашумленого гаусовим шумом різної амплітуди

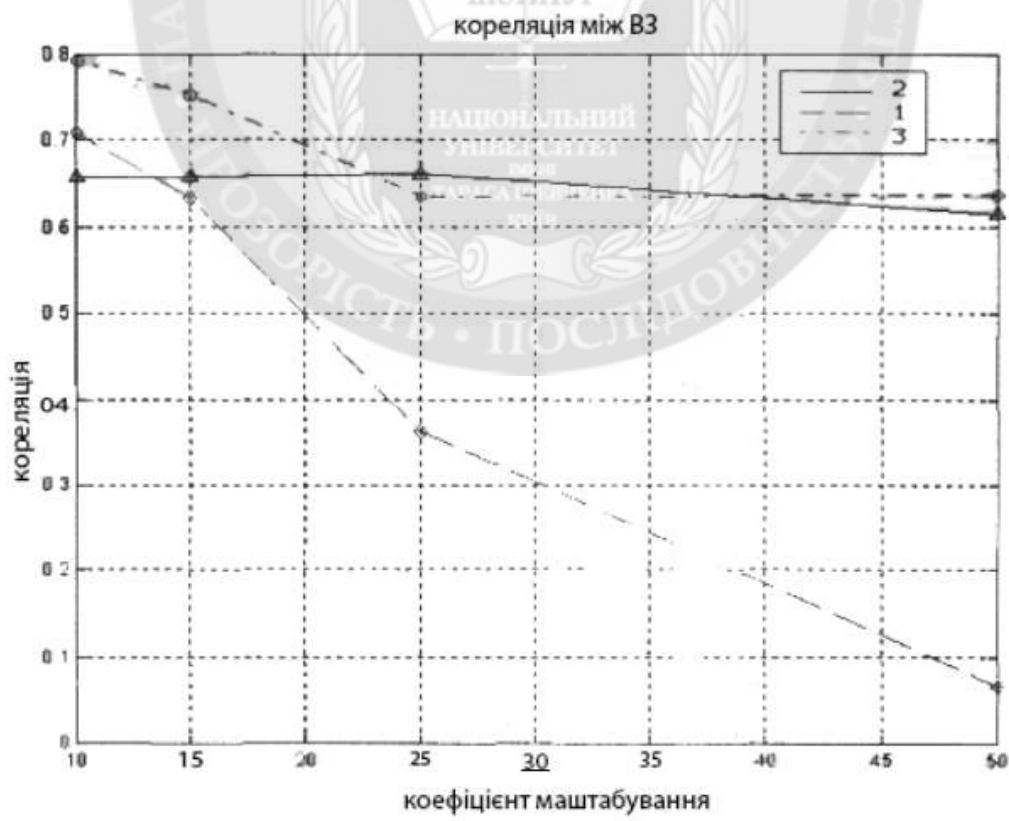


Рис. 4. Порівняння якості вилучення ЦВЗ з маркованого зображення, при масштабуванні маркованого зображення (стиснення)

Запропонований метод маркування на основі алгоритму Лі Хуа забезпечує хорошу стійкість до атак різного типу. Хоча для відновлення ЦВЗ метод вимагає оригінал зображення, зберігати цей оригінал цілком немає необхідності. Оскільки маркується тільки апроксимуюча складова вейвлет перетворення, то і для відновлення ЦВЗ потрібно оригінал тільки апроксимуючої складової. Цей факт дозволяє значно заощадити на зберіганні оригіналів зображень, оскільки навіть при тривірневному перетворенні розмір апроксимуючої складової менше повного розміру зображення в 64 рази. На основі виконаних експериментів можна зробити висновок, що для цифрових зображень, що піддаються стисненню, для захисту авторських прав найбільш підходять методи вейвлет маркування на основі запропонованого модифікованого методу Corvi. Саме в цьому методі цифровий підпис поміщається у вразливе значиму частину перетвореного зображення, яку розглянуті алгоритми стиснення намагаються зберегти найбільш повно, крім того, при відновленні ЦВЗ потрібен не оригінал зображення, а мала його частина. Інші ж алгоритми маркування поміщують цифровий підпис в шумові складові перетвореного зображення. Ці складові при стисненні прагнуть усунути, що призводить до суттєвої втрати інформації в них, так що навіть алгоритми маркування, які дістають ЦВЗ на основі статистичних розрахунків, припускаються помилок у визначенні цифрового знака.

Таким чином, можна зробити висновок, що алгоритми маркування, подібні модифікованим методом Corvi, що приховують цифровий підпис в вразливе значної частини перетвореного зображення на основі вейвлет перетворення мають достатню стійкість до методів цифрової обробки сигналу, і можуть бути адаптовані для застосування спільно з алгоритмами стиснення зображень.

Висновки. Проаналізовано існуючі алгоритми впровадження ЦВЗ в просторовій області. В результаті аналізу встановлено, що для вбудовування ЦВЗ - логотипу найбільш ефективний алгоритм Corvi а для вбудовування ЦВЗ у вигляді довільної бітової послідовності (m - розрядного двійкового коду найбільш перспективний алгоритм Bruyndonckx.

Отримано експериментальні залежності стійкості ЦВЗ до атаки у вигляді стиснення зображення за стандартом JPEG. Стійкість оцінювалося як величина Bit Error Rate (BER), що визначається в процентному відношенні числа викривлених біт до загального числа впроваджених біт від фактора якості QF при стисненні зображення методом JPEG.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Конахович Г.Ф. Компьютерная стеганография / Г.Ф Конахович, А.Ю Пузыренко // Теория и практика. Киев: МК-Пресс, 2006. -288с
2. Хорошко В.О. Основи комп'ютерної стеганографії : навчальний посібник для студентів і аспірантів / В.О. Хорошко, О.Д. Азаров, М.Є. Шелест, Ю.Є. Яремчук. – Вінниця : ВДТУ, 2003.
3. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И.Н. Оков, И. В. Туринцев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2002.
4. Горпенюк А.Я., Стороженко А.О. Дослідження та порівняльний аналіз стеганографічних методів для впровадження даних у цифрові файли. Національний університет „Львівська політехніка” – 2015.
5. Коржик В.І., Небаєва К. А. Основи стеганографії: навчально-методичний посібник з виконання практичних занять.- СПб. : СПбГУТ, 2015. - 20 с.
6. Кошкина Н.В. Обзор и классификация методов стеганоанализа / Н.В. Кошкина // УСиМ. – 2015. № 3. – С. 17 – 25.
7. Аграновский А.В. Стеганография, цифровые водяные знаки и стегоанализ / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин. – М. : Вузовская книга, 2009. – 180 с.
8. Мамаев М. Технологии защиты информации: в Интернете/ Мамаев М., Петренко С: Специальный; справочник..СИБ.:Иитер 2002. - 848 с.
9. Небаєва К. А. Розробка невиявлених стегосистем для каналів з шумом: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.13. - СПб. : СПбГУТ, 2014. - 176 с.
10. Алексеев А.П., Макаров М.І. Принципи багаторівневого захисту інформації // Інфокомунікаційні технології. – 2012. – № 2 (10). – С. 88- 93.

11. Основи комп'ютерної стеганографії : навч. посібн. для студентів і аспірантів / В. О. Хорошко, О. Д. Азаров, М. В. Шелест та ін. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 143 с.

12. Разінков Е. В. Математичне моделювання стеганографічних об'єктів і методи обчислення оптимальних параметрів стегосистем: - Казань: КДУ, 2012. - 109 с

REFERENCES:

1. Konahovych H.F., Puzyrenko A.Yu. (2006). Kompyuternaya steganography. Theory and Practice. Kiev: MK-Press. 88s.

2. Horoshko V.O., Azarov O.D., Shelest M.E., Yaremchuk Yu.E. (2003). Osnovi komp'yuternoyi steganografii: navchalnyi posibnik dlya studentiv i aspirantiv. Vinnitsya: VDTU.

3. Gribunin V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. Tsfirovaya steganografiya (2002). M.: SOLON-Press.

4. Gorpenyuk A.Ya. Storozhenko A.O. (2015). Doslidzhennya ta porivnyalniy analiz steganografichnih metodiv dlya vprovadzhennya danih u tsifrovi fayli. Natsionalnyi universitet „Lvivska politehnika”.

5. Korzhyk V.I., Nebaieva K.A. (2015). Osnovy stehanohrafii: navchalno-metodychni posibnyk z vykonannya praktychnykh zaniatii. SPb.: SPbHUT. 20 s.

6. Koshkina N.V. (2015). Obzor i klassifikatsiya metodov steganoanaliza. № 3. S. 17 – 25.

7. Agranovskiy A.V., Balakin A.V., Gribunin V.G. Steganografiya, tsifrovye vodyanye znaki i stegoanaliz. M.: Vuzovskaya kniga. 180 s

8. Mamaev M., Petrenko S. (2002). Technologies of protection of information: on the Internet. Yyter. 848 p.

9. Nabieva K.A. Razrabotka neobnaruzhivaemykh stegosistem dlja kanalov s shumom. Dis. ... kand. teh. nauk [The Development of undetectable stegosystem for channels with noise. Ph.D. of Engineering Sciences. Tesis]. Saint-Petersburg, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication Publ., 2014, 176 p.

10. Alekseev A.P., Makarov M.I. (2012). Principles of multilevel protection of the information. Infokommunikacionnye tehnologii, vol. 10, no. 2, pp. 88-93.

11. Khoroshko V.O., Azarov O.D., Shelest M.V. ta in. (2003). Osnovy kompiuternoi stehanohrafii : navch. posibn. dlia studentiv i aspirantiv. Vinnitsya : VDTU. 143 s.

12. Razinkov E.V. (2012). Matematychnye modeliuvannia stehanohrafichnykh ob'ektiv i metody obchyslennia optymalnykh parametriv stehosistem. Kazan: KDU. 109 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., головний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., доц. Красильников С.Р., Прухницький В.И., Рябая Л.О., Солодеева Л.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКИРОВАНИЯ В
ОБЛАСТИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В данной работе рассматриваются методы маркировки изображений цифровыми водяными знаками, например, с целью авторизации мультимедийной продукции. Предложенный метод маркировки основан на алгоритме Corvi, но цифровой водяной знак помещается в спектральную область, тем самым обеспечивается его повышенная устойчивость при сжатии или при преобразовании маркированного изображения. Представленные количественные характеристики, подтверждающие эффективность данного метода по сравнению с известными методами.

В ряде случаев маркировка цифрового изображения производится черно-белым логотипом, выступающим в качестве цифрового водяного знака. Преимуществом применения в качестве ЦВЗ логотипа является простота и наглядность установления авторских и коммерческих прав на мультимедийную продукцию после выделения ЦВЗ. Обычно логотип представляет собой картинку, которая неоднородна, есть большие области черного и белого, и при добавлении в изображение он может исказить его. Поэтому создают все новые методы, для лучшего решения этой проблемы.

В связи с интенсивным развитием и распространением технологий, которые позволяют с помощью компьютера интегрировать, обрабатывать и синхронно воспроизводить различные типы сигналов (так называемые мультимедийные технологии), вопросы защиты информации, представленной в цифровом виде, является чрезвычайно актуальным.

Сделан вывод, что алгоритмы маркировки, подобные модифицированному методу Corvi, скрывают ЦВЗ для восприятия части вейвлет преобразования, имеют достаточную устойчивость к методам цифровой обработки сигнала и могут быть адаптированы в сочетании с алгоритмами сжатия изображения.

Ключевые слова: цифровые водяные знаки, маркировка, вейвлет.

**Ph.D. Krasilnikov S.R., Prukhnitskiy V.I., Ryaba L.O., Solodeeva L.V.
RESEARCHING THE EFFECTIVENESS OF MARKETING IN THE WAVELET-
TRANSFORMATION AREA**

In this work we consider methods for marking images with digital watermarks, for example, in order to authorize multimedia products. The proposed marking method is based on the Corvi algorithm, but the digital watermark is placed in the spectral area, thereby ensuring its increased compression strength or when converting a marked image. There are presented quantitative characteristics that confirm the effectiveness of this method in comparison with known methods.

In some cases, the marking of a digital image is carried out with a black and white logo, acting as a digital watermark. The advantage of using the logo as a DW is the simplicity and visibility of the establishment of copyright and commercial rights to multimedia products after the release of the DW. Usually a logo is a picture that is heterogeneous, that is, there are large areas of black and white, and when added to the image, it can distort it. Therefore, there are creating new methods for the best solution of this problem.

Due to the intensive development and diffusion of technologies, that allow the computer to integrate process and synchronously reproduce different types of signals (so-called multimedia technologies) with the help of a computer, the question of the protection of information presented in digital form is extremely relevant.

It is concluded that marking algorithms, similar to the modified Corvi method, hide the DW for the perception of part of the вейвлет transform, have sufficient resistance to digital signal processing methods and can be adapted in conjunction with image compression algorithms.

Keywords: digital watermarks, marking, wavelet.

