



DOI [10.28925/2663-4023.2020.7.6371](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.7.6371)

УДК 629.391

Бараннік Володимир Вікторович

доктор технічних наук, професор, начальник кафедри бойового застосування та експлуатації АСУ
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
ORCID ID: 0000-0002-2848-4524
vvbar.off@gmail.com;

Рябуха Юрій Миколайович

доктор технічних наук, професор
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
ORCID ID: 0000-0001-9355-929X
Barannik_V_V@ukr.net

Гуржій Павло Миколайович

начальник науково-дослідного відділу наукового центру
BITI імені Героїв Крут
ORCID ID: 0000-0002-2552-229X
pavel.nik.563@gmail.com

Твердохліб Віталій Вікторович

асистент кафедри інформаційно-мережної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID ID: 0000-0002-2996-9523
vitalii.tverdokhlib@nure.ua

Куліца Олег Сергійович

кандидат технічних наук, викладач кафедри організації закладів цивільного захисту
Національний університет цивільного захисту України
ORCID ID: 0000-0003-2589-6520
igor96sheva@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ КОДУВАННЯ ТРАНСФОРМАНТ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ БІТОВОЮ ШВИДКІСТЮ ВІДЕОПОТОКУ

Анотація. Розглядаються концептуальні засади побудови ефективного методу кодування у складі модулю управління бітовою швидкістю трафіку відео у системі обробки відеоданих на рівні джерела. Розкривається сутність використання запропонованого методу у ході управління бітовою швидкістю відео потоку, а саме – принципи побудови кодового представлення фрагмента кадру та підходи щодо визначення структурних одиниць окремого відеокадру, у рамках якого здійснюється управління. Метод орієнтується на обробку бітового представлення трансформант ДКП, при цьому, на даному етапі обробки трансформанта розглядається як структурна складова кадру відео потоку, на рівні якої здійснюється кодування. У той же час, для забезпечення гнучкості управління бітовою швидкістю відеотрафіку, відносно кожної з трансформант виконується декомпозиція до рівня множини бітових площин. Доводиться, що запропонований підхід потенційно здатний забезпечити зменшення бітової швидкості відеопотоку за найгірших умов, тобто, коли виконується компонентне кодування. Окрім того, такий принцип формування кодового представлення фрагменту відео потоку дозволяє контролювати рівень помилки, яку може бути внесено у процесі управління бітовою швидкістю. При цьому в умовах, коли здійснюється кодування бітового представлення трансформант, метод здатен забезпечити вищі показники стиснення як наслідок того, що значення ймовірності виявлення довжин двійкових серій та величини виявлених довжин у межах бітової площини будуть більшими, ніж у випадку компонентного кодування. Це пояснюється структурними особливостями розподілу двійкових елементів у межах кожної з бітових площин, які разом формують

трансформанту ДКП. Зокрема, високочастотні області трансформант частіше за все формується ланцюжками нульових елементів. Рішення, запропоновані у рамках розробки методу кодування, здатні забезпечити достатню гнучкість управління бітовою швидкістю потоку відео, а також можливість оперативної зміни бітової швидкості у широкому діапазоні значень

Ключові слова: бітова швидкість, кодування відеопотоку, нерівноваговий код.

1. ВСТУП

В умовах, коли об'єми трафіку, що передаються мережею, невідомо зростають, питання ефективної обробки даних є актуальними. При цьому, найбільш гострим є питання обробки відеоданих, позаяк між інших типів трафіку відео є найбільш вимогливим за показниками часу обробки, чутливості до втрати окремих фрагментів даних та потребує суттєвого рівня пропускну здатності мережі для здійснення ефективної передачі.

Постановка проблеми. Отже виникає необхідність забезпечення узгодження між інтенсивністю трафіка та пропускну спроможністю інфокомунікаційних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У рамках рішення задач, пов'язаних з обробкою відеотрафіку, традиційно використовувались підходи, що базувались на:

- обробці відеоданих на рівні джерела (застосування технологій кодування);
- обробці відеоданих на рівні мережеских вузлів (пріоритизація трафіку, обробка черг відповідно пріоритету та ін.).

Як перший, так і другий підходи у сьогодишніх умовах є недостатньо ефективними [1,2] як наслідок того, що пульсуючий характер відеоданих, що надходять у мережу, та пропуску здатність, мають різну природу [3-5] та формуються різними та незалежними складниками.

У цих умовах ефективним є рішення, що ґрунтується на управлінні бітовою швидкістю відеоданих у процесі трансляції.

Мета статті. Розробка технології кодування трансформант в системах управління бітовою швидкістю відеопотоку.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У загальному вигляді управління являє собою процес зміни кількості біт, задіяних для опису структурної одиниці відео потоку, відповідно до змін пропускну здатності мережі. При цьому від того, на рівні яких структурних одиниць відеопотоку буде здійснюватися управління, залежать такі його показники, як:

- оперативність зміни бітової швидкості;
- доступний діапазон зміни рівня бітової швидкості;
- забезпечена якість обробки [6-9, 13-15].

Отже, така структурна одиниця повинна описуватися достатньою кількістю біт, при чому повинна забезпечуватися можливість варіації величини зміни бітової швидкості у процесі управління.

За таких умов недоцільним є вибір групи кадрів або окремого кадру відеопотоку у якості такої структурної одиниці. Натомість пропонується управління бітовою швидкістю здійснювати у рамках однієї трансформанти кадру [10-12, 16, 17], або їх сукупності, сформованої у слайс. При цьому, додатковий механізм зміни діапазону бітової швидкості може бути забезпечено шляхом декомпозиції трансформанти до рівня окремих бітових площин. За рахунок цього може здійснюватися маніпулювання

об'ємом даних, що надсилаються у мережу. У таких умовах актуальним є питання ефективного кодування відеопотоку на рівні обраних структурних одиниць – бітових площин. Це пояснюється тим, що у рамках стандартизованих технологій кодування трансформанта розглядається як єдиний об'єкт. Таким чином, метою статті є розробка методу кодування, що забезпечить гнучку обробку фрагментів відеопотоку. При цьому, окремі кодові описи таких фрагментів повинні бути незалежні один з іншими.

Пропонується метод позиційного кодування, який базується на використанні нерівноважних кодів для опису трансформанти. У цьому випадку, кодовий опис трансформанти може здійснюватися як на рівні компонент, так і на рівні сукупності бітових площин.

Розглянемо випадок, коли кодується компонентний опис трансформанти. Тоді будуть оброблятися ланцюжки двійкових даних у напрямку зниження індексу розрядів компонент $\{\beta_{k\ell}^{(n)}, \beta_{k\ell}^{(n-1)}, \dots, \beta_{k\ell}^{(1)}\}$, де $k = \overline{1, h}$, $\ell = \overline{1, w}$. У цьому випадку такі послідовності є двійковою формою опису компонент $c_{k\ell}$ у рамках трансформанти ДКП, як показано наступним виразом:

$$y(p)_{k\ell} = \beta_{k\ell}^{(n)} 2^{n-1} + \dots + \beta_{k\ell}^{(n-\xi)} 2^{n-\xi-1} + \dots + \beta_{k\ell}^{(2)} 2 + \beta_{k\ell}^{(1)}, \quad (1)$$

де $\beta_{k\ell}^{(n-\mu)}$ являє собою $(n-\mu)$ -й двійковий елемент компоненти з координатами $(k; \ell)$ у межах трансформанти, $(n-1) \geq \mu \geq 0$;

$2^{n-\mu-1}$ - ваговий коефіцієнт елементу $\beta_{k\ell}^{(n-\mu)}$ двійкового опису;

n - число розрядів для опису компоненти.

Результатом виявлення довжин двійкових серій у напрямку розрядів компоненти є послідовність $\{\ell(1)_{k\ell}^{(q,i)}, \dots, \ell(\theta)_{k\ell}^{(q,i)}, \dots, \ell(\Theta)_{k\ell}^{(q,i)}\}$, у якій $\ell(\theta)_{k\ell}^{(q,i)}$ - довжина θ -ї двійкової серії, яку було виявлено у межах двійкового опису $(k; \ell)$ -ї компоненти q -ї трансформанти, що відноситься до i -го кадра. При цьому, серії починають виявлятися з елементу $y(n)_{k\ell}^{(q,i)}$. Нехай при цьому елементу $y(n)_{k\ell}^{(q,i)}$ передувє серія нульових елементів, довжина якої буде 1. Тоді за умови, що $y(n)_{k\ell}^{(q,i)} = 1$, відповідно $\ell(1)_{k\ell}^{(q,i)} = 1$. Інакше спостерігається $\ell(1)_{k\ell}^{(q,i)} \geq 2$.

Очевидно, що буде мати місце скорочення надмірності, коли наступна нерівність буде справедливою, а саме:

$$E_{k\ell} < 2^n, \quad (2)$$

де $E_{k\ell}$ - значення коду, який було побудовано для $(k; \ell)$ -ї послідовності довжин.

Також при цьому припустимо, що все значення довжин двійкових серій рівні 1, $\ell_{k\ell}^{(0)} = 1$, $\theta = \overline{1, \Theta}$. У цих умовах спостерігається кількість переходів γ_{bt} між двійковими послідовностями, яка буде рівна максимальному значенню $\gamma_{bt} = n$, тобто, кількість серій буде рівна кількості розрядів на опис компоненти $\Theta = n$. Тоді послідовність $\{\ell_{k\ell}^{(1)}, \dots, \ell_{k\ell}^{(0)}, \dots, \ell_{k\ell}^{(\Theta)}\}$ буде належати множині двійкових чисел, які будуть мати відображення $E_{k\ell}$ у вигляді позиційного числа за основою 2, тобто:

$$E_{k\ell} = \ell_{k\ell}^{(1)} 2^{\Theta-1} + \dots + \ell_{k\ell}^{(\Theta)} 2^{\Theta-\Theta} + \dots + \ell_{k\ell}^{(\Theta-1)} 2 + \ell_{k\ell}^{(\Theta)} \quad (3)$$

Оскільки при цьому для максимальної кількості двійкових переходів значення половини елементів $\beta_{k\ell}^{(\mu)}$ буде нульовим, справедливою буде нерівність $E_{k\ell} > y(p)_{k\ell}$.

У той же час, позаяк апіорі невідомо, що мінімальне значення довжини серії буде рівним 1, за рахунок зниження за замовчуванням динамічного діапазону довжин серій на 1 одержимо значення $E'_{k\ell}$, яке буде рівне 0, а саме:

$$E'_{k\ell} = (\ell_{k\ell}^{(1)} - 1) 2^{\Theta-1} + \dots + (\ell_{k\ell}^{(\Theta-1)} - 1) 2 + (\ell_{k\ell}^{(\Theta)} - 1) = 0. \quad (4)$$

Тоді буде справедливою нерівність $E'_{k\ell} < y(p)_{k\ell}$. Таким чином, вираз (2) також також буде справедливим та буде спостерігатися зниження кількості біт для опису компоненти.

Для збільшення довжин двійкових серій, прийнятнішим буде варіант обробки бітового опису трансформант у напрямку бітових площин. Тут використовується закономірність, згідно якій одиничні елементи у межах бітової площин старших порядків, що відносяться до високочастотних компонент, з великою вірогідністю будуть відсутні. Також обробка бітового опису трансформанти у напрямку бітових площин доцільна ще й з іншого боку. У цьому випадку може бути забезпечена можливість здійснювати відновлення зображень на прийомному боці за ієрархічним принципом [18-20]. Тоді перший етап, на якому буде здійснюватися декодування зображення (даний етап відповідає обробці елементів бітових старших порядків) дозволить відтворити грубу форма зображення. Відповідно, аналогічним чином на наступних етапах буде виконуватися уточнення зображення аж до одержання відеоданих без похибки. У цьому випадку груба форма зображення буде формуватися на базі бітових площин старших розрядів, які містять у собі інформацію про значення старших розрядів компонент трансформант. У свою чергу, бітовим площинам молодших порядків буде відповідати інформація, що буде уточнювати дані відносно об'єктів зображення.

Далі на базі формули (3) виконаємо запис виразу, який дозволяє обчислити значення коду $E(q)_m^{(\mu)}$ для m -ї послідовності довжин серій двійкових елементів, які було виявлено у межах μ -ї бітової площини q -ї трансформанти:

$$E(q)_m^{(\mu)} = \ell_{m,1}^{(\mu)} \prod_{\phi=2}^{\Theta_m} (b_{\phi} + 1) + \dots + \ell_{m,\Theta}^{(\mu)} \prod_{\phi=\Theta+1}^{\Theta_m} (b_{\phi} + 1) + \dots + \ell_{m,\Theta_m}^{(\mu)} = \sum_{\theta=1}^{\Theta_m} \ell_{m,\theta}^{(\mu)} \prod_{\phi=\theta+1}^{\Theta_m} (b_{\phi} + 1), \quad (5)$$

де $\ell_{m,\theta}^{(\mu)}$ є довжинами θ -ї серії двійкових елементів, що відносяться до m -ї послідовності довжин двійкових елементів, які було виявлено у межах μ -ї бітової площини;

$(b_{\theta} + 1)$ - основа елементу $\ell_{m,\theta}^{(\mu)}$, що розглядається у вигляді елементу НРПЧ;

$\prod_{\phi=\theta+1}^{\Theta_m} (b_\phi + 1)$ - ваговий коефіцієнт для довжини θ -ї серії двійкових елементів;

Θ_m - кількість довжин двійкових елементів, що відносяться до m -ї послідовності.

Для зменшення кількості службових даних при цьому доцільним є формування основ НРПЧ для кількох довжин двійкових серій, як це показано наступним виразом:

$$b_\theta = \psi_{bm}(\ell_{m,\theta,1}^{(\mu)}, \dots, \ell_{m,\theta,\phi}^{(\mu)}), \quad (6)$$

де $\psi_{bm}(\ell_{m,\theta,1}^{(\mu)}, \dots, \ell_{m,\theta,\phi}^{(\mu)})$ - функціональна залежність, що буде визначати величину основи b_θ , яка залежить від довжин двійкових серій;

ϕ - кількість довжин серій двійкових елементів, для яких виконується побудова спільної основи b_θ .

Щоб мати змогу побудови основи НРПЧ для кількох довжин двійкових елементів, тоді, відповідно до виразу (6), буде формуватися двовимірний масив $L_q^{(\mu)}$ довжин двійкових серій, які було виявлено у межах площини БПТ. Отже, тоді знаходження основ позиційних чисел пропонується здійснювати для довжин двійкових серій кожного рядка. Тоді вираз (6) буде переписано.

$$b(q)_\alpha^{(\mu)} = \max_{\alpha=\overline{1,\varepsilon}} \{\ell_{\alpha,1} \ell_{\alpha,2} \dots \ell_{\alpha,\beta} \dots \ell_{\alpha,\varepsilon}\} + 1, \quad (7)$$

Тоді опис загального процесу формування кодового опису трансформанти будет таким:

– Виконання декомпозиції вихідної трансформанти ДКП, у результаті чого буде отримано v_{pb} бітових площин.

2. Знаходження довжин серій двійкових елементів у межах окремої бітової площини. У цьому випадку можуть розглядатися варіанти обходу бітових площин як у напрямку рядків або стовпців. По мірі виявлення ланцюжків двійкових елементів формується масив $L_q^{(\mu)}$, як показано формулою (7).

3. Визначення основи елемента нерівноважного позиційного числа відповідно до виразу (8).

4. Обчислення вагових коефіцієнтів нерівноважних позиційних чисел як добутків основ, починаючи з $(b_\phi + 1)$ -го індексу.

5. Обчислення значення коду нерівноважного позиційного числа відповідно до формули (5).

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропоновано метод кодування бітового опису трансформанти, заснований на нерівноважних позиційних кодах для усунення структурної надмірності трансформант ДКП. Даний метод орієнтований на застосування у якості базису для технології керування бітовою швидкістю відеопотоку. На відміну від стандартизованих методів кодування, розглянутий метод дозволяє формувати кодовий опис трансформанти у вигляді ряду незалежних кодових конструкцій бітових площин. Це дає можливість у

ході керування виключати окремі бітові площини з розгляду, тим самим змінюючи рівень інтенсивності.

Напрямки подальших досліджень полягають у створенні технологій управління інтенсивністю трафіку на рівні обробки потоку відеокадрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] V. V. Barannik, N.A. Kharchenko, V.V. Tverdokhlebo, O. Kulitsa, "The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality", in *Proceedings of the International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, 2016, pp. 902-904. doi: 10.1109/TCSET.2016.7452220
- [2] V. Barannik, A. Krasnoruckiy, A. Hahanova, "The positional structural-weight coding of the binary view of transformants", in *Proceedings of the International Conference on East-West Design and Test Symposium (EWDTS)*, September 2013, pp. 1-4. doi: 10.1109/EWDTS.2013.6673178
- [3] R.C. Gonzales and R.E. Woods. *Digital image processing*, sec. edition. Prentice Hall, New Jersey, 2002, 1072 p.
- [4] Ian Richardson, *H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-Generation Multimedia / Ian Richardson*, pp. 368, 2005.
- [5] Y. Zhang, S. Negahdaripour and Q. Li, "Error-resilient coding for underwater video transmission," *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7.
- [6] V Barannik, S Podlesny, D Tarasenko, D Barannik, O Kulitsa. "The video stream encoding method in infocommunication systems", in *Proceedings of the International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv, 2018, pp. 538-541, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336259
- [7] Barannik V., Bekirov A., Lekakh A. and Barannik D. A steganographic method based on the modification of regions of the image with different saturation Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, (TCSET'2018): XIVth Intern conf., (Lviv-Slavske, Ukraine, febr. 23–25, 2018). Lviv-Slavske: 2018. pp. 542-545. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336260.
- [8] H. Baccouch, P. L. Ageneau, N. Tizon, N. Boukhatem, "Prioritized network coding scheme for multilayer video streaming", in *Proceedings of the International Conference on 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 2017, pp. 802-809,
- [9] W. J. Tsai, Y. C. Sun, "Error-resilient video coding using multiple reference frames", in *Proceedings of the International Conference on IEEE International Conference on Image Processing*, 2013, pp. 1875-1879.
- [10] Shi, Yun Q. *Image and video compression for multimedia engineering: fundamentals, algorithms, and standards*. CRC Press, NY, 2008, 576 p.
- [11] K. R. Rao and J. J. Hwang. *Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding*. EnglewoodCliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [12] Ablamejko S.V., Lagunovskij D.M. *Obrabotka izobrazhenij: tehnologija, metody, primenenie*. Amalfeja, Minsk, 2000, 303 p.
- [13] Ding Z., Chen H., Gua Y., Peng Q. *GPU accelerated interactive space-time video matting*. In *Computer Graphics International* P 163-168. 2010.
- [14] Christophe E., Lager D., Mailhes C. "Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 43. No 9. pp. 2103–2114, 2005.
- [15] Lee S. Y. Yoon J. C. *Temporally coherent video matting*. *Graphical Models* 72. 2010. P. 25-33.
- [16] Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M. and Yukin V. *Methods of data compression. The device archiver, compression of images and videos*. M. Dialog Mifi, 2013, 384 p.
- [17] D. Salomon. *Data Compression: The Complete Reference*. Fourth Edition. Springer-Verlag London Limited, 2007, 899 p.
- [18] V.V Barannik., Yu.N. Ryabukha, S.A Podlesnyi. "Structural slotting with uniform redistribution for enhancing trustworthiness of information streams", *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, №76 (7), pp.607, 2017. doi: 10.1615 / TelecomRadEng.v76.i7.40.
- [19] A.N. Alimpiev, V.V. Barannik, S.A. Sidchenko "The method of cryptocompression presentation of videoinformation resources in a generalized structurally positioned space", *Telecommunications and Radio Engineering, English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika*, №76 (6), pp.521-534, 2017, doi: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i6.60.
- [20] ABarannik V.V., Ryabukha Yu.N., Tverdokhlebo V.V., Barannik D.V. "Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium



positional encoding". 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017, Proceedings, Lviv, 2017, pp. 188. DOI: 10.1109/AIACT.2017.8020096.



Volodymyr V. Barannik

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department № 401
Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Force, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-2848-4524
vvbar.off@gmail.com

Yuriy Ryabukha

Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Force, Kharkiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9355-929X
Barannik_V_V@ukr.net

Hurzhii Pavlo

Head of Scientific Research Department
Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroiv Krut
ORCID ID: 0000-0002-2552-229X
pavel.nik.563@gmail.com

Tverdokhlib Vitalii

Assistant at the Department of Information and network engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID ID: 0000-0002-2996-9523
vitalii.tverdokhlib@nure.ua

Kulitsa Oleh

PhD, Lecturer at the Department of Civil Protection institutions
National University of Civil Defence of Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-2589-6520
igor96sheva@gmail.com

TRANSFORMANTS CODING TECHNOLOGY IN THE CONTROL SYSTEM OF VIDEO STREAMS BIT RATE

Abstract. The conceptual basements of constructing an effective encoding method within the bit rate control module of video traffic in the video data processing system at the source level are considered. The essence of using the proposed method in the course of the video stream bit rate controlling disclosed, namely, the principles of constructing the fragment of the frame code representation and approaches for determining the structural units of the individual video frame within which the control is performed. The method focuses on processing the bit representation of the DCT transformants, and at this processing stage transformant was considered as a structural component of the video stream frame at which the encoding is performed. At the same time, to ensure the video traffic bit rate controlling flexibility, decomposition is performed with respect to each of the transformants to the level of the plurality of bit planes. It is argued that the proposed approach is potentially capable to reducing the video stream bit rate in the worst conditions, that is, when component coding is performed. In addition, this principle of video stream fragmen code representation forming allows to control the level of error that can be made in the bit rate control process. However, in conditions where the bit representation of the transformant is encoded, the method is able to provide higher compression rates as a result of the fact that the values of the detection probability of binary series lengths and the values of detected lengths within the bit plane will be greater than in the case of component coding. This is explained by the structural features of the distribution of binary elements within each of the bit planes, which together form the transformer DCT. In particular, high-frequency transformer regions are most often formed by chains of zero elements. The solutions proposed in the development of the encoding method are able to provide sufficient flexibility to control the bit rate of the video stream, as well as the ability to quickly change the bit rate in a wide range of values.

Key words: dit rate, video stream encoding, nonequilibrium code.



REFERENCES

- [1] V. V. Barannik, N.A. Kharchenko, V.V. Tverdokhlebo, O. Kulitsa, "The issue of timely delivery of video traffic with controlled loss of quality", in *Proceedings of the International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, 2016, pp. 902-904. doi: [10.1109/TCSET.2016.7452220](https://doi.org/10.1109/TCSET.2016.7452220)
- [2] V. Barannik, A. Krasnoruckiy, A. Hahanova, "The positional structural-weight coding of the binary view of transformants", in *Proceedings of the International Conference on East-West Design and Test Symposium (EWDTS)*, September 2013, pp. 1-4. doi: [10.1109/EWDTS.2013.6673178](https://doi.org/10.1109/EWDTS.2013.6673178)
- [3] R.C. Gonzales and R.E. Woods. *Digital image processing*, sec. edition. Prentice Hall, New Jersey, 2002, 1072 p.
- [4] Ian Richardson, *H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next-Generation Multimedia* / Ian Richardson, pp. 368, 2005.
- [5] Y. Zhang, S. Negahdaripour and Q. Li, "Error-resilient coding for underwater video transmission," OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7.
- [6] V Barannik, S Podlesny, D Tarasenko, D Barannik, O Kulitsa. "The video stream encoding method in infocommunication systems", in *Proceedings of the International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv, 2018, pp. 538-541, doi: [10.1109/TCSET.2018.8336259](https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336259)
- [7] Barannik V., Bekirov A., Lekakh A. [and Barannik D. A steganographic method based on the modification of regions of the image with different saturation](#) Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, (TCSET'2018): XIVth Intern conf., (Lviv-Slavske, Ukraine, febr. 23–25, 2018). Lviv-Slavske: 2018. pp. 542-545. DOI: [10.1109/TCSET.2018.8336260](https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336260).
- [8] H. Baccouch, P. L. Agneau, N. Tizon, N. Boukhatem, "Prioritized network coding scheme for multilayer video streaming", in *Proceedings of the International Conference on 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 2017, pp. 802-809,
- [9] W. J. Tsai, Y. C. Sun, "Error-resilient video coding using multiple reference frames", in *Proceedings of the International Conference on IEEE International Conference on Image Processing*, 2013, pp. 1875-1879.
- [10] Shi, Yun Q. *Image and video compression for multimedia engineering: fundamentals, algorithms, and standards*. CRC Press, NY, 2008, 576 p.
- [11] K. R. Rao and J. J. Hwang. *Techniques and Standards for Image, Video and Audio Coding*. EnglewoodCliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [12] Ablamejko S.V., Lagunovskij D.M. *Obrabotka izobrazhenij: tehnologija, metody, primenenie*. Amalfeja, Minsk, 2000, 303 p.
- [13] Ding Z., Chen H., Gua Y., Peng Q. *GPU accelerated interactive space-time video matting*. In *Computer Graphics International* P 163-168. 2010.
- [14] Christophe E., Lager D., Mailhes C. "Quality criteria benchmark for hiperspectral imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 43. No 9. pp. 2103–2114, 2005.
- [15] Lee S. Y. Yoon J. C. *Temporally coherent video matting*. *Graphical Models* 72. 2010. P. 25-33.
- [16] Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M. and Yukin V. *Methods of data compression. The device archiver, compression of images and videos*. M. Dialog Mifi, 2013, 384 p.
- [17] D. Salomon. *Data Compression: The Complete Reference*. Fourth Edition. Springer-Verlag London Limited, 2007, 899 p.
- [18] V.V Barannik., Yu.N. Ryabukha, S.A Podlesnyi. "Structural slotting with uniform redistribution for enhancing trustworthiness of information streams", *Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika)*, №76 (7), pp.607, 2017. doi: 10.1615 / TelecomRadEng.v76.i7.40.
- [19] A.N. Alimpiev, V.V. Barannik, S.A. Sidchenko "The method of cryptocompression presentation of videoinformation resources in a generalized structurally positioned space", *Telecommunications and Radio Engineering, English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika*, №76 (6), pp. 521-534, 2017, doi: 10.1615/TelecomRadEng.v76.i6.60.
- [20] ABarannik V.V., Ryabukha Yu.N., Tverdokhlebo V.V., Barannik D.V. "Methodological basis for constructing a method for compressing of transformants bit representation, based on non-equilibrium positional encoding". 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017, Proceedings, Lviv, 2017, pp. 188. DOI: [10.1109/AIACT.2017.8020096](https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020096).

