

УДК 004.056.53

К. В. Защолкін, канд. техн. наук,
О. В. Губич

МОДИФІКАЦІЯ КАТЕГОРИЙНО-ЗОННОГО МЕТОДУ ВБУДОВУВАННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКІВ

Анотація. Запропоновано модифікації методу категорійно-зонного вбудовування інформації в графічні контейнери. Розроблені модифікації полягають у визначенні типу контрастності блоків зображення відповідно до запропонованого підходу; встановленні категорій блоків за рахунок псевдовипадкового методу накладання масок на блоки пікселів; контрольній перевірці вбудовування бітів повідомлення, за рахунок якої виключаються блоки, що не придатні для вбудовування. Описана програмна реалізація та експериментальне дослідження запропонованих модифікацій.

Ключові слова: стеганографія, цифрові водяні знаки, захист інформації, вбудовування даних, графічний стего-контейнер

K. Zashcholkin, PhD.,
O. Gubich

MODIFICATION OF CATEGORICAL-ZONE METHOD FOR DIGITAL WATERMARKS EMBEDDING

Abstract. Modifications of the categorical-zone method for embedding information into image container were proposed. Designed modifications are to determine the image blocks contrast type in accordance with the proposed approach; categories blocks setting by pseudo-random method of masking pixel blocks; control check bits embedded messages through which excludes blocks which are not suitable for embedding. The software realization and experimental research of the proposed approach was described.

Keywords: steganography, digital watermarks, data protection, data embedding, graphics stego-container

К. В. Защелкин, канд. техн. наук,
О. В. Губич

МОДИФІКАЦІЯ КАТЕГОРИЙНО-ЗОННОГО МЕТОДА ВСТРАИВАННЯ ЦИФРОВИХ ВОДЯНИХ ЗНАКОВ

Аннотация. Предложены модификации метода категорійно-зонного встраивания информации в графические контейнеры. Разработанные модификации заключаются в определении типа контрастности блоков изображения в соответствии с предложенным подходом; установке категорий блоков за счет псевдослучайного метода наложения масок на блоки пикселей; контрольной проверке встраивания битов сообщения, за счет которой исключаются блоки, не пригодные для встраивания. Описана программная реализация и экспериментальное исследование предложенных модификаций.

Ключевые слова: стеганография, цифровые водяные знаки, защита информации, внедрение данных, графический стего-контейнер

Вступ

Одним з ефективних напрямів захисту інформації є цифрова стеганографія. Вона базується на вбудовуванні даних одного виду в данні іншого виду [1], [2]. Цей підхід скриває факт наявності інформації, що захищається, в середовищі відкритого інформаційного контейнера [3], [4].

В даній роботі дослідженню підлягає часто використовуваний на практиці стеганографічний метод Дармстедтера-Делейгла-Квісквотера-Макка [5], [6] (далі метод ДДКМ), який виконує приховування даних в просторову область растрового зображення. Метод дозволяє досягнути компромісу між стійкістю стеганосистеми до спотворень, якістю вбудовування і обчислювальною складністю. Цей метод оснований на класифікації блоків зображення, розбитті їх на контрастні зони та віднесенні певних ділянок блоків до деякої категорії.

Метод ДДКМ складається з наступних чотирьох кроків. Кроки методу застосовуються до однієї колірної компоненти повнокольорового зображення або до напівтонового зображення [7].

© Защолкін К.В., Губич О.В., 2015

Крок 1. Зображення розділюється на блоки, розміром 8×8 пікселів.

Крок 2. Пікселі блоків поділяються на групи, які мають приблизно однакову яскравість. Для цього виконується класифікація блоків за типами контрасту: різко виражений контраст (в блоці можна розрізнити дві зони, розділені помітним стрибком яскравості), поступовий контраст (в блоці дві однорідні зони розділені ділянкою з поступовою зміною яскравості), шумовий контраст (яскравість пікселів блоку, розподілена подібно до випадкового шуму). На цьому кроці в залежності від типу контрасту пікселі поділяються на дві зони 1 та 2.

Крок 3. Пікселі кожної з зон розбиваються на дві категорії (які зазвичай маркуються деякими літерами, наприклад А та Z), шляхом накладання двійкової маски на блоки пікселів. В результаті цього формується чотири комбінації зон та категорій (1A, 1Z, 2A, 2Z) до яких можна віднести пікселі блоку.

Крок 4. Обчислюються середні значення інтенсивностей пікселів кожної зони за категоріями в блоці: $\lambda_{1A}, \lambda_{1Z}, \lambda_{2A}, \lambda_{2Z}$. Кожна з груп пікселів для яких

обчислювалася середні інтенсивності має відповідно $n_{1A}, n_{1Z}, n_{2A}, n_{2Z}$ пікселів. Також обчислюються середні значення інтенсивностей пікселів відповідних зон без віднесення їх до конкретних категорій: Λ_1 та Λ_2 .

Вбудовування чергового розряду b повідомлення, що приховується (цифрового водяного знаку) полягає в зміні значень пікселів блоку таким чином, щоб виконувалися наступні системи рівнянь:

$$\begin{cases} \lambda_{1Z}^* - \lambda_{1A}^* = E; \\ \lambda_{2Z}^* - \lambda_{2A}^* = E, \end{cases} \text{ при } b = 0, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \lambda_{1A}^* - \lambda_{1Z}^* = E; \\ \lambda_{2A}^* - \lambda_{2Z}^* = E, \end{cases} \text{ при } b = 1,$$

де $\lambda_{ij}^*, i \in \{1, 2\}, j \in \{A, Z\}$ – модифіковані середні значення груп пікселів; E – рівень вбудовування, який впливає на ступінь достовірності витягування інформації з зображення та на ступінь спотворення зображення в результаті вбудовування в нього інформації.

При зміні значень пікселів відповідно до систем (1), для мінімізації спотворення блоку зображення, необхідно забезпечити виконання наступних умов:

$$\frac{n_{1A}\lambda_{1A}^* + n_{1Z}\lambda_{1Z}^*}{n_{1A} + n_{1Z}} = \Lambda_1, \quad \frac{n_{2A}\lambda_{2A}^* + n_{2Z}\lambda_{2Z}^*}{n_{2A} + n_{2Z}} = \Lambda_2. \quad (2)$$

Співвідношення (2) забезпечують мінімальну зміну низькочастотних складових блоків за рахунок збереження незмінними середніх значень пікселів в межах визначених зон.

Мета роботи. Проведене дослідження практичної реалізації методу ДДКМ дозволило виявити ряд проблем, які в сукупності знижують достовірність витягування інформації з зображення та підвищують ступінь спотворення зображення. Виходячи з цього *мета даної роботи* полягає в удосконаленні методу ДДКМ шляхом введення в нього модифікацій, які усувають зазначені проблеми. Далі в роботі описується природа виявлених проблем реалізації методу ДДКМ і підходи до їх усунення, які в сукупності, складають пропонуване удосконалення.

Модифікація методу ДДКМ

На другому кроці методу ДДКМ виконується класифікація блоків зображення за типами контрасту та розбиття множини пікселів блоків на групи з приблизно однаковими значеннями. Ця процедура в оригінальному методу описана недостатньо конкретно, що призводить до значних розходжень реальних результатів з теоретично очікуваними.

При класифікації блоків пікселів за методом ДДКМ виділяють три типи контрасту на множині блоків пікселів: різко виражений контраст, при якому в блоці можна розрізнити дві зони, розділені помітним стрибком яскравості; поступовий контраст, при якому в блоці мають місце дві однорідні зони розділені ділянкою з поступовою зміною яскравості; шумовий (нечіткий) контраст при якому в блоці значення пікселів розподілені подібно до випадкового шуму.

Складність такої класифікації обумовлена тим, що зони не обов'язково повинні бути утворені сусід-

німи пікселями блока зображення, а можуть бути фрагментовані по блоку. Враховуючи це, аналіз блоку виконується за допомогою функції $F(i)$, що представляє собою відповідність відсортованих за зростанням значень яскравостей пікселів блоку та номерів пікселів. Тип контрасту блока визначається шляхом аналізу крутизни функції $F(i)$, яку позначають як $S(i)$. Цей аналіз виконується наступним шляхом. Нехай S_{max} – максимальна крутизна функції F при $i = \alpha$. Якщо S_{max} має значення менше визначеного порога крутизни T_1 , вважається, що блок має шумовий контраст. Якщо ж S_{max} перевищує поріг T_1 , блок має або поступовий, або різко виражений контраст. В останньому випадку для конкретизації типу контрасту додатково визначають параметри β^+ та β^- – індекси в найближчих околицях точки α (зліва та справа), які задовольняють нерівностям:

$$S(\alpha) - S(\beta^+) > T_2, \quad S(\alpha) - S(\beta^-) > T_2, \quad (3)$$

де T_2 – другий визначений поріг крутизни функції $S(i)$.

Якщо тип контрасту різко виражений, то $\beta^+ \approx \alpha$ та $\beta^- \approx \alpha$. Якщо контраст поступовий, то інтервал $[\beta^+, \beta^-]$ являє собою перехідну зону поступового контрасту. Віднесення пікселів блок до двох окремих груп (зон) визначається наступними правилами.

Для поступового та різко вираженого контрастів:

– якщо $p(x, y) \leq F(\beta^-)$, то піксель $p(x, y)$ належить до зони 1;

– якщо $p(x, y) \geq F(\beta^+)$, то піксель $p(x, y)$ належить до зони 2;

– якщо $F(\beta^-) < p(x, y) < F(\beta^+)$, то піксель $p(x, y)$ належить до перехідної зони.

Для шумового контрасту пікселі розподіляють на дві зони наступним чином:

– якщо $p(x, y) < F(N^2/2)$, то піксель $p(x, y)$ належить до зони 1;

– якщо $p(x, y) > F(N^2/2)$, то піксель $p(x, y)$ належить до зони 2.

В зазначених вище виразах N – розмірність квадратних блоків, на які розбивається зображення при виконання методу.

За визначенням етапів методу ДДКМ немає можливості точно виконати класифікацію блоків та виділення зон. Це впливає з того, що метод не вказує, які значення порогів T_1 та T_2 необхідно використовувати для певних типів зображень. В даній роботі значення порогу T_1 обрано за допомогою аналізу серії тестових блоків шумового та поступового контрастів. При цьому значення порогу T_2 впливає на визначення параметрів β^+ та β^- , тобто задає ширину зони перехідного контрасту. Пропонується наступна процедура аналізу. Якщо зона перехідного контрасту досить мала, вважаємо, що контраст різко виражений. Для визначення достатності ширини зони поступового контрасту вводиться ще один параметр порогу T_3 . Якщо ширина зони поступового контрасту менше T_3 , то контраст блоку різко виражений, інакше контраст блоку поступовий.

Для визначення значень порогів було використано попередній аналіз зображення за допомогою користувачького пошуку характерних відмінностей між визначеними значеннями порогів T_1 та T_2 і реальними їх значеннями для конкретної ситуації. В даній роботі пропонується модифікація методу ДДКМ, шляхом

введення корекції в послідовність визначення типу контрасту блоків. Корекція відбувається за допомогою експерта в якості якого виступає користувач програмного забезпечення, що реалізує метод ДДКМ. Експерт повинен визначити, до якого типу контрасту відноситься блок зображення. Програмна реалізація за визначеним методом пропонує тип контрасту. Якщо експерт погоджується з запропонованим типом контрастності, то значення формальних параметрів класифікації, обчислених за методом ДДКМ, залишається незмінним, інакше експерт самостійно визначає тип контрасту, а програмна реалізація обчислює та змінює значення параметрів. Принцип зміни значень порогів T_1 та T_2 наведено в табл. 1.

1. Принцип визначення порогів T_1 та T_2

Тип контрасту		Дія
Визначено методом	Визначено користувачем	
Різко виражений	Шумовий	Збільшення T_1
Різко виражений	Перехідний	Збільшення T_2
Перехідний	Шумовий	Збільшення T_1
Перехідний	Різко виражений	Зменшення T_2
Шумовий	Перехідний, різко виражений	Зменшення T_1
Шумовий	Різко виражений	Зменшення T_1

Збільшення та зменшення значень порогів виконується до досягнення значень, які забезпечують віднесення блоку зображення до дійсного класу контрасту. Відповідно до наведеного принципу було визначено тип контрастності кожного пікселю блока зображення та здійснено розбивку пікселів на зони. Для шумового контрасту всі пікселі відносяться до перехідної зони. Пікселі, яскравість яких нижче, ніж значення функції яскравості в точці β^- , належать до першої зони, а пікселі, яскравість яких вище, ніж значення функції яскравості в точці β^+ , належать до другої зони. Пікселі, яскравість яких потрапляє в проміжок між точками β^- та β^+ , належать до перехідної зони. Для різко вираженого контрасту пікселі розбиваються на зони аналогічно перехідному контрасту, але без перехідної зони, оскільки $\beta^+ \approx \alpha$ та $\beta^- \approx \alpha$.

Можна відзначити ще одну проблему використання методу ДДКМ. При вбудовуванні інформації в блоки зображення часто має місце ситуація, при якій для деяких блоків зображення після модифікації середніх значень яскравостей окремі зони зникають, тобто кількість пікселів в них дорівнює $n_{ij} = 0$. Через це на етапі витягування інформації з таких блоків отримуються недостовірні значення. Для усунення цієї проблеми пропонується на етапі вбудовування аналізувати кількість пікселів у змінених зонах. У випадку, якщо складається ситуація, що зона в результаті модифікації не містить жодного пікселя, пропонується вважати блок непридатним для вбудовування і біт прихованої інформації вбудовувати в наступний блок зображення. При витягуванні інформації з блоку аналогічно перевіряється значення n_{ij} , якщо воно дорівнює нулю, то відповідний блок пропускається і не використовується для отримання прихованої інформації.

Після розбивки на зони метод ДДКМ реалізує вбудовування біта в блок зображення шляхом модифікації певних характеристик зон. Ця модифікація полягає в розбивці зони на дві категорії (A та Z). Для цього на блоки зображення накладаються двійкові маски. Для забезпечення стійкості контейнера до атак в запропонованій модифікації метода було визначено обирати генерацію масок через використання генератора псевдовипадкових чисел. Для ініціалізації генератора використовується зерно, що представляє собою будь-яке число. Зерно генератора в цьому випадку є частиною ключа для витягування інформації з зображення. Саме генератор псевдовипадкових чисел, ініціалізований значенням ключа (зерна), формує маски, що накладаються на блок і ділять останній на дві категорії.

Програмна реалізація та експериментальне дослідження запропонованих модифікацій метода
Для експериментального дослідження запропонованих модифікацій метода ДДКМ було розроблено програмне забезпечення, яке виконує вбудовування даних згідно з класичною версією метода та відповідно до запропонованих модифікацій. У середовищі розробленого програмного забезпечення були проведені експерименти по зіставленню теоретично очікуваних результатів запропонованих модифікацій з практичними результатами.

Матеріалом для експерименту став набір зі ста растрових зображень, що відрізняються: природою їх походження (фотознімки та синтетичні зображення); характерними областями зображення (різкі перепади контрастності, суцільна заливка) та розмірами. Результати експерименту оцінювалися у вигляді наступних параметрів: наявність похибок при витягуванні інформації; розходження заповненого зображення контейнера в порівнянні з зображенням-оригіналом.

В ході експерименту проводилось вбудовування інформації в вибрані зображення відповідно до визначених типів контрастності за класичним та модифікованим визначенням порогів T_1 та T_2 . Повідомлення для вбудовування в зображення являло собою послідовність з вісімдесяти випадково вибраних символів, що генерувалось на кожному кроці експерименту.

В результаті експерименту біло визначено, що при підборі оптимальних значень порогів за допомогою користувача (розробленого програмного забезпечення) на етапі витягуванні повідомлення з зображення було отримано менший відсоток похибок. В якості величини, що характеризує кількість похибок застосовувалась кількість двійкових розрядів, на яких при витяганні вбудованого повідомлення мало місце розходження з первісним значенням повідомлення. Так при вбудовуванні інформації з неоптимальним підбором значень порогів для різних типів зображення, повідомлення, що витягувалось, мало в середньому по сукупності експериментальних зображень 2,68 % помилок. А при підборі оптимальних значень порогів користувачем, за допомогою розробленого програмного забезпечення, відповідно 1,23 % помилок. Крім того слід зазначити, що для синтетичних зображень з великою долею областей, які мають плавні переходи відтінків, зменшення доли помилок було виражене менше ніж для фото реалістичних зображень, що мали велику кількість дрібних деталей.

Суть експерименту для визначення розходження зображення-контейнера в порівнянні з зображенням-оригіналом полягала в наступному: для визначеного типу зображень було проведено вбудовування повідомлення з використанням статичної та псевдовипадкової розбивки зон на категорії. Порівняння двох зображень здійснювалось за нормованою середньою абсолютною різницею NAD [8], яка вказує ступінь відмінності між вихідним контейнером (оригіналом) і контейнером зі вбудованими даними:

$$NAD = \frac{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} |C_{x,y} - S_{x,y}|}{\sum_{x=1}^{row(C)} \sum_{y=1}^{cols(C)} |C_{x,y}|}, \quad (4)$$

де $C_{x,y}$ – значення пікселю з координатами (x, y) в первісному зображенні; $S_{x,y}$ – значення відповідного пікселю в результуючому зображенні; $row(C)$ – кількість рядків пікселів зображення; $cols(C)$ – кількість стовбців пікселів зображення.

В результаті експерименту отримали, що при вбудовуванні інформації зі статичним розподілом масок, середнє значення $NAD = 12,03 \cdot 10^{-3}$, а при псевдовипадкових масках середнє значення $NAD = 10,57 \cdot 10^{-3}$. Відповідно при псевдовипадковому розподіленні масок розходження з оригіналом складає менше значення, ніж при статичному задаванні масок.

Висновки. В роботі запропоновано модифікації методу категорійно-зонного вбудовування інформації в графічні контейнери. Розроблені модифікації полягають у визначенні типу контрастності блоків зображення за запропонованим підходом; визначенні категорій блоків за рахунок псевдовипадкового методу накладання масок на блоки пікселів; контрольній перевірці вбудовування бітів повідомлення, за рахунок якої виключаються блоки, що не придатні для вбудовування. Описана програмна реалізація та експериментальне дослідження запропонованих модифікацій. Проведене експериментальне дослідження показало доцільність використання запропонованих модифікацій методу в практичному застосуванні.

Список використаної літератури

1. Cox I., Miller M., Bloom J., and Fridrich J., (2008), *Digital Watermarking and Steganography*, Burlington: *Morgan Kaufmann Publishers*, 592 p.
2. Fridrich J., 2010, *Steganography in Digital Media* [Text], New York, *Cambridge University Press*, 448 p.
3. Аграновский А. В. Стеганография, цифровые водяные знаки и стегоанализ [Текст] / А. В. Аграновский, А. В. Балакин, В. Г. Грибунин. – М. : Вузовская книга, 2009. – 220 с.
4. Shih F., (2012), *Watermarking, Steganography, and Forensics*, New York, *CRC Press*, 424 p.
5. Darmstaedter V., Delaigle J., Quisquater J., and Macq B., (1998), *Low Cost Spatial Watermarking*, *Computers and Graphics*, USA, New York, Volume 22, Issue 4, pp. 417 – 424.
6. Delaigle J., (2000), *Protection of Intellectual Property of Images by Perceptual Watermarking*. PhD. Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Applied

Sciences, *University Catholique de Louvain*, Belgium, 320 p.

7. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е. [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2012. – 1104 с.

8. Конахович Г. Ф. Компьютерная стеганография [Текст] / Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузыренко. – К. : МК-Пресс, 2006. – 288 с.

Отримано 28.05.2015

References

1. Cox I., Miller M., Bloom J., and Fridrich J., (2008), *Digital Watermarking and Steganography*, Burlington, *Morgan Kaufmann Publishers*, 592 p. (In English), doi: 10.1016/b978-012372585-1.50015-2.
2. Fridrich J., (2010), *Steganography in Digital Media*, New York, *Cambridge University Press*, 448 p. (In English).
3. Agranovsky A.V., Balkin A.V., and Gribunyn V.G., *Steganografiya, tsifrovye vodyanye znaki i stegoanaliz* [Steganography, Digital Watermarks and Stegoanalysis], (2009), Moscow, Russian Federation, *University Book Publ.*, 220 p. (In Russian).
4. Shih F. (2012), *Watermarking, Steganography, and Forensics*, New York, *CRC Press Publ.*, 424 p. (In English), doi: 10.1201/b12697-6.
5. Darmstaedter V., Delaigle J., Quisquater J., and Macq B., (1998), *Low Cost Spatial Watermarking*, *Computers and Graphics*, USA, New York, Volume 22, Issue 4, pp. 417 – 424 (In English).
6. Delaigle J., (2000), *Protection of Intellectual Property of Images by Perceptual Watermarking*. PhD. Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Applied Sciences, *University Catholique de Louvain*, Belgium, 320 p. (In English).
7. Gonzalez R., and Woods R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Izdanie 3-e.* [Digital Image Processing, 3rd Edition], (2012), Moscow, Russian Federation, *Technosphere Publ.*, 1104 p. (In Russian).
8. Konahovich G.F., and Puzirenko A.U., *Kompyuternaya steganografiya* [Computer Steganography], (2006), Kiev, Ukraine, *MK-Press Publ.*, 288 p. (In Russian).



Защолкін
Костянтин Вячеславович, канд.
техн. наук, доц. каф. комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж Одеського національного політехнічного ун-ту,
тел.: (048) 734-83-22.
E-mail: const-z@te.net.ua



Губич
Ольга Валентинівна, магістр
каф. комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж Одеського національного політехнічного ун-ту,
тел.: (048) 734-83-22.
E-mail: o.gubich@mail.ru