

В. В. Бараннік, д-р техн. наук, проф.
Харківський національний університет радіоелектроніки
професор кафедри інформаційно-мережної інженерії
<https://orcid.org/0000-0002-2848-4524>
e-mail: vvbar.off@gmail.com;

Р. О. Прокопенко
аспірант кафедри інформаційно-мережної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
<https://orcid.org/0009-0006-0789-9073>
e-mail: rodion.prokopenko@nure.ua

МЕТОД СТЕГАНОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ З ВИЯВЛЕННЯМ СТРУКТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВІДЕО-КОНТЕЙНЕРІВ

Вступ

Розвиток сучасних систем забезпечення безпеки інформації, яка передається в безпроводових інформаційно-комунікаційних системах (ІКС) з використанням роботизованих (безпілотних) комплексів (РБК), пов'язано зі зменшенням часових затримок на обробку [1; 2]. Обробка тут включає до себе етапи фільтрації шумів реєстрації інформації, стиснення для зменшення бітового об'єму та захист інформації. Для цього застосовується селективна обробка. Використання селективних методів стосується захисту лише попередньо-визначених відеосегментів зі значимою інформацією. Для селекції відеосегментів можуть використовуватись технології, що представлено в роботах [3; 4].

Однак проблемним тут є питання стосовно того, що зі зростанням складності відеозображень зростає кількість сегментів, інформація яких потребує захисту. Такі варіанти приводять до зростання втрат рівня стиснення [5]. Порушується категорія доступності інформації. Цьому основною причиною є руйнація залежностей, які використовуються в процесі скорочення надмірності [6].

Звідси актуальною є *науково-прикладна задача*, яка стосується підвищення рівня конфіденційності відеоінформації для роботизованих платформ зі досягненням потрібного рівня часових затрат на обробку.

Аналіз сучасних досліджень та постановка завдання

Базовими для вирішення сформульованої задачі є два підходи [7; 8]. Вони в загальному випадку можуть застосовуватися в межах комплексного підходу [9; 10].

Перший підхід стосується покращення якості селективної обробки відеозображень [11–13]. Іншим варіантом є організація захисту відеоінформації в процесі її стиснення. Такі концепції розглядаються в наступних працях [14; 19; 28]. Варіантом тут може бути застосування стеганографічних перетворень. По-перше, використання стеганографічних методів в комплексних системах захисту інформації дозволяє підвищити рівень конфіденційності інформації [15]. По-друге, стеганографічні методи мають потенціал відносно зменшення впливу на руйнацію компресійно-важливих залежностей [16; 18]. Отже виникає потреба у застосуванні комплексної концепції з додатковим залученням методів стеганографічного захисту.

Постановка проблеми

На даний час існує декілька напрямків побудови методів стеганографічного захисту інформації, в тому числі для випадків побудови контейнерів на базі відео-контентної інформації [21; 22]. Найбільш практично апробованим є реалізація стеганографічного вбудовування інформації з використанням методів найменш значимого біту (LSB). Такі методи викладаються в працях [23; 24]. В режимі прямого свого застосування для спектрально-представлених відеосегментів означені методи створюють умови для досягнення високого рівня стеганографічної ємності [25; 26]. Однак в умовах потрібного рівня стеганографічної ємності виникають втрати рівня стиснення. Звідси важливим є створення альтернативних до LSB-методу технологій стеганографічного приховування інформації.

Отже *мета статті* стосується розробці методів підвищення рівня конфіденційності відеоінформації для роботизованих комплексів на основі стеганографічних перетворень.

Розробка функціональних перетворень в адаптивному позиційному базисі з властивістю стеганографічного приховування інформації для комплексних стеганографічних систем

Вагомою умовою в процесі створення методів стеганографічних перетворень є необхідність стиснення відеозображень, які використовуються в якості контейнерів. Це зумовлено потребою в оперативній передачі інформації з роботизованих безпілотних комплексів (РБК) [27; 29; 30].

В загальному випадку для побудови таких підходів існує два базових підходи. Такі підходи відрізняються принципом вбудовування інформації. Отже вбудовування може здійснюватись:

- безпосередньо в елементи контейнеру – прямий метод вбудовування шляхом модифікації значень елементів контейнеру;
- шляхом модифікації залежностей між елементами контейнеру – непрямий метод вбудовування.

Перший підхід зв'язано з врахуванням та скороченням кількості психовізуальної надмірності. На відміну від нього другий варіант може реалізовуватись на основі врахування залежностей та скорочення кількості надмірності в двох просторах, а саме: психовізуальному та структурному.

Отже для створення альтернативної групи методів пропонується використовувати непрямий метод стеганографічного приховування інформації на основі врахування структурних залежностей між елементами відео-контейнерів.

При проектуванні функціональних умов для реалізації стеганографічних перетворень пропонується враховувати структурні залежності між елементами сегментів та квадро сегментів відео-контейнерної групи. Побудову функціонального перетворення з врахуванням структурних залежностей пропонується здійснювати в адаптивному позиційному базисі (П-базисі). В цьому випадку мінімальним структурним об'єктом для перетворень є двовимірний структура даних (сегмент да-

них) S розмірністю m рядків та n стовпців в межах квадро-сегменту. В загальному випадку для стеганографічних систем *двовимірною структурою даних* (ДСД) може бути: початковий сегмент відеозображення в одному з форматів кольорового опису; масив (трансформанта) спектрального опису відеосегменту. Наприклад, що формується в результаті дискретного косинусного перетворення. Означене функціональне перетворення дозволяє виявити структурні особливості у **масивах даних візуального походження (ВП)** за умов визначення класу їх складності. Структурні особливості, що враховуються в процесі визначення адаптивного П-базису, зумовлені виявленням обмежень для інтервалів розмаху варіаційного ряду. Величина r розмаху інтервалу значень для окремих масивів S даних (ВП) обчислюється на основі наступного виразу:

$$r_j = \max\{S_j\} + 1 \quad j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Тут S_j - j -й стовбець масиву S даних ВП, тобто $S_j \in S$, та:

$$S_j = \{s_{1,j}; \dots; s_{i,j}; \dots; s_{m,j}\};$$

$s_{i,j}$ - i -й елемент j -ї S_j компоненти масиву S даних ВП; $\max\{S_j\}$ - функція визначення найбільшого значення серед елементів послідовності S_j .

Подалі масиви даних ВП будуть інтерпретуватися, як контейнери візуального походження (ВП-контейнери) для стеганографічних перетворень.

У процесі реалізації функціонального перетворення в адаптивному П-базисі в якості об'єкту перетворень використовуються рівномірні послідовності. Подалі такі послідовності позначимо, як адаптивні числа П-базисі ВП-контейнеру S у складі квадро-структури відеозображення. Відповідно ВП-контейнери, як двовимірні структури представляють собою сукупність адаптивних чисел S в П-базисі: $S_j = \{S_1; \dots; S_j; \dots; S_m\}$.

Процес стиснення таких числових послідовностей візуального походження здійснюється на основі використання трьох-модульної концепції (рис. 1).

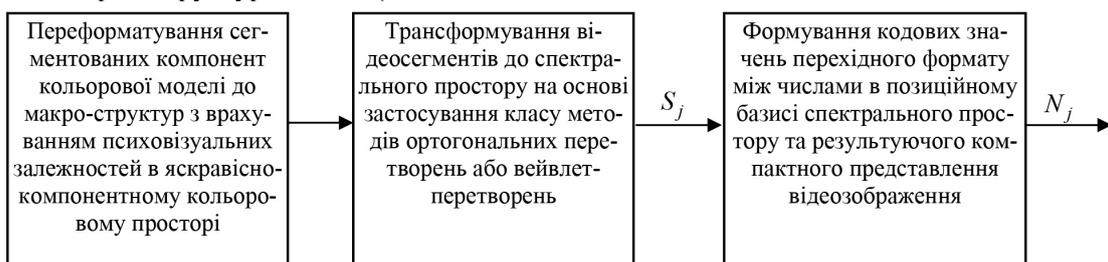


Рис. 1. Базова концепція стиснення даних в позиційному просторі

Перший модуль це переформатування сегментованих компонент кольорової моделі до макро-структур з врахуванням психовізуальних залежностей в яскравісно-компонентному кольоровому просторі. Другий модуль – трансформування відеосегментів до спектрального простору на основі застосування класу методів ортогональних перетворень або вейвлет-перетворень.

Третій модуль – формування кодових значень перехідного формату між числами в П-базисі спектрального простору та результуючого компактного представлення відеозображення. В загальному випадку такий перехідний формат стосуються утворення кодових значень N_j для числових послідовностей S_j (в спектральному або яскравісно-часовому просторі) в П-базисі.

Структурний простір може утворюватись шляхом встановлення обмежень на значення $S_{i,j}$ елементів у числових послідовностях S_j . Однією з переваг зазначеного підходу є можливість для стиснення послідовностей у разі відсутності для них виразних статистичних залежностей, та, як наслідок, характерність обмеженої кількості статистичної надмірності.

Подалі розглянемо випадок позиційного кодування за умов:

- врахуванням структурних залежностей числових послідовностей S_j ;
- утворення кодового значення N_j в десятковій системі числення.

Тоді в загальному випадку тут кодове значення N_j формується згортокою вагових коефіцієнтів $W_{i,j}$, $N_j = \sum_{i=1}^m W_{i,j}$. В свою чергу такі коефіцієнти є функцією $f_{wc}(s_{i,j}; \Omega_j)$ від сукупності параметрів: $s_{i,j}$; Ω_j :

$$W_{i,j} = f_{wc}(s_{i,j}; \Omega_j),$$

де Ω_j - сукупність параметрів мета-ознак, що кількісно описують характер встановленого типу залежностей.

Базуючись на аналізі сучасних методів позиційного кодування такі функціональні залежності з боку математичного опису можуть бути двох типів, а саме:

- з вмістом елементів послідовності;
- з можливістю математичного виділення елементів з вагового функціоналу, тобто:

$$f_{wc}(s_{i,j}; \Omega_j) = s_{i,j} \cdot f_{wc}(\Omega_j). \quad (2)$$

Останній тип залежностей утворює більш можливостей для зменшення складності процесу кодування. Саме це є важливим аспектом для застосування методів кодування для бортових роботизованих безпілотних комплексів (РБК).

Для виразу (2) сукупність Ω_j параметрів мета-ознак формується для залежностей структурного характеру.

Значення вагового коефіцієнту $W_{i,j}$ елементу $s_{i,j}$ визначається за умов:

- залежності від позиції елементу $s_{i,j}$ в числі S_j ;
- використання функціоналу $f_{wc}(\Omega_j)$, який за математичним описом знаходиться, як добуток основ усіх молодших елементів відносно поточної i -ї позиції;
- сукупність Ω_j параметрів утворюється величинами r_j ,

$$\Omega_j = r_j.$$

Водночас потрібно врахувати те, що для значень основ r_j виконуються такі властивості:

- значення основ r_j обчислюються адаптивно за особливостями розмаху інтервалів значень у кожній числові послідовності S_j в умовах використання її в якості ВП-контейнеру;
- величина онови r_j для всіх елементів $s_{i,j}$ позиційного числа S_j має конкретне (незмінне) значення, яке знаходиться за виразом (1). Ця умова є важливою для контролю кількості службової інформації, що долучається в процесі побудови перехідного формату.

За таких умов ваговий коефіцієнт $W'_{i,j}$ у виразі (2) має наступну математичну трактовку:

$$W'_{i,j} = f_{wc}(\Omega_j) = W_i = r^{m-i}. \quad (3)$$

Зворотні перетворення щодо декодування елементів послідовності S_j з врахуванням попереднього структурування кодограми будуються на основі властивостей П-простору. В його основі лежить можливість декодувати поточний перший (старший) елемент $s_{1,j}$, що має найбільшу вагу $W_{1,j}$, з використанням такого виразу:

$$s_{1,j} = \left[\frac{N_j}{W_{1,j}} \right]. \quad (4)$$

Звідси бачимо, що основа r_j ОПЧ першого елементу не впливає на процес його декодування та декодування всіх інших елементів (молодших елементів). Отже у разі адаптивного принципу побудови П-базису створюється умова для формування ОПЧ з можливістю подальшої модифікації (або корекції). Такий принцип побудови у П- базисі створюється у разі формування величин ОПЧ за встановленням структурних ознак в

двовимірному просторі. В цьому випадку послідовність S_j розглядається, як стовбець в двовимірному просторі. Наприклад, в трансформованому ДКП-просторі. В цьому разі ОПЧ $r_{1,j}$ першого елемента послідовності S_j буде розраховуватись виразом:

$$r_{1,j} = \min(\max\{S_j\}; \delta_1) + 1 \quad j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Тут δ_1 - величина уточнення величини ОПЧ першого елемента з врахуванням структурних залежностей означеного походження за першим ($i=1$) рядком. Аналогічним чином, можна здійснити уточнення величини ОПЧ для інших елементів послідовності S_j .

Означена властивість є ключовою для створення нових стеганографічних систем за обліком структурних залежностей. Це зумовлено тим, що модифікація значення ОПЧ $r_{1,j}$ першого елемента не вплине на відновлення всіх інших елементів послідовності, яка використовується в якості ВП-контейнеру. Відповідно це забезпечує два стеганографічних аспекти:

по-перше досягається маскування факту наявності прихованої інформації;

по-друге забезпечується відновлення елементів контейнеру та вилучення прихованої інформації без втрат їх цілісності.

Тому дана властивість функціональних перетворень в П-базису передбачає стеганографічний потенціал встановленого методу стиснення. Отже значення елементів $s_{i,j}$ адаптивного позиційного числа S_j , яке використовується в якості ВП-контейнеру, в П-базисі за певних умов буде безвартно (без внесення спотворень) відновлюватись у разі використання різних значень величини ОПЧ першого елемента.

Порівняльна характеристика методів стиснення

Проведемо оцінку виграшу для розробленої комплексної стеганографічної системи за кількістю V_{mes} біт прихованої інформації. Таку оцінку проведемо в залежності від розміру ВП-контейнеру, розміру відеозображення та рівня його семантичної складності. Відеокадри для експериментальної обробки обираються зі спеціальної бази TID 2013 [31], яка рекомендована міжнародними стандартами для оцінки ефективності алгоритмів обробки відеозображень.

1. Відеозображення зі складною семантикою, на прикладі відеокадру «Регата» (рис. 1). Розмір відеокадру складає 768×512 пікселів.



Рис. 1. Відеокадр-ВКН «Регата» (до обробки)

В залежності від розмірів $m \times n$ ВП-контейнеру величина виграшу за об'ємом V_{mes} прихованої інформації складає:

1) для ВП-контейнеру з розміром 4×4 :

$$V_{mes} = \frac{3 \cdot Q_{row} \cdot Q_{col}}{n \cdot m} = \frac{3 \cdot 768 \cdot 512}{4 \cdot 4} = 73728 \text{ біт};$$

2) для ВП-контейнеру з розміром 6×6 :

$$V_{mes} = \frac{3 \cdot Q_{row} \cdot Q_{col}}{n \cdot m} = \frac{3 \cdot 768 \cdot 512}{6 \cdot 6} = 32768 \text{ біт};$$

3) для ВП-контейнеру з розміром 8×8 :

$$V_{mes} = \frac{3 \cdot Q_{row} \cdot Q_{col}}{n \cdot m} = \frac{3 \cdot 768 \cdot 512}{8 \cdot 8} = 18432 \text{ біт}.$$

2. Відеозображення переважною наявністю ділянок когерентності, на прикладі відеокадру «Пляж» (рис. 2). Розмірність відеокадру становить 709×399 пікселів.

В залежності від розмірів $m \times n$ ВП-контейнеру величина виграшу за об'ємом V_{mes} прихованої інформації складає:

1) для ВП-контейнеру з розміром 4×4 :

$$V_{mes} = \frac{3 \cdot Q_{row} \cdot Q_{col}}{n \cdot m} = \frac{3 \cdot 709 \cdot 399}{4 \cdot 4} = 53042 \text{ біт};$$

2) для ВП-контейнеру з розміром 6×6 :

$$V_{mes} = \frac{3 \cdot Q_{row} \cdot Q_{col}}{n \cdot m} = \frac{3 \cdot 709 \cdot 399}{6 \cdot 6} = 23574 \text{ біт};$$

3) для ВП-контейнеру з розміром 8×8 :

$$V_{mes} = \frac{3 \cdot Q_{row} \cdot Q_{col}}{n \cdot m} = \frac{3 \cdot 709 \cdot 399}{8 \cdot 8} = 13260 \text{ біт}.$$



Рис. 2. Відеокадр-ВКН «Пляж»

Узагальнено оцінки величини виграшу за кількістю вбудованої інформації для різних за складністю семантичного змісту відеокадрів представлено в табл. 1. Значення отримані лише

для компоненти стеганографічних перетворень з використанням функціональних залежностей за структурними ознаками – допустима модифікація основ АПЧ-послідовностей.

Таблиця 1

Виграш за кількістю V_{mes} біт, які вбудовуються на основі створеної стеганографічної системи

Розмір $m \times n$ фрагментів-ВКН		4×4	6×6	8×8
Відеокадр	Регата	73728	32768	18432
	Пляж	53042	23574	13260

Приріст стеганографічної ємності для створеної комплексної системи відносно існуючих підходів до вбудовування інформації в залежності від розмі-

рів ВП-контейнеру представлено в табл. 2. Розрахунки проводяться без обліку результатів процесу стиснення вбудованих даних та ВП-контейнеру.

Таблиця 2

Приріст за величиною стеганографічної ємності v_{hid} для створеної комплексної системи відносно існуючих підходів, %

Розмір $m \times n$ фрагментів-ВКН	4×4	6×6	8×8
v_{hid} , біт/ піксель, %	6,4	3,2	1,6
v_{hid} біт/піксель, % (у разі стиснення відео фрагментів перед вбудовуванням без втрат інформації)	13	7,5	4,8

Висновки

1. Розроблено метод стеганографічних перетворень шляхом врахування залежностей в структурному просторі на основі модифікації адаптивного П-базису.

2. Перевага для створеної стеганографічної системи відносно існуючих підходів за показником стеганографічної ємності в умовах потрібної стійкості до візуальних атак (атак щодо виявлення факту вбудованих повідомлень) складає:

1) в режимі без врахування процесів стиснення відео-контейнерів та вбудованої інформації від 2 до 7 % в залежності від розмірів фрагментів;

2) в режимі стиснення відео контейнерних даних та прихованої інформації від 5 до 13 %.

ЛІТЕРАТУРА

[1] V. Barannik, D. Barannik, A. Lekakh "A steganographic method based on the modification of regions of the image with different saturation", Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018 14th International Conference on, 2018, pp. 542-545. DOI: [10.1109/TCSET.2018.8336260](https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336260)

[2] Бараннік В., Сідченко С., Бараннік Д., Бараннік В. Оцінка впливу недетермінованих характеристик на ефективність криптокомпресійного коду-

- вання зображень у диференційованому базисі. *Безпека інформації*. 2020. Том 26. № 3. С. 168–180.
- [3] Бараннік В. В., Гуржій П. М., Сідченко С. О., Бараннік Д. В., Чорномаз І. К. and Григор'ян, М. Б. (2023) "Saving Elements Methods for Service Components of Images Cryptocompression Codograms", *Visnyk NTUU KPI Seriya – Radio-tekhnika Radioaparotobuduvannia*, (92), pp. 28–40. doi: 10.20535/RADAR.2023.92.28-40.
- [4] Коначович Г.Ф. Оцінка ефективності методів стеганографічного вбудовування інформації у спектральну область зображень. *АСУ та прилади автоматики*. 2014. Вип.168. С. 23-29.
- [5] Задирака В. К. Кошкіна Н. В., Нікітенко Л. Л. Статистичний аналіз систем із цифровими водяними знаками. Штучний інтелект. 2008. № 3. С. 315–324.
- [6] Zia U., McCartney M., Scotney B. et al. Survey on image encryption techniques using chaotic maps in spatial, transform and spatiotemporal domains. *International Journal of Information Security*. 2022. Vol. 21. P. 917–935. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00588-5>
- [7] Бараннік Д. В. Технологія приховування інформативного контенту в динамічному потоці відеосегментів. *Наукоємні технології*. 2023. № 4. С. 408–415. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.60.18270>.
- [8] Xiaolong Duan, Bin Li, Zhaoxia Yin, Xinpeng Zhang, Bin Luo. Robust image steganography against lossy JPEG compression based on embedding domain selection and adaptive error correction. *Expert Systems with Applications*. vol. 229, Part A. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120416>.
- [9] D. Barannik, V. Barannik, S. Korotin, A. Bekirov, O. Veselska, L. Wieclaw Method of safety of informational resources on the basis of use of the indirect steganography The Technology of Structural Classification of Video Frames in Intelligent Information Communication Systems. Proceeding of the VIII International Conference of Students, PhD Students and Young Scientists, *Springer Nature Switzerland AG2020*, editors S. Zawislak, Vol. 70, ISSN 2211-0984. "Development of technology analysis for the content semantics," in *Engineer of XXI Century – We Design the Future*, Bielsko-Biala, Poland: ATH, 2020. P. 195-202. doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_17.
- [10] A. Krasnorutsky, V. Barannik, K. Revva, V. Kolesnyk, S. Shulgin, N. Kharchenko "Integration of Video Image Decryption Coding into a Remote Video Information Service," *2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452679.
- [11] Barannik V. et al. (2023). A Method of Scrambling for the System of Cryptocompression of Codograms Service Components. In: Klymash M., Luntovskyy A., Beshley M., Melnyk I., Schill A. (eds) *Emerging Networking in the Digital Transformation Age*. TCSET 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 965. Springer, Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_26.
- [12] Козловський В., Толстікова О., Савченко А., Клобукова Л. Критерії вибору спектрально-ефективних сигналів у бездротових інформаційних мережах. *Наукоємні технології*. 2022. № 4(56). С. 286–273. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17125>.
- [13] Benjamin Bross, Ye-Kui Wang, Yan Ye, Shan Liu, Jianle Chen, Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm. Overview of the versatile video coding (VVC) standard and its applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. vol. 31 (Issue 10). PP. 3736-3764, Oct. 2021. doi: 10.1109/TCSVT.2021.3101953.
- [14] Бараннік Д.В. Метод двокаскадної імплантації прихованої інформації на основі стеганокомпресійних перетворень. *Інформаційні технології та електронна інженерія*. 2024. №1. С. 31–38.
- [15] Barannik V. et al.: Significant Microsegment Transformants Encoding Method to Increase the Availability of Video Information Resource. *IEEE Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*: proceedings of 2nd Intern. Conf. (Kyiv, Ukraine, November 25–27, 2020). Kyiv, 2020. P. 52–56. DOI: 10.1109/ATIT50783.2020.9349256.
- [16] Одарченко Р., Рябенко М., Іванова М., Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн М. Метод аналізу взаємодії параметрів QoE та QoS на основі алгоритмів керування машинами. *Наукоємні технології*. 2022. № 4(56). С. 305–316. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.56.17130>.
- [17] Barannik V. et al.: "The Methods of Intellectual Processing of Video Frames in Coding Systems in Progress Aeromonitor to Increase Efficiency and Semantic Integrity," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 53–56, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024208.
- [18] P. Bas, T. Filler, and T. Pevný. Break our steganographic system – the ins and outs of organizing BOSS. In T. Filler, T. Pevný, A. Ker, and S. Craver, editors, *Information Hiding*, 13th International Conference. vol.6958 of Lecture Notes in Computer Science. pp. 59–70. Prague, Czech Republic. 2011. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24178-9_5.
- [19] D. Barannik and V. Barannik, "Steganographic Coding Technology for Hiding Information in Infocommunication Systems of Critical Infrastructure," *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 88–91, doi: 10.1109/ATIT58178.2022.10024185.

- [20] Dahyun Kang, Piotr Koniusz, Minsu Cho, Naila Murray. Distilling Self-Supervised Vision Transformers for Weakly-Supervised Few-Shot Classification & Segmentation. 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2023. pp. 19627–19638. DOI Bookmark: 10.1109/CVPR52729.2023.01880.
- [21] Eli Dworetzky, PictureEdgar Kaziakhmedov, PictureJessica Fridrich. Advancing the JPEG Compatibility Attack: Theory, Performance, Robustness, and Practice. Proceedings of the 2023 ACM Workshop on Information Hiding and Multimedia Security. – 2023. PP. 67–79. <https://doi.org/10.1145/3577163.3595090>.
- [22] V. Barannik and A. Shiryayev, "Quadrature compression of images in polyadic space," *Proceedings of International Conference on Modern Problem of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science*, 2012, pp. 422–422. INSPEC Accession Number: 12713484.
- [23] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard"ю IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technologyю. Vol. 22 (Issue. 12). PP. 1649–1668. 2012. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191
- [24] Barannik, V. et al. (2020). Development of Adaptive Arithmetic Coding Method to the Sequence of Bits. In: Zawislak, S., Rysiński, J. (eds) Engineer of the XXI Century. EngineerXXI 2018. Mechanisms and Machine Science, vol 70. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_18 ISSN 2211-0984.
- [25] Barannik V., Khimenko V., Barannik N., Method of indirect information hiding in the process of video compression. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2021. №. 4. PP. 119–131. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.4>.
- [26] Thomas Abbott, Bevan Baas. A Scalable JPEG Encoder on a Many-Core Array. 2023 IEEE 16th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc), 2023. PP. 411–418. doi bookmark: 10.1109/MCSoc60832.2023.00068.
- [27] Barannik V., Krasnorutsky A., Kolesnik V., Barannik V., Pehelnikov S., Zeleny P. Compression method in terms of ensuring the fidelity of video images in infocommunication networks // *Radioelectronic and Computer Systems*, 2022, no 4(100). PP. 10–24. DOI: 10.32620/reks.2022.5/09.
- [28] Бараннік В. В. Основи теорії структурно-комбінаторного стеганографічного кодування: монографія / В. В. Бараннік, Д. В. Бараннік, Бекіров А. С. Х.: Видавництво «Лідер», 2017. 256 с.
- [29] Barannik V., Alimpiev A., Barannik D., Barannik N. Detections of sustainable areas for steganographic embedding // *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. – IEEE, 2017. P. 555–558. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110028.
- [30] Barannik V., Karpenko S. Method of the 3-D image processing. *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET): proceedings of Intern. Conf. (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19–23, 2008)*, Lviv-Slavsko, 2008. P. 378–380.
- [31] Ponomarenko N., Jin L., Ieremeiev O., Lukin V., Egiazarian K., Astola J., Vozel B., Chehdi K., Carli M., Battisti F., Kuo C.-C. J. Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives. *Signal Processing: Image Communication*. 2015. Vol. 30. P. 57–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2014.10.009>.

Бараннік В. В., Прокопенко Р. О.

МЕТОД СТЕГАНОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ З ВИЯВЛЕННЯМ СТРУКТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВІДЕО-КОНТЕЙНЕРІВ

В статті обґрунтовується актуальність питання щодо зменшення часових затримок на обробку та захист інформації, яка передається з роботизованих комплексів. Для цього застосовується селективна обробка. Однак проблемним тут є питання стосовно того, що зі зростанням складності відеозображень зростає кількість сегментів, інформація яких потребує захисту. Виникають втрати рівня стиснення. Цьому основною причиною є руйнація залежностей, які використовуються в процесі скорочення надмірності. Звідси актуальною є науково-прикладна задача, яка стосується підвищення рівня конфіденційності відеоінформації для роботизованих платформ зі досягненням потрібного рівня часових затрат на обробку. В статті розглядаються два підходи щодо вирішення задачі. Перший підхід стосується покращення якості селективної обробки відеозображень. Іншим варіантом є організація захисту відеоінформації в процесі її стиснення. Варіантом тут може бути застосування стеганографічних перетворень. Показуються особливі властивості стеганографічних перетворень. По-перше використання стеганографічних методів в комплексних системах захисту інформації дозволяє підвищити рівень конфіденційності інформації. По-друге стеганографічні методи мають потенціал відносно зменшення впливу на руйнацію компресійно-важливих залежностей. В статті розглядаються декілька напрямків щодо побудови методів стеганографічного захисту інформації. Викладаються випадки побудови контейнерів на базі відео-контенту. Вказується на те, що найбільш практично апробованим є реалізація стеганографічного вбудовування інформації з використанням методів найменш значимого біту (LSB). Однак в умовах потрібного рівня стеганографічної ємності виникають

втрати рівня стиснення. Звідси важливим є створення альтернативних до LSB-методу технологій стеганографічного приховування інформації. В статті викладається розробка методу стеганографічних перетворень шляхом врахування залежностей в структурному просторі на основі модифікації адаптивного П-базису. Доводиться перевага створеної стеганографічної системи відносно існуючих підходів за показником стеганографічної ємності в умовах потрібної стійкості до візуальних атак (атак щодо виявлення факту вбудованих повідомлень).

Ключові слова: роботизовані комплексні, контейнери візуального походження, скорочення надмірності, структурні залежності, позиційний базис.

Barannik V., Prokopenko R.

STEGANOGRAPHIC TRANSFORMATION METHOD WITH DETECTION OF STRUCTURAL DEPENDENCIES OF VIDEO CONTAINERS

The article substantiates the relevance of the issue of reducing time delays for processing and protecting information transmitted from robotic complexes. For this, selective processing is used. However, the problematic issue here is that with the increase in the complexity of video images, the number of segments whose information requires protection increases. There are losses in the compression level. The main reason for this is the destruction of dependencies used in the process of reducing redundancy. Hence, the relevant scientific and applied problem is related to increasing the level of confidentiality of video information for robotic platforms with achieving the required level of processing time. The article considers two approaches to solving the problem. The first approach concerns improving the quality of selective processing of video images. Another option is to organize the protection of video information during its compression. An option here may be the use of steganographic transformations. The special properties of steganographic transformations are shown. Firstly, the use of steganographic methods in complex information protection systems allows to increase the level of information confidentiality. Secondly, steganographic methods have the potential to reduce the impact on the destruction of compression-important dependencies. The article considers several directions for building steganographic information protection methods. Cases of building containers based on video content are presented. It is indicated that the most practically tested is the implementation of steganographic information embedding using least significant bit (LSB) methods. However, under the conditions of the required level of steganographic capacity, compression level losses occur. Hence, it is important to create alternative technologies for steganographic information hiding to the LSB method. The article presents the development of a method of steganographic transformations by taking into account dependencies in the structural space based on the modification of the adaptive P-basis. The advantage of the created steganographic system over existing approaches in terms of steganographic capacity in the conditions of the required resistance to visual attacks (attacks on the detection of the fact of embedded messages) is proven.

Keywords robotic complex, containers of visual origin, redundancy reduction, structural dependencies, positional basis.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2025 р.

Прийнято до друку 10.12.2025 р.