

УДОСКОНАЛЕННЯ СТЕГАНОАНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ВКЛАДЕНЬ ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ, ЗАСНОВАНОГО НА АНАЛІЗІ ПОСЛІДОВНИХ ТРІАД КОЛІРНИХ ТРИПЛЕТІВ

Г.В. Ахматєєва, В.В. Мурова

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: a.v.akhmetieva@opu.ua

В роботі проводиться дослідження впливу модифікацій коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення (ДКП) на просторову область цифрових зображень за допомогою аналізу послідовних тріад колірних триплетів в матриці унікальних кольорів зображення з метою наступного стеганоаналізу стеганоповідомлень, сформованих шляхом модифікацій в області ДКП. На основі результатів обчислювальних експериментів проведено удосконалення розробленого раніше стеганоаналітичного методу виявлення наявності вкладень додаткової інформації в цифрових зображеннях, заснованого на аналізі послідовних тріад триплетів. Розроблено програмний інтерфейс в середовищі MATLAB для стеганоаналізу цифрових зображень.

Ключові слова: стеганоаналіз, цифрові зображення, дискретне косинусне перетворення, аналіз послідовних тріад триплетів, інтерфейс

Вступ

Широке розповсюдження інформаційних технологій та легкий доступ до мережі Internet надають величезні можливості для спілкування людей, які проживають в різних країнах світу, обміну між ними інформацією, яка може бути представлена у будь-якій формі: документи, зображення, аудіо, відео та інші. Доступність та зручність використання електронних засобів комунікації має також зворотну сторону – можна безконтрольно обмінюватися небезпечними для суспільства повідомленнями, схованими у будь-якій непримітний цифровий контент за допомогою стеганографічних методів, що дозволяє зберегти в таємниці сам факт існування такого спілкування. Для запобігання негативних наслідків прихованої комунікації актуальним є розвиток стеганоаналізу, основною задачею якого є виявлення факту наявності або відсутності вкладень додаткової інформації (ДІ) у будь-якому цифровому контенті [1-2].

В якості контейнерів для вбудови ДІ сьогодні, як правило, використовують цифрові зображення (ЦЗ), які завдяки наявності в них значної кількості надлишкової інформації забезпечують високу пропускну спроможність прихованого каналу зв'язку (ППС) при збереженні цілісності сприйняття зображення. Проте останні розробки в області стеганоаналізу [3-5] направлені на покращення ефективності детектування стеганоповідомлень (СП), сформованих вбудовою ДІ в цифровий контент саме при малих значеннях ППС. Зазначені методи здійснюють аналіз області перетворень цифрових контентів, що значно впливає на ефективність виявлення СП, сформованих при малих значеннях ППС. Найефективнішим стеганоаналітичним методом, інформація про який є доступною з відкритих джерел, спроможним ефективно

виявляти наявність ДІ, вбудованої в умовах малих значень ППС, є метод, що аналізує просторову область цифрових контентів і заснований на аналізі послідовних тріад колірних триплетів у матриці унікальних кольорів ЦЗ, запропонований в [6].

Розроблений в [6] метод був апробований лише у випадку вбудови ДІ методом LSB в просторову область цифрових зображень [7]. В реальних умовах для вбудови ДІ, як правило, використовується область перетворень, зокрема область дискретного косинусного перетворення (ДКП). Модифікація коефіцієнтів ДКП лежить в основі поширених стеганографічних програм F5 [8] та останніх розробок [9-10]. Очевидно, що збурення коефіцієнтів ДКП призведуть до збурень в просторовій області ЦЗ, що може бути визначено за допомогою стеганоаналітичного методу, заснованого на аналізі послідовних тріад колірних триплетів.

Мета і задачі роботи

Метою роботи є удосконалення стеганоаналітичного методу виявлення вкладень ДІ в ЦЗ, заснованого на аналізі послідовних тріад колірних триплетів в матриці унікальних кольорів, що забезпечить його спроможність виявляти збурення в результаті модифікацій коефіцієнтів ДКП, що відбулися в результаті стеганоперетворення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

1. Проаналізувати вплив модифікацій коефіцієнтів ДКП 8×8-блоків ЦЗ, що відповідають низьким, середнім та високим частотам блоків, на значення яскравості колірних складових в просторовій області при збереженні цілісності сприйняття ЦЗ;

2. На основі виявлених особливостей збурень значень яскравості колірних складових ЦЗ удосконалити стеганоаналітичний метод, заснований на аналізі послідовних тріад колірних триплетів в матриці унікальних кольорів цифрових контентів;

3. Розробити програмний інтерфейс в середовищі MATLAB для забезпечення зручного стеганоаналізу ЦЗ.

Оцінку візуальної цілісності модифікованого ЦЗ будемо визначати за допомогою PSNR – пікового відношення «сигнал-шум».

Основна частина

В якості контейнерів будемо розглядати кольорові ЦЗ в форматі з втратами, представлені у відповідності до колірної схеми RGB. Кожний піксель ЦЗ представлений як триплет значень (r_{mn}, g_{mn}, b_{mn}) , r_{mn}, g_{mn}, b_{mn} - значення яскравості (m, n) -го пікселя червоної, зеленої і синьої колірних складових відповідно. Усі унікальні триплети ЦЗ будемо називати унікальними кольорами, їх кількість дорівнює U .

В основі стеганоаналітичного методу [6] лежить аналіз кількості послідовних Red, Green- і Blue-тріад в матриці унікальних кольорів UCT розміром $U \times 3$, що містить U упорядкованих унікальних триплетів (r_k, g_k, b_k) , $k = \overline{1, U}$, де під послідовними Red-, Green- і Blue-тріадами розуміємо:

$$(r_k, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k - 1, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k + 1, g_k, b_k) \in UCT, k = \overline{1, U}; \quad (1)$$

$$(r_k, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k - 1, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k + 1, b_k) \in UCT, k = \overline{1, U}; \quad (2)$$

$$(r_k, g_k, b_k) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k, b_k - 1) \in UCT \text{ AND } (r_k, g_k, b_k + 1) \in UCT, k = \overline{1, U} \quad (3)$$

відповідно. При підрахуванні кількості послідовних тріад триплетів послідовна тріада асоціюється з середнім триплетом $(r_k, g_k, b_k) \in UCT$, для якого виконуються умови (1), (2) або (3) в залежності від виду тріади.

В роботах [6-7] було встановлено, що оригінальне ЦЗ містить не більше 2.5% середніх триплетів, які відповідають Red-, Green- і Blue-тріадам. В результаті модифікацій просторової області цифрових контентів кількість послідовних тріад значно зростає, що указує на проведені перетворення в колірних складових ЦЗ. З метою виявлення збурень значень яскравості просторової області в результаті модифікацій коефіцієнтів ДКП за допомогою аналізу кількості послідовних тріад в матриці унікальних кольорів був проведений обчислювальний експеримент, в ході якого відбувалися модифікації коефіцієнтів ДКП однієї довільно обраної колірної складової ЦЗ, які відповідають низьким, середнім та високим частотам при збереженні цілісності сприйняття цифрового зображення за формулою

$$d_{ij}^* = k_{зміни} \cdot d_{ij}, i = \overline{1, 8}, j = \overline{1, 8}, \quad (4)$$

де d_{ij}, d_{ij}^* - значення коефіцієнтів 8×8 -блоків оригінального і модифікованого ЦЗ відповідно, $k_{зміни}$ - величина зміни коефіцієнту ДКП.

Обчислювальний експеримент проводився на основі 200 ЦЗ розміром 512×384 з бази ЦЗ UCID [11] в форматі TIF, які були Perezбережені в формат JPG з максимальною якістю стиску $Q=100$. Після модифікацій коефіцієнтів ДКП ЦЗ зберігається без втрат в форматі TIF.

В результаті обчислювального експерименту встановлено, що спостерігається не порушена цілісність сприйняття ЦЗ при:

- $k_{зміни} = \overline{0.75, 1.25}$ у випадку модифікації низькочастотних коефіцієнтів (середнє значення PSNR для 200 ЦЗ становить 45.7% для червоної, 46.14% – для зеленої, 42.55% - для синьої колірних складових);

- $k_{зміни} = \overline{0.5, 2}$ у випадку модифікації середньочастотних коефіцієнтів (середнє значення PSNR для 200 ЦЗ при $k_{зміни} = 2$ становить 43.9% для червоної, 43.59% – для зеленої, 41.95% - для синьої колірних складових);

- $k_{зміни} = \overline{0.4, 3.5}$ у випадку модифікації високочастотних коефіцієнтів (середнє значення PSNR для 200 ЦЗ при $k_{зміни} = 3.5$ становить 41.73% для червоної, 41.98% - для зеленої, 42.09% - для синьої колірних складових).

З урахуванням отриманих значень PSNR надалі значення змінної $k_{зміни}$ для коефіцієнтів ДКП в обчислювальному експерименті становлять: $k_{зміни}^{(low)} \in \{0.75, 1.25\}$ для низькочастотних коефіцієнтів, $k_{зміни}^{(middle)} \in \{0.5, 0.75, 1.5, 2\}$ для середньочастотних коефіцієнтів, $k_{зміни}^{(high)} \in \{0.85, 1.15, 1.25, 2, 2.5, 3, 3.5\}$ для високочастотних коефіцієнтів ДКП.

На наступному етапі обчислювального експерименту проводився стеганоаналіз отриманих в результаті модифікацій ЦЗ за допомогою аналізу вмісту послідовних тріад колірних триплетів та були отримані помилки першого роду – пропуск модифікацій ЦЗ, які наведені в табл. 1.

Як видно з табл. 1, стеганоаналітичний метод [6] ефективно визначає модифікації коефіцієнтів ДКП, які відповідають низьким та середнім частотам, та модифікації високочастотних коефіцієнтів ДКП при значеннях $k_{зміни} \geq 2$ незалежно від обраної колірної

складової. У випадку незначних модифікацій високочастотних коефіцієнтів ($k_{зміни} \in \{0.85, 1.15, 1.25\}$) спостерігаються до 7.5% помилок першого роду для червоної колірної складової, до 12.3% для синьої колірної складової, у випадку модифікацій високочастотних коефіцієнтів зеленої колірної складової майже всі зображення були визначені як оригінальні контейнери.

Таблиця 1.

Помилки першого роду в результаті виявлення модифікацій коефіцієнтів ДКП, %

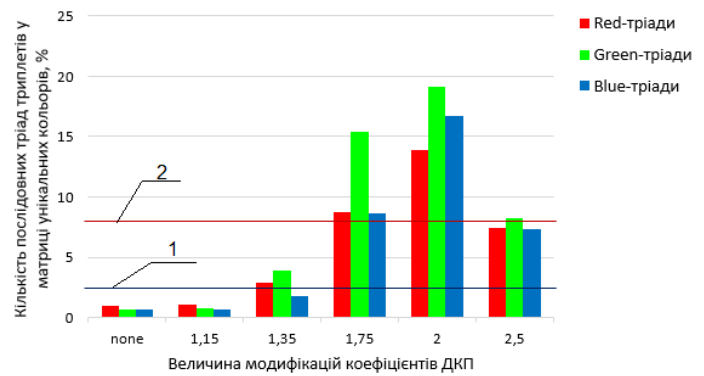
$k_{зміни}$	Низькі частоти		Середні частоти				
	0.75	1.25	0.5	0.75	1.5	2	
Red	0	0	0	0	0	0	
Green	0	0	0	0	0	0	
Blue	0	0	0	0	0	0	
$k_{зміни}$	Високі частоти						
	0.85	1.15	1.25	2	2.5	3	3.5
Red	7.4627	7.4627	2.9851	0	0	0	0
Green	98.5294	98.5294	95.5882	0	0	0	0
Blue	12.3077	12.3077	6.1538	0	0	0	0

В результаті більш глибокого аналізу вмісту послідовних тріад триплетів в матриці унікальних кольорів ЦЗ, визнаних такими, що не містять вбудованої інформації, було встановлено, що причиною таких помилок можливі два варіанти:

1. Збурення коефіцієнтів ДКП незначні і значно не впливають на просторову область ЦЗ;
2. Збурення коефіцієнтів ДКП призводять до порівняно однакового вмісту послідовних тріад триплетів, які перевищують порогові значення стеганоаналітичного алгоритму $T_{low} = 2.5$ і $T_{up} = 8$.

Проілюструємо можливі збурення у кількості середніх триплетів на прикладі рис. 1. Два високочастотних коефіцієнти зеленої колірної складової ЦЗ, отриманого камерою мобільного пристрою, були модифіковані на величину $k_{зміни} \in \{1.15, 1.35, 1.75, 2, 2.5\}$ за формулою (4). Результуючі зображення зберігалися в форматі без втрат, для яких підраховано вміст послідовних Red-, Green-, Blue-тріад, де горизонтальні лінії 1 і 2 позначають рівень порогових значень T_{low} і T_{up} стеганоаналітичного методу [6] відповідно.

Згідно з кроками стеганоаналітичного методу, наведеними в [6], наявність додаткової інформації в розглянутому прикладі (рис. 1) буде виявлено лише у випадку $k_{зміни} \in \{1.75, 2, 2.5\}$, оскільки максимальне значення кількості послідовних тріад (Green-тріад) перевищує порогове значення T_{up} . При $k_{зміни} = 1.35$ кількість Red- і Green-тріад перевищує порогове значення T_{low} , однак не виконується умова $pG > 1.5 \cdot pR$ & $pG > 1.5 \cdot pB$, де pR, pG, pB - відсоток середніх триплетів, що відповідають Red-, Green-, Blue-тріадам відповідно, відносно до кількості унікальних кольорів, наслідком чого є помилка першого роду. При $k_{зміни} = 1.15$ зміни високочастотних коефіцієнтів значно не впливають на кількість послідовних тріад, які не перевищують порогове значення T_{low} . В деяких випадках модифікації коефіцієнтів ДКП призводять до збурень просторової області ЦЗ, але однозначно виявити колірну складову неможливо у зв'язку з близькими за значеннями pR, pG, pB , або у випадку, коли максимальний вміст послідовних тріад відповідає колірній складовій, яка не зазнала модифікацій.



а

б

Рис. 1. Зміни кількості послідовних тріад триплетів в результаті модифікації коефіцієнтів ДКП: а – оригінальне ЦЗ, б – кількість послідовних тріад триплетів в матриці унікальних кольорів в результаті модифікації значень коефіцієнтів ДКП на величину $k_{зміни}$; 1 – рівень порогового значення T_{low} , 2 – рівень порогового значення T_{up}

З метою більшої гнучкості при виявленні стеганоповідомлень та мінімізації помилок детектування було проведено удосконалення стеганоаналітичного методу, заснованого на аналізі послідовних тріад триплетів в матриці унікальних кольорів, основні кроки якого наступні:

Крок 1. Формування матриці UCT розміром $U \times 3$ унікальних триплетів кольорів $(r_k, g_k, b_k), k = \overline{1, U}$ для ЦЗ I .

Крок 2. Підрахування кількості послідовних тріад триплетів для кожної колірної складової.

2.1. Якщо для поточного триплету $(r_k, g_k, b_k), k = \overline{1, U}$ в UCT одночасно існують триплети $(r_k + 1, g_k, b_k)$ і $(r_k - 1, g_k, b_k)$, то $countR = countR + 1$, $countR$ – кількість Red-тріад в UCT ;

2.2. Якщо для поточного триплету $(r_k, g_k, b_k), k = \overline{1, U}$ в UCT одночасно існують триплети $(r_k, g_k + 1, b_k)$ і $(r_k, g_k - 1, b_k)$, то $countG = countG + 1$, $countG$ – кількість Green-тріад в UCT ;

2.3. Якщо для поточного триплету $(r_k, g_k, b_k), k = \overline{1, U}$ в UCT одночасно існують триплети $(r_k, g_k, b_k + 1)$ і $(r_k, g_k, b_k - 1)$, то $countB = countB + 1$, $countB$ – кількість Blue-тріад в UCT .

Крок 3. Обчислити кількість середніх триплетів послідовних тріад відносно загальної кількості унікальних кольорів (%):

$$pR = \frac{countR}{U} \cdot 100, pG = \frac{countG}{U} \cdot 100, pB = \frac{countB}{U} \cdot 100, p_{max} = \max(pR, pG, pB),$$

де p_{max} – максимальне значення серед pR, pG, pB .

Крок 4. Детектування наявності/відсутності ДІ.

4.1. Якщо

$$(pR = p_{max}) \& (pR > T_{up} \& (pR > 1.5 pG \parallel pR > 1.5 pB) \parallel (pR > 1.75 pG \parallel pR > 1.75 pB)),$$

то I містить вбудовану ДІ у червоній колірній складовій;

інакше крок 4.2.

4.2. Якщо

$$(pG = p_{\max}) \& (pG > T_{up} \& (pG > 1.5pR \parallel pG > 1.5pB) \parallel (pG > 1.75pR \parallel pG > 1.75pB)),$$

то I містить вбудовану ДІ у зеленій колірній складовій,
інакше крок 4.3.

4.3. Якщо

$$(pB = p_{\max}) \& (pB > T_{up} \& (pB > 1.5pG \parallel pB > 1.5pR) \parallel (pB > 1.75pG \parallel pB > 1.75pR)),$$

то I містить вбудовану ДІ у синій колірній складовій,
інакше крок 4.4.

4.4. Якщо $pR < T_{low} \& pG < T_{low} \& pB < T_{low}$,

то наявність вбудованої ДІ в I не виявлено,
інакше наявність вбудованої ДІ в I виявлено,
де $T_{low} = 2.5$ і $T_{up} = 8$ – порогові значення.

Обчислювальна складність запропонованого алгоритму для обробки ЦЗ розміром $M \times M$ визначається як $O(M^4)$.

Для виконання стеганоаналізу ЦЗ та дослідження впливу змін коефіцієнтів ДКП на просторову область ЦЗ в середовищі в MATLAB було реалізовано програмний інтерфейс, представлений на рис. 2.



Рис. 2. Інтерфейс програмної реалізації стеганоаналітичного алгоритму

Форма інтерфейсу складається з наступних елементів:

1. Області «Вхідне зображення» і «Вихідне зображення», які відображають оригінальне ЦЗ та ЦЗ, отримане в результаті перетворення, відповідно.

2. Кнопка «Завантажити зображення», з якої починається робота в програмі, дозволяє завантажити ЦЗ для аналізу (може бути обрано ЦЗ як в форматі з втратами, так і в форматі без втрат). Результат: на формі в області «Вхідне зображення» з'являється обране ЦЗ.

3. Кнопка «Перевірити зображення» виконує стеганоаналіз обраного ЦЗ – це може бути як оригінальний контейнер, так і СП. Результат виводиться в текстовому полі «Додаткова інформація».

4. Блок «Перетворення» дозволяє обрати колірну складову, яка буде використовуватися для перетворення, задати індекси двох коефіцієнтів ДКП та

величину зміни заданих коефіцієнтів. Після введення необхідних параметрів натискається кнопка «Виконати». Результат: в області «Вихідне зображення» з'являється результуюче зображення, а також вікно для вибору місця збереження зображення в форматі TIF.

5. Блок «Аналіз» дозволяє виконати стеганоаналіз сформованого зображення. Результат: в полі «PSNR» виводиться значення PSNR порівняння оригінального і результуючого зображень, в полі «Додаткова інформація» виводиться результат стеганоаналізу.

Висновки

В роботі проаналізовано вплив модифікацій коефіцієнтів ДКП на просторову область ЦЗ за допомогою аналізу послідовних тріад кольірних триплетів в матриці унікальних кольорів ЦЗ. Встановлено, що модифікації як низькочастотних, так і середньочастотних і високочастотних коефіцієнтів ДКП призводить до збурень у кількості послідовних Red-, Green-, Blue-тріад, які можна виявити відповідним стеганоаналітичним методом.

Визначено, в яких випадках спостерігаються помилки детектування СП, аналіз яких дозволив удосконалити стеганоаналітичний метод виявлення наявності вкладень ДД, заснований на аналізі послідовних тріад триплетів.

Було спроектовано та реалізовано програмний інтерфейс в середовищі MATLAB для забезпечення зручного управління перетворенням в результаті модифікацій коефіцієнтів ДКП та стеганоаналізу цифрових зображень.

Список літератури

1. Стеганография, цифровые водяные знаки и стеганоанализ: [монография] / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. — М.: Вузовская книга, 2009. — 220 с.
2. Bohme, R. Advanced statistical steganalysis / R. Bohme. — Springer, 2010. — 302 p.
3. Jinyang Su. Steganalysis using regional correlation and second-order Markov features / Su Jinyang, Zeng Xianting, Wang Lei // International Journal of Security and Its Applications, 2015. — Vol. 9, № 1. — Pp. 69-76.
4. Fengyong Li. JPEG Steganalysis With High-Dimensional Features and Bayesian Ensemble Classifier / Fengyong Li, Xinpeng Zhang, Bin Chen, and Guorui Feng // IEEE signal processing letters, 2013. — Vol. 20, № 3. — Pp. 233-236.
5. Manisha Saini. DWT feature based blind image steganalysis using neural network classifier / Manisha Saini, Rita Chhikara // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2015. — Vol. 4, Issue 04. — Pp. 776-782.
6. Ахматетьева, А.В. Стеганоанализ цифровых изображений, хранящихся в формате с потерями / А.В. Ахматетьева // Захист інформації, 2016. — Вип.23. — С.135-145.
7. Ахматетьева, А.В. Выявление области применения стеганоаналитического подхода, основанного на анализе пространственной области цифровых контентов / А.В. Ахматетьева // Problemele energeticii regionale [Проблемы региональной энергетики]. Электронный журнал Академии наук Республики Молдова, 2016. — № 2 (31). — С. 104-111.
8. Fridrich, J. Statistically undetectable JPEG steganography: Dead ends, challenges, and opportunities / J. Fridrich, T. Pevný, J. Kodovský // In J. Dittmann and J. Fridrich, editors, Proceedings of the 9th ACM Multimedia & Security Workshop. — 20-21 September, 2007. — Pp. 3-14.
9. Anupam Mondal. A Novel Approach of Image Based Steganography Using Pseudorandom Sequence Generator Function and DCT Coefficients / Anupam Mondal, Shiladitya Pujari // I. J. Computer Network and Information Security, 2015. — №3. — Pp. 42-49.
10. Arshiya Sajid Ansari. JPEG Image Steganography based on Coefficients Selection and Partition / Arshiya Sajid Ansari, Mohammad Sajid Mohammadi, Mohammad Tanvir Parvez // I.J. Image, Graphics and Signal Processing, 2017. — №6. — Pp. 14-22.

11. Uncompressed Color Image Database (UCID) [Электронный ресурс]: Multimedia Phylogeny Datasets. Режим доступа: <http://www.recod.ic.unicamp.br/~oikawa/datasets.html> (дата звернения: 08.10.2017).

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТЕГАНОАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ВЫЯВЛЕНИЯ
ВЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ,
ОСНОВАННОГО НА АНАЛИЗЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ТРИАД ЦВЕТОВЫХ ТРИПЛЕТОВ**

А.В. Ахмаметьева, В.В. Мурова

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: a.v.akhmametieva@opu.ua

В работе проводится исследование влияния модификаций коэффициентов ДКП на пространственную область цифровых изображений, используя анализ последовательных триад цветных триплетов в матрице уникальных цветов изображения, с целью дальнейшего стеганоанализа стеганообобщений, сформированных путем модификации области ДКП. На основе проведенных вычислительных экспериментов проведено усовершенствование разработанного ранее стеганоаналитического метода выявления наличия вложений дополнительной информации в цифровых изображениях, основанного на анализе последовательных триад триплетов. Разработан программный интерфейс в среде MATLAB для стеганоанализа цифровых изображений.

Ключевые слова: стеганоанализ, цифровые изображения, дискретное косинусное преобразование, ДКП, анализ последовательных триад триплетов, интерфейс

**IMPROVEMENT OF THE STEGANALYTIC METHOD FOR DETECTING THE ADDITIONAL
INFORMATION ATTACHMENTS IN DIGITAL IMAGES, BASED ON THE ANALYSIS OF
SEQUENTIAL TRIADS OF COLOR TRIPLETS**

A.V. Akhmametieva, V.V. Murova

Odesa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: a.v.akhmametieva@opu.ua

In the paper we study the effect of modification of DCT coefficients on the spatial domain of digital images using analysis of sequential triads of color triplets in a matrix of unique colors of the image, for further steganalysis of stego formed by modifying the DCT domain. On the basis of the computational experiments the improvement of the previously developed steganalytic method for detecting the presence of additional information attachments in digital images was carried out. A software interface for steganalysis of digital images was developed in MATLAB environment.

Keywords: steganalysis, digital image, discrete cosine transform, DCT, analysis of sequential triplets of triplets, interface